

Genetik Algoritma ve Oyun Teorisi Yaklaşımları ile Şehirçi Trafik Yönetimi

Proje No: 104I119

Doç.Dr. Halim CEYLAN

OCAK 2010
DENİZLİ

ÖNSÖZ

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilen bu proje çalışması, TÜBİTAK tarafından 104I119 nolu Kariyer projesi olarak desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK yöneticilerine ve çalışanlarına teşekkür ederim. Projenin tamamlanabilmesi için yoğun çaba sarf eden proje araştırmacısı Doç. Dr. Soner HALDENBİLEN ve proje kapsamında doktora çalışmalarını tamamlayan Araş. Gör. Dr. Özgür BAŞKAN, Araş. Gör. Dr. Hüseyin CEYLAN ve katkılarından dolayı Araş. Gör. Cenk OZAN' a teşekkür ederim.

Proje Yürütücüsü
Doç. Dr. Halim CEYLAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ	XVII
ÖZET-ABSTRACT	XXI

I.BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Giriş.....	1
1.2. Problem	5
1.3. Amaç	5
1.4. Yaklaşım.....	7
1.5. Veri Toplanması.....	8
1.6. Kapsam.....	8

II.BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

2.1. Giriş.....	11
2.2. Trafik Kontrol	11
2.3. Genetik Algoritmalar.....	14
2.3.1. Sinyal kontrolünde GA Uygulaması	17

2.3.2. GA'ların Ağ Tasarım Problemlerine Uygulanması.....	18
2.3.3. Şehiriçi Ağ Tasarım Probleminin Genel Çerçevesi.....	19
2.4. Trafik Atama	20
2.4.1. DKD Formülasyonu	21
2.4.2. SKD Altında Trafik Atama	22
2.5. Şehiriçi Ağ Tasarımı	23
2.6. Oyun Teorisi.....	25
2.7. Oyun Teorisi ve Şehiriçi Trafik Kontrol Problemi	27
2.7.1. Merkezileştirme Planları	31
2.7.2. Bireysel Kavşak Planları	33
2.8. Sonuçlar.....	34

III. BÖLÜM

OYUN TEORİSİ, GENETİK ALGORİTMALAR

VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

3.1. Giriş.....	35
3.2. Oyun Teorisi.....	35
3.2.1. Şeytana Karşı Oyunlar.....	36
3.2.2. Yol kullanıcıları arasındaki oyunlar	37
3.2.3. Yol kullanıcıları ve yetkililer arasındaki oyunlar	38
3.3. Oyun Teorisinin Çözüm Algoritmaları	42
3.3.1. OT'nin Ağ Tasarım Problemlerine Uygulanması	44
3.3.2. Birleştirilmiş Trafik Atama- Kontrol Formülasyonu ve Çözümü	49
3.3.2.1. Cournot Oyunu.....	50

3.3.2.2. Stackelberg Oyunu.....	51
3.3.2.3. Monopoli Oyunu.....	53
3.4. Genetik Algoritmalar ve Çözüm Metodu.....	54
3.4.1. Terminoloji.....	55
3.4.2. GA ile Trafik Kontrol Formülasyonu.....	57
3.4.3. Alansal Trafik Kontrol Problemi için Bir Model.....	64
3.4.4. GATRANS Modelinin Sayısal Uygulaması.....	71
3.5. Sonuçlar.....	80

IV. BÖLÜM

VERİ TOPLANMASI VE ARAZİ ÇALIŞMALARI

4.1. Giriş.....	81
4.2. Sensörler.....	81
4.2.1. Sabit sensörler.....	82
4.2.2. Taşınabilir sensörler.....	84
4.3. Metodoloji ve Veriler.....	88
4.3.1. Sensör seçimi.....	88
4.3.2. Arazi testi.....	88
4.3.3. Arazi uygulaması.....	91
4.4. Cihazlar.....	92
4.4.1. Trafik Sayım Cihazı.....	92
4.4.2. Gürültü ölçüm cihazı.....	102
4.5. Arazi Uygulama Çalışmaları.....	102
4.5.1. Kamera sayımları.....	105

4.5.2. HI-TRAC 90T sayımları.....	110
4.5.3. Performans Testleri	115
4.6. Çalışma Bölgesinin Seçimi ve Veri Toplama Çalışmaları.....	117
4.6.1. Çalışma Bölgesinin Tanımı	118
4.6.2. Kavşak Sayımları.....	120
4.6.3. Kesit Sayımları	146
4.6.4. Gürültü Ölçümleri	152
4.6.5. Alt-Ağda Kavşak Sayımları	155
4.6.6. Başlangıç-Varış (B-V) Ölçümleri.....	159
4.6.7. Hacim ve Hız Ölçümleri.....	163
4.6.8. Takip Aralığı Ölçümleri	169
4.7. Sonuçlar.....	170

V. BÖLÜM

ŞEHİRİÇİ ULAŞIM AĞ TASARIM MODELLERİ VE

ÖRNEK ÇÖZÜMLER

5.1. Giriş.....	172
5.2. Kavşak Gecikme Modelleri	172
5.3. Performans göstergeleri.....	175
5.3.1. Gelişigüzel artı doygunluk üstü gecikme bileşeni.....	176
5.3.1.1. Üniform bileşen hesapları	179
5.4. Teorik kavşak gecikme modeli uygulaması	181
5.5. TG Modelinin Webster ve Akçelik ile Karşılaştırılması.....	187

5.6. Ulaşım Ağ Tasarımı Formülasyonu ve Çözüm Algoritmaları	191
5.7. Deterministik Ulaşım Ağ Tasarımı Formülasyonu	192
5.7.1. İki-Seviyeli Programlama.....	197
5.8. Stokastik Ağ Tasarımı Formülasyonu.....	204
5.8.1. Stokastik Ulaşım Ağ Tasarımının Çalışma Sayfası ile Örnek Çözümü	209
5.8.2. Tasarım parametrelerinin Duyarlılık Analizi	216
5.9. Duyarlılık Analizi Tabanlı Şehiriçi Ulaşım Ağ Tasarımı Formülasyonu	218
5.9.1. DTSTUAT'ın Çözüm Algoritması.....	222
5.9.2. DTSTUAT İçin Sayısal Örnek	224
5.10. Senaryo Tabanlı Ulaşım Ağ Tasarım Modeli	226
5.10.1. STM Formülasyonu.....	227
5.10.2. STM'in Çözüm Algoritması.....	228
5.10.3. STM İçin Sayısal Örnek	230
5.11. Sonuçlar.....	232

VI. BÖLÜM

BAŞLANGIÇ-VARIŞ (B-V) MATRİSLERİNİN TAHMİNİ VE LİNK MALİYET FONKSİYONLARININ ELDE EDİLMESİ

6.1. Giriş.....	234
6.2. Seyahat Matrisi Tahmini	234
6.2.1. Trafik Sayımlarından B-V Matrislerinin Tahmini	234
6.3. Formülasyon.....	238
6.3.1. Maksimum Entropi.....	239

6.3.2. Genelleştirilmiş En Küçük Kareler	242
6.3.3. İki-Seviyeli Programlama.....	243
6.3.4. Genetik Algoritma ile B-V Tahmini.....	247
6.4. Ulaşım Ağlarında Kullanıcı Dengesi	251
6.5. Çözüm Algoritması	254
6.5.1. Ulaşım ağının tanımlanması ve girdi parametreleri	254
6.5.2. GA parametreleri	256
6.5.3. Çözüm aşamaları	257
6.6. B-V Talep Matrislerinin Elde Edilmesi	260
6.7. Link Maliyet Fonksiyonları.....	264
6.8. Seyahat Süresi ve İşletme Hızı Ölçümleri.....	273
6.9. Link Maliyet Fonksiyon Modelleri	276
6.10. Sonuçlar.....	282

VII. BÖLÜM

TRAFİK, GÜRÜLTÜ MODELLERİ

VE FAKTÖR ANALİZİ

7.1. Giriş.....	284
7.2. Literatür.....	284
7.2.1. Platform Grant Modeli	285
7.2.1.1. Trafik Modeli	285
7.2.1.2. Gürültü Modeli.....	286
7.2.1.3. Test.....	288
7.2.2. Heaven Modeli	289

7.2.2.1. Trafik Modeli	289
7.2.2.2. Gürültü Modeli.....	290
7.2.2.3. Test.....	290
7.2.2.4. Deneyimler.....	291
7.2.3. Ugent Mobilee Modeli	292
7.2.3.1. Trafik Modeli	292
7.2.3.2. Gürültü Modeli.....	293
7.2.3.3. Dağılım Modeli.....	293
7.2.3.4. Test.....	294
7.2.3.5. Deneyimler.....	294
7.2.4. Ugent-Mira Modeli.....	295
7.2.4.1. Trafik Model	295
7.2.4.2. Gürültü Modeli.....	295
7.2.4.3. Dağılım Modeli.....	296
7.2.4.4. Test.....	296
7.2.4.5. Deneyimler.....	296
7.2.5. TNO-Urbis Modeli	296
7.2.5.1. Trafik Modeli	297
7.2.5.2. Gürültü Modeli.....	297
7.2.5.3. Test.....	297
7.2.5.4. Deneyimler.....	297
7.2.6. TNO-Overschie Modeli.....	298
7.2.6.1. Trafik Modeli	298
7.2.6.2. Gürültü Modeli.....	299
7.2.6.3. Dağılım Modeli ve Test	300

7.2.6.4. Deneyimler.....	300
7.2.7. M+P-Jari Modeli	300
7.2.7.1. Trafik Modeli	300
7.2.7.2. Gürültü Modeli.....	301
7.2.7.3. Test.....	301
7.3. Gürültü Modelleri.....	302
7.3.1. Gürültü Ölçümlerinin Modellenmesi	303
7.3.2. Faktör Analizi Kullanılarak Gürültü Modellenmesi.....	305
7.3.2.1. Veri Toplama ve Faktör Analizi	306
7.3.2.2. Model Çalışmaları.....	311
7.4. Sonuçlar.....	318

VIII. BÖLÜM

BİRLEŞTİRİLMİŞ OYUN TEORİSİ VE

GENETİK ALGORİTMA FORMÜLASYONU VE

UYGULAMASI

8.1. Giriş.....	319
8.2. BOTGA Modeli Formülasyonu	320
8.2.1. Sistem Optimum Model	321
8.2.2. Trafik Sinyal Kontrol Modeli.....	323
8.2.3. BOTGA'nın Amaç Fonksiyonu	324
8.2.4. Stackelberg Oyunu Olarak BOTGA Modeli Formülasyonu.....	325
8.2.5. SKD Formülasyonu	327

8.3. BOTGA'nın Çözüm Algoritması.....	330
8.3.1. BOTGA Modelinde Trafik Sinyal Kontrolünün GA ile Çözümü.....	337
8.4. BOTGA Modelinin Çalışma Ağına Uygulanması	339
8.4.1. Ulaşım ağı özellikleri	340
8.4.2. B-V Talepleri.....	340
8.4.3. BOTGA Parametreleri.....	343
8.4.4. Analizler	344
8.5. BOTGA Modelinin Sabit Trafik Hacmine Bağlı Tek Kontrol Değişkenli Oyun Yaklaşımı	348
8.5.1. Ulaşım ağı.....	348
8.5.2. TKDOY Modeli Çıktıları	349
8.5.3. Trafik Kontrol ve Trafik atama arasındaki Stackelberg oyunu	357
8.6. İSO ve İSTASO oyunlarının karşılaştırılması.....	376
8.7. Sonuçlar.....	377

IX. BÖLÜM

GENİŞLETİLMİŞ ULAŞIM AĞINDA DYNASMART-P UYGULAMASI

9.1. Giriş.....	379
9.2. DYNASMART-P	379
9.3. DYNASMART-P İşletme Modları ve Algoritmik Bakış Açılıarı.....	381
9.4. Çalışma Ağının Genişletilmesi.....	385
9.5. Programının Örnek Ağ Üzerinde Çalıştırılması.....	396
9.6. Genişletilmiş Ağ Üzerinde Yapılan Çalışma	405
9.7. Sonuçlar.....	419

X. BÖLÜM

SONUÇLAR

10.1. Sonuçlar.....	420
KAYNAKLAR.....	428
EK.1. Notasyon	442
EK.2. Faz Diyagramları	446

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. BOTGA modeli genel akış şeması.....	7
Şekil 2.1. Tek nokta (HC) ve toplum tabanlı yaklaşım (GA) karşılaştırması.....	16
Şekil 2.2. GA'ların Mantıksal Gösterimi.....	16
Şekil 2.3. GA, trafik kontrol ve trafik atamanın entegrasyonu.....	20
Şekil 2.4. Ulaşım ağı tasarımında atama-sinyalizasyon problemi.....	24
Şekil 2.5. Örnek ulaşım ağı.....	26
Şekil 2.6. 1. hattın seçilme olasılığı değişimi.....	27
Şekil 2.7. Beklenen yolculuk süresi maliyeti değişimi.....	27
Şekil 3.1. GATRANS optimizasyon modeli.....	65
Şekil 3.2. Örnek ağ.....	72
Şekil 3.3. Faz diyagramı.....	73
Şekil 4.1a. Endüktif döngü sensörünün plandan görünüşü.....	83
Şekil 4.1b. Endüktif döngü kesitleri.....	84
Şekil 4.2. Cihaz kabini.....	85
Şekil 4.3. Veri işleme programı genel menü görünüşü.....	85
Şekil 4.4. Sensörlerin görünümü.....	89
Şekil 4.5. Sensör sinyalleri ile araç sayılarının test edilmesi.....	89
Şekil 4.6. Pozitif yönde sensörlerden gelen dalga formlarının kontrolü.....	90
Şekil 4.7. Döngü 1 üzerinde araç hareket ederken dalga formunun davranışı.....	90
Şekil 4.8. Gezici türdeki HI-TRAC 90T tipi trafik sayım cihazı.....	93
Şekil 4.9. Trafik sayaçlarının yerleşimi.....	94
Şekil 4.10. Sensörün yerleştirilmesi ve güvenlik önlemleri.....	95
Şekil 4.11. 1. Kol daki manyetik sensörden alınan veriler.....	95
Şekil 4.12. 1. kol için ortalama hız (km/saat) ve zaman dilimleri.....	96
Şekil 4.13. Trafik hacmi (taşıt/sa) ve hız (km/sa) arasındaki ilişki.....	96
Şekil 4.14. 2. kol için saatlik trafik hacmi verileri.....	97
Şekil 4.15. 2. Kol için ortalama hız ve zaman grafiği.....	97
Şekil 4.16. 4. Kol için ortalama hız (km/sa) zaman (saat) grafiği.....	98
Şekil 4.17. 4. sensördeki saatlik trafik hacmi ve zaman grafiği.....	98

Şekil 4.18. Trafik hacmi (taşıt/sa) ve ortalama hız (km/sa) arasındaki ilişki.....	99
Şekil 4.19. Saatlik trafik hacmi (taşıt/sa) ve zaman arasındaki ilişki.....	99
Şekil 4.20. Ortalama hız (km/sa) ve zaman arasındaki ilişki.....	100
Şekil 4.21. Trafik hacmi (taşıt/sa) ve ortalama hız (km/sa) arasındaki ilişki.....	100
Şekil 4.22. Saatlik trafik hacmi (taşıt/saat) ve zaman arasındaki ilişki.....	100
Şekil 4.23. Ortalama hız (km/sa) ve zaman arasındaki ilişki.....	101
Şekil 4.24. Trafik hacmi (taşıt/sa) ve ortalama hız (km/sa) arasındaki ilişki.....	101
Şekil 4.25. Saatlik trafik hacmi (taşıt/saat) ve zaman arasındaki ilişki.....	101
Şekil 4.26. Trafik hacmi (taşıt/sa) ve ortalama hız (km/sa) arasındaki ilişki.....	102
Şekil 4.27. Zamana bağlı gürültü ölçümleri.....	103
Şekil 4.28. Uygulama yapılan kavşağın genel görüntüsü.....	103
Şekil 4.29. Asfalt makinası ile kesim yapılırken.....	104
Şekil 4.30. Sensör kanallarına kablo yerleştirilirken.....	105
Şekil 4.31. Sensörlerin cihaza bağlanması.....	106
Şekil 4.32. Kavşağı hakim gören bir noktaya kameranın yerleşimi.....	106
Şekil 4.33. Çalışma alanı ve zonlar.....	119
Şekil 4.34. Oluşturulan ulaşım ağı.....	122
Şekil 4.35. Geliştirilen yardımcı trafik sayım yazılımı.....	121
Şekil 4.36. Sensörlerin montajı öncesinde güvenlik önlemlerinin alınması.....	147
Şekil 4.37. Kontrplağın asfalt kaplama üzerine çakılması.....	147
Şekil 4.38. 2x2 bölünmüş bir yolda sensörlerin yeni yöntemle monte edilmiş görünümü.	148
Şekil 4.39. Ölçüm yapılan linklerin krokisi.....	149
Şekil 4.40. Motorlu kara taşıtlarından hareket halinde kaynaklanan gürültü ölçümü.....	153
Şekil 4.41. Ölçüm sırasında cihazın durumu.....	153
Şekil 4.42. Cihazın ölçüm sırasında verilerin bilgisayara aktarılması ve programın kullanımı.....	154
Şekil 4.43. 3 no'lu kesitte sabah gürültü ölçüm sonuçları.....	154
Şekil 4.44. Ayırıştırılmış ulaşım ağı.....	156
Şekil 4.45a. K104 no'lu kavşak.....	157
Şekil 4.45b. K107 no'lu kavşak.....	157
Şekil 4.45c. K205 no'lu kavşak.....	157
Şekil 4.46. Başlangıç-Varış ölçümleri yapılan kollar.....	160

Şekil 4.47. Eşleştirme algoritma çalışma sayfası.....	161
Şekil 4.48. Akşam sayımlarında alt ağıdaki hız ve hacim dağılımları.....	166
Şekil 4.49. Sabah sayımlarında alt ağıdaki hız ve hacim dağılımları.....	167
Şekil 4.50. 13 linki sol şeritte gözlenen takip aralığı değerlerinin histogramı.....	170
Şekil 4.51. 13 linki sol şeritte gözlenen takip aralığı değerlerinin eklenik frekans grafiği.....	170
Şekil 5.1. Zaman-bağımlı gecikme.....	175
Şekil 5.2. Tipik dört kollu 8 şeritli bir kavşak.....	182
Şekil 5.3. Örnek kavşaktaki faz diyagramı.....	182
Şekil 5.4. Uniform gecikme değerleri ve UGMODEL değerlerinin karşılaştırılması.....	185
Şekil 5.5. Rastgele gecikme değerleri ve model değerlerinin karşılaştırılması ($q \leq 290$).....	185
Şekil 5.6. Rastgele gecikme değerleri ve model değerlerinin karşılaştırılması ($q \geq 300$).....	186
Şekil 5.7. Toplam gecikme değerleri ve model değerlerinin karşılaştırılması.....	186
Şekil 5.8. Örnek kavşak link numaraları ve trafik yükleri.....	188
Şekil 5.9. Örnek kavşak faz diyagramı.....	189
Şekil 5.10a. Dört - kollu kavşaktaki olası dönüş linkleri.....	195
Şekil 5.10b. Şekil 5.10a için Y,K,S fazlarındaki sinyal ağıının gösterimi.....	195
Şekil 5.11. Sinyal kısıtlarına göre düzenlenmiş yeni rotalar.....	196
Şekil 5.12. Doğrusal link maliyet fonksiyonu.....	199
Şekil 5.13. BPR'a göre toplam link maliyet değişimleri.....	201
Şekil 5.14. Örnek yol ağı.....	209
Şekil 5.15. UAT'ın akış diyagramı.....	213
Şekil 5.16. ÇS ile UAT modelinin çözümü.....	214
Şekil 5.17. Yakınsama grafiği.....	216
Şekil 5.18. İterasyonlar boyunca amaç fonksiyonun değişimi.....	216
Şekil 5.19. θ 'ya bağlı ağ maliyet fonksiyonlarının değişimi.....	218
Şekil 5.20. Örnek ulaşım ağı.....	224
Şekil 6.1. Trafik atama modellerinin genel yapısı.....	236
Şekil 6.2. Ters B-V tablosu tahmini.....	236
Şekil 6.3. Atama ve optimizasyon sürecine ait akış diyagramı.....	255
Şekil 6.4. Sabah trafiği için amaç fonksiyonu yakınsama grafiği.....	261
Şekil 6.5. Sabah zirve saat ortalama hata grafiği.....	261
Şekil 6.6. Akşam zirve saat için amaç fonksiyonu yakınsama grafiği.....	263

Şekil 6.7. Akşam zirve saat ortalama hata grafiği.....	263
Şekil 6.8. Davidson link performans fonksiyonu.....	266
Şekil 6.9. Temel akım-yoğunluk diyagramı.....	267
Şekil 6.10. Irwin, Dodd ve Von Cube's maliyet fonksiyonu.....	269
Şekil 6.11. Asimtotik link maliyet fonksiyonu.....	271
Şekil 6.12. Ölçüm yapılan linkler ve ölçümde gerçekleştirilen döngüler.....	274
Şekil 6.13. Model ve gözlem değerlerinin karşılaştırılması.....	281
Şekil 7.1. 4 nolu kesitte ölçülen gürültü değerleri ve model sonuçları.....	304
Şekil 7.2. Klinometre ile yol eğiminin ölçülmesi.....	306
Şekil 7.3. Ölçüm yapılan kesitler.....	308
Şekil 7.4. Faktör Analizi Akım Şeması.....	312
Şekil 7.5. SPSS programına veri girişi.....	314
Şekil 7.6. Faktör analizi çizgi grafiği.....	315
Şekil 7.7. Gürültü ölçümleri ve model sonuçlarının karşılaştırılması.....	318
Şekil 8.1. Birleştirilmiş trafik atama ve kontrol problemi.....	321
Şekil 8.2. Örnek sinyalizasyon kavşak.....	324
Şekil 8.3. BOTGA akış şeması.....	333
Şekil 8.4. BOTGA modeli için Stackelberg oyununda trafik atama probleminin akış şeması.....	334
Şekil 8.5. Önerilen trafik kontrol algoritması.....	338
Şekil 8.6. BOTGA modeli çözümünün akış şeması.....	339
Şekil 8.7. BOTGA modelinin uygulandığı çalışma ağı.....	341
Şekil 8.8. 40 saniyelik devre süresi için oynanan oyunlar boyunca toplam ağ ulaşım süresinin değişimi.....	345
Şekil 8.9. 40 saniyelik devre süresi için oynanan 7. oyundaki toplam ulaşım süresinin yakınsama süreci.....	345
Şekil 8.10. 40-90 arasındaki devre süreleri için elde edilen optimum ağ maliyeti değerleri.....	346
Şekil 8.11. Ölçümleri ve modellemesi yapılan ulaşım ağı.....	350
Şekil 8.12. TKDOY modelinin bilgisayar programı akış şeması.....	353
Şekil 8.13. TKDOY'ndan elde edilen çıktılar.....	354
Şekil 8.14. TKDOY modelinde tepe tırmanma metodu kullanılması sonucu elde edilen iyileşmeler.....	354
Şekil 8.15. Başlangıç ve bitiş kontrol stratejileri için yakıt tüketimi değişimi.....	355
Şekil 8.16. 1 nolu kavşaktaki yeşil dalga değişkeni ve devre süresi ilişkisi.....	356

Şekil 8.17. 6 nolu kavşaktaki yeşil dalga değişkeni ve devre süresi ilişkisi.....	357
Şekil 8.18. PFE algoritma adımları.....	361
Şekil 8.20. İteratif TA ve TK çözümünden elde edilen ağ performansı.....	363
Şekil 8.19. Stokastik trafik ataması için modifiye edilen ulaşım ağı.....	364
Şekil 8.21. İteratif Stackelberg oyununda yakıt tüketimi değişimi.....	365
Şekil 8.22a. 3 nolu linkteki denge trafik hacmi.....	366
Şekil 8.22b. 6 nolu linkteki denge trafik hacmi.....	366
Şekil 8.22c. 16 nolu linkteki denge trafik hacmi.....	367
Şekil 8.22d. 34 nolu linkteki denge trafik hacmi.....	367
Şekil 8.22e. 48 nolu linkteki denge trafik hacmi.....	368
Şekil 8.22f. 56 nolu linkteki denge trafik hacmi.....	368
Şekil 8.23. GA tabanlı serbest değişimli İSTASO oyunu.....	371
Şekil 8.24. GA tabanlı kısıtlı değişkenli İSTASO oyunu.....	372
Şekil 8.25. GA tabanlı serbest değişkenli İSTASO oyununda yakıt tüketimi değişimi.....	372
Şekil 8.26. GA tabanlı kısıtlı değişkenli İSTASO oyununda yakıt tüketimi değişimi.....	373
Şekil 8.27. 6 nolu sinyalizasyon kavşaktaki serbest değişkenli İSTASO oyununda yeşil dalga parametrelerinin değişimi.....	374
Şekil 8.28. 6 nolu sinyalizasyon kavşaktaki kısıtlı değişkenli İSTASO oyununda yeşil dalga parametrelerinin değişimi.....	374
Şekil 8.29. İSO ve kısıtlı değişkenli İSTASO oyunlarının PI karşılaştırılmaları.....	376
Şekil 8.30. İSO ve kısıtlı değişkenli İSTASO oyunlarının yakıt tüketimi karşılaştırılması	377
Şekil 9.1. DYNASMART-P (Bir Adımlı Simülasyon-Atama Prosedürü).....	382
Şekil 9.2. DYNASMART-P için Çözüm Algoritması (İteratif Kullanıcı Dengesi Prosedürü).....	386
Şekil 9.3. Kent ve Yakın Çevresi Zonları (Ulaşım Master Planı,2002).....	387
Şekil 9.4. Düzenlenmiş Zon Sistemi.....	391
Şekil 9.5. Genişletilmiş Ulaşım Ağı (zonlar, linkler ve düğümler).....	392
Şekil 9.6. Çalışma Ağının Programa Aktarılmış Hali.....	393
Şekil 9.7. Çalışma Ağının Zonlanmış Hali.....	394
Şekil 9.8. Çalışma ağındaki düğümler.....	394
Şekil 9.9. Çalışma Ağındaki Ana Arterler.....	395
Şekil 9.10. Çalışma Ağındaki İç Zonları Çevreleyen Dış Kordon.....	396
Şekil 9.11. Örnek Ulaşım Ağı.....	397
Şekil 9.12. Programın Atama Modülü.....	398

Şekil 9.13. Programda Parametre Giriş Penceresi.....	399
Şekil 9.14. Programın Simülasyon Penceresi.....	400
Şekil 9.15. Programda Simülasyon Sonuçlarının Görüntülenmesi.....	401
Şekil 9.16. Link 1-4 Yoğunluk Değerleri (ta/mil/şe)	403
Şekil 9.17. Link 1-4 Hız Değerleri (mil/sa)	404
Şekil 9.18. Link 1-4 Akım Değerleri (ta/sa/şe)	404
Şekil 9.19. Genişletilmiş Ulaşım Ağı.....	412
Şekil 9.20. Ulaşım Ağındaki 27-22 Linkinin Akım Değerleri.....	413
Şekil 9.21. Tüm Ulaşım Ağının Performansı.....	413
Şekil E2a. K105 no'lu kavşak faz diyagramı.....	446
Şekil E2b. K227 no'lu kavşak faz diyagramı.....	446
Şekil E2c. K222 no'lu kavşak faz diyagramı.....	447
Şekil E2d. K223 no'lu kavşak faz diyagramı.....	447
Şekil E2e. K107 no'lu kavşak faz diyagramı.....	448
Şekil E2f. K104 no'lu kavşak faz diyagramı.....	448
Şekil E2g. K225 no'lu kavşak faz diyagramı.....	449
Şekil E2h. K204 no'lu kavşak faz diyagramı.....	449
Şekil E2i. K224 no'lu kavşak faz diyagramı.....	450
Şekil E2j. K205 no'lu kavşak faz diyagramı.....	450
Şekil E2k. K208 no'lu kavşak faz diyagramı.....	451

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 3.1. İki oyunculu oyuna bir örnek.....	38
Tablo 3.2. İki kavşaklı ağ için veri girdisi.....	73
Tablo 3.3. TRANSYT girdisi olarak sabit link akımları.....	73
Tablo 3.4. GATRANS kullanılarak devre süresinin optimizasyonu.....	74
Tablo 3.5. Devre süresi optimizasyonu için yeni nesil ve uygunluk değerleri.....	78
Tablo 3.6. Yeni toplum ve uygunluk değerleri.....	78
Tablo 3.7. Her senaryo için karar değişken sayısı.....	79
Tablo 3.8. HC ve GATRANS modelinin performans indekslerinin karşılaştırılması.....	80
Tablo 4.1. Sensörlerin fonksiyonları.....	87
Tablo 4.2. Trafik sayım cihazı (HI-TRAC 90T) ve özellikleri.....	93
Tablo 4.3a Lise kolu trafik hacmi ve sınıfları (24.05.2006).....	107
Tablo 4.3b Lise kolu trafik hacmi ve sınıfları (01.06.2006).....	107
Tablo 4.4a İstiklal kolu trafik hacmi ve sınıfları (24.05.2006).....	108
Tablo 4.4b İstiklal kolu trafik hacmi ve sınıfları (01.06.2006).....	108
Tablo 4.5a Atatürk caddesi üzerindeki trafik hacmi (24.05.2006).....	108
Tablo 4.5b Atatürk caddesi üzerindeki trafik hacmi (01.06.2006).....	109
Tablo 4.6a Gazi Mustafa Kemal Bulvarı üzerindeki trafik hacmi (24.05.2006).....	109
Tablo 4.6b Gazi Mustafa Kemal Bulvarı üzerindeki trafik hacmi (01.06.2006).....	109
Tablo 4.7. Trafik hacim sayıları (Lise-İstiklal).....	110
Tablo 4.8. Şeritlerde ortalama hızlar (m/sa).....	111
Tablo 4.9. Döngüler üzerindeki araçların işgal süresi (saniye).....	111
Tablo 4.10. Trafik hacimleri ve sınıfları (GMK).....	112
Tablo 4.11. Trafik hacimleri ve sınıfları (Atatürk).....	113
Tablo 4.12. Araç işgal süreleri (saniye).....	114
Tablo 4.13a Ortalama hızlar – GMK (m/sn).....	115
Tablo 4.13b Ortalama hızlar – Atatürk (m/sn).....	115
Tablo 4.14. Trafik hacim sayımlarının karşılaştırılması.....	116
Tablo 4.15. Hacim sayımlarının karşılaştırmaları.....	117

Tablo 4.16. Ölçüm testleri ve sonuçları.....	118
Tablo 4.17. Zonların özellikleri.....	119
Tablo 4.18. Çalışma ağı linkleri ve uzunlukları.....	123
Tablo 4.19. Sayımlar sonucunda elde edilen linklerdeki trafik yükleri (taşıt/sa).....	145
Tablo 4.20. Sayımlar sonucunda elde edilen linklerdeki trafik yükleri (taşıt/sa).....	146
Tablo 4.21. El cihazları ile yapılan akşam sayım sonuçları.....	150
Tablo 4.22. El cihazları ile yapılan sabah sayım sonuçları.....	151
Tablo 4.23. Kesitlerde yapılan gürültü ölçüm değerleri.....	155
Tablo 4.24. Alt çalışma bölgesi kavşak sayım değerleri (20 dk).....	158
Tablo 4.25. Ölçüm yapılan kavşaklardaki sayım değerlerinin matris gösterimi.....	158
Tablo 4.26. Ölçüm yapılan kolların ağ bağlantı durumları.....	159
Tablo 4.27. 2 nolu kolda sabah sayımlarında elde edilen veri setinin 2 dakikalık bölümü.....	160
Tablo 4.28. Eşleştirme tablosu (8 nolu koldan girip 1 nolu koldan çıkan araçlar).....	161
Tablo 4.29a Sabah zirve saatleri için ulaşım ağında eşleşme çalışmaları sonunda elde edilen B/V matrisleri.....	162
Tablo 4.29b Akşam zirve saatleri için ulaşım ağında eşleşme çalışmaları sonunda elde edilen B/V matrisleri.....	162
Tablo 4.30a Sabah zirve saat için eşleşmeler sonucunda elde edilen seyahat süreleri matrisi (dakika).....	163
Tablo 4.30b Akşam zirve saat için eşleşmeler sonucunda elde edilen seyahat süreleri matrisi (dakika).....	163
Tablo 4.31. Hız-hacim ölçümleri için uygulanan çalışma programı.....	164
Tablo 4.32. Alt çalışma ağında saatlik hız ve hacim değerleri.....	165
Tablo 4.33. Çalışma ağında şerit bazında ortalama hız ve hacim değerleri.....	168
Tablo 4.34. Şeritlerdeki ortalama kapasite ve hız oranları (sağ/sol).....	168
Tablo 4.35. Takip aralığı veri seti.....	169
Tablo 5.1. Hesaplanan gecikme değerleri.....	183
Tablo 5.2a Örnek kavşak link trafik hacimleri (sabah).....	187
Tablo 5.2b Örnek kavşak link trafik hacimleri (akşam).....	187
Tablo 5.3. Sabah trafiği için sinyal parametreleri ve gecikmeler.....	190
Tablo 5.4. Akşam trafiği için sinyal parametreleri ve gecikmeler.....	191
Tablo 5.5. UAT probleminin örnek ağ için çözümü.....	215
Tablo 5.6. Farklı θ parametrelerinin değişimi.....	217
Tablo 5.7. Farklı tasarım parametre değerleri için duyarlılık.....	218

Tablo 5.8. Örnek ulaşım ağı karakteristikleri.....	225
Tablo 5.9. Örnek ağıdaki B-V'ler arası seyahat talepleri.....	225
Tablo 5.10. DTSTUAT'ın amaç fonksiyonunun bileşenlerinin değerleri.....	226
Tablo 5.11. STUAT'ın kapasite değişimi planları.....	226
Tablo 5.12. STM'den kapasite iyileştirme planları.....	231
Tablo 5.13. Senaryo tabanlı model için sağlamlık testi sonuçları.....	231
Tablo 6.1. İteratif dengeleme algoritması.....	241
Tablo 6.2. GEKK için iki-seviyeli çözüm adımları.....	246
Tablo 6.3. Maksimum entropinin çift-seviyeli program ile çözümü.....	247
Tablo 6.4. Alt ağıdaki linkler ve bu linkleri kullanan rotalar.....	256
Tablo 6.5. B-V'ler arasındaki rotalar.....	257
Tablo 6.6. Alt ağda sabah zirve saati için B-V talep matrisi.....	262
Tablo 6.7. Alt ağda akşam zirve saati için B-V talep matrisi.....	264
Tablo 6.8. Maliyet fonksiyonları karşılaştırması.....	273
Tablo 6.9. Alt ağ 1. güzergah seyahat süresi ölçümleri (SABAH).....	275
Tablo 6.10. Alt ağ 1. güzergah seyahat süresi ölçümleri (AKŞAM).....	275
Tablo 6.11. Alt ağ 2. güzergah seyahat süresi ölçümleri (SABAH).....	275
Tablo 6.12. Alt ağ 2. güzergah seyahat süresi ölçümleri (AKŞAM).....	276
Tablo 6.13. Hesaplanan link işletme hızları ve ortalamaları (SABAH).....	277
Tablo 6.14. Hesaplanan link işletme hızları ve ortalamaları (AKŞAM).....	278
Tablo 6.15. Link maliyet fonksiyonu veri seti.....	280
Tablo 6.16. Modellerin amaç fonksiyonu ve ortalama hata değerleri.....	281
Tablo 7.1. (1) no'lu kesitteki gürültü, trafik hacmi ve hız ölçüm sonuçları.....	303
Tablo 7.2. Kesitlere ait gürültü modelleri.....	304
Tablo 7.3. Gürültü modellemesi için kullanılan veri seti.....	309
Tablo 7.4. Gürültü modellemesi için kullanılan veri seti.....	310
Tablo 7.5. KMO ve Bartlett Testi.....	314
Tablo 7.6. Ortak varyans tablosu.....	315
Tablo 7.7. Açıklanan Toplam Varyans.....	316
Tablo 7.8. Döndürülmüş bileşen matrisi.....	317
Tablo 8.1. Ulaşım ağındaki linklerin uzunlukları, serbest akım seyahat süreleri ve doyumluk akımı değerleri.....	341

Tablo 8.2. BOTGA modellemesinde kullanılan B-V çiftleri ve rotalar.....	342
Tablo 8.3. Saatlik B-V trafik talepleri.....	343
Tablo 8.4. BOTGA modelinden elde edilen optimum rota akımları ve seyahat süreleri	347
Tablo 8.5. BOTGA modellemesi sonucu kavşaklarda elde edilen optimum faz süreleri	347
Tablo 8.6. Ulaşım ağı parametreleri ve link trafik hacimleri.....	351
Tablo 8.7. B-V talebi.....	363
Tablo 8.8. İSTASO oyunundan sonuçlanan kontrol stratejileri.....	375
Tablo 8.9. İSTASO oyunundan sonuçlanan SKD denge akımları ve doygunluk akım değerleri.....	375
Tablo 9.1a Özel Araç Ulaşım Matrisi (2002 Ulaşım Master Planı).....	388
Tablo 9.1b Özel Araç Ulaşım Matrisi (2002 Ulaşım Master Planı).....	389
Tablo 9.1c Özel Araç Ulaşım Matrisi (2002 Ulaşım Master Planı).....	390
Tablo 9.2. Genişletilmiş Çalışma Ağına ait Talep Matrisi.....	391
Tablo 9.3. Ulaşım Talebi Matrisi.....	397
Tablo 9.4. Link 1-4'ün Performans Değerleri.....	402
Tablo 9.5. Örnek Ulaşım Ağının Performans Değerleri.....	405
Tablo 9.6a Düğüm Noktalarının Özellikleri.....	406
Tablo 9.6b Düğüm Noktalarının Özellikleri.....	407
Tablo 9.6c Düğüm Noktalarının Özellikleri.....	408
Tablo 9.7a Linklerin Özellikleri.....	409
Tablo 9.7b Linklerin Özellikleri.....	410
Tablo 9.7c Linklerin Özellikleri.....	411
Tablo 9.7d Linklerin Özellikleri.....	412
Tablo 9.8. 27-22 linkinin hız, yoğunluk, hacim ve kuyruk uzunluğu değerleri.....	414
Tablo 9.9. Ulaşım ağında kuyruklanma olan linkler ve kuyruk uzunlukları.....	415
Tablo 9.10. 27-22 linkinin hız, yoğunluk, hacim ve kuyruk uzunluğu değerleri.....	416
Tablo 9.11a Ulaşım ağında kuyruklanma olan linkler ve kuyruk uzunlukları.....	417
Tablo 9.11b Ulaşım ağında kuyruklanma olan linkler ve kuyruk uzunlukları.....	418

KARİYER: GENETİK ALGORİTMA VE OYUN TEORİSİ YAKLAŞIMLARI İLE ŞEHİRİÇİ TRAFİK YÖNETİMİ

Özet

Bu çalışmada, şehiriçi trafik kontrolü ve ulaşım ağı planlaması için Genetik Algoritma (GA) ve Oyun Teorisi (OT) yaklaşımlarını kullanarak Birleştirilmiş Oyun Teorisi ve Genetik Algoritmalar (BOTGA) modeli geliştirilmiş ve ŞEHİRİÇİ TRAFİK YÖNETİMİ ve PLANLAMASI (ŞETYÖP) için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu kapsamda, sabit ve hareketli sensörler kullanılarak BOTGA modelinde girdi olarak kullanılacak veriler derlenmiş ve Başlangıç-Varış (B-V) matrisleri, geliştirilen plaka eşleştirme algoritması ile oluşturulmuştur. BOTGA modeli yardımıyla şehir içi trafik kontrolü ve yönetimi için gerekli formülasyonlar ve uygulamaları verilmiştir. Trafik kontrol ve atama modellerinin iki-seviyeli formülasyonları tanımlanarak, BOTGA için gerekli akış şeması ile modelin çözüm adımları ve uygulaması açıklanmıştır. BOTGA için gerekli olan Quasi-Newton nümerik çözüm algoritması açıklanarak, oyun teorisinin izole sinyalizasyon kavşaklarında ve kavşak gruplarında nasıl uygulanabileceği verilmiştir. Ayrıca, İteratif Stackelberg Oyunu (İSO) ve İki Seviyeli Tek Adımlı Stackelberg Oyunları (İSTASO) ile yakıt tüketimi hesapları yapılmıştır. BOTGA modelleri üç farklı oyun oynanarak çözülmüş ve sabit trafik hacimleri için ağıdaki en iyi devre süresi değişim stratejisine karşılık yol kullanıcılarının tepkileri bulunmuştur. Gürültü modellemesi için faktör analizi kullanılmış ve etkili parametreler seçilmiştir. Geliştirilen gürültü modellerinin çok sayıda farklı değişkene bağlı olarak temsil edilebileceği görülmüştür. DYNASMART-P programı ile genişletilmiş çalışma ağına dinamik atama gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler ulaşım ağı üzerindeki sinyalizasyon kavşak parametrelerinin talebe göre yeniden düzenlenmesi gerektiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Genetik Algoritma, Oyun Teorisi, Trafik Yönetimi, Trafik Kontrol, Ulaşım Ağ Tasarımı.

Abstract

In this study, a new model, called as Combined Game Theory and Genetic Algorithm (CGTGA), is developed for Urban Traffic Control System Planning and Management (UTCSPM) using Genetic Algorithm (GA) and Game Theoretical (GT) approach. With this regard, data are obtained in order to be used in CGTGA using inductive loops and Origin-Destination (O-D) matrices are gained using algorithm of plate matching. The formulations and applications of CGTGA are given for UTCSPM. The bi-level formulations for traffic control and assignment models are defined and the flowchart of CGTGA, solution processes and applications are explained. The quasi-Newton numerical solution algorithm that is required for CGTGA, is explained and the applications of game theory on isolated signalized junctions are given. Moreover, the calculations of fuel consumption are made using Iterative Stackelberg Game (ISG) and Stackelberg games with bi-level and single step. CGTGA models are solved with three different games. The responses of drivers are found for variation strategy of best cycle time on network for fixed traffic volumes. Factor analysis is used for modeling of noise and the affected parameters are selected. It is shown that developed noise models can be represented depending on many different variables. Dynamic assignment is done by DYNASMART-P software on the

extended network. The analyses are shown that the parameters of signalized junctions should be rearranged according to demand on the network.

Keywords: Genetic algorithm, Game theory, traffic management, traffic control, network design.

I. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Giriş

ŞEHİRİÇİ Trafik YÖnetimi ve Planlaması (ŞETYÖP) mevcut altyapıyı en verimli ve etkili biçimde kullanmak için, trafik mühendisliği uygulamaları, toplu taşımacılık, fiyatlandırma politikaları, yasal düzenlemeler, enerji tasarrufu ve işletme konularında kısa ve uzun vadeli çözüm metotları geliştirir. ŞETYÖP'ün amaçlarından bir tanesi, trafik yöneticisi ile kullanıcılar arasındaki karşılıklı etkileşimi kullanarak, kullanıcıların performans algılamaları ile birlikte, ulaştırma sisteminin arz kısmını da içine alan ulaşım ağı tasarlamaktır. Fiziksel ulaştırma sistemi ile sosyo-ekonomik yapı dengeleme süreci karşılıklı etkileşim içerisinde bulunarak ulaşım ağındaki ayrıtlarda akımlar kümesini üretirler. Trafik yöneticisi, sistem performansını verimlilik ölçüm parametrelerine bağlı olarak belirler ve sisteme hedeflenen amaçlara ulaşabilmek için müdahale eder. Diğer taraftan kullanıcılar ise kendi çıkarlarını eniyileyecek biçimde ağa dağılarak trafik yöneticisinin beklediğinden farklı bir kompozisyon yaratabilirler. Bu şekilde ulaşım ağlarının yönetici stratejilerinin yol kullanıcılarının davranışlarını dikkate alacak şekilde planlanması, tasarımılandırılması Ulaşım Ağ Tasarımı (UAT) olarak adlandırılır. Ayrıca, UAT, ulaşım ağlarının yönlendirilebilmesi ve yönetilebilmesi için trafik mühendisleri ve işletimcilerin karşı karşıya kaldıkları problemlerin basitleştirilerek matematiksel çıkarımlarla çözümlenebilmesidir. Diğer bir deyişle UAT ile, ulaşım ağının kapasitesi veya işletim koşullarının iyileştirilmesi verilen herhangi bir bütçe içerisinde nasıl gerçekleştirilebilir sorusuna cevap vermeye çalışılır. UAT probleminin çözümü, yeterli ağ kapasitesini sürdürebilecek ekonomik kaynaklar ile bölgesel ekonominin gelişimi arasındaki ilişkilerin karşılıklı etkileşim içinde olduğu durumlarda artan bir öneme sahiptir.

Ulaştırma ağlarının performansları, bireysel seyahat edenlerin istekleri ile ulaştırma araçlarının fiziksel kapasiteleri arasındaki karşılıklı etkileşimin sonucu olarak belirlenir. Ekonomistlerin bakış açısı ile ise ulaştırma, bir ağıdaki trafik akımlarının ulaşım kapasitesi (arzi) ve ulaşım servisleri (talep) arasındaki dengelenme sürecidir. Çevresel bilinçlenme sürecinde doğal kaynakların tüketimi ve sistemlerin çevresel etkilerinin ön plana çıkması ile

ulaşımda insan hareketlerini ve erişebilirliği temel alan ve dışsal etkileri azaltıcı, daha verimli (maliyet, kaynak tüketimi, güvenlik) planlama ve uygulamalara yönelme eğilimi artmıştır.

ŞETYÖP, izole kavşak kontrolü ve Alansal Trafik Kontrolü (ATK) olmak üzere iki grupta incelenebilir. İzole kavşak kontrolünde trafik akımlarının kavşaklara yaklaşımı rastsal olarak kabul edilirken ATK’de ise trafik akım hareketleri kavşaklar arasında kümeli hareket olarak ele alınır. İzole kavşak kontrolü, bir veya birden çok sinyal gruplarının hangi fazlarda yeşil süre aldığı belirlendiği en üst seviye, bir veya birden çok trafik akımının benzer sinyal göstergelerini aldığı orta seviye, hangi trafik akımlarına geçiş hakkının verilmesi gerektiğinin belirlendiği en alt seviye olmak üzere 3 seviyede analiz edilebilir. Ulaşım ağındaki trafik kontrol parametrelerinin optimizasyonu ise izole kavşak optimizasyonu (sabit veya sabit olmayan devre süresi için yeşil sürelerin hesaplanması) ve alansal optimizasyon olmak üzere iki seviyede yapılabilir. ATK göz önüne alındığı zaman sinyalizasyon kavşaklarında tüm ağ için optimum devre süresi bulunmalıdır. ATK sistemi içerisine koordinasyona dahil olmayacak kavşaklar ile “yolver” kavşakları dahil edilebilir. ATK sistemi içerisindeki, her bir sinyalizasyon kavşağının faz yeşil sürelerinin hesabı izole kavşak optimizasyonu gerektirmektedir. ATK ile izole trafik kontrolü arasında matematiksel olarak geçiş sağlanarak faz yeşil sürelerinin hesaplanabilmesi için yeni matematiksel yöntemlerin bulunması gerekliliği vardır.

Trafik kontrolü ile yol seçimi arasında karşılıklı etkileşimin belirlenmesi mevcut ulaştırma sistemlerinin performanslarını artırmak için gereklidir. Ulaştırma mühendisliği açısından bakıldığında zaman ulaşım ağı ayrıntılarındaki trafik akımları kısa süreli olarak sabit kabul edilerek sinyal kontrol parametreleri optimum edilmeye çalışılır. Ulaşım planlamacıları gözüyle ise sinyal kontrol parametreleri sabit kabul edilerek ayrıt ve rota akımları trafik atama modelleri yardımıyla tahmin edilmeye çalışılır.

Trafik kontrol problemi zor ve karmaşık problemlerden birisi olduğu için, optimum çözümleri elde edebilmek için yeni yaklaşımlara gereksinim vardır. Bu karmaşıklık problemin matematiksel olarak formüle edilmesinin ve çözümünün zor olmasından kaynaklanmaktadır. Yol kullanıcı davranışlarının rastsallığı da problemin daha da karmaşık hale gelmesine neden olmaktadır. Yol kullanıcılarının kararlı davrandıkları kabulü ile Wardrop (1952), bu problemi Kullanıcı Dengesi (KD) kavramını ortaya koyarak çözmüştür. KD yaklaşımında yol kullanıcılarının ağ üzerindeki bilgisi mükemmel olarak kabul edilir. Fakat böyle bir

kabulün gerçekte uyuşmadığı açıktır. Bu sebeple ağ kullanıcılarının yol maliyetlerini farklı algıladığı kabulünü yapmak daha uygun olacaktır. Bu yaklaşım altında Stokastik Kullanıcı Dengesi (SKD) kavramı ortaya çıkmaktadır. SKD hakkında detaylı bilgi Sheffi (1985)'de bulunabilir. SKD ile trafik kontrol parametreleri, ulaşım ağ tasarımı için birleştirildiğinde problemin mevcut analitik matematiksel denklemlerle çözümü oldukça zor olmaktadır. Bu nedenle ağ tasarımında ve trafik yönetiminde yeni yöntemlere ve açılımlara gereksinim vardır. Oyun Teorisi (OT) ve Genetik Algoritma (GA) gibi sezgisel yöntemlerin ulaşım ağ tasarımında ve yönetilmesinde gerekli tasarımların ve yönetim stratejilerinin oluşturulabilmesi için kullanımının araştırılması gerekliliği ortadadır.

GA'lar yapay zekanın gittikçe genişleyen bir kolu olan evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturmaktadır. Adından da anlaşıldığı üzere GA'lar, Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek oluşturulmuştur. Herhangi bir problemin genetik algoritma ile çözümü, problemi sanal olarak evrimden geçirmek sureti ile yapılmaktadır. GA'ların özellikle mekanizma tasarımında çok iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bunlardan başka otomatik programlama, öğrenme kabiliyetli makineler, ekonomi, ekoloji, planlama, üretim hattı yerleşimi gibi alanlarda da uygulanmaktadır. Ayrıca dijital resim işleme tekniğinde de çokça uygulama alanı bulmuştur. Ayrıca, GA'lar kara kutu arama metotları olup Darwin'in doğal seçim prensibini kullanırlar. Yani en iyi birey yaşar prensibi üzerine kuruludur. GA'lar verilen herhangi bir problemi çözerken geniş bir çözüm kümesini tarayarak en muhtemel çözümleri elde etmeye çalışır. Bu sebeple klasik matematiksel yaklaşımlarla çözemediğimiz problemler için global optimumu bulurken daha gerçekçi bir metot olarak kabul edilebilir. Klasik metotlar genellikle amaç fonksiyonlarının analitik çözümleri olduğu zaman iyi performans sergilerken, GA'lar jenerasyon üzerine kurulu yapılarından dolayı süreksiz veya iyi tanımlanmamış fonksiyonları kolaylıkla çözümleyebilirler.

GA'lar üç temel operatörü kullanırlar: *Yeniden üretim*, *çaprazlama* ve *mutasyon*. GA içerisinde her bir nesil mevcut olan topluluktan yeni bir topluluk ortaya çıkarır. İçlerinden iyi olanlar gelecek nesil için kopya edilir, zayıf olanlar ise havuzda bırakılarak bir daha işleme tabi tutulmaz. *Yeniden üretim* operatörü, en uygun bireyleri (kromozomları) uygunluk fonksiyonuna bağlı olarak ve seçim operatörlerini (örneğin, turnuva (Goldberg ve Deb, 1991) vb.) kullanarak mevcut toplum içerisinde seçerler. Bu operatör işlemini tamamladıktan sonra

çaprazlama ve *mutasyon* operatörleri devreye girerek topluluk içerisindeki diğer manipulasyonları yaparlar.

Oyun Teorisi (OT), çok amaçlı sistemlerin denge durumlarını araştıran strateji süreçleri olarak tanımlanabilir. Oyun süreçlerinde her bir amacın bir kriteri olup, oyunlar ister kooperatif ister tamamlanmış olsun, oyunda amaç her bir stratejik oyunun kazanılması üzerine kuruludur. Her bir oyun denge durumuna ulaşarak sonlanacaktır. Oyunlarda her bir strateji çıktısının veya objektifin değerlendirilmesi; göz önüne alınan problemin durumuna bağlı olarak belirlenir. Sistemin çıktıları objektiflerin oyun içerisindeki rollerine bağlı olarak Pareto, Nash ya da Stackelberg denge durumları olabilir. Kooperatif Olmayan Oyun Kuramı (KOOK), davranışsal çalışmalar ile politik karar vericiler için iyi bir temel teşkil etmektedir. Birçok alanda uygulanan KOOK, ulaştırma literatüründe de yer bulmaktadır. KOOK çok amaçlı karar değişkenleri içerdiği için ulaştırma sistemlerinin analizinde güçlü bir metot olarak ele alınabilir.

Oyun olarak modellenen stratejiler, farklı ilgi alanları ve davranışları olan yol kullanıcı grupları ile yöneticilerin nasıl karar alacaklarının analizini içermektedir. Her bir grup ya da kişinin kazanım seviyesi sadece kişinin ya da grubun hareketine bağımlı olmayıp karşı grup ya da kişilerin stratejisi ile de ilgili olmaktadır. İster açık ister kapalı olsun oyunların matematiksel formülasyonları birbirlerine benzemektedir. Fakat formülasyonların genellikle amaç fonksiyonları ve çıktıları farklıdır. Ayrıca karar değişkenleri farklı amaç fonksiyonlarının bilgilerini içerebilirler. Oyunların tanımı ve formülasyonu için oyuncular ile birlikte alternatif stratejilerin ve amaç fonksiyonlarının tanımlanması gereklidir. Oyun sonuçları Nash ya da Stackelberg dengesi gibi sonuçlara ulaşırsa bir anlam ifade etmektedir, diğer bir deyişle problemin çözümü var demektir. Aksi takdirde çözüme ulaşılamamaktadır.

Literatürdeki mevcut çalışmalar ŞETYÖP sisteminin belirli kısımlarını çözmeye yönelmiştir. Sistemde etkili tüm kontrol parametrelerinin ve sürücü davranışlarındaki algılama hatalarının birlikte değerlendirilebileceği ve çözülebileceği *tek adımlı* bir tekniğin OT ve GA yaklaşımı kullanılarak çözümlenmesinin ulaşım ağ tasarımı açısından daha iyi sonuçlar vereceği beklenebilir. Böyle bir çalışmanın geliştirilmesi ŞETYÖP'ün uygulama ve planlama performansını artırabilir. Ayrıca, yol kullanıcı davranışlarını dikkate alacak şekilde şehir içi

ulaşım ağlarının trafik kontrol birimlerince dinamik olarak nasıl tasarımılandırılabilceğinin araştırılması ayrıca önem arz eden konulardan birisidir.

1.2. Problem

şETYöP çok sayıda parametreyi içerdiğinden oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Mevcut modeller ve çalışmalar kullanıcı ve alt yapının çeşitliliği göz önüne alındığında her koşulda istenen performansı verememektedir. Bunun yanında, ağın bir noktasında yapılan değişikliğin tüm ağ üzerindeki etkisini belirlemek de oldukça zor olmaktadır. Örneğin izole veya koordine bir kavşaktaki sinyal parametrelerine yapılan bir müdahale yol kullanıcılarının eğer yeterli alternatifleri varsa rota değiştirmelerine neden olmaktadır. Bu durum seçilen yeni rotadaki dengelerin değişmesi sonucunu doğurmaktadır. Ayrıca bakım onarım ve doğal afetler gibi ulaşım ağının yapısını değiştiren durumlar karşısında ağın seyahat süresi ve bağlantı güvenilirliğinin araştırmacılar tarafından bilinmesi gerekliliği vardır. Ağın bu gibi durumlarda kullanıcılar ile olan etkileşiminin net olarak ortaya konulması karmaşa anında erişebilirliğin st düzeye sağlanması açısından oldukça önemlidir.

Ulaşım ağlarında link trafik hacimleri ile sinyal parametrelerine bağlı olarak ağın performansının değişiminin hesaplanması karmaşık işlemlerin başında gelmektedir. Çünkü, verilen veya bilinen bir kontrol parametresine bağlı olarak link trafik hacimleri değişmekte, değişen link trafik hacimlerine karşı sinyal kontrol parametreleri de değişmektedir. Ayrıca, ulaşım ağ tasarımındaki karmaşık yapıyı, sistem ve kullanıcı dengesi birleştirildiği zaman mevcut analitik matematiksel denklemlerle zmmek oldukça zor olmaktadır. Bu zorluk aynı zamanda sistemin konveks olmayan yapısından da ileri gelmektedir. Bu nedenle ağ tasarımında ve trafik yönetiminde son yıllarda kullanılmaya başlayan fakat yaygın etkileri tam olarak ortaya çıkarılamayan OT ve GA yöntemleri kullanılarak, yeni açılımların ortaya konulması gerekliliği açıktır.

1.3. Amaç

Bu çalışmanın temel amacı, Şehir içi ulaşım ağlarında trafik kontrol ve yönetim tekniklerini uygulayarak veri toplanması, uygulanması, model geliştirilmesi ve performanslarının test edilmesiyle yol kullanıcıları ve sürücülerine düzgün akan bir trafik sağlamak amacı ile

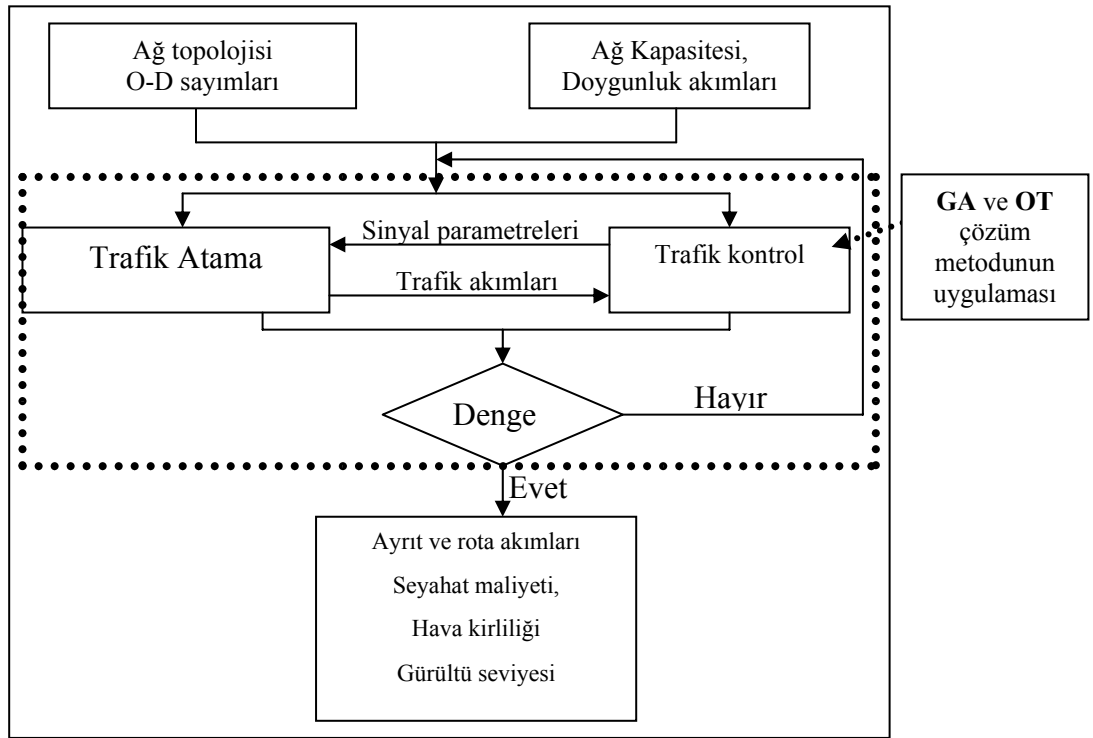
ŞEhiriçi Trafik **YÖ**netimi ve Planlaması (ŞETYÖP) yaklaşımı altında **B**irleştirilmiş **O**yun **T**eorisi ve **G**enetik **A**lgoritma, BOTGA modelleri geliştirmektir. Çalışmanın diğer amaçları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Trafik kontrol ve atama ile birlikte GA ve OT'nin literatürdeki uygulamaları hakkında çalışmalar yaparak geliştirilecek BOTGA modeli için alt yapı oluşturmak;
2. Sensör teknolojisi irdelenerek seçilen manyetik sensörlerin arazi üzerine uygulamasının yapılması ve elde edilen verilerin kamera verileri ile doğruluğunu test etmek. OT ve GA'ları ulaşım ağ tasarımına uygulayabilmek için araştırmalar yaparak, gerekli formülasyonları ortaya koymak;
3. Alansal trafik kontrolü ile izole trafik kontrolü arasında matematiksel olarak geçiş sağlanarak faz yeşil sürelerinin hesaplanması için formülasyon oluşturmak ve faz adımı optimizasyonu için çalışmalar yapmak;
4. BOTGA modeli için gerekli olan arazi verilerini toplamak, ulaşım ağı Başlangıç-Bitiş (B-V) matrisleri ile link trafik hacimlerinin denge koşulları altında belirlenebilmesi için ağ maliyet fonksiyonlarını elde edilen ölçümlerden yola çıkarak oluşturmak;
5. B-V matrislerinin elde edilebilmesi için yeni yöntemler denemek ve ölçümler sonucunda elde edilen verilerden yola çıkılarak geliştirilen link performans fonksiyonlarını hem trafik hacmini hem de ağıdaki sinyal kontrol parametrelerini içine alacak şekilde düzenlemek;
6. BOTGA modeli uygulaması sonucunda ulaşım ağlarındaki yakıt tüketimini modellemek ve enerji tasarrufu yapılabilirliğini araştırmak;
7. Trafik modelleri ve gürültü kirliliği arasındaki ilişkileri araştırarak gürültü modelleri geliştirmek;
8. Bireysel ve koordine sinyalize kavşaklar için gecikme modelleri geliştirerek ulaşım ağının performansını araştırmak;
9. Stachelberg oyununu içeren geliştirilmiş ağ tasarım modelini öncelikle teorik bir ulaşım ağı üzerine uygulamak ve modelin doğruluğu test edildikten sonra proje ekibi tarafından oluşturulan gerçek ulaşım ağı üzerine uygulanarak ağ tasarımı ve trafik yönetimi uygulaması yapmak;
10. BOTGA modeli için gerekli olan İteratif Stackelberg Oyunu (İSO) ve İki Seviyeli Tek Adımlı Stackelberg Oyunu (İSTASO) formülasyonları vermek ve gerçek boyutlu sinyalize ve sinyalize olmayan ulaşım ağına uygulamak;

11. DYNASMART dinamik trafik atama programı yardımıyla BOTGA modeli için oluşturulan ulaşım ağını genişleterek genel çıkarımlar elde etmek.

1.4. Yaklaşım

Projede ŞETYÖP altında BOTGA modeli, tek ve iki-seviyeli formülasyon teknikleri kullanılarak kontrol, yönetim ve kullanıcı parametreleri OT ve GA metodu ile bulunacaktır. Bu amaçla, UAT problemi, Duyarlılık Tabanlı ve Senaryo Tabanlı yaklaşımlar kullanılarak Quasi-Newton nümerik çözüm algoritması yardımıyla, İteratif Stachelberg (İSO) ve iki seviyeli tek adımlı Stachelberg oyunları (İSTASO) ile çözülecektir. Şekil 1.1.'de önerilen BOTGA modelinin genel akış şeması verilmiştir. Ayrıt, rota, seyahat maliyeti ve diğer parametreleri belirleyebilmek için öncelikle ulaşım ağı topolojisi belirlenerek, B-V sayımları ölçümlerle elde edilecektir. Ağ kapasitesi için arazi ölçümlerinden yararlanılacak ve doyumluk akım değerleri için mevcut veriler kullanılacaktır. Toplanan veriler ve bilgiler trafik atama ve trafik kontrol alt modüllerine girdi olarak verilerek SKD kavramı altında denge akımları, enerji tüketimi, optimum sinyal süreleri, hava kirliliği vb. çıktılar elde edilecektir.



Şekil 1.1. BOTGA modeli genel akış şeması

1.5. Veri Toplanması

Çalışmada kapsamında ihtiyaç duyulan veriler aşağıda sıralanmıştır:

1. Ağ topolojisini belirlemek için, şehir imar planına göre, seçilecek ulaşım ağındaki yolların fiziksel uzunluklarının ve yol geometrilerinin ölçümleri yapılmıştır.
2. B-V sayımları: Yapılmış olan kent ve yakın çevresi Ulaşım Ana Planı (UAP) ve araziden plaka eşleştirme yöntemi kullanılarak B-V sayımları elde edilmiştir.
3. Kavşaklardaki ve yol ağındaki trafik sayımları, araç cinsleri, takip aralıkları ve hızlar 16 kollu elektronik taşıt sayım cihazları kullanılarak ölçülmüştür.
4. Gürültü ölçümleri gürültü ölçer yardımıyla ölçülmüştür.
5. Anahtar kavşaktaki ve diğer kavşaklardaki link trafik hacim verileri, çift kamera sayımı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler yapılırken zirve saatler seçilmiş ve 14 saatlik trafik yüklerinin bulunması için zirve saat faktörü ve UAP verilerinden faydalanılmıştır. Derlenen verilerden faydalanarak her yönde linkleri kullanacak yaklaşım kollarındaki trafik hacmi kavşak dönüş oranlarına göre hesaplanmıştır. Ölçülmüş B-V sayımları ile birlikte değişen talepler altında ulaşım ağı yüklenmiş ve yüklemelerden sonra oluşan performanslar elde edilmiştir.

1.6. Kapsam

Çalışmanın II. Bölümünde şehir içi ulaşım ağı tasarımı, oyun teorisi ve genetik algoritmaların ulaşım ağlarına uygulamaları hakkında literatür çalışması yapılarak mevcut formülasyonlar açıklanmıştır.

III. Bölümde oyun teorisi ve formülasyonları ve çözüm algoritmaları açıklanmıştır. KOOT'nin temelini teşkil eden sıfır kazançlı (SK) oyunların formülasyonu verilmiştir. GA'ların tanımı, çözüm yöntemleri, GA ile trafik kontrol algoritmalarının formülasyonu, uygulama alanları ve örnek uygulamalar verilmiştir.

IV. Bölümde trafiğe ilişkin verilerin elde edilmesinde kullanılan sensör türleri ve sensörlerin hangi işlevlerle ne tür amaçlar için kullanılabilirleri açıklanmıştır. Proje kapsamında temin edilen sabit ve hareketli sensörlerle gerçekleştirilen arazi çalışmalarından elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Ayrıca, ağ tasarım çalışmalarına esas veriyi teşkil etmek amacıyla Başlangıç-Variş (B-V) sayımları gerçekleştirilmiş ve B-V matrislerinin GA'lar ile elde edilmesi için yeni bir model geliştirilmiştir.

V. Bölümde ulaşım ağ tasarımının farklı yöntemlerle yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan veriler derlendikten sonra ağın performansını etkileyen en önemli parametrelerden olan kavşaklar ve bunların toplam sisteme olan etkisi araştırılmıştır. Kavşak gecikme modelleri, ağ tasarım modelleri, çözümleri ve örnek uygulamaları verilmiştir. Ayrıca, duyarlılık tabanlı ve senaryo tabanlı ulaşım ağ tasarım formülasyonu ve örnek çözümleri verilmiştir.

VI. Bölümde ölçülmüş link trafik hacimleri kullanılarak B-V matrisi tahminleri yapılmıştır. B-V tahmini için gerekli olan maksimum entropi, genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi, ters modelleme ve çift seviyeli programlama tekniği ile GA çözümü verilmiştir. Gerekli formülasyonu ve link performans fonksiyonları verilen, üzerinde çalışılan ulaştırma ağındaki ölçülmüş zirve saat trafik akımları kullanılarak talep matrislerinin GA yöntemiyle tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, çalışma ağında link maliyet fonksiyonları konusunda literatür çalışması genişletilmiş ve yeni bir maliyet fonksiyonu geliştirilme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

VII. Bölümde gürültü üzerine literatür ve modelleme çalışmaları verilmiştir. Gürültü modelleri için ilk olarak hız ve hacim bileşenleri değerlendirmeye alınmış ve gürültü ölçümleri ağ içinde belirlenen kesitlerde yapılmıştır. Yolun geometrik yapısı, meteorolojik koşullar, trafik kompozisyonu vb. parametreler ilk modelleme çalışmalarında göz önüne alınamamıştır. Oluşturulan gürültü modellerine ek olarak daha kapsamlı çalışmalar yapılmış ve gürültü ölçümleri yapılan kesitlerdeki farklı özellikleri de dikkate alan modeller geliştirilmiştir. Elde edilen veriler çok değişkenli istatistiksel tekniklerden biri olan faktör analizi ile değerlendirilmiş ve etkili parametreler seçilmiştir. Geliştirilen gürültü modellerinin çok sayıda farklı değişkene bağlı olarak temsil edilebileceği ve elde edilen sonuçların başarılı olduğu görülmüştür.

VIII. Bölümde BOTGA modeli yardımıyla şehir içi trafik kontrolü ve yönetimi için gerekli formülasyonlar ve uygulamaları verilmiştir. Trafik modeli ve trafik atama modelinin iki-seviyeli formülasyonları tanımlanarak, BOTGA için gerekli akış şeması ile modelin çözüm adımları ve uygulaması açıklanmıştır. BOTGA için gerekli olan Quasi-Newton nümerik çözüm algoritması açıklanarak, oyun teorisinin izole sinyalizasyon kavşaklarında ve kavşak gruplarında nasıl uygulanabileceği verilmiştir. İteratif Stachelberg (İSO) ve iki seviyeli tek adımlı Stachelberg oyunları (İSTASO) ile yakıt tüketimi hesapları da verilmiştir. BOTGA modelleri üç farklı oyun oynanarak çözülmüş ve sabit trafik hacimleri için ağdaki en iyi devre süresi değişim stratejisine karşılık yol kullanıcılarının tepkileri bulunmaya çalışılmıştır. Yol kullanıcı tepkileri hesaplanırken ise ağ performansı eniyelenmeye çalışılmıştır. İkinci yöntem ise trafik atamasından elde edilen trafik hacimlerinin verilen kontrol stratejileri altında nasıl değiştiğinin hesaplanması ile ilgili olup bu kısımda Stackelberg oyunu oynanarak kontrol stratejilerinin ağ denge hacimlerini nasıl değiştirdiği ve değişen denge hacimlerine karşılık ise kontrol stratejilerinin nasıl değişmesi gerektiği hesaplanmıştır. Üçüncü kısımda ise kontrol stratejileri artırılarak yol kullanıcı tepkilerinin nasıl olacağı hesaplanmıştır. Sonuç olarak bu üç çözüm birbirleriyle karşılaştırılarak hangi kontrol ve yönetim stratejilerinin ağ performansını artırabileceği bulunmuştur.

IX. Bölümde genişletilmiş ağın yönetimine ilişkin ağ geliştirme çalışması ve bu ağdaki talep matrisinin belirlenerek trafik atama için alınan DYNASMART-P programının çalıştırılması gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında trafik atama ve sinyal kontrol problemlerinin çözümünü gerçekleştirebilen Transit 7F ve DYNASMART-P programları alınmıştır. DYNASMART-P programı iki ayrı ana programdan oluşmaktadır. İlk program ağ ve trafik bilgilerinin girildiği editör kısmıdır (DYNASMART-P Network Editor), ikinci bölüm ise girişi yapılan ağ üzerinde senaryolar yardımı ile ulaşım talebini ağa yükleyen, link ve ağın performansını belirlemeye yardımcı olan DYNASMART-P “Intelligent Transportation Network Planning Tool” adlı kısımdır. DYNASMART-P programı ile genişletilmiş çalışma ağı girilerek dinamik atama gerçekleştirilmiştir. Proje süresince çalışılan proje ağı genişletilmiş ve alansal trafik yönetimi için büyütülen ağda dış kordon, iç zonlar, talep matrisi vb. tüm veriler hazırlanmıştır. Genişletilen ağa ait kontrol parametreleri ve geometrik veriler toplanarak oluşturulan oyun teorisi algoritması geniş ağda çalıştırılmıştır. Çalışmanın genel sonuçları ve gelecekte yapılması öngörülen çalışmalar son bölümde verilmiştir.

II. BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

2.1. Giriş

Bu bölümde proje kapsamında bulunan konular ile ilgili literatür çalışması yapılmış ve bulgular irdelenmiştir.

2.2. Trafik Kontrol

Trafik sinyal kontrolü çok amaçlı bir optimizasyon süreci olarak tanımlanmakla beraber gecikme, kuyruk, kirlilik, yakıt tüketimi ve trafik çıktıları gibi parametrelerin ağ performansı olarak değerlendirilip ayrı ayrı veya birleştirilerek optimum edilmeye çalışılması olarak ifade edilebilmektedir. Parametrelerin ayrı ayrı veya birleştirilerek çözümü hem faz-tabanlı hem de grup-tabanlı olarak yapılabilmektedir.

Trafik sinyal kontrolü konusunda yapılan çalışmaların gelişimi otomobil teknolojisindeki gelişime paralel bir seyir izlemektedir. Otomobil kullanımının hızla artması sonucu trafik mühendisleri özellikle şehir içlerinde trafiğin etkin ve sabit bir hızda akmasını sağlamak için çeşitli metotlar denemektedirler. Mikroişlemcili kontrolörlerin gelişmesi bu alanda yapılan çalışmaları olumlu yönde etkilemektedir.

Şehir içi kavşaklarda trafik kontrolü izole kavşak kontrolü ve alansal trafik kontrolü olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. İzole kavşaklar dikkate alındığı zaman, trafik akımlarının kavşaklara yaklaşımı genellikle *düzensiz* olarak dikkate alınmaktadır. Alansal trafik kontrolünde ise kavşaklara yaklaşım mesafeye bağlı olarak *kümesel* akım (kütlesel) olarak değerlendirilmektedir. İzole sinyal kontrol işletimi genellikle üç seviyede değerlendirilmektedir. Bunlardan en üst seviyede adım (ya da faz) bulunur ki burada bir veya birden çok trafik akımına yeşil süre verilmektedir. Orta seviyede trafik akımları bulunmakta olup bunlara da benzer trafik işaretleri verilmektedir. En alt seviyede ise yeşil sürede geçme hakkı verilen trafik akımları bulunmaktadır. Trafik sinyal sürelerinin optimizasyonu ise iki seviyede yapılabilmektedir. İlk seviyede faz yeşil süreleri, devre süreleri ve faz adımlarının

hesaplandığı bireysel kavşak optimizasyonu, ikinci seviyede ise ağ genişliğinde yapılan optimizasyon işlemidir. İkinci seviyede birinci seviyeye ek olarak kavşaklar arası koordinasyon (yeşil dalga) parametresinin hesaplanması gerekmektedir.

Webster ve Cobbe (1966) tarafından yapılan çalışmalarla hız kazanan trafik sinyal kontrolü konusunda birçok teknik geliştirilmiştir. Bunlardan ilk ve en yaygın olarak kullanılan yöntem olan TRANSYT (Robertson, 1969) programı alansal trafik kontrolü için kullanılmaktadır. Daha sonraları TRANSYT programının farklı amaçlar doğrultusunda trafik kontrolü yapmayı sağlayan versiyonları geliştirilmiştir. Ayrıca, HCM, SIDRA (Akçelik, 1981), SCOOT gibi trafik kontrol programları da kullanılmaktadır. Bu programların tamamında trafik akımları ve sapan trafik miktarları sabit olarak kabul edilmektedir. Diğer taraftan trafik atama modelleri, sinyal sürelerini sabit almakta ve buna göre link akımlarını hesaplamaktadır. Bu durumun karşılıklı olarak birbirini etkilediği Allsop (1974) ve Gartner (1974) tarafından yapılan çalışmalarda belirtilmiştir.

Alansal ya da izole kavşak kontrolü matematiksel programlama teknikleri ile çözümlenebilmektedir. Bu teknikler iki sınıfa ayrılmaktadır: Birinci sınıfta faz yapıları, başlangıç koşullarında sabit ve bilinen olarak ele alınan kavşaklar arası koordinasyon parametresi (offset) ve fazlar için gerekli yeşil süreler ağ performansı en iyilenerek hesaplanabilmektedir. Bu yaklaşım faz tabanlı optimizasyon olarak adlandırılmaktadır. İkinci sınıfta ise, her bir gruptaki trafik akımları için gerekli olan yeşil süreler ve faz sıraları doğrudan doğruya gruplar arasındaki uyumsuzluklardan elde edilmektedir. Bu yaklaşım ise grup tabanlı yaklaşım olarak adlandırılmaktadır.

Sinyal parametrelerinin grup tabanlı yaklaşım ile optimizasyonu; sinyal değişkenlerinin grup olarak değerlendirilip karşılıklı uyumlu gruplara eş zamanlı olarak benzer sinyal göstergelerinin verilmesidir. Bu durumda karşılıklı uyumlu gruplar yeşil süre alırken uyumsuz gruplar arasında da minimum yeşil süre bulunmak durumundadır. Silcock ve Sang (1989) ve Silcock (1992) tarafından yapılan çalışmalarda izole kavşak sinyal kontrolünde grup tabanlı çözümün faz tabanlı çözüme göre sistem performansının iyileşmesi açısından dikkate değer avantajlar sağladığı belirtilmiştir. Grup tabanlı yaklaşımda sinyal kontrol değişkenleri; faz süreleri, faz sırası, faz yapıları, offset ve ağ devre süreleridir (Gullivan ve Heydecker, 1998; Allsop, 1992). Grup tabanlı yaklaşım ile sinyal parametrelerinin optimizasyonu uzun yıllardan

beri araştırılmaya devam edilmektedir. Heydecker (1996) yapmış olduğu çalışmada trafik sinyal parametrelerini iki seviyeli olarak ayrıştırmıştır; birinci seviyede grup-taban yaklaşımı kullanılarak izole kavşaklardaki sinyal parametreleri optimize edilmiş, ikinci seviyede ise birinci seviyede bulunan parametreler ağ bazında optimize edilmiştir.

Wong (1996) optimum sinyal parametrelerini elde etmek amacıyla grup tabanlı optimizasyon yaklaşımı ile TRANSYT modelini birleştirmiştir. Bu yaklaşımda grup tabanlı sinyal parametreleri matematiksel optimizasyon programı kullanılarak güvenlik kısıtlarına bağlı olarak çözülmüştür. Amaç fonksiyonu olarak kavşaklardaki durma sayıları ve gecikmenin ağırlıklı olarak birleştirilmesi ile elde edilen sistem performans indeksi (PI) kullanmıştır. Seçilen amaç fonksiyonunun hem faz tabanlı hem de grup tabanlı yaklaşımlarda kullanılabilmesi gösterilmiştir.

Sonuç olarak Alansal Trafik Kontrol (ATK) problemi çözüm yönteminden bağımsız olarak Denklem (2.1)'deki gibi formüle edilebilmektedir.

$\mathbf{A}(\boldsymbol{\psi}) \geq \mathbf{0}$ kısıtlarına bağlı olarak

$$\underset{\boldsymbol{\psi}}{\text{Min}} P(\boldsymbol{\psi}) \quad (2.1)$$

Burada; P ağ performans indeksi, \mathbf{A} kısıtlar matrisi olup \mathbf{A} 'nın formu kullanılan yaklaşıma göre değişiklikler gösterebilir (Allsop, 1992) ve $\boldsymbol{\psi}$ olası sinyal kümesidir. Denklem (2.1)'de verilen ifade Denklem (2.2)'de görüldüğü gibi genişletilebilir.

$$\sum_{a \in L} (W w_a D_a + K k_a S_a) \quad (2.2)$$

Burada $D_a = D_a^U + D_a^{ro}$ ve $S_a = S_a^U + S_a^{ro}$ sırasıyla a linkindeki gecikme oranı ve durma oranıdır.

2.3. Genetik Algoritmalar

Genetik Algoritma (GA), doğal seleksiyon ve genetikten yola çıkılarak oluşturulan araştırma ve optimizasyon işlemidir. Algoritma oluşturulurken, zincir yapıları arasından en iyi olanlar hayatta kalır ve her *nesilde* yeni yapay zincir kümeleri oluşturulur. GA rastgele arama tekniği olmasına rağmen, performansın artırılması için mevcut bilgilerden de yararlanmaktadır. GA uygulama kolaylığı, en aza indirilmiş problem kısıtlamaları ve global yaklaşım özellikleri nedeniyle mühendislik, enerji (Haldenbilen ve Ceylan, 2005; Ceylan ve Öztürk; 2004) ve ticaret alanında birçok probleme uygulanmaktadır. Goldberg (1989) GA'ların geleneksel matematik tekniklerinden farkını şu başlıklarla açıklamıştır.

- GA 'lar parametrelerin kendisiyle değil, parametre kümesinin kodlarıyla çalışmaktadır.
- GA'lar araştırmayı tek bir nokta yerine toplum aracılığıyla yapmaktadır. Geleneksel noktasal araştırma metotları, örneğin tepe-tırmanma (HC) metodu yerel optimum noktalarına takılabilir. Ancak GA' lar zincirlerle ifade edilen toplumda çalıştığından dolayı birçok paralel zirve söz konusu olduğu zaman hatalı yerel optimuma takılma olasılığı azalmaktadır.
- GA'lar amaç fonksiyon değerlerini kullanır ve genellikle türev veya yardımcı bilgiler kullanmaz. Bu özellik GA' ların kullanım kolaylığını artırmaktadır.
- Deterministik kurallar yerine olasılık tabanlı geçiş kuralları kullanılır.

GA'lar, geleneksel araştırma tekniklerinden farklı olarak *toplum* denilen rastgele çözüm kümesi ile çalışmaya başlarlar. Toplumdaki her bireye *kromozom* denir ve problem için bir çözümü temsil eder. Her bir kromozom semboller zinciri olup zorunlu olmamakla beraber genellikle ikili bit zinciri şeklinde ifade edilmektedir. Kromozomlar, *nesil* denilen ardışık iterasyonlar ile ortaya çıkarlar. Belirli bir uygunluk ölçütüne göre, her nesilde kromozomlar değerlendirilir. Bir sonraki nesili oluşturacak yeni çocuklar;

- Kromozomu mutasyon operatörü ile modifiye etmek ve,
 - Mevcut nesildeki kromozomları çaprazlama operatörü ile birleştirmek
- yollarından herhangi biri yada her ikisi kullanılarak oluşturulmaktadır. Yeni nesillerin oluşturulması;

- Uygunluk değerine göre belirli ebeveyn ve çocukların seçilmesi ve,
- Diğerlerinin reddedilmesi böylece toplum büyüklüğünün sabit kalması yoluyla olmaktadır.

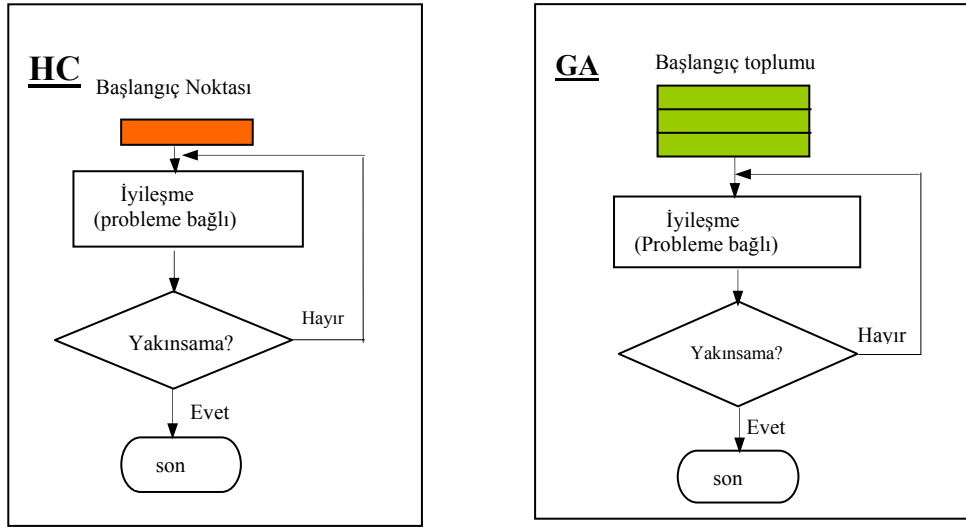
GA'larda amaç fonksiyonu, birçok nesilden sonra optimum yada optimuma yakın bir değere yakınsamaktadır. GA, olasılıklı algoritmalar sınıfına girmesine rağmen direkt ve stokastik unsurları birleştirebilme yeteneğinden dolayı rastgele arama algoritmalarından oldukça farklı olup daha etkilidir. Doğrudan arama metotlarından biri olan HC tekniği sinyal optimizasyonu probleminde yaygın olarak kullanılmaktadır. HC, iterasyon ile iyileştirme metodu olarak literatürde anılmaktadır. Bu metotta herhangi bir başlangıç noktası belirlenmekte daha sonra bu noktaya komşu bir başka nokta belirlenmek suretiyle aramaya devam edilmektedir. Belirlenen yeni nokta daha iyi bir amaç fonksiyonu değeri veriyorsa geçerli nokta bu nokta olarak kaydedilmektedir. Daha fazla iyileşmenin söz konusu olmadığı durumda HC iterasyonu sona erdirilmektedir.

Şekil 2.1'de noktadan noktaya arama ve toplum tabanlı algoritmaların karşılaştırılması verilmiştir. Noktadan noktaya yaklaşım ile hatalı yerel optimum değerine yakalanma riski bulunmaktadır. HC, yalnızca yerel optimum değerler yakalamakta ve bu değerler seçilen başlangıç noktasına bağlı olmaktadır. Ayrıca, bulunan global optimum çözümün oransal hatası bilinmemektedir. HC' nin bu yetersizliğini en aza indirmek için birçok farklı başlama noktası ile tekrarlanması gerekmektedir. Diğer taraftan GA'lar potansiyel çözümler ve bu çözümler arasında bilgi değişimini sağlayarak çok yönlü arama sağlarlar. Bu özellikler GA'lara kolaylık, dinamiklik ve globalite katmaktadır. Basit bir GA döngü diyagramı Şekil 2.2'de verilmiştir. NV büyüklüğünde bir başlangıç popülasyonu parametrelerin rastgele seçimi ile belirlenmekte ve her parametre, bireyin kromozomlarını temsil etmektedir. Bireylerin her biri kromozomlarının etkisine göre bir uygunluk derecesine atanmaktadır.

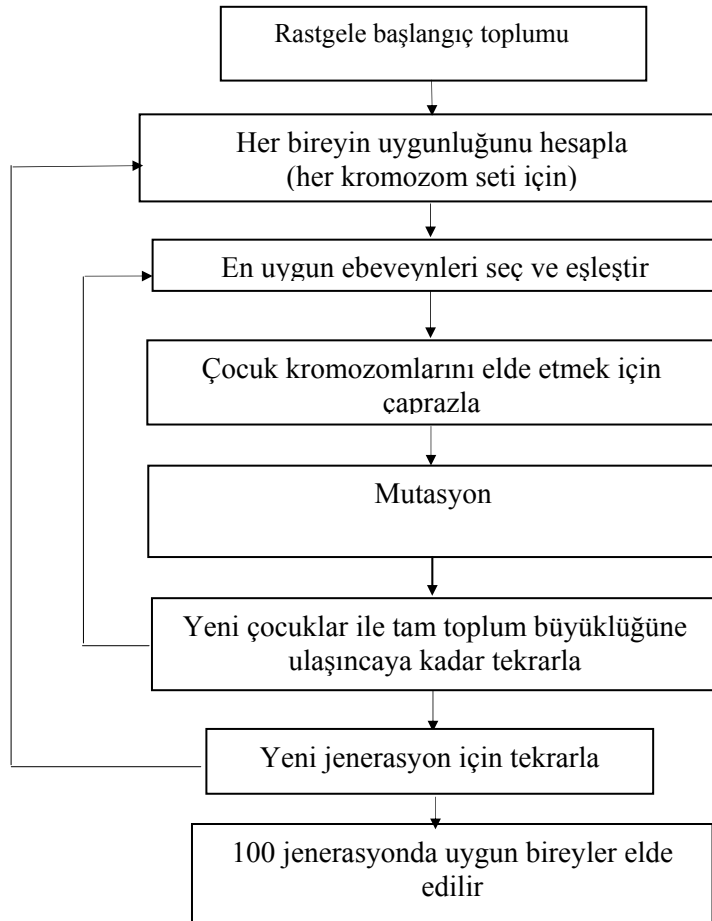
GA'larda bir sonraki nesili oluşturmak için;

- Seçim
- Çaprazlama
- Mutasyon

operatörleri kullanılmaktadır.



Şekil 2.1 Tek nokta (HC) ve toplum tabanlı yaklaşım (GA) karşılaştırması



Şekil 2.2 GA'nın Mantıksal Gösterimi

Bundan sonraki nesilleri oluşturmak için iyi ebeveynler eşleştirmek için seçilir ve zayıf olanlar ölür. Eşleşen ebeveynler, kromozomlarının karışımından oluşan kromozomlara sahip çocuklar üretirler. Burada, çocuğun bir ya da birden çok kromozomunun eşleştirilmiş olma olasılığı bulunmaktadır. Eşleştirme ve çocuk üretimi, NN büyüklüğünde bir toplum oluşuncaya kadar sürer. Güçlü ebeveynlerin daha uygun çocuk nesli oluşturacağı ve bu şekilde, toplumun ortalama uygunluk derecesinin her nesilde biraz daha artacağı düşüncesi bulunmaktadır. Her çocuğun uygunluk derecesi belirlenir ve daha uygun bireyler elde edilinceye kadar seçim-çaprazlama-mutasyon işlemleri tekrarlanır. Daha önceden belirlenmiş olan bir nesil sayısına ya da yakınsama kriterine ulaşıncaya nesil üretimi sonlandırılır.

Problemin potansiyel çözümleri için kromozom kümelerinin oluşturulmasında karar değişken tipleri, grey kodu, permütasyon kodu, kodlama işlemleri rol oynamaktadır. Çok değişkenli sinyal kontrol problemlerine uygulama kolaylığından dolayı projede ikili kodlama sistemi kullanılmıştır.

2.3.1. Sinyal kontrolünde GA Uygulaması

Goldberg (1989)' e göre farklı mühendislik problemlerinin çözümünde GA'ların kullanımı bilim adamları tarafından oldukça ilgi görmektedir. Trafik sinyal optimizasyonunda ilk GA uygulaması, yeşil süre ve ortak devre süresinin *açık* karar değişkeni, ofset değişkeninin ise *kapalı* karar değişkeni olduğu, sabit akımlı dört kavşak üzerine yapılmıştır (Foy ve diğ., 1992). Optimizasyon sürecinde, alternatif çözümleri, gecikme değerinin minimizasyonu ile değerlendiren mikroskobik bir simülasyon modeli kullanılmıştır. Sonuçlar GA kullanımının sonuçları iyileştirdiğini göstermiş ve GA'ların sinyal sürelerinin optimizasyonunda kullanılabilecek bir araç olduğunu ortaya koymuştur. Ancak sonuçlar diğer optimizasyon metotları ile elde edilebilecek sonuçlarla karşılaştırılmamıştır. Ayrıca çalışmada GA modeli, kavşaklar arasında açık ofset olmayan iki fazlı basit bir duruma da uygulanmıştır. Modelin verimliliğinin ortaya konulması için gerçek örneklere uygulanması gerekliliği ortaya konmuştur. Çalışmadan elde edilen bir başka sonuç ise, geleneksel kontrol stratejilerine kıyasla, GA'ların daha zor problemleri çözebileceği yönündedir.

Hadi ve diğ., (1993) yaptıkları çalışmada trafik kontrol probleminin çözümü için GA ve HC metotlarını birlikte kullanmışlardır. Çalışmada, sinyal sürelerinin optimizasyonu için GA

modeli TRANSYT-7F ile birlikte kullanılmıştır. Faz sıralamasının optimizasyonu GA kullanılarak, referans çizelgesi ve ağın ortak devre süresini dikkate alarak yapılmıştır. Amaç fonksiyonu olarak sistem performans indeksi kullanılmıştır. Sonuçlar, çalışılan ağın mevcut sinyal süreleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada GA modelinin TRANSYT ve HC ile birlikte, sinyal parametrelerini optimize edebileceği sonucu ortaya konulmuştur.

Clement ve diğ., (1997) GA yaklaşımını kullanarak geliştirdikleri *Cabal* modelini izole kavşaklara uygulayarak sistem performansını arttırmayı amaçlamıştır. Uygulamada, kirlilik, emisyon, yakıt kullanımı, üretimin maksimizasyonu, gecikme ve kuyrukların minimizasyonu kriterleri dikkate alınmıştır. Çalışmada Akçelik (1981) tarafından geliştirilen gecikme fonksiyonu amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. *Cabal* modeli, 5 kollu bağımsız bir kavşakta denenmiş ve modelin izole bir kavşağın sinyal süreleri optimizasyonunda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Sung ve diğ., (1997) faz tabanlı yaklaşımla alansal trafik kontrolü probleminin çözümü için GA metodunu uygulamışlardır. Farklı faz kombinasyonları denenmiş ve uygulanabilir kombinasyonlar TRANSYT trafik modeline aktarılmıştır. Uygunluk fonksiyonu sistemin performans indeksi olarak seçilmiştir. GA algoritması 7 adet sinyal kontrollü kavşağın bulunduğu ağa uygulanmış ve GA' nın iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Chan ve Wong (1999) sabit akımların varlığı durumunda sinyal süresi optimizasyonunda GA metodunu kullanmışlardır. Sinyalize olarak kontrol edilen ağın performansının değerlendirilmesinde TRANSYT trafik modeli kullanılmıştır. Sinyal süreleri ikili zincirler şeklinde gösterilmiş ve elde edilen sonuçlar HC metodu ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak GA metodunun kullanılması ile sistem performansında önemli ölçüde iyileşme sağlandığı görülmüştür.

2.3.2. GA'ların Ağ Tasarım Problemlerine Uygulanması

Ağ tasarım problemi için, denge akımlarına bağlı olarak sinyal parametrelerinin optimum değerlerinin belirlenmesi Lee ve Machemehl (1998) ve Cree ve diğ., (1999) tarafından belirtildiği gibi GA yaklaşımı ile yapılabilmektedir. Amaç fonksiyonu yeşil süre ve kullanıcı dengesi (KD) link akımlarının fonksiyonu olarak seçilebilmektedir. GA uygulaması ve iki-

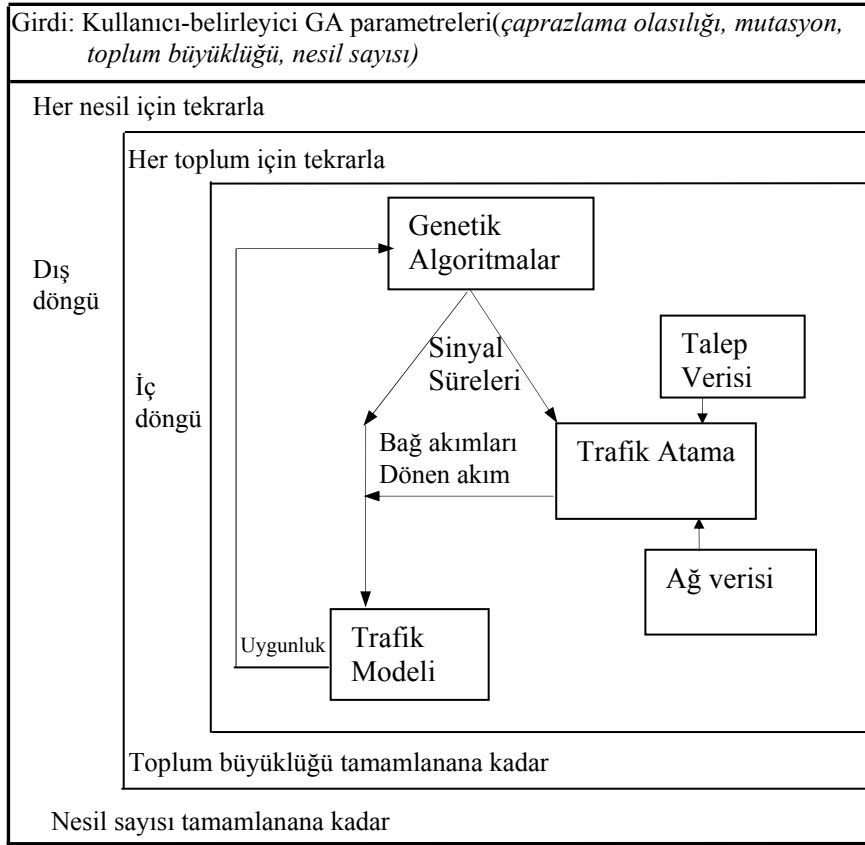
seviyeli (Yang ve Yagar, 1994) KD ve Stokastik Kullanıcı Dengesi (SKD) altındaki ağ tasarım problemi ile ilgili farklı yaklaşımlar Yin (2000), Ceylan (2002), Ceylan ve Bell (2004a; 2004b; 2004c; 2005) tarafından önerilmiştir. Çalışmalarda linklerdeki denge akımlarının sinyal parametreleri ile olan ilişkisi hesaba katılmış ve KD ve SKD ataması formülasyonları kullanılarak denge akımları elde edilmiştir. Amerikan Karayolları Bürosu (BPR) tarafından önerilen link maliyet fonksiyonu kullanılmıştır. Algoritma performansı ve yakınsaması, hassaslık-analiz-algoritması (SAB) ile karşılaştırılmıştır. Önerilen algoritma ile farklı yakınsama davranışları elde edilmekle beraber, SAB algoritması ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Alansal trafik kontrol problemi için ilgili denge link akımları ile GA uygulaması şu şekildedir;

- *Adım 0.* Üst seviye probleminin sinyal düzenleme değişkenini, ψ , sonlu bir zincire kodla;
- *Adım 1.* Başlangıç popülasyonunu oluştur ve $k=1$;
- *Adım 2.* Alt seviye problemini çözerek uygunluk fonksiyonunu hesapla. Amaç fonksiyonunun uygunluğuna göre popülasyon üret;
- *Adım 3.* Çaprazlama ve mutasyon işlemlerini uygula;
- *Adım 4.* Eğer k =en büyük jenerasyon sayısı ise, en yüksek uygunluk değerine sahip bireyi optimal sonuç olarak seç ve dur; değilse, $k=k+1$ alarak Adım 2'ye geri dön.

2.3.3. Şehirçi Ağ Tasarım Probleminin Genel Çerçevesi

Sürücülerin yol güzergah seçimlerindeki davranışlarının belirsizliği trafik mühendislerinin uygun optimizasyon tekniklerinin kullanımını sınırlamaktadır. HC gibi bilinen bazı tekniklerle yapılan çözümde probleme yeni bir kontrol parametresinin eklenmesi problemin karmaşıklığını artırmaktadır. Bu durum denge atamalı ya da atamasız alansal trafik kontrol probleminin konveks olmayan yapısından kaynaklanmaktadır. Ağ tasarım probleminin konveks olmayan yapısının getirdiği problemlerin üstesinden gelebilmek için, GA ile trafik kontrol ve SKD altında trafik atamasının entegrasyonu Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 GA, trafik kontrol ve trafik atamanın entegrasyonu

Ağ tasarım probleminin çözümünde, genellikle denge akımlarının bulunması sinyal sürelerine bağlı alt-seviye problemi olarak ele alınarak kısıtlı bir optimizasyon problemi olarak formüle edilmektedir. İki-seviyeli programlama probleminin, doğrudan ya da SAB ile çözümündeki yaklaşımlar, kısıtlı optimizasyon problemi olarak düşünülebilmektedir. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi, GA, hem trafik atama süreci hem de trafik kontrolü için olası bir sinyal kümesi sağlar. Linklerdeki denge akım değerlerine, GA’ nın sinyal süreleri ile karar verilmekte ve ağ performans indeksi, denge akımları ve sinyal süreleri ile hesaplanmaktadır. Böylece, alansal trafik kontrolünün optimizasyon süreci sırasında sinyal süreleri ve ilgili denge akımları üzerinde kısıtlar bulunmamakta, yalnızca güvenlik nedenlerinden dolayı sinyal süre kısıtları bulunmaktadır.

2.4. Trafik Atama

Trafik atamasının altında yatan davranışsal mekanizma rota seçim süreci olarak ifade edilmektedir. Yol kullanıcıları Başlangıç-Variş (B-V) çiftleri arasında seyahat ederlerken bazı

karar parametrelerine bağılı olarak rotalarını seçeceklerdir. Ayrıca atamadaki amaç, verilen B-V çiftleri, seyahat oranları, ağ yapısı ve link maliyet fonksiyonu için link ve rota akımlarının bulunmasıdır. Her kullanıcı B-V arasındaki süreyi en aza indirmek isteyeceğinden her kullanıcının link maliyetlerini algılamasına bağılı olarak çözüm değişkenlik gösterecektir. Belirlenen seçim kuralına göre denge durumunda rota akımları B-V arası yolculuk süreleri eşit olacak şekilde ortaya çıkabilmektedir. Genellikle kullanılan hatlardaki yolculuk süresi kullanılmayanlara eşit veya daha az olmaktadır. Bu durumda ağ kullanıcı dengesi altında hizmet veriyor denilmektedir. Bundan sonra hiç bir kullanıcı rotasını değiştirerek yolculuk süresini azaltamaz (Wardrop, 1952).

Her bir B-V çifti için sürücüler seçecekleri güzergahlarda trafiğin sıkışık olduğunu öngörerek her kullanıcının aynı sürede bitişe ulaşacağını düşünürler. Bu durum kullanıcı dengesi ataması (KD) olarak adlandırılır ve KD'nin ilkeleri Wardrop (1952) tarafından aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

“Denge koşulları altında, trafik, birbirine eşit ve maliyeti düşük sıkışık hatlar oluştururken, kullanılmayan, eşit ve yüksek maliyetli hatlar oluşturur.”

Yukarıdaki tanımlama Wardrop'un ilk ilkesi olarak bilinir ve her bir kullanıcının yolculuk maliyetini en aza indirmeye çabasını tanımlamaktadır. Dengedeki link akımları ve eşleşen yolculuk süreleri verilen B-V yolculuk oranına göre bir matematiksel program çözümü ile hesaplanabilmektedir. Kullanıcı dengesi koşullarını sağlayan *eşdeğer matematiksel program* ilk olarak Beckman ve diğ. (1956) tarafından formüle edilmiştir. Burada eşdeğer matematiksel problemin tekil çözümünün bulunması tüm kısıtların sağlanması koşulu ile sağlanabilmektedir. Aşağıda, kullanıcıların yol kullanım maliyetlerini benzer şekilde algıladıkları Deterministik Kullanıcı Dengesi (DKD) ile maliyet algılamayı yumuşatan SKD bağıntıları açıklanmıştır.

2.4.1. DKD Formülasyonu

Beckman ve diğ. (1956)'ne göre DKD probleminin çözümü için eşdeğer matematiksel program aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
\sum_{p \in P_w} h_p &= t_w, \quad \forall w \in W \\
\sum_{w \in W} \sum_{p \in P_w} h_p \delta_{ap} &= q_a, \quad \forall a \in L \\
h_p &\geq 0, \quad \forall p \in P_w, \quad \forall w \in W \text{ kısıtlarına ba\u011flı olarak} \\
\text{Min}_q Z(q) &= \sum_{a \in L} \int_0^{q_a} c_a(x) dx \tag{2.3}
\end{aligned}$$

Denklem (2.3)'te kullanılan notasyonların ve di\u011fer kısımlarda kullanılacak olan notasyonların a\u00e7ıklamaları Ek 1'de verilmi\u015ftir.

2.4.2. SKD Altında Trafik Atama

SKD ilkeleri Sheffi (1985) ve Bell ve Iida (1997)'nin \u00e7alı\u015fmalarında detaylı bir \u015ekilde a\u00e7ıklanmı\u015ftır. SKD altında kullanıcıların rota algılamalarındaki farklılıkların *de\u011fi\u015fim e\u011frisi* rota maliyetlerindeki farklılıklara g\u00f6re olu\u015fmaktadır. SKD'nde, DKD'den farklı olarak bazı kullanıcılar denge durumunda y\u00fcksek maliyetli rotaları se\u00e7ebilir. Maliyet e\u011frisi, rotalar ile rotaların g\u00f6receli maliyetleri arasındaki trafik b\u00f6l\u00fcmelerini verir. E\u011frinin bi\u00e7imi maliyet fonksiyonlarını artıracak \u015ekilde d\u00fczg\u00fcnd\u00fcr ancak de\u011fi\u015fim e\u011frisine zıt do\u011frultudadır. Ayrıca SKD iki maliyet e\u011frisinin kesi\u015himindeki nokta olarak tanımlanmaktadır.

SKD: *“Her bir kullanıcı, en d\u00fc\u015f\u00fck “algılanan” yolculuk maliyetini dikkate alarak rota se\u00e7imini yapar; ba\u015fka bir deyi\u015fle stokastik kullanıcı dengesi altında hi\u00e7 bir kullanıcı daha d\u00fc\u015f\u00fck “algılanan” maliyetli rotayı kullanmaz ve b\u00f6ylece her bir kullanıcı kendi rotasını de\u011fi\u015ftirmez (Ortuzar ve Willumsen 1994).”*

Stokastik ve Wardrop kullanıcı dengesi arasındaki fark, SKD modelinde her kullanıcı di\u011ferlerinin d\u00fc\u015f\u00fcnd\u00fc\u011fu ortak yolculuk maliyetini dikkate almak yerine kendine \u00f6zg\u00fc bir yolculuk maliyeti tanımlar. Stokastik atama, kullanıcının maliyet konusundaki algılama \u00e7e\u015itlili\u011fini ele alabilme yetene\u011fine sahiptir. Bu durum, belli bir rota \u00fczerindeki algılanan maliyetin, kullanıcıların arasında da\u011fıtılmı\u015f rastgele bir de\u011fi\u015ken olarak dikkate alınması ile

gerçekleştirilmekte ve her bir kullanıcı için farklı maliyetler modellenebilmektedir. SKD çözümünde olasılık tabanlı seçim modelleri kullanılarak, B-V talebi rotalara atanmaktadır.

Yol kullanıcıları özellikle şehir içlerinde algılamış oldukları yol maliyetlerine göre B-V çiftleri arasındaki rotalar arasında seçim yapabilmektedirler. Algılama farklılıklarını temsil eden SKD ataması şehir içi trafik ağ tasarımı için daha uygun bir çözüm olarak nitelendirilmektedir. Daganzo ve Sheffi (1977)'nin çalışmalarında, SKD atama modeli ile, sürekli kullanıcıların algılama farklılıkları ile Wardrop dengesini kurmaya çalışmışlardır. Daganzo ve Sheffi (1977)'ye göre SKD atamasında “*yol kullanıcıları karşılıklı olarak rota değişimi yapıldığında maliyetlerinin iyileşmediğine inanırlar*” şeklinde tanımlanmaktadır.

SKD ataması için yaygın olarak kullanılan atama modelleri Logit ve Probit modellerdir. Bu metotlarla ilgili detaylı bilgiler Dial (1971), Bell ve Iida (1997), Sheffi (1985), Ortuzar ve Willumsen (1994) ve Ceylan (2002)'de bulunabilir.

2.5. Şehiriçi Ağ Tasarımı

Şehiriçi yol ağlarında, sinyalizasyon sistemleri ile bireysel yol kullanıcıları arasında karşılıklı bir etkileşimin olduğu bilinmektedir ve ilk olarak Allsop (1974) ve Gartner (1974) tarafından matematiksel olarak ifade edilmiştir. Bu etkileşim *lider-takipçi* yada Stackelberg oyunu çerçevesi içerisinde değerlendirilebilmektedir. Burada; lider arz eden, yol kullanıcısı ise takip eden şeklinde ifade edilmektedir (Fisk, 1984). Eğer yol kullanıcıları Wardrop (1952)'un ilk prensibine göre hareket ederlerse probleme “*denge ulaşım ağ tasarımı*” denilmekte ve konveks olmayan bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

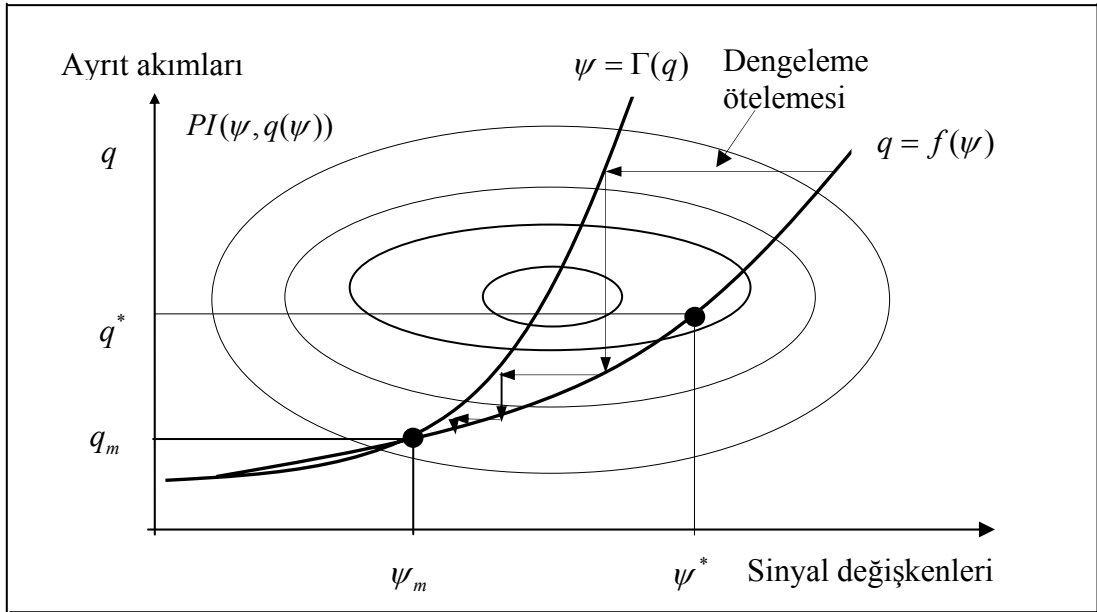
En iyi ağ performansına ulaşabilmek için denge akımları ile sinyal parametrelerinin optimum değerleri sistemin performans indeksi minimize edilerek elde edilebilmektedir. Bunun için alansal trafik kontrolü altındaki link akımları ile sinyal parametrelerinin değişimlerini ifade eden link maliyet fonksiyonlarının bilinmesi ve matematiksel olarak bulunması gerekir. Verilen sinyal parametreleri için ψ , $\psi \in \Omega_0$; SKD yaklaşımı altında eşdeğer matematiksel model aşağıda verilen formülasyona dönüştürülebilir.

$$\mathbf{t} = \Lambda \mathbf{h}(\boldsymbol{\psi}), \quad \mathbf{q}(\boldsymbol{\psi}) = \delta \mathbf{h}(\boldsymbol{\psi}), \quad \mathbf{h}(\boldsymbol{\psi}) \geq \mathbf{0} \text{ kısıtlarına ba\u011flı olarak}$$

$$\text{Min}_q Z_1(\mathbf{q}, \boldsymbol{\psi}) = -\mathbf{t}^T \mathbf{y}(\mathbf{q}, \boldsymbol{\psi}) + \mathbf{q}^T \mathbf{c}(\mathbf{q}, \boldsymbol{\psi}) - \sum_{a \in L} \int_0^{q_a(\boldsymbol{\psi})} c_a(\boldsymbol{\psi}, x) dx \quad (2.4)$$

Denklem (2.4)'deki ifadeye g\u00f6re \u00e7\u00f6z\u00fcm, verilen zaman periyodu i\u00e7erisinde B-V \u00e7iftleri, $w \in W$, ve sabit talep, \mathbf{t} , i\u00e7in denge akımları ve sinyal parametrelerine, $\boldsymbol{\psi} \in \Omega_0$, ba\u011flıdır. Bu nedenle sinyal s\u00fcrelerindeki herhangi bir de\u011fi\u015fim denge akımlarını etkileyecek ve bu durum seyahat s\u00fcrelerinin de\u011fi\u015mesine sebep olacaktır.

Dengedeki a\u011f i\u00e7in en iyi sistem performansı se\u00e7ilen ama\u00e7 fonksiyonunun karar parametrelerine ba\u011flı olarak optimize edilmesiyle elde edilebilmektedir. \u015eekil 2.4'de a\u011f performansı ile karar parametreleri arasındaki kar\u015filıklı etkile\u015fim ve m\u00fcmk\u00fcn optimum \u00e7\u00f6z\u00fcm noktası verilmi\u015ftir. Sanal maliyet e\u011frileri kapalı e\u011friler \u015feklinde temsil edilmi\u015ftir. $\boldsymbol{\psi}$ sembol\u00fc ile g\u00f6sterilen e\u011fri (sistem dengesi) trafik akımlarına ba\u011flı olarak en iyilenen sinyal parametrelerini, q ile g\u00f6sterilen e\u011fri (kullanıcı dengesi) ise sinyal kontrol parametrelerine ba\u011flı olarak elde edilen trafik akımlarını g\u00f6stermektedir. $(\boldsymbol{\psi}_m, q_m)$ \u00f6teleme dengesi $(\boldsymbol{\psi}^*, q^*)$ ise optimum nokta di\u011fer bir deyi\u015fle bulunması gereken dengeyi g\u00f6stermektedir.



\u015eekil 2.4 Ula\u015fım a\u011fı tasarımımda atama-sinyalizasyon problemi

Ağ tasarım probleminin çözümünde kullanılan algoritmalar Ceylan (2002), Ceylan ve Bell (2004a; 2004b, 2005)'de bulunabilir. Bu çözüm algoritmalarından olan Genetik Algoritmalar ve Oyun Teorisi sonraki bölümde verilmiştir.

2.6. Oyun Teorisi

Anlaşmazlık ve çatışmalarla dolu olan yaşamda strateji oyunları, savaş politikaları, siyasi seçim kampanyaları, birbirleri ile yarışan firmaların reklam ve pazarlama kampanyaları rekabet dolu yaşamdan kesitler oluşturmaktadırlar. Tüm bu durumların temelde ortak noktası, rekabetin sonucunun tarafların stratejilerinin oluşturduğu kombinasyonlara bağlı olmasıdır.

Oyun kuramı, rekabete dayalı stratejik karşılaşmaları modellemeye yarayan matematiksel bir araçtır. Özellikle ekonomi alanında ihale düzenlemelerinden rekabet çözümlemelerine kadar geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Aynı zamanda günümüzde Oyun Teorisi (OT) yaklaşımı ulaşım ağlarının tasarımında kullanım alanı bulmaya başlamıştır (Bell, 2000; Aslan, 2002).

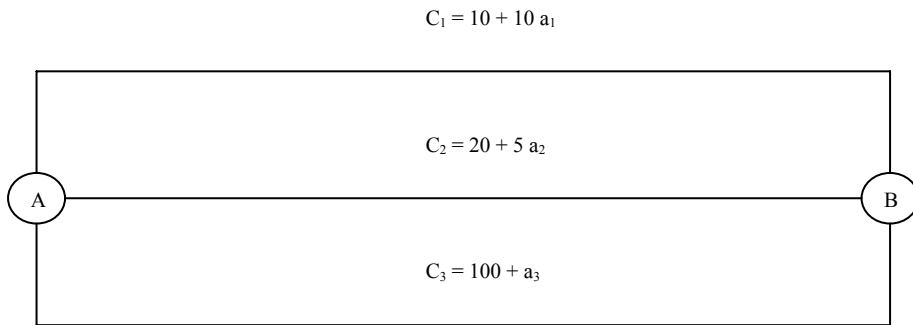
Trafik atama ve trafik kontrol problemi, OT yaklaşımı kullanılarak Villiger (2000) tarafından modellenmeye çalışılmıştır. Çalışmada, trafik kontrol parametrelerinden sadece yeşil süre seyahat maliyetlerinin bir fonksiyonu olarak ele alınmış kullanıcı dengesi altında formülize edilen trafik atama problemi değişik oyun stratejileri altında çözülmüştür. Çalışmada ayrıca oyun; yol kullanıcıları ile trafik denetçisi arasında oynanmıştır. Performans fonksiyonu olarak doğrusal gecikme modeli ile HCM (Highway Capacity Manual, 2000) ayrıt performans fonksiyonu kullanılmıştır. Trafik kontrol parametrelerinden devre süresi, ardışık adım düzeni ve kavşaklar arasındaki koordinasyon, matematiksel formülasyondaki zorluklardan dolayı hesaba katılamamıştır.

Bell (2000) çalışmasında *iki-oyunculu karmaşık* stratejili *Nash* dengesi kullanarak yol kullanıcılarının rota-seyahat sürelerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Oyunculardan bir tanesi yol kullanıcıları diğeri ise rotayı bloke etmeye çalışan ve *şeytan* olarak adlandırılan sanal oyuncudur. Rota seçim olasılıkları birincil değişkenler, ayrıt-temelli olasılıklar ikincil değişkenler olarak ele alınmıştır. Problem doğrusal programlama yöntemi ile formüle edilmiş ve ardışık adımlar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Sonuç olarak OT'nin ağ tasarımına

uygulanabileceği gösterilmiştir. Ayrıca Bell (1997) yapmış olduğu çalışmada “ağ güvenilirliği kavramını” ortaya atmış ve yol ağı performans güvenilirliğini OT yaklaşımını kullanarak formülize etmiştir. Ağ güvenilirliği kavramı bazı durumlarda yol ağına meydana gelebilecek herhangi bir fiziksel engelle karşı bağlantı ve maliyet güvenirlığının araştırılmasıdır.

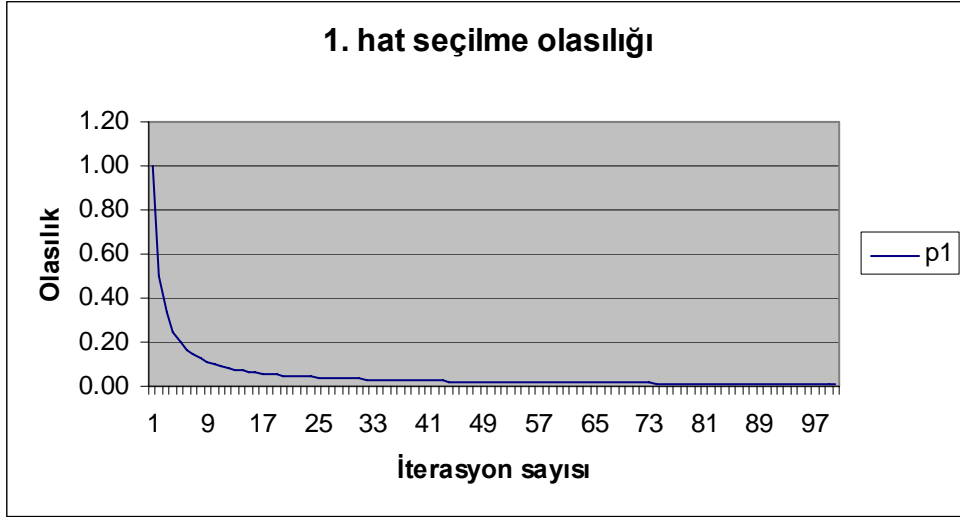
Aslan (2002) OT’yi kullanarak araç rotalama problemini formülize etmiş ve tehlikeli madde taşınımına uygulamıştır. Optimum rotalar beklenen minimum maliyetlere göre belirli olasılıklar altında bulunmuştur. Bu çalışmada problem *iki-oyunculu, etkileşimsiz, sıfır-kazançlı* Nash dengesi altında formülize edilmiştir. Çözüm olarak ardışık adımlar yöntemi kullanılmıştır. Çalışma, OT’nin araç rotalama problemine nasıl uygulanacağını göstermiştir.

Cengiz (2005) yapmış olduğu çalışmasında OT yaklaşımını ağ güvenilirliği kavramı altında kullanmıştır. Bu yaklaşım örnek bir ulaşım ağına uygulanmıştır. Şekil 2.5’te örnek ulaşım ağı verilmiştir. Ulaşım ağına A düğümünden B düğümüne gidebilmek için üç ayrı rota seçeneği mevcuttur. Her bir rotanın doğrusal maliyet fonksiyonu şekilde belirtilmiştir. A düğümünden B düğümüne talep 100 birim olarak kabul edilmiştir. Ulaşım ağı üç adet senaryo altında çözümlenmiştir. Ardışık ortalamalar yöntemi ile denge durumundaki senaryo olasılıkları, q_1, q_2, q_3 , hat seçme olasılıkları p_1, p_2, p_3 ve beklenen yolculuk maliyetleri, C , belirlenmiştir.



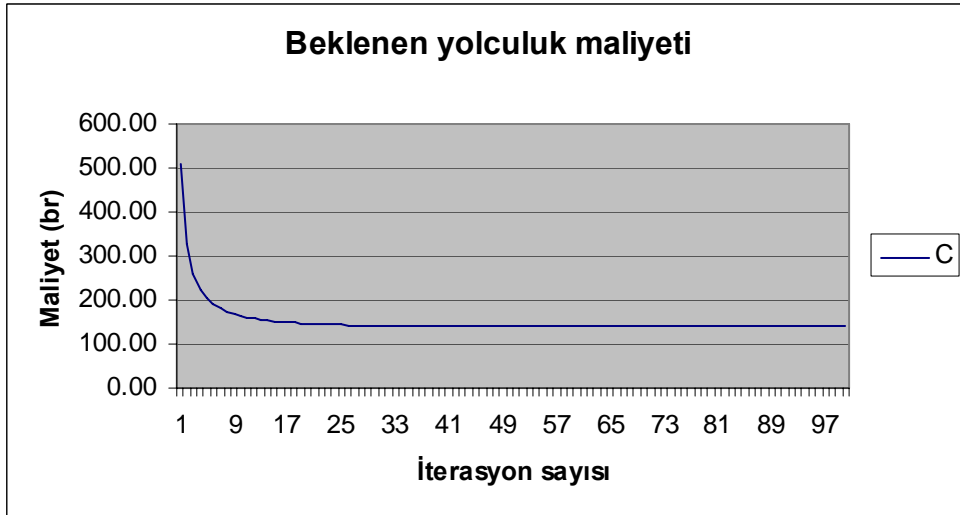
Şekil 2.5 Örnek ulaşım ağı

Verilerin değişimleri Şekil 2.6’da ilk 100 iterasyon için verilmiştir. Yakınsama eğilimi grafik üzerinde kolaylıkla görülebilmektedir. 1. hattın seçilme olasılığı ilk 5 iterasyonda 1’e yakınken 100 iterasyonun sonunda sıfıra doğru yaklaşmaktadır. 500 iterasyonun sonucunda 1. hattın seçilme olasılığı 0.002’ye yakınsamıştır.



Şekil 2.6 1. hattın seçilme olasılığı değişimi

Şekil 2.7’de ise toplam ulaşım ağı için beklenen yolculuk maliyeti verilmiştir. Toplam beklenen yolculuk maliyeti ilk 10 iterasyon boyunca 500 birimden 150 birime doğru büyük ivmeli bir azalış izlemiş, 30. iterasyondan sonra denge durumuna gelmiştir. Beklenen yolculuk maliyeti 143.15 birime yakınsamaktadır.



Şekil 2.7 Beklenen yolculuk süresi maliyeti değişimi

2.7. Oyun Teorisi ve Şehir içi Trafik Kontrol Problemi

Şehir içi sinyalizasyon kavşaklarının optimizasyonu; sinyalizasyon kavşak ve ağ düzeyinde olmak üzere iki grupta irdelenebilir. İlk gruptaki izole kavşak düzeyindeki yaklaşımlar; Webster (1958), Webster ve Cobbe (1966) ve Akçelik (1981) tarafından geliştirilmiştir. Ağ düzeyinde

sinyalize kavşakların optimizasyonu Robertson (1969)'un TRANSYT trafik modelini kavşak grupları arasında uygulamaya başlaması ile gelişmeye başlamıştır. Her iki yaklaşımda Improta (2002) tarafından geliştirilmeye devam edilmiştir. Sinyalize kavşak optimizasyonu konusundaki gelişmeler Papageorgiou ve diğ. (2003)'de bulunabilir.

Yukarıda adı geçen yaklaşımların hiç birisinde trafik kontrolünün OT ile geliştirilebileceği hakkında bir bilgi mevcut değildir. Fakat Nash (1950)'in ortaya attığı oyunlarda denge durumlarının çözülebilmesi ve Nash dengesinin ekonomik teorilere uygulanmaya başlanması, araştırmacıları trafik kontrol problemlerinin çözümünde bu yöntemin uygulanabilirliği, formülasyonu ve nasıl yapılabileceği hakkında çalışmaya yöneltmiştir. Projenin asıl çıktılarında biri OT' nin Nash dengesi altında sinyalize kavşak optimizasyonu ve trafik atama modellerinde GA ile birlikte uygulanabilirliğinin araştırılması konusunu oluşturmaktadır.

Nash (1950) tarafından kooperatif olmayan oyunların formülasyonu ve ekonomi alanına uygulanmaya başlanması Rosen (1965)'in yapmış olduğu çalışmada daha da geliştirilmiştir. Rosen (1965) çalışmasında kooperatif olmayan kısıtlı Nash dengesini hesaplayabilmek için sayısal bir metot önermiştir. Önerilen algoritma “diyagonal konveks koşulu” nu içermeyen bir algoritma olup, oyun; her bir oyuncu için kontrol stratejileri matrisi ve oyun stratejileri matrisinin hesaplanması üzerine kurulmuştur. Bu amaçla şehiriçi ulaşım ağ tasarımında sinyalize kavşakların optimizasyonu için kontrol stratejileri olan sinyal parametreleri ile bu parametrelerin değişimine bağlı yol kullanıcılarının göstermiş oldukları tepkilerin hesaplanabilmesi üzerine bir oyun geliştirilmeye çalışılmıştır. Kontrol stratejileri, kontrol matrisini oluşturmakta ve ağ performansındaki değişim ise oyuncuların kazanımları veya kayıp matrislerini oluşturmaktadır. Trafik kontrol probleminde oyun stratejilerinin uygulanabilmesi için yol kullanıcılarının kavşaklara yaklaşımının diğer bir deyişle trafik hacimlerinin bilinmesi ve sinyal parametreleri altında kavşak gecikmelerinin en iyilenmesi gerekmektedir. Oynanan oyun kooperatif olmayıp oyunculardan birisi sinyal parametrelerini eniyilerken diğer oyuncu ise kavşak performansını kötüleştirmeye çalışacaktır.

Kavşak performans fonksiyonu Denklem (2.5) ile tanımlanabilen sinyalize kavşaklı ulaşım ağı ele alındığı zaman;

$$Z = \sum_l f_l(y_l) \quad (2.5)$$

ve link l 'nin taşıyabildiği toplam trafik hacmi;

$$y_j = \sum_{r:l \in r} x_r \leq c_l, \quad \forall l, \quad (2.6)$$

Denklem (2.6)'da verilen eşitlik ile hesaplanabilir. Burada, rota r 'deki trafik hacmi x_r , link l 'nin kapasitesi c_l , ve $Z_l(y_l)$ fonksiyonu ise link l 'nin y_l trafik yükünü ifade etmektedir. Link trafik hacimleri $x = (x_r)$ Denklem (2.7)' de verilen trafik hacmi dönüşüm kısıtlarına bağlı olarak bulunur.

$$\sum_{r \in R_{ij}} x_r = q_{ij}, \quad x_r \geq 0, \quad \forall r \in R_{ij}, \quad \forall (i, j) \quad (2.7)$$

Burada (i, j) çifti B-V çiftleri kümesini, R_{ij} , ve B-V talebini ise $q = (q_{ij})$ ifade etmektedir. B-V çifti, (i, j) , arasında verilen bir q talebi için, link l 'deki optimal trafik akımları $x = x^*$ eşitliğini sağlayan ve Denklem (2.8)'de verilen denklemin Denklem (2.5) - (2.7)'de verilen kısıtlara bağlı olarak çözümlenmesiyle bulunur.

$$\min_x Z \quad (2.8)$$

Link maliyet fonksiyonu f_l 'in sürekli artan ve konveks yapıda bir fonksiyon olduğu varsayımıyla link maliyet fonksiyonun y 'ye göre türevini alırsak:

$$d_l(y) = \frac{df_l(y)}{dy} > 0, \quad (2.9)$$

$$d'_l(y) = \frac{d^2 f_l(y)}{dy^2} > 0, \quad \forall y \in [0, \infty) \quad (2.10)$$

ifadeleri elde edilir. Bu denklemin en az bir adet x^* değerini veren optimum çözümü vardır. Bulunan denge trafik hacmi x^* çözümü link maliyet fonksiyonu olan Denklem (2.9)'un bir

çözümüdür. Rota akımları kümesi ve optimum rota trafik hacimleri sadece ve sadece minimum maliyetli rotalardaki trafik hacimlerinin pozitif olması koşulu ile sağlanacaktır. Rota akım maliyetleri Denklem (2.11)'de olduğu gibi link maliyetlerinin doğrusal olarak toplanması ile elde edilir.

$$d_r = \sum_{l \in r} d_l(y_l) \quad (2.11)$$

Bu denklem aynı B-V çifti arasındaki rotalar içerisinde minimum maliyetli rotaların eşit miktarda trafik hacmi taşıdığını göstermektedir.

Link maliyetlerine bağlı olarak optimal rotaların karakterizasyonu, B-V çifti (i,j) arasındaki linklerin ağırlıkları, $w = (w_l)$, alınarak en kısa yol algoritması (EKY) ile bulunur. Denklem (2.12)'de verilen ifadede link ağırlıkları hesaplanır.

$$w_l = d_l(y_l) \quad (2.12)$$

Burada y_l ölçümler sonucu elde link trafik hacimleridir. Elde edilen link ağırlıkları EKY uygulaması sırasında kullanılır. Denklem (2.12)'deki trafik hacimleri; eğer talep matrisi, $q = (q_{ij})$, sabit ve biliniirse, optimal link ağırlıkları, $w_l^* = d_l(y_l^*)$ önceden hesaplanır ve link l 'deki ortalama trafik hacmi $y_l^* = \sum_{r: l \in r} x_r^*$ eşitliği kullanılarak (2.5)-(2.8) denklemlerinin çözülmesiyle bulunur.

Bir çok pratik uygulamada talep matrisi, $q = (q_{ij})$, anlık tahminden farklı olarak, $q \approx \bar{q}$, alt ve üst limitleri arasında, $q \in Q$, belirlenir. Denklem (2.6) yardımıyla;

$$Q = \left\{ \sum_{s=1}^S \gamma_s q^s \mid \sum_{s=1}^S \gamma_s = 1, \gamma_s \geq 0 \right\} \quad (2.13)$$

denklemini yazılabilir. Burada q^s , s sayıdaki oyuncuların her birinin senaryoları olup, senaryoların ağırlıkları $\gamma = (\gamma_s)$ olarak hesaplanır.

Trafik mühendisliğinde oyun teorisi çerçevesinde en kötü senaryonun olası belirsizlikler altında tanımlanması gerekmektedir. B-V taleplerinin alt ve üst limitleri arasında, $q \in Q$, trafik talebindeki değişimin taşımış olduğu belirsizliklerin hesaplanabilmesi öncelikli koşullardan birisidir. Talep değişimindeki dışsal belirsizlikler altında link maliyet ve trafik hacimlerindeki anlık ve zamansal değişimin belirlenmesi uygun planlamaların yapılabilmesine olanak verecektir. Aslında talep belirsizliği altında ortaya çıkan durumlar; oyun stratejileri ile formüle edilebilir. Bu durumda oyun stratejisi; rotalama algoritması ile bu rotaları bozmaya çalışan şeytan arasında uygulanabilir. Bir taraftan rotaların performansları artırılmaya çalışılırken diğer taraftan rotaların maliyetleri azaltılmaya çalışılarak ağ üzerindeki belirsizlik biraz olsun giderilmeye çalışılır. Belirsizliklerin en aza indirgenmesi ve uygun bir planlama için iki yol vardır. Bunlar; merkezileştirme ve bireysel kavşak planlarıdır.

2.7.1. Merkezileştirme Planları

Literatürde belirsizlik altında karar verme süreçleri için genellikle iki yaklaşımdan bahsedilmektedir. Bunlardan biri Bayes çerçevesi (Guerin ve Orda, 1999) olup bu yaklaşımda “ortalama” performansı bulabilmek için belirsizlik parametrelerinin bazı istatistiksel dağılımlara uyduğu varsayılmaktadır. Belirsizlik parametrelerini kapsayan EKY'daki link maliyetlerinin (ağırlıkları), $w = w^*$, optimizasyonu, penalti fonksiyonunun, $Z_\Sigma = \sum Z^s$, minimum edilmesiyle bulunur. Burada Z^s , Bayes çerçevesinde senaryo $q = q^s$, $s = 1, 2, \dots, S$ karşılık gelen ceza fonksiyonunu ifade etmektedir. Z_Σ ise Denklem (2.5)'in bir sonucu olup q gelişigüzel matrise bağlı $\Pr(q = q^*) = 1/S$ olarak çözülür, fakat bu yaklaşım en-kötü senaryo altında yeterli sonuç vermeyebilir.

Ulaşım ağ tasarımında B-V talebinin ortaya çıkardığı belirsizliklerin en aza indirgenmesi, güvenilirlik yaklaşımı ile sistem performansını etkileyen rotaların belirsizlikler altında en-kötü senaryolar yardımıyla oyun teorisi çerçevesinde çözümlenebilmesi ile yapılabilmektedir. Rotalama protokolü, beklenmeyen dışsal taleplerin, $q \in Q$, rotalara yüklediği ek trafik hacimlerinin $\varepsilon = (\varepsilon_r)$ bir fraksiyonu bulunarak çözülür. Bu durum:

$$\varepsilon_r = \frac{x_r}{q_{ij}}, r \in R_{ij} \quad (2.14)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir. Bu durumda ağ performansının yeniden hesaplanabilmesi için ceza fonksiyonu gerekmektedir. Ceza fonksiyonu olan Denklem (2.5), ε 'un bir fonksiyonu olarak yeniden ifade edilirse dışsal talep için $q : Z = F(\varepsilon|q)$ eşitliği bulunacaktır. Senaryo $s=i$ altında en iyi rota hesaplanırken, senaryo $s=j$ deki ortaya çıkacak kayıp, L_{ij} ,

$$L_{ij} = F(\varepsilon^j | q^i) - F(\varepsilon^i | q^i), \quad i, j = 1, \dots, S \quad (2.15)$$

ifadesiyle karakterize edilir. Denklemdeki, $i, j = 1, \dots, S$ senaryoları için $\varepsilon^s = (\varepsilon_r^s), \varepsilon_r^s = x_r^s / q_{ij}$, $r \in R_{ij}$ olarak hesaplanır. Örneğin, sıfır kazançlı, iki oyunculu bir oyun düşünüldüğü zaman $j=1, \dots, S$ senaryoları altında oyunculardan birisi Denklem (2.14)'i minimum etmeye çalışırken diğerinin de maksimum etmeye çalıştığını farz edelim. Ayrıca, α_j rotalama algoritması için karmaşık stratejili optimal bir değer olsun. Bu durumda birinci oyuncu için link maliyetlerinin ağırlıklar toplamı ve kazancı;

$$\varepsilon = \sum_j \alpha_j \varepsilon^j \quad (2.16)$$

şeklinde olacaktır. İkinci oyuncunun kazanımı veya kaybı ise $\varepsilon = \sum_j \beta_j q^j$ şeklindedir ve β_j ikinci oyuncu için karmaşık yapıli optimal strateji katsayısıdır.

Denklem (2.15)'in çözümü için deterministik veya stokastik atama metodları EKY algoritması kullanılarak yapılır. EKY algoritmasında B-V talepleri arasındaki trafik talebi minimum maliyetli rotalara atanır. Oyun teorisi çerçevesinde G bilinmeyen dışsal ulaşım talebi karşısında geliştirilen stratejileri ifade ederse, oyunculardan birincisi B-V çifti, (i,j) , arasında kullandığı rotaların maliyetlerini minimum etmeye çalışacaktır. Uygun stratejiler, $r \in R_{ij}$, arasından birinci oyuncunun kazancı ve/veya kaybı;

$$v_{ij} = \left[\sum_{l \in r} d_l \left(\sum_{r': l' \in r'} x_{r'} \right) - \min_{r'' \in R_{ij}} \sum_{l \in r''} d_l \left(\sum_{r': l' \in r'} x_{r'} \right) \right] q_{ij} \quad (2.17)$$

ifadesiyle hesaplanır. İkinci oyuncu rota maliyetlerini maksimize etmeye çalışacak ve stratejileri $q \in Q$ arasından;

$$u_{\Sigma} = \sum_{(i,j)} v_{ij} \quad (2.18)$$

ifadesini kullanacaktır. Böylece merkezileştirme planları sırasında talep değişiminde ortaya çıkacak belirsizlikler en aza indirgenecektir.

2.7.2. Bireysel Kavşak Planları

Bireysel kavşak planlarında ortaya çıkabilecek olumsuz durumlarda kavşak bazında hemen müdahale edilecek ve sistemin performansı artırılmaya çalışılacaktır. Optimumluk koşulu G 'nin belirlenmesi ile pratikte, sistem-içi (on-line) veya sistem-dışı (off-line) olarak kontrol stratejilerin daha çabuk ve etkin bir şekilde uygulanmasını sağlayacaktır. Denklem (2.14) yardımıyla, beklenen talepteki, $q \in Q$, belirsizlik, link maliyet fonksiyonlarının bir ağırlığı olarak ifade edilerek, belirsizliğin link maliyetlerine yüklendiği durum aşağıda verilmiştir.

$$\tilde{w}_l = \min_{q \in Q} d_l \left(\sum_{(i,j)} q_{ij} \sum_{r: l \in r \subseteq R_{ij}} \varepsilon_r \right) \quad (2.19)$$

$$\hat{w}_l = \min_{q \in Q} d_l \left(\sum_{(i,j)} q_{ij} \sum_{r: l \in r \subseteq R_{ij}} \varepsilon_r \right) \quad (2.20)$$

ve

$$w_l \in [\tilde{w}_l, \hat{w}_l] \quad (2.21)$$

Burada; $d_l(y)$ fonksiyonunun ifadesi Denklem (2.9)'daki gibidir. $\tilde{\mathbf{w}} = (\tilde{\mathbf{w}})$ $\hat{\mathbf{w}} = (\hat{\mathbf{w}})$ vektörlerinin sabit olması durumunda link ağırlıkları Denklem (2.21) ile hesaplanabilmektedir. Merkez dışı planlarda problemi q_{ij} oyun olarak formülize edilirse birinci oyuncunun kazancı;

$$H_{ij}(w, r) = \sum_{l \in r} w_l - \min_{r' \in R_{ij}} \sum_{l \in r'} w_l \quad (2.22)$$

denkleminin çözümlenmesiyle bulunur. Diğer oyuncunun kazancı veya kaybı ise Denklem (2.21) yardımıyla bulunabilmektedir.

2.8. Sonuçlar

Bu bölümde ulaşım ağı dengeleme problemi için çeşitli formülasyonlar ve çözüm yöntemleri incelenmiştir. Trafik kontrol, trafik atama, SKD trafik ataması, oyun teorisi yaklaşımları tanımlanmıştır. Ayrıca ağ tasarımı tanımlaması verilerek gerekli çalışmalar irdelenmiştir. İki-seviyeli ağ tasarım probleminin çözümü için GA ve OT yaklaşımları açıklanmıştır.

III. BÖLÜM

OYUN TEORİSİ, GENETİK ALGORİTMALAR VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

3.1. Giriş

Bu bölümde oyun teorisinin literatürdeki farklı formülasyonları ve çözüm algoritmaları açıklanmıştır. Kooperatif Olmayan Oyun Teorisi'nin (KOOT) temelini teşkil eden sıfır-kazançlı (SK) oyunların formülasyonu verilmiştir. Genetik algoritmaların (GA) tanımı, çözüm yöntemleri, GA ile trafik kontrol algoritmalarının formülasyonu, uygulama alanları ve örnek uygulamalar verilmiştir.

3.2. Oyun Teorisi

Oyun Teorisi (OT), çok amaçlı sistemlerin denge durumlarını araştıran strateji süreçleri olarak tanımlanabilir. Oyun süreçlerinde her bir amacın bir kriteri olup, oyunlar ister kooperatif ister tamamlanmış olsun, oyunda amaç her bir stratejik oyunun kazanılması üzerine kuruludur. Her bir oyunun denge durumuna ulaşarak sonlanacağı farz edilir. Oyunlarda her bir strateji çıktısının veya objektifin değerlendirilmesi; göz önüne alınan problemin durumuna bağlı olarak belirlenir. Sistemin çıktıları objektiflerin oyun içerisindeki rollerine bağlı olarak Pareto, Nash ya da Stackelberg denge durumları olabilir.

KOOT, davranışsal çalışmalar ile politik karar vericiler için iyi bir temel teşkil etmektedir. Birçok alanda uygulanan KOOT, ulaştırma literatüründe de yer bulmaktadır. KOOT çok amaçlı karar değişkenleri içerdiği için ulaştırma sistemlerinin analizinde güçlü bir metot olarak ele alınabilir.

Oyun olarak modellenen stratejiler, farklı ilgi alanları ve davranışları olan yol kullanıcı grupları ile yöneticilerin nasıl karar alacaklarının analizini içermektedir. Her bir grup ya da kişinin kazanım seviyesi sadece kişinin ya da grubun hareketine bağımlı olmayıp karşı grup ya da kişilerin stratejisi ile ilgilidir. İster açık ister kapalı olsun oyunların matematiksel formülasyonları

birbirlerine benzerdir. Fakat formülasyonların genellikle amaç fonksiyonları ve çıktıları farklıdır. Ayrıca karar değişkenleri farklı amaç fonksiyonlarının bilgilerini içerebilirler. Oyunların tanımı ve formülasyonu için oyuncular ile birlikte alternatif stratejilerin ve amaç fonksiyonlarının tanımlanması gereklidir. Oyun sonuçları Nash ya da Stackelberg dengesi gibi sonuçlara ulaşırsa bir anlam ifade etmektedir, yani problemin çözümü var demektir. Aksi takdirde çözüme ulaşılamamaktadır.

3.2.1. Şeytana Karşı Oyunlar

KOOT oyunlarının temelini teşkil eden SK oyunları genellikle oyuncular arasında kesin bir yarışma stratejisi olduğu varsayımına dayanılarak kurgulanır ve formüle edilir. Bu oyunda sadece bir amaç fonksiyonu olup, oyunculardan birisi kazancını maksimum etmeye çalışırken diğeri ise minimum etmeye çalışır.

Colony (1970) yapmış olduğu çalışmada rota seçim problemini KOOT yaklaşımı kullanarak SK oyun olarak formüle etmiştir. Bu yaklaşımda oyunculardan birisi karayolunu kullanan sürücülerdir. Bu oyunda karayolundaki sürüş koşullarının trafik hacmi ve sürüş koşullarından etkilenmediği varsayılmıştır. Diğer oyuncu ise hayali olarak kabul edilen “*varlık*”dır. Varlık karayolu üzerindeki hizmet düzeyini strateji parametresi olarak seçip hizmet kalitesini düşürmeye çalışan alternatifler üretmektedir. Bu alternatifler içerisinde, sürücüler karayolunun hangi hizmet düzeyinde kendilerine hizmet verdiğini bilmemekte veya beklememekte olup, sadece hizmet düzeyi hakkında birçok farklı yorum ortaya koymaktadırlar. Sonuç olarak çalışmada, eşzamanlı seçim olasılıklarına bağlı olarak, Nash dengesine ulaşmayan farklı sürücü rota seçimlerinin bulunduğu uygun hizmet düzeyleri bulunmuştur.

Bell (2000) çalışmasında; ulaşım ağlarındaki rotaları kullanan yol kullanıcıları ile, rota maliyetlerini artırmaya çalışan “*şeytan varlığı*” arasında geçen bir SK oyun tanımlamıştır. Bu oyun:

$$\max_q \left(\min_p \left(\sum_{ij} p_i c_{ij} q_j \right) \right)$$

şeklinde formüle edilmiş olup, burada i ulaşım ağ bağlantı linklerinin indeksi; j link maliyet fonksiyonlarının indeksi; p_i i linkini kullanan rotaların sürücüler tarafından seçilme olasılığını, ve c_{ij} ise link maliyetleri kümesi j iken i linkini kullanma maliyetidir. Sürücüler şeytan varlığının stratejilerini bilemedikleri için ağ denge maliyeti karamsar düşünce altında üretilen birçok stratejilerden sonra oluşturulmuştur. Güvenilir olmayan bir sistem içerisinde yol kullanıcıları yüksek bir maliyet ile denge durumuna ulaşabileceklerdir. Bu durumda ağ güvenilirliğinin bir ölçütü olarak oyunun sonuçlarının Nash dengesi ile oluştuğu kabul edilmiştir.

Bell ve Cassir (2002) SK yaklaşımını genişleterek ulaşım ağını kullananların kullanıcı dengesi altında hareket ettiklerini varsayarak problemi çözmüştür. “Şeytan varlığı” ise “şeytan” olarak yer değiştirmiş ve oyunlar her bir B-V çifti arasında oynanmıştır. ST oyun formülasyonu bir dizi programlamadan geçirilerek her bir B-V için çözülmüştür. SK oyunlarında, yol kullanıcıları ya da seyahat edenler bir çeşit şeytan ile oyunlarını oynamak durumundadırlar.

3.2.2. Yol kullanıcıları arasındaki oyunlar

Fisk (1984); Wardrop (1952) tarafından önerilen kullanıcı dengesi (KD) prensibinin aslında bir oyun olduğundan bahsetmiştir. Çünkü KD prensibi Nash dengesi koşuluna eşdeğer varsayılabilir. Ayrıca KD varsayımı altında hiç bir sürücü seçmiş olduğu rota maliyetini azaltamayacaktır. Van Vught ve diğ. (1995) yapmış olduğu çalışmada otomobil ya da toplu taşıma sistemini kullananlar arasında geçen 2 oyunculu bir oyun formu tanımlamıştır. Seçim mekanizması Tablo 3.1’de verilmiştir. Burada gerçek değerlerin bir önemi olmayıp değerler arasındaki ilişki önemlidir. Her bir hücredeki rakamlar oyuncu 1 ve 2’nin fayda değerleridir. Tablodan görülebileceği gibi, eğer oyunculardan biri toplu taşıma sistemini seçerse otomobil kullanım seçeneğinin kullanılması en iyi seçim olmaktadır. Eğer her iki oyuncu da toplu taşıma sistemini seçerse oyuncuların kazanımları en yüksek seviyeye ulaşacaktır. Çünkü toplu taşıma araçlarının doluluk oranı artışı beraberinde

toplu taşıma servis kalitesini de yükseltecektir. Nash dengesi altında her iki oyuncuda otomobil kullanımını seçeneğini seçmeleri durumunda maksimum kazancı sağlayacaklardır.

Tablo 3.1. İki oyunculu oyuna bir örnek

		2. Oyuncu	
		Toplu taşıma	Otomobil
1. Oyuncu	Toplu taşıma	(4, 4)	(-4,8)
	Otomobil	(8,-4)	(0,0)

N-oyunculu stratejik formdaki oyun James (1998) tarafından formüle edilmiş ve oyun her bir oyuncunun verilen bir yol hattını kullanıp kullanmaması varsayımı üzerine geliştirilmiştir. Herhangi bir oyuncunun kazanımı oyuncuların verilen diğer yol hattını kullanması ile azalmaktadır. Oyun iki oyunculu bir örnekle açıklanmıştır. Oyunculardan birinin yol hattını seçmesi diğerinin ise seçmemesi durumunda iki denge durumu oluşmaktadır.

Yol kullanıcıları arasında oynanan tüm oyun kavramları KD dengesinin birçok değişik kavramını göstermektedir. Wardrop (1952); Rosenthal (1973); Van Vught ve diğ. (1995); Janes (1998); ve Levinson (2005) yaptıkları çalışmalarda yetersiz yol kapasitesi üzerinde yol kullanıcılarının karşılıklı yarış durumlarını göstermiş olup; her bir oyuncu kendisi için daha fazla yol kapasitesi isterken, ağıya yeni katılan diğer oyuncular yani sürücüler yetersiz yol kapasitesinin kullanımından elde edilen toplam faydayı azaltacaklardır.

3.2.3. Yol kullanıcıları ve yetkililer arasındaki oyunlar

Şeytana karşı olan oyunlarda, oyuncuların amaçları birbirinden farklı olup, yol kullanıcıları arasındaki oyunlarda, tüm oyuncuların şansları eşittir. Yol kullanıcıları ve yetkililer arasındaki oyunlarda oyuna dahil olan partilerin amaçları birbirinden çok farklıdır. Bjornskau ve Elvik (1992) yapmış olduğu çalışmasında trafik kurallarını uygulayan yetkililer ile yol kullanıcıları arasında stratejik formulu bir oyun tanımlamıştır. Bu oyun; yol kullanıcılarının hız limitlerini aşım aşımamasına karşın trafik kontrol birimlerinin hızı aşım kullanıcıları müdahale edip etmeme

süreleri ile ceza uygulanması arasında bir ilişkinin olup olmaması üzerine kurulmuştur. Yetkililerin kazanım değerleri, denetleme yapılmadığı zamanlarda sürücülerin hız limitlerine uyma oranlarıdır. Çalışmada hız limitine uymayan sürücülerin olasılıkları karmaşık strateji denge durumunu göz önüne alarak hesaplanmıştır. Buradaki temel varsayım herhangi bir dış etki sebebiyle sürücülerin hız azaltışına gitmedikleridir. Çalışmaya göre yetkililerin ceza yerine denetlemeleri artırması durumunda sürücülerin kurallara uyma eğilimi artmıştır.

Albert (2001) ücretli yol operatörleri ile yol kullanıcıları arasında bir oyun tanımlamıştır. Çalışmada, oyun; operatörlerin optimum yol geçiş ücret miktarını belirlemek, yol kullanıcılarının ise ne kadarlık bir yol ücretini verme eğiliminde olup olmadıklarının belirlenmesi üzerine kurulmuştur. Eğer ücret beklenen miktardan yüksek ise sürücüler o yolu kullanmamakta, düşük ise kullanmaktadırlar. Eğer sürücüler ücretlendirilen yolu kullanırlarsa kazanılan fayda yol kullanım talebi kadar olacaktır. Bu durumda oyun için ihtiyaç olan girdi, ücrete bağlı olarak belirlenen ulaşım talep eğrisidir. Bu durumda ücretlendirme operatörü kazancını maksimize etmeye çalışacağından kazancı yol kullanıcı sayısındaki artışa bağlı olacaktır. Sonuç olarak yol kullanıcıları ve operatörler birbirine benzer seçim stratejileri kullanacaklarından, çözüm kusursuz stratejili Nash dengesi olacaktır. Yetkililer gerçekte böyle bir oyunu ve sonucu beklemeyebilirler, fakat yetkililerin, bir şekilde oyuncuların başka bir alternatif ulaşım sisteminin hizmet düzeyi ve kalitesini iyileştirmek suretiyle kullanmalarını etkileme güçleri vardır.

Yukarıda açıklanan her iki oyun da aslında birbirlerine benzer olup sürücüler ile yetkililer eş zamanlı benzer kararlar alabilirler. Aynı zamanda bu oyunlar tek bir sürücü davranışı üzerine kurulmuştur. Tek farkları sürücü tanımları üzerinedir. Ancak, karar vericiler ile sürücüler arasında oynanan oyunlar temelde iki konuda farklılık göstermektedirler. Birinci fark, strateji seçimlerinin eş zamanlı olmadığı Stackelberg oyunudur. Bu oyunda yetkililer veya karar vericiler, sürücülerin davranışlarını önceden tahmin ederek kendi stratejilerini belirlerler. İkinci fark ise, karar vericilere karşı karmaşık bir yapıya sahip tüm sürücülerin oynadığı oyunlardır.

Kollektif hareket edebilen sürücüler ile karar vericiler arasındaki Stackelberg oyunu ilk olarak Fisk (1984) tarafından ortaya atılmıştır. Fisk, trafik kontrol parametrelerini strateji olarak tanımlayarak veya parametreleri kontrol ederek toplam ulaşım ağ maliyetini minimum etmeye

çalışırken, sürücüler ise kendi rota maliyetlerini ağda minimum etmeye çalışmaları üzerine bir oyun tanımlamıştır. Problem iki-seviyeli olarak;

$$z(f, s) = \min_f \sum_l \int_0^{f_l} c_l(x, s) dx$$

kısıtına bağlı

$$\min_{s, f} P(s, f) = \sum_l f_l c_l(f, s)$$

olarak formüle edilmiştir. Burada, s trafik kontrol değişkenleri vektörünü, f trafik hacim vektörlerini, l ağ linkleri indeksini ve c link seyahat süresini ya da maliyetini göstermektedir.

Burada alt seviye problemi sürücü davranışlarını ya da trafik atama problemini, üst seviye problemi ise karar vericilerin amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Karar vericiler kontrol parametrelerini değiştirerek sürücülerin reaksiyonlarını tahmin ederek optimum rotayı bulmaya çalışırlar. Fisk oyununun en önemli özelliği KOOT tabanında sistem optimum problemini KD varsayımı altında çözmüştür.

