



T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON
BİRİMİ (PAUBAP)

BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ
SONUÇ RAPORU

PROJE NO : 2012BSP019

PROJE TİPİ* : Başlangıç Seviyesi Projesi

İLGİLİ BİRİM: Mühendislik Fakültesi

**PROJE ADI: ULAŞIM AĞ TASARIM PROBLEMİNİN
ÇÖZÜMÜNDE FARKLI SEZGİSEL METOTLARIN
KARŞILAŞTIRILMASI**

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ :

Dr. Özgür BAŞKAN (MF)

ARAŞTIRMACILAR :

Dr. Hüseyin CEYLAN (MF)

Dr. Cenk OZAN (MF)

Dr. Görkem GÜLHAN (MTF)

DENİZLİ - 2014

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**

**BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ
(PAUBAP)**

PROJE NO : 2012BSP019
PROJE TİPİ* : Başlangıç Seviyesi Projesi
İLGİLİ BİRİM: Mühendislik Fakültesi
PROJE ADI:Ulaşım Ağ Tasarım Probleminin
Çözümünde Farklı Sezgisel Metotların
Karşılaştırılması

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ :
Dr. Özgür BAŞKAN (MF)
ARAŞTIRMACILAR :
Dr. Hüseyin CEYLAN (MF)
Dr. Cenk OZAN (MF)
Dr. Görkem GÜLHAN (MTF)

DENİZLİ - 2014

Ulaşım Ağ Tasarım Probleminin Çözümünde Farklı Sezgisel Metotların Karşılaştırılması

Proje No: 2012BSP019

Dr. Özgür BAŞKAN
Dr. Hüseyin CEYLAN
Dr. Cenk OZAN
Dr. Görkem GÜLHAN

Nisan 2014
DENİZLİ

BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ ONAY SAYFASI

Dr. Özgür BAŞKAN yürütücülüğünde hazırlanan 2012BSP019 nolu ve “**Ulaşım Ağ Tasarım Probleminin Çözümünde Farklı Sezgisel Metotların Karşılaştırılması**” başlıklı **Başlangıç Seviyesi Projesi** Kesin Sonuç Raporu Pamukkale Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu’nun/...../20.. tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Latif ELÇİ
Koordinatör
...../...../20..

ÖNSÖZ

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Elemanlarından Dr. Özgür BAŞKAN yürütücülüğünde hazırlanmış, Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2012BSP019 nolu proje ile desteklenmiştir.

Özgür BAŞKAN
Denizli-2014

ÖZET

ULAŞIM AĞ TASARIM PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜNDE FARKLI SEZGİSEL METOTLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Ulaşım Ağ Tasarım (UAT) probleminin çözümünde ağ kullanıcıları ve karar vericilerin davranışlarının karşılıklı olarak dikkate alınması oldukça önemlidir. UAT probleminin çözülmesi neticesinde optimum sinyal parametrelerinin bulunması ile kullanıcıların seyahatleri sırasında ulaşım ağına en çok zaman kaybettiği kavşaklardaki gecikmeler minimum seviyelere indirgenebilmektedir. Projede UAT probleminin çözümü ve ağ performansını eniyileyen parametrelerin elde edilebilmesi amacıyla iki seviyeli programlama tekniğinden faydalanılmıştır. Üst seviyede sinyal parametrelerinin optimum değerlerinin belirlenmesi amacıyla Armoni Araştırması Tekniği, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Yapay Arı Kolonisi ve Pekiştirilmiş Öğrenme metotları kullanılmış ve TRANSYT-7F yazılımı ile entegre edilmiştir. Alt seviyede ise stokastik trafik atama probleminin çözümü için Rota Akım Tahmin algoritması kullanılmıştır. Sayısal uygulamalar, Yapay Arı Kolonisi algoritmasının diğer sezgisel metotlara göre amaç fonksiyonu açısından daha iyi sonuçlara ulaştığını ve büyük ölçekli ulaşım ağlarında kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Ulaşım Ağ Tasarımı, Sezgisel Metotlar, Stokastik Trafik Atama, İki Seviyeli Programlama.

ABSTRACT

COMPARISON OF HEURISTIC ALGORITHMS FOR SOLVING NETWORK DESIGN PROBLEM

The interaction between the decision makers and road users has to be taken into account for solving Network Design Problem (NDP). The signal control parameters can be found by means of solving the NDP and delays which occurred generally at junctions, can be minimized. In this project, bilevel programming approach was used in order to find best system parameters and to solve the NDP. In the upper level, Harmony Search, Ant Colony Optimization, Artificial Bee Colony, and Reinforcement Learning approaches were used to optimize the signal control parameters, and they were integrated by the software of TRANSYT-7F. In the lower level, stochastic traffic assignment was performed by means of the Path Flow Estimator algorithm. Numerical experiments showed that the Artificial Bee Colony algorithm reached better solutions than those produced by other heuristic methods in terms of objective function value, and can be used in large scale road networks for solving the NDP.

Keywords: Transportation Network design, Heuristic methods, Stochastic traffic assignment, Bilevel programming.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
1. GİRİŞ	1
2. ULAŞIM AĞ TASARIMI	2
2.1 İKİ SEVİYELİ PROGRAMLAMA	6
3. TRANSYT-7F YAZILIMI	8
4. TRAFİK ATAMA	11
5. SEZGİSEL METOTLAR VE PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ	22
5.1 KARINCA KOLONİSİ OPTİMİZASYONU	22
5.2 PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME	25
5.3 ARMONİ ARAŞTIRMASI TEKNİĞİ	28
5.4 YAPAY ARI KOLONİSİ	32
6. SAYISAL UYGULAMALAR	36
6.1 ÖRNEK ULAŞIM AĞI UYGULAMASI	36
6.2 ALLSOP & CHARLESWORTH ULAŞIM AĞI UYGULAMASI	43
KAYNAKLAR	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Trafik atama ve sinyal kontrolü arasındaki ilişki	2
Şekil 3.1	Taşıt kümeleri, sinyal ofsetleri ile bağ üzerindeki trafiğin davranışı	9
Şekil 4.1	Ulaşım ağı düğüm ve bağ numaralandırılması	12
Şekil 4.2	RAT algoritma adımları	16
Şekil 4.3	Ulaşım ağı	18
Şekil 4.4	Faz diyagramı	19
Şekil 4.5	Ulaşım ağının RAT algoritması için düzenlenmiş hali	20
Şekil 5.1	YAK algoritma adımları	35
Şekil 6.1	Sinyal kontrol modeli genel çerçevesi	37
Şekil 6.2	TRANSYT-7F başlangıç girdi ekranı	37
Şekil 6.3	TRANSYT-7F ayrıntılı girdi ekranı	38
Şekil 6.4	Örnek ulaşım ağı 1 nolu kavşak girdi ekranı	39
Şekil 6.5	Sinyal süreleri girdi ekranı	39
Şekil 6.6	Örnek ulaşım ağı	40
Şekil 6.7	Örnek ulaşım ağı faz planları	40
Şekil 6.8	Örnek ulaşım ağının trafik atama için düzenlenmiş hali	41
Şekil 6.9	TRANSYT-7F programının çağırılması	41
Şekil 6.10	Allsop & Charlesworth Ulaşım Ağı	44

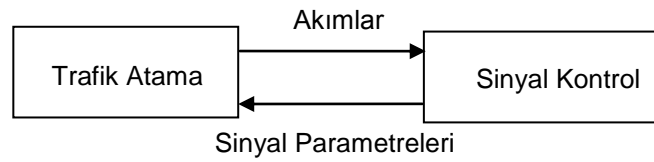
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1	B-V talepleri	17
Çizelge 4.2	Ulaşım ağına ait karakteristik özellikler	17
Çizelge 4.3	Başlangıç sinyal süreleri	20
Çizelge 4.4	Trafik hacimleri (ta/sa)	21
Çizelge 4.5	Trafik atama sonucu elde edilen veriler	21
Çizelge 5.1	KKO duyarlılık analizi (Goldstein-price fonksiyonu)	23
Çizelge 5.2	KKO duyarlılık analizi (Hartman fonksiyonu)	23
Çizelge 5.3	KKO duyarlılık analizi (Rosenbrock fonksiyonu)	24
Çizelge 5.4	KKO duyarlılık analizi (Schwefel fonksiyonu)	24
Çizelge 5.5	KKO duyarlılık analizi (Zakharov fonksiyonu)	24
Çizelge 5.6	PÖ duyarlılık analizi (Goldstein-price fonksiyonu)	26
Çizelge 5.7	PÖ duyarlılık analizi (Hartman fonksiyonu)	27
Çizelge 5.8	PÖ duyarlılık analizi (Rosenbrock fonksiyonu)	27
Çizelge 5.9	PÖ duyarlılık analizi (Schwefel fonksiyonu)	28
Çizelge 5.10	PÖ duyarlılık analizi (Zakharov fonksiyonu)	28
Çizelge 5.11	AAT duyarlılık analizi (Goldstein-price fonksiyonu)	30
Çizelge 5.12	AAT duyarlılık analizi (Hartman fonksiyonu)	31
Çizelge 5.13	AAT duyarlılık analizi (Rosenbrock fonksiyonu)	31
Çizelge 5.14	AAT duyarlılık analizi (Schwefel fonksiyonu)	32
Çizelge 5.15	AAT duyarlılık analizi (Zakharov fonksiyonu)	32
Çizelge 5.16	YAK duyarlılık analizi (Goldstein-price fonksiyonu)	34
Çizelge 5.17	YAK duyarlılık analizi (Hartman fonksiyonu)	34
Çizelge 5.18	YAK duyarlılık analizi (Rosenbrock fonksiyonu)	36
Çizelge 5.19	YAK duyarlılık analizi (Schwefel fonksiyonu)	36
Çizelge 5.20	YAK duyarlılık analizi (Zakharov fonksiyonu)	36
Çizelge 6.1	Örnek ulaşım ağı verileri	40
Çizelge 6.2	Örnek ulaşım ağı sonuçları	42
Çizelge 6.3	KKO ile elde edilen denge bağ akımları ve bağ doygunluk dereceleri	42
Çizelge 6.4	AAT ile elde edilen denge bağ akımları ve bağ doygunluk dereceleri	42
Çizelge 6.5	YAK ile elde edilen denge bağ akımları ve bağ doygunluk dereceleri	43
Çizelge 6.6	PÖ ile elde edilen denge bağ akımları ve bağ doygunluk dereceleri	43
Çizelge 6.7	Denge bağ akımları (ta/sa)	45
Çizelge 6.8	Doygunluk dereceleri	45
Çizelge 6.9	Optimum sinyal süreleri	45

1. GİRİŞ

Son yıllarda ulaşım talebi giderek artmakta ve yetersiz ulaşım alt yapıları nedeniyle birçok problem ile karşı karşıya kalınmaktadır. Ulaşım ağlarında karar vericiler ve kullanıcılar sürekli etkileşim içindedirler. Karar vericiler ağın performansını artıracak politikalar üretmek yönünde çaba sarf ederken ağ kullanıcıları ise kendi seyahat sürelerini ve konforlarını iyileştirecek şekilde hareket etmek istemektedirler. Bu nedenle Ulaşım Ağ Tasarımı (UAT) için ağ kullanıcıları ve karar vericilerin davranışlarının karşılıklı olarak dikkate alınması oldukça önemlidir. Ağ tasarımı sonucunda optimum tasarım parametrelerinin bulunması ile kullanıcıların seyahatleri sırasında ulaşım ağında en çok zaman kaybettiği kavşaklardaki gecikmeler minimum seviyelere indirgenebilmektedir (Başkan, 2009a). Şehir içi ulaşım ağlarında trafik akımlarının kesiştiği kısımlar olan kavşaklar genel olarak sinyalizasyon ve sinyalizasyon olmayan kavşaklar olarak ikiye ayrılmaktadır. Sinyalizasyon kavşaklar kontrolsüz kavşaklarda kontrolü sağlamak, meydana gelebilecek kazaları önlemek ve kavşaklarda meydana gelen gecikmeleri azaltmak amacı ile kullanılmaktadır. Sinyalizasyon sistemleri kontrol ettikleri kavşakların durumuna göre izole ve koordine sistemler olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir. İzole sinyalizasyon sistemleri yakınındaki diğer kavşaklarda kurulmuş bulunan başka sinyalizasyon sistemleri ile herhangi bir bağlantısı olmayan ve diğer sinyalizasyon tesislerinin etkilemediği sistemdir. Bu tür sistemlerde kavşaklar herhangi bir trafik sayımı ve modelleme çalışması yapılmadan işletilmektedir. Bu durum, kavşak kolları üzerindeki farklı trafik yüklerini dikkate almadan aynı tasarım parametrelerinin uygulanması sonucunu doğurmakta bu da gecikmelerin ve buna bağlı olarak trafikteki sıkışıklıkların artmasına neden olmaktadır. Ana yolların birbirine çok yakın iki veya daha fazla sayıdaki kavşaklarında, gecikmeleri azaltmak ve sık duruş-kalkışları engellemek amacıyla, kavşaklardaki sinyalizasyon sistemlerinin birbirine bağlanması ise koordine sinyalizasyon sistemi olarak tanımlanabilmektedir. Koordine sistemler, genellikle anayol üzerindeki kavşaklardan, tali yol trafiğine de yeterli geçiş hakkı tanıyarak, birim zaman içinde mümkün olan en yüksek sayıda taşıtın durmadan geçirilmesi için düzenlenmektedir. Bu tür sistemler öncelikle anayol trafiği için uygulanmakla birlikte, bütün yönlerdeki toplam gecikmenin en küçüklenmesi için de uygulanabilmektedir. Koordine sistemde ise ulaşım ağındaki tüm kavşaklar için ortak bir devre süresi hesaplanmakta ve *offset* vasıtasıyla tüm kavşaklar koordine bir şekilde hizmet verebilmektedir.

UAT probleminin çözümü, konveks olmayan yapısından dolayı oldukça zor ve karmaşık olup literatürde farklı birçok metod bulunmaktadır. Bunlardan biri olan İki Seviyeli Programlama (İSP) son yıllarda literatürde oldukça fazla yer bulan yöntemlerden birisidir. Bu yöntemde sinyal kontrolü ve trafik atama problemlerinin çözümü genellikle birbirinden ayrı olarak gerçekleştirilmektedir. İki problemin çözümü sırasında girdi olarak kullanılan değerler diğer problemin çözümünden elde edilen çıktı değerleridir. Alt seviye trafik atama problemini temsil ederken, üst seviye alt seviyenin çözümü ile elde edilen bağ akımlarına bağlı olarak ağ tasarım parametrelerinin optimum değerlerinin belirlendiği kısmı temsil etmektedir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi denge bağ akımları sinyal kontrolünde girdi olarak kullanılırken sinyal parametreleri ise trafik atama probleminde girdi olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.1 Trafik atama ve sinyal kontrolü arasındaki ilişki (Başkan, 2009a)

UAT sürecinde ulaşım ağı karar vericileri ve ağdan faydalananlar olmak üzere iki grubun etkileşimi söz konusudur. Her iki grubunda kendine özgü amaçları mevcuttur. Ulaşım ağı karar vericileri genellikle sosyal çerçeveli bir amaç olarak ya toplam sistem maliyetinin en küçüklenmesi ya da sosyal refahın ve konforun artırılmasını amaçlamaktadır. Toplam sistem maliyetinin en küçüklenmesi sabit talep durumuna uygun olmakla birlikte sosyal refahın ya da konforun artırılması elastik talep durumu için daha uygun amaçlar olarak sıralanmaktadır. Herhangi bir ulaşım ağı kullanıcısı bütün ağıdaki konfor ya da sosyal refahı hiçe sayarak sadece kendi maliyetini en küçüklemek amacıyla olabilmektedir. Bu nedendir ki ulaşım ağı karar vericilerinin sistem maliyetinin en küçüklenmesini ya da sosyal refahın ve konforun artırılmasını sağlayabilmesi için ağı kullanıcılarının davranışlarını dikkate alması gerekmektedir. Diğer taraftan ulaşım ağındaki değişiklikler ağı kullananların davranışlarını etkilemekte ve her iki grubun karşılıklı etkileşim içinde olması sonucunu doğurmaktadır. Ulaşım ağı karar vericileri ve ağı kullanıcıları arasındaki ilişki nedeniyle iki seviyedeki karar vericilerin oluşturduğu hiyerarşik bir problem olarak tanımlanan UAT probleminde ağı karar vericilerinin kullanıcıların davranışları hakkında önceden bilgi sahibi olduğu varsayımı durumunda UAT oyun teorisindeki lider-takipçi ya da Stackelberg oyunu olarak tanımlanabilir (Fisk, 1984). Bu durumda ağı karar vericileri lider kullanıcılar ise takipçi olarak nitelendirilebilmektedir. Bu nedenle UAT süreci İSP problemi olarak tanımlanmıştır (Oppenheim, 1995). Bu bağlamda liderin karar değişkenleri üst seviyede hesaplanırken takipçi davranışları ise alt seviye optimizasyon problemi olarak tanımlanmıştır. UAT probleminin karmaşık yapısından dolayı optimum ya da optimuma yakın sinyal kontrol parametrelerinin bulunmasının geleneksel matematiksel metotlarla çözümü yerine araştırmacılar son yıllarda farklı yaklaşımlar altında çözümü aramaya başlamışlardır. Ayrıca UAT probleminin çözümünde sistem ve tasarım parametrelerinin çeşitliliği nedeniyle yeni yaklaşımların problemin çözümünde ne gibi sonuçlar verebileceğinin araştırılması gerekmektedir. Literatürde UAT probleminin çözümü için farklı metotlar önerilmekle birlikte son yıllarda Genetik Algoritma (GA), Tavlama Benzetimi (TB), Tabu ARama (TAR) vb. sezgisel metotların kullanımı oldukça artmıştır.

2. ULAŞIM AĞI TASARIMI

UAT probleminin üst seviyesini oluşturan trafik kontrol probleminin çözümü ile ilgili literatürde birçok matematiksel model önerilmiştir. Robertson (1969) tarafından önerilen TRANSYT modeli koordineli kavşaklarda en çok kullanılan trafik kontrol modellerinden birisidir. 1970'lerin başında Amerikan Karayolları Birliği tarafından geliştirilen Şehir Trafik Kontrol Sistemi (UCTS) ve MAXBAND (Little ve diğ., 1981) programları da trafik kontrol modelleri olarak kullanılmıştır. Ayrıca SCATS (Sims, 1979; Lowrie, 1982; Luk 1984) ve SCOOT (Hunt ve diğ., 1982; Robertson ve Bretherton, 1991) trafik kontrol modelleri de farklı yaklaşımlar altında sinyal kontrol

parametrelerinin optimizasyonuna olanak sağlamaktadır. UAT problemi çok sayıda farklı parametreyi içermesi ve konveks olmayan yapısından dolayı oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Mevcut modeller ve algoritmalar kullanıcı ve alt yapının çeşitliliği göz önüne alındığında her koşulda istenen performansı verememektedir. Ayrıca ulaşım ağının herhangi 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 rota değiştirmelerine neden olmakta, bu durum ise 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 karar vericiler tarafından bilinmesi gerekmektedir. Ulaşım ağının bu gibi durumlarda kullanıcılar ile olan etkileşiminin net olarak ortaya konulması karmaşa anında erişebilirliğin üst düzeyde sağlanması açısından oldukça önemlidir. Ulaşım ağlarında bağ trafik hacimleri ile sinyal parametrelerine bağlı olarak ağın performansının değişiminin hesaplanması en karmaşık problemlerin başında gelmektedir. Herhangi bir kontrol parametresine bağlı olarak bağ trafik hacimleri değişmekte, değişen bağ hacimlerine karşı sinyal kontrol parametreleri de değişmektedir. Ayrıca, UAT problemini, sistem ve kullanıcı dengesi birleştirildiği zaman mevcut analitik matematiksel denklemlerle çözmek oldukça zor olmaktadır. Bu zorluk aynı zamanda sistemin konveks olmayan yapısından da ileri gelmektedir. Bu nedenle farklı yöntemler kullanılarak, yeni açılımların ortaya konulması gerekliliği açıktır.

UAT probleminin çözümü için literatürde birçok farklı çalışma mevcuttur. Genel olarak Webster ve Cobbe (1966) tarafından yapılan çalışmalarla hız kazanan trafik sinyal kontrolü konusunda birçok metot önerilmiştir. Allsop (1974) ve Gartner (1974) tarafından önerilen iteratif yaklaşımlarda UAT probleminin çözümü için sinyal kontrol ve trafik atama problemleri ayrı ayrı çözümlenerek problem çıktıkları diğer problemin girdisi olarak kullanılmıştır. Allsop ve Charlesworth (1977) orta ölçekli ulaşım ağları için sinyal kontrol ve trafik atama süreçlerini birleştiren iteratif yaklaşımı kullanmışlardır. Çalışmada trafik atama süreci deterministik trafik ataması olarak temsil edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen sinyal süreleri ve denge bağ akımları Gershwin ve Tan (1979) ve Dickson (1981) çalışmalarında belirtildiği gibi optimum sinyal parametrelerini bulmada yeterli değildir. Ayrıca Suwansirikul ve diğ. (1987) yapmış olduğu çalışmada UAT probleminin çözümü için Hooke-Jeeves metodunu kullanmışlardır. Sonuçlar test ağı üzerinde karşılıklı iteratif yaklaşımı ile kıyaslanmış ve daha başarılı bulunmuştur. Hadi ve Wallace (1993) yaptıkları çalışmada trafik kontrol probleminin çözümü için GA ve Tepe Tırmanma (TT) metodlarını birlikte kullanmışlardır. Çalışmada, sinyal sürelerinin optimizasyonu için GA modeli TRANSYT yazılımı ile birlikte kullanılmıştır. Sonuçlar, çalışılan ağın mevcut sinyal süreleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada GA modelinin TRANSYT ve TT ile birlikte, sinyal parametrelerini optimize edebileceği sonucu ortaya konulmuştur. Heydecker (1996) yapmış olduğu çalışmada trafik sinyal parametrelerini iki seviye olarak ayırtmıştır; birinci seviyede grup-taban yaklaşımı kullanılarak izole kavşaklardaki sinyal parametreleri optimize edilmiş, ikinci seviyede ise birinci seviyede bulunan parametreler ağ bazında optimize edilmiştir.

