

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SEYAHAT TALEP MATRİSİNİN DOĞRUDAN TAHMİNİNDE
KALİBRASYON YÖNTEMLERİNİN SINANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KEMAL YASİN GÖKA

DENİZLİ, HAZİRAN - 2019

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



SEYAHAT TALEP MATRİSİNİN DOĞRUDAN TAHMİNİNDE
KALİBRASYON YÖNTEMLERİNİN SINANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KEMAL YASİN GÖKA

DENİZLİ, HAZİRAN - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Kemal Yasin GÖKA tarafından hazırlanan “Seyahat Talep Matrisinin Doğrudan Tahmininde Kalibrasyon Yöntemlerinin Sınanması” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 20.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Halim CEYLAN

Üye
Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN

Üye
Prof. Dr. Serhan TANYEL

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26/06/2019 tarih ve 26/10 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Kemal Yasin GÖKA



ÖZET

**SEYAHAT TALEP MATRİSİNİN DOĞRUDAN TAHMİNİNDE
KALİBRASYON YÖNTEMLERİNİN SINANMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KEMAL YASİN GÖKA
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. HALİM CEYLAN)**

DENİZLİ, HAZİRAN - 2019

20. yüzyılda ulaşım araçlarının kolay erişilebilir olması ve kentlerdeki nüfus yoğunluğunun artması ile yüksek maliyetli ulaşım yatırımlarında da ciddi bir artış meydana gelmiştir. Dolayısı ile yatırımların etkili bir şekilde planlanması amacıyla mühendisler ve şehir plancıları tarafından çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar 20. yüzyılın ikinci yarısına kadar yatırım planlanmasına yönelik uygulanmıştır. Ancak problemin doğası gereği, arzın yeni talepler yaratması ve mevcut imkanların talebi karşılayamamasından dolayı, yerel yönetimler, sorunları parça parça çözmekten çok, sorunlara yol açan sebepleri stratejik misyonlar çerçevesinde çözmeyi hedeflemiştir. Bu sebeple ulaşım talebinin tahmini için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiş ve uygulanan yaklaşımlardan başlıcası “Dört Aşamalı Ulaşım Planı” olmuştur. Bu sistem, toplamda ne kadar seyahatin olduğunu söyleyen “Seyahat Üretimi”, seyahatlerin nereden nereye gerçekleştiğini söyleyen “Seyahat Dağılımı”, seyahatlerin hangi ulaşım türü ile yapıldığını söyleyen “Türel Ayrım” ve seyahatlerin hangi rotalarda seyrettiğini söyleyen “Trafik Ataması” aşamalarından oluşmaktadır. Yöntem makro planlarda veya büyük ölçekli yatırım planlarında dünya üzerinde başarılı olarak görülürken her bir aşamanın kendi içerisinde yüksek maliyet, işgücü ve girdiye ihtiyaç duyması aşamalar arasında taşınımlı gelişen belirsizlik ve hatalara sebebiyet vererek sistemi kararsız hale getirebilmektedir. Gelenekselleşmiş bu yöntemin anılan eksiklikleri dolayısıyla talebin daha az maliyet veya işgücü ile elde edilmesi çalışılmalı bir konu olmuştur. Konu ile ilgili geliştirilen yöntemlerin başlıcası ise talep tahmininde trafik sayımlarını kullanan uygulamalar olmuştur. Amaç doğrultusunda trafik sayımları yol parçalarında, perde hatlarında veya kavşaklarda gerçekleştirilebilmektedir. Test ağlarında veya durum çalışmalarında denenen yöntemlerin, problemin çözümünde başarılı sonuçlar verdiği, bununla beraber seyahat üretimi veya yaklaşık talep matrisi gibi çeşitli başlangıç bilgilerine ihtiyacın gerekebileceği kaydedilmiştir. Literatürde en çok denenen yöntem bu amaçta talebin bağ hacimlerinden elde edilmesi olmuştur. Tez çalışması kapsamında literatürdeki eksiklikleri gidermek ve gelecek çalışmalara ışık tutmak amacıyla doğrudan talep tahmininde kullanılan gözlem türlerinden bağ trafik sayımları ve kavşak dönüş hareketleri sayımlarının problemin çözümündeki başarımları karşılaştırılmış, tahminde etkili olan yöntemin, şartlı başlangıç bilgisinin ve yeterli gözlem adedinin belirlenmesi amacıyla kullanılan test ağı çerçevesinde senaryolar geliştirilmiş ve geliştirilen modeller sonucunda uygulamaya da yönelik birtakım öneriler sunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Talep Tahmini, B-V Matrisi, Dört Aşamalı Ulaşım Planı, Seyahat Dağılımı, Entropi Maksimizasyonu, Trafik Sayımı, PTV Visum

ABSTRACT

EXAMINATION OF CALIBRATION METHODS FOR DIRECT ESTIMATION OF TRIP DEMAND MATRIX

MSC THESIS

KEMAL YASİN GÖKA

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR:PROF. DR. HALİM CEYLAN)

DENİZLİ, JUNE 2019

In the 20th century, due to the easy accessibility of the transportation vehicles and the increase in the population density in the cities, a significant increase has occurred in the high-cost transportation investments. Therefore, various approaches have been developed by engineers and city planners in order to plan investments effectively. These approaches were applied to investment planning until the second half of the 20th century. However, due to the nature of the problem, because of the fact that the investments create new demands and the existing facilities are inadequate, local governments have aimed to solve the problems in the frame of strategic missions rather than solve the problems in a fragmented way. For this reason, various approaches have been developed for the estimation of demand and the Fourth Stage Transportation Plan has been the most applied approach. This system consists of the stages of “Trip Production”, which tells how much travels are in total, “Trip Distribution”, which states where trips take place, “Modal Split”, which tells the transport modes of travels and “Traffic Assignment” which tells the routes of trips. While the method is used globally in macro plans or large scale investment plans, the need for high costs, labor and inputs can lead to uncertainties and errors that develop in a convective manner between stages, thus the system may become unstable. Due to the aforementioned shortcomings of this traditional method, it is a working issue to obtain the demand with less cost or labor. The most developed methods related to the subject were the applications using traffic counts in demand estimation. In line with the aim, traffic counts can be carried out on road parts (links), screenlines or intersections. It has been noted that the methods tested in the test networks or case studies give successful results in solving the problem, however, it may be necessary to require various initial information such as travel production or approximate demand matrix. The most commonly used method in the literature was to obtain the demand from the link volumes for this purpose. Within the scope of the thesis study, in order to eliminate the deficiencies in the literature and to shed light on future studies, count traffic volumes on links and intersection turning movements were used in demand estimation, within the framework of the test network used, scenarios were develop for determining the efficient method, sufficient observation numbers and conditional initial informations that are effective in solving the problem, and some suggestions for implementation were presented as a result of the models.

KEYWORDS: Direct Demand Estimation, O-D Matrix, Four Step Demand Modelling, Trip Distribution, Entropy Maximization, Traffic Count, PTV Visum

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş	1
1.2 Problemin Tanımı	3
1.3 Amaç	3
1.4 Yöntem	4
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	5
2.1 Giriş	5
2.2 Ulaşım Planlaması	6
2.2.1 Seyahat Üretimi	9
2.2.2 Seyahat Dağılımı.....	12
2.2.3 Türel Ayrım	16
2.2.4 Trafik Ataması	20
2.3 Gözlem Verileri ile Talep Tahmini	25
2.4 Sonuç	37
3. ÖNERİLEN MODELİN UYGULAMASI	39
3.1 Giriş	39
3.2 Ağ Tasarımı	40
3.3 Matematiksel Formülasyon	52
3.4 Örnek Uygulama	59
3.4.1 Bağ Trafik Hacimlerinin Karşılaştırılması	66
3.4.2 Seyahat Süresi Dağılımlarının Karşılaştırılması.....	66
3.4.3 Başlangıç-Variş Matrislerinin Karşılaştırılması	67
3.5 Sonuç	67
3.5.1 Şartlı Başlangıç Bilgisiz Çözüm (S-I)	68
3.5.2 Bir Şartlı Başlangıç Bilgisi ile Çözüm (S-II).....	69
3.5.3 İki Şartlı Başlangıç Bilgisi ile Çözüm (S-III)	70
4. SONUÇLAR	71
4.1 Öneriler.....	73
5. KAYNAKLAR	74
6. ÖZGEÇMİŞ	78

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Planlamada klasik yöntemler akış şeması	6
Şekil 2.2: Seyahat Üretimi'nin amacı	10
Şekil 2.3: Örnek talep dağılım matrisi	12
Şekil 2.4: Seyahat Dağılımı'nın amacı	13
Şekil 2.5: Bazı direnimsel fonksiyon yapıları (ICPSR, 2010)	15
Şekil 2.6: Türel Ayrım'ın amacı	17
Şekil 2.7: Türel Ayrım seçim ağacı	17
Şekil 2.8: Trafik Ataması'nın amacı	21
Şekil 2.9: İkili rota seçiminde alternatif yaklaşımlar (Watling, ve diğ., 2018)	24
Şekil 2.10: Robillard (1975) tarafından kullanılan test ağı	27
Şekil 2.11: Nguyen (1977) test ağı	29
Şekil 2.12: Carey ve diğ. (1981) tarafından kullanılan test ağı	30
Şekil 2.13: Nihan ve Davis (1987) tarafından kullanılan yol kesimi	31
Şekil 2.14: Cao ve diğ. (2004) haberleşme test ağı	34
Şekil 2.15: Chen ve diğ. (2007) test ağındaki perde hatları konumları	35
Şekil 2.16: Kavşak dönüş hareketlerinin sistem etkisi	35
Şekil 3.17: Ceylan (2002) test ağının temel düzeni	41
Şekil 3.18: Ceylan (2002) test ağındaki altı kavşakta faz düzenleri	42
Şekil 3.19: Test ağının atama düzeninde izin verilen hareketler	43
Şekil 3.20: Test ağının yazılıma entegre edilmesi	46
Şekil 3.21: Test ağındaki kavşakların yazılımda temsil edilmesi	47
Şekil 3.22: Test ağındaki bağların yazılımda temsil edilmesi	48
Şekil 3.23: Test ağındaki analiz bölgelerinin yazılımda temsil edilmesi	49
Şekil 3.24: Bağ kesitlerinin yazılımda temsil edilmesi	50
Şekil 3.25: Bulanık düzen dağılım üyeli fonksiyonu	57
Şekil 3.26: Bulanık düzen örnek üyeli fonksiyonu formu	57
Şekil 3.27: Bazı denge seyahat sürelerinin hacimsel dağılımı	63
Şekil 3.28: Artan maliyetlere göre değişen seyahatlerin genel seyri	64
Şekil 3.29: S-I talep matrisi tahmini hataları	68
Şekil 3.30: S-I seyahat süresi dağılımı tahmini hataları	68
Şekil 3.31: S-I bağ trafik tahmini hataları	68
Şekil 3.32: S-II talep matrisi tahmini hataları	69
Şekil 3.33: S-II seyahat süresi dağılımı tahmini hataları	69
Şekil 3.34: S-II bağ trafik tahmini hataları	69
Şekil 3.35: S-III talep matrisi tahmini hataları	70
Şekil 3.36: S-III seyahat süresi dağılımı tahmini hataları	70
Şekil 3.37: S-III bağ trafik tahmini hataları	70

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Deney düzeneği.....	4
Tablo 3.2: Test ağındaki bağlar arasındaki ilişki	44
Tablo 3.3: Test ağında analiz bölgeleri arasındaki seyahat talebi.....	45
Tablo 3.4: Bağ başlangıç seyahat süreleri ve kapasiteleri (doygun akım)	45
Tablo 3.5: Test ağındaki optimum sinyal süreleri.....	51
Tablo 3.6: Kavşaklardaki etkin yeşil sürelerin oranı.....	52
Tablo 3.7: Sinyal planlarının uygulanmasından sonra bağ kapasiteleri.....	52
Tablo 3.8: Çalışmada kullanılan etki matrisi	58
Tablo 3.9: Baz başlangıç seyahat süreleri (sn).....	59
Tablo 3.10: Baz denge seyahat süreleri (sn)	59
Tablo 3.11: Baz bağ hacimleri (taşıt)	60
Tablo 3.12: Baz kesit hacimleri (taşıt)	60
Tablo 3.13: Baz kavşak dönüş hacimleri (taşıt)	60
Tablo 3.14: %90 güven aralığında gerekli anket sayıları.....	61
Tablo 3.15: Baz denge seyahat sürelerinin talep dağılımı	63
Tablo 3.16: Deney düzeneği.....	65

ÖNSÖZ

Tez çalışmaları sırasında denk geldiğim, eğitim tartışmalarının yer aldığı bir televizyon programında İstanbul Teknik Üniversitesi'ndeki bir kültürden bahsediliyordu. Herhangi bir başarı sağlamış bir öğrencinin etrafında kurulan bir koruma kalkanı söz konusu idi. Bu kalkan, öğrenciyi tecrübesizliğinden ve bilgisizliğinden dolayı yaptığı hatalardan onu koruyordu...

Hala varlığını hissettiğim bu kalkan, henüz hiçbir başarımın olmadığı küçük yaşlarımdan itibaren benim için ailem tarafından kurulmuştu. Bundan dolayı öncelikle beni koşulsuz şartsız destekleyen aileme çok teşekkür ederim.

Beni ulaştırma alanına yönlendiren Doç. Dr. Hakan Güler ve Dr. Öğr. Üyesi Hakan Aslan'a, yanında çalıştığım bir sene boyunca bana mühendisliği öğreten, abim olarak gördüğüm Doç. Dr. Hüseyin Ceylan'a, beynimizi zorlayan derslerinin yanında bize her zaman yardımcı olan Doç. Dr. Özgür Başkan'a, bana içselleştirdiğim hayat tavsiyeleri veren Öğr. Gör. Bülent Şahan'a, olağandışı tüm fikirlerimi saygıyla ve bıkmadan dinleyen Prof. Dr. Yetiş Şazi Murat'a, şiir gibi derslerini dinlemekten büyük keyif aldığım, bana farklı bakış açıları kazandıran Dr. Yıldırım Oral'a, üslubu ve konu yaklaşımlarını örnek aldığım Prof. Dr. Aşkiner Güngör'e, iş arkadaşından ziyade çalışma arkadaşı olarak gördüğüm, birlikte çalışmaktan büyük zevk ve onur duyduğum Doç. Dr. Olcay Polat ve Dr. Öğr. Üyesi Görkem Gülhan'a, ilk uluslararası kongre sunumumda beni yalnız bırakmayıp bana destek olan ve yol gösteren Prof. Dr. Serhan Tanyel'e ve artık çalışma arkadaşlarımdan ziyade ailem olarak gördüğüm, benim etrafımda bir başka kalkan kuran iki insana, fikirleri ile ufukumuzu genişleten Prof. Dr. Soner Haldenbilen ile yanımızdayken her şeyi yoluna koyan ve danışmanım olan Prof. Dr. Halim Ceylan'a çok teşekkür ederim.

Çalışmanın ortaya çıktığı yıllar boyunca varlıklarını eksik hissetmediğim ve beraber çok güzel zamanlar geçirdiğim tüm arkadaşlarıma ve ablalarım olan halalarıma, son olarak,

Beni bulduğum şehire ait hissettiren ve hiçbir zaman yalnız bırakmayan, bırakmayacak, kalbimde sonsuza kadar yerini koruyacak olan, teyzem Müzeyyen Alkan'a çok teşekkür ederim.

Müzeyyen Alkan'a...

1. GİRİŞ

1.1 Giriş

20. yüzyılda ulaşım araçlarının kolay erişilebilir olması ve kentlerdeki nüfus yoğunluğunun artması ile yüksek maliyetli ulaşım yatırımlarında da ciddi bir artış meydana gelmiştir. Anılan yatırımların maliyetlerinin kontrol altına alınabilmesi ve etkili bir şekilde planlanması amacıyla mühendisler ve şehir mimarları tarafından bazı planlama yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar 20. yüzyılın ikinci yarısına kadar belirli bir bölgedeki yatırımların etkin bir şekilde planlanmasına yönelik olarak yapılmaktaydı. Ancak problemin doğası gereği, arzlar yeni talepler yarattığından veya mevcut talebin karşılanamamasından dolayı yerel yönetimler, sorunları parça parça çözmekten çok, sorunlara yol açan sebepleri stratejik misyonlar çerçevesinde çözmeyi amaçlamıştır. Bu sebeple Chicago bölgesinde çalışılan alanın bütününe ele alan makro ulaşım planı çalışmaları başlamıştır (CATS). Çalışmalar boyunca geliştirilen ve belirlenen bölgedeki talebin tahminine yönelik uygulamalar dört aşamalı ulaşım planı veya dört aşamalı talep tahmini olarak adlandırılmıştır. Bu aşamalar; analiz bölgelerinde ne kadar seyahatin oluştuğunu, seyahatlerin hangi bölgeler arasında dağıldığını, bunların hangi ulaşım türleri ile gerçekleştiğini ve son olarak gerçekleşen seyahatlerin hangi rotaları kullandığını bulmaya yönelik uygulamalar olmuştur.

Seyahat üretimi, seyahat dağılımı, türel ayırım ve trafik atamasından oluşan dört aşamalı ulaşım planının uygulamaları yüksek miktarda saha verisine ihtiyaç duymaktadır. Saha çalışmaları genellikle amaçlarıyla beraber, dışsal trafiğin kestirimine dayalı yol kenarı anketleri, seyahat karakteristiklerini ölçmeye dayalı hane halkı anketleri, modelin kalibrasyonu ve validasyonunda kullanılan trafik sayımları ve bazı özel durumlarda, bölge otoriteleri ile gerçekleştirilen nitelikli görüşmeler ile konu hakkında bilgi sahibi olan katılımcılar ile beraber oluşturulan çalıştaylar olmaktadır.

Seyahat talebinin tahminine yönelik uygulanan yüksek maliyet ve işgücü gerektiren ve bu sebeple kararsızlaşabilen dört aşamalı ulaşım planının bu yöndeki eksikliklerini tamamlamak amacıyla geliştirilen yaklaşımların başlıcası; talebin, ulaşım ağındaki trafik sayımlarını kullanarak tahmini yönünde olmuştur.

Geliştirilen yöntemlerde analiz bölgeleri arasındaki talep farklı gözlem verileri ile tahmin edilebilmektedir. Bu kapsamda gözlemler, yol parçaları üzerinde gerçekleştirilen sayımlar, birkaç yol parçasını kesen perde hatlarında gerçekleştirilen sayımlar veya kavşaklardaki dönüş bağlarında gerçekleştirilen sayımlar olabilmektedir.

Konu ile ilgili çalışmaların büyük bir bölümünde yol parçalarında gerçekleştirilen sayımlar kullanılmıştır. Bununla beraber literatürde az sayıda perde hattı gözlemi ve kısıtlı sayıda kavşak dönüş hareketlerinin gözlemi yöntemi ile uygulanan talep tahmini çalışmaları mevcuttur. Klasik dört aşamalı ulaşım planının alternatifi olarak geliştirilen ve talebin tahmininde geleneksel yöntemlere göre daha az sayıda çalışma ve daha düşük maliyet vadeden trafik sayımı yöntemleri kendi içerisinde çeşitlenmektedir. Araştırmalar bu kapsamda test ağlarında veya çalışma bölgelerinde uygulanan yöntemlerde tutarlı ve hata oranı düşük sonuçlar vermiştir. Bununla beraber uygulanan yöntemlerden bazıları, gözlem verilerine ek olarak bazı başlangıç bilgilerine veya kısıtlarına ihtiyaç duymaktadır. Başlangıç bilgileri veya kısıtları, analiz bölgelerindeki seyahat üretim-çekim değerleri veya yaklaşık talep matrisi olabilmektedir.

Tez çalışması kapsamında, talebin gözlem verilerinden tahmini probleminin çözümünde literatürdeki ve uygulamadaki eksiklikleri gidermek adına iki farklı yöntem ile iki farklı şartlı başlangıç bilgisi kullanılmıştır. Yöntemler, talebin bağ hacimlerinden ve kavşak dönüş hacimlerinden tahmin edilmesi iken, seyahat üretim-çekimi ve seyahat süresi dağılımı şartlı başlangıç bilgileri olarak ele alınmıştır. Problemin çözümünde 42 adet senaryo geliştirilmiş ve her bir senaryonun modelde çalıştırılması sonucunda yöntemler ve yöntemlerin kullandığı şartlı başlangıç bilgilerinin etkileri karşılaştırılmıştır. Uygulamaya da yönelik olarak tasarlanan çalışmalar neticesinde, kabul edilebilir hata sınırları içerisinde kalan uygun yöntemin, şartlı başlangıç bilgilerinin ve gerekli gözlem sayısının bulunması amaçlanmıştır.

Çalışmada giriş bölümünün yanında 3 adet ana başlık bulunmaktadır. 2. Bölüm’de konu ile ilgili çalışmalar özetlenmiş, 3. Bölüm’de ise çalışma kapsamında geliştirilen model açıklanmıştır. 4. Bölüm’de ise senaryoların modelde çalıştırılması sonucunda elde edilen bilgiler karşılaştırılmış ve bazı öneriler sunulmuştur.

1.2 Problemin Tanımı

Geleneksel talep tahmini yöntemlerinin maliyet ve işlem sayısı büyüklüğü eksikliklerini gidermek adına geliştirilen trafik sayımları ile talebin tahmini yöntemlerinin kendi içerisinde bazı avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Yöntemin avantajları, saha çalışmalarında düşük maliyet, kalibrasyon ve validasyon sonuçlarında yüksek performans olarak sayılabilir. Uygulamalarda genellikle sistemin bir başlangıç bilgisine veya kısıtına ihtiyaç duyması ve elde edilen talep matrisinin tek bir çözümü olmaması ise yöntemin dezavantajları olarak tanımlanabilir. Dolayısı ile çalışma kapsamında problemin çözümünde uygulanan yöntemlerin tutarlılığı, uygun kullanım senaryoları ve ihtiyaç duyduğu başlangıç bilgileri veya kısıtları tartışılmıştır.

1.3 Amaç

Literatürde, trafik sayımlarından yararlanılarak talebin tahmin edilmesi probleminde kullanılan başlıca yöntem, yol parçaları üzerindeki trafiğin sayımı olarak gelişmiştir. Bu kapsamda ulaşım ağındaki yol parçalarında gözlenen trafik, sayım verileri ile elde edilen talep matrisinin ağa atanması sonucu oluşan modellenen trafik ile karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucunda model ve gözlem verileri arasındaki hata oranının kabul edilebilir sınırlar içinde kalması, model sonucunda oluşan talep matrisinin de uygulamada kullanılabilir olacağı anlamına gelmektedir.

Çalışmada, literatür ve uygulamadaki eksiklikleri gidermek ve gelecek çalışmalara ışık tutmak amacıyla trafik gözlemleri ile doğrudan talep tahmininde kullanılabilen bağ hareketleri ile kavşak dönüş hareketleri modellerinin karşılaştırılması ana çatıyı oluşturmaktadır. Sadece sayım verileri ile elde edilen talep matrislerinin eksik kalabileceği düşünüldüğünden, bazı şartlı başlangıç bilgileri de sisteme dahil edilmiştir. Böylelikle sayım verileri ile doğrudan talep tahmini için kullanılacak uygun gözlem modeli ile gerekli şartlı başlangıç bilgilerinin önerilmesi amaçlanmıştır. Birincil önceliği geleneksel ulaşım planlarındaki maliyetleri ve işlem yükünü düşürmek olan yöntemlerin, çalışma kapsamında tasarlanan aşamalı uygulamaları sonucunda, gerekli gözlem sayısının elde edilmesi de hedefler arasındadır.

1.4 Yöntem

Uygulama çerçevesinde geleneksel seyahat dağılım ve davranış normlarının dışında sayılabilecek bir sistemin ele alındığı test ağından faydalanılmıştır. Böylelikle, uygun yöntemin, gerekli şartlı başlangıç bilgisinin ve gözlem sayısının test edilmesi kapsamında zorlayıcı bir ağ kullanılarak yöntemlerin sağlıklı bir şekilde karşılaştırılması amaçlanmıştır. Test ağının ve problemin çözümü için bir ulaşım makro analiz yazılımı olan PTV Visum bilgisayar programından yararlanılmıştır.