Cehn ve Ben-Akiva (1998), Fisk'in statik modeli yerine dinamik trafik kontrol ve trafik atamayı birleştiren bir model geliştirmiştir. Dinamik trafik kontrol problemi optimizasyon problemi olarak ayrı ayrı formüle edilerek, üç farklı formdaki oyun ile birleştirilmiştir. Bunlar; eş zamanlı Cournot dengesi (yol kullanıcıları kontrol probleminin kısıtı), Stackelberg dengesi (tüm çözümleri yetkililer belirler) ve monopoly oyunudur. Fakat hangi koşullarda denge durumlarının olduğu açıklanmamıştır. Yalnızca sürücülere önceden kontrol parametrelerinin nasıl değiştiği hakkında bir bilgilendirmenin yapılmadığı varsayılmıştır. Yetkililer ya da karar vericiler uygulamış olduğu kontrol stratejilerinin çıktılarını eniyilemek adına sürücülerin rota seçim olasılıklarını belirlemeye çalıştıkları için Stackelberg dengesi ulaşım ağ tasarımında en gerçekçi yaklaşım olarak önerilmiştir.

Lim ve diğ. (2004) yapmış olduğu çalışmada alt seviye oyununu yol kullanıcıları ve üst seviye oyununu ise ağ tasarımcısı olarak tanımlayan Stackelberg oyun yaklaşımını kullanarak ulaşım ağ tasarımını formüle etmiştir. Bu formülasyonun orijinal bir yaklaşım olmasının sebebi sürücü yol rota seçimleri belirlenirken Stokastik Kullanıcı Dengesi'nin (SKD) kullanılmasıdır.

Yetkililer ile sürücüler arasındaki oyunlar incelendiği zaman yetkililerin sistemin verimliliğini eniyilemeye çalışırken sürücülerin kendi çıkarlarını KD altında eniyilemeye çalışacakları görülebilir. Bu tür oyunların birçoğu iki seviyeli programlama tekniği kullanılarak formüle edilmiştir. Formülasyon aşamasında en önemli varsayım, yetkililerin herhangi bir aksiyonuna sürücülerin kendi çıkarları doğrultusunda uymaya çalışacakları şeklindedir. Yetkililerin mümkün olan her bir stratejisi için farklı formda denge koşulları oluşabilmektedir. Yetkililer oluşan farklı formdaki denge durumlarında sistem verimliliğini artırma adına en iyi olanı belirlemek zorundadırlar. Bu sebeple önerilen politika, bir çok farklı çıktılar verebilen stratejileri bulmak ve uygulamaktır.

Oyun teorisi formüle edilirken veya çözülürken, gerçekte sürücülerin bireysel seçim yaparlarken niçin kolektif olarak hareket ettikleri varsayımının açıklanması önem arz etmektedir. Eğer oyun tekli sürücü davranışı üzerine kurulursa, diğer sürücülerin de nasıl davranacağı açıklanmalıdır. Bahsedilen durumların her birinin açıklaması aşağıdaki şekilde yapılabilir.

- a. Tüm yol kullanıcılarının maksimum faydayı sağlayacak stratejiyi seçeceği kabulü ile hepsinin eşit olarak davrandıkları kabul edilebilir bir yaklaşımdır. KOOT literatüründe bu deterministik varsayım kullanılmasına ve birçok ulaşım uygulamasında bu varsayım çok basit bir varsayım olarak kabul görmesine rağmen hala geçerliğini korumaktadır.
- b. Karmaşık stratejilerdeki çözüm ve her bir stratejinin seçilme olasılığı, yol kullanıcılarının ne kadarının beklenen alternatifleri seçmesi varsayımına dayandırılabilir. Böyle bir yaklaşım Bjornskau ve Elvik (1992) tarafından kullanılmıştır. Bu yaklaşım olasılık teorisini içerdiği için gerçekçi bir yaklaşım olmakla beraber ulaşım analizleri için yeterli olmayabilir. Bunun sebebi, karmaşık strateji dengesinde her bir stratejinin faydası ile alternatifleri seçen sürücülerin oranı arasında doğrusal bir ilişkinin varsayılmasıdır. Diğer bir sebep ise karmaşık strateji denge durumu hesaplanırken sürücülerin benzer

davranışlarının hangi dengede oluştuğunun hesaplanmasıdır. Çünkü bu noktada yetkililer daima ilk harekete geçenler olacaktır.

- c. Albert (2001)'e göre bir oyuncu sadece marjinal sürücü olup diğer sürücülerin davranışları dışsal bir modelle hesaplanabilir. Fakat gerçekte böyle bir model mevcut değildir.

Sürücü rota seçimleri önemli olduğu için oyuncuyu sadece tek bir sürücü olarak tanımlamak birçok zorluğu beraberinde getirecektir. Çünkü oyunu kolektif sürücüler üzerinde tanımlamak gerekmektedir. Yine de tek sürücüyü esas alan oyun formülasyonu ulaşım ağ tasarımında başlangıç aşamasında önemli bir problemi çözmeye yarayacaktır.

Genel olarak oyun teorisi birden fazla oyuncunun bulunduğu karar verme süreçlerinin modellenmesi için bir çerçeve sağlamaktadır. Diferansiyel Oyun Teorisi (DOT), OT'nin bir dalı olup, sistem veya sürücü davranışlarının bir dizi diferansiyel denklemler yardımıyla modellenerek çözülebilmek varsayımına dayanmaktadır. DOT ayrıca, karşılıklı etkileşim içerisinde olan ve stratejik kararlar verebilen durumları modellemek için de kullanılabilir. Ulaşım ağ tasarımı çok amaçlı fonksiyonlar içerdiğinden DOT doğrudan mevcut problemimiz için kullanılmıştır.

3.3. Oyun Teorisinin Çözüm Algoritmaları

Ulaşım ağ tasarımı için OT formülasyonu Denklem (3.1)'deki gibi formüle edilebilir.

$$\sum_i a_{ij} x_i \geq b_j, \quad \forall j \in J \quad \text{kısıtlarına bağlı olarak}$$

$$\min z(x) \tag{3.1}$$

Burada z fonksiyonu x 'e göre minimize edilecektir. Denklem (3.1) iterasyonlar yardımı ile çözümlenmeye çalışılır ve n . iterasyonda x^n sonucu bulunur. x^n 'den itibaren en uygun

doğrultuda ilerlenir. En uygun doğrultu en dik negatif eğimin olduğu doğrultudur. Uygulanabilir bir y için doğrultudaki eğim, $y - x^n$ aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\nabla z(x^n) \frac{y - x^n}{\|y - x^n\|}$$

z fonksiyonunun, $y - x^n$ doğrultusunda ve x^n dolayındaki eğimi, z' nin, $y - x^n$ doğrultusunda ve x^n dolayındaki negatif eğiminin izdüşümünden farklı değildir. Ancak eğimin büyük olmasına rağmen adım aralıkları küçüleceğinden yakınsama yavaş olabilir, bu durumda doğrultu yönünde açığı da hesaba katmak gerekir. Bir doğrultuda ne kadar ilerlenirse minimuma o kadar yaklaşılacaktır.

Düşümü, doğrusal eğimin, x^n dolayında, $\|y - x^n\|$ uzaklığındaki mesafe olarak tanımlayabiliriz. $z(x)$ konveks ise, düşüm, bu doğrultudaki hareketten doğan ilerlemenin ölçütüdür. Sonuca ulaşmak için en büyük düşümün doğrultusunda ilerlemek gerekmektedir. Bu durumda n . iterasyonda aşağıda verilen alt problemle karşılaşmaktadır.

y^n 'in olası çözüm kümesi olması koşulu ile Denklem (3.2)'de verilen ifade Denklem (3.3)'de verilen ifade ile eşdeğerdir.

$$\max_{y^n} \{-\nabla z(x^n)(y^n - x^n)\} \quad (3.2)$$

Aynı şekilde y^n 'in olası bir çözüm kümesi olması koşulu ile;

$$\max_{y^n} \{-\nabla z(x^n)y^n\} \quad (3.3)$$

çünkü $\nabla z(x^n)y^n$ terimi sabittir. y^n in bir doğrusal programın sınırlardaki çözümüdür ve x^{n+1} , x^n ve y^n arasında bulunur. Denklem (3.3)'ün çözümü sırasında $x^{n+1} = x^n + \alpha_n(y^n - x^n)$ adım

büyüklüğü olarak tanımlanır. y^n hesaplandıktan sonra ikinci bir alt problemin tanımlanması gerekir ve Denklem (3.4)'de verilmiştir.

$$\alpha_n = \arg \min_{\alpha} z(x^{n+1}) = \arg \min_{\alpha} z[x^n + \alpha(y^n - x^n)] + \arg \min_{\alpha} z[(1 - \alpha)x^n + \alpha y^n] \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'deki son terim konveks kombinasyon yöntemini ifade etmektedir. Çözümü esnasında adım büyüklüğünün her iterasyonda hesaplanması zorunluluğu büyük ulaştırma ağlarında genellikle zor olmaktadır. Bunun için genellikle adım büyüklüğü, α_n , iterasyon sayısına bağlı aşağıdaki şekilde formüle edilerek çözümlenmeye gidilir.

$$\alpha_n = \frac{1}{n+1}$$

Konveks kombinasyon yönteminin adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 0 x^1 ve $n = 1$;

Adım 1 Doğrultu bul ve $\max_{y^n} \{ \nabla z(x^n)(y^n - x^n) \}$ bağıntısını çözen y^n 'i bul;

Adım 2 Adım büyüklüğünü belirle, α_n

Adım 3 Doğrultu yönünde ilerle, $x^{n+1} = (1 - \alpha_n)x^n + \alpha_n y^n$

Adım 4 Yakınsamayı sına, eğer $|x^{n+1} - x^n| < \varepsilon$ veya $n = N$ ise DUR değilse $n = n + 1$ ve Adım 1'e dön

Konveks kombinasyon yönteminde Adım 1'de x^1 noktasının olası çözüm kümesi olduğundan emin olunmalıdır.

3.3.1.OT'nin Ağ Tasarım Problemlerine Uygulanması

Trafik atama alt probleminin çözümü için Denklem (3.5)'de verilen ifadenin çözülmesi gerekmektedir.

$$Z_{atama}(h) = \int_0^T \sum_a \int_0^{u_a(t)} f_a(\omega(t)) d\omega(t) dt \quad (3.5)$$

\bar{u}_a kabul edilebilir bir akım oluşturan $\bar{h}(t)$ ye bağlı olarak

$$\begin{aligned} \bar{h}^n(t) &= \arg \max_{\bar{h}^n(t)} \left\{ \nabla Z_{atama}(h^n(t)) \bar{h}(t) \right\} \\ &= \arg \min_{\bar{h}(t)} \left\{ \int_0^T \sum_a \tau_a(u_a^n) \bar{u}_a \right\} \end{aligned} \quad (3.6)$$

şeklinde yazılırsa, Denklem (3.5) ve (3.6) sabit trafik akımına ve trafik kontrol parametrelerine bağlı maliyet fonksiyonlu bir trafik kontrol problemidir. Bu problem tüm kullanıcıların en düşük maliyetli rotaya yönlendirilmesi ile çözülebilir. Burada, $\bar{h}^n(t)$, akımla $(\bar{h}(t))$ eşleşen yolculuk zamanına bağlı serbest akım atamasıdır. Trafik atama probleminin çözüm algoritması aşağıda verilmiştir.

Adım 0 Başlat;

Adım 1 $\bar{h}^n(t)$ yi bul ve $\bar{h}(t)$ ile verilen rota yolculuk sürelerine göre atama yap;

Adım 2 Adım büyüklüğünü belirle, α_n

Adım 3 İlerle, $h^{n+1}(t) = (1 - \alpha_n)h^n(t) + \alpha_n \bar{h}^n(t)$;

Adım 4 Yakınsamayı sına; eğer $|h^{n+1}(t) - h^n(t)| < \varepsilon \quad \forall t$ veya $n = N$ ise DUR, değilse $n = n + 1$ ve Adım 1 e dön

Algoritmanın her iterasyonunda yolculuk süreleri güncellemesi kullanılan atama programına bağlı olarak yapılır. Bu güncellemeler *ağ yükleme algoritması*nın 1. adımına eklenir.

Adım 0' da başlangıç B-V talebi rotalara yüklenir, ve SKD durumu için

Adım 1 aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

Adım 1.1 Rota seçim olasılıklarını $h^n(t)$ 'e göre hesapla; ve

Adım 1.2 $\bar{h}^n(t)$ 'yi hesapla.

Trafik kontrol probleminde ise;

$$Z_{kontrol}(g) = \int_0^T \sum_a u_a(t) \tau_a(g_a(t)) dt \quad (3.7)$$

ifadesinin minimizasyonu ile optimum sinyal parametreleri bulunur. Denklem (3.7)'nin çözülebilmesi için;

$$\begin{aligned} \sum_m \bar{g}_i^m &= 1 \\ \bar{g}_a(t) &= \sum_m \bar{g}_i^m(t) \theta_{ia}^m(t) \\ \bar{g}_i^m(t) &\geq 0 \end{aligned}$$

kısıtlarına bağlı olarak;

$$\begin{aligned} \bar{g}^n(t) &= \arg \max_{\bar{g}(t)} \{ \nabla Z_{kontrol}(g^n(t)) \bar{g}(t) \} \\ &= \arg \min_{\bar{g}(t)} \left\{ \sum_{\bar{g}_i^m(t)} \frac{\partial}{\partial \bar{g}_i^m(t)} (Z_{kontrol}(g^n(t))) \bar{g}_i^m(t) \right\} \end{aligned} \quad (3.8)$$

ifadesininde çözülmesi gereklidir. Denklem (3.8)'deki $g(t)$, olası sinyal değişkenler kümesini tanımlar. Eğer değişkenler içerisinde sadece faz yeşil süreleri dikkate alınır, Denklem (3.7)'nin türevi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\frac{\partial Z_{kontrol}(g^n(t))}{\partial \bar{g}_i^m(t)} \text{ ve türev seçtiğimiz oyun türüne göre değişir.}$$

\bar{g} bulunduktan sonra trafik kontrol probleminin çözüm algoritması aşağıda verilmiştir.

- Adım 0 Başlat;
- Adım 1 $\bar{g}^n(t)$ 'yi bul, ve $g^n(t)$ 'den başlayarak;
- Adım 2 Adım büyüklüğünü belirle, α_n ;
- Adım 3 İlerle, $g^{n+1}(t) = (1 - \alpha_n)g^n(t) + \alpha_n \bar{g}^n(t)$; ve
- Adım 4 Yakınsamayı sına; eğer $|g^{n+1}(t) - g^n(t)| < \varepsilon \quad \forall t$ veya $n = N$ ise DUR; değilse $n = n + 1$ ve Adım 1'e dön.

Adım 0 da üniform yeşil aralık dağılımı kullanılabilir ve ayrıca algoritmanın 1. adımında hat ve rota yolculuk süreleri güncellemesi bulunmaktadır.

Ağ yüklemdeki amaç, verilen trafik akımında ve sinyal kurgusunda, tüm zaman aralığı için zamana bağlı hattı ve yolculuk sürelerini bulmaktır. Akım verildiğinde, dinamik durumda hat yolculuk süreleri, hat yolculuk süresi açık fonksiyonu ile hesaplanamaz. Çünkü, sürücünün, rotanın hangi hattında ve hangi anda bir tıkanıklığa sebep olacağı belli değildir. Hat bilgisi ve yolculuk süresi trafik atama ve kontrol problemleri için temel verilerdir. Bu problemin çözümü için akım sınır koşullarını ayırmak gerekir. Zaman sınırı T olduğu zaman, zaman periyodunun her biri Δt kadar olan n tane aralığa bölündüğü varsayılabilir. Bu durumda, Δt zaman aralığında hat maliyet fonksiyonunun türevi aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir.

$$x_{ap}^{rs}(k+1) = x_{ap}^{rs}(k) + u_{ap}^{rs}(k) - v_{ap}^{rs}(k)$$

Trafik kontrol ve trafik atama denklemleri (3.9)-(3.13) arasındaki kısıt denklemlerini sağlamak durumundadır.

Trafik akımı koruma kısıtı:

$$u_{ap}^{rs}(k) = \begin{cases} h_p^{rs}(k), & \text{a, p hattının ilk hat ise} \\ v_{bp}^{rs}(k), & \text{a, p hattıatt b den sonraki hat ise} \end{cases} \quad (3.9)$$

Trafik akım üretim denklemleri;

$$\begin{aligned}V_{ap}^{rs}(k) &= \sum_{j+\tau_a \leq k} u_{ap}^{rs}(j) \\U_{ap}^{rs}(k) &= \sum_{j=0}^k u_{ap}^{rs}(j) \\v_{ap}^{rs}(k) &= V_{ap}^{rs}(k) - V_{ap}^{rs}(k-1)\end{aligned}\tag{3.10}$$

Tanımsal kısıtlar;

$$\begin{aligned}u_a(k) &= \sum_{r,s,p} u_{ap}^{rs}(k) \\u_a(k) &= \sum_{r,s,p} v_{ap}^{rs}(k) \\x_a(k) &= \sum_{r,s,p} x_{ap}^{rs}(k)\end{aligned}\tag{3.11}$$

Sınır koşulları;

$$\begin{aligned}U_{ap}^{rs}(0) &= 0 \\V_{ap}^{rs}(0) &= 0 \\x_{ap}^{rs}(0) &= 0\end{aligned}\tag{3.12}$$

Negatifsizlik koşulları;

$$\begin{aligned}u_{ap}^{rs}(k) &\geq 0 \\v_{ap}^{rs}(k) &\geq 0 \\x_{ap}^{rs}(k) &\geq 0\end{aligned}\tag{3.13}$$

$\tau_a(k)$ ve $h_p^{rs}(k)$ verildiğinde $x_{ap}^{rs}(k)$, $u_{ap}^{rs}(k)$, $v_{ap}^{rs}(k)$, $U_{ap}^{rs}(k)$ ve $V_{ap}^{rs}(k)$ bilinmeyenleri hesaplanabilir. Ağ yükleme algoritması aşağıdaki algoritma yardımıyla çözülür.

n . iterasyonda, $\tau_a(k)$ yardımıyla $x_{ap}^{rs}(k)$, $u_{ap}^{rs}(k)$, $v_{ap}^{rs}(k)$, $U_{ap}^{rs}(k)$ ve $V_{ap}^{rs}(k)$ bilinmeyenleri bulunur. Daha sonra tanımsal sınırlar kullanılarak $u_a(k)$, $v_a(k)$ ve $x_a(k)$ hesaplanır. Bu değerler $\tau_a^{yeni}(k)$ değerinin bulunmasına olanak sağlar, çünkü hat yolculuk zamanı, bu değerlere ve yeşil fazlarına bağlıdır ve bu değerler değişmez. Daha sonra, $\alpha_n = \frac{1}{n+1}$ noktasında $\tau_a^{n+1}(k) = (1 - \alpha_n)\tau_a^n(k) + \alpha_n\tau_a^{new}(k)$ tanımlanır. Sonlandırmak için de yakınsa değeri sınanır. Aşağıda algoritma adımlar halinde görülebilir:

- Adım 0 Başlat;
- Adım 1 $x_{ap}^{rs}(k)$, $u_{ap}^{rs}(k)$, $v_{ap}^{rs}(k)$, $U_{ap}^{rs}(k)$ ve $V_{ap}^{rs}(k)$ 'yi hesapla;
- Adım 2 $u_a(k)$, $v_a(k)$ ve $x_a(k)$ 'yi hesapla ;
- Adım 3 $\tau_a^{yeni}(k)$ yi hesapla;
- Adım 4 $\tau_a^{n+1}(k)$ yi güncelle; ve
- Adım 5 Yakınsamayı sına; eğer değilse $n = n + 1$ al ve Adım 1'e dön.

3.3.2. Birleştirilmiş Trafik Atama- Kontrol Formülasyonu ve Çözümü

Birleştirilmiş trafik kontrol – atama problemi aşağıdaki algoritma ile çözülmüştür.

- Adım 0 Başlat $h^0, g^0, n = 0$;
- Adım 1 Atama problemini çöz h^{n+1} ;
- Adım 2 Kontrol problemini çöz g^{n+1}
- Adım 3 Yakınsamayı sına eğer $h^{n+1} \approx h^n$ ve $g^{n+1} \approx g^n$ ise DUR; değilse $n = n + 1$ ve Adım 1 e dön

Trafik atama algoritması, güncellenmiş bir ağda, trafik kontrol probleminin bir sonraki iterasyonuna geçebilmek için kullanılır. Algoritma, Adım 1 ve Adım 2'deki alt problemdeki

iterasyon sayısını kısıtlayarak veya trafik kontrol probleminin 1. adımını imal ederek, akım düzenini her iterasyonda güncelleyerek düzenlenebilir.

3.3.2.1. Cournot Oyunu

Çözümde $\frac{\partial \mathcal{Z}_{kontrol}(g^n(t))}{\partial \bar{g}_i^m(t)}$ terimi oyunun altındaki hipoteze göre hesaplanır. Cournot oyununda,

trafik otoritesinin, ağ kullanıcılarının tepkilerini kestiremediği ve rota seçimlerini değiştiremeyeceği farz edilir. Otorite, kullanıcıların davranışlarını, kendi davranışıyla değiştiremeyecekleri düşüncesine göre stratejisinin en iyilemesini yapar. Başka bir deyişle, akımlar yeşil süreye bağlı olmadan değişecektir. Konuyu aydınlatmak için, trafik kontrol probleminin amaç fonksiyonunu yeniden tanımlamak gerekecektir. Amaç fonksiyonu Denklem (3.14)'de verilmiştir.

$$Z_{kontrol} = \sum_k \sum_{rs} \sum_p h_p^{rs}(k) c_p^{rs}(k) \quad (3.14)$$

Verilen fonksiyondan yola çıkarak, amaç fonksiyonunun yeşil aralığa bağlı eğimi (türevi) Denklem (3.15) yardımıyla hesaplanabilir.

$$\frac{\partial \mathcal{Z}_{kontrol}}{\partial \bar{g}_i^m(k)} = \sum_a \frac{\partial \mathcal{Z}_{kontrol}}{\partial \hat{g}_a(k)} \frac{\partial \hat{g}_a(k)}{\partial \bar{g}_i^m(k)} = \sum_a \frac{\partial \mathcal{Z}_{kontrol}}{\partial \hat{g}_a(k)} \theta_{ia}^m(k) \quad (3.15)$$

Sinyalize kavşak durma çizgilerindeki toplam trafik akımı, akım a dan i ye gelen şerit akımlarının toplamıdır. Amaç fonksiyonu olarak verilen Denklem (3.14)'ün $g_a(t)$ 'ye göre türevi Denklem (3.16)'yı verecektir.

$$\frac{\partial \mathcal{Z}_{kontrol}}{\partial \hat{g}_a(k)} = \sum_l \sum_{rs} \sum_p h_p^{rs}(l) \frac{\partial c_p^{rs}(l)}{\partial \hat{g}_a(k)} \quad (3.16)$$

Denklem (3.16)'da Cournot oyunu sonucu bulunan akımlar hipotezi kullanılır ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\frac{\hat{\alpha}_p^{rs}(l)}{\hat{\alpha}_a(k)} = \begin{cases} \frac{\hat{\alpha}_p^{rs}(l)}{\partial \tau_a(k)} \frac{\partial \tau_a(k)}{\hat{\alpha}_a(k)}, & l + c_p^{ra}(l) = k \text{ ise} \\ 0, & \text{degilse} \end{cases}$$

$$\frac{\hat{\alpha}_p^{rs}(l)}{\partial \tau_a(k)} = \begin{cases} 1, & l + c_p^{ra}(l) = k \text{ ise} \\ 0, & \text{degilse} \end{cases} \quad (3.17)$$

Denklem (3.17)'de $c_p^{ra}(l)$, l zamanında, r noktasından, p rotasını kullanarak s noktasına hareketlenen bir ağ kullanıcısı için, r ' den a ' ya olan hat yolculuk zamanını gösterir. Denklem (3.15)-(3.17) kullanılarak Denklem (3.18) elde edilir.

$$\frac{\mathcal{Z}_{kontrol}}{\hat{\alpha}_m^i(k)} = \sum_a \sum_{rs} \sum_p \sum_{l+c_p^{ra}(l)=k} \sum \theta_{ia}^m(k) h_p^{rs} \frac{\hat{\alpha}_a(k)}{\hat{\alpha}_a(k)} \quad (3.18)$$

Denklem (3.18)'ün sağ tarafındaki $\frac{\partial \tau_a(k)}{\hat{\alpha}_a(k)}$ terimi τ_a nın açık fonksiyon halinden hesaplanabilir.

3.3.2.2. Stackelberg Oyunu

Stackelberg oyununun Cournot oyunundan en temel farkı, trafik otoritesinin kullanıcı davranışlarını kestirebilmesidir. Trafik otoritesi, sinyal kurgusunu, kullanıcıların rota seçimine göre düzenler. Başka bir deyişle, yeşil süre aralığı ve diğer sinyal parametreleri trafik akımına bağlıdır. Stackelberg oyununun formülasyonu Denklem (3.19)'da verilmiştir.

$$\frac{\mathcal{Z}_{kontrol}}{\hat{\alpha}_a(k)} = \sum_l \sum_{rs} \sum_p \frac{\partial}{\hat{\alpha}_a(k)} (h_p^{rs}(l) c_p^{rs}(l))$$

$$\frac{\mathcal{Z}_{kontrol}}{\hat{\alpha}_a(k)} = \sum_l \sum_{rs} \sum_p \frac{\partial h_p^{rs}(l)}{\hat{\alpha}_a(k)} c_p^{rs}(l) + \frac{\hat{\alpha}_p^{rs}(l)}{\hat{\alpha}_a(k)} h_p^{rs}(l) \quad (3.19)$$

Denklemin sağ tarafındaki $\frac{\hat{\alpha}_p^{rs}(l)}{\hat{\alpha}_a(k)}$ terimi, Cournot modelindeki yöntemle hesaplanabilir. Diğer terim ise Denklem (3.20) yardımıyla çözülebilir.

$$\begin{aligned}\frac{\partial h_p^{rs}(l)}{\partial g_a(k)} &= \sum_p \frac{\partial h_p^{rs}(l)}{\partial c_q^{rs}(l)} \frac{\partial c_p^{rs}(l)}{\partial g_a(k)} \\ \frac{\partial c_q^{rs}(l)}{\partial g_a(k)} &= \begin{cases} \frac{\partial c_q^{rs}(l)}{\partial \tau_a(k)} \frac{\partial \tau_a(k)}{\partial g_a(k)}, & l + c_p^{ra}(l) = k \text{ ise} \\ 0, & \text{degilse} \end{cases} \\ \frac{\partial c_q^{rs}(l)}{\partial \tau_a(k)} &= \begin{cases} 1 & l + c_p^{ra}(l) = k \text{ ise} \\ 0 & \text{degilse} \end{cases}\end{aligned}\quad (3.20)$$

Bağıntılarda, q, r' 'den s 'ye olan farklı rotaları tanımlamaktadır. $\frac{\partial h_p^{rs}(l)}{\hat{\alpha}_q^{rs}(l)}$ ifadesini hesaplamak için

Denklem (3.21)'de verilen bağıntı kullanılır.

$$\frac{\partial h_p^{rs}(l)}{\hat{\alpha}_q^{rs}(l)} = D^{rs}(l) \frac{\partial \mathcal{P}_p^{rs}(l)}{\hat{\alpha}_q^{rs}(l)} \quad (3.21)$$

$\frac{\partial \mathcal{P}_p^{rs}(l)}{\hat{\alpha}_q^{rs}(l)}$ terimi, kullanılan rota seçim olasılığı modeli ile verilir. Sonuçta Stackelberg oyunu

Denklem (3.22)'de özetlenmiştir.

$$\begin{aligned}\frac{\mathcal{Z}_{kontrol}}{\hat{\alpha}_m^i(k)} &= \sum_a \theta_{ia}^m(k) \sum_{rs} \sum_p \frac{\partial h_p^{rs}(l)}{\hat{\alpha}_a(k)} \hat{\alpha}_p^{rs}(l) + \frac{\hat{\alpha}_p^{rs}(l)}{\hat{\alpha}_a(k)} \partial h_p^{rs}(l) \\ \frac{\mathcal{Z}_{kontrol}}{\hat{\alpha}_m^i(k)} &= \sum_a \theta_{ia}^m(k) \sum_{rs} \sum_{p \mid l+c_p^{ra}(l)=k} \sum_q D^{rs}(l) \sum_q \frac{\partial \mathcal{P}_p^{rs}(l)}{\hat{\alpha}_q^{rs}(l)} c_p^{rs}(l) \frac{\hat{\alpha}_a(k)}{\hat{\alpha}_a(k)} \partial h_p^{rs}(l) \\ \frac{\mathcal{Z}_{kontrol}}{\hat{\alpha}_m^i(k)} &= \sum_a \theta_{ia}^m(k) \sum_{rs} \sum_{p \mid l+c_p^{ra}(l)=k} \sum_q \frac{\hat{\alpha}_a(k)}{\hat{\alpha}_a(k)} c_p^{rs}(l) D^{rs}(l) \sum_q \frac{\partial \mathcal{P}_p^{rs}(l)}{\hat{\alpha}_q^{rs}(l)} + \partial h_p^{rs}(l)\end{aligned}\quad (3.22)$$

Buraya kadar verilmiş olan Stackelberg oyunu modelinde, dinamik, birleştirilmiş ağ tasarım oyunu için tüm gerekli algoritmalar sağlanmaktadır.

3.3.2.3 Monopoli Oyunu

Monopoli oyununda, trafik akım düzenini karar değişkeni olarak kullanıcılar yerine trafik otoritesi belirler. Bu işlemin iki temel evresi vardır. Öncelikle trafik akımlarının atanması yapılmalı ve trafik atama algoritması için farklı bir amaç fonksiyonu kullanılmalıdır. Örneğin trafik otoritesinin amaç fonksiyonu; trafik atama algoritmasında h akımlarına göre minimize edilmelidir. İkinci olarak, trafik ataması kullanıcıların davranış değişimini kestirmek zorunda değildir. Çünkü trafik otoritesinin, toplam gecikmeyi en aza indirmek gibi değişmez bir amacı vardır. Ağ tasarımı problemi, Cournot trafik kontrol algoritması ve aşağıda belirtilen trafik atama algoritması desteği ile monopoli oyununa uyarlanabilir.

Denklem (3.23)'de verilen amaç fonksiyonu;

$$Z_{atama} = \sum_k \sum_{rs} \sum_p h_p^{rs}(k) c_p^{rs}(k) \quad (3.23)$$

çözülerek denge link trafik hacimleri bulunur. Bunun için Denklem (3.23)'ün h 'a göre türevi alınır ve Denklem (3.24)'de verilen ifadeler elde edilir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z_{atama}}{\partial h_q^{vw}(l)} &= \frac{\partial}{\partial h_q^{vw}(l)} \sum_k \sum_{rs} \sum_p h_p^{rs}(k) c_p^{rs}(k) \\ \frac{\partial Z_{atama}}{\partial h_q^{vw}(l)} &= \sum_k \sum_{rs} \sum_p \frac{\partial h_p^{rs}(k)}{\partial h_q^{vw}(l)} \hat{\alpha}_p^{rs}(l) + \frac{\partial c_p^{rs}(k)}{\partial h_q^{vw}(l)} h_p^{rs}(k) \\ \frac{\partial Z_{atama}}{\partial h_q^{vw}(l)} &= \hat{\alpha}_q^{vw}(l) \end{aligned} \quad (3.24)$$

Burada $\hat{\alpha}_q^{vw}(l)$, marjinal rota maliyetlerini göstermektedir.

3.4. Genetik Algoritmalar ve Çözüm Metodu

Genetik Algoritma (GA) yapay zekanın gittikçe genişleyen bir kolu olan evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturmaktadır. Adından da anlaşıldığı üzere evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçası olan GA, Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek oluşturulmuştur. Herhangi bir problemin GA ile çözümü, problemi sanal olarak evrimden geçirmek sureti ile yapılmaktadır. Goldberg (1989) ve Gen and Cheng'in (1997) yaptıkları çalışmalardan sonra mühendislik problemlerinde optimizasyon amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle mekanizma tasarımında çok iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bunlardan başka otomatik programlama, öğrenme kabiliyetli makineler, ekonomi, ekoloji, planlama, üretim hattı yerleşimi gibi alanlarda da uygulanmaktadır. Ayrıca dijital resim işleme tekniğinde de çokça uygulama alanı bulmuştur. Ayrıca, GA'lar karakutu arama metotları olup Darwin'in doğal seçim prensibini kullanırlar. Yani en iyi birey yaşar prensibi üzerine kuruludur. GA'lar verilen herhangi bir problemi çözerken geniş bir çözüm kümesini tarayarak en muhtemel çözümleri elde etmeye çalışır. Bu sebeple klasik matematiksel yaklaşımlarla çözümediğimiz problemler için global optimumu bulurken daha gerçekçi bir metot olarak kabul edilebilir. Klasik metotlar genellikle amaç fonksiyonlarının analitik çözümleri olduğu zaman iyi performans sergilerken, GA'lar jenerasyonlardan oluşan yapılarından dolayı süreksiz veya iyi tanımlanmamış fonksiyonları kolaylıkla çözümleyebilirler.

GA'ların anahtar özelliklerinden birisi kromozomlarla temsil edilen toplumun bazı operatörler kullanılarak değiştirilmesidir. Kromozomlar, verilen bir l uzunluğunda karakter zincirleriyle temsil edilebilirler. Genellikle bu karakterler 0 yada 1 olabilir. Her bir kromozom optimizasyon problemi için uygun bir çözümü temsil eder. Kromozomlar semboller zincirinden meydana gelmekte ve her bir sembol bit (digit) olarak adlandırılır. Her bir bit hangi parametreyi temsil ediyorsa sırasıyla dizilerek kromozom oluşturulur. Örneğin, eğer zincirler ikilik sayı sistemi (binary) içerisinde oluşturuluyorsa, her bir zincir 0 ve 1 değerini alır. GA ile problem arasındaki bağlantı uygunluk fonksiyonu (F) ile sağlanır. F fonksiyonu kromozomların gerçel sayılara çevrilmesini sağlar. Eğer F değeri büyükse kromozomun temsi ettiği çözüm diğer kromozomlara göre daha iyidir.

GA'lar üç temel parametreyi kullanırlar: *Yeniden üretim*, *çaprazlama* ve *mutasyon*. GA süreci içerisinde yapılan her bir nesil mevcut olan toplumdaki yeni bir toplum ortaya çıkarır. Başlangıç için toplum büyüklüğü pz olsun. Her bir pz bireyi bir tam sayıya atanır. Bu atama gelişigüzel veya deterministik olabilir. Yeniden üretim sürecinde, en uygun bireyler (kromozomları) uygunluk fonksiyonuna bağlı olarak ve seçim operatörlerini, örneğin, turnuva (Goldberg ve Dep (1991) gibi kullanarak mevcut toplumun içerisinde seçilirler. Yeniden üretim operatörü mevcut nesildeki en iyi bireylerin seçimini yaparak gelecek nesillere geçmesini sağlarlar. Bu operatör işlemini tamamladıktan sonra çaprazlama ve mutasyon operatörleri devreye girerek toplum içerisindeki diğer manipülasyonları yaparlar.

3.4.1. Terminoloji

GA optimizasyon modelinde kullanılan terminoloji aşağıda sıralanmıştır.

1. *Toplum büyüklüğü*, rastgele çözümlerin başlangıç kümesidir.
2. *Kromozom*, semboller zinciri olup toplumdaki bireyleri tanımlar.
3. *Nesil*, kromozomların ardışık iterasyonlardan geçerek evrimleşmesidir.
4. *Uygunluk fonksiyonu*, amaç fonksiyonudur.
5. *Değerlendirme*, her kromozomun uygunluk fonksiyonuna dayalı olarak değerlendirilmesidir.
6. *Çocuklar*, ilerideki genetik işlemler için, mevcut nesillerden alınan toplumdaki yeni kromozomlardır.
7. *Seçim*, bazı seçim operatörlerine bağlı olarak (turnuva, rulet tekeri seçimi) en uygun bireysel zincirlerin seçilme sürecidir. Bu üyeler, uygunluk derecesine bağlı olarak seçilir ve en uygun bireyler, gelecek nesillere aktarılır. En sık kullanılan seçim işlemleri olan turnuva ve rulet tekeri seçimi aşağıda açıklanmıştır.
 - a) *Rulet Tekerli Seçimi*: Her kromozom için seçim olasılığını uygunluk derecesine oransal olarak vermektir. Bu seçim işleminin dezavantajı, çoğalma sırasında bazı iyi kromozomların kaybolmasıdır. Rulet tekerinin toplum büyüklüğü olan NN kez döndürülerek, her seferinde yani nesil için bir kromozomun seçilmesine dayanmaktadır. Kromozom kaybını ve erken yakınsamayı önlemek için uygunluk derecelerine göre genellikle uygunluk ölçeklendirme sistemi uygulanır.

- b) *Turnuva Seçimi*: Toplumdan rastgele çiftler seçilir ve daha güçlü olanlarla eşleştirilir. Eşleme havuzu doluncaya kadar işlem tekrarlanır. Eşleşen her çift, kullanılan tekniğe bağlı olarak bir yada iki çocuk üretir. Bu çocuklar, kullanılan çaprazlama tekniğine bağlı olarak ebeveyn kromozomlarının karışımına sahiptir. Rastgele çiftlerin seçimi ve güçlü bireylerin eşleştirilmesi NN boyutunda yeni bir nesilin oluşturulmasına kadar sürer. Bu işlemde turnuva büyüklüğü 2' dir.
8. *Çaprazlama*, eşleşen ebeveynler arasında kromozom değişiminin sağlanması için kullanılan mekanizmadır. Eşleşen ebeveynler, kendi kromozomlarının karışımlarından oluşan bir kromozom kümesine sahip bir çocuk üretirler.
9. *Çaprazlama Olasılığı*, P_c ile gösterilir, her nesilde üretilen çocuk sayısının toplum büyüklüğüne oranı şeklinde tanımlanır. Bu oran, beklenen $P_c * NN$ kromozom sayısının çaprazlama işleminde kontrolünü sağlar. Daha yüksek bir çaprazlama oranı değeri, daha fazla çözüm aralığı bulabilir ve böylece hatalı yerel optimum değeri yakalama ihtimalini azaltır ancak, işlem süresini uzatır. Çaprazlanan bireylerden oluşan yeni toplum oluştuğu zaman, mutasyon meydana gelir.
10. *Tek-Nokta Çaprazlaması*: Kromozom çiftleri rasgele bir noktada kesilir ve kromozomların ilk kısmı diğer kromozomların ikinci kısmıyla birleştirilerek yeni kromozomlar oluşturulur.
11. *Üniform Çaprazlama*: Herhangi iki ebeveynin yeni bir kromozom oluşturulması için birleştirilmesidir.
12. *Mutasyon*: Farklı kromozomlarda rastgele değişiklikler üretir. Mutasyona ulaşmanın basit bir yolu, bir ya da birden çok geni değiştirmektir. Mutasyon operatörü, genetik algoritmalarda önemli rol oynar. a) seçim işlemi sırasında toplumdan kaybolan genleri değiştirerek yeni bir nesilde yeniden denemelerini sağlar. b) başlangıç toplumunda yer almayan genleri sağlar. Mutasyon süreci ile çaprazlamadan sonra, çocuğun bir ya da birden fazla kromozomunun mutasyona uğraması düşük bir olasılıktır. Bu operatörün fonksiyonu, nesil sırasında, toplumda yanlış bir yerel optimuma yakalanmayı önlemektir.
13. *Mutasyon Olasılığı*: Verilen bir zincir pozisyonunun değerini değiştirebilme olasılığını kontrol eden parametredir. Mutasyon olasılığı, deneme için dahil edilen yeni genlerin oranını kontrol eder. Bu değer çok düşükse, yararlı olabilecek birçok gen denenmemiş olabilir; değer çok yüksekse, rasgele karışıklık fazla olacak, çocuğun ebeveynlerine benzerliği azalacak ve algoritma geçmiş bilgileri öğrenme becerisini kaybedecektir.

14. *Artma Mutasyonu*: Çocuk kromozomunun ‘abcDF’ ile bitmesi olasılığı söz konusu olduğu zaman, F, ebeveynlerin hiçbirisinden gelmemekte ancak Ebeveyn 2’nin E kromozomunun bir pozisyon ötesidir. Artma mutasyon bir parametre değeri ortaya koyar (örneğin karar değişkeni). Bu değer, uygun parametre aralığında kalacak şekilde büyük veya küçük bir değer olarak rastgele seçilir. Her kromozom için artma mutasyonunun meydana gelme olasılığı genellikle toplum büyüklüğünün tersine eşittir.
15. *Seçkinlik*: Üretilen en iyi ebeveyn kromozomunun ileri ki nesillere taşınması için kullanılır. Toplum üretildikten sonra, GA en iyi ebeveynin yinelenip yinelenmediğini kontrol eder, eğer yinelenmediyse, en iyi ebeveynin kromozom seti seçilen rasgele bir bireye eşlenir.
16. *Basit Genetik Algoritma (SGA)*: GA’da ikili kodlama, rulet tekeri seçimi, mutasyon Goldberg(1989a) kullanılıyorsa SGA olarak nitelendirilir. Genellikle büyük bir toplum büyüklüğüne gereksinim vardır. Goldberg (1989a)
17. *Mikro Genetik Algoritma:(μGA)*, GA süreci, küçük bir toplum büyüklüğü ile, önceden belirlenmiş değere yakınsayınca, süreç, en iyi kromozomu tutarak yeniden başlar. Mevcut toplum yakınsarsa, algoritma, en iyi bireyle ve kalanı rastgele üretilen ebeveynlerle yeniden başlar. Burada kastedilen toplum yakınsamasında, diğer bireylerin bitlerinin %5’i en iyi bireyden farklıdır.

3.4.2. GA ile Trafik Kontrol Formülasyonu

GA ile problem formülasyonu ve çözüm adımları Denklem (3.25) ve (3.26)’da gösterilmiştir.

$$\psi(c, \theta, \phi) \in \Omega_0 ; \left\{ \begin{array}{l} c_{\min} \leq c \leq c_{\max} \\ 0 \leq \theta \leq c \\ \phi_{\min} \leq \phi \leq \phi_{\max} \\ \sum \phi = c \end{array} \right. \quad \text{kısıtlarına bağlı olarak}$$

$$\underset{\psi \in \Omega_0}{\text{Min}} PI(\psi) = \sum_{a \in L} (Ww_a D_a(\psi) + Kk_a S_a(\psi)) \quad (3.25)$$

$$Max F(\mathbf{x}) = \frac{1}{\sum_{a \in L} (Ww_a D_a(\psi) + Kk_a S_a(\psi))} \quad (3.26)$$

Ψ , Ω_0 içinde, sinyal sürelerinin olası kümesinin vektörüdür. \mathbf{x} kromozomlar kümesi, $\Psi \in \Omega_0$, F ise, GA için uygunluk fonksiyonu olup, maksimize edilmesi gereken bir değerdir. Burada amaç, sinyal değişkenlerini kodlamaktır. Parametrelerin bit zincirleri birleştirilerek, sinyal sürelerinin giriş vektörünü temsil eden kromozom adı verilen tek bit zincir elde edilir. Sinyal optimizasyon probleminin çözümü çok parametrelidir olup devre süresi, ofset ve yeşil sürelerden oluşmaktadır. Çoklu parametre ikili bit çözümünde, öncelikle her parametrenin ikili değişken olarak kodlanması gerekmektedir. Örneğin her faz için, sırasıyla devre süresi, ofset ve yeşil süreleri temsil edecek sekiz-bit ikili değişken seçilmesi durumunda, çözümü temsil eden ikili bit zinciri şu şekildedir.(çözümdeki tüm bitlerin 0 olduğu kabulü söz konusudur)

$$\left| \begin{array}{c} 00000000 \\ \text{devre süresi} \end{array} \right| \dots \left| \begin{array}{c} 00000000 \\ \text{1. ofset} \end{array} \right| \dots \left| \begin{array}{c} 00000000 \\ \text{n. ofset} \end{array} \right| \dots \left| \begin{array}{c} 00000000 \\ \text{1. faz} \end{array} \right| \dots \left| \begin{array}{c} 00000000 \\ \text{m. faz} \end{array} \right| \dots$$

Burada n ve m sırasıyla ofset ve faz sayısını ifade etmektedir.

Bu durumda ZZ, yol ağındaki değişkenlerin sayısı, N ise yol ağındaki toplam kavşak sayısı

olmak üzere, problemin boyutu $ZZ = \sum_{i=1}^N m_i + N$ olacaktır.

Uygunluk fonksiyonu (F), Ψ sinyal süresi değişkeninin kümesini aldığını kabul edelim.

$\Psi = (c, \theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_n, \varphi_n) : R^{ZZ} \rightarrow R$. Ayrıca, karar değişkeni Ψ değerlerini, her $\Psi \in \Omega_0$ için $\Omega_0 = [$

$\Psi_{\min}, \Psi_{\max}] \subseteq R$, den almaktadır. Amaç fonksiyonunu optimize etmek için karar değişkenlerini

belli bir hassaslıkla kodlamak gerekmektedir. Kodlama prosesi aşağıda gösterildiği gibidir.

Karar değişkenleri	$\Psi =$	$ c$	$ \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n $	$ \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n $
	↓	↓	↓	
Eşleme				
Kromozom (zincir)		$x = 01010101$	$ 010101 \dots 010111 $	$10101 \dots 00101101 $

Alt zincirlerin uzunluğu, (örn. Karar değişkeni için ikili bitlerin sayısı) karar değişkenlerinin istenilen hassaslıkları aşağıdaki ilişkiler kullanılarak belirlenebilir (Goldberg, 1989):

$$\beta \geq \log_2 \left(\frac{(\Psi_{\max} - \Psi_{\min})}{\pi} + 1 \right) \quad (3.27)$$

Burada β , alt string sayısı (her değişken için gerekli bit sayısı), π , değişkenlerin istenilen hassaslıklarını, Ψ_{\min} , Ψ_{\max} , karar değişkenlerinin kısıt kümelerini vermektedir. Diğer taraftan, karar değişkeni için artış oranının hassaslığı Denklem (3.28) ile hesaplanır.

$$\pi_i = \frac{\Psi_{\max} - \Psi_{\min}}{2^{l_i} - 1} \quad i=1,2,\dots,ZZ \quad (3.28)$$

Burada l_i karar değişkeni için gerekli olan ikili bit sayısıdır.

İkili bir zincirden eşlemede ($b_{l_1}, b_{l_0}, \dots, b_0$) değişkenlerinin, Ψ reel değerleriyle $[\Psi_{\min}, \Psi_{\max}]$ aralığında temsil edilmesi iki aşamada gerçekleşmektedir.

- ($b_{l_1}, b_{l_0}, \dots, b_0$) ikili zinciri ikili tabandan onluk tabana çevir
- ($b_{l_1}, b_{l_0}, \dots, b_0$)₂ = $\left(\sum_{j=l_i-1}^{l_i} b_j 2^j \right)_{10} = \phi_i \quad i = 1,2,\dots,ZZ \quad (3.29)$

- Belirli bir sinyal süresi için, her karar değişkene karşılık gelen değerleri bul
- $\psi_i = \psi_{i,\min} + \Phi_i \frac{\psi_{i,\max} - \psi_{i,\min}}{2^{l_i} - 1} \quad i = 1,2,\dots,ZZ \quad (3.30)$

Φ_i , (3.29) nolu bağıntıda hesaplanan değerdir. (3.30) nolu bağıntıda ise, ikili bit zincirinin çözülerek reel değerlere dönüştürülmesi söz konusudur. Her kromozom, potansiyel bir çözüm olarak $l = \sum_{i=1}^{ZZ} l_i$ uzunluğunda ikili bir zincir ile temsil edilir. Birinci l_1 bitleri $[c_{\max}, c_{\min}]$ aralığındaki bir değere eşlenir. İkinci l_2 bitleri $[0, c]$ aralığındaki bir değere, ve son grup l_{ZZ} $[\Phi_{\min, n}, \Phi_{\max, n}]$ aralığında bir değere eşlenir.

Ortak devre süresi: 8-bit, devre süresi için ikili bit zincirlerinin sayısı olması durumunda sekiz-bit ikili bit zincirleri 0 ile 2^i arasında bir tamsayıya (Φ) dönüştürülür. Bu değer daha sonra, verilen minimum ve maksimum devre uzunlukları arasında bir reel sayıya eşlenir.

$$c = c_{\min} + \phi_i \frac{(c_{\max} - c_{\min})}{2^i - 1} \quad i = 1 \quad (3.31)$$

Burada c , c_{\min} , c_{\max} sırasıyla, ortak devre süresi, izin verilen minimum ve maksimum devre süreleridir.

Örneğin, 8-bit ikili bit zinciri (01011010) olsun. Buna karşılık gelen tam sayı değeri (3.29) nolu bağıntıyla $\Phi=91$ bulunur. c_{\min} ve c_{\max} değerleri sırasıyla 30 ve 90 sn olması durumunda (3.30) nolu bağıntı kullanılarak devre süresi aşağıdaki gibi bulunur.

$$c = 30 + 91 \frac{(90 - 30)}{2^8 - 1} = 51.41 \text{ sn}$$

Ofsetler: Kavşaklar arasında ofset değerleri için ikili bit zincirlerinin 8 bit olması durumunda tüm kavşaklardaki ofset değişkenlerini tanımlamak için gerekli olan ikili bit zincirlerinin toplam uzunluğu bit sayısı ile sinyalize kontrollü kavşak sayısının çarpımından elde edilir. Örneğin, N adet sinyalize kavşak için 8 bit zincirlerinin düzenlenmesi şu şekildedir;

<u>Kavşak 1</u>	<u>Kavşak 2</u>	<u>Kavşak 3</u>	<u>Kavşak 4</u>	<u>Kavşak 5</u>	<u>Kavşak N</u>
10010101	00101010	01010111	01010100	01010110.....	11100010

Her 8-bit zinciri ilgili kavşak için ofset değerini vermektedir. Ofset değerlerinin ikili bitlerden reel değerlere eşlenmesi Denklem (3.32) kullanılarak, 0 değeri ile ortak devre süresi arasında yapılmaktadır.

$$\theta = \Theta_i \frac{c}{2^i - 1} \quad i=2,3,\dots,n \quad (3.32)$$

Burada; θ offset değerini; Θ ise ikili değer eşlendiği tamsayı değerini göstermektedir.

Yeşil aralıklar ve yeşil süreler: Herhangi bir kavşakta, sekiz-bit ikili zincirin, fazdaki yeşil süreyi temsil ettiği düşünülürse tüm kavşakların fazlarındaki yeşil aralıkları tanımlayacak olan zincirlerin toplam uzunluğu: $8 \times \sum_{n=1}^N m$ şeklinde hesaplanabilir. Burada m , n kavşağındaki toplam faz sayısı ve N sinyalize kavşak sayısıdır. Örneğin, 6 sinyalize kavşak durumunda kavşak 1 ve 2, 3 fazlı; kavşak 4 ve 6, 4 fazlı; ve kavşak 3 ve 5, 2 fazlı olsun. Bu durumda zincirlerin düzenlenmesi şu şekilde olacaktır:

<u>Kavşak 1</u>	<u>Kavşak 2</u>	<u>Kavşak 3</u>	<u>Kavşak 4</u>	<u>Kavşak 5</u>	<u>Kavşak 6</u>
24 bit	24 bit	16 bit	32 bit	16 bit	32 bit

Burada yeşil süre değişkenlerini temsil eden toplam 144 bit olduğu görülebilir. Kavşakların bit zincir yapıları aşağıdaki gibi gösterilebilir.

<u>Kavşak 1 ve 2</u>			<u>Kavşak 3 ve 5</u>	
<u>faz 1</u>	<u>faz 2</u>	<u>faz 3</u>	<u>faz 1</u>	<u>faz 2</u>
8 bits	8 bits	8 bits	8 bits	8 bits
<u>Kavşak 4 ve 6</u>				
<u>faz 1</u>	<u>faz 2</u>	<u>faz 3</u>	<u>faz 4</u>	
8 bits	8 bits	8 bits	8 bits	

Herhangi bir sinyalize kavşakta, her fazdaki yeşil aralıkların dağılımı ve her fazdaki yeşil süreler şu şekildedir;

p_1, p_2, \dots, p_i ; m fazını temsil eden genetik zincirler, $\phi_{min,1}, \phi_{min,2}, \dots, \phi_{min,n}$ fazlar için minimum yeşil süreler ve I_1, I_2, \dots, I_m fazlar arası yeşillerarası süreleri temsil ettiği düşünülürse gerekli değerler (örn. p_1, p_2, \dots, p_i) şu şekilde çıkarılabilir:

$$p_i = p_{\min} + \Phi_i \frac{(p_{\max} - p_{\min})}{2^{I_i} - 1} \quad i=1,2,\dots,m \quad (3.33)$$

Bağıntı (3.34) kullanılarak sinyal fazlarına yeşil süreler dağıtılabilir.

$$\phi_i = \phi_{\min,i} + \frac{p_i}{\sum_{k=1}^m p_k} (c - \sum_{k=1}^m I_k - \sum_{k=1}^m \phi_{\min,k}) \quad i=1,2,\dots,m \quad (3.34)$$

Burada ϕ_i ; i fazı için yeşil süre; c ; ağın ortak devre süresidir. Bu dağılım süreci herhangi bir fazın yeşil süresinin, minimum yeşil süre kısıtından daha küçük bir değerde olmamasını sağlamaktadır.

Bir yol ağı için, iki fazlı basit bir dörtyol kesişimi göz önüne alınması durumunda, K-G faz1; D-B faz2 olarak kabul edilebilir. $\phi_{\min 1,2}=7$ saniye $I_{1,2}=5$ saniye ve $c=60$ saniye değerleri sırasıyla; minimum yeşil, yeşillerarası ve devre sürelerini temsil ettiği ve ayrıca, $p_1=30.314$ ve $p_2=29.686$ faz1 ve faz2 için GA süreci ile bulunan değerler olması durumunda yeşil sürenin fazlara dağılımı,

Faz1 için;

$$\phi_1 = 7 + \frac{30.314}{30.314 + 29.686} (60 - 10 - 14) = 25.1884 \text{ saniye ve;}$$

Faz2 için;

$$\phi_2 = 24.8116 \text{ saniye olacaktır.}$$

Başlangıç toplumu: GA, sinyal kontrol problemine uygulandığında, karar değişkenlerinin rastgele seçimiyle NN başlangıç toplumu seçilir. Toplum büyüklüğü, herhangi bir değer olarak seçilebilir, ancak Goldberg (1989) SGA için 50, 100, 200 arasında kullanılmasını, Carrol (1996), μ GA tekniği için 5-50 arasında kullanılmasını önermiştir. Başlangıç sürecinde, kromozom toplumu belirlenir, her kromozom, karar değişkeni için gerekli olan ikili bitlerin ikili vektörüdür. Her kromozom için ikili bitler, rastgele değer üreticisi ile başlatılır.

Uygunluk fonksiyonu: \mathbf{x} , kromozomların ikili vektörü olması durumunda uygunluk fonksiyonu F , performans fonksiyonu PI ile ters orantılıdır. (3.26) nolu bağıntıdaki amaç fonksiyonundan yola çıkarak;

$$F(\mathbf{x})=1/PI(\boldsymbol{\psi}) \quad (3.35)$$

$$\boldsymbol{\psi} = [c, \theta_1, \varphi_1, \theta_2, \varphi_2, \dots, \theta_n, \varphi_n] \in \Omega_0$$

fonksiyonu yazılabilir. \mathbf{x} kromozomu, $\boldsymbol{\psi} \in \Omega_0$ gerçek değerini temsil eder.

Uygunluk fonksiyonu, potansiyel çözümleri uygunluk bazında değerlendirerek çevresel bir rol oynamaktadır. Bir ağdaki ortak devre süresini temsil eden 4 kromozom olması durumunda ortak devre süresinin 8 bit ikili temsilini kullanarak aşağıdaki 4 kromozom elde edilir.

$$x_1=(10110101), \Phi_1=181,$$

$$x_2=(00101011), \Phi_2= 43,$$

$$x_3=(11101111), \Phi_3=239,$$

$$x_4=(01010100), \Phi_4= 85,$$

Bağıntı (3.29) kullanılarak, ilgili tam sayı değerleri Φ_i hesaplanır. Dört kromozom değeri, 8-bit ikili zincirden ilgili reel sayılara, $c_{min}=30$ ve $c_{max}=90$ saniye kısıtları dikkate alınarak, $c_1=72.58$, $c_2=40.11$, $c_3=86.23$ ve $c_4=50.0$ değerlerine dönüştürülür. Değerlendirme fonksiyonu (3.35), verilen değerleri aşağıda verildiği şekilde oranlayacaktır.

$$\begin{aligned} F(x_1) &= 1/PI(c_1 = 72.58) = 0.02028 \\ F(x_2) &= 1/PI(c_2 = 40.11) = 0.01984 \\ F(x_3) &= 1/PI(c_3 = 86.23) = 0.01918 \\ F(x_4) &= 1/PI(c_4 = 50.00) = 0.02087 \end{aligned} \quad (3.36)$$

Denklem (3.36)'dan görüldüğü gibi, x_4 kromozomu, uygunluk değeri en yüksek değere dönüştüğünden dolayı, dört kromozom arasından en iyi olandır.

3.4.3. Alansal Trafik Kontrol Problemi için Bir Model

Trafik kontrol problemi, uygunluk fonksiyonunu maksimize ederek diğer bir deyişle, bir yol ağındaki durmaların sayısı ile gecikmelerin ağırlıklı toplamlarını minimize ederek çözümlenebilir. Bağıntı (3.25) deki amaç fonksiyonunun modifiye edilmesi ile;

$\psi(c, \theta, \varphi) \in \Omega_0$, kısıtlarına bağlı

$$Max F(\mathbf{x}) = 1/PI(c, \varphi, \theta) \quad (3.37)$$

Denklem (3.37) elde edilir. GA ve TRANSYT trafik modelinin kombinasyonu ile GATRANS oluşmakta ve oluşturulan model ile alansal trafik kontrol problemi çözümlenebilmektedir.

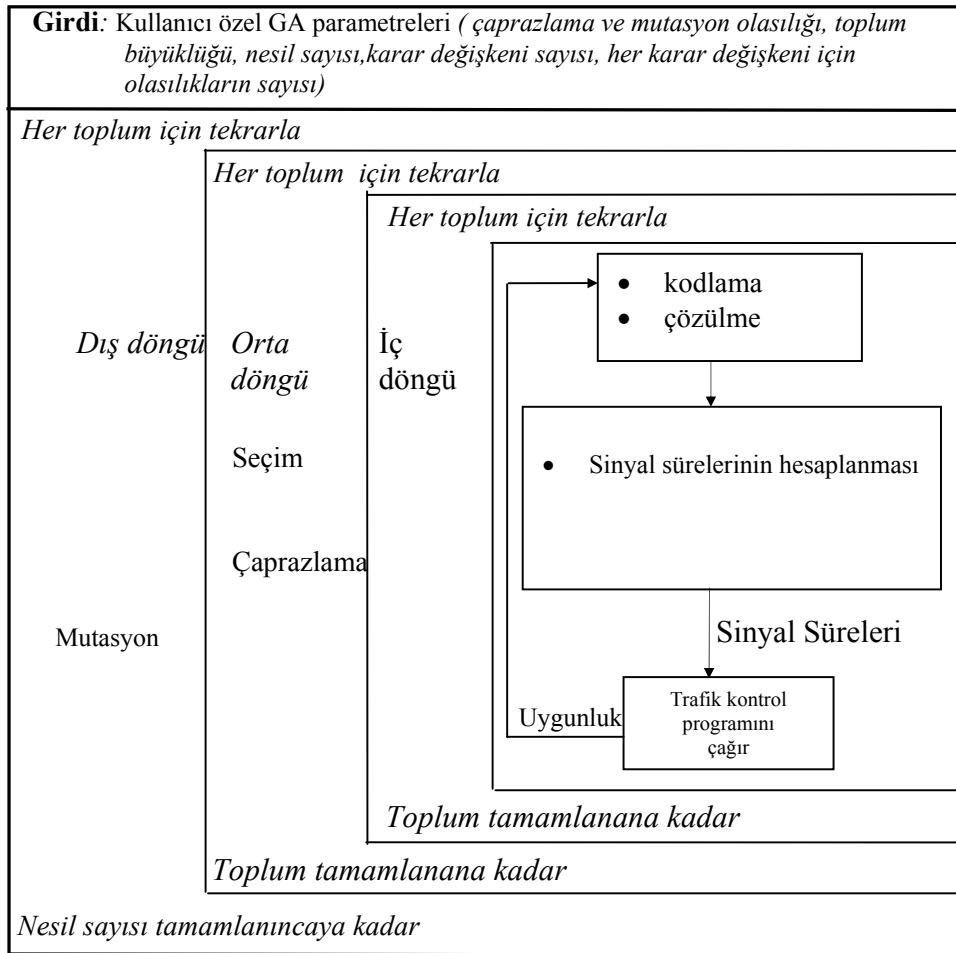
GATRANS Modeli: Şekil 3.1’de GATRANS modelinin genel yapısı verilmiştir. Giriş parametreleri, kullanıcı özel parametreler olup bunlar; çaprazlama olasılığı (P_c), mutasyon olasılığı (P_m), toplum büyüklüğü (NN), nesil sayısı (tt), yol ağındaki karar değişkenlerinin sayısı, (ZZ) ve karar değişkenlerinin olasılık sayısı (l_i) olarak verilmiştir.

GATRANS optimizasyon modeli üç döngüden oluşmaktadır. 1) En dış döngü, seçilen kromozomlardaki mutasyon işlemini gerçekleştirerek, yeni nesile aktarır. 2) orta döngü, kromozomların seçimini ve çaprazlama işlemini gerçekleştirir 3) En içteki döngü, uygunluk fonksiyonuna dayalı olarak kromozomların değerlendirilmesi işlemini gerçekleştirir ve GATRANS optimizasyon modelinde en önemli rolü oynamaktadır.

Değerlendirme süreci olarak adlandırılan en iç döngü, tüm sinyal sürelerinin ikili bit zincirleri olarak temsil edildiği bölümdür. Karar değişkenlerinin kodlama eşlemeleri GATRANS iç döngüsüyle hesaplanmaktadır. Sinyal süreleri, daha sonra *arayüz dosyası* kullanılarak TRANSYT input formatına dönüştürülür. Daha sonra, GATRANS iç döngüsü her kromozomun uygunluğunu TRANSYT trafik modeli ile değerlendirerek yol ağının performans indeksini ölçer. İç döngü, kullanıcı özel toplum büyüklüğü tamamlanincaya kadar çalışır. Kromozomların kümesi ile karşılık gelen uygunluk değerleri, seçim ve çaprazlama süreçleri için orta döngü sürecine girer.

Yeniden üretim operatörü toplum büyüklüğü tamamlanincaya kadar her bir toplum için sürer. En uygun kromozom orta döngüde seçilir. En dış döngü, yeni nesil döngüsü olup, mutasyondan sonra seçilen yeni kromozomların sonraki nesile taşındığı bölümdür. Süreç, kullanıcı tarafından belirlenmiş nesil sayısı tamamlanincaya kadar sürmektedir.

GATRANS Algoritması: GA optimizasyon yaklaşımının temel noktası, sinyal süresi parametrelerini sonlu kromozoma kodlamak ve TRANSYT performans indeksine dayalı olarak her kromozomun uygunluğunu ölçmektir. Çaprazlama mutasyon ve seçim operatörlerinin uygulanmasından sonar en uygun kromozoma ulaşılabilir. Model algoritması aşağıda özetlenmiştir;



Şekil 3.1. GATRANS optimizasyon modeli

X_{tt} 'nin GA rastgele arama uzayında $[NN \times l]$ boyutunda potansiyel çözüm matrisi olduğu farz edilirse $j=(1,2,3,4,\dots, NN)$ ve $x=(0,1,0,1,0,1,0,\dots,l)$ olarak ifade edilebilir. l ikili zincir içindeki ikili bitlerin toplam sayısı (örn. kromozom) ve tt nesil sayısı $tt=(1,2,3,\dots)$ olarak verildiği zaman algoritma adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Adım 0. Başlangıç. Kullanıcı özel GA parametrelerini düzenle; x kromozomunu oluşturmak için ψ karar değişkenini kodla; kromozomu karşılık gelen reel sayılara eşlemek için (3.31), (3.32) (3.33) and (3.34) bağıntılarını kullan; TRANSYT girdi formatına dönüştür.

Adım 1. Sinyal süreleri X_{tt} için başlangıç rastgele toplumu üret ve $tt=1$

Adım 2. X_{tt} 'nin tüm sinyal parametrelerini çöz.

Adım 3. Ağın toplam performans indeksini ölçmek için TRANSYT ile her x_j kromozomunun uygunluk fonksiyon değerini hesapla

Adım 4. Seçim ve Çaprazlama operatörünü düzenle

Adım 5. Mutasyon operatörünü düzenle. Yeni toplum kromozomunu oluştur. X_{tt+1}

Adım 6. Eğer toplumun ortalama uygunluk değeri ile toplum en iyi uygunluk indeksi 5% den küçükse, toplum yeniden başlasın ve adım 1 e git ve $tt=tt+1$ yap. Aksi takdirde adım 7 ' ye git.

Adım 7. Eğer tt =nesildeki en büyük değer ise, en yüksek uygunluk değerine sahip kromozom, problemin optimum çözümü olacaktır. Aksi takdirde $tt=tt+1$ ve adım 2' ye geri dön.

Adım 0' da, karar değişkeni ψ ikili bit zinciri olarak kodlanmaktadır. x_j popülasyonundaki her kromozom karar değişkenlerini oluşturan reel sayılara eşlenir. Kodlama ve çözülme süreçleri GATRANS' ın önemli noktalarıdır çünkü süre kümesi kısıtları süreç boyunca sağlanmalıdır.

Adım 1' de, başlangıç toplumunun üretimi şu şekildedir: Rastgele değer, 0.5' den küçükse, ebeveyn ikili bitleri 0, değilse 1 olur. Tüm karar değişkenleri için başlangıç prosedürü, önceden belirlenmiş olan toplum büyüklüğüne ulaşıncaya kadar devam eder. Rastgele sayılar, alt zincirlerin 1 ve 0 değerlerinin sayısını kontrol eden rastgele sayı üreticisi ile üretilir.

Adım 2' de, rastgele üretilmiş olan ikili bit zincirleri her alt zincir için her altzincirlerdeki kromozom sayısı bitinceye kadar çözülür. Bu süreç, toplum büyüklüğü tamamlanıncaya kadar sürer.

Adım 3, GATRANS optimizasyon modelinde en önemli rolü oynar. Burada, Adım 2'de elde edilen çözülmüş değişkenler TRANSYT girdisi olmaktadır. Bu bölüm, her kromozomun uygunluk değerinin ölçüldüğü değerlendirme fonksiyonu bölümüdür. Değerlendirme aşamasında, değerlendirme fonksiyonu her kromozomu değerlendirir, uygunluk ataması yapar ve en iyi uygunluğu belirler. Çıktı bilgisi ile ilgili çıktı dosyasını verir. '*F*' uygunluk fonksiyonunu kullanarak, toplumdaki her kromozom değerlendirilir. Değerlendirme toplum büyüklüğü tamamlanıncaya kadar sürer.

Değerlendirme sürecinde, sinyal kontrol değişkenleri TRANSYT girdi dosyasından *arayüz* programı ile okunurlar. Arayüz programı, TRANSYT girdi değerlerini girdi kartlarından okurken; karar değişkenlerindeki her değişim için çıktı değerlerini de okur. Mevcut toplumdaki her kromozom için amaç fonksiyonu uygunluk değerleri hesaplanır. Değişim GA'nın kendi süreciyle ilgilidir çünkü GA amaç fonksiyonu değerini maksimize etmeye çalışır.

Arayüz programı geliştirmek için, GATRANS ve TRANSYT' i birleştiren yazılım geliştirilmiştir. Değerlendirme sürecinde TRANSYT çalıştırılır. Daha sonra, ağ performans indeksi ilgili dosyalardan okunur. Sonuç değerleri, GA prosesi içinde, her kromozom için bir uygunluk indeksi oluşturarak değerlendirilir.

Seçim süreci, turnuva işlemini yer değiştirme ile yapar. (Goldberg *ve diğ.*, 1989b). Bir toplumdaki belirli sayıda bireyi daha sonraki genetik işlemlerde kullanmak üzere rastgele seçer, bu gruptan en iyi bireyi seçer, eski kromozomların yerini yeni kromozomlarla değiştirir, eşleme havuzu doluncaya kadar bu işlemleri tekrar eder. Turnuvalar, genellikle birey çiftleri arasında olur (turnuva büyüklüğü genellikle 2 dir), ancak daha büyük turnuvalar da yapılabilir. Turnuva seçiminin avantajı, iki ya da daha fazla zincir arasında turnuva yaparak seçim ve derecelendirmeyi tek aşamada birleştirir ve bu problemden bağımsız genetik operatördür. Bu çalışmadaki turnuva seçimi prosesi şu şekildedir:

1. Turnuva büyüklüğü; $s = 2$.
2. NN sayısının rastgele permütasyonunu oluştur.
3. Permütasyonda listelenen bir sonraki s toplum bireylerinin uygunluk değerlerini karşılaştır, bir sonraki genetik işlem için en yüksek uygunluk değerine sahip bireyin seçilmesi, yeni kromozomun daha yüksek uygunluğa sahip olacağı düşüncesiyle, eski kromozomun yerini yeni kromozomun alması ve yeni nesile yeni kromozomun aktarılması.
4. Eğer NN -permütasyonu sona ererse, toplum büyüklüğü yeniden *karıştırılır*.
5. Adım 3'den başlayarak mevcut nesil için başka seçim gerekinceye kadar tekrarlar.

Karıştırma terimi, NN populasyon büyüklüğünün karıştırılarak, seçim sırasında ardışık olarak aynı bireyin seçilmesinin önüne geçilir.

GATRANS optimizasyon modelinde, uygulama kolaylığından dolayı ikili turnuva kullanılır. İkili turnuva seçimi uygulamasında, yeni nesil için iki rastgele kromozom ($s=2$) x_1 ve x_4 seçilerek;

$$F(x_1) = 0.02028$$

$$F(x_4) = 0.02087$$

uygunluk fonksiyonları hesaplanır.

x_4 kromozomunun uygunluk değeri x_1 ' den büyük olduğu için, x_4 kromozomu bir sonraki nesil için seçilir ve x_1 ' in yerini x_4 alır. Bu proses, toplum büyüklüğü 4 tamamlanıncaya kadar sürer.

GATRANS' da yeniden üretim süreci, bir alt program olarak toplum büyüklüğünün karıştırılarak turnuva seçimi yapılması şeklindedir. Alt program, seçilen bireye karşılık gelen toplum indeksine döner. En iyi kromozomlar yeni nesil için seçilir ve diğer kromozomlar, toplum büyüklüğü yenileninceye kadar rastgele olarak seçilir. Seçim süreci, yeni nesil için çocuk seçiminde bir yol sunmaktadır. Seçim süreci sırasında, bazı kromozomlar bir defadan çok seçilir çünkü en iyi kromozomlar daha fazla kopya üretir, ortalama olan hayatta kalır, zayıflar ölür.

İkinci yeniden üretim operatörü olarak, çaprazlama, seçilen kromozom çiftlerine aşağıda verilen şekilde uygulanır. Çaprazlama olasılığı beklenen $P_c \times NN$ kromozomu vererek çaprazlama işlemine girecek olan sayıyı verir. Çaprazlama prosedürü şu şekildedir;

- $[0...1]$ aralığında bir rastgele sayı seç
- Rastgele sayı P_c 'den küçükse, çaprazlama için ilk kromozomu seç.

Burada seçilen kromozomlar rastgele eşlenir. Her kromozom çifti için $[1...l-1]$ aralığında rastgele tamsayılar üretilir. “*icross*” tamsayı değeri, çaprazlama noktasını işaret etmektedir. İki kromozomun;

$$b_1b_2\dots b_{icross}b_{icross+1}\dots b_l \text{ ve} \\ c_1c_2\dots c_{icross}c_{icross+1}\dots c_l$$

yerini çocukları alır;

$$b_1b_2\dots b_{icross}c_{icross+1}\dots c_l \text{ ve} \\ c_1c_2\dots c_{icross}b_{icross+1}\dots b_l$$

Çaprazlama operatörünün genelleştirilmiş biçimi “üniform çaprazlama” olup her bit için ilk çocukta (P_c olasılığı ile) hangi ebeveynin katkıda bulunacağına karar verilir. İkinci çocuk, biti diğer ebeveynden alır. Örneğin, $P_c = 0.5$ için (0.5-üniform çaprazlama), zincirler;

$$x_1 = (10100111) \\ x_2 = (11101001) \text{ ve}$$

Aşağıdaki çocukları üretebilir;

$$x_1' = (1_1 1_2 1_1 0_2 1_2 0_2 1_1 1_1)$$

$$x_2' = (1_2 0_1 1_2 0_1 0_1 1_1 0_2 1_2)$$

GATRANS¹'daki çaprazlama operatörü, verilen bir çaprazlama olasılığı ile iki rastgele seçilmiş ebeveyn kromozomunu alır (*ebeveyn 1* ve *ebeveyn 2*) ve iki çocuk üretir (*çocuk 1* ve *çocuk 2*). Mutasyon operatörü bit esasına göre çalışır; mutasyon olasılığı P_m , mutasyona uğramış bit sayısının, $P_m \times l \times NN$, belirlenmesini sağlar. Toplumun tüm kromozomlarındaki her bitin mutasyona girme olasılığı eşittir ve 0 ile 1 arasındadır. Mutasyon operatörü süreci şu şekilde çalışmaktadır.

Mevcut toplumdaki her bit için *sıçrama* mutasyon süreci (çaprazlamadan sonra);

- [0..1] aralığında rastgele sayı üret
- Rastgele üretilen sayı P_m 'den küçükse, biti mutasyona uğrat.

GATRANS'da iki tip mutasyon operatörü sözkonusudur. Bunlar Basit GA (BGA) için rastgele mutasyon (sıçrama) ve μ GA için artma mutasyonu. Sıçrama mutasyon operatörü çözüm uzayı hakkında bilgi almaz, seçilen genleri 0 ya da 1'e çevirir. Bu şekilde, yeni rastgele varyasyon topluma dahil edilmiş olmakta, uzay yüzeyinin diğer bölgeleri araştırılmış ve alt-optimal çözümün seçilme olasılığı azalmış olmaktadır. Artma mutasyonu (P_{artma}) sıçrama mutasyonuna benzemekte olup tek fark; karar değişkeni değerinin aşağı-yukarı değiştirilmesidir. Bu değişkenin arttırılma azaltılma kararı rastgele verilmektedir. Bu yolla çözüm uzayı hakkındaki bilgilerden faydalanılmaktadır.

GATRANS'daki mutasyon çocuk mutasyonu şeklindedir. Eğer rastgele değer P_m 'den düşükse sıçrama mutasyonu olur. Eğer farklı bir rastgele değişken P_{artma} 'dan düşükse sinyal süresi değişkeninde rastgele artma mutasyonu olur.

¹ GATRANS modeli çaprazlama için tek-nokta veya üniform'dan birini kullanır.

Artma mutasyonu süreci, her parametreye ayrı ayrı uygulanır, mevcut toplumda her karar değişkeni için;

- [0..1] aralığında rastgele sayı üret
- Eğer bu rastgele sayı P_{artma} değerinden küçükse, mevcut parametreleri çöz;
- [0..1] aralığında yeni bir rastgele sayı üret
- Eğer rastgele sayı 0.5'den küçükse, karar değişkeninin değerini (3.28) nolu bağıntı kullanılarak hesaplanan bir değerde azalt, değilse arttır.

Bu süreç, tüm karar değişkenleri için gerçekleştirilir. Sıçrama ve artma mutasyonu arasındaki fark; sıçrama mutasyonu mevcut toplum içinde bit-bit çalışırken artma mutasyonu tasarım değişkenlerini çözerek, mevcut parametrenin sonraki durumunu kontrol eder.

Eğer μ GA tekniği seçildiyse, μ GA algoritması genellikle toplum ortalama uygunluk indeksinin ve toplumun en iyi uygunluk indeksinin önceden belirlenmiş yakınsama kriterine yakınsaması esasıyla küçük bir toplum büyüklüğü ile başlar (yakınsama kriteri μ GA için 5%). Mevcut toplum yakınsadığı zaman, algoritma en iyi kromozomu tutarak yeniden başlar. Bu yolla, GA algoritmasının BGA' nın üstüne çıkmaktadır. GATRANS' da, toplum büyüklüğü oldukça geniş seçilir (örn. 40-50) ve algoritma, ilk kümenin toplum ortalama uygunluk ve en iyi uygunluk değerinin önceden belirlenmiş yakınsama kriterine yaklaştığı noktada son bulur.

3.4.4. GATRANS Modelinin Sayısal Uygulaması

GATRANS model süreci, sabit link akımları altındaki bir yol ağına, 4 ayrı senaryo ile uygulanmıştır.

- 1) Sadece devre süresi optimizasyonu,
- 2) Sadece offset optimizasyonu,
- 3) Devre süresi ve offset optimizasyonu,
- 4) Devre süresi, offset ve yeşil süre optimizasyonu.

Başlangıç olarak kromozom kümesini oluşturmak için, sinyal değişkenleri bir arada kullanılır;

- 'c' ortak devre süresini temsil eden zincir
- 'θ' tüm kavşaklardaki offsetleri temsil eden zincir
- 'φ' tüm kavşaklardaki yeşil aralıkları temsil eden zincir.

1) Yalnızca ortak devre süresi optimize edilirken, kromozomlar sadece 'c' den oluşur:

c

2) Yalnızca offset optimize edilirken , kromozomlar sadece 'θ' den oluşur:

θ

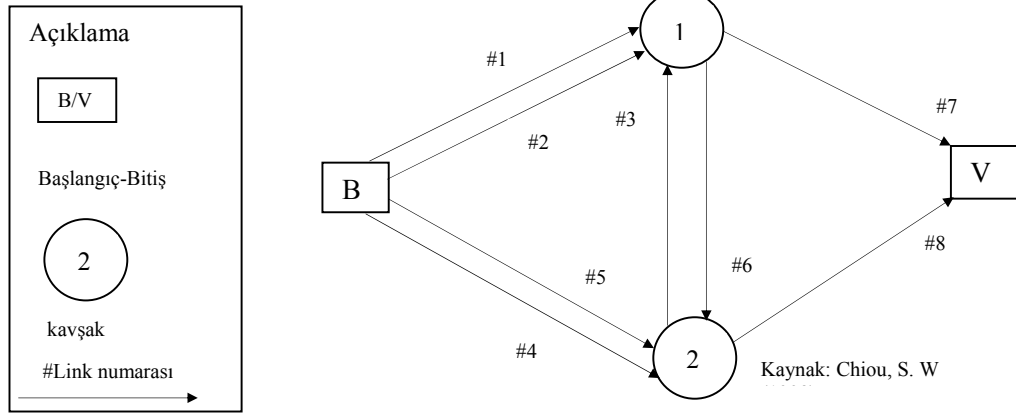
3) ortak devre süresi ve ofsetler birlikte optimize edilirken, kromozomlar:

c|θ'den oluşur.

4) Ortak devre süresi, ofsetler and yeşil aralıklar optimize edilirken, kromozomlar:

c|θ|φ'den oluşur.

Şekil 3.2'de verilen iki sinyal kontrollü kavşak, bir başlangıç-varış çifti ve sekiz linkten oluşan basit yol ağını göz önüne aldığımız zaman iki kavşaklı ağ için, girdi verisinin sabit değerleri Tablo 3.2'de sabit link akımları ise Tablo 3.3' de verilmiştir.



Şekil 3.2 Örnek ağ

Sinyal süresi kısıtları şunlardır:

$$36 \leq c \leq 90$$

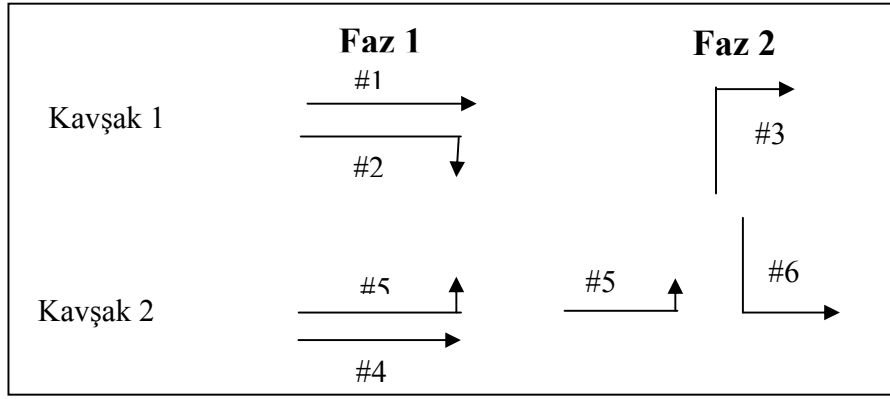
devre süresi kısıtı

$$0 \leq \theta \leq c$$

offsetler

$7 \leq \phi \leq c$ yeşil aralık
 $I_{1-2} = I_{2-1} = 5$ saniye kayıp zaman

Toplum büyüklüğü $NN=6$, genetik operatör olasılıkları $p_{artma}=0.05$, $p_{sıçrama}=0.1$, ve $p_c=0.5$ olarak alınmış ve ayrıca 8-bit zincirin sinyal süresi değişkenlerini temsil ettiği farz edilmiştir. Bu durumda parametre başına artım 0.235 saniye olmaktadır. Şekil 3.3'de faz diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.3. Faz diyagramı

Tablo 3.2. İki kavşaklı ağ için veri girdisi

kavşak	link	c^0	s	kavşak	link	c^0	s
1	1	20	1800	2	4	20	1800
	2	20	1800		5	20	1800
	3	20	1800		6	20	1800

c^0 , s sırasıyla olarak serbest akım süresi (sn) ve doymuş akım(ta/sa)

Tablo 3.3. TRANSYT girdisi olarak sabit link akımları

Link akımı veh/h					
q ₁	q ₂	q ₃	q ₄	q ₅	q ₆
615.0	45.0	225.0	615.0	225.0	45.0

Her bir senaryo için kromozom oluşumu aşağıda verilmiştir.

Senaryo 1) sadece ortak devre süresi optimizasyonu

$$x = |01011110|$$

$$\downarrow$$

$$c$$

Senaryo 2) sadece offset optimizasyonu

$$x = |10010101|01110011|$$

$$\downarrow \quad \downarrow$$

$$\theta_1 \quad \theta_2$$

Senaryo 3) ortak devre süresi ve offset optimizasyonu

$$x = |10101011|11000111|11110001|$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$c \quad \theta_1 \quad \theta_2$$

Senaryo 4) ortak devre süresi, offset and yeşil aralık optimizasyonu

$$x = |11110001|00000111|10101111|01010111|00111000|00011111|01011111|$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$c \quad \theta_1 \quad \theta_2 \quad \phi_1 \quad \phi_2 \quad \phi_3 \quad \phi_4$$

Dört senaryoda gösterildiği gibi; kromozomların toplam uzunluğu; senaryo 1, senaryo 2, senaryo 3 and senaryo 4 için sırasıyla 8-bit, 16-bit, 24-bit and 56-bit olmaktadır.

GATRANS uygulamasından sonra Tablo 3.4'deki değerler elde edilir. Tablo 3.4'de görüldüğü gibi, x_2 kromozomu en güçlü; x_6 kromozomu en zayıftır.

Tablo 3.4. GATRANS kullanılarak devre süresinin optimizasyonu

Kromozomlar	İkili kod	Çözülmüş değer	$F(x_j)=1/PI$
x_1	01001001	47.1765	0.02066
x_2	10001111	63.6471	0.02079
x_3	10010011	64.5882	0.02075
x_4	10110011	72.1176	0.02028
x_5	01000101	46.2353	0.02058
x_6	11011111	82.4706	0.01953

Bu aşamada model, ikili turnuva seçimini yer değiştirme ile uygular ve iki çift seçilerek en uygun kromozom yeni nesile aktarılır. Örneğin, iki kromozom, x_4 ve x_6 seçilmiş olduğu farz edilirse, x_4 , x_6 ile yer değiştirilerek bir sonraki nesile aktarılacaktır. Yeni toplum aşağıdaki kromozomlardan oluşacaktır.

$$\begin{aligned}x'_1 &= (01001001) & (x_1) \\x'_2 &= (01000101) & (x_5) \\x'_3 &= (10110011) & (x_4) \\x'_4 &= (10001111) & (x_2) \\x'_5 &= (10010011) & (x_3) \\x'_6 &= (10001111) & (x_2)\end{aligned}$$

Kromozomlar seçildikten sonra çaprazlama operatörü uygulanacaktır. Çaprazlama olasılığı; $P_c=0.5$, ortalama olarak kromozomların %50'sinin (6'da 3) çaprazlamaya gireceği beklenmektedir. Çaprazlama operatörü şu şekilde işler:

Toplumdaki her kromozom için, $[0...1]$ aralığında rastgele bir sayı üretilir. Eğer rastgele sayı 0.5' den küçükse, çaprazlama için ilk kromozomu seçilir. Rastgele sayıların sıralamasının aşağıdaki gibi olduğu farz edilirse;

0.83643 0.758983 0.00886 0.07913 0.38337 0.57458

Bu durumda x'_3 , x'_4 , ve x'_5 kromozomları çaprazlama için seçilir. (seçilen kromozom sayısının teksayı olması şanssız bir durum olup, 1 fazla kromozom daha eklenme ya da seçilen kromozomların birinin atılması alternatiflerinden biri seçilecektir). Burada, kromozomların kolaylıkla çiftlenebilmesi için yeni bir kromozom eklenmesi alternatifi seçilmiştir. (çaprazlama için x'_1 kromozomunun eklenmesi). Seçilen kromozomlar rastgele eşlenir, örneğin; (x'_1 ve x'_3) ve (x'_4 ve x'_5). Her çift için $[1...7]$ aralığından rastgele bir sayı üretilir (8 kromozomun toplam uzunluğudur). Üretilen rastgele tam sayının 2 olduğu varsayılırsa kromozom çifti aşağıda görüldüğü gibi 2. bittten sonra kesilir ve değiştirilir.

$$x_1' = (01|001001)$$

$$x_3' = (10|110011)$$

$$x_1'' = (01|110011)$$

$$x_2'' = (10|001001)$$

İkinci çift kromozomda aynı şekilde çaprazlamaya tabi tutulur ve üretilen rastgele sayının “5” olduğu göz önüne alınırsa aşağıdaki çaprazlama işlemi uygulanır ve;

$$x_4' = (10001|111)$$

$$x_5' = (10010|011)$$

yeni kromozom çifti elde edilir.

$$x_4'' = (10001|011)$$

$$x_5'' = (10010|111)$$

Bu durumda toplumun mevcut durumu aşağıdaki gibi belirlenir.

$$x_1'' = (01110011)$$

$$x_2'' = (10001001)$$

$$x_3' = (01000101)$$

$$x_4'' = (10001111)$$

$$x_5'' = (10010011)$$

$$x_6' = (10001111)$$

Mutasyon operatöründe bit-bit uygulaması söz konusudur. Mutasyon olasılığı ortalama olarak $P_m=0.1$ alınır ve bu bitlerin 10%'unun mutasyona gireceği anlamına gelmektedir. Toplumun tamamında, $NN \times l = 6 \times 8 = 48$ bit vardır; ve her nesil için 4 mutasyon gerçekleşecektir. Toplumdaki her bitin mutasyon şansı eşittir, $[0...1]$ aralığından rastgele bir sayı üretilir; bu sayı

0.1'den küçükse bit mutasyona uğrattılır. Bu durumda 48 adet rastgele sayı üretilmelidir. Örnekte bu değerlerin 4 tanesi 0.1' den küçüktür; bit ve rastgele sayılar aşağıda verilmiştir;

<u>Bit pozisyonu</u>	<u>Rastgele sayı</u>
2	0.01108
19	0.07763
21	0.09876
47	0.06872

Aşağıdaki tablo, bit pozisyonunu kromozom sayısına ve kromozomun içindeki bit numarasına çevirmektedir;

<u>Bit pozisyonu</u>	<u>Kromozom sayısı</u>	<u>Kromozomdaki bit numarası</u>
2	1	2
19	3	3
21	3	5
47	6	7

Bu durumda 4 kromozom mutasyon operatöründen etkilenmektedir. Sonuç toplumu Tablo 3.5'de verilmiştir. Mutasyon yapılmış bitler koyu olarak verilmiştir. Şu ana kadar sadece bir nesil tamamlanmıştır. Yeni nesil, eskisine göre iyileşme göstermiştir. Tablo 3.4'te, en iyi uygunluk değeri 0.02079 ve karşılık gelen devre süresi 63.64 saniyedir. Tablo 3.5'te görüldüğü gibi uygunluk değeri 0.02100'e yükselmiş ve karşılık gelen devre süresi 55.64 saniye olmuştur..

GATRANS modeli, toplum ortalama uygunluk ve en iyi uygunluk değerleri arasındaki fark küçük bir değerde olunca sona erer. Sonuçlar Tablo 3.6'da gösterilmiştir. Sonuçlar en iyi uygunluk derecesinin 0.02101 ve devre süresinin 56.82 saniye olduğunu göstermektedir.

Optimizasyon süreci sırasında, yeşil sürelerin sinyal fazlarına dağılımı Senaryo 1' deki çakışan linklerdeki doygun akım derecelerinin eşitlenmesine dayalı olarak yapılmaktadır.

Tablo 3.5 Devre süresi optimizasyonu için yeni nesil ve uygunluk değerleri

Kromozomlar	İkili Kod	Çözülmüş değer	$F(x_j)=1/PI$
x_1	00110011	42.00	0.02008
x_2	10001001	62.23	0.02083
x_3	01101101	55.64	0.02100
x_4	10001111	63.64	0.02075
x_5	10010011	64.58	0.02075
x_6	10001101	63.17	0.02079

Senaryo 1 için devre süresi optimizasyonu küçük olmasına rağmen, esas amaç GATRANS'ın nasıl çalıştığını göstermektir. Ortalama toplum uygunluğu ile en iyi uygunluğun yakınsaması 13. iterasyonda elde edilmiştir. Sonuçta; devre süresi 56 saniye ve karşılık gelen performans indeksi 47.5 £/h değerindedir.

Tablo 3.6 Yeni toplum ve uygunluk değerleri

Kromozomlar	İkili kod	Çözülmüş değer	$F(x_j)=1/PI$
x_1	01111111	59.88	0.02092
x_2	01111011	58.94	0.02096
x_3	01111010	58.70	0.02096
x_4	01111010	58.70	0.02096
x_5	01110010	56.82	0.02101
x_6	01111101	58.94	0.02096

GATRANS'ın tüm optimizasyon yeteneğini göstermek için, kullanıcı özel parametreler tüm senaryolar için yeniden gözden geçirilmiştir:

Toplum büyüklüğü (NN)=40;

Mutasyon olasılığı (P_m)=1/40=0.02;

Artma mutasyon olasılığı (P_{artma})=2/40=0.05;

Maksimum iterasyon sayısı (tt) = 20 ve üniform çaprazlama tipi kullanılmıştır.

Tablo 3.7’de her senaryo için optimize edilmesi gereken karar değişkenlerinin sayısı verilmiştir. Optimizasyon sonuçları Tablo 3.8’de verilmiştir. GATRANS model sonuçları TRANSYT hill-climbing (HC) optimizasyonu ile karşılaştırılmıştır.

GATRANS optimizasyon algoritmasının yakınsaması dört senaryonun her biri için, ortalama toplum uygunluk indeksi ile en iyi uygunluk indeksi arasındaki farkın 5% değerinden az olması durumu olarak kabul edilmiştir. Performans indeksinin optimum değeri, ortalama ve en iyi uygunluk değerinin eşit çıktığı, 17. iterasyonda bulunmuştur.

TRANSYT ile elde edilen optimum sonuçlar, HC sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 3.7). TRANSYT optimizasyonu ‘CYOP’ kolaylığı ile yapılmıştır. TRANSYT’ in tüm optimizasyon kapasitesi kullanılarak TRANSYT sonuçları belirlenmiştir.

Tablo 3.7. Her senaryo için karar değişken sayısı

Senaryolar	Devre süresi	Offsetler	Yeşil aralık	Toplam değişken sayısı(ZZ)
1	1	-	-	1
2	-	2	-	2
3	1	2	-	3
4	1	2	4	7

Tablo 3.8’de görüldüğü gibi, GATRANS ile elde edilen performans indeksi, TRANSYT hill-climbing metodu ile elde edilen değerlerden biraz daha iyidir (yaklaşık 5% iyileşme). Ayrıca, çözümün daha stabil olduğu ve optimizasyon sürecinde, GA’ nın olasılıklı yapısından dolayı, yerel optimuma yakalanma olasılığının daha az olduğun görülmüştür.

Tablo 3.8. HC ve GATRANS modelinin performa indekslerinin karşılaştırılması

Optimizasyon Metodu	Ortak Devre Süresi	Performans İndeksi (£/h)	Performans İndeksi (veh-h/h)	Yüzde İyileşme (%)
Hill-climbing	80.00	50.40	5.40	--
Senaryo 1	56.82	47.50	4.91	5.75
Senaryo 2	60.0	47.80	5.01	5.20
Senaryo 3	51.92	47.70	4.91	5.35
Senaryo 4	56.35	47.70	4.91	5.35

3.5. Sonuçlar

Çalışmanın bu bölümünde, oyun teorisi ve çözüm algoritmaları tanımlanmış, ağ tasarımında Cournot, Stackelberg ve Monopoli oyununun hat maliyet fonksiyonlarına göre nasıl çözümlenebileceği irdelenmiştir.

GA yaklaşımının terminolojisi, kodlama, çözümleme ve sinyal değişkenlerinin formülasyonu geliştirilmiştir. Şehir içi trafik planlanması ve yönetimi için GATRANS optimizasyon algoritması açıklanmış; değerlendirme fonksiyonu, seçim ve çaprazlama ile mutasyon operatörleri tanımlanmıştır. Geliştirilen model 8-linkli iki kavşaklı uygulama ağı üzerinde analiz edilmiş ve dört farklı senaryo altında çözülmüş ve sonuçlar irdelenmiştir.

IV. BÖLÜM

VERİ TOPLANMASI VE ARAZİ ÇALIŞMALARI

4.1. Giriş

Bu bölümde, trafik verilerinin elde edilmesi için kullanılan sensör türleri ve bu türlerin hangi işlevleriyle ne tür amaçlar için kullanılabilirler incelenmiştir. Proje kapsamında temin edilen sabit ve hareketli sensörler daha detaylı şekilde incelenmiş ve arazi uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Sensörler yardımıyla derlenen trafik verilerinin güvenilirliğinin belirlenmesi amacıyla, örnek bir ulaşım ağında yapılan kamera sayımları ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Kesit sayımları sırasında, ulaşım ağında trafikten kaynaklanan gürültünün modellenmesi için gürültü verileri derlenmiştir. Ulaşım Ağ Tasarımı (UAT) çalışmalarına esas veriyi teşkil etmek amacıyla B-V sayımları gerçekleştirilerek matrisler elde edilmiştir.

4.2. Sensörler

Sensörler, şehiriçi ve şehirlerarası yollardan trafik verisi toplamak amacı ile kullanılırlar. Sensörler yardımı ile hız, araç sınıflandırması ve araçların tanımlanması, işgal süreleri, trafik hacimleri vb. trafik verileri derlenebilmektedir. Veriler sürekli ya da kesikli olarak elde edilebilmektedir. Toplanan veriler, planlama, araştırma ve Akıllı Ulaşım Sistemlerinin (AUS) uygulanmasına yönelik gerçek-zamanlı olarak da alınabilmektedir. Sensörler sabit ve taşınabilir olmak üzere iki gruba ayrılabilir: Sabit sensörler, doğrudan yol üzerine yerleşip sürekli olarak trafik bilgilerini algırlar. Bu tip sensörler, genellikle yol üzerindeki uygulama yerlerinde sabit kalırlar. Taşınabilir sensörler ise kısa-dönem veri derlenmesi için kullanılabilirler ve yerleri zaman zaman değiştirilebilir. Taşınabilir sensörlerin uygulanabilmesi için sabit sensörlerdeki gibi şerit kapatmaları gerekmektedir ve bu süre sabit sensörlerin uygulanmasından daha kısa zaman almaktadır. Yapılan çalışmalar henüz sabit ve taşınabilir sensörler arasında belirgin bir avantaj ve dezavantaj farkını ortaya koyamamıştır. Ancak kullanım amacına ve istenilen verinin kalitesine göre sensör seçimi gereklidir. Sabit sensörlerin en iyi bilineni endüktif döngü (inductive loop)

sensörlerdir, fakat “blade” sensörler yine endüktif döngülerden yapılmış olup taşınabilir algılayıcılarıdır. Piezoelektrik sensörler, kolaylıkla taşınabilir veya sabitlenebilir, hareket anında yük (WIM) ölçmek için kullanılırlar. Diğer bir tür ise manyetik sensörlerdir. Bu sensörler yol üstyapısına yerleri kesilerek veya kesilmeden yerleştirilebilirler.

4.2.1. Sabit sensörler

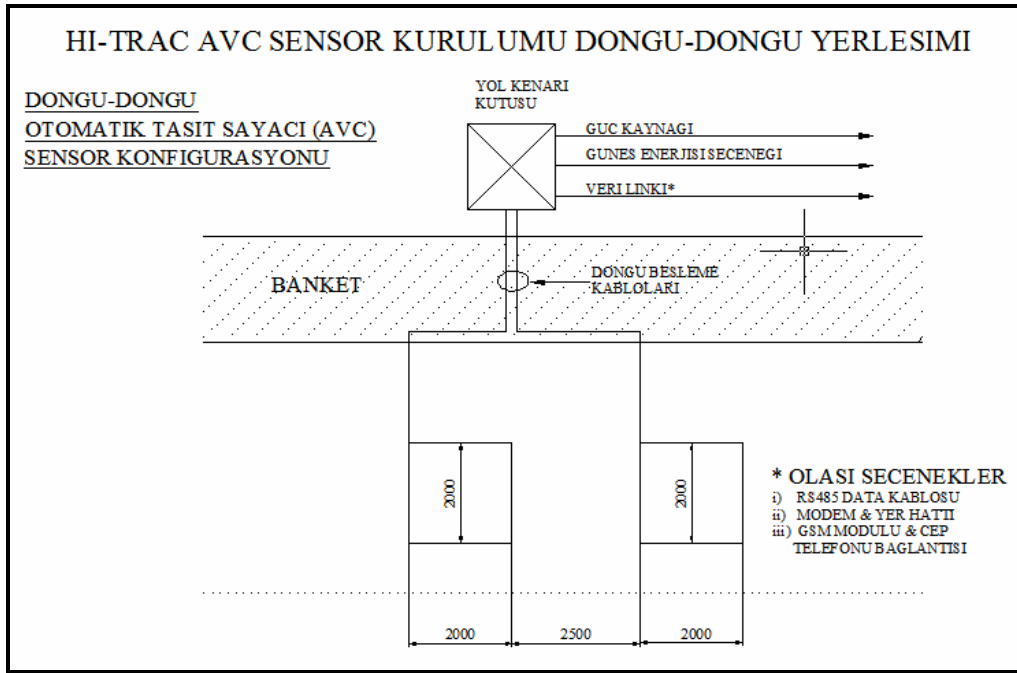
Günümüzde en çok kullanılan sabit sensör tipleri **endüktif döngülerdir**. Bu sensörler tek veya çiftler halinde kullanılabilirler. Tekli döngüler araç geçişleri, trafik hacmi ve işgal süresi parametrelerini verirler fakat hız hesaplamalarında çok büyük hatalara sebep olabilmektedirler. Tekli döngülerde hız hesaplanmasının duyarlılığının artırılmasına yönelik bir çok çalışma yapılmıştır (Oh ve diğ., 2004; Lin ve diğ., 2004; Wang ve Nihan, 2003). Çift döngüler hız hesaplamalarını kolaylıkla yapılabilirler ve araç sınıflandırma sistemi daha sağlıklıdır. Fakat, çift döngüler ilk yatırım ve bakım maliyetleri yüksek olduğu için pek fazla tercih edilmezler. Bu sensörlerin temel dezavantajları, yol üstyapısının ömrünün kısılması ve uzun zamanlı şerit kapatmalarıdır. Aşağıda literatürde ve uygulamada yer alan diğer sabit sensörler kısaca açıklanmıştır.

Video görüntü işlemciler, ardışık çerçevelerden yola çıkarak araç görüntülerine bağlı olarak araçları analiz edebilirler. Araç sayısı, hız tahmini, araç sınıflandırması için algoritmalar geliştirilmektedir. Bu algoritmalar ve görüntüler yüksek bellek gereksinimi yaratmaktadırlar. Ayrıca, bu sistemin maliyeti ve enerji gereksinimi oldukça fazladır.

Hareket-ağırlık (WIM) sensörleri, piezoelektrik polimer sensörleri kullanılır ve uygulanan yük veya basınca orantılı voltaj sistemi ile yük hesabı yaparlar. WIM sensörleri araç sınıflandırma, hız, aks sayıları ve aks ağırlıklarını hesaplamak için kullanılır. Bu sensörlerin çok önemli dezavantajları bulunmaktadır. İlk yatırım ve bakım maliyetleri oldukça yüksek olup sıcaklık ve hava değişimlerine çok duyarlıdır. Bu yüzden derlenen verilerde büyük hatalara neden olabilmektedirler.

Mevcut sabit sistemler (endüktif döngü sensörler ve video görüntü işlemciler) araçları çok duyarlı bir şekilde sayabilirler. Hız ve araç sınıflandırma sistemleri algoritmalar yardımıyla geliştirilebilir, fakat araçların yeniden tanımlanmaları temel bir araştırma projesi olarak araştırılmaya değer bir konu olmaya devam etmektedir.

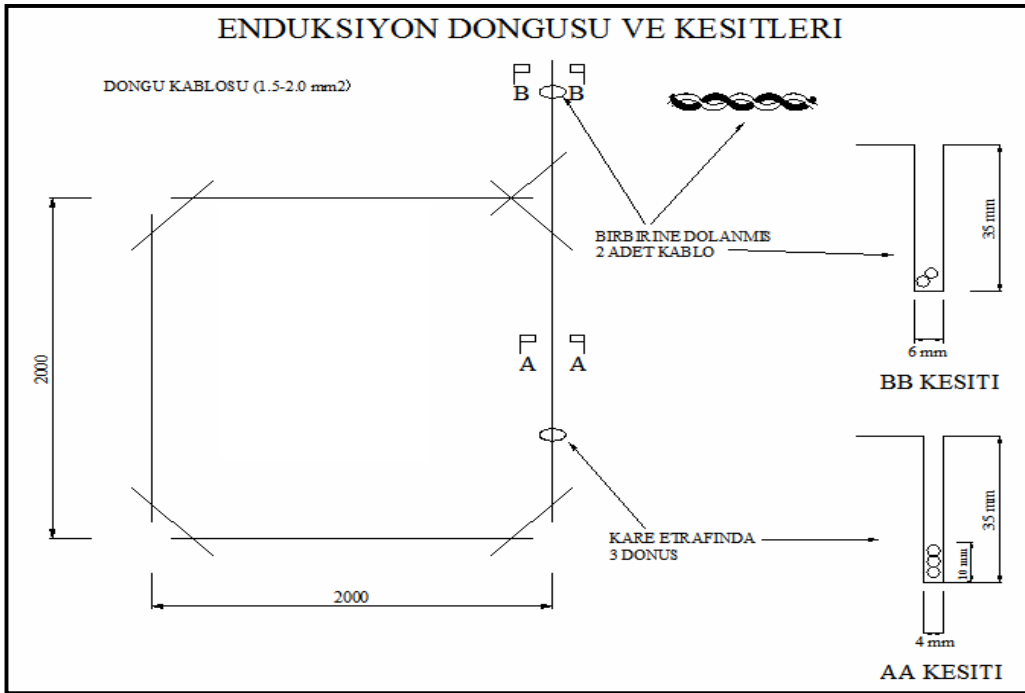
Sabit sensörler ileri trafik yönetim sistemleri ve ileri yol kullanıcı bilgilendirme sistemleri için kullanılabilirler. Endüktif döngüler ve video kameralar, elektronik olarak trafik akımı, sıkışıklık ve trafik şartları hakkında ulaşım ağının bir çok noktasından veri toplar. Toplanan veriler kontrol merkezine iletilerek, sistemin performansını geliştiren parametrelerle analiz edilerek sisteme müdahale edilebilir. Bu bilgiler çeşitli iletişim araçları yardımıyla sürücülere de ulaştırılabilir.



Şekil 4.1a. Endüktif döngü sensörünün plandan görünüşü

Sabit sensörlerin arazi uygulaması, montaj ve veri derleme aşamalarını içermektedir. Endüktif döngülerin aplikasyon planları, kesitleri, cihazların sahaya yerleştirilmesi ve toplanan verileri düzenleyen ve dönüştüren yazılımın arayüzü Şekil 4.1a-4.3'te verilmiştir. Sensörler Şekil 4.1a ve Şekil 4.1b'deki prensiplere uygun olarak yol üstyapısına monte edilir. Şekil 4.2'deki gibi sabit bir

kabine yeraltından geçen kablolarla bağlanılır. Hafıza kartına kaydedilen veriler dizüstü bilgisayar, modem, GPRS veya telefon hattıyla yönetim merkezi, bilgisayarlar veya kontrol merkezine aktarılır. Veriler aktarılırken arayüzü Şekil 4.3'te görülen veri değerlendirme programından yararlanılır. Derlenen verilerden program yardımıyla trafik hacmi, işgal süresi, hız gibi trafik parametreleri bulunur. Sabit sensörler taşınabilir sensörlerden daha sağlam ve detaylı bilgi toplayabilecek yapıdadırlar.



Şekil 4.1b. Endüktif döngü kesitleri

4.2.2. Taşınabilir sensörler

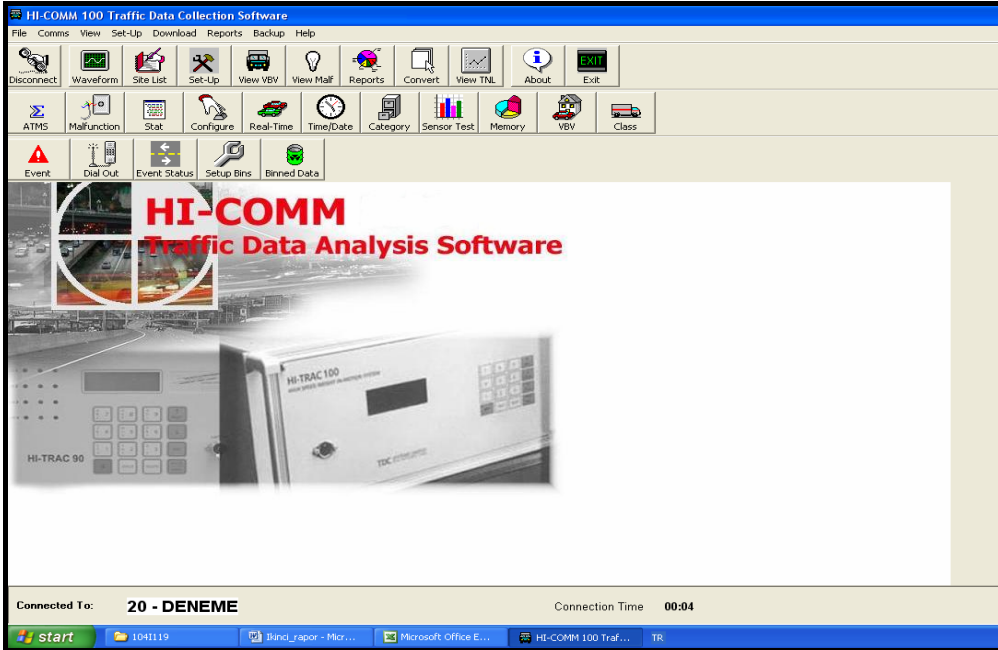
Taşınabilir sensörler sabit sensörlere ihtiyaç duyulmayan yerlerde kullanılabilirler. Bu sensörler pratik bir şekilde yol yüzeyine yerleştirilerek CPU yardımıyla kısa dönemli veriler toplayabilirler.

Pnömatik tüpler, kısa-dönemli araç sayımı, ağırlık, aralık gibi trafik parametrelerini ölçmek için kullanılan en yaygın taşınabilir sensörlerden biridir. Bu sensörlerin bazı tipleri, araç geliş aralıkları, kavşak durma gecikmeleri, durma çizgisi gecikmeleri, doyumluk akım oranları, anlık hızları ölçmek için kullanılır. Pnömatik tüpler trafik akım yönüne dik olarak yerleştirilirler.

Enerji kullanım ihtiyacı düşüktür, fakat ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu durumlarda verimli olarak çalışmayabilirler. Aynı zamanda çalınmaya ve yıpranmaya karşı çok duyarlıdırlar.



Şekil 4.2. Cihaz kabini



Şekil 4.3. Veri işleme programı genel menü görünüşü

Piezoelektrik sensörler, mekanik enerji ve kinetik enerji arasındaki formların dönüşümü ile çalışırlar. Polarize kristale basınç uygulandığı zaman, kristalin mekanik deformasyonu elektrik akımına sebep olur. Piezoelektrik sensörler aks sayısına göre araç sınıflandırması yaparak hız hesaplarını yapabilirler. Fakat bunun için çok sayıda sensör kullanılması gerekmektedir. Ayrıca WIM sistemi olarak da kullanılabilirler. Bu sensörler yol üstyapısı sıcaklığına ve araç hızına çok duyarlıdır.

Bunların dışında ultrasonik sensörler, akustik sensörler, kızılötesi sensörler ve manyetik sensörler bulunmaktadır. Taşınabilir sensörlerle ilgili teknolojik gelişmeler devam etmekle birlikte araştırmaya açık bir konudur. Bahsi geçen sensörler ile yapılabilen ölçümler Tablo 4.1’de özetlenmiştir (Klein, 2001).

Tablo 4.1’de sabit veya hareketli sensörlerin toplanacak veri cinsine göre performansları ortaya konmuştur. Araç sınıflandırılması için en yaygın kullanılan teknoloji, çift endüktif döngü sensörlerin kullanılmasıdır. Çift-döngü detektör her bir algılamada zamanını belirleyebildiği için, döngü üzerinde araçların geçtiği süre belirlenebilir. Her bir döngü arasındaki uzunluk bilindiğinden dolayı iki-döngülü detektörle hız önemli bir duyarlılıkta ölçülebilir. Araç sınıflandırması bundan sonra araç sayısı ve hız verilerinin birleştirilmesi ile bulunabilir. Ölçüm duyarlılıkları düşük hız/yüksek yoğunluk şartları altında değişiklikler gösterebilir. Çünkü araçların geliş aralıkları çok az olduğu zaman hız parametresinin değişimi büyük farklılıklar gösterdiğinden araçları tanımlamak zor olabilmektedir. Bu sebeple araç sınıflandırma için farklı yöntemler bulunmaktadır.

- **Araç imza yaklaşımı:** Tekli döngülerde araç işaretleri yardımıyla araç sınıflandırması yapmaktadır.
- **Araç uzunluk yaklaşımı:** Bu yaklaşımda hız ve işgal süresi parametreleri kullanılarak araç uzunluğuna bağlı araç sınıflandırması yapılabilmektedir. Verilen sabit bir hız için, işgal etme süresi araç uzunluğu ile orantılıdır. Fakat, hızı sabit kabul etmek çok kaba bir yaklaşımdır. Ayrıca, araç uzunluk yaklaşımı ortalama bir sınıflandırma sağlayacaktır.

Wang ve Nihan (2003) tek döngü sistemi kullanarak araç uzunluk yaklaşımı ile sınıflandırma yapmak için bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemle araç sınıflandırmada %10'lara varan hatalar yaptığı bulunmuştur.

Tablo 4.1. Sensörlerin fonksiyonları

Sensör	Fonksiyon				
	Sayım	İşgal	Hız	Sınıflandırma	Araç tanımlama
Endüktif döngü	X	X	X1	X	X4
Video	X	X	X	X2	---
WIM	X	X	X	X	---
Pnömatik tüp	X	X	X1	X3	---
Piyezoelektrik	X	X	X1	X3	---
Ultrasonik	X	X	X	---	---
Akustik	X	X	X	---	---
İnfrared	X	X	X	X	---
Manyetik	X	X	X1	X3	---

X1: Çift sensör gereklidir

X2: Program satıcısı tarafından sağlanmalıdır

X3: Taşınabilir trafik sınıflandırıcı satıcı tarafından sağlanmalıdır

X4: Deneysel

Video görüntüleme, bilgisayar ve görüntü işleme tekniklerindeki ilerlemeler video görüntülerinin araç sınıflandırılmasında kullanımını oldukça uygun hale getirmiştir. Avery ve diğ. (2004), kalibre edilmemiş video görüntülerinden yararlanarak araç-tabanlı bir sınıflandırma algoritması geliştirmiştir. Çalışmada ağır taşıtlar %100 oranında sınıflandırılabilmiştir, fakat diğer araçların sınıflandırma sistemleri hala çalışılmaya devam etmektedir. Görüntü işleme algoritması yüksek oranda bilgisayar hafızası ve işlemci hızı gerektirmektedir. Bu yöntemde de hava şartları ve zirve saat sınıflandırmaları tam olarak çözülebilmemiş değildir.

Araç kimlik tanımlaması için bir çok teknik bulunmaktadır. Bazılarında, insanlar veya kameralar ile otomatik görüntü işleme metotları ile araç plakaları kayıt edilerek araç kimlikleri belirlenebilir. Yüksek çözünürlüklü endüktif döngülerle araç imza sistemi üretilerek bu imza araç

kimlik tanımlaması için kullanılabilir (Oh ve diğ., 2004). Araç imza sistemi, verilen bir araç türü için yol üst kesitinden geçen araç ile yol alt kesitinden geçen aracın eşleşme durumudur. Bu sistem için yol üst kesitinde ve alt kesitinde endüktif döngü sensörler gerekmektedir.

4.3. Metodoloji ve Veriler

Sensör seçimi, yerleşimi ve araç sınıflandırmasının test edilmesi amacıyla bu bölümde örnek arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda seçilen sensörlerin uygulama zorlukları, performansları ve ortalama maliyetleri de incelenecektir.

4.3.1. Sensör seçimi

Literatür çalışması, İleri Endüktif Döngü (İED) sisteminin bu çalışmada kullanılabileceğini önermektedir. Tek araç imza verileri ile araç karakteristikleri belirlenebilmektedir. Araç imza uzunluğu ve büyüklüğü seçilen sensörün en önemli özelliklerinden birisidir. Araç imza uzunluğu hem araç uzunluğu hem de araç hızı ile ilgilidir. Düşük hızlarda sınıflandırma ve kimlik tanımlama yüksek hızlara göre çok zor olmaktadır. Çünkü araçlar sensör üzerinde hareket ederlerken hızlarını çok çabuk değiştirdiklerinde araç imzalarını sınıflandırmak oldukça zor olmaktadır. İmza büyüklüğü ise döngü algılayıcısı üzerinden geçen aracın uzunluğunun tersi ile endüksiyon değişimi arasındaki ilişkidir. Yüksek yatay kaymalar (araç ve algılayıcı arasındaki çok büyük uzaklık) düşük miktarda araç imzalarına sebep olmaktadır. Bu durum araçların hatalı sınıflandırmasına sebep olabilmektedir.

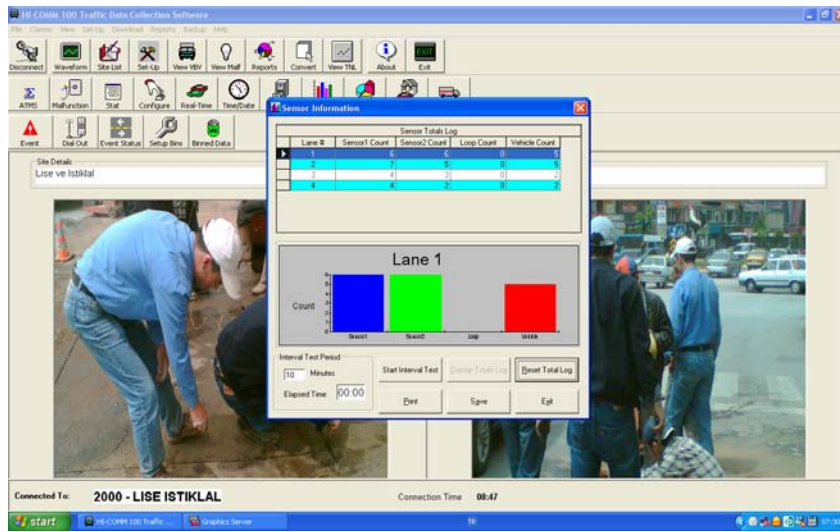
4.3.2. Arazi testi

1-6 Mart 2006 tarihinde endüktif sensörler Pamukkale Üniversitesi, Kınıklı Kampüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü önündeki park alanında test edilmek üzere gerçekleştirilmiştir. Sensörlerin yerleştirilmesi ve test edilmesi Şekil 4.4'de verilmiştir.

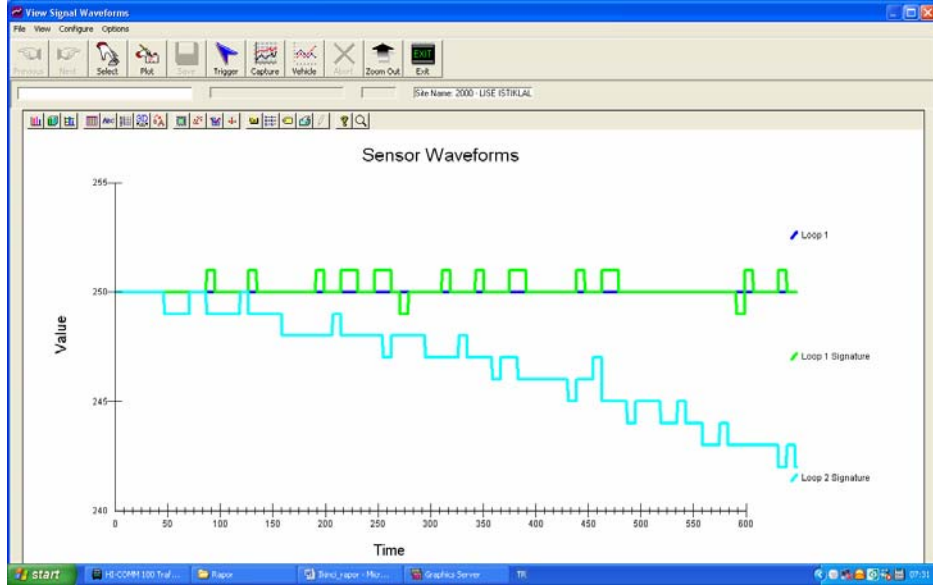


Şekil 4.4. Sensörlerin görünümü

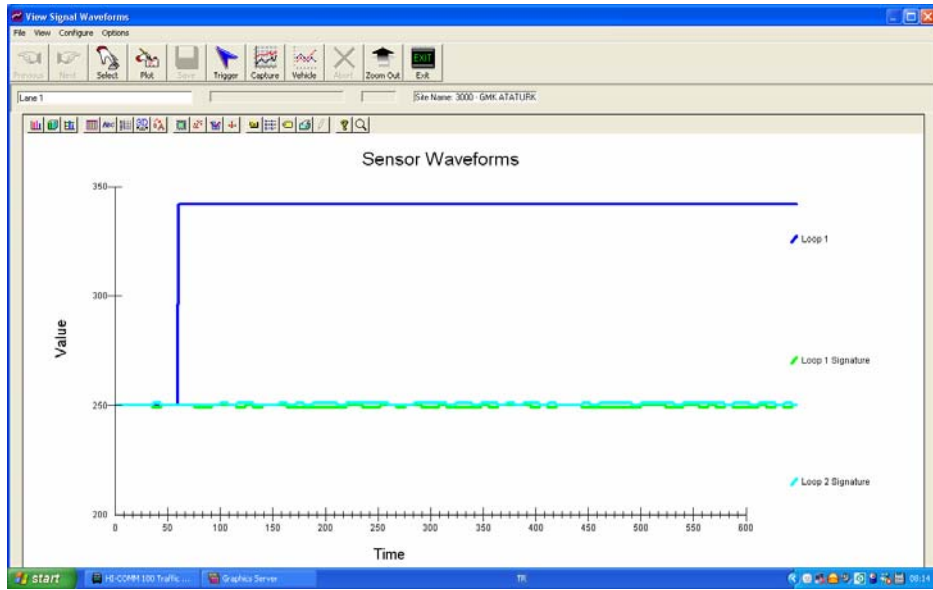
Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7’de yerleştirilen sensörlerin dalga boyları verilmiştir. 1.5-2.5 mm’lik yüksek darbe ve ısı dayanımlı çok telli kablolar kaplama üzerine 2x2 m olacak şekilde kare döngüler oluşturulmuş ve HI-TRAC 90T cihazına bu kablolar yardımıyla bağlanmıştır. Bağlanan kablolardan geçen sinyaller HI-COMM 100 programı yardımı ile test edilmeye çalışılmıştır. Yapılan testlerde manyetik döngülerden sinyal alınmış ve online olarak araç hızları ve işgal etme süreleri ile geliş aralıkları bulunabilmiştir.



Şekil 4.5. Sensör sinyalleri ile araç sayılarının test edilmesi



Şekil 4.6. Pozitif yönde sensörlerden gelen dalga formlarının kontrolü



Şekil 4.7. Döngü 1 üzerinde araç hareket ederken dalga formunun davranışı

Test çalışmaları sırasında nedeni tam olarak belirlenemeyen bir sebeple araç sınıflandırma sisteminde problemler ortaya çıkmıştır. Bu sebeple sensör dalgaformu test aşamasında araç uzunluğu yakalanamamıştır. Fakat geçen araç sayısı, hız, işgal süresi ve geliş aralıkları düzgün

olarak ölçülebildiği için hatanın sensör yerleşiminden kaynaklandığı düşünülmüş ve sonraki arazi uygulamasına Nisan 2006 tarihinde başlanılmıştır. Çalışma aşamalarına başlamadan önce HI-TRAC 90T trafik sayım cihazı ile programı HI-COMM 100 'ün kullanımı aşağıda açıklanmıştır.

HI-TRAC 90T taşıt sayım ve sınıflandırma cihazı:

HI-TRAC 90T trafik veri toplama cihazı olup hareketli yük ölçümü ve otomatik araç sayımı/sınıflandırıcı (AVC) olarak konfigürasyonu yapılabilmektedir. Ölçüm için hız aralıkları 5-180 km/saattir. HI-TRAC ünitesine hem endüktif döngü sensörler hem de piezoelektrik (ağırlık ölçme) sensörleri monte edilebilir. Piezoelektrik sensörden gelen sinyaller yardımıyla aks yükü, hız ve sınıfları ölçülebilir. Endüksiyon döngülerinden gelen sinyaller kullanılarak endüksiyon döngüleri üzerindeki deteksiyon zonundan geçen araçların metal şaselerinin sebep olduğu endüksiyon değişimi araç parametrelerinin belirlenmesi için kullanılır. Döngüler üzerinde oluşan endüksiyon miktarı temelde bakır telli kablunun döngü sayısına ve döngü uzunluğuna bağlıdır.

Derlenen veriler cihaz içerisindeki SRAM karta kaydedilir. Bu kartın kapasitesi 4 MB ile 8 MB arasında değişebilir ve 4 MB kart 400,000 araca kadar kayıt yapabilir. Bu cihaz aynı zamanda ileri döngü profil fonksiyonunu kullanır. Bu fonksiyon ileri araç döngü imza tanımlama algoritması yardımıyla araç sınıflandırmasının duyarlılığının artırılmasına yardımcı olmaktadır.

Cihazın işletme prensibi: döngü-döngü sensör konfigürasyonu ile, 2 tane 2x2 m kare döngünün her biri 2.5-3 m aralıkla yerleştirilir. Yerleştirilen bu döngüler üç tur halinde yol üstyapısı kesilerek yol yüzeyinden 2-3 cm altında olacak şekilde monte edilerek üzerleri asfalt ile kapatılır.

4.3.3. Arazi uygulaması

Yerleştirilen sensörler kablolar yardımıyla trafik lambalarının geçtiği boruların içerisinden geçirilerek sabit panelde toplanmıştır. Her bir sensör farklı renklerde monte edilerek hangi şeritte hangi kablunun olduğu not edilmiştir.

Sensör yerleri seçilirken birçok amaç birlikte gerçekleştirilmiş ve çalışılmıştır. Bunlar:

- Farklı araç türlerinin hızlarını doğru olarak bulmak, özellikle kavşak yaklaşımlarında hız değişimlerini belirleyebilmek.
- Her bir şeritte en az 12 m uzunlukta ölçümler yapılarak ileride modellenecek olan gecikme tahminlerini yapabilmek.
- Gelecek çalışmalar için araç kimlik tanımlama sistemlerini kurmak.
- Araç duyarlı sistemleri istenildiği takdirde yapabilmek için çalışılan kavşak seçilmiştir.
- Bu kavşak aynı zamanda alansal trafik kontrol yönetimi için anahtar kavşaklardan biri olabileceği düşünülmüş ve seçilmiştir.

4.4. Cihazlar

Trafik sayımları ile ilgili çalışmalar kapsamında arazi üzerinde uygulama sorunlarının görülebilmesi, çözülebilmesi ve gerekli veri bankasının oluşturulabilmesi için manyetik sayım cihazları yardımı ile sayımlar yapılmıştır. Ayrıca, iki adet gürültü ölçer cihazı ile eşzamanlı olarak ölçümler yapılmış ve sonuçlar rapor edilmiştir.

4.4.1. Trafik Sayım Cihazı

Çalışma kapsamında kullanılan trafik sayacının genel görüntüsü Şekil 4.8’de verilmiştir. Resimdeki trafik sayım cihazı gezici türde bir sayaç olup 16 adet sabit olmayan manyetik döngüsü mevcuttur. Trafik sayım cihazının özellikleri ve veri derleme aşamaları aşağıda açıklanmıştır.

Yüksek Hızla Trafik Veri Toplama Sistemi (HI-TRAC 90T), hareket anında ağırlık (weigh-in-motion) ya da otomatik taşıt sayıcı/sınıflandırıcı (AVC) olarak yapılandırılan trafik veri toplama sistemidir. Trafik sayaç ünitesi, piezoelektrik sensörler ve endüktif döngü sensörler için ara yüzlere sahiptir. Sayaç aynı zamanda geçici kurulum için de kullanılabilir. Modem ve iletim hattı veya GSM bağlantıları mümkündür. Teknik özellikleri ise Tablo 4.2’de verilmiştir.

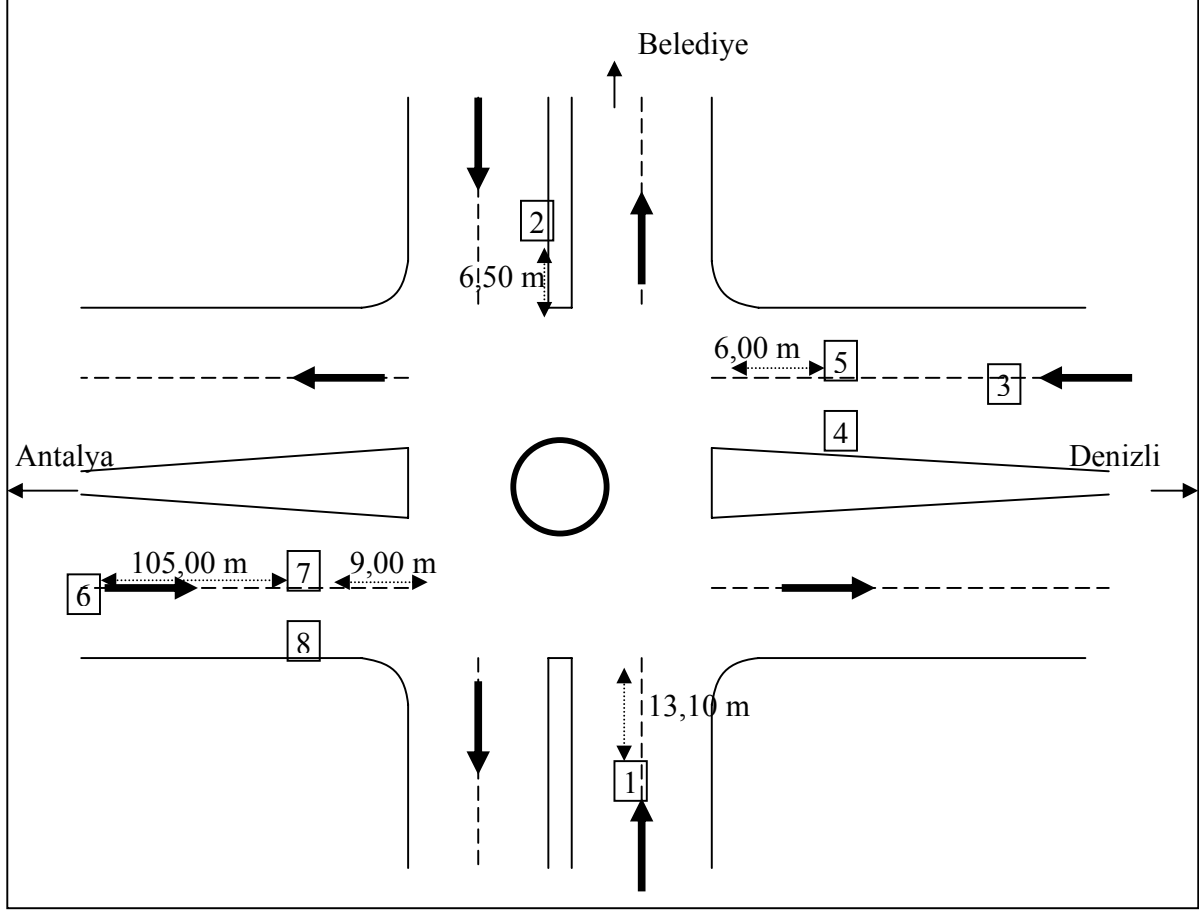


Şekil 4.8. Gezici türdeki HI-TRAC 90T tipi trafik sayım cihazı

Tablo 4.2. Trafik sayım cihazı (HI-TRAC 90T) ve özellikleri

Özellikler	<ol style="list-style-type: none"> 1. 4 piezo elektrik sensöre bağlanır. 2. 8 inductive loop sensöre bağlanır. 3. Loop-loop profillemesi sistemini kullanarak 4 sayıcı/sınıflandırıcı şerit. 4. 2 şerit Piezo-Loop-Piezo WIM 5. 4 şerit Loop-Piezo-Loop WIM veya AVC 6. Taşıt veri kaydı 7. Euro 6 Sınıflandırma veya kullanıcı tanımlı 8. Trafik uyarma, olay görüntüleme ve olay belirleme 9. Veri indirmek için Modem & İletim veya GSM bağlantıları, Gerçek Zamanlı Görüntü ve Tanımlayıcı. 10. Laptop bağlantısı ve GSM bağlantısı 		
Şerit Konfigürasyonu		Şerit Kapasitesi	
Loop-Loop	AVC	4 Şerit	Loop-Loop
Loop-Piezo-Loop	AVC veya WIM	4 Şerit	Loop-Piezo-Loop
Piezo-Loop-Piezo	WIM	2 Şerit	Piezo-Loop-Piezo
Bellek Kapasitesi		6Mb-8Mb' a yükseltilebilen 4Mb RAM (400,000 Taşıt VBV kaydı- 4Mb RAM)	
Çıkış Bağlantısı		RS232, LapTop (Ön panel montajlı) RS232 Modem Kuru bağlantı 6 N.O.	
İşletme Süresi(şarj arası):		Ortalama 21 gün (32AH batarya ile)	

8 adet NC-97 adındaki manyetik sensör yardımıyla seçilen uygulama alanından veriler derlenmiştir. Veri derlenmesi sırasında alınan önlemler de aşağıda rapor edilmiştir. Uygulama yapılan kavşak Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. Trafik sayaçlarının yerleşimi

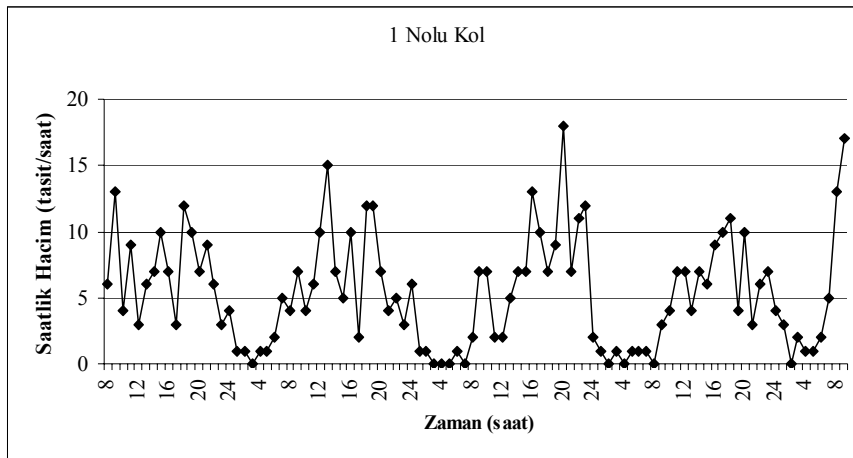
Şekil 4.10’da numaraların görüldüğü yerler, manyetik sensörlerin yerleşim yerlerini ve uzaklıklar ise sensörlerin sinyalizasyon kavşak durma noktalarına uzaklıkları göstermektedir. Ayrıca 3 ve 6 nolu sensörler deneme amaçlı olarak iki şerit ortasına yerleştirilerek yönel toplam trafik miktarının bulunması için kullanılmıştır. Diğer taraftan sensörlerin her kolda durma çizgisinden farklı olarak yerleştirilmesinin sebebi sürücülerin *aralık kabulünün* analiz edilebilmesi içindir. Sensörlerin araziye aplikasyonu esnasında alınan güvenlik önlemleri ve yapılan işlemler Şekil 4.10’da verilmiştir.



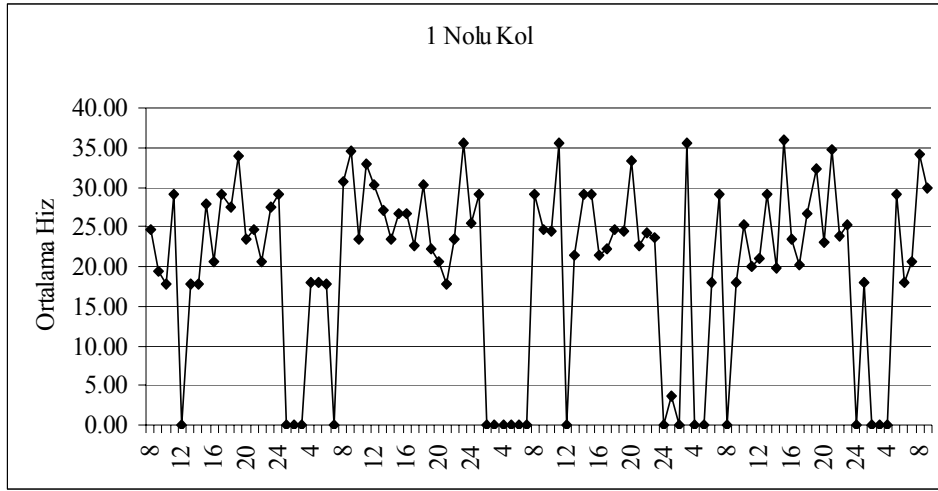
Şekil 4.10. Sensörün yerleştirilmesi ve güvenlik önlemleri

Çalışmanın uygulanabilmesi için öncelikle güvenlik hunileri ile güvenlik önlemlerinin alınması en önemli aşamayı teşkil etmektedir. Özellikle trafik konusunda veri derlenmesi, güvenliğin tesisi açısından çok dikkat gerektirmektedir.

Sensörler hafta içi iki gün ve hafta sonu iki gün olmak üzere toplam 98 saatlik ölçüm için programlanmıştır. Şekil 4.11’de Şekil 4.10’da yerleşimi görülen manyetik sensörden alınan saatlik trafik hacimleri verilmiştir. 1 Nolu sensör tali yola yerleştirildiği için trafik akımı oldukça düşüktür. Örneğin trafiğin yoğun olduğu akşam saatlerinde maksimum trafik hacmi 18 taşıt/sa olmuştur. Şekil 4.12’de hız-zaman verileri gösterilmiştir.

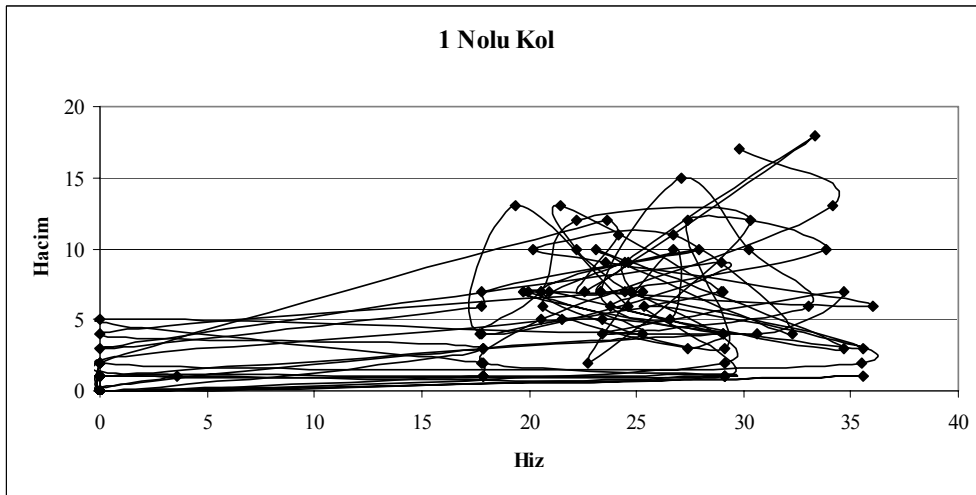


Şekil 4.11. 1. Kol daki manyetik sensörden alınan veriler



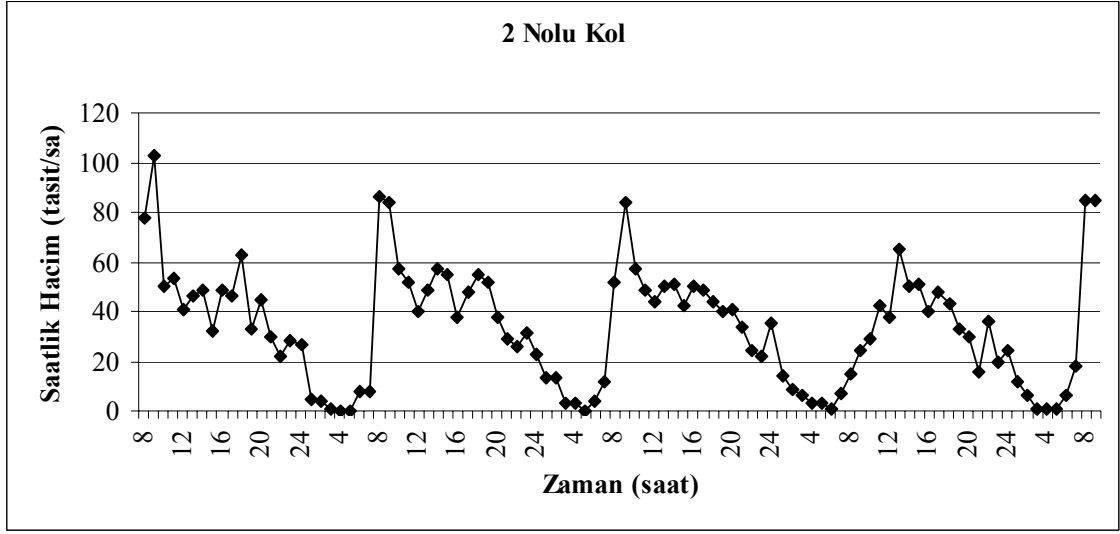
Şekil 4.12. 1. kol için ortalama hız (km/saat) ve zaman dilimleri

Şekil 4.13'te önümüzdeki çalışma programında modellemesi yapılacak olan hız-trafik hacmi ilişkisi verilmiştir. Trafik hacim ve hız arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için trafik yoğunluğunun da hesaplanması gerekmektedir. Bunun için Şekil 4.13'deki ilişkiler kullanılabilir (Gartner ve diğ., 2005).

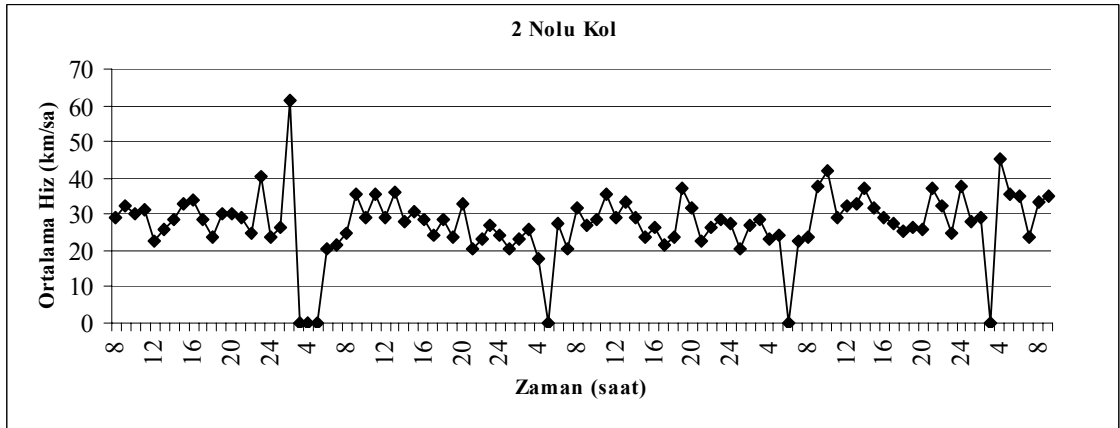


Şekil 4.13. Trafik hacmi (taşıt/sa) ve hız (km/sa) arasındaki ilişki

Şekil 4.14'te 2. kolda ölçülen zamana bağlı trafik hacimleri verilmiştir. Bu kol yine tali yol olup trafik hacminde bir artış söz konusudur.

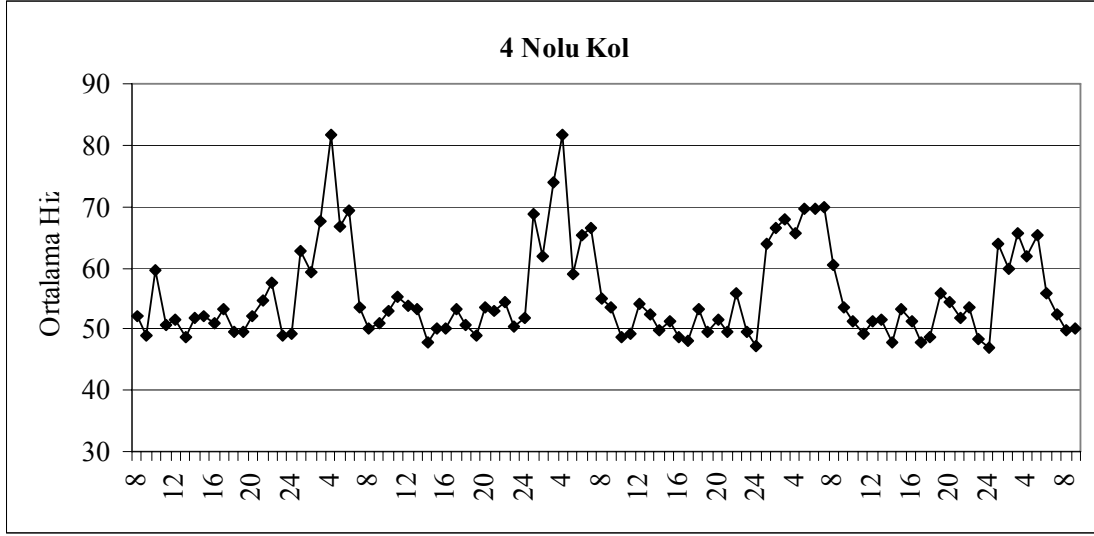


Şekil 4.14. 2. kol için saatlik trafik hacmi verileri



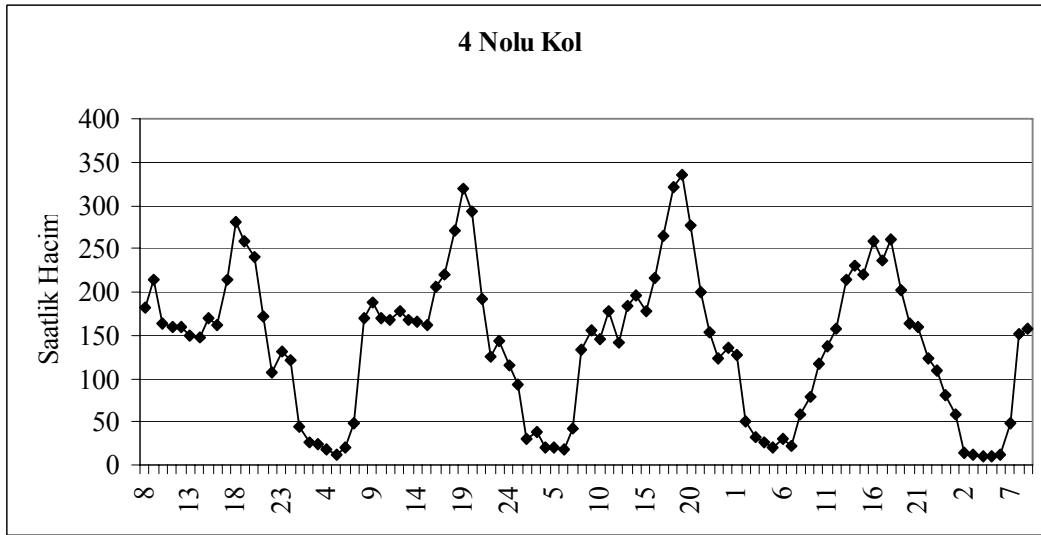
Şekil 4.15. 2. Kol için ortalama hız ve zaman grafiği

Şekil 4.16'da 4 sensörden alınan hız-zaman grafiği verilmiştir. Buradaki hızlar 10'ar dakikalık periyotlarla alınan ortalama hızlardır. Şekilden de görülebileceği gibi sinyalize bir kavşakta anayol güzergahında hız 80 km/saat'in üzerine çıkabilmektedir. Bireysel hızlara bakıldığı zaman yaklaşık 120 km/sa hızla sinyalize kavşaktan geçen sürücülerin bulunduğu gözlemlenmiştir.



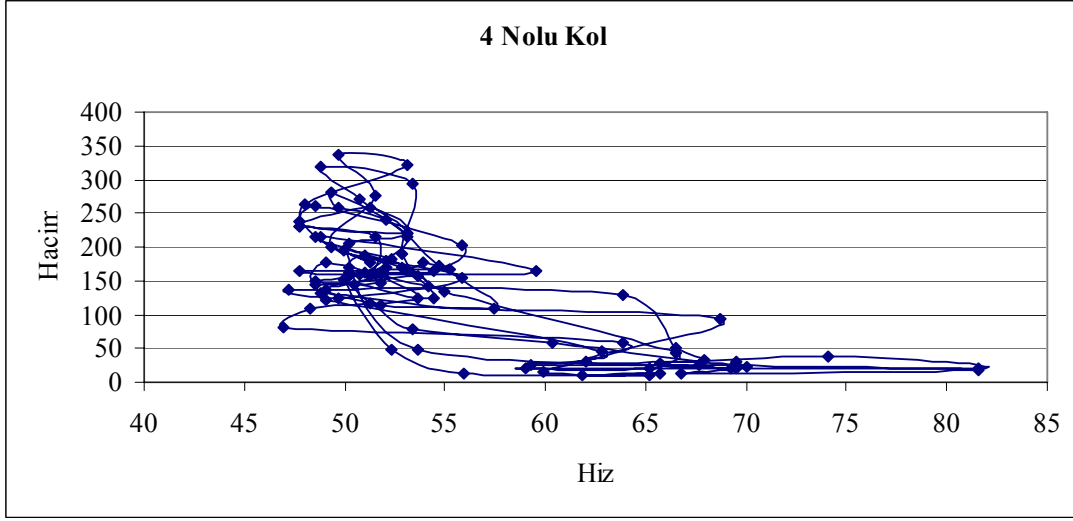
Şekil 4.16. 4. Kol için ortalama hız (km/sa) zaman (saat) grafiği

Şekil 4.17’de sol iç şeritteki saatlik trafik hacmi 350 taşıt/saat civarındadır. Diğer şeritle birlikte zirve saatte toplam trafik hacmi 700 taşıt/sa değerine ulaşmaktadır.



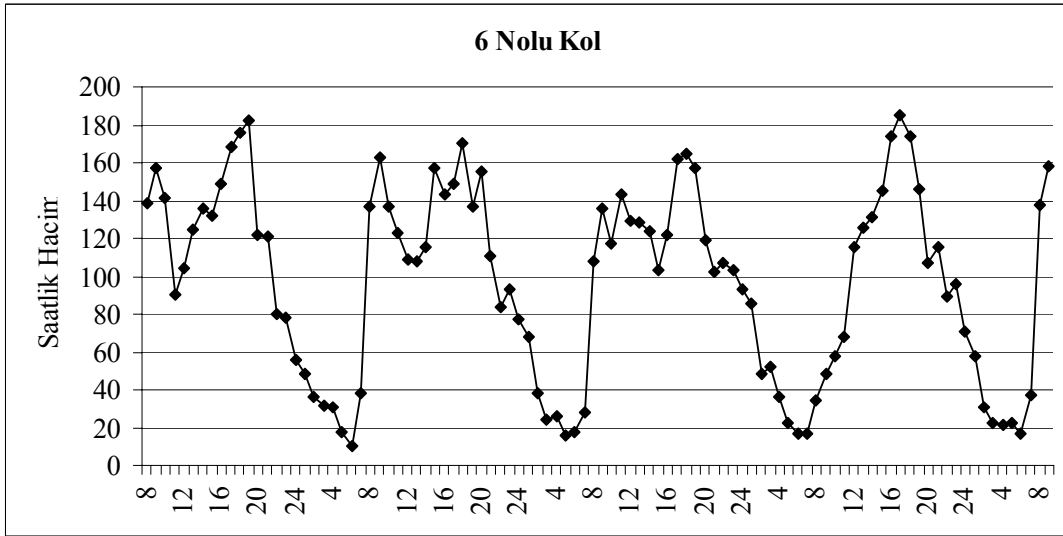
Şekil 4.17. 4. sensördeki saatlik trafik hacmi ve zaman grafiği

Şekil 4.18’de trafik hacmi ve ortalama hız arasındaki ilişki grafiksel olarak gösterilmiştir.

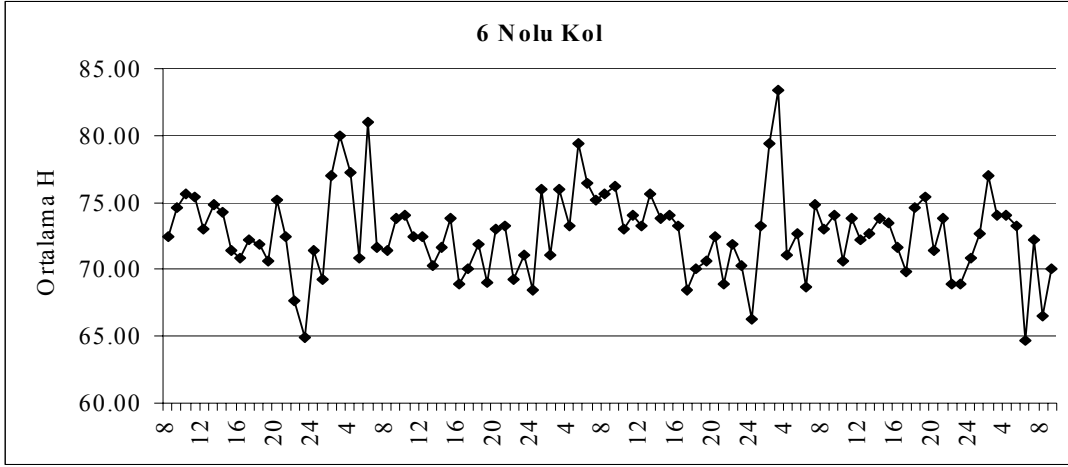


Şekil 4.18. Trafik hacmi (taşıt/sa) ve ortalama hız (km/sa) arasındaki ilişki

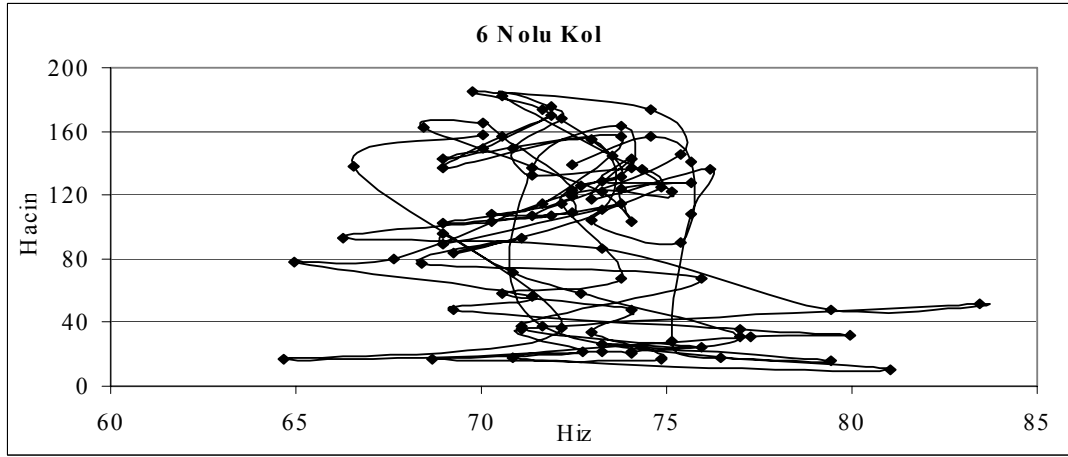
Şekil 4.19-4.27'de 6, 7 ve 8. sensörlerden derlenen trafik verileri yukarıda tanımlanan değişkenlere göre verilmiştir.