Benzer şekilde Sung ve Bell (1997) Alansal Trafik Kontrolü (ATK) 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 TT metodu ile karşılaştırılmıştır. Putha ve diğ. (2001) KKO ve GA yaklaşımlarını kullanarak doygunüstü durum için ağ sinyal koordinasyon problemini çözmüşlerdir. KKO yönteminin GA yöntemine göre daha etkin ve güvenilir sonuçlar sağladığı belirtilmiştir.

Ceylan (2006) GA, TRANSYT ve TT yöntemleri ile Alansal Trafik Kontrol (ATK) probleminde sinyal sürelerini en iyilemek için çözüm uzayını daraltan bir yöntem önermiştir. Elde edilen sonuçların TRANSYT ile karşılaştırılması sonucunda, en uygun sinyal süreleri açısından geliştirilen modelin sinyal süre optimizasyonunun da daha başarılı olduğu belirtilmiştir. Ceylan (2009) şehiriçi ulaşım ağlarındaki trafik sıkışıklıklarının azaltılabilmesi için ağda yapılacak fiziksel ve yönetsel iyileştirmeleri kapsayan ayırık ulaşım ağ tasarımı problemi üzerine çalışmıştır. Bu amaçla, şerit iyileştirme/ilavesi ve şerit yönlendirme problemleri, doğrusal olmayan karma tamsayılı programlama problemi olarak formülize edilmiştir. Armoni Araştırması Tekniği (AAT) söz konusu problemin çözümü için kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Başkan ve Haldenbilen (2010) modifiye edilmiş Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) metodunu ofset parametresi dikkate alınmadan UAT probleminin çözümü için uygulamışlardır. Çalışmada iki seviyeli programlama tekniği kullanılmış ve alt seviyede probit stokastik trafik atama algoritması ile denge bağ akımları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre KKO metodunun UAT probleminin çözümünde kullanılabileceği belirlenmiştir.

UAT problemi genel olarak Ayırık Ulaşım Ağ Tasarımı (AUAT) ve Sürekli Ulaşım Ağ Tasarımı (SUAT) olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. İki farklı UAT kategorisi arasındaki temel ayırım bir takım karar değişkenlerindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır (Zixiao, 2004). Herhangi bir ulaşım ağına yeni yol kısımlarının eklenmesi veya yol kapanması durumunda optimum ağ performansının elde edilmesi olarak tanımlanan AUAT problemi LeBlanc (1975), Poorzahedy ve Turnquist (1982) tarafından çalışılmıştır. SUAT problemi ise var olan yol kısımlarının kapasitesinin artırılması durumunda ya da mevcut yol kapasiteleri altında ağ performansının iyileştirilmesi (Abdulaal ve LeBlanc 1979, Davis 1994) olarak tanımlanmaktadır. Davis (1994) SUAT problemini verilen bir ulaşım ağında optimum kapasite genişletmelerinin nasıl uygulanacağına belirlenmesi şeklinde tanımlamıştır. Ayrıca çalışmada bağ trafik hacimlerinin Stokastik Kullanıcı Dengesi (SKD) probleminin çözülmesi sonucu elde edilen akımlar olması gerekliliği vurgulanmıştır. SKD probleminin çözümü için azaltılmış eğim metodu ve quadratik programlama olmak üzere iki adet algoritma kullanılmış ve örnek ağ üzerinde test edilmiştir. Lim ve diğ. (2005) yaptıkları çalışmada SUAT problemini konveks olmayan yapısından dolayı çözümü oldukça zor olarak tanımlamışlardır. SUAT probleminin bazı türlerinin iki seviyeli programlama tekniği ile formüle edilebileceği belirtilmiştir. Bu tür programlama da ise Stackelberg ya da Nash kavramlarına göre sınıflandırma

yapılabileceği öne sürülmüştür. Çalışmada yol genişletmeleri için yapılan SUAT problemi Stackelberg yaklaşımı dikkate alınarak çözülmüştür. Bu yaklaşımda lider ve takipçiler bulunmakta ve sürücülerin rota seçimleri sırasındaki hataları göz önüne alınmaktadır. Stackelberg yaklaşımı altında SUAT probleminin çözümü için logit rota seçim modeli kullanılmıştır. Geliştirilen model iki farklı test ağına uygulanmış ve Stackelberg ve Nash kavramlarının arasındaki farkların etkisi ortaya konmuştur.

SUAT probleminin konveks olmayan yapısından dolayı çözüm için son yıllarda sezgisel metotların kullanımı oldukça artmıştır. Xu ve diğ. (2009) çalışmalarında SUAT probleminin çözümü için TB ve GA metotlarını örnek bir ağ üzerinde denemişlerdir. Alt seviye problemi kullanıcı denge trafik ataması olarak ifade edilmiş ve Frank-Wolfe metodu çözüm için kullanılmıştır. Guogiang ve Jian (2007) tarafından yapılan çalışmada SUAT probleminin çözümü için iki seviyeli programlama tekniğinin matematiksel ifadesi verilmiş ve GA tabanlı yeni bir algoritma problemin çözümü için önerilmiştir. SUAT probleminin oldukça kompleks bir problem olduğu ve geleneksel optimizasyon algoritmaları ile çözümünün oldukça zor olduğu vurgusu yapılmıştır. Önerilen GA tabanlı optimizasyon modeli ile SUAT probleminin çözümü için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Poorzahedy ve Abulghasemi (2005) yaptıkları çalışmada Karınca Sistemi (KS) algoritmasını UAT probleminin çözümü için ilk olarak kullanmışlardır. Test ağı üzerinde performansı incelenmiş ve sonuçlar cesaret verici bulunmuştur. Aynı şekilde Chiou (2005) SUAT problemini ağın performansını optimum yapan bağ kapasite genişletmelerinin belirlenmesi şeklinde tanımlamıştır. Çalışmada iki seviyeli programlama tekniğinin ağ tasarım probleminin formüle edilebilmesi için kullanılabileceği belirtilmiştir. Üst seviyede, sistem performans indeksi toplam seyahat sürelerinin toplamı ve bağ kapasite genişletmeleri için gerekli olan yatırım maliyetlerinden oluşmaktadır. Alt seviyede ise, bağ akımları kullanıcı dengesi dikkate alınarak belirlenmiş ve eşdeğer minimizasyon problemi olarak ifade edilmiştir. Eğim tabanlı dört farklı algoritma kullanılmış ve üç farklı test ağı üzerinde karşılaştırmalar yapılmıştır. Önerilen metotlar sıkışıklık etkisi altındaki ulaşım ağları düşünüldüğünde hesaplama süresi ve sonuçlar anlamında oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

Poorzahedy ve Rouhani (2007) GA, TB, Tabu arama ve KS'den oluşan hibrit algoritmaları UAT probleminin çözümü için uygulamışlardır. Algoritmaların test edilmesi için gerçek bir ulaşım ağı seçilmiştir. Sonuç olarak hibrit algoritmaların KS'ne göre ağ tasarım problemini çözmeye daha başarılı olduğu bulunmuştur. Gallo ve diğ. (2009) UAT probleminin çözümü için yeni bir optimizasyon modeli ve meta-sezgisel bir algoritma önermişlerdir. Ağ tasarım problemi var olan yolların ve kavşaklardaki sinyal sürelerinin tasarlanarak yol ağının optimum işletilmesi olarak tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan kısıtlı optimizasyon modeli problemin çözümü için formüle edilmiştir. Ayrıca iki seviyeli programlama tekniği çözüm metotlarının karmaşıklığını ve hesaplama süresinin azaltılması için uygulanmıştır. Gerçek boyutlu bir ulaşım ağında dağılım arama metodu kullanılmıştır. Sonuçlara göre önerilen yaklaşım ile kabul edilebilir hesaplama sürelerinde optimum sonuçlar elde edilebilmektedir. Jin ve diğ.'nin (2009) yapmış oldukları çalışmada SUAT probleminin çözümünde TB ve iki seviyeli programlama yöntemi optimum parametrelerin bulunması için kullanılmıştır. Üst seviyede amaç fonksiyonu olarak bağ kapasite artırımları için gerekli olan toplam yatırım maliyeti ve seyahat sürelerinin toplamı kullanılmıştır. Alt seviye ise kullanıcı dengesi olarak ifade edilmiştir. Duyarlılık analizi

metodu optimum TB parametrelerinin seçimi için ilk defa kullanılmış ve parametrelerin seçimi ile ilgili öneriler verilmiştir. Sonuçlara göre optimum parametre seçimi ile ağ tasarım probleminin etkinliği ve güvenilirliği artırılabilir.

Chen ve diğ. (2010) yapmış oldukları çalışmada, ulaşım ağındaki bağların en uygun kapasite artırımlarını belirlemek için stokastik UAT problemi üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla üç farklı stokastik UAT modeli geliştirmişler ve bu modeller iki seviyeli programlama yöntemi ile uygulanmıştır. Üst seviyede en uygun bağ kapasite artırımları belirlenirken, alt seviyede ise kullanıcı dengesi altındaki bağ trafik hacimleri belirlenmektedir. Test ağı üzerinde sayısal uygulamalar yapılmış ve tutarlı sonuçlar alınmıştır. Babazadeh ve diğ. (2011) yapmış oldukları çalışmada, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) yöntemini UAT probleminin çözümünde kullanmışlardır. UAT problemi iki seviyeli programlama problemi olarak tanımlanmıştır. Problemin amacı, ulaşım ağına bütçe sınırlarını aşmadan yeni eklenecek bağlar ile toplam seyahat süresinin en küçüklenmesidir. Problemin üst seviyesi bağlar üzerindeki kullanıcıların toplam seyahat süresini, alt seviye kullanıcı dengesi altındaki trafik atamasını temsil etmektedir. Geliştirilen modelin test ulaşım ağı üzerinde sayısal uygulaması yapılmıştır. Ayrıca, PSO yöntemi ile elde edilen sonuçlar, KKO ve hibrid KKO yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. PSO yönteminin KKO yöntemine göre problemi daha kısa sürede çözdüğü, hibrid KKO yöntemi ile benzer sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Chen ve Xu (2012) yapmış oldukları çalışmada, iki seviyeli programlama ile stokastik UAT problemini çözmek için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. İki seviyeli programlamanın üst seviyesinde bağ kapasite genişletmeleri için toplam yatırım maliyeti ve seyahat süreleri dikkat alınırken alt seviyede ise kullanıcıların rota seçim kararları dikkate alınmıştır. Oluşturulan modellerin çözümünde benzetim bazlı GA yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin test ağı üzerinde sayısal uygulaması yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarında, amaç programlamanın ve benzetim bazlı GA yönteminin stokastik UAT problemleri için uygulanabileceği belirtilmiştir. Dell'Orco ve diğ. (2013) optimum sinyal parametrelerinin belirlenmesinde Armoni Araştırması Tekniğini (AAT) kullanmışlar ve denge ulaşım ağ tasarımında algılanan seyahat süresinin etkisinin belirlenmesi amacıyla duyarlılık analizi yapmışlardır. Başkan (2013), (2014) SUAT probleminin çözümünde AAT ve Guguk Kuşu Algoritmalarını kullanmış ve başarılı sonuçlar elde etmiştir.

2.1 İki Seviyeli Programlama

İSP tekniği geleneksel olarak bir çift optimizasyon probleminden oluşan programlama tekniği olarak tanımlanmaktadır. Bu tür programlamada üst seviye ve alt seviyelerin parametreleri her iki seviye için girdi ve çıktı olarak kullanılmaktadır. İki seviyeli programlama tekniği genel olarak Denklem (1.1)-(1.4)'de verildiği gibi ifade edilmektedir.

$$G(x, y) \leq 0 \quad (1.1)$$

Kısıtına bağlı olarak;

$$\min_x F(x, y) \quad (1.2)$$

Burada y aşağıda verilen optimizasyon probleminin herhangi bir x için çözümüdür.

$$g(x, y) \leq 0 \quad (1.3)$$

Kısıtına bağlı olarak;

$$\min_y f(x, y) \quad (1.4)$$

İki seviyeli programlama metodunda Denklem (1.1)-(1.2)'de verilen optimizasyon problemi üst seviye, Denklem (1.3)-(1.4)'de verilen problem ise alt seviye olarak adlandırılmaktadır. Gao ve diğ. (2004) transit UAT için iki seviyeli programlama tekniğini kullanmışlardır. Çalışmada üst seviye transit ulaşım ağ modelini temsil ederken alt seviye ise transit denge atama modelini temsil edecek şekilde modellenmiştir. Duyarlılık analizi tabanlı sezgisel bir algoritma model çözümü için önerilmiştir. Basit ulaşım ağı üzerinde model ve önerilen algoritmanın uygulaması yapılmıştır. Sonuç olarak duyarlılık analizi tabanlı sezgisel algoritmanın transit sistemler için SUAT problemini çözmede oldukça etkili olduğu bulunmuştur. Ceylan ve Bell (2004) SKD bağ akımlarını kullanarak tasarım parametrelerinin optimizasyonu için GA yaklaşımını önermişlerdir. Tasarım parametreleri; devre süresi, her bir fazın sinyal süresi ve kavşaklar arasındaki ofsetler olarak tanımlanmıştır. Sistem performans indeksi TRANSYT programından elde edilen tüm trafik akımlarının durma sayıları ve gecikmelerin toplamı olarak ifade edilmiştir. SKD atama problemi eşdeğer minimizasyon problemi olarak ifade edilmiş ve rota akım tahmin edicisi kullanılarak çözülmüştür. Amaç fonksiyonu ağ performans indeksi olarak kabul edilmiştir. Önerilen modelin çözüm yeteneği test ağı üzerinde gösterilmiş ve İSP yaklaşımı karşılıklı iteratif yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak GA yaklaşımının oldukça başarılı olduğu ve literatürdeki önceki sezgisel metotlara göre oldukça basit olduğu vurgulanmıştır. Benzer şekilde Ceylan ve Bell (2005) yaptıkları çalışmada UAT probleminin çözümü için İSP tekniğini kullanmışlardır. Sıkışıklık etkisi altındaki sinyalize ulaşım ağlarında üst seviye probleminin çözümü için GA tekniği kullanılmıştır. Üst seviye probleminin çözümünde GA tekniği önceden belirlenen alt ve üst kısıtlarla uygun sinyal sürelerinin bulunmasında kolaylık sağlamıştır. Alt seviye problemi olarak SKD ataması ile bağ akımları bulunmuştur. Üst seviyede performans indeksi ve uygunluk indeksinin bulunması için TRANSYT programı kullanılmıştır. Önerilen model sıkışıklık etkisi altındaki ulaşım ağına uygulanmıştır. Ayrıca Yang ve diğ. (2009) birleştirilmiş UAT problemi üzerine çalışmışlardır. Yatırım bütçesi kısıtı göz önüne alınarak oluşturulan İSP modeli ulaşım ağındaki toplam seyahat süresini minimum etmek için kullanılmıştır. İSP algoritmasının çözümü için ayrıcalıklı klon tavlama algoritması kullanılmıştır. Uygulanan algoritmanın TB algoritması ile karşılaştırılması ve sayısal örnek üzerinde çözümü yapılmıştır. Ayrıca farklı yatırım bütçesi kısıtları kullanılarak duyarlılık analizi yapılmıştır. Varia ve Dhingra (2004) sıkışıklık etkisi altındaki sinyalize kavşaklardan oluşan ulaşım ağında dinamik sistem optimum trafik atama modeli geliştirmişlerdir. Simülasyon tabanlı yaklaşım birden fazla B-V çifti olması durumu için uygulanmıştır. Sinyal sürelerinin optimizasyonu için GA tekniği kullanılmıştır. Önerilen metot test ulaşım ağına uygulanmış ve sonuçlar tartışılmıştır. Sonuçlara göre GA yaklaşımı geleneksel analitik metotlara göre problemin çözümü için yapılan birçok varsayımın yapılması zorunluluğunu ortadan

kaldırmıştır. Literatürden görüldüğü gibi İSP tekniği son yıllardaki çalışmalarda geniş uygulama alanı bulması nedeniyle proje kapsamında UAT probleminin çözümünde kullanılmıştır.

3. TRANSYT-7F YAZILIMI

Proje kapsamında ağ performans indeksinin belirlenmesinde kullanılacak olan TRANSYT-7F faz bazlı sinyal optimizasyon yazılımıdır. TRANSYT-7F'in başlıca özelliği; döngüsel akım profili ve küme dağılım modellerini kullanmasıdır. TRANSYT-7F, trafik akım modeli ve sinyal süresi eniyileycisi olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Trafik modeli, deterministik, makroskopik ve zaman taramalı benzetim modelidir. Sinyalize kavşaklı bir ağda girilen sinyal süre ve faz planlarına bağlı olarak performans indeksi değerini hesaplamak için trafiği simüle etmektedir. TRANSYT-7F'deki performans indeksi, sinyalize kontrollü tüm akımların döngüsel akım profili ile değerlendirildiği, birim zamandaki duruş sayıları ve gecikmenin ağırlıklandırılmış toplamıdır. Yazılımın amacı, koordine yol ağı için sinyal parametrelerinin tekrarlı olarak ayarlanması ve sinyal parametrelerindeki değişimler ile performans indeksi değerini eniyileyen en uygun sinyal parametrelerinin bulunmasıdır. TRANSYT-7F'de benzetim, bağ ve düğüm noktaları ile temsil edilen ağ içindeki trafik akımının simüle edilmesi ile yapılmaktadır. Sinyalize kontrollü bir yol ağındaki her bir trafik akımı kendisine ait bağ ve düğüm noktası ile temsil edilmektedir. TRANSYT-7F yazılımı, performans indeksi olarak adlandırılan amaç fonksiyonunu seçime bağlı olarak en büyükmekte ya da en küçükmektedir. TRANSYT-7F içinde birden fazla amaç fonksiyonu bulunmakta ve amaç fonksiyonu kullanıcı tarafından seçilmektedir. Amaç fonksiyonlarından biri standart TRANSYT-7F yararsızlık indeksi (*Disutility Index-DI*) değeridir. *DI* değeri ağın kullanımından kaynaklanan dezavantajların bir ölçütü olup, ağdaki gecikmelerin, duruş sayılarının toplamıdır (McTrans, 2008). *DI* değerinin formülasyonu Denklem (2)'de verilmektedir.