Çalışmada kavşak gözlemi ve bağ gözlemi olmak üzere iki yöntem, seyahat üretim-çekimi ve seyahat süresi dağılımı olmak üzere iki şartlı başlangıç bilgisi kullanılmıştır. Kullanılan ağda yol parçalarını ifade eden sekiz adet kesit ve bağ kesişimlerini ifade eden altı adet ana kavşak bulunmaktadır. Bağ ve kavşak modellerinin karşılaştırıldığı uygulamada en yüksek baz trafik hacmine sahip elemandan başlanıp sırası ile yığınsal olarak kullanılan gözlem sayısı artırılmıştır. Her bir denemede sırası ile yine yığınsal olarak, sayım verileri, seyahat üretim-çekim şartlı başlangıç bilgisi ve seyahat süresi dağılımı şartlı başlangıç bilgisi kullanılmış ve böylelikle toplamda Tablo 1.1’de verilen 42 adet senaryo oluşturulmuştur.

Tablo 1.1: Deney düzeneği

Yöntem	Deneme No*	Kullanılan Gözlem Sayısı**	Senaryolar (a, b, c)***		
			S-I	S-II	S-III
Bağ	B-I	1	a	a&b	a&b&c
	B-II	2	a	a&b	a&b&c
	B-III	3	a	a&b	a&b&c
	B-IV	4	a	a&b	a&b&c
	B-V	5	a	a&b	a&b&c
	B-VI	6	a	a&b	a&b&c
	B-VII	7	a	a&b	a&b&c
	B-VIII	8	a	a&b	a&b&c
Kavşak	K-I	1	a	a&b	a&b&c
	K-II	2	a	a&b	a&b&c
	K-III	3	a	a&b	a&b&c
	K-IV	4	a	a&b	a&b&c
	K-V	5	a	a&b	a&b&c
	K-VI	6	a	a&b	a&b&c

* (B), bağ denemelerini, (K), kavşak denemelerini ifade etmektedir.
** En yüksek hacim sırasına göre
*** a) Gözlem verilerinin kullanılması
b) Seyahat üretim-çekimi şartlı başlangıç bilgisinin kullanılması
c) Seyahat süresi dağılımı şartlı başlangıç bilgisinin kullanılması

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Giriş

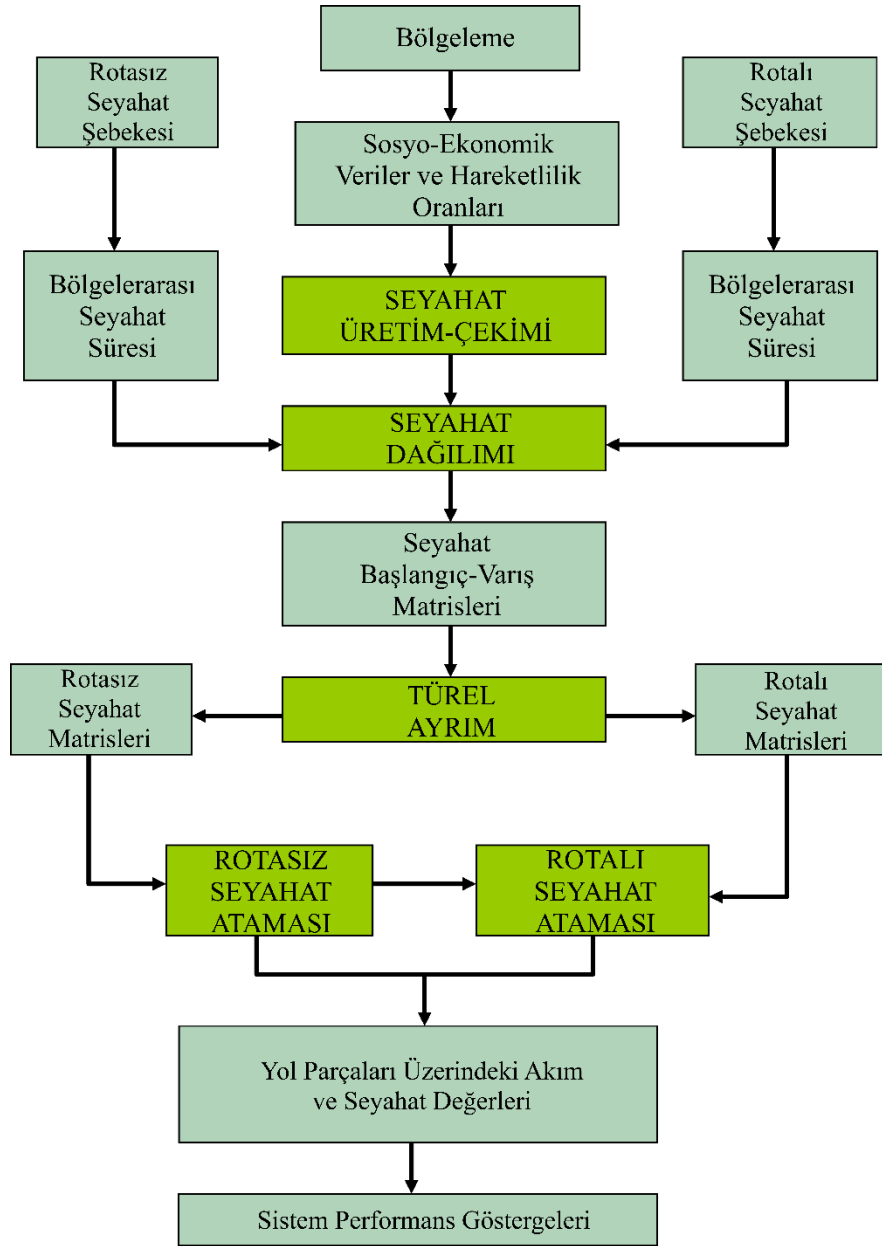
Ulaştırma planlamasının temel amacı, kentsel bölgeler için verimli ve dengeli bir ulaşım sisteminin tasarımı için planlar geliştirmektir (Schofer & Levin, 1967).

20. yüzyılın ilk yarısında ulaşım planları seyahat modelleri içermemekle birlikte belirli bir bölgedeki yatırımların etkin bir şekilde tasarlanmasına yönelik uygulanmaktaydı. Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 1962 yılındaki Federal-Yardım Karayolu Yasası ve 1964 yılındaki Kentsel Toplu Taşıma Yasası, nüfusu 50.000'in üzerinde olan kentsel alanlardaki otoyol projelerine, eğer projeler bir ulaşım planlamasına dayanıyorsa, federal finansal yardım tahsis etmiştir. Bu yardımlar sonuç olarak ABD'de Büyükşehir Planlama Teşkilatları'nı oluşturmuştur. Aynı dönemde, Dört Aşamalı Ulaşım Planlaması ile seyahat taleplerinin tahmini modeli, yine ABD'de ortaya çıkmaya başlamıştır. Seyahat üretimi, seyahat dağılımı ve arazi kullanım modellerinin seyahatlere olan etkileri için Chicago Bölgesi Ulaşım Çalışması (CATS) ile geliştirilen uygulamalar 1960'ların mevzuatları tarafından kurumsallaştırılmıştır. 1955 ve 1962 yılları arasında geliştirilen Chicago Bölgesi Ulaşım Çalışması'nda, çalışmaları desteklemek amacıyla o güne kadarki en büyük ulaşım amaçlı anket çalışması gerçekleştirilmiştir. 1955 yılının Eylül ayının sonlarına doğru anket çalışmaları tamamlanmış ve 350 kişiye yakın anketörle beraber uygulamanın toplam tutarı yaklaşık 700 bin Amerikan Doları olmuştur. Anketler bölgedeki her 30 evin 1'inde gerçekleştirilmiş, toplamda 57.000 anket uygulanmıştır. Bir başka büyük anket çalışması ise yol kenarlarında gerçekleştirilerek analiz edilen bölgeye dışarıdan giren veya bölgeden dışarı çıkan veya transit araçların oranının elde edilmesi amaçlanmıştır (Plummer, 2010).

Bu yıllar, Seyahat Üretimi, Seyahat Dağılımı, Türel Ayrım ve Trafik Ataması modellerinden oluşan dört adımlı prosedürün ABD'de ve daha sonra dünya genelinde ulaşım planlaması için evrensel bir yaklaşım olmaya başladığı bir dönüm noktası olmuştur (Mladenovic & Trifunovic, 2014).

2.2 Ulaşım Planlaması

Geleneksel ulaşım planı dört ana aşamadan oluşur. Bunlar; analiz bölgelerinde gerçekleşen seyahatlerin tahmini, seyahat üretim-çekimi, analiz bölgeleri arasında dağılan seyahatlerin tahmini, seyahat dağılımı, seyahatlerin yapıldığı ulaşım türünün tahmini, türel ayırım ve kullanılan rotaların tahmini, trafik ataması aşamalarıdır. Her bir aşamanın ön gereklilikleri ayrı birer çalışma konusu olmaktadır. Şekil 2.1.'deki şemada geleneksel ulaşım planı aşamaları ve bunların ön gereklilikleri gösterilmiştir. Aşamalar büyük harfle yazılmış, ön gereklilikler ise küçük harfler ile belirtilmiştir.



Şekil 2.1: Planlamada klasik yöntemler akış şeması

Şekil 2.1'den görüldüğü üzere, ulaşım planları analiz bölgesi kararları ile başlamaktadır. Talep ve rota tahmini için geliştirilen planın uygulandığı mekan analiz edilecek bölgelere ayrıştırılır. Her türlü plan konularında bölgeleme söz konusudur. Ulaşım planları bir otoyol için uygulanabileceği gibi bir demiryolu ağının yolcu ve yük talebi tahmini veya bir mahallenin ya da tüm şehrin olabilmektedir. Ulusal düzeydeki bazı çalışmalarda ise mekan ölçeği büyütülerek ülkeler analiz bölgesi olarak ele alınabilir. Analiz bölgeleri bir otoyol ulaşım planında giriş ve çıkışlar olabilirken bir demiryolu hattının talep tahmininde istasyonlar olabilmektedir. Aynı zamanda şehir ölçeğinde çalışılan bir planda analiz bölgeleri mahalleler olarak seçilebilir. Bu kapsamda analiz bölgeleri ulaşım planlarında ayrı bir çalışma konusu olmaktadır. Örneğin yolcu taleplerinin tahmin edildiği planlarda analiz bölgeleri mahallelerin yanında bazı özel mekanlar gerektirmektedir. Bu mekanlar en küçük idari birim olan mahallelerin yanında alışveriş merkezleri veya toplu konut bölgeleri gibi seyahatlerin tek başına incelenmesini gerektirecek bölgeler olabilmektedir. Yük talep planlarında ise aynı durum sanayi bölgeleri veya limanlar gibi odak noktaları olarak belirebilmektedir. Bölgelemenin mekânsal olarak detaylı çalışılması ilk bakışta avantajlı bir durum olarak görünse de bu durumun birçok dezavantajı mevcuttur. Örneğin mahalleler yerine her bir evin trafik analiz bölgesi olarak ele alınması durumunda hem işlem sayısı gereğinden fazla artacak hem de plan modelleri üzerindeki hakimiyet azalacaktır. Bu durumun tersi olarak, bir şehir ulaşım planında mahalleler yerine ilçelerin analiz bölgesi olarak düşünülmesi halinde ise analizleri yapılacak mekanların ve yol kesimlerinin eksikliği ortaya çıkacaktır. Dolayısı ile bölgelemenin optimum düzeyde yapılması her plan için büyük önem taşımaktadır.

Bölgelemenin ardından geleneksel ulaşım planlarında uygulanan anket çalışmaları veya çeşitli veri toplama yöntemleri ile planın uygulandığı ağdaki sosyo-ekonomik karakteristikler elde edilir. Sosyo-ekonomik karakteristikler yolcu veya yük planlarında, hareketliliğin ve seyahat davranışlarının ölçülmesinde önemli rol oynar. Aynı şehrin farklı mahallelerindeki seyahat davranışları değişken olabilmektedir. Örneğin, sosyo-ekonomik sebeplerden ötürü bir mahallede toplu taşıma yolculukları baskın iken bir başka mahallede özel araç yolculukları diğer türlere baskın olabilmektedir. Dolayısıyla verinin tarafsız, rasgele ve tutarlı bir şekilde elde edilmesi planın tahmin yeteneğini belirlemektedir. Verilerin elde edilmesinden sonra seyahatlerin miktarının modellenmesi *seyahat üretimi* olarak adlandırılmaktadır.

Veriler sadece bölgelerin sosyo-ekonomik özellikleri olarak değil, plan mekanının ulaşım ağının fiziksel bilgileri olarak da düşünülmelidir. Ulaşım ağı verileri, yol sistemleri, durak ve istasyon sistemleri, yolların şerit ve kapasite bilgileri... olarak ele alınabilir. Ulaşım ağı ile ilgili yeterli ve tutarlı veriye ulaşıldıktan sonra bölgeler arası seyahat süreleri elde edilir. Analiz bölgeleri arasındaki başlangıç-variş (B-V) miktarlarının modellenmesi amacıyla oluşturulan *seyahat dağılımı* böylelikle seyahat üretimi ve ulaşım ağı ile elde edilen seyahat süreleri bilgilerini sentezlemektedir.

Seyahatlerin türlerinin ayrımının modellenmesinde plan aşamalarının üçüncü basamağını oluşturan *türel ayırım* söz konusu olmaktadır. Veri toplama işleminde seyahat davranışlarında yapılmış tercihler elde edilir. Yapılmış tercihler geçmişe dönük davranış bilgilerinin elde edilmesi olarak düşünülebilir. Örneğin toplu taşıma hattı olan bir mahallede kullanıcıların özel araçlar ile veya toplu taşıma ile seyahatlerini gerçekleştirmiş olmalarının bilgisinin tutarlı bir şekilde elde edilmesi modelin de tutarlı olmasını sağlayacaktır. Bu kapsamda ulaşım ağı verilerinin de başarılı bir şekilde elde edilmiş olması gerekmektedir.

Elde edilen verileri ve geliştirilen modelleri doğrudan veya dolaylı olarak kullanan *trafik ataması* ise bir ulaşım planının son aşamasını oluşturmakta ve seyahatlerin rotalarının modellenmesi işlevini görmektedir. Böylelikle ulaşım planlarında yol parçaları birbirini etkileyen bütünü oluşturmaktadır. Örneğin yüksek kapasiteli bir yol parçasının ardından gelen düşük kapasiteli bir kesimin varlığı kullanıcı rotalarının değişmesine yol açacaktır. Analiz bölgeleri arasındaki seyahatler yol parçaları ve bütünde rotalarda meydana geldiğinden talebin tahmini için uygulanan planların önemli bir analiz konusu da kapasite kullanımının belirlenmesidir.

Yol parçaları üzerindeki akımların belirlenmesinin ardından modelin başarımının sınanması işlemi gelmektedir. Sahada gözlemlenmiş akım verileri ile karşılaştırılan modellenmiş akım verileri, planın tutarlılığının anlaşılmasında kullanılır.

Geleneksel ulaşım planlarındaki dört aşama ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.2.1 Seyahat Üretimi

Seyahat Üretimi ulaşım planlarının ilk aşamasını oluşturmaktadır. Analiz bölgeleri itibariyle gerçekleştirilen tahminlerde “ne kadar?” sorusunun cevabı aranır. Bu aşamada analiz bölgelerinde oluşan seyahatlerin toplam üretimi ve çekimi söz konusudur. Seyahat üretimi genellikle anket çalışmalarına dayanmakla beraber literatürde farklı seyahat üretim yöntemleri mevcuttur. Ancak yine de çalışmalar büyük miktarda veriye ihtiyaç duymaktadır. Kullanılan modelin biçimine göre ihtiyaç duyulan veri sayısının asgari miktarları ampirik çalışmalar ile belirlenmektedir.

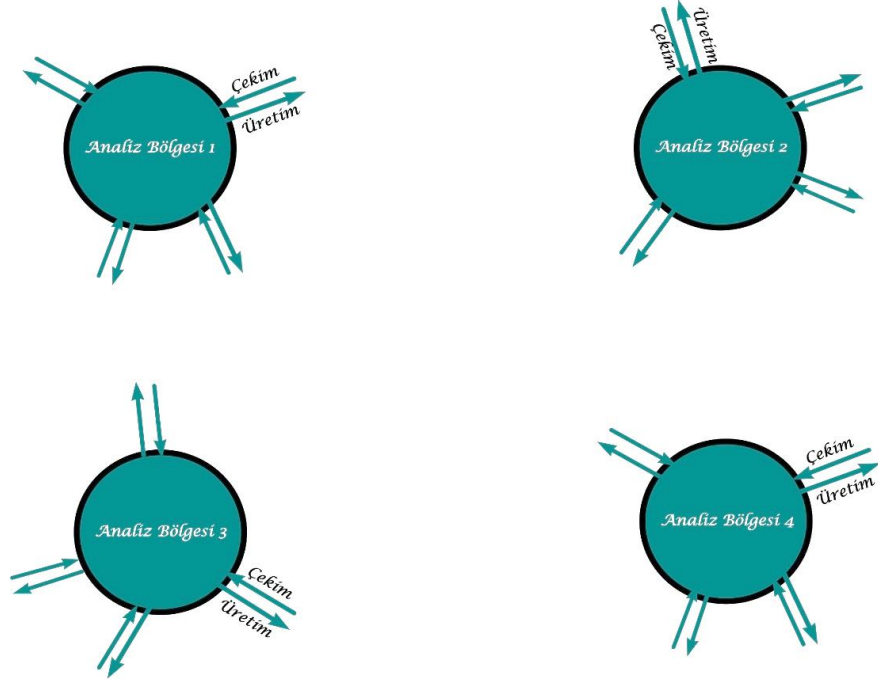
Seyahat üretimi, seyahatlerin amaçlarına ve bölgelerine göre analiz edilebilir. Örnek olarak, yolcu seyahatleri, başlangıcı veya bitişi ev olan veya olmayan durumlara göre değerlendirilebilir. Değerlendirmelerin gereği olarak anket çalışmalarında yolculukların başlangıçlarının veya bitişlerinin bölge bilgileri elde edilir. Yolcu planlarında seyahatler noktasal anlamda ikiye ayrılır (Haldenbilen, 2016):

- *Ev tabanlı seyahatler*; başlangıç veya bitiş noktalarından birisinin ev olduğu seyahatler; ve
- *Ev tabanlı olmayan seyahatler*; başlangıç veya bitiş noktalarının ev olmadığı seyahatlerdir.

Noktasal kısımların ardından amaçsal alt kısımlar da seyahat üretimi kapsamında değerlendirilir. Yine yolcu planlarından örnek vermek gerekirse seyahatler; alışveriş amaçlı, okul amaçlı, iş amaçlı vb. olarak çeşitlendirilebilir. Böylelikle noktasal kısımlar ile amaçsal kısımlar birleştirildiğinde seyahat üretiminde çeşitli fonksiyonlar elde edilir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- *Ev Tabanlı Okul Seyahatleri*; Başlangıç veya bitiş noktalarından birisinin ev birisinin okul olduğu seyahatler;
- *Ev Tabanlı İş Seyahatleri*; Başlangıç veya bitiş noktalarından birisinin ev birisinin iş yeri olduğu seyahatler;
- *Ev Tabanlı Alışveriş Seyahatleri*; Başlangıç veya bitiş noktalarından birisinin ev birisinin alışveriş yeri olduğu seyahatler; ve
- *Ev Tabanlı Olmayan Seyahatler* vb.

Seyahat üretiminin amacına yönelik görsel Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2: Seyahat Üretimi'nin amacı

Şekil 2.2’de görüldüğü üzere, amaçlarına ve noktalarına göre çeşitlenen seyahatlerin analiz bölgelerindeki miktarının belirlenmesi seyahat üretimini oluşturmaktadır. Bölgelemenin önemi seyahat üretimi aşamasından başlamaktadır. Optimum miktar ve homojen yapıdaki analiz bölgelerinin etkileri, ulaşım planlarının başlangıcından itibaren taşınarak doğrudan veya dolaylı olarak tüm süreci etkilemektedir.

Yolculukların veya seyahatlerin hangi analiz bölgesinden hangi analiz bölgesine gerçekleştiği bir diğer ifade ile talebin başlangıç-varış bilgileri, seyahat üretiminin konusu olmamaktadır. Seyahat üretimi aşamasında, başlıcaları çeşitlendirilen amaçlarda oluşan seyahatlerin analiz bölgeleri itibariyle üretim ve çekim miktarları modellenmektedir.

Bölgelerin gelir düzeyi, otomobil sahipliği, çalışan sayısı, nüfus bilgileri gibi sosyo-ekonomik ve demografik karakteristikleri gibi bilgilerin yanında, arazi kullanım deseni gibi çeşitli göstergelere bağlı olarak değişen seyahat miktarlarının tahmini modellerinde genellikle “Kategori Analiz” ve “Çoklu Doğrusal Regresyon” kullanılmaktadır.

Kategori analiz; parametrik olmayan bir yöntemdir. Analizler konut düzeyinde yapılır. Her bağımsız değer iki veya daha çok gruba ayrılarak seyahatler bu gruplara göre ait olduğu hücrelere yerleştirilir. Dolayısı ile çok geniş örnekleme oranına ihtiyaç duyulur. Örneğin toplam seyahatler her konuttaki nüfus ve araç sahipliği gibi iki bağımsız değişkene göre inceleniyorsa, aynı aile büyüklüğü ve araç sahipliğinde aynı derecede seyahat yapıldığı kabul edilir (Haldenbilen, 2016).

Çoklu doğrusal regresyon; iki veya daha fazla bağımsız değişkenin, bağımlı değişken ile olan ilişkisinin modellenmesi olarak tanımlanabilir. Çoklu doğrusal regresyonda seyahat miktarı bağımlı değişken iken, nüfus, otomobil sahipliği, gelir vs. bağımsız değişken olabilir. Genellikle anket çalışmaları neticesinde elde edilen bağımlı ve bağımsız değişken bilgilerinin modellenmesinden sonra, bağımsız değişkenlerin gelecekteki miktarı tahmin edilerek bağımlı değişkenin gelecekteki durumu açıklanır. Çoklu doğrusal regresyon, bölgesel tabanlı, ev tabanlı olarak geliştirilebileceği gibi aşamalı olarak da uygulanabilir. Aşamalı çoklu doğrusal regresyonda genellikle, uygulanan planın da büyüklüğüne bağlı olarak bağımsız değişkenler beşer veya onar senelik aralıklar ile tahmin edilir. Bununla beraber bağımsız değişkenlerin gelecekteki durumları da ayrı birer çalışma konusudur. Bağımsız değişkenlerin tahmininde de (2.1)'de verilen çoklu doğrusal regresyon kullanılabilir gibi, çeşitli kurumların tahminleri, zaman serisi modelleri, büyütme faktörü modelleri, lojistik regresyon modelleri kullanılabilir.

$$T_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i + \dots + a_kx_k \quad (2.1)$$

(2.1)'de; T_i , seyahat miktarı, a_0 , regresyon denkleminin katsayısı, a_i , bağımsız değişken katsayısı, x_i , bağımsız değişken olarak ifade edilmektedir. Burada bağımsız değişken sayısının herhangi bir sınırı olmamakla birlikte, işlem kolaylığı açısından bu sayının, bağımlı değişkeni en çok etkileyen bağımsız değişkenler ile sınırlı tutulması yararlı olmaktadır. Bu etkinin belirlenmesinde ise korelasyon analizleri uygulanabilir. Korelasyon analizi, iki değişkenin birbiri ile olan ilişkisinin gücünün belirlenmesinde kullanılan bir analiz çeşididir. Seyahat üretimini etkileyen başlıca faktörler ise, nüfus, otomobil sahipliği, gelir gibi değişkenler olmaktadır. Regresyon analizinin başarımının test edilmesinde kullanılan istatistik yöntemlerin hata payı düşük sonuçlar vermesiyle birlikte, yöntem, ulaşım planlarında en çok uygulanan model olmaktadır.