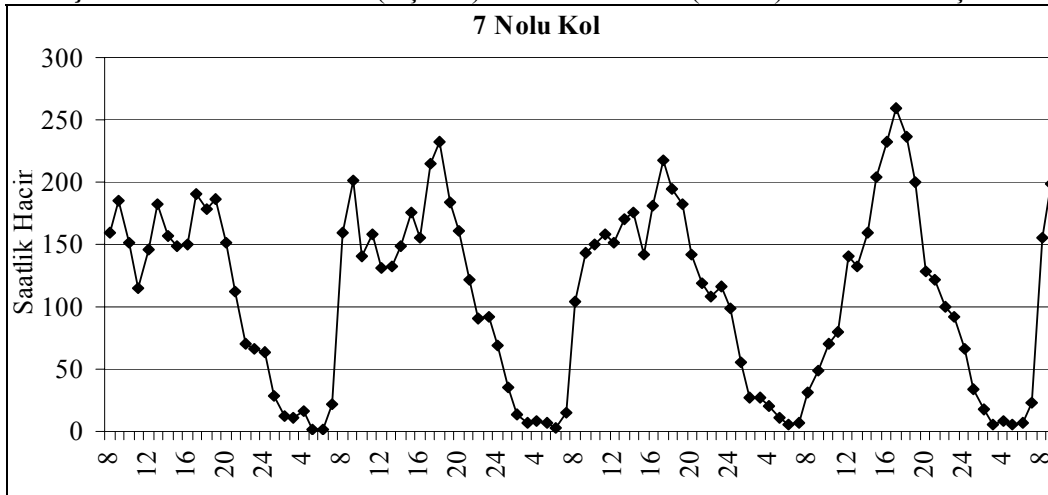
Şekil 4.19 Saatlik trafik hacmi (taşıt/sa) ve zaman arasındaki ilişki



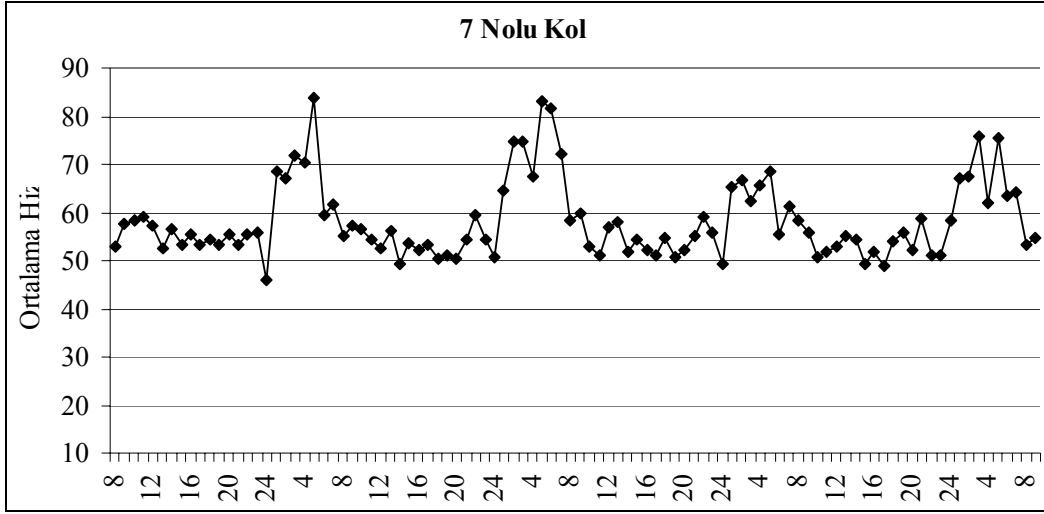
Şekil 4.20 Ortalama hız (km/sa) ve zaman arasındaki ilişki



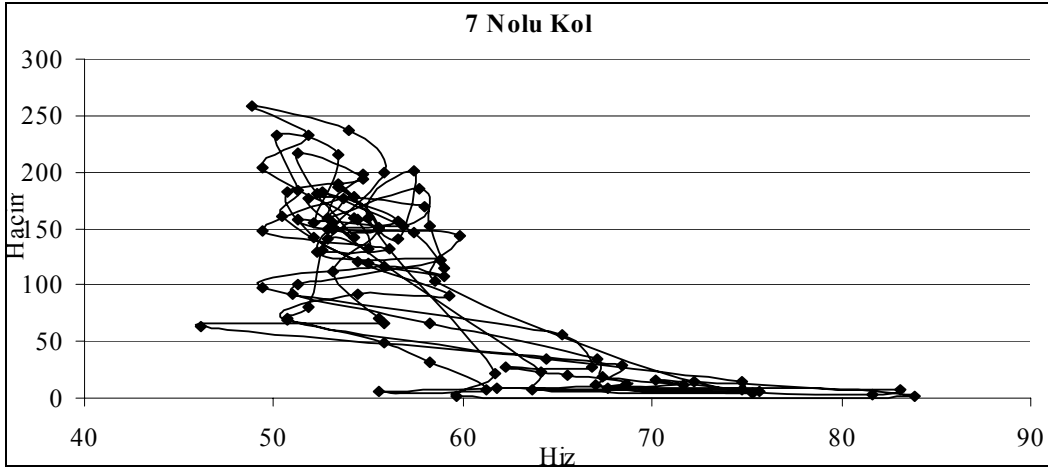
Şekil 4.21 Trafik hacmi (taşıt/sa) ve ortalama hız (km/sa) arasındaki ilişki



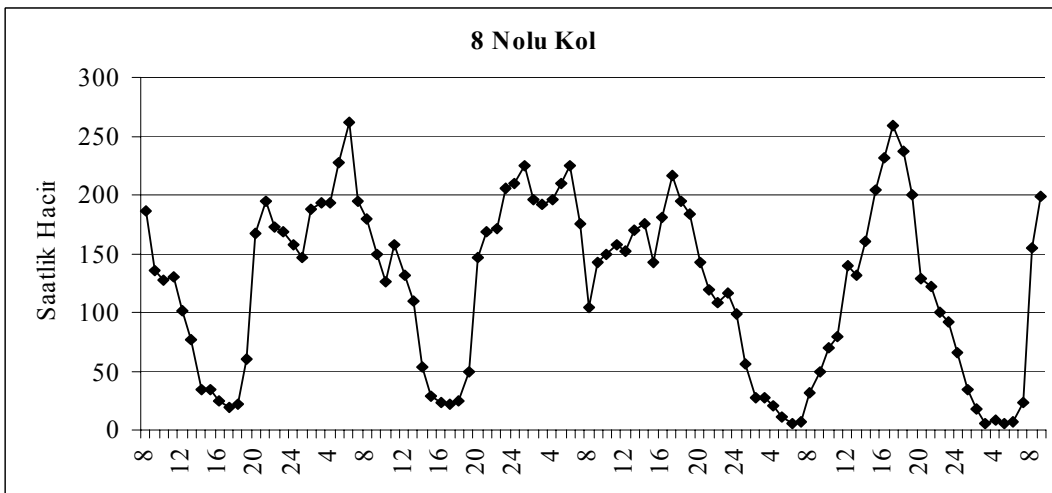
Şekil 4.22 Saatlik trafik hacmi (taşıt/saat) ve zaman arasındaki ilişki



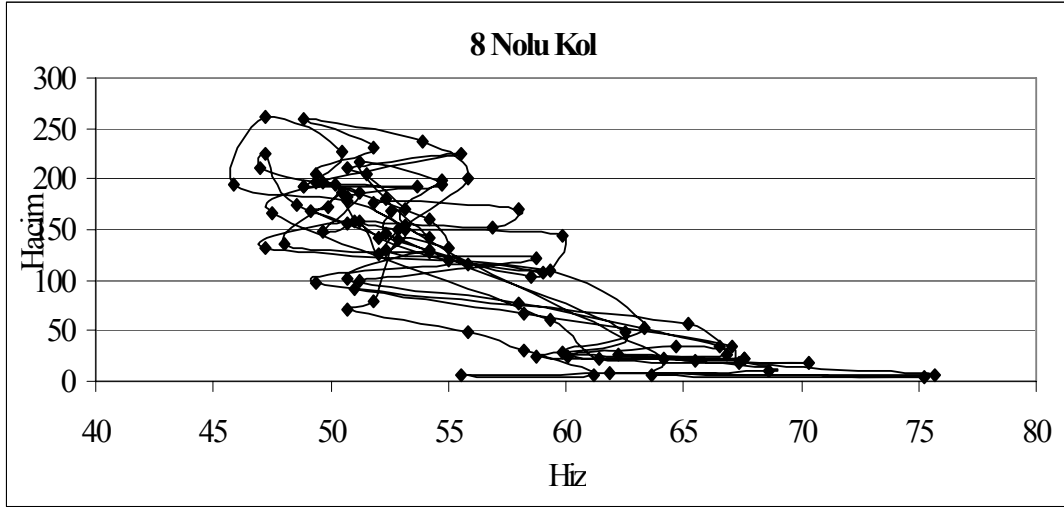
Şekil 4.23 Ortalama hız (km/sa) ve zaman arasındaki ilişki



Şekil 4.24 Trafik hacmi (taşıtlı/sa) ve ortalama hız (km/sa) arasındaki ilişki



Şekil 4.25 Saatlik trafik hacmi (taşıtlı/saat) ve zaman arasındaki ilişki



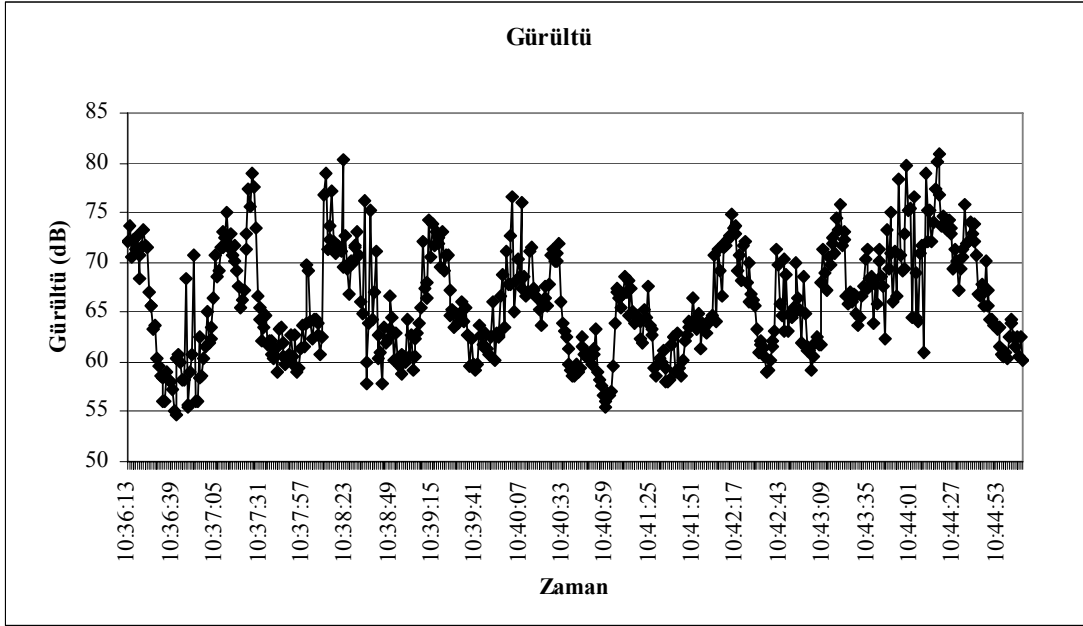
Şekil 4.26 Trafik hacmi (taşıt/sa) ve ortalama hız (km/sa) arasındaki ilişki

4.4.2. Gürültü ölçüm cihazı

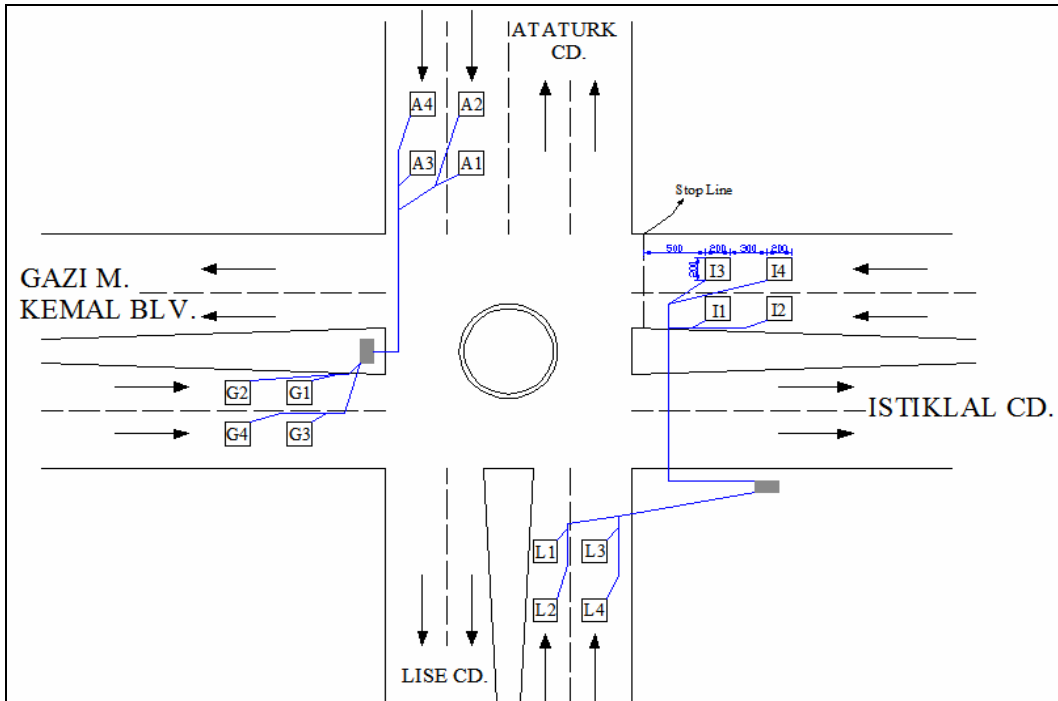
Arazi üzerinde mesafeye ve yüksekliğe bağlı olarak gürültü ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçların bir örneği grafiksel olarak Şekil 4.27’de verilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi gürültü ölçümleri zamana bağlı olarak, ki burada 1 sn zaman aralığı kullanılmıştır, periyodik bir salınım göstermektedir. Bu salınımın sebeplerinden birisi sinyalde araçların durması ve sinyal yeşile döndüğü zaman özellikle ağır taşıtların ivmelenmesinden kaynaklanan ani gürültü yükselmesidir.

4.5. Arazi Uygulama Çalışmaları

Bu bölümde, sensörlerden derlenen veriler video kamera ölçümleri ile desteklenmiştir. Seçilen saha Denizli şehir merkezinde yoğun trafik yükünün bulunduğu ana kavşaklardan bir tanesidir. Veri derleme yerleri Şekil 4.28’de verilmiştir. Sensörler trafik ışığı durma çizgisinden 5 m geriden başlatılarak 2m sensör 3m sensör aralıkları ve yine 2m sensör uzunluğu olmak üzere toplam 12m’lik bir şerit uzunluğunda yerleştirilmiştir. Her bir şeride 2’şer adet olmak üzere 8 şeride toplam 16 adet sensör yerleştirilmiştir.



Şekil 4.27. Zamana bağlı gürültü ölçümleri



Şekil 4.28. Uygulama yapılan kavşağın genel görüntüsü

Döngüler yerleştirilirken çok telli bakır kablonun yetersiz olmasından dolayı 1.5-2.5 mm²'lik kablolar kullanılmıştır. Ortalama büyüklükteki bu kavşağa yaklaşık 1000 m kablo döşenmiştir. Döngü kabloları yeraltından geçirilerek cihaz yerleşimi için imal edilen panellerde birleştirilmiştir. Sonra bu panellere cihazlar yerleştirilerek sayımlar yapılmaya başlanmıştır.

Şekil 4.29'da iki adet asfalt kesme makinası ile asfalt kesilirken görülmektedir. Resimden de görülebileceği gibi altyapı eksikliğinden dolayı her taraf toz, toprak ve çamur haline gelmektedir. Bu sebeple çalışma yapılırken iş kıyafetlerinin giyilmesinde fayda bulunmaktadır. Bu çalışmanın yapılabilmesi için yerel yönetimlerden asfalt kesme makinaları temin edilmiştir. İyi bir asfalt kesme makinası ile bir döngünün yerleştirme süresi ortalama 45 dakika ve 16 döngünün hazırlanması toplam 12 saat sürmektedir. Çalışma yapılırken en az 8-9 kişiye ihtiyaç duyulmaktadır. Kesilen döngü kesitleri ortalama 4 cm derinliğinde olup kablolar yerleştirilirken içleri de spatula ile temizlenmiştir.



Şekil 4.29. Asfalt makinası ile kesim yapılırken

Resim 4.30'da kabloların kanallara yerleştirilmesi görülmektedir.



Şekil 4.30. Sensör kanallarına kablo yerleştirilirken

Kablolar kanallara üst üste dolanarak yerleştirilmiş ve bazı kısımları spatula ile sıkıştırılmıştır. Bu işlem esnasında köşe dönüşlerinde çok dikkatli olmak gerekmektedir. Köşeler kabloları kolaylıkla kesebilmektedir. Ayrıca döngüler manyetik alan prensibine göre çalıştığı için yüksek gerilim hatlarından etkilenmemesi önlenmelidir. Kabloların yerleştirildiği kanalların genişliği ortalama 4mm'dir.

Resim 4.31'de ise kavşaktaki kılavuz hatları ve kablolar ile bir araya getirilen sensör uçlarının güvenlik amacı ile hazırlanan özel kutuya gelişi ve burada sayım cihazına bağlantısı görülmektedir.

4.5.1. Kamera sayımları

Kamera sayımlarının yapılabilmesi için uygulama alanına hakim iki noktadan kavşağın iki kolunu iyi görecektir noktalar kameralar yerleştirilmiştir. Şekil 4.32'de kamera ile yapılan sayımlar sırasında kameraların yerleşimi görülmektedir. Kavşağın geniş bir alanı kaplamasından dolayı tek kamera ile sayım gerçekleştirilememiştir. Kavşak kol eksenlerine çapraz açı ile

karşılıklı iki kamera kullanılmıştır. Uzun süreli sayımlar için sürekli enerji kaynağı ve daha fazla bellek kullanılması gerekmektedir.



Şekil 4.31. Sensörlerin cihaza bağlanması



Şekil 4.32. Kavşağı hakim gören bir noktaya kameranın yerleşimi

Yerleştirilen kameralara 1 Gb kapasiteli hafıza kartı yerleştirilmiştir. Akşam zirve saati olan 17.30-19.30 arasında sayım yapılması hedeflenmiştir. Fakat kameraların bataryaları 1.5 saat içerisinde bittiğinden sadece 90 dakikalık sayım yapılabilmektedir. Kamera sayımları yapılırken araçlar; otomobil, otobüs, minibüs, kamyon ve kamyonet olmak üzere 5 sınıfa ayrılmış ve sonuçlar Tablo 4.3-4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.3a. Lise kolu trafik hacmi ve sınıfları (24.05.2006)

Zaman dilimi	Otomobil	Otobüs	Minibüs	Kamyon	Kamyonet	Toplam
17.30-17.45	105	2	4	2	18	131
17.45-18.00	126	5	1	0	12	144
18.00-18.15	122	4	3	2	18	149
18.15-18.30	116	5	8	3	9	141
18.30-18.45	104	1	5	1	11	122
18.45-19.00	89	6	8	0	12	115
Toplam	662	23	29	8	80	802

Sayımların duyarlılığını ve farklı günlerdeki değişimlerini bulmak için farklı bir tarihte kamerayla sabah trafik hacim sayımları yapılmıştır. Tablo 4.3b'de farklı iş gününde yapılan trafik hacim sayımları görülmektedir. Sabah sayımları sonucunda toplam 1357 araç ölçülmüştür.

Tablo 4.3b. Lise kolu trafik hacmi ve sınıfları (01.06.2006)

Zaman Dilimi	Otomobil	Otobüs	Minibüs	Kamyon	Kamyonet	Toplam
07:30-7:45	149	6	20	1	27	203
07:45-8:00	183	7	12	3	30	235
08:00-8:15	176	6	19	1	23	225
08:15-8:30	177	5	5	3	27	217
08:30-8:45	218	8	13	0	23	262
08:45-9:00	186	5	8	2	14	215
Toplam	1089	37	77	10	144	1357

Tablo 4.4a ve 4.4b'de yine hafta içi akşam ve sabah zirve saatlerde yapılan trafik hacim sayımları görülmektedir. Sabah zirve saat trafik hacmi 805 ve akşam trafik hacmi ise 1099 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.4a. İstiklal kolu trafik hacmi ve sınıfları (24.05.2006)

Zaman Dilimi	Otomobil	Otobüs	Minibüs	Kamyon	Kamyonet	Toplam
17.30-17.45	96	3	27	0	11	137
17.45-18.00	97	7	26	1	19	150
18.00-18.15	87	2	30	1	15	135
18.15-18.30	94	4	37	0	16	151
18.30-18.45	77	2	29	0	14	122
18.45-19.00	76	3	25	0	6	110
Toplam	527	21	174	2	81	805

Tablo 4.4b. İstiklal kolu trafik hacmi ve sınıfları (01.06.2006)

Zaman Dilimi	Otomobil	Otobüs	Minibüs	Kamyon	Kamyonet	Toplam
07:30-7:45	117	3	30	1	10	161
07:45-8:00	114	4	43	0	12	173
08:00-8:15	132	1	52	1	8	194
08:15-8:30	120	3	49	1	12	185
08:30-8:45	145	3	37	0	11	196
08:45-9:00	132	2	34	4	18	190
Toplam	760	16	245	7	71	1099

Arazide kameranın hafıza kartına kaydedilen bilgiler büroda el ile bilgisayara işlenmiştir. Benzer şekilde hafta içi farklı günlerde sabah ve akşam saatlerinde kamera sayımları yapılmış ve Tablo 4.5a, 4.5b, 4.6a, 4.6b'de sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4.5a. Atatürk caddesi üzerindeki trafik hacmi (24.05.2006)

Zaman Dilimi	Otomobil	Otobüs	Minibüs	Kamyon	Kamyonet	Toplam
17.30-17.45	125	1	20	0	9	155
17.45-18.00	135	0	29	1	8	173
18.00-18.15	145	0	27	1	8	181
18.15-18.30	137	1	30	0	11	179
18.30-18.45	142	1	26	0	8	177
18.45-19.00	92	4	19	0	4	119
Toplam	776	7	151	2	48	984

Tablo 4.5b. Atatürk caddesi üzerindeki trafik hacmi (01.06.2006)

Zaman Dilimi	Otomobil	Otobüs	Minibüs	Kamyon	Kamyonet	Toplam
07.30-7.45	60	2	43	0	7	112
07.45-8.00	73	0	33	0	9	115
08.00-8.15	80	1	36	0	15	132
08.15-8.30	84	1	34	1	13	133
08.30-8.45	68	1	36	1	9	115
08.45-9.00	72	1	33	1	13	120
Toplam	437	6	215	3	66	727

Tablo 4.6a. Gazi Mustafa Kemal Bulvarı üzerindeki trafik hacmi (24.05.2006)

Zaman Dilimi	Özel oto	Otobüs	Minibüs	Kamyon	Kamyonet	Toplam
17.30-17.45	173	1	4	0	6	184
17.45-18.00	171	7	0	5	0	183
18.00-18.15	199	3	2	0	8	212
18.15-18.30	208	6	1	0	8	223
18.30-18.45	215	1	0	0	6	222
18.45-19.00	150	5	1	0	3	159
Toplam	1116	23	8	5	31	1183

Tablo 4.6b. Gazi Mustafa Kemal Bulvarı üzerindeki trafik hacmi (01.06.2006)

Zaman Dilimi	Özel oto	Otobüs	Minibüs	Kamyon	Kamyonet	Toplam
07.30-7.45	66	1	0	1	10	78
07.45-8.00	69	3	1	0	11	84
08.00-8.15	78	6	1	0	6	91
08.15-8.30	102	4	3	0	7	116
08.30-8.45	119	3	2	2	8	134
08.45-9.00	98	1	5	0	16	120
Toplam	532	18	12	3	58	623

Yapılan sayımlar sonucunda seçilen kavşağın iki kolunun trafik talebi sabah ve akşam saatlerine göre büyük farklılıklar göstermektedir. Bunun sebebi sabah işe gidiş ve akşam eve dönüş saatlerinde farklı iki kolun trafik talebinin artmasıdır. Ayrıca kamera sayımları HI-TRAC 90T'nin çıktılarını ve performansını değerlendirmek amacıyla yapılmıştır.

4.5.2. HI-TRAC 90T sayımları

Tanıtımı ve çalışma testi yapılan trafik sayım ve sınıflandırma cihazı ile önceden yerleştirilmiş algılayıcılar yardımıyla alınan veriler Tablo 4.7’de verilmiştir. Bu tabloda günlük yaklaşık 9.5 saatlik trafik hacimleri verilmektedir. Tablo’daki veriler öncelikle şerit başına sayımlar ve sonra da toplamlar olarak verilmiştir. Sayımları verilen tablodaki değerler, sınıflandırılmamış araç sayılarıdır. Bu iki kolda sınıflandırma yapılamamasının nedeni algılayıcılardan gelen dalgaların sinyal zayıflığından dolayı iyi bir şekilde filtrelenememiş olmasıdır.

Tablo 4.8’de bu kollarda ölçülen ortalama hızlar görülmektedir. Ölçülen hızların diğer hız ölçüm cihazları ile test edilmesi gerekmektedir.

Tablo 4.9’da döngüler üzerindeki araçların bekleme (işgal) süreleri görülmektedir. İşgal süreleri hareketli bir aracın döngüyü geçme süresi veya aracın döngü üzerinde kırmızı ışıkta bekleme süresi olarak tanımlanabilir.

Tablo 4.7. Trafik hacim sayımları (Lise-İstiklal)

Zaman	Periyot (dk)	Lise Caddesi			Atatürk Caddesi		
		Şerit 1	Şerit 2	Toplam	Şerit 3	Şerit 4	Toplam
07:07:00	15	26	33	59	6	22	28
07:22:00	15	36	48	84	8	24	32
07:37:00	15	52	65	117	4	28	32
07:52:00	15	63	58	121	26	40	66
08:07:00	15	76	82	158	30	54	84
08:22:00	15	91	83	174	44	57	101
08:37:00	15	99	83	182	33	52	85
08:52:00	15	92	75	167	31	49	80
09:07:00	15	74	88	162	32	40	72
09:22:00	15	63	70	133	36	46	82
09:37:00	15	76	73	149	22	35	57
09:52:00	15	58	55	113	41	42	83
10:07:00	15	65	59	124	24	38	62
10:22:00	15	67	74	141	31	45	76
15:37:00	15	64	50	114	25	42	67
Toplam		1002	996	1998	393	614	1007

Tablo 4.8. Şeritlerde ortalama hızlar (m/sa)

Zaman	Peryot (dk)	Lise Caddesi		Atatürk Caddesi	
		Şerit 1	Şerit 2	Şerit 3	Şerit 4
07:07:00	15	12	12	6	8
07:22:00	15	12	13	8	10
07:37:00	15	16	11	5	13
07:52:00	15	14	13	9	9
08:07:00	15	12	12	8	12
08:22:00	15	11	12	10	9
08:37:00	15	11	12	11	11
08:52:00	15	11	12	12	10
09:07:00	15	11	13	12	11
09:22:00	15	12	12	10	11
09:37:00	15	10	12	9	12
09:52:00	15	11	14	12	11
10:07:00	15	12	12	9	11

Tablo 4.9 Döngüler üzerindeki araçların işgal süresi (saniye)

Zaman	Peryot	Lise Caddesi		İstiklal caddesi	
		Şerit 1	Şerit 2	Şerit 3	Şerit 4
07:07:00	15	50.2	7.3	0	7.5
07:22:00	15	102.8	12	0	11.4
07:37:00	15	120.4	14.8	0	9
07:52:00	15	-1164.8	13.5	0	13.5
08:07:00	15	167.7	16.6	0	13.2
08:22:00	15	236	17.1	0	16.4
08:37:00	15	220.4	17.7	0	15
08:52:00	15	575.7	17.4	0	15.1
09:07:00	15	229.7	16.9	0	13.1
09:22:00	15	208.2	14.4	0	13.4
09:37:00	15	280.3	15.6	0	12
09:52:00	15	204.3	13	0	14.5
10:07:00	15	2260.7	15.1	0	11.9
10:22:00	15	1533.6	16.8	0	11.5

Tablo 4.9'dan işgal sürelerinin çok farklı olduğu gözlenmektedir. Ayrıca Şerit 3'e yerleştirilen döngünün ölçüm anında arızalı olabileceği bu sebeple herhangi bir işgal süresi ölçemediği

bulunmuştur. Ayrıca algılayıcılar manyetik alan prensibine göre çalıştıkları için çok yakınından geçen yüksek gerilim hattından etkilenebilmektedir. Bu durumda tablodan da görülebileceği gibi zaman zaman negatif işgal süreleri bulunabilmektedir.

Tablo 4.10'da trafik hacimleri ve sınıfları verilmiştir. Tablodan görülebileceği üzere aks aralıklarına göre 4 sınıflandırma yapılmış, bunlardan otobüsler tam olarak sınıflandırılabilmiş fakat minibüs, kamyon ve kamyonet sınıflandırmasında net ayrımlar yapılamadığından otomobil+minibüs olarak tabloda rapor edilmiştir. Tabloda verilen değerler 3 günlük sabah saatlerindeki sayımlardır.

Benzer şekilde Tablo 4.11'de trafik hacimleri ve sınıfları verilmiştir. Yapılan üç günlük ölçümlerde ilk günkü sayımlar gerçeğe uygun olarak ölçülebilmüş fakat ikinci ve üçüncü günlerdeki sayımlar da ise düşüş görülmüştür.

Tablo 4.10. Trafik hacimleri ve sınıfları (GMK)

02/06/2006		Gazi Mustafa Kemal Bulvarı			
Zaman	Periyot	Otobüs	Oto+minibüs	Otomobil	Toplam
07:15:00	15	3	16	21	40
07:30:00	15	4	41	49	94
07:45:00	15	6	44	56	106
08:00:00	15	4	85	98	187
08:15:00	15	1	88	94	183
08:30:00	15	2	96	103	201
08:45:00	15	4	108	116	228
09:00:00	15	2	85	89	176
09:15:00	15	3	75	83	161
09:30:00	15	2	61	67	130
09:45:00	15	4	52	60	116
10:00:00	15	4	46	51	101
10:15:00	15	3	58	64	125
Toplam		42	855	951	1848
03/06/2006		Toplam			
07:15:00	15	0	0	0	15
07:30:00	15	0	1	1	17
07:45:00	15	0	5	6	26
08:00:00	15	2	2	5	24
08:15:00	15	2	7	9	33
08:30:00	15	0	12	15	42

08:45:00	15	4	10	15	44
09:00:00	15	1	11	12	39
09:15:00	15	2	11	14	42
09:30:00	15	1	6	7	29
09:45:00	15	0	6	6	27
10:00:00	15	17	21	38	91
10:15:00	15	0	12	13	40
Toplam		29	104	141	274
05/06/2006					Toplam
08:00:00	15	2	11	15	28
08:15:00	15	0	12	12	24
08:30:00	15	1	9	11	21
08:45:00	15	1	12	13	26
09:00:00	15	1	13	16	30
09:15:00	15	2	14	16	32
09:30:00	15	0	13	14	27
09:45:00	15	3	19	24	46
10:00:00	15	3	19	24	46
10:15:00	15	2	22	26	50
Toplam		15	144	171	330

Tablo 4.11. Trafik hacimleri ve sınıfları (Atatürk)

02/06/2006		Atatürk Caddesi			
Zaman	Periyot	Otobüs	Oto+minibüs	Otomobil	Toplam
07:15:00	15	2	6	8	16
07:30:00	15	2	17	20	39
07:45:00	15	3	18	21	42
08:00:00	15	5	53	59	117
08:15:00	15	1	48	53	102
08:30:00	15	7	64	76	147
08:45:00	15	2	77	88	167
09:00:00	15	1	51	57	109
09:15:00	15	3	40	46	89
09:30:00	15	4	23	28	55
09:45:00	15	4	28	33	65
10:00:00	15	0	18	19	37
10:15:00	15	1	29	30	60
Toplam		35	472	538	1045
03/06/2006					Toplam
07:15:00	15	1	0	1	2
07:30:00	15	0	1	1	2
07:45:00	15	0	8	9	17
08:00:00	15	1	10	12	23
08:15:00	15	2	5	10	17

08:30:00	15	1	10	14	25
08:45:00	15	1	6	9	16
09:00:00	15	2	13	16	31
09:15:00	15	2	11	16	29
09:30:00	15	3	10	13	26
09:45:00	15	0	6	10	16
10:00:00	15	1	13	15	29
10:15:00	15	1	10	14	25
Toplam		15	103	140	258
05/06/2006					Toplam
08:00:00	15	1	9	11	21
08:15:00	15	1	10	13	24
08:30:00	15	0	8	10	18
08:45:00	15	0	15	19	34
09:00:00	15	0	14	17	31
09:15:00	15	3	10	17	30
09:30:00	15	0	11	13	24
09:45:00	15	1	15	17	33
10:00:00	15	3	19	24	46
10:15:00	15	0	22	27	49
Toplam		9	133	168	310

Aynı kavşak kolunun araç işgal süreleri ise Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12. Araç işgal süreleri (saniye)

Zaman	Periyot	Gazi Bulvarı		Atatürk Caddesi	
		Şerit_1	Şerit_2	Şerit_3	şerit_4
08:18:00	15	85.8	11.1	0	11.6
08:33:00	15	226.1	10.7	0	12.8
08:48:00	15	254.7	11.5	0	12
09:03:00	15	323.4	9.1	0	13.5
09:18:00	15	402.5	11	0	11.3
09:33:00	15	349.4	11.5	0	12.5
09:48:00	15	469.2	11.6	0	11.7
10:03:00	15	170.4	12	0	10.6
10:18:00	15	113	12.2	0	12.3
10:33:00	15	88.7	14.2	0	12.7

Tablo 4.13a ve 4.13b’de şeritlerdeki ölçülen ortalama hızlar görülmektedir. Tablodaki boyalı olarak gösterilen hız büyük bir olasılıkla sinyal karışmasından doğan yanlış hesaplama olarak değerlendirilebilir ve analizlerde göz önüne alınmamalıdır.

Tablo 4.13a. Ortalama hızlar – GMK (m/s)

Zaman	Periyot	Gazi Mustafa Bulvarı					
		Otobüs	Otomobil minibüs kamyonet	Otomobil	Otobüs	Otomobil minibüs kamyonet	Otomobil
08:18:00	15	5	16	18	15	11	29
08:33:00	15	0	16	16	4	16	24
08:48:00	15	2	13	14	0	15	19
09:03:00	15	8	8	8	0	11	22
09:18:00	15	8	6	11	0	14	18
09:33:00	15	9	12	12	6	11	22
09:48:00	15	0	10	14	0	11	14
10:03:00	15	5	11	14	13	10	11
10:18:00	15	7	11	17	15	9	14
10:33:00	15	13	8	12	0	10	16

Tablo 4.13b. Ortalama hızlar – Atatürk (m/s)

Zaman	Periyot	Atatürk Caddesi					
		Otobüs	Otomobil minibüs kamyonet	Otomobil	Otobüs	Otomobil minibüs kamyonet	Otomobil
08:18:00	15	12	11	11	23	11	12
08:33:00	15	9	11	11	13	11	12
08:48:00	15	8	11	11	12	13	13
09:03:00	15	8	10	9	17	10	11
09:18:00	15	11	10	10	17	11	11
09:33:00	15	16	11	11	22	11	13
09:48:00	15	12	11	11	8	12	11
10:03:00	15	15	10	12	18	7	9
10:18:00	15	15	10	10	7	9	9
10:33:00	15	8	10	10	0	10	11

4.5.3. Performans Testleri

Bu bölümde cihaz ölçümleri ile kamera ölçümleri trafik hacmi cinsinden aynı zaman dilimlerinde karşılaştırılarak performans testleri yapılmıştır. Kamera sayımları ile elde edilen trafik hacim

sayımları ile trafik sayım cihazlarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar yapılırken farklı günlerde ölçülen değerler aynı zaman dilimleri için karşılaştırılmıştır. Tablo 4.14'te Lise ve İstiklal kolunda yapılan ölçüm değerleri ve hata miktarları verilmiştir. Lise kolunda cihaz ile yapılan ölçümler ortalama % 32 hata payına sahiptir ve kamera ölçümlerinden düşük miktarlardadır. Bu durum, yerleştirilen sensörlerin yeteri miktarda duyarlı olmaması veya yerleştirilen alanda manyetik alanı bozacak yüksek gerilim hatlarının oluşmasından kaynaklanabilmektedir. İstiklal kolunda ise hata payı oldukça yüksektir. Ölçüm tablolarında da gösterildiği gibi şeritlerden bir tanesinde ölçüm yapılamamıştır. Sensörlerden bir tanesinin bozulma ihtimali veya hatalı yerleştirme olasılığı oldukça yüksektir. Tablo 4.15'te Gazi Bulvarı'ndaki trafik ölçüm değerlerinin kamera sayım sonuçları verilmiştir. Tablodan görülebileceği üzere trafik sayım cihazı ile elde edilen veriler kamera ile elde edilen verilerden yüksektir ve hata payı yaklaşık %40'tır. Fakat diğer bir günde aynı cihazın değerleri ortalama %67 daha az olarak ölçülmüştür. Bunun sebepleri arasında yerleştirilen sensörlerin dengeli olarak çalışmadığı gösterilebilir.

Tablo 4.14. Trafik hacim sayımlarının karşılaştırılması

02/06/2006 Lise caddesi			
Zaman Dilimi saat	Kamera	HI-TRAC	Hata %
7:30-7:45	203	117	42
7:45-8:00	235	121	49
8:00-8:15	225	158	30
8:15-8:30	217	174	20
8:30-8:45	262	182	31
8:45-9:00	215	167	22
Toplam Hata			32
02/06/2006 İstiklal Caddesi			
Zaman Dilimi saat	Kamera	HI-TRAC	Hata %
7:30-7:45	161	32	80
7:45-8:00	173	66	62
8:00-8:15	194	84	57
8:15-8:30	185	101	45
8:30-8:45	196	85	57
8:45-9:00	190	80	58
Toplam Hata			60

Tablo 4.15 Hacim sayımlarının karşılaştırmaları

02/06/2006			
Gazi Bulvarı			
Zaman Dilimi	Kamera	HI-TRAC	Hata
saat			%
7:30-7:45	78	106	26
7:45-8:00	84	187	55
8:00-8:15	91	183	50
8:15-8:30	116	201	42
8:30-8:45	134	228	41
8:45-9:00	120	176	32
	Toplam Hata		41
03/06/2006			
Gazi Bulvarı			
Zaman Dilimi	Kamera	HI-TRAC	Hata
saat			%
7:30-7:45	78	26	67
7:45-8:00	84	24	71
8:00-8:15	91	33	64
8:15-8:30	116	42	64
8:30-8:45	134	44	67
8:45-9:00	120	39	68
	Toplam Hata		67

Atatürk caddesi üzerinde yapılan sayım sonuçlarının karşılaştırılması ise Tablo 4.16'da verilmiştir. Bu kol üzerindeki sayımlar en iyi sonuçlardan bir tanesini vermiştir ve hata payı %14 civarındadır. Diğer bir günde ise hata payı %85'lere çıkabilmektedir. Yerleştirilen algılayıcılar veya cihazların test performansları ön çalışma için iyi sonuçlar vermemiştir. Trafik sayım cihazının el kitabında belirtildiği üzere sınıflandırma, hız ve diğer ölçüm parametrelerinin %96-%99 duyarlılığa çıkarılması gerekmektedir. Ayrıca trafik sayım cihazının en önemli özelliklerinden bir tanesi trafik sıkışıklığı yönetiminin yapılabilmesidir. Bu sebeple duyarlılığının mutlak artırılması gerekmektedir.

4.6. Çalışma Bölgesinin Seçimi ve Veri Toplama Çalışmaları

Bu çalışma döneminde Şekil 4.33 ve 4.34'te verilen ulaşım ağı, tasarım çalışmaları için seçilmiş ve Ulaşım Ana Planında (UAP, 2002) verilen sayımlar ile proje ekibi tarafından yapılan trafik hacim sayımları karşılaştırılarak UAT verileri toplanmaya devam edilmiştir. Bu amaçla 12 adet

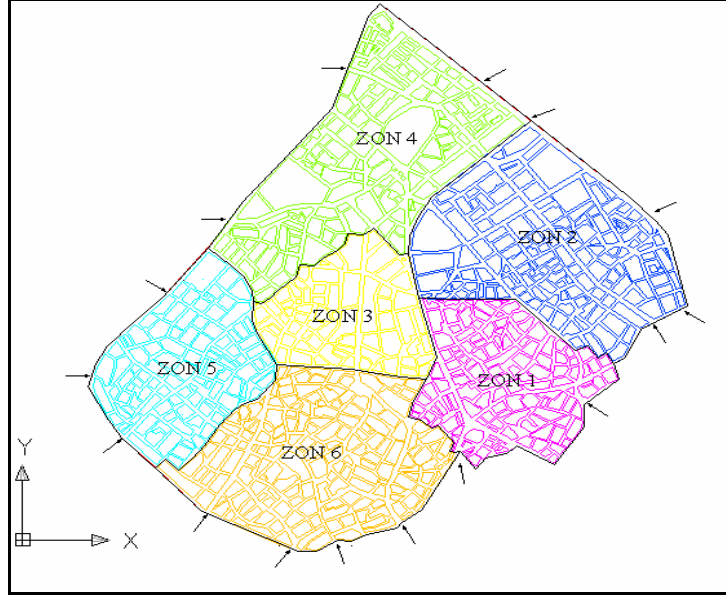
kavşağın sayımı B planı gereğince dijital kameralar ile gerçekleştirilmiştir. Sayımlar için öncelikle seçilen ağın dış koridorunu oluşturan kavşaklar seçilmiştir.

Tablo 4.16. Ölçüm testleri ve sonuçları

02/06/2006		Atatürk caddesi	
Zaman Dilimi saat	Kamera	HI-TRAC	Hata %
7:30-7:45	112	117	4
7:45-8:00	115	102	11
8:00-8:15	132	147	11
8:15-8:30	133	167	26
8:30-8:45	115	109	5
8:45-9:00	120	89	26
Toplam Hata			14
03/06/2006		Atatürk caddesi	
Zaman Dilimi saat	Kamera	HI-TRAC	Hata %
7:30-7:45	112	17	85
7:45-8:00	115	23	80
8:00-8:15	132	17	87
8:15-8:30	133	25	81
8:30-8:45	115	16	86
8:45-9:00	120	31	74
Toplam Hata			82

4.6.1. Çalışma Bölgesinin Tanımı

Çalışılan ulaştırma ağı; iş merkezi, konut ve eğitim alanlarını bir arada bulunduran ve UAP baz alındığında, 20 zonun kısmen veya tamamen kapsadığı bir ağıdır. Çalışmada bu zonlar gruplanarak 6 zon şeklinde gösterilmiştir. Ağın yaklaşık uzunluğu 20 km'dir. Ağda 10 adedi kontrolsüz 29 adedi kontrollü olmak üzere toplam 39 adet kavşak bulunmaktadır. Kontrollü kavşaklardan 14 adedinin 2002 yılına ait 14 saatlik sayım değerleri bulunmaktadır. Şekil 4.33'de ve Tablo 4.17'de çalışma ağının kapsadığı zonlar, Şekil 4.34'te ise çalışma ağındaki kavşaklar ve linkler verilmiştir. Oluşturulan ulaşım ağı sosyo-ekonomik yapı bakımından gelir düzeyi yüksek ve yoğunluğun fazla olduğu bir bölgedir. Ağın kapsadığı alanda eğitim kurumları, sağlık tesisleri, belediye, valilik vb. sosyal dokular ve hizmet birimleri bulunmaktadır.



Şekil 4.33. Çalışma alanı ve zonlar

Tablo 4.17. Zonların özellikleri

	Mahalle Adı	Nüfus (2000)	Alan(ha)	Yoğunluk(kişi/ha)
Zon 1	Gürcan	1502	7,40	203
	Hatipoğlu	1524	3,96	385
	H.Kaplanlar	2842	9,54	298
	Eskimüftü	731	2,21	331
	Yücebağ	330	4,15	80
	Altıntop	473	3,00	158
	Delikliçınar	1840	7,00	263
Zon 2	Uçancıbaşı	4831	27,91	173
	Topraklık	6041	29,13	207
	Kayalık	3089	15,22	203
Zon 3	Saltak	4776	17,52	273
	Çaybaşı	5994	18,00	333
Zon 4	Muratdede	5692	47,38	120
	Saraylar	3441	37,64	91
	Sırapapılar	3544	17,10	207
Zon 5	Akkonak	7890	71,00	111
	Günbattı	3590	16,35	220
Zon 6	Musa	2237	10,35	216
	Gürpınar	2203	7,35	300
	Karaman	12391	112,34	110

4.6.2. Kavşak Sayımları

Ana planda bulunan 14 saatlik kavşak sayımlarının saatlik değerlere dönüştürülmesi için ana planda 14 ayrı kesitte yapılan ve 30 dakika arayla değerleri verilen kesit sayımlarından faydalanılmıştır. Bu sayımlar incelendiğinde günde iki zirve saat tespit edilmiştir. Bunlardan ilki sabah 7:30-8:30, ikincisi ise akşam 19:00-20:00 arası olarak görülmektedir. Kış aylarında akşam zirvesi 1 saat geriye kaymaktadır. Kesit sayımları düzenlendiğinde sabah saatlerinde toplam trafiğin ortalama %8-10'u, akşam saatlerinde ise toplam trafiğin ortalama %10-12'sinin geçtiği görülmüştür. Belirlenen bu değerler kullanılarak 14 saatlik sayım değerleri saatlik değerlere dönüştürülmüştür. K205 kodlu Tofaş kavşağı bu çalışma döneminde köprülü kavşak çalışması nedeni ile sayım programı dışında bırakılmıştır. Benzer şekilde sayımı bulunan diğer kavşaklarda da bu yaklaşım kullanılmış ve sonuçları bölüm içinde verilmiştir.

Kamera ile yapılan sayımlar 5'er dakikalık periyotlarda ve toplamda 20'ser dakika olacak şekilde planlanmıştır. Elde edilen veriler yardımcı ile saatlik trafik değerleri ve zirve saat faktörleri hesaplanmıştır. Ayrıca her bir linkin uzunluğu ölçülerek Tablo 4.18'de verilmiştir. Link uzunluklarının ölçümü için ArcGIS programından faydalanılmıştır. Kamera sayımları için öncelikle çalışma sayfasından faydalanılmıştır. Trafik hacim kayıtları önce bilgisayar ortamına aktarılmış, sonra özellikle saatlik trafiğin oldukça yüksek değerleri doğru sayabilmek için 5 saniye aralıklarda, önce kâğıda sonra bilgisayara aktarmak yerine, çalışma sayfasında basit bir makro algoritması geliştirilmiştir. Yardımcı yazılım sayesinde bir yandan kayıtlar izlenirken diğer taraftan basit bir şekilde ilgili butonlar kullanılarak trafik sayımları çalışma sayfasına aktarılmıştır. Her sayım periyodunun sonunda "SIFIRLA" butonu tıklanarak bir sonraki sayım için boş sayım tablosu oluşturulmuştur. Makro kullanılarak oluşturulan çalışma sayfasının görünümü Şekil 4.35'te verilmiştir. Yoğun çalışma dönemlerinde kavşaklarda yapılan çekimlerin bilgisayara aktarılması emek ve zaman açısından yoğun bir ofis çalışması gerektirmektedir. Bu yazılım sayesinde ofis çalışmalarında kayda değer bir zaman tasarrufu sağlanmıştır.

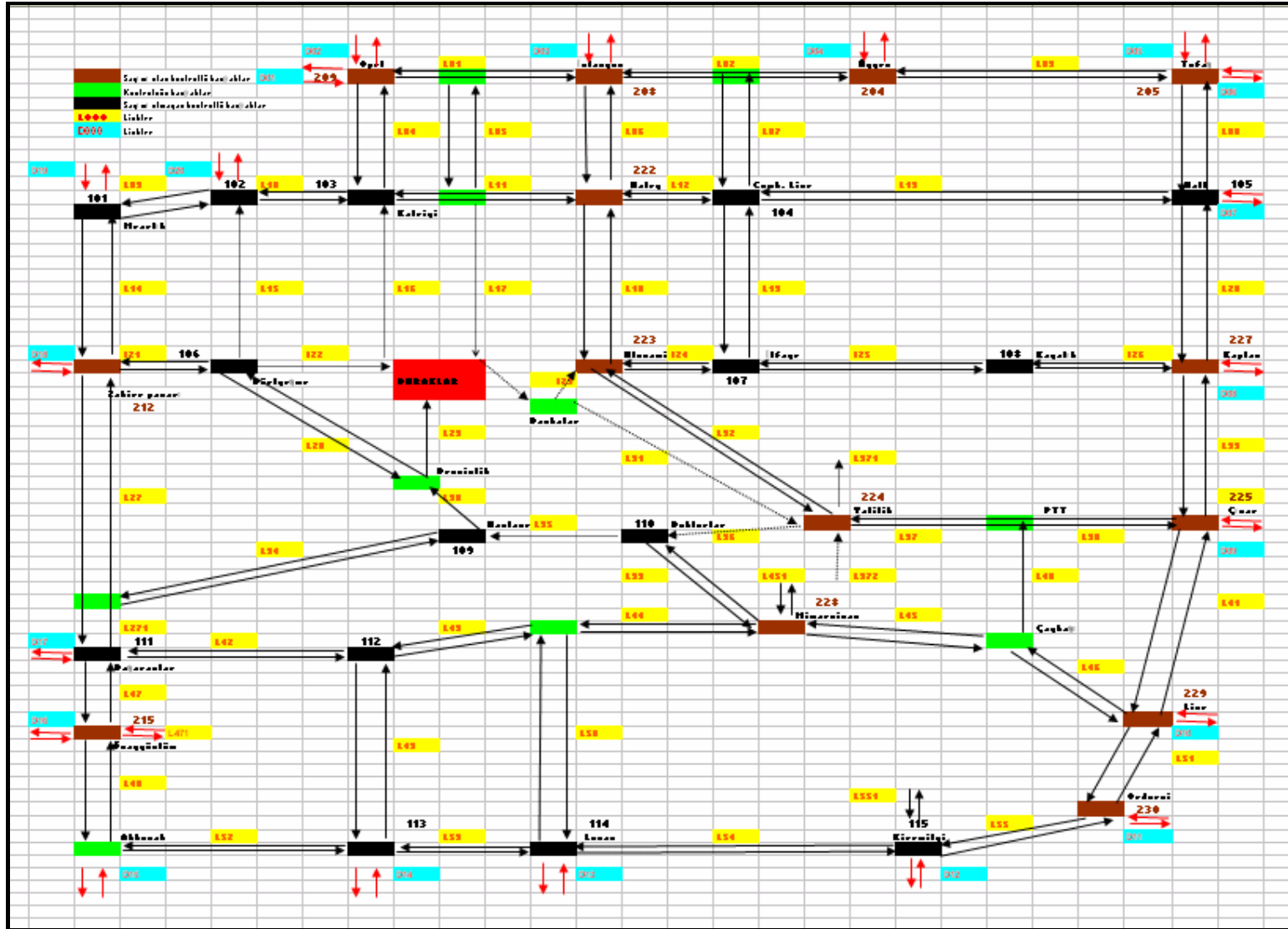
Microsoft Excel - kavşak sayımları

Dosya Düzen Görünüm Ekle Biçim Araçlar Veri Pencere Yardım Adobe PDF

Arial Tur 10

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1							KAVŞAK:	Halk Cd.-Sabah		
2	Halk Cd.	2	20	9		Halk Cd.	2	20	9	
3		Sol	Düz	Sağ		Tofaş	5	9	2	
4	Tofaş	5	9	2		İnönü Cd.	7	14	7	
5		Sol	Düz	Sağ		Atatürk Cd	4	12	3	
6	İnönü Cd.	7	14	7						
7		Sol	Sağ	Sağ						
8	Atatürk Cd.	4	12	3						
9		Sol	Düz	Sağ						
10										
11		SIRIFLA								
12										
13										
14										

Şekil 4.35. Geliştirilen yardımcı trafik sayım yazılımı.



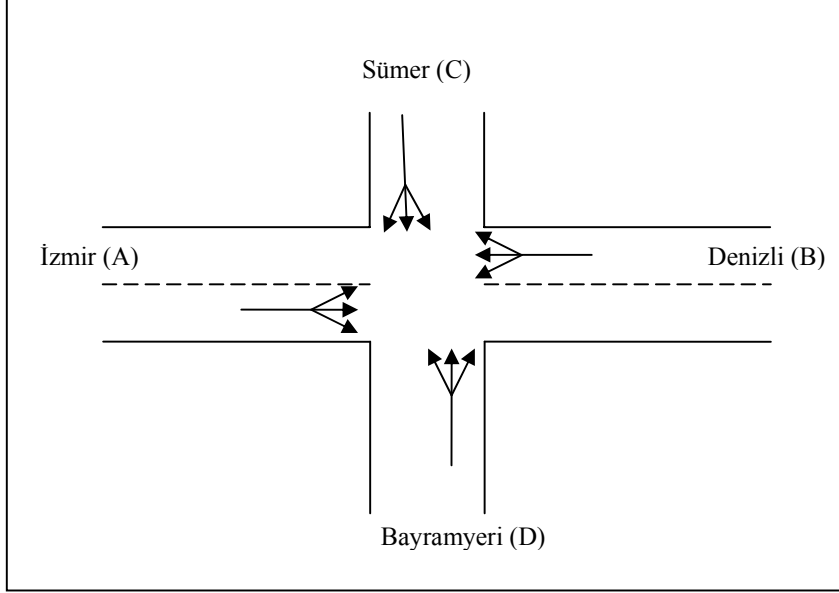
Şekil 4.34. Oluşturulan ulaşım ağı

Tablo 4.18. Çalışma ağı linkleri ve uzunlukları

Link No	Uzunluğu(m)	Link No	Uzunluğu(m)
L001	380	L028	220
L002	599	L029	80
L003	525	L030	95
L004	270	L031	210
L005	215	L032	465
L006	250	L033	500
L007	255	L034	500
L008	165	L035	170
L009	360	L036	213
L010	100	L037	440
L011	80	L038	270
L012	300	L039	710
L013	780	L040	340
L014	225	L041	580
L015	300	L042	415
L016	368	L043	280
L017	385	L044	340
L018	345	L045	320
L019	340	L046	550
L020	460	L047	280
L021	255	L048	560
L022	100	L049	840
L023	94	L050	780
L024	260	L051	260
L025	600	L052	310
L026	310	L053	495
L027	700	L054	400
L0271	160	L055	240
Toplam		20044 m	

Aşağıdaki tablo ve şekillerde sayımı gerçekleştirilen kavşakların trafik hacim değerleri matris formatında verilmiştir.

Opet Kavşağı K209 (2002)



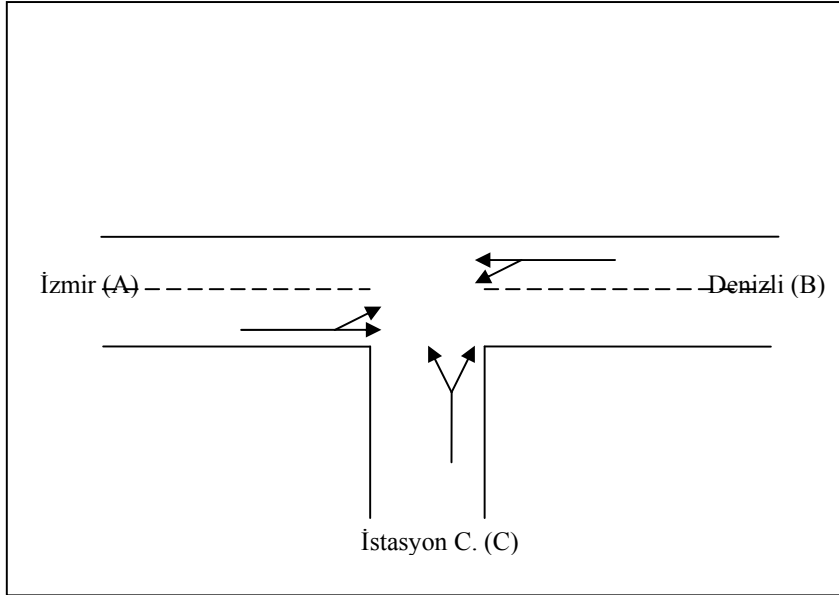
14 saatlik sayım değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
A İzmir	772	9402	2204	558	12936
B Denizli	7815	351	1425	2422	12013
C Sümer	577	1410	2	3032	5021
D Bayramyeri	992	2734	2726	1	6453
TOPLAM	10156	13897	6357	6013	36423

Saatlik Trafik Değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
SABAH					
A İzmir	62	752	176	45	1035
B Denizli	625	28	114	194	961
C Sümer	46	113	0	243	402
D Bayram.	79	219	218	0	516
TOPLAM	812	1112	509	481	2914
AKŞAM					
A İzmir	93	1128	264	67	1552
B Denizli	938	42	171	291	1442
C Sümer	69	169	0	364	603
D Bayram.	119	328	327	0	774
TOPLAM	1219	1668	763	722	4371

İstasyon Kavşağı K208 (2002)



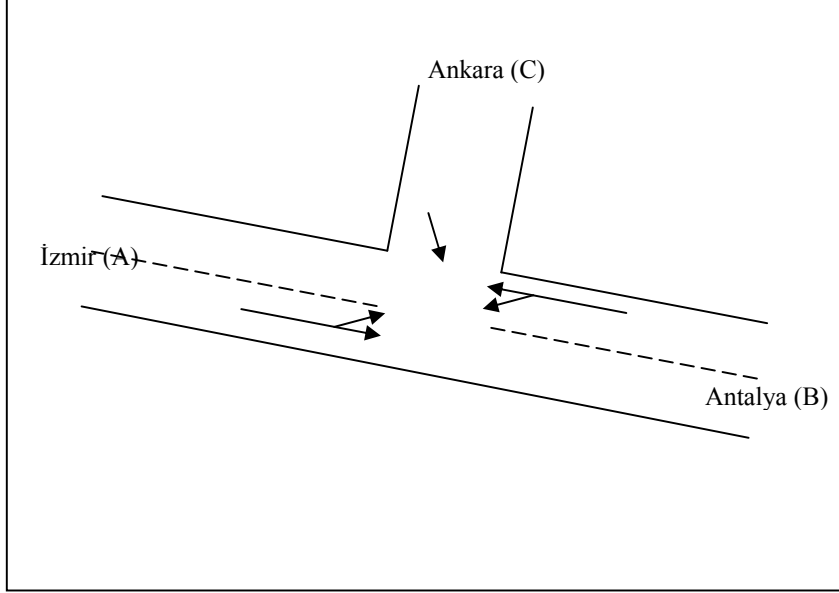
14 saatlik sayım değerleri

	A	B	C	TOPLAM
A İzmir	33	10525	1970	12528
B Denizli	7069	2409	4354	13832
C İstasyon	2899	3163	122	6184
TOPLAM	10001	16097	6446	32544

Saatlik Trafik Değerleri

	A	B	C	TOPLAM
SABAH				
A İzmir	3	1053	197	1253
B Denizli	707	241	435	1383
C İstasyon	290	316	12	618
TOPLAM	1000	1610	645	3254
AKŞAM				
A İzmir	5	1579	296	1879
B Denizli	1060	361	653	2075
C İstasyon	435	474	18	928
TOPLAM	1500	2415	967	4882

Üçgen Kavşağı K204 (2002)



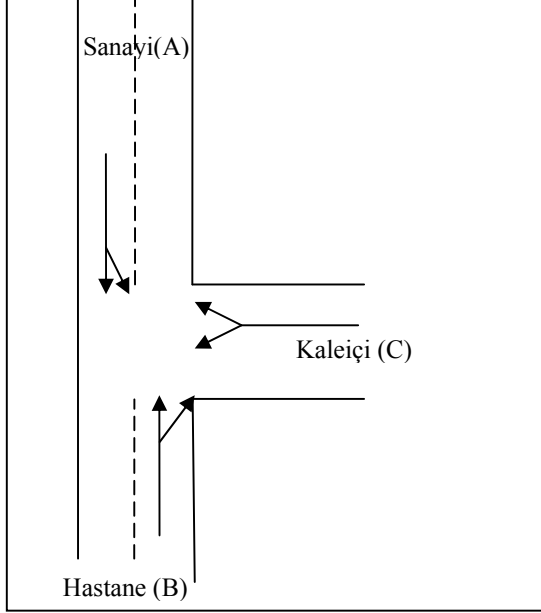
14 saatlik sayım değerleri

	A	B	C	TOPLAM
A İzmir	554	6666	7163	14383
B Antalya	5759	326	8312	14397
C Ankara	9576	7116	2898	19590
TOPLAM	15889	14108	18373	48370

Saatlik Trafik Değerleri

	A	B	C	TOPLAM
SABAH				
A İzmir	55	667	716	1438
B Antalya	576	33	831	1440
C Ankara	958	712	290	1959
TOPLAM	1589	1411	1837	4837
AKŞAM				
A İzmir	83	1000	1074	2157
B Antalya	864	49	1247	2160
C Ankara	1436	1067	435	2939
TOPLAM	2383	2116	2756	7256

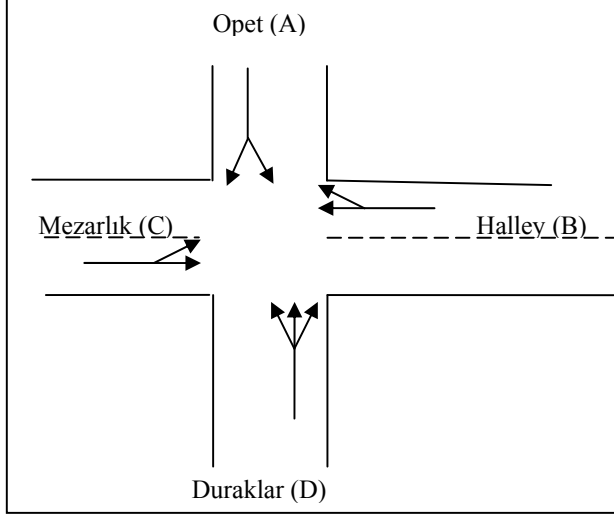
Mezarlık Kavşağı K101



Sabah				
	Hastane	Kaleiçi	Sanayi	Toplam
Hastane	0	372	468	840
Kaleiçi	489	0	273	762
Sanayi	198	51	0	249
Toplam	687	423	741	1851

Sabah					
		Sol	Düz	Sağ	
0-5 dk	Hastane	0	38	30	68
	Kaleiçi	34	0	26	
	Sanayi	5	13	0	
	Toplam	39	51	56	146
5-10 dk	Hastane	0	38	33	
	Kaleiçi	41	0	19	
	Sanayi	6	18	0	
	Toplam	47	56	52	155
10-15 dk	Hastane	0	41	29	
	Kaleiçi	45	0	23	
	Sanayi	2	18	0	
	Toplam	47	59	52	158
15-20 dk	Hastane	0	39	32	
	Kaleiçi	43	0	23	
	Sanayi	4	17	0	
	Toplam	47	56	55	158
				Toplam	617
				Saatlik	Zirve Saat Faktörü
				1851	0.98

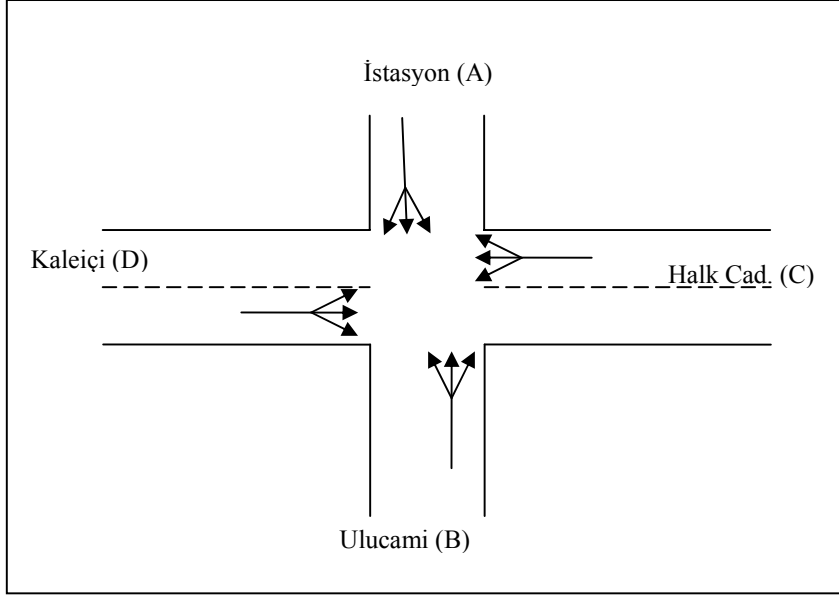
Kaleiçi Kavşağı K103



Sabah					
	A	B	C	D	Toplam
Opet	0	0	372	0	372
Halley	159	0	555	0	714
Mezarlık	660	300	0	0	960
Duraklar	282	27	15	0	324
Toplam	1101	327	942	0	2370

Sabah						
	Kavşak Kolu	Sol	Düz	Sağ		
0-5 dk	Opet			24		
	Halley		44	13		
	Mezarlık	46	26			
	Duraklar		22	1		
	Toplam	46	92	38		176
5-10 dk	Opet			38		
	Halley		52	13		
	Mezarlık	68	24			
	Duraklar		22	1		
	Toplam	68	98	52		218
10-15 dk	Opet			34		
	Halley		51	18		
	Mezarlık	55	22			
	Duraklar	2	23	3		
	Toplam	57	96	55		208
15-20 dk	Opet			28		
	Halley		38	9		
	Mezarlık	51	28			
	Duraklar	3	27	4		
	Toplam	54	93	41		188
				Toplam	790	
				Saatlik	Zirve Faktörü	Saat
				2370	0.91	

Halley Kavşağı K222 (2002)



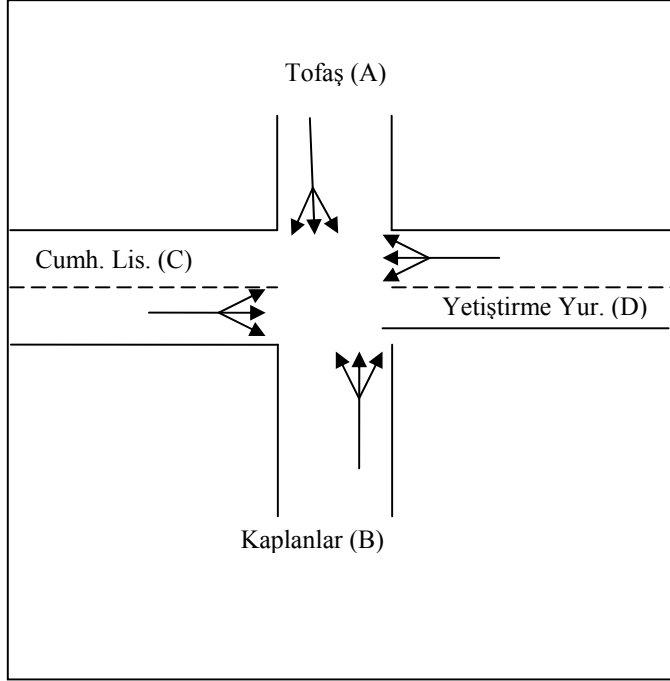
14 saatlik sayım değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
A İstasyon	0	2579	717	2681	5977
B Ulucami	4813	367	996	4566	10742
C Halk C.	249	0	0	5009	5258
DKaleiçi	0	561	2057	0	2618
TOPLAM	5062	3507	3770	12256	24595

Saatlik Trafik Değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
SABAH					
A İstasyon	0	258	72	268	598
B Ulucami	481	37	100	457	1074
C Halk C.	25	0	0	501	526
DKaleiçi	0	56	206	0	262
TOPLAM	506	351	377	1226	2460
AKŞAM					
A İstasyon	0	387	108	402	897
B Ulucami	722	55	149	685	1611
C Halk C.	37	0	0	751	789
DKaleiçi	0	84	309	0	393
TOPLAM	759	526	566	1838	3689

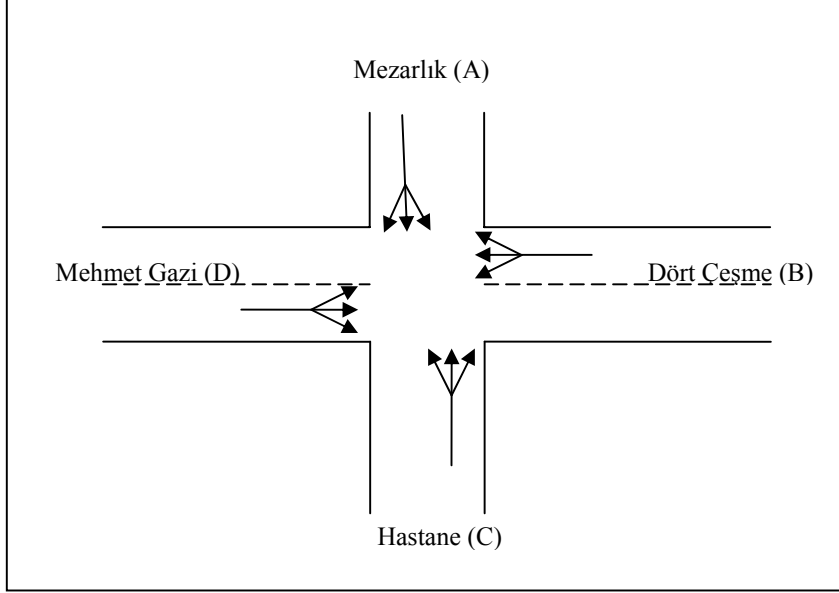
Halk Cd. Kavşağı K105



Sabah					
	A	B	C	D	Toplam
Tofaş	0	396	231	60	687
Kaplanlar	501	0	90	3	594
Cumhuriyet	120	24	0	75	219
Lisesi					
Yetiştirme	294	42	264	0	600
Yurdu					
Toplam	915	462	585	138	2100
Akşam					
	A	B	C	D	Toplam
Tofaş	0	567	168	156	891
Kaplanlar	345	0	93	12	450
Cumhuriyet	198	108	0	228	534
Lisesi					
Yetiştirme	132	24	141	0	297
Yurdu					
Toplam	675	699	402	396	2172

SABAH					AKŞAM				
	Kavşak Kolu	Sol	Düz	Sağ		Kavşak Kolu	Sol	Düz	Sağ
0-5 dk	Tofaş	8	29	16	155	Tofaş	12	65	13
	Kaplanlar	7	40			Kaplanlar	8	29	1
	Cumhuriyet L.	7	5	1		Cumhuriyet L.	17	12	7
	Yetiştirme Yurdu	5	14	23		Yetiştirme Yurdu	1	12	9
	Toplam	27	88	40		Toplam	38	118	30
5-10 dk	Tofaş	2	32	17	179	Tofaş	12	40	17
	Kaplanlar	10	43			Kaplanlar	12	35	
	Cumhuriyet L.	11	6	3		Cumhuriyet L.	11	17	10
	Yetiştirme Yurdu	2	25	28		Yetiştirme Yurdu	1	11	11
	Toplam	25	106	48		Toplam	36	103	38
10-15 dk	Tofaş	5	33	23	188	Tofaş	11	43	11
	Kaplanlar	7	43	1		Kaplanlar	4	27	3
	Cumhuriyet L.	13	7	3		Cumhuriyet L.	15	29	11
	Yetiştirme Yurdu	6	22	25		Yetiştirme Yurdu	3	15	13
	Toplam	31	105	52		Toplam	33	114	38
15-20 dk	Tofaş	5	38	21	178	Tofaş	17	41	15
	Kaplanlar	6	41			Kaplanlar	7	24	
	Cumhuriyet L.	9	7	1		Cumhuriyet L.	23	18	8
	Yetiştirme Yurdu	1	27	22		Yetiştirme Yurdu	3	9	11
	Toplam	21	113	44		Toplam	50	92	34
			Toplam	700			Toplam	724	
Saatlik	Zirve Saat Fak.				Saatlik	Zirve Saat Faktörü			
2100	0.93				2172	0.97			

Zahire Pazarı Kavşağı K212 (2002)



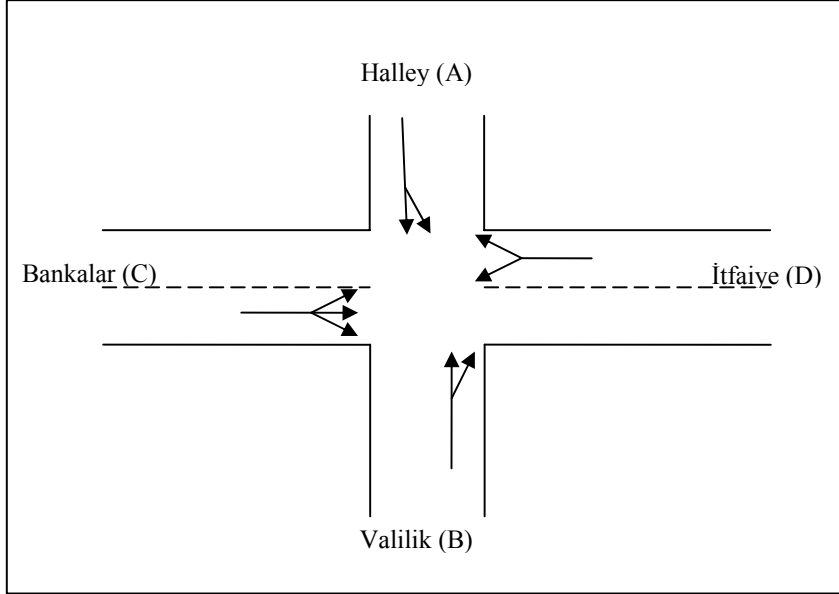
14 saatlik sayım değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
A Mezarlık	110	1644	3619	1133	6506
B Dört Çeşme	3129	138	315	721	4303
C Hastane	4095	408	0	225	4728
D Mehmet Gz.	981	1186	248	0	2415
TOPLAM	8315	3376	4182	2079	17952

Saatlik Trafik Değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
SABAH					
A Mezarlık	11	164	362	113	651
B Dört Çeşme	313	14	32	72	430
C Hastane	410	41	0	23	473
D Mehmet Gz.	98	119	25	0	242
TOPLAM	832	338	418	208	1795
AKŞAM					
A Mezarlık	17	247	543	170	976
B Dört Çeşme	469	21	47	108	645
C Hastane	614	61	0	34	709
D Mehmet Gz.	147	178	37	0	362
TOPLAM	1247	506	627	312	2693

Ulucami Kavşağı K223 (2002)



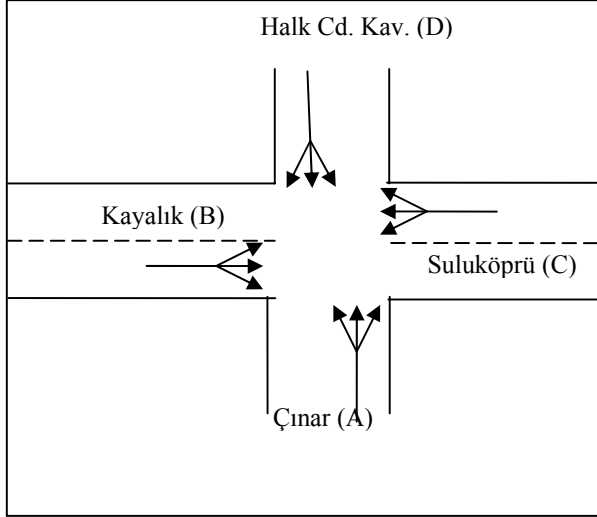
14 saatlik sayım değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
A Halley	0	3225	0	0	3225
B Valilik	4998	0	0	393	5391
C Bankalar	3155	264	0	3708	7127
D İtfaye	3330	177	0	181	3688
TOPLAM	11483	3666	0	4282	19431

Saatlik Trafik Değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
SABAH					
A Halley	0	323	0	0	323
B Valilik	500	0	0	39	539
C Bankalar	316	26	0	371	713
D İtfaye	333	18	0	18	369
TOPLAM	1148	367	0	428	1943
AKŞAM					
A Halley	0	484	0	0	484
B Valilik	750	0	0	59	809
C Bankalar	473	40	0	556	1069
D İtfaye	500	27	0	27	553
TOPLAM	1722	550	0	642	2915

Kaplanlar Kavşağı K227 (2002)



Sabah					
	Kayalık	Çınar	Suluköp.	Halk	Top.
Kayalık	0	132	81	42	255
Çınar	156	0	27	261	444
Suluköp.	222	33	0	261	516
Halk	60	249	108	0	417
Toplam	438	414	216	564	1632

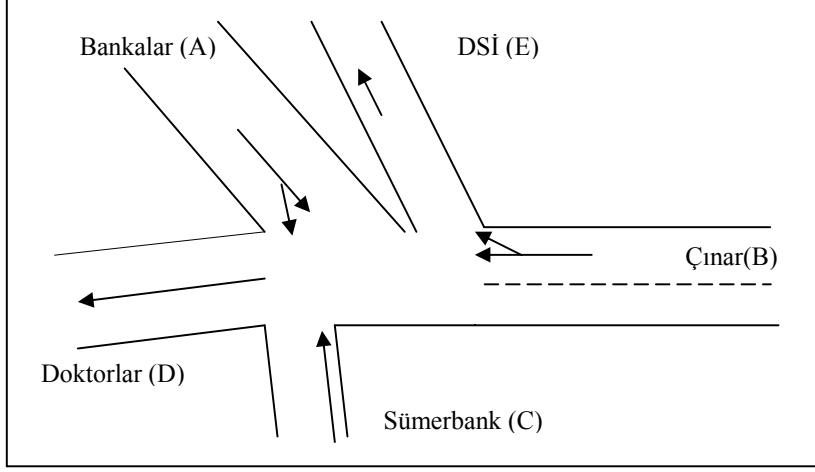
Akşam					
	Kayalık	Çınar	Suluköp.	Halk	Top.
Kayalık	0	231	72	150	453
Çınar	282	0	60	147	489
Suluköp.	99	27	0	117	243
Halk	75	405	219	0	699
Toplam	456	663	351	414	1884

14 saatlik sayım değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
A Çınar	19	1061	398	2735	4213
B Kayalık	967	15	1608	480	3070
C Çınar	199	1649	0	1501	3349
D Halk Cad.	3253	1397	2384	13	7047
TOPLAM	4438	4122	4390	4729	17679

Sabah					Akşam					
		Sol	Düz	Sağ		Sol	Düz	Sağ		
0-5 dk	Kayalık	4	7	11		5	27	11		
	Çınar	9	9	2		13	21	3		
	Suluköprü	5	17	24		2	6	9		
	Halk	13	28	8		16	48	8		
		31	61	45	137	36	102	31	169	
5-10 dk	Kayalık	4	5	12		5	12	13		
	Çınar	16	21	2		11	24	6		
	Suluköprü	4	14	23		4	9	8		
	Halk	10	19	6		15	29	6		
		34	59	43	136	35	74	33	142	
10-15 dk	Kayalık	2	6	9		7	19	13		
	Çınar	16	26	2		11	24	5		
	Suluköprü	1	20	20		2	9	9		
	Halk	8	14	1		29	29	5		
		27	66	32	125	49	81	32	162	
15-20 dk	Kayalık	4	9	12		7	19	13		
	Çınar	11	31	3		14	25	6		
	Suluköprü	1	23	20		1	15	7		
	Halk	5	22	5		13	29	6		
		21	85	40	146	35	88	32	155	
				Toplam	544			Toplam	628	
Saatlik	Zirve Saat F.								Saatlik	Zirve Saat F.
1632	0.93								1884	0.93

Valilik Kavşağı K224



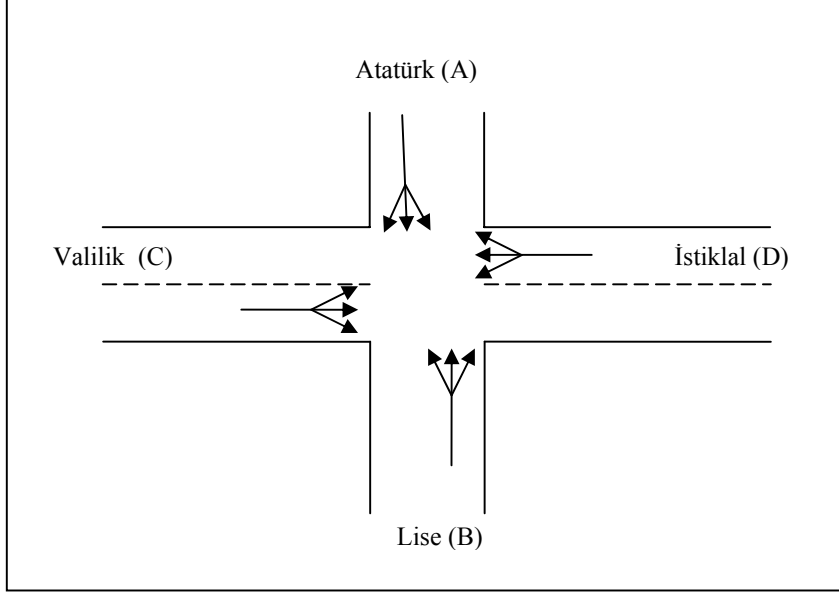
14 saatlik sayım değerleri

	A	B	C	D	E	TOPLAM
A Uluçar/banka	333	7585	0	1370	517	9805
B Çınar	4011	1657	0	4935	920	11523
C Sümerbank	1522	176	0	907	1792	4397
D Doktorlar C.	0	0	0	0	0	0
E Valilik DSİ	1	0	0	0	0	1
TOPLAM	5867	9418	0	7212	3229	25726

Saatlik Trafik Değerleri

	A	B	C	D	E	TOPLAM
SABAH						
A Uluçarşı/banka	33	759	0	137	52	929
B Çınar	401	166	0	494	92	1060
C Sümerbank	152	18	0	91	179	261
D Doktorlar C.	0	0	0	0	0	0
E Valilik DSİ	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	587	942	0	721	323	2573
AKŞAM						
A Uluçarşı/banka	40	910	0	164	62	1115
B Çınar	481	199	0	592	110	1272
C Sümerbank	183	21	0	109	215	313
D Doktorlar C.	0	0	0	0	0	0
E Valilik DSİ	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	704	1130	0	865	387	3087

Çınar Kavşağı K225 (2002)



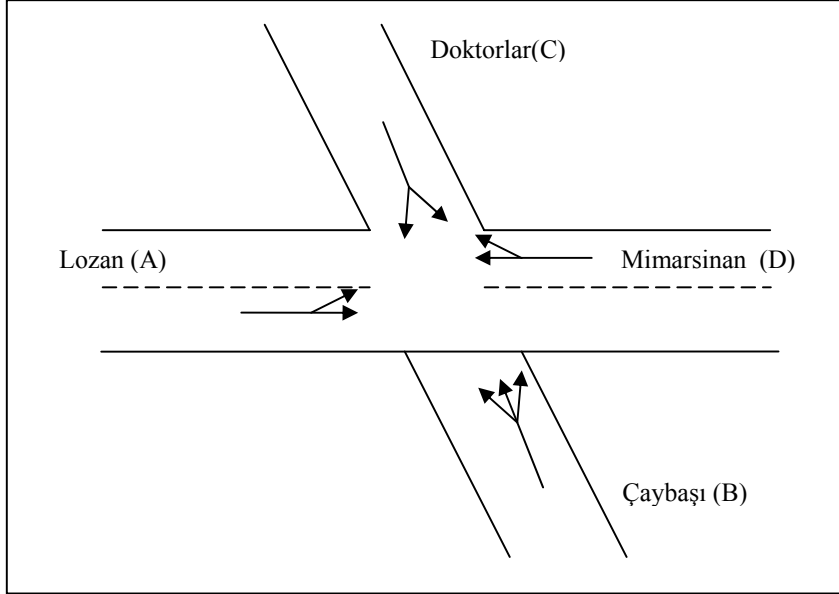
14 saatlik sayım değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
A Atatürk	11	3162	914	1336	5423
B Lise	2246	66	4857	119	7288
C Valilik	1775	3286	1333	3857	10251
D İstiklal	1174	1364	4551	137	7226
TOPLAM	5206	7878	11655	5449	30188

Saatlik Trafik Değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
SABAH					
A Atatürk	1	316	91	134	542
B Lise	225	7	486	12	729
C Valilik	178	329	133	386	1025
D İstiklal	117	136	455	14	723
TOPLAM	521	788	1166	545	3019
AKŞAM					
A Atatürk	1	379	110	160	651
B Lise	270	8	583	14	875
C Valilik	213	394	160	463	1230
D İstiklal	141	164	546	16	867
TOPLAM	625	945	1399	654	3623

Mimarsinan Kavşağı K228



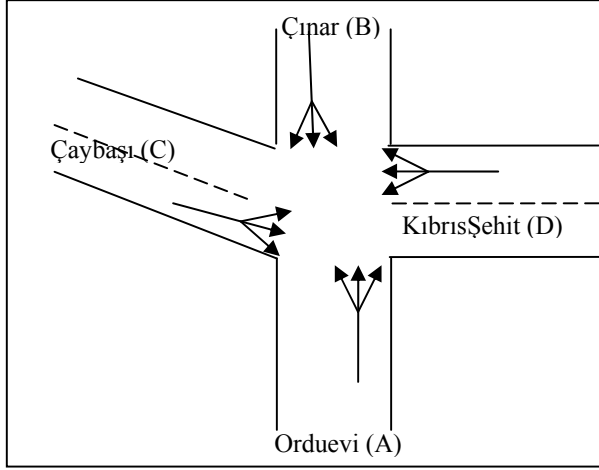
14 saatlik sayım değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
A Lozan	0	698	805	1009	2512
B Çaybaşı	893	0	3827	207	4927
C Doktorlar	601	2400	0	419	3420
D Mimarsin.	674	241	726	0	1641
TOPLAM	2168	3339	5358	1635	12500

Saatlik Trafik Değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
SABAH					
A Lozan	0	70	81	101	251
B Çaybaşı	89	0	383	21	493
C Doktorlar	60	240	0	42	342
D Mimarsin.	67	24	73	0	164
TOPLAM	217	334	536	164	1250
AKŞAM					
A Lozan	0	84	97	121	301
B Çaybaşı	107	0	459	25	591
C Doktorlar	72	288	0	50	410
D Mimarsin.	81	29	87	0	197
TOPLAM	260	401	643	196	1500

Lise Kavşağı K229 (2002)



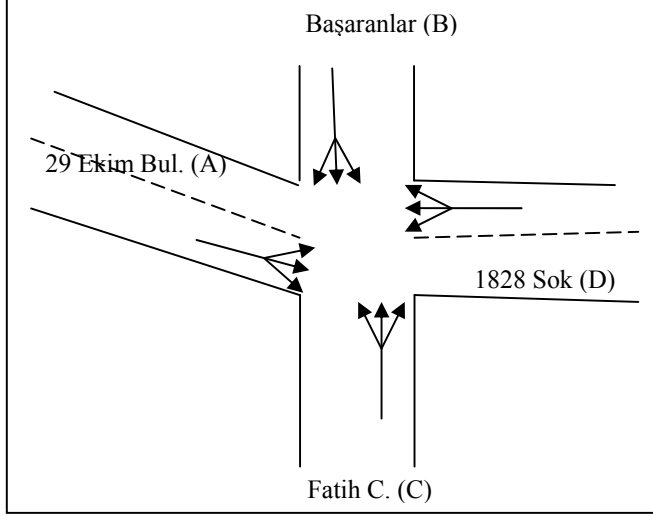
Sabah					
	Kıbrıs	Çınar	Çaybaşı	Orduevi	Top.
Kıbrıs Ş.	0	138	459	117	714
Çınar	63	0	24	168	255
Çaybaşı	213	0	0	87	300
Orduevi	150	432	195	0	777
Toplam	426	570	678	372	2046
Akşam					
	Kıbrıs	Çınar	Çaybaşı	Orduevi	Top.
Kıbrıs Ş.	0	147	288	171	606
Çınar	186	0	60	513	759
Çaybaşı	396	0	0	195	591
Orduevi	255	261	114	0	630
Toplam	837	408	462	879	2586

14 saatlik sayım değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
A Orduevi	0	5134	1304	1805	8243
B Çınar	4620	0	336	1408	6364
C Çaybaşı	1655	0	0	2529	4184
D Kbrs. Şeh.	1525	1756	2940	0	6221
TOPLAM	7800	6890	4580	5742	25012

		Sabah			Akşam					
		Sol	Düz	Sağ	Sol	Düz	Sağ			
0-5 dk	Kıbrıs Ş.	12	37	12	16	27	16			
	Çınar	2	11	1	9	50	6			
	Çaybaşı	0	22	9	0	31	22			
	Orduevi	13	50	10	14	30	26			
		27	120	32	179	39	138	70	247	
5-10 dk	Kıbrıs Ş.	9	30	6	16	29	14			
	Çınar	7	15	2	11	30	4			
	Çaybaşı	0	9	7	0	36	13			
	Orduevi	21	33	18	13	19	29			
		37	87	33	157	40	114	60	214	
10-15 dk	Kıbrıs Ş.	6	41	12	11	20	11			
	Çınar	9	12	2	21	48	6			
	Çaybaşı	0	26	10	0	32	15			
	Orduevi	21	31	12	6	20	12			
		36	110	36	182	38	120	44	202	
15-20 dk	Kıbrıs Ş.	12	45	16	14	20	8			
	Çınar	3	18	3	21	43	4			
	Çaybaşı	0	14	3	0	33	15			
	Orduevi	10	30	10	5	18	18			
		25	107	32	164	40	114	45	199	
		Toplam			682	Toplam			862	
Saatlik	Zirve	Saat				Saatlik	Zirve	Saat		
2046	0.94					2586	0.87			

Özay Gönülüm Kavşağı



Sabah					
	Akkonak	1828 Sk.	Başaran	29 Ekim	Toplam
Akkonak	0	27	504	99	630
1828 S.	0	0	18	78	96
Başaranlar	303	0	0	156	459
29 Ekim	48	54	501	0	603
Toplam	351	81	1023	333	1788

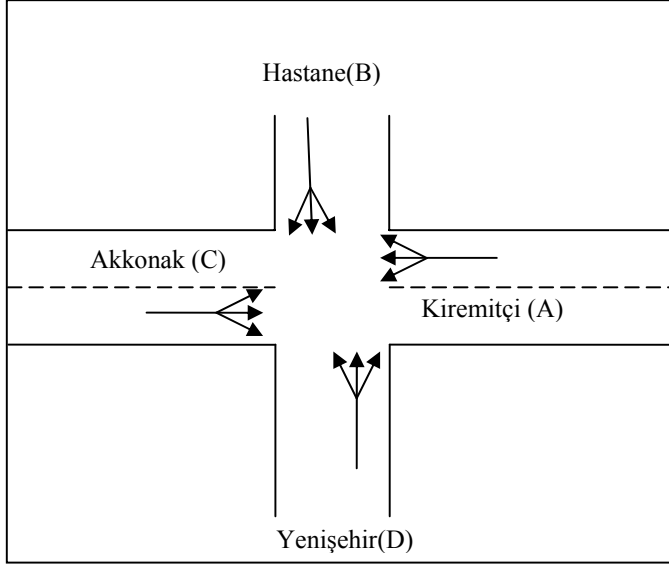
14 saatlik sayım değerleri

	A	B	C	D	TOPLAM
A 29 Ekim Bul	64	3427	305	197	3993
B Başaranlar	2882	75	3440	14	6411
C Akkonak	240	3895	27	88	4250
D 1828 Sok.	223	291	88	6	608
TOPLAM	3409	7688	3860	305	15262

Sabah

		Sol	Düz	Sağ	
0-5 dk	Akkonak	9	44	1	
	1828 S.	0	9	2	
	Başaranlar	0	29	13	
	29 Ekim	43	4	2	
		52	86	18	156
5-10 dk	Akkonak	7	41	3	
	1828 S.	0	5	1	
	Başaranlar	0	23	13	
	29 Ekim	43	6	6	
		50	75	23	148
10-15 dk	Akkonak	7	43	3	
	1828 S.	0	6	2	
	Başaranlar	0	24	14	
	29 Ekim	41	4	5	
		48	77	24	149
15-20 dk	Akkonak	10	40	2	
	1828 S.	0	6	1	
	Başaranlar	0	25	12	
	29 Ekim	40	4	3	
		50	75	18	143
				Toplam	596
				Saatlik	Zirve Saat Faktörü
				1788	0.96

K113



Sabah

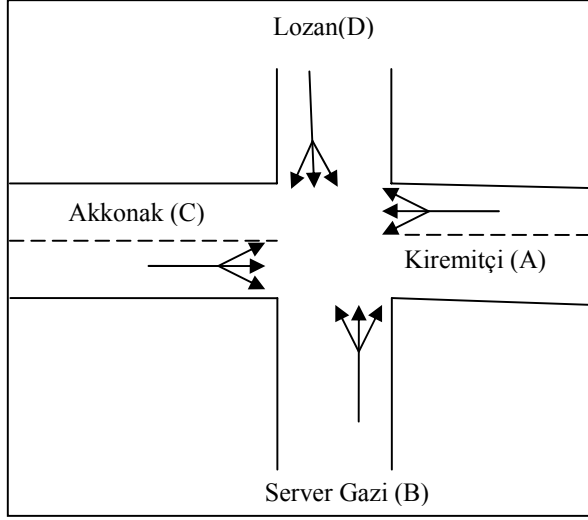
	A	B	C	D	Toplam
Kiremitçi	0	72	351	9	432
Hastane	45	0	18	60	123
Akkonak	267	66	0	6	339
Yenişehir	12	126	24	0	162
Toplam	324	264	393	75	1056

Akşam

	A	B	C	D	Toplam
Kiremitçi	0	27	390	39	456
Hastane	63	0	99	177	339
Akkonak	378	33	0	36	447
Yenişehir	24	57	18	0	99
Toplam	465	117	507	252	1341

		Sabah			Akşam					
		Sol	Düz	Sağ	Sol	Düz	Sağ			
0-5 dk	Kiremitçi	1	40	6	0	41	3			
	Hastane	4	6	0	3	12	8			
	Akkonak	2	19	2	3	22	1			
	Yenişehir	1	8	0	0	8	1			
		8	73	8	6	83	13	89	102	
5-10 dk	Kiremitçi	0	31	6	5	29	1			
	Hastane	4	7	3	7	17	12			
	Akkonak	7	18	0	3	40	5			
	Yenişehir	1	13	1	3	4	3			
		12	69	10	18	90	21	91	129	
10-15 dk	Kiremitçi	2	20	5	4	24	4			
	Hastane	5	3	2	7	13	5			
	Akkonak	7	30	0	2	33	3			
	Yenişehir	3	10	1	2	5	2			
		17	63	8	15	75	14	88	104	
15-20 dk	Kiremitçi	0	26	7	4	36	1			
	Hastane	2	4	1	4	17	8			
	Akkonak	6	22	0	3	31	3			
	Yenişehir	3	11	2	1	2	2			
		11	63	10	12	86	14	84	112	
		Toplam			352				Toplam	447
Saatlik	Zirve Faktörü	Saat				Saatlik	Zirve Faktörü	Saat		
1056	0.97					1341	0.87			

Lozan Kavşağı K114

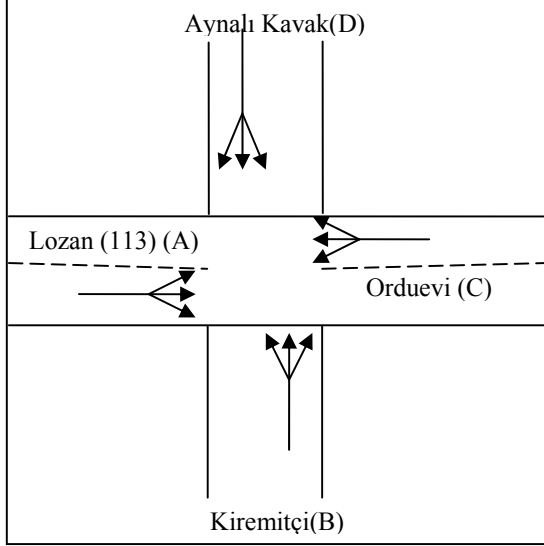


Sabah					
	A	B	C	D	Toplam
Kiremitçi	0	114	282	36	432
Servergazi	135	0	42	216	393
Akkonak	384	24	0	81	489
Lozan	60	60	39	0	159
Toplam	579	198	363	333	1473

Akşam					
	A	B	C	D	Toplam
Kiremitçi	0	141	327	39	507
Servergazi	126	0	33	105	264
Akkonak	381	27	0	54	462
Lozan	150	165	51	0	366
Toplam	657	333	411	198	1599

SABAH					AKŞAM					
	Kavşak Kolu	Sol	Düz	Sağ		Kavşak Kolu	Sol	Düz	Sağ	
0-5 dk	Kiremitçi	10	16	4	124	Kiremitçi	10	31	3	
	Servergazi	6	13	14		0-5 dk	Servergazi	1	13	12
	Akkonak	8	34	3		Akkonak	3	41	2	
	Lozan	8	3	5		Lozan	17	15	1	
	Toplam	32	66	26		Toplam	31	100	18	149
5-10 dk	Kiremitçi	9	24	3	133	Kiremitçi	11	21	5	
	Servergazi	3	20	8		5-10 dk	Servergazi	5	4	17
	Akkonak	10	44	1		Akkonak	9	30	3	
	Lozan	5	4	2		Lozan	18	21	5	
	Toplam	27	92	14		Toplam	43	76	30	149
10-15 dk	Kiremitçi	12	31	2	112	Kiremitçi	12	26	3	
	Servergazi	1	16	11		10-15 dk	Servergazi	2	6	7
	Akkonak	3	25	1		Akkonak	1	32	4	
	Lozan	2	4	4		Lozan	12	10	7	
	Toplam	18	76	18		Toplam	27	74	21	122
15-20 dk	Kiremitçi	7	23	3	122	Kiremitçi	14	31	2	
	Servergazi	4	23	12		15-20 dk	Servergazi	3	12	6
	Akkonak	6	25	3		Akkonak	5	24		
	Lozan	5	9	2		Lozan	3	9	4	
	Toplam	22	80	20		Toplam	25	76	12	113
			Top.	491			Top.	533		
Saatlik	Zirve Saat F.				Saatlik	Zirve Saat F.				
1473	0.92				1599	0.89				

Kiremitçi Kavşağı K115

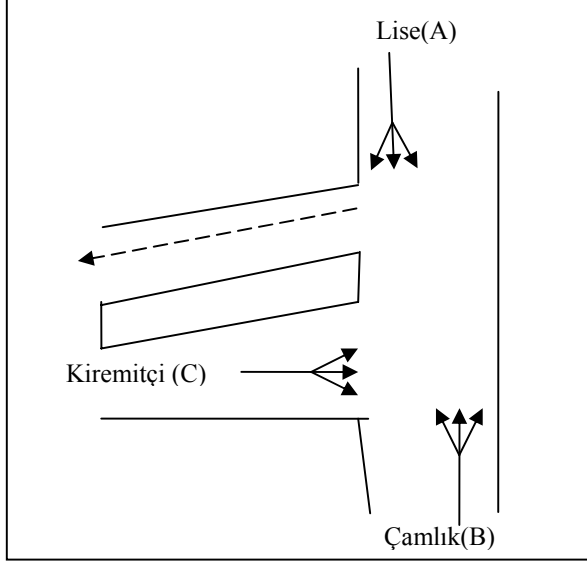


Sabah					
	A	B	C	D	Toplam
Lozan	0	24	633	24	681
Kiremitçi	54	0	144	30	228
Orduevi	384	81	0	6	471
Aynalı	21	18	132	0	171
Toplam	459	123	909	60	1551

Akşam					
	A	B	C	D	Toplam
Lozan	0	48	561	24	633
Kiremitçi	33	0	99	45	177
Orduevi	423	153	0	15	591
Aynalı	24	54	204	0	282
Toplam	480	255	864	84	1683

Sabah					Akşam				
		Sol	Düz	Sağ	Sol	Düz	Sağ		
0-5 dk	Lozan	1	61	1	2	53	6		
	Kiremitçi	3	3	16	2	0	6		
	Orduevi	6	35	1	10	37	2		
	Aynalı	10	4	6	13	5	4		
		20	103	24	147	27	95	18	140
5-10 dk	Lozan	3	43	1	3	53	5		
	Kiremitçi	4	0	15	4	2	8		
	Orduevi	8	27	1	12	38	0		
	Aynalı	16	1	0	19	7	2		
		31	71	17	119	38	100	15	153
10-15 dk	Lozan	2	54	2	1	48	0		
	Kiremitçi	8	5	11	3	5	10		
	Orduevi	5	31	0	13	38	1		
	Aynalı	12	1	1	16	2	2		
		27	91	14	132	33	93	13	139
15-20 dk	Lozan	2	53	4	2	33	5		
	Kiremitçi	3	2	6	2	8	9		
	Orduevi	8	35	0	16	28	2		
	Aynalı	6	0	0	20	4	0		
		19	90	10	119	40	73	16	129
				Toplam	517			Toplam	561
Saatlik	Zirve Saat Fak.				Saatlik	Zirve Saat Fak.			
1551	0.88				1683	0.92			

Orduevi Kavşağı K230

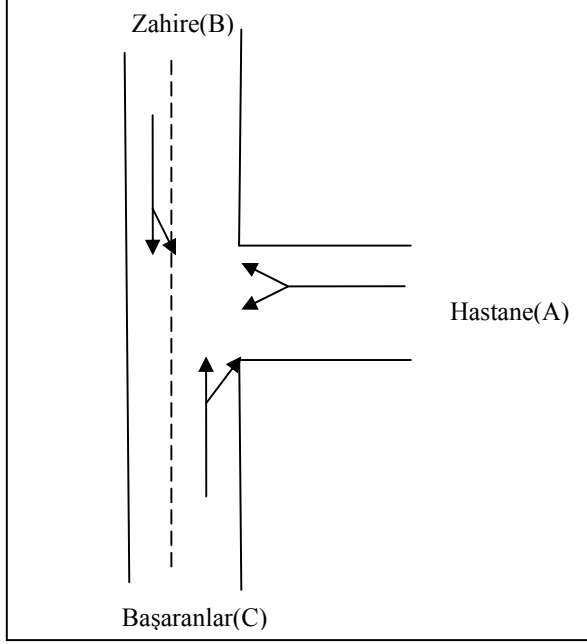


Sabah				
	Lise	Kiremitçi	Çamlık	Toplam
Lise	0	216	129	345
Kiremitçi	327	0	336	663
Çamlık	492	525	0	1017
Toplam	819	741	465	2025

Akşam				
	Lise	Kiremitçi	Çamlık	Toplam
Lise	0	462	540	1002
Kiremitçi	273	0	501	774
Çamlık	213	357	0	570
Toplam	486	819	1041	2346

Sabah					Akşam				
	Kavşak Kolu	Sol	Düz	Sağ	Kavşak Kolu	Sol	Düz	Sağ	
0-5 dk	Lise	9		13	Lise	54		35	
	Kiremitçi	31		29	Kiremitçi	18		37	
	Çamlık	52		37	Çamlık	38		22	
	Toplam	92	0	79	171	110	0	94	204
5-10 dk	Lise	11		22	Lise	42		33	
	Kiremitçi	25		34	Kiremitçi	21		54	
	Çamlık	33		46	Çamlık	28		14	
	Toplam	69	0	102	171	91	0	101	192
10-15 dk	Lise	16		16	Lise	40		37	
	Kiremitçi	23		26	Kiremitçi	31		41	
	Çamlık	48		43	Çamlık	33		15	
	Toplam	87	0	85	172	104	0	93	197
15-20 dk	Lise	7		21	Lise	44		49	
	Kiremitçi	30		23	Kiremitçi	21		35	
	Çamlık	42		38	Çamlık	20		20	
	Toplam	79	0	82	161	85	0	104	189
			Toplam	675			Toplam	782	
Saatlik 2025	Zirve Saat Fak. 0.98				Saatlik 2346	Zirve Saat Fak. 0.96			

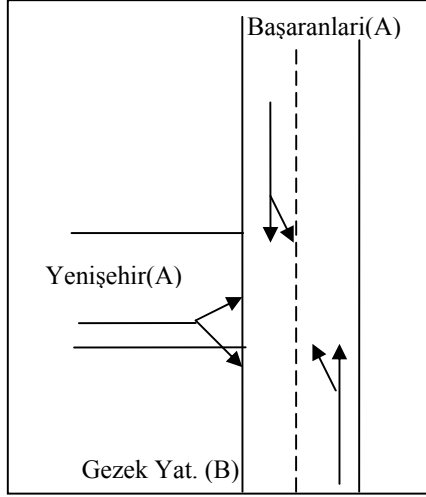
Hastane Kavşağı (Kon006)



Sabah				
	A	B	C	Toplam
Hastane	0	39	336	375
Zahire	0	0	348	348
Başaranlar	837	615	0	1452
Toplam	837	654	684	2175

SABAH					
	Kavşak Kolu	Sol	Düz	Sağ	
0-5 dk	Hastane	26		5	
	Zahire		38		
	Başaranlar		46	63	
	Toplam	26	84	68	178
5-10 dk	Hastane	26		1	
	Zahire		26		
	Başaranlar		46	82	
	Toplam	26	72	83	181
10-15 dk	Hastane	31		1	
	Zahire		23		
	Başaranlar		62	65	
	Toplam	31	85	66	182
15-20 dk	Hastane	29		6	
	Zahire		29		
	Başaranlar		51	69	
	Toplam	29	80	75	184
				Toplam	725
Saatlik	Zirve Saat Fak.				
2175	0.99				

Akkonak Kavşağı (Kon010)



Sabah				
	A	B	C	Toplam
Yenişehir	0	741	261	1002
Başaranlar	150	0	81	231
Gezek	237	225	0	462
Toplam	387	966	342	1695

Akşam				
	A	B	C	Toplam
Yenişehir	0	159	315	474
Başaranlar	384	0	318	702
Gezek	357	135	0	492
Toplam	741	294	633	1668

SABAH					AKŞAM				
	Kavşak Kolu	Sol	Düz	Sağ		Sol	Düz	Sağ	
0-5 dk	Yenişehir	65		21	151	Yenişehir	13		22
	Başaranlar		3	13		Başaranlar		23	28
	Gezek Yatağı	28	21			Gezek Yatağı	41	9	
	Toplam	93	24	34		Toplam	54	32	50
5-10 dk	Yenişehir	61		25	144	Yenişehir	14		25
	Başaranlar		12	8		Başaranlar		24	28
	Gezek Yatağı	18	20			Gezek Yatağı	26	20	
	Toplam	79	32	33		Toplam	40	44	53
10-15 dk	Yenişehir	65		23	141	Yenişehir	16		21
	Başaranlar		5	13		Başaranlar		31	35
	Gezek Yatağı	19	16			Gezek Yatağı	19	7	
	Toplam	84	21	36		Toplam	35	38	56
15-20 dk	Yenişehir	56		18	129	Yenişehir	10		37
	Başaranlar		7	16		Başaranlar		28	37
	Gezek Yatağı	14	18			Gezek Yatağı	33	9	
	Toplam	70	25	34		Toplam	43	37	74
			Toplam	565			Toplam	556	
Saatlik	Zirve Saat Fak.				Saatlik	Zirve Saat Fak.			
1695	0.94				1668	0.90			

Sayımlar sonucu elde edilen, ulaştırma ağı içindeki (iç bağlantılar) link trafik yükleri Tablo 3.3'te, dış kordonu oluşturan linklerin trafik hacim yükleri ise Tablo 3.4'de verilmiştir. Tablolardaki Sabah veya Akşam için ölçülen trafik hacmi değerlerinden ilki kavşağa giren hacimleri, ikincisi ise çıkan hacimleri göstermektedir. Tablolardaki boş bırakılan hücrelere ait linkler tek yöndür.

Tablo 4.19. Sayımlar sonucunda elde edilen linklerdeki trafik yükleri (taşıt/sa)

Link No	Sabah	Akşam
L01	981	1774
L02	1486	2286
L03	1440	2116
L04	427	774
L06	622	844
L08	687	675
L09	762	
L10	942	
L11	970	393
L12	526	566
L13	585	
L14	669	1247
L16		
L18	337	1667
L20	440	432
L21	430	506
L23		1069
L24	369	642
L26	438	453
L27	383	709
L271	684	
L32(L31 dahil)	563	833
L33	478	489
L34	375	
L36	721	865
L37	1061	1130
L371		387
L372		313
L38		
L39	536	410
L41	255	408
L44	217	301
L45	493	401
L451	164	196
L46	678	591
L47	459	
L471	96	
L48	291	294
L49	123	117
L50	159	198
L51	359	558
L52	428	540
L53	398	464
L54	446	645
L55	606	819

Tablo 4.20. Sayımlar sonucunda elde edilen linklerdeki trafik yükleri (taşıt/sa)

Link No	Sabah		Akşam	
D01	812	1035	1219	1552
D02	402	509	603	763
D04	1959	1837	2939	2156
D07	600	138	297	396
D08	516	216	243	351
D09	723			
D10	714	426	606	837
D11	465	1017	1041	570
D12	123	228	255	177
D13	198	393	333	264
D14	75	162	252	99
D15	387	1002	741	474
D16	333	603		
D18	208	242	312	362
D19	249	741		

4.6.3. Kesit Sayımları

Kesit sayımları el sensörleri ile gerçekleştirilmiştir. Cihazın üstünde, üzerinden geçen araçlar tarafından zarar görmemesi için koruyucu bir parça (başlık) bulunmaktadır. Bu parçanın cihazı yerleştirdikten sonra zemine yani asfalta tutturulması gerekmektedir. Başlıkla beraber cihazın asfalta tutturulması için değişik metotlar bulunmaktadır. Fakat bu metotların uygulamada kolaylık sağlaması amacıyla montajının pratik olması gerekir. Metotlar arasında sıcak zift ile tutturma, çivi ile tutturma ve yapıştırıcı maddelerle tutturulma sayılabilir.

Geliştirilen yöntemde gerekli olan malzemeler: Koruyucu başlık ebadında kestirilen 1 adet kontrplak, koruyucu başlık ve kontrplak arasındaki bağlantıyı sağlayabilmek için çift taraflı yapıştırıcı bant ve kontrplağı asfalta tutturabilmek için çividir. Bu yöntemin kolaylığı asfalta tutturulan kontrplağın kolayca çıkarılmasıdır. Çok sayıda ölçüm yapılacağı ve bu sırada malzeme kullanımını en aza indirmek için kontrplağın ortasında cihaz büyüklüğünde bir boşluk bırakılmıştır. Böylece montaj işlemi ve sökme işlemi sırasında minimum bant ve kontrplağın kullanılması sağlanmıştır.

Şekil 4.36’da sensörlerin montajı öncesinde trafiğin içinde güvenlik hunileri ile gerçekleştirilen güvenlik çalışmaları görülmektedir. Genellikle zirve saatlerde veri toplama gereksinimi akan trafik içinde cihazların montajını oldukça tehlikeli kılmaktadır. Sensörlerin zirve saatlerden önce takılması ise çalınma gibi diğer bir güvenlik sorununu doğurmaktadır. Bu yöntemle zirve saatte dahi olsa trafiği çok kısa süreli keserek sensörlerin montajı gerçekleştirilmekte ve 90-120 dk aralığında başında beklenerek veri toplanması sağlanmaktadır.



Şekil 4.36 Sensörlerin montajı öncesinde güvenlik önlemlerinin alınması

Gerekli güvenlik önlemleri alındıktan sonra önceden kestirilen ve üzerine çift taraflı bant yapıştırılan kontrplak şeridi ortalayacak şekilde asfalta çakılmaktadır. Şekil 4.37’ de bu işlem görülmektedir. Şekil 4.38’de bir kesitte yerleştirilmiş 4 adet sensör görülmektedir.



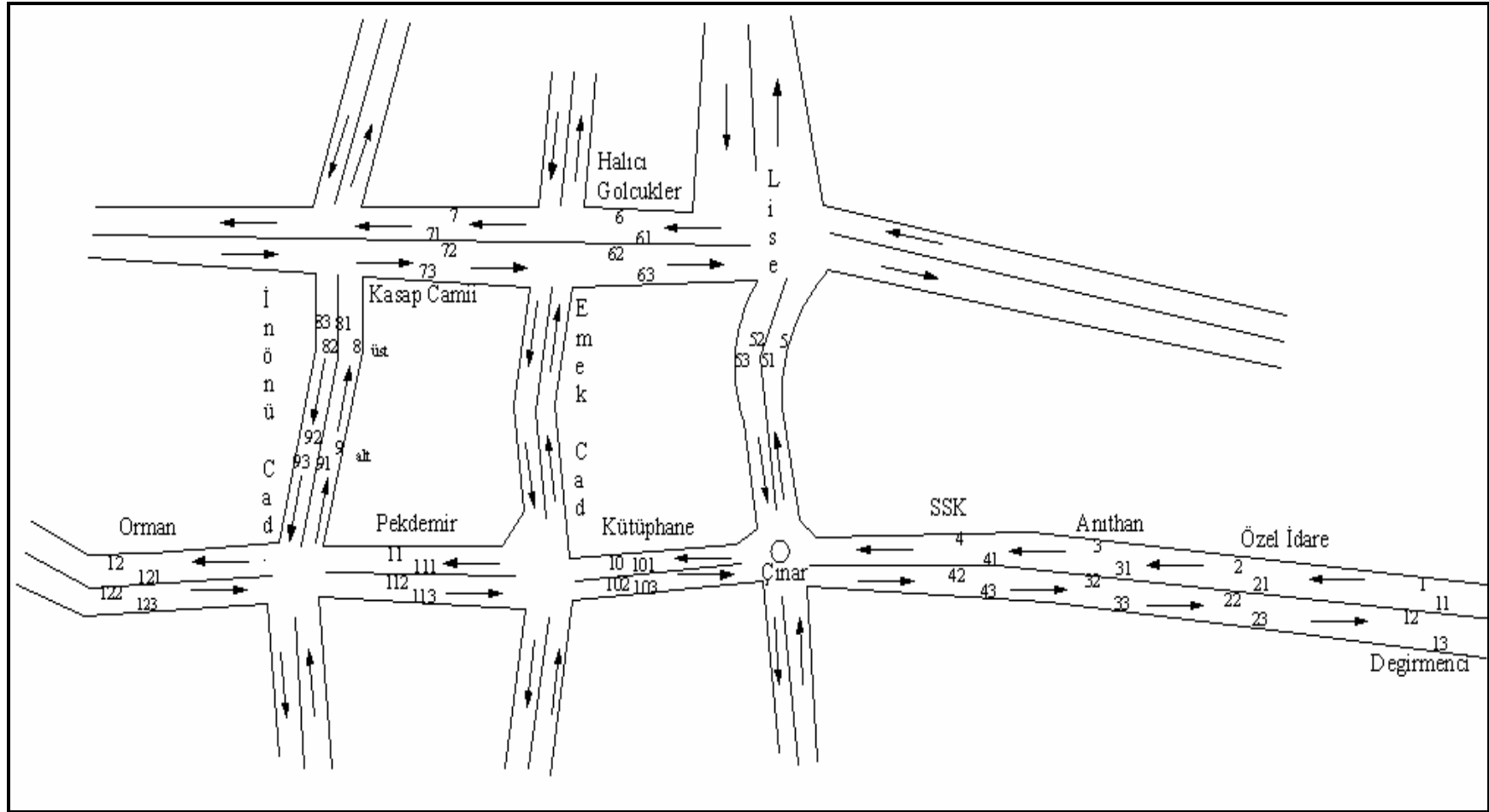
Şekil 4.37. Kontrplağın asfalt kaplama üzerine çakılması



Şekil 4.38. 2x2 bölünmüş bir yolda sensörlerin yeni yöntemle monte edilmiş görünümü

Genel olarak bakıldığında sensörlerin yerleşimi için geliştirilen yöntem hızlı, güvenli, trafiğin akışını kesmeyen, enerji gerektirmeyen, yola zarar vermeyen ve pratik bir yol olması nedeni ile oldukça kolaylık sağlamıştır. Bu kapsamda geliştirilen yeni yöntem yardımı ile çalışma alanında ve çalışma alanı dışında test amaçlı toplam 12 adet linkte denemeler yapılmıştır. Belirlenen linklerin 5 adedi proje kapsamındaki çalışma ağı içindedir. Tablo 4.21 ve 4.22’de L kodu ile bu linkler gösterilmiştir. Çalışmalarda şerit kapasiteleri, zirve saat faktörleri ve ortalama hızın belirlenmesi amaçlanmıştır. Test alanının kullanılmasındaki amaç yeni yöntemi denemektir. Test alanı seçilirken trafik yükü açısından çalışma ağıımıza benzer özellikteki bağlar seçilmiştir.

Şekil 4.39’da test alanı ve seçim yapılan noktalar verilmiştir. Ölçümler sabah ve akşam zirve saatlerde 90 dakika olarak yapılmıştır. Sabah ölçümleri saat 07:30-09:00, akşam ölçümleri ise 18:00-19:30 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Kesit sayımları sonucunda 2 dakikalık en düşük ortalama hız 20 km/sa, en yüksek ortalama hız ise 45 km/sa olarak belirlenmiştir. Zirve saat faktörüne bakıldığında özellikle sağ şeritlerde oldukça düşük değerler bulunmuştur. Şerit başına hacimler incelendiğinde saatlik trafik değerleri en az 20 en fazla 1063 olarak ölçülmüştür. Yine sayımlar sonucunda trafik içindeki araçların ortalama %95’ini küçük araçlar oluşturmaktadır. Ortalama hız 35 km/sa olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.39. Ölçüm yapılan linklerin krokisi

Tablo 4.21.El cihazları ile yapılan akşam sayım sonuçları

Link No			Hız (km/sa)	Hacim (ta/sa)	Zirve Saat F.
1 (akşam) L18	Çınar sağ	(1)	22.75	39	0.11
	Çınar sol	(11)	29.50	71	0.34
	Garaj sol	(12)	37.23	346	0.44
	Garaj sağ	(13)	24.72	76	0.14
2 (akşam) L32	Kampüs sağ	(2)			
	Kampüs sol	(21)	37.65	270	0.50
	Garaj sol	(22)	36.02	149	0.33
	Garaj sağ	(23)			
3 (akşam) L37	Kampüs sağ	(3)	26.70	95	0.21
	Kampüs sol	(31)	31.70	800	0.68
	Bayramyeri sol	(32)	34.60	533	0.71
	Bayramyeri sağ	(33)	33.70	37	0.31
4 (akşam) L38	Kampüs sağ	(4)	25.45	199	0.37
	Kampüs sol	(41)	25.90	686	0.76
	Bayramyeri sol	(42)	32.00	636	0.66
	Bayramyeri sağ	(43)			
5 (akşam) L41	Lise sağ	(5)	34.20	154	0.27
	Lise sol	(51)	27.60	805	0.75
	Çınar sol	(52)	31.90	490	0.58
	Çınar sağ	(53)	24.07	98	0.41
6 (akşam)	Eğitim sağ	(6)	25.35	20	0.17
	Eğitim sol	(61)	23.00	590	0.53
	Lise sol	(62)	27.70	609	0.70
	Lise sağ	(63)	30.70	10	0.17
7 (akşam)	Kampüs sağ	(7)			
	Kampüs sol	(71)	30.84	553	0.62
	Lise sol	(72)	31.00	383	0.61
	Lise sağ	(73)	27.85	60	0.13
8 (akşam)	Kıbrıs sağ	(8)			
	Kıbrıs sol	(81)	31.34	284	0.56
	İstiklal sol	(82)	29.40	183	0.47
	İstiklal sağ	(83)	28.00	101	0.37
9 (akşam)	Kıbrıs sağ	(9)	45.50	60	0.33
	Kıbrıs sol	(91)	35.00	271	0.53
	İstiklal sol	(92)	31.40	214	0.55
	İstiklal sağ	(93)	42.86	33	0.22
10 (akşam)	Kampüs sağ	(10)	23.00	41	0.27
	Kampüs sol	(101)	33.60	650	0.72
	Çınar sol	(102)	41.40	351	0.56
	Çınar sağ	(103)			
11 (akşam)	YSE sol	(11)	32.80	628	0.72
	YSE sağ	(111)	29.40	51	0.11
	Çınar sol	(112)	39.40	327	0.68
	Çınar sağ	(113)	33.05	70	0.47
12 (akşam)	YSE sol	(12)	32.6	815	0.74
	YSE sağ	(121)			
	Çınar sol	(122)	42.85	384	0.64
	Çınar sağ	(123)	33.76	142	0.34

Tablo 4.22. El cihazları ile yapılan sabah sayım sonuçları

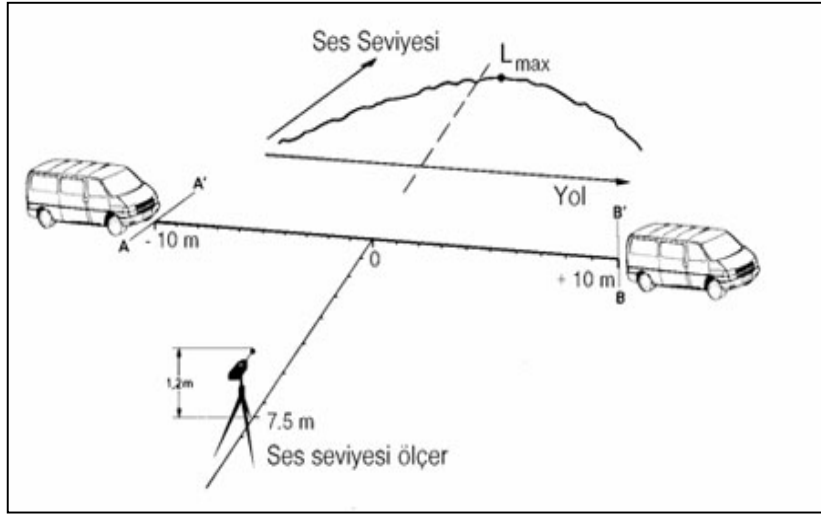
Link No			Hız (km/sa)	Hacim (ta/sa)	Zirve Saat F.
1 (Sabah) L18	Çınar sağ	(1)	28.86	88	0,07
	Çınar sol	(11)	47.70	66	0,10
	Garaj sol	(12)	29.16	621	0.71
	Garaj sağ	(13)	26.62	130	0.24
2 (Sabah) L32	Kampüs sağ	(2)	45.51	237	0.42
	Kampüs sol	(21)	43.20	110	0.37
	Garaj sol	(22)	38.03	92	0.27
	Garaj sağ	(23)			
3 (Sabah) L37	Kampüs sağ	(3)			
	Kampüs sol	(31)	44.56	204	0.56
	Bayramyeri sol	(32)	31.40	780	0.57
	Bayramyeri sağ	(33)	27.90	244	0.31
4 (Sabah) L38	Kampüs sağ	(4)	32.67	98	0.36
	Kampüs sol	(41)	38.87	377	0.57
	Bayramyeri sol	(42)	33.70	1061	0.67
	Bayramyeri sağ	(43)	31.20	73	0.27
5 (Sabah) L41	Lise sağ	(5)	43.14	205	0.46
	Lise sol	(51)	41.60	207	0.53
	Çınar sol	(52)	36.00	672	0.59
	Çınar sağ	(53)	34.20	61	0.34
6 (Sabah)	Eğitim sağ	(6)	42.80	51	0.11
	Eğitim sol	(61)	27.40	390	0.32
	Lise sol	(62)	31.56	536	0.51
	Lise sağ	(63)	19.40	42	0.23
8 (Sabah)	Kıbrıs sağ	(8)			
	Kıbrıs sol	(81)	39.30	225	0.39
	İstiklal sol	(82)	36.10	139	0.42
	İstiklal sağ	(83)	37.50	239	0.44
10 (Sabah)	Kampüs sağ	(10)			
	Kampüs sol	(101)	39.00	142	0.34
	Çınar sol	(102)	37.60	620	0.47
	Çınar sağ	(103)	33.84	72	0.17
11 (Sabah)	YSE sol	(11)	38.87	379	0.5
	YSE sağ	(111)	32.28	54	0.15
	Çınar sol	(112)	36.60	540	0.6
	Çınar sağ	(113)	39.33	115	0.38
12 (Sabah)	YSE sol	(12)	37.00	455	0.42
	YSE sağ	(121)			
	Çınar sol	(122)	34.88	533	0.41
	Çınar sağ	(123)	32.37	76	0.32

4.6.4. Gürültü Ölçümleri

Taşıtların sebep oldukları gürültüler dış ve iç gürültü olarak ikiye ayrılabilir. Taşıtların çevreye verdikleri rahatsızlığın ana sebebi dış gürültüdür. Bu sebeple her ülke dış gürültü seviyelerine sınırlama getirmiştir. İç gürültü ise taşıt içindekilerin konfor ve rahatlığını etkiler. Taşıtların trafik içindeki hareketleri sırasında insanları en çok rahatsız eden taşıt dış gürültüsünü sınırlamak amacıyla, ilk defa trafiğe çıkacak olan taşıt tiplerinin kabul testlerinde, hareket halindeki dış gürültüleri ölçülür ve yönetmelik sınırlarının altına alınma şartı aranır. Bu sınır değerler zaman içinde teknik gelişmelerin ışığı altında daha aşağı değerlere çekilerek üreticileri teknolojilerini geliştirme ve çeşitli tedbirler almaya zorlamıştır. Avrupa topluluğu ülkeleri kendilerini yeni düşük değerlere hazırlarken ülkemizde halen Avrupa'da uygulanan gürültü seviyelerinden daha yüksek değerlere izin verilmektedir.

Ülkemizde taşıt gürültü değerleri ve ölçümleri ile ilgili standartlar ilgili kurum tarafından verilmiştir. **TS 2214 / Aralık 1991** 'a göre hareket halindeki karayolu taşıtlarının çıkardığı gürültünün ölçülmesi ve **TS 9235 / Nisan 1991** 'a göre sabit durumda çalışan karayolu taşıtlarının çıkardığı gürültünün ölçülmesi (egzoz ve motor yakınında gürültü ölçümleri) konularını içeren standartlardır. Bu standartlar ISO 362-1981 ve ECE R-51 (ECE R: Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu kuralı) ile tamamen aynıdır. Müsaade edilen azami gürültü seviyeleri ise ECE-R 51, 92/97/EEC (ilk hali 70/20/EEC), 96/20/EC sayılı ek talimatı ve 92/23/EEC ve Türkiye için Sanayi Genel Müdürlüğü Tebliğ No: 92/109-110 ile belirlenmiştir. Şekil 4.40'ta standartlara uygun bir ölçümün nasıl yapılacağı gösterilmiştir.

Çalışma döneminde kesit sayımı yapılan her bölgede eşzamanlı olarak gürültü ölçümleri TS 2214 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.41 ve 4.42' da gürültü ölçümleri sırasında çekilmiş fotoğraflar görülmektedir. Ölçümler sırasında olabildiğince Şekil 4.40'ta verilen mesafelere dikkat edilmiştir. Ancak bazı kesitlerde yol ekseninden 7.5 m olması gereken ölçüm mesafesi 6 m.'ye kadar düşmüştür. Şekil 4.41' de görüldüğü gibi cihaz bilgisayara bağlanarak kaldırım yüksekliği de dikkate alınmış ve 90 cm de ölçümler yapılmıştır.



Şekil 4.40. Motorlu kara taşıtlarından hareket halinde kaynaklanan gürültü ölçümü



Şekil 4.41. Ölçüm sırasında cihazın durumu

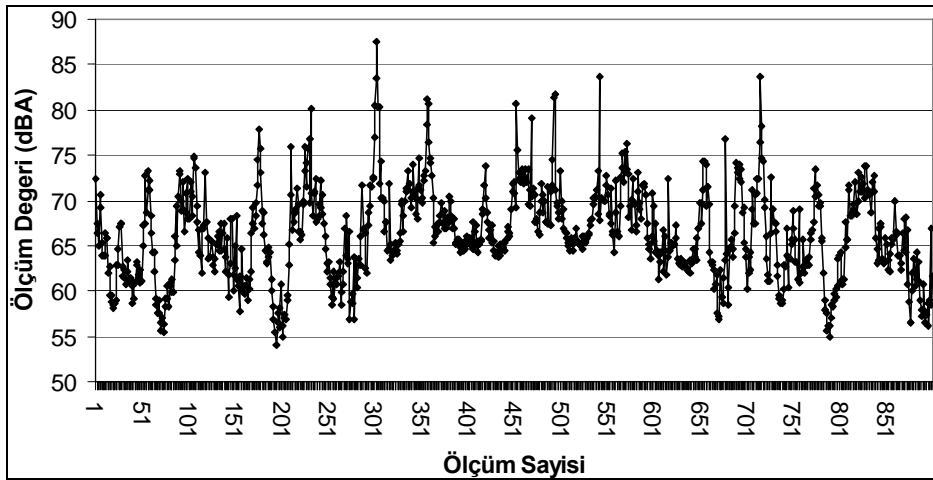
Şekil 4.42’de ise ölçüm sırasında bilgisayara yapılan kayıt işlemi ve ölçüm cihazlarına ait yazılım görülmektedir. Ölçüm aletleri 15 dakika kesintisiz ve saniye bazında ölçüm yapabilmekte ve

hafızasına kaydedebilmektedir. Sayıma 15 dakikadan fazla devam edebilmek için taşınabilir bilgisayar kullanılması gerekmektedir. 15 dakikanın üstüne çıkılması durumunda arada 1-2 dakikalık bir kayıp olmaktadır. Yapılan ölçümler sırasında bir kesit için 15 dakikalık tek bir sayımın yeterli olacağı görülmüştür. Bu şekilde pik saat içinde farklı kesitlerde 3 adet sayım yapabileceği olanağı doğmaktadır. Bu da eldeki cihazların etkin kullanımını sağlamıştır.



Şekil 4.42. Cihazın ölçüm sırasında verilerin bilgisayara aktarılması ve programın kullanımı

Tablo 4.23'te örnek gürültü ölçüm değerleri sayısal olarak verilmiştir. Bu değerler 120 saniyelik ölçümlerin ortalaması olarak hesaplanmıştır. Bunun nedeni bir önceki bölümde verilen kesit sayımlarının ikişer dakikalık olması ve eşleşmenin sağlanabilmesi içindir. Şekil 4.43'de ölçümler saniye bazında grafik olarak verilmiştir.



Şekil 4.43. 3 no'lu kesitte sabah gürültü ölçüm sonuçları

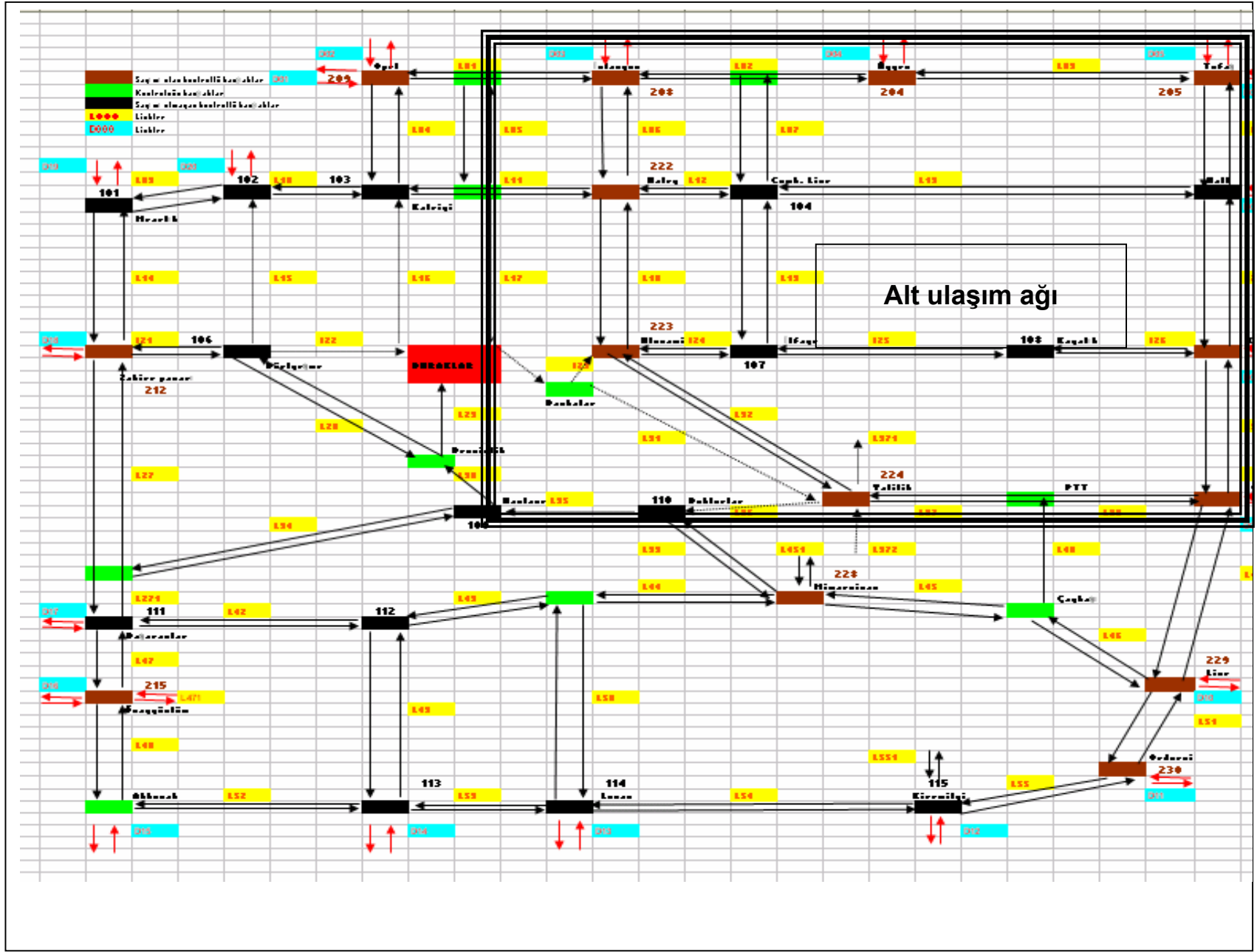
Tablo 4.23. Kesitlerde yapılan gürültü ölçüm değerleri

	Zaman (dk)	Kesit No										
		1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12
Sabah	2	70.34	66.02	66.30	67.10	71.48	73.33	66.61	66.61	67.12	65.81	69.88
	4	70.17	66.22	64.41	67.23	73.06	73.44	67.43	65.58	68.13	64.36	70.11
	6	70.73	64.78	64.46	69.46	69.79	71.71	67.14	70.41	67.82	65.60	71.03
	8	70.02	63.53	63.77	69.40	70.90	71.60	69.54	67.49	66.02	64.33	71.24
	10	70.90	64.48	63.55	67.67	72.15	73.20	67.54	67.40	65.61	64.97	69.98
	12	72.08	65.98	63.42	66.44	68.93	72.44	68.91	65.91	68.25	63.94	69.01
	14	69.78	67.03	64.42	68.27	70.30	73.08	68.00	63.73	67.52	66.33	70.02
	16						74.94					
Akşam	2	68.41	63.15	64.63	68.19	71.83	64.70	69.71	66.93	67.20	68.98	70.27
	4	68.24	65.17	65.11	69.50	71.12	67.27	68.94	66.19	69.26	69.59	69.63
	6	66.38	63.58	67.62	65.18	70.65	67.39	71.10	65.64	70.61	71.92	68.54
	8	67.27	64.84	67.98	67.71	68.96	67.92	68.64	65.52	67.96	70.44	70.11
	10	64.22	66.39	69.02	65.20	69.85	65.88	70.13	66.40	67.33	70.12	71.87
	12	66.04	64.49	66.08	67.95	69.35	66.23	71.33	66.93	68.05	70.33	70.21
	14	66.84	62.35	65.32	68.88	68.71	66.22	70.50	64.38	66.25		70.93
	16	67.99	67.60	64.48								
	18	67.81		66.27								
	20	69.90		59.94								

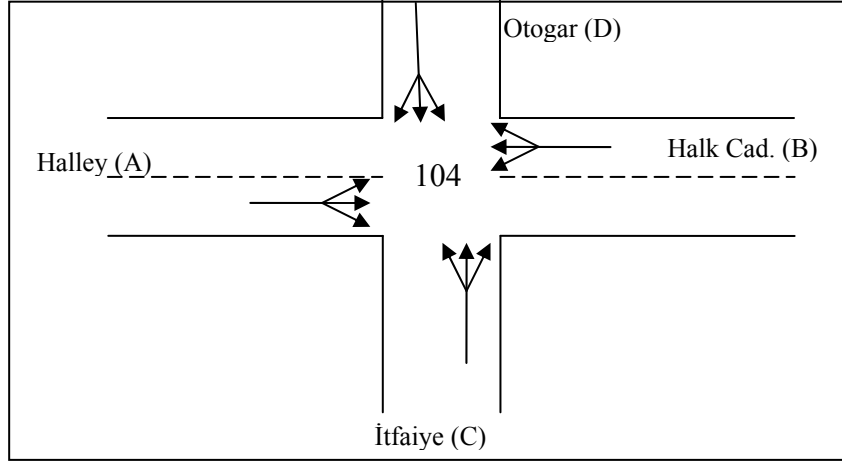
Tablo 4.23'ten de görülebileceği gibi ölçüm yapılan kesitlerde ortalama gürültü düzeyi 70 dBA olarak ölçülmüştür. En düşük değer olarak 60, en yüksek değer olarak 75 dBA ölçülmüştür. Modelleme çalışmalarında gürültü değerlerinin kesitten geçen taşıt sayısı ve ortalama hız değerleri ile olan ilişkisi ortaya konacaktır.

4.6.5. Alt-Ağda Kavşak Sayımları

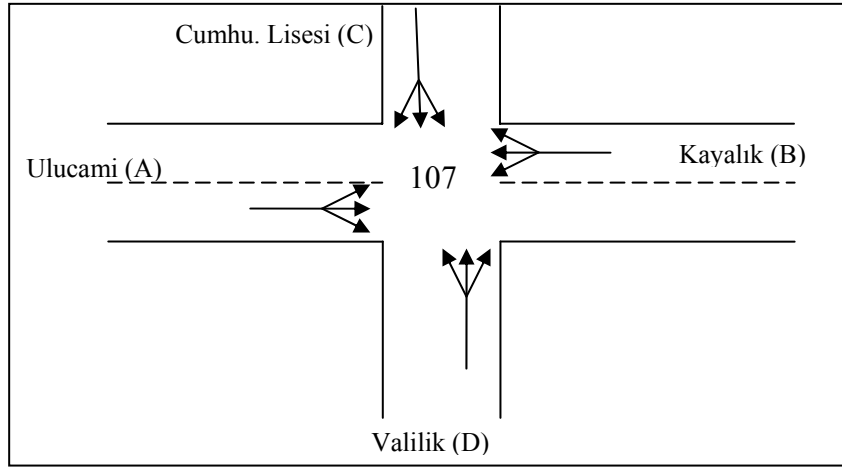
Şekil 4.44'te verilen ulaşım aındaki K104, K105, ve K205 no'lu kavşaklarda dijital video kamera ile sayım yapılmıştır. Şekil 4.45'te K104, K105, ve K205 no'lu kavşakların şekli verilmiştir.



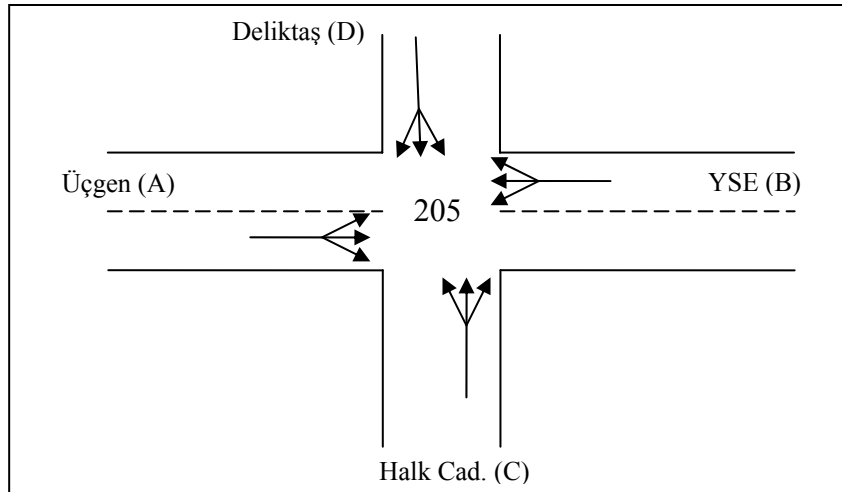
Şekil 4.44. Ayrıştırılmış ulaşım ağı



Şekil 4.45a. K104 no'lu kavşak



Şekil 4.45b. K107 no'lu kavşak



Şekil 4.45c. K205 no'lu kavşak

Trafik hacim sayımları 20 dk. aralıkla yapılmış ve sonra saatlik trafik hacmi hesaplanmıştır. Tablo 4.24'te sayım değerleri verilmiştir.

Tablo 4.24. Alt çalışma bölgesi kavşak sayım değerleri (20 dk)

İtfaiye Kavşağı-Sabah (K107)				
	Sol	Düz	Sağ	
Kayalık	2	82	9	93
Cumhuriyet	7	9	57	73
Valilik	11	71	5	87
Ulucami	33	72	5	110
	53	234	76	363
Tofas Kavşağı-Sabah (K205)				
	Sol	Düz	Sağ	
Halk Cad.	245	122	25	392
YSE	112	20	6	138
Deliktaş	15	147	11	173
Üçgen	47	28	89	164
	419	317	131	867
Cumhuriyet Kavşağı-sabah (K104)				
	sol	düz	sağ	
Otogar	4	50	57	111
Halley	89	94	8	191
Halk Cad.	37	170	25	232
İtfaiye	16	71	10	97
	146	385	100	631

Tablo 4.25'te sayım yapılan kavşaklardaki saatlik hacim değerleri matris formatında verilmiştir.

Tablo 4.25. Ölçüm yapılan kavşaklardaki sayım değerlerinin matris gösterimi

Cumhuriyet Kavşağı-sabah (K104)					
	A	B	C	D	TOPLAM
A	0	282	24	267	573
B	510	0	111	75	696
C	48	30	0	213	291
D	171	12	150	0	333
TOPLAM	729	324	285	555	
İtfaiye Kavşağı-Sabah (K107)					
	A	B	C	D	TOPLAM
A	0	216	99	15	330
B	246	0	27	6	279
C	171	21	0	27	219
D	33	15	213	0	261
TOPLAM	450	252	339	48	
Tofas Kavşağı-Sabah (K205)					
	A	B	C	D	TOPLAM
A	0	84	267	141	492
B	60	0	336	18	414
C	735	75	0	366	1176
D	33	45	441	0	519
TOPLAM	828	204	1044	525	

4.6.6. Başlangıç-Variş (B-V) Ölçümleri

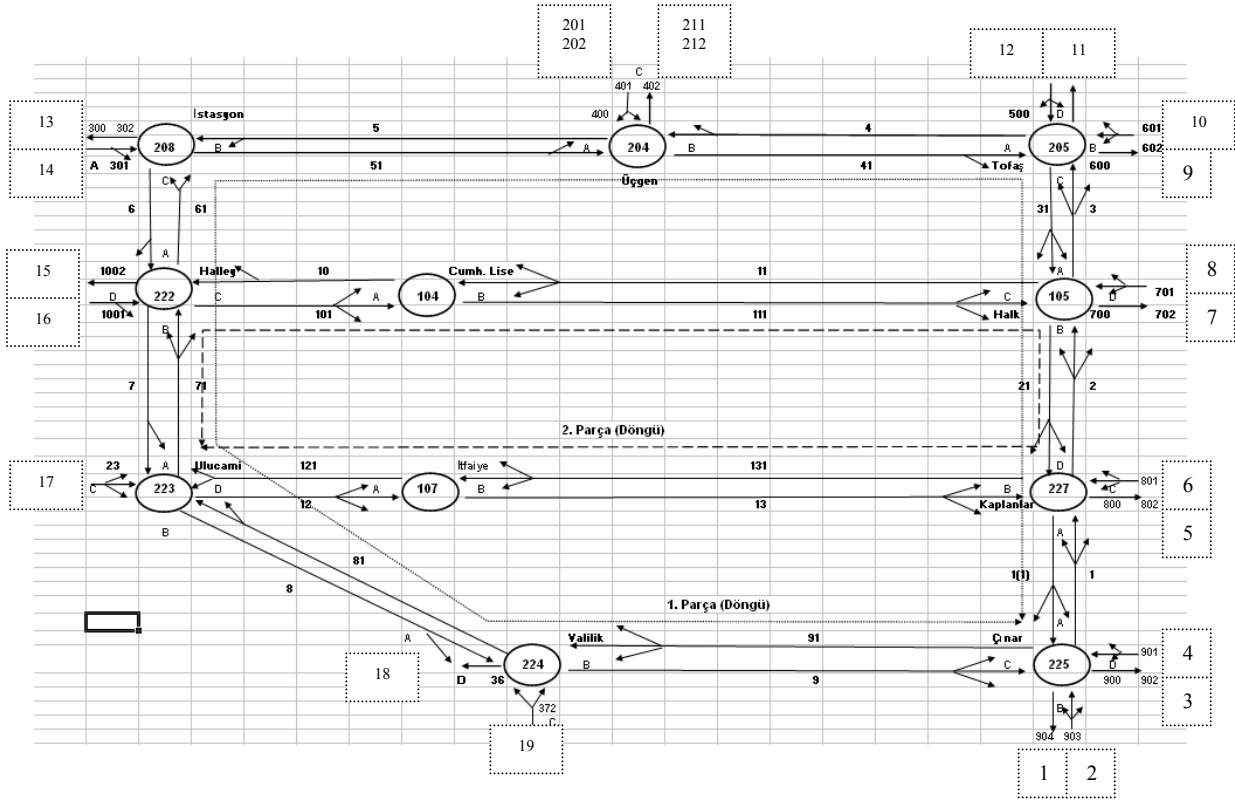
Örnek ulaşım ağına giren ve çıkan talepleri belirleyebilmek için 12 giriş ve 11 çıkış noktası olmak üzere toplam 23 noktada B-V sayımı yapılmıştır. Bu sayımların yapılmasının amacı ulaşım ağındaki trafik yüklerinin zamana bağlı olarak bulunması, yeni teknolojik cihazların test edilmesi ve geleceğe yönelik planlamaların yapılabilmesidir. Yapılan bu sayımlar yardımı ile ağ yönetim ve kontrol stratejileri geliştirilebilmektedir. Bu sebeple B-V ölçümleri için çok geniş bir ekip ve teknolojik donanım kullanılmıştır. Öncelikle proje kapsamında alınan kameralar ve mevcutlar kullanılmış bunun dışında kalan sayım noktaları için toplam 23 adet görüntü ve ses kayıt cihazı temin edilmiştir. Şekil 4.46'da sayım yapılan kolların alt çalışma ağındaki yerleşimi görülmektedir. 9 kavşakta toplam 21 kolda sayımlar gerçekleştirilmiştir. 20 ve 21 nolu noktalar trafik yoğunluğu nedeni ile ikişer kişi tarafından çalışılmıştır. Sayımların ilk aşaması, sabah zirve saat olan 07:45-08:30 ve akşam zirve saati olan 17:45-18:300 saatlerinde gerçekleştirilen arazi görüntü ve ses kayıtlarından oluşmaktadır. Arazi çalışmalarının ardından tüm veriler Excel formatına dönüştürülmüş ve gerekli ofis çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sayım yapılan 21 kol, ağa giriş ve çıkış yapan kollar Tablo 4.26'da verilmiştir.

Tablo 4.26. Ölçüm yapılan kolların ağ bağlantı durumları

Giriş Kollar	Çıkış Kolları
2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 17, 19, 201, 202	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 18, 211, 212

Ölçümler sırasında başlama saatinden 30 dakika önce tüm ekipler trafiği olumsuz etkilemeyecek şekilde yerleştirilmiş ve eksik eleman olup olmadığı kontrol edilerek sayımların güvenliği üst seviyede sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca sayım süresince mobil bir ekip ölçüm yapılan ağı dolaşarak sayım süreci izlenmiş ve sorun çıkmaması sağlanmıştır.

Tablo 4.27'de sayımlar sonucunda elde edilmiş ölçüm değerlerinden örnek verilmiştir. Tabloda ilk sütunda sayılan araçların hangi zaman aralığında olduğu belirtilmektedir. Çalışma dakika hassasiyetinde gerçekleştirildiği için sayılan araç hangi zaman diliminde ise o görülmektedir. 2. sütunda plaka il kodu, 3. sütunda plaka harf kodu ve son sütunda plaka numarası verilmiştir. Giriş çıkış kolları arasında yapılacak eşleşme algoritmasının güvenli bir şekilde çalışması için her veri ayrı sütunda gösterilmiştir. Örneğin, Tabloda gösterilen ilk 2 dakikalık dilimde toplam 19 araç geçmiştir. Tüm kollarda benzer şekilde sabah ve akşam sayımları ağa giriş ve çıkış yapılan kollar olacak şekilde iki ayrı formda hazırlanmıştır.



Şekil 4.46. Başlangıç-Variş ölçümleri yapılan kollar

Tablo 4.27. 2 nolu kolda sabah sayımlarında elde edilen veri setinin 2 dakikalık bölümü

Süre (dk)	İl Kodu	Harf Kodu	Plaka No
1	20	YT	347
1	20	EK	527
1	20	D	7244
1	20	FN	196
1	20	TA	984
1	20	PD	30
1	20	S	935
1	20	D	3178
2	20	PU	969
2	20	PR	418
2	20	P	3278
2	20	D	4605
2	20	BT	576
2	20	B	8445
2	20	FD	212
2	20	VD	128
2	20	ZC	56
2	20	B	7515
2	20	PP	957

Tablo 4.28’de örnek olarak 8 nolu koldan girip diğer kollardan çıkış yapan araçların eşleşmiş hali ve seyahat süreleri görülmektedir. Benzer şekilde ağa giriş yapılan tüm kollar için plaka eşleştirmesi geliştirilen bir bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır.

Tablo 4.28. Eşleştirme tablosu (8 nolu koldan girip 1 nolu koldan çıkan araçlar)

Plaka Kodu	Plaka No	Giriş Zamanı (dk)	Çıkış Zamanı (dk)	Seyahat Süresi (dk)
ZE	921	2	7	5
S	275	4	10	6
AL	256	4	10	6
EN	869	6	12	6
ZY	743	9	14	5
S	1093	9	19	10
D	6866	9	17	8
YY	901	11	18	7

Ulaşım ağına giriş-çıkış yapan taşıt plakalarının eşleştirilmesi ve elde edilen verilerin B-V matrisi formatına dönüştürülmesi için Microsoft Office Excel programı tabanlı bir makro yazılımı programlanmıştır. Excel programının hücresel yapısından faydalanan program, ağa giriş yapan her bir plaka için hedef kavşaktan çıkış yapan tüm plakaları tarayarak eşleşen plakaları boş hücelere yazdırmaktadır. Belirlenen B-V çifti için tüm plakalar tarandıktan sonra seyahat süreleri hesaplanmakta ve trafik talebi ile ortalama seyahat süreleri ilgili matrislerde yerini almaktadır. Şekil 4.47’de bahsedilen programın arayüzü görülmektedir.

Şekil 4.47. Eşleştirme algoritma çalışma sayfası

Tablo 4.29a ve 4.29b’de sayımlar sonucunda elde edilen ve bilgisayar programı yardımıyla eşleştirmeleri yapılan sabah ve akşam saatleri için B-V matrisleri görülmektedir.

Tablo 4.29a. Sabah zirve saatleri için ulaşım ağında eşleşme çalışmaları sonunda elde edilen

B/V matrisleri

Sabah Sayımları										
B/V	225	227	105	205	208	222	224	204	223	Toplam
225	244	60	6	81	160	216	386	166	0	1320
227	213	25	9	50	44	317	31	122	0	812
105	13	19	16	56	16	122	3	81	0	326
205	69	44	31	257	69	166	41	53	0	730
208	72	3	9	41	395	122	28	188	0	859
222	3	3	9	3	3	9	3	16	0	50
223	273	6	0	107	22	630	41	135	0	1213
224	22	6	0	0	60	28	28	78	0	223
204	38	28	9	38	60	138	38	78	0	426
Toplam	947	194	91	633	828	1749	599	918	0	5959

Tablo 4.29b. Akşam zirve saatleri için ulaşım ağında eşleşme çalışmaları sonunda elde edilen

B/V matrisleri

Akşam Sayımları										
B/V	225	227	105	205	208	222	224	204	223	Toplam
225	510	77	21	88	35	155	232	21	0	1140
227	7	4	0	7	18	42	0	0	0	77
105	42	18	39	127	14	77	7	18	0	341
205	84	32	25	186	25	109	32	14	0	507
208	102	35	39	91	313	278	74	46	0	978
222	18	4	32	32	7	28	11	4	0	134
223	257	53	18	63	14	559	70	25	0	1059
224	28	14	0	7	11	39	28	4	0	130
204	183	70	70	120	253	271	84	46	0	1097
Toplam	1231	306	243	721	689	1558	538	176	0	5463

Tablo 4.30a ve 4.30b’de sabah ve akşam saatleri için sayımlar sonucunda elde edilen gerçek seyahat süreleri görülmektedir.