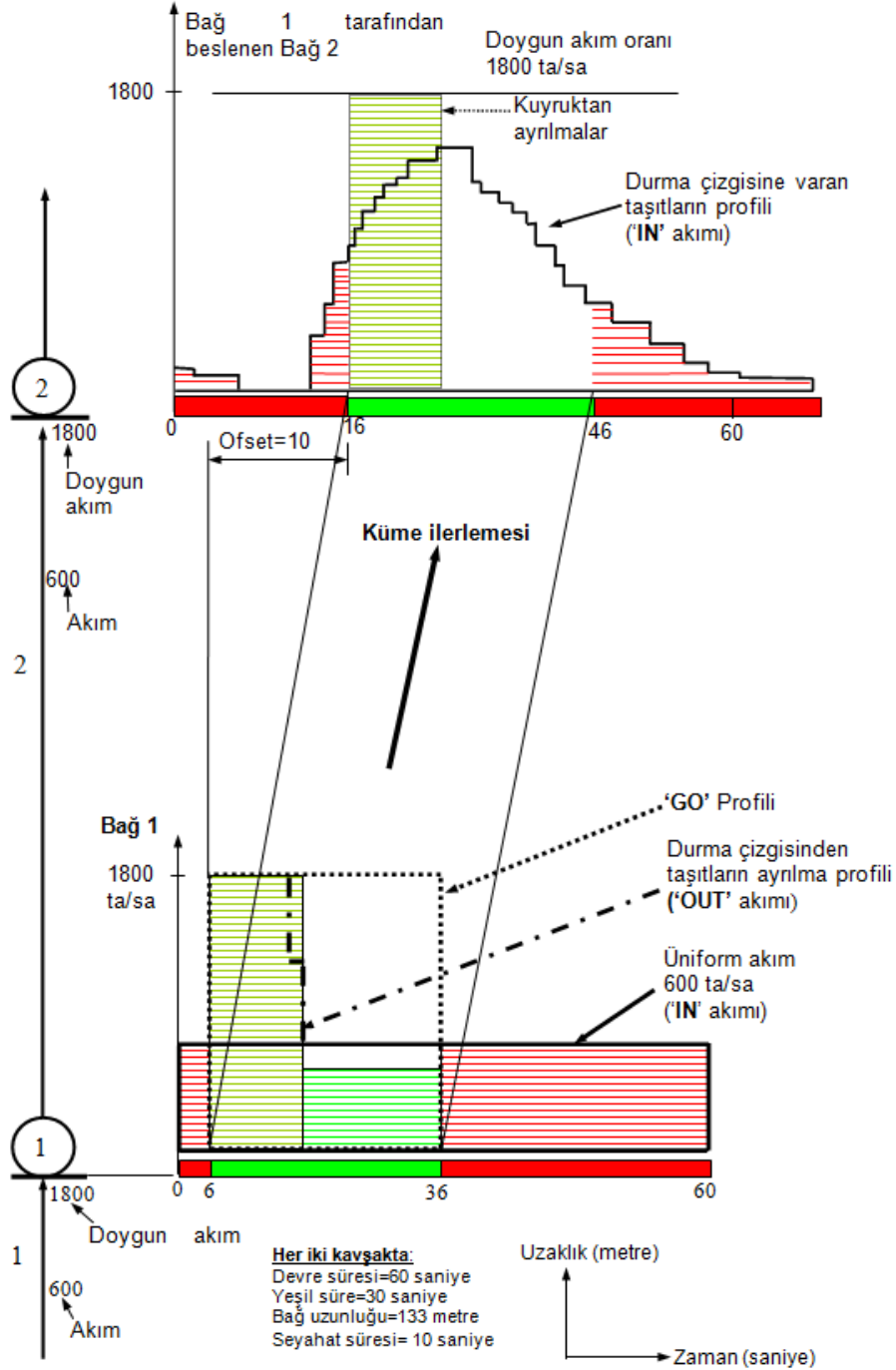
$$DI = \sum_{a=1}^L (w_{d_a} d_a + K w_{s_a} S_a) \quad (2)$$

Burada, L bağ sayısı, d_a taşıt-sa/sa cinsinden a bağı üzerindeki gecikme değeri, K duruş ceza faktörü, S_a a bağı üzerindeki taşıt-duruş sayısı, w_{d_a} ve w_{s_a} sırasıyla gecikme değeri ve duruş sayısının ağırlık katsayılarıdır. TRANSYT-7F'de amaç fonksiyonu olarak standart *DI* seçilirse program amaç fonksiyonunu en küçükleyecektir. *DI* değerindeki birim zamandaki gecikme ve duruş sayısı iki bileşene ayrılmaktadır: (1) Yeşil sürenin başındaki kuyruklanma ve trafik akımlarındaki değişimden dolayı oluşan gecikme ve duruş sayılarının rastgele ve doymun üstü bileşeni; (2) Trafik sinyallerinin değişiminden dolayı oluşan gecikme ve duruş sayılarının üniform bileşeni. TRANSYT-7F trafik modeli, taşıtlar akım aşağı doğru seyahat ederken kümelerin normal dağılımını simüle eden küme dağılım algoritmasından yararlanmaktadır. Ayrıca, gecikme, duruş sayısı, yakıt tüketimi, seyahat süresi ve diğer sistem etkinlik ölçütlerini de göz önüne almaktadır. TRANSYT-7F modeli üç farklı akım yapısını temsil etmektedir.

1. Gelen akım yapısı (IN yapısı): Sinyallerdeki durma çizgisinde trafik durmuyorsa, bağıın sonundaki durma çizgisine varan trafiğin yapısıdır.

2. Doymun akım yapısı (GO yapısı): Yeşil süreyi doyuracak kadar yeterli trafik olduğunda durma çizgisinden ayrılan trafiğin yapısıdır.
3. Ayrılan akım yapısı (OUT yapısı): Bağdan ayrılan trafiğin yapısıdır ve IN ve GO profillerinden türetilmektedir.

Şekil 3.1'de bir çift bağ üzerinde, gelen akım, doymun akım ve sinyal süreleri basitleştirilmiş olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Taşıt kümeleri, sinyal ofsetleri ile bağ üzerindeki trafiğin davranışı (Ozan, 2012)

Bağ 1 için gelen (IN) ve ayrılan (OUT) akım yapılarının düzenli olduğu kabulü yapılmaktadır. Bağ 2'ye giren taşıt kümeleri bağ 1'den boşalan taşıt kümeleridir. Bağ 2'nin durma çizgisine gelen akım yapısı, küme içindeki farklı hızlardaki taşıtlara uygulanan küme yayılım sürecine göre ayarlanmış olan bağ 1'in ayrılan akım yapısına göre belirlenmektedir. Bağ 2'ye gelen taşıt kümesinin akım yapısı, bağ 1'e ait düzenli gelen (IN) / ayrılan (OUT) akım yapısından üretildiği için döngüsel karakterdedir. Bağın akım aşağısına gelen (IN) akım yapısı, bağın akım yukarısında ayrılan (OUT) akım yapıları ile belirlenmektedir (McTrans, 2008). Her k zaman aralığı için bağın akım yapısı Denklem (3)'de verilen tekrarlamalı ifade ile elde edilmektedir.

$$v'_{(k+t)} = F \cdot v_k + \left[(1-F) \cdot v'_{(k+t-1)} \right] \quad (3)$$

Burada, $v'_{(k+t)}$ k zaman aralığında bağın akım aşağısına gelen akım oranı, v_k k zaman aralığında gelen (IN) akım yapısı, t her zaman aralığında küme yayılım sürecinin dikkate alındığı süre olup $t=0.8T$ 'dir. T her zaman aralığında bağ üzerindeki gecikme olmaksızın ortalama seyahat süresi, F düzeltme faktörüdür. F düzeltme faktörü Denklem (4)'de verilen formülasyon ile elde edilmektedir.

$$F = \frac{1}{1+0.35t} \quad (4)$$

Bir bağın akım yukarısındaki IN profili biliniyorsa, bağ boyunca küme yayılımı kabulü yapılarak akım aşağısındaki duruş çizgisinde OUT profili belirlenebilmektedir. GO profili, duruş çizgisindeki yeşil süre ve doymuş akım oranı bilgisi ile elde edilebilmektedir. Dikey kümeleme kabulü ile duruş çizgisinde kuyruklanan taşıt sayısı ve buna bağlı olarak duruş sayıları ve ortalama gecikme değerleri başlangıç sinyal süreleri için belirlenebilmektedir. Daha sonra, elde edilen GO profili ile bağın akım aşağısındaki IN profili belirlenmekte ve süreç bu şekilde işlemektedir. Böylelikle, ağ üzerindeki her bir bağ için ortalama gecikme değerleri ve duruş sayılarının tahmini ile mevcut sinyal süreleri için performans indeks değeri elde edilebilmektedir. TRANSYT-7F gecikme hesabında, Highway Capacity Manual (TRB, 2000) gecikme modelini kullanmaktadır. Denklem (5)'de verilen HCM gecikme modeli, başlangıç yavaşlama gecikmesini, kuyruk hareket zamanını, durma gecikmesini ve son hızlanma gecikmesini içermektedir.

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \quad (5)$$

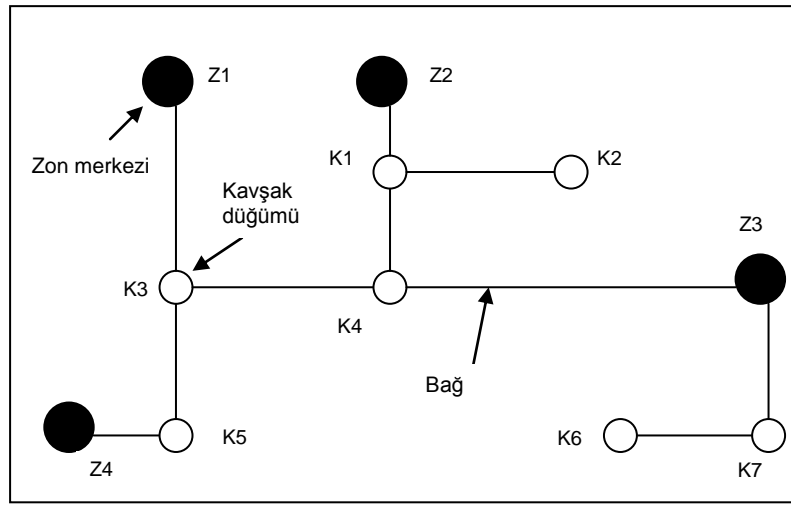
Burada, d taşıt başına kontrol gecikmesi (sn/ta), d_1 üniform kontrol gecikmesi (sn/ta), PF sinyal koordine düzeltme faktörü, d_2 rastgele varışların ve doymuş üstü akımdaki kuyrukların etkisini açıklamak için eklenik gecikme değeri (sn/ta), d_3 analiz süresi başlangıcındaki başlangıç kuyruğundan dolayı tüm taşıtlara etkiyen gecikme değeridir (sn/ta).

4. TRAFİK ATAMA

UAT için B-V noktaları arasındaki ulaşım talebinin ulaşım ağına yüklenmesi ve bağ akımlarının bulunması gereklidir. Trafik atama olarak adlandırılan bu problem çözüldükten sonra ağ tasarım parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Trafik atama modelleri ağ üzerindeki sıklık durumunun bağ maliyet fonksiyonu üzerindeki etkisine ve gerçek bağ maliyet sürelerinin bulunmasında sürücü davranışlarında meydana gelen hataların göz önüne alınıp alınmaması durumlarına göre çeşitlilik göstermektedir (Sheffi ve Powell, 1981). Literatürde bilinen hep ya da hiç atama metodu sözü edilen her iki durumu da dikkate almamaktadır. Diğer atama modelleri ise yukarıda belirtilen etkileri dikkate alma durumuna göre deterministik veya stokastik atama modelleri olarak adlandırılmaktadırlar. Deterministik atama modelleri konusundaki ilk çalışmalarda (Nguyen, 1974; LeBlanc, 1975) denge durumunda bağ akımları Wardrop (1952) prensibine göre bulunmaktadır. Bu durumda rota akımlarının bulunmasında önerilen yöntem, rota üzerinde seyahat eden her bir yol kullanıcısının kendi seyahat maliyetini minimum edecek şekilde davrandığını kabul eden bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım denge durumunda bütün kullanılan rotalardaki seyahat maliyetinin aynı olacağı ve bu maliyetin kullanılmayan rotalardaki seyahat maliyetinden daha az veya eşit olacağı kabulüne dayanır. Bu durum ağ kullanıcı dengesi altındadır şeklinde tanımlanabilir ve hiçbir kullanıcı kendi rotasını değiştirerek seyahat maliyetini değiştiremez (Wardrop, 1952). Bu durum Deterministik Kullanıcı Dengesi (DKD) durumunu doğurmaktadır. Fakat gerçekte DKD durumundan farklı olarak sürücüler rotalar hakkında tam olarak bilgi sahibi değildirler ve sürücülerin rota seçimleri sırasında algılama hataları olmaktadır. Bu durumda ise stokastik kullanıcı davranışlarının dikkate alınması gerekir ki problem SKD durumuna dönüşmektedir. SKD atamasında rota seçim modelleri kullanılarak B-V talebi rotalara atanır. Ayrıca en düşük maliyetli rotaların denge noktasına kadar en fazla akımı çektiği kabul edilir. Stokastik modellerde, bütün sürücülerin tek bir maliyet tanımlaması yapması yerine her bir sürücünün ayrı ayrı seyahat maliyeti tanımladığı kabulü yapılmakta ve bağ maliyet fonksiyonlarının elde edilmesinde sürücü davranışlarındaki hatalar göz önüne alınmaktadır. Trafik atama sürecinde zonlar arasındaki en düşük maliyetli rota seçilir ve tahmin edilen gelecekteki trafik miktarı en düşük maliyetli rotaya yüklendiğinde her bağdaki trafik hacminin o bölümdeki yol kapasitesine göre taşınıp taşınamayacağı belirlenir. Ulaşım ağı bütün bu işlemlerin yapılabilmesi için bağ ve düğüm olmak üzere bölümlere ayrılır. Düğümler zon merkezi ve bağların birleştiği kavşak olmak üzere iki türdür (Şekil 4.1).

Yol fiziki yapısı dışında seyahat maliyetini etkileyen diğer faktörler yoldaki trafik hacmi ve kavşaklardaki gecikmeler olduğundan, en düşük maliyetli rota her zaman en kısa mesafedeki yol olmayabilir (Başkan ve Haldenbilen, 2011). Bir rota mesafe olarak kısa olmasına rağmen üzerindeki bağ ve düğümlerdeki gecikmelerin fazla olması nedeniyle seyahat maliyeti artabilir. Bu durumda sürücüler tarafından yeni rotalar aranır ve kısa yola göre daha uzun mesafedeki fakat daha düşük maliyetli rota tercih edilir. Trafik atama probleminde amaç mevcut ağ geometrisi, bağ maliyet fonksiyonu ve B-V seyahat miktarlarına bağlı olarak bağ akımlarının bulunmasıdır. Problemin çözümü her bir yol kullanıcısının B-V çiftleri arasındaki en düşük maliyetli rota üzerinde seyahat ettiği varsayımına dayanır (Ceylan, 2002). Bu varsayımına göre denge durumunda herhangi bir B-V çiftini bağlayan tüm kullanılan rotalardaki seyahat sürelerinin eşit olacağı ve ayrıca bu rotalardaki seyahat sürelerinin herhangi bir

kullanılmayan rotadaki seyahat süresine eşit ya da onda daha az olacağı kabulü yapılmıştır. Bu durumda ulaşım ağının kullanıcı dengesi altında hizmet verdiği kabulü yapılır ve hiçbir sürücü tek taraflı olarak rotasını değiştirerek kendi seyahat maliyetini azaltamaz. Bu durum Wardrop (1952) tarafından öne sürülen DKD ataması durumudur. Bu durumda denge şartları altında sıklık etkisi altındaki ulaşım ağlarında trafik kendi kendini düzenler ve herhangi bir B-V çifti arasındaki tüm kullanılan rotalar eşit ve minimum maliyete sahip olmakta ve ayrıca kullanılmayan rotaların maliyeti ise kullanılan rotalarından daha fazla veya eşit olmaktadır. Bu varsayım altında tüm kullanıcıların ağ hakkında aynı derecede mükemmel bilgiye sahip oldukları kabulü yapılmaktadır. Fakat ağ kullanıcılarının ağ hakkında mükemmel bilgiye sahip olmadıkları, seçim sırasında hata yapabilecekleri ve ağın karakteristiklerini algılamada hatalarının olabileceği kabulü daha gerçekçi olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.1. Ulaşım ağı düğüm ve bağ numaralandırılması (Başkan, 2009a).

Sürücü algılama hatalarının dikkate alınması durumunda ise problem SKD problemine dönüşmektedir. SKD için “yol kullanıcıları, karşılıklı olarak güzergah değişimi yapıldığında kendi seyahat sürelerinin iyileşmediğine inanırlar ve algılama düzeyleri doğrultusunda Wardrop dengesini kurmaya çalışırlar” tanımı yapılmıştır (Daganzo ve Sheffi, 1977). Stokastik atama modelleri bağ seyahat maliyetlerini rastgele değişkenler olarak tanımlayarak sürücü algılama hatalarını göz önüne alırlar. En yaygın olarak bilenen ilk stokastik atama modeli Dial (1971) tarafından önerilen STOCH algoritmasıdır. Bu algoritma logit seyahat dağıtma modeli tabanlıdır. STOCH ve diğer stokastik atama modelleri bağ akımları üzerindeki seyahat sürelerinin birbiri içlerindeki bağımlılıklarını göz önüne almaz. Daganzo ve Sheffi (1977) yapmış oldukları çalışmada sıklık etkisi altında olmayan ulaşım ağlarında logit atamanın dezavantajlarından kurtulmak için probit atama kullanmışlardır. Sheffi ve Powell (1981) bu çalışmayı daha sonra sıklık etkisi altındaki ulaşım ağlarında uygulamışlardır.

Bilindiği gibi bağ trafik hacimleri ve maliyetleri arasındaki ilişki bağ maliyet fonksiyonu adı verilen fonksiyonla tanımlanır. Bağ trafik hacimleri kavşaklardaki trafik akımlarının birbiriyle ilişkili olmasından dolayı birbiri ile bağlantılıdır. B-V çiftleri arasındaki rotaların seyahat maliyeti ise rota üzerindeki bağların seyahat maliyetlerinin toplamı

olarak ifade edilebilmektedir. Bilindiği gibi 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 trafik hacmi ile ilişkili iken diğer faktörler ilişkili değildir. Bu nedenle ulaşım planlamacıları ve trafik mühendisleri çoğu zaman bu faktörleri genelleştirilmiş maliyet fonksiyonu şeklinde gösterirler. Genel anlamda genelleştirilmiş maliyet fonksiyonunun akımla ilişkili en baskın bileşeni seyahat süresidir. Bağ maliyet fonksiyonları için basitleştirilmiş formların kullanımı trafik atama problemindeki matematiksel hesaplamalarda kolaylık sağlaması açısından önemlidir (Başkan, 2009a).

Bağ seyahat süreleri bilindiği gibi yol genişliğine de bağlı olmakta diğer bir deyişle her yöndeki şerit sayısına bağlı olmaktadır. Bağ boyunca hareket eden araçlar diğer bağlardaki araçlar, park eden araçlar, taşıt kompozisyonu, yol kenarındaki yaya hareketleri ve trafik yavaşlatma uygulamaları vs. gibi birtakım yol şartları ile sürekli etkileşim halindedirler. Bağ trafik hacimleri ve maliyetleri arasındaki ilişki birtakım yollarla saptanabilmektedir. Bu konudaki en iyi yaklaşım olarak doğrudan gözlemler sayılabilmekte fakat pratikte gözlemler sırasında birtakım zorluklar olabilmektedir. Başlıca zorluk, genellikle deneylerle elde edilen durumdan farklı olarak, gözlemler sırasında trafik akım seviyelerinde yeterli değişikliklerin elde edilememesidir. Bununla birlikte doğrudan gözlemleri tanımlayabilmek 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. Proje kapsamında Denklem (6)'da verilen ve Amerikan Karayolları Bürosu (BPR) tarafından geliştirilen maliyet fonksiyonu kullanılacaktır.

$$t_a = t_a^0 * \left(1 + 0.15 \left(\frac{v_a}{c_a}\right)^4\right) \quad \forall a \in A \quad (6)$$

Burada t_a^0 , serbest akım seyahat süresi (sn); v_a , a bağı üzerindeki akım (taşıt/sa); c_a , a bağının kapasitesi (taşıt/sa); t_a , a bağının ölçülebilir maliyeti (sn) ve A bağlar kümesidir.

Deterministik trafik atamasının temelini oluşturan DKD kavramı tüm kullanıcıların ağ üzerindeki trafik şartları hakkında mükemmel bilgiye sahip oldukları kabulüne dayanmaktadır. Her bir kullanıcının diğer kullanıcılar tarafından seçilen rotaları bildiği ve en ucuz maliyetli rotayı seçtiği kabulü yapılmaktadır. DKD yaklaşımı altında aynı B-V çifti için tüm rotaların seyahat maliyetleri eşittir. Ayrıca kullanılan rotalardaki seyahat maliyetleri kullanılmayan rotalardakinden daha fazla değildir. Herhangi bir ulaşım ağı düşünüldüğünde rota seçim problemi için DKD koşulları varyasyonel eşitsizlik problemine (Smith 1979) eşdeğerdir. h^* ile belirtilen rota akımları Denklem (7)'de verilen ifadeyi doğrulamaktadır.

$$\sum_{w \in W} \sum_{r \in R_w} c_w^r(h^*) \cdot (h_w^r - h_w^*) \geq 0 \quad \forall h \in \Omega \quad (7)$$

Burada h_w^r ve c_w^r sırasıyla herhangi bir w B-V çifti arasındaki r rotasındaki akım ve seyahat maliyetidir. Ayrıca \mathbf{h} rota akımları vektörü, W olarak gösterilen B-V çiftleri kümesi, R_w , w B-V çifti arasındaki rotalar kümesi ve Ω olası rotalar kümesidir. DKD yaklaşımında aşağıdaki verilen kısıtların sağlanması gerekmektedir.

$$\sum_{r \in R_w} h_w^r = g_w, \quad w \in W \quad (8)$$

$$h_w^r \geq 0, \quad r \in R_w, \quad w \in W \quad (9)$$

$$v_s = \sum_w \sum_{r \in R_w} \delta_w^{sr} h_w^r, \quad s \in S \quad (10)$$

Burada g_w , w B-V çifti arasındaki seyahat talebi, v_s , s bağı üzerindeki akım, δ_w^{sr} bağı-rota belirleme matrisi elemanı, S bağlar kümesidir. Bağ seyahat maliyet fonksiyonu (c_s) sürekli artan ve pozitif bir fonksiyon olması durumunda DKD yaklaşımı Beckman ve diğ. (1956) tarafından önerilen konveks optimizasyon problemi şeklinde yazılabilir.

$$\min_{\mathbf{v}} \sum_{s \in S} \int_0^{v_s} c_s(x) dx \quad (11)$$

Denklem (11)'de verilen amaç fonksiyonunda \mathbf{v} bağ akımları vektörü olarak ifade edilmiştir. Verilen amaç fonksiyonu konveks bir fonksiyon olduğu için DKD sonucu elde edilen bağ akımları tekdir. Fakat rota akımları altında konveks olmadığı için rota akımlarının çözümü DKD koşulları altında tek değildir (Sheffi, 1985).