2.2.2 Seyahat Dağılımı

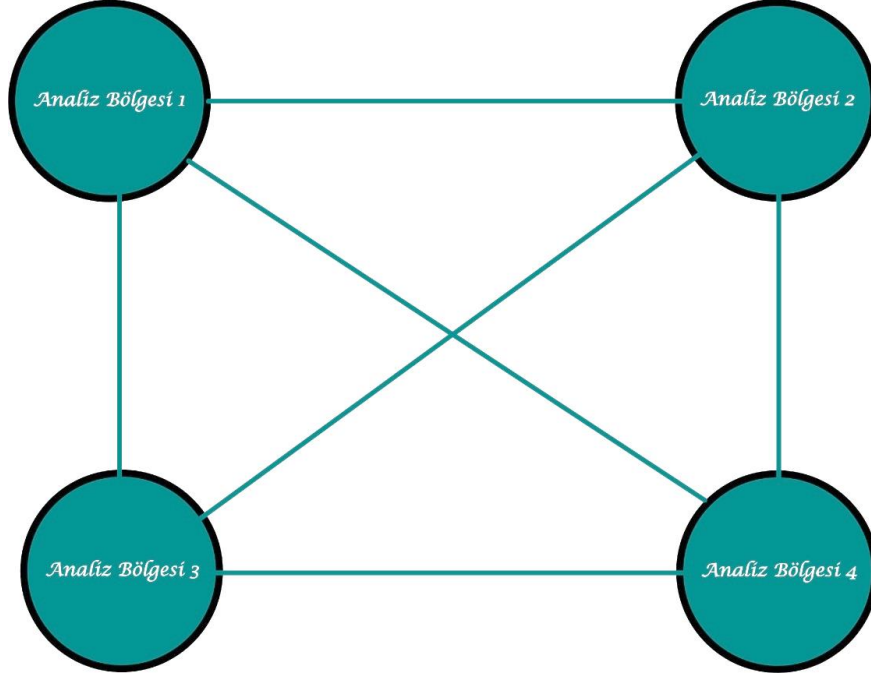
Geleneksel dört aşamalı ulaşım planlamasının seyahat üretiminden sonraki ikinci basamağını seyahat dağılımı oluşturmaktadır. Seyahat dağılımı, üretim kısmında tahmin edilen seyahatlerin, analiz bölgeleri arasındaki dağılımını bulmayı amaçlar. Şekil 2.3'te örnek talep dağılım matrisi gösterilmektedir (Mathew & Rao, 2007).

$$\begin{array}{rcccccc}
 & \mathbf{1} & \mathbf{2} & \mathbf{3...} & \mathbf{j...} & \mathbf{z} & \sum_j T_{ij} \\
 \mathbf{1} & T_{11} & T_{12} & T_{13} \dots & T_{1j} \dots & T_{1z} & O_1 \\
 \mathbf{2} & T_{21} & T_{22} & T_{23} \dots & T_{2j} \dots & T_{2z} & O_2 \\
 \mathbf{3} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \mathbf{i} & T_{i1} & T_{i2} & T_{i3} \dots & T_{ij} \dots & T_{iz} & O_i \\
 \cdot & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \cdot & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \mathbf{z} & T_{z1} & T_{z2} & T_{z3} & T_{zj} & T_{zz} & O_z \\
 \sum_i T_{ij} & D_1 & D_2 & \dots & D_j & D_z & \sum_{ij} T_{ij} = T
 \end{array}$$

Şekil 2.3: Örnek talep dağılım matrisi

Burada; O_i , bir bölgeden diğer bölgelere giden (üretilen) toplam seyahat, D_j , bir bölgeden diğer bölgelere gelen (çekilen) toplam seyahat, T_{ij} , i 'den j 'ye seyahat miktarı, j , çekim bölgesi, i , üretim bölgesi, z , analiz bölgesi sayısı olmaktadır. Seyahat dağılımında toplam üretim ile toplam çekim ise birbirine eşittir.

Büyük harfle gösterilen simgeler modellenmeye çalışılan değerleri göstermektedir. O_i ve D_j 'yi kestirmenin mümkün olduğu modeller, “çift kısıtlı”, sadece O_i veya D_j 'lerin kestiriminin mümkün olduğu modeller ise “tek kısıtlı” modellerdir. O_i 'ler ile beraber “başlangıç veya üretim sınırlamalı”, D_j 'ler ile beraber “varış veya çekim sınırlamalı” modeller kurgulanabilir. İki nokta arasındaki seyahati ise, bu noktalar arasındaki seyahat maliyeti etkilemektedir (Haldenbilen, 2016). Maliyet parametresi “seyahatin direnimi” olmakta ve direnim, seyahat süresi, seyahat mesafesi veya çeşitli ücretler olabilmektedir. Anket uygulamaları verilerinden elde edilen, gerçekleşen seyahatlerin sürelerinin veya mesafelerinin hacimsel dağılımları seyahat dağılımı modellerinde kullanılmaktadır. Seyahat dağılımının amacına yönelik görsel Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4: Seyahat Dağılımı'nın amacı

Şekil 2.4'ten görüldüğü üzere, seyahat dağılımının amacı, seyahat üretimi ile analiz bölgeleri itibariyle tahmin edilen üretim ve çekim miktarlarını analiz bölgeleri arasında dağıtmaktır. Bu kapsamda seyahat dağılımı, “nereden?” veya “nereye?” sorularının yanıtlarını bulmayı amaçlar.

Seyahat dağılımı modeli çalışılan bölgenin büyüklüğüne veya özelliklerine göre değişebilir. Modeller, bir şehir ağında uygulanabileceği gibi tek bir kavşaktaki hareketler için de uygulanabilir. Geleneksel şehir ulaşım planlarında bölgeler arası seyahat mesafesi, süresi vb. faktörler önemli rol oynamaktayken, küçük bölgeler için gerçekleştirilen dağılım modellerinden elde edilmesi beklenen bilgilere göre bu faktörler kullanılmayabilir.

Literatürde seyahat dağılımı ile ilgili, bölgeler arası seyahat mesafesi, seyahat süresi, faktör özellikleri gibi değişkenleri kullanan çeşitli yöntemler mevcuttur. Seyahat dağılımı modelleri genel olarak, seyahat direnimlerinin göz önünde bulundurulmasına göre ikiye ayrılabilir. Bunlar, seyahat direnimlerinin etkilerini hesaba katmayan *büyütme faktörü modelleri* ve bu direnimlerin varlığını kabul eden *sentetik modeller* olmaktadır. Bu iki ana model arasında ise bazı geçiş modelleri mevcuttur. İki ana grupta gerçekleştirilen alt modellerden başlıcaları aşağıda verilmiştir (Haldenbilen, 2016):

- Büyütme faktörü modelleri;
 - Tek faktör modeli;
 - Ortalama faktör modeli;
 - Detroit modeli;
 - Fratar modeli; ve
 - Furness modeli olmaktadır.
- Sentetik modeller;
 - Çekim modeli;
 - Birbirine etki modeli;
 - Elektrostatik model; ve
 - Çoklu regresyon modeli olabilmektedir.

Büyütme faktörü modellerinin avantajları arasında, kolay uygulanabilir olması, trafiği etkileyecek büyük değişikliklerin beklenmediği bölgelerde sonuçların kısa dönem için yeterli olması, kısa dönem sonunda, B-V verilerinin güncellenerek tekrarlı uygulanabilir olması sayılabilmekteyken, yöntemin dezavantajları arasında, her seyahat için tüm B-V matrisinin gerekliliği, bölgeler arası seyahat sürelerini etkileyecek olan seyahat engellerinin dikkate alınmaması, analiz bölgesi içi seyahatlerin dikkate alınmaması, çeşitli etkenler ile gelişecek seyahatlerin göz ardı edilmesi sayılabilir (Haldenbilen, 2016).

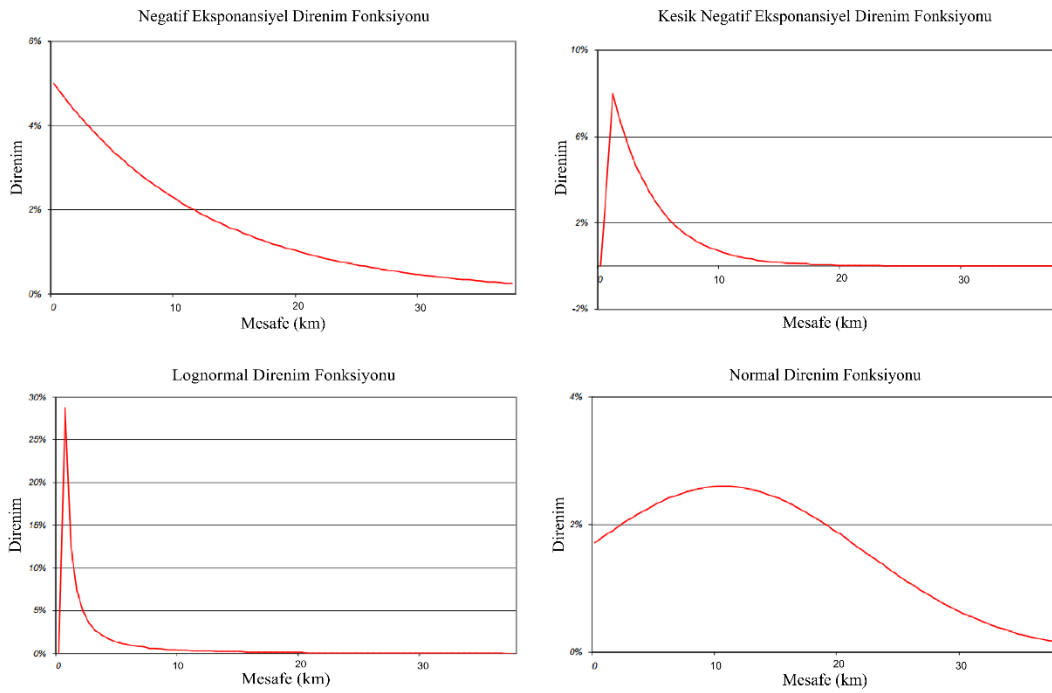
Literatürde seyahat dağılımı ile ilgili çeşitli yöntemler mevcut olsa da günümüzde en çok kullanılan yöntem Newton'un "Çekim Teorisi"ne göre oluşturulan modeldir. *Çekim Teorisi*, iki kütlenin arasındaki çekim kuvvetinin, kütlelerin büyüklükleri ile doğru, aralarındaki uzaklığın belirli bir kuvveti ile ters orantılı olduğunu söylemektedir. Aynı prensip ulaştırmaya uygulandığında araştırmalar teoriyi destekleyici sonuçlar sağlamaktadır. Örnek vermek gerekirse, aynı seyahat mesafesine sahip üç şehirden oluşturulan ikili seyahat kombinasyonlarında, nüfusu daha kalabalık iki şehir arasında gerçekleşen seyahat sayısı daha fazla olacaktır.

Çekim modeli direnim olarak seyahat mesafesini, süresini veya maliyetini kullanabilmektedir. Sürenin ayrı bir seyahat direnimi, taşıt işletme giderleri, yol kullanım ücreti gibi maliyetlerin ayrı bir seyahat direnimi olarak ele alınması durumunda ise genelleştirilmiş maliyet kuramları kullanılmaktadır. Genelleştirilmiş maliyetlerde tüm direnimler tek bir birime dönüştürülerek kullanılır.

Seyahat dağılımının çokça kullanılan çekim modelinin genel fonksiyonu (2.2)'de verilmiştir.

$$T_{ij} = a_i b_j G_i A_j f(t_{ij}) \quad (2.2)$$

(2.2)'de; T_{ij} , i ve j bölgeleri arasındaki seyahat miktarı, a_i ve b_j , üretim ve çekim kısıtlarının sağlanması için kullanılan dengeleme katsayıları, G_i , i bölgesinden üretilen seyahat miktarı, A_j , j bölgesine çekilen seyahat miktarı, $f(t_{ij})$, i ve j bölgeleri arasındaki direnim fonksiyonu olmaktadır. Çekim modelinin bu genel yapısına ek olarak çeşitli katsayılar, değişkenler ve kısıtlamalar eklenebilmektedir. $f(t_{ij})$ çekim modelindeki direnimi ifade etmek ile beraber, seyahat dağılımı aşamasındaki direnim fonksiyonları da analiz bölgelerinin seyahat karakteristiklerine göre çeşitli yapılar alabilmektedir. Seyahat mesafesine göre değişen direnim fonksiyonu formlarının başlıcaları Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Bazı direnim fonksiyonu yapıları (ICPSR, 2010)

Direnim fonksiyonu yapısının seçimi ve etkisinin modellenmesi uygulanan plana ve bölgeye göre değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin genel ifade ile, bir yolcu planında, seyahat oranlarının otuz dakikadan sonra azalması beklenirken, bir yük planında seyahatlerin birkaç saat sonra azalma eğilimi göstermesi beklenmektedir.

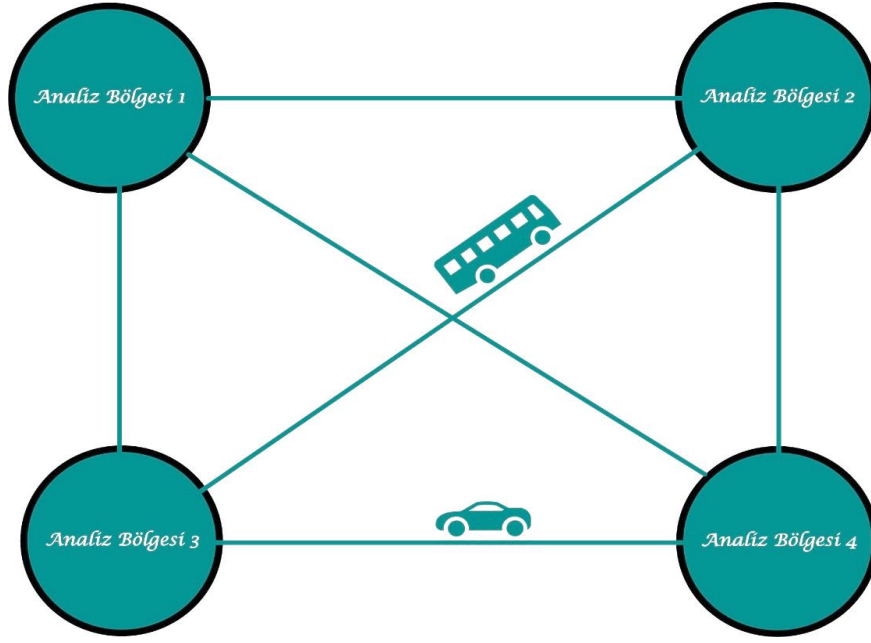
2.2.3 Türel Ayrım

Türel ayrım geleneksel olarak, seyahat üretimi ve seyahat dağılımı uygulamalarının arkasından gelmekle beraber günümüzde uygulanan özel planlarda veya geleneksel planların dışına çıkan uygulamalarda sıralama değişebilmektedir. Türel ayrım aşaması yapılan planın özelliğine göre bazı durumlarda hiç hesaplanmayabilir.

Türel ayrım, seyahat dağılımı ile analiz bölgeleri arasındaki seyahat miktarlarının bulunmasından sonra bu seyahatlerin hangi ulaşım türü ile gerçekleştiğinin veya gerçekleşeceğinin bulunmasını amaçlar. Kavram ve uygulama gereği ulaşım türü ile ulaşım taşıt türü birbirinden ayrı olmaktadır. Ulaşım türü en basit ifadesi ile rotalı veya rotasız türler olmaktadır, taşıt türleri bu ulaşım türlerinin alt kırımlarıdır. Böylelikle taşıt türleri, rotasız türlerde binek araç, bisiklet gibi türler olarak ifade edilebilmekte, rotalı türlerde ise uçak, otobüs, raylı sistem vs. olabilmektedir. Bu taşıt türlerinin bir alt kırımları ise taşıtın kendisi olmaktadır. Örneğin, raylı sistem seyahatlerini kendi içerisinde, tramvay, hafif raylı sistem veya ağır raylı sistem olarak ayırmak mümkündür. Türel Ayrım dolayısı ile ulaşım türlerinin etkilendiği seyahat sürelerinin ve ücretlerinin kapsandığı bir direnimsizlik hesabı olarak ele alınmaktadır.

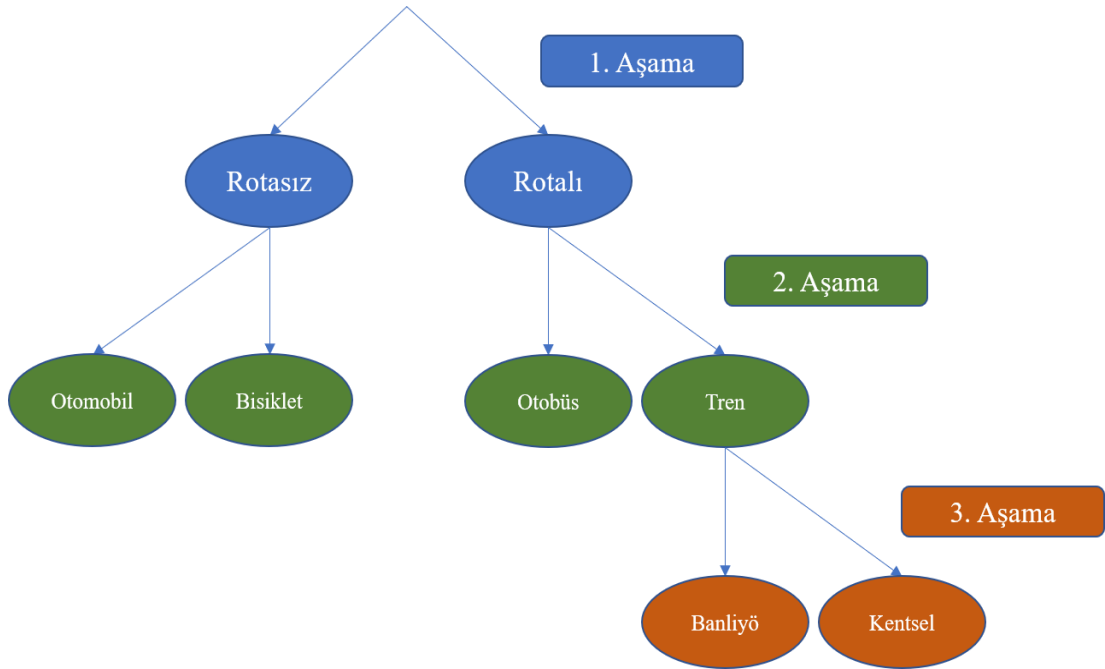
Seyahat üretimi ve seyahat dağılımı aşamalarının veri toplama sürecinde tercih anketlerine ihtiyaç duyması gibi türel ayrım da belirtilmiş verilere ihtiyaç duymaktadır. Anketlerde kullanıcılara yöneltilen soruların çıktılarına göre kullanıcıların seyahat tercihleri olasılık maliyet fonksiyonları çerçevesinde belirlenmeye çalışılır. Ulaşım türü tercihleri, seyahat üretimi aşamasında olduğu gibi bölgenin sosyo-ekonomik karakteristiklerine, otomobil sahipliğine, gelir düzeyine vs. göre değişmektedir. Böylelikle türel ayrım, edinilen verilerden yola çıkılarak seyahat karakteristiklerine göre kullanıcıların belirli bir ulaşım türünü seçmesine yönelik oluşturulmaktadır.

Türel Ayrım, analiz bölgeleri arasındaki seyahatlerin hangi ulaşım türü ile gerçekleştiğine yönelik olduğundan “ne ile?” sorusuna yanıt aramaktadır. Aranılan yanıtlara göre tasarlanan saha çalışmalarında kullanıcıların ulaşım türü tercihleri elde edilmeye çalışılır. Türel ayrımın amacına yönelik görsel Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6: Türel Ayrım'ın amacı

Türel ayrım istenilen çalışma detayına bağlı olarak ikili seçim modelleri veya çoklu seçim modelleri olarak kurgulanabilir. Her bir seçim modeli, seyahat süresi, maliyet vb. parametrelerin genelleştirilmiş maliyetler dahilinde birleştirilmesi ile oluşturulur. Şekil 2.7’de türel ayrımda seçim ağacı gösterilmiştir (PTV Group, 2015).



Şekil 2.7: Türel Ayrım seçim ağacı

Türel ayrımı etkileyen faktörler üç ana başlık altında toplanabilir. Bunlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Mathew & Rao, 2007):

- Seyahati gerçekleştirenin karakteristiği;
 - Otomobil sahipliği;
 - Sürücü lisansı sahipliği;
 - Hanehalkı yapısı;
 - Gelir;
 - Çeşitli bölgelere ulaşım; ve
 - Yerleşim yoğunluğudur.
- Seyahatin karakteristiği;
 - Seyahatin amacı; ve
 - Seyahatin zaman dilimidir.
- Ulaşımın karakteristiği;
 - Nicel faktörler;
 - Seyahat süresi;
 - Seyahatin maliyeti; ve
 - Parklanma erişilebilirliğidir.
 - Nitel faktörler;
 - Konfor;
 - Güvenilirlik; ve
 - Güvenlik vb.'dir.

Türel ayrımın seyahat dağılım aşamasından önce uygulanması durumunda model, *seyahat sonlu türel dağılım modeli* olarak adlandırılmakta, modelin seyahat dağılımı aşamasından sonra yapılması durumunda ise, uygulama, *seyahat aktarmalı türel dağılım modeli* olarak nitelendirilmektedir. Her iki modelin de avantaj ve dezavantajları bulunmakla beraber, seyahat sonlu türel dağılımda toplu taşıma ve özel araç seyahatlerinin ayrı olarak hesaplanması ve mesafelerin tür seçiminde dikkate alınması söz konusu olmakta, seyahat aktarmalı türel dağılımda ise, model seyahat dağılımından sonra gerçekleştirildiğinden, seyahat mesafesi tür seçiminde dikkate alınmamaktadır (Haldenbilen & Ceylan, 2006). Bununla beraber, türel seçim, model analiz bölgesi ve analiz bölgeleri arası bazında bilgilere dayanıyorsa bütünleştirilebilir, model hanehalkı veya bireysel bilgilere dayanıyorsa ayrıştırılabilmektedir.

Türel ayırım modelleri genel olarak “ikili logit model” ile “çoklu logit model” olarak hesaplanabilir. İkili logit modeller, türel ayırımın en basit formunu oluşturmaktadır. Ulaşım türü tercihi iki tür arasında gerçekleştirilir. Kullanıcı, iki türün faydalarını veya direnimlerini karşılaştırarak seçim yapar.

Türel ayırımda genel ifade ile direnim veya fayda fonksiyonu (2.3)’teki gibi olabilmektedir (Mathew & Rao, 2007).

$$c_{ij} = a_1 t_{ij}^v + a_2 t_{ij}^w + a_3 t_{ij}^t + a_4 t_{nij} + a_5 F_{ij} + a_6 \phi_j + \delta \quad (2.3)$$

(2.3)’te; c_{ij} , toplam direnim veya fayda, t_{ij}^v , i ve j bölgeleri arasındaki taşıt içi seyahat süresi, t_{ij}^w , durak erişim süresi, t_{ij}^t , durakta bekleme süresi, F_{ij} , i ve j bölgeleri arasındaki seyahatin maliyeti, ϕ_j , parklanma maliyeti, δ , konfor ve elverişlilik parametresi, a_i kalibrasyon katsayısı olmaktadır. Bunlara ek olarak parametre seçimi yapılabilmekle beraber ikili modellerde türlerin direnimleri ayrı olarak hesaplanmaktadır. c_{ij}^1 ve c_{ij}^2 ‘nin farklı ulaşım türlerinin direnimlerini ifade etmesinden sonra, iki tür ile gerçekleştirilen seyahatlerin oranı (2.4) ile ifade edilir (Mathew & Rao, 2007).

$$P_{ij}^1 = \frac{e^{-\beta c_{ij}^1}}{e^{-\beta c_{ij}^1} + e^{-\beta c_{ij}^2}} \quad (2.4)$$

(2.4)’te; P_{ij}^1 , 1 nolu türün seçim olasılığı, β , kalibrasyon parametresi olmaktadır. Bunun aksi durumda ise 2 nolu ulaşım türünün seçim olasılığı hesaplanmaktadır.