Tablo 4.30a. Sabah zirve saat için eşleşmeler sonucunda elde edilen seyahat süreleri matrisi (dakika)

SABAH									
B/V	225	227	105	205	208	222	224	204	223
225	1	2	3	5	7	6	3	9	0
227	1	0	1	3	8	5	4	6	0
105	2	1	0	2	7	6	6	6	0
205	5	4	2	1	4	6	7	2	0
208	3	8	6	3	1	1	3	2	0
222	3	7	2	3	1	1	2	6	0
223	2	3	4	8	2	1	1	8	0
224	2	3	4	6	6	4	0	7	0
204	5	4	3	2	2	3	4	1	0

Tablo 4.30b. Akşam zirve saat için eşleşmeler sonucunda elde edilen seyahat süreleri matrisi (dakika)

AKŞAM									
B/V	225	227	105	205	208	222	224	204	223
225	1	2	3	4	8	6	4	6	0
227	2	0	1	1	5	4	4	4	0
105	2	1	0	2	8	7	7	4	0
205	6	5	1	1	5	6	10	2	0
208	8	8	4	5	1	1	5	3	0
222	7	7	3	5	1	0	3	4	0
223	5	7	5	6	6	4	1	7	0
224	4	8	9	10	6	4	0	6	0
204	8	7	4	3	3	4	7	3	0

Yukarıda ölçümleri verilen B-V matrisleri ile seyahat matrisleri VIII. Bölümdeki BOTGA modelinde kullanılacaktır. Ayrıca modelde hız hacim ilişkileri de kullanılacağından gerekli olan veriler aşağıda açıklanmıştır.

4.6.7. Hacim ve Hız Ölçümleri

Link veya şerit hız-hacim ilişkilerinin belirlenebilmesi için her bir şeritte trafik ölçüm cihazları ile farklı zamanlarda hız ve hacim ölçümleri yapılmıştır. Üzerinde çalışılan şehiriçi ulaşım ağında, aşağıda verilen çalışma programına uyularak linkler üzerinde hız, hacim ve takip mesafesi ölçümleri yapılmıştır. Cihazların montajı sırasında trafiğin akışı en az düzeyde etkilenmiş ve güvenlik üst düzeyde tutulmuştur. Tablo 4.31’de sayımlara ait çalışma programı verilmiştir. Her sayım periyodunda 6 adet sayım cihazı kullanılmıştır.

Tablo 4.31. Hız-hacim ölçümleri için uygulanan çalışma programı

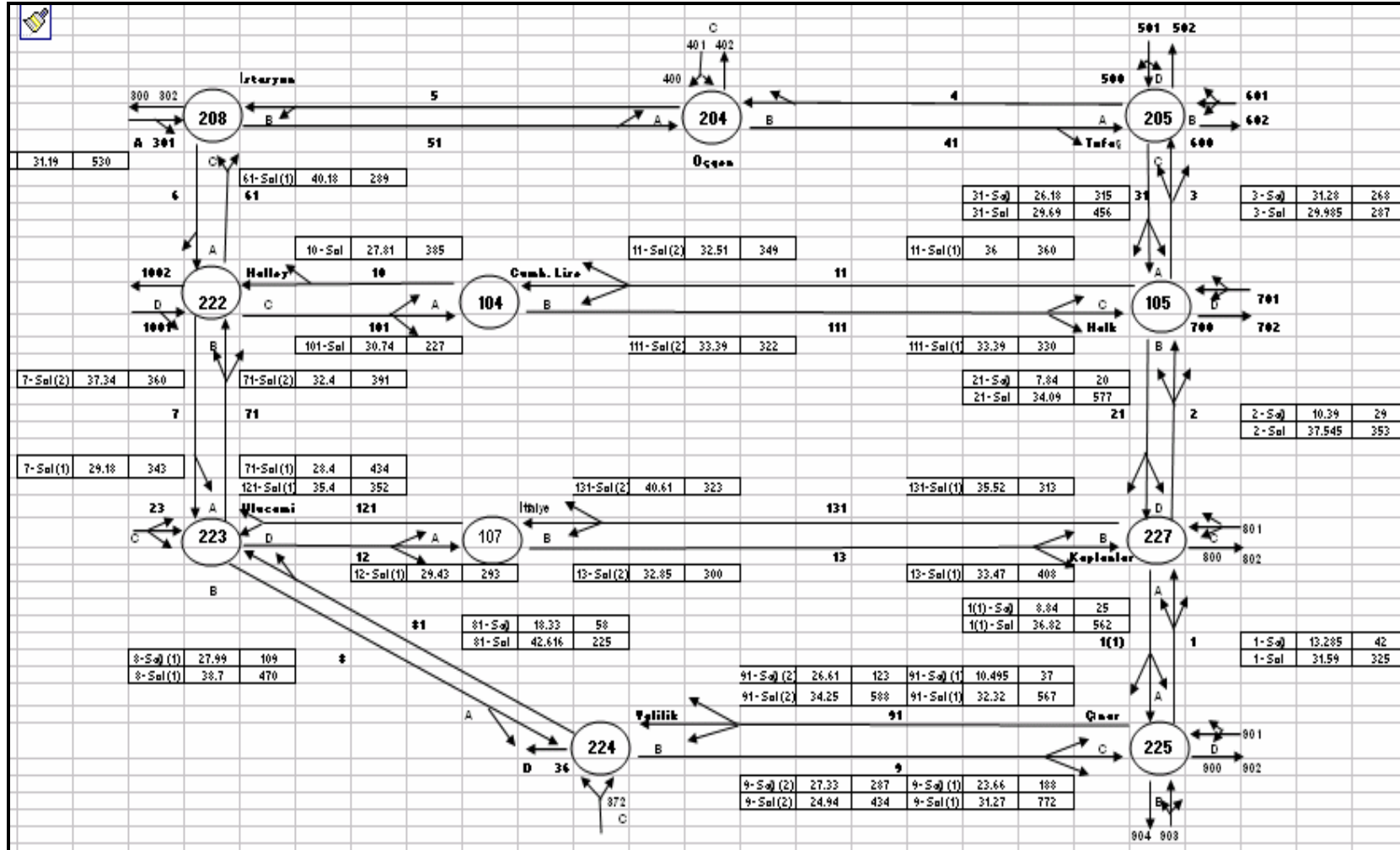
Ölçüm Bölgesi	Yapıldığı Gün	Yapıldığı Saat
Çınar - Emniyet	24/03/2008	07.30 - 09.00
Çınar - Emniyet	18/03/2008	17.00 - 18.30
Çınar - Valilik	20/03/2008	07.30 - 09.00
Çınar - Valilik	24/03/2008	17.00 - 18.30
Emniyet - Çınar	19/03/2008	07.30 - 09.00
Emniyet - Çınar	19/03/2008	17.00 - 18.30
Halk Cad. - Bayramyeri	06/05/2008	07.30 - 09.00
Halk Cad. - Bayramyeri	06/05/2008	17.00 - 18.30
Öğretmen Evi - Çınar	21/03/2008	07.30 - 09.00
Öğretmen Evi - Çınar	21/03/2008	17.00 - 18.30
Ulu Camii - İstasyon	25/03/2008	07.30 - 09.00
Ulu Camii - İstasyon	25/03/2008	17.00 - 18.30
Ulu Camii - Kaplanlar	26/03/2008	07.30 - 09.00
Ulu Camii - Kaplanlar	26/03/2008	17.00 - 18.30

Çalışmalar sırasında özellikle sağ şeritlerde yol içi parklardan dolayı ciddi anlamda kapasite ve hız azalmaları gözlenmiştir. Bu nedenle ulaşım ağı üzerinde 12 adet sağ şeritte sayım yapılmıştır. Diğerleri ortalama değer dikkate alınarak ve sağ şerit/sol şerit oranları kullanılarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.48 ve 4.49’da sabah ve akşam sayımları sonucunda ağ üzerindeki linklerde belirlenen saatlik ortalama hacim ve hız değerleri verilmiştir. 4, 41, 5 ve 51 linkleri trafik yoğunluğu ve güvenlik nedeni ile cihazlarla sayılmamıştır.

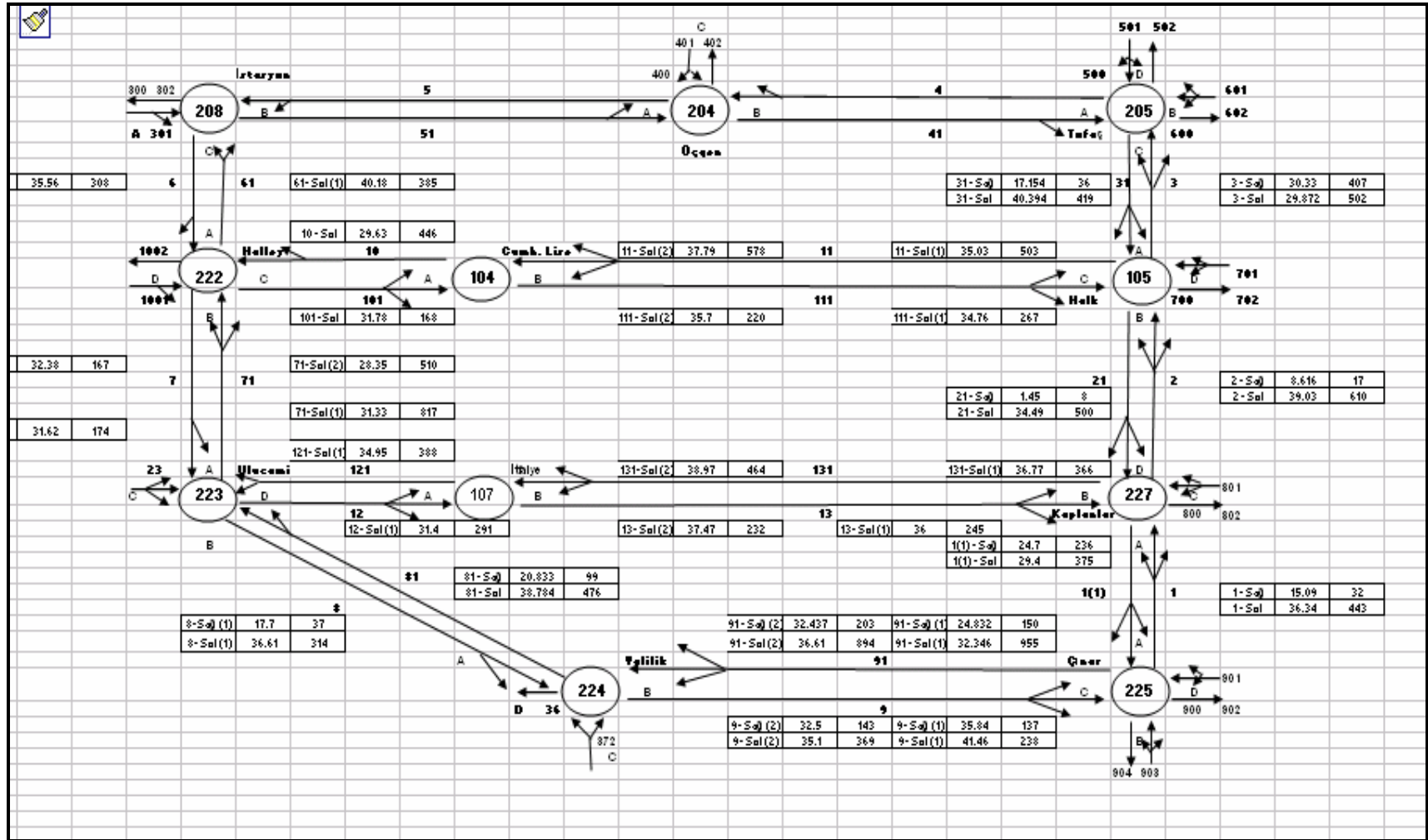
Tablo 4.32’de sabah ve akşam sayımlarında link şeritlerinde elde edilen saatlik hacim ve noktasal hız değerleri verilmektedir. Tablodan görülebileceği gibi sol şeritlerde oldukça yüksek trafik hacmi var iken sağ şeritlerde trafik hacmi oldukça düşüktür.

Tablo 4.32. Alt çalışma ağıında saatlik hız ve hacim değerleri

AKSAM				SABAH			
Link	Şerit	Hacim	Ortalama Hız	Link	Şerit	Hacim	Ortalama Hız
1	sol	325	31.59	1	sol	443	36.34
	sağ	42	13.28		sağ	32	15.09
1(1)	sol	562	36.82	1(1)	sol	375	29.40
	sağ	25	8.84		sağ	236	24.70
2	sol	353	37.55	2	sol	610	39.03
	sağ	29	10.39		sağ	17	8.62
21	sol	577	34.09	21	sol	500	34.49
	sağ	20	7.84		sağ	8	1.45
3	sol	287	29.96	3	sol	502	29.87
	sağ	268	31.28		sağ	407	30.33
31	sol	456	29.69	31	sol	419	40.39
	sağ	315	26.18		sağ	36	17.15
6	sol	530	31.19	6	sol	308	35.56
61	sol	289	40.18	61	sol	385	40.18
7	sol	360	37.34	7	sol	167	32.38
	sol	343	29.18		sol	174	31.62
71	sol	391	32.40	71	sol	510	28.35
	sol	434	28.40		sol	817	31.33
8	sol	470	38.70	8	sol	314	36.61
	sağ	109	27.99		sağ	37	17.70
81	sol	225	42.62	81	sol	476	38.78
	sağ	58	18.33		sağ	99	20.83
9	sol1	772	31.27	9	sol1	238	41.46
	sağ1	188	23.66		sağ1	137	35.84
	sol2	434	24.94		sol2	369	35.10
	sağ2	287	27.33		sağ2	143	32.50
91	sol1	567	32.22	91	sol1	955	32.35
	sağ1	37	10.50		sağ1	150	24.83
	sol2	588	34.25		sol2	894	36.61
	sağ2	123	26.61		sağ2	203	32.44
10	sol	385	27.81	10	sol	446	29.63
101	sol	227	30.74	101	sol	168	31.78
11	sol	360	36.00	11	sol	503	35.03
	sol	349	32.51		sol	578	37.79
111	sol	330	33.39	111	sol	267	34.76
	sol	322	33.39		sol	220	35.70
12	sol	293	29.43	12	sol	388	34.95
121	sol	352	35.40	121	sol	291	31.40
13	sol	408	33.47	13	sol	245	36.00
	sol	300	32.85		sol	232	37.47
131	sol	313	35.52	131	sol	366	36.77
	sol	323	40.61		sol	464	38.97



Şekil 4.48. Akşam sayımlarında alt ağdaki hız ve hacim dağılımları



Şekil 4.49. Sabah sayımlarında alt ağdaki hız ve hacim dağılımları

Tablo 4.33 ve 4.34'te şerit bazında ve link bazında ortalama değerler, sağ şeritteki hacim ve hız değerlerinin sol şeride oranları verilmiştir. Trafik hızı ve hacimleri arasında sabah ve akşam trafiği için çok büyük fark görülmemekte ve sağ şeritte sırasıyla trafik hacmi ve hızı 125 taşıt/sa ve ortalama 20 km/sa'tir. Sol şeritte ise trafik hacmi yaklaşık 400 taşıt/sa iken hız 25 km/sa'e ulaşmaktadır.

Tablo 4.33. Çalışma ağındaki şerit bazında ortalama hız ve hacim değerleri

	AKŞAM		SABAH	
	Hacim	Hız	Hacim	Hız
Sağ Şerit	125	19	125	22
Sol Şerit	398	33	421	35

Tablo 4.34. Şeritlerdeki ortalama kapasite ve hız oranları (sağ/sol)

	Hız	Hacim
Akşam	0.26	0.59
Sabah	0.25	0.64

Sayımlar sonucunda aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir;

- i) Akşam sayımlarında en düşük ortalama hız 7.84 km/sa ile 21 linki sağ şeridinde, sabah sayımlarında ise 1.45 km/sa ile 21 linki sağ şeridinde ölçülmüştür.
- ii) Akşam sayımlarında en yüksek ortalama hız 42.62 km/sa ile 81 linki sol şeridinde, sabah sayımlarında ise 41.46 km/sa ile 9 linki sol şeridinde ölçülmüştür.
- iii) Akşam sayımlarında en düşük saatlik hacim 20 taşıt/sa ile 21 linki sağ şeridinde, sabah sayımlarında ise 8 taşıt/sa ile 21 linki sağ şeridinde ölçülmüştür.
- iv) Akşam sayımlarında en yüksek saatlik hacim 772 taşıt/sa ile 9 linki sol şeridinde, sabah sayımlarında ise 955 taşıt/sa ile 91 linki sol şeridinde ölçülmüştür.
- v) Tüm linklerdeki değerlerin ortalaması alındığında sol şeritler için akşam sayımlarında 398, sabah sayımlarında 421 taşıt/sa'lik hacimler, hızlarda ise akşam 33, sabah ise 35 km/sa'lik değerler ölçülmüştür. Sağ şeritlerde bu değerler sırası ile 125, 125 taşıt/sa ve 19, 22 km/sa olarak ölçülmüştür.
- vi) Sağ ve sol şeritlerdeki ortalama değerler oranlandığında hız için %25, hacim için %60'lık değerler bulunmuştur.
- vii) V. rapor döneminde yapılan çalışmalarda ortalama seyahat hızları sabah sayımlarında 15 km/sa, akşam sayımlarında ise 12 km/sa olarak belirlenmiştir. Ortalama link hızları

dikkate alındığında seyahat hızı ile aradaki farkın ağ üzerinde kavşaklardaki bekleme sürelerinin neden olduğu gecikmeler sonucunda oluştuğu gözlemlenmektedir. Link hızlarından ortalama seyahat hızına geçiş için şu anki devre süreleri dikkate alındığında %50 lik bir oranın olduğu belirlenmiştir.

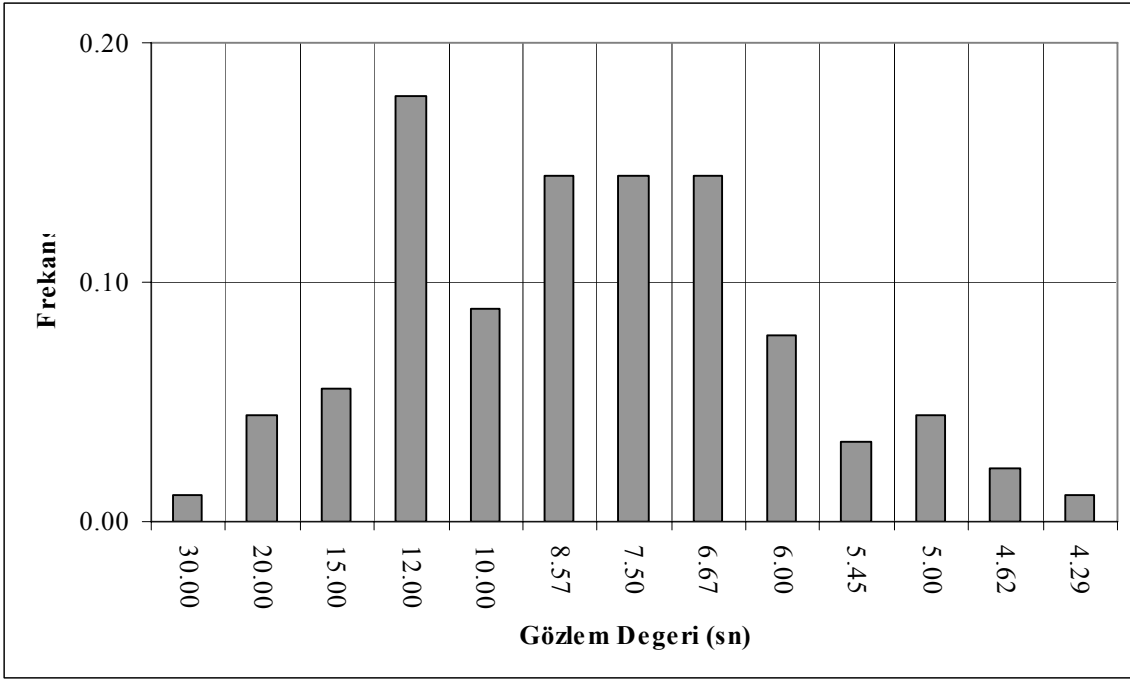
4.6.8. Takip Aralığı Ölçümleri

Takip aralığı değerleri trafik ölçüm cihazları yardımı ile hız ve hacim ölçümleri ile eş zamanlı yapılmıştır. Tablo 4.35'te örnek bir veri seti görülmektedir. Şeritlerde sabah ve akşam olmak üzere 90 dakika süre ile 1'er dakikalık periyotlarda takip aralığı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.50 ve 4.51'de 13 nolu linkte sol şerit üzerinde ölçülen takip aralıklarının histogramı ve eklenik frekans grafikleri verilmiştir.

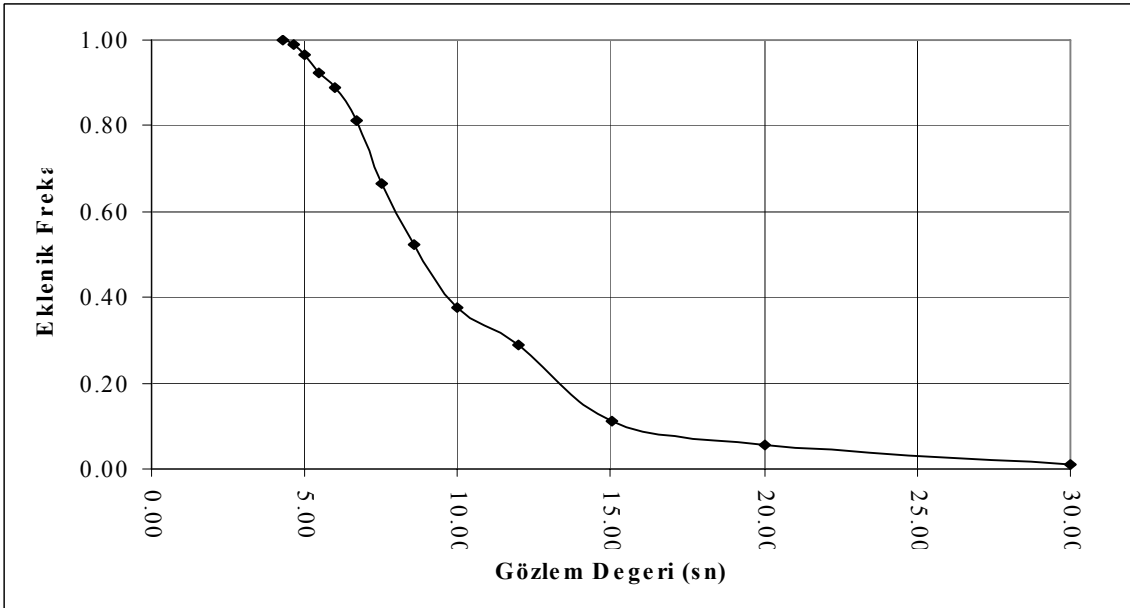
Grafiklerden de görüldüğü üzere takip aralığı değerleri 6-12 sn aralığında yoğunlaşmıştır. Örnek olarak verilen 13 nolu link sol şeridinde mod 12 sn medyan 8.57 sn olarak belirlenmiştir. Eldeki verilerin çokluğu ve çeşitliliği nedeni ile gözlem değerlerinin detaylı istatistiksel incelemesi ve modellenmesi çalışmalarına bir sonraki rapor döneminde devam edilecektir.

Tablo 4.35 Takip aralığı veri seti

Zaman dilimi	Hacim (ta/dk)	Takip Ara. (sn)	Zaman dilimi	Hacim (ta/dk)	Takip Ara. (sn)
[07:30 AM-07:31 AM]	1	30.00	[07:46 AM-07:47 AM]	4	12.00
[07:31 AM-07:32 AM]	2	20.00	[07:47 AM-07:48 AM]	4	12.00
[07:32 AM-07:33 AM]	2	20.00	[07:48 AM-07:49 AM]	4	12.00
[07:33 AM-07:34 AM]	2	20.00	[07:49 AM-07:50 AM]	4	12.00
[07:34 AM-07:35 AM]	2	20.00	[07:50 AM-07:51 AM]	4	12.00
[07:35 AM-07:36 AM]	3	15.00	[07:51 AM-07:52 AM]	4	12.00
[07:36 AM-07:37 AM]	3	15.00	[07:52 AM-07:53 AM]	4	12.00
[07:37 AM-07:38 AM]	3	15.00	[07:53 AM-07:54 AM]	4	12.00
[07:38 AM-07:39 AM]	3	15.00	[07:54 AM-07:55 AM]	4	12.00
[07:39 AM-07:40 AM]	3	15.00	[07:55 AM-07:56 AM]	4	12.00
[07:40 AM-07:41 AM]	4	12.00	[07:56 AM-07:57 AM]	5	10.00
[07:41 AM-07:42 AM]	4	12.00	[07:57 AM-07:58 AM]	5	10.00
[07:42 AM-07:43 AM]	4	12.00	[07:58 AM-07:59 AM]	5	10.00
[07:43 AM-07:44 AM]	4	12.00	[07:59 AM-08:00 AM]	5	10.00
[07:44 AM-07:45 AM]	4	12.00	[08:00 AM-08:01 AM]	5	10.00
[07:45 AM-07:46 AM]	4	12.00			



Şekil 4.50. 13 linki sol şeritte gözlenen takip aralığı değerlerinin histogramı



Şekil 4.51. 13 linki sol şeritte gözlenen takip aralığı değerlerinin eklenik frekans grafiği

4.7. Sonuçlar

Bu bölümde taşınabilir ve sabit sensörler irdelenmiş ve bunların uygulanma şekilleri anlatılmış, farklı türlerdeki sensörlerin fonksiyonları, avantaj ve dezavantajları irdelenmiştir. Döngü sensörlerinin araziye uygulama şekilleri, test edilmesi ve araç imza yaklaşımlarının

performans testleri gösterilmiştir. Araziye yerleştirilen sensörlerden elde edilen veriler, kamera sayımlarından elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, sensörlerin uygulamadan önce iyi düzeyde kalibre edilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

Modellemesi yapılacak ulaşım ağı bu bölümde oluşturulmuştur. Oluşturulan ağ üzerinde link uzunlukları, mevcut trafik hacimleri ve zonlar belirlenmiştir. Bilgisayar ortamında sayımların yapılabilmesi için makro programı geliştirilmiştir. El trafik sayaçlarının montajı için pratik bir yol geliştirilerek çalışma ağında kesit sayımları yapılmıştır. Ayrıca kesit sayımları sırasında zaman kaybını önlemek için eşzamanlı olarak gürültü ölçümleri yapılmış ve seçilen ulaşım ağı alt-ağa indirgenerek tüm kavşaklarda trafik hacim sayımları tamamlanmıştır.

B-V ölçümlerinin belirlenebilmesi için gözlemlerden yola çıkılarak eşleştirme algoritması geliştirilmiştir. Elde edilen B-V talep/seyahat süresi matrisleri BOTGA modeli için kaynak veri olarak VIII. Bölümde kullanılmıştır.

V. BÖLÜM

ŞEHİRİÇİ ULAŞIM AĞ TASARIM MODELLERİ VE ÖRNEK ÇÖZÜMLER

5.1. Giriş

Ulaşım ağ planlamasının farklı yöntemlerle yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan veriler derlendikten sonra ağın performansını etkileyen en önemli parametrelerden olan kavşaklar ve bunların toplam sisteme olan etkisinin araştırılması gerekmektedir. Kavşak gecikmeleri de ulaşım ağ performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Bu sebeple, bu bölümde kavşak gecikme modelleri, ağ tasarım modelleri, çözümleri ve örnek uygulamaları verilecektir. Ayrıca, duyarlılık tabanlı ve senaryo tabanlı ulaşım ağ tasarımının formülasyonu ve örnek çözümleri verilecektir.

5.2. Kavşak Gecikme Modelleri

Kavşak gecikmelerini etkileyen en etkili parametre sinyal sistemleridir. Sinyal sistem parametrelerinin optimizasyonunun yapılabilmesi için seçilen veya geliştirilen kontrol önlemlerinin performansının bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Bunlar kavşaklardan maksimum çıktı, yakıt tüketimi, gecikme, gürültü veya trafik kazalarının azaltılması şeklinde olabilir. Bu amaçla bir çok yöntem geliştirilmiştir. Yöntemlerden en çok kullanılanları kavşaklarda meydana gelen gecikmeleri en aza indirmek veya kapasiteyi maksimum etmektir. Sinyal kontrolü çok amaçlı bir problem olarak tanımlanmakta ve amaçları; eş zamanlı veya farklı zamanlı olarak sinyalizasyon kontrollü kavşaklardaki gecikme, kuyruk uzunluğu, hava kirliliği, yakıt tüketimi ve trafik çıktılarının hepsinin ayrı ayrı veya birleştirilerek eniyelenmesi olarak sıralanmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda kavşaklardaki sürücü davranışları, trafik akım durumu ve sinyal sürelerinin ortalama taşıt gecikmelerine (OTG) bağlı olarak eniyelenmesi yol kullanıcılarının seyahat maliyetlerini azaltacaktır. Ayrıca sinyal parametrelerinin hangi kriterlere göre optimum olduğunun belirlenmesi OTG'nin matematiksel olarak ifade edilebilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Kavşakların geometrik yapıları, optimum sinyal parametrelerinin belirlenmesi, hem trafik akımına bağlı koşullardan hem de trafikten bağımsız olan koşullardan oluşmaktadır. Sinyalizasyon kavşak

parametrelerinin hepsinin birlikte değerlendirilmesi, formülize edilmesi ve çözülmesi karşımıza kavşak performans kavramını çıkarmaktadır. Genellikle kavşaklar OTG'yi minimum veya çıktıkları maksimum edecek şekilde tasarımlandırılırlar.

Sinyalizasyon sistemleri kontrol türlerine göre bir çok gruba ayrılabilir. Bunlar;

- Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi,
- Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi,
- Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi,
- El ile kumandalı sinyalizasyon sistemi,

olarak sıralanabilir. Bu sistemlerin detaylı açıklamaları Webster ve Cobbe (1966) ve Akçelik (1981)'de bulunabilir.

Ulaşım ağ sistem performansı (PI) sinyal parametreleri, $\psi = (c, \theta, \varphi)$ ile trafik akımı, q 'nun bir fonksiyonudur. Bu amaçla sistem performansı, PI , trafik hacimleri ve sinyal kısıtlarına bağlı olarak eniyelenmelidir. Denklem (5.1)'de minimizasyon problemi verilmiştir.

$\psi(c, \theta, \varphi) \in \Omega_0$ olması koşulu ile

$$\underset{\psi}{Min} PI(\psi, q^*(\psi)) = \sum_{a \in L} (Ww_a D_a + Kk_a S_a) \quad (5.1)$$

ifadesi yazılabilir. Burada ψ , Ω_0 kümesindeki herhangi bir sinyal değişkenleri vektörüdür. Kullanılan değişkenlerin tanımları Ek 1'de verilmiştir.

Denklem (5.1)'deki tüm değişkenler, ulaşım ağı H için verilen kısıtlar aşağıda açıklanmıştır.

Devre süresi kısıtı: Devre süreleri kontrol parametresi olarak ele alınır ve bu değişken bazı kısıtları sağlamak durumdadır.

$$c_{\min} \leq c \leq c_{\max} \quad (5.2)$$

Burada c_{min} ve c_{max} sırasıyla minimum ve maksimum verilen devre süresidir. Herbir sinyalize kavşak için:

Kapasite kısıtı: Herhangi bir kola gelen trafik hacmi kapasiteye yakın ise, araçların maruz kaldığı gecikmeler oldukça yüksek miktarlara çıkabilir. Bu yüzden maksimum doyumluk derecesi tanımlanarak sıkışık kolun bu seviyede çalışması istenir. Sinyalize bir kavşakta kapasite kısıtı Denklem (5.3)'te verilmiştir.

$$cq_a \leq p_a s_a (\phi_{m,n} + e_e - e_s), \forall a \in M, \forall m \in M \quad (5.3)$$

Herhangi bir kavşak n 'deki m fazı altında kapasite kısıtı altında çalışan herhangi bir link a için, q_a , p_a , ve s_a sırasıyla linke gelen toplam trafik hacmi, maksimum kabul edilebilir doyumluk derecesi ve doyumluk akımıdır. e_s ve e_e ise sırasıyla etkin yeşil süre başlangıcı ve bitişidir. c devre süresi, $\phi_{m,n}$ n 'inci kavşağın m 'inci fazındaki yeşil süre uzunluğudur.

Yeşil süre kısıtı: Kabul edilebilir minimum yeşil süre genellikle araçlar ve yayalar için verilir. Yayalar için minimum yeşil süre genellikle kavşağın geometrik yapısına bağlıdır. Kısıtlar Denklem (5.4)'te verilmiştir.

$$\phi_{min,n,m} \leq \phi_{n,m} \leq c, \forall m \in M; \forall n \in N \quad (5.4)$$

Burada $\phi_{min,n,m}$ kabul edilebilir minimum yeşil süredir.

Tüm sinyalize ağ üzerindeki koordinasyon kısıtı:

Offset kısıtının herhangi bir kapalı-formu olmamasına rağmen pratik amaçlarla kullanılan kısıt Denklem (5.5)'te verilmiştir.

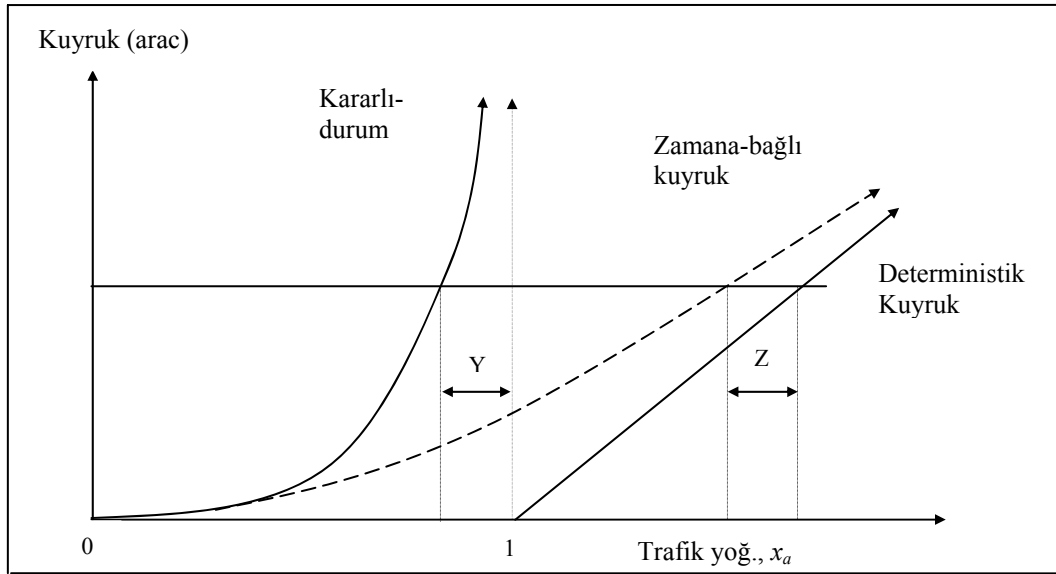
$$0 \leq \theta_n \leq c_{max}, \forall n \in N \quad (5.5)$$

5.3. Performans göstergeleri

Her bir zaman dilimindeki trafiğin maruz kaldığı maliyet bir önceki linkteki maliyete bağlıdır. Link kapasitesine ulaşıldığı zaman, Şekil 5.1’de kararlı durum grafiğinde görüldüğü üzere, link maliyetleri sonsuza gitme eğilimi gösterirler. Bunun sebebi geçici aşırı yüklenmeler bir sonraki zaman dilimi içerisinde boşalırlar.

Sinyalize bir kavşaktaki göstergelerin hesabının yapılabilmesi için, linkler doyumluk derecelerine ve başlangıç kuyruk formasyonlarına ayrıştırılarak şöyle formüle edilebilir.

1. Doyumluk üstü akımdaki linkler
2. Kuyuksuz doyumluk altındaki linkler
3. Kuyruklu doyumluk altındaki linkler



Şekil 5.1. Zaman-bağımlı gecikme

Verilen tüm zaman periyodundaki toplam gecikmeyi bulmak için link-tabanlı hesaplamalar yapılmıştır. Gecikmenin uniform bileşeni matematiksel ifadeler ile tahmin edilmiştir. Gelişigüzel artı doyumluk üstü gecikme formülasyonu için Kimber ve Hollis (1979) tarafından geliştirilen zamana bağlı formülasyon kullanılmıştır.

5.3.1. Gelişigüzel artı doygunluk üstü gecikme bileşeni

Bu göstergenin hesaplanması genellikle iki farklı metot ile yapılır. Kimber ve Hollis (1979)'in zamana bağlı formülasyonu ve TRANSYT trafik modelin kullandığı modeldir. Ayrıca doygunluk üstü gecikme için Akçelik (1981), HCM (2000)'de matematiksel ifadeler geliştirilmiştir. Fakat bu raporda sadece daha genel bir yaklaşıma sebep oldukları için ilk ikisi üzerinde durulmuştur.

Zaman bağımlı gecikme modeli kararlı hal ve deterministik kuyruk teorileri esasına dayanır. Doygunluk derecesi, x_a , 1'e yaklaştıkça kararlı haldeki kuyruk sonsuza gitme eğilimi gösterir. Kuyruk teorisinde kullanılan matematiksel ifadelerin karmaşıklığından dolayı, Kimber ve Hollis (1979) *koordinat dönüşüm metodunu* önermiştir.

Eğer $L_a^{ro}(0)$ t zamanındaki L kümesinde bulunan link a'daki başlangıç kuyruk uzunluğu ise deterministik kuyruk teorisine göre periyot sonundaki kuyruk uzunluğu sıfır ya da ayrılan ve giren araçların farkına eşittir. Bu durum Denklem (5.6)'da verilmiştir.

$$L_a^d(t) = \text{Max}\{0, (q_a - \mu_a)t + L_a^{ro}(0)\} = \text{Max}\{0, (x_a - 1)\mu_a t + L_a^{ro}(0)\} \quad (5.6)$$

Burada $L_a^d(t)$ zaman dilimi t 'de link a üzerindeki kuyrukta bulunan araç sayısıdır.

Doygunluk üstü durum $x_a \geq 1$ için, link a'nın t zaman dilimi içerisinde maruz kaldığı toplam gecikme $D_a^d(t)$:

$$D_a^d(t) = L_a^{ro}(0) + 0.5\mu_a(x_a - 1)t \quad (5.7)$$

Aynı zaman diliminde araç gecikmesi $d_a^d(t)$

$$d_a^d(t) = (L_a^{ro}(0) + 1 + 0.5(x_a - 1)\mu_a t) / \mu_a \quad (5.8)$$

Verilen herhangi bir zaman dilimi t 'deki ve L kümesinde bulunan a linki için doygunluk akımı altında $x < 1$ kararlı hal koşulları denklem (5.9)-(5.11)'de verilmiştir.

$$L_a^s = x_a + \frac{Cx_a^2}{1-x_a} \quad (5.9)$$

$$D_a^s = x_a + \frac{Cx_a^2}{1-x_a} \quad (5.10)$$

$$d_a^s = \frac{1}{\mu_a} \left(\frac{Cx_a^2}{1-x_a} + 1 \right) \quad (5.11)$$

Burada,

L_a^s = kararlı haldeki toplam kuyruk uzunluğu

D_a^s = kararlı hal gecikmesi

d_a^s = $x_a < 1$ olduğu zaman karalı haldeki ortalama taşıt gecikmesi

C = sabit olup sinyalize kavşaklar için 0.4~0.6 arasında bir değerdir.

Koordinat dönüşüm tekniği Denklem (5.9)'daki kararlı halde sonsuza gitme eğilimindeki kuyruk uzunluğunu $x_a=1$ civarında deterministik kuyruk uzunluğuna dönüştürmek için kullanılır. Bu tekniğin gösterimi Şekil 5.2'de verilmiştir. Bu teknikle yapılan dönüşüm sonucu kararlı haldeki kuyruk büyüklüğü Y ile deterministik haldeki kuyruk uzunluğu Z'nin büyüme uzunlukları aynıdır

$L_a^{ro}(t)$ gelişigüzel ve duygunluküstü akımda bulunan araç sayısı, $D_a^{ro}(t)$, toplam gecikme ve $d_a^{ro}(t)$ 'de ortalama taşıt başına gecikme olsun. Bu durumda aşağıdaki dönüşümler yapılabilir.

$$L_a^{ro}(t) = \frac{\sqrt{A^2 + B} - A}{2} \quad (5.12)$$

$$D_a^{ro}(t) = \frac{\sqrt{A_1^2 + B_1} - A_1}{2} \quad (5.13)$$

$$d_a^{ro}(t) = \frac{\sqrt{A_2^2 + B_2} - A_2}{2} \quad (5.14)$$

Burada,

$$A = \frac{(1-x_a)(\mu_a t)^2 + (1-L(0))\mu_a t - 2(1-C)(L(0) + x_a \mu_a t)}{\mu_a t + (1-C)}$$

$$B = \frac{4(L(0) + x_a \mu_a t)(\mu_a t - (1-C)(L(0) + x_a \mu_a t))}{\mu_a t + (1-C)}$$

$$A_1 = \frac{(1-x_a)(0.5\mu_a t)^2 + (1-L(0))(0.5\mu_a t) - 2(1-C)(L(0) + 0.5x_a \mu_a t)}{0.5\mu_a t + (1-C)}$$

$$B_1 = \frac{4(L(0) + 0.5\mu_a x_a t)(0.5\mu_a t) - (1-C)(L(0) + 0.5\mu_a x_a t)}{0.5\mu_a t + (1-C)}$$

$$A_2 = \frac{(1-x_a)t}{2} - \frac{L(0) - C + 2}{\mu_a}$$

$$B_2 = \frac{2((1-x_a)\mu_a t + Cx_a \mu_a t - 2(1-C)(L(0) + 1))}{\mu_a^2}$$

Burada yaklaşık hesaplamaları verilen koordinat dönüşüm tekniği sezgisel bir algoritmadır.

Gelişigüzel ve doygunluküstü akımlarda meydana gelen gecikmenin hesabında ikinci bir formülasyon TRANSYT trafik modelinin kullandığı modeldir. Bu formülasyon aşağıda verilmiştir.

D_{aT}^{ro} ve d_{aT}^{ro} 'in L kümesindeki a linki için T zaman periyodundaki TRANSYT gecikme notasyonu olsun. Bu durumda yaklaşık gecikme hesabı

$$D_{aT}^{ro} = \frac{T}{4} [((q_a - \mu_a)^2 + \frac{4q_a}{T})^{0.5} + (q_a - \mu_a)] \quad (5.15)$$

$$d_{aT}^{ro} = \frac{D_{aT}^{ro}}{q_a} \quad (5.16)$$

formülleri ile hesaplanabilir. Ayrıca TRANSYT'e göre toplam araç durma sayısı Denklem (5.17)'de verilmiştir (Vincent ve diğ., 1980).

$$S_{aT}^{ro} = 2q_a (1 - \exp(\frac{-D_a^{ro}}{2cq_a})) \quad (5.17)$$

burada S_{aT}^{ro} birim zamandaki durma sayısıdır.

5.3.1.1. Üniform bileşen hesapları

Sinyalize kavşaklardaki yaklaşık gecikme hesabının üniform bileşeninin hesaplanması tüm devre süresi gözönüne alınarak yapılmıştır. Ayrıca bu hesaplamada kavşağa üniform geliş ve ayrılış kabul edilmiştir.

L kümesindeki a linkleri için üniform bileşenler doygunluk derecesine göre aşağıdaki şekilde ayrılabilir. Bunlar;

1. $x_a \geq 1$ olduğu durumda doygunluk üstü linkleri;
2. Kuyruk oluşmamış doygunluk altı linkleri, $x_a < 1$. Bu durum $L_a^{ro}(t) \leq L_a^s$ koşulu ile tanımlanabilir.
3. Kuyruk oluşmuş doygunluk altı linkleri, $x_a < 1$. Bu durum $L_a^{ro}(t) > L_a^s$ koşulu ile belirlenebilir.

1. Doygunluk üstü linkleri

Üniform kuyruklar, L_a^U , ve üniform gecikmeler, D_a^U , kavşağa yaklaşan taşıtların kümülatif toplamalarının sıfır olduğu varsayımı ile hesaplanır (Chiou, 1998). Bu sebeple L_a^U ve D_a^U kavşak dolmuş ve boşalım grafiklerinin farkları olarak bulunur. Bu durumda T periyodu için gecikmeler;

$$L_a^U = \frac{c\mu_a(1 - \Lambda_a)}{2} \quad (5.18)$$

$$D_a^U = \frac{c\mu_a(1 - \Lambda_a)}{2} \quad (5.19)$$

$$d_a^U = \frac{c(1 - \Lambda_a)}{2} \quad (5.20)$$

formülleri ile bulunabilir. Burada, L_a^U , uniform kuyruk uzunluğu, D_a^U toplam uniform gecikme, d_a^U taşıtın maruz kaldığı gecikme, Λ_a faz yeşil oranları ve c devre süresidir.

2. Kuyruk oluşmamış doyunluk altı linkleri

Doyunluk altı şartlarında kuyruk oluşumunun etkin kırmızı süre başlangıcında oluştuğu ve etkin yeşil sürede boşaldığı kabul edilmiştir. Ayrıca devre süresi etkin yeşil ve kırmızı süre periyotlarına ayrıldığı farzedilmiştir. Bu durumda kuyruk oluşmamış doyunluk altı linkleri için yaklaşık gecikme hesabı

$$L_a^U = \frac{x_a \mu_a (1 - \Lambda_a)^2 c}{2(1 - \Lambda_a x_a)} \quad (5.21)$$

$$D_a^U = L_a^U$$

$$d_a^U = \frac{D_a^U}{q_a}$$

formülleri ile yapılabilir.

3. Kuyruk oluşmuş doyunluk altı linkleri

Eğer zaman dilimi t için kuyruk uzunluğu, L_a^s , başlangıç kuyruk uzunluğundan, $L_a^{ro}(0)$ 'dan az ise t 'nin başlangıcında bu kuyruğun boşalabilmesi için zamana ihtiyacı vardır. τ_a t 'nin başlangıcındaki başlangıç kuyruğunun boşalması için gerekli olan süre olsun. Kimber ve Hollis (1979)'a göre aşağıdaki matematiksel ifadeler çıkarılabilir.

$$\tau_a = \frac{L_a^{ro}(0) - L_a^s}{\mu_a (\hat{x}_a - x_a)} \quad (5.22)$$

burada $L_a^{ro}(0)$ ve L_a^s sırasıyla t zaman dilimi için başlangıç ve birikmiş kuyruk uzunluğudur.

$x_a = \frac{q_a}{\mu_a}$ ve \hat{x}_a doygunluk dereceleri olup bu bölgede birikmiş kuyruk uzunluğu başlangıç

kuyruk uzunluğuna, $L_a^{ro}(0)$, eşittir.

$$L_a^{ro}(0) = \frac{C\hat{x}_a^2}{1-\hat{x}_a} + \hat{x}_a \quad (5.23)$$

$$\hat{x}_a = \frac{L_a^{ro}(0) + 1 - \sqrt{(L_a^{ro}(0) - 4(1-C)L_a^{ro}(0))}}{2(1-C)} \quad (5.24)$$

Yukarıdaki ifadeler çıkarılırken birikmiş kuyruk uzunluğunun taşıtların geliş oranına bağlı olarak \hat{x}_a ve x_a oranlarında kavşaktan boşaldığı kabul edilmiştir. Özellikle Denklem (5.24) kuyruk azalım oranını hesaplamaktadır. Fakat bu ifade birikmiş kuyruk uzunluğunun boşalması için gerekli olan süreyi daha kısa olarak bulabilir. Denklem (5.24)'ten yola çıkılarak, L kümesindeki her bir a linki için, $x_a < 1$ ve $L_a^{ro}(0) > L_a^s$ koşulları altında,

1. $\tau_a \geq t$, gecikmenin uniform bileşeni Denklemler (5.18)-(5.20) ile hesaplanabilir.
2. $\tau_a < t$, gecikmenin uniform bileşeni doygunluk üstü ve doygunluk altı ifadelerinin lineer birleşimi ile hesaplanabilir.

$$L_a^U = \frac{\mu_a(1-\Lambda_a)c}{2t} \left[\tau_a + \frac{x_a(1-\Lambda_a)(t-\tau_a)}{(1-\Lambda_a x_a)} \right] \quad (5.25)$$

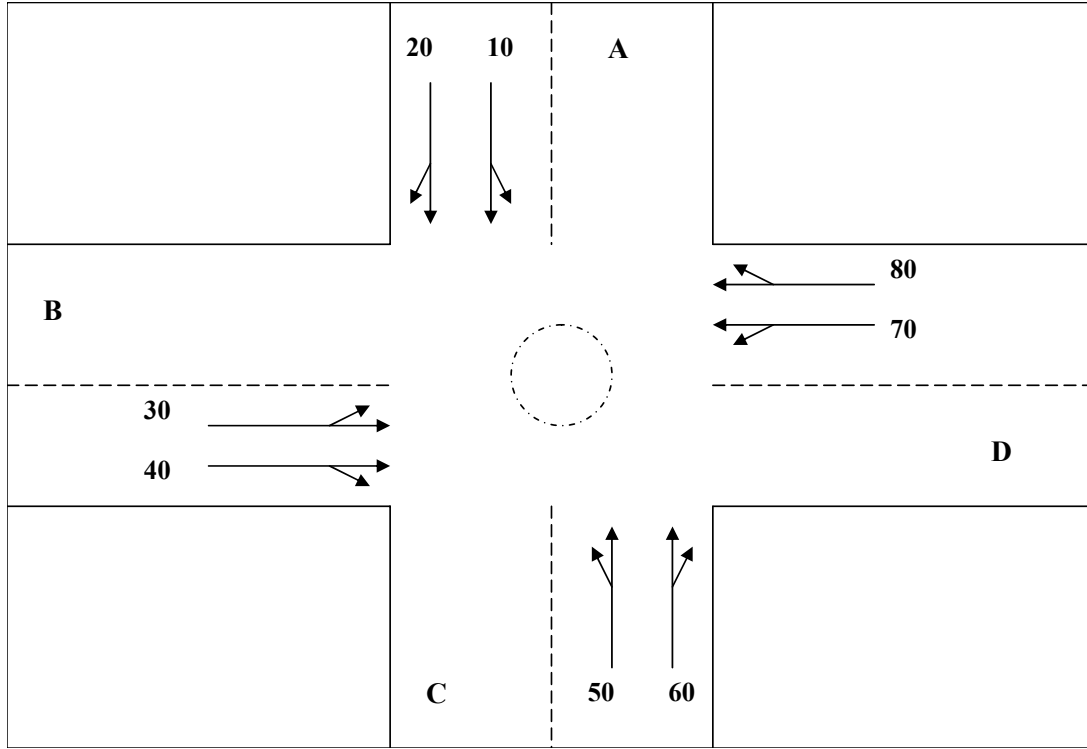
$$D_a^U = L_a^U$$

$$d_a^U = \frac{D_a^U}{q_a}$$

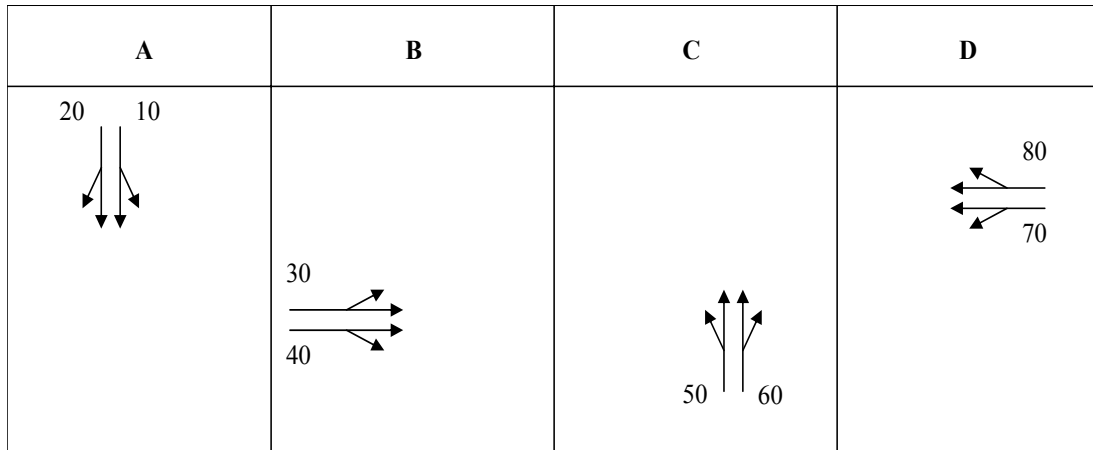
5.4. Teorik kavşak gecikme modeli uygulaması

Kavşaklardaki taşıt gecikmeleri sistem performanslarının değerlendirilmesinde ana kriterlerden biridir. Fakat kavşakta sinyal parametreleri ve geometrik koşullara bağlı olan

gecikmelerin ölçülmesi oldukça zor ve zaman alıcı bir iştir. Bu sebeple, farklı trafik hacimleri altında elde edilmiş gecikme değerleri için gecikme modelleri geliştirilmiştir. Gecikme modelleri için tipik dört kollu ve 8 şeritli, 4 fazlı bir kavşak seçilmiştir. Örnek kavşak Şekil 5.2’de verilmiştir. Seçilen kavşağın faz diyagramları ise Şekil 5.3’teki gibi düzenlenmiştir.



Şekil 5.2. Tipik dört kollu 8 şeritli bir kavşak



Şekil 5.3. Örnek kavşaktaki faz diyagramı

Örnek kavşakta farklı trafik hacimleri için sinyal parametreleri de eniyilenecek bir saatlik simülasyon süresi sonucunda elde edilen uniform gecikme (UG) ve rastgele gecikme (RG) bileşenleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda doyumluk akımı değeri olarak 1500 araç/sa değeri

alınmıştır. Gecikme bileşeni TRANSYT programı yardımı ile hesaplanmıştır. Bu işlemin yapılabilmesi için FORTRAN95 programlama dili kullanılarak bir program yazılmıştır.

TRANSYT programından elde edilen gecikme değerleri Tablo 5.1' de verilmiştir. Tabloda sadece 50 birimlik trafik hacim artışları için gecikme değerleri verilmiştir. Fakat gecikme modelleri geliştirilirken her 10 birimlik trafik hacim artışları kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Ayrıca hesaplamalar sırasında bağ doygunluk akımlarının 0.90'ı geçmesine izin verilmiştir.

Tablo 5.1. Hesaplanan gecikme değerleri

q (ta/sa)	C (sn)	UG (sn)	RG (sn)	Toplam gecikme (sn)
100	50	4.1	2.6	6.7
150	50	6.4	5.7	12.1
200	70	11.7	8.9	20.6
250	90	18.9	16.3	35.2
300	160	40.0	27.1	67.1
350	180	54.9	88.1	143.0
400	180	76.2	258.9	335.1
450	180	98.1	451.1	549.2
500	180	121.9	647.1	769.0
550	180	146.6	844.8	991.4
600	180	171.4	1043.6	1215.0

Tablo 5.1' de verilen hesaplanmış gecikme değerleri kullanılarak uygulamada gecikme hesaplamalarında kolaylık sağlayabilecek şekilde toplam gecikmeyi oluşturan uniform ve rastgele gecikme bileşenlerinin matematiksel olarak ifade edilmesine çalışılmıştır. Aşağıdaki denklemlerde görüldüğü gibi uniform gecikme (UG) bileşeni doğrusal olmayan formda ifade edilmiş ve katsayılar bulunmuştur.

$$UG = a * q^2 + b * q + c * C^2 + d * C + e$$

$$UG = 0.0005 * q^2 + 0.007 * q + 0.002 * C^2 - 0.492 * C + 16.703$$

Burada q trafik hacmi (ta/sa), C devre süresi (sn) ve a, b, c, d, e model katsayılarıdır. Şekil 5.4' te hesaplanan UG bileşeni ve UGMODEL gecikme değerleri görülmektedir. Şekilden

görülebileceği gibi hesaplanan değerler ile UGMODEL değerleri arasında iyi bir uyum sağlanmıştır. UGMODEL parametreleri hesaplanırken Newton yöntemi kullanılarak katsayılar hesaplanmıştır. UGMODEL geliştirilirken hataların karelerinin toplamının (*HKT*) minimizasyonu esas alınan aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$HKT = \sum_i^n (g_{hesap} - g_{ug\ model})^2$$

Burada g_{hesap} hesaplanan gecikme değerlerini, $g_{ug\ model}$ ise model gecikme değerlerini göstermektedir. $HKT= 117$ ve $R^2= 0.99$ olarak bulunmuştur.

Toplam gecikmenin rastgele bileşeni (RG) için ise trafik akımının 290'dan küçük ve 300'den büyük olması durumuna göre iki farklı doğrusal olmayan model kurulmuştur. Bu denklemler aşağıda verilmiştir.

$$q \leq 290 \Rightarrow RG = a * q^b$$

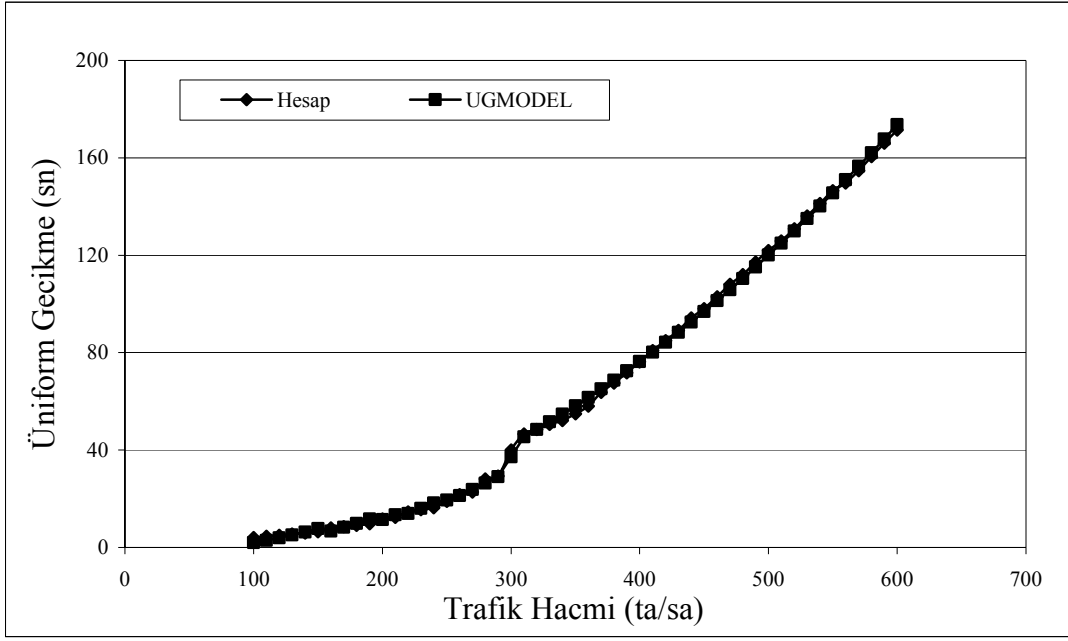
$$q \geq 300 \Rightarrow RG = a * q^3 + b * q^2 + c * q + d$$

Burada q trafik akımı olup a, b, c ve d model katsayılarıdır. Geliştirilen RGMODEL'lerin Newton yöntemi ile çözümleri aşağıdaki gibidir.

$$q \leq 290 \Rightarrow RG = 1.10^{-5} * q^{2.594}$$

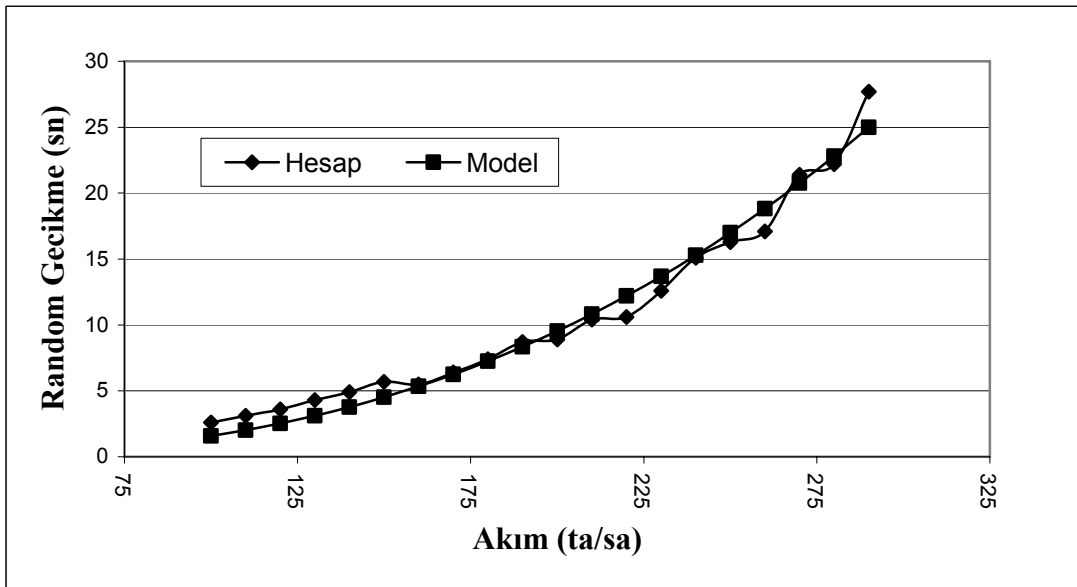
$$q \geq 300 \Rightarrow RG = -8.5.10^{-6} * q^3 + 0.017 * q^2 + -6.433 * q + 617.149$$

RGMODEL'lerde *HKT*'nin minimum değeri $q \leq 290$ için 24 ve $q \geq 300$ için 15029, R^2 değerleri ise sırası ile 0.98 ve 0.99 olarak bulunmuştur.

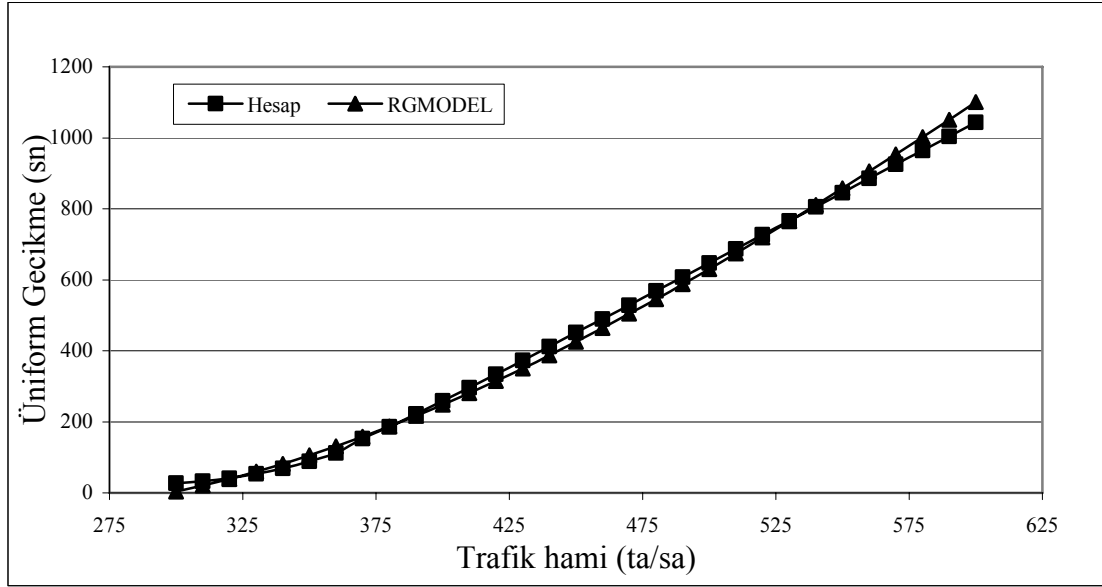


Şekil 5.4. Uniform gecikme değerleri ve UGMODEL değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 5.5 ve 5.6'da $q \leq 290$ ve $q \geq 300$ durumları için RG model bileşeni ve model gecikme değerleri verilmiştir.

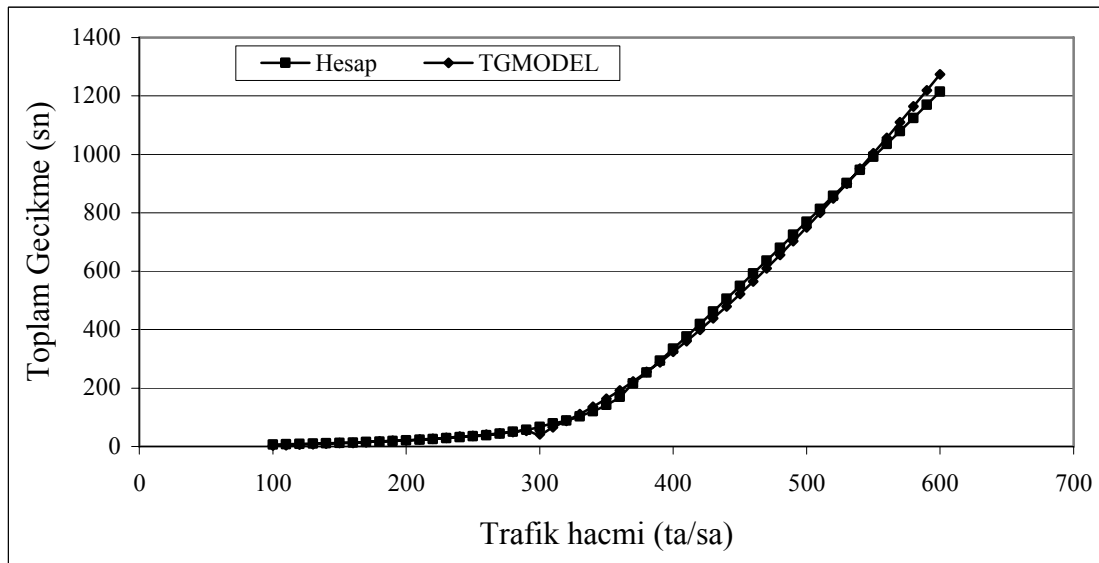


Şekil 5.5. Rastgele gecikme değerleri ve model değerlerinin karşılaştırılması ($q \leq 290$)



Şekil 5.6. Rastgele gecikme değerleri ve model değerlerinin karşılaştırılması ($q \geq 300$)

Toplam gecikme (TG) hesabı için $TG=UG+RG$ eşitliği yazılabilir. Şekil 5.7'da uniform ve rastgele gecikme bileşenlerinin hesaplanan toplam gecikme değerleri ile modellerden elde edilen gecikme değerlerinin toplamı verilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi geliştirilen gecikme modelleri ile hesaplanan gecikme değerleri arasında iyi bir uyum bulunmuştur. Toplam değerlerin karşılaştırılması sonucunda HKT 'nin minimum değeri 16992, R^2 değeri ise 0.99 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.7. Toplam gecikme değerleri ve model değerlerinin karşılaştırılması

5.5. TG Modelinin Webster ve Akçelik ile Karşılaştırılması

TG modeli gerçek kavşak verileri ile test edilmiştir. Şekil 5.7’de verilen ve hesaplamalarda kullanılan link numaraları ve bunların trafik hacimleri ile dönüş oranları Tablo 5.2a ve 5.2b’de verilmiştir.

Tablo 5.2a. Örnek kavşak link trafik hacimleri (sabah)

Link no	Trafik hacmi	Sola	Doğru	Sağa	Toplam
1-2	sayı	50	242	124	416
	%	12.0	58.2	29.8	100.0
3-4	sayı	63	335	88	486
	%	13.0	68.9	18.1	100.0
5-6	sayı	67	600	67	734
	%	9.1	81.7	9.1	100.0
7-8	sayı	103	750	53	906
	%	11.4	82.8	5.8	100.0

Tablo 5.2b. Örnek kavşak link trafik hacimleri (akşam)

Link no	Trafik hacmi	Sola	Doğru	Sağa	Toplam
1-2	sayı	55	418	317	790
	%	7.0	52.9	40.1	100.0
3-4	sayı	137	417	102	656
	%	20.9	63.6	15.5	100.0
5-6	sayı	97	339	104	540
	%	18.0	62.8	19.3	100.0
7-8	sayı	113	309	118	540
	%	20.9	57.2	21.9	100.0

Şekil 5.8’de ise link numaraları ile dönüşler görülmektedir. Şekil 5.9’da faz diyagramı düzenlemesi görülmektedir.

Tablolardaki verilerden görülebileceği üzere eğer doyumluk akım değerleri 1600-1800 araç/sa olarak verilirse hiçbir koldaki doyumluk derecesi 0.90 olan kritik doyumluk akım oranını aşmayacaktır. Bu durumda, kararlı hal durumunda doyumluk altı birikmemiş kuyruk durumu için uniform gecikme bileşeni hesaplanabilir. Gelişigüzel artı doyumluk üstü akım durumundan kaynaklanan gecikmenin toplam gecikmeye katkısı oldukça az olacaktır. Bu

durumda Webster ve Cobbe (1966) yaklaşımı gecikme hesabı için kullanılır. Webster ve Cobbe (1966)'nın gecikme formülasyonu:

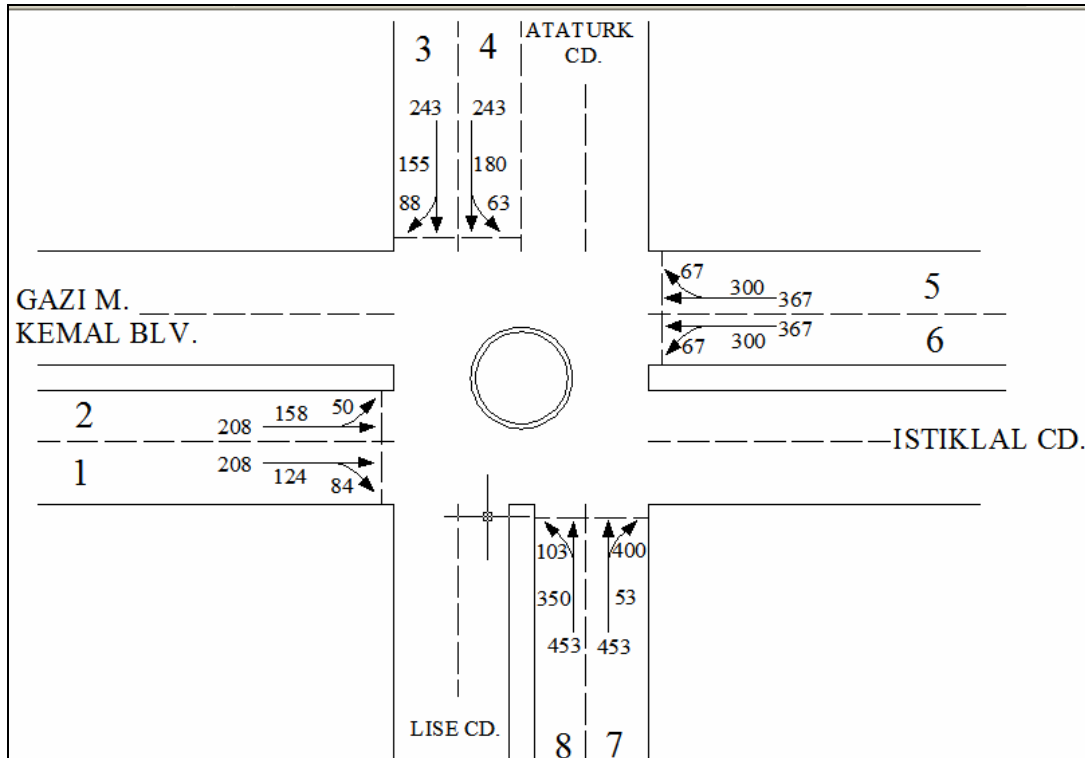
$$d = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0,65(C/q^2)^{1/3} x^{2+5\lambda} \quad (5.26)$$

şeklindedir. Burada; d , her koldaki her bir taşıt için ortalama gecikmeyi, λ , etkin yeşilin devre süresine oranı, x , doyumluk derecesini ifade etmektedir. C , devre süresi (sn), S doyumluk akım değeri (taşıt/sa) ve q , her bir koldaki akım (ta/sa) değeridir. Doyumluk derecesi akımın maksimum mümkün akıma oranıdır ve $x = \frac{q}{\lambda S}$ ile ifade edilir.

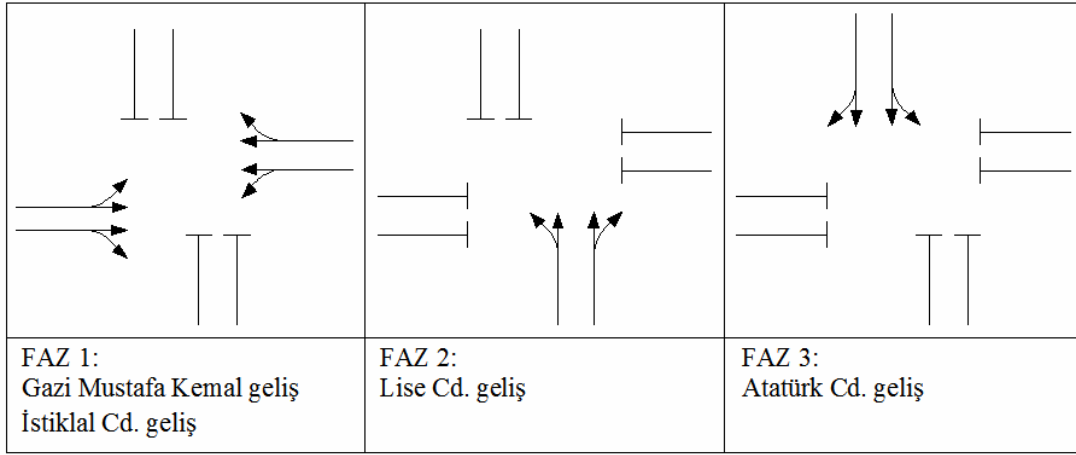
Denklem (5.26)'nın son kısmı gecikmenin %5'i ile %15'i arasında bir değeri ifade etmektedir. Son terimin ihmal edilmesiyle gecikme değeri

$$d = \frac{9}{10} \left\{ \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} \right\} \quad (5.27)$$

şeklinde hesaplanabilir.



Şekil 5.8. Örnek kavşak link numaraları ve trafik yükleri



Şekil 5.9. Örnek kavşak faz diyagramı

TRANSYT trafik modelinin kullanılmasıyla elde edilen sinyal parametreleri ile gecikmeler sabah trafiği için Tablo 5.3'te verilmiştir. Mevcut durumda devre süresi sabah trafiği için 80 saniye ve yeşil periyotlarda Faz 1, 2 ve 3 için sırasıyla 21, 25 ve 21 olarak çalışmaktadır.

Webster ve Cobbe (1966) metoduna optimum devre süresi sabah zirve saati için 104 ve akşam zirve saati için 100 saniye olarak bulunmuştur. Uniform gecikmeler (UG) ortalama 120 taş-sa/sa ve gelişigüzel artı doygunluküstü gecikmeler (GDÜG) 76 taş-sa/sa civarındadır. Benzer durum akşam trafiği için de geçerlidir. UG ve GDÜG gecikme bileşenlerinin yüksek olmasının nedenlerinden bir tanesi doygunluk derecesi 1 ve üzeri olduğu zaman hesaplanan gecikme değerlerinin tam olarak hesaplanamamasından kaynaklanmaktadır. Bu hesaplamalarda orta döneller hesaba katılmamıştır.

Tablo 5.3'ten görülebileceği gibi, TG Modeli ile yapılan analizler sonucunda sabah zirve saati için optimum devre süresi 60 ve akşam zirve saati için 50 saniye olarak bulunmuştur. Orta adanın hesaba katılmasıyla devre süresi 90 saniyeye çıkmıştır. Bu durumda hesaplanan devre süreleri mevcut devre süresinden azdır. Tablonun son iki kolonunda UG ile GDÜG verilmiştir. UG devre süresi arttıkça artmaktadır. Çünkü bu gecikmeler trafik akımından bağımsız olup sadece sinyal göstergelerinin değişiminden kaynaklanmaktadır. GDÜG ise devre süresi arttıkça düşme eğilimi göstermektedir. Bunun sebebi kapasitesinin doygunluk derecesinin oldukça altında olmasından kaynaklanmaktadır. Fakat devre süresi arttıkça toplam gecikme hızla artış göstermektedir.

Tablo 5.3. Sabah trafiği için sinyal parametreleri ve gecikmeler

Metodlar	Devre süresi (sn)	Yeşil süreler			UG (taş-sa/sa)	GDÜG (taş-sa/sa)
		Faz 1	Faz 2	Faz 3		
Mevcut durum	80	21	25	21	97.45	33.25
	60	14	17	17	75.31	71.35
Webster ve Cobbe	90	23	28	27	108.21	73.96
	104	27	33	33	123.11	79.24
	120	32	39	37	141.84	77.73
	130	35	42	41	153.32	81.48
TG Model	60	16	19	10	13.60	8.90
	90	31	17	27	19.00	6.90
	120	59	43	23	24.40	6.30
	130	43	47	25	26.20	6.20

Tablo 5.4'te akşam trafiği için sinyal parametreleri verilmiştir. Akşam zirve saatinde trafik hacmi sabah trafiğine göre daha az olduğundan optimum devre süresi Webster metoduna göre 100 modelde ise 50 saniye olarak bulunmuştur. Mevcut durumda ise devre süresi 90 ve yeşil süreler ise 33, 17 ve 28 saniyedir. Hesaplamalara yaya fazları dahil edilmiştir. Webster metoduna göre yapılan hesaplamalarda ortalama UG 113 ta-sa/sa ve GDÜG gecikmeler ise ortalama 80 ta-sa/sa civarındadır. TG Model ile Webster metoduna göre aynı devre süreleri için karşılaştırmalar yapıldığı zaman toplam gecikmelerde oldukça büyük farklılıklar bulunmaktadır. Bunun sebeplerinden en önemlisi Webster'e göre UG bileşeni hesaplanırken tüm kollardaki en yüksek kritik akım değeri kullanılırken, model hesaplamalarında ise UG bileşeni için o fazdaki akım değerleri kullanılmaktadır.

TG Modele göre sabah ve akşam trafiği için toplam gecikmenin UG bileşeni, ortalama %66 ve GDÜG bileşeni %34 oranına sahiptir. Bu durum, kavşağın verilen zaman periyodu içerisinde kararlı hal gecikmesi olduğu ve deterministik kuyrukların oluşmadığı anlamını taşımaktadır. Geçici aşırı yüklenmeler ve kavşaktaki sıkışıklığın oluşabilmesi için yüksek talebin verilen zaman periyodu boyunca (genellikle T=1-2 saat) sürmesi gerekmektedir. Benzer şekilde Webster metodunda UG bileşeni yaklaşık %60 ve GDÜG bileşeni %40 civarındadır. GDÜG bileşeninin devre süresi arttıkça kararlı hal akımları için düşmesi beklenmektedir. Fakat Webster metodunun gecikme hesaplarında çok iyi performans sağlamadığı da bilinmektedir (Wong, 1995).

Tablo 5.4. Akşam trafiği için sinyal parametreleri ve gecikmeler

Metodlar	Devre süresi (saniye)	Yeşil süreler			UG (taş-sa/sa)	GDÜG (taş-sa/sa)
		Faz 1	Faz 2	Faz 3		
Mevcut durum	90	33	17	28	103.64	81.32
	60	16	10	22	70.32	65.30
Wesbter ve Cobbe	90	25	16	36	103.64	81.32
	100	29	18	41	113.22	82.63
	120	35	22	50	135.75	87.75
	130	38	25	55	145.45	87.54
TG Model	50	15	9	11	11.3	9.0
	90	33	19	23	18.2	6.2
	120	48	26	31	23.2	5.8
	130	53	28	34	24.8	5.8

5.6. Ulaşım Ağ Tasarımı Formülasyonu ve Çözüm Algoritmaları

Ulaşım Ağ tasarımı (UAT), yol ağındaki trafik hacmi statik dengede olduğu zaman yol ağı üzerine yapılan veya yapılacak olan herhangi bir işletim sistemi iyileştirmesi (sinyalize kavşakların koordinasyonu gibi) ya da yol kapasitelerinin artırılmaları durumunda optimum ya da yakın optimum tasarım parametrelerinin elde edilmeye çalışılmasıdır. Optimum tasarım parametreleri elde edilmeye çalışılırken geleneksel UAT’da Wardropian denge sistemi kullanılır (Wardrop, 1952). Fakat Wardropian denge sisteminin kullanılması yol ağını kullanan yol kullanıcılarının davranışlarını gerçekçi olarak ifade etmeyebilir. Bu durumda Stokastik Kullanıcı Dengesi (SKD) sisteminin kullanılması daha uygun olacaktır (Ceylan, 2002, Ceylan ve Bell, 2004, 2005, Ceylan, 2005).

Bir ulaşım ağında linkler yolları, düğümler kavşakları ve yerleşim durumları ise seyahat başlangıç ve bitiş yerlerini temsil eden bir yapı olarak gösterilebilir. Seyahat tablosu her bir düğüm arası yapılan seyahatleri gösterir. Ağ tasarımında hedef, ulaşım ağındaki linklerden hangilerinin iyileştirilmeleri, eklenmeleri veya mevcutlardan hangilerinin kullanıma kapatılması sonucu toplam işletim ve kullanım maliyetinin düşürülebildiğinin belirlenebilmesidir. UAT problemi yol ağlarının çözümünde matematiksel bir çıkarım olduğuna göre problemin genel formülasyonu aşağıdaki şekilde yapılabilir.

5.7. Deterministik Ulaşım Ağ Tasarımı Formülasyonu

Elemanları N , L olan ve N düğümler kümesini, L ise yönlendirilmiş linkler kümesini göstermek koşulu ile bir yol ağı $G(N,L)$ yönlendirilmiş grafik ile temsil edilebilir. Ağ performans fonksiyonu, $z(q,s)$ ile, performans link akım vektörü, $q \in L$ ve tasarım parametresi ya da sinyal kontrol parametresi, $s \in S$ ile gösterilsin. Ayrıca $s \in S$ kümesinin s kadar bileşeni bulunsun.

Trafik mühendisinin amacı s tasarım parametresinin optimum ya da yakın optimum değerlerini belirleyerek z fonksiyonunu sürücülerin yol kullanıcı davranışlarını içine alacak şekilde belirlemektir. Her bir yol kullanıcısı rotalarını seçerlerken bu rotanın en az maliyetli olmasını göz önüne alabilirler ve seçilmeyen rotalar seçilenlere göre daha yüksek maliyetli rotalar olarak kabul edilmelidir.

Belirlenen bu şartlar altında Aashtiani (1979) UAT problemini doğrusal olamayan tümleyici problem (nonlinear complementarity, NCP) olarak formüle etmiştir. Bu durumda NCP formülasyonu;

$$F(y,s).y = 0 \quad (5.28)$$

$$F(y,s) \geq 0 \quad (5.29)$$

$$y \geq 0 \quad (5.30)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $F = \begin{bmatrix} F^1 \\ F^2 \end{bmatrix}$ $y = \begin{bmatrix} y^1 \\ y^2 \end{bmatrix}$

$$F_r^1 = c_r - u_j \rightarrow \text{tüm } r \in P_j, j \in J \quad (5.31)$$

$$F_r^2 = \sum_{r \in P_j} h_r - d_j \rightarrow \text{tüm } j \in J \quad (5.32)$$

$$y_r^1 = h_r \rightarrow \text{tüm } r \in P \quad (5.33)$$

$$y_j^2 = u_j \rightarrow \text{tüm } j \in J \quad (5.34)$$

Burada,

- h : Rotalardaki trafik hacmi $h \in K$
 u : O/D seyahat süresi vektörü $u \in J$
 J : O/D çiftleri kümesi
 K : Ağdaki rota sayısı
 P_j : $j \in J$ arasındaki rotalar kümesi
 P : $\bigcup_{j \in J} P_j$
 $c_r(h,s)$: Rota r 'deki seyahat süresi
 d_j : $j \in J$ arasındaki verilen seyahat talebini göstermektedir.

Eğer A link-rota belirleme matrisi ise bu matrisin elemanları;

$$a_{lr} = \begin{cases} 1 & \text{eger link } l \text{ rota } r \text{'nin üzerinde ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

şeklinde olacaktır. Sonra h rota trafik hacimleri kullanılarak link trafik hacimleri Denklem (5.35) yardımı ile bulunabilir.

$$q = A * h \quad (5.35)$$

C toplam rota seyahat matrisleri olduğuna göre, rota maliyetlerinin link maliyetlerine dönüşümü

$$C = A^t * c \quad (5.36)$$

Şeklinde yapılabilir. Burada A^t link/rota belirleme matrisinin transpozesidir.

UAT problemi yukarıdaki genel formülasyonlar ve kısıtlardan sonra Denklem (5.40) şekline dönüşür.

$$F(y,s).y = 0 \quad (5.37)$$

$$F(y,s) \geq 0 \quad (5.38)$$

$$y \geq 0 \quad (5.39)$$

kısıtlarına bağlı olarak;

$$\min_{s \in S} z(q, s) \quad (5.40)$$

Burada y yardımcı değişkeninin çözüm alanı $y \in K + J$ 'dir.

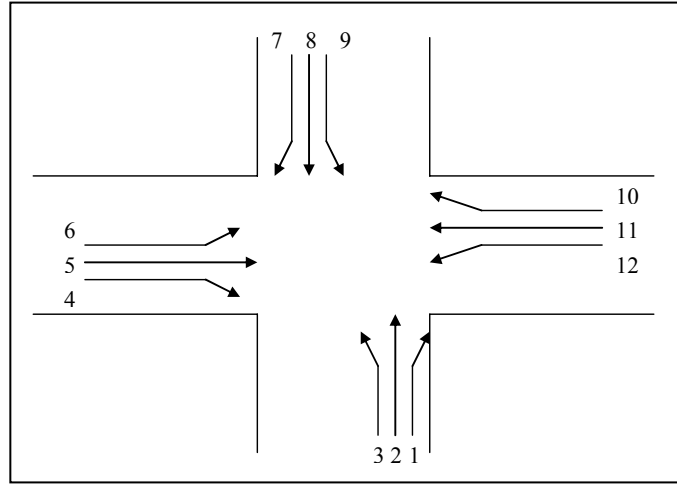
Denklem (5.40)'de S , kısıtları sağlayan mümkün tasarım parametreleri ya da sinyal parametreleri kümesidir. Eğer sinyalize bir ulaşım ağında tasarım parametresi olarak sadece sinyallerdeki yeşil sürelerin değişimi alınırsa, UAT problemi Fisk (1984)'e göre aşağıdaki şekilde çözülebilir.

$$z = (q, g) = \sum_l q_l c_l(q, g_l) \quad (5.41)$$

burada z , ulaştırma ağındaki toplam seyahat maliyeti, g_l , link l 'deki yeşil süre, C 'deki her bir bileşen c_l , link l 'deki yeşil süre g_l , ile etkileşim içerisinde olan trafik hacminin maliyet değeridir. Uygulamada sinyalize kavşaklarda maliyet fonksiyonunun detaylı olarak belirlenebilmesi için kavşaklardaki her bir yöne dönüş hareketlerinin ayrı bir link ile temsil edilmesi uygun olur. Farzedelim ki I , ulaşım ağındaki sinyalize kavşak sayısı olsun. Kavşak i 'ye yaklaşan trafik hacmine karşılık gelen yeşil sürelerin bazı kısıtları sağlaması gerekir ve bu durum faz kontrolü tipine bağlıdır. Örneğin Şekil 5.10a'da gösterildiği gibi dört kollu sinyalize bir kavşakta yeşil, kırmızı, sarı (YKS) fazları durumunda şu kısıtlar sağlanmalıdır.

$$\begin{aligned} g_1 = g_2 = g_3 & & g_4 = g_5 = g_6 \\ g_7 = g_8 = g_9 & & g_{10} = g_{11} = g_{12} \\ g_2 = g_8 & & g_5 = g_{11} \end{aligned}$$

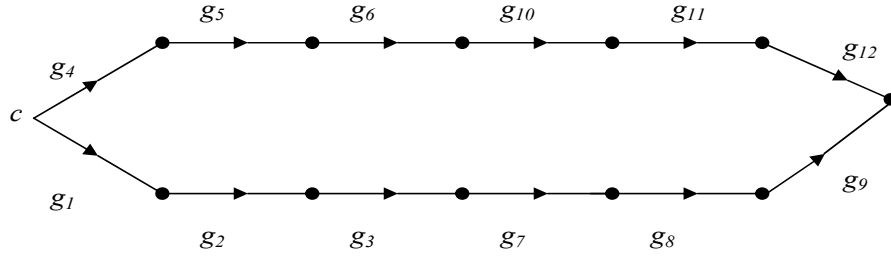
$g_2 + g_5 = c_i$ olup burada c_i , devre süresini göstermektedir.



Şekil 5.10a. Dört - kollu kavşaktaki olası dönüş linkleri

Şekil 5.10a'daki giriş linklerine verilebilecek mümkün yeşil sürelerin grafiksel gösterimi Şekil 5.10b'de verilmiştir. Şekil 5.10a'da b_1 üst rotadaki ve b_2 'de alt rotadaki trafik hacimlerini temsil ettiği düşünülürse;

$$b_1 + b_2 = c_i \text{ olacaktır.}$$



Şekil 5.10b. Şekil 5.10a için Y,K,S fazlarındaki sinyal ağının gösterimi

Ayrıca kavşakta sağa serbest dönüş okları verilirse, sinyal kontrol kısıtları;

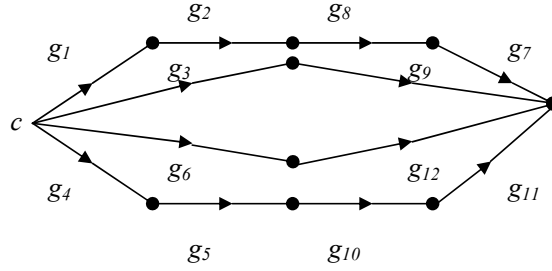
$$g_1 = g_2, g_4 = g_5, g_3 = g_9, g_7 = g_8$$

$$g_6 = g_{12}, g_5 = g_{11}, g_8 = g_2$$

$$g_1 + g_3 + g_4 + g_6 = c_i \text{ şekline dönüşecektir.}$$

Sinyal kısıtlarının yeniden düzenlenmiş hali Şekil 5.11’de verilmiştir. Eğer b_k rota k ’daki ($k = 1, 2, \dots, 4$) trafik hacmi ise

$$b_1 + b_2 + b_3 + b_4 = c_i \text{ olacaktır.}$$



Şekil 5.11. Sinyal kısıtlarına göre düzenlenmiş yeni rotalar

Sinyalize kavşakları içeren şehir içi ulaşım ağlarında link sayısından daha az rota sayısı olduğu için, UAT’da matematiksel problemi (Denklem 5.39) rota akım dönüşümlerini, b_k , kullanarak çözmek daha kolay olacaktır. Bu durumda Denklem (5.39) şöyle yazılabilir.

$$F(y, g) \cdot y = 0 \quad (5.42)$$

$$F(y, g) \geq 0 \quad (5.43)$$

$$y \geq 0 \quad (5.44)$$

kısıtlarına bağlı olarak,

$$\min \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} q_i c_i(q, g_i) \quad (5.45)$$

şekline dönüşecektir. Burada I_s : Sinyalize kavşaklar kümesi, L_i : $i \in I_s$ için sinyalize kavşağa yaklaşım kollar kümesini, M_i : Link/düğüm belirleme matrisini göstermektedir.

Eğer K_i sinyalize kavşaklı yol ağındaki rotalar kümesi, B , ve b vektörlerini içermekte ise kısıt dönüşümleri

$$\sum_{k \in K_i} b_k = c_i \quad i \in I_s \quad (5.46)$$

$$b_k \geq 0 \quad k \in K_i, i \in I_s \quad (5.57)$$

ifadeleri ile bulunur. Ayrıca;

$$g_l = \sum_k m_l l_k b_k \quad l \in L, i \in I_s \quad (5.58)$$

eşitliği yazılabilir. G , Denklem (5.46)'da bulunan ve $b \in B$ olan tüm g 'lerdir. Yani yeşil süreler kümesidir.

UAT problemlerinin alternatif formülasyonları literatürde;

1. Hibrid optimizasyon;
2. Sonsuz kısıtlandırılmış matematiksel (varyasyonel) eşdeğersizlik;
3. Implicit;
4. Maks-min;
5. Genetik ve tavlama;
6. Oyun teorisi;
7. Ceza ve
8. İki-seviyeli formülasyon olarak sıralanabilir.

Bu yaklaşımlardan en yaygın olarak kullanılanlardan bir tanesi iki-seviyeli ağ tasarım formülasyonu olup aşağıda verilmiştir.

5.7.1 İki-Seviyeli Programlama

Bu yaklaşımda üst seviyede kontrol problemi formüle edildikten sonra alt seviyede bulunan trafik hacimleri kullanılarak karşılıklı etkileşim içerisinde her iki problem çözülmeye çalışılır.

Üst seviye problemi (ÜS):

$$\text{Min}_s z(q, s) \quad (5.59)$$

Alt seviye problemi (AS):

$$G(q, s) \geq b \quad (5.60)$$

kısıtına bağlı olarak

$$\underset{q}{\text{Min}} z(q, s) \quad (5.61)$$

ifadelerinin çözülmesiyle bulunur. Burada s , ÜS kontrol parametreleri kümesini (tasarım parametreleri), q alt seviyede tür seçimi veya rota seçimi kavramları kullanılarak denge koşulu altında elde edilen trafik hacimleridir. Denklem (5.60) ve (5.61)'in çözümlenebilmesi için ağ veya link maliyet fonksiyonlarının bilinmesi gerekmektedir.

Ulaşım ağlarının kullanımı sırasında genelleştirilmiş maliyet, trafik hacmi ve seyahat maliyetine bağlı olarak doğrusal olmayan bir şekilde artar. Ağ maliyet fonksiyonları ampirik fonksiyonlar olup çözümleri yaklaşık matematiksel hesaplama metotlarının kullanılmasını gerektirmektedir. En çok kullanılan maliyet fonksiyonu Amerikan Ulaştırma Bakanlığı tarafından geliştirilen üstel link maliyet fonksiyonudur. Ayrıca alternatif maliyet fonksiyonları da geliştirilebilir.

Bunlardan bir tanesi, kullanıcı maliyeti ile trafik hacminin çarpılması ile bulunur. Bu durumda toplam seyahat maliyeti ardışık linklerin kullanıcı maliyeti olarak hesaplanabilir. Böyle bir maliyet fonksiyonu Şekil 5.12'de verilmiştir (LeBlanc ve Boyce, 1986).

Doğrusal olarak link maliyetini formülize edebilmek için;

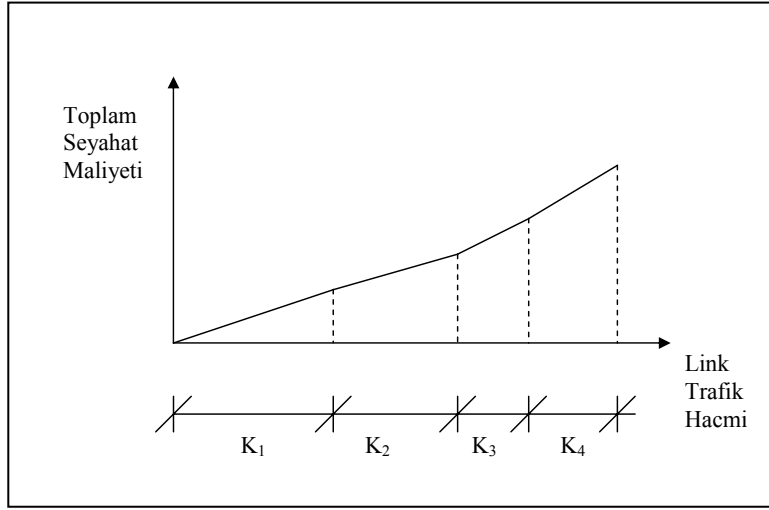
m_l : Toplam doğrusal maliyet fonksiyonundaki toplam segman sayısı;

K_{lm} : Link l deki segman m ' in kapasitesi;

C_{lm} : Link l deki segman m ' in eğimi;

x_{lm} : Link l deki segman m ' in üzerindeki trafik hacmi ve

x_l : Link l 'deki toplam trafik hacmi olsun.



Şekil 5.12. Doğrusal link maliyet fonksiyonu

Bu durumda link l 'deki toplam ardışık seyahat maliyeti;

$$\sum_{m=1}^{m_l} C_{lm} * X_{lm} \quad (5.62)$$

olarak yazılabilir. Burada her bir segment m için $0 \leq x_{lm} \leq K_{lm}$ ve $x_l = \sum_{m=1}^{m_l} x_{lm}$ dir.

Doğrusal maliyet fonksiyonu kullanılarak iki seviyeli ağ tasarım probleminin çözümü için birçok algoritma geliştirilmiş olup bu algoritmalardan bir tanesi aşağıda verilmiştir. Bunun için öncelikle şu notasyonların tanımlanması gerekir.

- J : Hedef düğümdeki düğümlerin sayısı;
- x_i^j : Hedef J için link l 'deki trafik hacmi;
- T_{ij} : Kaynak i ve hedef j arasındaki gerekli seyahat talebi;
- A_i : Düğüm i 'den çıkan linkler kümesi;
- B_i : Düğüm i 'ye giren linkler kümesi;
- x_{lm} : Link l 'in m segmentindeki tüm hedeflere giden trafik hacmi;
- x_l^j : Hedef J 'e giden link l 'deki tüm segmentler üzerindeki toplam trafik hacmi ve
- T_{ij} : Statik olmak koşulu ile

Trafik hacim kısıtlarının dönüşümleri;

$$T_{ij} + \sum_{l \in B_i} x_l^j = \sum_{l \in A_i} x_l^j \quad (5.63)$$

tüm düğüm i 'ler, tüm hedef düğümü j 'ler için (i 'den başlayan trafik hacmi ve i 'ye giren hacimlerin toplamı link i 'den ayrılan trafik hacmine eşittir).

Toplam trafik hacmi ise hedef düğümlere ayrılan toplam trafiktir. Diğer bir deyişle; $x_l^1 + x_l^2 + \dots + x_l^j$, dir.

Ayrıca link l 'deki toplam trafik hacmi her bir segman üzerinde hareket eden trafik hacimlerinin toplamıdır ve $x_{l1} + x_{l2} + \dots + x_{lm_l}$ olarak gösterilebilir. Trafik hacmi kısıtları tüm linkler i için

$$\sum_{m=1}^{M_l} x_{lm} = \sum_{j=1}^J x_l^j \quad (5.64)$$

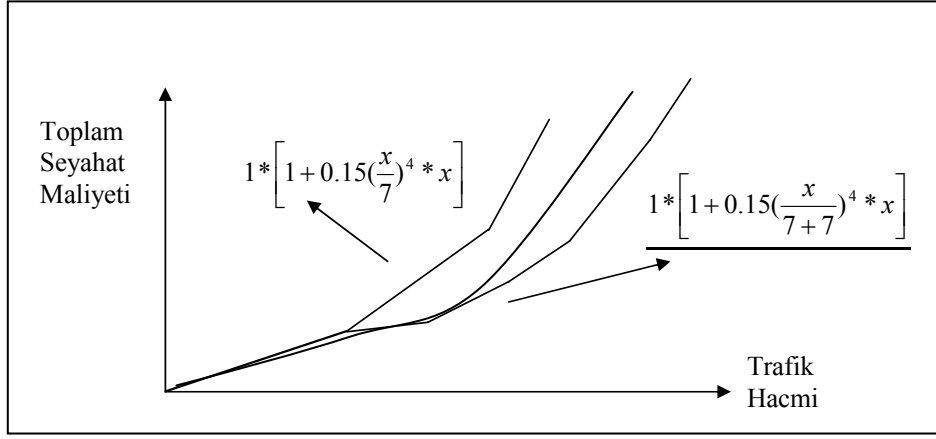
link kapasite kısıtları link l 'deki her bir segman m için

$$x_{lm} \leq K_{lm} + \alpha_{lm} y_l \quad (5.65)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Doğrusal maliyet fonksiyonu yapılan UAT modelinde, karar parametreleri y_l , link l 'ye ilave edilebilecek birim kapasite olarak ele alınır, bu link üzerinde bulunan her bir segman $\alpha_{lm} y_l$ gibi bir birim kapasiteye sahip olacaktır ve α_{lm} 'in toplamı, $\sum_m \alpha_{lm} = 1$ olacaktır.

Üç segmanlı bir linkin ek kapasite yaratılması sonucu toplam link maliyet değişimleri Şekil 5.13'te üstel BPR (Bureau of Public Roads) fonksiyonuna göre verilmiştir.



Şekil 5.13. BPR'a göre toplam link maliyet değişimleri

Şekil 5.13'ten görülebileceği üzere doğrusal ve doğrusal olmayan BPR maliyet fonksiyonları ile çözümlenebilen örnek ulaşım ağı iyileştirmeden önce ve sonra yaklaşık aynı maliyet değerlerini verebilmektedir. Bu durumda birçok segmanı içeren linkler doğrusal maliyet fonksiyonları ile çözümlenebilir. Daha büyük ulaşım ağları için bilinmeyen sayısındaki artış nedeni ile doğrusal maliyet fonksiyonları ile ulaşım ağ tasarımı yapmak oldukça zor görünmektedir.

Link iyileştirmelerinden sonra ulaşım ağının tekrar çözümlenmesi gerekmektedir. Yeniden tasarım yapılırken ağa dağılan rota veya link trafik hacimlerinin yol kullanıcılarının davranışlarını dikkate alan maliyet fonksiyonları ile minimuma indirilmesi gerekmektedir. Örneğin kullanıcı dengesi (KD) altında link trafik hacimleri;

$$\min \sum_{l_m} \bar{c}_{l_m} x_{l_m} \cdot \quad (5.66)$$

ifadesinin çözülmesiyle elde edilebilir. Burada \bar{c}_{l_m} link l 'deki segman m 'nin kapasitesine bağlı (pozitif, negatif) bir katsayı yani segmanların maliyet fonksiyonunun eğimi ve c_{l_m} ise toplam maliyet fonksiyonudur. Denklem (5.66), (5.64)-(5.65) kısıtlarına bağlı olarak çözülür.

Sonuç olarak; KD altında ağ tasarımı problemi;

$$\min_y \sum_l \sum_m c_{lm} x_{lm} + \gamma \sum_l b_l y_l \quad (5.68)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Burada x 'in optimum olabilmesi için;

$$\min_\alpha \sum_l \sum_m \bar{c}_{lm} x_{lm} \quad (5.69)$$

Denklemleri aşağıdaki kısıtlara bağlı olarak çözümlenmelidir.

$$T_{ij} = \sum_{l \in B_i} x_l^j = \sum_{l \in A_j} x_l^j \quad \text{Her bir düğüm } i \text{ ve her bir hedef } j \text{ için} \quad (5.70)$$

$$\sum_{m=1}^{M_l} x_{lm} = \sum_{j=1}^J x_l^j \quad \text{Her bir link } l \text{ için} \quad (5.71)$$

$$x_{lm} \leq x_{lm} + \alpha_{lm} y_l \quad \text{Link } l \text{'nin } m \text{ segmanı için} \quad (5.72)$$

Denklemler (5.68) ve (5.69) matematiksel modelleri, kullanıcı dengesi optimumunu ile sistem optimumunu (SO) göstermektedir ve bu model sürücülerin SO davranışını temsil eden ulaşım ağ tasarımı modelidir.

Ulaştırma ağlarında herhangi bir doğrusal iki-seviyeli UAT programı tek bir doğrusal program gibi çözümlenerek her iterasyonda amaç fonksiyonu modifiye edilerek ve yeniden doğrusal program çözümlenerek sonuca ulaşılabilir. Matematiksel çözümleme sırasında herhangi bir amaç fonksiyonu seçilebilir. Bu amaç fonksiyonlarından bir tanesi konveks kombinasyon (CC) metodu olup UAT probleminin I ve II. seviyelerinin her biri bu metodun yardımıyla çözümlenir. CC metodunda amaç fonksiyonu;

$$P(x; y; \lambda) = \lambda \left[\sum_l \sum_m c_{lm} x_{lm} + \gamma \sum_l b_l y_l \right] + (1 - \lambda) \left[\sum_l \sum_m \bar{c}_{lm} x_{lm} \right] \quad (5.73)$$

olup Denklem (5.73)'te λ 0 ile 1 arasında sabit bir değerdir.

(5.68)-(5.73) arasındaki denklemlerin çözümü Denklem (5.73)'e eşdeğer olduğu düşünülen Denklem (5.75)'e dönüştürülebilir (LeBlanc ve Boyce, 1986).

$$\min_{x,y,z} \sum_{lm} \bar{c}_{lm} x_{lm} + xz \quad (5.74)$$

Denklem (5.74)'teki kısıtlar

$$z = \sum_{lm} c_{lm} x_{lm} + \gamma \sum_l b_l y_l - \sum_{lm} \bar{c}_{lm} x_{lm} \quad (5.75)$$

ile Denklem (5.70)-(5.72) kısıtlarıdır. Denklem (5.74)'te z skaler bir değer olup (5.75)'te verilmiştir. Denklem (5.74)'ün çözümü λ 'ya bağlı aşağıdaki adımlar kullanılarak çözülür.

Adım 0. $\lambda = 1$, $k = 1$ ve $\varepsilon > 0$ olarak al

Adım 1. Denklem (5.74)'ü (5.75)-(5.70-5.72) kısıtına bağlı olarak çözüp, çözümleri (x^k, y^k, z^k) olarak göster.

Adım 2. Trafik hacimleri, x^k 'ların KD'yi sağladıklarını kontrol et ve hacimler KD'yi sağlıyorsa; dur. Bulunan sonuçlar (x^k, y^k) 'nın UAT'daki optimal çözümüdür. Değilse;

Adım 3. Duyarlılık analizi kullanılarak yeni x 'leri hesapla ve $\lambda_{\min} \geq 0$ şartını kontrol et. λ 'nın en küçük değeri (x^k, y^k, z^k) doğrusal programda optimal olacaktır. Bundan sonra λ 'yı $\lambda_{\min} - \varepsilon$ 'a değiştir ve 1. adıma dön.

Yukarıdaki adımlar ve iki-seviyeli program $\lambda = 1$ için çözüldüğü zaman doğrusal program (LP) sistem optimum trafik hacimlerini, 0'a yaklaştıkça kullanıcı optimum trafik hacimlerini verecektir. Ayrıca herhangi bir ulaşım ağının bu yöntemle çözülebilmesi için Adım 1'de N toplam düğüm sayısı, J (O/D) toplam ağdaki düğüm sayılarını, L ağdaki link sayılarını, M iyileştirme ya da tasarımılandırılacak segman sayısı olmak üzere, LP programının çözümü için $NJ+L+ML+L$ toplamı kadar kısıt sayısı bulunmaktadır. Örneğin 600 linkli, 3 iyileştirme linki ve 200 düğümlü (düğümlerden 40 tanesi O/D düğümü olursa) 10.410 kısıt sayısı ile ulaşım ağı çözümlenmelidir. Büyük ulaşım ağlarında bu kadar kısıt sayısı ve mevcut bilgisayar kapasiteleri ile böyle bir problemi çözmek oldukça zor olup, çözüm için eşdeğer matematiksel

dönüşümlerin yapılarak eşdeğer minimizasyon yöntemleri geliştirilmelidir. Aşağıdaki ifade ile eşdeğer minimizasyon için ulaşım ağ tasarım modeli verilmiştir.

$$\min_{x,y} \lambda \left[\sum_l f_l(x_l, k_l + y_l) x_l + \gamma \sum_l b_l y_l \right] + (1 - \lambda) \left[\sum_l \int_0^{x_l} f_l(t, k_l + y_l) dt \right] \quad (5.76)$$

Denklem (5.76)'daki ilk terim, $c_l = f_l(x_l, k_l)$, link iyileştirilmesi yapılmadan önceki kullanıcı maliyet fonksiyonu ve ikinci terim, $c_l = f_l(x_l, k_l + y_l)$, link iyileştirildikten sonraki maliyet fonksiyonudur. Eşdeğer minimizasyon denkleminin (5.76) çözümlenebilmesi için (5.70) trafik hacmi dönüşüm kısıtının sağlanma zorunluluğu bulunmaktadır.

Buraya kadar olan kısımda KD altında doğrusal ve doğrusal olmayan maliyet fonksiyonları ile UAT modelleri ve uygulamaları anlatılmıştır. Ulaşım ağlarının kullanımı sırasında gerçek durumları daha iyi temsil ettiği düşünülen (Sheffi, 1985, Bell ve Iida, 1997) SKD altında iki-seviyeli program ve geliştirilen model uygulamaları anlatılmıştır.

5.8. Stokastik Ağ Tasarımı Formülasyonu

- A : Ağdaki linkler kümesi
- F : Tasarım parametrelerini içeren alt linkler kümesi
- x : Bağ akımlarının kolon vektörü $\{x_a\}$, $a \in A$
- $P_{(c)}$: Link maliyetlerine bağlı link seçim olasılıkları
- t : B-V talebinin kolon vektörü $\{t_{rs}\}$
- t_{rs} : B-V matrisinde r-s için seyahat talebi
- s : Tasarım parametreleri vektörü $\{s_a\}$, $a \in \bar{A}$ olsun.

Link trafik hacmi x ile tasarım parametresi s arasında $x = x(s)$ gibi bir ilişki vardır. Bu ilişkinin s^0 noktası etrafında genişletilmesiyle $x(s) = x(s^0) + \frac{\partial x(s^0)}{\partial s} (s - s^0)$ doğrusal açılımı yaklaşık olarak hesaplanabilir.

Deterministik kullanıcı dengesi altında x ve s arasında kapalı bir fonksiyon bulunmaktadır. Fakat $\frac{\partial x(s^0)}{\partial s}$ terimini bulmak oldukça zordur. Bu yüzden yeni yaklaşımlara ihtiyaç vardır.

Stackelberg oyun teorisi yaklaşımı altında iki-seviyeli ulaşım ağ tasarımı modeli şöyle ifade edilebilir.

Üst seviyedeki problem (ÜS);

$$\min_{s,x} z(s, x, c(s)) = \sum_a x_a(x_a, s) + u(s) \quad (5.77)$$

Alt seviyedeki problem (AS)

$$x - p(c(x, s))t = 0 \quad (5.78)$$

Burada $u(s)$ ulaşım ağının iyileştirilmesi için yapım maliyeti ya da ağı iyileştirme maliyetidir. ÜS problemi yol ağındaki seyahat maliyetini ve yapım (iyileştirme) maliyetlerini azaltmak olarak açıklanabilir.

Alt seviye problemi ise SKD altındaki ağ yüklemesidir. AS'de $x^\alpha(s)$, verilen bir s parametre vektörünün SKD altındaki çözüm noktasını temsil eder;

$$f(x^\alpha(s), s) = 0 \quad (5.79)$$

olacaktır. Eğer $f(x, s)$ fonksiyonunun kısmi türevinin alınabileceğini kabul edersek, $(x, s) = (x^\alpha(s^0), s^0)$ civarında bu fonksiyon Taylor serisine açılarak genişletilebilir. $f(x, s)$ fonksiyonunun Taylor serisine açılımı (5.80)'de verilmiştir.

$$f(x, s) \approx f(x^\alpha(s^0), s^0) + \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_{(x^\alpha(s^0), s^0)} + \frac{\partial f}{\partial s} \Big|_{(x^\alpha(s^0), s^0)} \quad (5.80)$$

Türev terimleri $f(x,s)$ fonksiyonunun x ve s 'e bağlı $(x^\alpha(s^0), s^0)$ noktasında hesaplanan Jakobian matrisleridir ve J_x ve J_s olarak ifade edilebilir.

SKD durumu için s^0 noktasında $f(x^\alpha(s^0), s^0) = 0$ olduğu için s^0 , $x^\alpha(s^0)$, J_x ve J_s belirlenebilir. Sonra diğer S kümesindeki herhangi bir s^0 değeri için denge koşulu $x(s)$, $f(x(s), s) = 0$ olacak şekilde yaklaşık hesaplama metotları ile çözülebilir. Böylece;

$$0 \approx 0 + J_x(x(s) - x^\alpha(s^0)) + J_s(s - s^0) \quad (5.81)$$

elde edilecektir. (5.81)'in düzenlenmesiyle;

$$x(s) = x^\alpha(s^0) - J_x^{-1} \cdot J_s(s - s^0) \quad (5.82)$$

yaklaşık çözüm ifadesi bulunur. Implicit fonksiyon teoremine göre stokastik denge altında link trafik hacminin tasarım parametresine göre duyarlılığı; $\frac{\partial x}{\partial p} = -J_x^{-1} \cdot J_s$ kısmi diferansiyeli ile bulunabilir. Denklem (5.81) kullanılarak iki-seviyeli problem iteratif şekilde çözülebilmektedir. Ayrıca (5.81) AS programına bağlı olarak rota seçim olasılıklarını dikkate aldığı için Stackelberg oyununu vermektedir. Denklem (5.81) çözüldükten sonra rota seçim olasılıklarını bulmak için logit rota seçim modeli kullanılmıştır. Logit modelin yapısı;

$$p_k(c) = \frac{\exp(-\theta c_k)}{\sum_{i \in K} \exp(-\theta c_i)} \quad (5.83)$$

şeklindedir. Denklem (5.83)'de θ sürücülerin rota seçimindeki algılama farklılıklarını, $p_k(c)$ rotaların seçilme olasılıklarını, k her bir B-V matrisini bağlayan rotalar kümesini ve c_k ise toplam rota maliyetini temsil etmekte olup denklem (5.84) yardımıyla hesaplanır.

$$c_k = \sum_a c_a \delta_{ak} \quad (5.84)$$

Burada c_a a linki için maliyet fonksiyonu, δ_{ak} ise link/rota belirleme matrisi olup;

$$\delta_{ak} = \begin{cases} 1 & \text{Eger link } a \text{ rota } k \text{ nın üzerinde ise} \\ 0 & \text{Degilse} \end{cases}$$

şeklindedir. Ayrıca rota seçim olasılıkları, $p_k(c)$, ile link seçim olasılıkları, $p_a(c)$, arasında;

$$p_a(c) = \sum_k p_k(c) \delta_{ak} \quad k \in K \quad (5.85)$$

dönüşümü yapılabilir. Denklem (5.82)'min çözülebilmesi için f fonksiyonunun x ve s 'e bağlı iki türevini almak gerekmektedir. f fonksiyonunun x 'e göre olan ilk türevi;

$$\frac{\partial f_b}{\partial x_a} = \frac{\partial}{\partial x_a} (x_b \quad p_b(c).t) = \partial_{ba} \left(\frac{\partial p_b(c)}{\partial x_a} \cdot \frac{\partial x_a}{\partial x_a} \right) \quad (5.86)$$

Burada ∂_{ba} , t seyahat tablosundaki her bir hücredeki seyahat talebi ve $\frac{\partial c_a}{\partial x_a}$ maliyet fonksiyonunun trafik hacmine göre türevi olup link maliyet fonksiyonları bilindiği durumlarda kolaylıkla hesaplanabilir. (5.86)'daki $\frac{\partial p_b(c)}{\partial c_a}$ terimi şöyle hesaplanabilir.

$$\frac{\partial p_b(c)}{\partial c_a} = \frac{\partial}{\partial c_a} \left(\sum_k p_k(c) \delta_{bk} \right) = \sum_k \frac{\partial p_k}{\partial c_a} \cdot \delta_{bk} \quad k \in K \quad (5.87)$$

Logit model (5.83) ve (5.84) yardımıyla $\frac{\partial p_k}{\partial c_a}$ Denklem (5.89)-(5.90)'a dönüştürülebilir.

Özetle;

$$\frac{\partial p_k}{\partial c_a} = -\theta \left[p_k \delta_{ak} - p_k \left(\sum_i p_i \delta_{ai} \right) \right] \quad i \in K \quad (5.88)$$

$$\frac{\partial p_b(c)}{\partial c_a} = \sum_k \frac{\partial p_k(c)}{\partial c_a} \delta_{bk} = -\theta \sum_k [p_k \cdot \delta_{ak} - p_k (\sum_i p_i \delta_{ai})] \delta_{bk} \cdot t \quad k, i \in K \quad (5.89)$$

olup δ_{ak}, δ_{bk} ve δ_{ai} yardımcı değişkenlerdir. Eğer $a, b \in k$ ve $a \in i$ ise $\delta_{ak}, \delta_{bk}, \delta_{ai} = 1$; Diğer durumlarda $\delta_{ak}, \delta_{bk}, \delta_{ai} = 0$ 'dır.

Benzer şekilde f fonksiyonunun tasarım parametresine göre kısmi diferansiyeli:

$$\frac{\partial f_b}{\partial s_a} = \theta \left(\frac{\partial c_a}{\partial p_a} \right) \cdot \sum_k \left[p_k \delta_{ak} - p_k (\sum_i p_i \delta_{ai}) \right] \delta_{bk} \cdot t \quad k, i \in K \quad (5.90)$$

yardımla bulunur. Denklem (5.82), (5.89) ve (5.90) yaklaşık türevleri kullanılarak çözülebilir. Bu çözümü yapmak için gerekli algoritma adımları şu şekildedir:

Adım 0: $n = 0$, s^0 olarak al;

Adım 1: $n = n + 1$ olarak ata

Adım 2: Alt seviye problemi (5.78)'i çöz.

Adım 3: Türevleri hesapla ve

$$x(s^n, s^{n-1}) = x(n^{-1}) - J_x^{-1} \cdot J_s (s^n - s^{n-1}) \text{ değerlerini her bir adım için bul;}$$

Adım 4: Üst seviye problemini (Denklem 5.77) çöz ve hesaplanan değerleri $x(s^n, s^{n-1})$ olarak al ve s^n yeni değerini bul; ve.

Adım 5. Yakınsama kriteri sağlanırsa dur aksi takdirde Adım 1'e dön.

Modelleme çalışmasında yukarıda verilen problem çözülrken yakınsama kriteri olarak iterasyonlar arasındaki fark 0.000001 değerinden küçük oluncaya kadar iterasyonlara devam edilmiştir. Fakat yakınsama kriteri olarak farklı yaklaşımlar da kullanılabilir.

Şimdiye kadar yapılan modelleme çalışmalarının ve geliştirilen çözüm algoritmalarının Stackelberg oyununu da içerecek şekilde aşağıda uygulaması verilmiştir.

5.8.1. Stokastik Ulaşım Ağ Tasarımının Çalışma Sayfası ile Örnek Çözümü

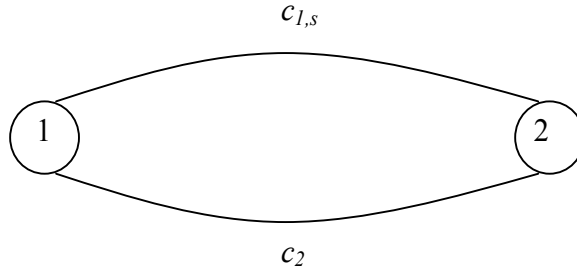
Yukarıda formülasyonu verilen ulaşım ağ tasarımı problemi Çalışma sayfası (ÇS) yardımıyla çözülmeye çalışılmıştır. ÇS içerisinde bulunan quasi-Newton ve diğer yaklaşık çözümleri kullanan “Çözücü” aracından yararlanılarak makro yardımcı ile UAT problemi çözülmüştür.

Şekil 5.14’te verilen örnek 1 adet B-V çifti ve 2 rotayı içermektedir. Rota 1’deki maliyet fonksiyonu s tasarım parametresi ve trafik hacmine bağlı olup rota 2 ise sadece trafik hacmine bağlıdır. Problemin anlaşılabilmesi için 1’den 2’ye olan talep 1 birim (1 araç/sa) alınmıştır. Rota maliyet fonksiyonları,

$$c_1 = 1 + 2sx_1^2$$

$$c_2 = 2 + x_2$$

olarak verilmiştir. Başlangıçta sürücü davranışlarını gösteren θ parametresi 1 olarak alınmıştır. Ayrıca ağ iyileştirme maliyeti de, $u(s) = 20(s^n - s^{n-1})^2$ olarak verilmiştir.



Şekil 5.14. Örnek yol ağı

Eşdeğer Rota Maliyetleri (Ec_a)

$$Ec_a = c_a + \frac{1}{\theta} \ln(x_a) \quad (5.91)$$

denklemleri ile bulunmuştur.

Üst seviyedeki amaç fonksiyonu örnek uygulamada

$$\min_{s,x} z(s, x, c(s)) = x_1(1 + 2sx_1^2) + x_2 * (2 + x_2) + 20(s^n - s^{n-1})^2 \quad (5.92)$$

şekline dönüşecektir. Denklem (5.92), $x_1 + x_2 = 1$ akım dönüşüm kısıtını sağlamalıdır.

Alt seviyedeki problemin çözülebilmesi için bu örnek ağ için Denklem (5.78)'in düzenlenmesi ile rota veya link 1'deki trafik hacmi

$$\frac{x_1}{1} = p_1 = \frac{e^{-\theta(1+2sx_1^2)}}{e^{-\theta(1+2sx_1^2)} + e^{-\theta(2+x_2)}}$$

bağıntısı ile elde edilir. Bu denklem'in düzenlemesiyle,

$$x_1 = \frac{1}{1 + e^{\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)}} \quad \text{ve}$$

$$x_2 = \frac{1}{1 + e^{-\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)}}$$

$$f(x_1, x_2, s) = x_1 = \frac{1}{1 + e^{\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)}} \quad \text{ya da}$$

$$f(x_1, x_2, s) = x_2 = \frac{1}{1 + e^{-\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)}}$$

$$f(x_1, x_2, s) = x_1 + x_1 \cdot e^{\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)} - 1 \quad (5.93)$$

$$f(x_1, x_2, s) = x_2 + x_2 \cdot e^{-\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)} - 1 \quad (5.94)$$

ifadeleri kullanılarak x_1 ve x_2 trafik hacimleri iterasyonlarla bulunur.

(5.92) ve (5.93) fonksiyonlarının x_1 , x_2 ve s 'e göre kısmi türevleri aşağıda alınmıştır.

$$\frac{\partial f_1}{\partial x_1} = 1 + e^{\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)} + 4x_1^2 \cdot \theta \cdot s \cdot e^{\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)}$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial x_2} = -x_1 \cdot \theta \cdot e^{\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)}$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial s} = 2x_1^3 \cdot \theta \cdot e^{\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)}$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial x_1} = -4x_2 \cdot \theta \cdot s \cdot x_1 \cdot e^{-\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)}$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial x_2} = 1 + e^{-\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)} + x_2 \cdot \theta \cdot e^{-\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)}$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial s} = -2x_2 \cdot \theta x_1^2 \cdot e^{-\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)}$$

Türevlerin Jakobian matris formunda yazılımı

$$J_x = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix}$$

$$J_s = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial s} \\ \frac{\partial f_2}{\partial s} \end{bmatrix}$$

şeklinde olup, hesaplanmış Jakobian matrisleri aşağıda verilmiştir.

$$J_x = \begin{bmatrix} (1 + e^{\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)} + 4x_1^2 \theta s e^{\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)}) & (-x_1 \theta e^{\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)}) \\ (-4x_2 \theta s x_1 e^{-\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)}) & (1 + e^{-\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)} + x_2 \theta e^{-\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)}) \end{bmatrix}$$

$$J_s = \begin{bmatrix} 2x_1^3 \theta e^{\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)} \\ -2x_2 \theta x_1^2 e^{-\theta(2sx_1^2 - x_2 - 1)} \end{bmatrix}$$

$p = 1$, alınarak bu problemin 1. iterasyon sonucundaki trafik hacim değerleri quasi-Newton metodu ile;

$$x_1^* = 0.6356$$

$$x_2^* = 0.3644$$

olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan Jakobian matrisleri ise aşağıdaki gibidir:

$$J_x = \begin{bmatrix} 2.500 & -0.364 \\ -1.616 & 3.380 \end{bmatrix}$$

$$J_s = \begin{bmatrix} 0.294 \\ -0.514 \end{bmatrix}$$

Trafik hacimlerine göre alınan Jakobian matrisin tersi;

$$J_x^{-1} = \begin{bmatrix} 0.430 & 0.046 \\ 0.206 & 0.318 \end{bmatrix}$$

şeklindedir ve tasarım parametrelerinin Jakobian matrisi ile çarpımı sonucu

$$J_x^{-1} \cdot J_p = \begin{bmatrix} 0.103 \\ -0.103 \end{bmatrix}$$

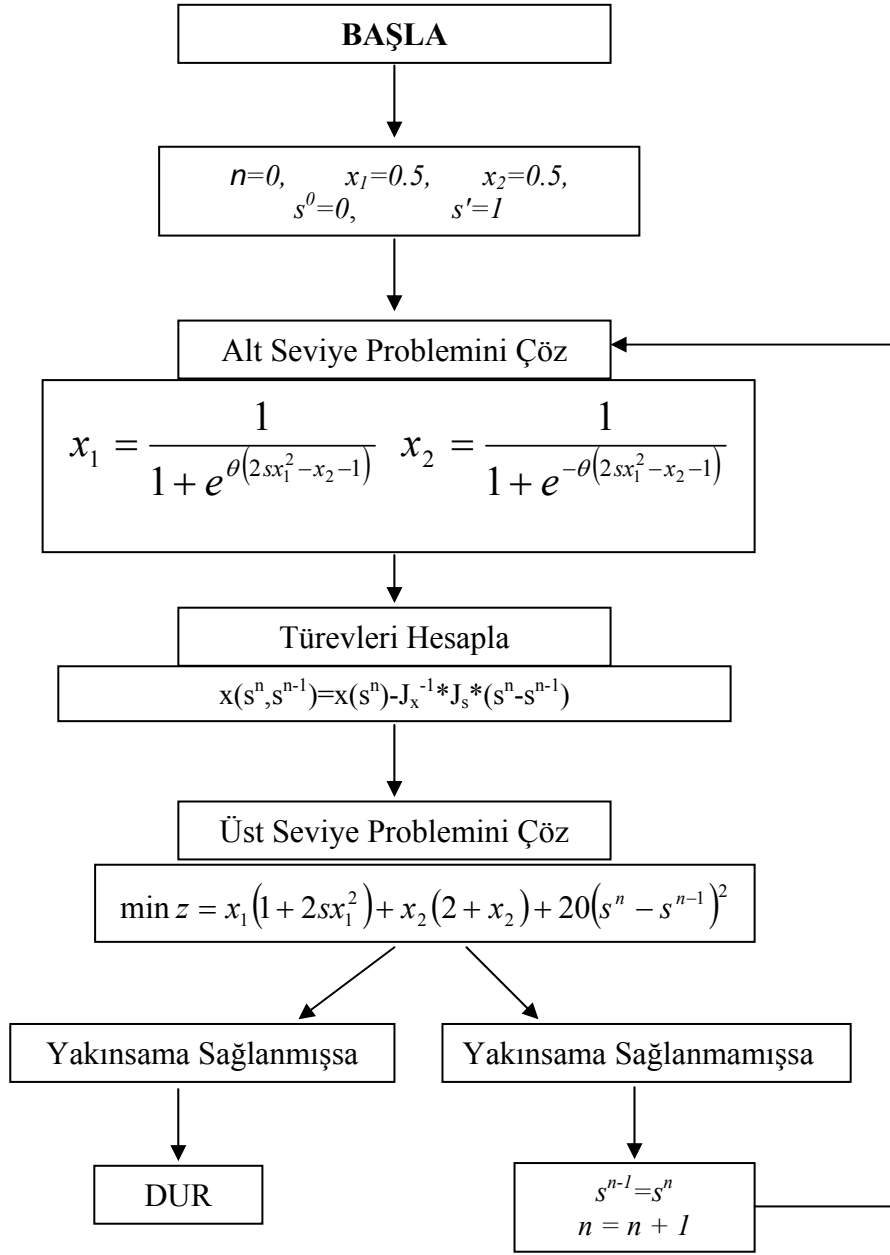
matrisi elde edilir. Denklem (5.81)' e göre yeni trafik hacim değerleri;

$$x_1(s') = 0.588$$

$$x_2(s') = 0.412$$

olarak hesaplanır. Bu aşamadan sonra yeni tasarım parametresi Denklem (5.92) quasi-Newton metoduna göre hesaplanan trafik hacimleri için s tasarım parametresi üst seviye probleminin çözülmesi sonucu 1.526 olarak ilk iterasyon sonucunda bulunur. Daha sonra, 1. iterasyon tamamlanarak yakınsama elde edilinceye kadar hesaplara devam edilir. Bu işlem aşağıda açıklanmıştır.

Çözücü programı, ÇS içinde değişik nümerik metotları kullanarak konveks yapıdaki problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. UAT probleminde yapı konveks olmayan tipte olduğu için çözücü programının, program içersinden defalarca çağırılması gerekmektedir. ÇS'nın kullanılabilmesi için gerekli makro akış şeması Şekil 5.15'te verilmiştir.



Şekil 5.15. UAT'ın akış diyagramı

Şekil 5.16'da örnek bir ÇS görülmektedir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2	KISITLAR	Ec ₁	2.328			14.634	-0.694		Start Process			
3		Ec ₂	2.328		J _x =	-5.022	1.748					
4		x ₁	0.306									
5		x ₂	0.694		J _s =	0.130			Reset			
6		x ₁ +x ₂	1.000			-0.058						
7				1								
8	DEĞİŞKENLER	s	0		J _x ⁻¹ =	0.079	0.031					
9						0.227	0.662		x ₁ (s)	0.306		
10		q	1						x ₂ (s)	0.702		
11		n	100		J _x ⁻¹ *J _p =	0.008						
12						-0.008			f(x ₁ ,x ₂ ,s)-x ₁ (s)	0.0		
13												
14												
15	Min z	2.9440012	n	s	s_yeni				s_yeni	13.376		
16			8	13.37633	13.376							
17	x1	-0.00000089										
18												
19	PROGRAM ÇIKTILARI											
20	n	z	zyeni	x1	x2	yakınsama	s	s_yeni	XaCa	U©	Ec1	Ec2
21	0	2.944	143.345	0.341	0.659	9.32724	0.000	10.000	2.884	2000.000	2.243	2.243
22	1	2002.884	141.645	0.313	0.687	0.92928	10.000	12.634	2.933	3192.133	2.312	2.312
23	2	141.645	9.752	0.308	0.692	0.93115	12.634	13.217	2.942	3493.832	2.325	2.325
24	3	9.752	3.258	0.307	0.693	0.66596	13.217	13.342	2.944	3560.403	2.327	2.327
25	4	3.258	2.958	0.306	0.694	0.09192	13.342	13.369	2.944	3574.689	2.328	2.328
26	5	2.958	2.945	0.306	0.694	0.00459	13.369	13.375	2.944	3577.736	2.328	2.328
27	6	2.945	2.944	0.306	0.694	0.00020	13.375	13.376	2.944	3578.385	2.328	2.328
28	7	2.944	2.944	0.306	0.694	0.00001	13.376	13.376	2.944	3578.523	2.328	2.328
29	8	2.944	2.944	0.306	0.694	0.00000	13.376	13.376	2.944	3578.553	2.328	2.328
30												
31												
32												

Şekil 5.16. ÇS ile UAT modelinin çözümü

Sayfa üzerinde bulunan değerler kullanıcı tarafından verilen iterasyon sayısını, kısıtlar penceresi, tasarım probleminin tüm parametrelerinin sağlanması gereken koşullar ile değişkenler penceresi de başlangıç koşullarında yine kullanıcı tarafından verilen değerleri ifade etmektedir. Programda “Start Process” butonuna basıldığı zaman öncelikle makro yardımıyla AS programı çağrılarak SKD altındaki trafik hacimleri hesaplanır. Sonra trafik hacim fonksiyonlarına bağlı maliyet değerlerinin yukarıda açıklandığı şekliyle türevleri alınarak Jakobian matrisleri bulunur. Bulunan matrisler yardımıyla duyarlık değeri olan $J_x^{-1} * J_s$ değerleri kadar trafik hacimleri salınım yaptırılır. Yeni hacim değerlerinden sonra program içersinden yine çözücü çağrılarak ÜS problemi hacim kısıtları sağlayacak şekilde çözülür. Bu işlem yakınsama kriteri sağlanıncaya kadar devam eder. Çalışmada yakınsama kriteri olarak (5.95) denklemi kullanılmıştır.

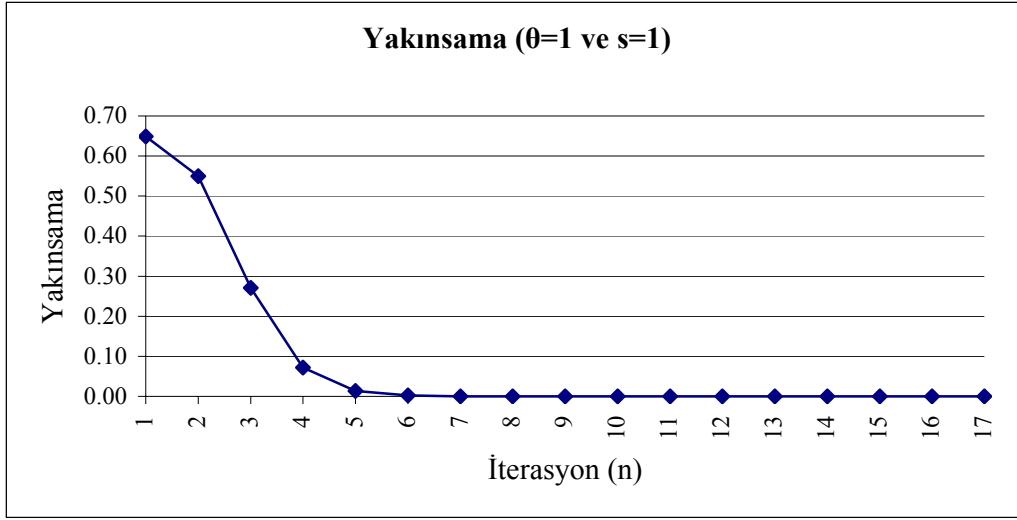
$$\frac{Abs(z^n - z^{n-1})}{z^{n-1}} \leq 0.000001 \quad (5.95)$$

Tablo 5.5'te ÇS yardımıyla çözülen problemin sonuçları görülmektedir. Tablodaki n değeri iterasyon sayısını, x_1 ve x_2 değerleri trafik hacimlerini, $u(s)$ ise ağdaki herhangi bir yatırım birimi, Ec_1 ve Ec_2 eşdeğer rota maliyetleri ile son kolonda toplam ağ maliyeti bulunmaktadır. İyileştirme maliyeti fonksiyonu olan $u(s)$ 'nin iterasyonlar ilerledikçe sistemin konveks olmayan durumu ve herhangi bir kısıt girilememesinden dolayı artması kaçınılmazdır.

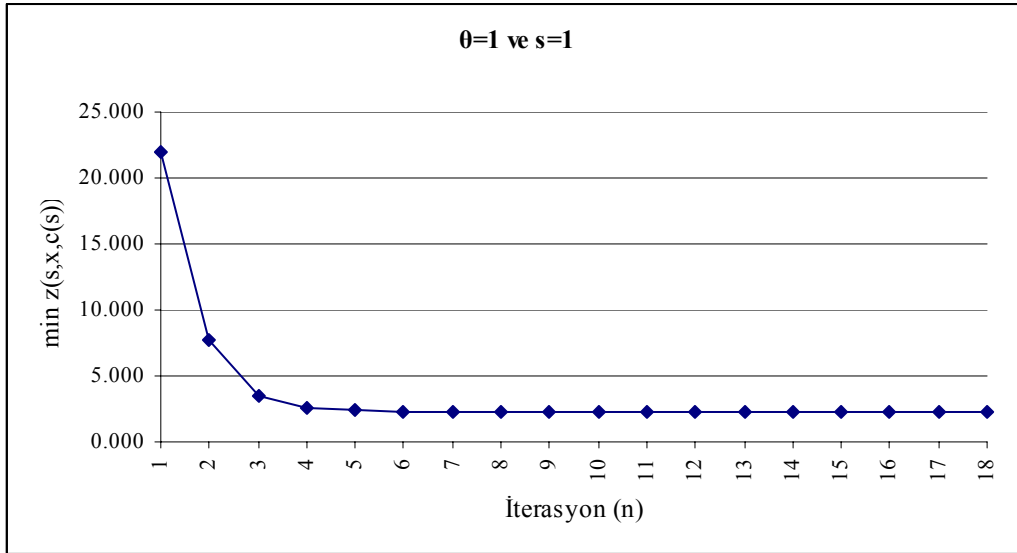
Tablo 5.5. UAT probleminin örnek ağ için çözümü

n	x_1	x_2	s	$u(s)$	Ec_1	Ec_2
0	0.636	0.364	1.000	20.000	1.355	1.355
1	0.588	0.412	1.526	46.568	1.525	1.525
2	0.570	0.430	1.772	62.786	1.587	1.587
3	0.562	0.438	1.881	70.789	1.612	1.612
4	0.559	0.441	1.929	74.432	1.623	1.623
5	0.557	0.443	1.950	76.037	1.627	1.627
6	0.557	0.443	1.959	76.734	1.629	1.629
7	0.557	0.443	1.963	77.035	1.630	1.630
8	0.556	0.444	1.964	77.164	1.630	1.630
9	0.556	0.444	1.965	77.220	1.631	1.631
10	0.556	0.444	1.965	77.245	1.631	1.631
11	0.556	0.444	1.965	77.256	1.631	1.631
12	0.556	0.444	1.965	77.261	1.631	1.631
13	0.556	0.444	1.966	77.264	1.631	1.631
14	0.556	0.444	1.966	77.266	1.631	1.631
15	0.556	0.444	1.966	77.267	1.631	1.631
16	0.556	0.444	1.966	77.268	1.631	1.631
17	0.556	0.444	1.966	77.268	1.631	1.631

Yakınsama hataları ile Denklem (5.95) ile elde edilen yakınsama grafiği Şekil 5.17'de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere 7. iterasyondan sonra algoritma optimum ya da yakın optimum eğere ulaşmıştır. Şekil 5.18'de her bir iterasyon sonucunda toplam ağ maliyetinin değişimi görülmektedir. İlk iterasyonda yaklaşık 22 birim olan ağ maliyeti, 7. iterasyon sonunda yaklaşık %80'lik bir iyileştirme sağlamıştır.



Şekil 5.17. Yakınsama grafiği



Şekil 5.18. İterasyonlar boyunca amaç fonksiyonunun değişimi

5.8.2. Tasarım parametrelerinin Duyarlılık Analizi

UAT'ın stokastik doğası ve birçok bilinmeyen parametreden dolayı parametrelerin birbirlerine göre duyarlılık analizlerinin yapılması gerekmektedir. ÜS ve AS'deki Stackelberg oyununda kullanılan θ parametresi yol kullanıcılarının yol kullanma algılayış ve kabiliyetlerini temsil ettiği için farklı değerlerinin kullanılması sonucu trafik hacim ve tasarım parametresi değerlerinin nasıl değiştiğini araştırmak gerekmektedir. Ayrıca algoritmanın doğru çalıştığından emin olmak için θ parametresinin küçülmesi durumunda ağdaki yol

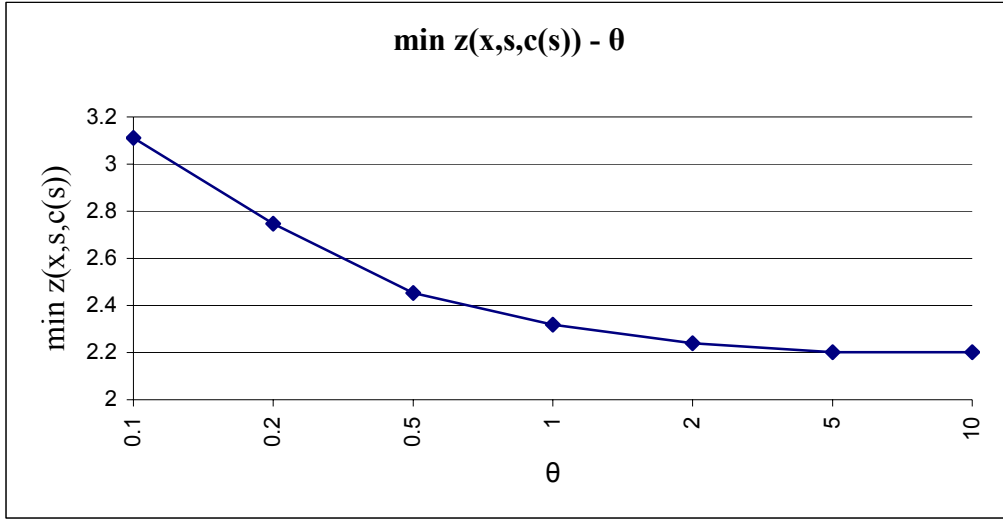
kullanıcı yapısının tamamen stokastik ve büyümesi durumunda ise sistemin kullanıcı dengesine yaklaştığını görmek gerekmektedir. Bu sebeple θ 'nın farklı değerleri ve s 'in farklı başlangıç değerlerine karşılık algoritma kontrol edilmiştir. Tablo 5.6'da yol kullanıcı davranışlarında algılama hatalarının değişimi sonucu trafik hacimleri ve maliyet fonksiyonu değerleri verilmiştir. Rota 1'deki iyileştirme maliyeti θ değeri büyüdükçe yol kullanıcıları tarafından daha iyi algılanabilmekte ve sistemin dengesi kullanıcı dengesine doğru yaklaşmaktadır.

Tablo 5.6. Farklı θ parametreleri parametrelerin değişimi

θ	x_1	x_2	s	$\min z[x,s,c(s)]$
0.1	0.469	0.531	6.289	3.111
0.2	0.477	0.523	4.390	2.747
0.5	0.509	0.491	2.731	2.453
1	0.556	0.444	1.966	2.318
2	0.616	0.384	1.513	2.239
5	0.689	0.311	1.214	2.202
10	0.728	0.272	1.108	2.201

Şekil 5.19'da maliyet fonksiyonu ile θ parametresinin değişimi görülmektedir. θ , 1'den küçüldükçe ağ kullanımı stokastikleşecek, büyüdükçe kullanıcı dengesine ulaşılacaktır. Bu durum şekilde net olarak görülebilmektedir. Ayrıca θ 'nın büyümesi algoritma çözümünü CPU işlem süresi açısından kısaltmaktadır.

Tablo 5.7'de farklı s parametresinin başlangıç değerlerinde algoritma çalıştırıldığı zaman trafik hacimleri ile toplam ağ maliyetinin değişimleri görülmektedir. s tasarım parametresinin başlangıç değerinin artması durumunda toplam ağ maliyeti artmaktadır. İyileştirme yapılacak rotalarda s değerinin artması durumunda bu rota daha az kullanıcı tarafından kullanılacağından Braess paradoksu (Sheffi, 1985) oluşmaktadır.



Şekil 5.19. θ 'ya bağlı ağ maliyet fonksiyonlarının değişimi

Tablo 5.7. Farklı tasarım parametre değerleri için duyarlılık

s	x_1	x_2	$\min z[x,s,c(s)]$
0.1	0.709	0.291	1.658
0.2	0.676	0.324	1.826
0.5	0.616	0.384	2.094
0.6	0.601	0.399	2.151
1	0.556	0.444	2.318
2	0.485	0.515	2.543
3	0.440	0.560	2.666
5	0.382	0.618	2.802
10	0.306	0.694	2.944

5.9. Duyarlılık Analizi Tabanlı Şehirçi Ulaşım Ağ Tasarımı Formülasyonu

Geleneksel ulaşım ağ tasarım modeli, toplam seyahat süresini minimum etmek amacıyla gereken optimum yatırım ve geliştirme planını elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla, seyahat talebindeki değişikliklere duyarsız bir sistem performansı (toplam seyahat süresi) sağlayan bir geliştirme planı elde edilmesi düşünülmüştür. Başka bir deyişle, toplam seyahat süresinin minimum edilmesine ek olarak, bu sürenin talep belirsizliğine olan duyarlılığının da en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır.

N , düğümler kümesi ve A , bağlar kümesi olmak üzere $G = (N, A)$ şeklinde bir ulaşım ağı düşünölsün. Burada W , ulaşım ağındaki başlangıç-varış (B-V) çiftleri, R_w, w ($w \in W$) B-V çifti arasındaki rotalar kümesi ve q_w, w B-V çifti arasındaki talep olsun. Talep belirsizliğini ifade etmek için talepte bir salınım olduğunu kabul edelim ve salınımlı talep ($q(\varepsilon)$) şeklinde ifade edilsin. Bu durumda değişken seyahat talebi:

$$q_w(\varepsilon) = q_w + \varepsilon_w \quad (5.96)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada ε_w, q_w seyahat talebi ile ilişkilendirilmiş salınımdır.

f_r^w, r ($r \in R_w$) rotasındaki akım ve v_a, a ($a \in A$) bağındaki trafik akımı olsun. Böylece (5.97), (5.98) ve (5.99) nolu bağıntılar akımın korunumu eşitliklerinden faydalanılarak şu şekilde yazılabilir:

$$v_a = \sum_{w \in W} \sum_{r \in R_w} f_r^w \delta_{ar}^w, a \in A \quad (5.97)$$

$$\sum_{r \in R_w} f_r^w = q_w, w \in W \quad (5.98)$$

$$f_r^w \geq 0, r \in R_w, w \in W \quad (5.99)$$

Burada eğer w , B-V çiftini bağlayan r rotası a bağını kullanıyorsa $\delta_{ar}^w = 1$, aksi halde $\delta_{ar}^w = 0$ 'dır. Bağ/bağ kapasitesindeki (c_a) bağ akımının (v_a) tam anlamıyla konveks bir fonksiyonu (artan/azalan) olmak üzere her a ($a \in A$) bağı için seyahat süresi $t_a(v_a, c_a)$ şeklinde ifade edilebilir. Bu durumda rota seyahat süreleri:

$$t_r^w = \sum_{a \in A} t_a(v_a) \delta_{ar}^w, r \in R_w, w \in W \quad (5.100)$$

şeklinde ifade edilir. Burada t_r^w, w (B-V) çifti arasındaki r rotasındaki seyahat süresidir.

Tasarlanacak ulaşım ağı için kullanıcı davranışlarının gerçeğe oldukça yakın temsil edilebilmesi ve deterministik kullanıcı dengesinin (DKD) aksine Logit ve Probit tabanlı SKD

bağ akımlarının sürekli türevlenebilir olması (Meng ve diğ., 2004) sebebiyle SKD modeli kullanılmıştır. Atama problemi için gerekli stokastik link trafik hacimleri

$$v_a = \sum_{w \in W} \sum_{r \in R_w} q_w \delta_{ar}^w p_r^w(t^w), a \in A \quad (5.101)$$

eşitliği ile bulunabilir. Burada $p_r^w(t^w)$, sürücülerin r ($r \in R_w$) rotasını seçme olasılığı ve t^w , w B-V çifti arasındaki tüm rotaların seyahat süreleri vektörüdür.

Logit tabanlı SKD modeli kapalı formdaki analitik ifadesinden dolayı güçlü optimizasyon şemalarının sunulabilmesine yardımcı olması ve hesaplamalara ilişkin avantajlarından dolayı seçilmiştir. Rota seçim olasılıkları arasındaki korelasyonları yok sayan ve böyle durumlarda gerçekçi olmayan seçim olasılıkları veren çoklu-nomial Logit model yerine Cascetta ve diğerleri (1996) tarafından önerilen C-Logit model uygulanmıştır. C-Logit modelin yapısı Denklem (5.102)'de verilmiştir.

$$p_r^w(t^w) = \frac{\exp(-\theta_0 t_r^w - \theta_1 CF_r^w)}{\sum_{k \in R_w} \exp(-\theta_0 t_k^w - \theta_1 CF_k^w)}, r \in R_w, w \in W \quad (5.102)$$

burada CF_r^w , r ($r \in R_w$) rotası için R_w rota setindeki diğer rotalarla olan benzerliğin derecesini belirten benzerlik faktörüdür. Literatürde (Cascetta ve diğ., 1996) birbirine yakın sonuçlar veren benzerlik faktörleri elde etme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bunlardan biri denklem (5.103)'de verilmiştir:

$$CF_r^w = \sum_{a \in A} \delta_{ar}^w w_{ar}^w \ln N_a^w, r \in R_w, w \in W \quad (5.103)$$

burada N_a^w , w B-V çiftini bağlayıp a bağıny paylaşan rotaların sayısı ve w_{ar}^w , a bağındaki seyahat süresinin r rotasındaki seyahat süresine olan oransal ağırlığıdır ve denklem (5.104)'daki gibi ifade edilebilir.

$$w_{ar}^w = t_a / t_r^w \quad (5.104)$$

Ağ iyileştirilmesine ayrılan kısıtlı bir bütçe ile iyi bir yatırım planı elde edebilmek için duyarlılık tabanlı ulaşım ağ modeli denklem (5.108)'deki gibi yazılabilir:

$$\sum_{a \in A} h_a(c_a^+) \leq B \quad (5.105)$$

$$0 \leq c_a^+ \leq c_a^{\max}, a \in A \quad (5.106)$$

$$v_a = \sum_{w \in W} \sum_{r \in R_w} q_w \delta_{ar}^w p_r^w (t^w(c^0 + c^+)), a \in A \quad (5.107)$$

kısıtlarına bağlı olarak,

$$\min_{c^+} Z = \alpha \cdot T|_{\varepsilon=0} + (1-\alpha) \cdot (\nabla T_{\varepsilon}|_{\varepsilon=0})^T \cdot \nabla T|_{\varepsilon=0} \quad (5.108)$$

burada Z , amaç fonksiyonu değeri; c^+ , tüm bağlar için kapasite artışı vektörü; α , $0 \leq \alpha \leq 1$ aralığında değişen bir parametre; $T|_{\varepsilon=0}$, talep salınımları 0 ve $T = \sum_{a \in A} v_a t_a(v_a)$ olduğu durumdaki toplam seyahat süresi; $\nabla T_{\varepsilon} = [\partial T / \partial \varepsilon_1, \Lambda, \partial T / \partial \varepsilon_w, \Lambda]^T$, toplam seyahat süresinin talep salınımlarına bağlı türevlerinin vektörü; $\nabla T_{\varepsilon}|_{\varepsilon=0}$, talep salınımları 0 olduğu durumdaki türevler; c_a^+ , a bağının sürekli kapasite artışı; $h_a(c_a^+)$, yapım maliyeti (genelde pozitif olduğu, arttığı ve diferansiyellenebilir olduğu kabul edilir); B , mevcut bütçe; c_a^{\max} , maksimum kapasite artışı vektörü ve c^0 , bağ kapasiteleridir.

Yukarıda fomülasyonu verilen Duyarlılık Tabanlı Stokastik Ulaşım Ağ tasarımı (DTSTUAT), iki seviyeli programlama olarak formüle edilebilir ve bu model yapısı itibariyle lider-takipçi oyunu ile benzeşmektedir. Üst seviye problemi kısıtlar altında amaç fonksiyonunun değerini minimum etmeye çalışan lider davranışını temsil etmektedir. (5.108) no'lu bağıntı ile verilen alt seviye problemi liderin kararına karşı takipçinin tepkisini ifade eden SKD trafik ataması problemidir. Diğer taraftan model, tek seviyeli bir matematiksel program olarak ta çözülebilir (Davis, 1994; Meng ve diğ., 2004). Bu durumda karar değişkenleri, sürekli kapasite artışı c_a^+ ve bağ trafik akımını v_a ' yı da içerir.

$Cov(\varepsilon)$, talep salınımlarının kovaryans matrisi olduğunda toplam seyahat süresinin varyansı, $\sigma_T^2 \approx \nabla T_\varepsilon^T \cdot Cov(\varepsilon) \cdot \nabla T_\varepsilon$ olacağından dolayı ağ modeli, ortalama-varyans modeline birinci mertebeden bir yaklaşım olarak düşünülebilir (Chen ve diğ., 2002). α parametresi, tasarımcının talepteki belirsizliğe karşı almış olduğu önlemi ifade etmektedir. Seyahat talebinin kararlı olduğu durumlar için α parametresinin büyük değerleri kullanılır. Eğer seyahat talebindeki dalgalanmalar belirgin düzeyde ise daha küçük α değerleri kullanılmalıdır.

DTSTUAT modeli, geleneksel ulaşım ağ tasarımı modelinin doğrudan bir uzantısıdır. Talep belirsizliğini ele alma şekliyle deterministik olan modelin hesaplanması, stokastik ağ tasarım modellerine göre daha kolaydır (Chen ve diğ., 2003). Dezavantajı ise talepteki dalgalanmaların son derece az olması durumunda iyi çalışmamasıdır.