DKD yaklaşımında tüm seyahat edenlerin ağdaki seyahat maliyetleri hakkında mükemmel bilgiye sahip oldukları ve rota seçiminde tüm kullanıcıların aynı davrandığı kabulü yapılmasına rağmen SKD yaklaşımında sürücülerin rota seçimlerini yaparken gerçek seyahat maliyetlerine göre değil de algılanan maliyetler üzerinden seçim yaptıkları kabulü yapılmaktadır. SKD yaklaşımında sürücülerin rota seçim kararlarını etkileyen ağ hakkındaki bilgi düzeylerini temsil edebilmek için algılanan hata terimi ξ_w^r yaklaşımı kullanılmaktadır.

$$C_w^r = c_w^r + \xi_w^r, \quad r \in R_w, \quad w \in W \quad (12)$$

Burada C_w^r ve c_w^r sırasıyla herhangi bir w B-V çiftindeki r rotası üzerindeki algılanan ve gerçek maliyetlerdir. ξ_w^r , w B-V çiftindeki r rotası üzerindeki seyahat maliyetini algılama hatası olarak ifade edilmektedir. Daganzo ve Sheffi (1977) SKD yaklaşımını hiçbir sürücünün algılanan seyahat maliyetini tek taraflı olarak rotasını değiştirerek iyileştiremeyeceği şeklinde tanımlamışlardır. Verilen gerçek rota seyahat maliyetleri vektörüne (\mathbf{c}_w) göre sürücüler tarafından seçilen r rotasının olasılığı Denklem (13)'de verildiği gibi ifade edilebilir.

$$P_w^r = \Pr(C_w^r \leq C_w^{r'}, \forall r \neq r' \in R_w \setminus \{c_w\}) \quad (13)$$

SKD rota akımlarının dağılımı rastgele değişken ζ_w^r 'nin olasılık dağılımına bağlı olmaktadır. ζ_w^r 'nin dağılımı konusundaki iki varsayım SKD yaklaşımının iki ana tipini ortaya çıkarmaktadır. Bunlar logit ve probit rota seçim modeli tabanlı SKD modelleridir. Logit model tabanlı birçok rota seçim modeli literatürde mevcuttur. Bu modeller; C-logit model (Cascetta ve diğ., 1996), Nested Logit model (Ben-Akiva, 1973), Cross-Nested Logit model (McFadden, 1978), Logit Kernel model (Ben-Akiva ve Bolduc, 1996) ve Rota Ölçekli Logit model (Ben-Akiva ve Bierlaire, 1999) şeklinde sayılabilir.

Logit SKD modelinde herhangi bir w B-V çiftindeki r rotasının seyahat maliyeti algılama hatasının (ζ_w^r) bağımsız ve eşit Gumbel dağılımı sergilediği kabulü yapılmaktadır. Denklem (14)'de Fisk (1980) tarafından önerilen logit SKD formülasyonu verilmiştir.

$$\min \sum_{s \in S} \int_0^{v_s} c_s(x) dx + \frac{1}{\theta} \sum_{w \in W} \sum_{r \in R_w} h_w^r \ln h_w^r \quad (14)$$

SKD yaklaşımında aşağıda verilen kısıtların sağlanması gerekmektedir.

$$\sum_{r \in R_w} h_w^r = g_w, \quad w \in W \quad (15)$$

$$v_s = \sum_w \sum_{r \in R_w} \delta_w^{sr} h_w^r, \quad s \in S \quad (16)$$

$$h_w^r \geq 0, \quad r \in R_w, \quad w \in W \quad (17)$$

Burada θ dağılım parametresi olup rota seçimlerinde seyahat maliyetine olan duyarlılığın belirlenmesinde önemli rol oynar. θ sıfıra yaklaşırken rota seçim olasılıkları aynı olasılıkta yapılırken tersi durumda dağılım parametresi sonsuza giderken verilen rota kümesi içinde en düşük maliyetli rotanın seçilme olasılığı artmaktadır. Logit SKD modelinin temel avantajı rota akımları analitik denklem vasıtasıyla ifade edilebilmektedir. Logit SKD yaklaşımı ile elde edilen rota akımları Denklem (18)'de verilmiştir.

$$h_w^r = \frac{\exp(-\theta c_w^r)}{\sum_{r' \in R_w} \exp(-\theta c_w^{r'})} g_w \quad (18)$$

Burada g_w herhangi bir w B-V çiftindeki seyahat talebi, c_w^r herhangi bir w B-V çiftindeki r rotasının maliyeti, R herhangi bir w B-V çiftindeki rotalar kümesi, θ dağılım parametresidir. Logit SKD modelinin konveks yapısından dolayı optimum çözüme ulaşma garantisi vardır. Ayrıca Logit SKD problemi Denklem (19)'da görüldüğü gibi

varyasyonel eşitsizlik (VI) problemi olarak yazılabilir. \mathbf{h}^* ile belirtilen rota akımları Denklem (19)'de verilen ifadeyi doğrulamaktadır.

$$\sum_{w \in W} \sum_{r \in R_w} (c_w^r(\mathbf{h}^*) + \frac{1}{\theta} \ln h_w^r) \cdot (h_w^r - h_w^r) \geq 0 \quad \forall \mathbf{h} \in \Omega \quad (19)$$

Projede, Bell ve diğ. (1997) tarafından geliştirilen RAT algoritması kullanılacaktır. RAT algoritması rota numaralandırılmasına ihtiyaç duymamasından dolayı özellikle büyük ulaşım ağlarında yapılacak olan SKD atamasında oldukça avantajlıdır. Algoritmaya ilişkin akış diyagramı Şekil 4.2'de verilmiştir (Ceylan, 2002).

Başlangıç ve veri girişi	
	$B - V \leftarrow$ Talep matrisi, $\forall w \in W$ $q_a \leftarrow 0, \forall a \in L$ $c_a \leftarrow c_a(q_a), \forall a \in L$ $n \leftarrow 0$, iterasyon sayacı
Yeni rota ve bağ akımı bulunamayınca kadar tekrarla	
Bağ maliyetlerini güncelle	$n \leftarrow n + 1$ $c_{a,n+1} = (1/n)c_a(q_a) + (1-1/n)c_a, \forall a \in L$
En hızlı rotaları oluştur ve yeni rotaları bağ/rota belirleme matrisine depola	$\delta_{ap} \leftarrow 1$ veya $0, \forall a \in L, \forall p \in P_w$
Yeni rota maliyetlerini hesapla	$g_p = \sum_{a \in L} \delta_{ap} c_a, \forall p \in P_w$
Yeni rota trafik hacimlerini hesapla	$h_p \leftarrow t_w \frac{e^{-\alpha g_p}}{\sum_{p \in P_w} e^{-\alpha g_p}}, \forall p \in P_w, \forall w \in W$
Yeni bağ trafik hacimlerini hesapla	$q_a \leftarrow \sum_{p \in P_w} \delta_{ap} h_p, \forall a \in L$
Çıktılar	
Rota akımları	$h_p, \forall p \in P_w$
Rota seyahat maliyetleri	$g_p, \forall p \in P_w$
Bağ akımları	$q_a, \forall a \in L$
Bağ seyahat maliyetleri	$c_a, \forall a \in L$

Şekil 4.2. RAT algoritma adımları

Burada q_a ve c_a , a bağı üzerindeki trafik hacmi ve seyahat maliyeti, q_p ve h_p rota p üzerindeki trafik hacmi ve seyahat maliyeti ve δ_{ap} bağ/rota belirleme matrisinin elemanıdır. RAT algoritması; sürücü rota seçimlerinin, algılanan rota maliyetlerine bağlı gerçekleştiği prensibine dayanan logit SKD modelini kullanmaktadır. En büyük avantajı rota numaralandırılmasına ihtiyaç duymamasından dolayı büyük ulaşım ağlarında kullanımı oldukça kolaydır. Algoritmanın temel amacı, tüm sürücülerin en kısa rotaları algıladıkları kabulüne dayanarak denge koşullarını sağlayan rota ve bağ

trafik hacimlerinin elde edilmesidir. Bu amaçla algoritma rotalara logit rota seçim modeline uygun şekilde akımlar atamaktadır.

Projede RAT algoritmasının kodlanmasından sonra performansının test edilmesi amacıyla Şekil 4.3'de verilen ulaşım ağı üzerinde uygulama yapılmıştır. 6 düğüm ve 23 bağdan oluşan ulaşım ağına ait temel veriler Çizelge 4.1 ve 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 B-V talepleri (Başkan, 2009)

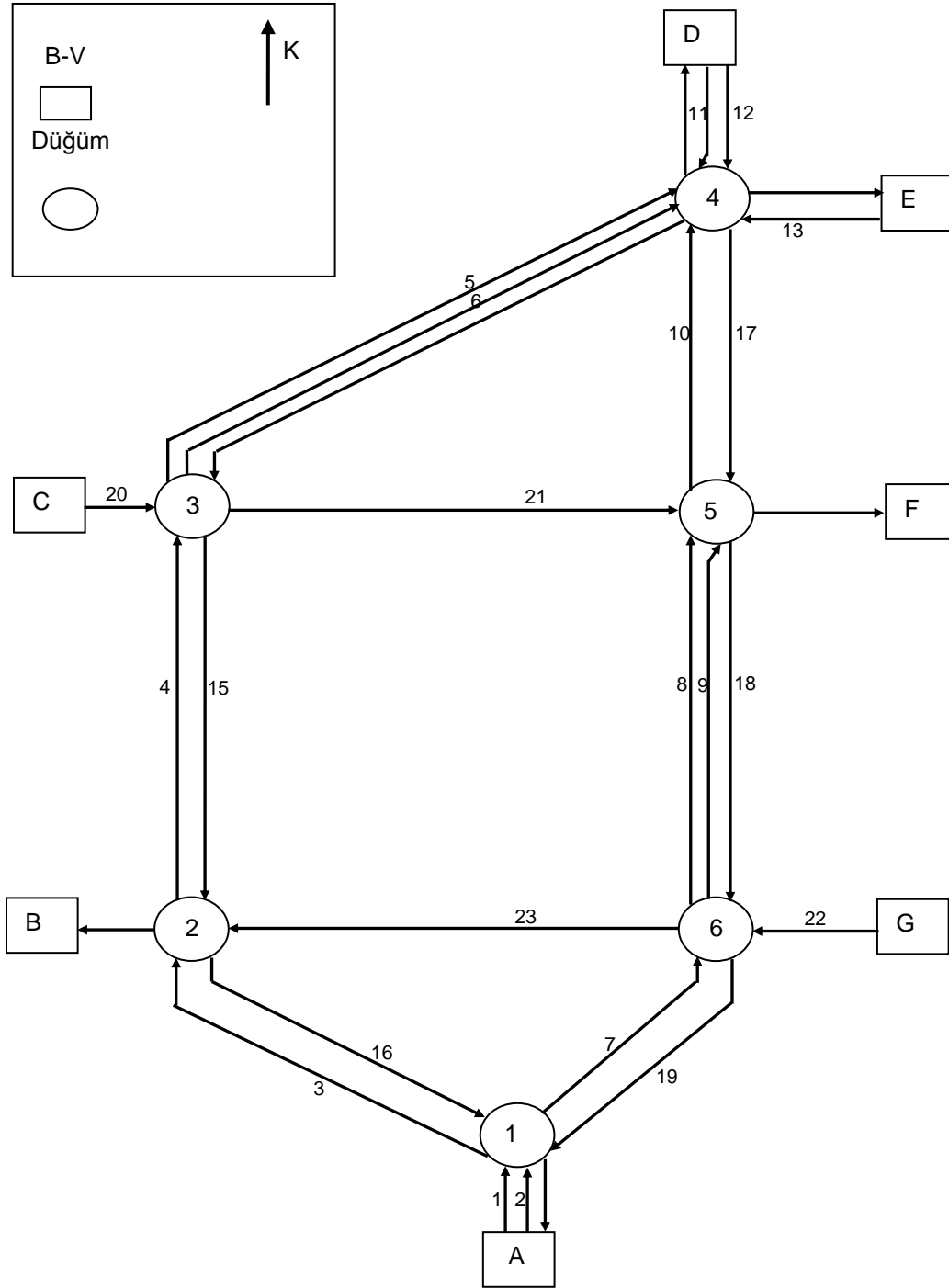
B-V	A	B	D	E	F	Toplam
A	0	250	700	30	200	1180
C	40	20	200	130	900	1290
D	400	250	0	50*	100	800
E	300	130	30*	0	20	480
G	550	450	170	60	20	1250
Toplam	1290	1100	1100	270	1240	5000

*D ve E olarak belirtilen B-V çiftleri arasındaki ulaşım talebi sayısal uygulama içine dahil edilmemiştir.

Çizelge 4.2 Ulaşım ağına ait karakteristik özellikler (Başkan, 2009)

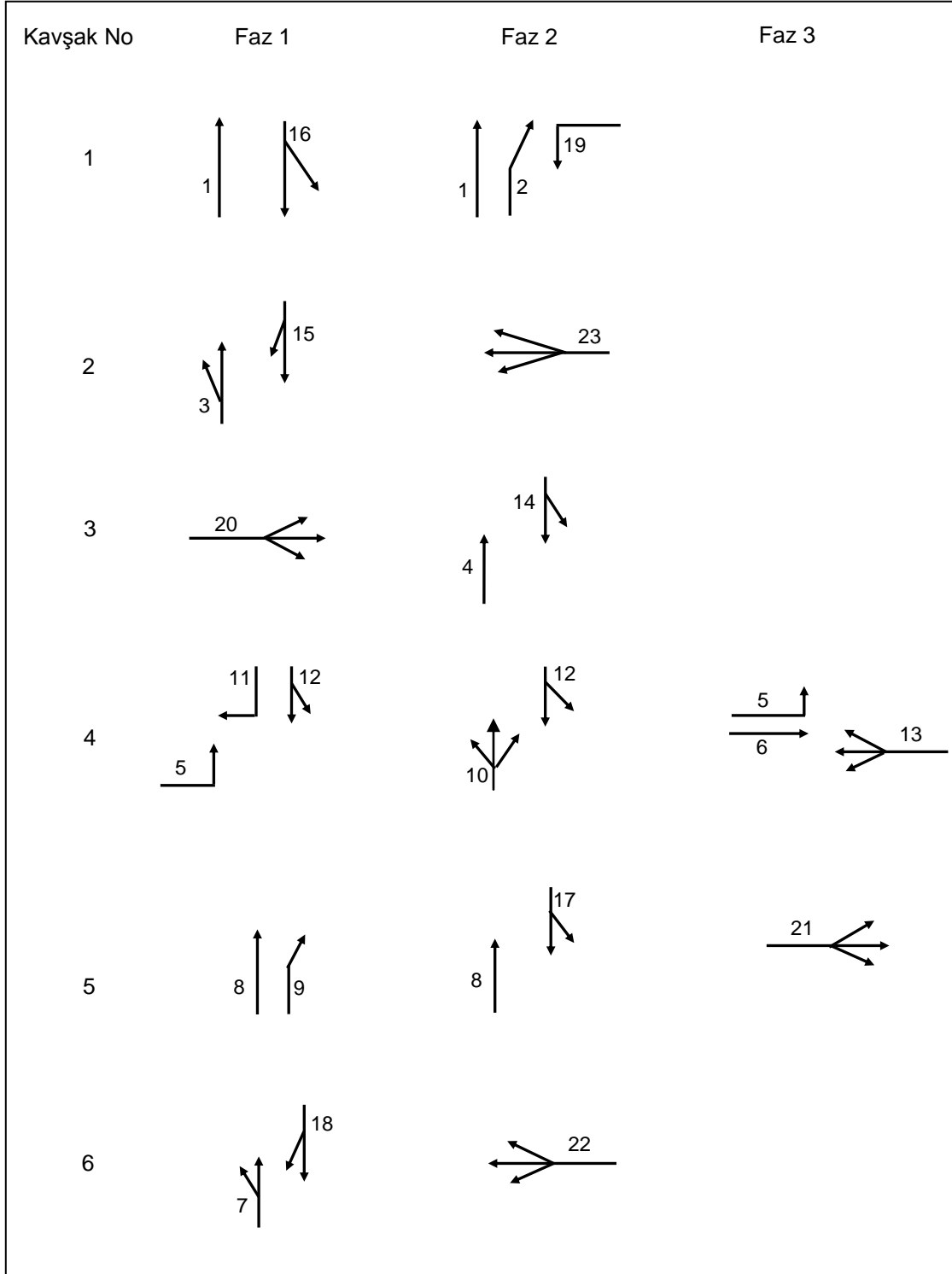
Kavşak	Bağ	t_a^0	s	Kavşak	Bağ	t_a^0	s
1	1	1	2000	4	5	20	1800
	2	1	1600		6	20	1850
	16	10	2900		10	10	2200
	19	10	1500		11	1	2000
					12	1	1800
2	3	10	3200	5	13	1	2200
	15	15	2600		8	15	1850
	23	15	3200		9	15	1700
					17	10	1700
					21	15	3200
3	4	15	3200	6	7	10	1800
	14	20	3200		18	15	1700
	20	1	2800		22	1	3600

Burada t_a^0 serbest akım seyahat süresi (sn) ve s ise doygun akım (taşıt/sa) değeridir.



Şekil 4.3 Ulaşım ağı (Başkan, 2009)

Şekil 4.3'de verilen ulaşım ağına ait faz diyagramı Şekil 4.4'de verilmiş ve her bir kavşaktaki kollara ait dönüş yönleri numaralandırılmıştır.

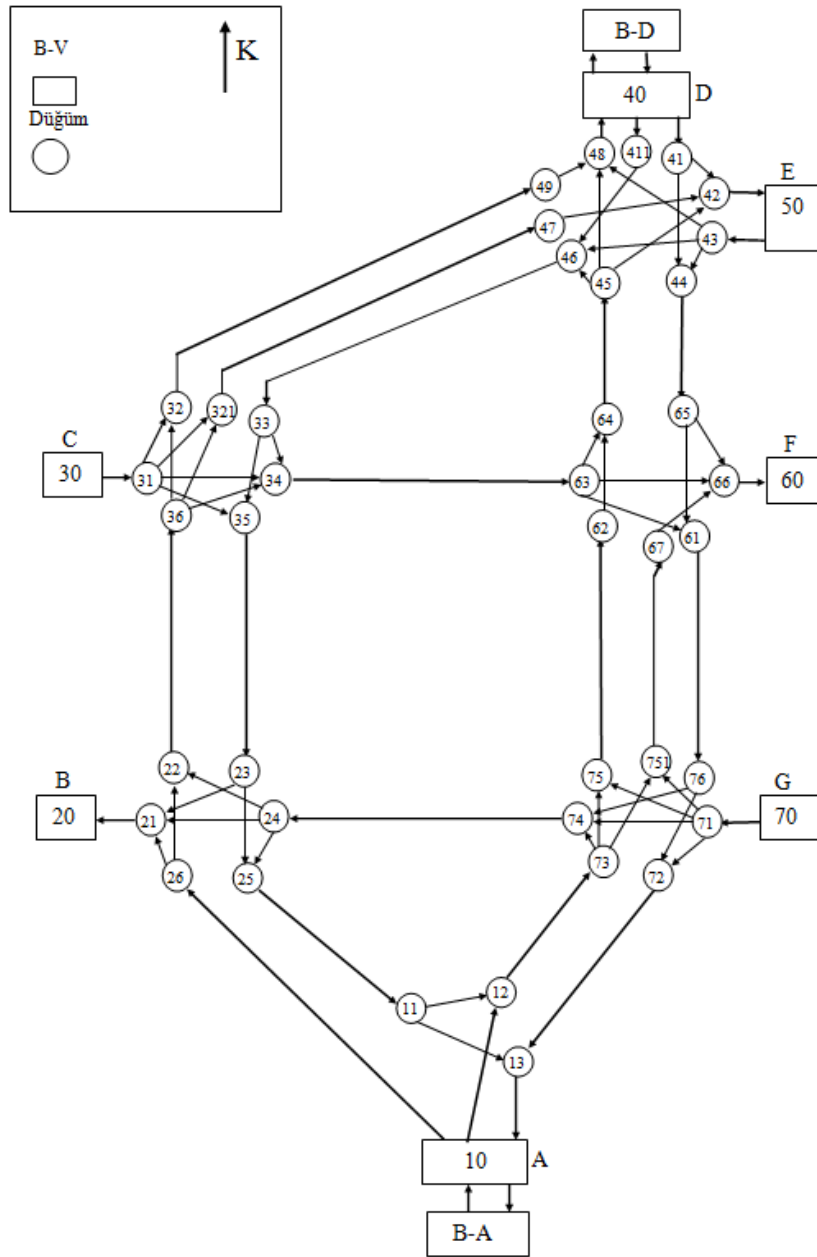


Şekil 4.4 Faz diyagramı (Başkan, 2009)

Şekil 4.3'de verilen ulaşım ağında Çizelge 4.1 ve 4.2'de verilen veriler ışığında RAT algoritması ile SKD ataması yapılması için Çizelge 4.3'de verilen ve rastgele seçilen başlangıç sinyal süreleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.3 Başlangıç sinyal süreleri

Kavşak No	Devre süresi	Faz 1	Faz 2	Faz 3
1	79	27	42	
2	79	38	31	
3	79	44	25	
4	79	25	22	17
5	79	15	21	28
6	79	33	36	



Şekil 4.5 Ulaşım ağının RAT algoritması için düzenlenmiş halı

Örnek ulaşım ağının RAT algoritması ile çözümü sonucunda elde edilen denge bağ akımları Çizelge 4.4'de verilmiştir. Ayrıca çözüme ait serbest akım seyahat süresi, atama süreci sonunda elde edilen bağ seyahat süreleri, kuyruklanma değerleri ve bağ doygunluk dereceleri Çizelge 4.5' de verilmiştir. Tablolardan görülebileceği gibi trafik atama süreci sonunda tüm bağlarda doygunluk derecesi 1'in altındadır. RAT algoritması atama sırasında rota numaralandırmasına ihtiyaç duymadığı için özellikle büyük ağlarda hesaplama yükünün azaltılmasında oldukça faydalı bir algoritmadır.