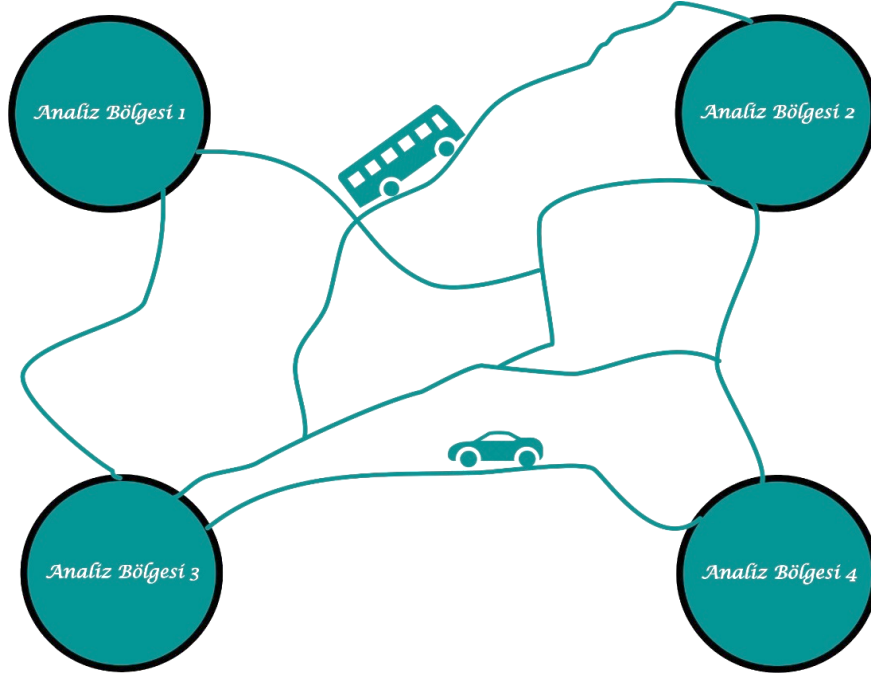
İkili modelin geliştirilmesi ile beraber çoklu tür direnim fonksiyonlarının hesaplanmasından sonra (2.5)’te gösterilen çoklu logit seçim modelleri uygulanabilir (Mathew & Rao, 2007).

$$P_{ij}^1 = \frac{e^{-\beta c_{ij}^1}}{\sum e^{-\beta c_{ij}^m}} \quad (2.5)$$

2.2.4 Trafik Ataması

Trafik ataması analiz bölgelerinde üretilen ve çekilen seyahatlerin dağılımının ve türel ayırımının gerçekleştirilmesinden sonra gelen aşamadır. Elde edilen seyahatler, planlanan bölgedeki ulaşım ağına atanır. Atamadaki temel amaç, hareket eden kullanıcıların ağ üzerinde seyrettikleri rotaları görmektir. Dolayısı ile trafik ataması kullanılan rotaların fotoğrafının çekilmesi olarak da tanımlanabilir. Mevcut durum için veya gerekli projeksiyonlar ve tahminler yapıldıktan sonra planın hedef yılı amacıyla trafik ataması gerçekleştirilebilir. Trafik ataması aşamasında da diğer aşamalarda olduğu gibi seyahat maliyetleri söz konusudur. Bu kapsamda rotaların maliyetleri seçim direnimleri ile ölçülür. Direnimler seyahat süresi olabileceği gibi genelleştirilmiş maliyetler kapsamında gerçekleşen seyahatin kullanıcıya yansıyan giderleri, yol kullanım ücreti vb. de olabilmektedir. Seyahat prensibinin kabul edilen teorisine göre kullanıcılar seyahatlerini gerçekleştirirken en düşük direnimli rotaları tercih edeceklerdir. Örneğin, bir otoyolda izin verilen hız, devlet yolunda izin verilen hıza kıyasla daha fazla olduğundan kullanıcıların ilk başta en kısa rotayı seçmesi beklenmekteyken, genelleştirilmiş maliyetler kapsamında otoyolun geçiş ücretlerinin direnim fonksiyonlarına dahil edilmesi halinde otoyolun tercih ihtimali düşecektir. Böylelikle direnimler sadece seyahat süresi ile ölçülmemekte, rotaların seçimine etki edecek tüm maliyetlerin dahil edilmesi prensibine göre oluşmaktadır. Ancak bu kapsamda elastikiyet kavramı da rota seçiminde etkili olmaktadır. Bir maliyetin rota veya seyahat seçim olasılığına olan etkisi “elastikiyet” olarak tanımlanabilir. Otoyol örneğinde, fiyat elastikiyetinin sıfır olduğu bir bölgede kullanıcıların rota seçimlerinde geçiş ücretinin herhangi bir etkisi olmayacaktır. Aksi durumda rota seçimi en küçük değişikliklerden bile etkilenecektir.

Trafik ataması aşaması kısıtlarına göre değişebilmektedir. Yol parçalarının kapasitelerinin değerlendirilmediği atamalar *ya hep ya hiç* metodu olarak adlandırılır. Bu metot, başlangıç seyahat süresini göz önünde bulundurarak seyahatlerin rotalarını tek bir seferde oluşturur. Uygulama ile beraber çalışmalarda kapasite kısıtlı atamalar geliştirilmiş, yol parçalarının kapasitelerini rota seçiminde etkili olan bir unsur olarak göz önüne alan fonksiyonlar değerlendirilmiştir. Trafik atamasının amacına yönelik görsel Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8: Trafik Ataması'nın amacı

Günümüzde trafik atamasının, kullanım ve plan amaçlarına göre değişen çeşitli fonksiyonları mevcuttur. Bu fonksiyonlar kapasite kısıtı olmayan ve istek hatlarını görmeye yarayan “ya hep ya hiç” metodunun yanında kapasite kısıtlı rotasız atamalardan veya rotalı atamalardan oluşmaktadır. Rotasız atamalarda iki çeşit seçim yöntemi mevcuttur. Bu yöntemlerden birisi “deterministik” bir diğeri “stokastik” yaklaşım olmaktadır. *Deterministik yaklaşımlar*, tüm kullanıcıların ağ üzerinde, başlangıç-varış çiftleri arasındaki en düşük direnime sahip rotaları bildiğine ve bu rotaları kullandığı prensibine göre ifade edilirken, *stokastik yaklaşımlar*, en düşük direnime sahip rotaların algılanmasına rağmen bir olasılık prensibi çerçevesinde kullanıcıların bu rotaları tercih edeceği prensibine dayanmaktadır.

Stokastik atama kullanıcı davranışlarına daha uygun bir uygulama olmakla beraber, ulaşım ve haberleşme teknolojilerinin gelişmesi ve otonom araçların icat edilmesi ile yakın gelecekte deterministik atama kanunlarının göreceli olarak daha fazla geçerli olacağı öngörülmektedir. Bununla beraber rotalı atamalarda, toplu taşıma hatlarının zaman çizelgeleri kullanılmakta, uygulanan plana veya çalışılan duruma göre zaman çizelgeleri istenilen detaylarda kullanılabilir. Rotalı atamalarda taşıtlar yerine kullanıcıların kendileri ulaşım ağına atanmakta ve göz önünde bulundurulmuş maliyetler çerçevesinde tercih yapmaktadırlar.

Bir yol parçasının teorik kapasitesi, bir kesitten geçebilecek maksimum taşıt sayısı olarak hesaplanır. Teorik kapasite, şerit genişlikleri, taşıt takip mesafeleri, yol sistemlerine göre değişebilmektedir. Farklı ülkelerde kapasite bu sebeplerden dolayı farklı hesaplanabilir. Teorik kapasite aşılabilmekle beraber bu durum, taşıt takip mesafesinin kısaldığı anlamına gelmektedir. Yol parçalarının kapasitelerinin kullanımı arttıkça, kesimlerdeki seyahat süreleri de artacaktır. Kapasite kullanımına bağlı oluşan seyahat süresi artışını ifade eden fonksiyonlarda literatürde çeşitli yaklaşımlar bulunmakla beraber genel olarak (2.6)'da verilen Amerikan Karayolları Bürosu (BPR) tarafından geliştirilen bağ-gecikme fonksiyonu kullanılmaktadır.

$$t = t_0 \left[1 + \alpha \left(\frac{v}{c} \right)^\beta \right] \quad (2.6)$$

(2.6)'da verilen BPR bağ-gecikme fonksiyonunda; t , bağdaki son seyahat süresi, t_0 , bağdaki serbest akım seyahat süresi, v , yol parçasının kullanılan kapasitesi, c , yol parçasının teorik kapasitesi, α ve β , model kalibrasyon parametresi olmaktadır. BPR tarafından bazı parametrelerin değerleri tipik olarak verilmişse de, planın uygulandığı bölgeye ve yol parçalarına göre bu parametrelerin aldığı değerler değişebilmektedir.

Atama yöntemlerini stokastik ve deterministik olarak ikiye ayırmak mümkün olmakla beraber, yol parçalarının kapasitelerinin dikkate alındığı kapasite kısıtlı atamalar ve kapasite kısıtsız atamalar olarak da ayırmak mümkündür. Kapasite kısıtsız atamalar, bahsedildiği gibi “ya hep ya hiç” metodu olarak ifade edilmekteyken, kapasite kısıtlı deterministik yaklaşımlar genel olarak, artış yöntemi ataması, kullanıcı dengesi ataması ve sistem dengesi ataması olarak ayrılabilir. Ulaşım planlarında çokça kullanılan deterministik atamaların haricinde, stokastik yöntemler de kullanılmakta ancak, işlem sayısının büyüklüğü gereği tercih edilmemektedir.

Artış yöntemi; metod iteratif olarak uygulanmakta ve her bir işlemde, talebin belirli bir oranı ulaşım ağına atanmaktadır. Model, yol parçalarının kapasitelerinin kısıtlarını dikkate almakla beraber, işlem kolaylığı açısından uygulanan planın büyüklüğüne ve bölgesine göre tercih edilebilir. Tüm talep ilk iterasyonda ağa atanırsa, yöntem, *ya hep ya hiç metodu* olarak adlandırılır.

Kullanıcı dengesi ataması; Wardrop'un birinci prensibine dayanmaktadır. Prensip, her bir kullanıcının başlangıç-varış seyahatinde en düşük maliyetli rotayı seçeceğini ve böylelikle bir süre sonra bütün rotalardaki seyahat sürelerinin dengeleneceğini söylemektedir. Dolayısı ile kullanıcıların sistemdeki bütün yol ve rotalardaki seyahat süreleri hakkında kesin bilgi sahibi olduğu varsayılmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemi tabanlı yazılımların geliştirilmesi ile günümüzde gerçeğe yaklaşan metot (2.7)'deki doğrusal olmayan optimizasyon probleminin çözümüne dayanır (Mathew & Rao, 2007).

$$\begin{aligned}
 \text{Enküçük } Z &= \sum_a \int_0^{x_a} t_a(x_a) dx \\
 \text{Koşul } \sum_k f_k^{rs} &= q_{rs} : \forall r, s \\
 x_a &= \sum_r \sum_s \sum_k \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs} : \forall a \\
 f_k^{rs} &\geq 0 : \forall k, r, s \\
 x_a &\geq 0 : a \in A
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

(2.7)'de; k , rota, x_a , a bağındaki denge akımı, t_a , a bağındaki seyahat süresi, f_k^{rs} , r ve s B-V çiftlerini bağlayan k rotasındaki akım, q_{rs} , r ve s arasındaki seyahat oranı, $\delta_{a,k}^{rs}$, tanımsal kısıt olmaktadır. Denge fonksiyonunun tanımsal kısıtı (2.8)'deki gibi olmaktadır (Mathew & Rao, 2007).

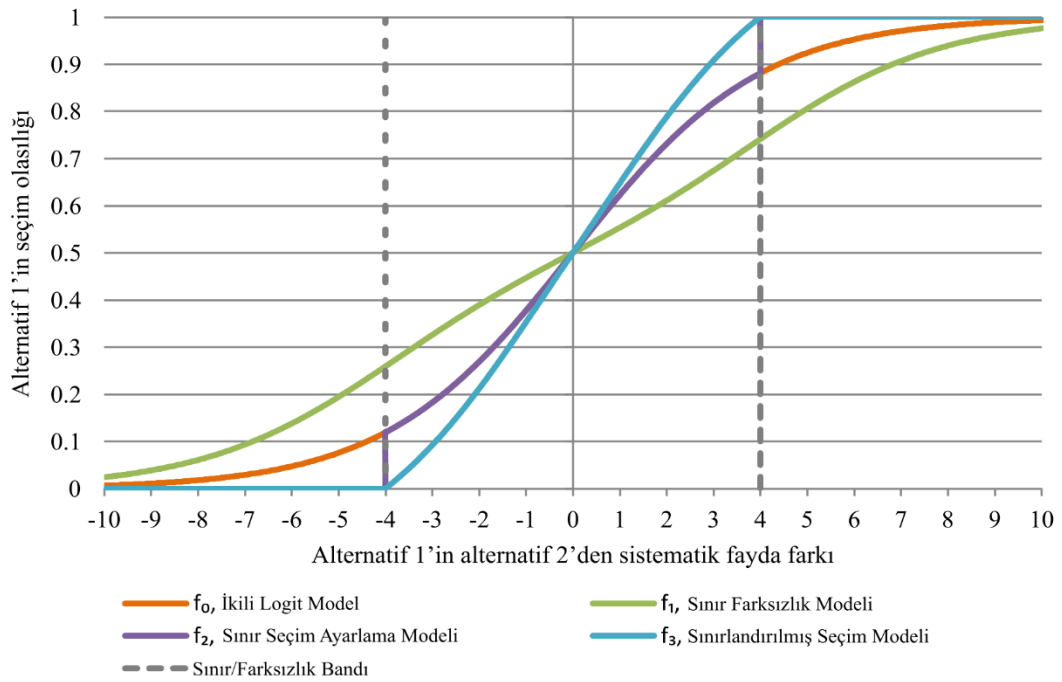
$$\delta_{a,k}^{r,s} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } a \text{ bağı } k \text{ rotasına ait ise,} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \tag{2.8}$$

(2.7) ve (2.8)'de verilen eniyileme süreci, kullanılan bütün rotaların eşit seyahat süresine sahip olması durumunda veya kullanılmayan bütün rotaların minimum seyahat maliyetine sahip rotalardan daha yüksek bir maliyete sahip olması durumunda sona erer. Dolayısı ile atama problemi dengelenme gerçekleşinceye kadar devam etmelidir.

Dengelenmenin gerçekleşme süresi planın uygulandığı bölgedeki ulaşım ağının büyüklüğüne göre değişmektedir. Bununla beraber yöntem, ulaşım planlarında en sık kullanılan yöntem olmaktadır.

Sistem dengesi ataması; Wardrop'un ikinci prensibine dayanan sistem, ağdaki tüm kullanıcıların birbirleri ile iletişim halinde olduklarını ve ağ sisteminin toplam seyahat süresini enküçükleyecek hareketler için kullanılacak rotaların bilinmesine dayalıdır (Mathew & Rao, 2007). Uygulamada gerçekçi davranışsal bir yaklaşım olarak gözükmese de günümüzde gelişmeye başlayan nesnelere interneti, büyük veri yönetimi ve coğrafi bilgi sistemleri yardımı ile gelecekte şehir ulaşım planlarında otonom araçların etkilerini incelemek için kullanılabilir bir modeldir.

Stokastik atama; yaklaşım, seyahatin başlangıcı ve varışı arasındaki en kısa rotanın algılandığını dolayısıyla her zaman en kısa yolun seçiminin gerçekleşmediğini savunur. Denge atamasına göre daha gerçekçi bir yaklaşım olmakla beraber işlem süresi oldukça uzundur. Bir rota seçim olasılık problemi olarak düşünülen stokastik atama süreçlerinde olasılık parametrelerinin yok sayıldığı durumda, süreç, kullanıcı dengesi atamasına yaklaşır. Stokastik atamada kullanılan fonksiyonlar alternatif rotaların direnimlerine göre seçim yapılmasını sağlar. Bir rotanın, alternatif bir rotaya olan göreceli faydası, seçim olasılığının gücünü belirlemektedir. Fayda, süre, mesafe vs. olabileceği gibi yol kullanım ücretleri, taşıt işletme giderleri vs.'yi de hesaba katan genelleştirilmiş maliyetlerle de ifade edilebilmektedir. Çeşitli modellerin alternatif rotaların seçim olasılıklarına olan etkileri Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9: İkili rota seçiminde alternatif yaklaşımlar (Watling, ve diğ., 2018)

2.3 Gözlem Verileri ile Talep Tahmini

Chicago bölgesinde yapılan çalışmalarda temelleri atılan dört aşamalı ulaşım planlamasının gerektirdiği ön çalışmaların maliyeti oldukça yüksektir. Bu sebeple planlanan otoyol projelerinin talep tahmininde veya bölge ulaşım planlarında farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Tüm plan süreçlerinde ana amaç talebin başlangıç-varış (B-V) çiftlerini gerçeğe en yakın bir şekilde kestirerek, seyahatlerde kullanılan rotaları bulmak olarak özetlenebilir. Dolayısı ile otoyol projelerinde, kentsel ulaşım planlarında veya herhangi bir toplu taşıma planlamasında projeler seyahat talebini tahmin etmeye ve bu talebin nerede oluşup nerede bittiğini kestirmeye odaklanmaktadır. Bu şekilde bir otoyol projesinin kesim özellikleri veya bir toplu taşıma projesinin durak özellikleri planlanabilir. Konu ile ilgili anket çalışması gerektirmeden ortaya çıkan yaklaşımlar da yine talebin B-V çiftlerini bulmaya yönelik olmaktadır. Dolayısı ile geleneksel planlama çalışmalarında uygulanan yol kenarı sürücü anketleri veya hane halkı anketlerinin yanında, bazı uygulamalar gelişmiştir. Başlıca uygulamalar aşağıda verilmiştir:

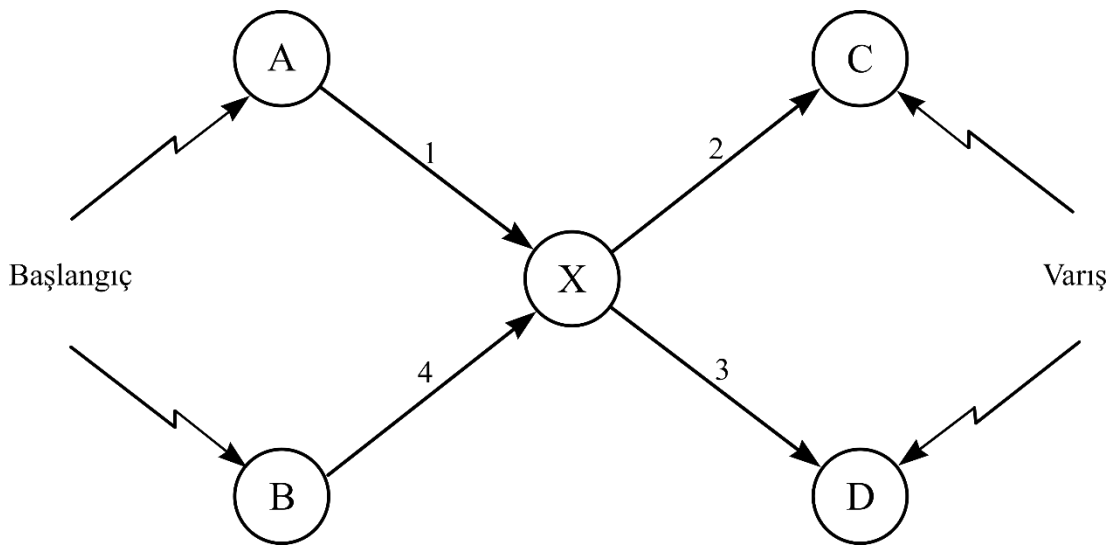
- *Plaka Metodu*; seçilen bölgedeki kordon veya iç noktalardaki taşıtların plakalarının takip edilmesi işlemidir. Yöntem, Bebee (1959) tarafından çok küçük ölçekteki bölgeler için denenmiş olsa da kent ölçeğinde böyle bir çalışmanın gerçekleştirilmesi için çok fazla miktarda işgücü ve zaman gerekmektedir (Willumsen, 1978). Bununla beraber günümüzde otoyol geçiş sistemlerinde kullanılan manyetik kartlar çoğu taşıta entegre olduğundan, otoyolda kullanılan sistemlerin şehir içerisinde yaygınlaştırılması ile plaka metodunun modern versiyonu uygulanabilmektedir.
- *Hava Fotoğrafi Metodu*; deneysel olan bu metod, belirli bir irtifadan çekilen hava fotoğrafları neticesinde taşıtların gözlenerek B-V matrisinin bulunmasına yöneliktir (Willumsen, 1978). Bu metod çok küçük çalışma bölgeleri için uygulanabilse de günümüzde görüntü işleme teknolojilerinin ve uyduların fotoğraf kalitelerinin artması ile gündeme gelebilecek bir uygulama olmaktadır.
- *Araba Takibi Metodu*; Wright (1977) tarafından geliştirilen ve denenmiş metodun, büyük bölgelerde kısıtlı olması ihtimali vardır (Willumsen, 1978).

Geleneksel planlama yöntemleri ile elde edilen B-V matrislerinin tahmini uygulamasına yönelik olarak geliştirilen deneysel çalışmalar genellikle küçük çalışma alanları ile sınırlı olduğundan ve bazıları yüksek miktarda işgücü gerektirdiğinden, bir başka yöntem olan trafik sayımlarından B-V matrisinin tahmini yöntemi doğmuştur. Sahada gerçekleştirilen sayımlar ile elde edilen gözlem verilerinden yola çıkılarak oluşturulan yaklaşımlar bu kapsamda geleneksel dört aşamalı ulaşım planlarındaki ön çalışmaları gerektirmemekte ve talebin B-V çiftlerini sahada gerçekleştirilen sayımlar ile bulmayı hedeflemektedir. Yöntemin ilk versiyonları seyahat dağılımının çekim modeli parametrelerini kalibre etmek için sayım verilerinin kullanılmasına ve bu şekilde B-V matrisinin elde edilmesine yöneliktir.

Low (1972), planlama çalışmalarında seyahat üretimi, seyahat dağılımı, türel ayırım ve trafik ataması aşamalarının ayrı ayrı yapıldığını ve bu aşamaların teori ve tekniklerindeki her bir gelişmenin, uygulamaları daha da komplike hale getirdiğinden ve ulaştırma çalışmalarının özellikle küçük alanlarda daha ucuz ve daha basit olması gerektiğinden bahsetmiştir. Çalışmada bir ulaştırma modelinin istenilen son çıktısının yol parçalarındaki gelecekteki trafik hacimlerinin bilinmesi olduğu öne sürülmüştür. Geleneksel yaklaşımlarda, seyahat uçlarının ağdan bağımsız olarak belirlendikten sonra seyahatleri oluşturmak için eşleştirildiğinden ve gelecekteki trafik hacimlerini bulmak için bağlarda seyahatlerin rotalarının matematiksel olarak oluşturulduğundan bahsedilmiştir. Geliştirilen yöntem ile bağlardaki trafik hacimleri parça parça hesaplanmış ve göreceli olasılığın bir fonksiyonu olarak seyahatlerin bir bağı diğer bir bağı tercih edeceği öngörülmüştür. Yöntem seyahat üretimi, seyahat dağılımı ve trafik atamasını bir prosedürde birleştirerek seyahat olasılık matrisi hesaplanmasını önermektedir. Buna göre gerekli sosyo-ekonomik özellikler sağlandıktan sonra çekim modelinden elde edilen sonuçlar ile her bir B-V çiftinin seyahat olasılığı hesaplanmakta ve dışsal seyahatler ile içsel seyahatler bağlara sırası ile atanmaktadır. Daha sonra toplanan tüm seyahatler gözlem verileri ile karşılaştırılmaktadır. Çalışmada örnek bir bölge seçerek, bölgedeki baz yılı nüfusu, çalışan sayısı, karayolu sistemi, trafik hacim haritası ve dışsal yolculukların seyahat tablosu elde edildikten sonra trafik ataması gerçekleştirilmiş ve atama sonuçları gözlem verileri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda tahmin ve gözlem bağ hacimlerinin korelasyonunun yüksek olduğu hesaplanmıştır.