5.9.1. DTSTUAT'ın Çözüm Algoritması

Z amaç fonksiyonunun değerinin hesaplanması için $\left. \frac{\partial T}{\partial \varepsilon_w} \right|_{\varepsilon=0} = \frac{\partial T}{\partial q_w}$ olduğu kabulü ile;

$$\frac{\partial T}{\partial q_w} = \sum_a \left(t_a + v_a \frac{\partial t_a}{\partial v_a} \right) \frac{\partial v_a}{\partial q_w} \quad (5.109)$$

eşitliği elde edilir. Burada $\partial v_a / \partial q_w$, SKD bağ akımının, Meng ve diğ. (2004) ile Ying ve Miyagi (2001) tarafından geliştirilen SKD bağ akımları için duyarlılık analizi yöntemi kullanılarak hesaplanabilen seyahat talebine göre türevidir. (5.109) denkleminin sonuçları ispatsız bir şekilde aşağıda verilmiştir.

$$H_a = v_a - \sum_{w \in W} \sum_{r \in R_w} q_w \delta_{ar}^w p_r^w(t^w), a \in A \quad (5.110)$$

Denklem (5.101)'de verilen SKD sabit-nokta problemi göz önüne alındığında $a \in A$ için $H_a = 0$ 'dır. Implicit fonksiyon teoremine göre, SKD bağ akımlarının gradiyenti Denklem (5.111) kullanılarak hesaplanabilir.

$$\nabla v_q = -\nabla H_v^{-1} \cdot \nabla H_q \quad (5.111)$$

burada ∇v_q , SKD bağı akımlarının $|A| \times |W|$ boyutundaki gradiyent matrisi; ∇H_v ve ∇H_q sırasıyla, talep salınımına ve bağı akımına göre Denklem (5.111)'in Jacobian matrisleridir. Bu iki matrisin elemanları denklem (5.112) ve (5.113)'teki gibidir:

$$\frac{\partial H_a}{\partial q_w} = -\sum_{r \in R_w} \delta_{ar}^w P_r^w \quad (5.112)$$

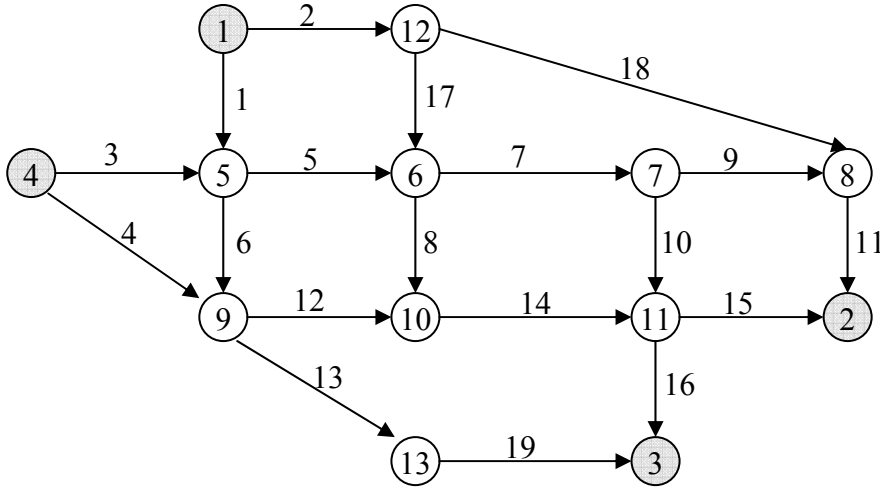
$$\begin{aligned} \frac{\partial H_a}{\partial v_b} = & \delta_{ab} + \frac{\partial t_b}{\partial v_b} \sum_{w \in W} q_w \left\{ \sum_{r \in R_w} \delta_{ar}^w \delta_{br}^w P_r^w \left(\theta_0 + \theta_1 \frac{\ln N_b^w - CF_r^w}{t_r^w} \right) \right. \\ & \left. - \left(\sum_{r \in R_w} \delta_{ar}^w P_r^w \right) \left(\sum_{r \in R_w} \delta_{br}^w P_r^w \left(\theta_0 + \theta_1 \frac{\ln N_b^w - CF_r^w}{t_r^w} \right) \right) \right\} \end{aligned} \quad (5.113)$$

DTSTUAT'ın çözümü için bazı çözümleme algoritmaları uygulanabilir. Bunlardan başlıcaları, iki seviyeli programlama modellerinin çözümü için Yang ve diğ. (1994) ile Meng ve diğ. (2004) tarafından ortaya atılan duyarlılık analizi tabanlı iteratif algoritmalar ve denge kısıtları altında tek seviyeli modellerin çözümü için Davis (1994) tarafından ortaya atılan ardışık ikinci dereceden programlama algoritmasıdır. Bu algoritmalar, amaç fonksiyonunun bağı kapasitesine (∇Z_c) bağıli gradiyentlerini gerektirebilmektedir. Gradyentlerin hesaplanabilmesi için ikinci mertebeden türevlerin $(\partial^2 v_a / \partial q_w \partial c_b)$ değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için uygun çözümlerden bir tanesi, sonlu farklar yaklaşımıdır. Diğeri bir seçenek ise türev bilgisi gerektirmeyen bir yaklaşım olan genetik algoritma tabanlı yaklaşımdır (Yin, 2000).

5.9.2. DTSTUAT İçin Sayısal Örnek

DTSTUAT modeli Şekil 5.20’de verilen, 13 düğüm, 19 bağ ve 4 B-V çiftinden oluşan ulaşım ağına (Nguyen ve Dupuis, 1984) uygulanmıştır. Modellemede BPR seyahat süresi fonksiyonu kullanılmış ve bu fonksiyonun genel yapısı Denklem (5.114)’te verilmiştir.

$$t_a(v_a) = t_a^0 \left(1 + 0.15 \cdot \left(\frac{v_a}{c_a} \right)^4 \right) \quad (5.114)$$



Şekil 5.20. Örnek ulaşım ağı

Tablo 5.8 ve 5.9’da sırasıyla örnek ulaşım ağının karakteristikleri ve B-V talepleri verilmiştir. Örnekte, bağ yapım maliyet fonksiyonu, $h_a(c_a^+) = c_a^+$ olarak kabul edilmiş ve kapasite artışı için bir üst sınır belirlenmemiştir. İyileştirme projesi için toplam bütçe, 200 ve SKD ataması için θ_0 ve θ_1 parametreleri ise sırasıyla 0.05 ve 0.5 olarak alınmıştır. Örneği çözmek için Matlab® paket programından faydalanılmış ve problem iki alt program ile çözülmüştür. Bunlardan ilki, SKD akımlarını elde etmek için SKD atamasının yapılması ve ikincisi de türevlerin (∇T_q) tahmin edilebilmesi için duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesini sağlamıştır.

Tablo 5.8. Örnek ulaşım ağı karakteristikleri

Bağ α	t_a^0	c_a
1	7.0	800
2	9.0	400
3	9.0	200
4	12.0	800
5	3.0	350
6	9.0	400
7	5.0	800
8	13.0	250
9	5.0	250
10	9.0	300
11	9.0	550
12	10.0	550
13	9.0	600
14	6.0	700
15	9.0	500
16	8.0	300
17	7.0	200
18	14.0	400
19	11.0	600

Tablo 5.9. Örnek ağıdaki B-V'ler arası seyahat talepleri

Bağ α	2	3
1	400	800
4	600	200

Tablo 5.10'da, farklı α değerleri için amaç fonksiyonunun iki bileşeni (toplam seyahat süresi T ve bunun duyarlılık indeksi ($\nabla T_q^t \cdot \nabla T_q$)) verilmiştir. Tablo 5.10'daki değerler incelendiğinde α değerindeki artışa bağlı olarak toplam seyahat süresinin azaldığı, duyarlılık indeksinin ise arttığı görülmektedir. Bu da, seyahat süresinin minimum edilmesi ile duyarlılığın minimum edilmesi arasında bir denge bulunduğunun göstergesidir. Özetle, ağ güvenilirliğini artırmak, başka bir deyişle duyarlılığı azaltmak için, belirli bir miktar seyahat süresi artışını göze almak gerekmektedir. Tablo 5.11'de farklı α değerleri için örnek ağıdaki farklı kapasite artış planları verilmiştir.

Tablo 5.10. DTSTUAT'ın amaç fonksiyonunun bileşenlerinin değerleri

α	$T (\times 10^4)$	$\nabla T_q^t \cdot \nabla T_q (\times 10^3)$
0.0	9.9588	9.4989
0.1	9.9248	9.5217
0.3	9.8421	9.7203
0.5	9.8207	9.8519
0.7	9.8125	9.9713
0.9	9.8091	10.215
1.0	9.8075	10.344

Tablo 5.11. STUAT'ın kapasite değişimi planları

Planlar	C_2^+	C_3^+	C_5^+	C_6^+	C_{15}^+	C_{16}^+
DUY-0.0	71.4	0.0	0.0	114.7	0.0	13.9
DUY-0.1	53.5	0.0	10.1	109.8	0.0	26.6
DUY-0.3	4.4	0.0	54.9	84.6	0.0	56.1
DUY-0.5	0.0	0.0	60.7	59.6	0.0	79.7
DUY-0.7	0.0	0.0	62.3	40.2	0.0	97.6
DUY-0.9	0.0	14.6	58.2	28.1	0.0	99.1
DUY-1.0	0.0	22.2	55.8	22.9	0.0	99.1

Not: 1) Plan adlandırma kuralı, örneğin; DUY-0.5, $\alpha = 0.5$ değeri için DTM analiz sonucunda elde edilen plan anlamına gelmektedir. 2) Diğer bağlar için, $c_a^+ = 0$.

5.10. Senaryo Tabanlı Ulaşım Ağ Tasarım Modeli

DTSTUAT'ın belirsizlik düzeyindeki eksikliklerinden dolayı Senaryo Tabanlı Modelin (STM) irdelenmesi gereklidir. Senaryo tabanlı optimizasyon, oluşma olasılığı kesinlikle sıfırdan büyük olan sınırlı sayıda belirsizlik senaryoları altında yakın optimum çözümün bulunması için kullanılmaktadır. Ayrıca senaryo tabanlı optimizasyon, elektrik ve telekomünikasyon altyapılarının kurulmasında da kullanılmaktadır (Mulvey ve diğ., 1995; Laguna, 1998).

5.10.1. STM Formülasyonu

Seyahat talebinin belirsiz olduğu $G = (N, A)$ şeklinde bir ulaşım ağı düşünölsün. Belirsizliği temsil etmek için $\Omega = \{1, 2, 3, \dots, S\}$ senaryoları tanımlansın. Her $s \in \Omega$ senaryosu için gerçekteşme olasılığı, π_s ve w (B-V) çifti arasındaki talep q_w^s olsun.

S notasyonu ile tanımlanan senaryo indeksi dışında tüm notasyonu bir önceki bölümde anlatılan DTSTUAT ile aynı olan senaryo tabanlı optimizasyonda, her talep senaryosu için ağ trafik şartlarının SKD modeli ile temsil edilebileceği düşünölmektedir. Örnek olarak, s talep senaryosu altında SKD ataması Denklem (5.115)'deki gibi tanımlanabilir.

$$v_a^s = \sum_{w \in W} \sum_{r \in R_w} q_w^s \delta_{ar}^w p_r^{w^s}, a \in A \quad (5.115)$$

burada v_a^s , s senaryosu altında a bağındaki trafik akımı ve $p_r^{w^s}$, s senaryosu altında sürücölerin $r \in R_w$ rotasını seçme olasılığıdır.

Burada bir talep senaryosu kümesi ile yol ağındaki etkinlik ve güvenilirlik arasındaki verimliliğin eniyelenmesi için güçlü bir iyileştirme planı aranmaktadır. DTSTUAT'a benzer şekilde, sağlam bir iyileştirme planı elde edebilmek için kullanılacak olan STM :

$$\sum_{a \in A} h_a(c_a^+) \leq B \quad (5.116)$$

$$0 \leq c_a^+ \leq c_a^{\max}, a \in A \quad (5.117)$$

$$v_a^s = \sum_{w \in W} \sum_{r \in R_w} q_w^s \delta_{ar}^w p_r^{w^s}, a \in A \quad (5.118)$$

kısıtlarına bağlı olarak,

$$\min_{c^+} Z = \beta \sum_{s \in \Omega} \pi_s T_s + (1 - \beta) \sum_{s \in \Omega} \pi_s (T_s - \bar{T}_s)^2 \quad (5.119)$$

denkleminin çözülmesiyle bulunur. Burada β , $0 \leq \beta \leq 1$ aralığında değişen bir parametre; T_s , s senaryosu altındaki toplam seyahat süresi $T_s = \sum_{a \in A} v_a^s t_a^s(v_a^s)$; ve $\bar{T}_s = \sum_{s \in \Omega} \pi_s T_s$ beklenen toplam seyahat süresidir.

(5.119)'da verilen amaç fonksiyonunun ilk bileşeni, ortalama toplam seyahat süresi iken ikinci bileşeni, tüm senaryolara karşı toplam seyahat sürelerinin varyansını temsil etmektedir. Böylece model, ortalama-varyans modeli olup β parametresi, ortalama ile varyans arasındaki verimi ifade etmektedir. Duyarlılık modeline benzer olarak STM de iki-seviyeli matematiksel programlama problemi olarak ele alınabilir.

Ω içindeki senaryolar, belirsiz talep durumunun sadece bir olası kümesidir. Senaryo tabanlı optimizasyon ile ilgili önemli iki soru vardır. Bunlar:

1. Tüm olası belirsizlik durumları toplumuna karşı sağlam bir çözüm bulabilmek için kaç senaryo içermelidir?
2. Bu senaryolar ve ilgili olasılıkları nasıl tanımlanmalıdır?

Sezgisel olarak, ne kadar çok senaryo tanımlanırsa, sağlanacak çözümün o kadar iyi olması beklenir. Ancak, senaryo sayısındaki artış, problemin çözümünü oldukça zorlaştıracaktır. Bu durum, STM'in başlıca zorluklarından bir tanesidir. Ancak geçmiş çalışmalar (Mulvey ve diğ., 1995; Laguna, 1998) incelendiğinde, nispeten küçük örneklerin yakın optimum sonuçlar verdiği görülmektedir. İkinci soru ile ilgili olarak, senaryo tabanlı optimizasyonun senaryo tanımlanması için herhangi bir yöntem sağlamadığı bilinse de, varyans azaltma metodları ile başarılı senaryolar üretilebildiği vurgulanmaktadır (Mulvey ve diğ., 1995). Literatürde, rastgele örnekleme ile ilgili çok sayıda çalışma vardır. Borchers (2000) ve Linderoth ve diğerleri (2004), çalışmalarında çeşitli örnekleme metodları ile ilgili ayrıntılı bilgi vermişlerdir.

5.10.2. STM'in Çözüm Algoritması

STM, DTSTUAT ile kıyaslandığında daha uzun hesaplama süresi gerektirebilir. Diğer yandan modelin, senaryolara ilişkin alt problemlere ayrılabilir bir yapısı vardır. Modelin hesapsal

karmaşıklığı, kullanılacak senaryo sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır ve çözüm için kullanılabilecek daha verimli algoritmalar sayesinde bu zorluğun üstesinden gelmek mümkün olabilmektedir.

Denklem (5.116)'dan (5.118)'e kadar olan STM, iki seviyeli programlama olarak ele alınmış ve çözüm için duyarlılık analizi tabanlı bir iteratif algoritma uygulanmıştır. Problemin çözümünü gerçekleştirebilmek için her iterasyonda, amaç fonksiyonunun değeri ve türevleri gerekmektedir. Bu ifadeleri hesaplayabilmek için s sürelerinin toplamı için her talep senaryosuna sırasıyla SKD ataması uygulanmıştır. Amaç fonksiyonunun türevlerini (∇Z_c) hesaplamak için şu ifadeden yararlanılabilir:

$$\frac{\partial Z}{\partial c_a} = \sum_{s \in \Omega} (\beta + 2(1 - \beta)(T_s - \bar{T}_s)) \tau_s \frac{\partial T_s}{\partial c_a}, a \in A \quad (5.120)$$

Bu ifadeden yararlanılarak (5.121) eşitliği gösterilebilir:

$$\frac{\partial T_s}{\partial c_b} = \sum_a \left(t_a^s + v_a^s \frac{\partial t_a^s}{\partial v_a^s} \right) \frac{\partial v_a^s}{\partial c_b} \quad (5.121)$$

Burada $\partial v_a^s / \partial c_b$, SKD bağ akımının, daha önce duyarlılık tabanlı model için belirtilen duyarlılık analizi yöntemi ile hesaplanabilecek olan s talep senaryosu altında bağ kapasitesine, c_b , bağlı türevidir. Buna ek olarak, Denklem (5.110)'un bağ kapasitesine bağlı Jacobian ifadesi (∇H_c) hesaplanmalıdır. Matrisin elemanları;

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_a}{\partial c_b} = & -\frac{\partial t_b}{\partial c_b} \sum_{w \in W} q_w \left\{ \sum_{r \in R_w} \delta_{ar}^w \delta_{br}^w P_r^w \left(\theta_0 + \theta_1 \frac{\ln N_b^w - CF_r^w}{t_r^w} \right) \right. \\ & \left. - \left(\sum_{r \in R_w} \delta_{ar}^w P_r^w \right) \left(\sum_{r \in R_w} \delta_{br}^w P_r^w \left(\theta_0 + \theta_1 \frac{\ln N_b^w - CF_r^w}{t_r^w} \right) \right) \right\} \end{aligned} \quad (5.122)$$

şeklinde. Buradan,

$$\nabla v_c = -\nabla H_v^{-1} \cdot \nabla H_c \quad (5.123)$$

ifadesi elde edilir. Burada ∇v_c , SKD bağı akımlarının $|A| \times |A|$ boyutundaki gradiyent matrisidir.

Önerilen çözüm adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 0. Başlangıç. $c^{+(n)}$ için başlangıç değeri tanımla. İterasyon sayısını sıfırla: $n=0$;

Adım 1. Her s talep senaryosu için verilen $c^{+(n)}$ için alt seviye SKD ataması problemini çöz ve ∇v_c^s değerini elde etmek için sırasıyla duyarlılık analizi gerçekleştir.

Adım 2. Z ve ∇Z_c değerlerini hesapla.

Adım 3. $c^{+(n)}$ noktalarında orijinal üst seviye problemi için bir doğrusal ya da üstel programlama yaklaşımı formülize et (Yang ve diğ., 1994; Meng ve diğ., 2004) ve ortaya çıkan problemi arama yönünü $(x^{(n)})$ elde etmek için çöz.

Adım 4. Adım büyüklüğünü $(\lambda^{(n)})$ elde etmek için çizgisel arama yap.

Adım 5. $c^{+(n+1)} = c^{+(n)} + \lambda^{(n)} x^{(n)}$ değerini hesapla.

Adım 6. Yakınsama kontrolü. Eğer $\max_a (|c_a^{+(n+1)} - c_a^{+(n)}|) \leq \delta$ ise dur; değilse, $n=n+1$ olarak ata ve Adım 1'e dön. Burada δ , önceden belirlenen yakınsama kriteridir.

5.10.3 STM İçin Sayısal Örnek

STM, iyileştirme planları elde edilmesi amacıyla Şekil 5.19'da verilen örneğe uygulanmıştır. Talepler belirsiz kabul edilmiş ancak sırasıyla, [300, 500], [600, 1000], [400, 800] ve [100, 300] aralığında olduğu varsayılmıştır. Senaryo sayısının (s) sonuca olan etkisinin araştırılması için dört farklı senaryo kümesi boyutu tanımlanmıştır. Bunlar sırasıyla 5, 10, 20 ve 50'dir. Temsili taleplerin, talep aralıklarını eşit parçalara (6, 11, 21, 51) ayırdıkları ($s+1$ parça) kabul edilmiş ve senaryo gerçekleşme olasılıkları Kouvelis ve Yu (1997) tarafından da yapılan varsayımla, $1/s$ olarak alınmıştır.

İyileştirme planlarının elde edilmesi için duyarlılık analizi tabanlı ardışık üstel programlama algoritması kullanılmıştır. Tablo 5.12’de her talep senaryosu kümesi altında, farklı β değerleri için optimal planlar verilmiştir.

Tablo 5.12. STM’den kapasite iyileştirme planları

Planlar	C_3^+	C_5^+	C_6^+	C_{15}^+	C_{16}^+
SEN-5-0.0	0.0	13.4	127.5	59.2	0.0
SEN -5-0.1	13.4	60.3	24.7	0.0	101.7
SEN -10-0.0	0.0	16.5	125.1	58.4	0.0
SEN -10-0.1	10.8	61.3	24.8	0.0	103.2
SEN -20-0.0	0.0	18.2	123.6	58.2	0.0
SEN -20-0.1	3.3	64.0	24.0	0.0	108.7
SEN -50-0.0	0.0	18.7	123.3	58.1	0.0
SEN -50-1.0	3.6	63.9	24.2	0.0	108.3

Not: Plan adlandırma kuralı, örneğin; SEN-5-1.0, $\beta = 1.0$ değeri ve 5 senaryo ile senaryo tabanlı analiz sonucunda elde edilen plan anlamına gelmektedir.

Sonuçta elde edilen iyileştirme planlarının etkinliği ve güvenilirliği, sözü edilen simülasyon testleri ile sınanmıştır. Yapılan testler sonucunda elde edilen toplam seyahat süreleri için ortalama ve standart sapmalar, Tablo 5.13’de verilmiştir.

Tablo 5.13. Senaryo tabanlı model için sağlamlık testi sonuçları

		Normal Dağılım						
Plan	SEN-5-0	SEN-5-1.0	SEN-10-0	SEN-10-1.0	SEN-20-0	SEN-20-1.0	SEN-50-0	SEN-50-1.0
Ortalama (*10 ⁴)	9.956	9.856	9.954	9.856	9.953	9.857	9.953	9.857
Standart Sapma(*10 ³)	6.722	6.909	6.723	6.900	6.723	6.877	6.723	6.877
		Üniform Dağılım						
Plan	SEN-5-0	SEN-5-1.0	SEN-10-0	SEN-10-1.0	SEN-20-0	SEN-20-1.0	SEN-50-0	SEN-50-1.0
Ortalama (*10 ⁴)	10.093	9.998	10.091	9.998	10.090	9.999	10.090	9.999
Standart Sapma(*10 ³)	14.025	14.341	14.027	14.326	14.028	14.286	14.028	14.286

Tablo 5.12 incelendiğinde;

- Etkinlik ile güvenilirlik arasında bir denge bulunmaktadır. Etkinliğin yüksek değerleri ($\beta=1$) ya da güvenilirliğin yüksek değerleri ($\beta=0$) için elde edilen planlar, optimum çözüm değildir.
- Yüksek seviyelerdeki talep belirsizliği koşullarında, senaryo tabanlı model ile elde edilen planlar duyarlılık tabanlı model ile elde edilen planlardan daha iyidir.
- Yüksek sayıda senaryo içeren modellere göre nispeten daha az sayıda senaryo içeren modeller de yakın optimum sonuçlar verebilmekte yani çok senaryolu modellere yakın performans sergileyebilmektedir.
- Senaryo sayısı belli bir değeri geçtiğinde (örneğin, 20 senaryo), örnek boyutu genişletilse bile model performansında bir iyileşme gözlenmemektedir.

5.11. Sonuçlar

Çalışmanın bu bölümünde, kavşak gecikme modelleri ve bileşenlerinin yaklaşık matematiksel hesaplamaları farklı durumlar için verilmiştir. Elde edilen matematiksel modeller verileri derlenen örnek kavşağa uygulanmıştır. Toplam gecikmenin yaklaşık olarak %66'sını UG ve %34'ünü GDÜG bileşeni oluşturmaktadır. Ayrıca döneller ihmal edildiği zaman optimum devre süresi mevcut duruma göre yaklaşık iki kat azalmaktadır. Ayrıca dönel olması durumunda kavşak boşaltım kapasitesi ortalama %40 azalmaktadır. Yani devre süresi akşam trafiğinde 90 saniyeden 50 saniyeye düşürülebileceği hesaplanmıştır.

Ulaşım ağ tasarımı kavramı açıklanarak formülasyonlarının nasıl yapıldığı açıklanmıştır. Doğrusal ve doğrusal olmayan maliyet fonksiyonları ile eşdeğer matematiksel program verilmiştir. UAT'ın çözüm algoritmaları açıklanmış ve sinyalize bir kavşağa nasıl uygulanabileceği gösterilmiştir. Ayrıca link segmanlarındaki iyileştirmeler sonucu doğrusal maliyet fonksiyonun nasıl değiştiği açıklanmıştır. UAT'nda iki seviyeli programın Stackelberg oyunu altında nasıl yapıldığı ve örnek bir ağda çözümün nasıl elle yapılabileceği ve sonra ulusal ve uluslararası literatürde olmadığı şekilde ÇS ile modelin nasıl çözüldüğü gösterilmiştir. Stackelberg oyununda lider tasarımcı ve izleyici ise yol kullanıcıları olup AS'de seçilen logit model oyunun nasıl oynandığı gösterilmiştir. Burada lider tasarımcı s tasarım parametresi ve izleyici ise θ 'ya bağlı ağ kullanıcıların rota seçme olasılıklarıdır. UAT

modelinin çözülebilmesi için yeni formülasyonlar geliştirilerek optimum değeri bulunan trafik hacimlerinin duyarlılıkları kullanılarak yeni çözüm adımlarına ulaşılmıştır. Model ve algoritmanın doğruluğunun testi için θ ve s parametresi ile oynanarak kullanıcı dengesi ve SKD dengesi bulunmuştur.

Ağ tasarım modelleri irdelenerek DTSTUAT ile STM'lerin formülasyonu ve çözüm algoritmaları verilmiştir. Geliştirilen çözüm algoritmaları aynı örnek ağ üzerine uygulanmıştır. DTSTUAT ile STM modellerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları olduğu görülmüştür. Rota seçim modeli olarak seçim olasılıkları arasındaki korelasyonları yok sayan ve böyle durumlarda gerçekçi olmayan seçim olasılıkları veren çoklu-nomial Logit model yerine C-Logit model kullanılmıştır. Her iki modelde de iki seviyeli programlama kullanılmış, lider karar değişkenleri üst seviyede çözülrken alt seviyede ise takipçi davranışları çözülmüştür. DTSTUAT'ın talep belirsizliğini ele alma şekliyle hesaplanmasının, stokastik ağ tasarım modellerine göre daha kolay olduğu görülmüş, buna karşılık dezavantajının ise talepteki dalgalanmaların az olması durumunda iyi çalışmaması olarak belirtilmiştir. DTSTUAT daha çok, küçük talep dalgalanmaları durumunda kullanılsa da, burada sonuç planlarının büyük talep dalgalanmalarında nasıl davranış göstereceğini incelemek için simülasyon testleri gerçekleştirilmiştir. DTSTUAT'ın belirsizlik düzeyindeki eksikliklerinden dolayı STM irdelenmiş ve iki seviyeli programlama olarak ele alınarak; çözüm için duyarlılık analizi tabanlı iteratif çözüm algoritması uygulanmıştır. Sonuçta iki farklı (DTSTUAT ve STM) ulaşım ağ modelleme çalışmaları sonunda STM'in daha etkin olduğu bulunmuştur. Ayrıca, her iki modelinde ulaşım ağ tasarımında farklı kapasite artışlarında ve değişken ulaşım talebi altında güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

VI. BÖLÜM

BAŞLANGIÇ-VARIŞ (B-V) MATRİSLERİNİN TAHMİNİ VE LİNK MALİYET FONKSİYONLARININ ELDE EDİLMESİ

6.1. Giriş

B-V talep matrislerinin elde edilmesi için gerekli trafik sayımlarını yapmak amacıyla birçok yöntem geliştirilmesine rağmen, doğru, güvenilir ve kolay bir şekilde B-V talep matrislerinin elde edilmesi oldukça zordur. Bu sebeple ölçümleri kısmen kolay olan link trafik hacimlerinden B-V talep tahmini yapmak gerekmektedir. Bu bölümde, ölçülmüş link trafik hacimleri kullanılarak B-V matrisi tahminleri yapılmıştır. Tahminlerin yapılabilmesi için gerekli olan matematiksel formülasyonlar ve bunların matematiksel geçerliliği ispat edilmeye çalışılmıştır. B-V tahmini için gerekli olan maksimum entropi, genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi, ters modelleme ve çift seviyeli programlama tekniği ile Genetik Algoritmalar (GA) çözümü verilmiştir. Daha sonra, B-V matrisi tahmini için gerekli formülasyonu ve link performans fonksiyonları verilen, üzerinde çalışılan ulaştırma ağındaki ölçülmüş zirve saat trafik akımları kullanılarak talep matrislerinin GA yöntemiyle tahmin edilmesi örneklenmiştir. Geometrik ve trafik hacim özellikleri belirlenmiş olan ağ tasarım probleminin çözümü; bilinenin tersine, link trafik hacim gözlemlerinden elde edilen veriler ışığında, kullanıcı dengesi altında çözümlenmiş ve bir dizi optimizasyon sürecinden geçirilerek temel B-V talepleri tahmin edilmiştir. Ayrıca, IV. Bölüm'de oluşturulan ulaşım ağındaki link maliyet fonksiyonları konusunda literatür çalışması yapılmış ve alt çalışma ağı için maliyet fonksiyonu geliştirilmeye çalışılmıştır.

6.2. Seyahat Matrisi Tahmini

6.2.1. Trafik Sayımlarından B-V Matrislerinin Tahmini

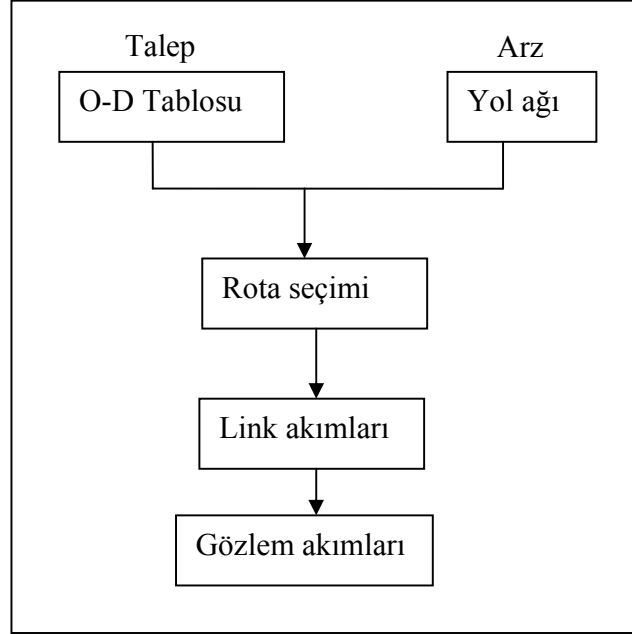
Trafik atama yöntemleri genellikle seyahat matrisini girdi olarak alıp, link ve rota istatistiklerini çıktı olarak verirler. Çıktılar; link trafik hacimleri, maliyetler, gecikmeler, rota akımları, rota maliyet ve gecikmeleridir. Fakat ulaştırma ağlarında B-V talep matrisini doğrudan bulmak veya

elde etmek neredeyse mümkün değildir. Genellikle, hane halkı anketleri, plaka sayımı veya yol kenarı anketleri ile bu matrisler bulunur. Ücretli yollar, karayolu geçişleri veya elektronik toplu taşıma ağları B-V matrisinin tahmini için kullanılan diğer metotlardan bazılarıdır. Diğer taraftan, link istatistikleri, özellikle link trafik hacimlerinin ölçümleri göreceli olarak daha kolaydır. Bunun için el sayımları, video veya farklı formlardaki detektörler ile trafik hacimleri elde edilebilir. Link trafik hacim sayımları daha kolay olduğu için bu sayımlardan B-V tablosunu elde etme çalışmaları ulaştırma ağları analizlerinde üzerinde uzun süreden beri çalışılan ve çalışılmaya devam edecek bir konudur.

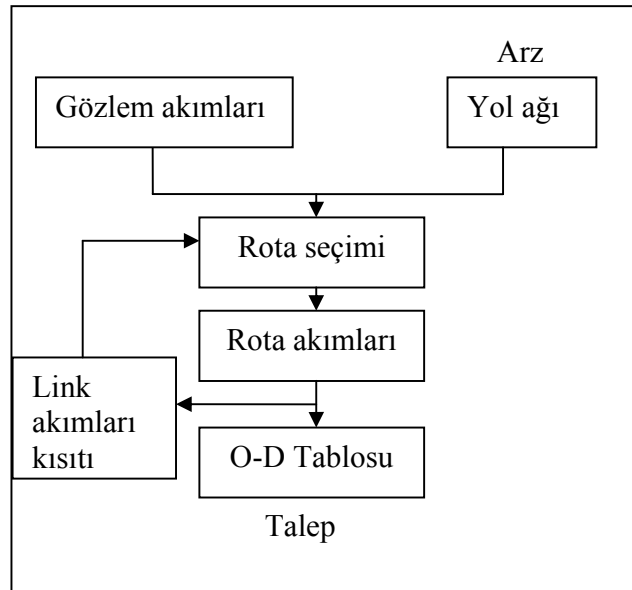
Seyahat tablosu tahmini, trafik atama modellerinin tersi gibi düşünülüp link istatistiklerinin girdi olarak alınıp B-V tablosunun elde edilmesi olarak tanımlanabilir. Genellikle, bu işlemi yapabilmek için ek veriye ihtiyaç doğmaktadır. Sadece link trafik hacim ölçümleri B-V tablosunun güvenli bir şekilde elde edilmesi için yeterli değildir. Ek veriler; B-V tablosunun elemanlarının büyüklüğü hakkında ön bir bilginin oluşmasını sağlamak için gereklidir. Ön bilgiler; genellikle bölgenin sosyo-ekonomik koşulları, eğer varsa ön B-V sayımları gibi bilgileri içermektedir.

Genellikle klasik trafik atama modellerinin akış şeması Şekil 6.1'deki gibidir. Atama modeli, seyahat matrisi ve ulaşım ağını girdi olarak alıp rota seçim olasılıklarının hesaplanarak, link akımlarının bulunması ve sonuçların gözlem trafik hacimleri ile karşılaştırılması ile son bulur. Ters B-V tablosunun genel yapısı Şekil 6.2'de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, sonraki kısımlarda anlatılacak olan B-V kısıtlarına bağlı olarak ölçülmüş link trafik hacimleri ve yol ağına bağlı olarak B-V tablosunun oluşturulması mümkündür. Şekil 6.2'de yol ağı ve link trafik hacimleri trafik atama modeline girdi olarak verilip, atama modeli sonucunda elde edilmiş tahmin link akımlarından yola çıkılarak B-V tablosu tahmin edilmiş olacaktır.

Seyahat talebi modelleri sonucu elde edilmiş trafik hacimleri sırasıyla temel yılı trafik hacimleri ve ölçümler sonucu elde edilmiş trafik hacimleri ile karşılaştırılır. Fakat bu durumda ölçülmüş trafik hacimleri ile modellerden elde edilmiş trafik hacimleri arasında çok iyi bir uyum beklenmemelidir. Bu durumda %20 civarındaki bir hata payı kabul edilebilir bir seviye olarak düşünülebilir.



Şekil 6.1. Trafik atama modellerinin genel yapısı



Şekil 6.2. Ters B-V tablosu tahmini

Genellikle B-V tablosu elde edilirken, üç tip temel hatadan bahsetmek mümkündür. Bunlar arasında; seyahat tablosunun kendisi en büyük hata payını içermekle birlikte ağ kodlama sistemi ve rota bulma hataları sayılabilir. Şekil 6.2'den görülebileceği gibi, hata paylarını azaltmak adına

modelden elde edilmiş trafik hacimleri ile gözlem trafik hacimleri arasında kontrol mekanizması oluşturulması gerekmektedir.

B-V tablosu tahmini “entropi” kavramı kullanılarak Wilson (1967) tarafından ortaya konulmuştur. Entropi hipotezinin temel amacı link trafik hacim ölçümlerinin kısıtlanarak seyahat tablosunun maksimum entropi ile bulunması şeklindedir. Bu kavrama alternatif olarak ta Smith (1987)’de “verimlilik” prensibini önermiştir. Fakat entropi yaklaşımı birçok varsayımı da beraberinde kullanmaktadır. Bunların başında, link trafik hacimlerinin hatasız ölçüldüğü ve trafik atamanın oransal olduğunu kabul etmektedir. Yani, trafik atamada, seyahat tablosu çift kat artarsa link trafik hacimleri de çift kat artar şeklinde bir oran kabul edilmiştir.

Probleme diğer bir yaklaşım, ekonometri alanından gelmekte ve ölçüm hatalarına izin vermektedir. Cascetta (1984) tarafından seyahat tablosu tahmini için önerilen “genelleştirilmiş en küçük kareler” yaklaşımı link trafik hacim ölçümlerini, başlangıç B-V talebini ve bunların varyans-kovaryans ilişkilerini içine alır. Fakat oransal atama kabulü bu yaklaşım için de geçerlidir.

Oransal trafik atama kabulünün, tüm linklerdeki trafik hacimleri, linklerin maliyet fonksiyonları kullanılarak doğrudan tahmin edilebilirse doğru olduğu varsayılabilir. Fakat ağda trafik sıkışıklığı var ise ve link trafik hacimleri her bir link için ölçülmemişse atama modellerinin kullanılması gerekmektedir.

Oransal olmayan trafik atama modeline izin veren B-V tablosu tahmini için diğer bir yaklaşım Yang ve diğ. (1992) ve Yang (1995) tarafından ortaya atılan iki-seviyeli programlamadır. Bu yaklaşım; birinci seviyede deterministik kullanıcı dengesi altındaki trafik atama modeli ile ikinci seviyede çözülen genelleştirilmiş en küçük kareler metodunun birleşik kullanımınıdır. Bu yöntem, hesaplama tekniği olarak uzun olmasına rağmen, iyi formüle edildiği zaman pratikte iyi çalışan bir tekniktir.

İki-seviyeli programlama yaklaşımı, en azından tahminde atama kabulleri ile ölçümü yapılmış ve yapılmamış link trafik hacimleri arasında bir uyumluluk sağlamaktadır. Fakat en iyi

yöntemlerden birisi link trafik hacimleri kullanılarak doğrudan rota akımlarının hesaplanması şeklinde olabilir. Bu fikir orijinal olarak Sherali ve diğ. (1994) tarafından ortaya atılmış olmasına rağmen bu yaklaşım, tüm link trafik hacimlerinin ölçülmüş olmasını ve atama modelinin deterministik yaklaşımla kabul edilmesini gerekli kılmaktadır. Bu yaklaşıma alternatif olarak, Bell ve diğ.’de (1996) atama modelinde stokastik varyasyonları dikkate alan ve tüm link trafik hacimlerinin ölçülmüş olmasını gerektirmeyen “rota tahmin edicisi” modeli önerilmiştir.

Yukarıda bahsedilen tüm yaklaşımlar seyahat tablosunun *kararlı-denge* altında oluştuğunu kabul eder. Yani, tüm seyahatlerin aynı periyotta başlayıp, aynı periyotta bittiği kabul edilir. Bu sebeple, zaman bağımlı trafik atama modelleri ile FIFO (ilk-giren-ilk çıkar) prensibini temel alan seyahat tablosu çalışmaları da literatürde mevcuttur (Ashok ve Ben-Akiva, 1993). Çalışmanın bu kısmında yukarıda bahsedilen yaklaşımların bazıları kullanılarak seyahat tablosunun nasıl elde edilebileceği formülize edilerek çözüm yöntemleri sunulacaktır.

6.3. Formülasyon

Her bir linkteki trafik hacmi kullanılarak T_{ij} matrisi

$$\sum_{ij} T_{ij} P_{ija} = V_a^{obs} \quad (6.1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada, T_{ij} , çıkış matrisi, P_{ija} , a linkini kullanan $i-j$ arasındaki seyahat dağılımı, V_a^{obs} , sayımı yapılan link a ’daki ölçülmüş link trafik hacminidir.

Seyahat matrisinin mümkün olduğunca, eğer varsa mevcut seyahat matrisine yakın olması istenir. Matematiksel ifade ile “uzaklık ölçütü” nün minimum edilmesi gereklidir. Yani; $|\mathbf{T} - \mathbf{t}|$ olup burada \mathbf{T} güncellenmiş seyahat matrisi, $\mathbf{t}=t_{ij}$ ise “taban” yılı matrisidir. Entropi maksimizasyon modeli, diğer matris-tahmin modellerinden uzaklık ölçütü ve \mathbf{T} ’yi farklı hesapladığı için farklılık göstermektedir. Bu sebeple \mathbf{T} matrisini güncelleyen “uzaklık” ölçütü şöyle yazılabilir:

$$D(T, t) = \sum_{ij} (T_{ij} \log(T_{ij} / t_{ij}) - T_{ij} + t_{ij}) \quad (6.2)$$

Denklem (6.2) maksimum entropi yaklaşımı ile şöyle ifade edilir.

$$T_{ij} = t_{ij} \prod X_a^{P_{ija}} \quad (6.3)$$

Burada;

t_{ij} : Temel yılı matrisi

X_a : Link trafik hacim sayımı yapılmış link a 'daki "dengeleme faktörü"

\prod : Çarpan gösterimi ifade etmektedir.

Denklem (6.3)'e alternatif olarak

$$D(T, t) = \sum_{ij} (T_{ij} - t_{ij})^2 \quad (6.4)$$

yazılabilir.

6.3.1. Maksimum Entropi

Verilen bir seyahat tablosundan farklı sayıdaki permütasyonlardan elde edilen seyahat tablosu *entropi* olarak ifade edilir ve şöyle formülize edilir:

$$E(\mathbf{t}) = \left(\sum_{tumw} t_w \right)! / \prod_{tumw} t_w! \quad (6.5)$$

Burada $E(\mathbf{t})$ tahmin edilen seyahat talebini, t_w B-V matrisindeki hücre elemanlarını ifade etmektedir. Denklem (6.5)'teki toplam ve çarpım işaretleri seyahat tablosunun tüm hücrelerdeki link trafik hacim ölçüm değerlerini ifade etmektedir. Eğer hücrelerdeki tüm permütasyonlar eşdeğer olasılıkta ise entropinin maksimum olduğu durumda elde edilen matris muhtemel seyahat tablosu olarak kabul edilebilir.

\mathbf{p} olası seyahat tablosu içerisinde seçilmiş olasılıklar vektörü olsun. Bu durumda olası seyahat tablosu;

$$L(\mathbf{t}) = \left(\prod_{\text{tum } w} \exp(t_w \ln(p_w)) \right) \left(\sum_{\text{tum } w} t_w \right)! / \prod_{\text{tum } w} t_w! \quad (6.6)$$

formülü ile hesaplanabilir. Aynı zamanda Denklem (6.6) maksimum olabilirlik fonksiyonudur. $L(\mathbf{t})$ 'nin logaritması:

$$\ln(L(\mathbf{t})) = \sum_{\text{tum } w} t_w \ln(p_w) + \ln \left(\left(\sum_{\text{tum } w} t_w \right)! \right) - \sum_{\text{tum } w} \ln(t_w!) \quad (6.7)$$

ifadesi ile alınabilir. Streling'in yaklaşımına göre Denklem (6.7)'de bulunan faktöriyeler şöyle sadeleştirilmiştir.

$$\ln(L(\mathbf{t})) = \sum_{\text{tum } w} t_w \ln(p_w) + \left(\sum_{\text{tum } w} t_w \right) \ln \left(\sum_{\text{tum } w} t_w \right) - \sum_{\text{tum } w} t_w \ln(t_w) \quad (6.8)$$

Eğer \mathbf{p} temel yılı seyahat tablosu olan \mathbf{t} değerinden elde ediliyorsa ve eğer temel yılındaki toplam seyahat talebi, tahmin edilen toplam seyahat sayısına karşılık geliyor ise:

$$p_w = t'_w / \sum_{\text{tum } w} t'_w$$

ve;

$$\sum_{\text{tum } w} t_w = \sum_{\text{tum } w} t'_w \quad (6.9)$$

olacaktır. Bu durumda olabilirlik fonksiyonunun logaritması;

$$\ln(L(\mathbf{t})) = - \sum_{\text{tüm } w} t_w \ln(t'_w / t_w) \quad (6.10)$$

ifadesine indirgenebilir. Muhtemel seyahat tablosunu oluşturan eşdeğer optimizasyon problemi, $\mathbf{v}=\mathbf{P}\mathbf{t}$ kısıtına bağlı olarak:

$$\text{Minimize } f(\mathbf{t}) = \sum_{\text{tüm } w} t_w \ln(t'_w / t_w) \quad (6.11)$$

şekline indirgenerek çözümlenebilir. Burada; \mathbf{P} link seçim olasılıkları matrisidir. Bu metot Van Zuylen ve Willumsen (1980) tarafından önerilmiş olup link trafik hacimlerinin doğru bir şekilde ölçüldüğünü ve trafik atamanın oransal olduğunu kabul eden bir yaklaşımdır. Tüm seyahat tablosundaki ölçümlerin pozitif ve $f(\mathbf{t})$ fonksiyonunun Hessian'ının pozitif tanımlı olması ve verilen link seçim olasılıkları ile kısıtların konveks olması koşulu ile Denklem (6.11) tekil bir çözüm verecektir. Denklemin türevinin alınması ile

$$\ln(\mathbf{t}^*) = \ln(\mathbf{t}') - \mathbf{1} + \mathbf{P}^T \mathbf{z} \quad (6.12)$$

(6.12) denklemi yazılabilir. Burada; \mathbf{z} double değişken ve $\mathbf{1}$, tüm elemanları 1 olan matristir.

\mathbf{P} matrisinin değeri 0 ile 1 arasında değiştiği için, aşağıda algoritmik adımları verilen iteratif dengeleme ile maksimum entropi seyahat tablosu tahmin edilebilir.

Tablo 6.1. İteratif dengeleme algoritması

Adım 1	Başla; $\mathbf{z} \leftarrow \mathbf{0}$ (İteratif dengeleme) Tüm kısıtlar i için
Adım 2	$\mathbf{t} \leftarrow \exp(\ln(\mathbf{t}') - \mathbf{1} + \mathbf{p}^T \mathbf{z})$ Eğer $v_i \neq \mathbf{p}_i^T \mathbf{t}$ ise $z_i \leftarrow z_i + \ln(v_i) - \ln(\mathbf{p}_i^T \mathbf{t})$ döngüsünü yakınsama oluncaya kadar çözüme devam et.

Burada \mathbf{p}_i^T değeri \mathbf{P} matrisinin i . sırasındaki değerdir. Tablo 6.1'in çözüm hızı ve yakınsama garantisi problemin büyüklüğüne bağlıdır. Ayrıca yakınsama garantisi, trafik sayaçları ile ölçülen akımların doğruluğu ile buna uygun kabul edilen kısıtların doğruluk derecesine bağlıdır. Fakat bu metot, uygulaması ve yorumlanması kolay olduğu için pratikte çok uygulama alanı bulmaktadır. Ayrıca, maksimum entropi metodu ile elde edilen seyahat talebi matrisinin duyarlılık analizi Tobin ve Friesz (1988) tarafından önerilen yöntem ile yapılabilir.

6.3.2. Genelleştirilmiş En Küçük Kareler

Entropi maksimizasyonu yaklaşımının en büyük dezavantajı, ölçülmüş link trafik hacimlerini kısıt olarak ele aldığı için, tahmin edilen B-V matrisinin hatasız olduğunun varsayılmasıdır. Genelleştirilmiş en küçük kareler (GEKK) ise ekonometrik tabana dayandığı için birçok sebepten kaynaklanabilecek hataların varlığını kabul ederek hesaplama yapar. Bu metot aynı zamanda standart hataları da verdiği için entropi metoduna göre avantajlı sayılabilir ve Cascetta (1984) tarafından önerilmiştir.

Eşdeğer optimizasyon problemi;

$$\text{Minimize } f(\mathbf{t}) = 0.5(\mathbf{t} - \mathbf{t}')^T \mathbf{X}^{-1}(\mathbf{t} - \mathbf{t}') + 0.5(\mathbf{v}' - \mathbf{P}\mathbf{t})^T \mathbf{Y}^{-1}(\mathbf{v}' - \mathbf{P}\mathbf{t}) \quad (6.13)$$

şeklinde formülize edilmiştir. Denklem (6.13)'ün girdileri; temel yılı seyahat tablosu, \mathbf{t}' , link trafik hacimleri, \mathbf{v}' , temel yılı tahminleri ile link ölçüm istatistiklerinin varyans-kovaryans matrisleri (\mathbf{X} ve \mathbf{Y}) ve link seçim olasılıkları matrisi \mathbf{P} 'dir. Varyans-kovaryans matrisi pozitif tanımlı ise, amaç fonksiyonu (Denklem 6.13) konveks yapıda olup tek minimum noktası bulunabilir. Denklem (6.13)'ün optimum noktası:

$$\nabla f(\mathbf{t}^*) = \mathbf{X}^{-1}(\mathbf{t}^* - \mathbf{t}') + \mathbf{P}^T \mathbf{Y}^{-1}(\mathbf{v}' - \mathbf{P}\mathbf{t}^*) = \mathbf{0} \quad (6.14)$$

denklemini ile bulunabilir. Bu denklem aşağıdaki doğrusal ilişkiyi verecektir:

$$\mathbf{t}^* = (\mathbf{X}^{-1} + \mathbf{P}^T \mathbf{Y}^{-1} \mathbf{P})^{-1} (\mathbf{X}^{-1} \mathbf{t}' + \mathbf{P}^T \mathbf{Y}^{-1} \mathbf{v}') \quad (6.15)$$

Değişkenlerin duyarlılığı göz önüne alındığında;

$$\nabla \mathbf{t}^* = (\mathbf{X}^{-1} + \mathbf{P}^T \mathbf{Y}^{-1} \mathbf{P})^{-1} (\mathbf{X}^{-1} \nabla \mathbf{t}' + \mathbf{P}^T \mathbf{Y}^{-1} \nabla \mathbf{v}') \quad (6.16)$$

denklemleri elde edilir. \mathbf{t}' ve \mathbf{v}' arasında korelasyonun olmaması koşulu ve $\mathbf{E} = (\mathbf{X}^{-1} + \mathbf{P}^T \mathbf{Y}^{-1} \mathbf{P})^{-1}$ olması kabulü ile;

$$\text{Var}\{\mathbf{t}^*\} = \mathbf{E} \mathbf{X}^{-1} \text{Var}\{\mathbf{t}'\} \mathbf{X}^{-1} \mathbf{E} + \mathbf{E} \mathbf{P}^T \mathbf{Y}^{-1} \text{Var}\{\mathbf{v}'\} \mathbf{Y}^{-1} \mathbf{P} \mathbf{E} = \mathbf{E} \mathbf{X}^{-1} \mathbf{E} + \mathbf{E} \mathbf{P}^T \mathbf{Y}^{-1} \mathbf{P} \mathbf{E} \quad (6.17)$$

ifadesi kullanılarak B-V seyahat tablosu tahmin edilir. $\text{Var}\{\mathbf{t}^*\}$ matrisinin diyagonal elemanlarının karekökü tahmin değerlerinin standart hatalarını vermektedir. GEKK yaklaşımı çözümlenirken herhangi bir kısıt denklemlere verilmemiş ise double değişkenler de ortadan kalkar.

Eğer baz yılı tahmini, \mathbf{X} , ile trafik hacim ölçümlerinin, \mathbf{Y} , varyans ve kovaryansları normal dağılıma uyuyorsa, GEKK için iki yorum yapılabilir. Birinci olarak; GEKK çözümü Bayesian tahminine ve ikinci olarak; maksimum olabilirlik tahminine eşdeğerdir. Bell (1985) eğer \mathbf{Y} sıfıra yaklaşırsa, GEKK modeli maksimum entropi modeli gibi çözülebileceğini önermiştir.

GEKK modelinin maksimum entropi modelinden farkı seyahat tablosu tahmini yapılırken tahmin değerlerinin zaman zaman negatif olmasını engelleyecek herhangi bir kısıtın olmamasıdır. Genellikle, negatif değerler, B-V tablosu tahmininde gözardı edilebilecek küçüklüktedir. Bell (1991) yapmış olduğu çalışmada pozitiflik kısıtının tahmin edilen seyahat tablosuna eklenmesi ile çözümlenebileceğini göstermiştir.

6.3.3. İki-Seviyeli Programlama

Hem maksimum entropi hem de GEKK metodlarında, rota seçim olasılıkları \mathbf{P} , oransal olarak hesaplandığı için, trafik atama modelini oransal olarak kabul eder. Eğer link maliyet

fonksiyonları trafik hacmiyle artan bir ilişkiye sahip ise, beklenen seyahat talebi link trafik hacimleri ile oransal değildir. Bu durumda, iki-seviyeli programlama tekniği kullanılabilir.

Eğer link trafik hacimleri ölçülmüş ise link maliyet fonksiyonlarından her bir linkin maliyet fonksiyonları elde edilebilir. Ayrıca, deterministik kullanıcı dengesi altındaki trafik atama modeli kabul edilirse, en kısa rotalar kullanılacaktır. Bu durumda, rota akımları ve link seçin olasılıkları tanımsız hale gelecektir. Bu durumun klasik analitik metotlarla çözümlenmesi imkansızdır. Bunun için yeni sezgisel algoritmalara ihtiyaç vardır. Eğer trafik atama modeli stokastik kabul edilirse, denge durumunda rota akımları tanımlı olduğundan seyahat tablosu rota akımlarından elde edilebilir.

Genellikle, ulaşım ağındaki tüm linklerdeki trafik hacimlerini ölçmek mümkün olmamaktadır. Bu durumda, link maliyetleri link akımlarından bağımsız değilse, link seçim olasılıkları matrisinin tümünün hesaplanması neredeyse mümkün değildir. Böyle durumlarda atama modeli ile seyahat tablosu tahmini metodunun birleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlemlerden bir tanesi iki-seviyeli programlama olarak adlandırılabilir.

Trafik atama modelinde seyahat tablosu girdi ve link hacimleri çıktı olarak şöyle ifade edilebilir:

$$\mathbf{v} = A(\mathbf{t}) \quad (6.18)$$

Verilen bir \mathbf{t} değeri için \mathbf{v} 'yi bulmak mümkün iken, verilen bir \mathbf{v} için \mathbf{t} değerini bulmak mümkün değildir. Çünkü bu fonksiyonun tersi mevcut değildir. Bu sebeple Denklem (6.18)'i tersten çözebilmek ve seyahat tablosunu tahmin edebilmek için uygun bir amaç fonksiyonunun bulunmasına ihtiyaç vardır. Aşağıdaki eşdeğer optimizasyon probleminin uygun bir amaç fonksiyonu olduğunu varsayalım.

$$\text{Minimize } G(\mathbf{t}) = 0.5(\mathbf{t} - \mathbf{t}')^T \mathbf{X}^{-1}(\mathbf{t} - \mathbf{t}') + 0.5(\mathbf{v}' - A(\mathbf{t}))^T \mathbf{Y}^{-1}(\mathbf{v}' - A(\mathbf{t})) \quad (6.19)$$

Artan link maliyet fonksiyonları için atama fonksiyonu $A(\mathbf{t})$ 'nin hem stokastik hem de deterministik kullanıcı dengesi altında türevleri alınabilir. Denklem (6.19)'un türevi,

$$\nabla G(\mathbf{t}) = \mathbf{X}^{-1}(\mathbf{t} - \mathbf{t}') + \nabla A(\mathbf{t})^T \mathbf{Y}^{-1}(\mathbf{v}' - A(\mathbf{t})) \quad (6.20)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Eğer $\nabla A(\mathbf{t})$ fonksiyonunun Jakobiyen'i \mathbf{t}' den bağımsız ise;

$$\nabla^2 G(\mathbf{t}) = \mathbf{X}^{-1} + \nabla A(\mathbf{t})^T \mathbf{Y}^{-1} \nabla A(\mathbf{t})$$

ifadesi, \mathbf{X} ve \mathbf{Y} varyans ve kovaryans matrisleri olduğu için, pozitif tanımlıdır, ve böylece Denklem (6.19) çözümlenebilir. Hem deterministik hem de stokastik kullanıcı dengesi altındaki atama için,

$$\Delta \mathbf{v} = \mathbf{A}(\nabla^2 f(\mathbf{h}^*))^{-1} \mathbf{B}^T (\mathbf{B}(\nabla^2 f(\mathbf{h}^*))^{-1} \mathbf{B}^T)^{-1} \Delta \mathbf{t} \quad (6.21)$$

denklemini yazılabilir. Burada \mathbf{A} link-rota belirleme matrisi, \mathbf{B} seyahat tablosu-rota belirleme matrisi, $f(\mathbf{h})$ atama fonksiyonunu veren eşdeğer optimizasyon probleminin amaç fonksiyonudur.

$$\Delta \mathbf{v} = \nabla A(\mathbf{t}) \Delta \mathbf{t}$$

yaklaşık değeri Denklem (6.21)'de yerine yazılıp, denklemin düzenlenmesiyle,

$$\nabla A(\mathbf{t}) = \mathbf{A}(\nabla^2 f(\mathbf{h}^*))^{-1} \mathbf{B}^T (\mathbf{B}(\nabla^2 f(\mathbf{h}^*))^{-1} \mathbf{B}^T)^{-1}$$

eşitliği bulunur. Kullanıcı dengesi altındaki trafik ataması durumu için \mathbf{h}^* verilen minimum rotalar kümesini temsil eder ve

$$\nabla^2 f(\mathbf{h}^*) = \mathbf{A}^T \nabla \mathbf{c}(\mathbf{v}) \mathbf{A}$$

denklemini ile hesaplanır. Eğer link maliyet fonksiyonları doğrusal ve bu fonksiyonların Jakobiyen'leri sabit ise atama fonksiyonunun Jakobiyen'i de sabittir. Stokastik trafik atama durumunda;

$$\nabla^2 f(\mathbf{h}^*) = \mathbf{D} + \alpha \mathbf{A}^T \nabla \mathbf{c}(\mathbf{v}) \mathbf{A} \quad (6.22)$$

denklemleri ile rota akımları hesaplanır. Burada \mathbf{D} , j . elemanı $1/h_j$ değerine eşit olan diyagonal matristir. Bu denklem \mathbf{t} 'den bağımsızdır.

Genellikle, $G(\mathbf{t})$ fonksiyonunun yapısının konveks olmadığına inanılır ki bu durumda seyahat tablosu tahmini konveks programlamanın dışında kalan bir konudur. Sadece atama problemi kendi başına bir optimizasyon problemi olduğu için ve seyahat tablosu tahmini de optimizasyon problemi olduğundan, bu iki problemin birleştirilerek çözümlenmesi için farklı yöntemler ve formülasyonlar önerilmiştir. Bu önerilerden birisi iki-seviyeli programlama metodudur. Bu metotta üst seviye, seyahat tablosu tahminini ve alt seviyede trafik atama modelini çözmektedir. Her bir problem tek başına konveks olmasına rağmen, birleştirilmiş atama-seyahat tablosu modeli konveks olmayan yapıdadır. Bu durum problemin çözümünü zorlaştırdığı gibi, her bir çözümün var olup olmadığını kontrol etmek zordur ve çözümde bir çok hatalı yerel optimum çözümlere ulaşılabilir. Hatalı yerel optimumları bulmak genellikle istenilen bir durum değildir. Çalışmada, bu nedenle üst seviye çözümünde Genetik Algoritma (GA) tekniği kullanılması önerilmiştir.

Geleneksel yaklaşımla iki-seviye programını çözenin en anlaşılabilir yolu her bir seviyede problemi çözerek çözümlerin iteratif olarak alt-üst seviye arasında yer değiştirmesi şeklinde yapılabilir. Bu çözümde en büyük problem; yakınsamanın garanti edilemeyeceğidir.

GEKK metodu ile seyahat tablosu tahminini ve deterministik kullanıcı dengesi altındaki trafik atama modelini birleştirdiğimizi düşünürsek, Tablo 6.2.'deki gibi bu problemi çözebiliriz.

Tablo 6.2. GEKK için iki-seviyeli çözüm adımları

Üst seviye	$\mathbf{t}_{k+1} = (\mathbf{x}^{-1} + \mathbf{p}_k^T \mathbf{y}^{-1} (\mathbf{x}^{-1} \mathbf{t}' + \mathbf{p}_k^T \mathbf{y}^{-1} \mathbf{v}')$ $k \leftarrow k + 1$
Alt seviye	\mathbf{p}_k değerini deterministik kullanıcı dengesi ile hesapla

Tablo 6.2’de tahmin edilen seyahat tablosu değerleri, \mathbf{t} , alt seviyeye, link seçim olasılıkları matrisi, \mathbf{P} , değerleri üst seviyeye geçirilerek iki problem belirli bir yakınsama kriteri sağlanıncaya kadar sürdürülür. Maksimum entropi modeli ile deterministik kullanıcı dengesi altındaki yaklaşımlar iki-seviyeli programlama çerçevesinde çözümlenirse, Tablo 6.3’teki adımlar kullanılabilir.

Tablo 6.3. Maksimum entropinin çift-seviyeli program ile çözümü

	$\mathbf{v}' = \mathbf{v}_k + \nabla A(\mathbf{t}_k) \mathbf{t}_k = \nabla A(\mathbf{t}_k) \mathbf{t}$	
Üst seviye	$v_{k+1} \leftarrow v_k + \nabla A(\mathbf{t}_k)(\mathbf{t}_{k+1} - \mathbf{t}_k)$	kısıtına bağlı olarak;
	$k \leftarrow k + 1$	
Alt seviye	$\nabla A(\mathbf{t}_k)$ türevini hesapla	

Alt seviyede çözülen deterministik kullanıcı dengesi problemi, stokastik kullanıcı dengesi altındaki trafik atama modeli ile yer değiştirilerek Tablo 6.3’teki adımlar yardımıyla seyahat tablosu tahminini yapmak mümkündür.

Birleştirilmiş trafik atama modeli ile seyahat tablosu tahmini zor ve konveks olmayan yapıda olduğu için GA yaklaşımı üst seviyenin çözümü için önerilmiş ve alt seviyede deterministik kullanıcı dengesi altında atama modeli kullanılarak B-V tahmini yapılmıştır.

6.3.4. Genetik Algoritma ile B-V Tahmini

Buraya kadar açıklanan tüm yöntemler B-V seyahat tablosu tahminlerinde genellikle link maliyet fonksiyonlarının türev bilgilerine ihtiyaç duymaktadır. Ulaşım ağlarında maliyet fonksiyonlarının türev bilgilerini hesaplamak küçük ağlar için kolay olmakla birlikte, büyük ulaşım ağlarında türev bilgileri ile B-V tahmini yapmak oldukça zordur. Bu sebeple araştırmacılar yeni sezgisel algoritmalara yönelmişlerdir (Zhang ve Maher, 1998). Tüm çalışmalar link trafik hacimlerinin ölçülmesi ve hedef B-V tablosunun belirlenmesinde farklı yöntemler ve çözüm önerileri üzerinde yoğunlaşmaktadır. B-V tablosu tahmini için bu çalışmada başlangıç değerlerine bağımlı olmayan

sezgisel algoritmalarından GA tekniği önerilmiştir. GA ile B-V tahmini aşağıdaki şekilde formüle edilebilir.

Düğüm elemanlar kümesi D ve yönlendirilmiş linkler kümesi M olan $\Gamma = (D, M)$ şeklinde bir ulaşım ağı düşünelim. Bu ağın toplam B-V sayısı $N=IXZ$ olarak, I origin ve Z 'de hedef sayısı olarak verilsin.

x çalışma periyodu Ψ zaman aralığında, orijinden, $i \in I$, ayrılan ve hedefte, $j \in J$, sonlanan k^{inci} B-V çiftindeki seyahat sayısı için elemanları $x_{ij} \in X^*$ olan B-V tablosundaki bilinmeyen seyahatlerin vektörel kümesini gösterirken X^* olası çözüm kümesini gösterebilir. Ψ zaman aralığı değişkeni günün herhangi bir zaman dilimini, sabah ya da akşam zirve periyotlarını ifade etmektedir. x_{ij} seyahatini yol yapan kullanıcılar B-V çifti (i, j) arasında farklı rotaları kullanacaklardır. Ayrıca, \bar{M} , $m \in M_o$ linklerindeki gözlem ölçümlerini ifade etsin. Burada $M_o \subseteq M$ trafik sayaçları ile ölçüm yapılmış toplam ulaşım ağı linklerini göstermektedir. $y = \{y_m\}$ ulaşım ağındaki ölçülmüş trafik sayımlarının vektörel gösterimidir. Böylece, Ψ zaman periyodu içerisinde m . linkteki y_m gözlem trafik hacmi aşağıdaki doğrusal ilişki ile ifade edilebilir.

$$y_m = \sum_{ij} \alpha_{ijm} x_{ij} + e_m \quad (6.23)$$

Burada atama oranları olarak bilinen α_{ijm} , m linkini kullanan $i-j$ B-V çifti arasındaki link-kullanım oranlarını göstermektedir. Bu terim, çalışma periyodu, Ψ , boyunca $i-j$ arasındaki m . linki kullanan tahmin edilmiş seyahat olasılıklarını ifade eder. Denklem (6.23)'ün sağındaki toplam terimi verilen veya ölçülen link m 'deki link trafik hacim vektörü \bar{y} 'ın elemanları olan \bar{y}_m değerlerini tahmin eder. e_m değeri ölçülen y_m ve tahmin edilen \bar{y}_m m . link trafik hacimleri arasındaki ölçüm veya tahmin hatalarını ifade etmektedir. Bu hatalar, genellikle rota seçim olasılıklarının hatalı olması veya ulaşım ağının hatalı temsil edilmesinden kaynaklanabilir.

Diğer taraftan, ulaşım ağlarında, zon çiftleri N genellikle ölçüm yapılan link sayıları \bar{M} değerinden büyük olduğu zaman link trafik hacimleri B-V seyahat tablosunu tahmin edebilmek için yeterli bilgi sağlamayabilir. Bu sebeple, \mathbf{x} matrisinin araştırılması için ek bilgiye ve kısıtlara ihtiyaç vardır. İhtiyaç duyulan ek bilgiler hedef matrisi olarak tanımlanan $\bar{\mathbf{x}} = \left\{ \bar{x}_{ij} \right\}$ matrisinden alınabilir. Hedef matrisi ise eğer var ise ölçüm veya tahmin edilen temel yılı matrisidir. Hedef matrisinin kullanılması durumunda;

$$\bar{x}_{ij} = x_{ij} + u_{ij} \quad (6.24)$$

ifadesi kullanılabilir. Denklem (6.24)'deki u_{ij} elemanı modelleme hatalarını göstermektedir.

GA ile B-V talep tahmini yapılırken iki seviyeli programlama tekniği seçilmiştir. Üst seviye problemi amaç fonksiyonu, $F(\mathbf{x}, \bar{\mathbf{y}})$ 'nin minimize edilmesi ile B-V tablosu tahmin edilmiştir.

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi $F(\mathbf{x}, \bar{\mathbf{y}})$ 'nin herhangi bir formu kullanılabilir (örneğin, GEKK, maksimum entropi, maksimum olabilirlik, Bayesian yöntemi gibi...). Alt seviye problemi ise deterministik kullanıcı dengesi (KD) (Wardrop, 1952) altında çözülmüştür. KD lineer olmayan optimizasyon problemi olarak çözümlenebilir. KD ile ilgili formülasyonlar bir sonraki bölümde verilecektir.

Üst seviye ve alt seviye probleminin serisel olarak GA ile çözümü için bu çalışmada GEKK amaç fonksiyonu seçilmiş ve Denklem (6.25)'te verilmiştir.

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &\geq 0 \\ T_{ij} &\geq 0 \quad \forall ij \in N \\ \mathbf{v} &= \mathbf{P}\mathbf{x} \end{aligned}$$

kısıtlarına bağlı olarak

$$\min_{\mathbf{x}, \mathbf{y}} \left\{ \frac{1}{2} \sum_{ij \in N} (\bar{x}_{ij} - x_{ij})^2 + \lambda \frac{1}{2} \sum_{m \in M_0} (\bar{y}_m - y_m)^2 \right\} \quad (6.25)$$

Amaç fonksiyonu kullanılarak B-V tablosu tahmin edilebilir. Burada, \bar{y}_m KD altında hesaplanan link trafik hacimlerini göstermektedir. Denklem (6.25) hedef O-D matrisi için tahmin edilen seyahat talepleri \bar{x}_{ij} , ile link trafik hacimleri ölçümleri, y_m 'in benzer özelliklerde olduğunu ve B-V tablosundaki diyagonal elemanların varyans-kovaryans matrisinin $\frac{1}{2}$ 'ye eşit olduğunu varsaymaktadır. λ ise link ölçüm ağırlıklarıdır.

Genetik optimizasyon yaklaşımı

Genetik Algoritma (GA), her bir iterasyonda veya jenerasyonda, g , araştırma uzayında stokastik araştırma yaparak çözüme ulaşmaya çalışır. GA'nin temel prensipleri (Goldberg, 1989) ve (Ceylan, 2005)'de verilmiştir. GA'nin temel operatörleri; *yeniden üretim*, *seçim*, *çaprazlama* ve *mutasyon*'dur. GA uygunluk fonksiyonu, Φ , kullanır ve bu çalışmada $\Phi = F(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ olarak alınmıştır. GA'nin performansı seçilen *toplum büyüklüğü* ile doğru orantılıdır. Her toplum her bir jenerasyonda elde edilmiş alternatif bir B-V matrisini ifade etmektedir.

Her bir B-V seyahat tablosu talep değişkeni, x_{ij} , iki parametre, p ve q , ile açıklanabilir ve Denklem (6.26) ile (6.27)'de verilmiştir.

$$\sum_j p_{ij\rho}^{-g} = 1 \text{ olması koşulu ile}$$

$$x_{ij\rho}^g = p_{ij\rho}^{-g} * q_{i\rho}^g * x_{0i} \quad (6.26)$$

$$p_{ij\rho}^{-g} = \frac{p_{ij\rho}^g}{\sum_{j \in J} p_{ij\rho}^g} \quad (6.27)$$

Burada; $x_{ij\rho}^g$ değişkeni g jenerasyonunda i 'den j 'ye giden ρ . seyahatinin seyahat tablosundan çıkarılan değerleri ve seyahat tablosu değerleri, x_{ij} 'yi ifade etmektedir. KD altında tahmin edilen seyahat talebi $x_{ij\rho}^g, y_{mij\rho}^{-g}$ olarak hesaplama yapılmıştır. $p_{ij\rho}^g$ parametresi g jenerasyonunda i 'den j 'ye hareket eden ρ seyahatinin yapılma olasılığını göstermektedir. $q_{i\rho}^g$ parametresi ise g jenerasyonunda i 'den ayrılan ρ seyahatlerinin oranını temsil etmektedir. $x_{0i} = \sum_j \bar{x}_{ij}$ olup geçmiş seyahat talebini göstermektedir. B-V talebi tahmini için GA'in adımları şöyle özetlenebilir;

Adım 1 : $g=1$; $q_{i\rho}^g, p_{ij\rho}^g$ ve $p_{ij\rho}^{-g}$ başlangıç değerlerini belirle;

Adım 2 : Her bir seyahat talebi ρ ve B-V çifti (i,j) için $x_{ij\rho}^g, y_{mij\rho}^{-g}$ ve Φ değerlerini hesapla, uygunluk değerlerini düzenle;

Adım 3 : $q_{i\rho}^g$ ve $p_{ij\rho}^{-g}$ parameterlerini güncellemek için GA operatörlerini uygula;

Adım 4 : Sırasıyla güncellenmiş $x_{ij\rho}^g$, KD-tabanlı $y_{mij\rho}^{-g}$ parametrelerini hesapla, yeni Φ değerlerini bul;

Adım 5 : Durma kriteri sağlandıysa dur ve en uygun B-V talebini yazdır; değilse $g = g + 1$ olarak al ve Adım 2'ye dön.

Algoritmada kullanılan operatörler ve GA parametrelerinin kodlama ve yeniden kodlama hakkında detaylı bilgi Kim ve diğ., (2001) ve Ceylan ve Bell (2004)'te bulunabilir.

6.4. Ulaşım Ağlarında Kullanıcı Dengesi

Ulaşım ağlarının analizinde denge kavramı, link seyahat sürelerinin link akımları ile olan bağımlılığından doğmaktadır. Bir başlangıç ve bir bitiş noktası arasında seyahat etmek isteyen bir grup motorlu araç sürücüsü ve bu iki nokta arasında birbirine linkler ile bağlanan belli sayıda düğüm noktaları ve farklı rotalar bulunduğu düşünülürse, tasarım probleminin temel sorusu bu

sürücülerin bahsedilen farklı rotalara nasıl dağılacığı sorusudur. Bu sorunun çözümü için tüm sürücülerin kendi seyahat maliyetlerini, yani ulaşım sürelerini, minimum etmeye çalıştıklarını kabul etmek makul bir yaklaşımdır. Bu durumda dengeye *hiçbir sürücünün rota seçimini değiştirerek kendi seyahat maliyetini değiştiremediği* durumda ulaşılır ve denge şartı, *kullanıcı-dengesi* olarak adlandırılır (Sheffi, 1985). Kullanıcı dengesine ulaşıldığında hiçbir sürücünün çabası ulaşım maliyetini düşürmeyeceği için hiçbir kuvvet dengenin bozulmasında etkili olamaz. Bu nedenle KD yaklaşımı altına ulaşım ağının tasarımılandırılması gerçekçi yaklaşımlardan birisi olmaktadır.

KD yaklaşımının temel prensibi, bir B-V çifti arasında kullanılan tüm rotaların maliyeti birbirine eşit ve kullanılmayan rotaların maliyeti ise kullanılan rotaların maliyetine eşit ya da daha düşüktür. KD'nin Bu prensipten yola çıkıldığında denge kuramının matematiksel formülasyonu sırasıyla şöyle özetlenebilir.

$$\mathbf{c}=\mathbf{c}(\mathbf{v}),$$

burada c link maliyet fonksiyonu, v ise link trafik hacmidir. Link trafik hacimleri, rota akımlarından;

$$\mathbf{v}=\mathbf{A}\mathbf{h}$$

eşitliği kullanılarak link trafik hacimleri hesaplanır. Burada \mathbf{A} link-rota belirleme matrisi ve \mathbf{h} rota akımları vektörüdür. \mathbf{w} değişkeni rota maliyet vektörü olarak kabul edilirse;

$$\mathbf{w}(\mathbf{h})=\mathbf{A}^T\mathbf{c}(\mathbf{v})$$

eşitliği yazılabilir. Rota maliyetleri link trafik hacimlerinin bir fonksiyonu olduğu için rota akımları;

$$\mathbf{w}=\mathbf{A}^T\mathbf{c}(\mathbf{A}\mathbf{h})$$

eşitliği kullanılarak bulunur. Eğer \mathbf{h}^* KD altındaki rota akımları ve $\mathbf{w}(\mathbf{h}^*)$ buna karşılık gelen rota

maliyetleri ise; deterministik KD altında aşağıdaki varyasyonel eşitsizlik sağlanmak zorundadır.

$$(\mathbf{h}-\mathbf{h}^T)\mathbf{w}(\mathbf{h}^*)\geq 0 \quad (6.28)$$

Burada \mathbf{h} herhangi bir olası rota akımıdır. Deterministik kullanıcı dengesi altında rota akımları tanımlı olmadığı için ancak varyasyonel eşitsizlik durumu ile problem formülize edilir. Bunun anlamı, verilen herhangi bir olası rota akımı için, KD rota akımlarından herhangi bir sapma toplam ağ maliyetini düşürmez.

KD ile birlikte B-V tahmininin GA ile yapılabilmesi için link maliyet fonksiyonunun önemi oldukça büyüktür. Bu sebeple, Bölüm modifiye edilmiş BPR link maliyet fonksiyonu Denklem (6.29)'da verilmiştir.

$$c_a(v_a) = c_a^0 \left(1 + 0.15 \left(\frac{v_a}{sg/C} \right)^4 \right) \quad (6.29)$$

Burada, t_a^0 , a linki üzerindeki serbest akım koşullarındaki seyahat süresini (dk), v_a , a linkindeki trafik akımını (taşıt/sa), s , doygun akım trafik hacmi (taşıt/sa), g , link sonundaki kavşak yaklaşım kolundaki yeşil süre (s) ve C , yine link sonundaki kavşağın saniye cinsinden toplam devre süresidir. Çalışmada, doygun akım trafik hacmi değeri, 2 şeritli kavşak yaklaşımlarında 1800 taşıt/sa, 3 şeritli kavşak yaklaşımlarında 2700 taşıt/sa olarak alınmıştır.

Seyahat tablosu hesabında Denklem (6.30)'daki eşitlik ile negatifsizlik koşulları sağlanarak çözüme ulaşılır.

$$\mathbf{t} = \mathbf{\Omega} \mathbf{h} \quad \mathbf{h} \geq 0 \quad (6.30)$$

burada $\mathbf{\Omega}$ rota-B-V belirleme matrisidir. Rota maliyetlerinin kestirimi ile başlayacak olan analiz sürecinin her aşamasında kullanıcı dengesi kısıtının sağlanmış olması en önemli koşuldur.

6.5. Çözüm Algoritması

B-V talep tahmini problemi bir minimizasyon problemi olarak tanımlanmış ve Denklem (6.25)'te verilen amaç fonksiyonu modifiye edilerek Denklem (6.31)' te verilmiştir.

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &\geq 0 \\ T_{ij} &\geq 0 \quad \forall ij \in N \end{aligned}$$

kısıtlarına bağlı olarak

$$\text{Minimize } \Phi = f(\mathbf{y}) = \left\{ \lambda \sum_{m \in M_0} (\bar{y}_m - y_m)^2 \right\} \quad (6.31)$$

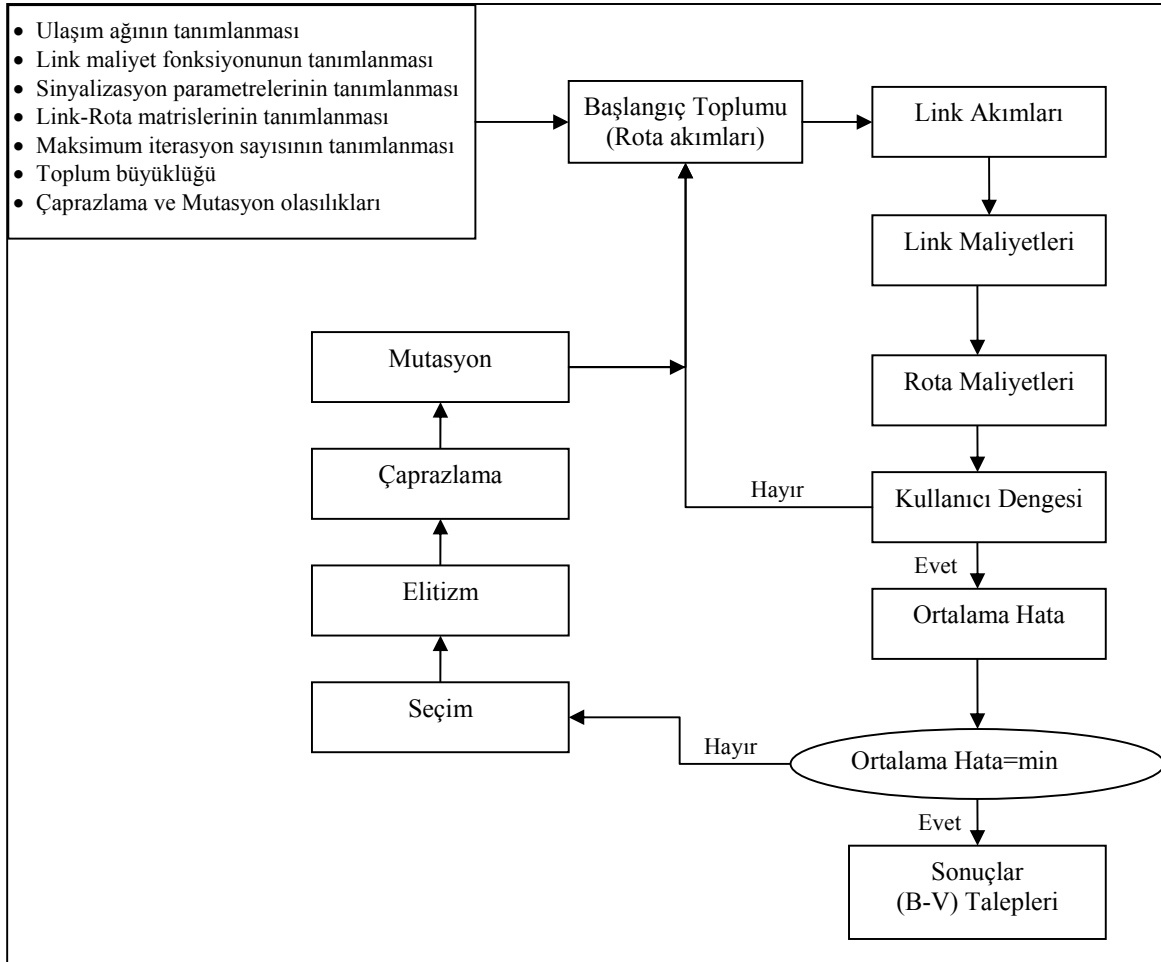
Çözümün gerçekleştirilebilmesi için bilgisayar ortamında bir Visual Basic Application (VBA) kodu yazılmıştır. Algoritma içerisinde, link akım ve link maliyeti arasındaki içsel bağımlılık iteratif yolla çözülürken, hedeflenen minimizasyon problemi GA'lar yardımı ile çözülmüştür. Algoritmanın akış şeması Şekil 6.3'te görülmektedir. Şekilden de anlaşılabilceği gibi, ulaşım ağı ile ilgili genel topolojik özelliklere ek olarak rota akımları GA modeline girdi olarak verilmekte ve ölçülmüş link trafik hacimleri ile KD altında elde edilen link akımları karşılaştırılıp ters dönüşüm ile klasik B-V hesaplama tekniğinden farklı bir şekilde B-V talepleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu da ters (invers) çözüm olarak adlandırılmıştır. GA yardımıyla verilen rota akımlarının KD altında link trafik hacimleri aşamasında yakınsama sağlanıncaya kadar GA operatörleri kullanılmıştır.

6.5.1. Ulaşım ağının tanımlanması ve girdi parametreleri

Üzerinde çalışılan ulaşım alt ağı, 9 düğüm (zon merkezi), 26 link, bu linklerin oluşturduğu 103 rota ve 72 B-V çiftinden oluşmaktadır. B-V talep çözümlemesine başlamadan önce, yine geliştirilen bir VBA yazılımı yardımı ile ağ üzerindeki tüm rotalar belirlenmiştir. Tablo 6.4'te ağdaki linkler ve bu linkleri kullanan rotalar görülmektedir. Yapılan bu işlem neticesinde,

başlangıçta verilecek rastgele rota akımlarından yola çıkılarak, link akımları kullanılarak, link maliyet hesaplarına geçilmiştir.

Üniform dağılıma uygun olarak üretilen başlangıç rota akımlarından, başlangıç B-V matrisleri elde edilmiştir. Tablo 6.5'te alt ağıdaki tüm B-V'ler için hangi rotaların kullanıldığı kısaca özetlenmiştir. Kullanılan rotalar her bir iterasyon (jenerasyon için) maliyet fonksiyonlarına bağlı olarak KD altında güncellenmiş ve maliyet açısından en kısa rotalar seçilir kabulü ile rota akımları hesaplanmıştır.



Şekil 6.3. Atama ve optimizasyon sürecine ait akış diyagramı

KD atamasının kontrolü Tablo 6.5'deki rota dağılımları kullanılarak yapılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan bir tanesi de, optimizasyon sürecinde rota akımlarına

verilecek olan üst limit değeridir. Bunun kontrolü için VBA koduna yapılan bir eklenti ile, bir rotadan geçebilecek maksimum akım değerinin, o rotanın kullandığı linklerden en düşük akımı taşıyan linkin akımını geçemeyeceğini kontrol ederek gerçekleştirilmiştir.

6.5.2. GA parametreleri

Yapılan analizlerde çözümün en kısa sürede optimum ya da yakın optimum değere yakınsaması için farklı GA parametreleri için çözümler gerçekleştirilmiştir. GA yaklaşımında amaç fonksiyonu ile birlikte parametre değerlerinin seçimi önem arz etmektedir. Birkaç denemeden sonra en iyi parametre değerleri bulunmaya çalışılmıştır. Ayrıca, önceki çalışmalarda önerilen parametre değerlerine göre seçilmiştir.

Tablo 6.4. Alt ağıdaki linkler ve bu linkleri kullanan rotalar

Link No	Rotalar																
1	36	42	43	45	47	49	51	52	53	54	55	57	58	59	61		
2	31	34	42	43	45	49	51	53	54	55	58	63	65	66	67	68	70
3	18	31	32	42	43	49	53	54	63	66	67	74	76	77			
4	42	49	53	63	66	74	76	84	85	86	89						
5	49	63	74	84	86	89	95	97	99	102							
6	3	5	6	8	9	10	12	13	14	86	89	97	99	102			
7	6	9	10	13	14	20	22	23	25	26	79	89	90	99	102		
8	10	14	23	26	36	37	38	102									
9	14	26	36	38	42	43	45	47	48								
10	51	55	65	68	75	78	79	87	90								
11	51	55	65	68	75	78	79	87	90								
12	52	57	59	64	69	71	80	91									
13	52	57	59	64	69	71	80	91									
21	7	8	11	12	21	24	80	81	82	83	91	92	93	94	100	101	103
31	4	7	11	87	88	90	91	92	93	94	98	100	101	103			
41	2	4	7	11	17	30	96	98	100	101	103						
51	1	2	4	7	11	16	17	29	30	41							
61	15	16	17	27	29	30	40	41	50	51	52	64	65	75			
71	27	28	29	30	32	33	40	41	44	50	52	56	57	64	69		
81	40	41	44	46	50	56	60										
91	50	56	60	62	72	82	93	101									
101	5	8	12	18	19	21	24	32	33								
111	5	8	12	18	19	21	24	32	33								
121	9	13	22	25	31	34	35	39									
131	9	13	22	25	31	34	35	39									
1(1)	11	12	13	24	25	39	72	73	82	83	93	94	101	103			

Tablo 6.5. B-V'ler arasındaki rotalar

V \ B	208	222	223	224	225	227	105	205	204
208	---	3	6	10	11-12-13-14	7-8-9	4-5	2	1
222	15	---	20	23	24-25-26	21-22	19	17-18	16
223	27	28	---	37	38-39	36	33-34	30-31-32	29
224	40	44	46	---	48	47	45	43	41-42
225	49-50-51-52	55-56-57	59-60	62	---	61	58	54	53
227	63-64-65	68-69	71	72	73	---	70	67	66
105	74-75	78	79-80	82	83	81	---	77	76
205	84	86-87	89-90-91	93	94	92	88	---	85
204	95	97	99	101-102	103	100	98	96	---

Bu çalışmada kullanılan GA parametreleri:

Toplum Büyüklüğü (p_z)	: 500
Bit Sayısı	: 25
Çaprazlama Olasılığı (p_c)	: 0.95
Mutasyon Olasılığı (p_m)	: 0.01
Bilinen Değişken Sayısı	: 103

6.5.3. Çözüm aşamaları

GA ile B-V tahmini uygulaması aşağıdaki hesap adımları kullanılarak çözümlenmiştir.

Adım 1: Rota akımlarının kodlanması

B-V talep matrislerinin belirlenmesinde ilk adım, ulaşım ağı üzerindeki rotaların belirlendikten sonra bu rotalara bir başlangıç akımı verilmesidir. Gelişigüzel ya da belli bir dağılıma uydurularak verilmesi mümkün olan rota akımlarında, değer üst sınırı olarak o rotayı kullanan linklerde gözlenen minimum akım dikkate alınmalıdır. Denklem (6.32) incelendiğinde bu sınır şartı görülebilir.

$$0 \leq w_r \leq v_a^{\min} \quad \forall a \in A, \forall r \in R \text{ ve } \forall a \in r \quad (6.32)$$

Burada w_r , r rotasına verilecek başlangıç akımını, v_a^{min} , r rotası üzerindeki linklerden en düşük trafik akımı taşıyan linkin akımını, a , r rotası üzerindeki linki, \mathbf{A} , ulaşım ağının linkler kümesini, R , ulaşım ağının rotalar kümesini ifade etmektedir. Yeniden kodlama için gerekli formülasyon Ceylan (2005)'de bulunabilir.

Adım 2: Link akımlarının belirlenmesi

Rota akımlarının belirlenmesinden sonraki adım, link akımlarının belirlenmesidir. Bir ulaşım ağındaki herhangi bir linkin akımı, o linki kullanan rotaların akımları toplamına eşittir. Link akımlarının hesaplandığı bağıntı Denklem (6.33)'te verilmiştir.

$$v_a = \sum h_{rij} \alpha_{ar} \quad (6.33)$$

Burada h_{rij} , i başlangıcı ile j varışı arasında yer alan r rotası üzerindeki trafik akımı, α_{ar} , eğer r rotası a linkini kullanıyorsa 1, aksi halde 0'dir. α değerlerini belirlemek için link-rota belirleme matrisinden yararlanmak gerekmektedir. Link-rota belirleme matrisinin formu (6.34) no'lu bağıntıda verilmiştir.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1R} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2R} \\ & & \dots & \\ \alpha_{A1} & \alpha_{A2} & \dots & \alpha_{AR} \end{bmatrix} \quad (6.34)$$

Rota akımlarından link trafik hacimlerinin elde edilmesi için kullanılacak olan bağıntı Denklem (6.35)'deki hale dönüşür.

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} * \mathbf{h} \quad (6.35)$$

burada \mathbf{h} rota akımları vektörünü göstermektedir. Çalışmada incelenen alt ağın bir kısmı için oluşturulan örnek link-rota belirleme matrisi (6.36) bağıntısı ile verilmiştir.

Adım 3: Link maliyetlerinin belirlenmesi

Rota akımlarına bağlı olarak, link akımları belirlendikten sonra link maliyetlerinin elde edilmesi için (6.29) no'lu denklem kullanılmıştır. Denklem (6.29) aynı zamanda kavşaktaki yeşil süreleri ve kavşak kapasitesini dikkate almaktadır.

$$\begin{array}{c} \text{Rotalar} \\ 31 \ 32 \ 43 \ 54 \ 74 \\ \text{Linkler} \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} \left[\begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \end{array} \quad (6.36)$$

Adım 4: Rota maliyetlerinin belirlenmesi ve kullanıcı dengesi kontrolü

Link maliyetlerinden yola çıkılarak gerçekleştirilen bu adımda, farklı B-V'ler arasındaki alternatif rotaların seyahat maliyetlerinin bulunması gerekmektedir. (6.28) no'lu denklemde açıkça ifade edilen rota maliyetleri, kullanıcı dengesinin oluşup oluşmadığı konusundaki en önemli göstergedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda kullanıcı dengesine ulaşılamadığı takdirde 1. Adıma geri dönülerek yeni rota akımlarının ağa yüklenmesi gerekmektedir.

Adım 5: Gözlem-hesap akımlarının karşılaştırılması ve çözüm sonuçları

4. Adımda bahsedilen kullanıcı dengesinin yakalanması durumunda, son adım olarak linkler üzerindeki gözlem ve hesap akımlarının kıyaslanması aşaması gelir. Denklem (6.31)'de verilen bağıntının minimizasyonu ile bu kıyaslama yapılır ve elde edilen sonuç çözüm sürecinin sonucu olarak kaydedilir. GA analizi süresince gerçekleştirilecek olan tüm analizler sonucunda elde edilen değerlerden en düşüğü, optimum ya da yakın optimum olarak adlandırılır ve bu değeri veren rota akımları, çözüm çıktıları olarak kabul edilir. kullanılarak B-V talepleri elde edilir.

Adım 6: B-V taleplerinin elde edilmesi ve B-V matrislerinin oluşturulması

Çözüm sürecinin son aşaması, optimum rota akım değerleri elde edildikten sonra bu akım değerlerinden yola çıkılarak, ulaşım ağındaki tüm B-V'ler ($\forall q \in Q$) için seyahat taleplerinin hesaplanması ve B-V talep matrisi formuna dönüştürülmesidir. Denklem (6.37)'de verilen bağıntı ile optimum rota değerleri kullanılarak B-V talepleri hesaplanmıştır.

$$t_{ij} = \sum_{ij} h_{ijr} \omega_{ijr} \quad (6.37)$$

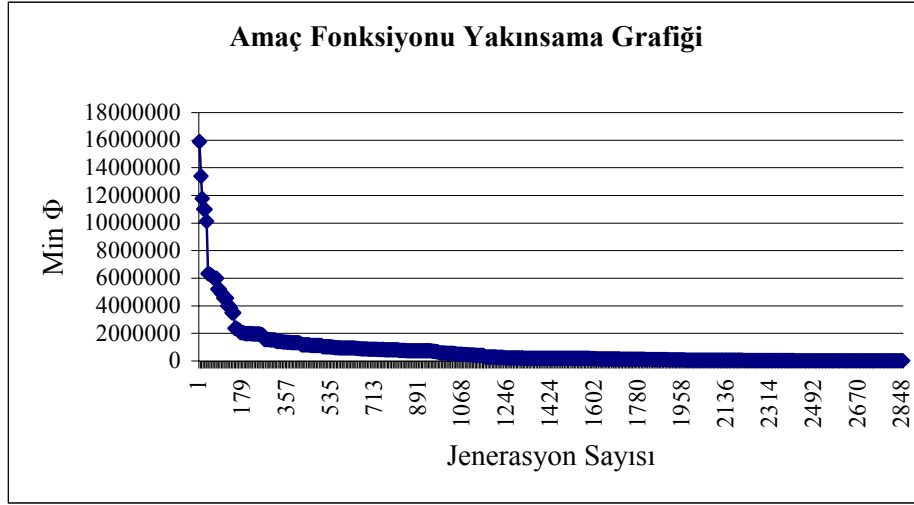
Burada t_{ij} , i başlangıcı ile j varışı için toplam seyahat talebi, ω_{rij} , eğer r rotası $i-j$ B-V'sine ait bir rota ise 1, aksi halde 0'dır. ω değerlerini belirlemek için rota-B-V belirleme matrisinden yararlanmak gerekmektedir. Rota-B-V belirleme matrisinin formu (6.38) no'lu bağıntıda verilmiştir.

$$\Omega = \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \dots & \omega_{1Q} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \dots & \omega_{2Q} \\ & & \dots & \\ \omega_{r1} & \omega_{r2} & \dots & \omega_{rQ} \end{bmatrix} \quad (6.38)$$

6.6. B-V Talep Matrislerinin Elde Edilmesi

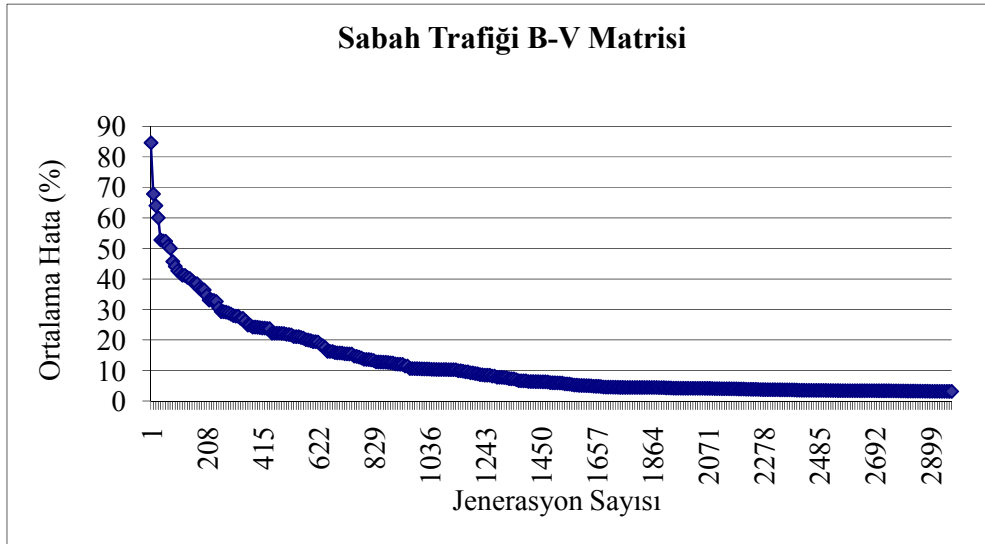
Yukarıda verilen ağ özellikleri ve GA parametreleri doğrultusunda, geliştirilen VBA yazılımı yardımı ile B-V talep matrisleri sabah ve akşam zirve saatleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çözüm için maksimum iterasyon sayısı 1,500,000 olarak tanımlanmıştır. Bu durum, verilen 500 toplum büyüklüğü için 3000 yeni jenerasyon üretimi anlamına gelmektedir. Şekil 6.4'te sabah zirve saat aralığı için amaç fonksiyonunun tüm jenerasyonlar boyunca değişimi verilmiştir.

Sabah B-V talebi tahmini için Denklem (6.31)'de verilen amaç fonksiyonunun değeri başlangıç nesili için $15 \cdot 10^6$ mertebesinde iken 3000. nesile gelindiğinde bu değer $20 \cdot 10^3$ mertebesine indirgenmiştir. Kullanıcı dengesi şartlarının her nesil için kabul edilebilir düzeyde yakalanmış olması yapılan trafik atamasının güvenilirliğini ortaya koymuştur.



Şekil 6.4. Sabah trafiği için amaç fonksiyonu yakınsama grafiği

Şekil 6.5'te B-V çözümünün ortalama hatalar grafiği verilmiştir. Ortalama hatalar tahmin edilen trafik hacimleri ile KD altında tahmin edilen link trafik hacimlerinin farkı olarak verilmiştir. Şekil incelendiğinde, ilk jenerasyonda %85 mertebesinde başlayan fonksiyon değeri hataları, 3000. jenerasyonda %3 mertebesine düşmüştür. Bu hata değeri literatürde B-V tahmininde verilen %20 hata değerinin oldukça altındadır.



Şekil 6.5. Sabah zirve saat ortalama hata grafiği

Tablo 6.6’da çözüm sonrasında elde edilen sabah trafiği için muhtemel B-V matrisi görülmektedir. Her zon merkezi veya düğüm noktası için içsel ulaşım talebinin sıfır olduğu kabulü ile 9x9 boyutlarındaki matrisin köşegen elemanları sıfır olduğu görülmektedir.

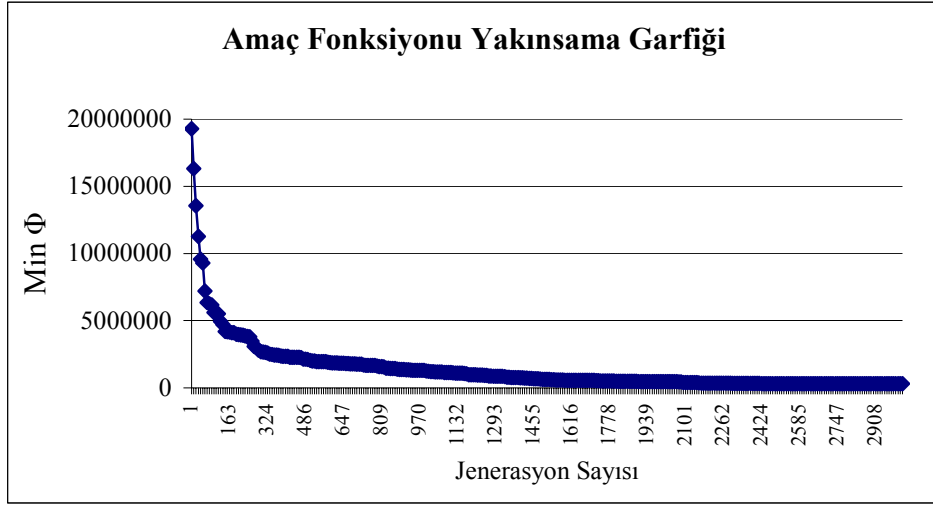
Tablo 6.6. Alt ağda sabah zirve saati için B-V talep matrisi

B/V	208	222	223	224	225	227	105	205	204	Σ
208	0	3	0	0	121	149	37	449	945	1704
222	0	0	0	0	0	174	119	0	0	293
223	0	152	0	0	174	167	294	9	0	796
224	0	0	0	0	220	3	0	1	350	574
225	0	595	0	246	0	0	0	0	0	841
227	162	68	213	103	0	0	0	79	0	625
105	754	38	10	0	0	0	0	29	37	868
205	0	165	131	114	0	0	176	0	0	586
204	630	508	8	105	0	0	171	471	0	1893
Σ	1546	1529	362	568	515	493	797	1038	1332	8180

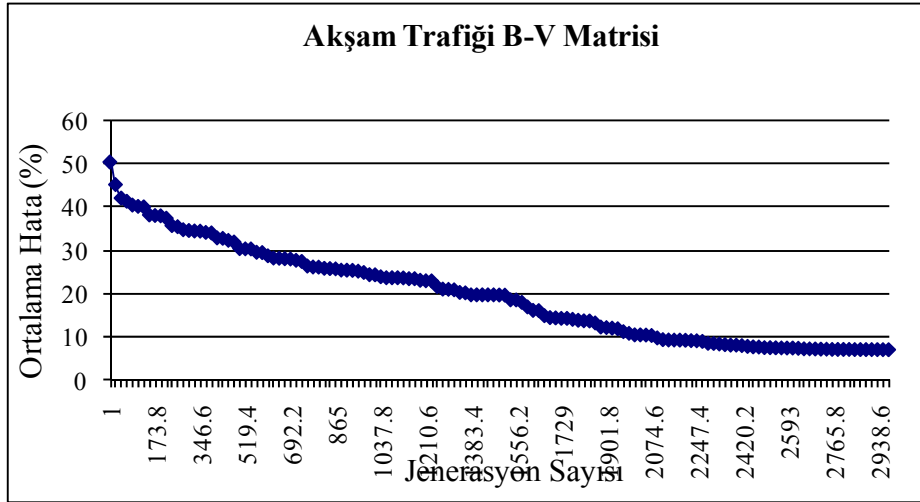
Her başlangıç noktasında üretilen ve yine her bitiş noktasının çektiği seyahatler B-V talep matrisinde satır ve sütun toplamları olarak verilmiştir. Sabah trafiği için toplam seyahat miktarı 8180 taşıt/saattir. Bu değer, korunumu, optimizasyon algoritmasında çözüm kısıtı olarak gözönünde bulundurulmuştur.

Sabah zirve saati için beklenen ulaşım talebinin çalışılan ulaşım ağına dağılımı Tablo 6.6’daki değerler irdelendiğinde kabul edilebilir düzeydedir. Ağa bakıldığı zaman 204 nolu zondan 208 nolu zona 630 taşıt/sa’lik bir talep oluşmaktadır ki bu sinyal süreleri ve trafik yönetimi için iyi bir temel teşkil edebilir. Ayrıca, 208 nolu zonun tüm zonlara dağıttığı seyahat sayısı 1704 araç/sa’tir. Bu da çalışılan ağdaki en yüksek trafik yükünü taşıyan ana artere karşılık gelmektedir.

Aynı maksimum iterasyon sayısı için gerçekleştirilen akşam zirve saat hesaplamalarının yakınsama grafikleri Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de ve sonuçta elde edilen B-V matrisi ise Tablo 6.7’de verilmiştir.



Şekil 6.6. Akşam zirve saat için amaç fonksiyonu yakınsama grafiği



Şekil 6.7. Akşam zirve saat ortalama hata grafiği

Akşam trafiği için amaç fonksiyonunun başlangıç değeri $20 \cdot 10^6$ mertebesinde iken bu değer son jenerasyonda $28 \cdot 10^4$ mertebesine inmiştir. Bununla birlikte başlangıçta %50 olan ortalama hata, çözüm akımları elde edildiğinde %8.2 değerine düşmüştür.

Tablo 6.7. Altağda akşam zirve saati için B-V talep matrisi

B/V	208	222	223	224	225	227	105	205	204	Σ
208	0	36	0	6	1	69	1091	629	367	2199
222	0	0	1	4	42	16	1	533	1	598
223	14	642	0	257	396	115	89	169	14	1696
224	0	0	0	0	740	3	254	2	1	1000
225	91	736	159	576	0	17	13	29	3	1624
227	7	55	0	23	0	0	6	2	7	100
105	497	402	174	29	0	7	0	48	15	1172
205	621	261	220	19	219	6	73	0	13	1432
204	730	90	206	197	0	8	32	1	0	1264
Σ	1960	2222	760	1111	1398	241	1559	1413	421	11085

Akşam saatlerinde ise ters yönde bir akım oluşacağından, zon 204'ten zon 208' e 630 taşıt/sa'ten 730 taşıt/saate çıkmış ve bu da yaklaşık akşam trafiğinde %16'lık bir artışa karşılık gelmektedir. Çalışılan ağ için akşam ulaşım talebi sabah talebine göre yaklaşık %36'lık fazla bir dağılımı göstermektedir.

6.7. Link Maliyet Fonksiyonları

Link akımları ve maliyetleri arasındaki ilişki "*link maliyet fonksiyonu*" adı verilen fonksiyonlarla tanımlanır. Link trafik hacimleri bilindiği gibi kavşaklardaki trafik akımlarının birbiriyle ilişkili olmasından dolayı birbiri ile bağlantılıdır. Pratikte seyahat edenlerin rota seçimlerini etkileyen birçok faktör mevcuttur. Bunlardan en önemlileri arasında seyahat süresi, mesafe, dolaysız maliyetler (yakıt tüketimi, ücretlendirme giderleri, park ücretleri vs.), emniyet ve konfor sayılabilir. Bu faktörlerden bazıları örneğin; seyahat süresi, emniyet ve konfor akımla ilişkili iken diğer faktörler akımla ilişkili değildir. Bu nedenle ulaşım planlamacıları ve trafik mühendisleri çoğu zaman bu faktörleri genelleştirilmiş maliyet fonksiyonu şeklinde gösterirler. Bu durum için genellikle Denklem (6.39)'da verilen doğrusal fonksiyon kullanılır;

$$l_j = a_{0j} + a_{1j} \text{süre}_j + a_{2j} \text{ücret}_j + \dots \quad (6.39)$$

Burada $a_{0j}, a_{1j}, a_{2j}, \dots$ parametreleri her bir seçenek j için model katsayılarıdır. Genel anlamda geliştirilmiş maliyet fonksiyonunun akımla ilişkili en baskın bileşeni seyahat süresidir. Link maliyet fonksiyonları için basitleştirilmiş formların kullanımı trafik atama problemindeki matematiksel hesaplamalarda kolaylık sağlaması açısından önemlidir. Basitleştirilmiş maliyet fonksiyonu olarak literatürde genellikle Amerikan Karayolları (BPR) tarafından üretilen Denklem (6.40) kullanılmaktadır.

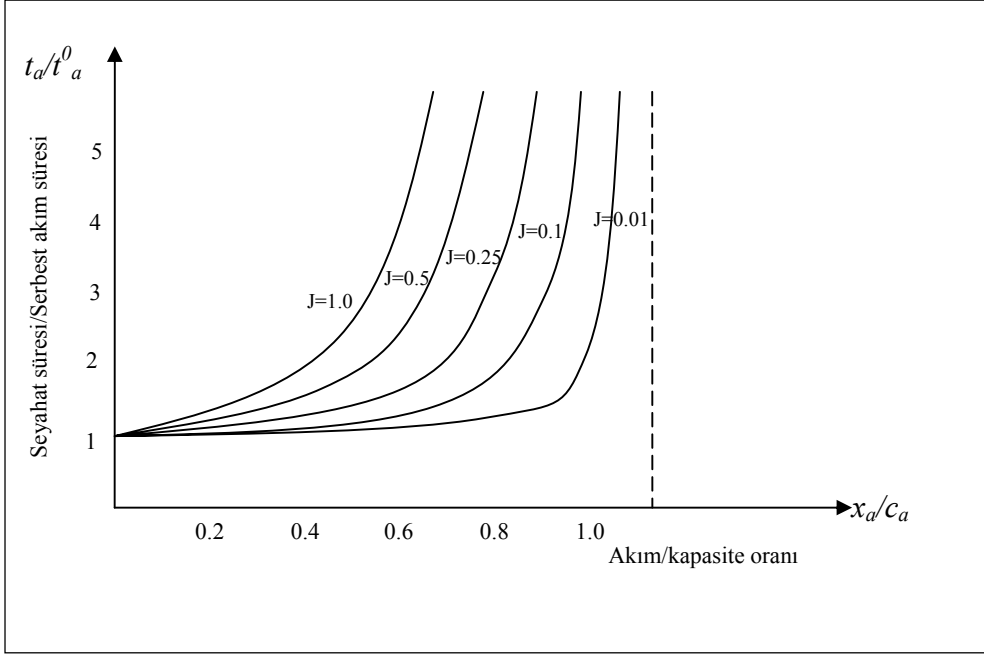
$$t_a = t_a^0 \left[1 + \alpha \left(\frac{x_a}{c'_a} \right)^\beta \right] \quad (6.40)$$

Burada; t_a a linki üzerindeki seyahat süresini, x_a link akımını, t_a^0 serbest akım seyahat süresini ve c'_a a linki üzerindeki pratik kapasite değerini verir. α ve β parametreleri için literatürde sıklıkla kullanılan değerler sırasıyla 0.15 ve 4'dür. Bu değerlerden anlaşılacağı üzere link a üzerindeki pratik kapasite, serbest akım seyahat süresinden %15 fazla seyahat süresine sahip akım değerine eşittir. Bu da o link üzerindeki maksimum mümkün akıma eşittir. Trafik akım teorisine karşılık olarak Amerikan Karayollarının ürettiği maliyet fonksiyon eğrileri herhangi bir kapasite değerine asimptotik değildir. Bu şekilde, yani kapasite akıma asimptotik olan fonksiyon kuyruk teorisi şartları altında Davidson (1966) tarafından önerilmiştir. Bu fonksiyon Denklem (6.41)'deki gibi ifade edilebilir.

$$t_a = t_a^0 \left[1 + J \frac{x_a}{c_a - x_a} \right] \quad (6.41)$$

Burada c_a yol kapasitesi, J model parametresi olarak ifade edilir. Geliştirilmiş maliyet fonksiyonunda olduğu gibi t_a^0 değeri ise serbest akım hızını göstermektedir. Davidson'un önermiş olduğu link performans fonksiyonu arazi ölçümleri ile daha kolay olarak tahmin

edilebilmektedir. J parametresi eğrinin eğimini kontrol etmekte olup J parametresinin etkisi Şekil 6.8’de görülmektedir. Parametre değeri azaldıkça eğri dikleşmekte ve asimptota yaklaşmaktadır.



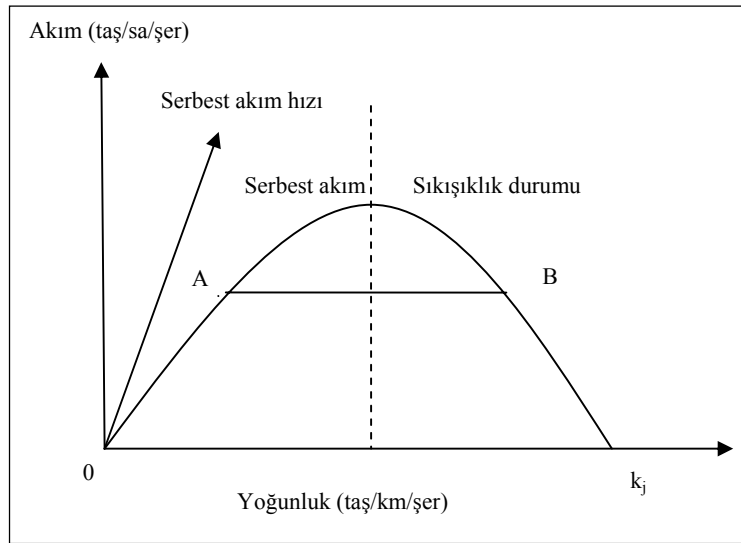
Şekil 6.8. Davidson link performans fonksiyonu

Şekilde x eksenini x_a/c_a ile belirtilmiş olup bu değer trafik mühendisliğinde sıkça kullanılan hacim/kapasite oranıdır. y eksenini ise a linkindeki seyahat süresinin serbest akım seyahat süresine oranı olarak gösterilmiştir. Teorikte kent içi yollardaki seyahat süresi, verilen bir akım değeri için ortalama hareket süresi ve kavşaklarda bekleme ile harcanan ortalama sürenin toplamı olarak karşımıza çıkar ve sıkışıklık etkisi çoğu zaman göz ardı edilir. Bundan dolayı link performans fonksiyonu elde edebilmek için bazı seyahat süreleri kavşak gecikme formüllerine dâhil edilerek performans fonksiyonu elde edilir. Ayrıca sinyalizasyon kavşaktaki kapasite sadece $c_a(g/c)$ kadar olabilir. Burada c_a kavşaktaki link kapasitesi ve g/c ise o linkteki yeşil sürenin devre süresine oranı olarak ifade edilmektedir. Bu nedenle kavşaklardaki sıkışıklık etkisinin ancak link kapasitesine erişilmeden önce link performansı üzerinde etkisi olmaktadır.

Link seyahat süreleri bilindiği gibi yol genişliğine de bağlıdır yani diğer bir anlamda her bir yöndeki şerit sayısına bağlıdır. Link boyunca hareket eden araçlar diğer linklerdeki araçlarla ve

aynı zamanda hız limitleri, park eden araçlar, taşıt kompozisyonu, yol kenarındaki yaya hareketleri ve trafik yavaşlatma uygulamaları vs. gibi birtakım yol şartları ile sürekli etkileşim halindedirler.

Link akımları ve link maliyetleri arasındaki ilişki birtakım yollarla saptanabilmektedir. Bu konudaki en iyi yaklaşım olarak doğrudan sayılabilir, fakat pratikte gözlemler sırasında birtakım zorluklar olabilmektedir. Başlıca zorluk, genellikle mümkün olmayan deneylerle elde edilen durumdan farklı olarak, gözlemler sırasında trafik akım seviyelerinde yeterli değişikliklerin elde edilememesidir. Bununla birlikte doğrudan gözlemleri tamamlayabilmek için trafik akım teorileri kullanılır. Bu durumu tanımlayabilmek için ve sonrasında trafik analizleri için birtakım yollar mevcuttur. Bunlar mikroskobik ve makroskobik gösterimler olarak ifade edilebilir. Mikroskobik gösterimde trafik birtakım basit kurallara sahip bireysel araç hareketleri olarak ifade edilirken örneğin; sabit hızda seyahat, kuyruk oluşumu, öndeki aracı takip etme veya belirli bir yere rastgele varış gibi durumlar göz önüne alınır. Bu tür ifade türü kavşak yakınındaki veya içindeki trafik tanımlaması için link üzerindeki trafik hareketlerinin tanımlanmasından daha uygundur. Makroskobik gösterimde ise trafik hidrodinamikte olduğu gibi sıkıştırılabilir akışkanlar mantığına uygun olarak ifade edilmeye çalışılır. Başka bir deyişle trafik akım, hız ve yoğunluk olarak tanımlanan üç değişkenle ifade edilir. Bu durum Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Temel akım-yoğunluk diyagramı

Makroskobik teorelinin temelii Şekilde gösterildiği gibi akım ve yoğunluk arasındaki ilişkidir. Yoğunluğun sıfır ve k_j değerini alması durumunda akım sıfır değerini almaktadır. k_j değeri kuyruk yoğunluğunu ifade edilir. Ayrıca grafikten grldĞi gibi her bir akım değeri için iki adet yoğunluk değeri vardır. DŐik değerdeki yoğunluk serbest akım koşullarındaki akım değerini verirken, yüksek yoğunluk değeri sıkışıklık etkisi altındaki akım değerini verir. Şekilde grldĞi gibi A ve B noktalarındaki yoğunluk değerleri aynı akım değerine karşılık gelmektedir. Şekil 6.9’da verilen akım-yoğunluk diyagramını hız-akım arasında da çizmek mümkündür. Aynı Şekilde hız-yoğunluk diyagramı da yine aynı Şekilde izilebilir. Hız ve yoğunluk arasındaki ilişki pratikte doğrusal olarak kabul edilir. Ayrıca hız ve akım arasındaki ilişki link seyahat süresi ve link akımı arasındaki ilişkiyi verecek Şekilde yeniden düzenlenebilir. Burada link seyahat süresi link uzunluğunun hızla bölümüyle elde edilebilir. Seyahat maliyetinin ana bileşeni olarak seyahat süresi ve akım arasındaki ilişki böylece link maliyet fonksiyonunun oluşturulması için temel teşkil etmektedir.

Maliyet fonksiyonları deneysel ya da teorik olarak akım ve maliyet arasındaki ilişki göz önüne alınarak geliştirilebilir. Genel olarak maliyet kavramı linkler için kullanılabilirdiği gibi bunun yanında kavşaklar içinde kullanılabilir. Linkler bilindiği gibi ulaşım ağında caddelere karşılık gelirken düğümler ise kavşakları nitelendirmek için kullanılmaktadır. Trafik atama ve planlama çalışmalarında maliyet fonksiyonunun özellikleri yapılan çalıŐmayı oldukça etkilemekte ve uygulanan çözüm metotlarının yakınsama özelliklerine büyük ölçüde etki yapmaktadır. Bu nedenle maliyet fonksiyonları seçilirken genelleştirilmiş maliyet fonksiyonlarının yanında yerel maliyet fonksiyonlarının yani bölge özelliklerini de temsil edebilen maliyet fonksiyonlarının kullanılması oldukça önemlidir.

Branston (1976) birtakım maliyet fonksiyonları üzerinde araştırmalar yapmış ve bu fonksiyonların gözlem verileri üzerinde uygulanabilirliği üzerine çalışmalar yapmıŐtır. Branston link maliyet fonksiyonlarını iki kategoride incelemiŐtır. Bunlar deneysel ve teorik yaklaŐımlardır. Deneysel metot gözlem verileri üzerinden uygun maliyet fonksiyonlarının bulunmasını içermektedir. Teorik yaklaşımda ise maliyet fonksiyonu, akım ve seyahat süresi ve kavşak bekleme zamanlarının toplamından oluşan seyahat süresinin arasındaki ilişkinin teorik Őartlarından faydalanılarak üretilmiştir. Genellikle fiziksel karakteristikler örneğin; uzunluk,

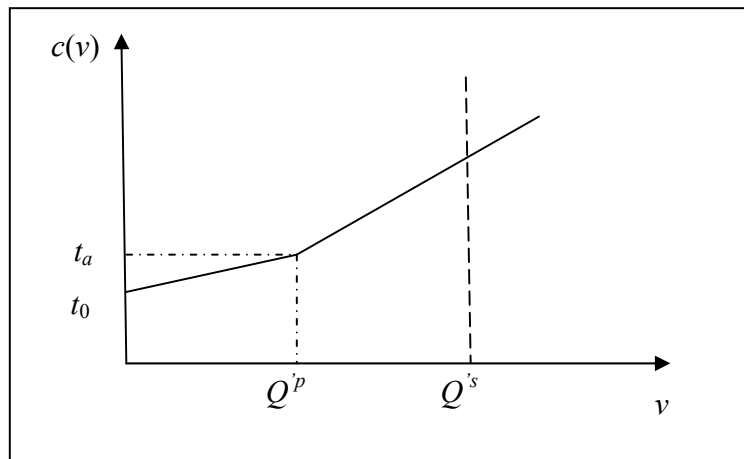
genişlik, park kısıtlaması, dönüş hareketleri ve sinyal zamanları maliyet fonksiyonunun şeklini ve fonksiyon içindeki parametre değerlerini belirlemektedirler.

Karayolu Kapasite El Kitabında (HCM)'de kapasite aşırı gecikmelere sebebiyet vermeyecek derecede trafik yoğunluğu olmaması ve hâkim yol ve trafik koşulları durumunda linkin belirlenen bir noktasından 1 saat içinde geçebilecek maksimum taşıt sayısı olarak tanımlanmıştır. Diğer taraftan kararlı durum kapasitesi (steady state capacity) ise trafik akımının mikroskobik ve stokastik karakterlerinden dolayı oluşan dalgalanmaların göz ardı edildiği durumdaki kapasite olarak tanımlanmaktadır. Irwin ve diğ., (1961) Denklem (6.42) ve (6.43)'te görüldüğü gibi iki doğrusal kısımdan oluşan bir maliyet fonksiyonu önermişlerdir.

$$c(v) = t_a + \alpha_1(v' - Q^p) \quad v' < Q^p \quad (6.42)$$

$$c(v) = t_a + \alpha_2(v' - Q^p) \quad v' \geq Q^p \quad (6.43)$$

Burada $t_a = t_0 + \alpha_1 Q^p$, t_0 serbest akım seyahat süresi, v' link a üzerindeki şerit başına akım, Q^p link a üzerinde şerit başına pratik kapasite olarak ifade edilmiştir. Şekil 6.10'da Irwin ve diğ. tarafından önerilen maliyet fonksiyonunun grafiği görülmektedir.



Şekil 6.10. Irwin, Dodd ve Von Cube's maliyet fonksiyonu

Smock (1962) tarafından önerilen maliyet fonksiyonu Detroit bölgesi ulaşım planlaması çalışmalarında kullanılmıştır. Önerilen maliyet fonksiyonu Denklem (6.44)'te gösterilmiştir.

$$c(v) = t_0 \exp(v/Q^s) \quad (6.44)$$

Uygulamada Smock, Q^s (kararlı durum) değerini her bir link için linkin başındaki ve sonundaki kavşakların kapasitelerinin ortalaması olarak tahmin etmiştir. Bu maliyet fonksiyonu, Michigan şehrinde kullanılmak üzere sezgisel iteratif kapasite kısıtlı atama modelinin içinde kullanılmıştır. Mosher (1963) logaritmik maliyet fonksiyonu önermiştir. Maliyet fonksiyonu düşük akım değerleri için değişken akımda, akım başına maliyet değerlerinin düşük olmasından dolayı seçilmiştir. Fakat bu değerlerin kapasite değerine yaklaştıkça arttığı görülmüştür. Önerilen maliyet fonksiyonunun $v = Q^s$ noktasında asimtotu mevcuttur. Fonksiyon Denklem (6.45)'te gösterildiği gibidir.

$$c(v) = t_0 - \ln(1 - v/Q^s) \quad v < Q^s \quad (6.45)$$

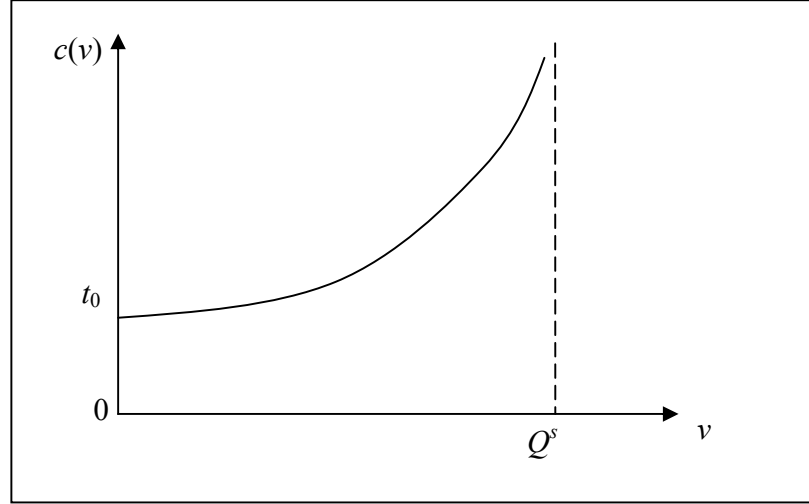
Bununla birlikte gerçek ulaşım ağlarında seyahat maliyeti yol ağı kullanılamaz duruma gelmedikçe sınırlı olarak artar. İteratif atama modeli hesaplarında asimptotik fonksiyonun bu özelliği nedeni ile kapasitenin aşılması durumunda akımların linkler üzerinde atanması durumunda maliyet fonksiyonunun hesaplanması zorlaşmaktadır. Şekil 6.11'de link akımı ve maliyet arasındaki belirtilen asimptotik maliyet fonksiyonu ilişkisi görülmektedir.

Soltman (1965) Pittsburgh bölgesi ulaşım planlaması çalışmaları için sıkışıklık fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$c(v) = t_0 2^{v/Q^p} \quad v/Q^p \leq 2 \quad (6.46)$$

Denklem (6.46)'da tanımlanan maliyet fonksiyonu Pittsburgh şehri ulaşım planlama çalışmaları kapsamında atama modelinin içinde kullanılmıştır. Fakat bu çalışmada gözlemlenen ve atanan

akım değerleri arasında karşılaştırma örnekleri bulunmamaktadır. Bu durum, maliyet fonksiyonunun etkinliğinin ölçülmesinde birtakım eksiklikler olduğunu göstermektedir. Amerikan Trafik Araştırmaları Birliği (1966) tarafından Winnipeg bölgesi için yapılan çalışmalarda Denklem (6.47)'de verilen maliyet fonksiyonu kullanılmıştır.



Şekil 6.11. Asimtotik link maliyet fonksiyonu

$$c(v) = \alpha_1 + \alpha_2(v' - \alpha_3) + \sqrt{\alpha_2^2(v' - \alpha_3)^2 + \alpha_4} \quad (6.47)$$

Denklem (6.47)'de belirtilen maliyet fonksiyonu mesafe başına seyahat maliyeti ile linkteki şerit başına akımı ilişkilendirmiştir. Winnipeg şehrinin ulaşım ağındaki linkler şerit başına pratik kapasiteleri ve hız limitlerine göre iki kategoriye ayrılmıştır. Her bir kategori için yüksek akım değerlerine ait az nokta bulunurken, düşük akım değerleri için çok daha fazla nokta tespit edilmiş olmasına rağmen yüksek akım değerleri için simülasyon yapılmıştır. Ardından maliyet fonksiyonu bu eğriye uydurulmuştur.

Teorik yaklaşımlarda link üzerindeki seyahat maliyeti ortalama hareket maliyeti ve kavşaklarda kuyruk oluşumlarında harcanan sürelerin toplamı olarak ifade edilmektedir. Denklem (6.48)'de bu durum görülmektedir.

$$c(v) = \frac{(t_r + t_q)}{D} \quad (6.48)$$

Burada t_r ve t_q hareket ve kuyruk beklemelelerinde harcanan seyahat maliyeti olarak tanımlanırken, D ise link uzunluğu olarak karşımıza çıkmaktadır. Teorik yaklaşımlardan ilki yılında Campbell ve diğ. (1959) tarafından önerilen Chicago bölge ulaşım çalışmalarında sinyalize arterlerde kullanılan hız ve akım/kapasite oranının ilişkilendirildiği maliyet fonksiyonudur. Denklem (6.49)'da verilmiştir.

$$c(v) = \begin{cases} t_0 & (v/Q \leq 0.6) \\ t_0 + \alpha(v/Q - 0.6) & (v/Q > 0.6) \end{cases} \quad (6.49)$$

Wardrop (1968) tarafından geliştirilen maliyet fonksiyonu genel ortalama hız ile akım arasındaki ilişkiyi ortaya koyan maliyet fonksiyonudur. Yani link bazında maliyet fonksiyonu oluşturmak yerine genel ulaşım ağı için maliyet fonksiyonu tanımlanmıştır. İngiltere'nin Londra şehri ulaşım çalışmalarında uygulama alanı bulmuştur. Wardrop metodu sinyalize kavşaklardaki kuyruk maliyeti ve sinyalize kavşaklar arasındaki hareket maliyeti olarak her ikisini de fonksiyonun içine dâhil etmiştir. Bu metot Campbell ve diğ. tarafından kavşak gecikmeleri hesaplamakta kullanılan sezgisel metottan farklıdır. Diğer taraftan Wardrop hem trafik uyarımlı hem de sabit sinyalize kavşaklar için ortalama gecikme ve akım arasındaki ilişkiyi temsil eden yaklaşık formülasyonlar üretmiştir.

$$c(v) = \frac{t_0}{(1-v/Q)} + \frac{\alpha_2}{(1-v/\alpha_1)D} \quad (6.50)$$

Maliyet fonksiyonunun rolü trafik atama sürecinde ortaya çıkmaktadır. Trafik atama problemini çözebilmek için çözüm algoritmaları kullanılmakta, Beckmann formülasyonu tabanlı Wardrop'un 1. prensibi için uygulanan çözüm algoritmalarına maliyet fonksiyonu kolayca ve hızlıca entegre edilebilmelidir. Bu nedenle BPR ve Campbell ve diğ. tarafından üretilen maliyet fonksiyonları bu

iki isteğe de karşılık verebilmektedir. Tablo 6.8’de literatürde kullanılan ve yukarıda kısaca açıklamaya çalıştığımız maliyet fonksiyonlarının türleri ve zorluk dereceleri belirtilmiştir.

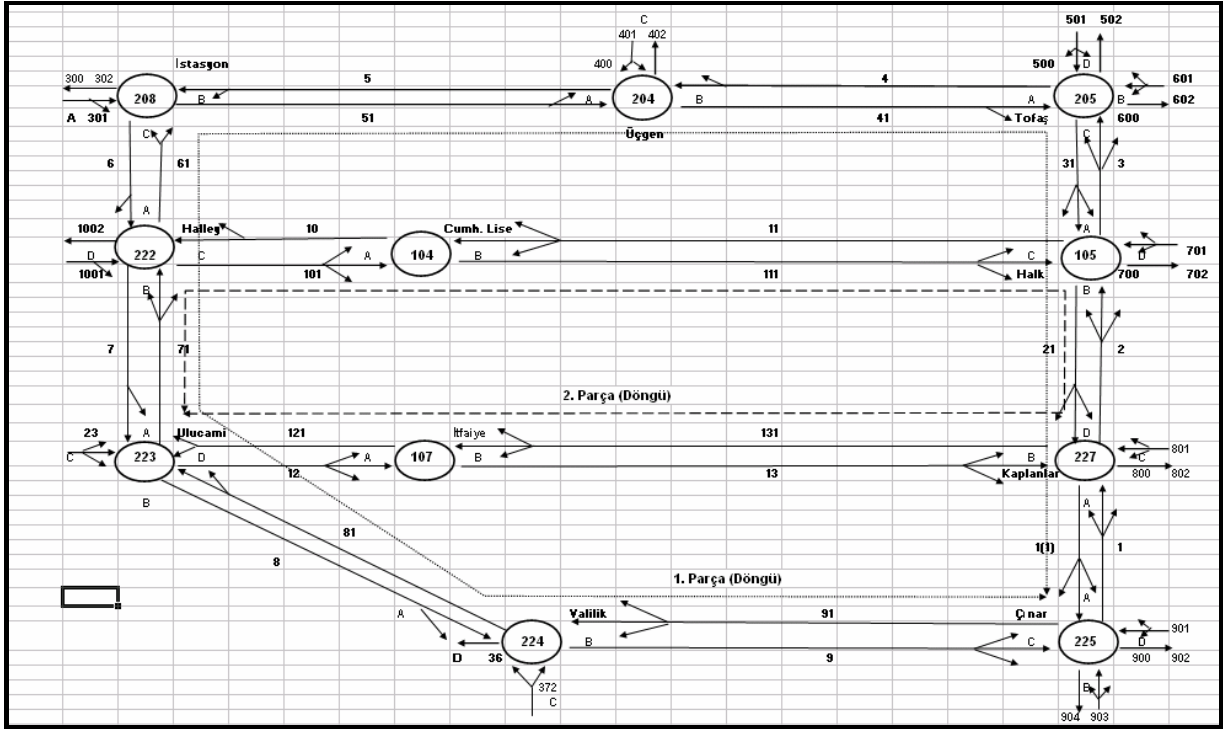
Tablo 6.8. Maliyet fonksiyonları karşılaştırması

Maliyet Fonksiyonu tipi	Tür	Zorluk derecesi
Irwin ve diğ.	Polinomial	Kolay
Smock	Exponansiyel	Oldukça kolay
Mosher	Logaritmik	Oldukça kolay
BPR	Polinomial	Kolay
Soltman	Polinomial	Kolay
Campbell ve diğ.	Polinomial	Kolay
Wardrop	Polinomial	Kolay

6.8. Seyahat Süresi ve İşletme Hızı Ölçümleri

Bu etütler için çalışılan ulaşım ağı öncelikle ikiye bölünmüş, oluşturulan ağlar sabah ve akşam olmak üzere iki gün içinde sayılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler binek araç kullanılarak mevcut akım koşullarında en az 2 tur atılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.12’de çalışma ağı ve ölçüm için yapılan güzergahlar görülmektedir. Ölçümlerde sürücünün yanında kronometre ile süre tutan yardımcı bir eleman kullanılmıştır. Yardımcı eleman kronometreyi turun başında sıfırlamış ve her linkin sonunda elde ettiği zaman değerini kayıt altına almıştır. Burada kavşaklardaki kesişmelerden dolayı oluşan gecikmeler link seyahat sürelerine dahil edilmiştir. Bu işlem şu şekilde yapılmıştır.

Eğer seyahat edilen linkte kuyruk oluşumu sonucu test aracı kavşaktan 3-4 araç geride kaldı ise bu süre o linke dâhil edilmiştir, eğer kuyruk oluşmamış ve test aracı kavşak başında kalmış ise buradaki bekleme süresi bir sonraki linke aktarılmıştır. Oluşturulan iki parçalı ağda ölçümler gidiş geliş olacak şekilde her iki yön için tamamlanmıştır.



Şekil 6.12. Ölçüm yapılan linkler ve ölçümde gerçekleştirilen döngüler

İlk gün 10 linkten oluşan ve uzunluğu 4459 m olan güzergah sabah 6 tur akşam 4 tur atılarak toplam 10 turla sayım gerçekleştirilmiştir. Sayımların 5 adedi bir yönde 5 adedi ise diğer yönde gerçekleştirilmiştir. İkinci gün 7 linkten oluşan ve uzunluğu 3365 m olan hat sabah 6 akşam 5 tur atılarak toplam 11 turla sayım gerçekleştirilmiştir. Sayımların 7 adedi bir yönde, 4 adedi ise diğer yönde gerçekleştirilmiştir. Tablo 6.9.-6.12’de ölçümler sırasında elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Ölçümler sonucunda çalışma ağının 1. güzergahta sabah ölçümlerinde 596-918 sn’lik, akşam ise 710-918 sn’lik değerler belirlenmiştir. Ağın 2. güzergahında ise sabah 340-494 sn’lik, akşam 510-548 sn’lik toplan seyahat süreleri elde edilmiştir. Kümülatif olarak yapılan ölçümler sonucunda her linke ait seyahat süresi belirlenmiştir. Seyahat süresi ölçümlerinden elde edilen veriler yardımı ile herbir linkin uzunluğuna bağlı olarak işletme hızları hesaplanmış ve Tablo 6.13 ile 6.14’te verilmiştir.

Tablo 6.9. Alt ağ 1. güzergah seyahat süresi ölçümleri (SABAH)

Link No	Uzunluk (m)	Ölçüm No			Link No	Ölçüm No		
		1	2	3		1	2	3
		0	0	0				
1	500	50	50	46	1(1)	596	610	663
2	460	165	137	173	21	505	554	616
3	165	232	240	264	31	367	508	563
4	525	275	270	348	41	347	390	463
5	599	353	363	486	51	319	312	418
6	250	380	492	536	61	258	270	350
7	345	451	540	570	71	218	184	312
8	465	483	593	600	81	179	142	173
9	710	918	675	674	91	141	112	142
						0	0	0

Tablo 6.10. Alt ağ 1. güzergah seyahat süresi ölçümleri (AKŞAM)

Link No	Uzunluk (m)	Ölçüm No		Link No	Ölçüm No	
		1	2		1	2
		0	0			
1	500	85	102	1(1)	712	800
2	460	150	250	21	575	603
3	165	195	272	31	433	542
4	525	240	340	41	402	470
5	599	424	478	51	331	415
6	250	477	505	61	260	331
7	345	510	632	71	213	300
8	465	643	766	81	171	175
9	710	780	958	91	138	124
					0	0

Tablo 6.11. Altağ 2. güzergah seyahat süresi ölçümleri (SABAH)

Link No	Uzunluk (m)	1	2	3	4	Link No	Uzunluk (m)	1	2
		0	0	0	0			0	0
7	345	50	84	49	144	12	260	22	80
101	300	122	128	82	176	13	910	205	220
111	780	250	227	156	258	2	460	301	351
21	460	292	274	204	296	11	780	400	472
131	910	399	453	313	454	10	300	455	510
121	260	422	494	340	478				

Yapılan hesaplamalar sonucunda sabah ölçümleri için en yüksek ortalama seyahat hızı 14.25 m/sn ile 81 nolu linkte, en düşük ortalama seyahat hızı 1.96 m/sn ile 3 nolu linkte bulunmuştur. Akşam ölçümlerinde ise en yüksek ortalama seyahat hızı 11.60 m/sn ile 81 nolu linkte, en düşük ortalama seyahat hızı 3.05 m/sn ile 10 nolu linkte bulunmuştur. Tablo 6.13 ve 6.14'te güzergahlardaki ortalama işletme hızları görülmektedir. Saha çalışmalarının ardından elde edilen veriler ile linki tanımlayan maliyet fonksiyonunun bulunması hedeflenmiştir.

Tablo 6.12. Alt ağ 2. güzergah seyahat süresi ölçümleri (AKŞAM)

Link No	Uzunluk (m)	1	2	3	Link No	Uzunluk (m)	1	2
		0	0	0			0	0
7	345	86	95	89	13	260	99	32
101	300	120	144	141	12	910	263	216
111	780	331	317	253	2	460	372	278
21	460	377	386	302	11	780	449	392
131	910	478	512	493	10	300	609	463
121	260	510	548	526				

6.9. Link Maliyet Fonksiyon Modelleri

Maliyet fonksiyonu oluşturulurken öncelikle Tablo 6.15'te verilen veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setinde, her bir linke ait uzunluk, ortalama işletme hızı, akım miktarı, akımın trafik koşullarına göre belirlenmiş kapasiteye oranı, linkin ucundaki yeşil süre ve toplam devre süresi, yeşil sürenin devre süresine oranı, linkte ölçülen seyahat süresi ve serbest akım koşullarında link seyahat süresi t_0 bulunmaktadır.

Akım kapasite oranları belirlenirken hâkim trafik koşulları dikkate alınmıştır. İnceleme yapılan ağda yol kısmen bölünmüş kısmen bölünmemiş 2*2=4 şeritli, şerit genişlikleri 2.75-3.25 m arasında değişen ve kapasiteyi azaltıcı çok sayıda kavşak ve yol içi parkı içermektedir. Bu nedenle bir yön için kapasite değeri 900 taşıt/saat olarak alınmıştır. Yeşil süreler ve devre süreleri sahada yapılan ölçümlerle bulunmuş ve oranlanarak veri setine eklenmiştir. Linkler için gözlemlenen seyahat süreleri ise yapılan ölçümlerde elde edilen değerler kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.13. Hesaplanan link işletme hızları ve ortalamaları (SABAH)

Link No	Ölçüm No				Ortalama Hız
	1	2	3	4	
1	10.00	10.00	10.87		10.29
2	4.00	5.29	3.62		4.30
3	2.46	1.60	1.81		1.96
4	12.21	17.50	6.25		11.99
5	7.68	6.44	4.34		6.15
6	9.26	1.94	5.00		5.40
7	4.86	7.19	10.15		7.40
8	14.53	8.77	15.50		12.93
9	1.63	8.66	9.59		6.63
10	4.17	6.82	9.09	9.38	7.36
11	6.09	7.88	10.54	9.51	8.51
12	11.30	6.34	9.63	10.83	9.53
13	8.50	5.08	8.35	5.76	6.92
1(1)	5.49	8.93	10.64		8.35
21	3.33	10.00	8.68		7.34
31	8.25	1.40	1.65		3.77
41	18.75	6.73	11.67		12.38
51	9.82	14.26	8.81		10.96
61	6.25	2.91	6.58		5.25
71	8.85	8.21	2.48		6.51
81	12.24	15.50	15.00		14.25
91	5.04	6.34	5.00		5.46
101	5.45	7.89			6.67
111	7.88	6.45			7.16
121	11.82	3.25			7.53
131	4.97	6.50			5.74

Modelleme çalışmaları için öncelikle BPR'nın önerdiği (6.40) bağıntısı ile verilen model parametreleri "çözücü" çalışma penceresi yardımı ile bulunmuş ve geliştirilen diğer modellerin başarıları amaç fonksiyonlarındaki iyileşme ve gözlem değerleri ile model değerleri arasındaki hataların ortalamalarının karşılaştırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak hataların karelerinin farklarının minimize (SSE) edilmesi alınmıştır. Oluşturulan modeller BPR modeline devre süresi ve yeşil süresi parametrelerinin çeşitli formlarda modellere eklenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Burada ağı daha iyi temsil edecek bir maliyet fonksiyonunun oluşturulması amaçlanmıştır.

Tablo 6.14. Hesaplanan link işletme hızları ve ortalamaları (AKŞAM)

Link No	Ölçüm No			Ortalama Hız
	1	2	3	
1	5.88	4.90		5.39
2	7.08	3.11		5.09
3	3.67	7.50		5.58
4	11.67	7.72		9.69
5	3.26	4.34		3.80
6	4.72	9.26		6.99
7	10.45	2.72		6.59
8	3.50	3.47		3.48
9	5.18	3.70		4.44
10	1.88	4.23		3.05
11	10.13	6.84		8.49
12	8.13	7.22	7.88	7.74
13	9.01	7.22	4.76	7.00
1(1)	3.65	2.54		3.09
21	3.24	7.54		5.39
31	5.32	2.29		3.81
41	7.39	9.55		8.47
51	8.44	7.13		7.78
61	5.32	8.06		6.69
71	8.21	2.76		5.49
81	14.09	9.12		11.60
91	4.58	5.18		4.88
101	8.82	6.12	5.77	6.91
111	3.70	4.51	6.96	5.06
121	2.63	8.13		5.38
131	5.55	4.95		5.25

Aşağıda (6.51)-(6.52) nolu bağıntılarla BPR ve oluşturulan alternatif modellerin yapıları görülmektedir. Model 1’de bağıntıya yeşil süresinin devre süresine oranı lineer olarak eklenmiştir. Model 2’de yeşil sürenin devre süresine olan oranı, akım kapasite oranına ilave edilmiş ve üssel bir formda fonksiyon tanımlanmıştır. Model 3’de ise yeşil sürenin üssel formu ilave edilmiş ve üs olarak yeşil sürenin devre süresine oranı alınmıştır.

Genelleştirilmiş maliyet fonksiyonu;

$$t = t_0 * (1 + \alpha(q/c)^\beta) \quad (6.51)$$

$$\text{Model 1} \quad t = t_0 * (1 + \alpha * (q/c)^\beta + \gamma * (g/C)) \quad (6.52)$$

$$\text{Model 2} \quad t = t_0 * (1 + \alpha * (q/c) + \beta * (g/C))^\gamma \quad (6.53)$$

$$\text{Model 3} \quad t = t_0 * (1 + \alpha * (q/c)^\beta + \gamma * g^{(g/C)}) \quad (6.54)$$

Burada;

t_0 : serbest akım koşullarında seyahat süresi (sn),

q/c : akım değerlerinin kapasiteye oranı,

g : link ucundaki yeşil süre (sn),

C : link ucundaki toplam devre süresi (sn),

g/C : link ucundaki yeşil sürenin devre süresine oranı,

α, β, γ : model parametreleridir.

Modelleme çalışmalarında ilk olarak veri seti bütün olarak ele alınmıştır. Bu şekilde yapılan parametre tahminleri sonucunda elde edilen modellerin performansları oldukça düşük çıkmıştır. İkinci aşama olarak veri seti q/c oranları dikkate alınarak iki gruba ayrılmıştır. Eşik değer olarak 0.85 değeri seçilmiş ve fonksiyonların formu değiştirilmeden parçalı olarak tanımlanmış ve parametreler belirlenmiştir. Denklem (6.55)-(6.58)'de elde edilen bağıntılar ve parametreler verilmiştir.

$$\text{BPR model} \quad t = t_0 * (1 + 0.58(q/c)^{0.12}) \quad (6.55)$$

$$\text{Model 1} \quad t = t_0 * (1 + 1.05 * (q/c)^{2.07} + 0.82 * (g/C)) \quad q/c < 0.85 \quad (6.56)$$

$$t = t_0 * (1 + 2.03 * (q/c)^{0.39} - 4.42 * (g/C)) \quad q/c > 0.85$$

$$\text{Model 2} \quad t = t_0 * (1 + 0.001 * (q/c) + 0.001 * (g/C))^{450.51\gamma} \quad q/c < 0.85 \quad (6.57)$$

$$t = t_0 * (1 + 13.04 * (q/c) - 31.97 * (g/C))^{0.22} \quad q/c > 0.85$$

$$\text{Model 3} \quad t = t_0 * (1 + 1.20 * (q/c)^{1.69} + 0.03 * g^{(g/C)}) \quad q/c < 0.85 \quad (6.58)$$

$$t = t_0 * (1 + 0.98 * (q/c)^{0.53} - 0.12 * g^{(g/C)}) \quad q/c > 0.85$$

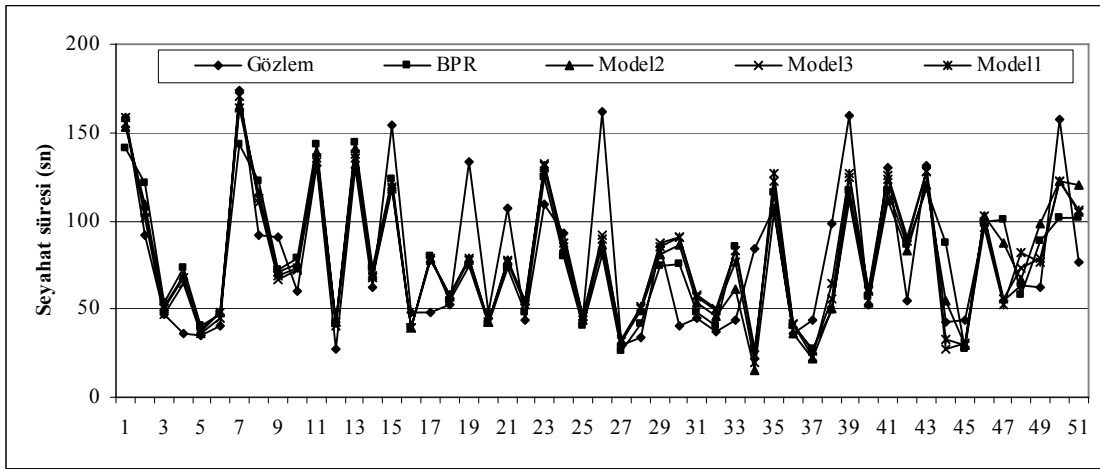
Tablo 6.15. Link maliyet fonksiyonu veri seti

Link No	Uzunluk (m)	Hız (m/sn)	q	q/c	Yeşil süre (sn)	Devre süresi (sn)	Oran	Gözlem (sn)	t_0
131	910	5.74	252	0.28	60	85	0.71	158.54	93.60
111	780	8.51	324	0.36	22	100	0.22	91.66	80.23
7	345	7.4	351	0.39	31	100	0.31	46.62	35.49
8	465	12.93	367	0.41	30	100	0.30	35.96	47.83
121	260	7.53	367	0.41	23	88	0.26	34.53	26.74
101	300	7.36	377	0.42	40	88	0.45	40.76	30.86
131	910	5.25	378	0.42	60	85	0.71	173.33	93.60
11	780	8.49	402	0.45	22	88	0.25	91.87	80.23
2	460	5.09	414	0.46	30	100	0.30	90.33	47.31
1(1)	500	8.35	414	0.46	27	100	0.27	59.88	51.43
13	910	6.92	438	0.49	23	88	0.26	131.50	93.60
12	260	9.53	450	0.50	40	100	0.40	27.28	26.74
13	910	7.00	456	0.51	23	88	0.26	130.00	93.60
21	460	7.34	462	0.51	18	85	0.21	62.67	47.31
111	780	5.06	486	0.54	22	100	0.22	154.15	80.23
61	250	5.25	506	0.56	28	110	0.25	47.62	25.71
1	500	10.29	521	0.58	18	85	0.21	48.59	51.43
7	345	6.59	526	0.58	41	120	0.34	52.39	35.49
8	465	3.48	550	0.61	40	120	0.33	133.50	47.83
121	260	5.38	550	0.61	23	88	0.26	48.33	26.74
2	460	4.30	564	0.63	30	100	0.30	106.98	47.31
101	300	6.91	566	0.63	40	88	0.45	43.42	30.86
11	780	7.16	585	0.65	22	88	0.25	108.94	80.23
1	500	5.39	625	0.69	18	85	0.21	92.73	51.43
6	250	5.4	645	0.72	30	100	0.30	46.30	25.71
1(1)	500	3.09	663	0.74	27	120	0.23	161.61	51.43
3	165	5.58	675	0.75	47	110	0.43	29.55	16.97
12	260	7.74	675	0.75	50	120	0.42	33.59	26.74
21	460	5.39	699	0.78	18	85	0.21	85.34	47.31
81	465	11.60	704	0.78	40	120	0.33	40.07	47.83
10	300	6.67	729	0.81	20	100	0.20	44.98	30.86
61	250	6.69	759	0.84	28	120	0.23	37.36	25.71
4	525	11.99	828	0.92	35	100	0.35	43.79	54.00
3	165	1.96	915	1.02	47	110	0.43	84.18	16.97
9	710	6.63	942	1.05	30	100	0.30	107.09	73.03
6	250	6.99	967	1.07	40	120	0.33	35.78	25.71
31	165	3.77	1044	1.16	40	100	0.40	43.77	16.97
10	300	3.05	1094	1.22	30	120	0.25	98.36	30.86
9	710	4.44	1130	1.26	40	120	0.33	159.90	73.03
71	345	6.51	1148	1.28	35	100	0.35	53.00	35.49
91	710	5.46	1166	1.30	35	100	0.35	130.04	73.03
4	525	9.69	1242	1.38	45	120	0.38	54.16	54.00
91	710	5.44	1399	1.55	45	120	0.38	130.63	73.03
41	525	12.38	1411	1.57	70	110	0.64	42.41	54.00
31	165	3.81	1566	1.74	40	100	0.40	43.34	16.97
5	599	6.15	1589	1.77	49	110	0.45	97.40	61.61
51	599	10.96	1610	1.79	61	100	0.61	54.65	61.61
71	345	5.49	1722	1.91	35	120	0.29	62.87	35.49
41	525	8.47	2116	2.35	60	110	0.55	61.98	54.00
5	599	3.80	2383	2.65	49	110	0.45	157.71	61.61
51	599	7.78	2415	2.68	61	120	0.51	76.95	61.61

Geliştirilen modellerin performansları Tablo 6.16’da, model sonuçları ile gözlem değerlerinin grafiksel gösterimi ise Şekil 6.13’te verilmiştir.

Tablo 6.16. Modellerin amaç fonksiyonu ve ortalama hata değerleri

	Gözlem	BPR	Model1	Model2	Model3
SSE		40946	30479	35587	30376
Ortalama Hata (%)		6	6	10	6
Hataların StdSp		0.47	0.56	0.73	0.48
Ortalama	78.99	77.77	78.56	78.06	78.33
StdSp	42.84	34.82	36.52	36.11	36.95



Şekil 6.13. Model ve gözlem değerlerinin karşılaştırılması

Görüldüğü gibi amaç fonksiyonunu en iyileyen modeller 1 ve 3 no'lu modellerdir. BPR modeli diğerlerine göre amaç fonksiyonunu iyileyememiştir. Ancak her üç modelde de gözlem değerleri ile model değerleri arasındaki hataların ortalaması %6 düzeyinde bulunmuştur. BPR modeli hataların sapmaları açısından en iyi modeldir. Diğer modellerde hataların salınımları daha yüksektir. BPR modeline eklenen yeşil ve toplam devre süresi parametreleri amaç fonksiyonunda iyileştirme gerçekleştirirse de, modellerin hata oranlarında BPR'a göre bir iyileşme sağlanamamıştır. Model 1 ve 3 ile amaç fonksiyonunda %25'lik bir iyileşme sağlansa da BPR'ın ortalama hata değeri ancak yakalanabilmiştir.

6.10. Sonuçlar

Bu b6l6mde, B-V sayımları hesabının elde edilen link trafik hacim 6l6mleri yardımıyla nasıl hesaplanabildiği hakkındaki yaklaşımlardan bazıları açıklanmış ve form6lize edilmiştir. Bunlar; maksimum entropi, GEKK metodu ve çift seviyeli programlamadır. Çalışmada, uygulaması g6receli olarak kolay ve daha doğru sonuçlar verdiği tahmin edilen B-V tahmini için çift-seviyeli programlama tekniği 6nerilmiş ve ilk seviye için genetik algoritmanın nasıl uygulandığı gerekli form6lasyonları ve hesap adımları ile birlikte açıklanmıştır. Daha sonra Genetik Algoritma ile B-V seyahat matrisleri, KD koşulu ve k6tlenin korunumu kanunu altında sabah ve akşam trafiği için tahmin edilmeye çalışılmıştır. Link trafik hacim 6l6mleri ve link geometrik 6zellikleri (link uzunlukları, kavşaklardaki sinyal s6releri, linklerdeki ortalama seyahat s6releri vb...) probleme girdi olarak verilmiş, ve link hacim kısıtlarından yola çıkılarak farklı 2 adet B-V matrisi tahmini gerçekleştirilmiştir.