Çizelge 4.4 Trafik hacimleri (ta/sa)

Bağ no	Trafik hacmi (ta/sa)	Bağ no	Trafik hacmi (ta/sa)	Bağ no	Trafik hacmi (ta/sa)
1	715.481	9	120.529	17	410.41
2	464.519	10	479.808	18	349.859
3	715.481	11	499.337	19	627.007
4	579.663	12	250.663	20	1290
5	635.437	13	450	21	1058.919
6	174.756	14	789.59	22	1250
7	464.519	15	790.141	23	837.034
8	479.808	16	662.993		

Çizelge 4.5 Trafik atama sonucu elde edilen veriler

Bağ No	Serbest akım seyahat süresi (s)	Seyahat süresi (s)	Kuyruk	Doygunluk derecesi
1	1	7.74	3.27	0.41
2	1	24.15	5.47	0.55
3	10	32.68	9.7	0.46
4	15	46.14	8.76	0.57
5	20	42.38	6.23	0.63
6	20	56.65	4.53	0.39
7	10	39.23	6.1	0.62
8	15	41.44	6.19	0.57
9	15	55.87	3.66	0.37
10	10	51.7	7.1	0.78
11	1	41.12	7.05	0.79
12	1	19.19	5.41	0.23
13	1	52.32	7.54	0.85
14	20	54.95	9.83	0.78
15	15	39.39	8.47	0.63
16	10	41.45	8.66	0.67
17	10	75.19	8.18	0.91
18	15	42.98	5.52	0.49
19	10	38.84	6.39	0.79
20	1	25.06	10.42	0.83
21	15	61.1	14.52	0.93
22	1	27.07	11.88	0.76
23	15	43.28	9.86	0.67

5. SEZGİSEL METOTLAR VE PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Karınca Kolonisi Optimizasyonu

KKO son zamanlarda çözümü zor optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan meta sezgisel bir yaklaşımdır (Dorigo ve Di Caro 1999). İlk olarak KKO algoritması KS olarak önerilmiş ve gezgin satıcı problemi üzerine uygulanmıştır (Dorigo ve diğ., 1996). Kullanılan tekniğin en temel unsurlarından biri haberleşme aracı olarak kullanılan ve problemlerde çözümün kalitesini gösteren gerçek karıncaların geçtikleri yollara bıraktıkları feromon kimyasalıdır. Feromon kimyasalı karıncalara hedef noktalarına varabilmeleri için rehberlik etmekte kullanılmaktadır. Feromon miktarı karıncalar tarafından güncellenmekte ve bir bilgiyi temsil etmektedirler. Bir yolda feromon izinin yoğun olması o yolun tercih edilme olasılığını artırır. Karıncaların bu davranış kalıplarının incelenmesi ile bu sistemin özellikle en kısa yol problemleri olmak üzere pek çok optimizasyon problemlerinde kullanılabileceği ortaya atılmıştır.

KKO uygulamaları açısından literatüre bakacak olursak Kuan ve diğ. (2006) ileri beslemeli otobüs ağ tasarımı problemi için GA ve KKO tekniklerinden faydalanmıştır. Özellikle KKO tekniği bu çalışmada otobüs ağ tasarımı için ilk kez kullanılmış ve son derece iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Toksarı (2007a) global optimumun bulunmasında modifiye edilmiş KKO algoritmasını kullanmıştır. Kullanılan algoritma bazı standart test fonksiyonları üzerinde denenmiş ayrıca diğer algoritmalar ile karşılaştırılmış ve oldukça iyi sonuçlar alınmıştır. Başkan ve diğ. (2009b) KKO algoritmasının performansının iyileştirilmesi için yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritma global optimumun bulunmasında 14 adet test fonksiyonu üzerinde denenmiş ve literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak geliştirilen KKO algoritmasının oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Toksarı (2007b) enerji talebinin modellenmesi için literatürde ilk defa KKO metodunu önermiştir. Bu çalışmada nüfus, gayri safi milli hasıla, ithalat ve ihracat değişkenlerine bağlı olarak enerji talebi KKO algoritması kullanarak modellenmiştir. Ayrıca Başkan ve diğ. (2012a) ulaştırma sektöründeki enerji talebinin modellenmesi için modifiye edilmiş KKO metodunu kullanmışlardır. Yapılan çalışmada 2025 yılına kadar sosyo-ekonomik parametrelere bağlı üç farklı matematiksel model kullanılarak ulaştırma sektörünün enerji talebi tahmin edilmiştir. Bell ve McMullen (2004) KKO metodunu araç rotalama probleminin çözümünde kullanmışlardır. Metodun optimum sonuçların bulunmasında oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Guntsch ve Middendorf (2002) popülasyon tabanlı KKO algoritmasını dinamik optimizasyon problemlerine uygulamışlardır. Geliştirilen algoritmada çoğu KKO algoritmasında olduğu gibi feromon transferi yerine çözüm kümeleri ilk iterasyondan itibaren diğer adımlara aktararak çözüme gidilmiştir. Gelecek iterasyonlardaki karıncalara ait feromon bilgilerini belirlemek için aktarılan çözüm kümeleri kullanılmıştır. Algoritma dinamik gezgin satıcı problemi ve kvadratik atama problemi üzerinde test edilmiştir. Zhao ve diğ. (2007) paralel sistem problemlerinin optimizasyonu konusunda çok amaçlı KS algoritmasını önermişlerdir. Önerilen karınca algoritmasının problemin çözümünde diğer optimizasyon algoritmalarına göre oldukça avantajları olduğu belirtilmiştir. D’Acierno ve diğ. (2006) SKD probleminin çözümü için KKO tabanlı yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Sonuç olarak Blum teoremi yardımı ile KKO tabanlı algoritmanın yakınsama sonuçları elde edilmiştir. Sonuçlar geliştirilen algoritmanın ağ tasarımı için, SKD ataması probleminde kullanılabileceğini göstermiştir. Yu ve Yang (2005)

otobüs ağ tasarımı için optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Modelde hat uzunluğu kısıtına bağlı olarak hat başına minimum transfer ve maksimum yolcu adedi sağlanması amaçlanmıştır. Problemi çözmek için paralel KKO tekniği kullanılmıştır. Örnek ulaşım ağında geliştirilen model test edilmiş, hesaplama kalitesi ve hızında gözle görülür bir artış sağlanmıştır. Projede Başkan ve diğ. (2009b) tarafından geliştirilen KKO yaklaşımı kullanılmış ve koloni Büyüklüğü (KB) parametresinin duyarlılık analizi literatürde mevcut 5 adet fonksiyon üzerinde yapılmıştır. UAT çözümünde kullanılacak olan diğer sezgisel metotların AAT, YAK ve PÖ parametre duyarlılık analizleri de aynı fonksiyonlar üzerinde yapılmıştır. Tüm sezgisel metotlar MATLAB dilinde kodlanmış ve Pentium Core2 2GB RAM bilgisayarda çalıştırılmıştır. KKO metodu KB duyarlılık analizinde ilk olarak Goldstein-Price fonksiyonu kullanılmıştır. Sabit iterasyon sayısı 2000 olarak seçilmiş ve 7 farklı koloni büyüklüğü için analizler yapılmıştır. Sonuçlar 5 adet fonksiyon için Çizelge 5.1-5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 KKO duyarlılık analizi (Goldstein-price fonksiyonu)

KB	x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
5	-8.68E-09	-1.0000000065	2.999999999999993
10	-1.08E-09	-1.0000000013	2.999999999999992
20	2.08E-09	-0.9999999999	2.999999999999992
30	-1.91E-10	-1.0000000054	2.999999999999992
40	1.93E-10	-1.0000000018	2.999999999999992
50	-3.89E-10	-1.0000000027	2.999999999999992
100	1.80E-09	-0.9999999974	2.999999999999992

Goldstein-price fonksiyonu üzerinde yapılan duyarlılık analizinde koloni büyüklüğünün artmasının problemin çözümünde etkisi olmadığı görülmüştür. Buna karşılık CPU süresinin artması nedeniyle özellikle UAT probleminde KB'nün daha küçük değerler seçilmesi performans kaybı yaratmadan problemin çözümüne hız katacağı açıktır. Çizelge 5.2'de KKO algoritmasının 6 değişkenli Hartman fonksiyonu üzerindeki duyarlılık analizi verilmiştir.

Çizelge 5.2 KKO duyarlılık analizi (Hartman fonksiyonu)

KB	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	$f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$
5	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
10	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
20	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
30	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
40	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
50	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
100	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32

Çizelge 5.2'den görülebileceği gibi Hartman fonksiyonunun çözümünde KKO algoritması koloni büyüklüğünün 5 olması durumunda dahi global optimum değerine ulaşabilmektedir. Çizelge 5.3'de bir diğer test fonksiyonu olan 2 değişkenli Rosenbrock fonksiyonu ile yapılan duyarlılık analizi sonuçları verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi 2000 iterasyon sayısı için KKO algoritması global optimuma oldukça yakın değerler bulmuştur. KB'nün algoritma performansı üzerindeki etkisinin az olması ve UAT gibi daha kompleks problemlerin çözümünde küçük koloni büyüklüğü

ile çalışılmasına olanak sağladığı için KKO algoritması oldukça avantajlıdır. Çizelge 5.4'de Schwefel fonksiyonu üzerinde yapılan duyarlılık analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.3 KKO duyarlılık analizi (Rosenbrock fonksiyonu)

KB	x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
5	0.99999999291	0.99999999663	6.225E-17
10	1.00000000183	-1.00000000078	1.002E-17
20	0.99999999938	0.99999999953	1.002E-17
30	1.00000000259	1.00000000122	9.440E-18
40	0.99999999942	0.99999999970	9.440E-18
50	1.00000000004	-0.99999999988	9.440E-18
100	0.99999999926	-0.99999999965	9.440E-18

Çizelge 5.4 KKO duyarlılık analizi (Schwefel fonksiyonu)

KB	x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
5	420.9687	420.9687	-837.9658
10	420.9687	420.9687	-837.9658
20	420.9687	420.9687	-837.9658
30	420.9687	420.9687	-837.9658
40	420.9687	420.9687	-837.9658
50	420.9687	420.9687	-837.9658
100	420.9687	420.9687	-837.9658

KKO algoritması Schwefel fonksiyonu üzerinde yapılan duyarlılık analizinde de Hartman fonksiyonuna benzer şekilde düşük koloni büyüklüğünde dahi global optimum değere ulaşmıştır. Bu durum KKO algoritmasında her bir jenerasyonda oluşturulan yeni karınca kolonisinin algoritma performansı üzerindeki etkisi ile açıklanabilir. Çizelge 5.5'de Zakharov fonksiyonu sonuçları verilmiştir. Koloni büyüklüğü arttıkça fonksiyon optimum değerinde kayda değer bir iyileşme gözlemlenmemiştir.

Çizelge 5.5 KKO duyarlılık analizi (Zakharov fonksiyonu)

KB	x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
5	1.86E-09	-3.22E-09	1.90E-17
10	-1.32E-09	1.64E-09	1.90E-17
20	1.02E-09	-2.06E-10	1.90E-17
30	8.27E-10	-1.72E-11	8.42E-19
40	-4.31E-10	4.36E-10	4.25E-19
50	7.70E-13	1.49E-10	4.43E-20
100	-1.66E-10	1.31E-10	4.72E-20

5.2 Pekiştirmeli Öğrenme

PÖ yaklaşımlarının temel felsefesi gerçekleşen bir olgunun ödüllendirilmesi veya cezalandırılmasını bir mantık içerisinde düzenleyerek istenen bir sonucun ortaya çıkmasını sağlamaktır. PÖ'de karar verici ajan olarak adlandırılmakta ve çevresi ile etkileşim içinde olmaktadır. Bu etkileşim, ajana çevre içinde uygulayacağı eylemi seçmesini sağlamaktadır. PÖ; Dinamik Programlama, Monte Carlo ve Geçici Fark Öğrenme metotları olmak üzere üç ana kategoriden oluşmaktadır. Her kategorinin kendine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Geçici fark öğrenme metotlarından biri olan Q-öğrenme algoritması, PÖ yöntemleri içinde modele ihtiyaç duymayan bir yaklaşım olup bu algorithmada çevrenin nasıl çalıştığı hakkında ajana herhangi bir bilgi verilmemektedir. Bunun yerine ajan eylemleri deneyerek en iyi ödülü veren eylemi seçmektedir. Q-öğrenme algoritması, durum-eylem çiftinin sahip olduğu değerlerin tahmin edilmesine bağlı olarak çalışmaktadır. Algorithmada, Q tablosu olarak adlandırılan tablonun elemanları her durum değişiminde güncellenmektedir (Sutton ve Barto, 1998). Bu tabloda her bir s durumu ve a eylemi çifti için $Q(s, a)$ olarak nitelendirilen Q değeri bulunmaktadır. Ajan, çevrenin s_t durumundan s_{t+1} durumuna geçişinde yapılan eylemin (a_t) ardından r_{t+1} olarak gösterilen ödülü almaktadır. Q değerleri Denklem (20) ile tanımlanmaktadır.

$$Q(s, a) = r(s, a) + \gamma \times Q^*(s', a') \quad (20)$$

Burada; $Q(s, a)$, (s, a) durum eylem çifti için Q değeridir. $Q^*(s', a')$, s durumunda a eyleminin tamamlanmasının ardından gelen s' durumunda seçilen a' eylemi ile elde edilebilen en iyi Q değeridir. $r(s, a)$, s durumunda a eylemi tamamlandığında alınan ödül değeri olup γ gelecekteki ödüllere atanan ağırlığı temsil eden azaltma faktörüdür (Vanhuysel ve diğ., 2009).

Öğrenme süreci, belirli sayıdaki öğrenme evresinden meydana gelmektedir. Her öğrenme evresi rastgele bir s durumunda başlamaktadır. Sonrasında ajan bir a eylemi seçerek ödülünü almakta ve yeni durumu gözlemlemektedir. Buna bağlı olarak, ajan Q değerlerini durum-eylem çiftine göre Denklem (21)'de verilen bağıntıyı kullanarak güncellemektedir.

$$Q_t(s, a) = (1 - \alpha) \times Q_{t-1}(s, a) + \alpha \times \left[r(s, a) + \gamma \times \max_{a'} Q_{t-1}(s', a') \right] \quad (21)$$

Burada, $Q_t(s, a)$ güncellenmiş Q değeri, $Q_{t-1}(s, a)$ Q tablosunda önceden kaydedilmiş Q değeri, α algoritmanın öğrenme oranı ve γ , gelecekteki ödüllere atanan ağırlığı temsil eden azaltma faktörüdür (Vanhuysel ve diğ., 2009).

PÖ ile diğer sezgisel metotların birleştirilmesi ile elde edilen algoritmalar farklı alanlardaki optimizasyon problemlerinin çözümünde son yıllarda etkin olarak kullanılmaktadır. Çalışmada Başkan ve diğ. (2012b) tarafından geliştirilen Pekiştirmeli Öğrenme (PÖ) algoritması kullanılacaktır. Q-öğrenme algoritması tabanlı algorithmada her öğrenme evresinde önceki evredeki en iyi çözüm bilgisinin yardımıyla orijinal çevre boyutunda bir alt çevre oluşturulmaktadır. Alt çevre

oluşturulduktan sonra orijinal çevre ve alt çevre fonksiyon değerleri dikkate alınarak iyiden kötüye doğru sıralanmaktadır. Bu şekilde bir önceki öğrenme evresinden elde edilen en iyi çözüm ve alt çevre, orijinal çevre ile karşılaştırılmaktadır. Yeni çözümlerden biri daha iyi amaç fonksiyonu değeri sağlaması durumunda, yeni değer orijinal çevrenin içine dahil edilirken kötü değer çevreden çıkarılmaktadır.

PÖ algoritmasında $r_t(s,a)$ olarak belirtilen ödül değeri, s durumunda yapılan a eyleminin amaç fonksiyonunu nasıl etkilediğini belirlemektedir. Kullanılan ödül fonksiyonu Denklem (22)'de verilmektedir.

$$\lim_{r_t(s,a) \rightarrow 0} \left(\frac{Q_t^{best}(s,a) - Q_t(s,a)}{Q_t(s,a)} \right) = 0 \quad (22)$$

Burada, $r_t(s,a)$ ödül fonksiyonu, $Q_t(s,a)$ Q değeri ve $Q_t^{best}(s,a)$ t nci öğrenme evresinde elde edilen en iyi Q değeridir. PÖ algoritmasında ödül fonksiyonu, en iyi Q değeri ile öğrenme evresindeki Q değeri arasındaki farkın Q değerine bölümü olarak belirlenmektedir. Ödül değerleri, fonksiyonunun yapısından dolayı sıfır değerine yaklaşmaktadır. Diğer bir deyişle PÖ algoritmasında toplam ödül değerinin, verilen bir fonksiyonun global yada yakın global değerinin bulunabilmesi için en küçüklenmesi gerekmektedir. PÖ algoritmasında çevre büyüklüğü (ÇB), öğrenme oranı (α) ve azaltma faktörü (γ) parametreleri kullanılmaktadır. Söz konusu parametrelerin duyarlılık analizi KKO metodundakine benzer şekilde 5 adet fonksiyon üzerinde yapılmıştır. Duyarlılık analizinde ilk olarak Goldstein-Price fonksiyonu kullanılmıştır. Maksimum öğrenme evresi sayısı 2000 olarak seçilmiş ve Çizelge 5.6'da sonuçlar verilmiştir. Popülasyon içindeki en iyi fonksiyon değeri ile ortalama fonksiyon değeri arasındaki rölatif hatanın 10^{-10} 'dan küçük olması durumunda algoritma sonlandırılmıştır.

Çizelge 5.6 PÖ duyarlılık analizi (Goldstein-price fonksiyonu)

ÇB	γ	α	Gerekli öğrenme evresi	x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
10	0.7	0.2	1469	0.0000000689	-1.0000000183	3.00000000000017
		0.3	1474	0.0000000380	-0.9999999805	3.00000000000003
	0.8	0.2	1477	0.0000000585	-0.9999999692	3.00000000000003
		0.3	1472	0.0000001733	-0.9999999087	3.00000000000003
20	0.7	0.2	1481	0.0000000493	-0.9999999967	3.00000000000003
		0.3	1462	0.0000000637	-0.9999999822	3.00000000000000
	0.8	0.2	1481	0.0000000086	-0.9999999969	3.00000000000003
		0.3	1492	0.0000000878	-0.9999999865	3.00000000000018
30	0.7	0.2	1487	0.0000000346	-0.9999999958	3.00000000000003
		0.3	1484	0.0000000067	-1.0000000410	3.00000000000008
	0.8	0.2	1480	0.0000000009	-1.0000000143	3.00000000000001
		0.3	1493	0.0000000193	-0.9999999941	3.00000000000000

Duyarlılık analizinden görülebileceği gibi PÖ metodu seçilen tüm parametre kombinasyonlarında global değere oldukça yakın değer vermiştir. Çizelge 5.7’de Hartman fonksiyonu duyarlılık analizi görülmektedir. Tablodan görüldüğü gibi Hartman fonksiyonunun çözümünde PÖ metodu global değere tüm denemelerde ulaşabilmiştir.

Çizelge 5.7 PÖ duyarlılık analizi (Hartman fonksiyonu)

ÇB	γ	α	Gerekli öğrenme evresi	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	$f(x_1, x_2)$
10	0.7	0.2	1296	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
		0.3	1252	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
	0.8	0.2	1265	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
		0.3	1256	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
20	0.7	0.2	1266	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
		0.3	1268	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
	0.8	0.2	1275	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
		0.3	1273	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
30	0.7	0.2	1276	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
		0.3	1267	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
	0.8	0.2	1271	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
		0.3	1265	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32

Çizelge 5.8-5.10’da Rosenbrock, Schwefel ve Zakharov fonksiyonları üzerindeki duyarlılık analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.8 PÖ duyarlılık analizi (Rosenbrock fonksiyonu)

ÇB	γ	α	Gerekli öğrenme evresi	x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
10	0.7	0.2	2000	0.99999999525	0.99999999733	5.67.E-17
		0.3	2000	0.9999999994	-0.9999999998	4.27.E-18
	0.8	0.2	2000	0.9999999957	-0.9999999979	1.85.E-17
		0.3	2000	0.9999999977	-0.9999999990	1.24.E-17
20	0.7	0.2	2000	1.0000000004	-1.0000000002	2.43.E-19
		0.3	2000	0.9999999980	0.9999999990	4.24.E-18
	0.8	0.2	2000	1.0000000005	-1.0000000003	3.70.E-19
		0.3	2000	0.9999999975	-0.9999999987	6.33.E-18
30	0.7	0.2	2000	1.0000000010	-1.0000000006	9.06.E-18
		0.3	2000	1.0000000020	-1.0000000011	4.86.E-18
	0.8	0.2	2000	0.9999999998	-0.9999999998	1.06.E-18
		0.3	2000	1.0000000022	-1.0000000011	5.73.E-18

Çizelge 5.9 PÖ duyarlılık analizi (Schwefel fonksiyonu)

ÇB	γ	α	Gerekli öğrenme evresi	x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
10	0.7	0.2	1358	420.9688	420.9687	-837.9658
		0.3	1344	420.9687	420.9687	-837.9658
	0.8	0.2	1349	420.9687	420.9687	-837.9658
		0.3	1351	420.9687	420.9687	-837.9658
20	0.7	0.2	1365	420.9687	420.9687	-837.9658
		0.3	1353	420.9687	420.9687	-837.9658
	0.8	0.2	1359	420.9687	420.9687	-837.9658
		0.3	1363	420.9687	420.9687	-837.9658
30	0.7	0.2	1366	420.9687	420.9687	-837.9658
		0.3	1365	420.9687	420.9687	-837.9658
	0.8	0.2	1360	420.9687	420.9687	-837.9658
		0.3	1358	420.9687	420.9687	-837.9658

Çizelge 5.10 PÖ duyarlılık analizi (Zakharov fonksiyonu)

ÇB	γ	α	Gerekli öğrenme evresi	x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
10	0.7	0.2	2000	-1.27E-54	1.08E-54	2.98E-108
		0.3	2000	3.61E-82	-2.09E-82	1.75E-163
	0.8	0.2	2000	-3.80E-36	2.80E-36	2.31E-71
		0.3	2000	-5.67E-54	5.20E-54	6.49E-107
20	0.7	0.2	2000	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.3	2000	-6.65E-83	4.70E-83	6.82E-165
	0.8	0.2	2000	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.3	2000	-1.01E-56	-9.75E-55	1.91E-108
30	0.7	0.2	2000	3.97E-55	-2.27E-55	2.10E-109
		0.3	2000	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.8	0.2	2000	-6.19E-37	6.72E-37	9.66E-73
		0.3	2000	2.11E-54	-1.08E-54	5.62E-108

5.3 Armoni Araştırması Tekniği

İlk olarak Geem ve diğ. (2001) tarafından geliştirilen AAT, bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları notalar ile armonik açıdan en iyi melodinin elde edilmesi prensibine dayanmaktadır. Bir orkestrada tüm orkestra elemanlarının birbirleri ile armonik açıdan uyumlu bir şekilde çalmaları ile en estetik melodiye yaklaşıırken, optimizasyon sürecinde en iyi çözüm amaç fonksiyonu değerinin global optimuma giderek yaklaşması sonucu elde edilebilmektedir. AAT, taşkın modellemesi (Kim ve diğ., 2001), su dağıtım şebekelerinin optimum tasarımı (Geem, 2006), sektörel enerji talebi modellemesi (Ceylan ve diğ., 2008) ve kafes sistemlerin optimum tasarımı

(Saka, 2009) gibi çeşitli mühendislik problemlerinin çözümüne uygulanmıştır. AAT süreci temel olarak 5 adımdan oluşmaktadır.