Robillard (1975) çalışmasında, sahada gerçekleştirilen sayım uygulamalarının genellikle sınırlı bir bölgedeki sirkülasyon kontrolleri veya herhangi bir yol yatırımı için kullanıldığını belirtmiştir. Çalışmada analiz bölgeleri arasındaki B-V seyahat çiftlerinin tahmin edilmesinde de sahada gerçekleştirilen sayım çalışmalarının kullanılabilmesi öne sürülmüştür. Gözlem verileri ile seyahatlerin B-V çiftlerinin tahmininde lineer regresyon yöntemi kullanılmış ve B-V çiftlerinin tahmininde matris ve vektörlerden oluşan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Buna göre yöntem temelde, bir ulaşım ağına ve bu ulaşım ağındaki elemanların bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Ulaşım ağı en genel ifadesi ile analiz bölgesi, düğümler ve bağlardan oluşmakla beraber bağlarda gerçekleştirilen gözlem verileri uygulamaların girdisini oluşturmaktadır. Yöntem genel olarak, bağlarda sayılan trafiğin sonuçlarına dayalı olarak tahmin edilen B-V matrisinin tekrar ağına atanması ile oluşan bağ hacimlerinin orijinal gözlem verileri ile karşılaştırılmasından sonra iki değer arasındaki farkın iteratif yöntemlerle minimize edilmesine dayanmaktadır.

Robillard (1975) gözlem verilerinden B-V matrisinin tahmini çalışmalarında oluşturduğu bir test ağından faydalanmıştır. Test ağı, bir adet başlangıç analiz bölgesi ile bir adet varış analiz bölgesinden oluşmakta ve bu analiz bölgelerinin bağlandığı ikişer adet düğümlerle beraber bir bağlantı düğümünü içermektedir. Düğümler arası ise toplam dört adet bağ mevcuttur. Şekil 2.10'da problemin çözümü için kullanılan test ağı gösterilmiştir.

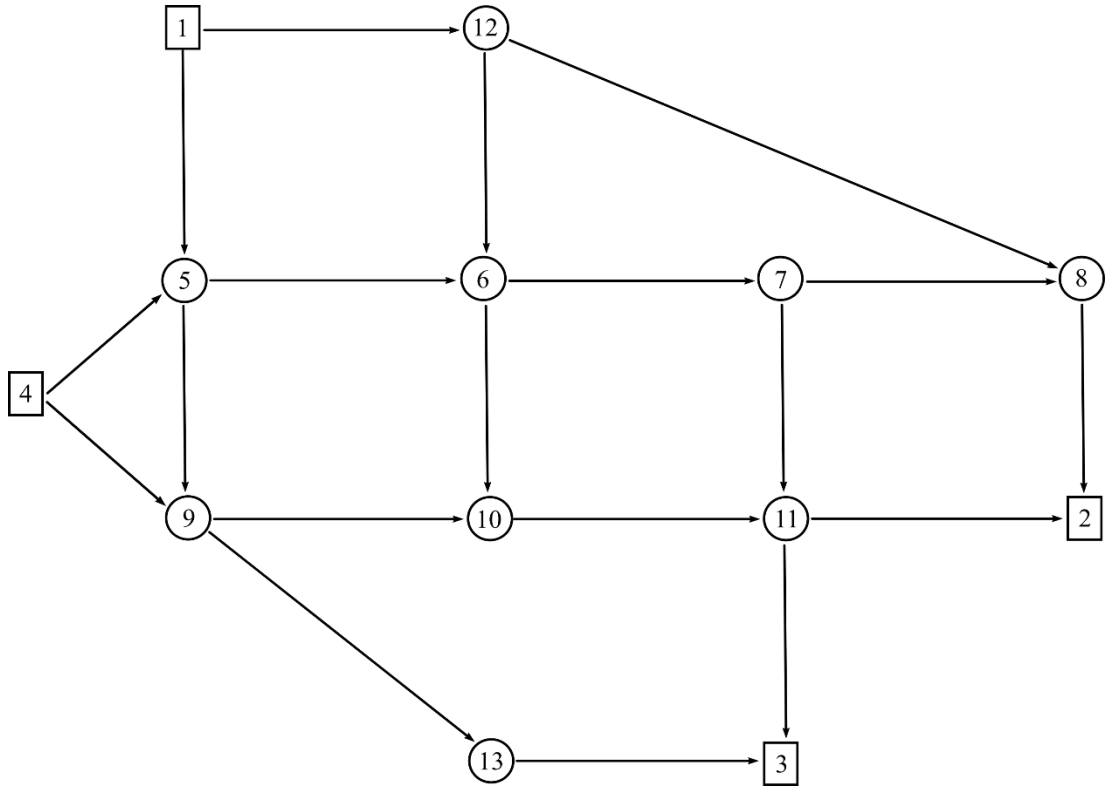


Şekil 2.10: Robillard (1975) tarafından kullanılan test ağı

Robillard (1975) tarafından kullanılan test ağında, Şekil 2.10'dan görüldüğü üzere A ve B, başlangıç düğümleri, C ve D varış düğümleri olmaktadır. Böylelikle seyahatler A düğümünden başlayıp C veya D düğümünde sonlanmakta veya B düğümünden başlayıp C veya D düğümünde sonlanmaktadır. Kullanılan test ağında 1, 2, 3 ve 4 numaralı bağlardaki başlangıç hacimleri belli olmakta ve yöntemin amacı tahmin edilen B-V çiftlerinin ağa atanmasından sonra yine 1, 2, 3, ve 4 numaralı bağlardaki başlangıç hacimlerinin elde edilmesine dayanmaktadır. Çalışmada, gözlem verileri ile analiz bölgelerindeki üretim/çekim değerleri tahmin edildikten sonra klasik seyahat dağılımı yöntemleri ile analiz bölgeleri arasındaki seyahatin dağıtılabileceği, bununla beraber elde edilecek seyahat çiftlerinin tek bir çözümünün olmadığı vurgulanmıştır. Problemin çözümü için parçalı atama yönteminden faydalanılmıştır. Yönteme göre seyahat çiftleri teker teker tahmin edilip ağa atanmakta ve daha sonra bağlarda oluşan trafik hacimleri toplanmaktadır. Ancak, çalışılan test ağında bağlarda herhangi bir kapasite kısıtı bulunmamaktadır.

Jensen ve Nielsen (1973) ile Holm ve diğ. (1976) yaptıkları çalışmalarda seyahat üretimi, seyahat dağılımı ve trafik ataması modellerinin sayım verileri ile doğrudan kalibrasyonunu sağlamışlardır. Çalışmalarda, iteratif atama yöntemleri kullanılmıştır. Dışsal seyahatler önceden toplanan bir veri olmayıp, modelin çıktısı olarak oluşmaktadır. Yöntem, seyahat üretimi ve seyahat dağılımının birleştirilmiş bir formülasyonundan oluşmaktadır. Formülasyonda yer alan seyahat üretimi faktörü, iteratif atama yöntemleri ile hesaplanan bağ hacimlerinin, gözlem değerleri ile karşılaştırılmasından sonra bulunmaktadır. Bu şekilde geleneksel yöntemlerin dışında seyahat üretimi ve dağılımı tek bir prosedürde gerçekleştirilmektedir. Atamalar Wardrop'un denge ilkesine göre oluşturulmuştur. Danimarka'da gerçekleştirilen uygulamalarda, 73 analiz bölgesi, 334 bağ, hız-akım ilişkilerine bağlı 7 bağ çeşidi ve bunların üzerindeki 40 gözlem noktası kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda kurulan modelin yüksek akımlarda fazla tahmin yaptığı ve düşük akımlarda az tahmin gerçekleştirdiği sonucuna varılmış ve bunun sebebinin dış zonlar arası seyahatlerin model tarafından önceden göz önünde bulunmayışından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bununla beraber yapılan çalışmada bağlardaki hacimlerin tahmin ve gözlem değerleri arasındaki hata oranı %17 olarak hesaplanmış ve kesitlerin yalnızca yarısıyla kalibrasyon yapıldığından bozulma sınır değerleri içerisinde görülmüştür (Willumsen, 1978).

Nguyen (1976) yaptığı çalışmada Robillard (1975) tarafından çözülen doğrusal olmayan problemi genişletmiş ve iki farklı yöntem uygulamıştır. Yöntemlerden birisi çalışılan bölgedeki tüm bağlardaki trafik hacimlerinin bilinmesine dayalıdır. Çalışmalarda Wardrop'un denge yöntemi benimsenmiş ve hacimlerin bağlarda oluşturduğu maliyetlerin dengelenmesi ile seyahat matrisinin tahmini gerçekleştirilmiştir. Yöntemlerden bir diğeri ise çalışılan bölgedeki bağların son seyahat süreleri bilgilerinin bilinmesine yöneliktir. Veri gereksinimini indirgeyen bu yöntemde gözlemlere ihtiyaç duyulmamakla birlikte veri temini aşamasında bağlardaki kapasiteler ile beraber, denge direnimlerin elde edilmesi gerekmektedir. Çalışmada 4 analiz bölgesi ve 18 tek yönlü bağdan oluşan bir test ağı kullanılmış ve iki yöntem de kabul edilebilir hata sınırlarında sonuç vermiştir. Yazar tarafından çalışmalarda kullanılan test ağı Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Nguyen (1977) test ağı

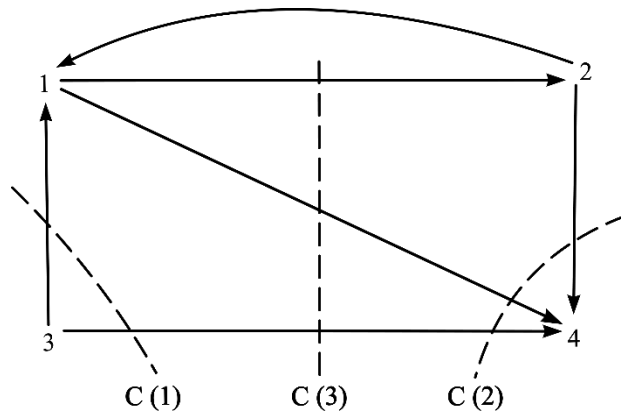
Çalışmada gözlem verilerine dayalı olarak tahmin edilen seyahat çiftleri problemi için yeterli koşullar belirtilmemekle beraber, yalnızca gerekli koşulların altı çizilmiştir. Geliştirilen metot ile elde edilen çözümler Wardrop'un ilk prensibine uymakla beraber problemin çıktısı olan B-V çiftlerinin tek bir çözümü olmamaktadır (Willumsen, 1978).

Van Zuylen (1977) yaklaşımı, entropi maksimizasyonuna dayanmaktadır. Entropi orijinalinde fizikte kullanılan bir terim olmakla beraber basit olarak düzensizlik hali olarak ifade edilebilir. Ulaştırma alanında bu yönde geliştirilen yaklaşımlar, minimum girdi ile maksimum bilgi elde etmek üzerine dayalıdır. Çalışmada geliştirilen algoritmalar ile seyahat matrisinin gerekli olandan daha fazla bilgi kaybetmeden tahmin edilmesi sağlanmıştır. Uygulanan metot analiz bölgeleri arasındaki seyahat çiftlerinin bir başlangıç tahminine ihtiyaç duymaktadır. Başlangıç talep matrisi daha sonra gözlem verileri kullanılarak iyileştirilmektedir. Çalışmada çözümün kalitesinin başlangıç talep matrisinin başarısına bağlı olduğu belirtilmiş, uygulanan modelin dolayısı ile eski bir B-V matrisinin güncellenmesine daha yatkın olduğu vurgulanmıştır (Willumsen, 1978).

Carey ve diğ. (1981) çalışmalarında gözlem modeli olarak ulaşım ağındaki perde hatları verilerini kullanmış ve bu gözlemler modelde kısıt olarak girilmiştir. Beş farklı tipteki verinin modelde kullanabileceğinden bahsedilmiştir. Bunlar;

- B-V bölgeleri arasındaki seyahat direnimi (seyahat süresi veya çeşitli direnimler olabilir);
- B-V bölgelerindeki sosyo-ekonomik karakteristikler;
- Bölgeler arasındaki akımların gözlemleri;
- Gözlem noktalarındaki trafik hacmi verileri; ve
- B-V bölgelerindeki toplam trafiktir.

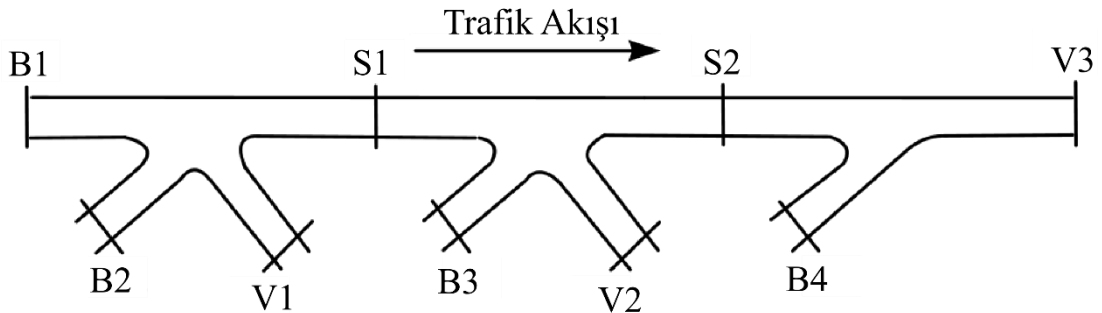
Yazarlar tarafından kullanılan test ağındaki perde hatlarının konumları Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12: Carey ve diğ. (1981) tarafından kullanılan test ağı

Neumann ve diğ. (1983) çalışmalarında bağlardaki trafik hacmi verilerini kullanarak tüm amaçlar için seyahat üretim oranı tahmini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarda dışsal ve içsel seyahatler birbirinden ayrılmış ve dıştan içe olan seyahatler ile içten dışa olan seyahatlerin oluşturduğu trafiğin sayılması ile beraber bölge bütününe seyahat üretim-çekim miktarının bulunması amaçlanmıştır. Çeşitli veri toplama yöntemleri ile bölge bütününe sosyo-ekonomik karakteristikleri elde edildikten sonra, çift yönlü dışsal seyahatlerin gözlem verilerini oluşturması durumunda, gözlem trafik akımları regresyon denkleminin bağımlı değişkeni olmakta ve sosyo-ekonomik göstergeler bağımsız değişkenleri temsil etmektedir. Karşılaştırmalı modeller sonucunda amaçtan bağımsız hesaplanan bölge bütünü seyahat üretim-çekim miktarlarının tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. İki bölgede yapılan çalışmalar sonucunda, trafik gözlem verilerinin yıl boyunca düzenli kaydedilmesi ile beraber etkin tahminlerin yapılabileceği ortaya konulmuştur.

Nihan ve Davis (1987) çalışmalarında bir yol parçasındaki giriş ve çıkış hacimlerindeki gözlem verilerinden yararlanarak B-V matrislerinin tekrarlı tahminlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada Kuzey Seattle'de bulunan bir otoyol kesimi kullanılmıştır. Şekil 2.13'te uygulama için kullanılan ağ gösterilmiştir.



Şekil 2.13: Nihan ve Davis (1987) tarafından kullanılan yol kesimi

Şekil 2.13'te gösterilen, erişim kısıtlı yol ağındaki katılım ve ayrılımlar birer analiz bölgesi olarak kabul edilmiş, yol kesimine katılan tali yollar başlangıç bölgeleri, yol kesiminden ayrılan tali yollar bitiş bölgeleri olarak ele alınmıştır. Çalışmalar sonucunda tekrarlı tahmin edicilerin, mühendisler ve plancıların bir bölgenin zaman değişkenli B-V özelliklerini takip etmesinde ve aynı zamanda uygulamanın gerçek zamanlı rampa kontrolünde de kullanılabileceği belirtilmiştir.

Janson ve Southworth (1992) tarafından geliştirilen uygulamada dinamik atama yöntemi kullanılmış ve gözlem verilerine dayanarak seyahatlerin başlangıç zamanlarını ölçmek için çalışmalar yapılmıştır. Dinamik atama yöntemi genellikle 1 saat olarak çalışılan dilimlerde belirli zaman aralıkları oluşturularak her bir zaman aralığının B-V matrislerinin sırasıyla ulaşım ağına atanması olarak uygulanmaktadır. Problemin çözümünde Van Zuylen (1977) entropi maksimizasyonu yaklaşımı kullanılmıştır. Pittsburgh bölgesinde seçilen bir alanda uygulanan çalışmalarda anayollara yerleştirilen 17 gözlem noktası oluşturulmuştur. Zaman aralıkları ise 10'ar dakika olarak seçilmiştir. Geliştirilen prosedürün iki farklı şekilde uygulanabileceğinden bahsedilmiştir. Birincisi, belirli bir zaman dilimindeki aralıklarda meydana gelen seyahatlerin tahmini için yani seyahatlerin başlangıç zamanlarının tahmini için ağdaki sıkışıklıkların, kullanıcı gecikmelerinin, yakıt tüketiminin veya çevre kirleticilerin gözlenmesi, ikincisi ise gözlem verilerinden yararlanarak bahsi geçen trafiğin oluşması için zaman dilimlerinde gerçekleşecek hacimlerin tahmini olmaktadır. Çalışmanın çıktılarından biri olarak trafik adalarındaki sinyalizasyon düzenlemeleri ve otoyollardaki rampa kontrolleri için uygulama önerilmektedir.

Kawakami ve diğ. (1992) yaptıkları çalışmada, geçmişte kullanılan, seyahat üretimi ve seyahat dağılımı modellerinin trafik ataması yöntemi ile birleştirilerek konsolide modellerin kullanımına ek olarak seyahat dağılımı, türel ayırım ve atama yöntemlerini birleştirmişlerdir. Çalışmalarda 154 düğüm, 240 bağ ve 16 analiz bölgesinden oluşan bir test ağı ve entropi kısıtı kullanılmıştır. Böylelikle B-V seyahat matrislerinin farklı ulaşım türleri için, analiz bölgelerinde gözlenen trafik hacimleri ve bağlarda gerçekleştirilen sayımlar yardımıyla tahmin edilebileceği belirtilmiştir.

Tamin ve Willumsen (1992) saha gözlem verilerini kullanarak seyahat matrisinin tahmin edilmesi problemini yük seyahatleri için uygulamışlardır. Modelde ton cinsinden yük B-V matrisi ile beraber alt kırılımlarda beş adet emtia kullanılmıştır. Çalışmalarda çekim modelinin iki farklı yöntemi kullanılmıştır. Bunlar; çekim modeli ile çekim-fırsat modeli olmaktadır. Bali bölgesinde uygulanan çalışmalarda modelin tutarlılığı saptanmış ve böyle bir uygulama için gerekli olacak trafik sayımı çalışması miktarı önerilmiştir.

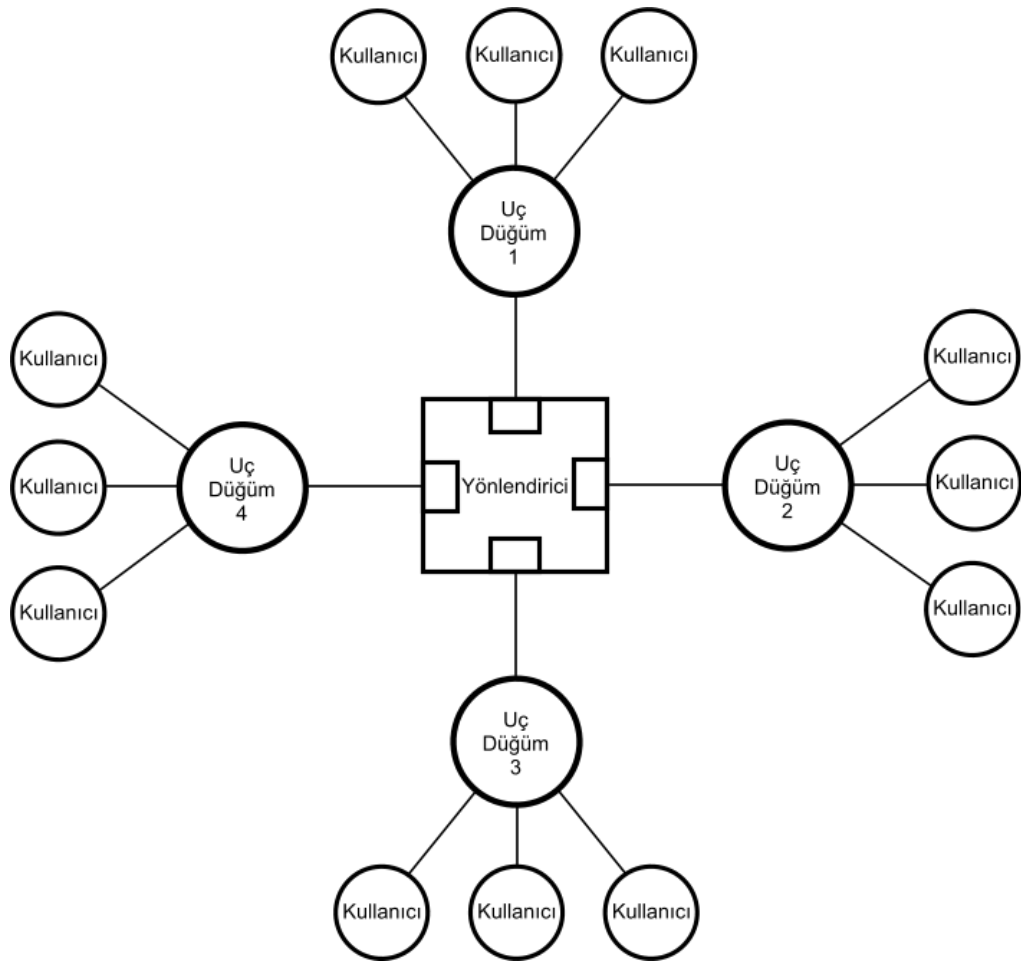
Nanda ve Kikuchi (1993) çalışmalarında gözlem verileri ile seyahat matrisinin tahmini probleminde analiz bölgelerindeki seyahat üretim-çekim değerlerine odaklanmışlardır. Planlama çalışmalarında analiz bölgelerindeki seyahat üretim-çekim değerlerinin tahmini kesin olmadığından, çalışmada analiz bölgelerindeki seyahat üretim-çekimlerin bulanık olduğu durumda trafik sayımlarından yararlanılarak başlangıç-varış matrisinin tahmininin gerçekleştirilmesi için model geliştirilmiştir. Uygulama için seyahat üretim-çekim değerlerinin bilindiği ancak kesin olmadığı varsayılmıştır. Geliştirilen model, gözlenen bulanık seyahat üretim-çekim senaryoları için, herhangi iki analiz bölgesi arasındaki maksimum ve minimum seyahati tahmin etmektedir.

Hamed ve Nihan (1996) çalışmalarında kavşak kollarındaki akımların gerçekleştiği B-V bölgelerine odaklanmışlardır. Bu kapsamda kavşak kolları birer analiz bölgesi olarak nitelendirilmiş, kavşağa giriş ve çıkış kollarında yapılan trafik sayımları ile kavşak dönüş hacimlerinin tahmini yönünde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Uygulamada dört ayaklı iki kavşak ile T model kavşak göz önüne alınmış ve zaman aralıkları 15 dakika olarak seçilmiştir. Problem için tahmin ediciler çalışma kapsamında karşılaştırılmıştır.

Gong (1998) çalışmasında bağ sayımlarından analiz bölgeleri arasındaki B-V talebinin tahmini için Hopfield Sinir Ağı modelini önermiştir. Genellikle gezgin satıcı problemlerinde kullanılan modelin, seyahat matrisinin tahmini için kullanması ile tahmindeki işlem süresi kısalmış ve çalışmada, sinir ağı modelinin problemlerdeki global eniyiyi bulma becerisinden ötürü, yöntemin, kesit sayımlarından seyahat matrisinin tahmini problemi için de kullanılması önerilmiştir.