Deterministik kullanıcı dengesi ve trafik hacminin korunumu kısıtları ile seçilen alt ağın karmaşık yapısı g6z 6n6ne alındığında, birleştirilmiş B-V tahmini, problemin konveks olmayan yapısından dolayı, oldukça komplike bir hal alan problemin ıktıları, ulaşım ağının mevcut işleyişini hiç değiştirmeden sergilemesini sağlayacak olan optimum rota akımlarıdır. Rota akımlarının bulunması için varyasyonel eşitmezlik form6lasyonu kullanılmıştır. 103 adet rota algoritma yardımı ile elde edilmiş ve her rota akımı değişiminde deterministik KD koşulu aranmıştır.

Verilen kısıtlar ve GA 6z6m aşamaları kullanılarak tahmin edilen B-V'le için d6n6ř6m eşitlikleri yardımıyla B-V matrisleri elde edilmiştir. İki-seviyeli ters programlama yaklaşımı kullanılarak birleştirilmiş KD ve GA algoritmasının yakınsaması test edilmiş, uygulama aşamasında herhangi bir ıraksama problemi ile karşılaşılmamıştır. B6ylece, link trafik hacimlerinden yola çıkılarak B-V tahmini yapılabilmiştir. 6z6mde GA'nın doğası gereği, toplum b6y6kl6đ6 ve jenerasyon sayısı kadar m6mk6n B-V matrisi bulunmaktadır. Çalışmada, yakınsama değerine ulaşıldıktan sonra en son matris B-V matrisi olarak verilmiştir. Tahmin edilen B-V matrisleri incelendiğinde her bir zonun kabul edilebilir d6zeyde talebinin tahmin edilebildiği ve akşam talebinin sabah talebine g6re %36'lık bir artış g6sterdiği bulunmuştur.

Son olarak, atama problemi için gerekli olan maliyet fonksiyonları tanımlanmıştır. Çalışma ağını temsil edecek maliyet fonksiyonunun belirlenmesi için yapılan saha ölçümleri ve bunların sonuçları özetlenmiştir. Geliştirilen 4 farklı modelin performansları değerlendirilmiş ve BPR modelinin ağ verilerine göre çözülmüş halinin kullanılmasına karar verilmiştir. Geliştirilen modellerde ek olarak kullanılan yeşil ve toplam devre süresi parametrelerinin amaç fonksiyonu üzerinde iyileştirici etkisi gözlenmiş ancak gözlem ve model değerleri arasında hesaplanan hata oranlarının ortalamalarında bir iyileşme bulunamamıştır. Tüm bu nedenlerden dolayı daha sade ve benzer sonuçları bulan BPR modelinin kullanılması daha akılcı bulunmuştur. Ölçüm ve ölçülen parametre sayısı artırılarak ağ için performansı daha yüksek geliştirilmiş bir maliyet fonksiyonu araştırılabilir ancak fonksiyonda beklenen performans iyileşmesinin tatmin edici düzeyde olabilmesi için çok zamana gereksinim vardır ve oldukça maliyetli bir çalışmadır.

VII. BÖLÜM

TRAFİK, GÜRÜLTÜ MODELLERİ VE FAKTÖR ANALİZİ

7.1. Giriş

Gürültü, yeni ulaştırma sistemlerinin yapımı, tasarımı ve mevcut şehir içi ulaşım ağının iyileştirilmesi sırasında göz önüne alınması gereken ana etkenlerden biridir. Günümüzdeki mevcut yapım teknolojileri gürültü yaratmayan ulaşım sistemleri yapımını ve işletimini imkansız kılmaktadır. Buna rağmen mümkün olduğu kadar gürültü kaynaklarının sayısının azaltılması ve daha az gürültü oluşturan yapıların ve sistemlerin tercih edilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle önümüzdeki yıllarda bu konudaki çalışmaların daha çok ulaşım sistemlerinden doğan gürültünün minimum seviyelere indirilmesi konusunda olacağı açıktır.

Çalışmada gürültü modelleri için ilk olarak hız ve hacim bileşenleri değerlendirmeye alınmış ve gürültü ölçümleri ağ içinde belirlenen kesitlerde yapılmıştır. Yolun geometrik yapısı, meteorolojik koşullar, trafik kompozisyonu vb. parametreler ilk modelleme çalışmalarında göz önüne alınamamıştır. Oluşturulan gürültü modellerine ek olarak daha kapsamlı çalışmalar yapılmış ve gürültü ölçümleri yapılan kesitlerdeki farklı özellikleri de dikkate alan modeller geliştirilmiştir. Elde edilen veriler çok değişkenli istatistiksel tekniklerden biri olan faktör analizi ile değerlendirilmiş ve etkili parametreler seçilmiştir. Geliştirilen gürültü modellerinin çok sayıda farklı değişkene bağlı olarak temsil edilebileceği ve elde edilen sonuçların başarılı olduğu görülmüştür.

7.2. Literatür

Proje kapsamında literatürde mevcut olan trafik ve gürültü modelleri incelenerek, çalışma bölgesine, trafik karakteristiklerine ve geliştirilen trafik modeline uygun trafik-gürültü analiz yönteminin seçilmesi gerekliliği belirtilmiştir. Gürültü haritalarının oluşturulabilmesi için trafik modellerinden verilerin elde edilmesi gereklidir. Literatürde belirtilen değişik tipteki trafik modellerinden (statik atama, dinamik atama, sürekli ve mikro benzetim modelleri) elde edilen trafik verileri ile gürültü haritalarının çıkarılması mümkün olmakta fakat henüz trafik ve gürültü modelleri arasında net ve kesin bağlantı kurulamamıştır. Literatürde mevcut olan

ve uygulanmış 7 farklı trafik ve gürültü modeli incelenmiş, yapım aşamaları, uygulamalar ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

7.2.1. Platform Grant Modeli

Model İngiltere Mühendislik ve Fizik Bilimleri Araştırma Konseyi (EPSRC) tarafından desteklenmektedir. Platform Grant kuruluşunun amacı, şehir içi bölgelerinde kirlilik dağılımı ve ulaşımdan kaynaklanan çevre kirliliği ve giderek artan iklimsel değişimlerle eş zamanlı olarak ölçülen trafik karakteristiklerini temel alan araştırmalar yapmak olarak özetlenebilir (Liu, 1994; Goodman, 2001; Jones ve Hothersall, 1980; Jacobs ve diğ., 1980). Platform Grant ayrıca DRACULA (Kullanıcı öğrenmesi ve mikro benzetimin kombine edildiği dinamik rota ataması) ve TUNE (Trafik şehir içi gürültü modelleri geliştirme) projelerinin deneyimlerinden faydalanılarak dinamik trafik mikro benzetim ve yol kenarı gürültü modellerini kombine olarak geliştirmeyi amaçlamaktadır.

7.2.1.1. Trafik Modeli

DRACULA ve TUNE modellerinin her ikisi de trafik mikro benzetim modelleridir. DRACULA modeli şehirlerin büyük bir kısmının ya da sadece kavşakların modellenmesi açısından diğerine göre daha gelişmiş bir modeldir. TUNE modeli ise 100 linke sahip ağlarda ya da 10 adet kavşağa kadar modelleme yapabilmektedir. Tipik olarak her bir model ayarlanan belli bir periyot boyunca çalıştırılabilmektedirler. Her iki mikro benzetim modeli de büyük oranda giriş verisine ihtiyaç duymaktadırlar. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Ağ parametreleri: Link ve şerit yerleri ve boyutları, kavşak tipleri, yol işaretlemeleri ve müsaade edilen dönüşler, doymun akımlar, hız limitleri, arzu edilen link hızları ya da serbest akım link seyahat süreleri, fasıla onay parametreleri.
- Trafik sinyal parametreleri: Müsaade edilen dönüşler ve kontrollü trafik akımları, faz uzunlukları, faz aralıkları, yeşiller arası periyotların uzunlukları.
- Araç parametreleri: Araç sınıfları, sınıf başına araç uzunlukları, müsaade edilen hızlar, arzu edilen hızlanmalar ve yavaşlamalar, gayri resmi faktörler, DRACULA'da kullanılan fasılalardaki fren reaksiyon süreleri gecikme süreleri (TUNE).

- Akım parametreleri: Arzu edilen periyot için O-D matrisi (DRACULA), zamana göre değişen gerçek link akımları (TUNE), SCOOT, link akımlarından (TUNE) üretilen dinamik trafik kontrol sistemi.
- Toplu taşıma servis parametreleri: Otobüs zaman çizelgeleri ve rotaları (DRACULA)

7.2.1.2. Gürültü Modeli

TUNE mikro benzetim modeli, bünyesinde Gürültü Emisyon Modeli (SNEM) ve geniş çaplı “ray-tracing” dağılım modelini içermektedir. DRACULA modeli ise sadece gürültü emisyon modelinden oluşmaktadır. TUNE ve DRACULA modellerindeki SNEM modeli anlık hızları ve belirlenen bir taşıt için belli bir zaman diliminde araçtan belli mesafedeki ses basınç seviyesini hesaplayabilmek için araç hızlanmalarını kullanır. TUNE modelinin birçok emisyon modeli mevcuttur ve aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

- Kaynak gürültü emisyonları ve araç hızı arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$L_V = k_1 \quad v < v_t \quad (7.1)$$

$$L_V = k_1 + k_2 \log_{10} v \quad v \geq v_t \quad (7.2)$$

Burada k_1 ve k_2 araç sınıflamasına bağlı olan katsayılarıdır. Araçlardan kaynaklanan gürültü seviyeleri eşik hız değeri altında sabit kabul edilir ve araç hızının logaritmasının fonksiyonu olarak arttığı varsayılır. TUNE modeli için test uygulamaları iki farklı durumu içermektedir. Birinci durum, belirlenen eşik hızlarını da dikkate alarak 5 araç sınıfının toplamı için k_1 ve k_2 değerlerinin belirlenmesidir. İkinci durum ise 2 farklı araç sınıfı için (hafif ve ağır taşıtlar) parametrelerin belirlenmesi şeklinde ifade edilebilir.

- Jones ve Hothersall (1980) tarafından geliştirilen modelde 1045 adet yol kenarı gürültü ölçümleri kullanılarak yapılan regresyon analizine dayanmaktadır. Hız ve ivmelenme açısından gürültü ilişkileri aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$$L_V = k_1 + k_2 \log_{10} v + k_3 a + k_4 a \log_{10} v - k_5 a^2 \quad (7.3)$$

Burada k_i , $i=1,2,\dots,5$ değerleri araç sınıflamasına (hafif ya da ağır taşıt) bağlı olan katsayılardır.

- Jacobs (1980) tarafından önerilen ilişki Denklem (7.2)'yi temel almakla birlikte k_1 ve k_2 değişkenleri araçların vites seçeneği varsayımlarına dayanmaktadır. Hızlanma sürecinde araçlar normal hızlarına erişinceye kadar dört vites seçeneği mevcuttur. Yavaşlama durumunda ise araçların duruncaya kadar 4. viteste kaldığı varsayılır. Bir araç tarafından üretilen ve dışarıya yayılan maksimum gürültü 60 km/sa civarında 5.5 dB olduğu kabul edilir ve aynı aracın hızlanırken 1. viteste yarattığı gürültüden daha az olduğu kabul edilir.
- Favre (1978) tarafından önerilen yaklaşım Denklem (7.3)'dekine benzer ve hafif vasıtalar için önerilen bir algoritmadır. Denklem (7.4)'de verilmiştir.

$$L_v = k_1 + k_2 \log_{10} v + k_3 a + k_4 a \log_{10} v \quad (7.4)$$

Denklem (7.4)'de önerilen model (7.2)'den farklılıklar içermektedir. k_1 ve k_4 arasındaki katsayılar vites seçeneği varsayımlarına göre değişiklik göstermektedir.

- Wayson ve MacDonald (1995) tarafından önerilen model araç işletme modlarına (sabit hız, hızlanma veya yavaşlama) bağlı olarak hız fonksiyonları ile farklı gürültü seviyelerini kullanır. Denklem (7.5) ve (7.6)'da verilmiştir.

$$L_v = 10 \log_{10} \left[(0.6124v)^{k_1} 10^{k_2} + 10^{k_3} \right] (\text{sabit ve hızlanan araçlar}) \quad (7.5)$$

$$L_v = k_1 v + k_2 \quad (\text{yavaşlayan araçlar}) \quad (7.6)$$

Denklem (7.5) Amerikan standart gürültü tahmin modelinde TNM (traffic noise model) kullanılan FHWA REMEL eğrilerinden üretilmiştir.

Sonuç olarak önerilen bütün emisyon algoritmaları için araç sınıfına dayanan asgari bir değer bulunabilir. Buna ek olarak emisyonların standart sapma seviyeleri de araç sınıfına bağlı olarak elde edilebilir.

7.2.1.3. Test

DRACULA gürültü emisyon modeli için şimdiye kadar test işlemi yapılmamasına rağmen diğer projelerin trafik mikro benzetim elemanları için etkili test çalışmaları yapılmıştır. TUNE modeli için sınırlı sayıda test çalışması yapılmıştır.

- Mikro benzetim modelinde girdi olarak kullanılacak olan trafik parametreleri (akım, hız) kullanılarak serbest akan linklerdeki trafik ve gürültü parametrelerinin elde edilmesi (15 gözlem). Regresyon analizi sonucunda elde edilen R^2 değerleri 0.78-0.86 değerleri arasındadır. Ayrıca tahmin değerlerinin standart hatası yaklaşık 1.4 dB değerindedir.
- Trafik sinyal kontrol ve kesikli akımlar (44 gözlem) değerlendirildiğinde R^2 değeri 0.17-0.67 ve standart hata ise 0.96 ile 2.43 dB değerlerini almaktadır. Bu sonuçlar oldukça değişken olup aşağıdaki gibi açıklanabilir;
 - Aracın hızlandığı ya da yavaşladığı varsayımının yapıldığı eşik değerleri
 - Aracın vites seçimini hesaplamak için kullanılan eşik değerleri (özellikle yavaşlama sürecinde ve 10 km/sa'den daha düşük hızlarda oldukça önemlidir)
 - Araçların sınıflandırılması (örneğin otobüsler ya da vanların hafif ya da ağır araç kategorilerinden hangisine dahil edileceği).
- TUNE modeli için son yapılan test Leicester şehrinde tek bir radyal link boyunca iki günlük periyot boyunca 4 adet yol kenarı yeri ve 5 dakikalık kısa süreli yol kenarı tahminleri endüktif döngü dedektörler kullanılarak elde edilen veriler kullanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Modellenen trafik verilerinin (akım, hız, kuyruk uzunlukları) seyahat süre araştırmaları ve video ile elde edilen verilerin analizinden oldukça önemli ölçüde büyük kuyruk uzunluğu tahminleri yapılmıştır. Gürültü seviyelerinin gözlem değerleriyle düşük korelasyona sahip olduğu görülmüş ve elde edilen R^2 değerlerinin 0.01-0.55 ve standart hataların ise 0.56-1.50 dB aralığında olup kullanılan gürültü algoritmalarına ve ölçüm noktalarına bağlı olduğu tespit edilmiştir.

- TUNE modeli ile ilgili birçok duyarlılık testi yapılmış ve sonuçların kısmen emisyon algoritmalarına ve de ortalama emisyon değerlerinin hesaplanması için çalıştırılan model sayısına bağlı olduğu tespit edilmiştir.

7.2.2. Heaven Modeli

Heaven (Araç emisyon ve gürültülerinin azaltılması sayesinde daha sağlıklı çevre) projesinin amacı gerçek zamanlı olarak trafikten kaynaklanan gürültü emisyonlarının tahmini için modeller oluşturmak ve geliştirmektir. Bu şekilde ulaşım talep yönetimi için en iyi ve uygun stratejilerin geliştirilmesi ve tanımlanması sağlanabilmektedir. HEAVEN projesinin ana amacı Karar Destek Sistemlerinin (KDS) geliştirilmesi ve bu sayede mevcut trafik durumu hakkında kapsamlı bilgi edinilmesi ve bunun yanında gürültü ve hava kirliliği bilgilerinin gerçek zamanlı olarak elde edilebilmesidir.

HEAVEN projesinde İsveç Meteoroloji ve Hidroloji Enstitüsü tarafından desteklenen AIRVIRO (SMHI, 2002) hava kalite yönetim sistemi konseyinin parçası olarak Leicester şehrinin konseyi tarafından geliştirilen yeni gürültü modeli kullanılmaktadır. Bu yeni gürültü modeli, Leicester HEAVEN karar destek sistemine SCOOT (Hunt ve diğ., 1981) sistemi tarafından sağlanan trafik verilerinden elde edilen saatlik olarak güncellenen yol kenarı gürültü seviyelerini kullanmaktadır.

7.2.2.1. Trafik Modeli

HEAVEN projesi Leicester şehri alansal trafik kontrolü altyapısı kullanılarak kurulmuştur. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

- TRIPS (Citilabs Europe, 2001) modeli kullanılarak elde edilen belli zaman dilimleri için statik trafik verileri (trafik hacmi ve ortalama hız)
- SCOOT modeli kullanılarak elde edilen dinamik trafik verileri. SCOOT verileri şehrin birçok bölgesinde yüzlerce link için mevcut olup özellikle de sıkışıklık etkisi altındaki linkler için mevcuttur. Dinamik trafik verileri (trafik hacmi ve gecikme) 5 dakikalık periyotlar halinde bulunmakta olup ve bu veriler linkler boyunca ortalama hızların ve saatlik trafik hacimlerinin bulunması için kullanılmaktadır.

- Leicester şehrinin sınırları içerisindeki linklerde AIRVIRO AQMS sistemi (hava kalitesi yönetim sistemi) ATC operatörleri kullanılarak sınıflandırılır. Her bir sınıflandırma ile ayrıca araç cinsleri (benzinli, dizel, benzin LGV, dizel LGV, HGV, otobüs) ve bununla ilgili olan gün içindeki saatlik akım profili elde edilir. TRIP modeli kullanılarak elde edilen statik trafik verileri verilen link ve gün için saatlik değerleri elde etmek için uygun gün, saat ve tip faktörleri göz önünde bulundurularak hesaplanır. Toplanan statik veriler daha sonra SCOOT modeli ile elde edilen dinamik veriler ile birleştirilir. Daha sonra AIRVIRO sistemi kullanılarak son dinamik trafik verileri spesifik emisyon veri tabanı (EDB) adı altında saklanır ve Leicester şehri ve çevresi için hava kalitesi değerlendirmesi ve tahmini için dinamik meteorolojik verilerle birlikte kullanılır.

7.2.2.2. Gürültü Modeli

HEAVEN projesi AIRVIRO AQMS ile birlikte iki farklı model tabanlı olarak Gürültü Emisyon Modelini (SNEM'S) geliştirmiştir. Bunlardan ilki İngiltere tarafından geliştirilen “*Trafikten Kaynaklanan Gürültünün Hesaplanması*” (CoRTN) modeli diğeri ise Fransa tarafından geliştirilen “*la Nouvelle Methode de Prevision du Bruit*” (NMPB) modelidir. Her iki modelde hava kirleticileri için AIRVIRO modelinin metodolojisine benzer şekilde oluşturulmuş olmasına rağmen farklı çıktılara sahiptirler. CoRTN (DoT, 1988) modeli yol kenarından belli mesafedeki referans noktasındaki saatlik değerleri (ses basıncı) verirken NMPB (SETRA, 1996) modeli ise link uzunluğu boyunca kaynak enerji değerlerini (ses gücü) verir. Dağılım (propagation) modellenmesi Leeds ITS tarafından geliştirilen ayrı ayrı iki model ile yapılmaktadır. Bunlardan ilki AVTUNE SPM (ses dağılım modeli) SNEM'S modelinden aldığı saatlik çıktıları girdi olarak kullanır. SPM modeli belli noktalardaki saatlik gürültü seviyelerini hesaplayabilmek için ya CoRTN modelinin kısaltılmış versiyonunu kullanır ya da ISO 9613-2 prosedürüne dayanan ters akustik “*ray-tracer*” modelini kullanır.

7.2.2.3. Test

HEAVEN gürültü modeli hem doğrulama test evresi hem de gözlem test evrelerinden oluşur.

- Doğrulama evresi, CoRTN prosedürü ve yol kenarına bitişik 16 adet noktada gündüz ölçümleri kullanılarak model tahminleri arasında karşılaştırma yapılması şeklinde

yapılmaktadır. HEAVEN doğrulama modelinde projenin amaçları doğrultusunda “başarılı” olarak değerlendirilmesi ve modelin doğruluğunu hesaplamak için basit doğrusal regresyon analizi kullanılır. TRIPS, SCOOT ve AIRVIRO trafik verileri kullanılarak elde edilen CoRTN modelinin sonuçlarına göre R^2 değeri 0.85 ve modellenen verilerin %94’ü ölçülen değerlerin +/- 2dB civarındadır.

- Gözlem evresi, şehrin farklı bölgelerinde doğrulama evresinin analizi olarak tekrar edilir. Gözlem evresi boyunca ilave ölçümler alınır ve modellenen verilerle karşılaştırılır. Sonuçlara göre R^2 değeri 0.93 ve modellenen verilerin %87.5’i ölçülen değerlerin +/- 2 dB civarındadır.
- Gözlem evresi ayrıca gündüz, akşam ve gece periyotlarında uygulanan prosedürün performansını değerlendirmek için 24 saatlik ölçümler CoRTN ile modellenen veriler arasındaki karşılaştırmaları içerir.

Genel olarak manuel sayımlar ve SCOOT modeli ile toplanan veriler arasında oldukça iyi bir korelasyon vardır ($R^2 > 0.9$). Bununla birlikte yapılan bu analizler modellenen trafik verileri ve gözlemler arasında değil aksine iki gözlem tipi arasında bir karşılaştırma olarak değerlendirilebilir. Ayrıca HEAVEN gözlem evresi senaryo sayısına bağlı olarak duyarlılık testlerini de içermektedir.

7.2.2.4. Deneyimler

HEAVEN projesi boyunca birçok problem ortaya çıkmıştır. Bunlardan birçoğu modelleme teknikleri ve çeşitli modellerin entegrasyonu konusundadır. Bunlar şöyle sıralanabilir;

- Çeşitli modellerin girdi ve çıktılarının biçimlendirilmesi. AIRVIRO modeli SCOOT ve TRIPS’den elde edilen verileri işlemek için bunların kullandığı formattan farklı formatlar kullanır.
- SCOOT dinamik düzenli bir model iken AIRVIRO ve TRIPS stratejik modellerdir.
- TRIPS/AIRVIRO stratejik linkleri ve SPM için gerekli olan linklerin kesin yerleri arasında coğrafi olarak tutarsızlık vardır. Bunun için doğru linklere doğru emisyon verilerinin transfer edilip edilmediğini garanti etmek için link eşleştirmesi yapılması gerekir.
- TRIPS Scoot verileri ve SCOOT dinamik verilerinin kapsama alanı oldukça farklıdır.

- Emisyon hesaplamalarında AIRVIRO çizelgeleşmiş verilerin kullanımı girdi verilerinin çözümlenmesinde kayıplar doğurmaktadır.
- Hava kalite modeli ve gürültü emisyon modellerinde ki araç sınıflandırmaları arasındaki farklar, emisyon modellerinde araç kategorilerinin dönüştürülerek girdi olarak konulması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır.
- Dinamik SCOOT akımları ve statik TRIPS akımları arasında önemli farklar olabilmektedir.
- Emisyon tahmin modellerinin çıktıları arasındaki farklardan dolayı üretim modelinde ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekebilir.

7.2.3. Ugent Mobilee Modeli

Ugent Mobilee projesi yerel yönetimler için trafik akım kalitesi üzerindeki yönetim tekniklerinin etkisini ve daha genel olarak yaşam standartları ve çevre şartları (hava kalitesi, gürültü, vs.) üzerindeki etkilerini değerlendirmek için geliştirilmiştir. Farklı göstergelerle oluşturulan entegre bir model sürdürülebilirlik ve optimum senaryoların seçimi için farklı stratejilerin karşılaştırılmasını mümkün kılabilir. Model test edilmiş, doğrulanmış ve örnek bir çalışma üzerinde gösterilmiştir. Projenin gürültü bölümünden sorumlu olan çalışma grubu trafik model verilerinin gürültü emisyon modeli ve üretim modeline uyarlanması ve farklı durumlar için benzetimler yapılarak farklı trafik gürültü göstergelerini belirleyebilme işlerinden sorumlu olmaktadır.

7.2.3.1. Trafik Modeli

Bu projede “Quadstone Paramics” trafik modeli kullanılmıştır. Model literatürde kullanılan mikro benzetim modeli olup kullanıcılarına oldukça kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca diğer modellerle entegre olarak kullanılabilmesi mümkündür. Çalışma alanı Belçika’da seçilmiş ve 180 nod ve 450 linkten oluşan bir bölge olup farklı trafik yüklerine maruz linklere sahip ve ayrıca E17 otoyolu bağlantısı mevcuttur. Trafik verileri farklı adımlarda toplanmıştır. Makroskobik trafik modeli ile yapılan benzetimlerde sabah ve akşam iş çıkışı saatleri boyunca ulaşım ağındaki araçların başlangıç ve varışları hakkında bilgi sağlanmaktadır. Bu periyotlar için ana yollardaki saatlik trafik hacmi hesaplanabilmektedir. Daha sonra çalışma alanındaki farklı noktalarda trafik sayımları döngü dedektörler kullanılarak AWV (Flemen Birliği Yol ve

Trafik Yönetimi) tarafından yapılmıştır. Birkaç haftalık periyotlar için saatlik trafik hacimleri sürekli olarak tespit edilmiştir. Aynı periyot süresince bazı noktalarda manuel sayımlarda yapılmıştır. AWW tarafından yapılan ölçümler ile E17 otoyolu için oldukça gerçeğe uygun trafik verileri sağlanmıştır. Ayrıca Flemen Ulaşım şirketi tarafından otobüs, tramvay ve trolleybüs zaman çizelgeleri de saplanmıştır. 4 kategoriye ayrılan 29 farklı araç tipi benzetim sürecinde kullanılmıştır. Her bir kategoride B-V matrisleri elde edilen verilerin birleştirilmesi ile sağlanmıştır. Link akım yoğunlukları ile trafik sayımlarının eşleştirmeleri için iteratif bir metot kullanılmıştır. Sonuç olarak tüm ulaşım ağı 24 saat boyunca simüle etmek mümkün olabilmektedir.

7.2.3.2. Gürültü Modeli

Uygulamada 2000 adet araç gürültü emisyon verileri kullanılmış olup, bu veriler sadece araç tipi ve hızının fonksiyonu olup üç farklı sınıf kullanılmıştır. Bunlar; otomobiller, çift dingilli ağır taşıtlar ve çok dingilli ağır taşıtlardır. Daha sonra her bir araç sınıfı ile ilişkili olanlar emisyon noktaları ile eşleştirilmiş ve bu durum için iki farklı olasılığın mümkün olabileceği görülmüştür. İlk olasılık ulaşım ağının bir parçasına emisyon noktalarını ızgara şeklinde yerleştirmektir. Benzetim boyunca taşıtlar en yakın emisyon noktaları ile eşleştirilmiştir. Ardışık emisyon noktaları arasındaki mesafe büyük ise, bir den çok aracın aynı emisyon noktası ile eşleştirilmesi mümkün olabilmektedir. İkinci olasılık da, emisyon noktaları hareketli olarak yerleştirilebilir. Bu durumda birinci olasılığın aksine yön bilgisi kullanılmaktadır. Bununla birlikte, her bir benzetim adımında emisyon noktalarının yeri değişmekte ve bu yüzden her bir adımda dağılım hesaplanmalarının da yapılmasını zorunlu olmaktadır. Modelden sonuç olarak zamanla değişen taşıt gürültü emisyonları elde edilmektedir. Özellikle her bir adımda ağdaki bütün emisyon noktalarının listesi ve değerleri alınabilmektedir. Daha büyük ulaşım ağları ve daha uzun benzetim süreleri için daha büyük veri dosyaları oluşmakta fakat bu sorununda üstesinden gelinmektedir.

7.2.3.3. Dağılım Modeli

Gözlemciler tarafından elde edilen dinamik gürültü emisyonları dağılım modeli kullanılarak hesaplanmaktadır. Uygulanan program C++ ve Python dillerinde yazılmıştır. Ayrıca program mikro benzetim modeli uygulandıktan sonra elde edilen XML dosyasındaki verileri girdi

olarak kullanır. Bu dağılım modeli 3 adımdan oluşur. yol üretimi, sadeleştirme hesapları ve emisyon hesaplamaları. Emisyon noktaları ve alıcılar arasındaki rotaları veya yolları üretmek için “*beam tracing*” modeli (Heckbert ve Hanrahan, 1984) kullanılır. Bu metodun geleneksel “*ray-tracing*” metoduna göre en belirgin avantajı alıcıların kaybedilmemesi ve dağılımın etkili bir şekilde modellenenebilmesidir. Ayrıca sadeleştirme modeli ISO 9613 dikkate alınarak kullanılmıştır. Bu model geometrik sapmalar, atmosfer etkileri ve zemin etkilerini göz önüne almaktadır.

Sonuç olarak alıcı noktalardaki emisyon değerleri emisyon ve azaltma katsayılarının çarpılması ile elde edilmiştir. Emisyon noktaları için kesin noktalar kullanılırsa bütün dağılım hesaplamaları her bir adımda yapılabilir. Emisyon noktaları için sabit ızgara şeklinde dizilim yapılırsa dağılım hesapları sadece 1 defa yapılır ve her bir emisyon noktası ve alıcı çifti arasındaki sadeleştirme saklanır. Bu yolla daha önce saklı olan verilerle emisyon hesaplanması daha kolay yapılabilir.

7.2.3.4. Test

Ses cihazları akşam iş çıkış saatleri için çalışma bölgesi içinde 6 adet gözlem noktasında kullanılmıştır. Eş zamanlı olarak araç sayıları belirlenmiştir. Trafik sayımlarını doğrulamak için “*Paramics*” ağı kullanılarak 5 adet benzetim yapılmıştır. Her bir benzetimde ölçülen farklar oldukça küçük olup benzetimler sonucu bulunan araç sayıları gerçek değerlerden % 25 civarında farklılık göstermekte ve bu farkın gürültü seviyeleri üzerinde küçük bir farka eşdeğer geldiği görülmüştür. Gözlem noktalarındaki istatistiksel ve kümülatif dağılımlar hem ölçümler hem de benzetimler için hesaplanmıştır. $L_{Aeq, 15 dk}$, L_5 ve L_{50} değerleri için benzetim ve ölçümler arasındaki sapma 3 dB(A) bulunmuş ve L_{95} için ise bazı ölçüm noktalarında daha fazla sapmalar görülmüştür. Bu durumun rüzgar, kuşlar, yayalar ve alçaktan uçan uçaklar gibi sebeplerden dolayı oluştuğu söylenebilir.

7.2.3.5. Deneyimler

Gürültü modellerinin ihtiyaç duyduğu araçların akustik özellikleri (araç yaşı, dingil sayısı, lastik tipi, yol yüzeyi tipi, nem, sıcaklık katsayıları) trafik modelinde kullanılmamıştır. Bu özellikler daha sonra istendiği takdirde programcı tarafından ara yüze (API) monte edilebilir.

Paramics modelinin ara yüzü oldukça geniş olup benzetimin genişletilmesine ve kontrolüne müsaade etmektedir. Bununla birlikte program birçok hatayı da içermektedir. Örneğin, Paramics modelinde yol ağının oluşturulması oldukça zaman kaybettirmekte ve can sıkıcı olabilmektedir. Benzetim zaman aralığının değiştirilmesi durumunda ağın dinamik yapısı da değişmekte ve modelin belirli zaman aralıklarında kalibrasyonunun yapılması zorunlu olmaktadır.

7.2.4. UGent-Mira Modeli

MIRA her yıl çevre durumunu gözden geçiren ve durum değerlendirmesi yapılan bir projedir. Projenin birçok ortağı bulunmakla birlikte projenin çıktıları aynı zamanda trafik ile ilgili çalışmalarda girdi oluşturmaktadır. Çalışma bölgesi yaklaşık 15000 km² dir.

7.2.4.1. Trafik Model

Gürültü emisyonları 40000 parça yol kesiminde hesaplanmış olup bu yaklaşık 18000 km²' ye karşılık gelmektedir. Trafik verileri her bir ölçümde normalize edilmiş trafik yükünün hesaplanması ile extrapolasyon yapılarak hesaplanmıştır. Normalize edilmiş trafik yükü araştırma aşamasında yol tipi için ortalama şiddet ile ölçeklendirilmiş trafik yükü ile tanımlanır. Bu değerler “*grid*” metodu adı verilen metotla extrapolasyon yapılarak tahmin edilir. Gerçek hız dağılımları tüm ülkeyi içine alan istatistiksel verilere dayandırılmaktadır. GIS sisteminde her bir yol tipi için kullanılabilir durumda olan hız limitlerinin dağılımları belirlenmiştir.

7.2.4.2. Gürültü Modeli

Gürültü modelinde emisyonlar Nord2000 veritabanı kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir hız şiddeti baz alınarak düzenli ve sıkışık trafik için her bir yola karşılık gelen gürültü seviyeleri belirlenmiştir. Band spektrumları için ISO standardı olan 63 Hz ve 8 kHz değerleri arası kullanılmıştır. Gürültünün yönü dikkate alınmamıştır.

7.2.4.3. Dağılım Modeli

Dağılım modeli olarak ISO9613 modeli kullanılmıştır. Geniş bir alan söz konusu olduğundan gerçek alan geometrisi kullanılmamıştır. Buna rağmen şehrin nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerin korunması ISO9613' de tanımlandığı gibi gerçekleştirilmiştir. Bunun için arazi kullanım haritaları kullanılmıştır. Alıcılar nüfus yoğunluğuna göre yerleştirilmiştir. 1 milyon alıcı dağıtılmıştır. Bunlardan 200000 adedi ana yollar boyunca yerleştirilmiştir.

7.2.4.4. Test

65 dB'den daha fazla gürültü seviyelerine maruz kalan insan sayısı ölçümlerden elde edilen verilerle karşılaştırılmış ve ölçülen değerlerden %3 fazla elde edilmiştir.

7.2.4.5. Deneyimler

Hesaplama yükü ve veri uygunluğu açısından iki farklı endişe verici durum söz konusudur. Çalışma bölgesinde bütün alanı kapsayan detaylı bir bina dağılımı haritası mevcut değildir. Bu durumdan dolayı oluşabilecek dağılım ve sapmalar dolayısıyla hesaplama zorluğu yaratmıştır. Mevcut hesaplama süresi 2 Ghz RAM olan bir PC için 200 saattir. İnterpolasyon metodu sayesinde bir önceki yılın haritası güncellenir ve böylece hesaplama süresi 1 yıl için 60 saate indirilmiştir.

7.2.5. TNO-Urbis Modeli

Urbis modeli LIFE programının desteği ile TNO tarafından geliştirilmiştir. Bu modeli geliştirilmesi için ana nedenler yerel otoritelerin çevreye ilişkin sorumluluklarının artması, Avrupa'daki gelişmeler ve çevre kalitesi hakkında yetersiz bilgilerdir. Urbis modeli hava ve gürültü kirliliğinin sağlık üzerindeki risklerinin ve etkilerinin belirlenebilmesi için geliştirilen bir metodolojidir. Geliştirilen metodoloji çevre kalitesi ve risklerinin etkilerinin belirlenmesi ve buna bağlı durumun özetlenmesi ile mevcut ve gelecekteki durum hakkında tanımlamaların yapılmasını içermektedir.

7.2.5.1. Trafik Modeli

Urbis (Gerretsen ve diğ., 1999) modeli yerel yöneticiler tarafından sağlanan trafik verilerini girdi olarak kullanmaktadır. Veriler tercihen bütün bölgedeki tüm yolları kapsayan GIS haritaları şeklinde sağlanır ve genellikle de trafik hacmi 1500 taşıttan fazla olan yollar kullanılmıştır.

7.2.5.2. Gürültü Modeli

Gürültü emisyonları, yol kesimlerinin özelliğini belirleyen trafik hacmi, hız ve yol yüzeyi tipini mevcut olduğu dijital yol haritaları baz alınarak hesaplanmıştır. Ölçüm yapılacak yerler maksimum 10 m olacak şekilde iki parçaya bölünmüştür. Her bir parçanın orta noktası noktasal kaynak olarak oluşturulmuştur. Gürültü emisyonu hesaplamaları için diğer model girdileri dijital haritalar ve bina haritalarıdır. Diğer özellikler örneğin meteorolojik, zemin, görüntü zayıflığı gibi özellikler model içine katılmıştır. Gürültü seviyeleri (L_{Aeq}) gündüz, akşam ve gece için ölçülmüş ve DENL haritası ile kombine edilmiştir.

7.2.5.3. Test

Urbis modeli ile gürültü ölçümleri ve hesaplamaları Hollanda standart hesaplama metodu (SRMII) ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre Urbis modeli ile elde edilen hesaplamalarda gürültü ölçümlerine göre 2 dB'lik fark olmaktadır. Bu durum SRMII hesaplamalarında da aynı büyüklükte gerçekleşmiştir.

7.2.5.4. Deneyimler

Bazı durumlarda trafik modeli şematik olup coğrafi kaynaklara dayandırılmamaktadır. GIS kullanımı ile şematik olan ulaşım ağı coğrafik kaynaklara dayandırılmaktadır. Urbis modelinin modülü kullanılarak şematik ulaşım ağındaki trafik hacim verileri gerçek ulaşım ağına transfer edilmiş olmaktadır. Bazı durumlarda trafik hacmi farklı araç tiplerine ayrılmaz. Eğer mümkünse orta ve ağır yük taşıyan araçların yüzdesi önceki döküm ve hesaplamalardan elde edilmelidir aksi takdirde yük trafiği yüzdesi yol tipine trafik hacmine bağlı olarak tahmin edilmelidir.

Yol yüzey tipi, gürültü emisyon hesaplamaları için önemli bir model girdisidir. Bu veriler çoğu zaman direk olarak trafik modeline bağlanamaz. GIS (ARC INFO)tekniki kullanılarak diğer kullanılabilir durumdaki veri kaynaklarından yol yüzeyi tipi hakkında bilgi edinilebilir. Bazı durumlarda ihtiyaç duyulan bu veriler harita şeklinde mevcuttur ve ARC INFO kullanılarak modele girilebilir. Ayrıca hız limitleri emisyon hesaplamalarında temel olarak kabul edilir. Aynı şekilde bazı durumlarda hız limitleri harita şeklinde mevcut olup programa girilerek hesaplamalarda kullanılır.

7.2.6. TNO-Overschie Modeli

Overschie'de A13 otoyolunda 2002 yılında hava kalitesini iyileştirmek için hız limiti 80 km/saat değerine düşürülmüştür. Uygulanan hız limitleri sürekli olarak kameralar ile kontrol edilmiştir. Hava kalitesi ve gürültü problemlerinin çözümü için bu çözüm yolu maliyet açısından oldukça etkili bir yöntemdir. Bununla birlikte 80 km/sa lik hız seçimi büyük ölçüde isteğe bağlıdır. Ulaştırma bakanlığı TNO 'ya optimal hızı (80, 90 ya da 100 km/sa) iki farklı durum da (katı ve katı olmayan yaptırımların uygulanması durumları) tespit etmesi için yetki vermiştir. Ayrıca bu çalışmanın sonuçları hava kalitesi açısından önemli olmasının yanında gürültü, trafik verimliliği, güvenlik açısından da oldukça önemlidir.

Kesin ve etkili yaptırımların uygulanması durumunda 80,90, 100 km/sa'lik durumlar için etkileri belirlemek için çok az veri bulunmaktadır. Bununla birlikte, trafik akımı ölçümlerinin etkilerini değerlendirebilmek için mikroskobik benzetim modeli kullanılmıştır. Bu model ile üretilen trafik verileri hava kalitesi, gürültü ve güvenlik analizlerinde kullanılmıştır. Bu çalışma için zaman ve bütçe kısıtları mevcut olup dolayısı ile bu durum model ve veri seçimlerinde oldukça etkili olmuştur.

7.2.6.1. Trafik Modeli

MIXIC (Arem ve diğ., 1997) trafik modeli kullanılmış ve bunun yanında sürücü destek sistemlerinin etkilerinin değerlendirilmesi için mikroskobik benzetim modeli geliştirilmiştir. MIXIC modeli detaylandırılmış olup sürücüleri, araçları, destek sistemlerini ve bunların ara yüzlerini tanımlayan alt modelleri içermektedir. Model 4 farklı sürücü ve araç tipi için uygulanmış ve test edilmiştir.

MIXIC modelinin benzetimler için seçilmesinin nedeni hız profilinin değiştirilebilme imkanını sunmasıdır. Bu model her ne kadar bütün ağı modelleyebilme kapasitesine sahip olmasa da bu proje için seçilmiş olup bunun nedeni trafiği detaylı ve gerçek olarak modelleyebilmesidir.

Benzetim için 5 adet senaryo önerilmiştir;

- 120 km/sa katı yaptırım olmayan durum
- 100 km/sa katı yaptırım olmayan durum
- 100 km/sa katı yaptırım durumu
- 90 km/sa katı yaptırım durumu
- 80 km/sa katı yaptırım durumu

Yukarıdaki senaryoların modelde uygulanması ile aşağıdaki trafik verileri elde edilmiştir;

- Maksimum akım (şişe boynu durumu)
- Ortalama hız ve standart sapma
- Hız dağılımları (bireysel araç verilerine dayanan)
- Şok dalgalarının sayısı
- Trafik şerit dağılımı

7.2.6.2. Gürültü Modeli

Her bir senaryo için gürültü emisyonları VROM (Vrom, 2002) gürültü hesaplama şeması kullanılarak hesaplanmıştır. Emisyonlar 3 farklı araç kategorisi için ayrı ayrı hesaplanmış ve yol yüzeyi tipi düzeltme faktörleri uygulanmıştır. İlk olarak MIXIC modeli ile uygulanan benzetim sonucu elde edilen emisyonlar hesaplanmış olup ayrıca benzetimler sıkışık yollardaki pik saatlerle mukayese edilebilir olarak 2 saatlik ve 45 dakikalık periyotlar halinde yapılmıştır. Daha sonra gündüz, akşam ve gece olmak üzere değerler hesaplanmıştır. Gürültü hesaplamaları için MIXIC modelinin çıktıları girdi olarak kullanılmıştır. Bunlar; ortalama hacim ve hız, araç kategorisidir.

7.2.6.3. Dağılım Modeli ve Test

Dağılım hesaplamaları için “*Geonoise*” programı kullanılmıştır. Bu model bina yüksekliklerini ve yol boyunca mevcut olan gürültü azaltma engellerini göz önüne almaktadır. VROM’a göre L_{etmaal} değeri en yüksek değer olarak tanımlanmaktadır. Gece elde edilen değer gündüz değerine göre 10 dB artmaktadır. Test işleminde MIXIC programı ile üretilen araç rotaları A13 otoyolunda ölçülen rotalar ile karşılaştırılmıştır. Genel olarak eşleştirme oldukça verimli olmuştur.

7.2.6.4. Deneyimler

Projenin uygulanmasındaki zorluklardan biri çalışılan senaryolardaki araç davranışlarına ait trafik verilerinin oldukça zor elde edilmesidir. Çünkü önerilen hız limitleri sadece işleyen yol ağlarında bulunabilmektedir. Trafik farklı geometriler yüzünden farklı davranabilmektedir. Ayrıca sıkışıklık etkisinden ya da yol yapım çalışmalarından dolayı farklılıklar olabilmektedir. Bir diğer sebep ise sert ve kesin yaptırımlar beklenmeyen sürücü davranışlarının sergilenmesine sebep olmaktadır. Bu gibi durumlarda sürücüler genel olarak hız limitlerinin altından kalmayı tercih etmektedirler.

7.2.7. M+P-Jari Modeli

M+P, Japon Otomobil Araştırma Enstitüsü (JARI) ile 2003-2004 yıllarında yapılan bir araştırma programını içermektedir. JARI geçen on yıl öncesinde geliştirilmiş olup araç gürültü emisyon seviyelerinin ölçümü için geliştirilmiş trafik modelidir. Hem gürültü modeli hem de trafik modeli oldukça basittir.

7.2.7.1. Trafik Modeli

JARI kendine ait üç farklı kategoride araç sınıflandırması yapabilen mikro benzetim modeline sahiptir. Model ayrıca kavşaklarda sağa ve sola dönüş davranışlarını, araç hızlarını ve ortalama dönüş sürelerini hesaplama sürecine eklemektedir. Serbest akan trafik için her bir aracın hızlanma değerlerinin hesaplanması için M. Bando tarafından önerilen araç takip modeli çalışmaya dahil edilmiştir.

$$\ddot{x}(t) = \alpha(V_{optimum} + v_{baş} - 2.v_{takip}) \quad (7.7)$$

Burada $v_{baş}$ ve v_{takip} sırasıyla öndeki ve takip eden araçların hızları olarak belirtilmiştir. Model esas olarak genelde şehir içi trafiğine, özelde ise tekli kavşaklara ya da bir ya da daha fazla kavşağa sahip yollara uygulanmaktadır.

7.2.7.2. Gürültü Modeli

Model eksoz ve lastik gürültüsü olmak üzere iki farklı durum için oluşturulmuştur.

$$L_{we} = A_0 + A_1S + A_2L \quad (7.8)$$

$$L_{wt} = B_0 + B_1 \log(V) \quad (7.9)$$

Burada V araç hızı, S motor hızı ve L araç torkudur. Her bir araç kategorisi ve vites için vites mekanizması oranları kullanılarak elde edilen tablolar yardımıyla araç hızları ile S ve L değerleri ile model ilişkilendirilir.

7.2.7.3. Test

T.Suzuki ve diğ. yaptıkları çalışmada tekli kavşakta yapılan 12 adet L_{Aeq} ölçümlerinin sonuçlarını sunmuşlardır. Ölçüm ve tahmin değerleri arasındaki fark 1.5 dB mertebesinde.

Literatürde ki farklı tipteki trafik ve gürültü modelleri incelendiği zaman, değişik tipteki trafik modellerinden elde edilen trafik verileri ile gürültü haritalarının çıkarılmasının mümkün olabildiği fakat henüz trafik ve gürültü modelleri arasında net ve kesin bağlantı kurulamadığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak trafik modellerinin birtakım zayıf yönleri sayılabilir. Bununla beraber trafik ve gürültü modellerinin birlikte değerlendirilmesi için her iki yazılım arasında ara yüz oluşturulmalıdır. Bu durum büyük çapta verilerin yönetimini gerektirmektedir. İki yazılım birleştirilmesi aşamasında ağa ait veri tabanı ile gürültü modellemesi için gerekli olan mekansal veri tabanları arasında bağlantı olmak zorundadır. Ayrıca trafik ve gürültü modellerinin birleştirilmesi büyük çapta veri değişimini gerektirmektedir. Trafik modeli ne kadar detaylı olursa buna karşılık daha büyük çapta veri ile

işlem yapmak zorunda kalınmaktadır. Veri değişimi miktarını azaltabilmek, trafik modeli yazılımı içine gürültü modelinin adapte edilmesi ile mümkün olabilmektedir. Gürültü seviyelerinin gerçek zamanlı hesaplanması ile daha az miktarda veri ile çözümleme yapılması sağlanabilmektedir. Ayrıca gürültü modelinin doğruluğunun artırılabilmesi için trafik modelinde girdi olarak kullanılan verilerin oldukça önemi vardır. Örneğin B-V matrisinin gerçeğe en yakın şekilde tahmin edilmesi gerekir. Aksi takdirde bütün modeller birbirine bağlı olduğundan yanlış sonuçlar doğabilir.

7.3. Gürültü Modelleri

Gürültü tahmin ve modelleme çalışmaları genelde çok parametrelili ve doğrusal modeller üzerine yoğunlaşmıştır. Abo-Qudais ve Alhiary (2007) 14235 adet gürültü seviyesi ölçümlerini baz alarak istatistiksel modeller yardımıyla gürültü seviyelerini tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Gürültü seviyesi üzerinde etkili olduğu düşünülen farklı bir çok parametre modele dahil edilmiştir. Bu parametreler; trafik hacmi, trafik kompozisyonu, klakson kullanma oranı, şerit sayısı, şerit genişliği, yol eğimi, vb. olarak sayılabilir. Gürültü seviyesini etkileyen parametreler korelasyon matrisi ve istatistiksel *t*- testi yardımıyla seçilmiştir. Çalışmada farklı formda modeller oluşturulmuştur. Maksimum gürültü seviyesinin, trafikteki ağır taşıt sayısı ve klakson kullanma oranından oldukça fazla etkilendiği saptanmıştır. Ayrıca eşdeğer gürültü seviyesinin başlıca etkin parametresinin trafik hacmi olduğu belirlenmiştir.

Bhaskar ve diğ. (2007) gürültü azaltma politikalarının geliştirilebilmesi için dinamik trafik gürültü modelini önermişlerdir. Önerilen model şehir içi ulaşım ağlarındaki gürültü seviyesini tahmin edebilmek için gürültü tahmin modeli ile trafik simülasyonunun birlikte kullanılmasını gerektirmektedir. Önerilen model, gürültü haritalarının oluşturulabilmesi için coğrafi bilgi sistemleri ile entegre edilmiştir. Sonuç olarak önerilen modelin gerçek ulaşım ağına uygulanması ile gürültü seviyelerini azaltıcı yöndeki trafik yönetimi politikalarının küçük ölçekteki şehir içi ulaşım ağlarında etkili olduğu görülmüştür.

Can ve diğ. (2008) eşdeğer gürültü seviyesi için farklı trafik ve gürültü kaynaklarını ve istatistiksel tahminleri şehir içi ulaşım ağını etkileyen dört senaryo altında test etmeyi amaçlamışlardır. Pathak ve diğ. (2008) Varanasi şehrindeki gürültü kirliliği problemi ve insanlar üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Yapılan çalışma gürültü kirliliği

araştırmalarının yapıldığı bölgede gürültü seviyelerinin oldukça yüksek seviyelerde olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, çalışma bölgesindeki insanların % 85'inin trafik gürültüsünden rahatsız oldukları ve ayrıca % 90'nın trafik gürültüsünün baş ağrısı, yorgunluk ve baş dönmesi problemlerinin ana etkeni olduğu belirlenmiştir. Ayrıca eğitim düzeyinin ve gelir seviyesinin artması ile insanların trafik gürültüsünün sağlık etkileri hakkında daha bilinçli olduğu tespit edilmiştir.

7.3.1. Gürültü Ölçümlerinin Modellenmesi

Projede gürültü modelleri için ilk olarak hız ve hacim bileşenleri değerlendirmeye alınmıştır. Modelleme çalışmaları için ilk olarak saniye bazındaki gürültü ölçüm değerleri ikişer dakikalık ortalama değerler haline getirilmiştir. Bunun nedeni hız ve hacim değerlerinin ikişer dakikalık periyotlarda ölçülmüş olmasıdır. Tablo 7.1' de 1 no'lu kesite ait düzenlenmiş sabah ve akşam verileri görülmektedir. Gürültü ölçüm cihazı 2 adet olduğu ve bir cihaz bilgisayara bağlı olmadan 15 dk süre ile kesintisiz kayıt yapabildiği için her kesitte 15-20 dk süreli gürültü ölçümleri yapılmış ve bu zaman aralığındaki ortalama hız ve kesitteki toplam hacim değerleri belirlenmiştir.

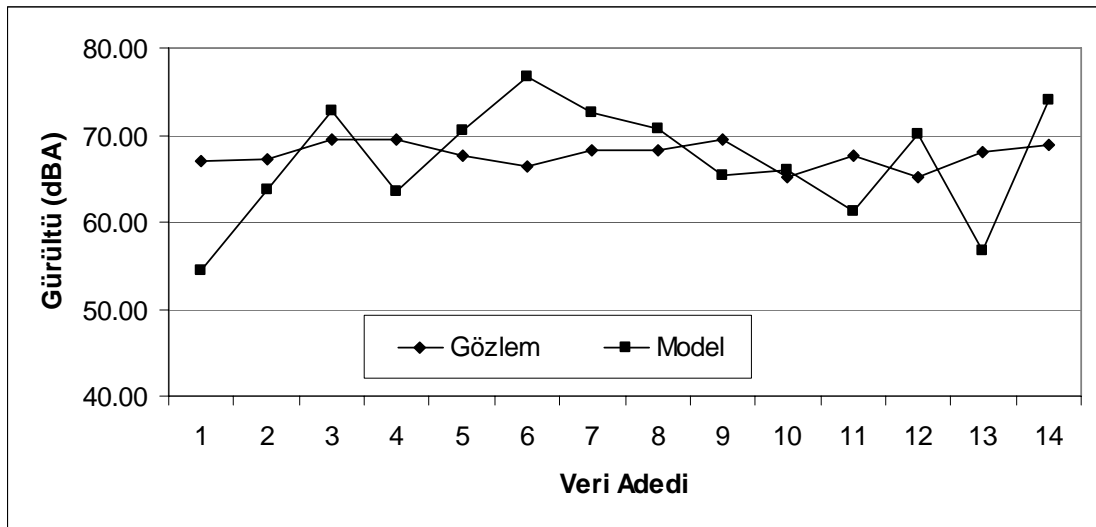
Tablo 7.1 (1) no'lu kesitteki gürültü, trafik hacmi ve hız ölçüm sonuçları

	Zaman (dk)	Gürültü	Hacim	Hız
Sabah	2	70.34	3	14.25
	4	70.17	26	33.25
	6	70.73	64	36.00
	8	70.02	36	25.50
	10	70.90	90	40.25
	12	72.08	57	43.00
	14	69.78	21	24.50
	16			
	18			
	20			
Akşam	2	68.41	3	21.50
	4	68.24	19	10.50
	6	66.38	6	6.00
	8	67.27	7	12.25
	10	64.22	9	31.75
	12	66.04	7	16.50
	14	66.84	5	6.25
	16	67.99	3	9.25
	18	67.81	6	6.25
	20	69.90	19	35.75

Benzer şekilde tüm kesitlerdeki veriler tablolastırılarak 156 set veri elde edilmiştir. Gürültü trafikteki araç kompozisyonu, yolun geometrik standartları, iklim ve yerleşim alanı özelliklerine bağlı olarak değiştiği için sadece hız ve hacim verileri dikkate alınarak her kesit için ayrı regresyon modelleri geliştirilmiştir. Tablo 7.2’de tüm kesitlerde yapılan ölçümler dikkate alınarak oluşturulan regresyon modelleri ve katsayıları verilmiştir. Gürültü modelleri trafik hacmi q ve ortalama hız V_{ort} değerleri kullanılarak geliştirilmiştir. Görüldüğü gibi mekandan bağımsız yapılan modellerde yüksek regresyon katsayıları elde edilmiştir. Şekil 7.1’de bir kesitteki model ve ölçüm değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 7.2 Kesitlere ait gürültü modelleri

Kesit No	Model	R ²
1	$y = -0.54 * q + 3.00 * V_{ort}$	0.71
2	$y = 0.85 * q + 1.36 * V_{ort}$	0.98
3	$y = 0.72 * q + 0.99 * V_{ort}$	0.98
4	$y = 1.08 * q + 0.40 * V_{ort}$	0.99
5	$y = 0.93 * q + 0.84 * V_{ort}$	0.99
6	$y = 1.17 * q + 1.07 * V_{ort}$	0.93
7	$y = 1.13 * q + 0.90 * V_{ort}$	0.99
8	$y = 1.42 * q + 1.13 * V_{ort}$	0.97
10	$y = 0.58 * q + 1.77 * V_{ort}$	0.97
11	$y = 1.13 * q + 0.99 * V_{ort}$	0.98
12	$y = 0.58 * q + 1.19 * V_{ort}$	0.99



Şekil 7.1 4 nolu kesitte ölçülen gürültü değerleri ve model sonuçları

7.3.2. Faktör Analizi Kullanılarak Gürültü Modellenmesi

Gürültü modellenmesi çalışmalarında etkili parametrelerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi “Faktör Analizi” yöntemi ile yapılabilmektedir. Faktör analizi, değişken sayısının çok fazla olduğu durumlarda, regresyon denkleminin, çok sayıda değişkenin etkisini içeren az sayıda faktör değişkenle kurulmasını sağlayan istatistiksel bir tekniktir. Banerjee ve diğ. (2008) eşdeğer gürültü seviyesini etkileyen başlıca faktörleri belirlemek için faktör analizi metodunu kullanmışlardır. Bu amaçla Hindistan’ın Asansol şehri için farklı tipte modeller geliştirmişlerdir. Sonuç olarak eşdeğer gürültü seviyesinin başlıca saatlik trafik hacim parametresinden etkilendiği belirlenmiştir.

Faktör analizinin diğer avantajı ise faktörleri oluşturan değişkenler grubunun ifade ettiği anlamların belirlenebilmesidir. Yöntemin ana amacı fazla sayıdaki değişkenlerin gruplanarak faktör değişkenler olarak ifade edilip edilemeyeceğinin belirlenmesi ve bu mümkün ise hangi değişkenlerin hangi faktör içinde yer alacağına bulunmasıdır. Bu sayede araştırmacı, faktörler içine dahil edilen değişkenleri inceleyerek ilgili faktörün ne anlam ifade ettiğini yorumlayabilecektir. Faktör analizinin etkin olabilmesi için “ F ” faktör sayısının “ P ” parametre sayısından küçük olması gerekmektedir. Aksi takdirde faktör analizi değişken sayısını azaltamayacağı için amacına ulaşamaz. Faktör analizi genel olarak iki aşamada uygulanmaktadır;

- Değişkenlerin faktör gruplarını oluşturmaya uygun olup olmadıklarının uygunluk testleri ile belirlenmesi.
- Faktörlerin belirlenmesi.

Değişkenler faktör grupları içine dahil edilemiyorsa, faktör analizinin kullanımı da mümkün değildir. Bu durum, ilk aşamada faktör analizi için uygunluk kriterleri ile araştırılmaktadır. Faktör analizinin ikinci aşamasında değişkenlerin ait olduğu faktör gruplarına diğer bir deyişle faktör sayısına karar verilmektedir.

Koushki ve diğ. (1999) Kuveyt’teki yerleşim yerlerindeki trafik gürültüsünden meydana gelen rahatsızlığın o bölgelerde ikamet edenler tarafından algılanma derecesini ve aralarındaki ilişkiyi belirlemişlerdir. 1182 adet gürültüye maruz kalan yerleşim yeri üzerinde gürültüden

kaynaklanan olumsuz etkiler tanımlanmıştır. Faktör analizi, korelasyon analizi ve doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modelleri, gürültü ve gürültünün algılanması arasındaki korelasyonu tanımlayabilmek için kullanılmıştır. Ayrıca ortalama eşdeğer gürültü seviyesinin, toplam trafik hacmi, ortalama hız ve yol sınıfı ile oldukça yüksek korelasyona sahip olduğu bulunmuştur.

7.3.2.1 Veri Toplama ve Faktör Analizi

Çalışmada trafik hacmi ve hız ölçümlerine ek olarak parametre sayısının artırılması için ilave ölçümler yapılmıştır. Gürültü ölçümlerini yapıldığı kesitlerde yol genişliği, kaldırım genişliği, yol yüzeyi durumu, yol eğimi, bina yüksekliği, ağır taşıt oranı, ağır taşıt ortalama hız ve bölünmüş yol olup olmaması durumları incelenmiş ve gerekli veriler toplanmıştır. Analizlerde kullanılan veriler Tablo 7.3 ve 7.4’ de verilmiştir.

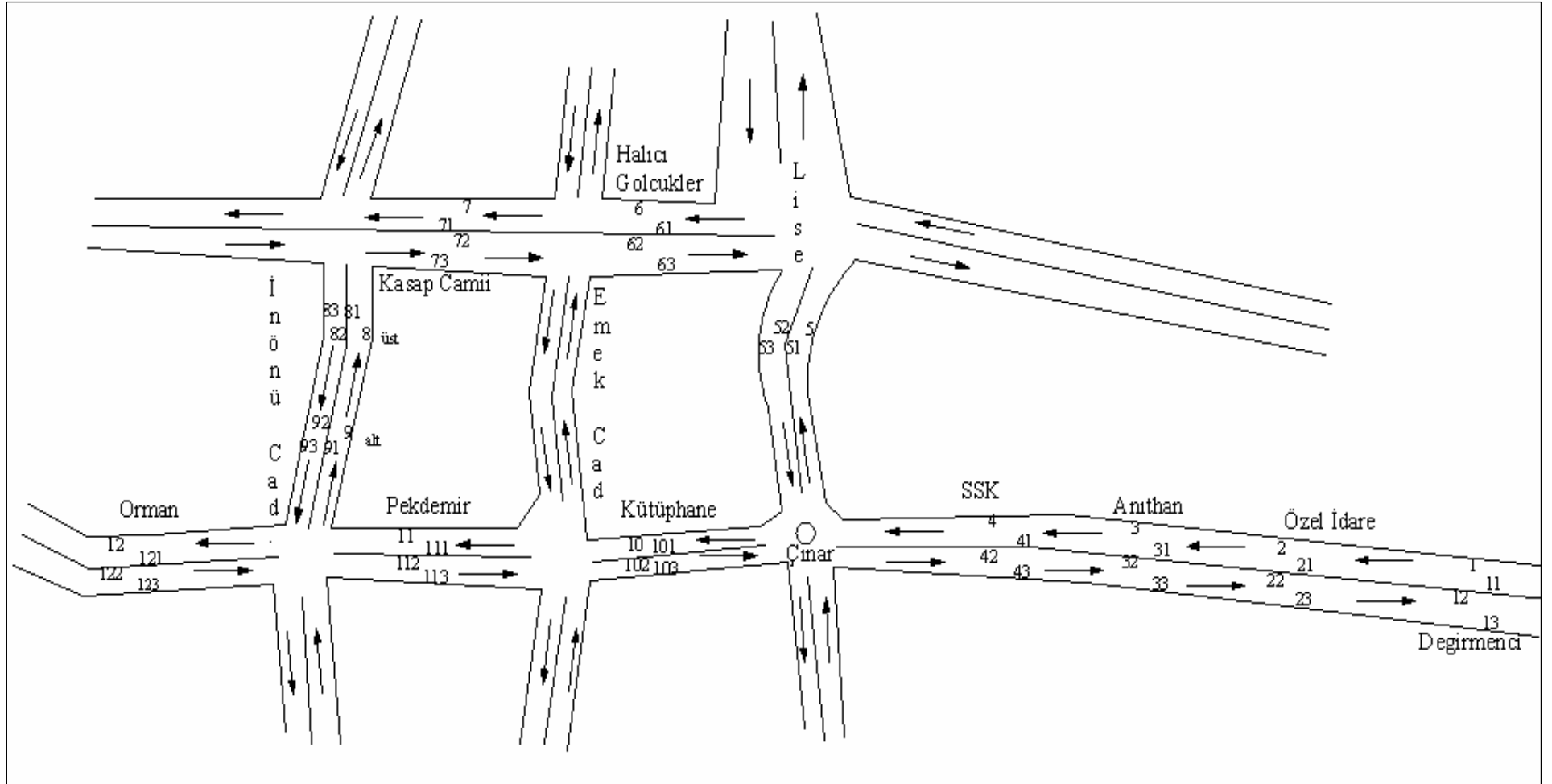
Parametre sayısının artırılmasına yönelik çalışmaların yapıldığı kesitlerde ağır taşıt oranı toplam trafik içinde maksimum % 25 seviyelerindedir. Yol genişliği ve kaldırım genişlikleri gürültü ölçümü yapılan kesitlerde lazermetre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçülen yol genişlikleri 5.3 – 7.5 m arasında iken kaldırım genişlikleri 3.1 - 5.1 m arasında değişim göstermektedir. Yol eğimi ölçümleri Şekil 7.2’ de görülen klinometre cihazı ile yapılmış ve mevcut yol kesitlerinde yol eğiminin % 1-5 arasında değiştiği bulunmuştur.



Şekil 7.2 Klinometre ile yol eğiminin ölçülmesi

Şekil 7.2’de görüldüğü gibi klinometre yol üzerine tahta bir çıta üzerine konulmakta ve üst kısımda bulunan silindirik düzecin ayarlanması ile alet ölçüme hazır hale getirilmektedir. Ayarları yapılan eğim ölçüm aletinin alt kısmında bulunan derecelerin okunması ile yol eğimi ölçülebilmektedir. Ölçümlerde çıta kullanılmasının amacı ölçme hatalarının minimize edilmeye çalışılmasından kaynaklanmaktadır. Klinometre ile elde edilen yol eğimleri Tablo 7.3 ve 7.4’de verilmiştir. Ayrıca yol yüzeyinin durumu ve bölünmüş yol olup olmaması durumlarının bağımsız değişken olarak modele dahil edilebilmesi için gürültü ölçümü yapılan kesitlerdeki yol yüzeyi durumu incelenmiş ve iyi durumda olan yol yüzeyleri için “1”, yer yer yol yüzeyinde bozulmalar görülen yol kesimleri için ise “0” değeri verilmiş ve indeksleme yapılmıştır. Ayrıca bölünmüş yol olan kesitler için “1” değeri aksi durumda ise “0” değeri verilerek gürültü modellerine etkili olduğu düşünülen bu iki parametrenin de dahil edilmesi sağlanmıştır. Şekil 7.3’de ölçüm yapılan kesitler ve isimleri görülmektedir. Toplam 52 kesitte; ağır taşıt oranı, yol genişliği, kaldırım genişliği, yol yüzeyi, yol eğimi, bina yüksekliği, bölünmüş yol, ortalama hız ve ağır taşıt ortalama hız ölçümleri yapılmıştır. Derlenen verilerin anlamlı bir şekilde kullanılabilmesi için Faktör Analizi yöntemi kullanılmıştır.

Faktör analizi, birbirleriyle ilişkili çok sayıdaki değişkeni az sayıda, anlamlı ve birbirinden bağımsız faktörler haline getiren ve son yıllarda yaygın olarak kullanılan çok değişkenli istatistik tekniklerinden birisidir. Faktör analizi metodu birbirinden farklı fakat aynı zamanda birbiriyle ilişkili teknikler içerir. En yaygın olarak kullanılanları; temel bileşen analizi (principal component analysis), temel faktör analizi (principal factor analysis), maksimum olabilirlik faktörü (maximum likelihood factoring) vb. faktör analizi metotlarıdır. Sayılan bu faktör analizi metotları içerisinde en yaygın olarak kullanılan *temel bileşen analizi* olarak adlandırılan metottur. Bu yöntemde değişkenler arasındaki maksimum varyansı açıklayan birinci faktör hesaplanır. Kalan maksimum miktardaki varyansı açıklayabilmek için ikinci faktör hesaplanır. Faktör sayısının hesaplanması süreci bu şekilde devam eder. Bu analizde önemli olan nokta, faktör sayısının ne kadar yeterli olacağının belirlenmesi ve elde edilen faktörlerin arasında korelasyon olmamasıdır. Faktör analizinin esas amacı değişkeni sayısını azaltmak ve değişkenler arasındaki yapıyı ortaya çıkarmak diğer bir deyişle değişkenleri sınıflandırmaktır.



Şekil 7.3 Ölçüm yapılan kesitler

Faktör analizinin matematiksel modeli, standardize edilmiş i değişkeni için Denklem (7.10)'da verilmiştir.

$$x_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{in}F_n + U \quad (7.10)$$

Tablo7.3. Gürültü modellemesi için kullanılan veri seti

Ölçüm Yeri	Ağır taşıt oranı	Yol Genişliği (m)	Kaldırım Genişliği (m)	Yol yüzeyi	Yol eğimi (%)	Trafik Hacmi (ta/sa)	Bina Yüksekliği (m)	Bölünmüş Yol	Ort. Hız (m/sn)	Ağır Taşı Ort. hız (m/sn)
Anıthan	0.07	5.5	4.3	1	2	43	15	1	33	40
Anıthan	0.06	5.5	4.3	1	2	47	15	1	31	34
Anıthan	0.11	5.5	4.3	1	2	56	15	1	30	44
Anıthan	0.20	5.5	4.3	1	2	46	15	1	30	36
Anıthan	0.12	5.5	4.3	1	2	51	15	1	35	38
Anıthan	0.09	5.5	4.3	1	2	53	15	1	29	39
Anıthan	0.04	5.5	4.3	1	2	47	15	1	37	14
Anıthan	0.14	5.5	4.3	1	2	44	15	1	34	39
Anıthan	0.10	5.5	4.3	1	2	52	15	1	32	17
Anıthan	0.11	5.5	4.3	1	2	44	15	1	36	21
Değirmenci	0.00	6.5	4.2	1	4	3	21	1	43	0
Değirmenci	0.13	6.5	4.2	1	4	16	21	1	43	0
Değirmenci	0.17	6.5	4.2	1	4	18	21	1	26	31
Değirmenci	0.11	6.5	4.2	1	4	18	21	1	17	8
Değirmenci	0.11	6.5	4.2	1	4	27	21	1	27	16
Değirmenci	0.15	6.5	4.2	1	4	34	21	1	24	22
Değirmenci	0.12	6.5	4.2	1	4	26	21	1	27	30
Değirmenci	0.19	6.5	4.2	1	4	21	21	1	37	18
Değirmenci	0.25	6.5	4.2	1	4	16	21	1	28	19
Değirmenci	0.05	6.5	4.2	1	4	22	21	1	27	16
Halıcıgölcükler	0.00	6.15	3.1	1	1	32	18	0	22	0
Halıcıgölcükler	0.10	6.15	3.1	1	1	39	18	0	21	44
Halıcıgölcükler	0.12	6.15	3.1	1	1	34	18	0	20	27
Halıcıgölcükler	0.14	6.15	3.1	1	1	35	18	0	25	25
Halıcıgölcükler	0.06	6.15	3.1	1	1	33	18	0	24	10
Halıcıgölcükler	0.07	6.15	3.1	1	1	29	18	0	22	8
Halıcıgölcükler	0.15	6.15	3.1	1	1	20	18	0	19	18
İnönü	0.00	5.95	4.2	1	5	17	12	0	40	0
İnönü	0.24	5.95	4.2	1	5	9	12	0	28	37
İnönü	0.05	5.95	4.2	1	5	26	12	0	27	22
İnönü	0.13	5.95	4.2	1	5	22	12	0	15	16
İnönü	0.12	5.95	4.2	1	5	19	12	0	30	16
İnönü	0.09	5.95	4.2	1	5	17	12	0	27	19
İnönü	0.00	5.95	4.2	1	5	20	12	0	29	0

Tablo 7.4. Gürültü modellemesi için kullanılan veri seti

Ölçüm Yeri	Ağır taşıt oranı	Yol Genişliği (m)	Kaldırım Genişliği (m)	Yol yüzeyi	Yol eğimi (%)	Trafik Hacmi (ta/sa)	Bina Yüksekliği (m)	Bölünmüş Yol	Ort. Hız (m/sn)	Ağır Taşı Ort. Hız (m/sn)
Pekdemir	0.08	7.2	3.3	1	5	25	21	1	39	26
Pekdemir	0.15	7.2	3.3	1	5	41	21	1	35	37
Pekdemir	0.11	7.2	3.3	1	5	28	21	1	39	43
Pekdemir	0.03	7.2	3.3	1	5	30	21	1	31	16
Pekdemir	0.09	7.2	3.3	1	5	32	21	1	35	21
Pekdemir	0.15	7.2	3.3	1	5	41	21	1	29	16
Kasap cami	0.06	6.15	3.1	1	5	31	12	0	29	13
Kasap cami	0.03	6.15	3.1	1	5	39	12	0	27	16
Kasap cami	0.03	6.15	3.1	1	5	36	12	0	35	32
Kasap cami	0.03	6.15	3.1	1	5	35	12	0	35	16
Kasap cami	0.10	6.15	3.1	1	5	30	12	0	43	38
Kasap cami	0.13	6.15	3.1	1	5	32	12	0	31	54
Kasap cami	0.05	6.15	3.1	1	5	39	12	0	29	32
Kütüphane	0.00	6.5	5.1	0	3	27	18	1	36	0
Kütüphane	0.13	6.5	5.1	0	3	46	18	1	38	36
Kütüphane	0.16	6.5	5.1	0	3	37	18	1	34	23
Kütüphane	0.06	6.5	5.1	0	3	35	18	1	34	13
Kütüphane	0.10	6.5	5.1	0	3	31	18	1	38	38
Kütüphane	0.14	6.5	5.1	0	3	36	18	1	37	19
Kütüphane	0.09	6.5	5.1	0	3	34	18	1	40	26
Lise	0.17	5.3	4.3	1	5	54	21	0	27	15
Lise	0.21	5.3	4.3	1	5	43	21	0	30	29
Lise	0.13	5.3	4.3	1	5	48	21	0	28	38
Lise	0.18	5.3	4.3	1	5	62	21	0	33	30
Lise	0.09	5.3	4.3	1	5	44	21	0	29	21
Lise	0.10	5.3	4.3	1	5	40	21	0	28	29
Lise	0.05	5.3	4.3	1	5	44	21	0	27	38
Orman	0.11	7.3	4.3	1	5	38	21	1	34	38
Orman	0.08	7.3	4.3	1	5	38	21	1	40	35
Orman	0.07	7.3	4.3	1	5	58	21	1	36	43
Orman	0.14	7.3	4.3	1	5	35	21	1	42	17
Orman	0.13	7.3	4.3	1	5	46	21	1	39	53
Orman	0.10	7.3	4.3	1	5	60	21	1	41	18
Orman	0.13	7.3	4.3	1	5	45	21	1	38	39
Özel idare	0.09	7.5	5	1	5	22	21	1	35	43
Özel idare	0.15	7.5	5	1	5	13	21	1	30	22
Özel idare	0.00	7.5	5	1	5	13	21	1	35	0
Özel idare	0.20	7.5	5	1	5	15	21	1	33	41
Özel idare	0.07	7.5	5	1	5	14	21	1	36	19
Özel idare	0.06	7.5	5	1	5	16	21	1	39	27
Özel idare	0.19	7.5	5	1	5	21	21	1	37	46
Özel idare	0.00	7.5	5	1	5	10	21	1	34	0
SSK	0.06	5.5	3.7	1	2	53	18	1	31	23
SSK	0.09	5.5	3.7	1	2	46	18	1	29	27
SSK	0.09	5.5	3.7	1	2	47	18	1	27	44
SSK	0.12	5.5	3.7	1	2	43	18	1	24	35
SSK	0.17	5.5	3.7	1	2	47	18	1	26	28
SSK	0.14	5.5	3.7	1	2	42	18	1	25	30
SSK	0.07	5.5	3.7	1	2	56	18	1	30	32

Burada genel faktörler, F ; tek faktör, U ve n adet faktörü birleştiren a ise sabit olarak nitelendirilmiştir. Tek faktörlerin birbirleriyle ve genel faktörlerle korelasyonlarının olmadığı kabul edilmektedir. Faktörler gözlenen değişkenlerden çıkartılmaktadırlar ve onların doğrusal bileşenleri olarak tahmin edilmektedirler. j . faktör olan F_j ' nin genel tahmin eşitliği Denklem (7.11)'deki gibi yazılabilir.

$$F_j = W_{j1}X_1 + W_{j2}X_2 + \dots \dots W_{jp}X_p \quad (7.11)$$

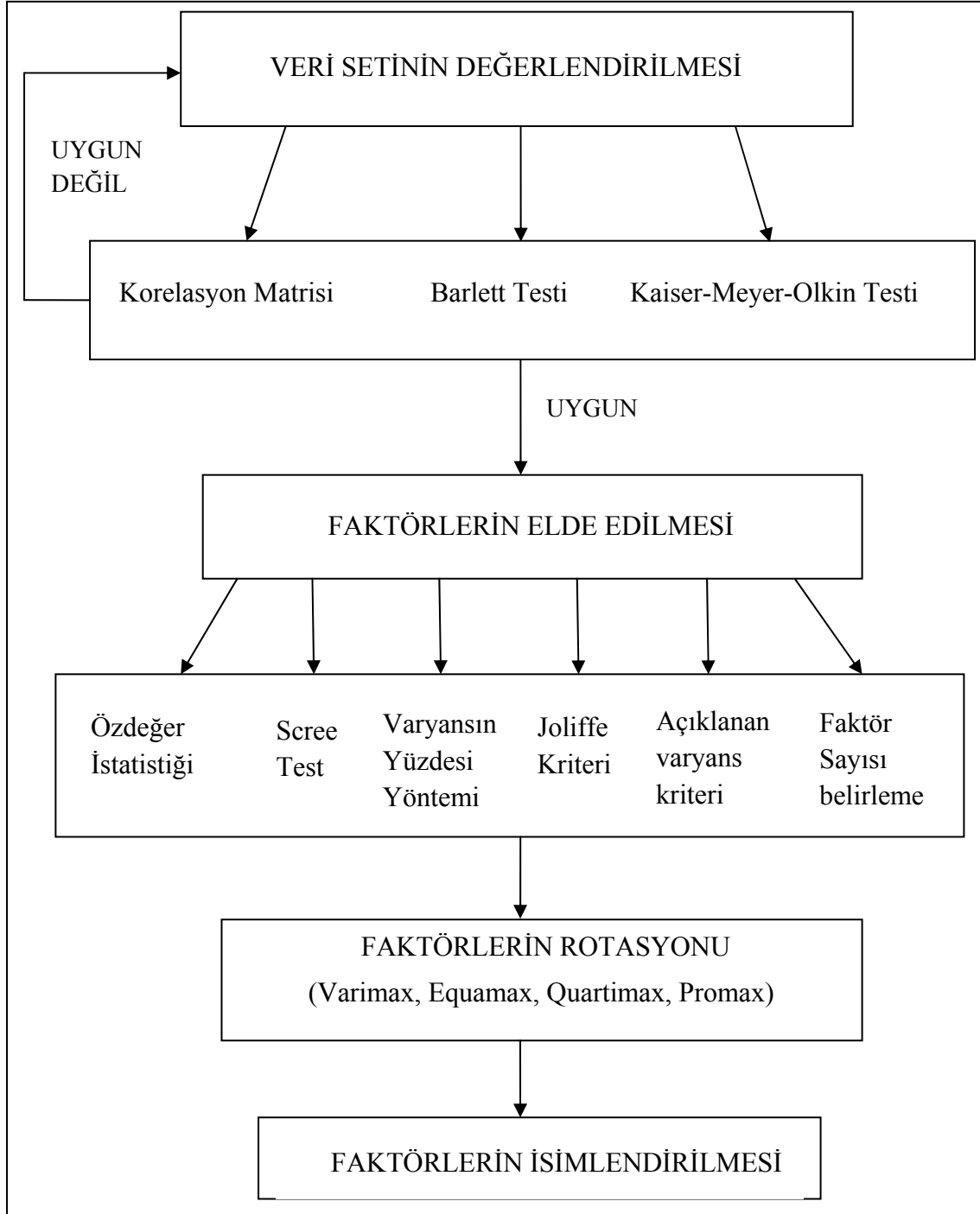
Burada W_{jp} skor sayılarını ve p değişken sayısını göstermektedir. Faktör analizinde dört temel aşama söz konusudur. Bunlar; veri setinin faktör analizi için uygunluğunun değerlendirilmesi, faktörlerin elde edilmesi, faktörlerin rotasyonu ve faktörlerin isimlendirilmesidir. Bu temel adımlar ve faktör analizi sırasında kullanılan yöntemler Şekil 7.4'de verilmiştir.

7.3.2.2. Model Çalışmaları

Veri setinin faktör analizi için uygun olup olmadığının tespiti için önerilen ilk yöntem korelasyon matrisinin incelenmesidir. Değişkenler arasındaki korelasyonun yüksek olması istenen bir durumdur. Değişkenler arasındaki korelasyon katsayısı ne kadar yüksekse değişkenlerin ortak faktörler oluşturma olasılıkları da o kadar yüksektir. Veri setinin uygunluğunun test edilmesi için diğer bir yöntem Bartlett testidir. Analize devam edilebilmesi için korelasyonun matrisi birim matristir hipotezinin reddedilmesi gerekir. Diğer bir test ise Kaiser-Meyer Olkin (KMO) örnekleme yeterliliği ölçütü testidir. Bu test gözlenen korelasyon katsayılarının büyüklüğü ile kısmi korelasyon katsayılarının büyüklüğünü karşılaştıran indekstir. KMO oranının 0.5 değerinin üzerinde olması istenir.

Veri setinin faktör analizi için uygun olduğu kanaatine varıldıktan sonra yapılacak işlem faktörlerin elde edilmesidir. Burada en çok kullanılan yöntem özdeğer (eigenvalue) istatistiğidir. Özdeğer istatistiği 1'den büyük olan faktörler anlamlı olarak kabul edilir. Bunun altındakiler faktör olarak değerlendirmeye katılmaz. Faktör sayısına karar verildikten sonra yapılacak işlem faktörlerin rotasyonudur. Burada amaç, isimlendirilebilir ve yorumlanabilir faktörler elde etmektir. Bu aşamada en çok kullanılan yöntem ortogonal rotasyondur. Bu metotta elde edilen faktörler birbiri ile korelasyon içinde değildirler. Ortogonal olmayan rotasyonda ise faktörler birbiri ile korelasyon içerisindedir. Ortogonal rotasyondan kullanılan

teknikler sırasıyla; varimax, equamax ve quartimax'dır. Burada en çok kullanılan yöntem varimax metodudur. Faktör analizi sonlandırmak için en son aşama faktörlerin anlamlı gruplar oluşturacak şekilde isimlendirilmesidir. Gürültü modellemesi için uygulanan faktör analizi SPSS 16.0 paket programından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.4. Faktör Analizi Akım Şeması

Gürültü modelleri geliştirilmesi aşamasında değişken sayısının artırılmasına yönelik çalışmalar sonucunda 10 adet bağımsız değişken belirlenmiş ve bununla ilgili veri seti Tablo 7.3 ve 7.4’de verilmiştir. Elde edilen değişkenlere bağlı olarak doğrusal regresyon modeli kurulmuş ve Denklem (7.12)’de verilmiştir.

$$G = w_0 + w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + w_4x_4 + w_5x_5 + w_6x_6 + w_7x_7 + w_8x_8 + w_9x_9 + w_{10}x_{10} \quad (7.12)$$

Burada G , gürültü değeri; x_1, x_2, \dots, x_{10} sırasıyla Tablo 7.3’de verilen değişkenler ve w_0, w_2, \dots, w_{10} model katsayılarıdır. Yukarıda verilen modelin çözülmesi ile Denklem (7.13) elde edilmiştir.

$$G = 74.76 + 3.01x_1 - 0.73x_2 - 2.67x_3 - 4.04x_4 + 1.03x_5 + 0.05x_6 + 0.23x_7 + 0.02x_8 + 0.06x_9 + 0.001x_{10} \quad R^2 = 0.60 \quad (7.13)$$

Değişkenler arasındaki içsel bağımlılıktan kurtulabilmek için faktör analizi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için Şekil 7.4’de verilen akım şeması takip edilmiştir. Şekil 7.5’de görüldüğü gibi ilk olarak veriler SPSS 16.0 paket programına aktarılmıştır.

SPSS programına veri girişi yapıldıktan sonra Şekil 7.4’de verilen adımlar uygulanmıştır. İlk olarak veri setinin faktör analizine uygun olup olmadığı KMO ve Bartlett testine bakılarak değerlendirilmiştir. Her iki teste göre de verilerin faktör analizine uygun olduğu belirlenmiştir. Tablo 7.5’de KMO ve Bartlett testini sonuçları verilmiştir.

Tablo 7.5’de görüldüğü gibi KMO değeri >0.5 olduğu için veri seti faktör analizi için uygun olarak değerlendirilmiştir. Veri setinin uygunluğunun değerlendirilmesi için ikinci yapılan test ise Bartlett testidir ve sonuç anlamlıdır. Diğer bir deyişle korelasyon matrisi birim matristir hipotezi reddedilmiştir. Veri uygunluğunun test edilmesinden sonra ortak varyans (communality) değerleri bulunarak yani diğer bir deyişle bir değişkenin analizdeki diğer değişkenlerle paylaştığı varyans miktarları göz önüne alınarak ortak bir değerlendirme yapılır. Tablo 7.6’da değişkenlere ait ortak varyans değerleri verilmiştir.

	Ağırtaştoranı	YolGenişliği	KaldırımGenişliği	Yolyüzeyi	Yolejimi	TrafikHacmi	BinaYüksekliği	BölünmüşYol	Ort.Hız	Ağırtaştoranhız	var
1	Ağırtaştoranı	5,5	4,3	1	2	43	15	1	32,5	39,75	
2	0,06	5,5	4,3	1	2	47	15	1	31,0	34,00	
3	0,11	5,5	4,3	1	2	56	15	1	30,0	44,25	
4	0,20	5,5	4,3	1	2	46	15	1	30,0	35,50	
5	0,12	5,5	4,3	1	2	51	15	1	35,0	38,00	
6	0,09	5,5	4,3	1	2	53	15	1	29,0	39,00	
7	0,04	5,5	4,3	1	2	47	15	1	36,5	14,25	
8	0,14	5,5	4,3	1	2	44	15	1	34,0	38,75	
9	0,10	5,5	4,3	1	2	52	15	1	32,0	16,50	
10	0,11	5,5	4,3	1	2	44	15	1	35,5	20,75	
11	0,00	6,5	4,2	1	4	3	21	1	42,5	0,00	
12	0,13	6,5	4,2	1	4	16	21	1	43,0	0,00	
13	0,17	6,5	4,2	1	4	18	21	1	25,5	31,00	
14	0,11	6,5	4,2	1	4	18	21	1	16,5	8,00	
15	0,11	6,5	4,2	1	4	27	21	1	26,5	16,00	
16	0,15	6,5	4,2	1	4	34	21	1	23,5	21,50	
17	0,12	6,5	4,2	1	4	26	21	1	26,5	30,25	
18	0,19	6,5	4,2	1	4	21	21	1	36,5	17,50	
19	0,25	6,5	4,2	1	4	16	21	1	28,0	18,67	
20	0,05	6,5	4,2	1	4	22	21	1	26,5	16,00	
21	0,00	6,2	3,1	1	1	32	18	0	22,0	0,00	
22	0,10	6,2	3,1	1	1	39	18	0	21,0	44,25	
23	0,12	6,2	3,1	1	1	34	18	0	20,0	27,00	
24	0,14	6,2	3,1	1	1	35	18	0	24,5	25,00	
25	0,06	6,2	3,1	1	1	33	18	0	24,0	10,00	
26	0,07	6,2	3,1	1	1	29	18	0	22,0	8,00	
27	0,15	6,2	3,1	1	1	20	18	0	19,0	17,50	

Şekil 7.5. SPSS programına veri girişi

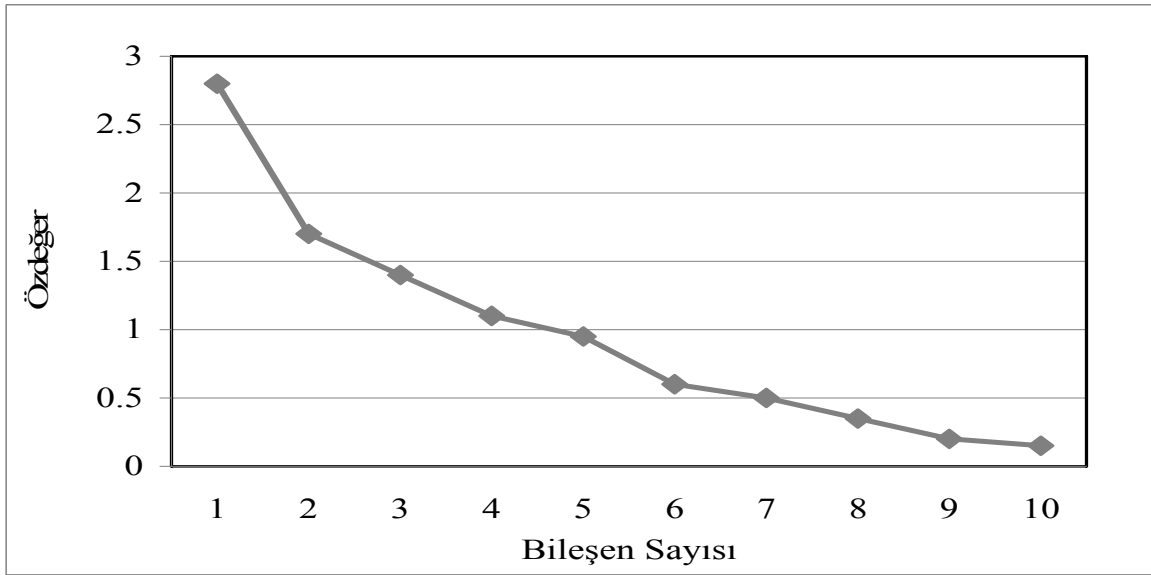
Tablo 7.5 KMO ve Bartlett Testi

KMO ve Bartlett Testi		
KMO Örnekleme Yeterlilik Ölçütü		0.513
Bartlett testi	Ki-kare	266.699
	Anlamlılık	0.000

Faktör analizinde düşük ortak varyansa sahip (<0.5) değişkenler analizden çıkartılarak faktör analizi tekrar yapılabilir. Bu durumda hem KMO hem de açıklanan varyans istatistiği değerleri daha yüksek değerlere çıkacaktır. Veri setinin faktör analizi için uygunluğuna karar verdikten sonra ikinci aşama faktörlerin belirlenmesidir. Bu aşamada en çok kullanılan yöntem özdeğer (eigenvalue) istatistiğidir. Özdeğer istatistiği 1'den büyük olan 4 adet faktör anlamlı olarak belirlenmiştir. Şekil 7.6'da faktör analizi çizgi grafiği görülmektedir. Şekilde yatay eksen bileşen sayısı, dikey eksen ise bu bileşenlere ait özdeğerler verilmiştir.

Tablo 7.6 Ortak varyans tablosu

Ortak Varyans		
	Başlangıç	Ortak Varyans
Ağır taşıt oranı	1.000	0.598
Yol Genişliği	1.000	0.767
Kaldırım Genişliği	1.000	0.617
Yol Yüzeyi	1.000	0.674
Yol eğimi	1.000	0.793
Trafik Hacmi	1.000	0.707
Bina Yüksekliği	1.000	0.709
Bölünmüş	1.000	0.697
Ortalama Hız	1.000	0.799
Ağır Taşırt Ort. Hız	1.000	0.795



Şekil 7.6 Faktör analizi çizgi grafiği

Tablo 7.7’de bileşenlere ait başlangıç özdeğerler ve faktör değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi özdeğer istatistiği 1’den büyük olan 4 faktör söz konusudur. Birinci faktör toplam varyansın % 20.203’ünü açıklamaktadır. Birinci ve ikinci faktörler toplam olarak toplam varyansın %38.518’ini karşılamaktadır. Belirlenen 4 adet faktör ise toplam varyansın % 71.560’ nı karşılamaktadır. Bu aşamadan sonra faktör analizinin son durumunu elde etmek için rotasyon işleminin uygulanması gerekmektedir. Rotasyon işlemi için literatürdeki metotlardan en çok kullanılan varimax dönüşümü uygulanmıştır. Rotasyonun amacı

yorumlanabilir anlamlı faktörler elde etmektir. Tablo 7.8’de döndürülmüş bileşen matrisi görülmektedir.

Tablo 7.7 Açıklanan Toplam Varyans

Bileşen	Başlangıç Özdeğerler			Faktör değerleri		
	Toplam	Varyans Yüzdesi	Kümülatif %	Toplam	Varyans Yüzdesi	Kümülatif %
1	2.781	27.810	27.810	2.020	20.203	20.203
2	1.847	18.468	46.278	1.831	18.315	38.518
3	1.451	14.507	60.785	1.661	16.607	55.125
4	1.077	10.775	71.560	1.644	16.435	71.560
5	0.955	9.554	81.114			
6	0.593	5.931	87.045			
7	0.505	5.052	92.097			
8	0.403	4.031	96.128			
9	0.243	2.426	98.554			
10	0.145	1.446	100.000			

Tablo 7.8’de orijinal değişken ve onun faktörü arasındaki korelasyonlar görülmektedir. Bir değişken hangi faktör altında mutlak değer olarak büyük ağırlığa sahip ise değişken o faktör ile yakın ilişki içindedir anlamına gelmektedir. Örneğin yol yüzeyi olarak belirtilen değişken en büyük değerini faktör 1 altında almaktadır. Kaldırım genişliği yine faktör 1 altında en büyük ağırlığa sahip olmakla birlikte yol eğimi bileşeni faktör 2 altında, bina yüksekliği faktör 3 ve ağır taşıt ortalama hız bileşeni de faktör 4 altında en büyük değere sahiptir. Faktör analizi sonucunda Tablo 7.8’ de italik ve koyu olarak gösterildiği gibi, faktör 1’in yol yüzeyi ve kaldırım genişliği, faktör 2’nin yol eğimi ve yol genişliği, faktör 3’ün bina yüksekliği ve faktör 4’ün ise ağır taşıt ortalama hız ve trafik hacmi ile ilişkisinin kuvvetli olduğu söylenebilir. Diğer bir deyişle faktör analizi sonucunda 10 adet değişken birbirinden bağımsız 7 adet değişkene indirgenebilmektedir.

Döndürülmüş bileşen matrisinin yorumlanması ile elde edilen 7 adet değişken ile Denklem (7.14)’de verilen doğrusal regresyon modeli kurulmuştur.

$$G = 74.70 - 2.49x_1 - 4.19x_2 + 1.09x_3 + 0.05x_4 + 0.23x_5 + 0.007x_6 - 0.54x_7 \quad R^2 = 0.59 \quad (7.14)$$

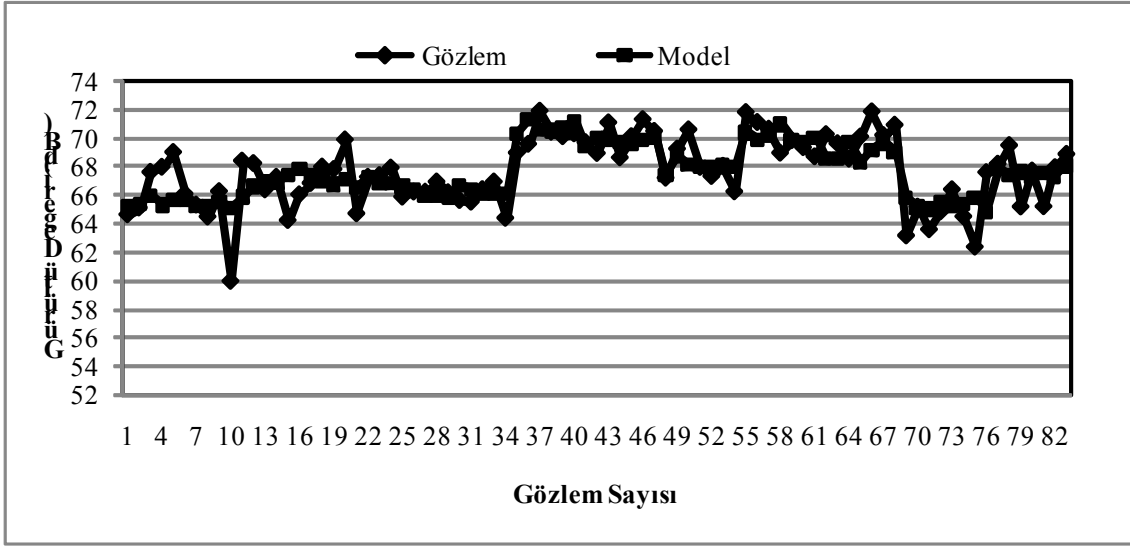
Burada;

- x_1 : Yol Yüzeyi
- x_2 : Kaldırım Genişliği (m)
- x_3 : Yol eğimi (%)
- x_4 : Yol Genişliği (m)
- x_5 : Bina Yüksekliği (m)
- x_6 : Ağır Taşıt Ort. Hız (km/sa)
- x_7 : Trafik Hacmi (taş/sa)

Tablo 7.8 Döndürülmüş bileşen matrisi

Döndürülmüş Bileşen Matrisi				
	Bileşen			
	1	2	3	4
Yol Yüzeyi	-0.792	0.165	0.123	0.058
Kaldırım Genişliği	0.725	0.162	0.250	-0.063
Bölünmüş	0.631	0.069	0.535	0.091
Yol eğimi	-0.146	0.874	0.017	-0.085
Yol Genişliği	0.208	0.659	0.437	-0.314
Ortalama Hız	0.580	0.647	-0.106	0.177
Bina Yüksekliği	0.179	0.150	0.803	-0.098
Ağır taşıt oranı	-0.154	-0.104	0.623	0.418
Ağır Taşıt Ort. Hız	-0.066	0.117	0.192	0.860
Trafik Hacmi	0.090	-0.329	-0.155	0.753

Şekil 7.7' de gözlem ve faktör analizi sonucu elde edilen gürültü model değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 7.7 Gürültü ölçümleri ve model sonuçlarının karşılaştırılması

7.4. Sonuçlar

Bu bölümde gürültü modellerinin geliştirilebilmesi için bağımsız değişken sayısının artırılmasına yönelik yapılan veri derleme çalışmaları verilmiştir. Ayrıca arazi çalışmalarından elde edilen parametrelerin arasındaki içsel bağımlılıktan kurtulabilmek için çok değişkenli istatistiksel metotlardan biri olan faktör analizi irdelenerek gürültü modeli geliştirilmiştir. Gürültü değerleri, trafik hacmi, ortalama hız ve ağır taşıt oranı gibi parametrelere ek olarak, yol genişliği, kaldırım genişliği, yol eğimi, bina yüksekliği, yol yüzeyi durumu ve bölünmüş yol olup olmaması gibi parametrelerin de gürültü modeli içine dahil edilerek modellerin hassasiyeti artırılmıştır.

İlk olarak 10 değişkenli doğrusal regresyon modeli kurulmuş ve gürültü modeli oluşturulmuştur. Daha sonra bağımsız değişkenler arasındaki içsel bağımlılıktan kurtulabilmek için faktör analizi gerçekleştirilmiş ve 10 adet bağımsız değişken birbirinden bağımsız 7 adet parametreye indirgenmiştir. Faktör analizi sonucu elde edilen 7 değişken (yol yüzeyi durumu, kaldırım genişliği, yol eğimi, yol genişliği, bina yüksekliği, ağır taşıt ortalama hız, trafik hacmi) kullanılarak oluşturulan doğrusal regresyon modeli ile gürültü modellemesi yapılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

VIII. BÖLÜM

BİRLEŞTİRİLMİŞ OYUN TEORİSİ VE GENETİK ALGORİTMA FORMÜLASYONU VE UYGULAMASI

8.1. Giriş

Çalışmanın bu bölümünde, şehir içi ulaşım ağ tasarımının yapılabilmesi için geliştirilen “Birleştirilmiş Oyun Teorisi ve Genetik Algoritma, BOTGA” modeli yardımıyla şehir içi trafik kontrolü ve yönetimi için gerekli formülasyonlar ve uygulamaları verilmiştir. Trafik modeli ve trafik atama modelinin iki-seviyeli formülasyonları tanımlanarak, BOTGA için gerekli akış şeması ile modelin çözüm adımları ve uygulaması açıklanmıştır. BOTGA için gerekli olan Quasi-Newton nümerik çözüm algoritması açıklanarak, oyun teorisinin izole sinyalize kavşaklarda ve kavşak gruplarında nasıl uygulanabileceği verilmiştir. İteratif Stackelberg (İSO) ve iki seviyeli tek adımlı Stackelberg oyunları (İSTASO) ile yakıt tüketimi hesapları verilmiştir. BOTGA modelleri üç farklı oyun oynanarak çözümler elde edilmiş ve sabit trafik hacimleri için ağdaki en iyi devre süresi değişim stratejisine karşılık yol kullanıcılarının tepkileri bulunmaya çalışılmıştır. İlk olarak yol kullanıcı tepkileri hesaplanırken ağ performansı eniyelenmeye çalışılmıştır. İkinci yöntem ise trafik atamasından elde edilen trafik hacimlerinin verilen kontrol stratejileri altında nasıl değiştiğinin hesaplanması ile ilgili olup bu kısımda Stackelberg oyunu oynanarak kontrol stratejilerinin ağ denge hacimlerini nasıl değiştirdiği ve değişen denge hacimlerine karşılık ise kontrol stratejilerinin nasıl değişmesi gerektiği hesaplanmıştır. Üçüncü kısımda, kontrol stratejileri artırılarak yol kullanıcı tepkilerinin nasıl olacağı hesaplanmıştır. Sonuç olarak bu üç çözüm birbirleriyle karşılaştırılarak hangi kontrol ve yönetim stratejilerinin ağ performansını artırabileceği bulunmuştur.

8.2. BOTGA Modeli Formülasyonu

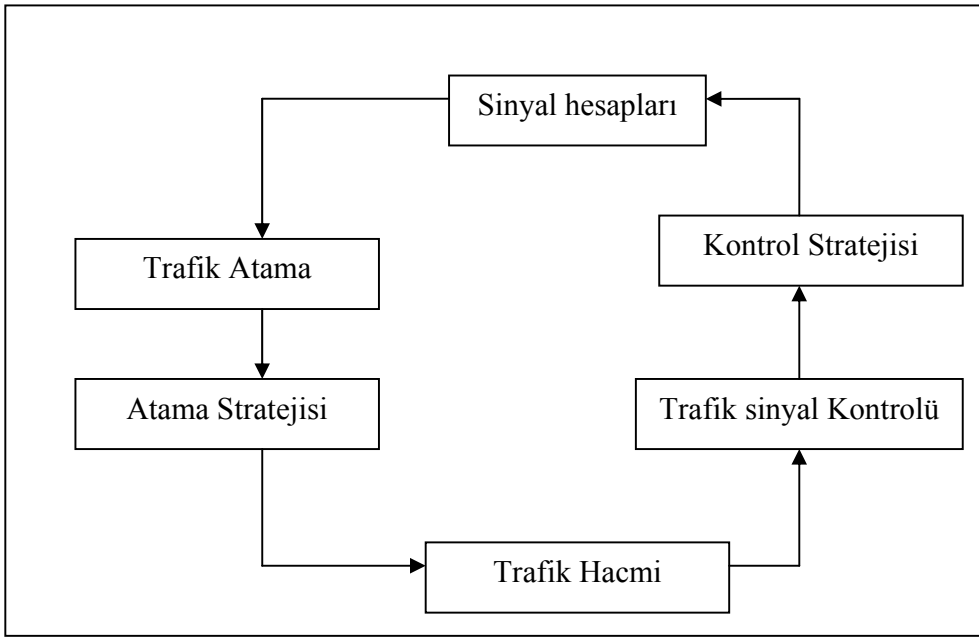
Trafik sinyal kontrolü ile trafik atama kavramları karşılıklı birbirine bağımlı iki problemdir. Trafik sinyal kontrolü trafik hacmine bağılı olarak hesaplanırken, trafik hacmi de sinyal kontrol durumuna bağılı olarak belirlenmektedir. Her bir linkteki veya yaklaşım kolundaki trafik hacmi trafik sinyal kontrolünden etkilendiği için trafik atama yapılırken sinyal kontrol parametreleri dikkate alınmalıdır. Trafik atama, trafik hacimlerini değiştireceğinden oluşan trafik akımı, hesaplanmış sinyal kontrol parametrelerini optimum değerden uzaklaştıracaktır. Değişen sinyal parametreleri link maliyet fonksiyonunu etkileyeceğinden trafik atama sonuçlarını denge durumundan uzaklaştıracaktır. Trafik atama; trafik hacmini makroskopik açıdan, sinyal kontrolü ise mikroskopik açıdan değiştirecektir. Bu iki süreç birbirleriyle bağımlı bir problem halindedir ve birleştirilmiş trafik atama ve sinyal kontrolü olarak adlandırılır. Şekil 8.1’de birleştirilmiş trafik atama ve kontrol probleminin akış şeması verilmiştir.

Oyun süreçlerinde her bir amacın bir kriteri olup, oyunlar ister kooperatif ister tamamlanmış olsun, oyunda tüm amaç her bir stratejik oyunun kazanılması üzerine kuruludur. Her bir oyun Nash denge durumuna ulaşarak sonlanacaktır. Fisk (1984) yapmış olduğu çalışmada, optimal sinyal kontrol probleminin çözümü için bir formülasyon geliştirmiştir. Çalışmada ulaşım ağı üzerindeki trafik hacimlerinin kullanıcı rota seçim kısıtlarını sağladığı varsayılmıştır. Önerilen formülasyon, tekli lineer olmayan kısıt formundaki rota seçim şartlarını içermektedir.

Bilindiği üzere optimal sinyal kontrol problemi, ulaşım ağındaki toplam seyahat süresini minimize edecek şekilde sinyalleme kavşaklardaki sinyal sürelerinin hesaplanması olarak tanımlanabilir. Genel anlamda sinyal değişkenleri olarak yeşil süreler, devre süresi ve ofsetler sayılabilir. Performans fonksiyonu; link akımları ve sinyal değişkenlerinin fonksiyonu olarak her bir link için seyahat fonksiyonunun belirlenmesiyle elde edilebilir. Sinyal kontrol problemi, önceki formülasyonlarında trafik sayımlarından elde edilen gözlem değerlerine göre değerlendirilmekte iken, bu yaklaşım seyahat sürelerindeki değişikliklerden dolayı sinyal kontrollerindeki ve dolayısıyla rota seçimlerindeki etkiyi açıklayamamaktadır. Gerçekte yeni

sinyal süreleri uygulandığı anda ağıdaki link akımları değişecek ve uygulanan süreler en uygun olmaktan çıkacaktır.

İstenen optimal çözüm, kullanıcı rota seçim davranışlarının ya kısıt formunda ya da sinyale değişkenlerindeki link akımlarına bağlı olarak tanımlanan amaç fonksiyonu ile birleştirilmesi ile elde edilen model ile bulunabilir. BOTGA modeline girilmeden önce trafik atama ve trafik kontrol problemlerinin ilişkisi aşağıda tanımlanmıştır.



Şekil 8.1. Birleştirilmiş trafik atama ve kontrol problemi

8.2.1. Sistem Optimum Model

Trafik atama konusu son yıllarda araştırmacıların ilgisini çekmiş olup bu konuda birçok model geliştirilmiştir. Sistem optimum yaklaşımında trafik yöneticileri, sistemin ya da ulaşım ağının en iyi verimlilikle çalışmasını sağlamaya çalışmaktadır. Ulaşım ağları birçok farklı link ve B-V çiftlerinden oluşmaktadır. B-V çiftleri birden çok rota içerebilir. Her bir rota ise birçok link ile düğüm noktasından meydana gelmektedir. Yönlendirilmiş bir ulaşım ağının grafiksel

gösteriminin $G(N, A)$ olarak verilmesi, N ulaşım ağındaki düğüm noktaları kümesini ve A ağıdaki linkler kümesini belirtmesi durumunda:

$x_a(t)$ t periyodunca a linki üzerindeki araç sayısını;

$x_a^n(t)$ t periyodunda a linkini kullanarak n varış noktasına gelen araç sayısını;

$u_a(t)$ t periyodunca a linkine giren araç sayısını;

$u_a^n(t)$ t zaman periyodunda a linkine n varış noktasına giren araç sayısını;

$v_a(t)$ t periyodunca a linkinden çıkan araç sayısını;

$v_a^n(t)$ t zaman periyodunda a linkinden n varış noktasına ayrılan yada çıkan araç sayısını;

$S_{kn}(t)$ t periyodunca k düğüm noktasında üretilmiş trafik hacmini;

$A(k)$ giriş düğüm noktası k olan linkler kümesini;

$B(k)$ k düğümünün giriş noktasındaki linkler kümesini;

$t_a(x_a(t), u_a(t))$ a linkinin seyahat süresini yada maliyetini;

$d_a(x_a(t), v_a(t), \lambda_a(t))$ sinyalle kavşaktaki sinyallerden kaynaklanan üniform gecikme ile kuyruk gecikmesi olarak gösterilebilir.

B-V çifti arasındaki seyahat maliyeti link seyahat süresi ile seyahat gecikmesinin toplamı olarak ele alınabilir. Seyahat gecikmesi ise sinyal ve kuyruk gecikmesi olarak iki kısımda irdelenebilir. Sinyal gecikmesi, akan trafiğin sinyaller tarafından kesintiye uğratılması sonucu oluşmakta, kuyruk gecikmesi ise yol kapasitesinin limitli olmasından kaynaklanmaktadır. Şehir içi ulaşım ağlarında harcanılan toplam seyahat süresi trafik hacmine bağlı link kullanım maliyeti $t_a(x_a(t), u_a(t), v_a(t))$, ile sinyal ve kuyruk gecikmelerinin, $d_a(x_a(t), v_a(t), \lambda_a(t))$ toplamıdır ve Denklem (8.1)'de verilmiştir.

$$t_a(x_a(t), u_a(t), v_a(t)) = t_a(x_a(t), u_a(t)) + d_a(x_a(t), v_a(t), \lambda_a(t)) \quad (8.1)$$

Seyahat süresini minimum eden sistem optimum formülasyonu;

$$\min J_G = \min \sum_{a \in A} \int_0^{T v_a(t)} \int_0^T t_a(x_a(t), \omega, v_a(t)) d\omega dt \quad (8.2a)$$

$$x_a^n(t) = u_a^n(t) - v_a^n(t) \quad (8.2b)$$

$$\sum_{a \in A(k)} u_a^n(t) = S_{kn}(t) + \sum_{a \in B(k)} v_a^n(t) \quad (8.2c)$$

$$x_a^n \geq 0, u_a^n(t) \geq 0, (a \in A, n \in N, t \in \{0, T\}) \quad (8.2d)$$

şeklinde ifade edilebilir.

8.2.2. Trafik Sinyal Kontrol Modeli

Aşağıda verilen formülasyonlar sinyallerdeki faz sayıları ile devre sürelerinin bilindiği varsayımı üzerine geliştirilmiştir. Faz ve devre sürelerinin bilinmediği durumlarda da bu formüller kolaylıkla kullanılabilir. Sinyal kontrolünde yukarıdaki varsayım altında en önemli değişken optimum faz yeşil sürelerinin hesaplanmasıdır. Şekil 8.2’de verilen sinyalizasyon kavşağın ele alınması durumunda ve bu kavşağın $[0, T]$ zaman periyodunda çalıştığı farz edilirse ve ayrıca, $l_i^w(t)$, t zaman diliminde kuyrukta biriken araç sayısını, $u_i^w(t)$ link l ’in bekleme alanına giren taşıt sayısını göstermesi durumunda, trafiğin yoğun olduğu anda, trafik hacim denklemi:

$$l_i(t) = u_i^w(t) - \frac{G_l(t)}{C(t)} S = u_i^w(t) - \lambda_l(t) S$$

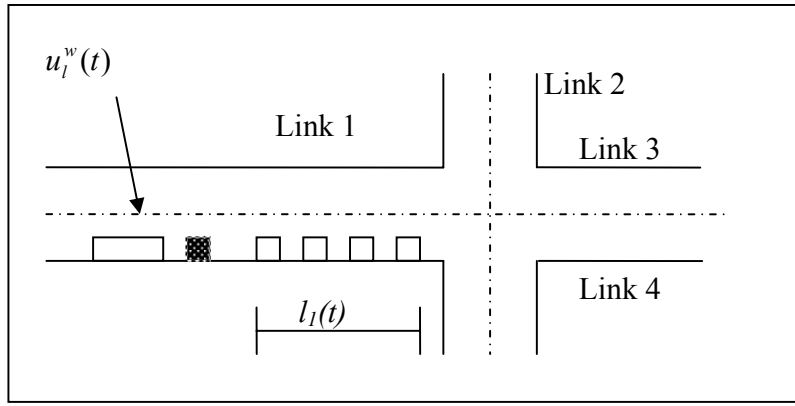
şeklinde olacaktır. Burada $C(t)$ devre süresini, S kavşak kapasitesini, $G_l(t)$ faz l için yeşil süreyi, $\lambda_{l(t)}$ ise faz l için yeşil süre oranını gösterecektir. Trafik hacim denklemi aşağıdaki kısıtları sağlamak zorundadır.

$$G_{\min} \leq G_m(t) \leq G_{\max} \quad (8.3)$$

$$0 \leq l_i(t) \leq l_{\max}, l_i(0) = 0, i = 1, 2, 3, 4 \quad (8.4)$$

$$\sum_m G_m(t) = C(t) - L \quad (8.5)$$

Burada, G_{min} ve G_{maks} minimum ve maksimum yeşil süreleri, l_{maks} maksimum kuyruk uzunluğunu göstermektedir. $G_m(t)$ faz m için yeşil süreyi, L bir devre süresindeki toplam kayıpları ifade etmektedir. Denklem (8.5) tüm fazlardaki yeşil süreler ile toplam kayıp sürelerinin toplamının devre süresine eşit olduğunu göstermektedir.



Şekil 8.2. Örnek sinyalizasyon kavşak

8.2.3. BOTGA'nın Amaç Fonksiyonu

Sinyalizasyon kavşaklarında amaç, fazlara verilen yeşil sürelerle bağlı olarak kuyruklanma gecikmesini minimum etmektir. Gecikmeler hesaplanırken devre sürelerinin de optimum olması gerekir. Bu durumda amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$\min J_c \int_0^T (l(t))^T Q l(t) dt \quad (8.6)$$

$$l(t) = (l_1(t), l_2(t), l_3(t), l_4(t)) \quad (8.7)$$

Burada Q bekleme süresi ağırlık matrisidir. Her bir sinyalizasyon kavşakta, herhangi bir pozitif yeşil süre miktarı minimum kuyruklanma gecikmesi verebilir. Diğer bir deyişle, her bir faz için bulunan yeşil süre minimum gecikme koşulunu sağlamalıdır. Trafik kontrol modelleri yukarıda

verilen trafik hacim modelleri, kuyruk modelleri ve literatürde geliştirilmiş (Kimber ve Hollis, 1979; Ceylan ve Bell, 2004;2005) diğer modeller ile birleştirilerek hesaplanabilir. İster sinyalize kavşak isterse ağ-kavşak düzeyinde çözümleme yapılınsın trafik kontrol modellerinin değişik formlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Eğer problem sinyalize kavşak; yani tekli kavşak düzeyinde ele alınırsa aşağıdaki formülasyonlar geliştirilebilir.

$$\min J_C^k = \min \int_0^T (l^k(t))^T Q l^k(t) dt \quad (8.8)$$

$$l^k(t) = (l_{a_1}^k(t), l_{a_2}^k(t), l_{a_{31}}^k(t), l_{a_4}^k(t)) \quad a_1, a_2, \dots, a_n \in A(k) \quad k = 1, 2, \dots, N$$

$$l_a^k(t) = u_{a,k}^w(t) - \lambda_m^k(t) S$$

$$l_a^k(0) \geq 0$$

$$0 \leq G_{\min} \leq G_m^k(t) \leq G_{maks} \quad (k \in N, t \in \{0, T\})$$

$$\sum_m G_m^k(t) = C(t) - L$$

Burada, k kavşak indeksini;

$G_m^k(t)$ t zamanında k kavşağındaki m fazına verilen yeşil süreyi;

$\lambda_m^k(t)$ t zamanında k kavşağındaki m fazına verilen yeşil süre oranını;

$l_a^k(t)$ t zamanında k kavşağındaki kuyrukta bulunan araç sayısını;

$u_{a,k}^w(t)$ t zamanında k kavşağının bekleme alanına giren araç sayısını göstermektedir.

8.2.4. Stackelberg Oyunu Olarak BOTGA Modeli Formülasyonu

BOTGA modelini çözmek için önerilen Stackelberg oyununda oyunculardan biri; trafik kontrol stratejilerini kullanıcı davranışlarına bağlı olarak belirleyip, Stokastik Kullanıcı Dengesi (SKD) altında ulaşım ağının toplam maliyetini enküçükmeye çalışır. Diğer oyuncu ise trafik kontrol parametrelerine bağlı SKD trafik hacimlerini hesaplar. Bu sebeple yol kullanıcıları trafik kontrol parametrelerine bağlı olarak bireysel olarak rotalarını değiştirecekleri varsayımıyla hareket

ederken şehiriçi sinyalize kavşaklardaki trafik kontrolü ise değişen kullanıcı davranışlarına bağlı olarak modifiye edilir. Stackelberg oyun yaklaşımının seçilmesinin temel nedeni, sinyalize kavşak kontrol parametrelerinin liderin oyunu, yol kullanıcılarının ise takipçi oyunu olarak formüle edilebilmesindedir.

Trafik yöneticisi minimum toplam seyahat maliyetli bir ulaşım ağı işletimi hedeflemektedir. Bu hedeflere ulaşılabilmesi için kontrol parametrelerinden faz yeşil sürelerinin optimum değerleri bulunarak kuyruklanma gecikmesi en aza indirilmeye çalışılır fakat trafik yöneticileri ile kavşakların hizmet amaçları farklı olmaktadır. Trafik yöneticisinin en önemli amaçlarından birisi trafik atama stratejisi bularak sistemin verimliliğini en üst düzeye getirmeye çalışmaktır. Böyle bir strateji sistemin toplam seyahat maliyetini en aza indirgeyeceğinden, kaynakların verimli kullanılmasını sağlayacaktır. Her bir sinyalize kavşakta amaç sürücülerin bekleme sürelerini en aza indirgemeye çalışmaktır. Yöneticiler, yol ağına trafik atama yaparak belirli kısıtlar altında optimum verimliliği sağlayabilecek trafik hacimlerini bulurken, kavşaklarda ise trafik hacmine bağlı olarak optimum sinyal kontrol parametreleri bulunur. Bu sebeple yöneticiler ve kavşaklar arasında oynanan oyun lider-takipçi oyunu olarak ele alınmıştır. $u_a^n(t)$ yöneticinin kontrol parametresi, ve $\lambda_a^n(t)$ kavşakların kontrol parametresi, J_G yöneticinin $J_C^k(t)$ sinyalize kavşağın amaç fonksiyonu olarak ele alınması durumunda lider-takipçi oyunu olarak BOTGA modeli aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
x_a^n(t) &= u_a^n(t) - v_a^n(t) \\
l_a^k(t) &= u_{a,k}^w(t) - \lambda_m^k(t)S \\
\sum_{a \in A(k)} u_a^n(t) &= S_{kn}(t) + \sum_{a \in B(k)} v_a^n(t) \\
l_a^k(0) &\geq 0 \quad x_a^k(0) \geq 0 \quad u_a^k(0) \geq 0 \\
\sum_m G_m^k(t) &= C(t) - L \\
\min J_G &= \min \sum_{a \in A} \int_0^{T v_a(t)} \int_0^{t_a(x_a(t), \omega, v_a(t))} d\omega dt \quad (8.9a)
\end{aligned}$$

$$\min J_C^k = \min \int_0^T (l^k(t))^T Q l^k(t) dt \quad (8.9b)$$

$$l^k(t) = (l_{a_1}^k(t), l_{a_2}^k(t), l_{a_{31}}^k(t), l_{a_4}^k(t))$$

8.2.5. SKD Formülasyonu

Daganzo (1983) ve Cantarella (1997) yapmış oldukları çalışmalarda SKD atamasını trafik hacim uzayında *sabit-nokta* problemi olarak tanımlamışlardır. Bu tanımlamaya göre SKD problemi;

$$v_a = \sum_{w \in W} \sum_{r \in R_w} t_w(\Psi) \delta_{ar}^w p_r^w(\mathbf{y}^w), a \in L \quad (8.10)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (8.10)'daki rota seçim olasılıklarının hesabı için Cascetta ve diğ. (1996) tarafından önerilen C-logit modeli kullanılmıştır. C-logit modeli Denklem (8.11)'de verilmiştir.

$$p_r^w(\mathbf{y}^w) = \frac{\exp(-\gamma_0 y_r^w - \gamma_1 CF_r^w)}{\sum_{k \in R_w} \exp(-\gamma_0 y_k^w - \gamma_1 CF_k^w)}, r \in R_w, w \in W \quad (8.11)$$

Burada CF_r^w , rota $r \in R_w$ için trafik hacmi faktörü olup her bir B-V çifti $w \in W$ arasındaki rotalar kümesi R_w içerisinde rota r 'nin benzeşim derecesini gösterir. Trafik hacim faktörünün belirlenmesinde birbirleriyle benzer sonuçlar veren bir çok yöntem önerilmiştir. BOTGA modelimize uygun olarak çalışmada Cascetta ve diğ. (1996) tarafından verilen Denklem (8.12) kullanılmıştır.

$$CF_r^w = \sum_{a \in A} \delta_{ar}^w w_{ar}^w \ln N_a^w, r \in R_w, w \in W \quad (8.12)$$

Burada N_a^w a linkini kullanan B-V çifti w arasındaki rota sayısını göstermektedir. w_{ar}^w ise denklem (8.13)'te verilmiştir.

$$w_{ar}^w = \frac{c_a(v_a, \psi)}{y_r^w}, a \in L, r \in R_w \quad (8.13)$$

Bilindiği gibi trafik atama amacıyla en yaygın olarak kullanılan link maliyet fonksiyonu Amerikan Karayolları tarafından geliştirilen (BPR) modelidir. BPR fonksiyonu.

$$c_a(v_a, \psi) = c_a^0 \cdot \left(1 + 0.15 \left(\frac{v_a(\psi)}{cap_a} \right)^4 \right) \quad (8.14)$$

şeklinde. BOTGA modelinde BPR fonksiyonu trafik kontrol parametrelerini de dikkate alacak şekilde Denklem (8.15)'deki şekilde modifiye edilmiştir. Bu modifikasyon sadece izole kavşakları da dikkate alacak şekilde trafik atamanın yapılabilmesi amacıyla yapılmış olup kavşaklar arası koordinasyon parametrelerini dikkate almamaktadır.

$$cap_a = \frac{gs_a}{c}, a \in L \quad (8.15)$$

Kapalı fonksiyon olarak SKD trafik hacimlerinin çözümü için Denklem (8.16)'daki amaç fonksiyonu uyarlanmıştır.

$$\min F(f_p^w(\psi), f_p^{w*}(\psi)) = \sum_{w \in W} \sum_{p \in P_w} \left(f_p^w(\psi) - f_p^{w*}(\psi) \right)^2 \quad (8.16)$$

Denklem (8.17)'deki trafik hacim dönüşüm kısıtları ise aşağıda verilmiştir.

$$\mathbf{v} = \delta \mathbf{f};$$

$$\mathbf{t} = \Lambda \mathbf{f}$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{P}\mathbf{t}$$

$$\sum_{p \in R_w} f_p^w = t_w, w \in W$$

$$f_p^w \geq 0, p \in P_w, w \in W$$

Denklemler (8.12)-(8.16)'dan görülebileceği gibi verilen her bir trafik hacmi için, v_a , SKD sabit nokta problemi kapalı-fonksiyon formuna dönüşür. Kapalı-fonksiyon çözümünde eşitsizlik kısıtı olan Denklem (8.10) sağlanmalıdır.

Denklemlerde verilen f_p^w her bir B-V çifti arasındaki rota p 'ye atanan trafik hacmini, f_p^{w*} rota p 'deki hesaplanan trafik hacmini ve $f = f^*$ ise rota trafik hacimleri ile rota maliyetleri arasındaki karşılıklı eşitlik kısıtını göstermektedir.

Çözüm aşamasında çözüm vektörlerinin çözüm uzayı içinde kalıp kalmadığının kontrolü için BOTGA modeline bir ceza fonksiyonu ilave edilmiştir. Ceza fonksiyonu mümkün olmayan çözüm kümesi ile mümkün çözüm kümesi arasındaki mesafeden yola çıkılarak geliştirilmiştir. Geliştirilen ceza fonksiyonu amaç fonksiyonuna ilave edilerek çözüm kümelerinin arama uzayı içerisinde kalması sağlanmaya çalışılmıştır. Ceza fonksiyonu:

$$P(v_a) = \begin{cases} \alpha(v_a - cap_a) & \text{eğer } v_a > cap_a \\ 0 & \text{diğer durum için} \end{cases} \quad (8.17)$$

olup link kapasitesinin aşılması durumunda $P(v_a)$ 'nin değer aldığını, diğer durumlarda ise değer almadığını gösteren bir fonksiyondur. α ceza fonksiyonunun ölçek parametresidir. Ceza fonksiyonu eklenmiş amaç fonksiyonu Denklem (8.18)'de verilmiştir.

$$\min F(f_p^w(\boldsymbol{\psi}), f_p^{w*}(\boldsymbol{\psi})) = \sum_{w \in W} \sum_{p \in P_w} \left(f_p^w(\boldsymbol{\psi}) - f_p^{w*}(\boldsymbol{\psi}) \right)^2 + \sum_{a \in L} \alpha(v_a - cap_a) \quad (8.18)$$

8.3. BOTGA'nın Çözüm Algoritması

BOTGA modelini tek bir adımda çözmek mümkün olmadığından, model önce iki seviyeye ayrıştırılmış, sonrasında çözüm algoritması verilmiştir.

$$\text{ÜS} \quad \text{Lider oyunu} \quad J_G = \min \sum_{a \in A} \sum_{i=1}^M x_a(i) t_a(x_a(i), u_a(i), v_a(i)) \quad (8.19)$$

$$x_a^n(i+1) = x_a^n(i) + u_a^n(i) - v_a^n(i) \quad i = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

$$\sum_{a \in A(k)} u_a^n(i) = S_{kn}(i) + \sum_{a \in B(k)} v_a^n(i)$$

$$u_a^n(i) \geq 0, a \in A, n \in N, x_a^n(i) \geq 0$$

$$\text{AS} \quad \text{Takipçi oyunu} \quad J_C^k = \min \sum_{i=1}^M T l^k(i) e \quad (8.20)$$

$$l^k(t) = (l_{a_1}^k(t), l_{a_2}^k(t), l_{a_{31}}^k(t), l_{a_4}^k(t) \quad a_1, a_2, \dots, a_n \in A(k) \quad k = 1, 2, \dots, N$$

$$l_a^k(i+1) = l_a^k(i) + u_{a,k}^w(i) - \lambda_a^k(i) S$$

$$\sum_m G_m^k(t) = C(t) - L$$

$$l_a^k(0) \geq 0$$

Burada ÜS, üst seviye problemini, AS, alt seviye problemini, T kontrol periyodunu ve e birim kolon vektörünü göstermektedir.

BOTGA modelinin ÜS probleminde bir adet karar-verici mevcut iken AS probleminde birçok karar verici bulunmaktadır. Karar-verme probleminde lider önce stratejisini anons eder ve bu strateji takipçinin amaç fonksiyonunu etkileyeceğinden, takipçi anons edilen ÜS stratejisine göre kendi stratejisini belirlemek durumundadır. Bu durumda lider ve takipçi stratejileri sistemin genel performansını etkileyecektir. Yani, $(u^*(k), \lambda^*(k))$ stratejisi genel ulaşım ağı sistem performansını optimum edecektir. $u^*(k)$ ve $\lambda^*(k)$ değerleri ÜS ve AS modellerini çözerek denge durumu sonucu elde edilir. Bu sistem konveks yapıda olmayan matematiksel bir problem olduğu için GA yaklaşımı ile çözümlenmiştir. BOTGA modeli için GA algoritması aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Başlangıç değerleri olan, $u_a^n(m)^0$, B-V talebi, ulaşım ağ topografyası ve kontrol stratejilerini (8.10)-(8.17)'de verilen denklemler ve kısıtları sağlayacak şekilde gelişmiş güzel sayı üreticisi yardımıyla üret. Verilen $u_a^n(m)^0$ değerleri için AS problemini çöz, $\lambda_a^k(k)^0$ değerlerini hesapla ve toplum nesil sayacını $g=1$ olarak al;

Adım 2: Değerlendirme

Yeniden Kodlama: Toplumdaki (g) her bir bireyi GA dönüşüm teknikleri kullanarak potansiyel çözümlere (ÜS ve AS) ait matematiksel dönüşümleri yap.

Trafik atama: Takipçi oyunu, AS, problemini Ardışık Ortalamalar (MSA) metodunu ya da Konveks Kombinasyon Algoritmalarını (KKA) (Sheffi, 1985) kullanarak çöz ve her bir toplumun genindeki potansiyel link ve rota trafik hacimlerini hesapla.

Değerlendirme: Toplumun (g) içerisindeki potansiyel çözümlere karşı gelen link trafik hacimlerini Denklem (8.1) yardımıyla değerlendir. Bu değerlendirme her bir bireyin uygunluk fonksiyon değerini verecektir.

Adım 3: Yeniden üretim/seçim

Yeni toplumu ($g+1$) bir önceki toplumdaki (g) çözümlerin uygunluk fonksiyonları değerlerinin dağılımına göre oluştur.

Adım 4: Genetik Operatörleri

Çaprazlama: Verilen çaprazlama olasılığını, p_c , kullanarak toplum ($g+1$) den seçilen iki kromozomu çaprazla. Yeni üretilen kromozomlar ile eski kromozomların uygunluk fonksiyonu değerlerini toplum ($g+1$)'de kontrol ederek yer değiştir.

Mutasyon: Verilen mutasyon olasılığına bağlı olarak, p_m , toplum $(g+1)$ 'den bir birey seç ve mutasyonunu seçilen bireyin içerisindeki gene uygula ve orijinali ile yer değiştir.

Adım 5. Yakınsama testi

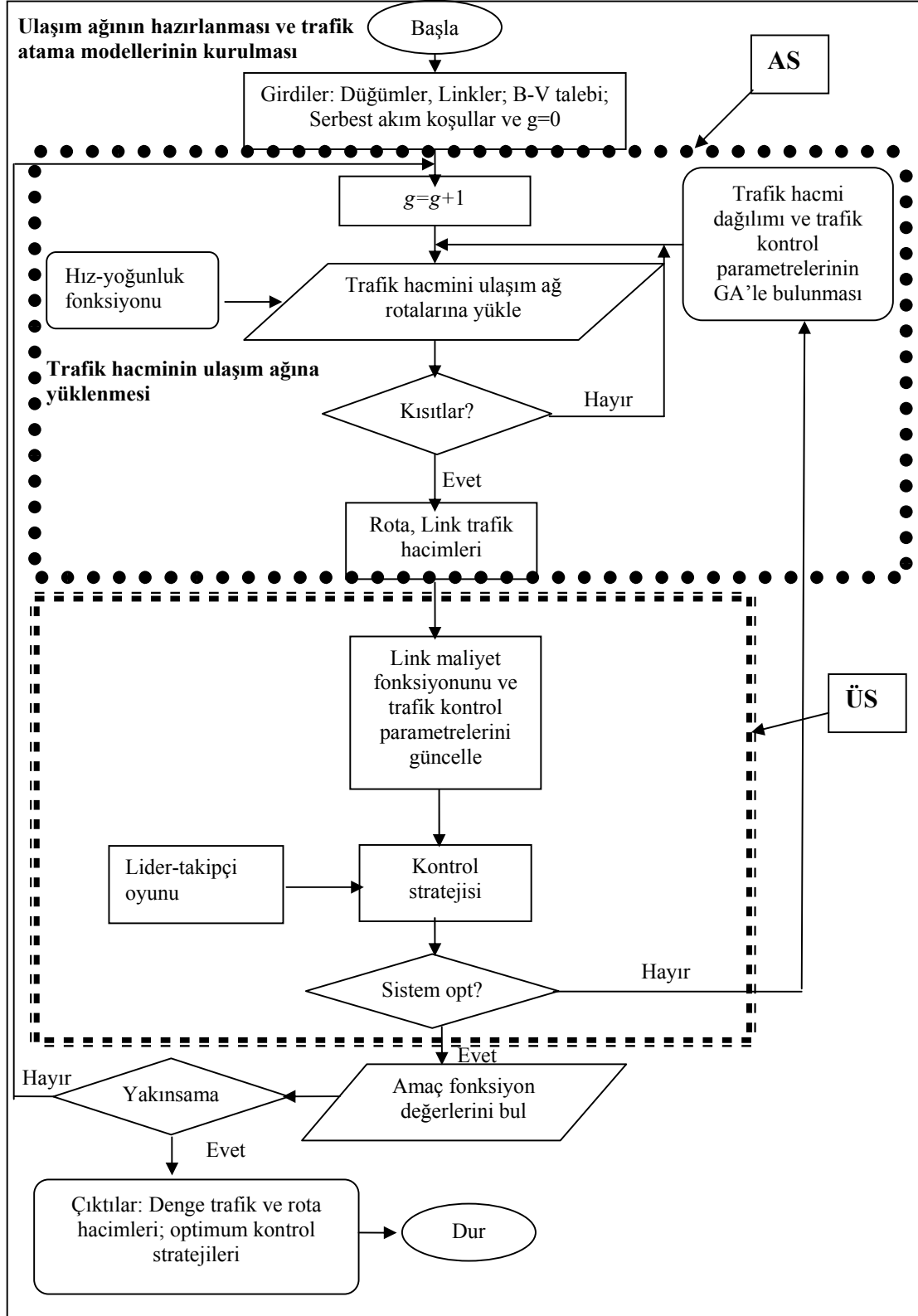
Eğer yakınsama kriteri sağlandı ise, en iyi bireyleri yaklaşık çözümler olarak kabul et ve dur; değilse sayacı $g=g+1$ alarak Adım 2'ye dön.

Problemde, (1) iki nesil arasında bir iyileşme olmaması durumu; (2) önceden verilmiş nesil sayısına bağlı; ve (3) önceden verilen CPU süresine ulaşıp ulaşılamama durumlarına bağlı olarak farklı yakınsama kriterleri kullanılabilir. Oyun Denklem (8.21)'deki kısıtın sağlanması ile son bulmuştur.

$$\|T(\mathbf{v}, \boldsymbol{\Psi})^{(k+1)} - T(\mathbf{v}, \boldsymbol{\Psi})^k\| < \zeta \quad (8.21)$$

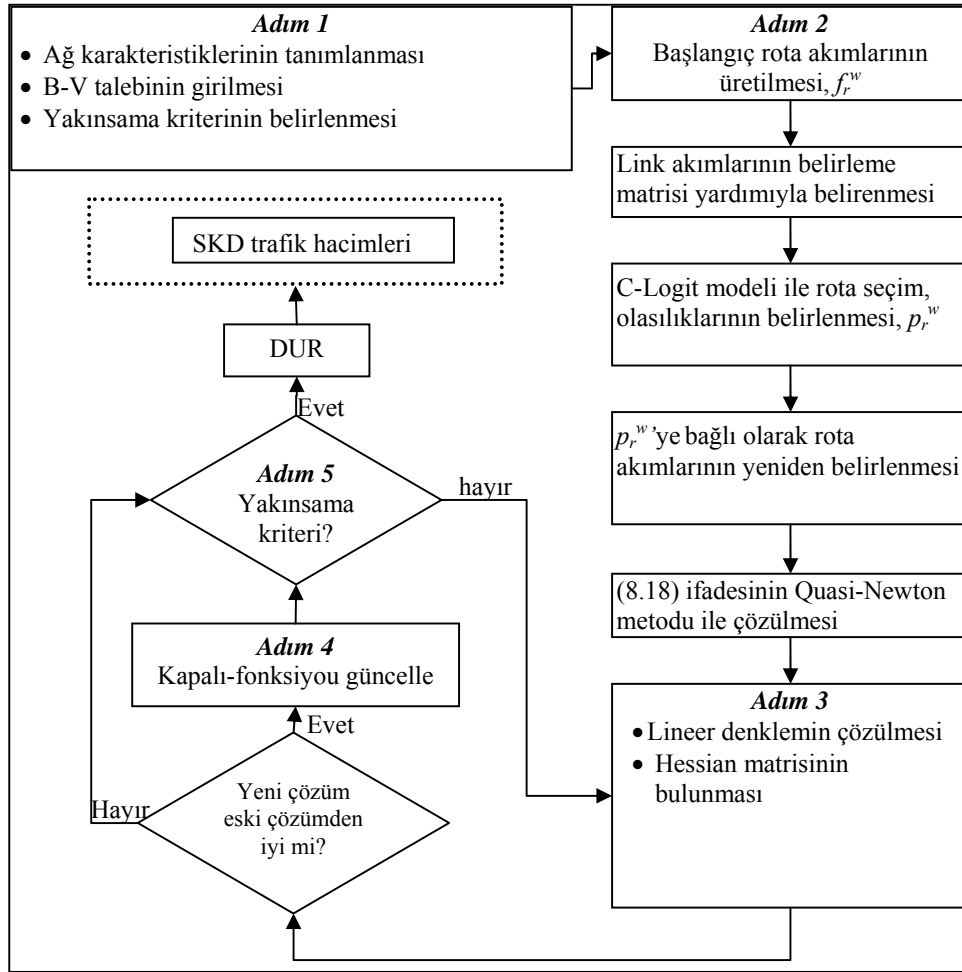
Burada; $T(\mathbf{v}, \boldsymbol{\Psi})^{(k+1)}$ ve $T(\mathbf{v}, \boldsymbol{\Psi})^{(k)}$ fonksiyonları; SKD altında hesaplanan link trafik hacimleri, \mathbf{v} , vektörüne ve $(k+1)$ 'inci iterasyondaki trafik kontrol vektörlerine, $\boldsymbol{\Psi}$, bağlı olarak hesaplanan toplam ulaşım ağ maliyetini; ζ yakınsama kriterindeki tolerans limitini ifade etmektedir. Notasyonların tanımı Ek 1'de verilmiştir.

Önerilen BOTGA modelinin akış diyagramı Şekil 8.3'de verilmiştir. Çalışılan model çözümüne ister ÜS isterse AS'den başlansın, ulaşım ağının topolojisi, B-V talebi, sinyalize ve sinyalize olmayan kavşaklarını durumu, link trafik hacimleri, yönlendirmeler, yol içi parkların olup olmaması durumu, toplu taşıma araçları veya raylı sistemler gibi işletimsel parametrelerin hepsi belirlenmelidir. Bu amaçla, link maliyet fonksiyonları bulunmuş ve B-V talepleri ile birlikte sinyal gecikme modelleri oluşturulmuştur. GA modeli sonuçlarına göre kontrol stratejileri, lider-takipçi, yol ve kavşak kapasitesi değişimi-lider, lider-ücretlendirme stratejisi, özel otomobil kullanımı-toplu taşıma kullanımı stratejileri altında çözümlenecektir. ÜS kontrol parametreleri belirlenirken AS'deki sürücülerin reaksiyonları tahmin edilerek çözümlenecektir. AS'de sürücü reaksiyonları SKD altında bulunmuştur ve BOTGA modeli sistem optimum dengesine ulaşıncaya kadar çalışmaya devam ettirilmiştir.



Şekil 8.3. BOTGA akış şeması

Amaç fonksiyonunun (8.18) global çözümünde tüm rotalardaki verilen ve hesaplanan rota trafik hacimleri eşit olduğu zaman problem çözülmüş olacaktır. Denklemdaki karesel duruma bağlı olarak zaman zaman global çözüm 0 olabilir. B-V çifti arasındaki rota sayılarına bağlı olarak, yakınsama kriteri 0'a yakın bir değer verilebilir. SKD altındaki trafik hacimlerinin bulunabilmesi ve yukarıdaki anlatılan metodun daha iyi anlaşılabilmesi için sistemin akış diyagramı Şekil 8.4'de verilmiştir.



Şekil 8.4. BOTGA modeli için Stackelberg oyununda trafik atama probleminin akış şeması

Şekilden görülebileceği gibi, Stackelberg oyununun trafik atama kısmına uygulanabilmesi için ulaşım ağ karakteristikleri, B-V talebi, ve yakınsama kriteri girdi olarak programa verilmiştir. Sonra örnek ağımızdaki başlangıç rota akımları kısıtlara bağlı olarak üretilmiştir. Üretilen rota

akımları link trafik hacimleri-rota akımları belirleme matrisinden yola çıkılarak belirlenmiştir. C-Logit modeli kullanılarak rota seçim olasılıkları belirlenmiştir. Belirlenen rota seçim olasılıkları kullanılarak rota trafik hacimleri tekrar belirlenerek Denklem (8.10) kısıtı sağlanıncaya kadar iterasyona devam edilmiştir. Bundan sonra amaç fonksiyonu olan Denklem (8.16) Quasi-Newton metodu kullanılarak çözülmüştür.

Quasi-Newton metodunun uygulanması esnasında hesaplanması gereken Hessian matrisi ve lineer denklemler Visual Basic (VBA) yazılımı yapılarak bulunmuştur. Elde edilen çözüm eski çözümden kötü ise adım 5'e dönmüş iyiyse kapalı fonsiyon çözümlenerek işlemlere devam edilmiştir. Yakınsama kriteri sağlandıktan sonra algoritma durdurularak SKD trafik hacimleri çıktı olarak alınmış ve gerekli link trafik hacim dönüşüm matrisleri kullanılarak diğer oyuncu olan trafik kontrol problemi çözülmeye başlanmıştır. SKD trafik atama probleminde link performans fonksiyonunun sürekli artan bir fonksiyon olması ve konveks bir yapıda olmasından dolayı çözüm metodu olarak Quasi-Newton metodu kullanılmıştır. Burada elde edilen SKD trafik hacimleri üst seviye problemi olan trafik kontrol problemine girdi olarak verilmiştir. Quasi-Newton metodu sayısal bir metot olup verilen herhangi bir fonksiyonun lokal minimum veya maksimumunun bulunmasında yaygın olarak kullanılan metotlardan biridir. Bu metot Newton metodunu temel alan bir yöntemdir. Fonksiyonların dönüm noktalarının 0 olduğu noktayı hesaplar. Quasi-Newton metodu herhangi bir fonksiyonun optimum noktası etrafında quadratik bir yaklaşım metodu ile arama yapar. Fonksiyonun 1. ve 2. türevleri hesaplanarak kararlı denge noktası bulunur. Quasi-newton metodunda çözülecek fonksiyonun ikinci türevinin Hessian matrisinin hesaplanmasına gerek olmayabilir. Bunun yerine ardışık gradyan vektörlerinin güncellenmesi ile Hessian hesaplanır. Metodu daha iyi açıklayabilmek için;

$$F(x) = 0$$

fonksiyonu ele alalım. $F: R^n \rightarrow R^n$ herhangi bir fonksiyon tipinde doğrusal olmayan bir fonksiyon olsun. F fonksiyonunun doğrusal kısmı, $A \in R^{n,n}$, ve doğrusal olmayan kısmı $G: R^n \rightarrow R^n$ verilirse bu fonksiyon

$$F(x) = Ax + G(x) \tag{8.22}$$

şeklinde ifade edilir. Böyle bir fonksiyona en iyi örnek, sınır değer probleminin adi ve kısmi diferansiyel olarak iki kısımda ifade edilmesi gösterilebilir. (8.22) ifadesi Newton Metodu ile çözülebilir. Denklemin ilk çözüm yaklaşımı $x^0 \in R^n$ olarak verilirse, iteratif adımlar $\{x^k\}$ aşağıdaki kurala göre yapılır.

$$J(x^k)s^k = -F(x^k) \quad (8.23)$$

$$x^{k+1} = x^k + s^k, \quad k = 0, 1, \dots,$$

Burada $J(x^k)$ F fonksiyonunun Jacobian matrisidir. Newton metodu quadratik olarak yakınsar fakat her bir adımda $J(x^k)$ Jacobian matrisi hesaplanırken her iterasyonda (8.23) doğrusal ifadesinin çözülmesi gerekir. Newton metodunun en zor kısmı olan Jacobian matrisinin bulunması Quasi-newton metodu kullanılarak kolaylaştırılır. $F(x) = 0$ fonksiyonunu ikinci türevini hesaplamak için Taylor serisini kullanırsak:

$$F(x^0 + \Delta x) = F(x^0) + \nabla F(x^0)^T \Delta x + \frac{1}{2} \Delta x^T H \Delta x \quad (8.24)$$

denklemini elde edilir. Burada ∇F fonksiyonun gradyanı ve \mathbf{H} ise Hessian matrisidir. Sadece gradyanın Taylor serisi,

$$\nabla F(x^0 + \Delta x) = \nabla F(x^0) + H \Delta x \quad (8.25)$$

şeklinde yazıldığında Secant denklemi elde edilir. Bu denklemin $\nabla F(x^0 + \Delta x) = 0$ eşitliği Newton adımını verecektir. Böylece; (8.24) ifadesi

$$\Delta x^0 = -H^{-1} \nabla F(x^0) \quad (8.26)$$

eşitliğine dönüşecektir. Tek boyutlu denklemlerde \mathbf{H} matrisini belirlemek Newton metodu ile belirlenebilirken çok boyutlu fonksiyonlarda \mathbf{H} ifadesini hesaplamak için Quasi-Newton metodu uygulanır. Denklem (8.15)'de verilen modifiye edilmiş link maliyet fonksiyonu ve Denklem (8.18)'de verilen amaç fonksiyonu Quasi-Newton metodu ile VBA algoritması yazılarak çözümlenmiş ve sistem optimum SKD trafik hacimleri hesaplanmıştır.

8.3.1. BOTGA Modelinde Trafik Sinyal Kontrolünün GA ile Çözümü

Alansal Trafik Kontrolünün (ATK) asıl amacı yol kullanıcılarının şehiriçi ulaşım ağında geçirdikleri toplam sürenin en aza indirgenmesidir. Bunun için sinyal kontrol parametrelerinin en iyi şekilde tasarlanarak kavşakların sistemin toplam maliyetini en aza indireyecek şekilde işletilmesi gerekmektedir. Sinyal kontrol parametreleri, sinyal kısıtlarına bağlı olarak;

$$c_{\min} \leq c \leq c_{\max}$$

$$0 \leq \theta \leq c$$

$$\phi_{\min} \leq \phi \leq c$$

$$\sum_{i=1}^m \phi_i = c$$

Denklem (8.27)'de verilen ifadenin çözülmesiyle hesaplanır.

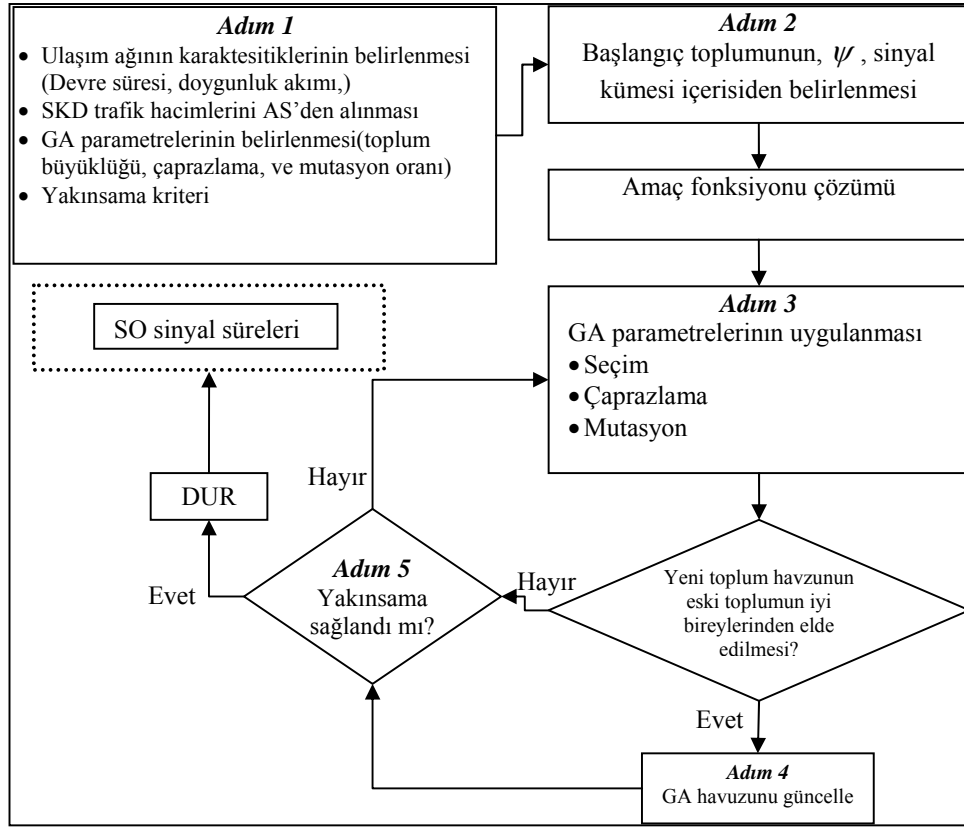
$$\underset{\Psi, \mathbf{v}}{\text{Min}} T(\mathbf{v}^*, \Psi) = \sum_{a \in \mathbf{L}} v_a c_a(v, \Psi) \quad (8.27)$$

Kısıtlardaki m sinyalizasyon kavşaklarındaki faz sayısını göstermektedir. BOTGA modelinin sinyal kontrol kısmında her bir sinyal parametresi GA yardımıyla aşağıdaki adımlar kullanılarak formüle edilmiştir.

- Ağ devre süresi $c_{\min} \leq c \leq c_{\max}$ arasında gelişigüzel sayı üreticisi kullanılarak belirlenmiştir.
- Faz yeşil süreleri minimum ve ilgili devre süreleri arasında Şekil 8.5'de verildiği şekilde üretilmiştir.

Şekil 8.5'den görülebileceği gibi AS'de bulunan SKD akımları Adım 1'de ağ topoğrafyası ile birlikte girdi olarak programa verilmiştir. Ayrıca, GA parametreleri olan çaprazlama, mutasyon

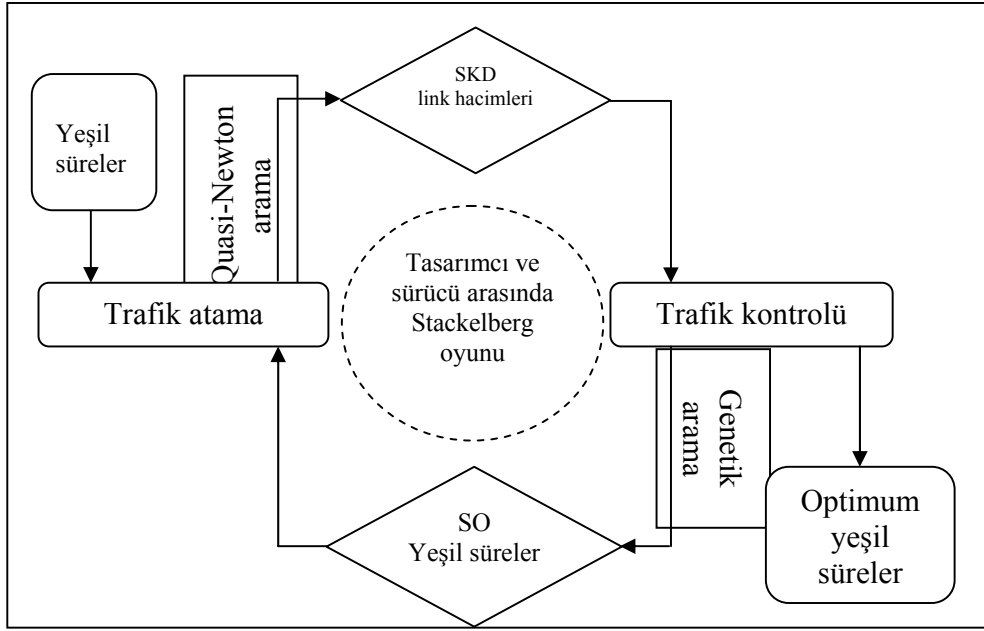
olasılığı, toplum büyüklüğü aynı şekilde programa girdi olarak verilmiştir. Adım 2’de başlangıç toplum büyüklüğü kadar mümkün sinyal parametreleri üretilir. Üretilen sinyal parametreleri ile toplumun uygunluk fonksiyonları elde edilir. Elde edilen uygunluk fonksiyonları, elitler stratejisi ve seçim operatörleri kullanılarak en iyileri bir sonraki nesilde kullanılmak üzere ayrılır. Eğer yeni havuzdaki bireyler eski havuzdan iyi ise Adım 4’e geçilir, değilse Adım 3 yenilenir. Yakınsama kriteri Adım 5’te sağlandıktan sonra sistem optimum (SO) sinyal süreleri elde edilmiş olur. ÜS olarak adlandırılan bu problemin AS problemi ile birlikte birleştirilmiş hali olan BOTGA çözümü Şekil 8.6’da verilmiştir.



Şekil 8.5. Önerilen trafik kontrol algoritması

Şekil 8.3’de genel akış şeması verilen BOTGA modelinin genetik arama motoru ile çözümü Şekil 8.6’daki gibi modifiye edilmiştir. Şekilden görülebileceği üzere; AS problemindeki hız-yoğunluk fonksiyonları göz ardı edilerek, sadece verilen faz yeşil süreleri için problem ele alındığında AS ile ÜS arasındaki oynan oyun lider-takipçi oyununun karşılıklı oynanmasının ilk adımını

oluşturmuştur. AS oyunu verilen faz yeşil süresi için link maliyet fonksiyonlarına bağlı olarak rota maliyetlerini hesaplayarak kapalı-fonksiyon çözümü sonunda SKD link trafik hacimlerinin elde edilmesidir. Elde edilen SKD trafik hacimleri ÜS problemindeki sistem optimum faz yeşil sürelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. SO amaç fonksiyonu tüm ağdaki performansı eniyileyeceğinden iki problemin iteratif çözümü Stackelberg dengesini verecektir.