Adım 1: Problemin kurulması ve algoritma parametrelerinin tanımlanması

Denklem (23)'de örnek bir optimizasyon problemi tanımlanmaktadır:

$$\min Z = F(x) \quad x_i \in \mathbf{x}_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (23)$$

Burada, $F(x)$ minimize edilecek olan amaç fonksiyonunu, x_i karar değişkenlerini (orkestradaki enstrümanları), \mathbf{x}_i her karar değişkeni için kullanılan çözüm vektörünü, N ise toplam karar değişkeni sayısını (orkestra büyüklüğünü) göstermektedir. Armoni araştırması çözüm sürecini kontrol eden 3 farklı parametre mevcuttur. Bunlar sırasıyla, armoni araştırmasındaki çözüm vektörü sayısı olan Armoni Belleği Kapasitesi (ABK), armoni belleğinden yapılacak değişken seçimi oranı olan Armoni Belleğini Dikkate Alma Oranı (ABDAO) ve Ton Ayarlama Oranıdır (TAO).

Adım 2: Armoni belleğinin oluşturulması

Bu adımda, armoni belleği matrisi, rastgele üretilen çok sayıda çözüm vektörü ile doldurulur ve bu vektörler için ilgili amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \cdots & x_{N-1}^1 & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \cdots & x_{N-1}^2 & x_N^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{ABK-1} & x_2^{ABK-1} & \cdots & x_{N-1}^{ABK-1} & x_N^{ABK-1} \\ x_1^{ABK} & x_2^{ABK} & \cdots & x_{N-1}^{ABK} & x_N^{ABK} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} f(x^1) \\ f(x^2) \\ \vdots \\ f(x^{ABK-1}) \\ f(x^{ABK}) \end{bmatrix} \quad (24)$$

Adım 3: Yeni armoninin oluşturulması

Bu adımda, yeni armoni vektörü $\mathbf{x}' = (x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_N)$, armoni belleğinde bulunan tonlara göre ve/veya tamamen rastgele seçilen tonlara göre üretilmektedir. Armoni belleğinde bulunan tonlara göre, yeni armoni vektörüne ait ilk karar değişkeni x'_1 mevcut armoni belleği $(x_1^1, \dots, x_1^{ABK})$ içerisindeki herhangi bir değerden rastgele olarak seçilmektedir. Seçim işleminin nasıl yapıldığı Denklem (25)'de verilmiştir:

$$x'_i = \begin{cases} x'_i \in \{x_i^1, x_i^2, x_i^3, \dots, x_i^{ABK}\} & \text{ABDAO olasılığı durumu} \\ x'_i \in X_i & \text{(1-ABDAO) olasılığı durumu} \end{cases} \quad (25)$$

Bu aşamadan sonra, ton ayarlama işleminin gerekli olup olmadığının belirlenmesi için her karar değişkeninin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Karar değişkenleri için bu işlem TAO parametresi ile aşağıda verildiği şekilde yapılmaktadır:

$$x'_i = \begin{cases} x'_i \pm rst * b_g & \text{TAO} \\ x'_i & (1-\text{TAO}) \end{cases} \quad (26)$$

Burada rst olarak verilen ifade (0-1) arasında üretilen rastgele sayıyı temsil etmekte, b_g ise kullanıcıya özel bant genişliği olarak kullanılmaktadır. Dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, ABDAO ve TAO parametrelerinin, algoritmanın sırasıyla global ve yerel optimum çözümleri elde etmesinde tetikleyici rol almasıdır.

Adım 4: Armoni belleğinin güncellenmesi

Bu adımda, yeni vektör bellek içindeki en kötü vektörden daha iyi bir sonuç veriyorsa belleğe dahil edilir ve en kötü vektör bellekten çıkarılır.

Adım 5: Durma kriterinin kontrolü:

Bu adımda verilen durma koşulunun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Koşulun sağlanmaması durumunda, Adım 3 ile 5 arasındaki işlemler istenen koşul sağlanıncaya kadar tekrar edilir.

AAT'nin matematiksel fonksiyonlar üzerindeki performansı Çizelge 5.11-5.15'de verilmiştir.

Çizelge 5.11 AAT duyarlılık analizi (Goldstein-price fonksiyonu)

ABK	ABDAO	TAO	İterasyon sayısı	x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
10	0.8	0.3	2221	-5.65E-06	-0.999972842	3.000000360
		0.4	2113	4.18E-05	-1.000075751	3.000003605
	0.9	0.3	2857	1.03E-04	-1.000136001	3.000013705
		0.4	5987	-5.12E-05	-1.000021614	3.000000624
20	0.8	0.3	4291	3.60E-06	-1.000053957	3.000001303
		0.4	3354	7.35E-06	-1.000040284	3.000000779
	0.9	0.3	5780	-2.72E-04	-1.000088622	3.000016846
		0.4	4659	2.22E-05	-0.999983217	3.000000165
30	0.8	0.3	6136	-1.13E-06	-0.99998816	3.000000064
		0.4	3631	2.26E-06	-1.00002733	3.000000337
	0.9	0.3	7645	8.95E-05	-0.99999674	3.000001960
		0.4	7305	5.47E-05	-0.999968219	3.000000815

Çizelge 5.12 AAT duyarlılık analizi (Hartman fonksiyonu)

ABK	ABDAO	TAO	İterasyon sayısı	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	$f(x_1, x_2)$
10	0.8	0.3	6118	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
		0.4	16588	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
	0.9	0.3	3084	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
		0.4	6903	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
20	0.8	0.3	17960	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
		0.4	22771	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
	0.9	0.3	6109	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
		0.4	13944	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
30	0.8	0.3	25226	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
		0.4	35856	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
	0.9	0.3	13282	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
		0.4	27589	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32

Rosenbrock fonksiyonu duyarlılık analizi sonuçları Tablo 5.13’de görülmektedir. Bu analiz için durma kriteri fonksiyonunun yapısından dolayı 10^{-30} olarak seçilmiştir. AAT metodu Rosenbrock fonksiyonunun çözümünde verilen durma kriterinde tam çözüme ulaşamasa da kabul edilebilir seviyede çözümler üretebilmektedir. Bu çözümde ABK arttıkça gerekli iterasyon sayısı da artmakta ve buna bağlı olarak CPU süresi uzamaktadır.

Çizelge 5.13 AAT duyarlılık analizi (Rosenbrock fonksiyonu)

ABK	ABDAO	TAO	İterasyon sayısı	x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
10	0.8	0.3	2151	1.100149	-1.04915	0.010060930
		0.4	4270	0.992956	0.996313	0.000059639
	0.9	0.3	9692	0.670183	-0.8191	0.108833634
		0.4	4144	0.97187	0.985831	0.000791312
20	0.8	0.3	65888	0.99916	0.999581	0.000000706
		0.4	31694	0.999357	-0.99967	0.000000421
	0.9	0.3	17876	0.998827	0.999395	0.000001506
		0.4	22567	0.999341	0.999667	0.000000439
30	0.8	0.3	47000	0.998971	0.99948	0.000001069
		0.4	99866	0.999438	-0.99972	0.000000317
	0.9	0.3	37691	1.001384	1.000708	0.000002026
		0.4	43861	1.001605	-1.0008	0.000002578

2 değişkenli bir fonksiyon olan Schwefel fonksiyonu birçok yerel minimum noktasına sahip olmasından dolayı literatürde oldukça sık kullanılan bir fonksiyondur. AAT metodu ile Schwefel fonksiyonu üzerinde yapılan duyarlılık analizi sonuçları Tablo 5.14’de verilmiştir. AAT metodu tüm parametre kombinasyonlarında global optimum değerine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Ancak yine CPU süresi dikkate alındığında ABK, ABDAO ve TAO için 10, 0.9 ve 0.4 değerlerinin alındığı çözüm en uygun çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çizelge 5.14 AAT duyarlılık analizi (Schwefel fonksiyonu)

ABK	ABDAO	TAO	İterasyon sayısı	x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
10	0.8	0.3	1338	420.956	420.951	-837.9657
		0.4	1494	420.973	420.956	-837.9658
	0.9	0.3	914	420.961	420.961	-837.9658
		0.4	985	420.960	420.945	-837.9657
20	0.8	0.3	1739	420.968	420.975	-837.9658
		0.4	906	420.944	420.975	-837.9657
	0.9	0.3	1559	420.968	420.968	-837.9658
		0.4	1630	420.953	420.971	-837.9657
30	0.8	0.3	2607	420.968	420.969	-837.9658
		0.4	3202	420.966	420.973	-837.9658
	0.9	0.3	2480	420.985	420.992	-837.9657
		0.4	2460	420.967	420.960	-837.9658

AAT metodunda parametre duyarlılık analizi yapılan son fonksiyon Zakharov fonksiyonudur. 2 değişkenli durum dikkate alınmış ve çözümler yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.15'de verilmiştir. AAT metodu Zakharov fonksiyonu çözümünde de verilen durma kriteri çerçevesinde oldukça başarılı sonuçlar üretmektedir.

Çizelge 5.15 AAT duyarlılık analizi (Zakharov fonksiyonu)

ABK	ABDAO	TAO	İterasyon sayısı	x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
10	0.8	0.3	2168	-2.52E-04	1.09E-04	7.59E-08
		0.4	1444	2.82E-04	-3.98E-04	3.04E-07
	0.9	0.3	1997	1.67E-04	-3.93E-05	3.13E-08
		0.4	1557	3.23E-05	-5.33E-05	5.26E-09
20	0.8	0.3	2145	2.62E-04	-1.14E-04	8.21E-08
		0.4	2081	6.43E-05	-9.26E-05	1.63E-08
	0.9	0.3	2850	1.67E-04	-4.08E-05	3.14E-08
		0.4	2294	3.70E-05	1.03E-04	2.66E-08
30	0.8	0.3	2554	4.74E-04	-3.17E-04	3.31E-07
		0.4	2330	1.44E-04	-4.00E-05	2.33E-08
	0.9	0.3	1517	-1.44E-04	2.21E-04	9.14E-08
		0.4	2203	-7.01E-05	1.53E-04	4.22E-08

5.4 Yapay Arı Kolonisi

Doğadaki akıllı böcekler sınıfında bulunan bal arılarının davranışlarından esinlenerek geliştirilen arı sistemi algoritmaları, arıların buldukları yiyecek kaynağının kalitesi hakkındaki bilgiyi salınım dansı yaparak diğer arılarla paylaşması fikrinin matematiksel olarak modellenmesi ile ortaya çıkarılmıştır. Bu dans aracılığıyla kaliteli

bir yiyecek kaynağı bulan arılar, yiyecek kaynağı hakkındaki yön, uzaklık ve nektar miktarı bilgilerini diğer arılara iletmektedirler. Bu mekanizma sayesinde arı kolonisi, kaliteli yiyecek kaynaklarının olduğu bölgelere yönlendirilebilmektedir. Arıların yiyecek arama davranışları, öğrenme, hatırlama ve bilgi paylaşma özellikleri sürü zekâsının en ilgi çekici araştırma alanlarından birisidir. Lucic ve Teodorovic (2003) stokastik araç rotalama probleminin çözümü için arı sistemi ile bulanık mantık yaklaşımını birleştirmişlerdir. Teodorovic ve Dell'Orco (2005) arı sistemi algoritmasını genelleştirerek deterministik ve stokastik problemleri çözebilen Arı Kolonisi Optimizasyonu (AKO) algoritmasını önermişlerdir. Ayrıca Teodorovic ve Dell'Orco (2008) trafik sıkışıklığı probleminin çözümünde arı kolonisi optimizasyonu algoritmasını kullanmışlardır. Başkan ve Dell'Orco (2012) optimum bağ kapasite genişletmelerinin bulunmasında YAK algoritmasını kullanmışlardır. Sonuçlar YAK algoritmasının problemin çözümünde GA ve TB algoritmasına göre oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde Dell'Orco ve diğ. (2012) alansal trafik kontrolü probleminin çözümünde YAK algoritmasını kullanmışlar ve metodun GA ve TT'e göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Karaboğa (2005) tarafından geliştirilen Yapay Arı Kolonisi (YAK) metodu sonrasında Karaboga ve Basturk (2007a, 2007b, 2008) tarafından geliştirilmiştir. Algoritmada görevli arıların sayısı toplam yiyecek kaynağına eşit kabul edilmektedir. Ayrıca işçi arıların sayısı gözcü arıların sayısına eşit olup kaynakta görevli arı kaynaktaki nektar miktarı bitince kaşif arı olarak görevine devam etmektedir. Bu işlem için algoritmada limit değeri tanımlanmıştır. Limit değeri SN*D olarak belirlenebilir. Bu yöntemde yiyecek kaynaklarının konumları çözülmek istenen problemin muhtemel çözümlerini, nektar miktarı ise çözümün kalitesini ifade etmektedir. YAK algoritması en fazla nektara sahip kaynağın yerini bulmaya çalışarak çözüm uzayındaki çözümler içinden en iyi bulmaya çalışmaktadır. YAK algoritmasının temel adımları aşağıda verildiği gibidir (Karaboğa, 2011).

Adım 1. Başlangıç yiyecek kaynağı bölgelerinin üretilmesi
 FOR
 Adım 2. Görevli arıların yiyecek kaynağı bölgelerine gönderilmesi
 Adım 3. Olasılık değerlerini görevli arılardan gelen bilgilere göre hesaplanması
 Adım 4. Gözcü arıların olasılık değerlerine göre yiyecek kaynağı bölgesi seçmesi
 Adım 5. Bırakılacak kaynakların seçimi ve kaşif arıların üretilmesi
 END

Şekil 5.1'de verildiği gibi çözüm uzayını yiyecek kaynaklarını içeren kovan çevresi olarak düşünürsek, algoritma çözüm uzayındaki çözümlere karşılık gelen rastgele yiyecek kaynağı yerleri üretmek çalışmaya başlamaktadır. Rastgele yer üretme süreci Denklem (27)'de verildiği gibi her bir parametrenin alt ve üst sınırları arasında rastgele değer üretmek gerçekleştirilir.

$$x_{ij} = x_j^{\min} + \text{rand}[0,1] (x_j^{\max} - x_j^{\min}) \quad (27)$$

Burada $i=1,2,\dots,SN$; $j=1,2,\dots,D$ olmak üzere SN yiyecek kaynağı sayısını, D ise optimize edilecek parametre sayısını ifade etmektedir. x_j^{\min} , j . parametrenin alt sınırı, x_j^{\max} ise j . parametrenin üst sınırıdır. Başlangıç aşamasından sonra yiyecek

kaynakları görevli arı, gözcü arı ve kaşif arı süreçlerinden geçirilerek daha iyi kaynaklar bulunmaya çalışılır. Rastgele üretim aşamasında sonra işçi arılar çalıştığı yiyecek kaynağının komşuluğunda yeni bir yiyecek kaynağı belirler ve bunun kalitesini değerlendirir. Yeni kaynak daha iyi ise bu yeni kaynağı hafızasına alır değilse eski kaynaktaki çalışmaya devam eder. Süreç Denklem (28)'de verildiği gibi simüle edilir.

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij} \cdot (x_{ij} - x_{kj}) \quad (28)$$

Tüm görevli arılar bir çevrimde araştırmalarını tamamladıktan sonra kovana dönüp buldukları kaynakların nektar miktarları ile ilgili gözcü arılara bilgi aktarırlar. Bir gözcü arı dans aracılığıyla paylaşılan bilgiden faydalanarak yiyecek kaynaklarının nektar miktarları ile orantılı bir olasılıksal bir bölge (kaynak) seçer. Olasılıksal seçme işlemi, algoritmada nektar miktarlarının karşılık gelen uygunluk değerleri kullanılarak yapılmaktadır. Uygunluk değerine bağlı seçme işlemi rulet tekerleği, sıralamaya dayalı, stokastik örnekleme, turnuva yöntemi yöntemlerinden herhangi biri ile yapılabilir. Proje kapsamında rulet tekerleği yöntemi kullanılmıştır. Tekerlekteki her bir dilimin açısı uygunluk değeri ile orantılıdır. Diğer bir deyişle Denklem (29)'da görüldüğü gibi kaynağın uygunluk değerinin tüm kaynakların uygunluk değeri toplamına oranı o kaynağın diğer kaynaklara göre seçilme olasılığını vermektedir (Karaboğa, 2011).

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} fit_n} \quad (29)$$

Burada fit_i , i . kaynağın kalitesini, SN görevli arı sayısını göstermektedir. YAK metodu duyarlılık analizinde ilk olarak Goldstein-Price fonksiyonu kullanılmıştır. Maksimum çevrim sayısı 500 olarak seçilmiş ve 3 farklı popülasyon büyüklüğü için analizler yapılmıştır. Popülasyon içindeki en iyi fonksiyon değeri ile ortalama fonksiyon değeri arasındaki rölatif hatanın 10^{-10} 'dan küçük olması durumunda algoritma sonlandırılmıştır. Sonuçlar 5 adet fonksiyon için Çizelge 5.16-5.20'de verilmiştir.

Çizelge 5.16 YAK duyarlılık analizi (Goldstein-price fonksiyonu)

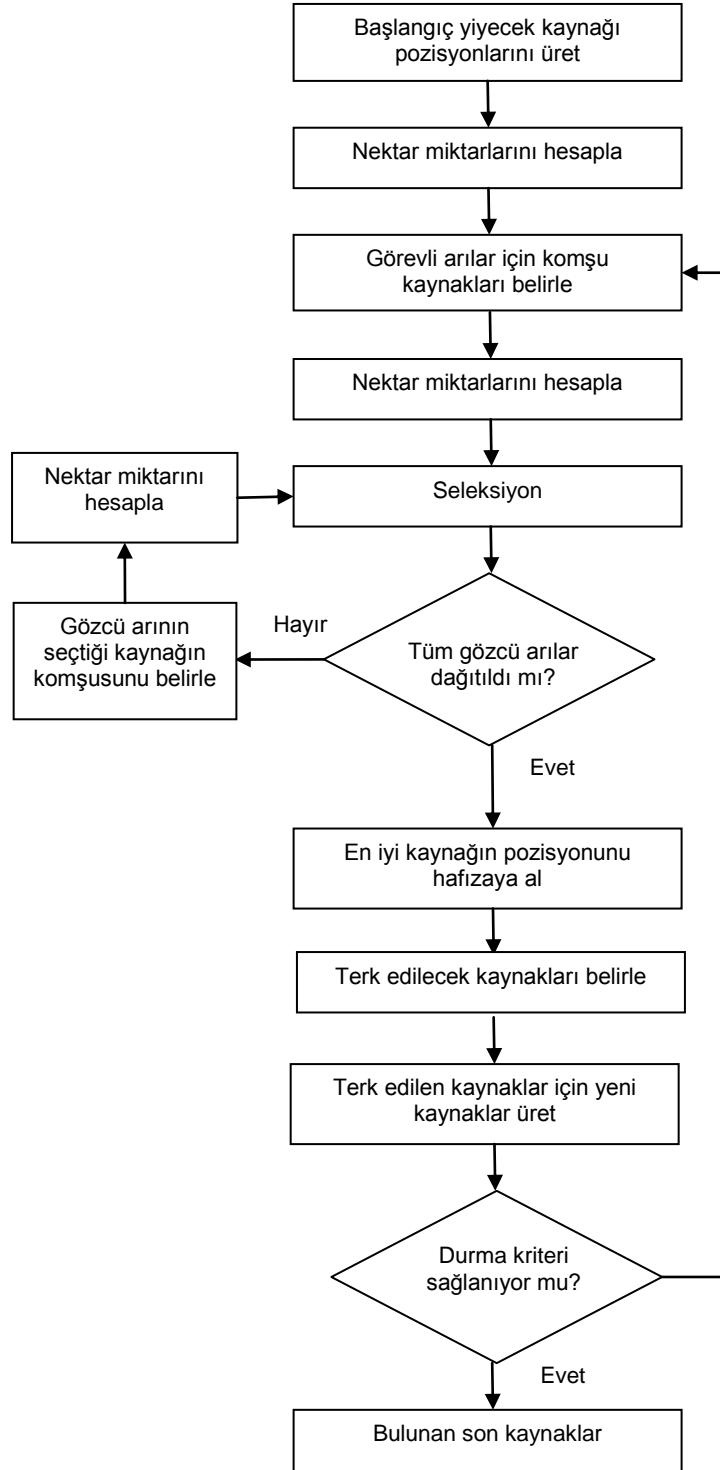
SN	Gerekli çevrim sayısı	x_1	x_2	$f(x_1, x_2)$
10	78	1.87E-08	-1.00000000246	3.000000000000
30	66	6.72E-09	-0.99999999516	3.000000000000
50	53	-6.73E-09	-1.00000000269	3.000000000000

Çizelge 5.17 YAK duyarlılık analizi (Hartman fonksiyonu)

SN	Gerekli çevrim sayısı	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	$f(x_1, x_2)$
10	182	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
30	117	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32
50	112	0.202	0.150	0.477	0.275	0.312	0.657	-3.32

Rosenbrock fonksiyonunun yapısından dolayı bu analizde popülasyon içindeki en iyi fonksiyon değeri ile ortalama fonksiyon değeri arasındaki rölatif hatanın 10^{-3} 'den

küçük olması durumunda algoritma sonlandırılmıştır. Ayrıca maksimum çevrim sayısı 5000 olarak seçilmiştir.