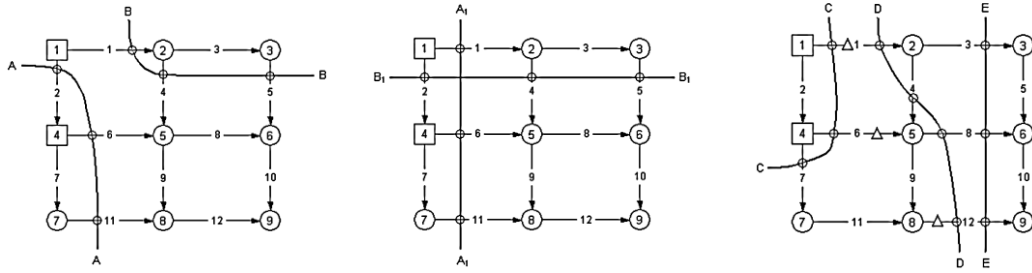
Kim ve diğ. (2001) çalışmalarında kesit sayımları ile B-V tahmini uygulamalarında, duyarlılık analizi tabanlı algoritmaları kullanan ikili programlama metotları ile genelleştirilmiş en küçük kareler probleminin çözümü yerine, daha kararlı ve global eniyiyi bulmada daha başarılı bir sistem olan genetik algoritmayı önermişlerdir. Geliştirilen model amaç başlangıç-varış matrisini ulaşım türlerine bölerek her bir ulaşım türü için seyahat matrisi tahmin etmektedir. Bununla beraber gelecek çalışmalarda trafik sayımlarının ne kadar güvenilir olduğunun ölçülmesi gerektiğinden bahsedilmiştir.

Cao ve diğ. (2004) gözlemlerden yola çıkarak bir haberleşme ağındaki B-V matrisini tahmin etmişlerdir. Bu kapsamda haberleşme ağı ulaşım ağına çok benzemektedir ve analiz bölgesi, düğüm ve bağ gibi terimler haberleşme terminolojisinde de yerini almaktadır. Yapılan çalışmalarda ulaşım ağındaki kesitlerde gözlenen taşıtlar yerine, haberleşme ağındaki “bilgi”ler (bit) sayılmıştır. Konu ile ilgili geçmiş çalışmalarda da olduğu gibi (Vardi, 1996) gözlenen veriler ile haberleşme ağındaki B-V matrisi kestirimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarında, Yerel Ağ Bağlantısı (LAN) sağlayıcılarının haberleşme ağındaki B-V matrislerine erişim yetkisinin bulunması halinde ağdaki trafik akımının zaman periyotları ve büyüklüklerinin çok daha iyi anlaşılacağı ve böylelikle ağ yönetiminin, planlanmasının ve ücretlendirmesinin daha etkin yapılabileceği belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan ağ Şekil 2.14’te gösterilmiştir.



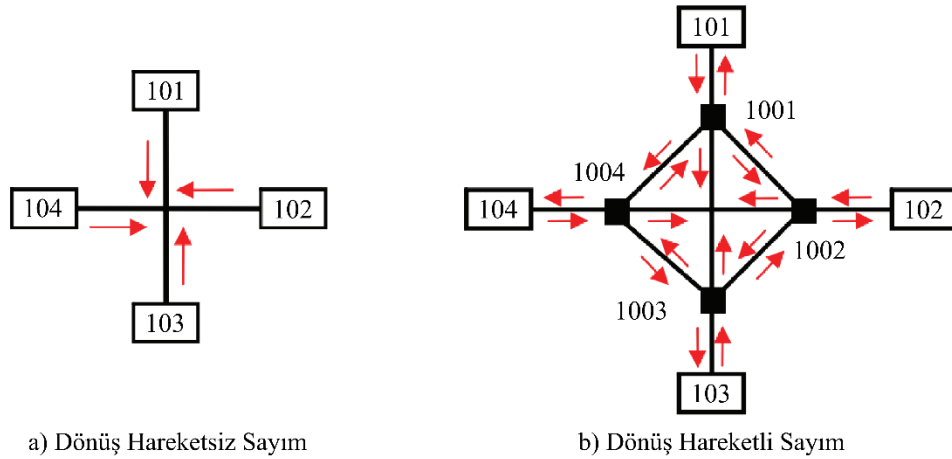
Şekil 2.14: Cao ve diğ. (2004) haberleşme test ağı

Chen ve diğ. (2007) çalışmalarında, başlangıç-varış matrisinin tahmin edilmesinde kullanılan yöntemlerden birisi olan perde hatları sayımlarından yola çıkarak hat sayılarının ve yerleşim yerlerinin seyahat matrisindeki etkisini araştırmışlardır. Problemin çözümünde genetik algorithmadan faydalanarak gözlemler sonucu elde edilen bilgiler coğrafi bilgi sistemine işlendikten sonra perde hatlarının matris tahminindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Şekil 2.15'te çalışmada kullanılan perde hattı mekanizmaları gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Chen ve diğ. (2007) test ağındaki perde hatları konumları

Lee ve diğ. (2007) çalışmalarında, sayım verilerinden B-V matrisinin tahmini probleminde kesit veya bağ sayımları yerine kavşak dönüş hacimlerini kullanmışlardır. Kavşaklar aslında kendi içerisinde parçalara ayrıldığında birkaç tane bağdan oluşmaktadır. Dolayısı ile kavşak dönüş hacimlerinin sayılması, gerçekte birkaç tane bağın sayılması anlamına gelmektedir. Çalışmada bu prensipten yola çıkılarak, video tabanlı sayım uygulamaları geliştirilmiştir. Kavşaklara yerleştirilen kameralar ile dönüş hacimleri taşıt takip sistemleri ile sayıldıktan sonra B-V matrisi tahmini gerçekleştirilmiştir. Kavşak dönüş hacimlerinin sistemdeki etkisi Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16: Kavşak dönüş hareketlerinin sistem etkisi

Shafahi ve Faturechi (2008) çalışmalarında planlama aşamalarında toplanan verilerin kesin ve keskin olmadığını, belirli hata oranları içerisinde kaldığını söylemektedir. Çalışmada seyahat üretimi, dağılımı, türel ayırım ve atama gibi yöntemlerin teker teker kendi içerisinde hataları olmasının yanında, sahada gerçekleştirilen gözlemlerin verilerinin de bulanık olduğundan bahsedilmiştir. Bu sebeple sayım verileri ile B-V matrisinin tahmininde aralık sonuçlar veren bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada en kısa yol aramasında Floyd-Marshall algoritması geliştirilerek Bulanık Floyd-Marshall algoritmasından yararlanılmış, gözlem verileri ile tahmin verilerinin karşılaştırmasında da bulanık düzen yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, kullanılan yöntemin büyük trafik ağları için de kullanılabileceği belirtilmiştir.

Alibabai ve Mahmassani (2008) zaman aralıklı başlangıç-varış matrisinin dinamik tahmininde kavşak dönüş hacimlerini kullanmışlardır. Seçilen bir bölgede gerçekleştirilen uygulamalarda, kavşak dönüş hacimleri ve bağ hacimlerinin gözlemleri ile elde edilen zaman aralıklı matris tahminleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, bölgedeki gerçek seyahat çiftlerinin bilinmemesinden dolayı, tahmin edilen matrislerin tekrar ağa atanması ve sayım verileri ile karşılaştırılarak hata oranlarının hesaplanması yöntemi kullanılmıştır. Uygulamaların sonucunda zaman aralıklı seyahat matrisi tahmin yöntemlerinde gözlem kavşak dönüş hacimlerinin kullanılmasının, gözlem bağ hacimlerine göre daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Barcelo ve diğ. (2012) çalışmalarında teknolojinin olanaklarından faydalanarak trafik gözlem yönteminde farklı bir bakış açısı kullanmışlardır. Araçlara entegre olan Bluetooth sistemlerinden hareket bilgisi elde edilmiş ve geleneksel metotlara benzer bir şekilde taşıtın ilgili yol kesiminden geçmesi halinde, sensörler tarafından Bluetooth verileri yakalanarak taşıtın kimlik ve hız bilgileri elde edilmiştir. Amara bölgesinde gerçekleştirilen uygulamada 232 bağ, 142 düğüm, 85 B-V çifti kullanılmış, bölgede 358 olası rotanın mevcut olduğundan bahsedilmiştir. Çalışmada ulaşım ağında seyreden taşıtlardaki Bluetooth verilerinin elde edilmesi amacıyla 48 adet dedektör kullanılmıştır. Uygulama sonucunda otoyol kesimlerinde yöntemin tutarlı sonuçlar verdiği ve tahmin talep matrisinin eski B-V matrisine çok bağımlı olmadığı belirtilmiştir.

Iqbal ve diğ. (2014) çalışmalarında problemin çözümünde farklı bir yaklaşım geliştirerek cep telefonu arama bilgileri ile seyahat matrisi tahmini gerçekleştirmişlerdir. Uygulama Dhaka, Bangladeş bölgesinde 2,87 milyon telefon kullanıcısı bilgileri ve 13 istasyonda gerçekleştirilen sayımları kapsamaktadır. Metodun amacı dolayısı ile telefon çağrı bilgileri ve sınırlı sayıdaki gözlem istasyonun kullanımı ile seyahat matrisi tahmin etmek olmaktadır. Çalışmanın sonucunda uygulanan metodun sınırlarından bahsedilmiş ve yol üstü telefon istasyonlarından veya ofis telefonlarından bilgi elde edilemediğinden bahsedilmiştir. Ayrıca çağrı bilgilerinin şirketlerde halihazırda kaydının tutulduğundan ve bu bilgileri elde etmenin, geleneksel anket yöntemlerinden bilgi elde etmekten daha kolay olduğundan bahsedilmiştir.

2.4 Sonuç

Dört aşamalı ulaşım planlaması veya talep tahmini olarak ifade edilebilen çalışmaların, seyahat üretimi, seyahat dağılımı, türel ayırım ve trafik atamasının her bir uygulaması doğrudan veya dolaylı olarak yüksek miktarda saha çalışması ve maliyet gerektirmekte ve yine her bir uygulamanın kendi içerisindeki hata oranları ilk aşamadan itibaren taşınımli gelişen hatalar neticesinde yüksek olabilmektedir. Bu sebeple dünya genelinde talebin tahmininde kısıtlı sayıda veri kullanarak etkin sonuçlar almak için çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir.

Trafik sayımından elde edilen veriler ile talep matrisinin tahmini yöntemindeki uygulamalar genel anlamda ulaşım ağının bir parçası olan bağlar veya perde hatları üzerindeki trafik sayımları ile gerçekleştirilmektedir.

Konu ile ilgili önceki çalışmalarda çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Sayım verileri ile talebin tahmininde kullanılan yaklaşımlardan başlıcaları; çekim yöntemi, denge yöntemi ve entropi maksimizasyonu yöntemi olmaktadır. Geliştirilen metotlardan bazıları talebin tahmininde sadece sayım verisi kullanırken, bazıları bir takım şartlı veya şartsız başlangıç bilgilerine ihtiyaç duymaktadır. Bu kapsamda ihtiyaç duyulan başlangıç bilgileri, analiz bölgelerindeki toplam seyahat üretim-çekimi veya yaklaşık talep matrisi olabilmektedir.

Teknolojinin ilerlemesi ile beraber veri elde etme yöntemleri de gelişmektedir. Uygulamaların ilk çıktığı 1970’li yıllarda trafik sayımları genellikle el ile gerçekleştirilmekteyken, günümüzde trafik verileri görüntü işleme metotları, manyetik veya dijital sistemler ile istenilen bir zaman diliminde veya sürekli olarak elde edilebilmektedir. Dolayısıyla uygulamalar ile birlikte planlama süreçlerinde iki konuda da geleneksel metotlar değişmekte veya gelişmektedir.

Literatürde konu ile ilgili geçmiş çalışmaların neredeyse tamamı bağlar üzerindeki trafik verileri ile B-V matrisinin tahmini ile ilgilidir. Bunlardan birkaçında ise talebin tahmininde perde hatları sayımları kullanılmıştır. Bununla beraber kavşak dönüş hacimlerinin sayılması ile talebin tahmininde kısıtlı sayıda çalışma geliştirilmiştir.

Kavşak yapısının temelinde birçok bağ bulunduğundan, kavşak dönüş hacimlerinin sayılması aslında birden fazla bağın sayılması anlamına gelmektedir ve bu sebeple dönüş hareketleri ile talebin tahmininin bağ veya kesit üzerindeki hareketler ile talebin tahmininden daha etkili bir yöntem olması beklenmektedir. Konu ile ilgili kısıtlı sayıda çalışma da aksi yönde bir görüş belirtmemektedir. Bu sebeple çalışma çerçevesinde başlangıç koşulları ve talebi belirli olan bir test ağında bağ trafik sayımları ile elde edilen talep çiftleri ile kavşak dönüş hareketlerinin sayımları ile elde edilen talep çiftleri birbiri ile tekrarlı yaklaşımlar çerçevesinde karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar çeşitli şartlı başlangıç verilerinin kullanılması sonucu geliştirilen senaryolar doğrultusunda yapılmıştır. Talep tahminindeki gücü test edilen bağ trafik sayımı ile kavşak trafik sayımı yöntemleriyle beraber kullanılan senaryolar bu anlamda aşağıdaki maddeleri kapsamaktadır;

- S-I: Sadece gözlem verilerinin kullanılması;
- S-II: Gözlem verileri & üretim-çekim şartlı başlangıç bilgisinin kullanılması;
- S-III: Gözlem verileri & üretim-çekim şartlı başlangıç bilgisinin kullanılması & seyahat süresi dağılımı şartlı başlangıç bilgisinin kullanılması.

Kullanılan yöntemlerin yanında başlangıç bilgilerinin etkilerinin de incelendiği çalışmada aynı zamanda en yüksek hacim sırasının yığmsal olarak kullanıldığı gözlemlerle, literatürdeki ve uygulamadaki eksiklikleri gidermek adına, uygun yöntem, başlangıç bilgisi ve gözlem sayısının belirlenmesi amaçlanmıştır.

3. ÖNERİLEN MODELİN UYGULAMASI

3.1 Giriş

Analiz bölgeleri arasında gerçekleşen seyahatlerin tahmin edilmesine yönelik klasik dört aşamalı ulaşım planının alternatifi veya tamamlayıcısı olarak yapılan çalışmaların çoğunda talebin tahmini amacıyla yol parçaları üzerindeki sayımlar kullanılmıştır. Önerilen modeller çerçevesinde bazı şartlı veya şartsız başlangıç bilgileri tahmin algoritmalarına entegre edilebilmektedir. Tahmin edicilerde yol parçaları üzerindeki trafik sayımlarına ek olarak kullanılan bu başlangıç bilgileri genellikle seyahat üretim-çekimi veya yaklaşık talep matrisi olabilmektedir.

Çalışma kapsamında literatür ve uygulamadaki eksiklikleri gidermek ve gelecek çalışmalara ışık tutmak amacıyla hacim gözlemlerinden doğrudan talep tahmininde kullanılan bağ trafik sayımları ile kavşak dönüş hareketleri sayımlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Böyle bir karşılaştırmanın tek başına eksik kalabileceği düşünüldüğünden tutarlı tahminlerin ihtiyaç duyabileceği şartlı başlangıç bilgileri de sisteme dahil edilmiştir. Çalışmalar seyahat dağılımının ve davranışlarının geleneksel normlarına uymayan ve böylelikle talep tahmini açısından zorlayıcı bir test ağı üzerinde gerçekleştirildiğinden uygun yöntemin ve kısıtın seçiminin sağlıklı olacağı düşünülmüştür. Geliştirilen modelin uygulamasında PTV Visum yazılımından faydalanılmış, test ağı üzerindeki elemanlar sayısallaştırılmıştır.

Sınama amacıyla belirlenen senaryolar iki adet gözlem yöntemini ve iki adet şartlı başlangıç bilgisini içermektedir. Yöntemler yukarıda da belirtildiği gibi bağlar üzerinden geçen trafiğin ve kavşak dönüş hareketlerinin sayılması olmaktadır, şartlı başlangıç bilgileri, seyahat üretim-çekimi ve seyahat süresi dağılımı olmaktadır.

Talep tahmininde uygulanan yöntemler ve şartlı başlangıç bilgileri yığımsal olarak senaryolaştırılmış, en yüksek hacime sahip gözlem noktası ilk denemede tek başına değerlendirilmekteyken son denemede tüm gözlem noktaları sisteme dahil edilmiştir. Böylelikle çalışmalarda uygun yöntemin, başlangıç bilgisinin ve gözlem sayısının belirlenmesi amacıyla test ağı çerçevesinde 42 adet senaryo çalıştırılmıştır.

3.2 Ağ Tasarımı

Ulaşım modellerinde ağ elemanları; düğümler (nod), bağlar (link), trafik analiz bölgeleri (zone) ve bağlantılar (connector) olarak değişmektedir. Ağ elemanları ve bunların işlevleri aşağıda kısaca açıklanmıştır:

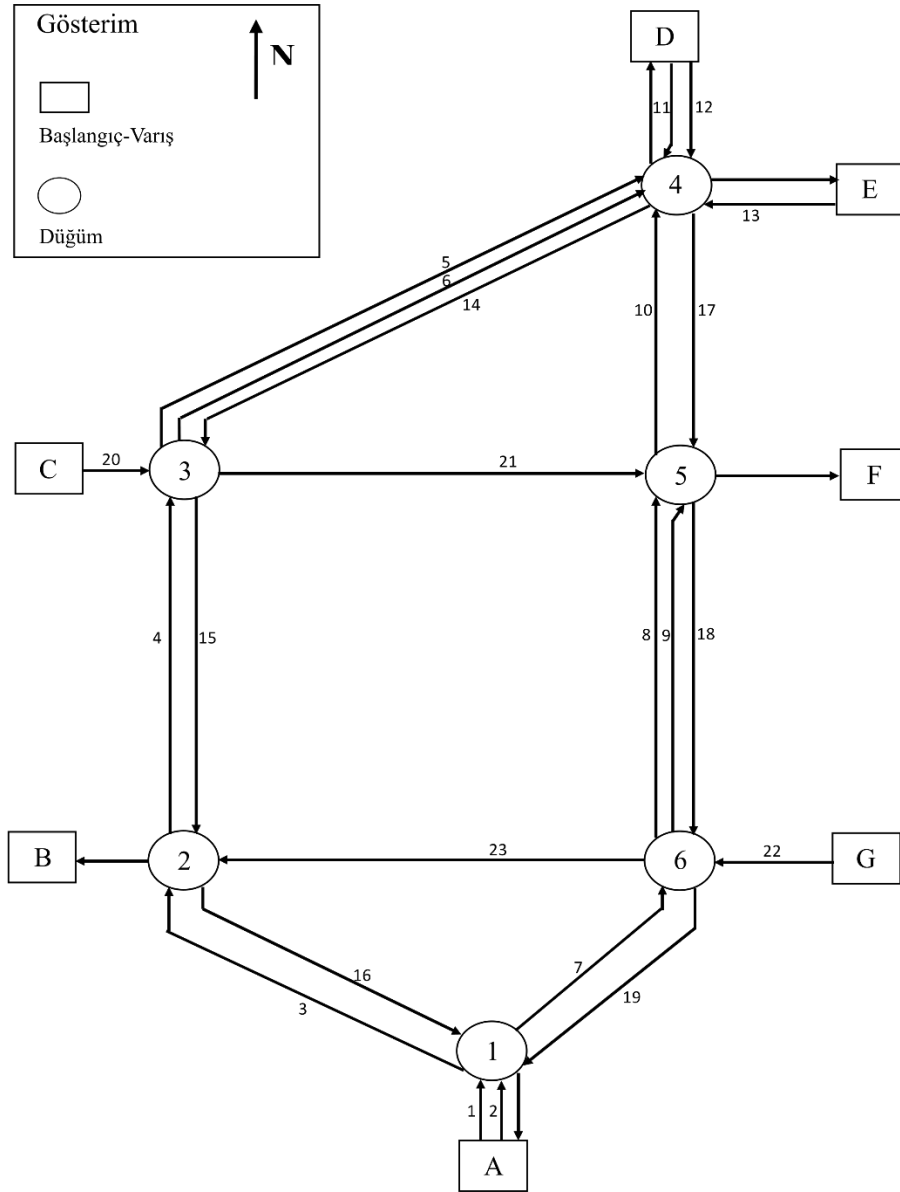
Düğümler (nod): Ağ üzerindeki düğüm noktalarını temsil etmektedir. Bu düğüm noktaları karayolu ağındaki kavşaklar, demiryolu ağındaki makaslar olabileceği gibi toplu taşıma hatlarındaki duraklar olabilmektedir. Düğümler kullanım detaylarına göre çeşitlendirilebilir. Örneğin bir karayolu ağında kavşak olarak kullanılan düğümlerde, kapasite bilgileri değerlendirilebilir. Aynı şekilde düğümlerin demiryolu ağındaki makaslar olarak ifade edildiği durumlarda, makaslardaki süre ve sürtünme kayıpları direnimsizlikleri olarak ele alınabilir. Çalışılan test ağında, ulaşım ağındaki kavşakları ve bunların hareketlerini temsil etmesi adına elemanlar, düğüm ve ana düğümler olarak kullanılmıştır.

Bağlar (link): Düğümleri birbirine bağlayan elemanlardır. Bir karayolu ağındaki sokaklar, caddeler, otoyollar vs. olarak kullanılabilen gibi, demiryolu, havayolu, denizyolu vs. rotalı toplu taşıma hatlarının güzergahlarını ifade edebilir. Bazı teorik çalışmaların dışında uygulamada kullanılan bağ kapasiteleri, kullanılan direnimsizliklere ve bağ-gecikme fonksiyonlarına bağlı olarak rota seçimine etki edeceğinden ağa tanımlı olmak zorundadır. Çalışmada bağlar, karayolu ağındaki yol parçaları olarak kullanılmış ve kapasite bilgileri sayısallaştırılmıştır.

Analiz Bölgeleri (zon): Seyahatler trafik analiz bölgeleri arasında gerçekleştirildiğinden, bu bölgelerin konumları, alanları veya ağırlık merkezleri modelin sonuçlarını doğrudan etkileyecektir. Analiz bölgeleri, poligonlardan ve bunların ağırlık merkezlerinden oluşmaktadır. Poligonlar, çalışılan plana bağlı olarak hesaba katılmayabilir. Böylelikle bu bölgeler bir mahalle olabileceği gibi ilçe, ülke, tek bir bina, durak vs. olabilmektedir.

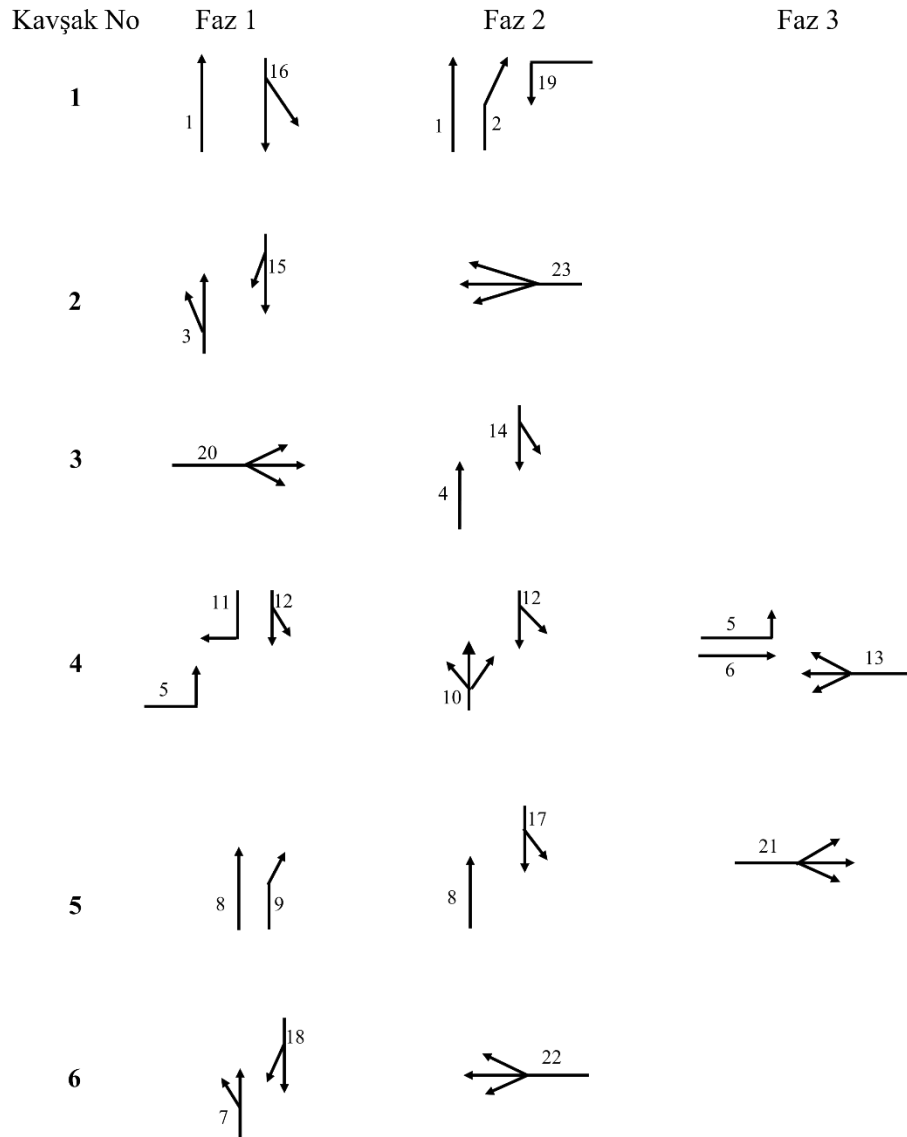
Bağlantılar (connector): Analiz bölgelerindeki seyahatlerin ağa yansıtılması amacıyla oluşturulan elemanlardır. Birincil işlevinin yanında, sadece analiz edilmesi istenen bölgelere odaklanılmasını sağlayarak işlem sürelerini kısaltmakta ve çalışılan alana odağı artırmaktadır.