Şekil 8.6. BOTGA modeli çözümünün akış şeması

8.4. BOTGA Modelinin Çalışma Ağına Uygulanması

BOTGA modeli uygulaması için ele alınan 11 adet sinyalize kavşağı içeren ulaşım ağı Şekil 8.7’de görülmektedir. Sinyalize kavşaklara ait kavşak ve faz diyagramları Ek 2’de verilmiştir. BOTGA modelinin uygulanabilmesi ve çözülebilmesi için örnek ulaşım ağı iç zonlara olan dağıtım gözardı edilerek kesikli çizgilerle belirlenen dış hatlardaki B-V çiftleri ve kapsadığı linkler ve rotalar göz önüne alınmıştır. Yapılan analizlerde 4 başlangıç ve 4 varış çifti için (içsel talepler göz ardı edilerek) 14 adet B-V trafik talebi altında 26 link ve 36 fiziksel rotadan oluşan ulaşım ağındaki toplam seyahat süresinin devre süresine bağlı olarak değişimi incelenmiştir. BOTGA

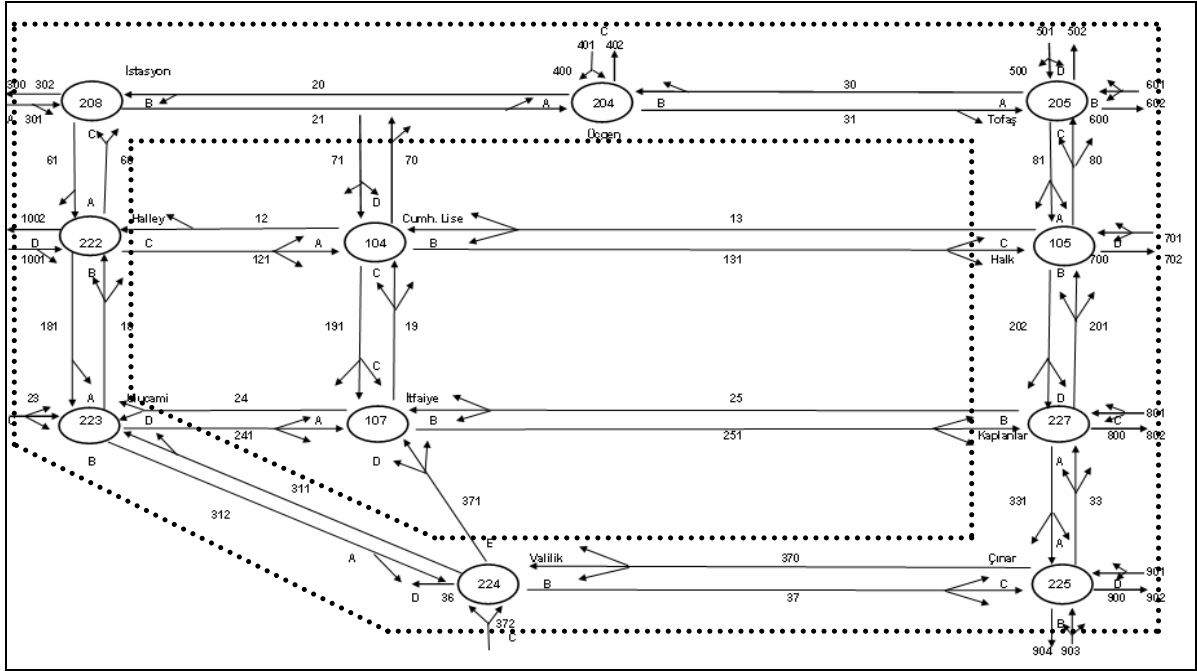
uygulaması için farklı ağ devre süreleri için sistem performansını (toplam ağ ulaşım süresi) en aza indirecek faz süreleri hesaplanmıştır.

8.4.1. Ulaşım ağı özellikleri

Çalışma ağını oluşturan linklere ilişkin serbest akım seyahat sürelerinin belirlenmesi için her bir linkin uzunluğu ölçülmüş ve seyahat hızı ölçümlerinden elde edilen yaklaşık 36 km/sa'lık ortalama seyahat hızı değeri kullanılmıştır. Ayrıca, tüm linkler için BPR modelinde kapasite değerinin belirlenmesi için gerekli olan doyumluk akımı değeri 1800 taş/sa olarak alınmıştır. Tablo 8.1'de ulaşım ağındaki 26 linkin uzunlukları (L) ve ortalama seyahat hızına bağlı serbest akım seyahat süreleri (t^0) ve doyumluk akımı (s) değerleri verilmiştir.

8.4.2. B-V Talepleri

14 B-V çifti arasındaki trafik talebinin sinyal parametrelerine bağlı olarak ulaşım ağına dağılımını incelemek için seçilen B-V çiftleri arasındaki alternatif rotalar ve bu rotaları oluşturan linkler Tablo 8.2'de verilmiştir. Tablodan görülebileceği üzere bazı B-V çiftleri arasında birden fazla rota seçim alternatifleri mevcutken, 3-4-7-8-9-11-13-14 numaralı B-V çiftleri yalnızca bir fiziksel rotadan oluşmaktadır. Her ne kadar ağdaki rota sayısını arttırmak mümkün olsa da, link serbest akım seyahat süreleri göz önüne alındığında aynı B-V çifti için diğerlerine alternatif olamayacak kadar yüksek seyahat süresine sahip rotalar, yapılacak olan analizler öncesinde elenmiştir.



Şekil 8.7. BOTGA modelinin uygulandığı çalışma ağı

Tablo 8.1. Ulaşım ağındaki linklerin uzunlukları, serbest akım seyhat süreleri ve doyumluk akımı değerleri

Link No	L (m)	t^0 (s)	s (taş/sa)	Link No	L (m)	t^0 (s)	s (taş/sa)
12	300	30.0	1800	61	250	25.0	1800
13	780	78.0	1800	80	165	16.5	1800
18	345	34.5	1800	81	165	16.5	1800
19	340	34.0	1800	181	345	34.5	1800
20	599	59.9	1800	201	460	46.0	1800
21	599	59.9	1800	202	460	46.0	1800
24	260	26.0	1800	241	260	26.0	1800
25	910	91.0	1800	251	910	91.0	1800
30	525	52.5	1800	311	465	46.5	1800
31	525	52.5	1800	312	465	46.5	1800
33	500	50.0	1800	331	500	50.0	1800
37	710	71.0	1800	370	710	71.0	1800
60	250	25.0	1800	371	200	20.0	1800

Tablo 8.2. BOTGA modellemesinde kullanılan B-V çiftleri ve rotalar

B-V	B-V çifti	Rotalar	Link bileşenleri	B-V	B-V çifti	Rotalar	Link bileşenleri
1	225-208	R1	370-311-18-60	6	227-222	R20	311-18
		R2	370-371-24-18-60			R21	371-24-18
		R3	370-371-19-12-60			R22	371-19-12
		R4	33-25-24-18-60			R23	25-24-18
		R5	33-25-19-12-60			R24	25-19-12
		R6	33-201-13-12-60			R25	201-13-12
		R7	33-201-80-30-20			7	227-204
2	225-222	R8	370-311-18	8	205-225	R27	81-202-331
		R9	370-371-24-18	9	205-208	R28	30-20
		R10	370-371-19-12	10	205-222	R29	30-20-61
		R11	33-25-24-18			R30	81-13-12
		R12	33-25-19-12	11	205-204	R31	30
		R13	33-201-13-12			R32	21-31-81-202-331
3	225-204	R14	33-201-80-30	12	208-225	R33	61-181-312-37
4	227-225	R15	331			R34	61-181-241-251-331
5	227-208	R16	25-24-18-60	13	208-222	R35	61
		R17	25-19-12-60	14	208-204	R36	21
		R18	201-13-12-60				
		R19	201-80-30-20				

BOTGA modelinde kullanılan B-V çiftleri, kavşak sayımları ve plaka eşleştirme çalışmaları sonucunda elde edilen B-V talep matrisleri incelenerek yapılmıştır. Karar verme sürecinde başlangıç düğümleri, sabah zirve saatte en çok trafik üreten kavşaklar olarak seçilirken, varış düğümleri yine sabah zirve saatte en çok trafik çeken kavşaklar olarak seçilmiştir. 40 dakikalık kavşak trafik hacim sayımlarında yaklaşık 10 dakikalık sürenin ağ içi seyahat süresi olarak belirlenmiş olması ve yaklaşık 30 dakikalık sürede eşleştirmeye uygun trafik talebinin olduğu göz önünde bulundurularak, sabah zirve saat trafik hacimleri 2 ile çarpılarak saatlik B-V talepleri elde edilmiştir. Elde edilen saatlik trafik talepleri Tablo 8.3’de verilmiştir.

Atama ve sinyalizasyon tasarımı tabanlı trafik kontrol probleminin çözümü için sırasıyla türeve dayalı Quasi-Newton ve GA tabanlı çözüm algoritmaları bilgisayarda kodlanmış ve ardışık şekilde çalışmak üzere kombine edilmiştir. C-Logit model tabanlı stokastik atama problemi, eşdeğer bir optimizasyon problemi olarak tanımlanmış ve amaç fonksiyon değeri sıfıra

yakınsayana kadar çözüme devam edilmiştir. Daha sonra, elde edilen denge rota akımları kullanılarak GA tabanlı çözüm algoritması ile toplam ağ seyahat süresini en aza indiren yeşil süreler Denklem (8.27)'nin minimizasyonu ile hesaplanmıştır. Yeni sinyal parametrelerine göre rota seçimlerini değiştirecek olan sürücülerin algılama kabiliyetlerine bağlı olarak atama problemi ve ardından yeni trafik dağılımına göre sinyal tasarım problemi önceden belirlenen durma kriteri sağlanana dek devam ettirilmiştir.

Tablo 8.3. Saatlik B-V trafik talepleri

Başlangıç	Varış			
	225	208	222	204
225	0	320	432	332
227	416	88	634	244
205	138	148	332	106
208	144	0	244	376

8.4.3. BOTGA Parametreleri

Lider-takipçi oyunu olarak da bilinen Stackelberg yaklaşımında başlangıçta her kavşakta devre süresi korunumunu ve minimum yeşil süre olarak alınan 7 saniyelik değeri sağlayacak şekilde rastgele üretilen faz yeşil süreleri için atama problemi çözülmüştür. Bu problemin çözümünde sürücü algılama hatalarını temsil eden C-Logit model parametreleri olan γ_0 ve γ_1 sırasıyla 0.05 ve 0.5 olarak alınmıştır. Bu kabul altında, rastgele üretilen faz süreleri Quasi-Newton çözümüne başlangıç değerleri olarak verilmiş ve atama probleminin çözümü gerçekleştirilmiştir.

44 farklı sinyal bileşenine bağlı olarak yapılan üst seviye probleminin GA ile çözümünde toplum büyüklüğü 200, çaprazlama olasılığı 0.6, mutasyon oranı 0.05 ve maksimum nesil sayısı ise 10.000 olarak alınmıştır. Ağ devre süresi değeri 40 saniye değerinden başlatılarak 90 saniye değerine ulaşana kadar analizler sürdürülmüş ve her 5 saniyelik devre süresi değişiminin toplam seyahat süresine olan etkisi incelenmiştir.

Ardışık atama-kontrol çözümünün sona erdirilmesi için mevcut çözümden elde edilen toplam ağ seyahat süresi değeri bir önceki çözümde elde edilen sonuçla karşılaştırılmış ve aradaki farkın

0.005 taş-sa değerinden küçük olması durumunda bir sonraki devre süresi için yeni çözüme geçilmiştir. Her farklı devre süresi için oynanan oyun sonuçları kaydedilmiştir.

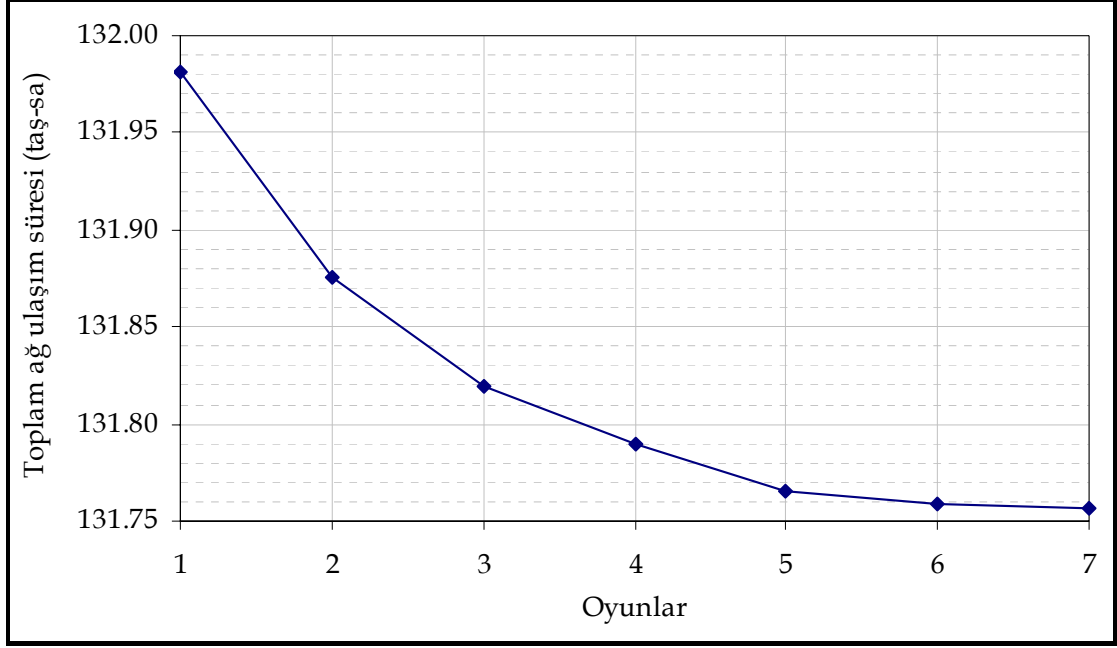
8.4.4. Analizler

Başlangıç devre süresi olarak kabul edilen 40 saniye için çözüm 7 oyun sonunda başarılmıştır. Karşılıklı olarak oynanan oyunlarda elde edilen en düşük ağ ulaşım maliyeti değerleri açısından, beklendiği üzere takipçilerin (yol kullanıcılarının) davranışlarını sinyal tasarımı ile kontrol ederek bir sonraki oyunda daha düşük bir ağ ulaşım süresinin elde edilmesi liderin (tasarımcının) hedefidir. Bu beklentiyi doğrulayan çözüm sonuçlarının grafiği Şekil 8.8’de verilmiştir. İlk oyun sonunda 132.98 taş-sa mertebesinde olan toplam ulaşım süresinin son oyunda 131.76 taş-sa mertebesine indiği görülmektedir. Sadece link maliyet fonksiyonlarında devre süresine bağlı faz yeşil süreleri dikkate alındığında başlangıç koşuluna göre %1’lik bir iyileşmeye ulaşılmıştır.

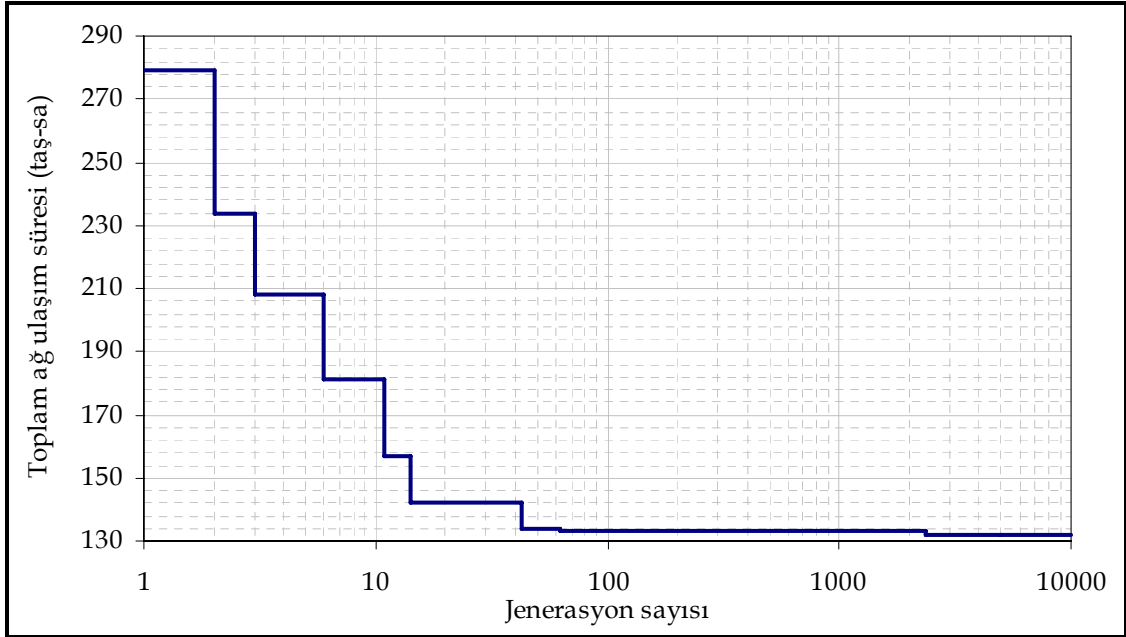
Herhangi bir oyun içinde GA çözümünün göstermiş olduğu performansı daha yakından görebilmek amacıyla Şekil 8.9’da 40 saniyelik devre süresi için yedinci oyunun yakınsama grafiği verilmiştir. İlk nesilde yaklaşık 275 taş-sa olan ağ ulaşım süresinin 2300. nesil sonunda 131.76 değerine ulaştığı ve bundan sonra 10000. nesile kadar sabit değerde kaldığı görülmektedir.

BOTGA için belirlenen 40-90 saniyelik ağ devre süresi aralığındaki her 5 s’lik değer için yapılan analizlerde elde edilen optimum sonuçlar Şekil 8.10’da gösterilmiştir. 40 s için elde edilen 131.76 taş-sa değerinin 90 s için 131.48 taş-sa değerine kadar düştüğü görülmektedir. Şekil incelendiğinde toplam sistem maliyetindeki düşüşün azalan bir eğilim gösterdiği görülmektedir. Bu da, düşük devre süreleri için sistem performansının devre süresindeki değişimlere daha duyarlı olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Çözüm sonuçları incelendiğinde 40 ve 90 s’lik devre süreleri için elde edilen toplam ağ seyahat süresi değerleri arasındaki farkın yüksek mertebede olmamasının başlıca nedenleri; ulaşım ağının saatte 3954 taşıtın seyahat ettiği küçük boyutta bir alt ağ olarak seçilmiş olması ve kavşaklar arası yeşil dalga (ofset) tasarımının incelenmemesi olarak sayılabilir.

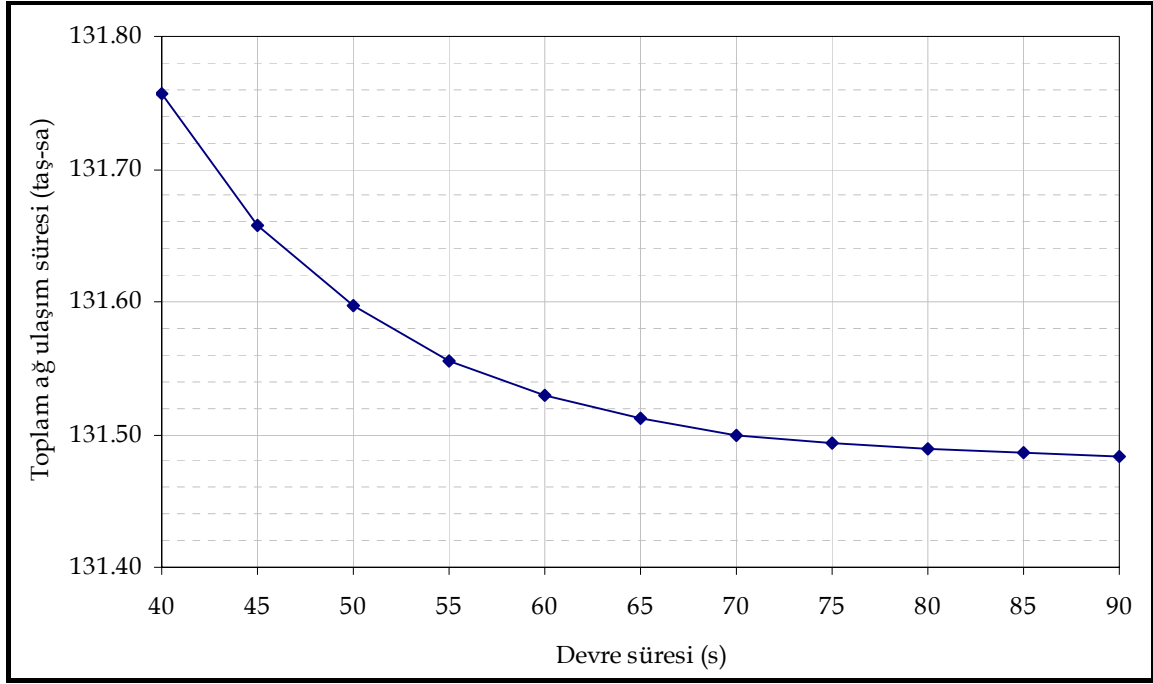


Şekil 8.8. 40 saniyelik devre süresi için oynanan oyunlar boyunca toplam ağ ulaşım süresinin değişimi



Şekil 8.9. 40 saniyelik devre süresi için oynanan 7. oyundaki toplam ulaşım süresinin yakınsama süreci

Tablo 8.4'te, yapılan analizler sonucunda en düşük ağ ulaşım süresinin elde edildiği 90 s'lik devre süresi için denge rota akımları verilmektedir. Atama sonuçları incelendiğinde, her bir B-V çifti içinde bulunan rota akımlarının toplamlarının ilgili B-V talebine eşit olduğu görülmektedir. Bu da, önerilen trafik atama algoritması ile trafik atamasının önemli kısıtlarından olan akım korunumu kısıtının sağlandığını göstermektedir.



Şekil 8.10. 40-90 arasındaki devre süreleri için elde edilen optimum ağ maliyeti değerleri

Tablo 8.4'te dikkat edilmesi gereken hususlardan biri de, rota maliyetleri ile taşıdıkları seyahat talepleri arasındaki ilişkidir. Deterministik kullanıcı denge atamasından farklı olarak stokastik kullanıcı dengesine ulaşıldığı durumda, alternatiflerine göre daha yüksek maliyetli (ulaşım süreli) rotaların da belli miktarda talep gördüğü kabul edilmektedir. Bu durum, sürücülerin yol durumu hakkındaki algılarına düzeylerinin farklılığından kaynaklanmaktadır. 1 numaralı B-V çiftindeki 7 alternatif rotanın akımları ve seyahat süreleri incelendiğinde, 1-2-3 numaralı rotalar diğer dört rotaya göre daha düşük ulaşım maliyetine sahip olduklarından dolayı 320 taş/sa'lik seyahat talebinin büyük kısmını taşımaktadırlar. Aynı zamanda, bu üç rotanın ulaşım maliyeti yaklaşık 190 s civarındadır. 4-5-6-7 numaralı rotalar incelendiğinde, ilk üç rotaya göre daha yüksek ulaşım maliyetine sahip oldukları ve B-V talebinin küçük bir kısmını taşıdıkları görülmektedir. Bu dört

rotanın ulaşım maliyeti ise yaklaşık 240 saniye civarındadır. Tablo 8.5’de çalışma ağındaki 11 sinyalize kavşaktaki 90 s’lik ağ devre süresi için elde edilen faz süreleri verilmiştir.

Tablo 8.4. BOTGA modelinden elde edilen optimum rota akımları ve seyahat süreleri

Rotalar			B-V talebi	Rotalar			B-V talebi
No	Akım (taş/sa)	Seyahat süresi (s)		No	Akım (taş/sa)	Seyahat süresi (s)	
1	105	189.12	320	20	238	91.83	634
2	96	189.19		21	199	91.90	
3	86	191.45		22	180	94.16	
4	8	238.91		23	6	163.15	
5	7	241.17		24	5	165.41	
6	7	243.79		25	6	168.03	
7	11	238.84		26	244	128.11	
8	147	163.83	432	27	138	117.15	138
9	132	163.91		28	148	120.95	148
10	119	166.17		29	99	154.93	332
11	12	213.63		30	233	137.67	
12	10	215.89		31	106	60.70	106
13	11	218.51		32	10	237.94	144
14	332	178.59	33	123	187.52		
15	416	50.56	416	34	10	236.05	244
16	23	188.43	88	35	244	33.98	
17	19	190.69		36	376	68.29	376
18	18	193.31					
19	27	188.35					

Tablo 8.5. BOTGA modellemesi sonucu kavşaklarda elde edilen optimum faz süreleri

Kavşaklar	Faz 1	Faz 2	Faz 3	Faz 4
K105	17	37	18	18
K227	40	14	18	18
K222	19	41	29	---
K223	39	18	33	---
K107	23	9	59	---
K104	23	29	38	---
K225	55	23	13	---
K204	20	48	23	---
K224	10	62	18	---
K205	7	18	47	18
K208	23	32	35	---

8.5.BOTGA Modelinin Sabit Trafik Hacmine Bağlı Tek Kontrol Değişkenli Oyun Yaklaşımı

8.5.1. Ulaşım ağı

Şekil 8.11’de ölçümleri alınan örnek ulaşım ağı verilmiştir. Oyun formüle edilirken ve çözülürken mevcut araziden ölçülmüş link trafik hacimleri kullanılmıştır. Ölçülen trafik hacimleri Tablo 8.6’daki gibidir. Tablodan görülebileceği gibi ulaşım ağında toplam 48 adet link bulunmaktadır. Linklerden 46 tanesi sinyalize ve iki tanesi ise sinyal kontrolsüz olarak işletilmektedir. Çalışmanın amaçlarından bir tanesi hem sinyalize hem de sinyalize olmayan kavşaklarda Stackelberg oyununun oynanabileceğinin ortaya çıkarılmasıdır. Çalışılan ulaşım ağı 11 adet sinyalize ve 2 adet sinyalize olmayan toplam 13 adet kavşaktan meydana gelmekte ve yaklaşık 650 dekarlık bir alanı kapsamaktadır. Bu alan, şimdiye kadar literatürde mevcut en büyük çalışılan ulaşım ağına karşılık gelmektedir.

Şekil 8.11 ve Tablo 8.6’dan görülebileceği üzere 1, 2, 4, 5, 7, 11 ve 12 nolu kavşaklar üç fazlı olup diğer kavşaklar 4 fazlı kavşaklardır. Ulaşım ağında toplam 37 adet faz değişimi ve 27 adet devre süresi değişkeni bulunmaktadır. Bunlardan başka ulaşım ağına ait 11 adet koordine kavşak değişkeni ve bir adet ise kavşaklar arası ortak devre süresi değişkeni mevcuttur.

Tablo 8.6 dikkate alındığında toplam 48 adet sinyal kontrollü link trafik hacimlerinin yanında bu linklerin trafik hacmini topladığı dönüş linklerinin sayısı ise yaklaşık 140 civarındadır. Dönüş linkleri ve taşıdığı trafik hacimleri ulaşım ağının performansını etkileyen en önemli parametrelerden bir tanesidir. Dönüş linklerinin mevcut trafik hacimleri arazi ölçümleri sonucu bulunmuştur.

Mevcut link trafik hacimleri ve sinyalize kavşaklardaki doyunluk akım değerleri şerit başına 1800 taş/sa olarak alınmıştır. Fakat kavşak yaklaşımlarında ilave bir şeridin olması, yol geometrik durumu, şeritlerin bölünüp bölünmemesi durumlarına ve araç parkları dikkate alınarak doyunluk akım değerleri bazı kavşaklarda azaltılmış, bazı kavşaklarda ise artırılmıştır.

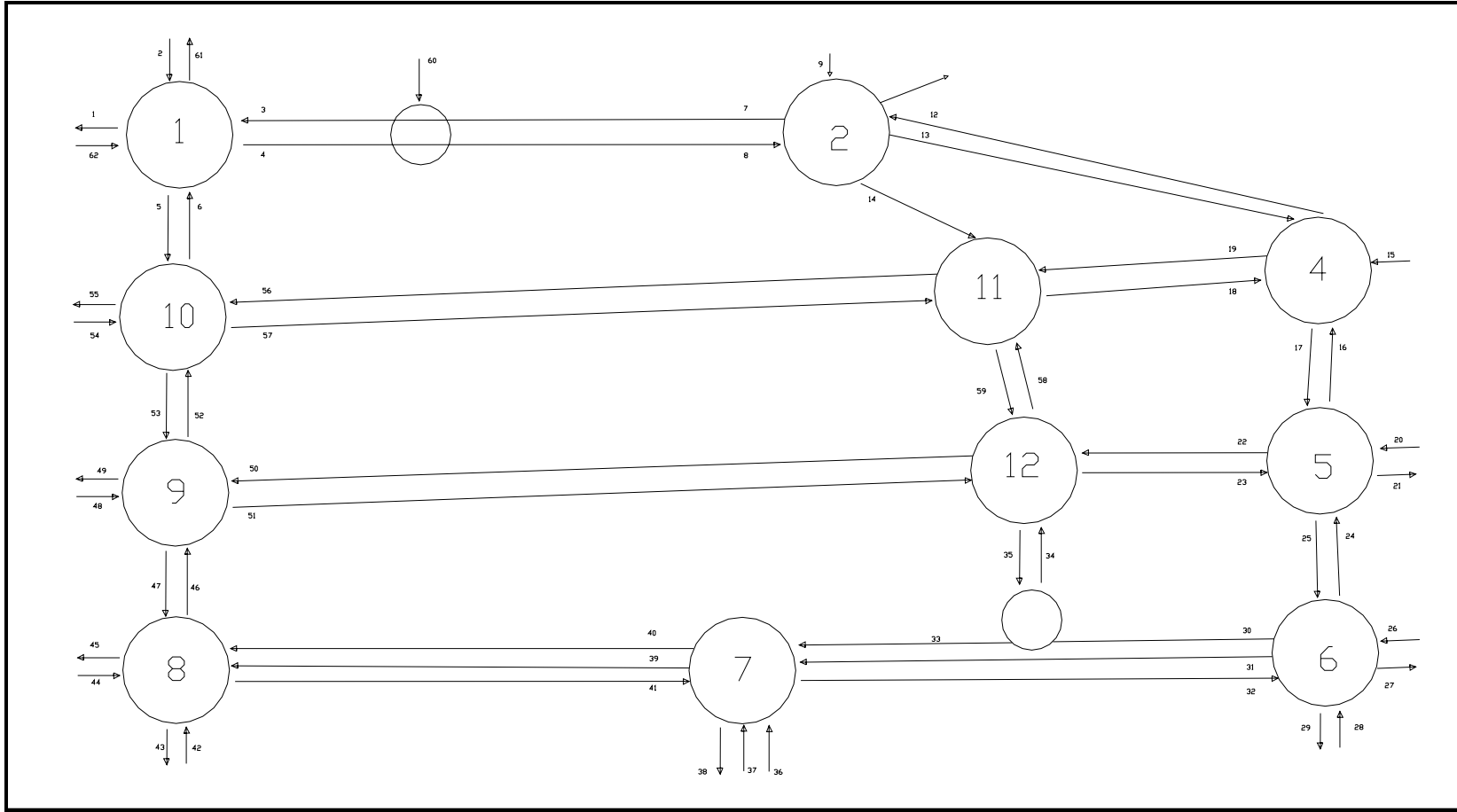
Sabit Trafik Hacmine Bağlı Tek Kontrol Değişkenli Oyun Yaklaşımı (TKDOY)'nin oynanabilmesi için fazlardaki başlangıç kaybı 2 sn ve bitiş kazancı 1 sn olarak ele alınmıştır. Bu oyunda ağ devre süresi değişimine karşılık faz yeşil süreleri eşdeğer kritik doygunluk akım değerlerine göre Trafik Kontrol (TK) programı tarafından hesaplanmıştır.

TKDOY akış şeması Şekil 8.12'de verilmiştir. TKDOY'de kontrol stratejisi olan ağ devre süresindeki değişim sonucunda ulaşım ağının en iyi kontrol stratejisinin ne olabileceği hesaplanmıştır. Ayrıca bu oyun oynanırken sürücülerin veya yol kullanıcılarının oyunun oynanma aşamasında etkilenmedikleri fakat oyun dengeye ulaştıktan sonra etkilendikleri varsayılmıştır. Şekilden görülebileceği üzere model TK verilerini veri dosyasından okuyarak işleme başlamaktadır. Daha sonra verilen veya oluşturulan kontrol stratejilerini kullanarak ağ performansını önceden verilmiş maksimum kontrol stratejisine kadar çözerek ulaşım ağ performansını eniyilemeye çalışmaktadır.

8.5.2. TKDOY Modeli Çıktıları

TKDOY modelinden elde edilen kontrol stratejileri ve ulaşım ağ performansı Şekil 8.13'de verilmiştir. Şekilden görülebileceği üzere, her bir kontrol stratejisi değişimi için ağ performansında iyileşme görülmektedir. TKDOY 102 strateji için oynanmakta ve devre süresi 48 sn ile 150 sn arasında değişmektedir. Bu oyun modelinde ulaşım ağı performansı yaklaşık olarak ulaşım ağı başlangıç ve bitişine göre %19 civarında bir iyileşme sağlamaktadır. Ancak en iyi kontrol stratejisi olarak hesaplanan 93 sn devre süresinin başlangıç koşullarına göre performansı yaklaşık %20 civarında artmıştır.

Aynı zamanda oyun oynanırken TK parametrelerinin eniyilenmesi aşamasında tepe-tırmanma tekniğinden faydalanılmıştır. Tekniğin uygulanması sonucu başlangıç ve bitiş koşullarını gösteren ulaşım ağı performansı Şekil 8.14'de verilmiştir. Bu yöntemle eniyi kontrol stratejisi olan 93 saniyelik devre süresi için elde edilen başlangıç ve bitiş iyileşmeleri yaklaşık olarak %14 daha iyi bulunmuştur.

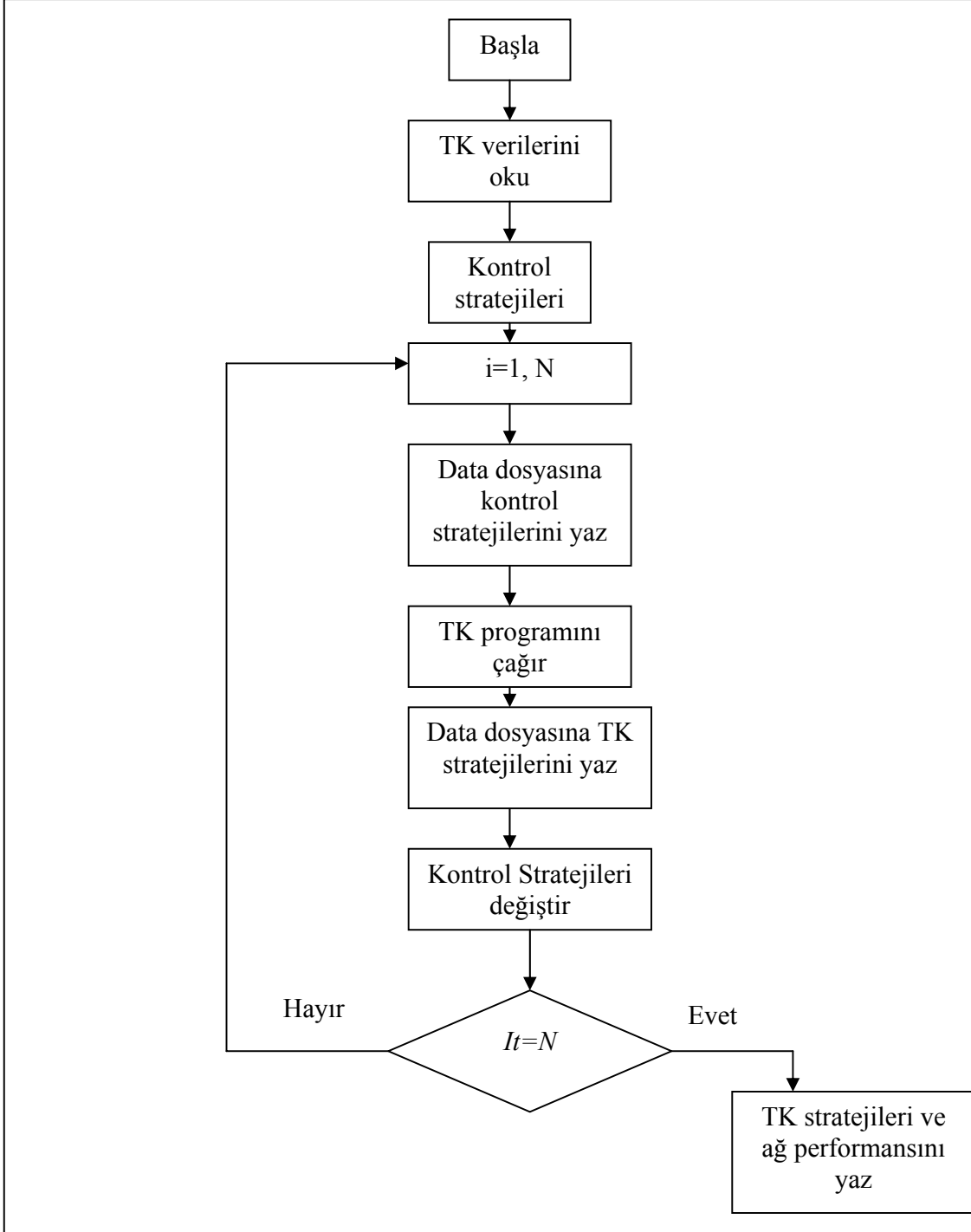


Şekil 8.11. Ölçümleri ve modellenmesi yapılan ulaşım ağı

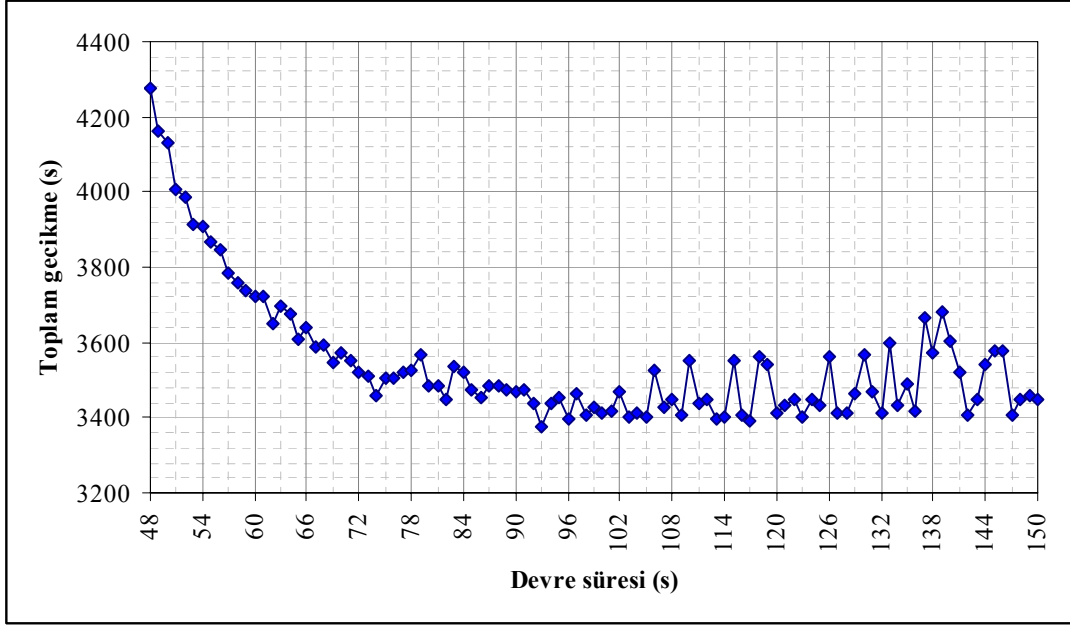
Tablo 8.6. Ulaşım ağı parametreleri ve link trafik hacimleri

Link No	Kavşak	L (m)	V (km/sa)	t0 (sn)	s (taş/sa)	q (taş/sa)	Üstlink 1		Üstlink 2		Üstlink 3	
							Link no	q1 (taş/sa)	Link no	q2 (taş/sa)	Link no	q3 (taş/sa)
1	1	10	36	1	1800	867						
2	1	10	36	1	2700	875						
3	1	210	36	21	2700	1230	7	1000	60	230		
5	10	500	36	50	1800	489	1	400	2	600	3	110
6	1	500	36	50	1800	651	56	453	52	599	54	243
7	2	500	36	50	1800	1000	9	100	12	850		
8	2	710	36	71	2700	1399	6	251	2	675	1	367
9	2	30	36	3	1800	150						
12	2	210	36	21	2700	809	15	213	16	484	18	153
13	4	210	36	21	2700	1300	8	809	9	53		
14	11	300	36	30	1800	387	9	53	8	99		
15	4	10	36	1	2700	1069						
16	4	345	36	35	2200	484	20	500	24	297		
17	5	345	36	35	1900	1611	18	500	13	658	15	450
18	4	260	36	26	2200	553	14	50	57	338	58	185
19	11	260	36	26	2200	642	13	150	15	669	16	184
20	5	10	36	1	1800	393						
22	12	300	36	30	1800	800	17	611	20	193		
23	5	300	36	30	1900	789	34	300	51	200	59	339
24	5	100	36	10	1800	897	26	678	29	200	32	584
25	6	100	36	10	2200	759	23	189	17	611	20	150
26	6	10	36	1	1800	879						
29	6	10	36	1	1800	483						
30	0	400	36	40	1500	1157	25	400	26	1500	29	150
31	7	600	40	54	3600	2383						
32	6	600	36	60	4500	2383	36	2000	41	939		
33	7	200	36	40	3600	1347	35	400	30	1957		
34	12	250	36	25	1800	333	30	183				
35	0	250	36	25	1800	921	51	338	59	237	22	350
36	7	10	36	1	3600	1900						
37	7	10	36	1	3600	1900						
39	8	525	36	53	4500	3200	33	1347	37	1900		

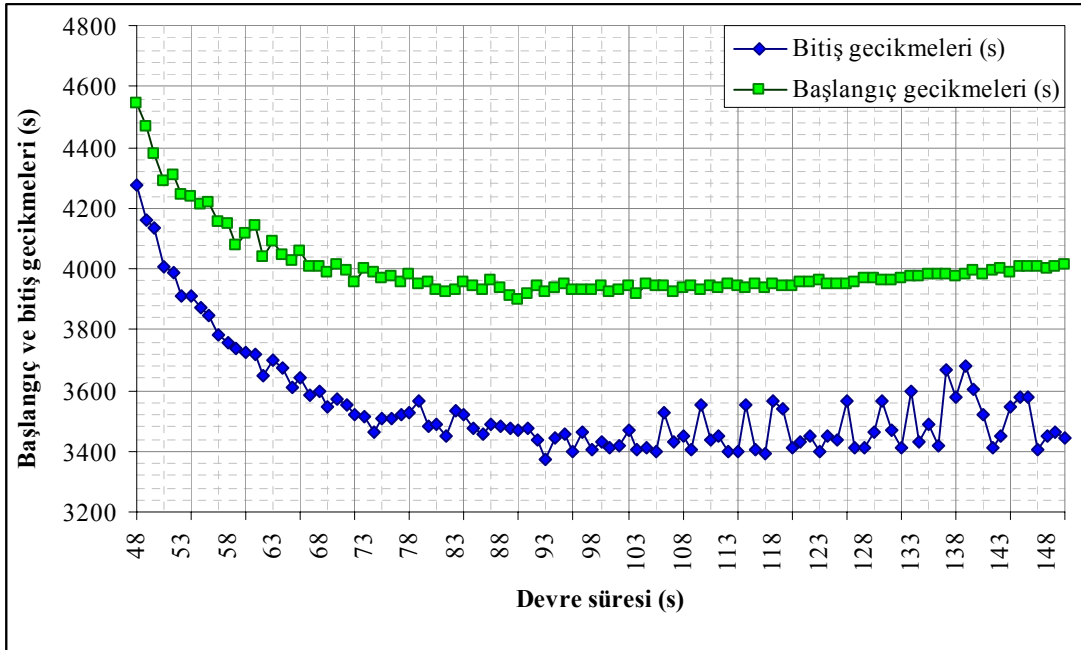
Link No	Kavşak	L (m)	V (km/sa)	t0 (sn)	s (taş/sa)	q (taş/sa)	Üstlink 1		Üstlink 2		Üstlink 3	
							Link no	q1 (taş/sa)	Link no	q2 (taş/sa)	Link no	q3 (taş/sa)
41	7	525	36	52.5	4500	2160	42	519	44	950	47	700
42	5	10	36	1	1800	680						
44	8	10	36	1	1800	814						
46	9	250	36	25	2200	1291	39	1200	42	150	44	200
47	8	250	36	25	2200	1176	48	300	53	600	50	119
48	9	10	36	1	1800	600						
50	9	780	36	78	1800	619	59	257	22	300	34	250
51	12	780	36	78	1800	852	46	252	48	350	53	300
52	10	460	36	46	1800	699	50	250	46	891	48	362
53	9	460	36	46	1800	700	54	200	5	480	56	281
54	10	10	36	1	1800	243						
56	10	910	36	91	1800	438	14	238	19	250	58	250
57	11	910	36	91	1800	453	54	240	5	158	52	432
58	11	340	36	34	1800	339	22	160	34	135	51	180
59	12	340	36	25	1800	685	57	253	14	187	19	142
60	0	70	36	7	1200	200						



Şekil 8.12.TKDOY modelinin bilgisayar programı akış şeması



Şekil 8.13. TKDOY’ndan elde edilen çıktılar



Şekil 8.14. TKDOY modelinde tepe tırmanma metodu kullanılması sonucu elde edilen iyileşmeler

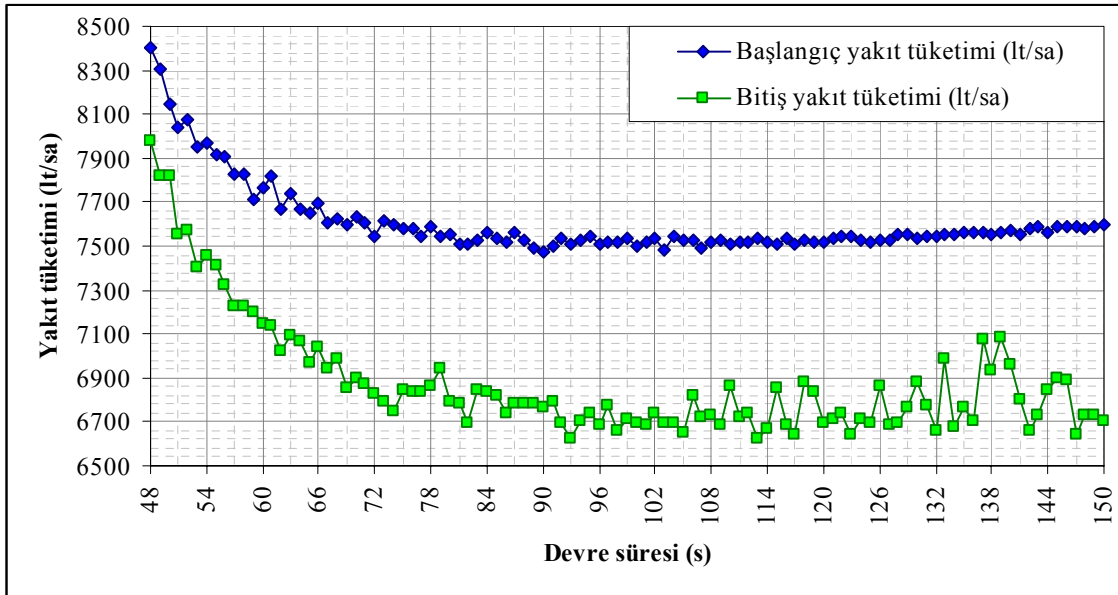
TKDOY’de her bir kontrol stratejisi değişimi için yakıt tüketimindeki değişimler hesaplanmıştır. Yakıt tüketimi hesapları aşağıdaki ifadeler kullanılarak bulunmuştur.

$$f_c = 17.0 - 0.455 + 0.0049V^2 \text{ (litre/100veh - km)}$$

$$f_s = 77010^{-8}V^2 \text{ (litre/1 veh - stop)}$$

Burada f_c sabit küme hızını, f_s dur/kalk pozisyonunda tüketilen yakıt miktarını ve V ise kütle hızını (km/sa) göstermektedir. Hesaplamalarda dur/kalk durumunun yanında ulaşım ağını oluşturan linklerdeki ekonomik hızlarda göz önüne alınmıştır. Gecikme periyodu boyunca tüketilen yakıt 1.4 lt/ta-sa olarak sabit oranda kabul edilmiştir. Yakıt tüketimi büyük ölçüde araç tipine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu nedenle trafik kompozisyonu şehir içi ulaşım ağlarında sıkça görülen oranlar olan % 82 özel oto, %10 hafif ticari araçlar ve % 8'de orta ve ağır ticari araçlar ve otobüsler olarak ele alınmıştır (Vincent ve diğ., 1980).

Yakıt tüketimi denklemlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 8.15'de verilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi başlangıç ve bitiş kontrol stratejileri için elde edilen yakıt tüketimindeki iyileşme yaklaşık olarak % 52 olarak bulunmuştur. Eniyi kontrol stratejisi olarak hesaplanan 93 saniye devre süresi için hesaplanan yakıt tüketimi iyileşmesi ise yaklaşık %21 civarındadır.

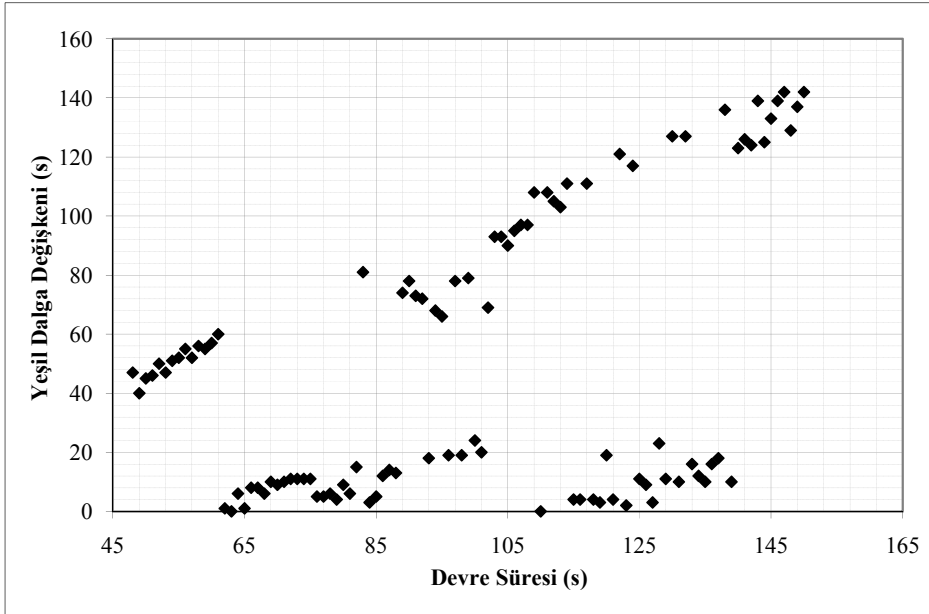


Şekil 8.15. Başlangıç ve bitiş kontrol stratejileri için yakıt tüketimi değişimi

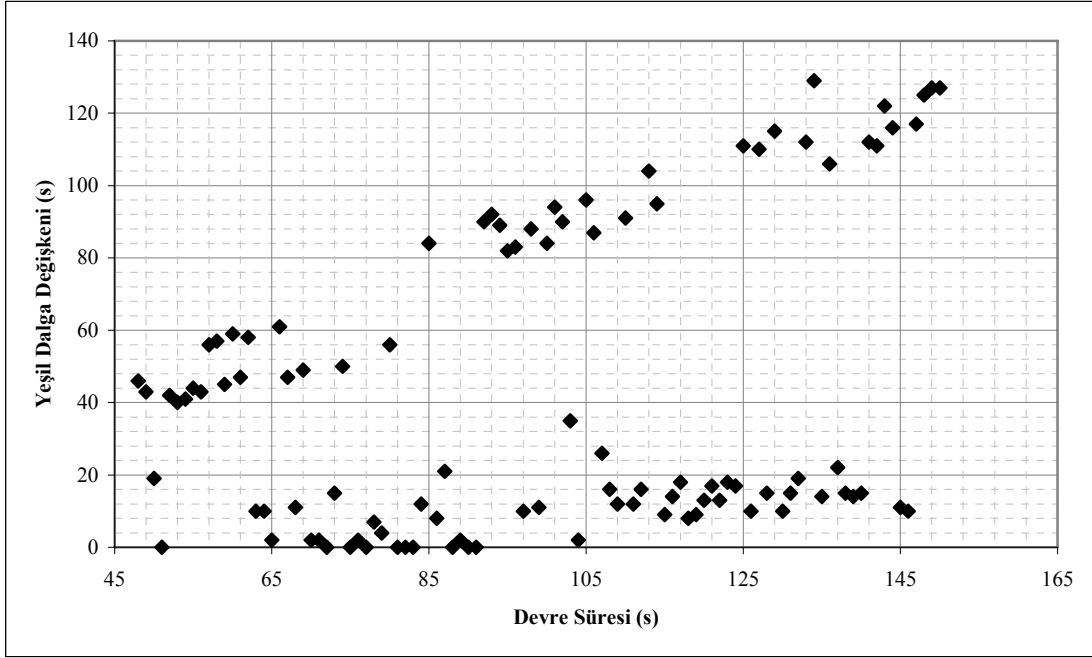
Bu sonuçlardan anlaşılacağı üzere TKDOY modeli mevcut literatüre göre ulaşım ağ performansını eniyileyerek hem ulaşım ağı seyahat süresini hem de yakıt tüketimini yaklaşık

olarak %20 civarında iyileştirmektedir. Bu iyileşmenin diğer önemli bir sonucu ise sinyalizasyon kavşakları arasında yeşil dalga parametrelerinin (ofset)'de oyun stratejisinde değişken olarak kullanılmasıdır. Ofset ve faz yeşil süreleri hesaplanırken tepe tırmanma metodundan faydalanılmıştır. Kavşak 1 ve 6'daki faz 1 için örnek ofset dağılım değişkenleri Şekil 8.16 ve 8.17'de verilmiştir.

Şekillerden görülebileceği gibi ofset değişkenleri tamamen gelişigüzel değişkenler olup aslında devre süresi ile aralarında bir ilişki bulunmamaktadır. Bu sebeple TK probleminin zorluğu açıkça ortaya çıkmaktadır.



Şekil 8.16. 1 nolu kavşaktaki yeşil dalga değişkeni ve devre süresi ilişkisi



Şekil 8.17. 6 nolu kavşağıdaki yeşil dalga değışkeni ve devre süresi ilişkisi

8.5.3 Trafik Kontrol ve Trafik atama arasındaki Stackelberg oyunu

Stokastik kullanıcı dengesi altında geliştirilen (TKTASO) oyun modeli, logit rota seçim modeline göre p rotası $i-j$ B-V çifti arasında aşağıdaki bağıntıya uygun olasılıkla seçilmektedir:

$$p_p^w(g) = \frac{e^{-\alpha C_p}}{\sum_{k \in P_w} e^{-\alpha C_k}}, \quad \forall k \neq p \in P_w, \quad \forall w \in W \quad (8.28)$$

Stokastik denge durumunda rota trafik hacimleri,

$$h_p = t_w P_p^w(\mathbf{g}(\mathbf{h})), \quad \forall p \in P_w, \quad \forall w \in W \quad (8.29)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Buna bağılı olarak, aşağıdaki akım ve seyahat süresi korunum bağıntıları yazılabilir.

$$\mathbf{q} = \delta \mathbf{h} \quad (8.30)$$

$$\mathbf{g}(\mathbf{q}) = \delta^T \mathbf{c}(\mathbf{q}) \quad (8.31)$$

$$\mathbf{t} = \Lambda \mathbf{h} \quad (8.32)$$

Denklem (8.30), link ve rota trafik hacimleri arasındaki akım korunumu şartını ifade etmektedir. (8.31) bağıntısında ise rota ve link seyahat süreleri arasındaki korunum ilişkisi verilmektedir. B-V talebinin rotalara korunarak dağıtılmasını sağlayan ifade ise Denklem (8.32)'de verilmektedir.

SKD eşdeğer enküçükleme probleminin çözümü için Bell ve Iida (1997) tarafından önerilen amaç fonksiyonu şu şekildedir:

$$\mathbf{t} = \Lambda \mathbf{h} \quad \mathbf{q} = \delta \mathbf{h} \quad \mathbf{h} \geq 0 \quad (8.33)$$

$$y(q) = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\sum_{p \in P_w} e^{-\alpha C_p} \right), \quad \forall w \in \mathbf{W} \quad (8.34)$$

kısıtlarına bağlı olarak,

$$\min Z(\mathbf{q}) = -\mathbf{t}^T \mathbf{y}(\mathbf{q}) + \mathbf{q}^T \mathbf{c}(\mathbf{q}) - \sum_{a \in \mathbf{L}} \int_0^{q_a} c_a(x) dx \quad (8.35)$$

Burada α , yol kullanıcılarının bilgi düzeylerini temsil eden duyarlılık parametresidir. Trafik hacmine bağlı olarak artış gösteren link maliyet fonksiyonu için aşağıdaki dönüşüm yapılabilir:

$$\sum_{a \in \mathbf{L}} \int_{c_{\min}}^{c_a} q_a(x) dx = \mathbf{q}^T \mathbf{c}(\mathbf{q}) - \sum_{a \in \mathbf{L}} \int_0^{q_a} c_a(x) dx \quad (8.36)$$

Link trafik hacimleri, link maliyetlerinin bir işlevi olarak yazıldığında Denklem (8.36) aşağıdaki hale dönüşür:

$$Z(\mathbf{q}) = -\mathbf{t}^T \mathbf{y}(\mathbf{c}) + \sum_{a \in L} \int_{c_{\min}}^{c_a} q_a(x) dx \quad (8.37)$$

(8.37) nolu denklemin link maliyetlerine göre türevi alındığında (8.38) bağıntısı elde edilir:

$$\Delta Z(\mathbf{q}) = -\mathbf{t}^T (\partial \mathbf{y} / \partial \mathbf{c}) + \mathbf{q}^T \quad (8.38)$$

Beklenen en düşük B-V maliyetlerinin link maliyetlerine göre Jakobiyeni, link seçim oranlarına eşittir ve aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\partial \mathbf{y} / \partial \mathbf{c} = \mathbf{P}^T \quad (8.39)$$

Enküçükleme problemi için birinci derece türev sıfıra eşitlendiğinde minimum çözüm noktasını verir.

$$\Delta Z(\mathbf{q}) = -\mathbf{t}^T (\partial \mathbf{y} / \partial \mathbf{c}) + \mathbf{q}^T = 0 \quad (8.40)$$

(8.37) nolu bağıntının akım korunumu ve pozitiflik kısıtlarına bağlı olarak enküçükleme SKD çözümünü vermektedir. Sonuç olarak, SKD akımları eşdeğer matematiksel programın çözümüyle elde edilebilir.

Tekillikle ilgili olarak, çözüm bölgesinde amaç fonksiyonunun Hessian matrisinin pozitif tanımlı olduğunu göstermek yeterli olacaktır. Bu durumda matematiksel programın tam anlamıyla konveks olduğu söylenebilir. Denklem (8.37)'nin Hessianı Denklem (8.41)'de verilmiştir.

$$\nabla^2 Z(\mathbf{q}) = \sum_{w \in W} -t_w (\partial y_w / \partial c \partial c) + \mathbf{J}^{-1} \quad (8.41)$$

Burada Jakobiyen değeri ise Denklem (8.42)'deki gibidir.

$$\mathbf{J} = \partial \mathbf{c} / \partial \mathbf{q} \quad (8.42)$$

Yukarıda formülasyonları verilen Stokastik trafik atama problemi rota trafik hacmi tahmin edici (PFE) ile çözümlenmiştir. PFE algoritması; sürücü rota seçimlerinin, algılanan rota maliyetlerine bağlı gerçekleştiği prensibine dayanan logit SKD modelini kullanmaktadır. Bu algoritma, hem çevrimiçi şehiriçi trafik yönetimi hem de çevrimdışı ulaşım planlaması için trafik atama probleminin çözümü amacıyla geliştirilen bir yazılımdır. Algoritmanın temel amacı, algılama hataları göz önüne alınarak tüm sürücülerin en kısa rotaları algıladıkları kabulüne dayanarak denge koşullarını sağlayan rota ve link trafik hacimlerinin elde edilmesidir. Bu amaçla PFE, rotalara logit rota seçim modeline uygun şekilde akımlar atamaktadır. Aşağıda verilen eniyileme problemi incelendiğinde,

$$\mathbf{t} = \Lambda \mathbf{h} \quad \mathbf{q} = \delta \mathbf{h} \quad \mathbf{h} \geq 0 \quad (8.43)$$

kısıtına bağlı olarak,

$$\min Z(\mathbf{h}) = \mathbf{h}^T (\ln(\mathbf{h}) - 1) + \alpha \sum_{a \in L} \int_{x=0}^{x=q} c_a(x) dx \quad (8.44)$$

$Z(\mathbf{h})$ 'ın Hessian'ının pozitif tanımlı olmasından dolayı tam olarak konveks olduğu anlaşılmaktadır. Konveks eniyileme problemi için gerekli gradyen vektörü şu şekildedir:

$$\nabla Z(\mathbf{h}) = \ln(\mathbf{h}) + \alpha \mathbf{g}(\mathbf{h}) \quad (8.45)$$

(8.45) nolu bağıntının çözümü için Powell ve Sheffi (1982) tarafından ardışık ortalamalar yöntemi tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemin adımları şu şekilde sıralanabilir:

Adım 1 (başlangıç)

$$q \leftarrow 0$$

$$n \leftarrow 1$$

Adım 2 (sabit link maliyetleri için logit atama)

$$c \leftarrow c(q)$$

$$q^* \leftarrow c \text{ için logit atama}$$

Adım 3 (ardışık ortalamalar yöntemi)

$$q \leftarrow q(1-1/n) + q^*(1/n)$$

yakınsama yeterli ise dur, değilse Adım 2'ye dön.

PFE, ağ yapısı, B-V seyahat matrisi, link maliyet fonksiyonları gibi verilerin girilmesi durumunda SKD ataması probleminin çözümü için ardışık ortalamalar yöntemi ile kombine edilmiş bir iteratif dengeleme algoritması kullanmaktadır (Bell ve diğ., 1997). PFE algoritmasına ilişkin akış diyagramı Şekil 8.18'de verilmiştir.

Başlangıç ve veri girişi	$q_a \leftarrow 0, \quad \forall a \in \mathbf{L}$ $c_a \leftarrow c_a(q_a), \quad \forall a \in \mathbf{L}$ $n \leftarrow 0, \quad \text{iterasyon sayacı}$
Tekrarla	
Link maliyetlerini güncelle	$n \leftarrow n + 1$ $c_{an+1} = (1/n)c_a(q_a) + (1-1/n)c_a, \quad \forall a \in \mathbf{L}$
En hızlı rotaları oluştur ve yeni rotaları link/rota belirleme matrisine depola	$\delta_{ap} \leftarrow 1 \text{ veya } 0, \quad \forall a \in \mathbf{L}, \quad \forall p \in \mathbf{P}_w$
Yeni rota maliyetlerini hesapla	$g_p = \sum_{a \in \mathbf{L}} \delta_{ap} c_a, \quad \forall p \in \mathbf{P}_w$
Yeni rota trafik hacimlerini hesapla	$h_p \leftarrow t_w \frac{e^{-\alpha g_p}}{\sum_{p \in \mathbf{P}_w} e^{-\alpha g_p}}, \quad \forall p \in \mathbf{P}_w, \quad \forall w \in \mathbf{W}$
Yeni link trafik hacimlerini hesapla	$q_a \leftarrow \sum_{p \in \mathbf{P}_w} \delta_{ap} h_p, \quad \forall a \in \mathbf{L}$

Şekil 8.18. PFE algoritma adımları

Trafik atama amacıyla Şekil 8.11, Şekil 8.19'daki gibi modifiye edilmiştir. Stokastik trafik atama (STA) amacıyla geliştirilen Şekil 8.20 dönüş linkleriyle birlikte toplam 181 linki içermektedir. 181 linkten 48'i ana link diğerleri ise dönüş linkleridir. STA kullanılırken dönüş linklerine 20000 araç/sa'lık bir kapasite verilerek taşıtlar dönerken sinyal kontrolünden etkilenmemesi sağlanmaya çalışılmıştır. PFE algoritması bu çalışmaya uygulanırken rota üretimleri değişken olarak ele alınmış ve "kolon üretim" tekniği ile birlikte en kısa yol algoritması kullanılmıştır.

Ulaşım talebi için ağa giren ve çıkan tüm hatlarda B-V sayımları yapılarak talep bulunmuştur. Bulunun B-V talepleri Tablo 8.7'de verilmiştir. Ulaşım ağı 14 başlangıç ve 11 varış içermekte ve toplam olarak 122 adet B-V çifti bulunmaktadır. 640 dekarı kaplayan 11 sinyalize kavşaklı ulaşım ağındaki toplam trafik talebi saatlik 14784 olup bu talep yüksek bir değere karşılık gelmektedir.

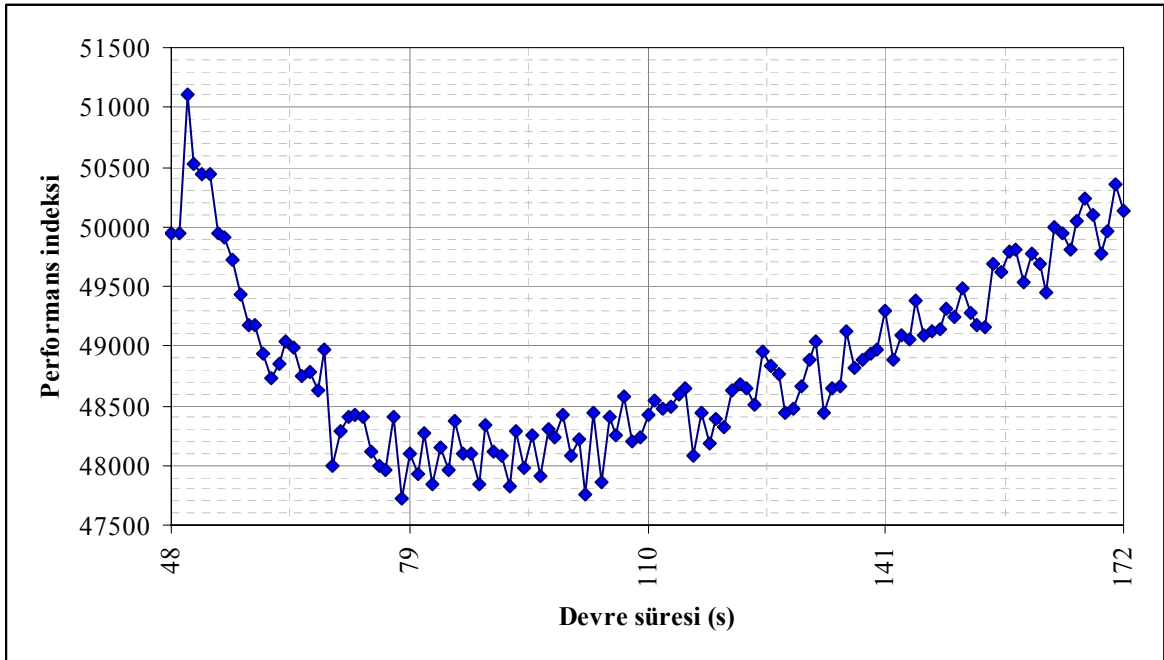
TKTASO oyunu iki farklı şekilde çözülmüştür. Bunlardan birincisi TK problemi ile SKD altındaki TA problemi iteratif olarak çözümlenmiştir.

İteratif Stackelberg oyunu (İSO):Şekil 8.20'de İSO çözümü verilmiştir. Çözümde kontrol stratejisi olarak ağ devre süresi ele alınmıştır. Link trafik hacimleri TA programından elde edilen SKD trafik hacimleri olarak her iterasyonda değişim göstermektedir. Stackelberg oyununda her bir kontrol stratejisi değişimine yol kullanıcılarının verdiği tepkiler dikkate alınmıştır. Şekilden görülebileceği üzere iteratif oyun rastgele bir başlangıç noktasından çözüme başlamakta ancak ağ performansını eniyilememektedir. Ayrıca Dickerson (1981)'inde ifade ettiği gibi iteratif çözümde iyi bir yakınsama elde edilememektedir. Ağ performansı bu çözümde %7'lik bir iyileşme sağlamaktadır. Bir önceki oyundan farklı olarak eniyi ağ devre süresi 83 sn civarına inmiştir. Önceki oyunda 93 sn olan ağ devre süresinin 10 sn daha azaldığı hesaplanmıştır.

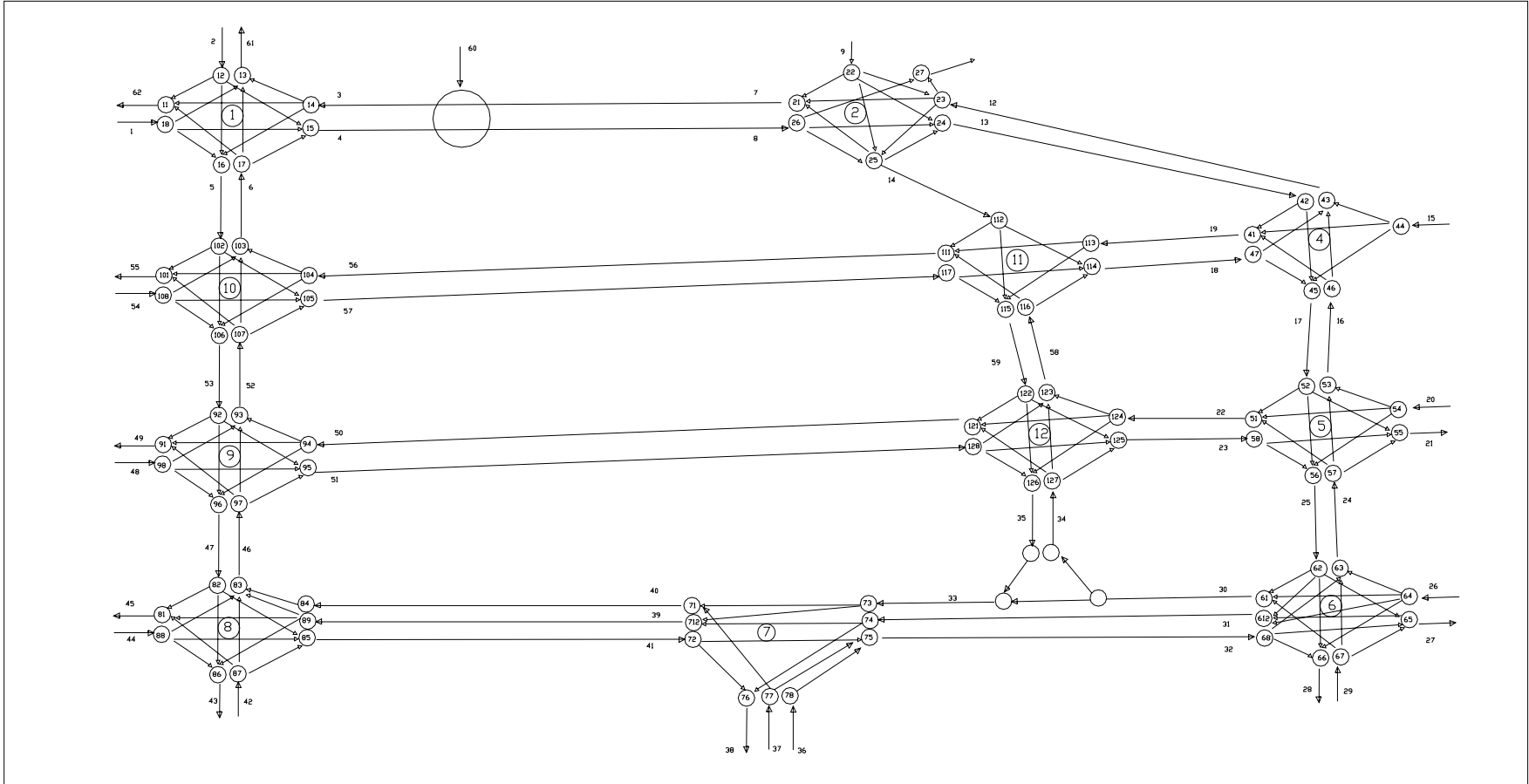
İSO oyununda ağ performansında başlangıca göre %6 oranında bir düşüş olduğu hesaplanmıştır.

Tablo 8.7. B-V talebi

		V										
B	62	61	2763	21	27	28	38	43	45	49	55	
1			58	150	130	250	160	225	121	140	120	1354
2			150	90	120	75	100	70	180	50	100	935
60	130	120			30		80	30	60	70	50	570
15	150	150	70	151	121	100	167	112	194	100		1315
9	20	30		30	40	20	55	18	10	15	10	248
20	90	90	50		140	50	150	70	82	60	90	872
26	80	80	30	150			150	80	120	80	85	855
29	60	95	30	150			150	40	130	175	90	920
36	130	230	120	200		250						930
37	170	130						70	170	100	230	870
42	150	200	130	100	170	80	260			230	280	1600
44	180	150	50	180	350	60	300			90	280	1640
48	120	180	160	130	130	80	280	80	100		170	1430
54	160	100	60	100	110	80	220	185	160	70		1245
	1440	1555	908	1431	1341	1045	2072	980	1327	1180	1505	14784



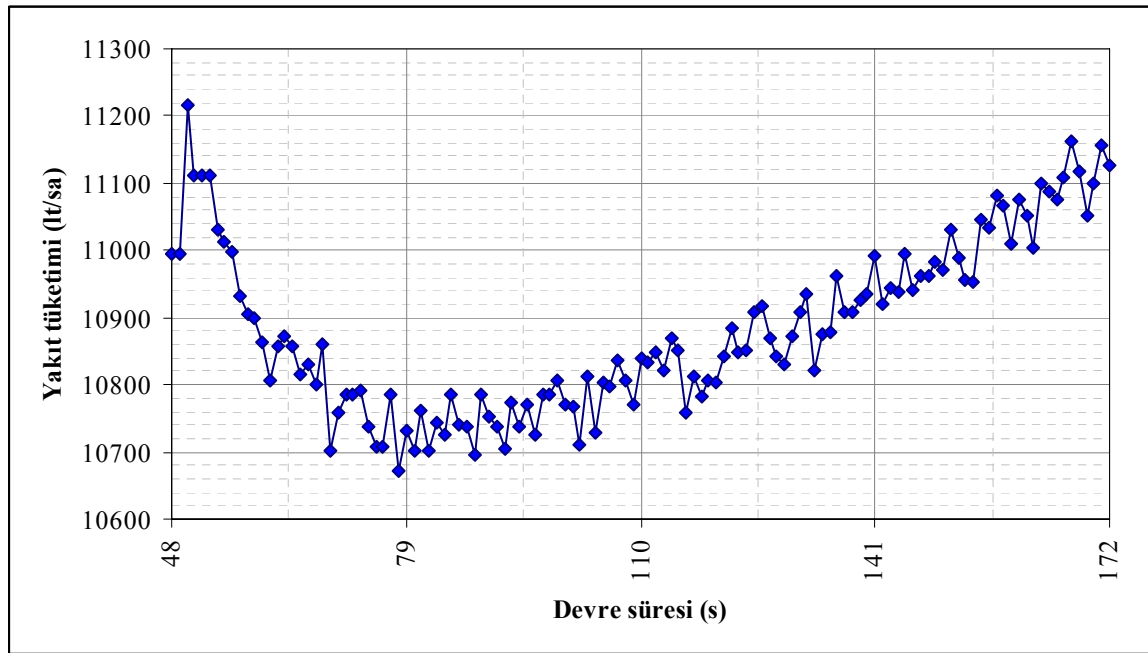
Şekil 8.20. İteratif TA ve TK çözümünden elde edilen ağ performansı



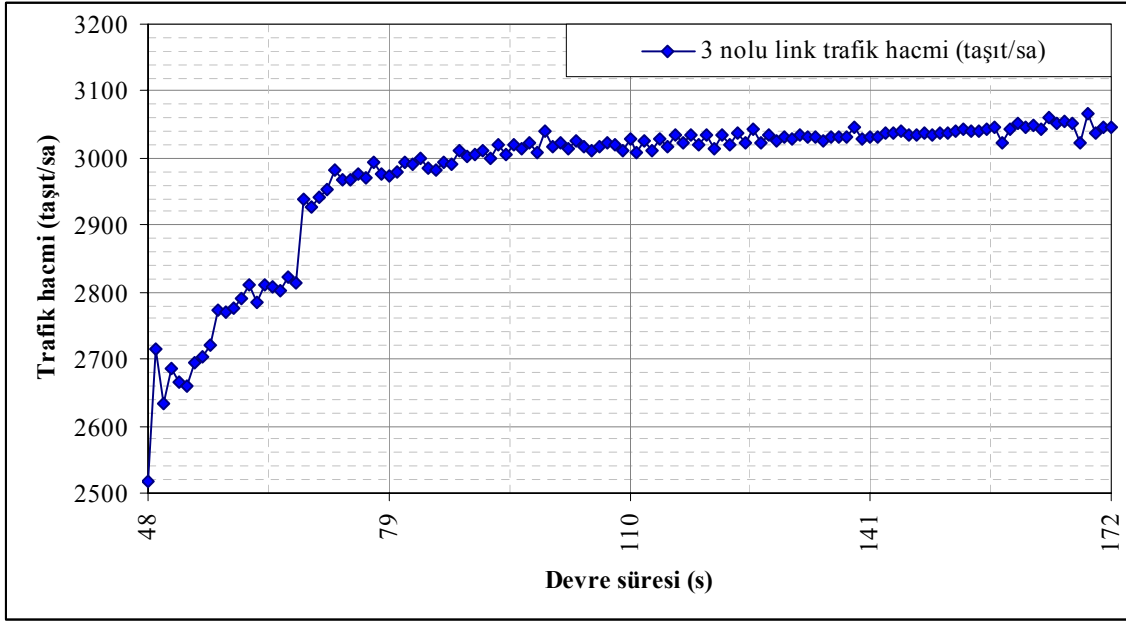
Şekil 8.19. Stokastik trafik ataması için modifiye edilen ulaşım ağı

Benzer şekilde İSO sonucu elde edilen yakıt tüketimleri Şekil 8.21’de verilmiştir. İSO’dan elde edilen yakıt tüketimine bakıldığında eniyi kontrol stratejisi olan 83 sn devre süresi için yakıt tüketimindeki iyileşme başlangıca göre yaklaşık % 4 civarındadır. Bu değer İSO oyununun ağ performansını önemli ölçüde eniyilemediği sonucunu doğurmaktadır.

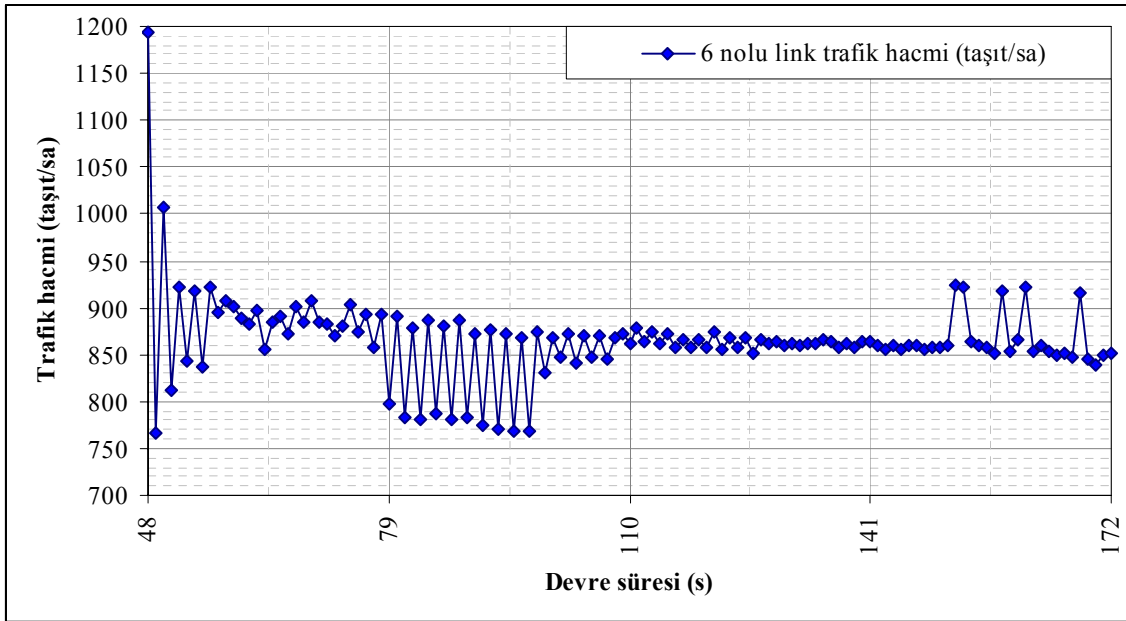
İSO oyununda her bir kontrol stratejisi değişimi sonucu elde edilen stokastik kullanıcı dengesi altındaki link trafik hacimlerinden bazıları Şekil 8.22a-8.22f de verilmiştir. İSO oyunu altında şekillerden görülebileceği üzere denge link trafik hacimleri, her bir kontrol değişkeni ulaşım ağına trafik işletimcisi tarafından uygulandığı zaman, linklere olan trafik talebi değişmekte ve herhangi bir yakınsama meydana gelmemektedir. Bunun sebeplerinden en önemlisi İSO’nun yakınsama problemi olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü TA problemi konveks yapıdayken TK problemi ise dışbükey yapıda olup iki problemin matematiksel olarak birlikte ifade edilmesi ortaya bazı olumsuzluklar çıkarmaktadır.



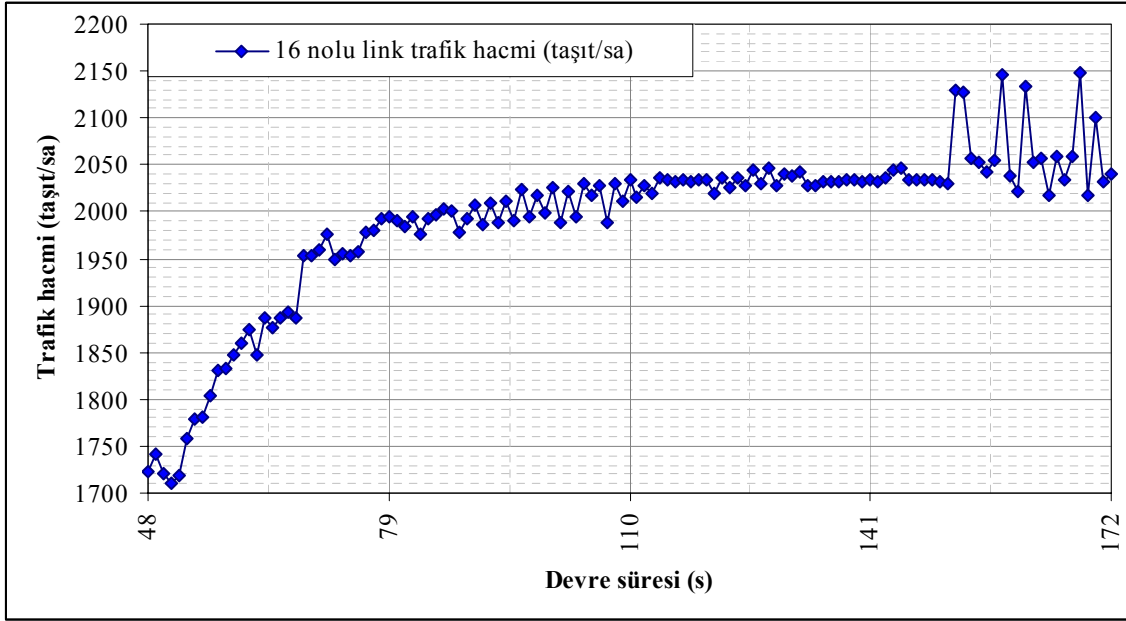
Şekil 8.21. İteratif Stackelberg oyununda yakıt tüketimi değişimi



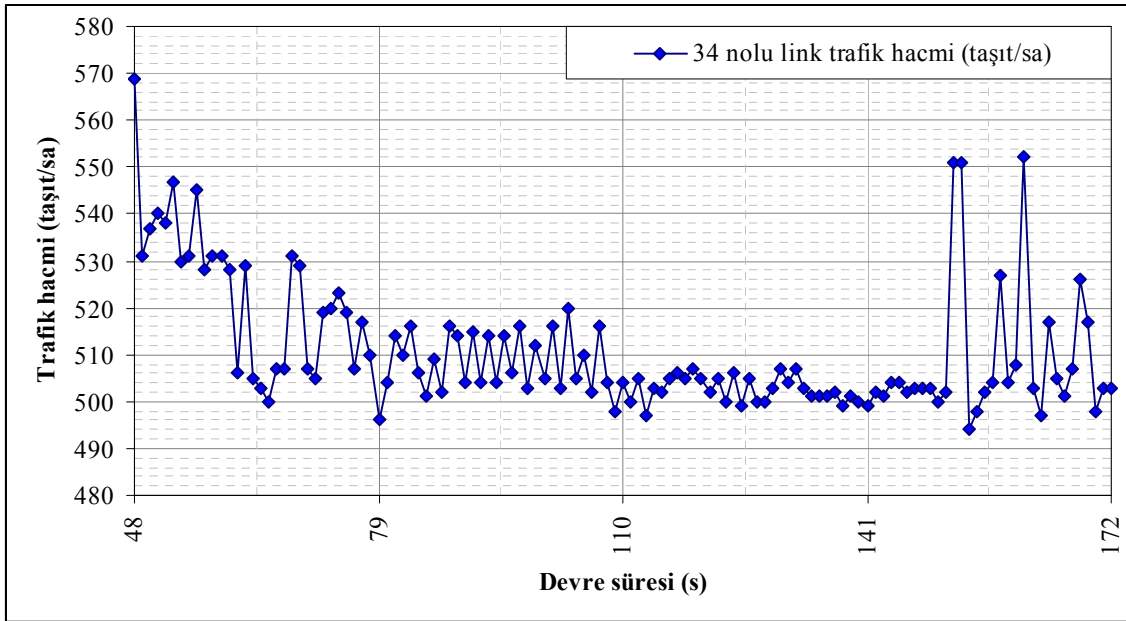
Şekil 8.22a. 3 nolu linkteki denge trafik hacmi



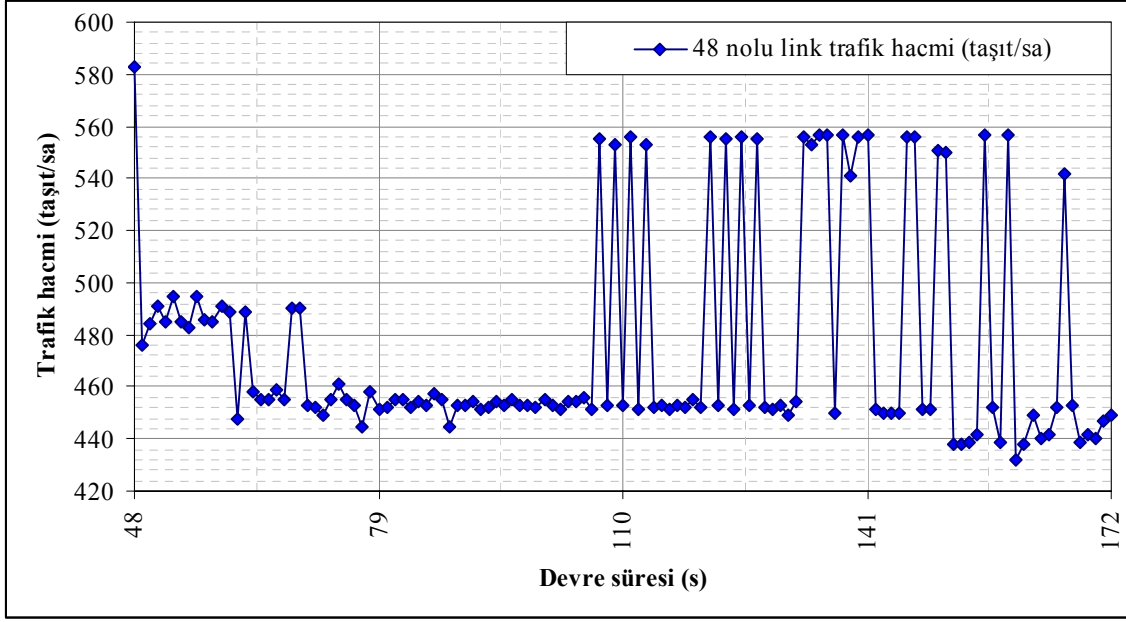
Şekil 8.22b. 6 nolu linkteki denge trafik hacmi



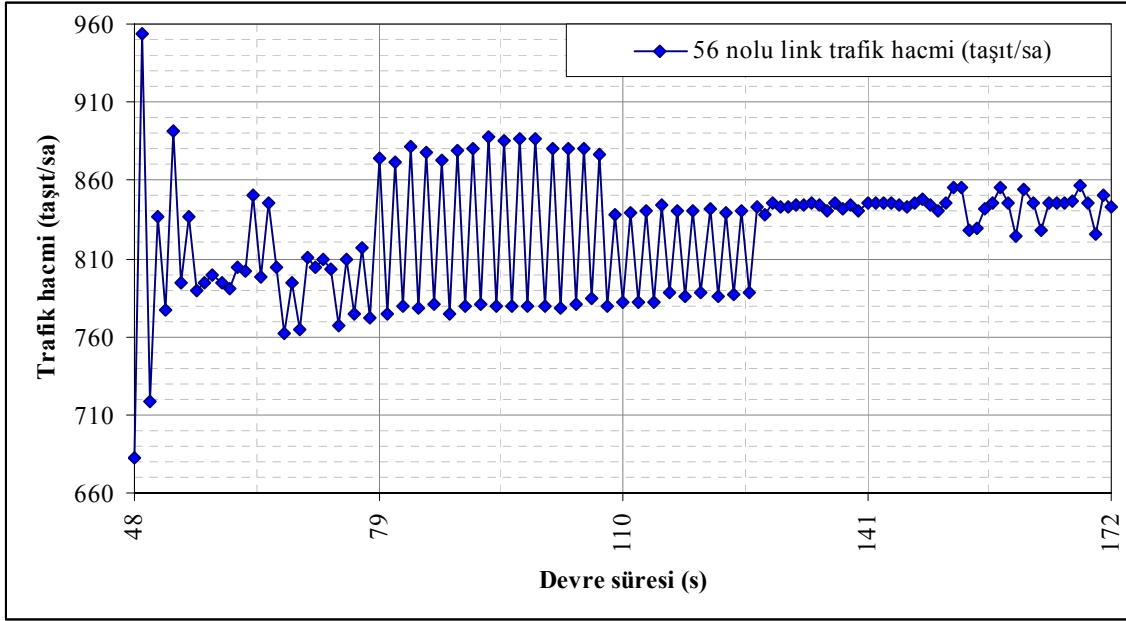
Şekil 8.22c. 16 nolu linkteki denge trafik hacmi



Şekil 8.22d. 34 nolu linkteki denge trafik hacmi



Şekil 8.22e. 48 nolu linkteki denge trafik hacmi



Şekil 8.22f. 56 nolu linkteki denge trafik hacmi

İki seviyeli tek adımlı Stackelberg oyunu (İSTASO)'nun oynanabilmesi için üst seviye olan trafik kontrol stratejileri bir strateji havuzundan elde edilmiştir. Strateji havuzu GA tabanlı bir algoritma ile üretilmiştir. Üretilen kontrol stratejilerine bağlı olarak yol kullanıcılarının (alt seviye oyuncusu) en iyi stratejileri elde edilmeye çalışılmıştır.

İSTASO oyununun oynanabilmesi için aşağıdaki formülasyon kullanılmıştır.

$$\Psi(c, \theta, \phi) \in \Omega_0 ; \left\{ \begin{array}{l} c_{\min} \leq c \leq c_{\max} \\ 0 \leq \theta \leq c \\ \phi_{\min} \leq \phi \leq \phi_{\max} \\ \sum \phi = c \end{array} \right. \quad \text{kısıtlarına bağlı olarak;}$$

$$\text{Min}_{\Psi \in \Omega_0} PI(\Psi) = \sum_{a \in L} (Ww_a D_a(\Psi) + Kk_a S_a(\Psi)) \quad (8.46)$$

$$\text{Mak } F(\mathbf{x}) = \frac{1}{\sum_{a \in L} (Ww_a D_a(\Psi) + Kk_a S_a(\Psi))} \quad (8.47)$$

Ψ , Ω_0 içinde, sinyal süreleri kümesinin vektörüdür. \mathbf{x} strateji kümesi olup, $\Psi \in \Omega_0$. F ise, amaç fonksiyonu olup, enbüyüklenmesi gereken bir değerdir.

Uygunluk fonksiyonu (F), Ψ sinyal süresi değişkeninin kümesini aldığı kabul edilirse $\Psi = (c, \theta_1, \phi_1, \dots, \theta_n, \phi_n) : R^{ZZ} \rightarrow R$ şeklinde ifade edilebilir. Ayrıca, karar değişkeni Ψ değerlerini, her $\Psi \in \Omega_0$ için $\Omega_0 = [\Psi_{\min}, \Psi_{\max}] \subseteq R$, den almaktadır. Amaç fonksiyonunu eniyilemek için karar değişkenlerini belli bir hassaslıkla kodlamak gerekmektedir. Kodlama süreci aşağıda gösterildiği gibidir.

$$\text{Karar değişkenleri} \quad \Psi = \quad |c \quad | \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n | \quad | \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n |$$

Alt zincirlerin uzunluğu ve karar değişkenlerinin istenilen hassaslıkları aşağıdaki ilişkiler kullanılarak belirlenebilir (Goldberg, 1989):

$$\beta \geq \log_2 \left(\frac{(\Psi_{\max} - \Psi_{\min})}{\pi} + 1 \right) \quad (8.48)$$

Burada β , alt zincir sayısı, π , değişkenlerin istenilen hassaslıklarını, Ψ_{\min} ve Ψ_{\max} karar değişkenlerinin kısıt kümelerini vermektedir. Diğer yandan, karar değişkeni için artış oranının hassaslığı şu bağıntıyla hesaplanır;

$$\pi_i = \frac{\Psi_{\max} - \Psi_{\min}}{2^{l_i} - 1} \quad i=1,2,\dots,N \quad (8.49)$$

Burada l_i karar değişkeni için gerekli olan duyarlılık, N ise toplam karar değişkeni sayısıdır.

İkili bir zincirden eşlemede; değişkenlerin, Ψ reel değerleriyle $[\Psi_{\min}, \Psi_{\max}]$ aralığında temsil edilmesi,

$$\psi_i = \psi_{i,\min} + \Phi_i \frac{\psi_{i,\max} - \psi_{i,\min}}{2^{l_i} - 1} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (8.50)$$

formülüyle gerçekleştirilmiştir.

$$c = c_{\min} + \phi_i \frac{(c_{\max} - c_{\min})}{2^{l_i} - 1} \quad i = 1 \quad (8.51)$$

c , c_{\min} , c_{\max} sırasıyla, ortak devre süresi, izin verilen en küçük ve en büyük devre süreleridir.

Yeşil dalga karar değişkenleri aşağıdaki formülde verildiği şekilde hesaplanmıştır.

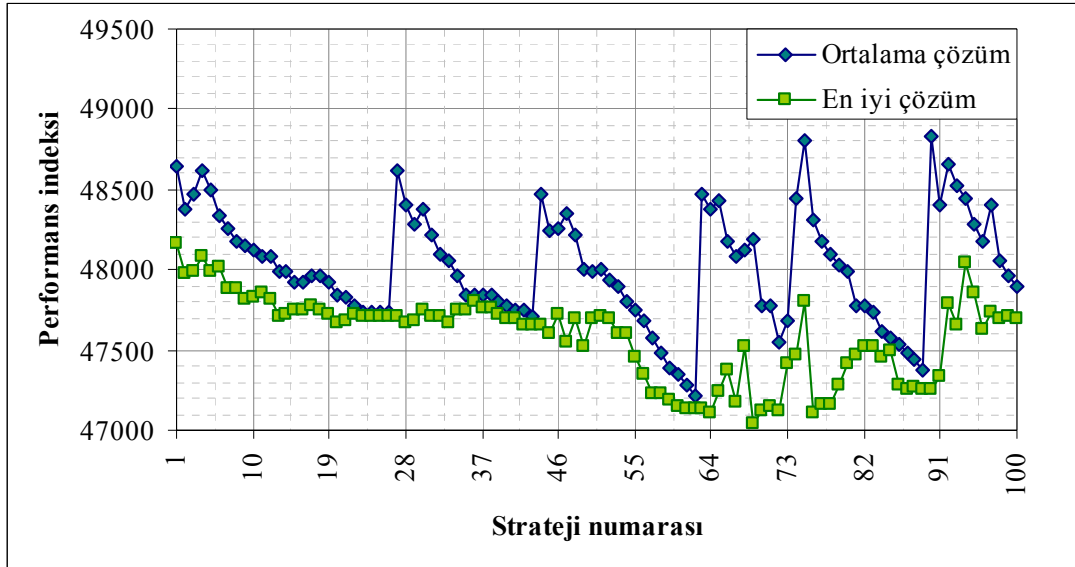
$$\theta = \Theta_i \frac{c}{2^{l_i} - 1} \quad i=2,3,\dots,n \quad (8.52)$$

Burada; θ yeşil dalga karar parametresi vektörünü göstermektedir.

Yukarıda verilen formülasyonun İSTASO modeline uygulaması sonucu elde edilen ulaşım ağındaki değişimler Şekil 8.23'te verilmiştir. Oyun, 100 strateji kümesindeki 20 havuzda oynanmıştır. Şekil 8.23'te kontrol stratejilerine bağlı olarak yeşil dalga değişkenleri ile birlikte ortak devre süresi değişkeni de dikkate alınarak toplam 12 adet kontrol stratejisi değişkeni ve 181 adet link trafik hacim değişkeni kullanılmıştır. Şekil 8.23'te sonuçları verilen İSTASO oyunu için GA tabanlı bir algoritma geliştirilerek karar parametrelerinin değişimi serbest bırakılmıştır. Bu durumda ağ performans indeksindeki (PI) iyileşme yaklaşık olarak %3 civarındadır. Şekilde gösterilen yeşil çizgiler en iyi stratejileri, mavi çizgiler ise strateji

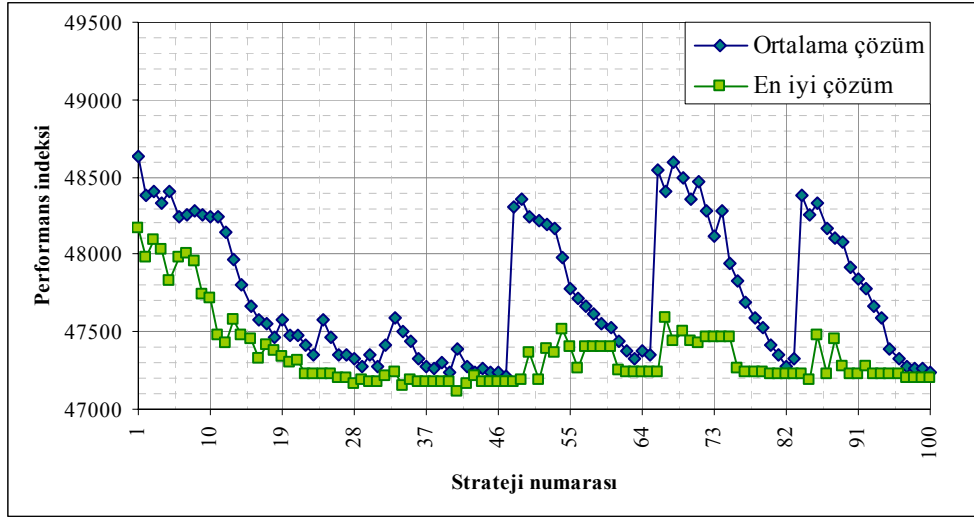
numarası boyunca ortalama değişimleri göstermektedir. Ortalama değişimlerdeki zıplamalar ise strateji kümesi havuzundaki ani değişimlerden kaynaklanmaktadır.

Şekil 8.24'te kontrol parametrelerinin kısıtlanması sonucu ağ performansının nasıl iyileştiğini gösteren sonuçlar verilmiştir. Bu metotta verilen kontrol stratejilerine bağlı olarak İSTASO oyunu global çözümden oyuna başlayarak, sonuca yaklaştığı zaman kontrol değişkenlerindeki küçük değişimler sonucu ağ performansını iyileştirmeye çalışmıştır. Bu durumda strateji numarası boyunca yakınsama daha düzgün bulunmuştur. Bu durumda ağdaki iyileşme %3 olarak hesaplanmıştır.



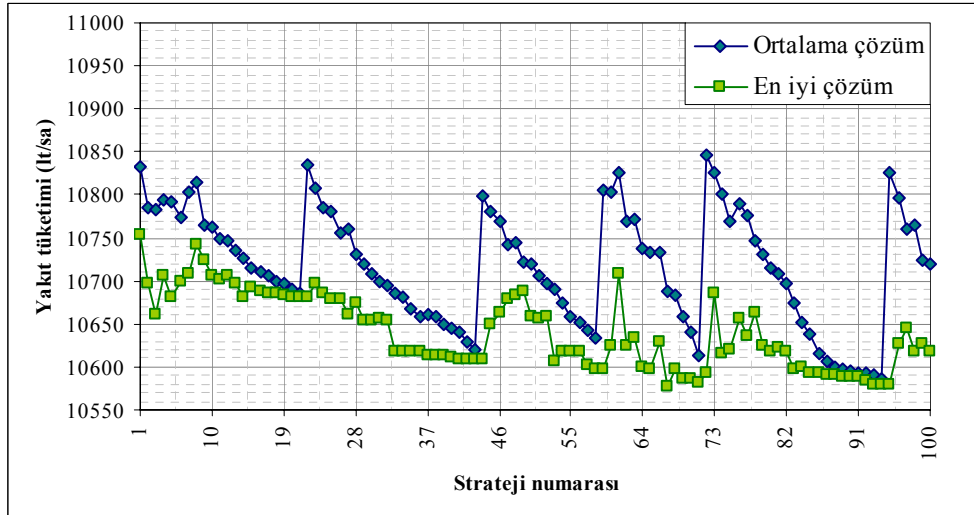
Şekil 8.23. GA tabanlı serbest değişimli İSTASO oyunu

Şekilde yeşil çizgi ile verilen eniyi kontrol stratejilerinin yakınsama grafiğinde zaman zaman değişimler görülmektedir. Bunun sebeplerinin en başında, yeşil dalga değişkenlerinin herhangi bir kontrol stratejisine matematiksel olarak bağımlı olmaması gelmektedir.



Şekil 8.24. GA tabanlı kısıtlı değişkenli İSTASO oyunu

Şekil 8.25’de GA tabanlı serbest değişkenli İSTASO oyununda yakıt tüketimi değişimi verilmiştir. Bu durumda amaç fonksiyonu olarak ulaşım ağındaki yakıt değişiminin en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Bu durumda yakıt tüketimi başlangıca göre eniyi stratejide yaklaşık olarak %2 civarında iyileşmiştir.

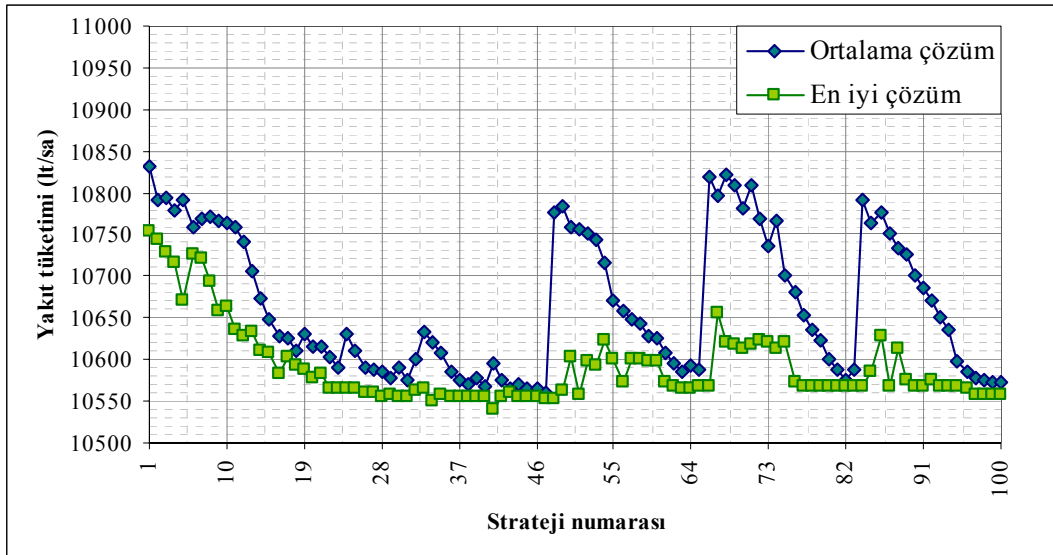


Şekil 8.25. GA tabanlı serbest değişkenli İSTASO oyununda yakıt tüketimi değişimi

Şekil 8.26’da GA tabanlı kısıtlı değişkenli İSTASO oyununda yakıt tüketimi değişimi verilmiştir. Yakıt tüketimi değişiminde Şekil 8.26’da görüldüğü gibi amaç fonksiyonu, ulaşım

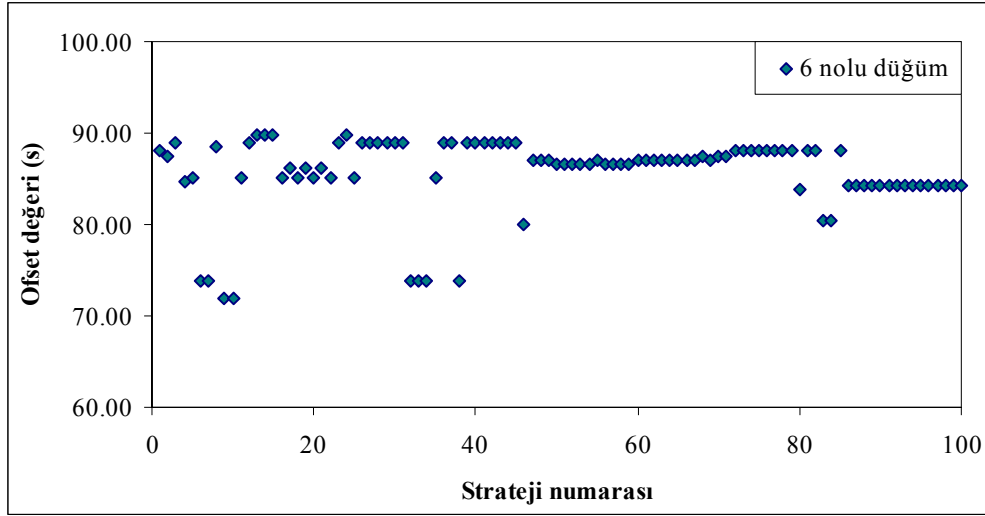
ağını kullanan yol kullanıcılarının ağda geçirdikleri süreyi ve yakıt tüketimini en aza indirecek şekilde formüle edilmiştir. Bu durumda İSTASO modelinin yakınsama grafiği daha düzgün olmaktadır. Ağdaki yakıt tüketimi ise başlangıç koşullarına göre yaklaşık % 2.5 civarında iyileşmiştir.

Şekil 8.27’de 6 nolu sinyalize kavşaktaki serbest değişkenli İSTASO oyununda yeşil dalga parametrelerinin (ofset) değişimi verilmiştir. Şekilden görülebileceği üzere strateji numarasına bağlı olarak başlangıçta yeşil dalga parametreleri tamamen gelişigüzel bir davranış sergilemektedir. Fakat strateji sayısı çoğaldıkça bu durum daha düzgün hale gelebilmektedir.



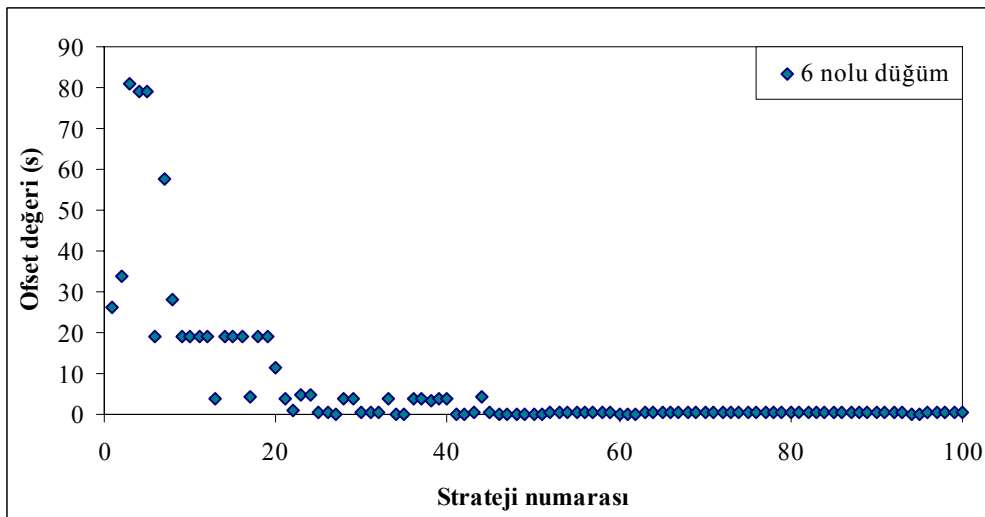
Şekil 8.26. GA tabanlı kısıtlı değişkenli İSTASO oyununda yakıt tüketimi değişimi

Literatürden bilindiği üzere, ofset karar değişkenleri açık aralıkta kapalı olmayan bir değişkendir. Ofset değişkeninin herhangi bir kontrol stratejisine, devre süresi gibi, haritalanması mümkün görülmemektedir. Fakat uygulamada kolaylık olması ve problemin çözülebilmesi açısından ofset değişkeni ağda oluşabilecek maksimum devre süresine haritalanır. Çalışmamızda ofset değişkeninin maksimum sınırı devre süresine haritalanmıştır ve İSTASO oyunu çözülmüştür.



Şekil 8.27. 6 nolu sinyalize kavşaktaki serbest değişkenli İSTASO oyununda yeşil dalga parametrelerinin değişimi

Şekil 8.28’de 6 nolu sinyalize kavşaktaki kısıtlı değişkenli İSTASO oyununda yeşil dalga parametrelerinin değişimi verilmiş olup bu yaklaşımda ofset değişkeni strateji numarasına bağlı olarak daha kararlı bir durum sergilemektedir. Bu yaklaşımda ofset değişkeninin değeri bu çalışma için sıfıra yaklaşmıştır. Bu durum genelde beklenen bir durumdur. Fakat diğer sinyalize kavşaklardaki ofset değişkenleri sıfırdan farklıdır. Bu sonuç 6 nolu sinyalize kavşağın ana (master) kavşak olabileceğini göstermektedir.



Şekil 8.28. 6 nolu sinyalize kavşaktaki kısıtlı değişkenli İSTASO oyununda yeşil dalga parametrelerinin değişimi

Tablo 8.8’de İSTASO oyunundan sonuçlanan kontrol stratejileri değişimi verilmiştir. Bu oyun sonucunda bulunan PI değeri yaklaşık 47000 civarındadır ve eniyi faz başlangıç ve bitiş süreleri tabloda görülmektedir.

Tablo 8.9’da final denge link trafik hacimleri ile doygunluk akım değerleri görülmektedir. Bazı linklerde doygunluk akım değerleri %100’ün üzerinde çıkmıştır. Bunun sebebi, İSTASO oyunu oynanırken doygun üstü akımlara izin verilmiştir. Bu linkler iyileştirme ve trafik yönetimi yapılırken ilk dikkate alınacak linklerdir. Örneğin, link 2, 5 ve 9 uncu hatlarda geometrik düzenlemeler ve yönlendirme stratejileri uygulanabilir.

Tablo 8.8. İSTASO oyunundan sonuçlanan kontrol stratejileri

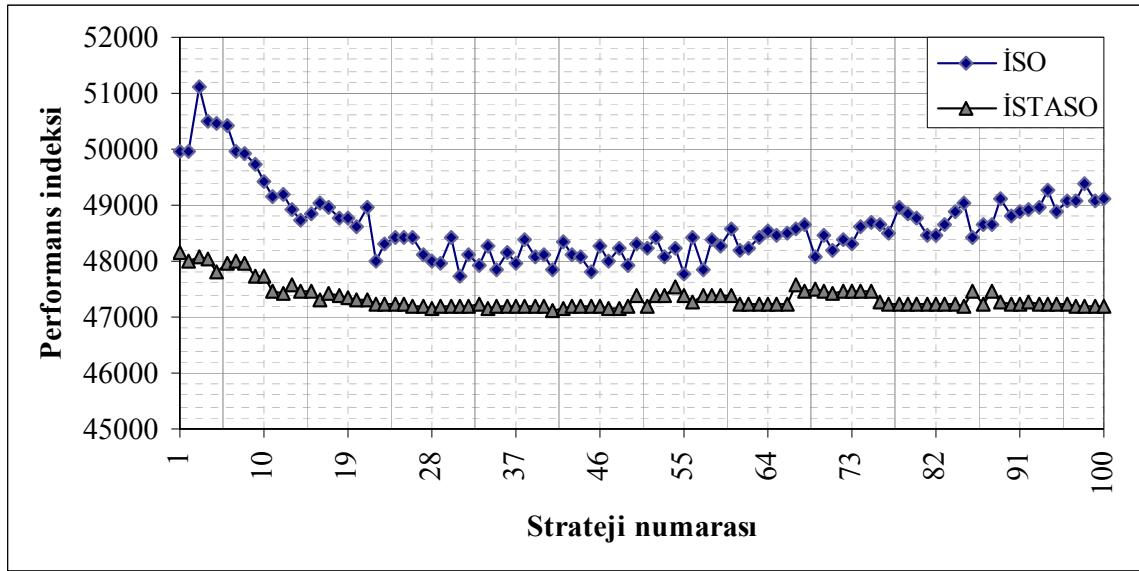
Performans indeksi	Devre süresi c (s)	Düğüm n	Yeşil süre başlangıcı (s)			
			1. Faz	2. Faz	3. Faz	4. Faz
47205	82	1	30	50	67	-
		2	65	26	53	-
		4	50	5	27	-
		5	3	38	70	-
		6	67	9	26	43
		7	46	75	13	-
		8	55	78	14	37
		9	78	18	42	54
		10	70	21	41	53
		11	10	26	61	-
		12	2	33	64	-

Tablo 8.9. İSTASO oyunundan sonuçlanan SKD denge akımları ve doygunluk akım değerleri

Link No	Trafik Hacmi (taşıt/sa)	Doygunluk derecesi (%)	Link No	Trafik Hacmi (taşıt/sa)	Doygunluk derecesi (%)	Link No	Trafik Hacmi (taşıt/sa)	Doygunluk derecesi (%)
1	1354	100	17	952	147	33	635	58
2	935	218	18	394	77	34	137	39
3	926	69	19	148	46	35	314	59
5	789	124	20	872	342	36	870	68
6	287	70	22	275	46	37	2323	182
7	781	43	23	128	50	39	1057	138
8	1216	161	24	787	116	41	402	46
9	248	212	25	474	88	42	1640	393
12	953	74	26	855	300	44	1658	398
13	506	47	29	920	322	46	327	68
14	184	31	30	254	7	47	504	134
15	1315	222	31	313	28			
16	560	63	32	1656	151			

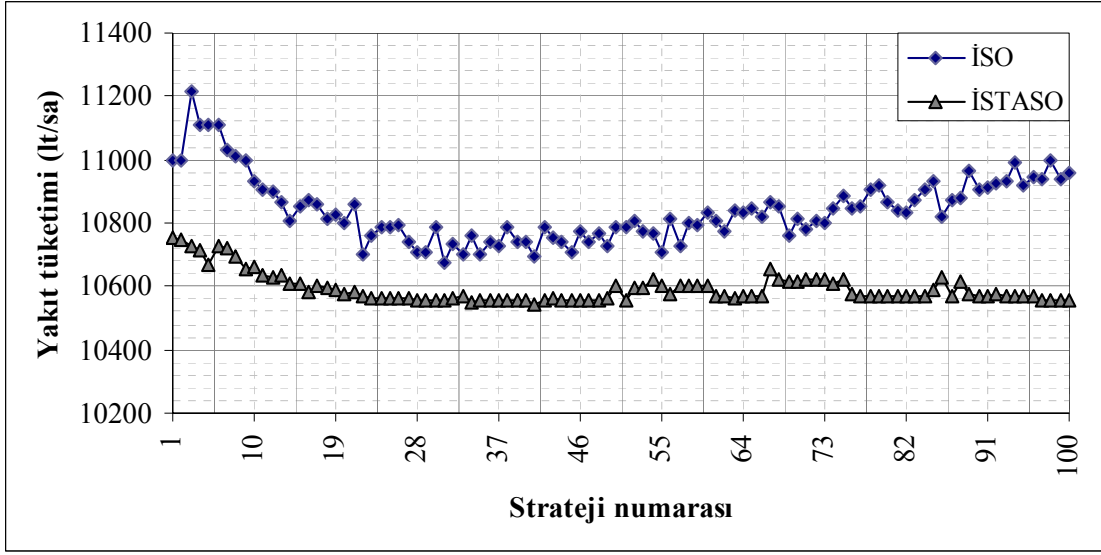
8.6. İSO ve İSTASO oyunlarının karşılaştırılması

Şekil 8.29’da İSO ve İSTASO oyunlarının PI indeksleri cinsinden karşılaştırmaları yapılmıştır. Karşılaştırma yapılırken İSTASO oyununda sonucu bulunan en iyi stratejiler dikkate alınmıştır. İSTASO oyunu ağ performansını son değerlere göre yaklaşık %4, başlangıç değerlerine göre ise yaklaşık %6 civarında iyileştirmiştir. İSTASO oyunu sonucu bulunan devre süresi 82 sn olup bu strateji 93 sn’ lik İSO oyununa göre %12’lik bir iyileşme sağlamaktadır.



Şekil 8.29. İSO ve kısıtlı değişkenli İSTASO oyunlarının PI karşılaştırmaları

Şekil 8.30’da İSO ve kısıtlı değişkenli İSTASO oyunlarının yakıt tüketimi karşılaştırmasının grafiği verilmiştir. İSTASO oyununda ağdaki yakıt tüketimi başlangıç değerlerine göre yaklaşık olarak %5’lik bir iyileşme sağlamıştır.



Şekil 8.30. İSO ve kısıtlı değişkenli İSTASO oyunlarının yakıt tüketimi karşılaştırılması

8.7. Sonuçlar

Çalışmanın bu bölümünde, BOTGA modelinin gerçek bir sinyalize ulaşım ağına uygulanması gerçekleştirilmiştir. Uygulama için seçilen örnek ulaşım ağına ilişkin topolojik ve ağ üzerindeki trafik talebi ile ilgili veriler arazide yapılan ölçümlerden elde edilmiştir. Yapılan analizlerde, farklı devre süreleri altında ağ üzerindeki toplam seyahat süresinin en aza indirgenmesi hedeflenmiştir. 40 ile 90 saniyelik devre süresi değerleri arasındaki her 5 s'lik değişim için Stackelberg oyunu temel alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, toplam ağ seyahat süresi devre süresinin düşük mertebelerindeki değişimlere daha fazla duyarlılık göstermektedir. Devre süresindeki artışla birlikte sistem optimum tasarımın daha düşük seyahat süresi değerleri altında yapılabildiği görülmüştür.

BOTGA modellerinin TKDOY, İSO ve İSTASO yaklaşımları altında gerçek sinyalize ulaşım ağına uygulanması durumunda optimum devre süresi 93 sn olarak bulunmuştur. Ulaşım ağındaki değişim yaklaşık % 4 civarındadır. Yakıt tüketimindeki iyileşmenin ise %5 civarında olduğu bulunmuştur.

İSTASO oyun yaklaşımında ise 12 farklı kontrol stratejisi ile 181 denge akım değişkenine karşılık BOTGA modeli çalıştırılmıştır. Bu durumda ulaşım ağı PI'daki iyileşme yaklaşık %5

olmakta ve yakıt tüketiminde ise yine %5 civarında bir iyileşme sağlanmaktadır. İSTASO modeli diğer oyunlara göre daha kararlı bir yakınsama göstermiştir.

İSTASO oyunu sonucunda 47 linkin 11'inde iyileştirme yapılması gerektiği bulunmuştur. Bu linklerde yeni trafik yönetim tekniklerinin uygulanması ve çeşitli geometrik iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir.

IX. BÖLÜM

GENİŞLETİLMİŞ ULAŞIM AĞINDA DYNASMART-P UYGULAMASI

9.1. Giriş

Bu bölümde genişletilmiş ağın yönetimine ilişkin ağ geliştirme çalışması ve bu ağdaki talep matrisinin belirlenerek trafik atama için alınan DYNASMART-P programının çalıştırılması gerçekleştirilmiştir.

Proje kapsamında Transit 7F ve DYNASMART-P programları alınmıştır. DYNASMART-P programı iki ayrı ana programdan oluşmaktadır. İlk program ağ ve trafik bilgilerinin girildiği editör kısmıdır (DYNASMART-P Network Editor), ikinci bölüm ise girişi yapılan ağ üzerinde senaryolar yardımı ile ulaşım talebini ağa yükleyen, link ve ağın performansını belirlemeye yardımcı olan DYNASMART-P Intelligent Transportation Network Planning Tool adlı kısmıdır. Aşağıda program detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

9.2. DYNASMART-P

Federal Otoyol İdaresi tarafından McTrans ile Şubat 2007 yılında yayınlanan DYNASMART-P sürüm 1.3.0, farklı iki modül ile hem ulaşım ağlarının farklı formatlardan alınarak çözüm ortamı formatına aktarılmasını sağlamakta, hem de içerdiği senaryo menüsü ile kontrol parametreleri, ücretlendirme sistemleri gibi ağ performansını etkileyici unsurların alansal trafik yönetiminde olası etkilerini ortaya koymaktadır. Programın en önemli özelliklerinden birisi dinamik trafik ataması yapmasıdır.

DYNASMART-P, simülasyon bazlı dinamik trafik atama kullanımı aracılığıyla Akıllı Ulaşım Sistemleri (ITS) dağıtma seçenekleri değerlendirilmesi de dahil olmak üzere ulaşım ağı planlaması ve trafik yönetim kararlarını desteklemektedir. Bu program, planlama uygulamaları için talep tahmin prosedürleri ile birlikte öncelikli olarak kullanılan dinamik ağ atama modellerini

(1) ve trafik yönetim çalışmaları için öncelikli olarak kullanılan trafik simülasyon modellerini (2) bir araya getirmektedir. DYNASMART-P bireysel seyahat edenlerin en iyi yolları arama kararları sonucu trafik ağındaki trafik akımlarının değişimini temsil etmeyi sağlamaktadır. Bu durum sayesinde planlama çalışmalarında kullanılan programların bilinen dezavantajlarının üstesinden gelinebilmektedir. Bu sınırlamalar değerlendirilebilen alternatif önlem tipleri ve planlama kuruluşlarının artan şekilde üzerinde düşündükleri politik sorunlar ile ilgilidir.

DYNASMART-P dört aşamalı plan ile kolayca koordine olabilen yeni ulaşım planlama yöntemlerinin tanımlanmasını sağlamaktadır. Ayrıca program, trafik hacimlerinin zamanla değişken olması durumunu dikkate almaktadır. DYNASMART-P ile, hız, kuyruk uzunluğu, gecikme ve tıkanıklık etkisi gibi durum değişkenlerinin belirlenmesi ile ITS teknolojilerinin uygulanması da dahil olmak üzere geleneksel ve yeni ortaya çıkan ulaşım planlama stratejilerinin çevresel ve fonksiyonel etkilerinin değerlendirilmesi yapılabilmektedir.

DYNASMART-P, özellikle ulaşım ağının temsil edilmesi ve ulaşım talebinin ağa yüklenmesi ile ilgili olarak geleneksel trafik atama ve simülasyon modelleri tarafından da yaygın şekilde kullanılan girdi verileri gerektirir. Girdi verisinin tipi ve çeşitliliği, analiz edilen ağ ve kullanıcı tarafından belirlenen hassasiyet düzeyi ile değişmektedir. Ağın karmaşıklığı; otoyollar, yüksek yoğunluklu şeritler (HOV), katılım kontrolü, toplu taşıma hizmetleri, arterler üzerindeki sinyal kontrollü kavşaklar ve muhtemel kaza olaylarının mevcut olup olmaması durumuna göre değişiklik gösterebilir.

DYNASMART-P detaylı trafik analizi yaparken kullanıcılara kolaylık sağlamak için oldukça geniş kapsamlı çıktı verisi üretmektedir. Çıktı verisi; hacim, hız, seyahat süresi ve gecikme gibi trafik mühendisleri tarafından sık şekilde kullanılan verimlilik parametrelerini içermektedir. Ayrıca, DYNASMART-P analizlerde oldukça faydalı olan bireysel taşıt rota dosyasını da oluşturmaktadır. İlave olarak, sezgisel grafik kullanıcı arayüzü (GUI) vasıtasıyla DYNASMART-P, simülasyon sonuçlarını ve diğer karakteristikleri çeşitli grafik formatları ile hem statik hem de animasyonlu olarak görmek için kullanıcıya seçenekler sağlamaktadır. Bölüm 9.3'de programın çalışma prensibi açıklanmıştır. Program, proje kapsamında küçük ağda test edilmiş ve Denizli'nin büyük bölümünü kapsayacak şekilde genişletilmiş ağda link trafik hacimlerinin dinamik olarak belirlenmesi amacı ile kullanılmıştır.

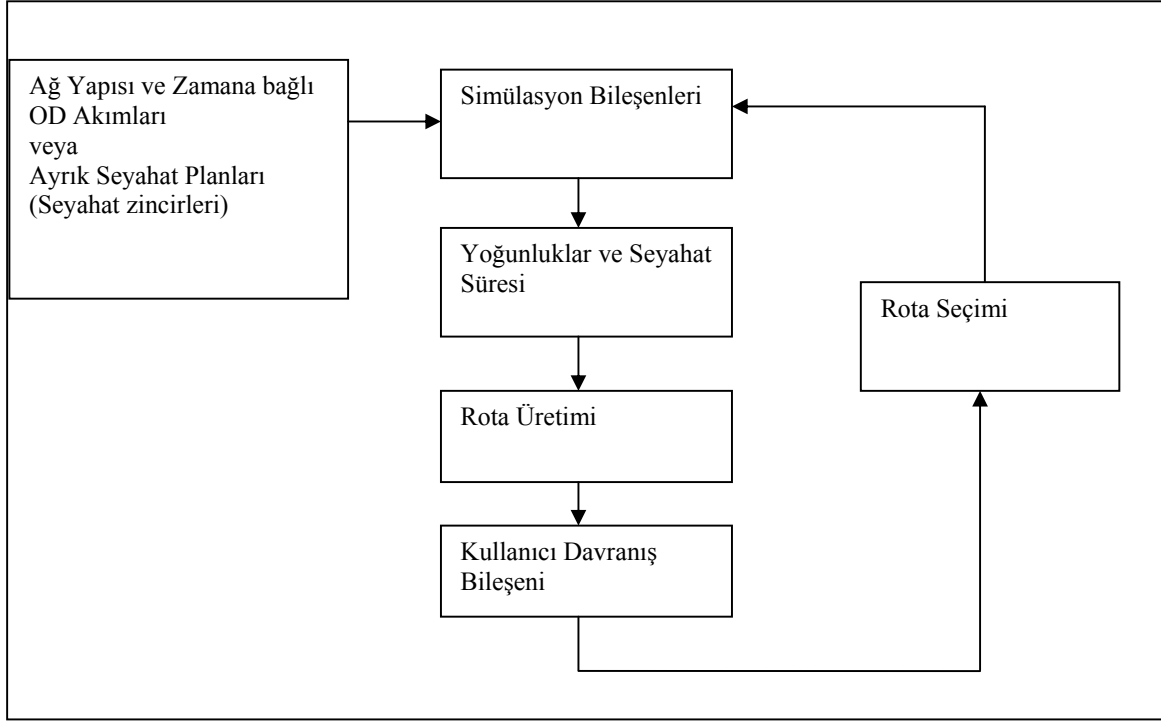
9.3. DYNASMART-P İşletme Modları ve Algoritmik Bakış Açıları

DYNASMART-P üç farklı modda kullanılabilir. Bu modlar, temel olarak uygulanan atama bileşenlerinde farklılık gösterir. Birinci modda, taşıtlar o anki en iyi rotalara, rastgele rotalara veya önceden kararlaştırılmış rotalara atanmaktadır. İkinci modda, sürekli iteratif atama prosedürü uygulanır (kullanıcı dengesi ve/veya sistem optimum). Üçüncü mod ise çerçeveyi modelleyen sistemin gelişiminin sağlanmasıdır. İkinci mod iteratif bir kullanıcı dengesini yansıtırken, birinci mod bir adımlı simülasyon-atama prosedürünü yansıtmaktadır. Üçüncü mod ise simülasyon atamalarının ara yüzünün çerçevesini modelleyen sistemin gelişimidir.

Mod 1 (Bir Adımlı Simülasyon-Atama Prosedürü)

Bu modda, DYNASMART-P sabit zaman adımlı simülasyon-atama modeli kullanılmaktadır. Verilen ağ konfigürasyonu (trafik kontrol sistemi dahil olarak) ve zamana bağlı talepler için gerçek zamanlı bilgi sistemleri altında tüm ağın performansını değerlendirmek ve trafik yapılarını modellemek için tasarımılandırılmıştır. Modelleme yaklaşımı, trafik akım simülatörünü, ağın rotalama bileşenini, kullanıcı davranış kurallarını ve bilgi sağlama stratejilerini birleştirmektedir.

Mod 1’de, DYNASMART-P iki talep konfigürasyonundan yararlanabilmektedir: (1) zamana bağlı B-V taşıt talebi ve (2) her seyahat eden için ayrık seyahat planları. Birinci durumda, DYNASMART-P, zamana bağlı taşıt talebine bağlı olarak taşıtları yüklemekte ve taşıtlar varış noktalarına varıncaya kadar onları hareket ettirmektedir. İkinci durumda, DYNASMART-P, taşıtları, onların seyahat zincirindeki seyahat planlarına göre taşıtları varış noktalarına ulaşıncaya kadar hareket ettirmektedir. Herhangi bir taşıt, kendisinin orta noktalarda olan hedefine ulaştığında, taşıt artık genel ağ koşullarını etkilemesin diye DYNASMART-P geçici olarak taşıtları ağdan çekmektedir. Bir taşıt başlangıç noktasından veya kendisinin herhangi bir orta noktasındaki hedefinden ağa dâhil olduğunda, taşıt kullanıcı davranış kurallarına bağlı olarak ya o anki en iyi rotaya ya da seçilmiş rota kümesinin arasından rastgele bir rotaya atanır. Şekil 9.1.DYNASMART-P’nin mod 1’deki yapısını göstermektedir.



Şekil 9.1. DYNASMART-P (Bir Adımlı Simülasyon-Atama Prosedürü)

Mod 2 (İteratif Simülasyon-Atama)

DYNASMART-P, ağdaki zamana bağlı akım yapısının dengesini çözmek için kullanıcıya imkan vermektedir. Aşağıda ikinci modun işletimi için algoritmik bir prosedür tanımlanmaktadır.

Değişkenler ve notasyonlar

i = başlangıç düğümlerinin alt simgesi, $i \in I$,

j = varış düğümlerinin alt simgesi, $j \in J$,

t = o anki mevcut zaman aralığını belirten altsimge, $t = 1, \dots, T$,

h = bir grup seyahat edenlerin başlangıç noktalarındaki seyahat yapısını belirten altsimge, yani aynı orta ve varış noktasına sahip seyahat edenlerin tercih ettiği varış süresi ve aktivite süreci, $h \in H$,

τ = yola çıkış zaman aralığını belirten altsimge, $\tau = 1, \dots, T1$,

k = ağdaki seyahatin i başlangıç noktasından başlayan rotası için altsimge,

$r_{ih}^\tau = \tau$ yola çıkış zaman aralığı boyunca i başlangıç düğümünden ağa dahil edilmiş h seyahat yapılı seyahatlerin sayısı,

$r_{ijk}^\tau = \tau$ yola çıkış zaman aralığında ve k rotasına atanan, i başlangıç düğümünden hareket ederek j son (hedef) düğümüne seyahat edenlerin sayısı,

$y_{ijk}^\tau = \tau$ yola çıkış zaman aralığında ve k rotasına atanan, i başlangıç düğümünden hareket ederek j son (hedef) düğümüne seyahat edenlerin harici sayısı, (hepsi ya da hiçbiri atamasına bağlı olarak k rotasına atanmış seyahat edenlerin sayısı),

$T^{ta} = t$ periyodunun başlangıcında link a üzerindeki seyahat süresi,

$x^{ta} = t$ periyodunun başlangıcında link a üzerinde seyahat edenlerin toplam sayısı.

Problemin İfadesi

Birçok başlangıç düğümlü $i \in I$ ve varış düğümlü $j \in J$, $G(N,A)$ yönlendirilmiş bir grafik ile temsil edilen bir trafik ağı düşünelim. Burada, N düğümler kümesini ve A linkler kümesini temsil etmektedir. Bu ağda, bir düğüm bir seyahatin başlangıç noktasını, varış noktasını ve/veya linklerin kesişim noktasını gösterebilir. T planlama ekseninin veya ilgili periyodun analizini temsil etmekte ve küçük zaman aralıklarına ($t=1, \dots, T$ ve $\tau=1, \dots, T1$) ayrılabilir. Burada, t o anki mevcut zaman aralığını belirten altsimge ve τ (başlangıç) zaman aralığını belirten alt simgedir.

Her i başlangıç düğümünde planlama eksenini için aynı h seyahat yapısına sahip seyahat edenlerin sayısı verilmiştir $r_{ih}^\tau \forall i \in I, \forall h \in H$ ve $\forall \tau$. Seyahat edenler, aynı başlangıç, aynı orta varış noktasına, aynı son varış noktasına, yola çıkış zamanına ve her duraklamadaki aktivite sürecine göre tanımlanır. Amaç, bireysel olarak seyahat edenlerin seyahat sürelerini minimize etmek için (veya link ücretlendirmesini göz önüne alma durumunda en az genelleştirilmiş seyahat maliyetini) farklı ağ rotalarındaki taşıtların zamana bağlı atamalarını belirlemektir. Bu yüzden, amaç, τ yola çıkış zaman aralıklarında $\forall i \in I, \forall j \in J$ ve $\tau=1, \dots, T1$, k rotaları boyunca $k=1, \dots, k_{ih}$ yola çıkacak h seyahat yapısındaki taşıtların r_{ijk}^τ sayısını bulmaktır.

Çözüm Algoritması

Şekil 9.2’de verilen çözüm algoritması, aktivite tabanlı seyahati modellemek, ağdaki trafik etkileşimlerini göstermek ve sistem performansını değerlendirmek için özel trafik simülasyon amaçlı bir sezgisel iteratif prosedürdür. Bu amaçla, DYNASMART-P, seyahat zincirlerini göstermek için geliştirilmiştir. Bu modifikasyonda, taşıtlara aktivite sürecine eşit sürede belirli bir aktivite uygulamak için taşıtların seyahat rotaları üzerindeki orta varış noktalarında ağ dışına çıkmalarına izin verilmektedir. Taşıt herhangi bir orta noktada ağ dışında iken, taşıtın ağ üzerindeki trafiğe hiçbir etkisi yoktur. Aktivite bitiminde, seyahat eden, daha önceden belirlenmiş seyahat yapısına göre seyahatini tamamlamak için seyahatini bu noktadan itibaren sürdürecektir. Taşıt son hedefine ulaşır ulaşmaz, ağ dışına çıkacaktır. Algoritmanın adımları aşağıda tanımlanmıştır.

Adım 0. Başla. İterasyon sayacını $l=0$ ’a ayarla. Aktivite tabanlı talebi, $r_{ih}^{\tau} \forall i, \tau$ ve h seyahat yapısını başlangıçtaki uygun rotalar kümesine $k \in k_{ij}$ ata. Burada j, h seyahat planındaki ilk hedef noktasıdır. Bu nedenle, başlangıç çözümü $r_{ijk}^{\tau,0}, \forall i, h, \tau$ ve k .

Adım 1. Yola çıkış zamanları ve rota atamaları $r_{ihk}^{\tau,l}$ kümesi altında, link seyahat süreleri de $T^{ia}, \forall t, a$ dahil olacak şekilde ilgili ağ performansını elde etmek için trafik ağ simülasyonunu uygula. Her düğümdeki yeni talebi de hesapla $r_{ij}^{\tau,l} = \sum_k r_{ijk}^{\tau,l} \forall i, h, \tau$ ve k .

Adım 2. Her yola çıkış τ zaman aralıkları için, her başlangıç-son çiftleri arasındaki rotaların en küçük seyahat süreleri kümesini (veya link ücretlendirmesini göz önüne alma durumunda en küçük genelleştirilmiş seyahat maliyetini) hesapla.

Adım 3. Tüm seyahat istekleri için hepsi ya da hiçbiri atamasını uygula $r_{ij}^{\tau,l}$. Bu, yola çıkış zaman aralıkları için rotalar üzerindeki harici taşıt sayılarını verir $y_{ijk}^{\tau,l}, \forall i, j$ ve τ .

Adım 4. k^* 'nin, $k^* \in k_{ij}$ olup olmadığını kontrol ederek rotayı güncelle, eğer değilse dahil et, $\forall i, h, \tau$ ve k . Yeni iterasyon $r_{ijk}^{\tau, t+1}$ için, atamalar ardışık ortalamalar metodu kullanılarak elde edilir,

$$r_{ijk}^{\tau, t+1} = \frac{1}{(t+1)} * [y_{ijk}^{\tau, t}] + \left(1 - \frac{1}{(t+1)}\right) * [r_{ijk}^{\tau, t}]$$

Adım 5. İki ardışık iterasyondan sonra, rotalara ve çeşitli yola çıkış zaman aralıklarında atanan taşıt sayıları farklılıklarına bağlı olarak yakınsama kriterini kontrol et. Bu yüzden, bir sonraki iterasyonun atamaları $r_{ijk}^{\tau, t+1}$, mevcut rota atamaları $r_{ijk}^{\tau, t} \forall i, j, \tau$ ve k ile karşılaştırılır:

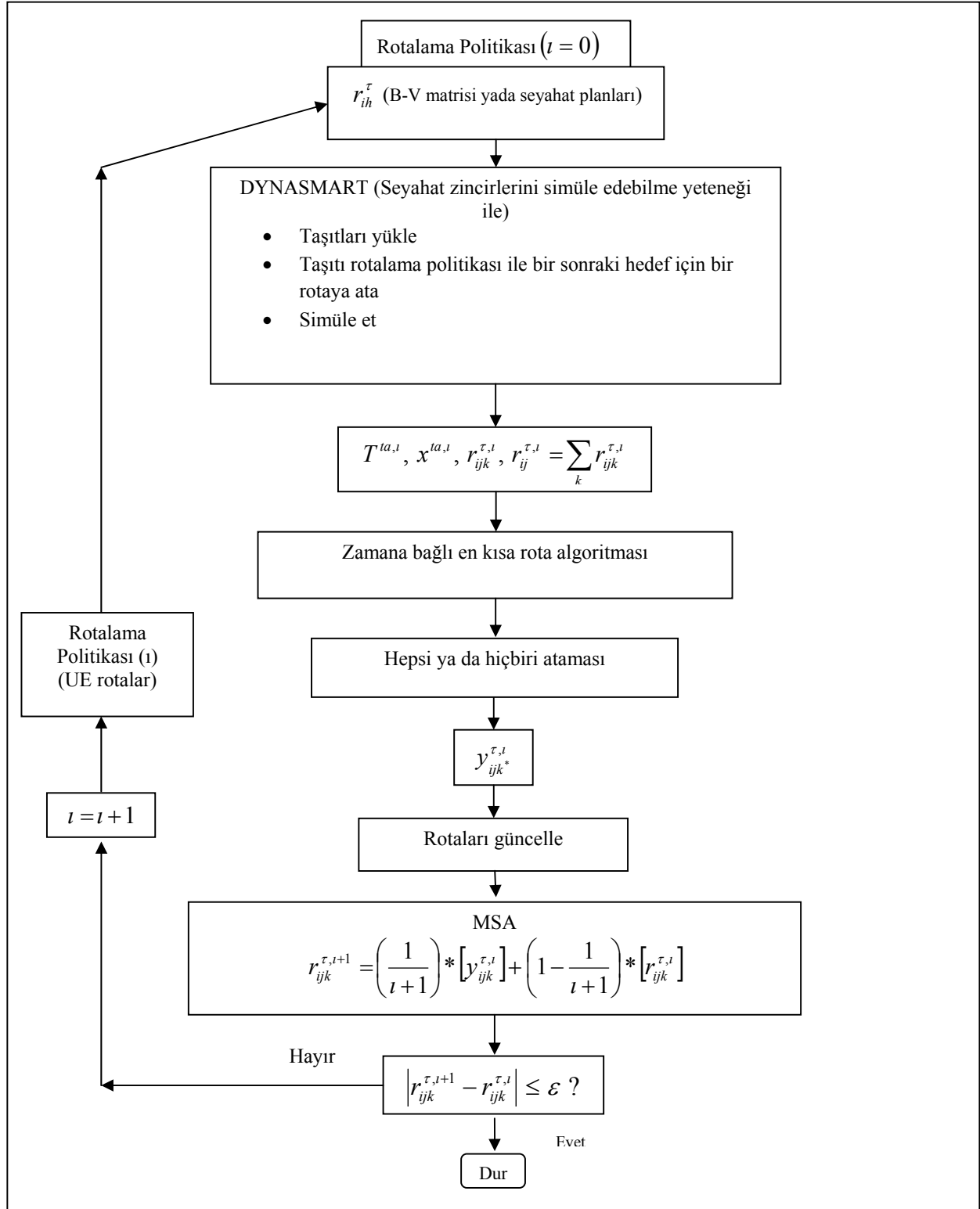
$$\left| r_{ijk}^{\tau, t+1} - r_{ijk}^{\tau, t} \right| \leq \varepsilon, \text{ burada } \varepsilon \text{ önceden tanımlanmış bir eşittir.}$$

Adım 6. Durumların sayısındaki, $N(\varepsilon)$, yukarıdaki kesin değer, kaydedilen ε 'den daha büyüktür.

Adım 7. Hata sayılarındaki $N(\varepsilon)$, önceden tanımlanmış üst sınırı, Ω , belirle, eğer $N(\varepsilon) \leq \Omega$ ise algoritmayı durdur ve atama programının çözümü olarak yola çıkış zamanları ile rota atamalarını $r_{ijk}^{\tau, t}$ çıkış yap. Diğer yandan, eğer $N(\varepsilon) \geq \Omega$ ise, yakınsama kriteri sağlanmamıştır. İterasyon sayısını artır ve Adım 1'e yeni rota atamaları $r_{ijk}^{\tau, t+1}$ ile git.

9.4. Çalışma Ağının Genişletilmesi

Modelleme çalışmaları için seçilen ve üzerinde algoritmanın uygulandığı alt ulaşım ağı üzerinde proje süresince detaylı olarak çalışılmış, son olarak 2002 yılında tamamlanan Denizli ve Yakın Çevresi Ulaşım Ana Planı yardımı ile şehrin büyük kesimini kapsayan hareketliliğin yoğun olduğu bir alan seçilerek geliştirilen modelin uygulanabileceği kapsamlı bir ağ belirlenmiştir. Ulaşım ana planında, Denizli kenti 57 zona ayrılmış ve yapılan sayımlar yardımı ile 57x57 büyüklüğünde talep matrisi farklı ulaşım türleri için oluşturulmuştur. Şekil 9.3'de 57 zondan oluşan kent merkezi ve yakın çevresi görülmektedir. Tablo 9.1a-c'de ise bu zonlar arasında özel motorlu taşıtlarla gerçekleşen yolculuklar verilmiştir. Toplamda 52,000 üzerinde yolculuk özel araçlarla yapılmaktadır. Bu rakam, hane halkı anketleri sonucunda elde edilmiştir.



Şekil 9.2. DYNASMART-P için Çözüm Algoritması (İteratif Kullanıcı Dengesi Prosedürü)



Şekil 9.3. Kent ve Yakın Çevresi Zonları (Ulaşım Master Planı,2002)

Elimizdeki büyük zon yapısı ve karmaşık ağa modelimizi uygulama yerine zonlama sistemini ve ağı sadeleştirme yoluna gidilmiştir. Öncelikle bir dış kordon belirlenmiş ve bu kordonun dışındaki zonlar birleştirilmiştir. Ardından kordon içinde kalan zonlarda birleştirmeler yapılmıştır. Bu sadeleştirme çalışması sonucunda 8 adet iç zon ve 7 adet dış zon olmak üzere toplam 15 zon oluşturulmuştur. Şekil 9.4’de düzenlenmiş zon sistemi görülmektedir.

Tablo 9.1a Özel Araç Ulaşım Matrisi (2002 Ulaşım Master Planı)

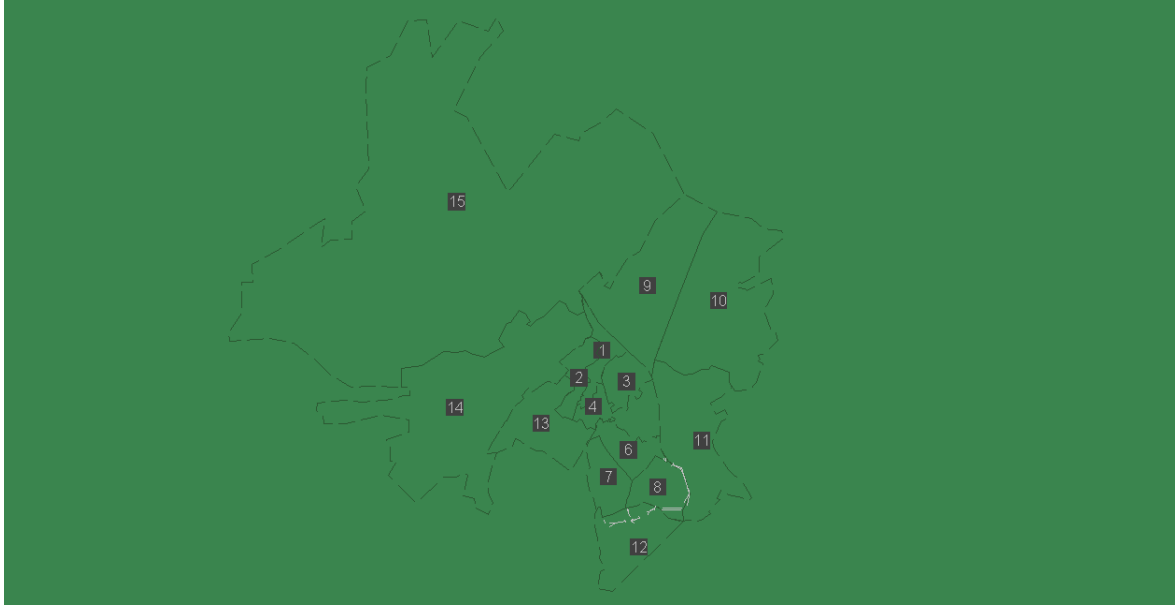
	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
101	0	78	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0
102	52	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
103	0	0	0	0	0	0	27	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0
104	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0
107	0	0	27	0	0	0	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
108	23	26	0	34	0	0	0	33	77	23	65	88	62	30	39	25	0	28
109	0	0	0	0	0	0	0	77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	0	0	23	0	0	23	0	23	0	69	69	0	0	0	0	0	0	0
111	0	0	19	0	0	0	0	65	0	69	65	0	62	65	0	25	27	0
112	0	0	0	0	0	0	0	132	0	0	0	132	0	30	0	0	0	0
113	31	0	0	0	0	0	0	62	0	0	62	0	93	62	0	0	0	0
114	0	0	0	0	46	0	0	30	0	0	119	30	93	23	0	0	0	0
115	23	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0
116	53	26	0	34	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	53	0	27	28
118	0	0	0	0	0	0	27	28	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0
119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	45	0	68	0	0	45	45	0	0	0	0
121	28	0	28	0	0	0	0	85	0	0	28	56	0	56	0	0	0	55
122	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	85	0	0	0	0	0	0	0
123	0	0	25	0	0	0	0	25	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0
124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98	0	0	0	0	0	0	0
125	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0
126	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	26	0	0	0	26	0	0	0
127	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	28	28	0	0	0	0	0	28
128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
129	0	33	22	33	0	0	27	33	0	0	0	33	31	132	39	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	104	0	0	104	0	0	209	0	0	0	0
131	0	0	0	0	0	0	0	81	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0
132	0	0	34	0	0	0	0	0	0	17	17	0	0	0	0	0	0	0
133	0	0	50	0	0	25	0	25	0	0	25	25	0	25	0	0	0	0
134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135	91	0	91	0	0	23	0	30	0	91	94	44	31	0	0	0	0	0
136	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	20	0	0	0
137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
138	26	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	103	0	52	52	0	0	0
139	0	0	0	0	0	0	54	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0
140	23	0	47	0	0	20	0	93	0	23	23	47	0	0	23	0	0	0
141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142	23	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
143	0	0	68	0	0	0	34	103	0	0	68	0	0	0	0	25	0	0
144	137	26	115	0	0	23	27	99	26	23	264	220	217	96	0	102	0	28
145	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	186	60	39	52	27	0
146	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
147	0	0	0	0	0	0	0	80	25	0	33	0	0	0	39	25	0	83
148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	33	44	0	0	0	25	0	0
149	0	0	0	25	0	23	0	0	0	0	0	88	0	25	0	0	0	0
150	0	35	0	0	0	0	0	35	0	0	19	114	31	0	35	0	0	0
151	95	0	97	0	0	0	0	72	0	69	48	68	0	24	0	0	0	0
152	0	0	0	0	0	0	54	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
154	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
203	0	52	66	0	0	0	0	66	0	46	0	0	31	0	66	66	66	0
211	23	0	91	0	23	23	0	0	77	0	65	132	155	0	39	25	27	0
216	0	0	274	82	0	69	0	82	0	0	361	0	62	0	0	0	27	0

Tablo 9.1b Özel Araç Ulaşım Matrisi (2002 Ulaşım Master Planı)

	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137
101	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	20	0
102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0
103	0	22	28	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	17	50	0	91	0	0
104	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0
106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	23	0	0
107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0
108	0	45	85	28	25	0	60	26	0	0	0	104	54	0	25	0	61	0	0
109	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	0	68	69	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	17	0	36	91	0	0
111	0	0	28	85	25	98	0	26	28	0	0	0	54	17	25	36	94	0	0
112	0	0	56	0	0	0	0	0	28	0	33	0	0	0	25	0	88	20	0
113	0	45	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	62	0	0
114	0	45	56	0	0	0	0	0	0	132	209	27	0	25	0	0	0	0	0
115	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	39	0	0	0	0	0	20	0	0
116	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
118	0	0	55	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
119	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	28	67	0	0	22	0	0	0	0	22	78	0	0	0	22	0	91	0	0
121	0	0	56	0	0	0	0	0	28	0	89	0	0	0	56	0	30	0	0
122	0	0	0	28	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0
124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
126	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	30	0	0
127	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
128	0	22	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
129	0	33	56	0	0	0	30	26	0	0	166	0	0	17	0	0	64	20	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	0	27	0	0	0	0
132	0	0	0	0	25	0	0	0	0	17	0	0	17	17	0	30	20	0	0
133	0	22	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	17	76	0	76	0	0
134	0	0	0	0	0	0	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135	0	91	61	0	0	0	0	30	0	0	64	0	0	30	76	0	213	0	30
136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	20	0	0	0	0	0	0
137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0
138	0	0	28	0	0	26	26	0	0	0	85	26	0	0	0	103	26	0	0
139	0	0	85	0	0	0	0	0	28	0	19	104	0	0	0	0	30	0	0
140	0	67	56	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142	0	22	39	0	19	0	0	0	0	0	72	0	0	0	0	0	0	0	0
143	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	104	0	0	0	0	34	0	0
144	0	67	89	0	25	0	60	53	0	0	99	521	54	17	151	0	274	59	0
145	0	0	0	0	76	0	30	27	0	0	0	0	54	0	25	0	0	0	0
146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
147	0	67	28	28	25	0	30	27	0	0	33	104	27	0	0	0	30	0	31
148	28	75	0	0	51	0	0	0	0	0	33	104	0	61	76	26	30	0	0
149	0	0	0	0	51	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0
150	0	0	85	0	0	0	0	0	28	0	104	0	0	0	0	35	100	22	0
151	0	0	0	56	0	0	30	0	0	0	97	24	27	34	25	0	61	0	0
152	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132	66	0	0
211	0	67	28	28	0	0	0	79	0	0	0	0	54	0	76	0	122	0	0
216	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181	0	0	0	0	0	0	389	0	0

Tablo 9.1c Özel Araç Ulaşım Matrisi (2002 Ulaşım Master Planı)

	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	203	211	216
101	26	0	23	0	23	0	206	0	0	0	0	0	0	95	22	0	0	0	23	0
102	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	52	0	0
103	0	0	47	0	39	0	71	0	0	0	19	0	44	97	66	0	20	66	91	192
104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	82
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0
106	46	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	23	46
107	26	54	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	54	0	0	0	0	0
108	0	0	116	0	0	68	76	54	27	80	0	0	0	72	22	0	0	66	0	164
109	0	0	0	0	0	26	26	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	77	0
110	0	0	23	0	0	0	23	0	0	0	23	0	69	0	0	0	0	46	0	0
111	0	104	23	0	0	68	195	0	0	33	33	0	0	48	0	0	0	0	65	279
112	77	0	23	0	0	0	244	0	0	0	44	44	70	24	0	0	0	0	132	0
113	0	0	0	0	0	0	248	186	0	0	0	0	31	0	0	0	0	31	155	62
114	52	0	0	0	0	0	96	60	0	0	0	25	0	24	0	0	0	0	0	0
115	52	0	23	0	0	0	0	39	0	66	0	0	35	0	0	0	0	66	39	0
116	0	25	0	0	0	25	127	52	0	25	25	0	0	0	0	0	0	66	25	0
117	0	0	0	0	0	0	0	53	0	0	0	0	27	0	0	0	0	66	0	27
118	0	0	0	0	0	0	28	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	89	0	22	0	22	0	0	67	75	0	0	0	0	0	0	0	67	0
121	85	85	56	0	39	0	56	0	0	28	0	0	85	0	0	0	0	0	28	0
122	0	0	56	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	56	0	0	0	0	28	0
123	0	0	0	0	19	0	25	76	0	25	51	51	0	0	0	0	0	0	0	0
124	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125	26	0	0	0	0	0	89	30	0	30	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
126	0	0	0	0	0	0	53	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	79	0
127	0	28	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0
128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0
129	59	19	0	0	72	0	132	0	0	33	33	0	104	97	0	0	0	33	0	264
130	26	0	0	0	0	209	417	0	0	104	104	0	0	0	0	0	0	0	0	0
131	0	0	0	0	0	0	54	54	0	27	0	0	0	27	0	0	0	0	54	0
132	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	61	0	17	34	0	0	0	0	0	0
133	0	0	0	0	0	0	151	25	0	0	126	0	25	25	0	0	0	0	126	0
134	103	0	0	0	0	0	36	0	0	0	26	0	35	0	0	0	0	132	0	0
135	26	30	0	0	0	0	274	0	0	30	30	0	100	105	0	0	0	66	122	307
136	0	0	0	0	0	0	59	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0
137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
138	181	0	49	0	0	0	361	0	0	77	52	0	129	0	0	0	0	0	103	0
139	0	0	47	0	0	19	39	19	0	19	0	0	0	39	0	0	0	0	0	0
140	49	47	47	26	58	0	23	23	0	26	23	0	48	66	0	0	0	0	23	164
141	0	0	0	0	0	77	26	0	0	26	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0
142	0	0	58	0	77	0	19	0	0	19	19	0	19	0	0	0	0	66	58	0
143	0	39	0	77	0	68	196	0	0	34	34	0	0	24	0	0	0	0	103	150
144	336	39	47	26	19	103	160	55	27	33	52	0	263	217	110	0	0	0	522	328
145	0	19	51	0	0	0	74	0	27	54	26	0	27	97	0	0	0	0	118	0
146	0	0	0	0	0	0	27	27	214	27	54	44	0	0	0	0	0	0	54	0
147	52	39	0	26	39	34	33	54	27	109	79	0	104	97	0	0	0	66	27	164
148	26	0	26	0	19	34	52	45	27	104	51	0	104	0	22	0	0	0	0	164
149	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	50	107
150	155	0	0	26	19	0	278	27	0	104	104	0	95	0	0	35	0	70	91	316
151	0	39	48	0	0	24	217	72	0	97	24	24	0	193	44	48	24	24	47	24
152	0	0	66	0	0	0	110	0	0	0	22	0	0	44	44	0	0	0	44	0
153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	48	0	0	0	0	0	0
154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0
203	0	0	0	0	66	0	0	0	0	66	0	0	70	24	0	0	0	132	66	0
211	103	0	23	0	58	103	522	118	54	27	26	25	0	47	44	0	0	66	961	164
216	52	0	328	0	0	34	493	0	0	164	164	107	316	24	0	0	0	0	246	1642



Şekil 9.4. Düzenlenmiş Zon Sistemi

Belirlenen yeni zonların talep matrisinin oluşturulması için mevcut matris üzerinde birleştirilen zonların ürettiği ve çektiği özel araçlı yolculuklar toplanarak yeni matris hazırlanmıştır. Hane halkı anketlerinden elde edilen yeni matris Tablo 9.2’de verilmiştir. Oluşturulan zon sisteminin ardından DYNASMART–P programının editör modülü ile Denizli yollarının olduğu .dxf uzantılı dosya altlık olarak kullanılarak dış kordon, iç zonlar, dış zonlar, zon içi ve zonlar arası linkler, düğümler (kavşaklar) ve kavşak kontrol parametreleri girilmiştir. Şekil 9.5’de zonlar, ulaşım ağı ve düğümler görülmektedir.