Şekil 5.1. YAK algoritma adımları (Karaboğa, 2011)

Çizelge 5.18 YAK duyarlılık analizi (Rosenbrock fonksiyonu)

SN	Gerekli çevrim sayısı	x1	x2	fx
10	2276	0.99999934054	0.99999868088	4.35E-13
30	1197	1.00000000000	1.00000000000	1.09E-28
50	1124	1.00000000000	1.00000000000	7.10E-30

Çizelge 5.19 YAK duyarlılık analizi (Schwefel fonksiyonu)

SN	Gerekli çevrim sayısı	x1	x2	fx
10	149	420.97	420.97	-837.9658
30	124	420.97	420.97	-837.9658
50	87	420.97	420.97	-837.9658

Zakharov fonksiyonunun yapısından dolayı bu analizde popülasyon içindeki en iyi fonksiyon değeri ile ortalama fonksiyon değeri arasındaki rölatif hatanın 10^{-1} 'den küçük olması durumunda algoritma sonlandırılmıştır. Ayrıca maksimum çevrim sayısı 5000 olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.20 YAK duyarlılık analizi (Zakharov fonksiyonu)

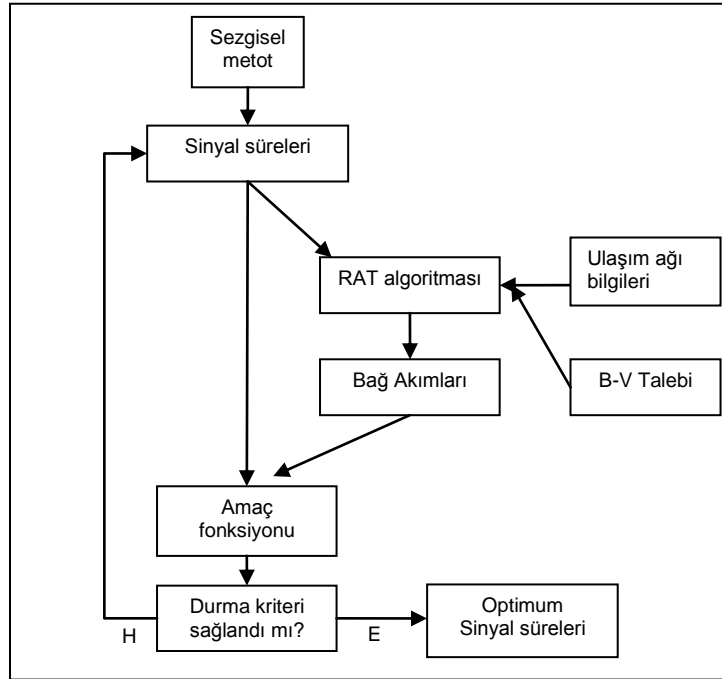
SN	Gerekli çevrim sayısı	x1	x2	fx
10	4316	1.81E-24	-4.30E-25	3.69E-48
30	5000	1.11E-162	4.02E-163	0
50	5000	1.59E-163	1.29E-162	0

Sonuçlardan görülebileceği gibi YAK metodu global optimumun bulunmasında oldukça etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

6. SAYISAL UYGULAMALAR

6.1. Örnek Ulaşım Ağı Uygulaması

Bilindiği gibi trafik mühendisleri ve planlamacıları sinyal kontrol probleminin çözümü için uzun yıllardır etkili metotlar üzerine araştırmalar yapmaktadırlar. Problemin çözümü için göz önüne alınması gereken kontrol parametresi sayısının fazlalığı çözümün karmaşıklığını artırmaktadır. Ayrıca çözüm için probleme yeni kontrol parametrelerinin eklenmesi problemin konveks olmayan yapısından dolayı çözümü daha da zorlaştırmaktadır (Başkan, 2009a). UAT probleminin çözümü için projede önerilen modelin genel çerçevesi Şekil 6.1' de verilmiştir.



Şekil 6.1 Sinyal kontrol modeli genel çerçevesi

Modelde KKO, AAT, YAK ve PÖ metotları ile hem trafik atama sürecinde hem de amaç fonksiyonunun hesaplanmasında kullanılmak üzere sinyal süreleri oluşturulmaktadır. Trafik atama kısmında ulaşım ağı bilgileri ve B-V talebi verileri ile RAT algoritması ile denge bağ akımları elde edilmektedir. Trafik atama süreci sonunda elde edilen bağ akımları ve kullanılan sezgisel metotlar ile oluşturulan sinyal sürelerinin kullanılması ile amaç fonksiyonu değeri TRANSYT-7F yazılımı yardımı ile hesaplanmaktadır. Modelde amaç fonksiyonu değeri önceden verilen yakınsama kriterini sağladığı anda optimum sinyal süreleri kümesi elde edilmektedir. Şekil 6.2'de TRANSYT-7F yazılımına ait girdi penceresi görülmektedir (McTrans, 2008).

Şekil 6.2 TRANSYT-7F başlangıç girdi ekranı

Şekil 6.2' den görülebileceği gibi herhangi bir ulaşım ağını programa girmek istediğimiz zaman program başlangıç olarak dosya adı, kavşak sayısı, analiz süresi, devre süresi, trafik hacmi, zirve saat faktörü, doymun akım oranı, serbest akım seyahat hızı vb. gibi birçok veriyi istemektedir. İstenilen bu veriler girildikten sonra Şekil 6.3'de görülen TRANSYT-7F ayrıntılı girdi ekranı karşımıza çıkmaktadır. Program sinyal süre optimizasyonunun da kullanıcıya birden fazla amaç fonksiyonu seçeneği sunduğu için kullanıcının probleme bağlı olarak amaç fonksiyonu seçimini yapması gerekmektedir.

Şekil 6.3 TRANSYT-7F ayrıntılı girdi ekranı

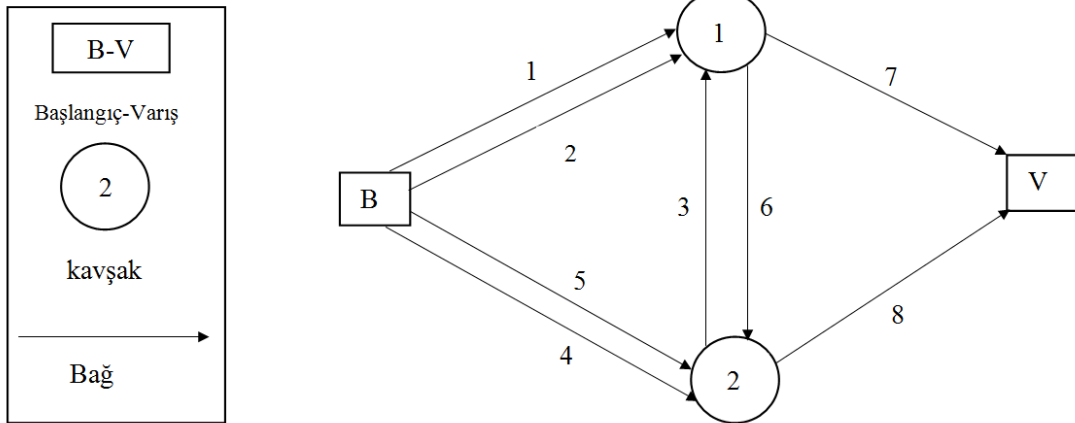
Şekil 6.3'de görüldüğü gibi programın ayrıntılı girdi ekranında en düşük ve en yüksek devre süreleri, simülasyon süresi, orijinal devre süresi, optimizasyon için hangi metodun kullanılacağı (genetik algoritma, tepe tırmanma) vb. bilgilerin programa girilmesi gerekmektedir. TRANSYT-7F yazılımı benzer programlarla karşılaştırıldığında veri girişinde kullanıcıya kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıntılı girdi ekranındaki bilgilerin girilmesinden sonra ulaşım ağına ait kavşaklardaki faz planlarının ve trafik hacmi bilgilerinin sisteme girilmesi gerekmektedir. Şekil 6.4'de projenin ilk aşaması olan örnek ağ uygulaması yapılacak ulaşım ağına ait 1 nolu kavşak bilgileri görünmektedir.

Şekil 6.4 Örnek ulaşım ağı 1 nolu kavşak girdi ekranı

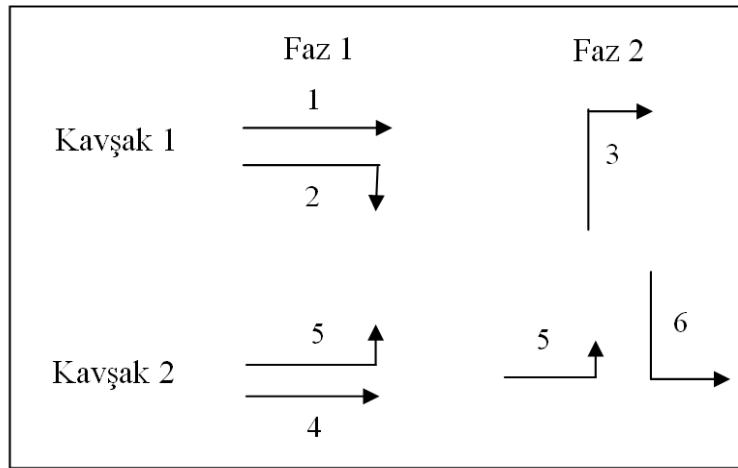
Bu aşamadan sonra TRANSYT-7F programına faz sinyal sürelerinin ve ofset değerlerinin girilmesi gerekmektedir. Şekil 6.5'de programın bu amaçla kullanılan bölümüne ait girdi ekran görülmektedir.

Şekil 6.5 Sinyal süreleri girdi ekranı

Burada öncelikle ilgili kavşağa ait faz numarası seçildikten sonra yeşil, sarı ve kırmızı süreler ve ayrıca koordine kavşak çalışması durumunda ise ofset değerlerinin girilmesi gerekmektedir. Bu aşamadan sonra geliştirilen model örnek ulaşım ağına uygulanmıştır. Örnek ulaşım ağına 1 adet B-V çifti, 2 adet kavşak ve 8 adet bağ bulunmaktadır. Örnek ulaşım ağı ve kavşaklara ait sinyal faz düzenleri sırasıyla Şekil 6.6 ve 6.7'de görülmektedir. Ulaşım ağına ait diğer veriler Çizelge 6.1'de görülmektedir. (Ceylan, 2002).



Şekil 6.6 Örnek ulaşım ağı (Ceylan, 2002)



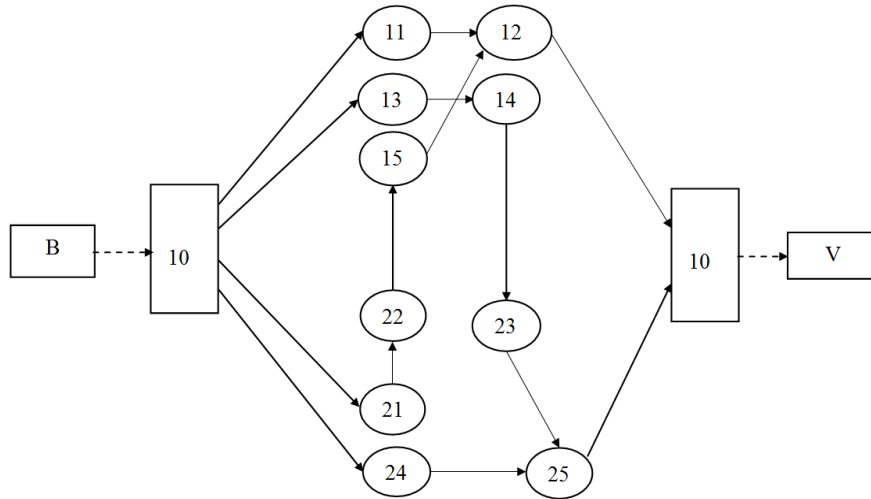
Şekil 6.7 Örnek ulaşım ağı faz planları (Ceylan, 2002)

Çizelge 6.1 Örnek ulaşım ağı verileri

Bağ No	s (ta/sa)	t_a^0	Bağ No	s (ta/sa)	t_a^0
1	1800	20	4	1800	20
2	1800	20	5	1800	20
3	1800	20	6	1800	20

Bağ 7 ve 8 için serbest akım seyahat süresi 10 sn, B-V talebi 1500 ta/sa'dir.

Ulaşım ağının trafik atama amacıyla yeniden düzenlenmiş hali Şekil 6.8'de görülebilmektedir. 16 bağdan oluşan ulaşım ağındaki bağların 8 tanesinin (B-10, 11-12, 13-14, 15-12, 21-22, 24-25, 23-25, 10-V) seyahat süresi 1 sn'dir.



Şekil 6.8 Örnek ulaşım ağının trafik atama için düzenlenmiş hali (Ceylan, 2002)

Örnek ulaşım ağının çözümünde kullanılacak sinyal parametrelerinin alt ve üst limit değerleri aşağıda verilmiştir.

$$36 \leq c \leq 90$$

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

$$7 \leq \varphi \leq c$$

$$I_{1-2} = I_{2-1} = 5 \text{ sn}$$

Projenin temel amacı olan 4 farklı sezgisel metodun UAT çözümündeki performanslarının değerlendirilmesi amacıyla bu metodların TRANSYT-7F yazılıma adapte edilmesi gerçekleştirilmiştir. Modelde KKO, YAK, PÖ ve AAT algoritmalarının MATLAB ortamında yazılmış kodları içinde amaç fonksiyonunun belirlenmesi amacı ile TRANSYT-7F yazılımı çağrılmakta ve Performans İndeksi değeri bu şekilde belirlenmektedir. Örnek kodlama tekniği Şekil 6.9'da görülmektedir.

```

fid = fopen('C:\Program Files\HCS+T7F\T7F11\hc.tin','r+');
for k=1:(47-1);
    fgetl(fid);
end;
fseek(fid, 20, 0);
fprintf(fid, '%5d', flow(6,1));
fclose(fid);

!TRANSYT-7F C:\Program Files\HCS+T7F\T7F11\hc.tin /C;

for l=1:1
    fid = fopen('C:\Program Files\HCS+T7F\T7F11\hc.tof','r+');
    load a.txt
    for k=1:((1+141)-1);
        fgetl(fid);
    end;
    fseek(fid, 0, 0);
    fprintf(fid, '%5d%5d%5d%5d%5d', a(l,:));
    fclose(fid);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

fid = fopen('C:\Program Files\HCS+T7F\T7F11\hc.tof','r+');
b = textscan(fid, '%s','delimiter', '\n');
for k=1:1

```

Şekil 6.9 TRANSYT-7F programının çağrılması

Çizelge 6.2'de örnek ulaşım ağında KKO, AAT, YAK ve PÖ metotlarının kullanılması sonucu edilen optimum sinyal süreleri ve performans indeksi değerleri görülmektedir.

Çizelge 6.2 Örnek ulaşım ağı sonuçları

Metot	Performans İndeksi	Devre süresi	Kavşak No	Faz 1	Faz 2	Ofset
KKO	4.67	85	1	66	9	0
			2	68	7	49
AAT	4.69	85	1	68	7	0
			2	66	9	13
YAK	4.53	85	1	68	7	0
			2	67	8	48
PÖ	4.83	85	1	65	10	0
			2	68	7	15

KKO, AAT, YAK ve PÖ metotlarının örnek ulaşım ağına uygulanması sonucunda birbirine yakın sonuçlar elde edilmesine rağmen YAK metodunun en iyi performans indeksi değerini verdiği Çizelge 6.2'de görülmektedir. Her ne kadar dört metodun ürettiği performans indeksi değerleri oldukça yakın olsa da daha büyük ulaşım ağlarında YAK metodunun daha başarılı sonuçlar üretmesi beklenmektedir. Çizelge 6.3-6.6'da dört farklı metot ile elde edilen denge bağ akımları ve doygunluk dereceleri verilmiştir.

Çizelge 6.3 KKO ile elde edilen denge bağ akımları ve bağ doygunluk dereceleri

KKO					
q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6
750.46	0.00	0.00	749.54	0.00	0.00
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
0.54	0.00	0.00	0.52	0.00	0.00

Çizelge 6.4 AAT ile elde edilen denge bağ akımları ve bağ doygunluk dereceleri

AAT					
q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6
750.66	0.00	0.00	749.34	0.00	0.00
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
0.52	0.00	0.00	0.54	0.00	0.00

Çizelge 6.5 YAK ile elde edilen denge bağ akımları ve bağ doygunluk dereceleri

YAK					
q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6
750.60	0.00	0.00	749.40	0.00	0.00
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
0.52	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00

Çizelge 6.6 PÖ ile elde edilen denge bağ akımları ve bağ doygunluk dereceleri

PÖ					
q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6
750.39	0.00	0.00	749.61	0.00	0.00
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
0.55	0.00	0.00	0.52	0.00	0.00

Çizelge 6.3-6.6'dan görüldüğü gibi dört farklı metot ile elde edilen denge bağ trafik hacimleri ve bağ doygunluk dereceleri benzerlik göstermektedir. Ancak YAK algoritması diğer metotlar arasında en iyi performans indeksi değerini üretmesinden dolayı büyük ölçekli ulaşım ağı uygulamasında kullanılmıştır.

6.2. Allsop & Charlesworth Ulaşım Ağı Uygulaması

Bu bölümde proje kapsamında kullanılan sezgisel metotlardan en iyi performansı gösteren YAK algoritması Şekil 6.10'da verilen Allsop&Charlesworth ulaşım ağına uygulanmıştır. Söz konusu ulaşım ağı 6 düğüm ve 23 bağdan oluşmaktadır. Ulaşım ağına ait B-V talepleri, faz diyagramı ve bağ karakteristikleri Bölüm 4'de verilmiştir. YAK algoritmasında maksimum çevrim sayısı 500 ve yiyecek kaynağı sayısı (SN) 10 olarak seçilmiştir. Örnek ulaşım ağının çözümünde kullanılacak sinyal parametrelerinin alt ve üst limit değerleri aşağıda verilmiştir.