Çalışmada bağ trafik sayımları ve kavşak trafik sayımları ile hesaplanan talebin ve bunun ağ performanslarının karşılaştırılması ana çatı olarak düşünüldüğünden, yöntemleri ve tahmin edicileri zorlayıcı olması açısından, geleneksel seyahat davranış kabullerinin dışarısına çıkabilen bir ağ kullanılmıştır. Test ağı, Allsop ve Chalesworth (1977) ve Chiou (1999) tarafından kullanılan ve Ceylan (2002) tarafından geliştirilen ağ olarak belirlenmiştir. Sinyalizasyon problemlerinin çözülmesi amacıyla geliştirilen, şeritlerin bağ olarak ifade edildiği test ağında hareket ilişkilerinin temsil edilmesi adına “temel düzeni” ve ağdaki seyahat kısıtlamalarının temsil edilmesi adına “atama düzeni” bulunmaktadır. Test ağının Ceylan (2002) tarafından adapte edilen temel düzeni Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



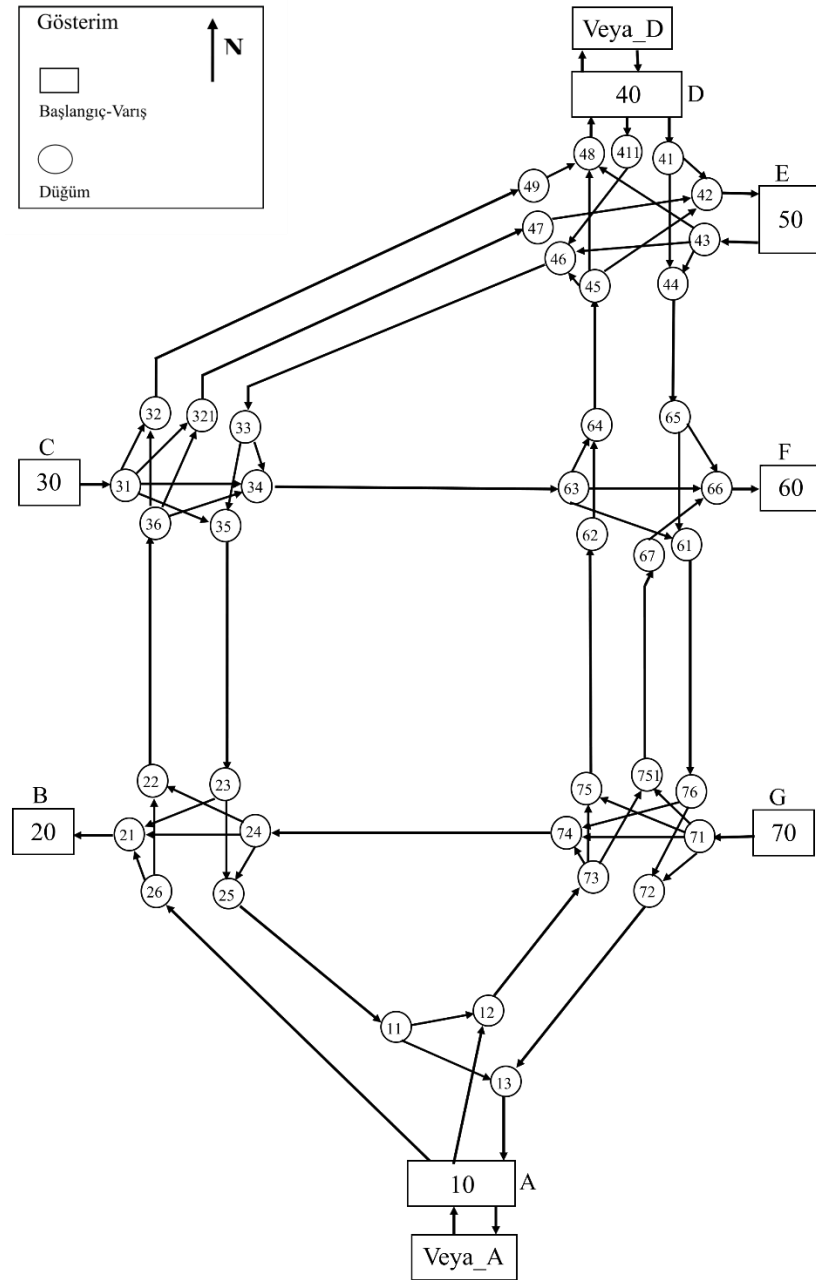
Şekil 3.17: Ceylan (2002) test ağının temel düzeni

Bağ elemanlarının kapasite kısıtlamaları seyahat direnimleri çerçevesinde kullanılacak rotaları etkileyeceğinden, test ağı üzerindeki bağların teorik başlangıç doygun akım kapasitelerinin yanında, sinyal etkileşimli kapasitelerin hesaplanması gerekmektedir. Sinyalizasyon çalışmalarında kullanılan test ağı üzerindeki sinyal faz planı çözümleri, sinyalizasyonların bağlantılı olduğu bağların teorik başlangıç doygun akım kapasitelerine etki edeceğinden sinyal planlarının ağdaki ana düğümler üzerindeki pozisyonlarının bilinmesi gerekmektedir. Ceylan (2002) test ağının orijinal düzeninde kullanılan sinyal faz konfigürasyonları ve bunların temel atama düzenindeki bağlar ile olan ilişkileri Şekil 3.18’de gösterilmiştir. 1, 2, 3 ve 6 numaralı kavşaklarda iki faz bulunmaktayken, 4 ve 5 numaralı kavşakta üç adet faz bulunmaktadır.



Şekil 3.18: Ceylan (2002) test ağındaki altı kavşakta faz düzenleri

Atama probleminin çözülmesinde, test ağına bulunan fiziksel seyahat kısıtlamalarının bilinmesi gerekmektedir. Seyahat kısıtlamaları bu çerçevede, harekete izin verilen bağ yönü ve bunların birbirleri ile kesişiminde bulunan kavşakların dönüş hareketleri olabilmektedir. Test ağının kullanılan atama düzeninde düğümler arasındaki 16 adet bağ, 40 adet düğüm ve 6 adet ana düğüm ile beraber 7 adet analiz bölgesi ve 2 adet kukla analiz bölgesi bulunmaktadır. Ceylan (2002) test ağındaki düğümlerin ve bağların izin verilen hareketlerini ve ağ elemanlarının konumlarını gösterir düzeni Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19: Test ağının atama düzeninde izin verilen hareketler

Şekil 3.19’da gösterilen, çalışmada kullanılan test ağının atama düzeninde bulunan bağlar arasındaki ilişkiler, sinyal gecikmeli bağ konumları ile dönüş hareketlerini ve ağa giriş-çıkış hareketlerini yansıtan bilgiler Tablo 3.2’de verilmiştir. Numaralandırma işlemine göre, bağlar başladığı ve vardığı düğümlerin adlarını almaktadırlar.

Tablo 3.2: Test ağındaki bağlar arasındaki ilişki

Bağ Numarası	Sinyal Gecikmeli Bağ Numaraları	Bir Saniye Seyahat Süreli Bağ Numaraları
1, Veya_A, Veya_D	-	-
2	1012	-
3	1026	2621, 2622
4	2236	3632, 36321, 3634
5	3249	4948
6	32147	4742
7	1273	7374, 7375, 73751
8	7562	6264
9	75167	6766
10	6445	4546, 4542, 4548
11	40411	41146
12	4041	4142, 4144
13	5043	4344, 4346, 4348
14	4633	3334, 3335
15	3523	2325, 2321
16	2511	1112, 1113
17	4465	6566, 6561
18	6176	7672, 7674
19	7213	1310
20	3031	3132, 3135, 3134, 31321
21	3463	636, 463, 616, 366
22	7071	7172, 7174, 7175, 71751
23	7424	2422, 2421, 2425

Tablo 3.2’de verilen 1 numaralı bağ için tüm sinyal döngülerinde yeşil yanmakta ve bu sebeple 1 numaralı bağda herhangi bir gecikme yaşanmamaktadır. Hesaplama boyunca sabit bir seyahat süresi kullanılmıştır. Seyahat süreleri, geçiş bağları için sabit değerlerde kullanılmış, sinyal gecikmeli bağlar için bağ-maliyet fonksiyonları kapsamında hesaplanmıştır. “Veya_A” ve “Veya_D”, ise atama amaçlarında test ağındaki kukla bağlar olarak değerlendirilmiş ve bu bağlarda da bir saniyelik geçiş süreleri değerlendirilmiştir. Tablo 3.2’de gösterilmeyen diğer bağlar varış bağları olmakta ve 2120, 4840, 4250 ve 6660 numaralı bağlarda bu kapsamda yine bir saniyelik geçişler kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan test ağından elde edilebilecek baz başlangıç bilgileri, sinyal faz planları ile beraber analiz bölgeleri arasındaki başlangıç-variş çiftlerini ve bağ kapasiteleri ile seyahat sürelerini kapsamaktadır. Anılan baz bilgilerin elde edilebilmesi amacıyla amacıyla Tablo 3.3'te verilen baz talep matrisinin ağa atanması sağlanmıştır. Atama aşamasında, ağdaki sinyal sürelerinin bağlara olan etkilerinin direnir fonksiyonları çerçevesinde hesaba katılmasıyla beraber kapasite kısıtlı kullanıcı denge ataması yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 3.3: Test ağında analiz bölgeleri arasındaki seyahat talebi

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

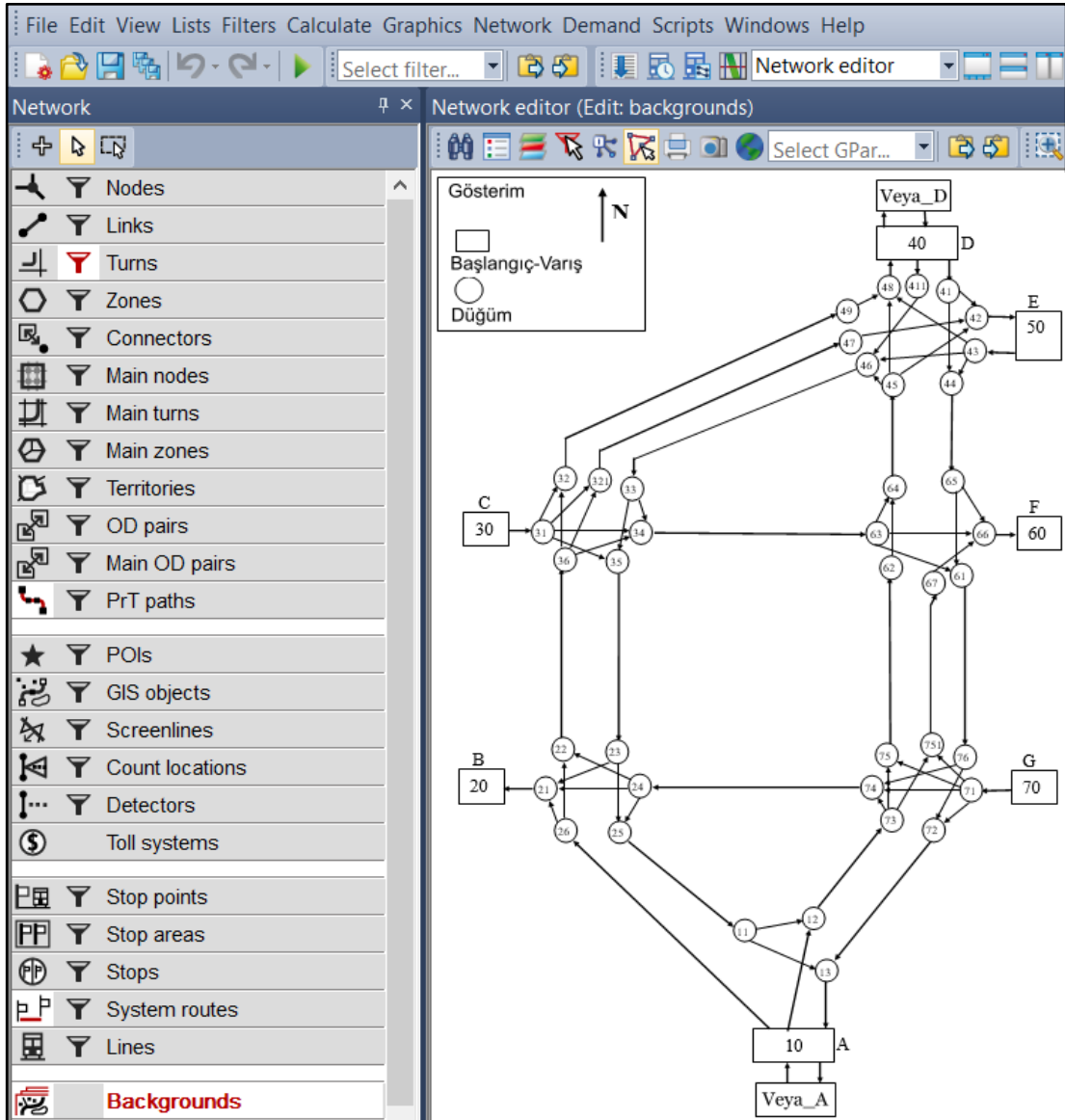
Tablo 3.3'te verilen başlangıç/variş bölgelerinden sadece variş bölgesi olanlar, üretimleri ifade eden satırlarda, sadece başlangıç bölgesi olanlar, çekimleri ifade eden sütunlarda yer almamaktadır. Bununla beraber analiz bölgesi içi yolculuklar da sıfır olmaktadır.

Tablo 3.4'te sinyal gecikmeli bağların kapasite ve başlangıç seyahat süreleri verilmiştir. t^0 , başlangıç seyahat süresini, s , doymun akım bağ kapasitelerini ifade etmektedir.

Tablo 3.4: Bağ başlangıç seyahat süreleri ve kapasiteleri (doymun akım)

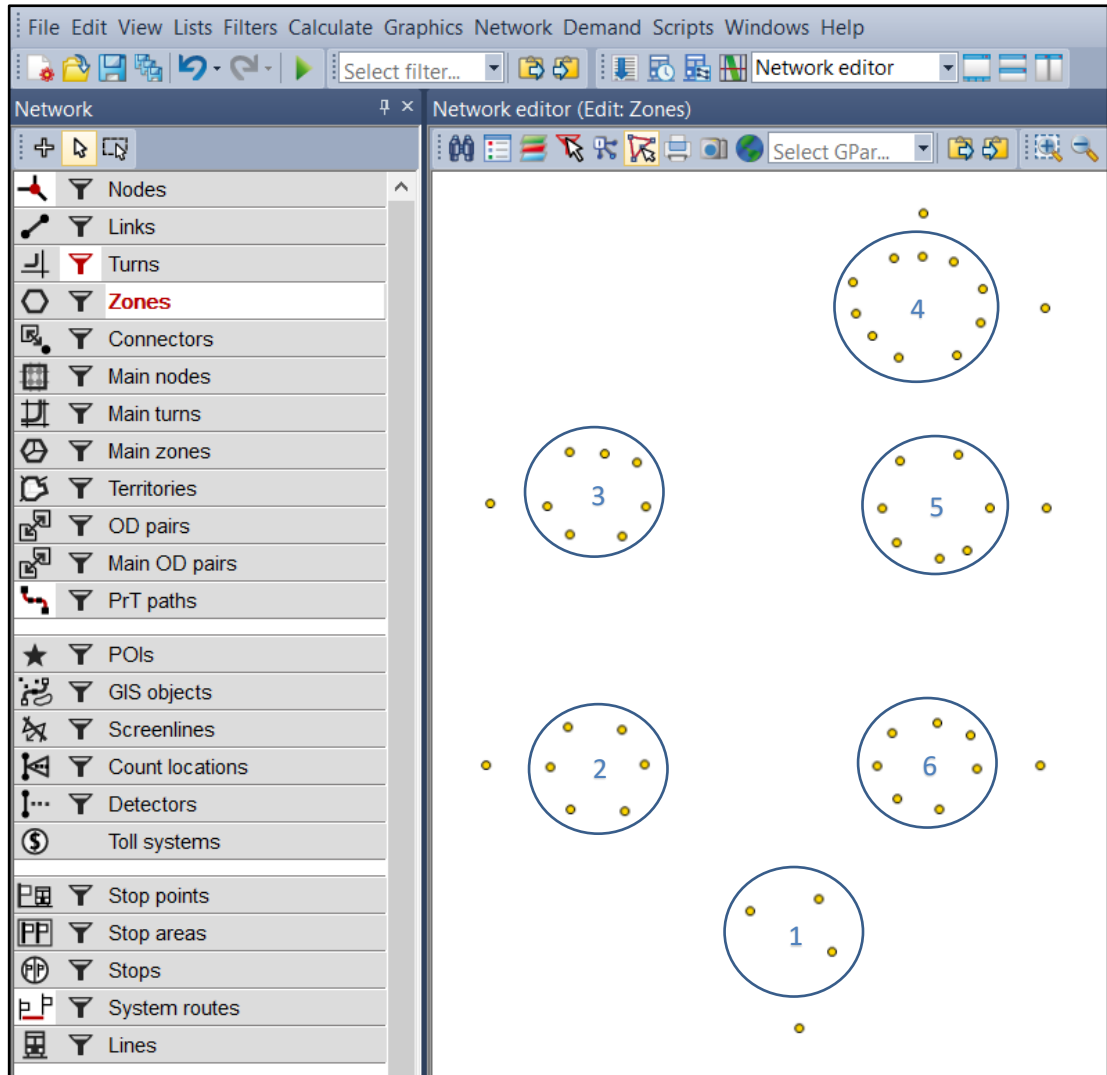
Kavşak	Bağ	t^0	s	Kavşak	Bağ	t^0	s
1	1	1	2000	4	5	20	1800
	2	1	1600		6	20	1850
	16	10	2900		10	10	2200
	19	10	1500		11	1	2000
	-	-	-		12	1	1800
2	3	10	3200	5	13	1	2200
	15	15	2600		8	15	1850
	23	15	3200		9	15	1700
	-	-	-		17	10	1700
3	4	15	3200	6	21	15	3200
	14	20	3200		7	10	1800
	20	1	2800		18	15	1700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

Ağ düğümler, düğümler arasındaki bağlar, analiz bölgeleri ve analiz bölgelerini düğümlere bağlayan bağlantılardan oluşmaktadır. Ceylan (2002) tarafından kullanılan test ağı anılan ağ elemanları ile beraber PTV Visum yazılımında sayısallaştırılmış ve başlangıç koşulları oluşturulmuştur. Test ağının dikkate alınan düzeni seyahat kısıtlarının da göz önünde bulunduran atama düzeni olmuştur. Bu doğrultuda test ağında yer alan bağlarda bulunan okların yönü, yol parçalarının izin verilen hareketlerini göstermektedir. Okların aksi yönünde yol parçaları trafiğe kapalıdır. Test ağındaki tüm bilgilerin yazılıma entegre edilmesi amacıyla ağ altlık olarak kullanılmış, atama düzeninde dikkate alınan test ağının yazılımda sayısallaştırılması işlemi Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



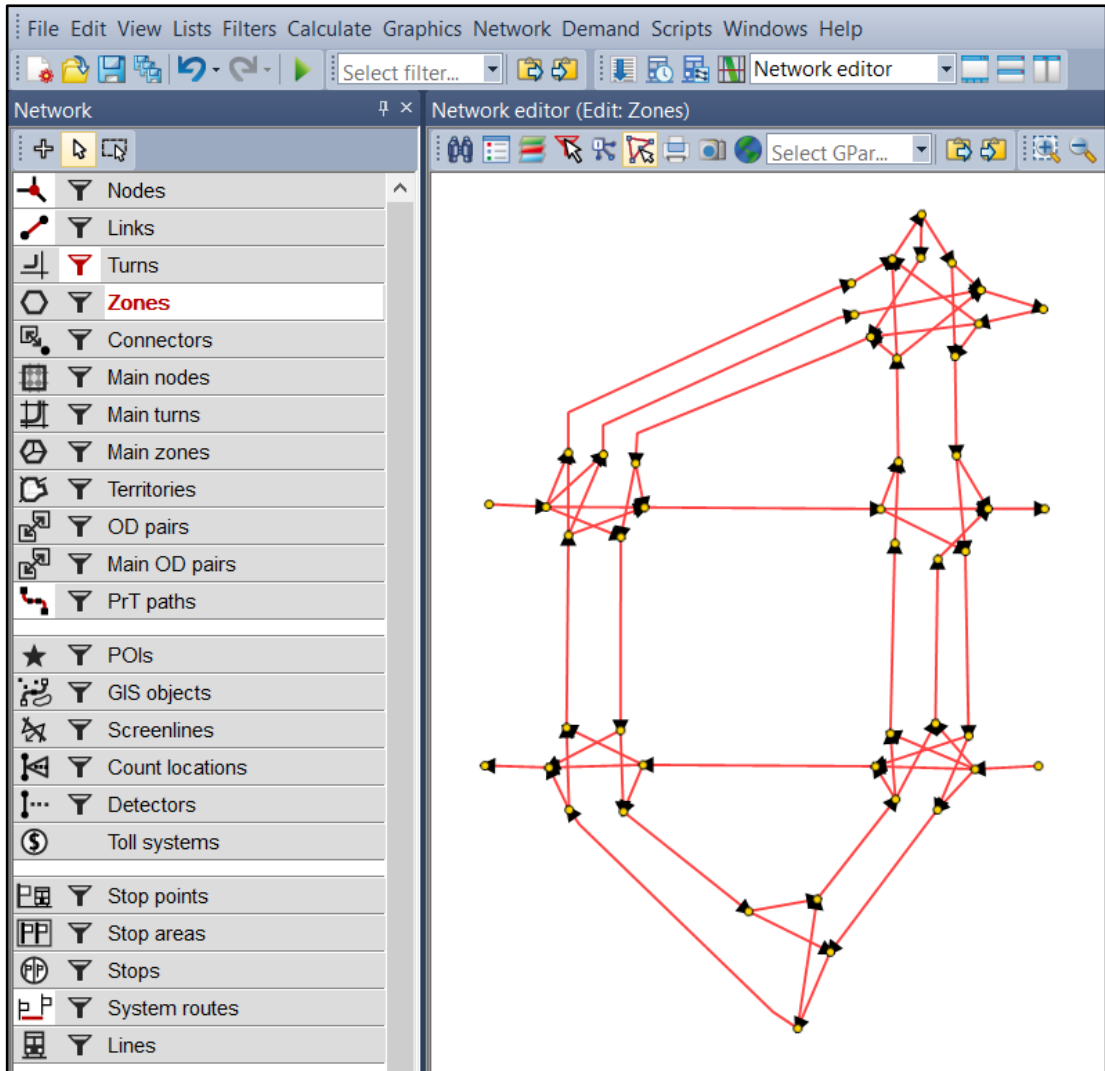
Şekil 3.20: Test ağının yazılıma entegre edilmesi

Test ağındaki kesişimlerin ve kavşakların yazılımda temsil edilebilmesi için düğümler kullanılmıştır. Düğümler atama düzenine göre geliştirilen ve altlık olarak kullanılan ağda sayısallaştırılmıştır. Ağdaki bazı kavşaklarda dönüş hareketi kısıtı bulunmaktadır. Ayrıştırılmış yapısında birden fazla bağı kapsayan kavşaklardaki dönüş hareketlerinin ifade edilebilmesi için test ağının atama düzeninden faydalanılmıştır. Bu kapsamda izin verilen hareketler, bağların okları yönündeki hareketler olmaktadır. Aksi yönde dönüşler trafiğe kapalıdır (Bkz. Şekil 3.17). Çalışmada kullanılan test ağının izin verilen hareketlerini yansıtmak amacıyla oluşturulan düğüm düzeni Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Seyahat kısıtlarını yansıtmak amacıyla oluşturulan 40 adet düğümün kümelenmesi sonucu 6 adet ana düğüm (kavşak) oluşturulmuş ve bu ana düğümlerin numaralandırması, sinyal planlarının gösterildiği kavşak numaraları olarak ele alınmıştır.