Tablo 9.2. Genişletilmiş Çalışma Ağına ait Talep Matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1812	490	262	1428	666	1150	1410	526	512	692	394	2210	2130	1486	1250
2	396	802	294	240	116	152	98	0	210	0	226	544	46	490	210
3	262	152	542	388	382	202	224	298	350	156	286	894	394	272	100
4	1398	140	304	324	228	294	564	390	172	120	90	516	150	584	446
5	666	116	382	228	330	824	164	92	626	54	376	712	554	240	274
6	1278	112	202	338	814	1044	738	440	494	132	280	1052	280	566	412
7	1330	98	276	528	164	676	892	458	420	0	468	934	438	330	450
8	626	0	264	390	82	440	510	190	332	70	70	810	0	48	182
9	566	266	262	172	668	494	370	332	434	316	290	790	258	782	290
10	796	0	156	120	160	132	0	70	316	228	0	400	264	104	158
11	304	270	286	46	324	554	468	208	416	0	544	362	90	44	212
12	2006	872	894	718	604	866	1202	772	862	558	362	4958	50	400	754
13	2270	102	494	150	660	162	378	50	258	210	44	258	152	284	298
14	1430	490	320	540	158	512	340	48	692	104	182	192	496	1596	428
15	1250	210	102	446	328	412	450	0	290	158	212	590	198	382	1922

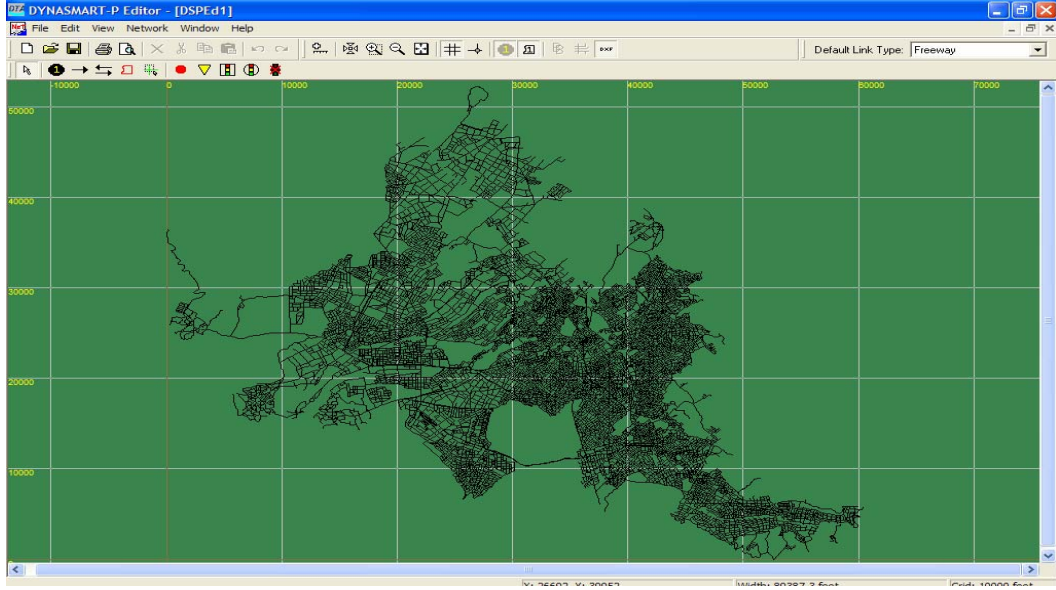


Şekil 9.5. Genişletilmiş Ulaşım Ağı (zonlar, linkler ve düğümler)

Ağ genişletme çalışması ve Dynasmart-P editör modülünün kullanılışı aşağıda özetlenmiştir.

Ağın Programa Aktarılması

DYNASMART-P Network Editor (DSPED) aracılığı ile ağı programa aktarabilmek için ağın dxf uzantılı çizim dosyası temin edilir ve bu dosya programa Network menüsünün altındaki “Load DXF File” komutu ile aktarılır. Şekil 9.6’da dxf uzantılı çizim dosyasının programa aktarılması ve ağın tamamen aktarılmış hali görülebilmektedir.



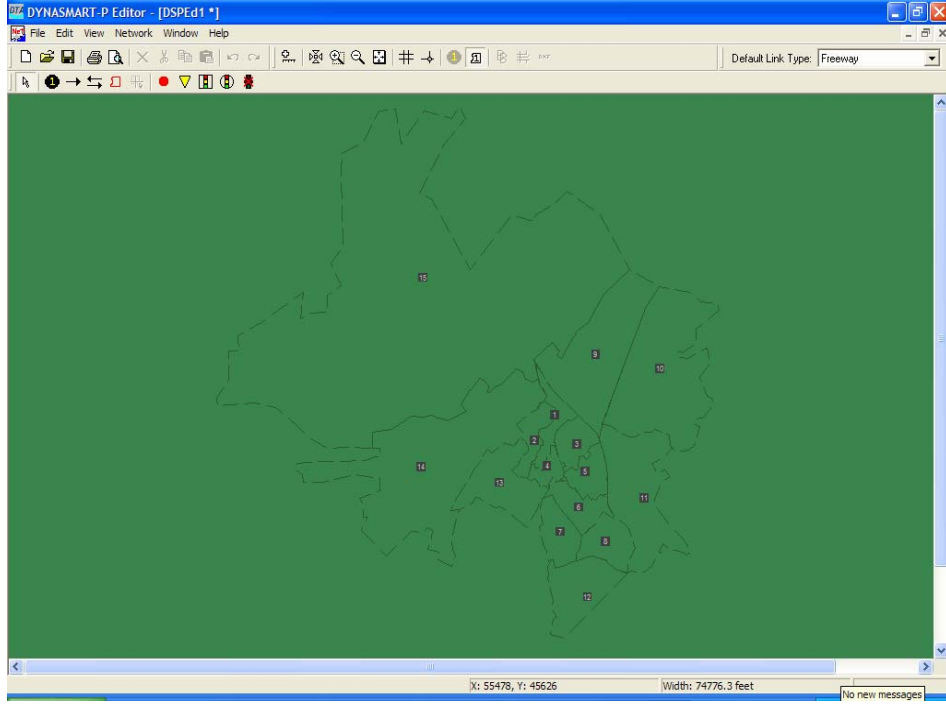
Şekil 9.6. Çalışma Ağının Programa Aktarılmış Hali

Ağın Zonlanması

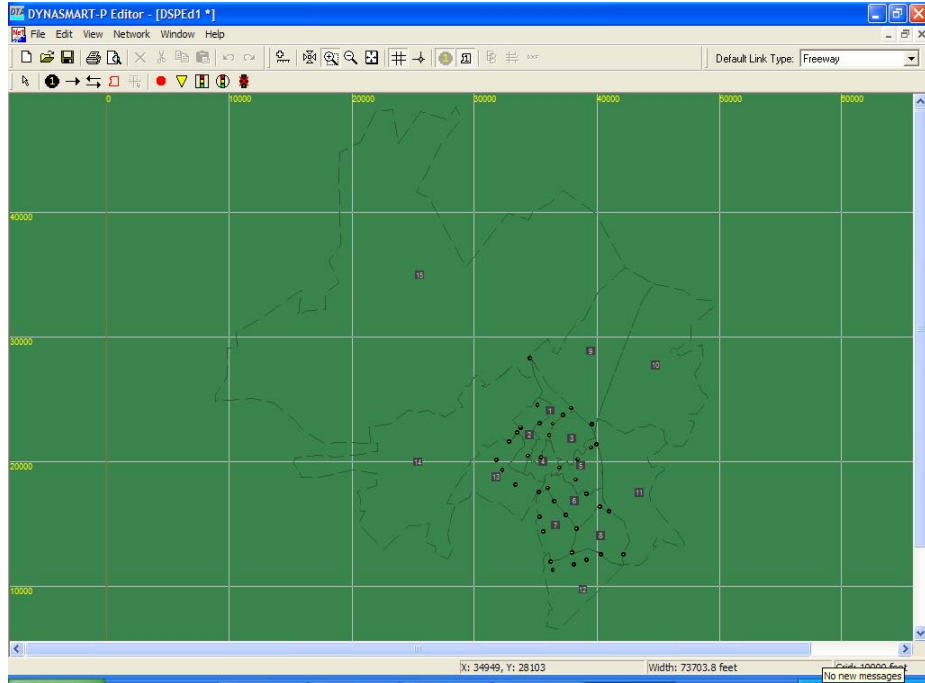
Elde edilen dxf uzantılı çizim dosyasından ağdaki mahalle sınırlarını gösteren dosyası programa aktarılarak ağın zonlama işlemi için bir altlık oluşturulur. DYNASMART-P Network Editor (DSPed) ile ağdaki mahalle sınırlarını gösteren altlık yardımıyla ağın zonlama işlemi yapılmıştır. 2002 yılında yapılan Denizli Ulaşım Ana planında Denizli kenti 55 adet zondan oluşmaktadır, bu çalışmada 55 adet zon birleştirilerek 15 adet zon oluşturulmuştur. Bu 15 adet zondan ilk 8 tanesi iç zon olarak diğerleri de dış zon olarak tanımlanmıştır. 8 adet iç zon çalışma ağını oluşturmaktadır. Zonlaması yapılmış ağ aşağıda görülebilmektedir.

Çalışma Ağındaki Düğümlerin Tanımlanması

Zonlaması yapılmış ağda dxf uzantılı çizim dosyası yardımıyla düğüm yani kavşak noktaları tanımlanmıştır. Şekil 9.7 ve 9.8'de düğümlerin tanımlama işlemi ve bütün düğümleri tanımlanmış çalışma ağı görülebilmektedir.



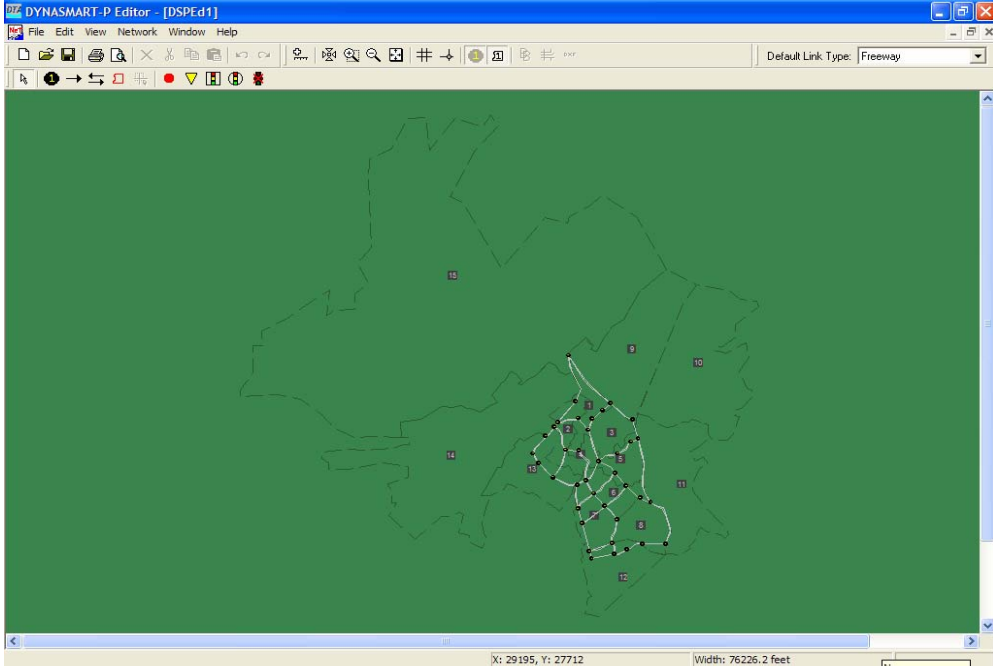
Şekil 9.7. Çalışma Ağının Zonlanmış Hali



Şekil 9.8. Çalışma ağındaki düğümler

Çalışma Ağındaki Ana Arterlerin Tanımlanması

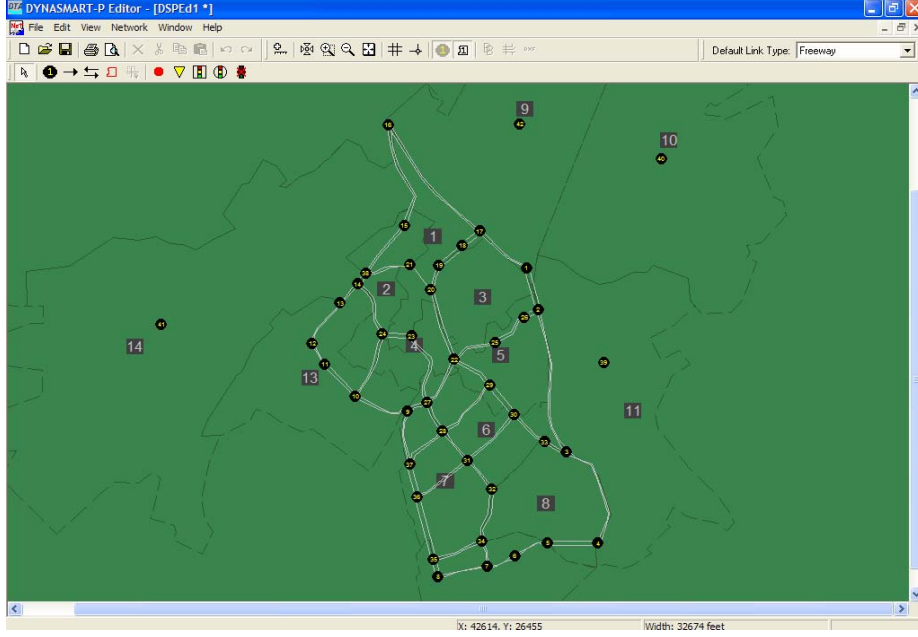
Zonlaması ve düğümleri tanımlanmış çalışma ağında dxf uzantılı çizim doyası yardımıyla ana arterlerin tanımlanması yapılmıştır. Şekil 9.9'da ana arterlerin tanımlama işlemi ve bütün ana arterleri tanımlanmış çalışma ağı görülebilmektedir.



Şekil 9.9. Çalışma Ağındaki Ana Arterler

Çalışma ağındaki iç zonları çevreleyen dış kordon aşağıdaki şekilde görülebilmektedir. Dış zonların çalışma ağına bağlantıları ise tek bir link sağlanmıştır.

Program editör modülü ile Şekil 9.10'da görüldüğü gibi çalışma ağının dış kordon, iç zonlar, dış zonlar, zon içi ve zonlar arası linkler, düğümler (kavşaklar) ve kavşak kontrol parametreleri girilmiştir. Çalışma ağı üzerine dinamik trafik ataması yapmadan önce programın nasıl çalıştırılacağı, hangi parametrelerin gerekeceği ve bu parametrelerin nasıl girileceği, senaryoların nasıl oluşturulacağı basit bir örnek ulaşım ağı kurularak bu örnek ağ üzerinde çalıştırılmış ve test edilmiştir.



Şekil 9.10. Çalışma Ağındaki İç Zonları Çevreleyen Dış Kordon

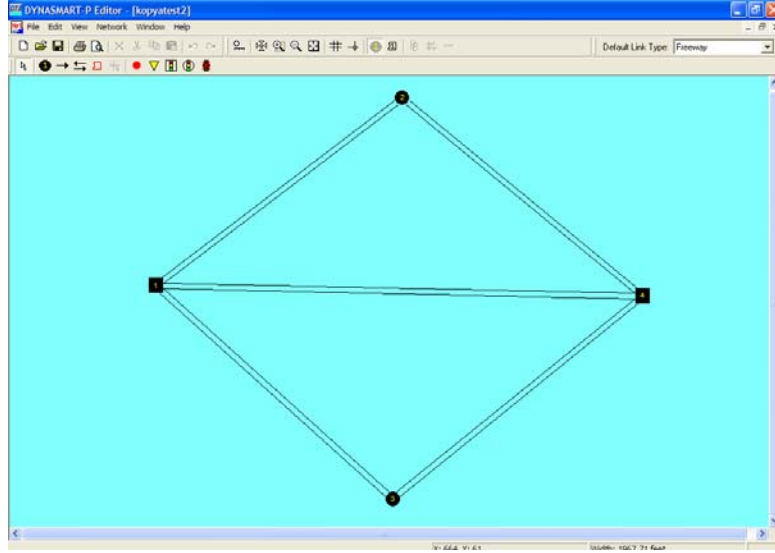
9.5. Programın Örnek Ağ Üzerinde Çalıştırılması

Çalışma ağında çalışmaya başlamadan önce alınan programda trafik atamasının nasıl yapıldığını, hangi tür trafik ataması yapılacağını, hangi parametrelerin kullanılacağını, bu parametrelerin nasıl girildiğini, ne çeşit senaryolar oluşturulabileceğini, bu senaryoların nasıl girilebileceğini test etmek amacıyla programda örnek bir ulaşım ağı oluşturulmuştur. Bu ağın üzerinde trafik atamaları çeşitli senaryolar dahilinde yapılmıştır.

Programın çalışmasını test etmek amacıyla 4 düğümlü, 10 linkli basit bir ulaşım ağı oluşturulmuş sonra oluşturulan basit ulaşım ağı DYNASMART-P Editor yardımı ile programa aktarılmıştır. Test amacıyla oluşturulan ulaşım ağı editör yardımıyla programa aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar oluşturularak ulaşım ağı üzerindeki linklerin akımları ve tüm ağın performansı karşılaştırılmıştır. Şekil 9.11’de örnek ulaşım ağı görülmektedir. Tablo 9.3’de ise talep matrisi verilmiştir.

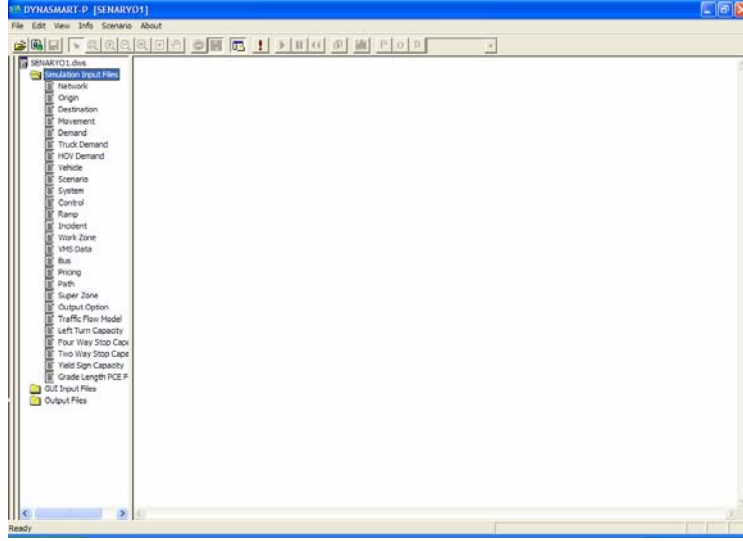
Tablo 9.3. Ulaşım Talebi Matrisi

B-V	1	4
1	-	1500
4	1500	-



Şekil 9.11. Örnek Ulaşım Ağı

Örnek ağının tüm linkleri arter olarak tanımlanmıştır. Linkler tek şerit olup hız limiti 50mil/sa ve ağ üzerinde herhangi bir trafik kontrol sistemi (sinyalizasyon, işaret levhası vb.) bulunmamaktadır. Ayrıca, linklerin hizmet hacmi 900 ta/sa/şe olarak belirlenmiş, ağ üzerinde sadece özel taşıtların (birim oto) bulunduğu yani ağır taşıtların (kamyon ve otobüs) bulunmadığı kabulü yapılmıştır. Test ulaşım ağının çalıştırılmasında tek adımlı simülasyon – atama yapılmış ve simülasyon süresi 60 dakika olarak seçilmiştir. Trafik atamasını yapmak için Editör’de oluşturulan ulaşım ağı programının atama modülünde açılır. Ulaşım ağı programda açıldığında ekran Şekil 9.12’de gösterilmektedir.



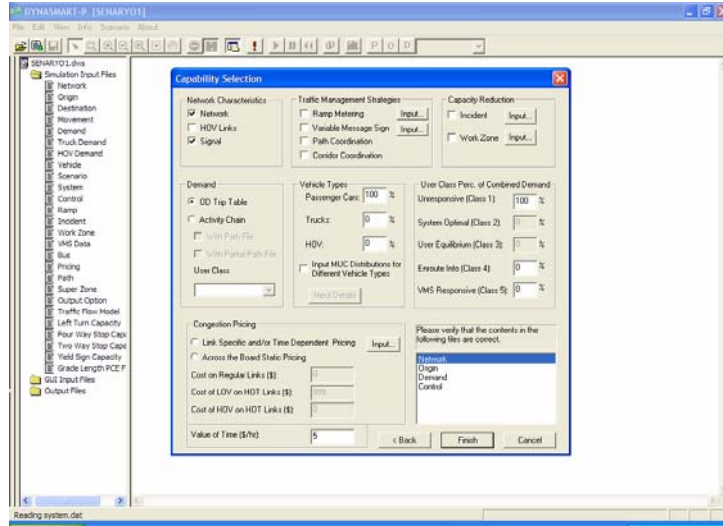
Şekil 9.12. Programın Atama Modülü

Daha sonra trafik atamasının yapılabilmesi için oluşturulan senaryoların özellikleri, programın “senaryo” menüsünün altından “parametrelerin özellikleri” sekmesi seçilerek senaryo ile ilgili parametrelerin girişi yapılmaktadır. Program dinamik trafik ataması yaparken çeşitli parametrelere ihtiyaç duymaktadır. Bu parametreleri şöyle sıralayabiliriz:

- Çözüm Metodu: Burada program, trafik atamasının hangi şekilde yapılması istendiğini sormaktadır. Bunlar; tek adımlı simülasyon-atama veya iteratif sürekli atama,
- Simülasyon Süresi: Atamanın yapılacağı süre,
- Ağ Karakteristikleri: Ulaşım ağında sinyalizasyon, yüksek doluluklu taşıt şeritlerin bulunup bulunmadığının belirtilmesi,
- Trafik Yönetim Stratejileri: Ulaşım ağı üzerinde Katılım Kontrolü, Değişken İşaret Levhaları, Rota Koordinasyonu ve Koridor Koordinasyonu varsa bunların özelliklerinin girişinin yapılması,
- Kapasite Azalması: Trafik Kazası veya Çalışma Bölgesi varsa bunların kapasite üzerine olan etkilerinin girişinin yapılması,
- Talep Özellikleri: Ulaşım ağı üzerine talebin nereden sağlanacağını belirtmesi. Bunlar: B-V talep matrisi veya Aktivite Zinciri,
- Taşıtların Cinsleri: Ulaşım ağını kullanacak özel taşıtların, ağır taşıtların ve yüksek doluluklu taşıtların oranlarının belirtilmesi,

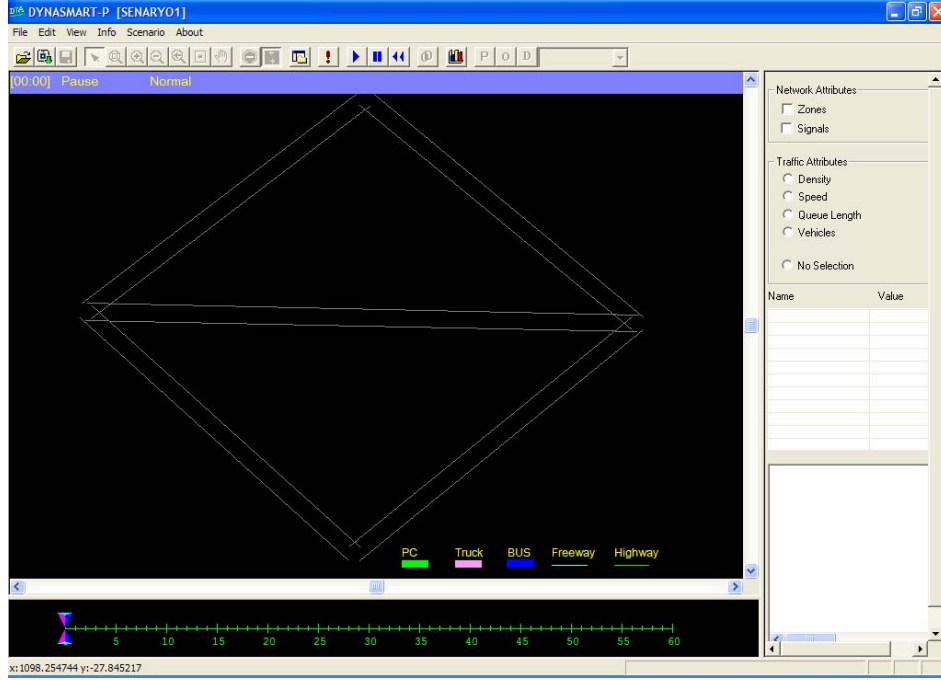
- Talebin kullanıcı (sürücü) tarafından algılanması yani ulaşım ağı üzerindeki trafik koşullarından sürücülerin bilgi sahibi olup olmadıklarının ve bu bilgi düzeyinin oranının belirtilmesi,
- Ulaşım Ağı Üzerinde Tıkanıklık Fiyatlandırması: ağ üzerinde tıkanıklık fiyatlandırmasının zamana mı ya da linke mi bağlı olduğunun belirtilmesi, özelliklerinin girişinin yapılması ve zamanın parasal değerinin girişinin yapılması.

Şekil 9.13’de parametrelerin girişinin yapıldığı ekran görülebilmektedir.



Şekil 9.13. Programda Parametre Giriş Penceresi

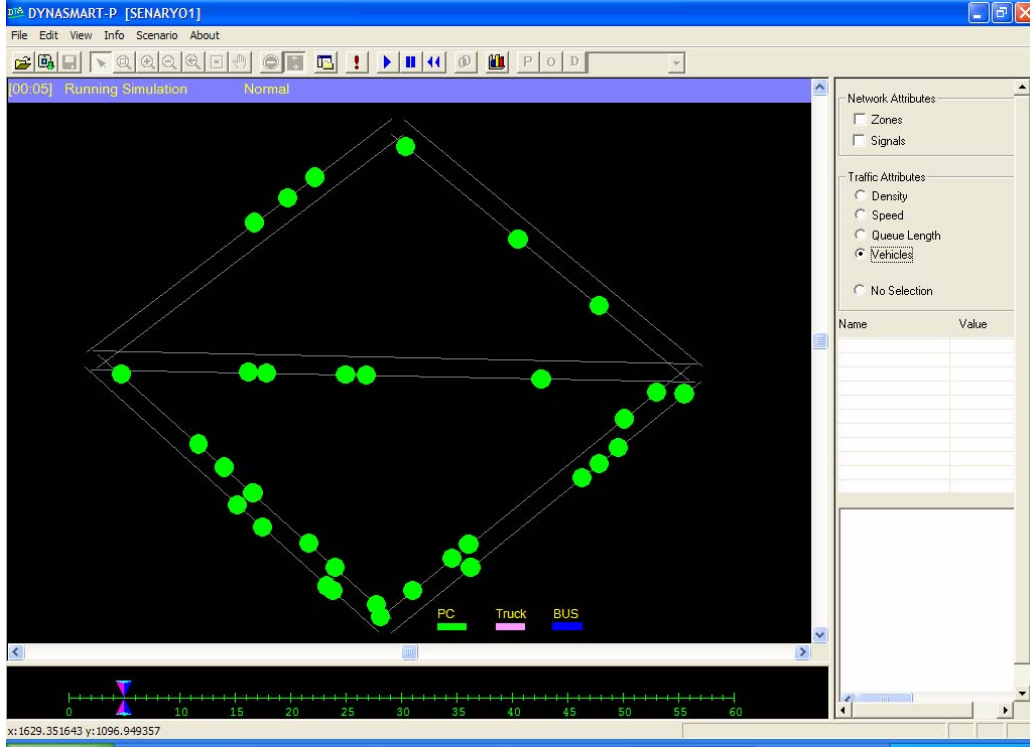
Parametrelerin girişi tamamlandıktan sonra programın ekranındaki programın simülasyon yardımıyla trafik ataması yapması sağlanır. Program, simülasyonu tamamladıktan sonra simülasyon sonuçlarını yüklemek için kullanıcıdan onay istemektedir. Onay verildikten sonra program ekranında Şekil 9.14’de görülen ekran görüntülenmektedir.



Şekil 9.14. Programın Simülasyon Penceresi

Simülasyon sonuçlarını görsel olarak izlemek için ekranın sağ bölümündeki trafik özelliklerinden biri (yoğunluk, hız, kuyruk uzunluğu, taşıtlar) seçilerek “Play simulation results” düğmesi tıklandığında simülasyon sonuçları simülasyon süresi ile eşzamanlı olarak görülebilmektedir. Şekil 9.15’de, simülasyon sonuçlarının simülasyon süresi ile eş zamanlı olarak görüntülenmesinin bir örneği verilmektedir.

Programı test amacıyla oluşturulan örnek ulaşım ağında çeşitli senaryolar oluşturularak dinamik trafik ataması yapılmıştır. Bu senaryolar ile ulaşım ağı üzerindeki sürücülerin ağ üzerindeki trafik koşulları ile ilgili bilgi sahibi olup olmama, linkler üzerinde trafik kazası veya herhangi bir çalışma bölgesi olup olmama gibi durumlarda linklerin performans değerlerinde (link akımları, yoğunlukları, hızları) ve tüm ağ genelinin performans değerlerinde oluşan değişiklikler görülebilmektedir. Programı test etmek amacıyla örnek ulaşım ağında oluşturulan senaryoların bilgileri aşağıda belirtilmektedir:



Şekil 9.15. Programda Simülasyon Sonuçlarının Görüntülenmesi

Senaryo 1: Ulaşım ağındaki tüm sürücülerin ağ üzerindeki trafik koşulları hakkında bilgi sahibi olmadıkları,

Senaryo 2: Ulaşım ağındaki sürücülerin % 80'inin ağ üzerindeki trafik koşulları hakkında bilgi sahibi olmadıkları, % 20'sinin ise ağ üzerindeki trafik koşulları hakkında bilgi sahibi (trafik yoğunluğunun fazla olduğu linkleri kullanmadan diğer rotaları seçtikleri) oldukları,

Senaryo 3: Ulaşım ağının 1-4 linki üzerinde 10. Dakika ile 35. Dakika arasında kaza meydana geldiği, bu kazanın öneminin % 30 olarak seçildiği ve ulaşım ağındaki tüm sürücülerin ağ üzerindeki trafik koşulları hakkında bilgi sahibi olmadıkları,

Senaryo 4: Ulaşım ağının 1-4 linki üzerinde 10. Dakika ile 35. Dakika arasında kaza meydana gelmiş ve bu kazanın önemi % 30 olarak seçilmiştir. Ayrıca, ulaşım ağındaki sürücülerin % 80'inin ağ üzerindeki trafik koşulları hakkında bilgi sahibi olmadıkları, % 20'sinin ise ağ üzerindeki trafik koşulları hakkında bilgi sahibi oldukları,

Senaryo 5: ulaşım ağının 1-4 linki üzerinde 10. Dakika ile 35. Dakika arasında çalışma bölgesi olduğu kabulü yapılmıştır. Ayrıca, hız limitinin 30 mil/sa, kapasite düşme oranının %20, kuyruk boşalma oranının 700 ta/sa/şe olduğu, ulaşım ağındaki tüm sürücülerin ağ üzerindeki trafik koşulları hakkında bilgi sahibi olmadıkları,

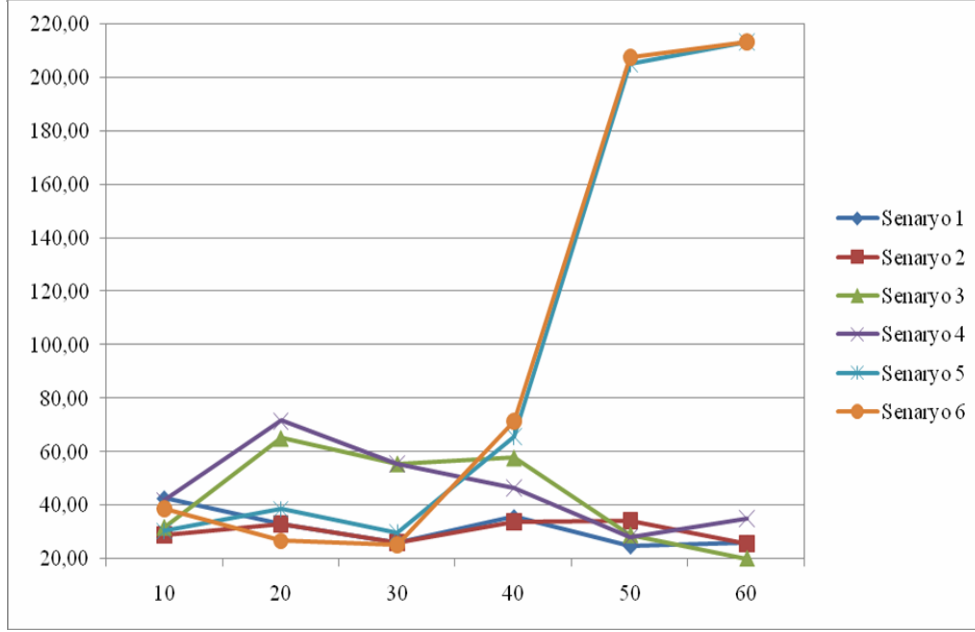
Senaryo 6: ulaşım ağının 1-4 linki üzerinde 10. Dakika ile 35. Dakika arasında çalışma bölgesi olduğu kabulü yapılmıştır. Ayrıca, hız limitinin 30 mil/sa, kapasite düşme oranının %20, kuyruk boşalma oranının 700 ta/sa/şe olduğu, ulaşım ağındaki sürücülerin % 80'inin ağ üzerindeki trafik koşulları hakkında bilgi sahibi olmadıkları, % 20'sinin ise ağ üzerindeki trafik koşulları hakkında bilgi sahibi oldukları kabulü yapılmıştır.

Aşağıda örnek olarak link 1-4'ün her 10 dakikalık performans değerleri Senaryo 1 için Tablo 9.4'de verilmektedir.

Tablo 9.4. Link 1-4'ün Performans Değerleri

Link 1-4				
Senaryo	Dk.	Yoğunluk (ta/mil/şe)	Hız (mil/sa)	Akım (ta/sa/şe)
Senaryo 1	10	42,67	22,89	936
	20	33,05	24,49	846
	30	25,94	25,68	768
	40	35,56	24,07	888
	50	24,68	25,89	618
	60	25,94	25,68	684

Aşağıda link 1-4'ün her 10 dakikalık yoğunluk değerleri tüm senaryolar için Şekil 9.16'da gösterilmektedir.

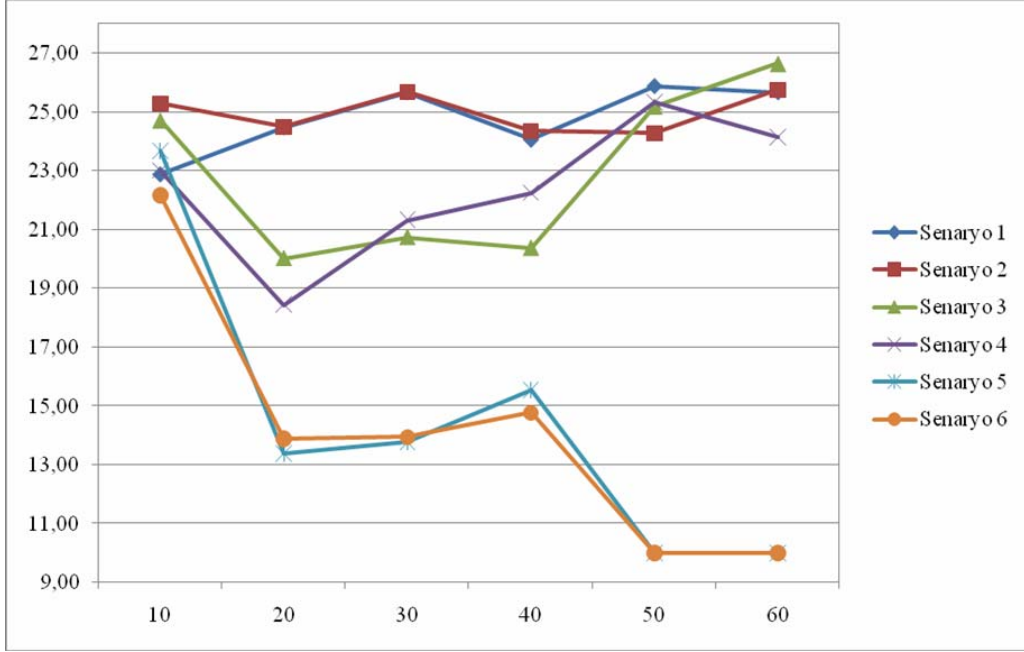


Şekil 9.16. Link 1-4 Yoğunluk Değerleri (ta/mil/şe)

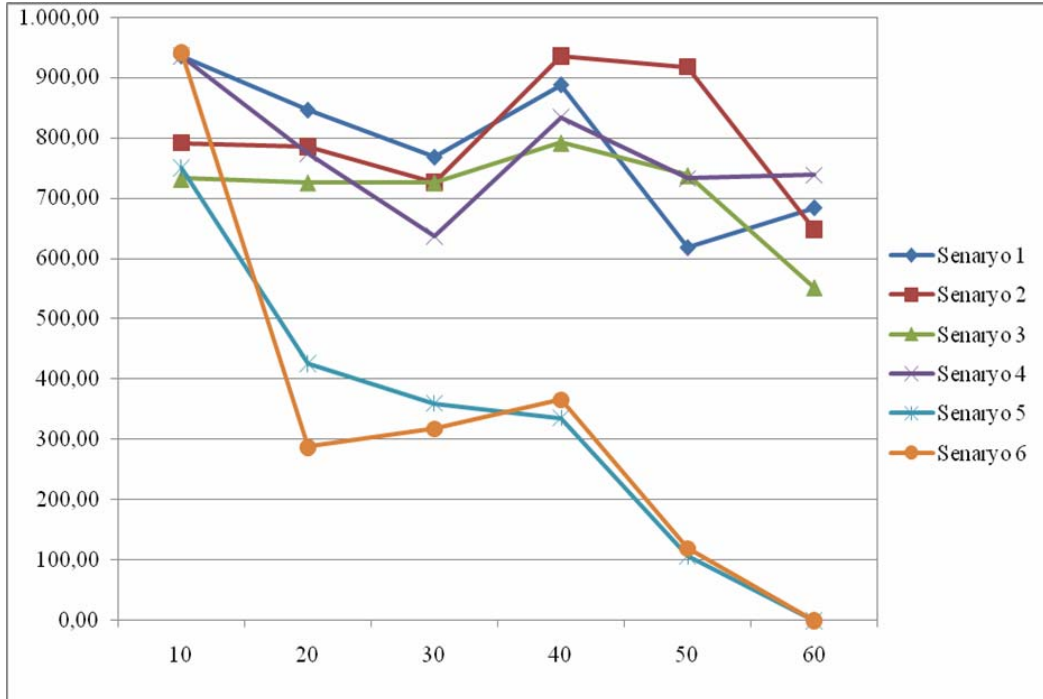
Şekil 9.16'ya bakıldığı zaman, Senaryo 3 ile 4'e göre link 1-4 üzerinde 10. dk ile 35. dk. arasında % 30 öneminde kaza meydana geldiğinde link üzerindeki yoğunluğun değişiklik gösterdiği görülebilmektedir. Senaryo 4'deki yoğunluk değerleri kaza sırasında Senaryo 3'deki değerlere göre daha azdır. Bunun da nedeni Senaryo 4'de sürücülerin % 20'sinin ağ üzerindeki trafik koşulları hakkında bilgi sahibi olup rotalarını ona göre belirlemeleridir.

Aşağıda link 1-4'ün her 10 dakikalık hız değerleri tüm senaryolar için Şekil 9.17'de gösterilmektedir. Şekil 9.17'ye bakılınca, Senaryo 5 ile 6'ya göre link 1-4 üzerinde 10. dk ile 35. dk arasında çalışma bölgesi olduğundan % 20 oranında link kapasitesinde azalma ve 15 mil/sa'lik hız limiti olması durumundaki link üzerindeki hız değerlerinin diğer senaryolara göre büyük ölçüde azaldığı görülebilmektedir.

Aşağıda link 1-4'ün her 10 dakikalık akım değerleri tüm senaryolar için Şekil 9.18'de gösterilmektedir.



Şekil 9.17. Link 1-4 Hız Değerleri (mil/sa)



Şekil 9.18. Link 1-4 Akım Değerleri (ta/sa/şe)

Şekil 9.18'e bakılınca, Senaryo 1 ile 2'ye göre link 1-4 üzerinde geçen akım değerlerinde sürücülerin ağ üzerindeki trafik koşulları hakkında bilgi sahibi olup olmamalarına göre değişiklik gösterdiği görülebilmektedir. Ayrıca örnek ulaşım ağının her 10 dakikalık performans değerleri Senaryo 1 için Tablo 9.5'de verilmektedir.

Tablo 9.5. Örnek Ulaşım Ağının Performans Değerleri

Ulaşım Ağı					
Senaryo	Dk.	Ortalama Seyahat Zamanı	Ortalama Seyahat Zamanı Aşımı	Link Hızı (mil/sa)	Arter Hızı (mil/sa)
Senaryo 1	10	0,60	0,70	27,30	27,30
	20	0,70	0,70	27,50	27,50
	30	0,70	0,70	27,10	27,10
	40	0,70	0,70	26,40	26,40
	50	0,70	0,70	26,60	26,60
	60	0,70	0,70	26,80	26,80

9.6. Genişletilmiş Ağ Üzerinde Yapılan Çalışma

Bölüm 9.4.'de çalışma ağının genişletilmesi, zonlama çalışmaları, düğümlerin belirlenmesi, linklerin oluşturulması ve talep matrisinin yapımı gerçekleştirilmiştir. Ardından test ağında senaryolar doğrultusunda örnek ağdaki linklere ait akım ve performans ölçütleri belirlenmiştir. Bu bölümde genişletilmiş ağ üzerinde çalışmalara devam edilmiştir.

Genişletilmiş ağ 15 adet zon, 186 adet link ve 71 adet düğümden oluşmaktadır. Düğümlerden 30 adedi sinyalize 41 adedi kontrolsüz kavşaktır. Tablo 9.6'da düğümlere ait bilgiler verilmiştir. Tablo 9.7'de linklere ait bilgiler görülmektedir.

Tablo 9.6a Düğüm Noktalarının Özellikleri

Düğüm No	Kontrol Tipi	Kol adedi	Faz Sayısı	Devre Süresi (sn.)
1	Sinyalizasyon	3	3	135
2	Sinyalizasyon	4	3	63
3	Sinyalizasyon	4	4	76
4	Sinyalizasyon	3	3	72
5	Sinyalizasyon	4	3	84
6	Sinyalizasyon	4	4	98
7	Sinyalizasyon	4	3	79
8	Sinyalizasyon	4	4	72
9	Sinyalizasyon	3	3	96
10	Kontrolsüz	4	-	-
11	Sinyalizasyon	4	4	104
12	Kontrolsüz	3	-	-
13	Sinyalizasyon	3	3	104
14	Sinyalizasyon	4	3	71
15	Sinyalizasyon	4	3	86
16	Kontrolsüz	3	-	-

Güncellenen talep matrisi günlük verileri gösterdiği için programa talep matrisi girişi yapılırken sabah ve akşam zirve saatlerini yansıtmaları için talep matrisinin % 20'si alınmıştır. Daha sonra sabah ve akşam zirve saatlerini gösteren talep matrisi DYNASMART-P Network Editör programına girilmiş sonra da DYNASMART-P programında bu talep matrisinin ağa ataması yapılmıştır. Atama yapılırken simülasyon süresi 120 dk. olarak alınmıştır. Aşağıdaki Şekil 9.19'da genişletilmiş ulaşım ağı görülmektedir. Şekil 9.20'de simülasyon süresi programa girilmesi görülmektedir. Şekil 9.21'de simülasyon süresi boyunca ulaşım ağına yapılan atama görülebilmektedir. Simülasyon süresince veya simülasyon tamamlandıktan sonra ulaşım ağındaki herhangi bir linkin üzerine tıklanırsa o linkin simülasyon süresi boyunca yoğunluk, hız, akım ve kuyruk uzunluğu değerleri grafik olarak görülebilmektedir. Ayrıca simülasyon süresince veya simülasyon tamamlandıktan sonra tüm ulaşım ulaşım ağının performansı, ağ üzerindeki ortalama seyahat süresi, ağ üzerindeki ortalama hız, ulaşım ağı içindeki taşıt sayısı ve ulaşım ağından çıkan taşıt sayısı gibi değerler de yine grafik olarak görülebilmektedir. Şekil 9.22'de ulaşım ağındaki 27-22 linki ile ilgili değerler görülebilmektedir. Şekil 9.23'de ise tüm ulaşım ağının performansı ile ilgili bilgiler görülmektedir.

Tablo 9.6b Düzüm Noktalarının Özellikleri

Düzüm No	Kontrol Tipi	Kol adedi	Faz Sayısı	Devre Süresi (sn.)
17	Sinyalizasyon	3	3	121
18	Sinyalizasyon	4	4	157
19	Sinyalizasyon	4	4	139
20	Sinyalizasyon	3	3	103
21	Sinyalizasyon	4	3	114
22	Sinyalizasyon	4	4	162
23	Sinyalizasyon	4	4	126
24	Sinyalizasyon	4	4	85
25	Sinyalizasyon	4	4	85
26	Sinyalizasyon	4	4	97
27	Sinyalizasyon	4	3	108
28	Kontrolsüz	4	-	-
29	Sinyalizasyon	4	4	99
30	Sinyalizasyon	4	4	111
31	Sinyalizasyon	4	3	63
32	Kontrolsüz	3	-	-
33	Sinyalizasyon	4	4	107
34	Sinyalizasyon	4	4	104
35	Kontrolsüz	3	-	-
36	Kontrolsüz	3	-	-
37	Kontrolsüz	3	-	-
38	Kontrolsüz	3	-	-
39	Zon Merkezi	-	-	-
40	Zon Merkezi	-	-	-
41	Zon Merkezi	-	-	-
42	Zon Merkezi	-	-	-
43	Kontrolsüz	3	-	-
44	Zon Merkezi	-	-	-

Tablo 9.6c Düzüm Noktalarının Özellikleri

Düzüm No	Kontrol Tipi	Kol adedi	Faz Sayısı	Devre Süresi (sn.)
45	Sinyalizasyon	4	3	98
46	Kontrolsüz	3	-	-
47	Kontrolsüz	3	-	-
48	Zon Merkezi	-	-	-
49	Kontrolsüz	3	-	-
50	Zon Merkezi	-	-	-
51	Zon Merkezi	-	-	-
52	Zon Merkezi	-	-	-
53	Zon Merkezi	-	-	-
54	Zon Merkezi	-	-	-
55	Zon Merkezi	-	-	-
56	Zon Merkezi	-	-	-
57	Zon Merkezi	-	-	-
58	Kontrolsüz	3	-	-
59	Zon Merkezi	-	-	-
60	Zon Merkezi	-	-	-
61	Zon Merkezi	-	-	-
62	Zon Merkezi	-	-	-
63	Zon Merkezi	-	-	-
64	Zon Merkezi	-	-	-
65	Zon Merkezi	-	-	-
66	Zon Merkezi	-	-	-
67	Zon Merkezi	2	-	-
68	Zon Merkezi	-	-	-
69	Zon Merkezi	-	-	-
70	Zon Merkezi	-	-	-
71	Kontrolsüz	3	-	-

Tablo 9.7a Linklerin Özellikleri

Link No	Şerit Sayısı/Yön	Yön	Hız Sınırı (Km/sa.)	Kapasite (ta/şe/sa)
1-2	2	Çift	70	1800
1-40	3	Çift	70	1800
1-17	2	Çift	70	1800
2-3	2	Çift	70	1800
2-59	2	Çift	50	800
2-26	2	Çift	50	800
3-4	3	Çift	70	1800
3-33	2	Çift	50	800
3-39	3	Çift	70	1800
4-5	3	Çift	70	1800
4-51	3	Çift	70	1800
5-6	3	Çift	70	1800
5-47	1	Çift	50	800
6-7	3	Çift	70	1800
6-48	1	Çift	50	800
6-49	1	Çift	50	800
7-8	3	Çift	70	1800
7-34	2	Çift	50	800
7-43	2	Çift	70	1800
8-50	3	Çift	70	1800
8-35	3	Çift	70	1800
8-43	2	Çift	50	800
9-10	2	Çift	70	1800
9-27	2	Çift	50	800
9-37	2	Çift	70	1800
10-11	2	Çift	70	1800
10-52	1	Çift	50	800
10-53	1	Çift	50	800

Tablo 9.7b Linklerin Özellikleri

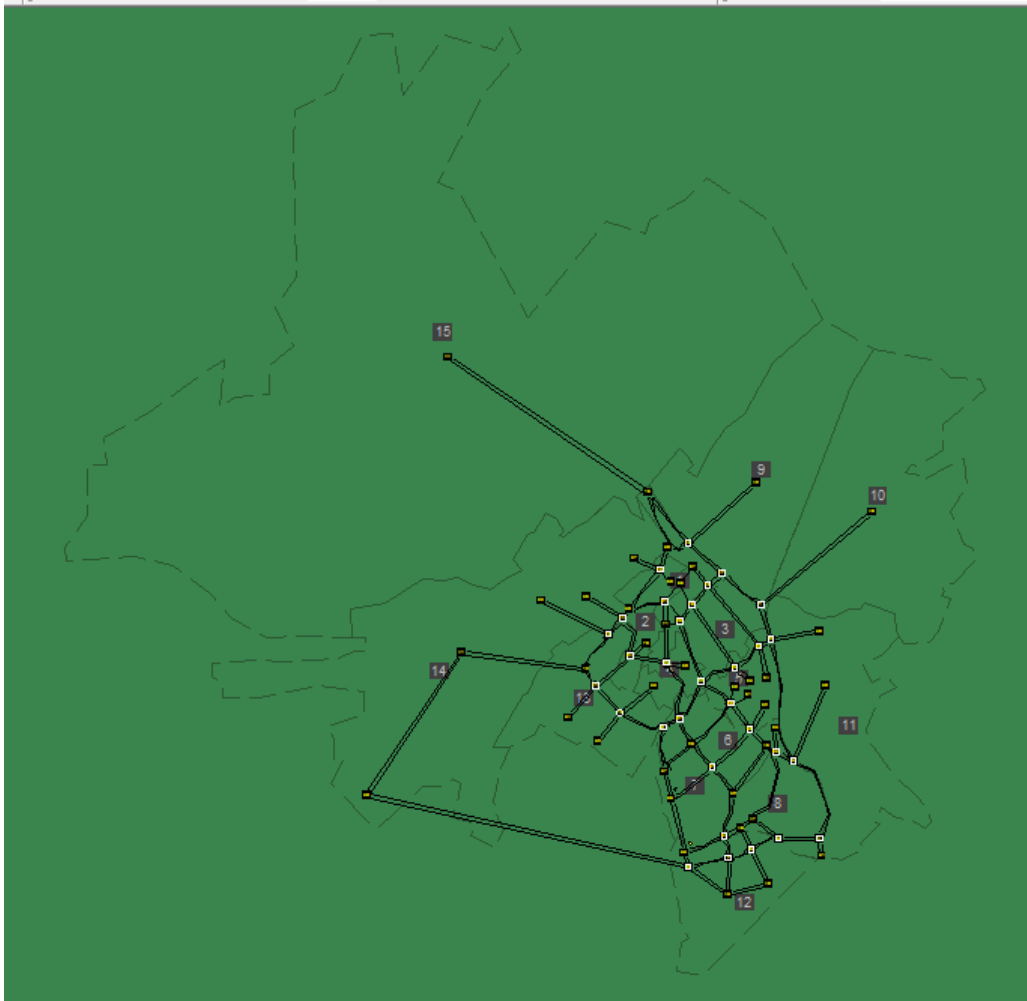
Link No	Şerit Sayısı/Yön	Yön	Hız Sınırı (Km/sa.)	Kapasite (ta/şe/sa)
11-12	2	Çift	70	1800
11-24	2	Çift	50	800
11-54	2	Çift	50	800
12-13	2	Çift	70	1800
12-41	2	Çift	70	1800
13-14	3	Çift	70	1800
13-55	3	Çift	70	1800
14-38	3	Çift	70	1800
14-24	2	Çift	50	800
14-56	1	Çift	50	800
38-15	2	Çift	70	1800
38-21	1	Çift	50	800
15-58	2	Çift	70	1800
15-57	1	Çift	50	800
68-15	2	Tek	50	800
58-16	2	Çift	70	1800
58-45	2	Çift	50	800
16-45	2	Çift	70	1800
16-44	3	Çift	70	1800
45-42	1	Çift	50	800
45-17	2	Çift	70	1800
17-18	2	Çift	50	800
18-19	2	Çift	50	800
18-26	2	Çift	50	800
18-67	2	Çift	50	800
19-20	2	Çift	50	800
19-25	2	Çift	50	800
20-21	2	Tek	50	800

Tablo 9.7c Linklerin Özellikleri

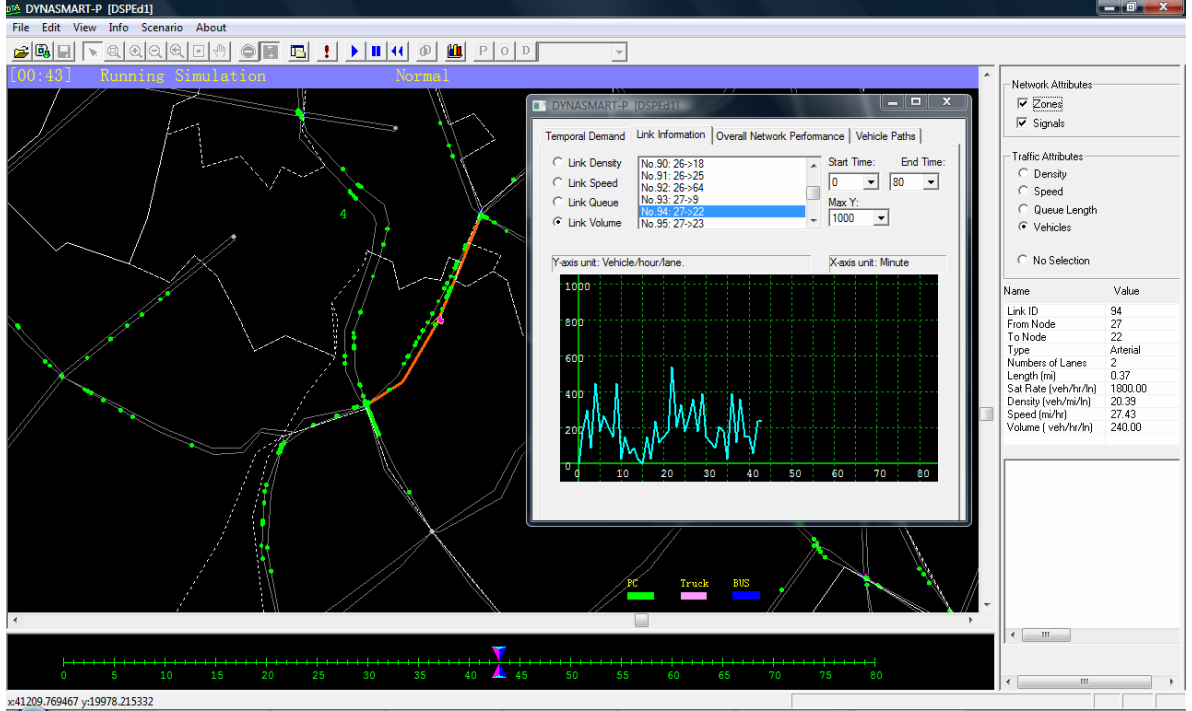
Link No	Şerit Sayısı/Yön	Yön	Hız Sınırı (Km/sa.)	Kapasite (ta/şe/sa)
20-22	2	Çift	50	800
21-71	2	Çift	50	800
22-25	2	Çift	50	800
22-27	2	Çift	50	800
22-29	2	Çift	50	800
23-24	2	Çift	50	800
23-27	2	Çift	50	800
23-71	2	Çift	50	800
23-69	2	Çift	50	800
24-70	1	Çift	50	800
25-26	2	Çift	50	800
25-65	2	Çift	50	800
26-64	2	Çift	50	800
27-28	2	Çift	50	800
28-29	2	Çift	50	800
28-31	2	Çift	50	800
28-37	2	Çift	50	800
29-30	2	Çift	50	800
29-61	1	Tek	50	800
30-31	2	Çift	50	800
30-46	2	Çift	50	800
30-62	2	Çift	50	800
31-32	2	Çift	50	800
31-36	2	Çift	50	800
32-34	2	Çift	50	800
32-46	2	Çift	50	800
33-46	2	Çift	50	800
33-47	2	Çift	50	800

Tablo 9.7d Linklerin Özellikleri

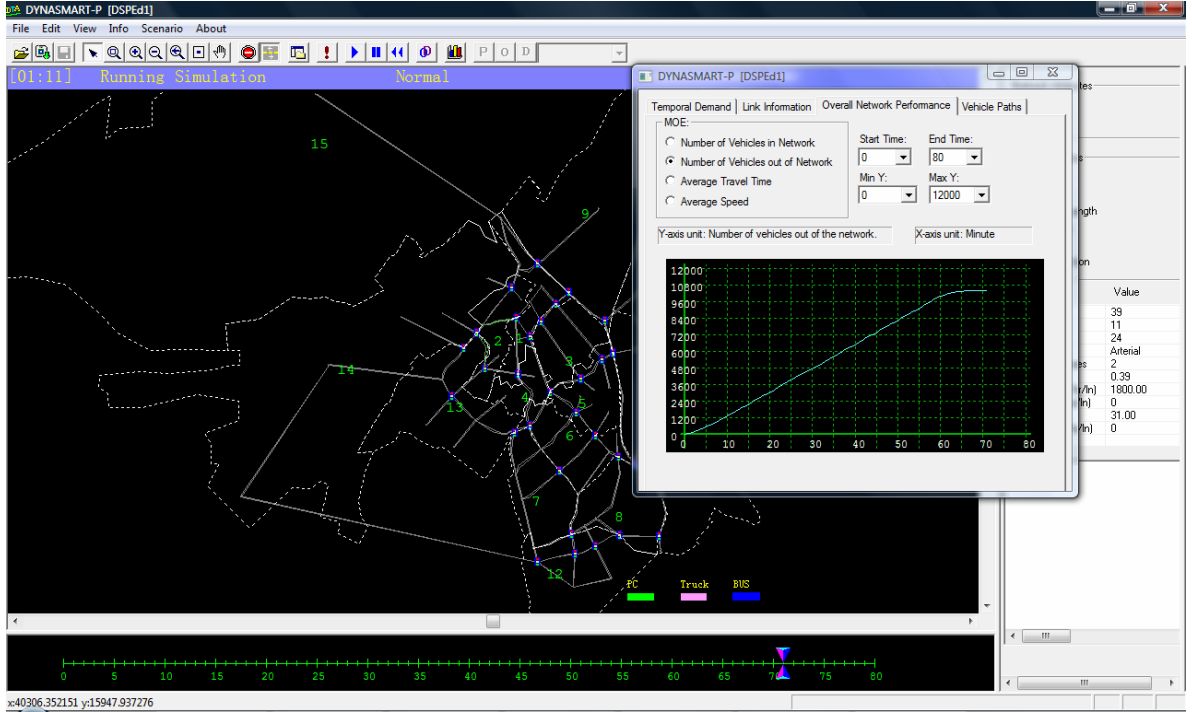
Link No	Şerit Sayısı/Yön	Yön	Hız Sınırı (Km/sa.)	Kapasite (ta/şe/sa)
33-63	2	Çift	50	800
34-35	2	Çift	50	800
34-49	2	Çift	50	800
35-36	3	Çift	70	1800
36-37	2	Çift	70	1800
41-50	2	Çift	70	1800
43-48	2	Çift	50	800
47-49	2	Çift	50	800
60-29	1	Tek	50	800
66-19	2	Tek	50	800
67-66	2	Tek	50	800
66-21	2	Tek	50	800
71-20	1	Tek	50	800



Şekil 9.19 Genişletilmiş Ulaşım Ağı



Şekil 9.20 Ulaşım Ağındaki 27-22 Linkinin Akım Değerleri



Şekil 9.21 Tüm Ulaşım Ağının Performansı

Atama sonunda ulaşım ağındaki 27-22 linkinin simülasyon süresi boyunca hız, yoğunluk, hacim ve kuyruk uzunluğu (kuyruk uzunluğunun link uzunluğuna oranı cinsinden) değerlerinin nasıl değiştiği Tablo 9.8’de görülmektedir.

Tablo 9.8 27-22 linkinin hız, yoğunluk, hacim ve kuyruk uzunluğu değerleri

Zaman (dk.)	Yoğunluk (ta/km/şe)	Hız (km/sa)	Hacim (ta/sa/şe)	Kuyruk Uzunluğu (%)
5	25,83	42,61	318	4,20
10	20,94	43,99	360	2,60
15	11,96	46,52	102	1,60
20	15,77	45,44	234	3,60
25	22,57	43,53	234	3,40
30	57,64	33,65	336	15,00
35	50,30	35,72	306	14,40
40	41,05	38,33	342	10,20
45	38,06	39,17	276	8,80
50	33,17	40,55	414	6,60
55	53,02	34,95	600	9,60
60	55,46	34,26	432	15,20
65	17,40	44,99	246	4,20
70	9,52	47,20	192	1,00
75	5,71	48,28	132	0,60
80	8,43	47,50	180	1,20
85	1,09	49,58	36	0
90	0,27	49,80	18	0
95	0	50	0	0
100	0	50	0	0
105	0	50	0	0
110	0	50	0	0
115	0	50	0	0

Simülasyon süresi içinde ulaşım ağındaki 45 adet link üzerinde kuyruklanma olduğu belirlenmiştir. Bu linkler ve kuyruklanma uzunluğunun ulaştığı en büyük oranlar Tablo 9.9’da görülmektedir.

Tablo 9.9 Ulaşım ağında kuyruklanma olan linkler ve kuyruk uzunlukları

Link No	Kuyruk Uzunluğu (%)	Link No	Kuyruk Uzunluğu (%)
1-2	21,40	27-22	15,20
1-17	27,80	28-27	89,60
2-26	16,00	29-22	41,60
3-2	17,80	29-30	3,80
7-34	19,20	31-28	30,40
9-27	52,40	33-3	22,20
12-11	83,00	35-8	22,60
13-12	57,40	37-9	78,00
16-45	22,40	37-28	77,20
16-58	10,80	38-14	10,20
17-18	64,20	38-21	66,00
18-26	12,80	41-12	29,80
19-18	35,40	43-7	12,80
19-20	23,60	45-17	77,80
20-21	39,40	46-30	47,00
20-22	11,40	46-33	35,20
21-71	12,20	49-6	35,80
22-25	55,80	58-15	71,60
22-27	12,60	58-45	19,60
23-27	13,00	70-24	29,40
23-71	11,80	71-20	82,60
24-14	42,00	71-21	12,60
25-26	12,60		

Daha sonra güncellenen talep matrisinin % 25'inin sabah ve akşam zirve saatlerini yansıttığı varsayımı yapılmıştır. Talep matrisinin % 25'i alınarak program çalıştırılmıştır. Simülasyon süresi yine 120 dk olarak alınmıştır. Atama sonunda ulaşım ağındaki 27-22 linkinin simülasyon süresi boyunca hız, yoğunluk, hacim ve kuyruk uzunluğu (kuyruk uzunluğunun link uzunluğuna oranı cinsinden) değerlerinin nasıl değiştiği Tablo 9.10'da görülmektedir.

Tablo 9.10 27-22 linkinin hız, yoğunluk, hacim ve kuyruk uzunluğu değerleri

Zaman (dk.)	Yoğunluk (ta/km/şe)	Hız (km/sa)	Hacim (ta/sa/şe)	Kuyruk Uzunluğu (%)
5	35,89	39,78	378	5,00
10	47,85	36,41	462	10,20
15	16,31	45,28	198	3,40
20	16,59	45,22	246	3,00
25	35,89	39,78	360	7,80
30	66,88	31,06	408	16,00
35	118,00	18,76	576	28,40
40	155,52	16,09	402	43,80
45	161,77	16,09	282	51,60
50	159,60	16,09	300	51,60
55	165,85	16,09	414	50,20
60	167,21	16,09	378	52,80
65	159,05	16,09	342	48,80
70	103,04	21,43	168	37,40
75	50,57	35,64	42	19,40
80	3,54	48,89	54	1,00
85	2,18	49,27	24	0,40
90	0	50	0	0
95	0	50	0	0
100	0	50	0	0

Simülasyon süresi içinde ulaşım ağındaki 78 adet link üzerinde kuyruklanma olduğu belirlenmiştir. Bu linkler ve kuyruklanma uzunluğunun ulaştığı en büyük oranlar Tablo 9.11’de görülmektedir.

Tablo 9.11a Ulaşım ağında kuyruklanma olan linkler ve kuyruk uzunlukları

Link No	Kuyruk Uzunluğu (%)	Link No	Kuyruk Uzunluğu (%)
1-2	26,40	20-21	85,00
1-17	38,40	20-22	31,20
2-26	55,00	21-71	37,20
3-2	33,60	22-27	17,60
3-33	11,00	22-29	20,20
5-4	27,40	23-24	10,00
6-5	3,60	23-27	19,20
7-6	85,20	23-71	22,60
7-34	12,20	24-14	57,00
8-7	27,80	25-22	23,40
9-27	72,20	25-26	31,20
10-9	18,00	26-2	65,80
10-11	20,80	26-25	76,20
12-11	83,00	27-9	34,20
13-12	88,60	27-22	52,80
14-13	24,20	27-23	23,80
14-38	21,20	28-27	89,80
15-58	19,00	28-29	65,00
16-45	77,80	28-37	17,40
16-58	66,40	29-22	81,40
17-18	59,60	30-29	64,00
19-18	62,00	31-28	22,00
19-20	69,80	31-30	13,20
19-25	14,40	32-24	26,20

Tablo 9.11b Ulaşım ağında kuyruklanma olan linkler ve kuyruk uzunlukları

Link No	Kuyruk Uzunluğu (%)	Link No	Kuyruk Uzunluğu (%)
33-3	85,00	46-30	35,80
34-7	15,20	46-33	14,40
35-8	39,80	49-6	56,60
35-34	11,00	49-34	6,40
36-31	26,80	50-8	9,00
36-37	50,80	58-15	73,80
37-9	85,20	58-45	72,20
37-28	10,00	65-25	7,20
38-14	10,20	66-19	6,40
38-21	79,00	66-21	8,00
40-1	20,40	69-2	12,40
41-12	70,20	69-23	5,20
42-45	14,40	70-24	14,80
43-7	11,20	71-20	90,00
45-17	79,60	71-21	24,80
45-58	41,20	71-23	17,60

Ulaşım ağında sabah ve akşam zirve saatlerindeki talebin % 5 artışı durumunda ulaşım ağında kuyruklanma olan linklerin sayısı yaklaşık iki katına çıkmıştır. Buradan talepte küçük bir artış olduğunda ulaşım ağının mevcut yönetim şekli ile talepteki bu küçük artışına cevap veremediği linkler üzerindeki kuyruklanmaların yaklaşık olarak iki katına çıkmasından anlaşılmaktadır. Ayrıca, talep matrisinin % 20'si alınarak yapılan atamada ulaşım ağı üzerindeki ortalama seyahat süresi 9 dk., ortalama hız 55 km/sa olarak belirlenmiştir. Talep matrisinin % 25'i alınarak yapılan atamada ise ulaşım ağı üzerindeki ortalama seyahat süresi 12 dk., ortalama hız 50 km/sa olarak belirlenmiştir. Programda yapılan atamalardan ulaşım ağının talebe çok duyarlı olduğu görülmektedir. Bu yüzden, ulaşım ağının yönetimi talep verilerine göre yapılmazsa ağ üzerindeki gecikmeler ve kuyruklanmalar artacaktır. Ulaşım ağı üzerindeki sinyalizasyon kavşaklarının devre süreleri ve yeşil süreleri talebe göre düzenlenmelidir. Ayrıca ulaşım ağındaki bazı kavşakların sinyalizasyonla denetlenmesine gerek yoktur. Böyle kavşakların denetim şekillerinin de yeniden düzenlenmesine ihtiyaç vardır.

9.7. Sonuçlar

Proje kapsamında alınan DYNASMART-P programı ile genişletilmiş çalışma ağı girilerek dinamik atama gerçekleştirilmiştir. Proje suresince çalışılan proje ağı genişletilmiş ve alansal trafik yonetimi için büyütülen ağda dış kordon, i zonlar, talep matrisi vb. tüm veriler hazırlanmıştır. Genişletilen ağa ait kontrol parametreleri ve geometrik veriler toplanarak oluşturulan oyun teorisi algoritması geniş ağda çalıştırılmıştır. Atama sonunda talepte küçük bir artış olduğunda ulaşım ağının mevcut yonetim şekli ile bu artışa cevap veremediği linkler üzerindeki kuyruklanmaların ortaya çıkmasından anlaşılmaktadır. Ayrıca, talepteki küçük artış ulaşım ağı üzerindeki ortalama seyahat suresini arttırmakta ve buna bağlı olarak da ortalama hızı azaltmaktadır. Bir başka deyişle ulaşım ağı talep artışına oldukça duyarlıdır. Bu nedenle, ulaşım ağının yonetiminin talep verilerine göre yapılmaması durumunda ağ üzerindeki gecikmeler ve kuyruklanmalar artacaktır. Ayrıca ulaşım ağı üzerindeki sinyalize kavşakların devre sureleri ve yeşil sureleri talebe göre düzenlenmelidir.

X. BÖLÜM

SONUÇLAR

10.1. Sonuçlar

Çalışmanın ilk bölümünde UAT kavramı açıklanarak sinyalize ve sinyalize olmayan durumları için tasarım parametrelerinin nasıl seçilebileceği açıklanmıştır. Mevcut altyapıyı en verimli ve etkili biçimde kullanmak için, trafik mühendisliği uygulamaları, toplu taşımacılık, fiyatlandırma politikaları, yasal düzenlemeler, enerji tasarrufu ve işletme konularında kısa ve uzun vadeli çözüm metotları geliştirmekte kullanılan ŞETYÖP yaklaşımı hakkında bilgi verilmiştir. UAT probleminin çözümünde kullanılan OT ve GA teknikleri açıklandıktan sonra UAT probleminin çözümünün zorlukları ve karşılaşılan problemlerden bahsedilmiştir. İzole kavşak ve alansal trafik kontrolü yaklaşımlarının farklarından ve benzerliklerinden bahsedilmiştir. Proje boyunca modelleme çalışmalarında kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan verilerin kapsamı ve elde edilme yöntemleri açıklanmıştır. Projenin amaçları, çıktıları ve kapsam hakkında bilgi verilmiştir.

Raporun II. Bölümünde trafik kontrol probleminin çözümü için uygulanan matematiksel formülasyonlar, ifadeler açıklanmış ve sinyal kontrolü konusundaki literatür verilmiştir. GA'ların mantıksal ifadesi, matematiksel formülasyonları ve diğer sezgisel metotlardan farkları ve benzerlikleri açıklanmıştır. Ayrıca GA operatörleri olan seçim, çaprazlama ve mutasyon özelliklerinden bahsedilmiş ve kullanım şekilleri verilmiştir. GA metodunun sinyal kontrolünde ve ağ tasarım probleminin çözümünde nasıl uygulanabileceği ve bu konuda yapılan çalışmalara yer verilmiştir. II. Bölümde şehir içi ağ tasarım probleminin genel çerçevesi, trafik atama ve sinyal kontrolü arasındaki ilişkinin matematiksel ifadeleri verilmiştir. DKD ve SKD prensipleri altındaki trafik atama probleminin matematiksel formülasyonları, aralarındaki benzerlikler ve farklılıklar açıklanmıştır. OT kavramı açıklanmış ve bu yöntemin uygulama alanları verildikten sonra sinyal kontrol problemine uygulama prensibi verilmiştir. Ayrıca OT' nin Nash dengesi altında sinyalize kavşak optimizasyonu ve trafik atama modellerinde GA ile birlikte uygulanabilirliği araştırılmıştır.

OT'nin sinyal kontrol ve ağ tasarımı probleminin çözümü için uygulanmasında kullanılabilecek stratejilerden olan merkezileştirme planları ve bireysel kavşak planları verilmiş ve matematiksel formülasyonları açıklanmıştır.

III. bölümde OT'nin literatürdeki farklı formülasyonları ve çözüm algoritmaları açıklanmıştır. KOOT'nin temelini teşkil eden SK oyunların formülasyonu verilmiştir. OT'nin farklı stratejiler altındaki versiyonları olan şeytana karşı oyunlar, yol kullanıcıları arasındaki oyunlar, yol kullanıcıları ve yetkililer arasındaki oyunlar matematiksel formülasyonları ile birlikte verilmiş ve açıklanmıştır. Sistem veya sürücü davranışlarının bir dizi diferansiyel denklemler yardımıyla modellenerek çözülebilen varsayımına dayanan DOT teorisi verilmiştir. OT'nin çözüm yöntemleri ve algoritmaları açıklanmıştır. Ayrıca OT'nin hangi kısıtlar altında ağ tasarımı probleminin çözümü için uygulanabileceği ve bunun için gerekli algoritma adımları ve formülasyonları verilmiştir. Birleştirilmiş trafik atama ve sinyal kontrol probleminin çözümü ve OT içindeki cournot oyunu, stackelberg oyunu ve monopoli oyunlarının çözüm yöntemleri ve matematiksel formülasyonları verilmiştir. GA'ların tanımı, çözüm yöntemleri, terminolojisi, GA ile trafik kontrol algoritmalarının formülasyonu, ve uygulama alanları verilmiştir. GA ile trafik sinyal kontrol formülasyonu açıklanmış ve sinyal değişkenlerinin GA içinde nasıl kodlanabileceği gösterilmiştir. ATK probleminin çözümü için geliştirilen GATRANS modelinin genel yapısı, algoritması ve çalışma prensipleri verilmiştir. GATRANS modelinin sayısal uygulaması 8 linkli iki kavşaklı örnek bir ağ üzerinde gösterilmiştir. Devre süreleri, ofsetler ve yeşil süreler GA içinde kromozomları oluşturacak şekilde ikili bitler şeklinde kodlanmıştır. Sayısal uygulama sonunda GATRANS modelinin ATK probleminin çözümünde başarılı olduğu görülmüştür.

Raporun IV. bölümünde taşınabilir ve sabit sensörler irdelenmiş ve bunların uygulanma şekilleri anlatılmış, farklı türlerdeki (sabit ve taşınabilir) sensörlerin fonksiyonları, avantaj ve dezavantajları irdelenmiştir. Sabit sensörlerden olan video görüntü işlemciler ve hareket-ağırlık sensörlerinin çalışma prensipleri ve araziye uygulanma şekilleri açıklanmıştır. Taşınabilir sensörlerden pnömomatik tüpler ve piezoelektrik sensörlerin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Yapılan literatür araştırmaları sonunda İED sisteminin bu çalışmada kullanılabileceği görülmüştür. Döngü sensörlerinin araziye uygulama şekilleri, test edilmesi ve araç imza yaklaşımlarının performans testleri gösterilmiştir. Araziye yerleştirilen sensörlerden elde edilen veriler, kamera sayımlarından elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.

Kamera sayımlarının yapılabilmesi için uygulama alanına hakim iki noktadan kavşağın iki kolunu iyi görecektik noktalara kameralar yerleştirilmiştir. Kavşak kol eksenlerine çapraz açı ile karşılıklı iki kamera kullanılmıştır. Uzun süreli sayımlar için sürekli enerji kaynağı ve daha fazla bellek kullanılması gerekmektedir. Yerleştirilen kameralara 1 Gb kapasiteli hafıza kartı yerleştirilmiştir. Akşam zirve saati olan 17.30-19.30 arasında sayım yapılması hedeflenmiştir. Kamera sayımları yapılırken araçlar; otomobil, otobüs, minibüs, kamyon ve kamyonet olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır.

Cihaz ölçümleri ile kamera ölçümleri trafik hacmi cinsinden aynı zaman dilimlerinde karşılaştırılarak performans testleri yapılmıştır. Kamera sayımları ile elde edilen trafik hacim sayımları ile trafik sayım cihazlarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar yapılırken farklı günlerde ölçülen değerler aynı zaman dilimleri için karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, sensörlerin uygulamadan önce iyi düzeyde kalibre edilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Modellemesi yapılacak ulaşım ağı bu bölümde oluşturulmuştur. Oluşturulan ağ üzerinde link uzunlukları, mevcut trafik hacimleri ve zonlar belirlenmiştir. Bilgisayar ortamında sayımların yapılabilmesi için makro programı geliştirilmiştir. El trafik sayaçlarının montajı için pratik bir yol geliştirilerek çalışma alanında kesit sayımları yapılmıştır. Ayrıca kesit sayımları sırasında zaman kaybını önlemek için eşzamanlı olarak gürültü ölçümleri yapılmış ve seçilen ulaşım ağı alt-ağa indirgenerek tüm kavşaklarda trafik hacim sayımları tamamlanmıştır.

Örnek ulaşım ağına giren ve çıkan talepleri belirleyebilmek için 12 giriş ve 11 çıkış noktası olmak üzere toplam 23 noktada B-V sayımı yapılmıştır. Bu sayımların yapılmasının amacı ulaşım ağındaki trafik yüklerinin zamana bağlı olarak bulunması, yeni teknolojik cihazların test edilmesi ve geleceğe yönelik planlamaların yapılabilmesidir. Yapılan bu sayımlar yardımı ile ağ yönetim ve kontrol stratejileri geliştirilebilmektedir. Bu sebeple B-V ölçümleri için çok geniş bir ekip ve teknolojik donanım kullanılmıştır. Öncelikle proje kapsamında alınan kameralar ve mevcutlar kullanılmış bunun dışında kalan sayım noktaları için toplam 23 adet görüntü ve ses kayıt cihazı temin edilmiştir. 9 kavşakta toplam 21 kolda sayımlar gerçekleştirilmiştir. Sayımların ilk aşaması, sabah zirve saat olan 07:45-08:30 ve akşam zirve saati olan 17:45-18:30 saatlerinde gerçekleştirilen arazi görüntü ve ses kayıtlarından oluşmaktadır. Arazi çalışmalarının ardından tüm veriler Excel formatına dönüştürülmüş ve gerekli ofis çalışmaları gerçekleştirilmiştir. B-V ölçümlerinin belirlenebilmesi için

gözlemlerden yola çıkılarak eşleştirme algoritması geliştirilmiştir. Elde edilen B-V talep/seyahat süresi matrisleri BOTGA modeli için kaynak veri olarak kullanılmıştır.

V. bölümde, kavşak gecikme modelleri ve bileşenlerinin yaklaşık matematiksel hesaplamaları farklı durumlar için verilmiştir. Elde edilen matematiksel modeller verileri derlenen örnek kavşağa uygulanmıştır. Toplam gecikmenin yaklaşık olarak %66'sını UG ve %34'ünü GDÜG bileşeni oluşturmaktadır. Ayrıca döneller ihmal edildiği zaman optimum devre süresinin mevcut duruma göre yaklaşık iki kat azaldığı bulunmuştur. Ayrıca dönel olması durumunda kavşak boşaltım kapasitesi ortalama %40 azalmaktadır. Diğer bir deyişle devre süresinin özellikle akşam pik saat trafiğinde 90 saniyeden 50 saniyeye düşürülebileceği belirlenmiştir.

UAT kavramı açıklanarak formülasyonları verilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan maliyet fonksiyonları ile eşdeğer matematiksel program verilmiştir. UAT'ın çözüm algoritmaları açıklanmış ve sinyalize bir kavşağa nasıl uygulanabileceği gösterilmiştir. Ayrıca linklerdeki iyileştirmeler sonucu doğrusal maliyet fonksiyonun nasıl değiştiği açıklanmıştır. UAT'nda iki seviyeli programın Stackelberg oyunu altında nasıl yapıldığı ve örnek bir ağda çözümün nasıl elle yapılabileceği ve sonra ulusal ve uluslararası literatürde olmadığı şekilde ÇS ile modelin nasıl çözüldüğü gösterilmiştir. Stackelberg oyununda lider tasarımcı ve izleyici ise yol kullanıcıları olup AS'de seçilen logit model oyunun nasıl oynandığı gösterilmiştir. UAT modelinin çözülebilmesi için yeni formülasyonlar geliştirilerek optimum değeri bulunan trafik hacimlerinin duyarlılıkları kullanılarak yeni çözüm adımlarına ulaşılmıştır. Model ve algoritmanın doğruluğunun testi için farklı parametreler ile oynanarak kullanıcı dengesi ve SKD dengesi bulunmuştur.

Ağ tasarım modelleri irdelenerek DTSTUAT ile STM'lerin formülasyonu ve çözüm algoritmaları verilmiştir. Geliştirilen çözüm algoritmaları aynı örnek ağ üzerine uygulanmıştır. DTSTUAT ile STM modellerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları olduğu görülmüştür. Rota seçim modeli olarak seçim olasılıkları arasındaki korelasyonları yok sayan ve böyle durumlarda gerçekçi olmayan seçim olasılıkları veren çoklu-nomial Logit model yerine C-Logit model kullanılmıştır. Her iki modelde de iki seviyeli programlama kullanılmış, lider karar değişkenleri üst seviyede çözümlenirken alt seviyede ise takipçi davranışları çözülmüştür. DTSTUAT'ın talep belirsizliğini ele alma şekliyle hesaplanmasının, stokastik ağ tasarım modellerine göre daha uygun olduğu görülmüş, buna karşılık

dezavantajının ise talepteki dalgalanmaların az olması durumunda iyi çalışmaması olarak belirtilmiştir. DTSTUAT daha çok, küçük talep dalgalanmaları durumunda kullanılsa da, burada sonuç planlarının büyük talep dalgalanmalarında nasıl davranış göstereceğini incelemek için simülasyon testleri gerçekleştirilmiştir. DTSTUAT'ın belirsizlik düzeyindeki eksikliklerinden dolayı STM irdelenmiş ve iki seviyeli programlama olarak ele alınarak; çözüm için duyarlılık analizi tabanlı iteratif çözüm algoritması uygulanmıştır. Sonuçta iki farklı (DTSTUAT ve STM) ulaşım ağ modelleme çalışmaları sonunda STM'in daha etkin olduğu bulunmuştur. Ayrıca, her iki modelinde ulaşım ağ tasarımında farklı kapasite artışlarında ve değişken ulaşım talebi altında güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

Raporun VI. bölümünde, B-V sayımları hesabının elde edilen link trafik hacim ölçümleri yardımıyla nasıl hesaplanabildiği hakkındaki yaklaşımlardan bazıları açıklanmış ve formülize edilmiştir. Bu yaklaşımlar arasında; maksimum entropi, GEKK metodu ve çift seviyeli programlama sayılabilir. Çalışmada B-V tahmini için, uygulaması göreceli olarak kolay ve daha doğru sonuçlar verdiği tahmin edilen çift-seviyeli programlama tekniği önerilmiş ve ilk seviye için GA'nın nasıl uygulandığı, gerekli formülasyonları ve hesap adımları açıklanmıştır. Daha sonra GA ile B-V seyahat matrisleri, KD koşulu ve kütlelerin korunumu kanunu altında sabah ve akşam trafiği için tahmin edilmeye çalışılmıştır. Link trafik hacim ölçümleri ve link geometrik özellikleri (link uzunlukları, kavşaklardaki sinyal süreleri, linklerdeki ortalama seyahat süreleri vb...) probleme girdi olarak verilmiş ve link hacim kısıtlarından yola çıkılarak farklı 2 adet B-V matrisi tahmini gerçekleştirilmiştir.

DKD ve trafik hacminin korunumu kısıtları ile seçilen alt ağın karmaşık yapısı göz önüne alındığında, problemin konveks olmayan yapısından dolayı, oldukça komplike bir hal alan problemin çıktıları optimum rota akımlarıdır. Rota akımlarının bulunması için varyasyonel eşitsizlik formülasyonu kullanılmıştır. 103 adet rota algoritma yardımı ile elde edilmiş ve her rota akımı değişiminde DKD koşulu aranmıştır. Verilen kısıtlar ve GA çözüm aşamaları kullanılarak tahmin edilen B-V talepleri için dönüşüm eşitlikleri yardımıyla B-V matrisleri elde edilmiştir. İki-seviyeli ters programlama yaklaşımı kullanılarak birleştirilmiş KD ve GA algoritmasının yakınsaması test edilmiş, uygulama aşamasında herhangi bir ıraksama problemi ile karşılaşılmaştır. Böylece, link trafik hacimlerinden yola çıkılarak B-V tahmini yapılabilmıştır. Çözümde GA'nın doğası gereği, toplum büyüklüğü ve nesil sayısı kadar olası B-V matrisi bulunmaktadır. Çalışmada, yakınsama değerine ulaşıldıktan sonra en son matris

B-V matrisi olarak verilmiştir. Tahmin edilen B-V matrisleri incelendiğinde her bir zonun kabul edilebilir düzeyde talebinin tahmin edilebildiği ve akşam talebinin sabah talebine göre %36'lık bir artış gösterdiği bulunmuştur.

Son olarak, atama problemi için gerekli olan maliyet fonksiyonları tanımlanmıştır. Çalışma ağını temsil edecek maliyet fonksiyonunun belirlenmesi için yapılan saha ölçümleri ve bunların sonuçları özetlenmiştir. Geliştirilen 4 farklı modelin performansları değerlendirilmiş ve BPR modelinin ağ verilerine göre çözülmüş halinin kullanılmasına karar verilmiştir. Geliştirilen modellerde ek olarak kullanılan yeşil ve toplam devre süresi parametrelerinin amaç fonksiyonu üzerinde iyileştirici etkisi gözlenmiş ancak gözlem ve model değerleri arasında hesaplanan hata oranlarının ortalamalarında bir iyileşme bulunamamıştır. Tüm bu nedenlerden dolayı daha sade ve benzer sonuçları bulan BPR modelinin kullanılması daha akılcı bulunmuştur.

VII. bölümde gürültü modelleri için ilk olarak hız ve hacim bileşenleri değerlendirmeye alınmış ve gürültü ölçümleri ağ içinde belirlenen kesitlerde yapılmıştır. Yolun geometrik yapısı, meteorolojik koşullar, trafik kompozisyonu vb. parametreler ilk modelleme çalışmalarında göz önüne alınamamıştır. Proje kapsamında literatürde mevcut olan trafik ve gürültü modelleri incelenerek, çalışma bölgesine, trafik karakteristiklerine ve geliştirilen trafik modeline uygun trafik-gürültü analiz yönteminin seçilmesi gerekliliği belirtilmiştir. Gürültü haritalarının oluşturulabilmesi için trafik modellerinden verilerin elde edilmesi gereklidir. Literatürde belirtilen değişik tipteki trafik modellerinden (statik atama, dinamik atama, sürekli ve mikro benzetim modelleri) elde edilen trafik verileri ile gürültü haritalarının çıkarılması mümkün olmakta fakat henüz trafik ve gürültü modelleri arasında net ve kesin bağlantı kurulamamıştır. Çalışmada literatürde mevcut olan ve uygulanmış 7 farklı trafik ve gürültü modeli incelenmiş, yapım aşamaları, uygulamalar ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Gürültü modellerinin geliştirilebilmesi için bağımsız değişken sayısının artırılmasına yönelik yapılan veri derleme çalışmaları verilmiştir. Ayrıca arazi çalışmalarından elde edilen parametrelerin arasındaki içsel bağımlılıktan kurtulabilmek için çok değişkenli istatistiksel metotlardan biri olan faktör analizi irdelenerek gürültü modeli geliştirilmiştir. Gürültü değerleri, trafik hacmi, ortalama hız ve ağır taşıt oranı gibi parametrelere ek olarak, yol genişliği, kaldırım genişliği, yol eğimi, bina yüksekliği, yol yüzeyi durumu ve bölünmüş yol

olup olmaması gibi parametrelerin de gürültü modeli içine dahil edilerek modellerin hassasiyeti artırılmıştır.

İlk olarak 10 değişkenli doğrusal regresyon modeli kurulmuş ve gürültü modeli oluşturulmuştur. Daha sonra bağımsız değişkenler arasındaki içsel bağımlılıktan kurtulabilmek için faktör analizi gerçekleştirilmiş ve 10 adet bağımsız değişken birbirinden bağımsız 7 adet parametreye indirgenmiştir. Faktör analizi sonucu elde edilen 7 değişken (yol yüzeyi durumu, kaldırım genişliği, yol eğimi, yol genişliği, bina yüksekliği, ağır taşıt ortalama hız, trafik hacmi) kullanılarak oluşturulan doğrusal regresyon modeli ile gürültü modellemesi yapılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

VIII. bölümde, şehir içi ulaşım ağ tasarımının yapılabilmesi için geliştirilen BOTGA modeli yardımıyla şehir içi trafik kontrolü ve yönetimi için gerekli formülasyonlar ve uygulamaları verilmiştir. Trafik modeli ve trafik atama modelinin iki-seviyeli formülasyonları tanımlanarak, BOTGA için gerekli akış şeması ile modelin çözüm adımları ve uygulaması açıklanmıştır. BOTGA için gerekli olan Quasi-Newton nümerik çözüm algoritması açıklanarak, oyun teorisinin izole sinyalize kavşaklarda ve kavşak gruplarında nasıl uygulanabileceği verilmiştir. BOTGA modelinin gerçek bir sinyalize ulaşım ağına uygulanması gerçekleştirilmiştir. Uygulama için seçilen örnek ulaşım ağına ilişkin topolojik ve ağ üzerindeki trafik talebi ile ilgili veriler arazide yapılan ölçümlerden elde edilmiştir. Yapılan analizlerde, farklı devre süreleri altında ağ üzerindeki toplam seyahat süresinin en aza indirgenmesi hedeflenmiştir. 40 ile 90 saniyelik devre süresi değerleri arasındaki her 5 s'lik değişim için Stackelberg oyunu temel alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak yol kullanıcı tepkileri hesaplanırken ağ performansı eniyilenmeye çalışılmıştır. İkinci yöntem ise trafik atamasından elde edilen trafik hacimlerinin verilen kontrol stratejileri altında nasıl değiştiğinin hesaplanması ile ilgili olup Stackelberg oyunu oynanarak kontrol stratejilerinin ağ denge hacimlerini nasıl değiştirdiği ve değişen denge hacimlerine karşılık ise kontrol stratejilerinin nasıl değişmesi gerektiği hesaplanmıştır. Kontrol stratejileri artırılarak yol kullanıcı tepkilerinin nasıl olacağı hesaplanmıştır. Sonuç olarak bu üç çözüm birbirleriyle karşılaştırılarak hangi kontrol ve yönetim stratejilerinin ağ performansını arttırabileceği bulunmuştur. Sonuçlar göstermiştir ki, toplam ağ seyahat süresi devre süresinin düşük mertebelerindeki değişimlere daha fazla duyarlılık göstermektedir. Devre süresindeki artışla

birlikte sistem optimum tasarımının daha düşük seyahat süresi değerleri altında yapılabildiği görülmüştür.

İteratif Stackelberg (İSO) ve iki seviyeli tek adımlı Stackelberg oyunları (İSTASO) ile yakıt tüketimi hesapları verilmiştir. BOTGA modelleri üç farklı oyun oynanarak çözümler elde edilmiş ve sabit trafik hacimleri için ağdaki en iyi devre süresi değişim stratejisine karşılık yol kullanıcılarının tepkileri bulunmaya çalışılmıştır. BOTGA modellerinin TKDOY, İSO ve İSTASO yaklaşımları altında gerçek sinyalize ulaşım ağına uygulanması durumunda optimum devre süresi 93 sn olarak bulunmuştur. Ulaşım ağındaki değişim yaklaşık % 4 civarındadır. Yakıt tüketimindeki iyileşmenin ise %5 civarında olduğu bulunmuştur. İSTASO oyun yaklaşımında ise 12 farklı kontrol stratejisi ile 181 denge akım değişkenine karşılık BOTGA modeli çalıştırılmıştır. Bu durumda ulaşım ağı PI'daki iyileşme yaklaşık %5 olmakta ve yakıt tüketiminde ise yine %5 civarında bir iyileşme sağlanmaktadır. İSTASO modeli diğer oyunlara göre daha kararlı bir yakınsama göstermiştir. İSTASO oyunu sonucunda 47 linkin 11'inde iyileştirme yapılması gerektiği bulunmuştur. Bu linklerde yeni trafik yönetim tekniklerinin uygulanması ve çeşitli geometrik iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir.

IX. bölümde proje kapsamında alınan DYNASMART-P programı ile genişletilmiş çalışma ağı girilerek dinamik atama gerçekleştirilmiştir. Proje süresince çalışılan proje ağı genişletilmiş ve alansal trafik yönetimi için büyütülen ağda dış kordon, iç zonlar, talep matrisi vb. tüm veriler hazırlanmıştır. Genişletilen ağa ait kontrol parametreleri ve geometrik veriler toplanarak oluşturulan oyun teorisi algoritması geniş ağda çalıştırılmıştır. Atama sonunda talepte küçük bir artış olduğunda ulaşım ağının mevcut yönetim şekli ile bu artışa cevap veremediği linkler üzerindeki kuyruklanmaların ortaya çıkmasından anlaşılmaktadır. Ayrıca, talepteki küçük artış ulaşım ağı üzerindeki ortalama seyahat süresini arttırmakta ve buna bağlı olarak da ortalama hızı azaltmaktadır. Bir başka deyişle ulaşım ağı talep artışına oldukça duyarlıdır. Bu nedenle, ulaşım ağının yönetiminin talep verilerine göre yapılmaması durumunda ağ üzerindeki gecikmeler ve kuyruklanmalar artacaktır. Ayrıca ulaşım ağı üzerindeki sinyalize kavşakların devre süreleri ve yeşil süreleri talebe göre düzenlenmelidir.

KAYNAKLAR

ABO-QUADIS, S., Alhiary, A., Statistical models for traffic noise at signalized intersections, *Building and Environment*, 42, 2939-2948, (2007).

AKCELIK, R., Traffic signals: capacity and timing analysis, Australian Road Research Board, ARR 123. Vermont South, Victoria, Australia, (1981).

ALBERT, G., Analysis of the influence of tolls in a congested transport system, Research report, Technion-Israel Institute of Technology, (2001).

ALLSOP, R. E., Some possibilities of using traffic control to influence trip distribution and route choice, Proceedings of the 6th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Elsevier, Amsterdam, (1974) 345-374.

ALLSOP, R. E., *Evolving application of mathematical optimisation in design and operation of individual signal-controlled road junctions*, *Mathematics in Transport Planning and Control*, ed: Griffiths J.D., Oxford University Press, Oxford, (1992). Pp: 1-25.

AREM, B., Van De Vos, A. P., Vanderschuren, M.J.W.A., The microscopic traffic simulation model, MIXIC 1.3, Delft, TNO Inro, Report No. INRO-VVG 1997-02b, (1997).

ASHOK, K., Ben-Akiva, M. E., Dynamic origin-destination matrix estimation and prediction for real-time traffic management systems, *Transportation and Traffic Theory*, Elsevier: Amsterdam, (1993) pp. 465-484.

ASLAN, H., A Game Theoretic Approach for The Solution of Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP): An Application to The Transportation of Hazardous Materials. UTSG, Nepier University, UK, (2002).

EVERY, P.R., Thomas, C. P., Wang, Y., Rutherford, G.S., Development of a length-based vehicle classification system using uncalibrated video cameras, Transportation Research Board 2004 Annual Meeting, (2004).

BANERJEE, D., Chakraborty, S. K., Bhattacharyya, S., Gangopadhyay, A. Modeling of road traffic noise in the industrial town of Asansol, India, *Transportation Research Part D*, 13, 539-541, (2008).

BECKMANN, M. J., McGuire, C. B., Winsten, C. B., *Studies in Economics of Transportation*, Yale University Press, New Haven, (1956).

BELL, M. G. H., Variances and covariances for origin-destination flows when estimated by log-linear models, *Transportation Research B*, 19, 497-507, (1985).

BELL, M. G. H., The estimation of origin-destination matrices by constrained generalized least squares, *Transportation Research B*, 25, 115-125, (1991).

BELL, M. G. H., Lam, W. H. K., Iida, Y., A time-dependent multiclass path flow estimator, Proceedings of the 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Lyon, (1996).

BELL, M. G. H., Iida, Y., *Transportation Network Analysis*, John Wiley and Sons, Chichester, UK, (1997).

BELL, M. G. H., A game theory approach to measuring the performance reliability of transport networks, *Transportation Research* 34(6), 533-545, (2000).

BELL, M. G. H., Cassir, C., Risk-averse user equilibrium traffic assignment: an application of game theory, *Transportation Research* 36, 672-681, (2002).

BHASKAR, A., Chung, E., Kuwahara, M., Development and implementation of the areawide Dynamic Road traffic Noise (DRONE) simulator, *Transportation Research Part D*, 12, 371-378, (2007).

BJORNSKAU, T. Elvik, R., Can road traffic law enforcement permanently reduce number of accidents?, *Accident Analysis and Prevention*, 24(5), 507-520, (1992).

BORCHERDS, P.H., Importance Sampling: An Illustrative Introduction, *European Journal of Physics*, 21, 405-411, (2000).

BRANSTON, D., Link capacity functions: a review, *Transportation Research* 10, 223-236, (1976).

CAMPBELL, E. W., Keefer, L. E., Adams, R. W., A method for predicting speeds through signalized street sections, *Highway Research Board Bulletin*, 230, 112-125, (1959).

CAN, A., Leclercq, L. ve Lelong, J. (2008). Dynamic estimation of urban traffic noise: Influence of traffic and noise source representations. *Applied Acoustics*, 69, 858-867.

CANTARELLA, G. E., A General Fixed-Point Approach to Multimode Multi-user equilibrium Assignment with Elastic Demand, *Transportation Science*, 31(2), 107-128, (1997).

CARROLL, D. L., Genetic algorithms and optimising chemical oxygen-iodine lasers, *Developments in Theoretical and Applied Mechanics*, ed: Wilson, H., 18, 411-424, (1996).

CASCETTA, E., Estimation of origin-destination matrices from traffic counts and survey data: A generalized least squares estimator, *Transportation Research*, 18B, 289-299, (1984).

CASCETTA, E., Nuzzolo, A., Russo, F., Vitetta, A., Modified Logit Route Choice Model Overcoming Path Overlapping Problems: Specification and Some Calibration Results for Interurban Networks, Proceedings of 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, eds J. B. Lesort, Lyon, France, July 24-26, Pergamon, 697-711, (1996).

CENGİZ, Ö., *Oyun teorisi ile ulaşım ağ tasarımı*, PAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, (2005).

CEYLAN, H., Genetik Algoritma ve Oyun Teorisi Yaklaşımları İle Şehirçi Trafik Yönetimi, 104I119 nolu Kariyer Projesi, Rapor No: 1, (2005).

CEYLAN, H., Bell, M.G.H., Traffic Signal Timing Optimization based on Genetic Algorithm Approach, Including Drivers' Routing, *Transportation Research* 38B(4), 329-342, (2004a).

CEYLAN, H., Bell, M.G.H., Reserve capacity for a road network under optimized fixed time traffic signal control, *ITS Journal-Intelligent Transportation Systems Journal*, 8(2), 87-99, (2004b).

CEYLAN, H., Bell, M.G.H., Sensitivity analysis of stochastic equilibrium transportation networks, *Journal of Advanced Transportation*, 38(4), (2004c).

CEYLAN, H., Bell, M.G.H., Genetic algorithm solution for the stochastic equilibrium transportation networks under congestion, *Transportation Research-B*, 39B, 169-185, (2005).

CEYLAN, H., *A Genetic Algorithm Approach to the Equilibrium Network Design Problem*, PhD Thesis, University of Newcastle upon Tyne, UK, (2002).

CEYLAN, H., Ozturk, H. K., Development of Genetic Algorithm-time Series (GATS) Model on Electricity Production From Hydraulic and Thermal sources, *Journal of Green Energy*, 1 (3), 393-406, (2004).

CHAN, K.W., Wong, S.C., Optimisation of fixed-time signal timings for area traffic control using genetic algorithm, *Transactions*, 6(1), 1-5, (1999).

CHEN, A., Subprasom, K., Ji, Z., Mean-Variance Model for the Build-Operate- Transfer Scheme under Demand Uncertainty. *Transportation Research Record*, 1857, National Research Council, Washington, D.C., 93-101, (2003).

CHEN, A., Yang, H., Lo, H.K. and Tang, W.H., Capacity Reliability of A Road Network: An Assessment Methodology and Numerical Results. *Transportation Research*, Vol.36B, pp.225-252, 2000.

Chen, O, J., Ben-Akiva, Game-theoretic formulations of interaction between dynamic traffic control and dynamic traffic assignment, *Transportation Research Record: Journal of the*

Transportation Research Board, No. 1617, National Research Council, Washington, DC, pp. 179-188, (1998).

CHIOU, S.W., Bi-level formulation for equilibrium traffic flow and signal settings, 3rd IMA International Conference on Mathematics in Transport Planning and Control, APR 01-03, 59-68, (1998).

CITILABS EUROPE, *TRIPS* (Transport Improvement Planning System) Wokingham, Surrey, UK, (2001).

CLEMENT, S., Anderson, J., Traffic signal timing determination: the cabal model, 2nd IEE/IEEE Int. Conf. on Genetic algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications, Glasgow, (1997).

COLONY, D.C., An application of game theory to route selection, *Highway Research Record*, 334, 39-47, (1970).

CREE, N.D., Maher, M.J., Paechter, B., The continuous equilibrium optimal network design problem: a genetic approach, Proceedings of the 4th Euro Transportation Meeting, 163-174, (1999).

DAGANZO, C.F., Stochastic Network Equilibrium with Multiple Vehicle Types and Asymmetric, Indefinite Link Cost Jacobians. *Transportation Science*, 17(3), 282-300, (1983).

DAGANZO, C.F., Sheffi, Y., On stochastic models of traffic assignment. *Transportation Science*, 11, 253-274, (1977).

DAVIDSON, K.B., A flow-travel time relationship for use in transportation planning, Proceedings Australian Road Research Board, 3, 183-194, (1966).

DAVIS, G.A., Exact Local Solution of the Continuous Network Design Problem via Stochastic User Equilibrium Assignment, *Transportation Research*, Vol. 28B, pp. 61-75, (1994).

DIAL, R.B., A probabilistic multipath traffic assignment model which obviates path enumeration, *Transportation Research*, 5(2), 83-111, (1971).

DICKERSON, T. J., A note on traffic assignment and signal timings in a signal controlled road network, *Transportation Research Part B*, (15), pp. 267-271, (1981).

DEPARTMENT of TRANSPORT – Welsh Office, DoT, *Calculation of Road Traffic Noise*, HMSO, London, UK, (1988).

DYNASMART-P, *Intelligent Transportation Network Planning Tool User's Guide v1.3.0*, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Virginia, 22101, (2007).

DYNASMART-P, *Network Editor, DSPEd User's Guide v1.3.0*, FHWA Office of Operations Research, Development and Technology Federal Highway Administration, Virginia, 22101-2296, (2007).

FAVRE, B., Noise at the approach to traffic lights: Result of a simulation programme, *Journal of Sound and Vibration*, 58(4), 563-578, (1978).

FISK, C., Optimal signal controls on congested networks, 9th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, VNU Science Press., (1984), 197-216.

FOY, M.D., Benekohal, R.F. and Goldberg, D.E., Signal timing determination using genetic algorithms, *Transportation Research Record* 1365, TRB, National Research Council, Washington, D.C., (1992), 108-115.

GALLIVAN, S., Heydecker, B., Optimizing the control performance of traffic signals at a single junction, *Transportation Research Part B*, 22(5), 357-370, (1988).

GARTNER, N., Messer, C., Rathi, A. K., *Traffic Flow Theory*, Transportation Research Board (TRB), Special Report, USA, (2005).

GARTNER, N.H., *Area traffic control and network equilibrium methods. In: Traffic Equilibrium Methods*, Ed: M. Florian, Spriger-Verlag, Berlin, (1974), 274-297.

GEN, M., Cheng, R., *Genetic Algorithms and Engineering Design*, John Wiley, New York, (1997).

GERRETSEN, E., Eisses, A.R., Fritz, J.B., Borst, H.C., *Urbis: Instrument voor Lokale MilieuVerkenningen-rekenmethoden voor geluid*, TNO report 99.039, Leiden, (in Dutch), (1999).

GOLDBERG, D.E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, MA, (1989).

GOLDBERG, D.E., Deb, K., A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms, *Foundations of Genetic Algorithms*, ed: Rawlins, G.J.E., Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, (1991), 69-93.

GOLDBERG, D.E., Korb, B., Deb, K., Messy genetic algorithms: motivation, analysis, and first results, *Complex Systems*, 3, 493-530, (1989b).

GOODMAN, P.S., *The Prediction of Road Traffic Noise In Urban Areas*, (Ph. D Thesis), Institute for Transport Studies, The University of Leeds, (2001).

GUERIN R.A., Orda, A., QoS routing in networks with inaccurate information: theory and algorithms, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 7, pp. 350-364, (1999).

HADI, M.A., Wallace, C.E., Hybrid genetic algorithm to optimise signal phasing and timing, *Transportation Research Record 1421*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., (1993), 104-112.

HALDENBİLEN, S., Ceylan H, Genetic algorithm approach to estimate transport energy demand in Turkey, *Energy Policy*, 33, pp.89-98, (2005).

HCM, *Highway Capacity Manual*, (2000).

HECKBERT, P.S., Hanrahan, P., Beam tracing polygonal objects, Proceedings of the 11th international conference on computer graphics and interactive techniques, Minneapolis, USA, (1984).

HEYDECKER, B.G., A decomposed approach for signal optimisation in road networks, *Transportation Research*, 30B(2), 99-114, (1996).

HUNT, P.B., Robertson, D.I., Bretheron, R.D., Winton, R.I., SCOOT- A traffic responsive method of co-ordinating signals, TRRL Laboratory Report 1014, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, (1981).

IMPOTRA, G., Signal control at individual junctions: Phase-based approach, *Conscience Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems*, p. 437-478, (2002).

IRWIN, N.A., Dodd, N., Von Cube, H.G., Capacity restraint in assignment programs, *Highway Research Board Bulletin*, 297, pp. 109-127, (1961).

ISO 9613-2, Acoustics-attenuation of sound during propagation outdoors-part 2: A general method of calculation, Geneva, Switzerland, (1996).

JACOBS, L.J.M., Nijs, L., Van Willigenburg, J.J., A computer model to predict traffic noise in urban situations under free flow and traffic light conditions, *Journal of Sound and Vibration*, 72(4), pp. 523-537, (1980).

JAMES, T., A game theoretic model of road usage in mathematics in transport planning and control, Proceedings of the third IMA international conference on mathematics in transport planning and control, (1998), pp.401-409.

JONES, R.R.K., Hothersall, D.C., Effect of operating parameters on noise emission from individual road vehicles, *Applied Acoustics*, 13, pp. 121-136, (1980).

KIM, H., Baek, S., Lim, Y., Origin-destination matrices estimated with a genetic algorithm from link traffic counts, *Transportation Research Record* 1771, (2001), pp. 156-163.

KIMBER, R.M., Hollis, E.M., Traffic queues and delays at road junctions, TRRL report, LR909, Transportation and Road Research Laboratory, Crowthorne, (1979).

KLEIN, L., *Sensor Technologies and Data Requirements for ITS*, Norwood: Artech House Publishers, (2001).

KOUSHKI, P.A., Al-Saleh O., Ali, S. Y., Traffic noise in Kuwait: Profiles and modeling residents' perceptions, *Journal of urban planning and development*, 125(3), 101-109, (1999).

KOUVELIS, P., Yu, G., *Robust Discrete Optimization and its Applications*, Kluwer Academic Publisher, Norwell, MA, (1997).

LAGUNA, M., Applying Robust Optimization to Capacity Expansion of One Location in Telecommunications with Demand Uncertainty, *Management Science*, Vol.44, No.11, pp.101-110, (1998).

LeBLANC, L.J., Boyce, D.E., A bilevel programming algorithm for exact solution of the network design problem with user-optimal Flows, *Transportation Research-B*, 3, pp. 259-265, (1986).

LEE, C., Machemehl, R.B., Genetic algorithm, local and iterative searches for combining traffic assignment and signal control, *Traffic and Transportation Studies, Proceedings of ICTTS 98*, (1998), 489-497.

LEVINSON, D., Micro-foundations of congestion and pricing: a game theory perspective, *Transportation Research* 36A, pp.691-704, (2005).

LIN, W.H., Dahlgren, J., Huo H., Enhancement of vehicles speed estimation with single loop detectors, 2004 TRB Annual Meeting, Paper2004-002091, (2004).

LINDEROTH, J., Shapiro, A., Wright, S., The Empirical Behavior of Sampling Methods for Stochastic Programming, Optimization Technical Report 02-01, Computer Sciences Department, University of Wisconsin-Madison, (2004).

LIU, R., DRACULA Mikrosopic Traffic Simulation, *ITS Working Paper 431*, Institute for Transport Studies, The University of Leeds, (1994).

MENG, Q., Lee, D.H., Yang, H., Huang, H.J., Transportation Network Optimization Problems with Stochastic User Equilibrium Constraints, Transportation Research Record, 1882, National Research Council, Washington, D.C., (2004), pp.113-119.

MOSHER, W.W., *A capacity restraint algorithm for assigning flow to a transportation network*, Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California, Los Angeles, (1963).

MULVEY, J.M., Vanderbei, R.J., Zenios, S.A., Robust Optimization of Large- Scale Systems, *Operation Research*, Vol.43, No.2, pp.264-281, (1995).

NASH, J.F., Equilibrium points in n-person games, *Proc. Nat. Acad. U.S.A.*, 36, pp. 48-49, (1950).

NGUYEN, S., Dupuis, C., An Efficient Method for Computing Traffic Equilibria in Networks with Asymmetric Transportation Costs, *Transportation Science*, 18, pp. 185–202, (1984).

OH, C., Ritchie, S.G., Jeng, S.T., Vehicle Reidentification using Heterogeneous Detection Systems, 2004 TRB Annual Meeting, Paper2004-002900, (2004).

ORTUZAR, J de D., Willumsen, L.G., *Modelling Transport*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, Chichester, UK, (1994). Pp: 433.

PAPAGEORGIU, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V., Kotsialos, A., Wang, Y., Review of traffic control strategies, *IEEE*, 91(12), (2003) pp: 2041-2067.

PATHAK, V., Tripathi, B. D., Mishra, V., Evaluation of traffic noise pollution and attitudes of exposed individuals in working place, *Atmospheric Environment*, 42, 3892–3898, (2008).

POWELL, W., Sheffi, Y., The Convergence of Equilibrium Algorithms with Predetermined Step Sizes, *Transportation Science*, 16(1), 55-65, (1982).

ROBERTSON, D. I., TRANSYT: a traffic network study tool, RRL Report, LR 253, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, (1969).

ROSEN, J. B., Existence and uniqueness of equilibrium points for concave n-person games, *Econometrica*, 33, 520-534, (1965).

ROSENTHAL, R. W., A class of games processing pure-strategy Nash equilibria, *Int. J. Game Theory*, 2, 65-67, (1973).

SETRA, Nouvelle Methode de Prevision du Bruit (NMPB) - Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB), The French national computation method, (1996).

SHEFFI, J., *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*, Prentice Hall, Inc., New Jersey, (1985). Pp: 399.

SHERALI, H. D., Sivanandan, R., Hobeika, A. G., A linear programming approach for synthesizing origin-destination trip tables from link traffic volumes, *Transportation Research B*, 28B, 213-234, (1994).

SILCOCK, J. P., *Phase-based optimisation of isolated signal-controlled junctions: sensitivity analysis and treatment of double green periods*, Mathematics in Transport Planning and Control, Oxford University Press, Oxford, (1992) pp: 45-57.

SILCOCK, J. P., Sang, A.P., SIGSIGN: a phase-based optimisation program for individual signal-controlled junctions, *Traffic Engineering and Control*, 31(5), 291-298, (1989).

SMHI, Airviro user documentation, Airviro User's Guide Version 2.40.00. SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute), Norrköping, Sweden, (2002).

SMITH, M. J., Traffic control and traffic assignment in a signal controlled road network with queueing, Proceedings of the 10th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, MIT Press: Cambridge, (1987) pp: 319-338.

SMOCK, R. J., An iterative assignment approach to capacity restraint on arterial networks. *Highway Research Board Bulletin*, 347, 60-66, (1962).

SUNG, K., Bell, M. G. H., A genetic algorithm to optimise signal phasing in area traffic control, EASTS conference, Seoul, (1997).

TOBIN, R. L., Friesz, T. L., Sensitivity analysis for equilibrium network flow, *Transportation Science*, 22, 242-250, (1988).

UAP, Denizli ve yakın çevresi ulaşım ana planı, Denizli Belediyesi, 7 Cilt, Türkiye, (2002).

VAN VUGHT, M., Meertens, R. M., Van Lange, P. A. M., Car versus public transportation? The role of social value orientation in a real life social dilemma, *J. Appl. Social. Psychol*, 25, 258-278, (1995).

VAN ZUYLEN, H. J., Willumsen, L. G., The most likely trip matrix estimated from traffic counts. *Transportation Research B*, 14B, 281-293, (1980).

VILLIGER R., *Game Theory and Traffic Control*, Department of Mathematics Semester Project, <http://ame.epfl.ch/biblio.php?categorie=10&projet=54> sayfasından alınabilir, (2000).

VINCENT, R. A., Mitchell, A. I., Robertson, D. I., User guide to TRANSYT version 8, TRRL Report, LR888, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, (1980).

VROM, Ministerie van, Reken-en Meetvoorschrift Wegverkeerslawaaai, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, (2002).

WANG, Y., Nancy, L. N., Can Single-Loop Detectors Do the Work of Dual-Loop detectors?. *Journal of Transportation Engineering*, 129(2), 169-176, (2003).

WARDROP, J. G., Some theoretical aspects of road traffic research, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 2(1), (1952) pp: 325-378.

WARDROP, J. G., Journey speed and flow in central London, *Traffic engineering control* 9, 528-532, (1968).

WAYSON, R. L., MacDonald, J. M., Eaglin, R. D., Wendling, B., Simulation approach to transport noise modelling, *Transportation Research Record*, 1601, 64-70, (1995).

WEBSTER, F. V., Traffic Signal Settings, Road Research Technical Paper No: 39. HMSO, London, (1958).

WEBSTER, F. V., Cobbe, B. M., Traffic Signals. Ministry of Transport, Road Research technical paper No. 56, London, HMSO, (1966).

WILSON, A. G., Entropy maximising models in the theory of trip distribution, mode split and route split, *Journal of Transportation Economic and Policy*, 3, 108-126, (1967).

WONG, S. C., Derivatives of the performance index for the traffic model from TRANSYT, *Transportation Research*, 29B(5), 303-327, (1995).

WONG, S. C., Group-based optimisation of signal timings using the TRANSYT traffic model, *Transportation Research*, 30B(3), 217-244, (1996).

YANG, H., Heuristic algorithms for the bilevel origin-destination matrix estimation problem, *Transportation Research B*, 29B, 231-242, (1995).

YANG, H., Yagar, S., Traffic assignment and traffic control in general freeway-arterial corridor systems, *Transportation Research*, 28B(6), 463-486, (1994).

YANG, H., Sasaki, T., Iida, Y., Asakura, Y., Estimation of origin-destination matrices from link traffic counts on congested networks, *Transportation Research B*, 26B, 417-434, (1992).

YANG, H., Yagar, S., Iida, Y., Asakura Y., An Algorithm for the Inflow Control Problem on Urban Freeway Networks with User-Optimal Flows, *Transportation Research*, 28B, 123-139, (1994).

YIN, Y., Genetic-algorithm-based approach for bilevel programming models, *Journal of Transportation Engineering*, 126(2), 115-120, (2000).

YING, J. Q., Miyagi, T., Sensitivity Analysis for Stochastic User Equilibrium Network Flows – A Dual Approach, *Transportation Science*, 35, 124-133, (2001).

ZHANG, X., Maher, M., An algorithm for the solution of bi-level programming problems in transport network analysis, *Mathematics in Transport Planning and Control*, Pergamon, Oxford, (1998). Pp: 177-186

EK 1. NOTASYON

c : Ortak devre süresi

cap_a : Link a 'nın kapasitesi, $a \in L$

$c^0 = [c_a^0; \forall a \in L]$: Serbest akım seyahat sürelerinin vektörü

c_a^0 : a linki için serbest akım seyahat süresi

c_{min} ve c_{max} : Minimum ve maksimum devre süreleri

$\mathbf{c}(\mathbf{q}, \Psi) = [c_a(q_a, \Psi)]$: Tüm bağlantı seyahat sürelerinin vektörü, $c_a(q_a, \Psi)$ a linki üzerindeki link akımının ve sinyal süresi değişkenlerinin fonksiyonu olarak seyahat süresi,

D_a : Gecikme (taşıt-saat/saat)

$\mathbf{g}(\mathbf{q}, \Psi) = [g_p; \forall p \in P_w, \forall w \in W]$: Rota seyahat süreleri vektörü

\mathbf{h} : $[h_p; \forall p \in P_w, \forall w \in W]$ tüm rotalar vektörü olup, h_p , p rotası üzerindeki trafik akımı

I_i : Sinyal fazları arasındaki yeşiller arası süre

k : Bütün bir yol ağındaki sinyal süresi değişkenlerinin sayısı.

k_a : Birim zaman için durma ağırlık faktörleri

$k = \sum_{i=1}^N m_i + N$: Problemdaki bilinmeyen sayısı

$\mathbf{K} = [K_p^w; \forall p \in P_w, \forall w \in W]$: Link seçim olasılık matrisi

L : N_L linklerinin kümesi olması durumunda, $L = \{1, 2, 3, \dots, N_L\}$ her kavşak yaklaşımındaki trafik akımı

l_i : Her sinyal süresi için ikili bitlerin sayısı

m : Her sinyalize kavşaktaki faz sayısı

M : Yol ağındaki toplam faz sayısı

\mathbf{N} : $\{1, 2, 3, \dots, N_j\}$ Sabit-zamanlı sinyalize kontrollü kavşak sayısı.

N : $\{1, 2, 3, \dots, N_j\}$ N_j düğüm noktaları olup her biri N_j sabit zamanlı sinyalize kavşağı temsil eder.

\mathbf{P} : $p_r^w(\mathbf{t}^w)$ rotaların, $r \in R_w$, seçilme olasılığı matrisi

P : Ağ performans indeksi

- P_w : Her başlangıç-variş çifti, w arasındaki rotalar kümesi, $\forall w \in W$
 R_{aw} : a linkini kullanan rota sayısı
 S_a : Saat başına taşıt durma sayısı
 s_a : a linkindeki doygun akım
 \mathbf{q} : $[q_a; \forall a \in L]$ a linkindeki ortalama akım vektörü q_a ,
 T : Birimi taşıt-sa olan toplam ulaşım ağı seyahat süresi
 \mathbf{t} : $[t_w; \forall w \in W]$ her başlangıç-variş noktası arasındaki seyahat talep vektörü,
 \mathbf{v} : $[v_a; \forall a \in L]$ link a 'daki ortalama trafik hacmi,
 $\mathbf{v} = \delta \mathbf{f}$: Trafik hacim dönüşüm kısıtı
 $\mathbf{t} = \Lambda \mathbf{f}$: Trafik hacim dönüşüm kısıtı
 $\mathbf{v} = \mathbf{P} \mathbf{t}$: Trafik hacim dönüşüm kısıtı
 w_{ar}^w : Oransal ağırlık katsayısı
 w_a : Birim zaman için gecikme ağırlık faktörleri
 W : $\{\mathbf{w} = (\mathbf{r}, \mathbf{s}); \forall \mathbf{r} \in \bar{\mathbf{R}}, \forall \mathbf{s} \in \bar{\mathbf{S}}\}$ B-V çiftleri kümesi
 \mathbf{x} : Kromozom vektörü
 \mathbf{y} : $[y_w; \forall w \in W]$ beklenen minimum B-V maliyeti
 $\gamma_0 - \gamma_1$: Gumble dağılımının parametreleri
 θ : Ofset değişkenlerinin olası aralık vektörü
 ϕ : Yeşil zamanlar süre vektörü
 ϕ_{\min} ve ϕ_{\max} : Minimum ve maksimum kabul edilebilir yeşil faz süreleri
 δ_{ap} : Link/rota belirleme matrisi elemanı, eğer a linki p rotası üzerinde ise $\delta_{ap} = 1$,
değilse $\delta_{ap} = 0$ olur.
 Λ : B-V/ rota belirleme matrisi
 Ψ : Sinyal sürelerinin genel vektörü
 Ψ_{\min} : Sinyal sürelerinin alt sınır genel vektörü
 Ψ_{\max} : Sinyal sürelerinin üst sınır genel vektörü

Oyun teorisi için kullanılan gerekli tanımlar

$x_{ap}^{rs}(t)$: t zamanında, r 'den s 'e p rotası boyunca, a linki üzerindeki araç sayısı

$u_{ap}^{rs}(t)$: t zamanında, r 'den s 'e p rotası boyunca, a linkindeki giriş akımı

$v_{ap}^{rs}(t)$: t zamanında, r 'den s 'e p rotası boyunca, a linkindeki çıkış akımı

$x_a(t)$: t zamanında, a linki üzerindeki araç sayısı. $x_a(t) = \sum_{rs} \sum_p x_{ap}^{rs}(t)$

$u_a(t)$: t zamanında a linkindeki giriş akımı. $u_a(t) = \sum_{rs} \sum_p u_{ap}^{rs}(t)$

$v_a(t)$: t zamanında a linkindeki çıkış akımı. $v_a(t) = \sum_{rs} \sum_p v_{ap}^{rs}(t)$

$U_{ap}^{rs}(t)$: t zamanında, r 'den s 'e p rotası boyunca, a linkinden giren kümülatif araç sayısı

$V_{ap}^{rs}(t)$: t zamanında, r 'den s 'e p rotası boyunca, a linkinden çıkan kümülatif araç sayısı

$h_p^{rs}(t)$: t zamanında, r 'den s 'e doğru p rotası boyunca olan akım

$D^{rs}(t)$: r başlangıç noktasından s varış noktasına t zamanındaki talep

Gerekli dönüşümler

$$\mathbf{q} = \delta \mathbf{h}; \mathbf{t} = \Lambda \mathbf{h}; \quad \mathbf{q} = \mathbf{K} \mathbf{t}$$

Sinyal Kontrol Parametreleri

Devre : Sinyal işaretlerinin toplam gösterimi

Faz : Eş zamanı yol hakkı trafik hareketlerine göre alınan sinyal devresi bölümüdür.

Devre Uzunluğu : Bir devreyi tamamlamak için toplam gerekli süre; C veya $C_i(t)$ ile gösterilir. (i kavşağı için t zamanında devre süresi)

Yeşil Süre : Verilen bir fazda yeşilin görülme süresi olup; G veya $G_i^m(t)$ ile gösterilir. (t zamanında i kavşağında m fazındaki yeşil süre olarak ifade edilir, karar değişkeni olmaktadır)

Min. Yeşil Süre : Garanti edilen minimum yeşil süredir. $G_i^{m,\min}(t)$ (i kavşağında m fazında, t zamanında minimum yeşil süredir)

Kayıp Zaman : Kavşakta hiçbir trafik hareketinin bulunmadığı süredir. Sarı, tamamen kırmızı zamanlar ile her fazın başlangıcında meydana gelmektedir; L ile ifade edilir.

$\theta_{ia}^m(t)$: 1, eğer a linki t zamanında m fazında ise değilse 0.

Sinyal Kontrol Değişkenleri

$G_i^m(t)$: i kavşağında t zamanında m fazı için yeşil süre

$g_i^m(t)$: i kavşağında t zamanında m fazı için yeşil aralık

$g_a(t)$: t zamanında a şeridi için yeşil aralık

Yeşil zaman aralığının ifadesi;

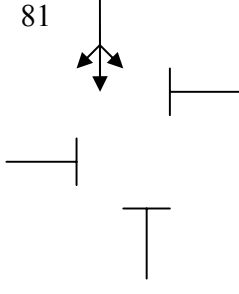
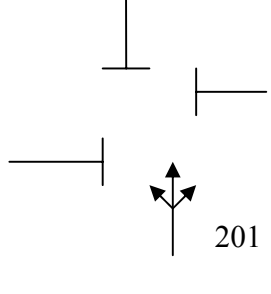
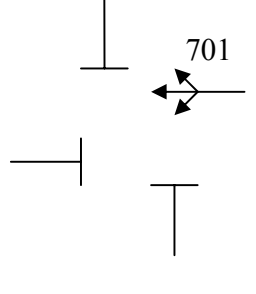
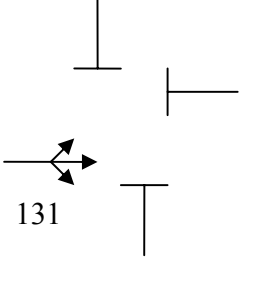
$$g_i^m(t) = \frac{G_i^m(t) - G_i^{m,\min}(t)}{C_i(t) - \sum_m (L_i^m(t) + G_i^{m,\min}(t))} = \frac{G_i^m(t) - G_i^{m,\min}(t)}{\sum_m (G_i^m(t) - G_i^{m,\min}(t))}$$

$$g_a(t) = \sum_m \theta_{ia}^m(t) g_i^m(t)$$

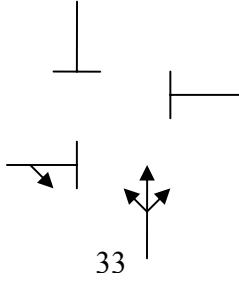
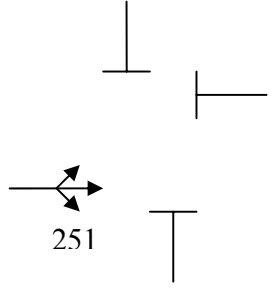
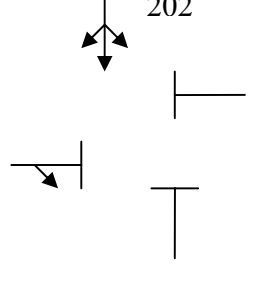
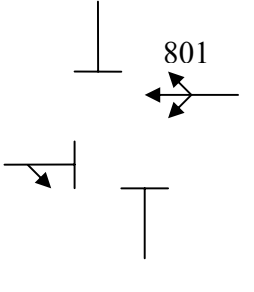
$L_i^m(t)$: t zamanında, i kavşağında m fazındaki kayıp süredir.

$$\sum_i g_i^m(t) = 1 \text{ olmalıdır.}$$

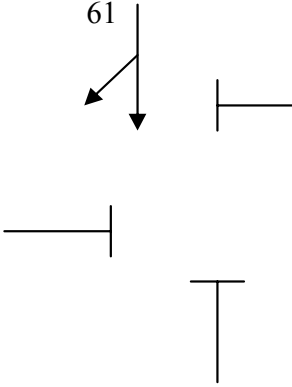
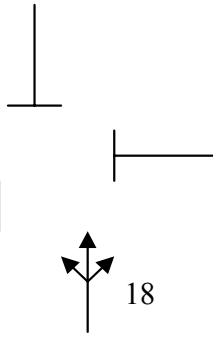
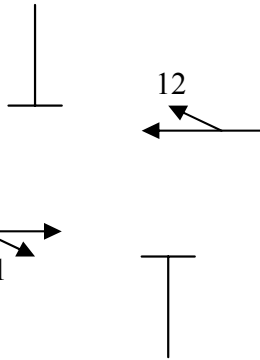
EK 2. FAZ DİYAGRAMLARI

A	B	C	D
			
Tofaş	Kaplanlar	Cumhuriyet Lisesi	Yetiştirme Yurdu

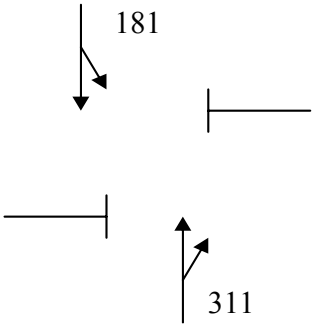
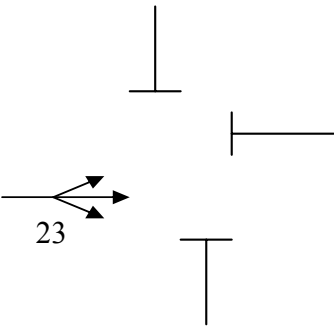
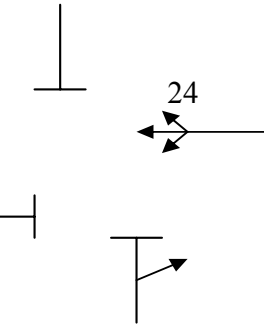
Şekil E2a. K105 no'lu kavşak faz diyagramı

A	B	C	D
			
Çınar	Kayalık	Suluköprü	Halk Cd. Kavşağı

Şekil E2b. K227 no'lu kavşak faz diyagramı

A	B	C-D
		
İstasyon	Ulucami	Halk Cd.-Kaleiçi

Şekil E2c. K222 no'lu kavşak faz diyagramı

A-B	C	D
		
Halley-Valilik	Bankalar	İtfaiye

Şekil E2d. K223 no'lu kavşak faz diyagramı

A	B	C-D
Ulucami	Kayalık	Cum.Lisesi-Valilik

Şekil E2e. K107 no'lu kavşak faz diyagramı

A	B	C-D
Halley	Halk Cad.	İtfaiye- Otogar

Şekil E2f. K104 no'lu kavşak faz diyagramı

A	B	C- D
Atatürk Cad.	Lise	Valilik-İstiklal

Şekil E2g. K225 no'lu kavşak faz diyagramı

A	B	C
İzmir	Antalya	Ankara

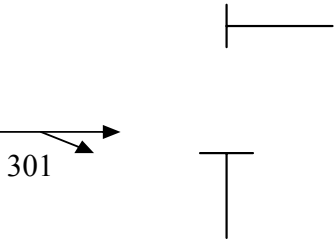
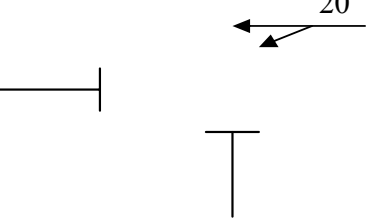
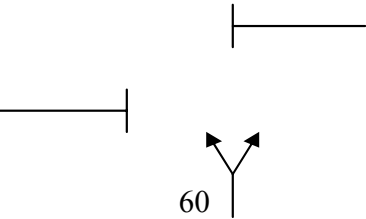
Şekil E2h. K204 no'lu kavşak faz diyagramı

A	B	C
Bankalar	Çınar	Sümerbank

Şekil E2i. K224 no'lu kavşak faz diyagramı

A	B	C	D
Üçgen	YSE	Halk Cad.	Deliktaş

Şekil E2j. K205 no'lu kavşak faz diyagramı

A	B	C
		
İzmir	Denizli	İstasyon caddesi

Şekil E2k. K208 no'lu kavşak faz diyagramı

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 104I119
Proje Başlığı: GENETİK ALGORİTMA VE OYUN TEORİSİ YAKLAŞIMLARI İLE ŞEHİRİÇİ TRAFİK YÖNETİMİ
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Yürütücü: Doç. Dr. Halim CEYLAN Araştırmacı: Doç. Dr. Soner HALDENBİLEN
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Kuruluş: Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı Adres: Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Kınıklı Kampüsü, 20070 Kınıklı /DENİZLİ
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Tunus Caddesi No:80 06100 Kavaklıdere / Ankara
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.04.2004 – 01.12.2009
Öz (en çok 70 kelime) Bu çalışmada, şehiriçi trafik kontrolü ve ulaşım ağı planlaması için Genetik Algoritma (GA) ve Oyun Teorisi (OT) yaklaşımlarını kullanarak Birleştirilmiş Oyun Teorisi ve Genetik Algoritmalar (BOTGA) modeli geliştirilmiş ve ŞEHİRİÇİ Trafik YÖnetimi ve Planlaması (ŞETYÖP) için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. BOTGA modeli yardımıyla şehir içi trafik kontrolü ve yönetimi için gerekli formülasyonlar ve uygulamaları verilmiştir. BOTGA modelleri üç farklı oyun oynanarak çözülmüş ve sabit trafik hacimleri için ağdaki en iyi devre süresi değişim stratejisine karşılık yol kullanıcılarının tepkileri bulunmuştur.
Anahtar Kelimeler: Genetik Algoritma, Oyun Teorisi, Trafik Yönetimi, Trafik Kontrol, Ulaşım Ağ Tasarımı.
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input type="checkbox"/> Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
Projeden Yapılan Yayınlar:

A. SCI kapsamındaki makaleler

a.1. Ceylan H., Haldenbilen S., Ceylan H., Baskan O. (2010) Development of Delay Models with Quasi-Newton Method Resulting From TRANSYT Traffic Model, Journal of Scientific and Industrial Research, 69(2), 87-93.

a.2. Baskan O., Haldenbilen S., Ceylan H., Ceylan H. (2010) Estimating transport energy demand using ant colony optimization, Energy Sources Part B, in press.

a.3. Kavaklioglu, K., Ceylan, H., Ozturk, H. K., Canyurt, O. E. (2009) Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Artificial Neural Networks, Energy Conversion and Management, 50(11), 2719-2727.

a.4. Ceylan H., Ceylan H., Haldenbilen S., Baskan O. (2008) Transport Energy Modeling with Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm, an Application to Turkey, Energy Policy, 36(7), 2527-2535.

a.5. Ceylan H. (2006). Developing Combined Genetic Algorithm--Hill-Climbing Optimization Method for Area Traffic Control. Journal of Transportation Engineering, ASCE, 132(8).

B. Ulusal hakemli makaleler

b.1. Ceylan H., Başkan Ö., Ceylan H., Haldenbilen S. (2007) Yaklaşık Hesaplama Metodu ile Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Bileşenlerinin Matematiksel Çözümü, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 13(2), 279-288.

C. Uluslar arası kongrelerde sunulan bildiriler

c.1. Ceylan H., Haldenbilen S, Ceylan H., Baskan O. (2009) Inverse Model To Estimate O-D Matrix From Link Traffic Counts Using Ant Colony Optimization, International Conference on Prospects for Research in Transport and Logistics, 12-14 February, Istanbul, Turkey.

c.2. Haldenbilen S, Baskan O., Ceylan H., Ceylan H. (2009) Freight Transport Planning with Genetic Algorithm Based Projected Demand, International Conference on Prospects for Research in Transport and Logistics, 12-14 February, Istanbul, Turkey.

c.3. Baskan, O., Haldenbilen, S., Ceylan H. (2006) Determination the effects of vehicle credits on car ownership, 3th International Traffic and Road Safety Congress and Exhibition, 17-19 May 2006, Ankara.

c.4. Baskan O., Ceylan H., Haldenbilen S., Ceylan H. (2008) Spreadsheet Modeling Approach for Estimating Car Ownership, 8th International Congress on Advances in Civil Engineering, September 15-17, Cyprus.

c.5. Ceylan H., Ceylan H., Haldenbilen S., Baskan O. (2008) Estimation of Fuel Consumption in Urban Areas Based on Timing Parameters and Average Vehicular Speed, 8th International Congress on Advances in Civil Engineering, September 15-17, Cyprus.

c.6. Ceylan H., Haldenbilen S., Ceylan H., Baskan O. (2008) A Spreadsheet Model for Transportation Network Design Under Stochastic Equilibrium, 10th International Conference on

Applications of Advanced Technologies in Transportation, May 27- 31, Athens GREECE.

c.7. Ceylan H., Haldenbilen S., Ceylan H., Baskan O. (2008) Indexing Intersection Delays with Numerical Methods , 10th International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation, May 27- 31, Athens GREECE.

c.8. Ceylan H., Haldenbilen, S., and Karasahin M. (2006). Estimating factor productivities of Turkish railways. International Railway Symposium, 13-15 September, 2006, Ankara-Istanbul.

c.9. Ceylan, H., Haldenbilen, S., Ceylan, H. (2006). Development of a network design model in urban road networks in developing countries using game theory approach. Traffic and Road Safety International Congress and Exhibition, 2, pp., 685-785, 17-19 May, Ankara, Turkey.

D. Ulusal kongrelerde sunulan bildiriler

d.1. Baskan, O., Haldenbilen, S. (2009) Logit ve Probit Tabanlı Stokastik Denge Atamasının İki Farklı Sezgisel Metot Kullanılarak Çözülmesi, 8. Ulaştırma Kongresi, 1-2 Ekim, İstanbul.

d.2. Baskan, O., Haldenbilen, S., Ceylan, H., Ceylan, H. (2009) Kentiçi Yollarda Faktör Analizi Kullanılarak Gürültü Modellemesi, 8. Ulaştırma Kongresi, 1-2 Ekim, İstanbul.

d.3. Ceylan, H., Ceylan, H., Baskan, O., Haldenbilen, S. (2009) Birleştirilmiş Oyun Teorisi ve Genetik Algoritma ile Şehiriçi Ulaşım Ağ Tasarımı ve Uygulaması, 8. Ulaştırma Kongresi, 1-2 Ekim, İstanbul.

d.4. Gülhan, G., Ceylan, H., Haldenbilen, S., Ceylan, H., Baskan, O. (2009) Erişilebilirlik ve Arazi Kullanımı Arasındaki İlişkinin Kentiçi Yerleşmelerde Araştırılması, 8. Ulaştırma Kongresi, 1-2 Ekim, İstanbul.

d.5. Ceylan, H., Ceylan, H. (2009) Şehiriçi Karayolu Ağlarının Ayrık Tasarımında Sezgisel Armoni Araştırması Yöntemi Uygulaması, 8. Ulaştırma Kongresi, 1-2 Ekim, İstanbul.

d.6. Ceylan, H., Haldenbilen, S., Ceylan, H., Başkan, Ö. (2007) Şehiriçi Trafik Verilerinin Toplanmasında Sensör Kullanımı, Süleyman Demirel Üniversitesi Müh. Mim.Fakültesi 15.Yıl Sempozyumu, 14-16 Kasım 2007, Isparta.

d.7. Ceylan, H., Başkan, Ö., Haldenbilen, S., Ceylan, H. (2007) Şehiriçi Toplu Taşım Sorunları Ve Çözüm Yöntemleri: Denizli Örneği, 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, 1-2 Kasım 2007, Hatay.

d.8. Başkan, Ö., Ceylan, H., Haldenbilen, S., Ceylan, H. (2007) Kentiçi Yollarda Hız Yoğunluk Kapasite İlişkisi Ve Kapasite Kullanım Oranının Belirlenmesi, 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, 1-2 Kasım 2007, Hatay.

d.9. Başkan, Ö., Haldenbilen, S., Ceylan H. (2006) Ulaştırma Sektörünün Enerji Talebinin Modellenmesi ve Sürdürülebilir Politikalar, Türkiye 10. Enerji Kongresi ve Uluslararası 5. Enerji Fuarı, 26 Kasım -01 Aralık, Ankara.

d.10. Ceylan, H., Baskan, Ö., Haldenbilen, S., Ceylan, H. (2008) Trafikten Kaynaklanan Gürültü

Kirililiğinin Değerlendirilmesi, Karayolu 1. Ulusal Kongresi, 01-03 Nisan, Ankara.

d.11. Ceylan, H., Baskan, Ö., Haldenbilen, S., Ceylan, H. (2008) Kent Trafiki ve Çözüm Önerileri: Denizli Kenti Örneği, Denizli Kent Sempozyumu, 02-03 Mayıs, Denizli.

d.12. Ceylan, H., Karahahin., M. ve Haldenbilen, S. (2007) "Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerde Ulaşım: Yenilenebilir Enerjiye Karşın Enerji Azal(t)ımı". 7. Ulaştırma Kongresi, 19-21 Eylül, Yıldız Teknik Üniversitesi, s. 438-447, İstanbul.

d.13. Ozan, C., Ceylan, H., Haldenbilen, S. ve Yaşar, A. B. (2009) "Kentiçi Otobüs Taşımacılığında Talep Tahmini ve Fiyat Analizleri: Denizli Örneği". İzmir Ulaşım Sempozyumu, 8-9 Aralık, İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi, s. 269-284, İzmir.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 104I119
Proje Başlığı: GENETİK ALGORİTMA VE OYUN TEORİSİ YAKLAŞIMLARI İLE ŞEHİRİÇİ TRAFİK YÖNETİMİ
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Yürütücü: Doç. Dr. Halim CEYLAN Araştırmacı: Doç. Dr. Soner HALDENBİLEN
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Kuruluş: Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı Adres: Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Kınıklı Kampüsü, 20070 Kınıklı /DENİZLİ
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Tunus Caddesi No:80 06100 Kavaklıdere / Ankara
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.04.2004 – 01.12.2009
Öz (en çok 70 kelime) Bu çalışmada, şehir içi trafik kontrolü ve ulaşım ağı planlaması için Genetik Algoritma (GA) ve Oyun Teorisi (OT) yaklaşımlarını kullanarak Birleştirilmiş Oyun Teorisi ve Genetik Algoritmalar (BOTGA) modeli geliştirilmiş ve Şehir içi Trafik Yönetimi ve Planlaması (ŞETYÖP) için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. BOTGA modeli yardımıyla şehir içi trafik kontrolü ve yönetimi için gerekli formülasyonlar ve uygulamaları verilmiştir. BOTGA modelleri üç farklı oyun oynanarak çözülmüş ve sabit trafik hacimleri için ağdaki en iyi devre süresi değişim stratejisine karşılık yol kullanıcılarının tepkileri bulunmuştur.
Anahtar Kelimeler: Genetik Algoritma, Oyun Teorisi, Trafik Yönetimi, Trafik Kontrol, Ulaşım Ağı Tasarımı.
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input type="checkbox"/> Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
Projenin Yapılan Yayınlar:

A. SCI kapsamındaki makaleler

a.1. Ceylan H., Haldenbilen S., Ceylan H., Baskan O. (2010) Development of Delay Models with Quasi-Newton Method Resulting From TRANSYT Traffic Model, Journal of Scientific and Industrial Research, 69(2), 87-93.

a.2. Baskan O., Haldenbilen S., Ceylan H., Ceylan H. (2010) Estimating transport energy demand using ant colony optimization, Energy Sources Part B, in press.

a.3. Kavaklioglu, K., Ceylan, H., Ozturk, H. K., Canyurt, O. E. (2009) Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Artificial Neural Networks, Energy Conversion and Management, 50(11), 2719-2727.

a.4. Ceylan H., Ceylan H., Haldenbilen S., Baskan O. (2008) Transport Energy Modeling with Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm, an Application to Turkey, Energy Policy, 36(7), 2527-2535.

a.5. Ceylan H. (2006). Developing Combined Genetic Algorithm--Hill-Climbing Optimization Method for Area Traffic Control. Journal of Transportation Engineering, ASCE, 132(8).

B. Ulusal hakemli makaleler

b.1. Ceylan H., Başkan Ö., Ceylan H., Haldenbilen S. (2007) Yaklaşık Hesaplama Metodu ile Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Bileşenlerinin Matematiksel Çözümü, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 13(2), 279-288.

C. Uluslar arası kongrelerde sunulan bildiriler

c.1. Ceylan H., Haldenbilen S, Ceylan H., Baskan O. (2009) Inverse Model To Estimate O-D Matrix From Link Traffic Counts Using Ant Colony Optimization, International Conference on Prospects for Research in Transport and Logistics, 12-14 February, Istanbul, Turkey.

c.2. Haldenbilen S, Baskan O., Ceylan H., Ceylan H. (2009) Freight Transport Planning with Genetic Algorithm Based Projected Demand, International Conference on Prospects for Research in Transport and Logistics, 12-14 February, Istanbul, Turkey.

c.3. Baskan, O., Haldenbilen, S., Ceylan H. (2006) Determination the effects of vehicle credits on car ownership, 3th International Traffic and Road Safety Congress and Exhibition, 17-19 May 2006, Ankara.

c.4. Baskan O., Ceylan H., Haldenbilen S., Ceylan H. (2008) Spreadsheet Modeling Approach for Estimating Car Ownership, 8th International Congress on Advances in Civil Engineering, September 15-17, Cyprus.

c.5. Ceylan H., Ceylan H., Haldenbilen S., Baskan O. (2008) Estimation of Fuel Consumption in Urban Areas Based on Timing Parameters and Average Vehicular Speed, 8th International Congress on Advances in Civil Engineering, September 15-17, Cyprus.

c.6. Ceylan H., Haldenbilen S., Ceylan H., Baskan O. (2008) A Spreadsheet Model for Transportation Network Design Under Stochastic Equilibrium, 10th International Conference on

Applications of Advanced Technologies in Transportation, May 27- 31, Athens GREECE.

c.7. Ceylan H., Haldenbilen S., Ceylan H., Baskan O. (2008) Indexing Intersection Delays with Numerical Methods , 10th International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation, May 27- 31, Athens GREECE.

c.8. Ceylan H., Haldenbilen, S., and Karasahin M. (2006). Estimating factor productivities of Turkish railways. International Railway Symposium, 13-15 September, 2006, Ankara-Istanbul.

c.9. Ceylan, H., Haldenbilen, S., Ceylan, H. (2006). Development of a network design model in urban road networks in developing countries using game theory approach. Traffic and Road Safety International Congress and Exhibition, 2, pp., 685-785, 17-19 May, Ankara, Turkey.

D. Ulusal kongrelerde sunulan bildiriler

d.1. Baskan, O., Haldenbilen, S. (2009) Logit ve Probit Tabanlı Stokastik Denge Atamasının İki Farklı Sezgisel Metot Kullanılarak Çözülmesi, 8. Ulaştırma Kongresi, 1-2 Ekim, İstanbul.

d.2. Baskan, O., Haldenbilen, S., Ceylan, H., Ceylan, H. (2009) Kentiçi Yollarda Faktör Analizi Kullanılarak Gürültü Modellemesi, 8. Ulaştırma Kongresi, 1-2 Ekim, İstanbul.

d.3. Ceylan, H., Ceylan, H., Baskan, O., Haldenbilen, S. (2009) Birleştirilmiş Oyun Teorisi ve Genetik Algoritma ile Şehiriçi Ulaşım Ağ Tasarımı ve Uygulaması, 8. Ulaştırma Kongresi, 1-2 Ekim, İstanbul.

d.4. Gülhan, G., Ceylan, H., Haldenbilen, S., Ceylan, H., Baskan, O. (2009) Erişilebilirlik ve Arazi Kullanımı Arasındaki İlişkinin Kentiçi Yerleşmelerde Araştırılması, 8. Ulaştırma Kongresi, 1-2 Ekim, İstanbul.

d.5. Ceylan, H., Ceylan, H. (2009) Şehiriçi Karayolu Ağlarının Ayrık Tasarımında Sezgisel Armoni Araştırması Yöntemi Uygulaması, 8. Ulaştırma Kongresi, 1-2 Ekim, İstanbul.

d.6. Ceylan, H., Haldenbilen, S., Ceylan, H., Başkan, Ö. (2007) Şehiriçi Trafik Verilerinin Toplanmasında Sensör Kullanımı, Süleyman Demirel Üniversitesi Müh. Mim.Fakültesi 15.Yıl Sempozyumu, 14-16 Kasım 2007, Isparta.

d.7. Ceylan, H., Başkan, Ö., Haldenbilen, S., Ceylan, H. (2007) Şehiriçi Toplu Taşım Sorunları Ve Çözüm Yöntemleri: Denizli Örneği, 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, 1-2 Kasım 2007, Hatay.

d.8. Başkan, Ö., Ceylan, H., Haldenbilen, S., Ceylan, H. (2007) Kentiçi Yollarda Hız Yoğunluk Kapasite İlişkisi Ve Kapasite Kullanım Oranının Belirlenmesi, 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, 1-2 Kasım 2007, Hatay.

d.9. Başkan, Ö., Haldenbilen, S., Ceylan H. (2006) Ulaştırma Sektörünün Enerji Talebinin Modellenmesi ve Sürdürülebilir Politikalar, Türkiye 10. Enerji Kongresi ve Uluslararası 5. Enerji Fuarı, 26 Kasım -01 Aralık, Ankara.

d.10. Ceylan, H., Baskan, Ö., Haldenbilen, S., Ceylan, H. (2008) Trafikten Kaynaklanan Gürültü

Kirililiğinin Değerlendirilmesi, Karayolu 1. Ulusal Kongresi, 01-03 Nisan, Ankara.

d.11. Ceylan, H., Baskan, Ö., Haldenbilen, S., Ceylan, H. (2008) Kent Trafiki ve Çözüm Önerileri: Denizli Kenti Örneği, Denizli Kent Sempozyumu, 02-03 Mayıs, Denizli.

d.12. Ceylan, H., Karahahin., M. ve Haldenbilen, S. (2007) "Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerde Ulaşım: Yenilenebilir Enerjiye Karşın Enerji Azal(t)ımı". 7. Ulaştırma Kongresi, 19-21 Eylül, Yıldız Teknik Üniversitesi, s. 438-447, İstanbul.

d.13. Ozan, C., Ceylan, H., Haldenbilen, S. ve Yaşar, A. B. (2009) "Kentiçi Otobüs Taşımacılığında Talep Tahmini ve Fiyat Analizleri: Denizli Örneği". İzmir Ulaşım Sempozyumu, 8-9 Aralık, İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi, s. 269-284, İzmir.