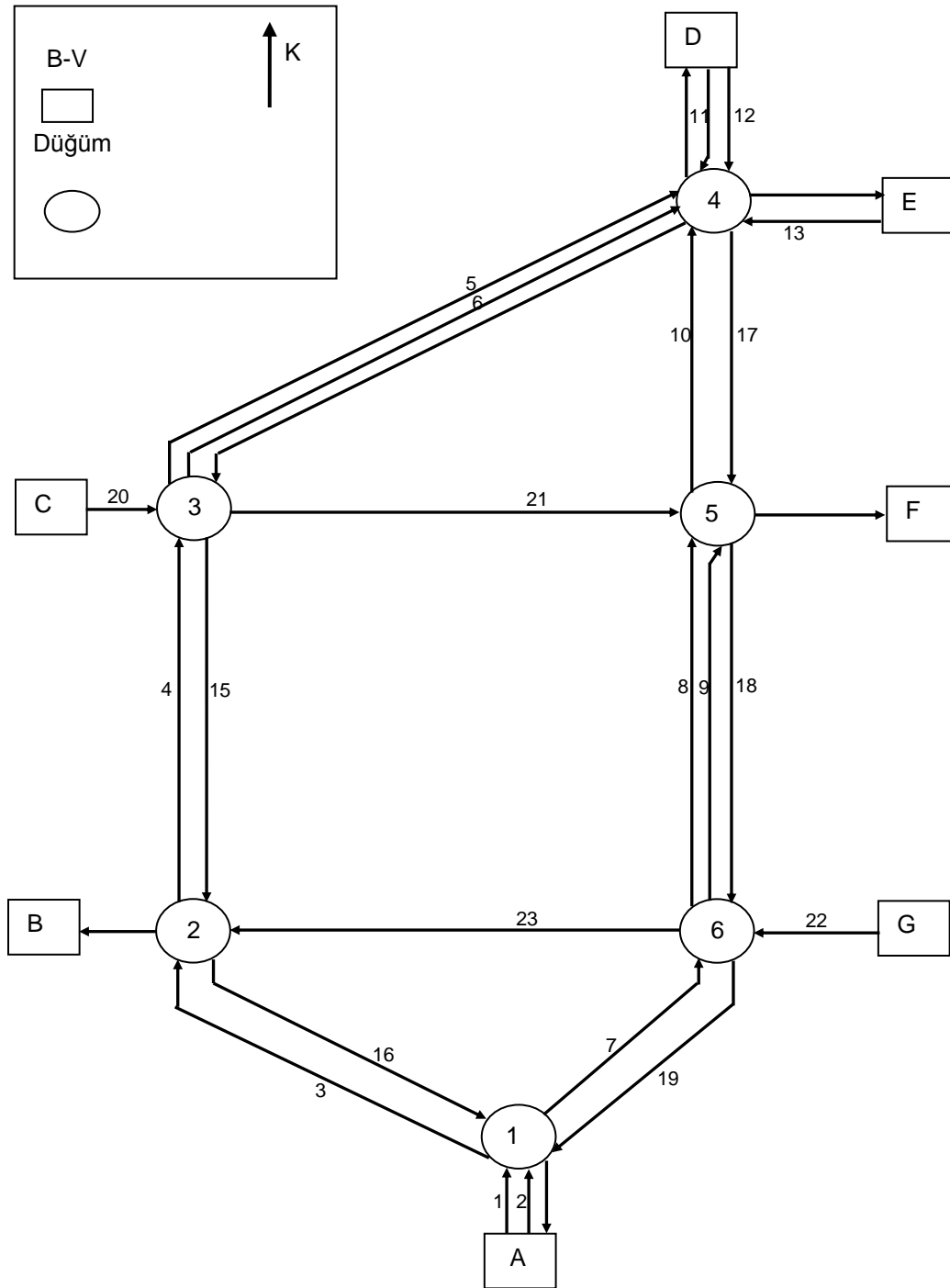
$$36 \leq c \leq 140$$

$$0 \leq \theta \leq 140$$

$$7 \leq \varphi \leq c$$

$$I = 5$$

Çizelge 6.7- 6.9'da YAK algoritmasının çalıştırılması neticesinde elde edilen denge bağ akımları, doygunluk dereceleri ve optimum sinyal süreleri verilmiştir.



Şekil 6.10 Allsop & Charlesworth Ulaşım Ağı (Başkan, 2009)

Çizelge 6.7 Denge bağ akımları (ta/sa)

Bağ no	Bağ akımı (ta/sa)	Bağ no	Bağ akımı (ta/sa)	Bağ no	Bağ akımı (ta/sa)
1	722	9	110	17	410
2	458	10	473	18	350
3	722	11	499	19	628
4	597	12	251	20	1290
5	642	13	450	21	1070
6	175	14	790	22	1250
7	458	15	790	23	846
8	473	16	662		

Çizelge 6.8 Doygunluk dereceleri

Bağ no	Doygunluk derecesi	Bağ no	Doygunluk derecesi	Bağ no	Doygunluk derecesi
1	0.40	9	0.65	17	0.90
2	0.51	10	0.99	18	0.69
3	0.37	11	0.93	19	0.74
4	0.50	12	0.29	20	0.88
5	0.56	13	0.56	21	0.69
6	0.26	14	0.66	22	0.57
7	0.86	15	0.50	23	0.92
8	0.70	16	0.68		

Çizelge 6.9 Optimum sinyal süreleri

Performans indeksi	Devre Süresi (c)	Kavşak (n)	Faz 1	Faz 2	Faz 3	θ_n
363.60	101	1	34	57	-	0
		2	62	29	-	71
		3	53	38	-	63
		4	27	22	37	99
		5	10	27	49	53
		6	30	61	-	97

YAK algoritması verilen ulaşım ağında optimum sinyal sürelerinin belirlenmesinde başarılı olmuştur. Denge durumunda ağdaki bağların doyumluk dereceleri 1'in altındadır. Projede kullanılan sezgisel optimizasyon metotlarının birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmasına karşın YAK algoritması örnek ulaşım ağındaki performansı dolayısıyla Allsop&Charlesworth ulaşım ağı uygulaması için seçilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

ABDULAAL, M., Leblanc, L.J., Continuous equilibrium network design models. *Transportation Research Part B*, 13, 19-32, (1979).

ALLSOP, R.E., *Some possibilities for using traffic control to influence trip distribution and route choice*. Transportation Traffic Theory (Proceedings of the Sixth International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Amsterdam, s. 345-374, (1974).

ALLSOP, R.E., Charlesworth, J.A., Traffic in a signal-controlled road network: an example of different signal timings including different routings. *Traffic Engineering Control*, 18: (5) 262-264, (1977).

BABAZADEH, A., Poorzahedy, H., Nikoosokhan, S., Application of particle swarm optimization to transportation network design problem, *Journal of King Saud University – Science*, 23, 293–300, (2011).

BASKAN, O., Haldenbilen, S., *Heuristic Methods for Solving Continuous Network Design Problem*. 9th International Congress on Advances in Civil Engineering, September 27-30, Trabzon, Turkey, (2010).

BAŞKAN, Ö., Haldenbilen, S., Stokastik Kullanıcı Dengesi Trafik Atama Probleminin Sezgisel Metotlar Kullanılarak Çözülmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 55-74, (2011).

BASKAN, O., Haldenbilen, S., Ceylan, H., Ceylan, H., Estimating transport energy demand using ant colony optimization, *Energy Sources Part B*, 7(2), 188-199, (2012a).

BAŞKAN, Ö., Karınca Kolonisi Optimizasyonu ile Ulaşım Ağ Tasarımı, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 140 s., (2009a).

BASKAN, O., Haldenbilen, S., Ceylan, H., Ceylan, H., A new solution algorithm for improving performance of ant colony optimization. *Applied Mathematics and Computation*, 211(1), 75-84, (2009b).

BAŞKAN, Ö., Ozan, C., Ceylan, H., Haldenbilen, S., *Modifiye Pekiştirmeli Öğrenme Yöntemi ile Fonksiyon Minimasyonu*, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, 03-04 Temmuz, KTÜ, Trabzon, sf. 6-10., (2012b).

BASKAN, O., Dell'orco, M., *Artificial bee colony algorithm for continuous network design problem with link capacity expansions*, 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, 17-19 October 2012, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, (2012).

BASKAN, O., Determining optimal link capacity expansions in road networks using Cuckoo Search algorithm with Levy Flights, *Journal of Applied Mathematics*, vol. 2013, Article ID 718015, 11 pages, (2013).

BASKAN, O., Harmony search algorithm for continuous network design problem with link capacity expansions, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(1), 273-283, (2014).

BECKMANN, M.J., McGuire, C.B., Winsten, C.B., *Studies in Economics of Transportation*. Yale University Press, New Haven, (1956).

BELL, J.E., McMullen, P.R., Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem. *Advanced Engineering Informatics*, 18, 41-48, (2004).

BELL, M.G.H., Shield, C.M., Busch, F., Kruse, G., Stochastic user equilibrium path flow estimator. *Transportation Research Part C*, 5, 197-210, (1997).

BEN-AKIVA, M., *Structure of Passenger Travel Demand Models*, Ph.D. Thesis, MIT, Cambridge, Massachusetts, (1973).

BEN-AKIVA, M., Bierlaire, M., *Discrete choice methods and their applications to short-term travel decisions*, Handbook of Transportation Science, Kluwer Academic Publishers, 5-34, (1999).

BEN-AKIVA, M., Bolduc, D., *Multinomial Probit with a Logit Kernel and a General Parametric Specification of the Covariance Structure*, Working Paper, Massachusetts Institute of Technology, (1996).

BONABEAU, B., Dorigo, M., Theraulaz, G., *Swarm intelligence: From natural to artificial systems*, Oxford University Press, New York, (1999).

CASCETTA, E., Nuzzola, A., Russo, F., Vitetta, A., *Modified Logit Route Choice Model Overcoming Path Overlapping Problems: Specification and Some Calibration Results for Interurban Networks*, In *Transportation and Traffic Theory: Proceedings of the 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Lyon, France, (1996).

CEYLAN, H., *A Genetic Algorithm Approach to the Equilibrium Network Design Problem*, PhD Thesis, University of Newcastle Upon Tyne, England, 189 p., (2002).

CEYLAN, H., Developing Combined Genetic Algorithm—Hill-Climbing Optimization Method for Area Traffic Control. *Journal of Transportation Engineering*, 132(8), 663-671, (2006).

CEYLAN, H., *Şehiriçi Ulaşım Ağlarının Armoni Araştırması Optimizasyon Tekniği İle Tasarımı*. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 130s, (2009).

- CEYLAN, H., Bell, M.G.H., Traffic signal timing optimisation based on genetic algorithm approach, including drivers' routing. *Transportation Research Part B*, 38, 329-342, (2004).
- CEYLAN, H., Bell, M.G.H., Genetic algorithm solution for the stochastic equilibrium transportation networks under congestion. *Transportation Research Part B*, 39, 169-185, (2005).
- CEYLAN, H., Ceylan, H., Haldenbilen, S., Baskan, O., Transport Energy Modeling with Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm, an Application to Turkey. *Energy Policy*, 36, 2527-2535, (2008).
- CHAN, K.W., Wong, S.C., Optimisation of fixed-time signal timings for area traffic control using genetic algorithm. *Transactions*, 6(1), The Hong Kong Institution of Engineers, 1-5, (1999).
- CHEN, A., Kim, J., Lee, S., Kim, Y., Stochastic multi-objective models for network design problem, *Expert Systems with Applications*, 37, 1608–1619, (2010).
- CHEN, A., Xu, X., Goal programming approach to solving network design problem with multiple objectives and demand uncertainty, *Expert Systems with Applications*, 39, 4160–4170, (2012).
- CHIOU, S.W., Bi-level programming for the continuous transport network design problem. *Transportation Research Part B*, 39, 361-383, (2005).
- D'ACIERNO, L., Montella, B., De Lucia, F., *A stochastic traffic assignment algorithm based on ant colony optimisation*, ANTS, LNCS 4150, 25-36, (2006).
- DAGANZO, C., Sheffi, Y., On Stochastic Models of Traffic Assignment, *Transportation Science*, 11, 253-274, (1977).
- DAVIS, G.A., Exact local solution of the continuous network design problem via stochastic user equilibrium assignment. *Transportation Research Part B*, 28, 61-75, (1994).
- DELL'ORCO, M., Baskan, O., Marinelli, M., *Artificial Bee Colony-based algorithm for optimising traffic signal timings*, Special Session on Emerging Theories and Applications in Transportation Science in 17th Online Conference on Soft Computing in Industrial Applications, December 10 - 21, (2012).
- DELL'ORCO, M., Baskan, O., Marinelli, M., A Harmony Search algorithm approach for optimizing traffic signal timings, *Promet Traffic & Transportation*, Vol.25(4), 349-358, (2013).
- DIAL, R.B., A probabilistic multipath traffic assignment algorithm which obviates path enumeration. *Transportation Research*, 5(2), 81-111, (1971).

- DICKSON, T.J., A note on traffic assignment and signal timings in a signal-controlled road network. *Transportation Research Part B*, 15(4), 267-271, (1981).
- DORIGO, M., Di Caro, G., *Ant colony optimisation: A new meta-heuristic*, Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation (2), Washington, 1470-1477, (1999).
- DORIGO, M., Maniezzo, V., Colorni, A., Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B*, 26, 29-41, (1996).
- FISK, C., Some developments in equilibrium traffic assignment. *Transportation Research Part B*, 14, 243-255, (1980).
- FISK, C., Game theory and transportation systems modelling. *Transportation Research Part B*, 18(4-5), 301-313, (1984).
- FRANK, M. Wolfe, P. An algorithm for quadratic programming. *Naval Research Logistics Quarterly*, 3, 95-110, (1956).
- GALLO, M., D'acierno, L., Montella, B., A meta-heuristic approach for solving the urban network design problem. *European Journal of Operational Research*, 201(1), 144-157, (2009).
- GAO, Z., Sun, H., Shan, L.L., A continuous equilibrium network design model and algorithm for transit systems. *Transportation Research Part B*, 38, 235-250, (2004).
- GARTNER, N.H., *Area traffic control and network equilibrium methods*. Traffic Equilibrium Methods: Proceedings of the International Symposium, Montreal, 274-297, (1974).
- GEEM, Z.W., Optimal Cost Design of Water Distribution Networks Using Harmony Search. *Engineering Optimization*, 38(3), 259-280, (2006).
- GEEM, Z.W., Kim, J-H., Loganathan, G.V., A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search. *Simulation*, 76(2), pp. 60-68, (2001).
- GERSHWIN, S.B., Tan, H.N., *Hybrid optimization: optimal static traffic control constrained by drivers' route choice behaviour*. Laboratory for Information and Decision System Report LIDS, Massachusetts Institute of Technology, 870s, (1979).
- GUNTSCH, M., Middendorf, M., *Applying Population Based ACO to Dynamic Optimization Problems*, ANTS 2002, LNCS 2463, s. 111-122, (2002).
- GUOJIANG, Z., Jian, L., Genetic algorithm for continuous network design problem. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 7(1), 101-105, (2007).

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., 104-112, (1993).

HEYDECKER, B.G., A decomposed approach for signal optimisation in road networks, *Transportation Research Part B*, 30(2), 99-114, (1996).

HUNT, P.B., Robertson, D.I., Bretherton, R.D., Royle, M.C., The SCOOT on-line traffic signal optimisation technique. *Traffic Engineering and Control*, 23, 190-192, (1982).

JIN, Y., Meng, X., Ziyou, G., Sensitivity analysis of simulated annealing for continuous network design problems. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 9(3), 64-70, (2009).

KARABOGA, D., *An idea based on honeybee swarm for numerical optimization*. Technical Report TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Turkey, (2005).

KARABOĞA, D., *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*, Nobel Yayın, ISBN:978-605-395-434-7, (2011).

KARABOGA, D., Basturk, B., A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. *Journal of Global Optimization*, 39, 459–471, (2007a).

KARABOGA, D., Basturk, B., *Artificial bee colony (ABC) optimization algorithm for solving constrained optimization problems*. Lecture Notes in Artificial Intelligence 4529, 789–798, Springer-Verlag, Berlin, (2007b).

KARABOGA, D., Basturk, B., On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm. *Applied Soft Computing*, 8, 687–697, (2008).

KIM, J.H., Geem, Z.W., Kim, E.S., Parameter Estimation of the Nonlinear Muskingum Model using Harmony Search. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(5), 1131-1138, (2001).

KUAN, S.N., Ong, H.L., Ng, K.M., Solving the feeder bus network design problem by genetic algorithms and ant colony optimisation. *Advances in Engineering Software*, 37, 351-359, (2006).

LEBLANC, L.J., An algorithm for the discrete network design problem. *Transportation Science*, 9, 183-199, (1975).

LIM, Y., Heydecker, B.G., Lee, S., A continuous network design model in stochastic user equilibrium based on sensitivity analysis. *Journal of Advanced Transportation*, 39(1), 63-79, (2005).

- LITTLE, J., Kelson, M., Gartner, N., MAXBAND: a program for setting signals on arteries and triangular networks, *Transportation Research Record*, National Research Council, Washington DC, 40-46, (1981).
- LOWRIE, P.R., *SCATS principles, methodology, algorithm*. IEE conference on road traffic signaling, London, 67-70, (1982).
- LUCIC, P., Teodorovic, D., *Vehicle routing problem with uncertain demand at nodes: the bee system and fuzzy logic approach*. In: Vergeday, J.L. (Ed.): *Fuzzy Sets in Optimization*. Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin, 67-82., (2003).
- LUK, J., Two traffic-responsive area traffic control methods: SCATS and SCOOT. *Traffic Engineering and Control*, 25(1), 17-18, (1984).
- MCFADDEN, D., Modeling The Route Choice of Residential Location. *Transportation Research Record*, 673, 72-77, (1978).
- MCTRANS, TRANSYT-7F Users Guide, Release 11.3, McTrans Center, University of Florida, Gainesville, Florida, (2008).
- NGUYEN, S., An algorithm for the traffic assignment problem. *Transportation Science*, 8, 203-216, (1974).
- OPPENHEIM, N., *Urban Travel Demand Modeling: From Individual Choices to General Equilibrium*. John Wiley & Sons, Inc., New York, (1995), Pp: 480.
- ORTUZAR, J.D., Willumsen, L.G., *Modelling Transport* (2nd Edition). John Wiley and Sons, Chichester, (1994)., Pp: 433.
- OZAN, C., *İyileştirilmiş Pekiştirmeli Öğrenme Yöntemi ve Dinamik Yükleme ile Kentiçi Ulaşım Ağlarının Tasarımı*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 140 s, (2012).
- POORZAHEDY, H., Abulghasemi, F., Application of Ant system to network design problem. *Transportation*, 32, 251-273, (2005).
- POORZAHEDY, H., Rouhani, O.M., Hybrid meta-heuristic algorithms for solving network design problem. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 578-596, (2007).
- POORZAHEDY, P., Turnquist, M. A., Approximate algorithms for the discrete network design problem. *Transportation Research Part B*, 16, 45-56, (1982).
- PUTHA R., Quadrifoglio L., Zechman E., Comparing ant colony optimization and genetic algorithm approaches for solving traffic signal coordination under oversaturation conditions, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 26, 1-15, (2001).

ROBERTSON, D.I., TRANSYT: a traffic network study tool. RRL Report, LR 253, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, (1969).

ROBERTSON, D.I., Bretherton, R.D., Optimizing networks of traffic signals in real-time: the SCOOT method. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 40(1), 11-15, (1991).

SAKA, M.P., Optimum design of steel sway frames to BS5950 using harmony search algorithm. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(1), 36-43, (2009).

SHEFFI, Y., *Urban Transport Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA, (1985), Pp: 399.

SHEFFI, Y., Powell, W., A comparison of stochastic and deterministic traffic assignment over congested networks. *Transportation Research Part B*, 15, 53-64, (1981).

SIMS, A., *The Sydney coordinated adaptive traffic system*. Proceedings of the ASCE engineering foundation conference on research priorities in computer control of urban traffic systems, 12-27, (1979).

SMITH, M.J., The existence, uniqueness and stability of traffic equilibria. *Transportation Research Part B*, 13(4), 295-304, (1979).

SUNG, K., Bell, M.G.H., *A genetic algorithm to optimise signal phasing in area traffic control*. EASTS conference, Soul, (1997).

SUTTON, R.S., Barto, A.G., *Reinforcement learning: An introduction*. Cambridge, Massachusetts, USA/London, England: The MIT Press, (1998).

SUWANSIRIKUL, C., Friesz, T.L., Tobin, R.L., Equilibrium decomposed optimization: a heuristic for the continuous network design problem. *Transportation Science*, 21(4), 254-263, (1987).

TEODOROVIC, D. Dell'Orco, M., *Bee colony optimization—a cooperative learning approach to complex transportation problems*, 10th EWGT Meeting, in: Poznan, September 3-16, 2005, (2005).

TEODOROVIC, D. Dell'Orco, M., Mitigating Traffic Congestion: Solving the Ride-Matching Problem by Bee Colony Optimization. *Transportation Planning and Technology*, 31(2), 135-152, (2008).

TOKSARI, M.D., A heuristic approach to find the global optimum of function. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 209, 160-166, (2007a).

TOKSARI, M.D., Ant colony optimization approach to estimate energy demand of Turkey. *Energy Policy*, 35, 3984-3990, (2007b).

TRB, Special Report 209, Highway Capacity Manual (TRB press Washington D C), 825-860. Van Vliet, D. (1976). Road Assignment-I, II. *Transportation Research*, 10 (3), 137-149, (2000).

VANHULSEL, M., Janssens, D., Wets, G., Vanhoof, K., Simulation of sequential data: An enhanced reinforcement learning approach, *Expert Systems with Applications*, 36, 8032-8039, (2009).

VARIA, H.R., Dhingra, S.L., Dynamic optimal traffic assignment and signal time optimization using genetic algorithms. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 19, 260-273, (2004).

WARDROP, J., Some theoretical aspect of road traffic research, *Proceedings Institute Civil Engineers Part II*, 325-378, (1952).

WEBSTER, F.V. Cobbe, B.M., Traffic Signals. Ministry of Transport, Road Research technical paper No. 56, London, HMSO, (1966).

WONG, S.C., Group-based optimisation of signal timings using the TRANSYT traffic model. *Transportation Research Part B*, 30(3), 217-244, (1996).

XU, T., Wei, H., Hu, G., Study on continuous network design problem using simulated annealing and genetic algorithm. *Expert Systems and Applications*, 36, 1322-1328, (2009).

YANG, S., Rui, S., Shiwei, H., Qiang, C., Mixed transportation network design based on immune clone annealing algorithm. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 9(3), 103-108, (2009).

YU, B., Yang, Z., *Optimizing bus transit network with parallel ant colony algorithm*, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 374–389, (2005).

ZHAO, J.H., Liu, Z., Dao, M., Reliability optimization using multi objective ant colony system approaches. *Reliability Engineering and System Safety*, 92, 109-120, (2007).

ZIXIAO, W., *Motorized and non-motorized transport systems: Modeling and Optimisation*, PhD Thesis, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, (2004).