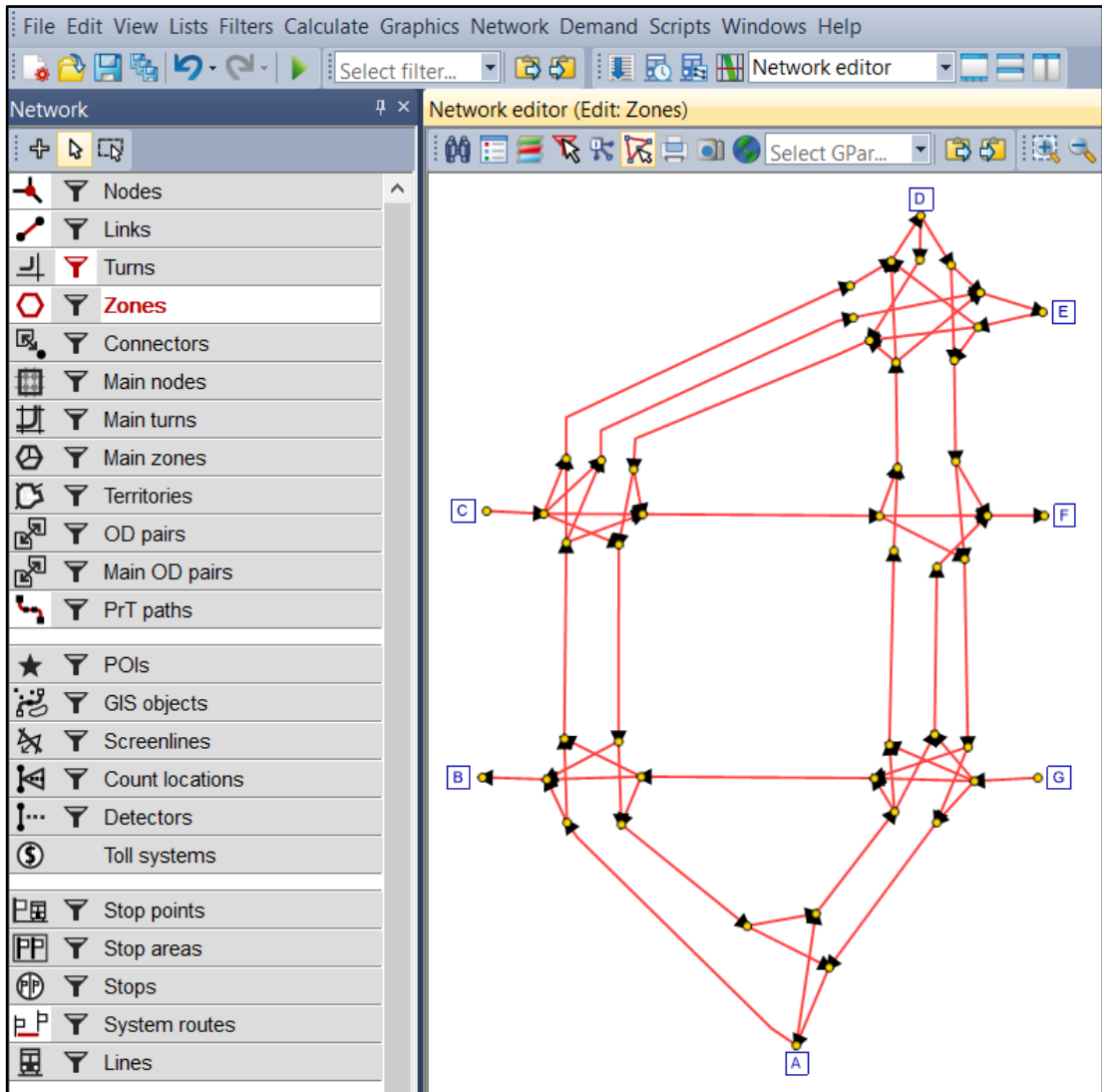
Şekil 3.21: Test ağındaki kavşakların yazılımda temsil edilmesi

Şekil 3.21’de gösterilen düğüm ve ana düğümlerin arasındaki yol parçalarının şeritlerinin ifade edilmesi amacıyla test ağında bağlardan yararlanılmıştır. Bağların sayısallaştırılması işleminde, altlık olarak kullanılan atama düzeninden faydalanılmıştır. Kavşaklardaki hareket kısıtlarını yansıtmak amacıyla oluşturulan 40 adet düğümün ilişkilerinin temsil edilmesinde kullanılan bir saniyelik geçiş süreli bağların yanında sinyal gecikmeli bağlar ana düğümlerin ilişkilerini ifade etmek için oluşturulmuştur. Yol parçalarının kapasiteleri sinyalizasyon uygulamalarının geliştirilmesi ile beraber hesaplanmış, tek yönlü hareketlerin temsil edilebilmesi için izin verilen göstergelerin aksi yönleri trafiğe kapatılmıştır. Bağ numaralandırmaları ise yine test ağındaki düzene göre oluşturulmuştur. Ana düğümler arası 16 adet bağ bulunan ağın izin verilen yönlerle beraber yazılıma entegrasyonu Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



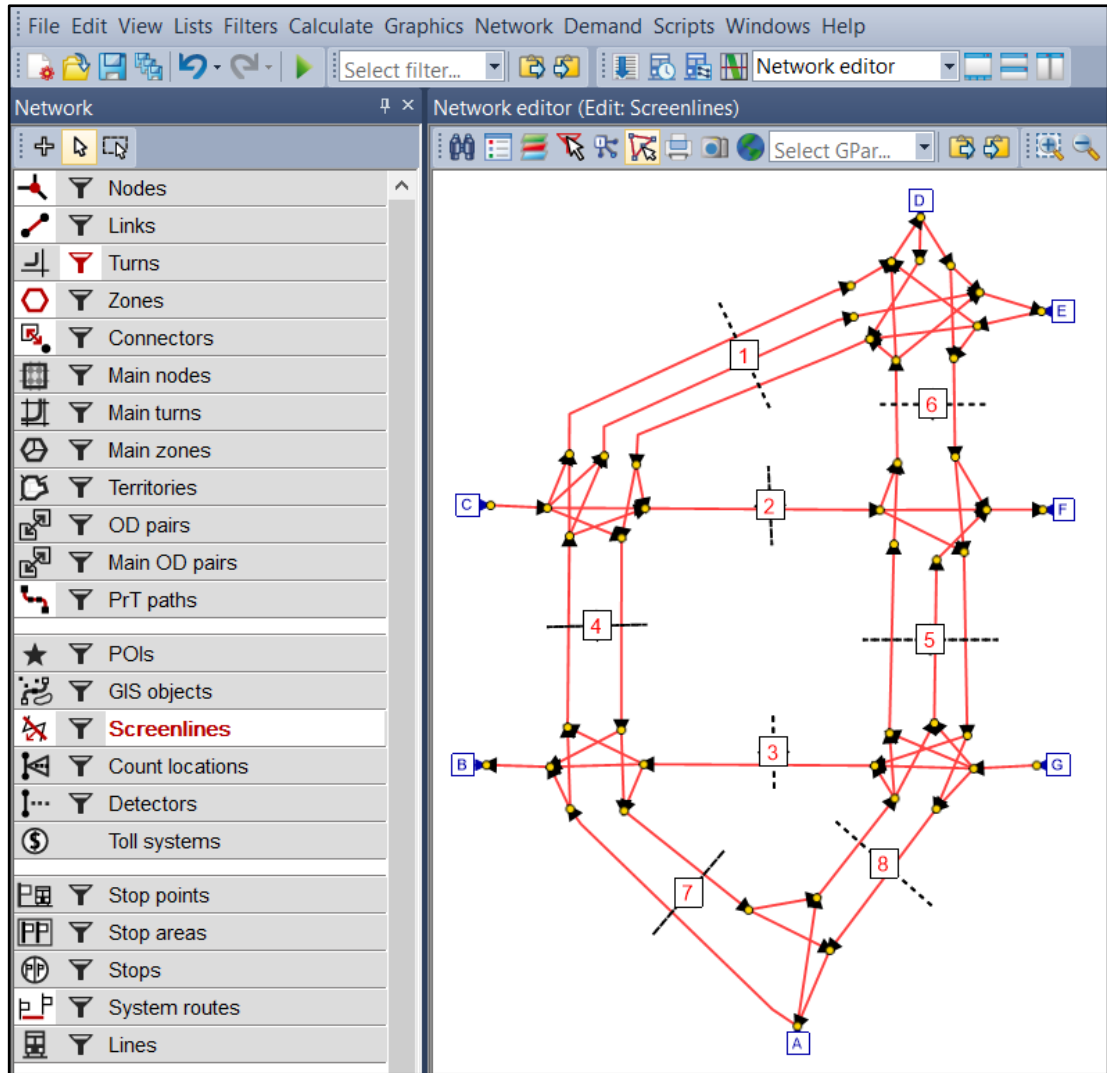
Şekil 3.22: Test ağındaki bağların yazılımda temsil edilmesi

Test ağındaki bulunan 7 adet başlangıç-varış bölgesinin temsil edilmesi amacıyla trafik analiz bölgeleri sayısallaştırılmıştır. Bölgelerin konumlandırma ve numaralandırma işlemlerinde test ağındaki düzen kullanılmıştır. Sadece başlangıç bölgesi veya varış bölgesi olarak ifade edilen analiz bölgeleri, bağlarda izin verilen seyahatlerle değerlendirilmiştir. Analiz bölgelerinde üretilen veya çekilen seyahatlerin ağa yansıtılması amacıyla kukla düğümler kullanılmış ve bu kukla düğümler ile analiz bölgeleri arasında bağlantılar oluşturulmuştur. Kukla düğümler ile analiz düğümleri arasında ise bağlardan faydalanılmıştır. Analizlerde istenmeyen bir etki oluşturmaması adına bağlantılardaki seyahat hızı sonsuz olarak belirlenmiştir. Test ağındaki A-F arasında harf alan analiz bölgelerinin yazılımda temsil edildiği konumlar Şekil 3.23'te gösterilmiştir.



Şekil 3.23: Test ağındaki analiz bölgelerinin yazılımda temsil edilmesi

Kavşakların dışında, kalibrasyon, validasyon ve matris tahmin aşamalarında kullanılacak bağlar test ağı kapsamında sinyalizasyon çalışmaları uygulamaları için aynı iki düğüm arasında birden fazla olacak şekilde ifade edilebilmektedir. Dolayısı ile problemin sınama aşaması için ana düğümler arasında yer alan 16 adet bağ kullanılmış olsa da talep tahmini probleminin çözümü için iki düğüm arasındaki bağların temsil edilmesi için bu bağları kesen kesitlerden faydalanılmıştır. Kesitler, yol parçaları üzerindeki trafiğin ölçülmesinin yanında belirli bölgelere giriş-çıkışların tespit edilmesine perde hattı görevi de görebilirler. Çalışmada oluşturulan çift yönlü kesitler iki düğüm arasındaki trafik sayısının belirlenmesi amacıyla oluşturulmuş ve böylece talep tahmini probleminin çözümünde kullanılan bağ sayımı yönteminin sağlıklı bir şekilde ifadesi sağlanmıştır. Şekil 3.24'te gösterilen kesitlerin ana düğümler arasında gidiş-geliş olmak üzere iki yönü mevcuttur.



Şekil 3.24: Bağ kesitlerinin yazılımda temsil edilmesi

Test ağı sinyalize bir ağ olduğundan sinyalizasyon uygulamalarının bağların kapasitelerine etkisinin yansıtılması ve böylelikle ağ fonksiyonlarının yerinde kullanılması amaçlanmıştır. Literatürde ilgili ağ ile çeşitli sinyalizasyon optimizasyon çalışmaları mevcuttur. Hesaplanan sinyal süreleri, atama yöntemine, B-V hacimlerine veya ulaşım türlerinin hızlarına göre değişebilmektedir. Bununla beraber konu ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle sinyal sürelerinin hacim değişikliklerine nasıl cevap verecekleri ve sinyalize kavşakların kapasitelerinin bu değişikliklere ne kadar adapte olabilecekleri üzerine olmaktadır. Çalışmada kapasite kısıtlı deterministik kullanıcı denge ataması yöntemi kullanıldığından ve başlangıç koşullarında verilen hacim ve kapasite bilgilerinde herhangi bir değişiklik yapılmadığından sinyal çözümlerinin aynı hacimlerde ve denge ataması yöntemi ile çözülen süreleri göz önünde bulundurulmuştur.

Çalışmada Ceylan (2002) tarafından Genetik Algoritma yöntemi ile Allsop ve Charlesworth (1977) test ağında belirlenen optimum sinyalizasyon çözümleri kullanılmıştır. Kullanılan sinyalizasyon çözümleri, devre süresi ile beraber kavşaklardaki faz döngülerinde yer alan “yeşil ışık başlangıç zamanları”nı belirten süreler, kavşak numaraları ile beraber Tablo 3.5’te verilmiştir.

Tablo 3.5: Allsop ve Charlesworth (1977) test ağındaki optimum sinyal süreleri (Ceylan, 2002)

Devre Süresi c (saniye)	Kavşak Numarası n	Yeşil Işık Başlangıç Zamanı (sn)		
		Faz 1 $\theta_{n,1}$	Faz 2 $\theta_{n,2}$	Faz 3 $\theta_{n,3}$
77	1	0	32	-
	2	59	25	-
	3	13	60	-
	4	44	72	20
	5	64	5	30
	6	47	6	-

Ceylan (2002) tarafından test ağındaki hacimler için çözülen optimum devre süresi 77 saniye olmaktadır. Tablo 3.5’te yeşil ışık başlangıç zamanları fazların dağılımına göre her bir kavşak için verilmiştir. Trafik sayımları kullanılarak talep tahmini probleminin çözümünde Tablo 3.5’te verilen her bir kavşaktaki faz döngülerinin yeşil ışık başlangıç süreleri için toplam yeşil süreleri bulunmuş ve 5 saniye yeşiller arası süreler göz önünde bulundurularak etkin yeşil süreler hesaplanmıştır.

Kavşaklarda bulunan sinyalizasyon uygulamalarının faz döngülerindeki etkin yeşil sürelerinin ağa etkisi, başlangıç doygun akım kapasite değerleri verilen bağların teorik kapasitelerinin güncellenmesi yönünde ele alınmıştır. Etkin yeşil sürelerin toplam devre süresine oranları bağ kapasitelerinin güncelleme oranları olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan optimum etkin yeşil sürelerin devre süresine olan oranları ve böylelikle bağ kapasiteleri güncelleme oranları Tablo 3.6'da verilmiştir. Ana düğümler arasındaki bağların kapasitelerinin güncellenmesi işleminde, belirli kavşaklardan etkilenen bağlar ayrı olarak kullanılmıştır (Bkz. Şekil 3.18).

Tablo 3.6: Kavşaklardaki etkin yeşil sürelerin oranı

Kavşak Numarası	Faz 1	Faz 2	Faz 3
1	0.35	0.52	-
2	0.49	0.38	-
3	0.55	0.32	-
4	0.29	0.26	0.25
5	0.17	0.26	0.38
6	0.40	0.47	-

Tablo 3.6'da verilen bağ kapasitesi güncelleme oranları ve test ağındaki her bir kavşağın ulaşım ağında etkilediği hareketler kullanılarak bağ kapasiteleri güncellenmiştir. Güncellenen bağ kapasiteleri Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7'de numaralı kavşaklara bağlanan yol parçalarının konumları ile güncel kapasiteleri ve başlangıç seyahat süreleri görülmektedir. t^0 , başlangıç seyahat sürelerini, s , sinyalizasyon etkisiyle güncellenen bağ kapasitelerini göstermektedir.

Tablo 3.7: Sinyal planlarının uygulanmasından sonra bağ kapasiteleri

Kavşak	Bağ	t^0	s	Kavşak	Bağ	t^0	s
1	1	1	2000	4	5	20	982
	2	1	831		6	20	456
	16	10	1017		10	10	571
	19	10	779		11	1	597
	-	-	-		12	1	1005
2	3	10	1579	5	13	1	543
	15	15	1283		8	15	793
	23	15	1205		9	15	287
	-	-	-		17	10	442
3	4	15	1039	6	21	15	1205
	14	20	1039		7	10	725
	20	1	1527		18	15	684
					22	1	1683

3.3 Matematiksel Formülasyon

Gözlem verileri ile talebin tahmininde kullanılan başlıca yaklaşımlar, doğrusal modeller, doğrusal olmayan modeller, ağ dengesi modelleri, bilgi minimizasyonu modelleri ve entropi maksimizasyonu modelleri olmaktadır. Problemin ilk uygulamalarında kapasite kısıtsız ya hep ya hiç metotları kullanılmış, geliştirilen modeller sonucunda trafik sayım verileri ile seyahat dağılımı modellerinin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir.

Problem ile ilgili yaklaşımlarda yol parçalarının kapasitelerinin de dikkate alınmasıyla beraber uygulamalar daha gerçekçi bir hal almıştır. Günümüzde anket çalışmalarının yapılmadığı küçük ölçekli uygulamalarda kullanılan yöntem başarılı sonuçlar vermekle birlikte, geleneksel ulaşım planlarının uygulandığı büyük ölçekli planların kalibrasyon süreçlerinde de bu yöntemler yer edinebilmektedir. Model uygulamasında başlangıç verilerine sahip olunması durumunda veya veri temininde yapılan kabullerin tutarlı olması halinde yöntemin literatürde başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Yöntemin avantajları sayesinde kullanım alanları arasında, geleneksel talep modellerinin uygulamadaki seyahat davranışlarını eksik yansıttığı durumlar, anılan modellerin önbilgilerinin elde edilmesi için gereken saha çalışmalarının yüksek maliyete ve çalışma sayısı ile süresine sahip olduğu planlar, geleneksel modellerin kalibrasyonu için uygulanan anket çalışmalarının güvenilirliğinin düşük olduğu durumlar, eski bir planda elde edilmiş talep matrisinin güncellenmesini gerektiren çalışmalar, dinamik talep matrisi ihtiyacının doğduğu uygulamalar, belirsizlik ve düzensizliğin yüksek olduğu bölge planları... sayılabilir.

Yöntemin dezavantajları arasında, geliştirilen yaklaşımların başarılı sonuçlar vermesi için yine de bazı başlangıç bilgilerine ihtiyaç duyması, bazı durumlarda anılan bilgiler için veri edinme ve saha çalışmalarının gerekmesi, eski talep matrisinin güncellenmesinde, ara yıllarda plan bölgesinde büyük değişikliklerin olmadığı kabul edilmesi, elde edilen talep matrisinin tek bir çözümünün olmaması, yöntemin uygulanması için gereken sayımlar için gerçekleştirilen trafik sayımlarının farklı zamanlarda elde edilmesi, uygulamanın genellikle seyahat amaçlarından bağımsız gerçekleştirilmesi... sayılabilir.

Talep matrisinin trafik sayımlarından elde edilmesi problemi günümüzde güncelliğini korumakta ve geliştirilmektedir. Avantaj ve dezavantajları bulunan modeller genellikle geleneksel ulaşım modelleri ile birlikte kullanılmaktadır. Uygulamadaki avantajların baskın çıkması gibi çeşitli durumlarda değerlendirilebilen yöntemin günümüzde sıkça kullanılan modeli entropi maksimizasyonu olmaktadır.

Entropi, fizik temelli bir kavram olmakla beraber termodinamiğin ikinci yasasını oluşturmaktadır. Bir fiziksel sistemde, elementler enerji, kütle gibi sistem kısıtları dahilinde olabilecek en fazla şekilde düzenlenmeye meyillidir. Bu düzen aynı zamanda en büyük düzensizliktir (Willumsen, 1978).

İletişimin matematiksel teorisini açıklamak adına Shannon (1948) tarafından verinin ifade edilmesinde gerekli bilgi sayısının bulunması için geliştirilen kuramın ardından, entropinin ulaştırma alanındaki ilk uygulamalarına dayanak olan yaklaşımlar (Jaynes, 1957) bilgi teorileri çerçevesinde gelişmiştir. Entropi maksimizasyonu kavramının ulaştırma alanındaki ilk uygulamaları ise Wilson (1969) tarafından geliştirilmiş, yöntem, seyahat dağılımı, türel ayırım ve trafik ataması modellerinde kullanım alanı bulmuştur. Kavramın ulaştırma alanındaki ifade alanı genellikle belirsizlik ve bunun ölçümü olmaktadır. Geleneksel talep modelleri, amaçlara bağlı olarak tüm seyahat davranışlarını bir ana kütle çerçevesinde ifade ettiğinden, bu matematiksel davranış modellerine uymayan seyahat hareketleri, analizlerin dışarısında kalmaktadır. Bununla beraber, analizcinin ve veri temini için uygulanan anketlerin hata paylarının yanında, modellerin belirli bir kabul sınırı içinde gerçekleştirilmesi de düzensiz belirsizliğin aşamalar arasında taşınarak artmasının sebebidir. Bu belirsizlikler dolayısıyla gözardı edilen hareketlerin ölçülerek hesaplara dahil edilmesi, ulaştırma alanındaki entropi maksimizasyonu yaklaşımlarının temelini oluşturmaktadır. Belirsizlik miktarının ölçülmesinde genellikle trafik sayımları, bu miktarın ifade edilmesinde ise seyahat modelleri kullanılmaktadır.

Entropi maksimizasyonu veya bilgi minimizasyonu çerçevesinde, geleneksel ulaşım planlarının, trafik akımlarında yer alan bilgileri tamamen kullandığı tartışmaya açık bir konudur. Hogberg (1975) araştırmalarında 16 düğüm ve 44 tek yönlü bağdan oluşan bir test ağı kullanmış ve en önemli 4 adet tek yönlü bağ trafik hacminden sonra dikkate alınan bağların, talep tahmininde tutarlılık konusunda kayda değer bir gelişme oluşturmadığını göstermiştir (Willumsen, 1978).

Gözlem verileri ile talep tahmini ve model kalibrasyonunun ele aldığı temel problem doğrusal bir formda oluşmaktadır. Problemin çözümü için bağların üzerindeki trafik hacimlerinin hangi B-V talebi ile oluştuğu bilinmelidir. Ek olarak, i başlangıç bölgesinden j varış bölgesine olan talebin a bağınyı kullanan oranı bilindiğinde, tanım aşağıdaki gibi olmaktadır (Zuylen & Willumsen, 1980):

$$0 \leq p_{ij}^a \leq 1$$

Eğer a bağındaki akım V_a ile ve i ve j bölgeleri arasındaki talep f_{ij} olarak gösterilirse, seyahat matrisinin trafik sayımlarından elde edilmesi probleminin temel tanımı (3.1)'deki gibi olacaktır (Zuylen & Willumsen, 1980).

$$V_a = \sum_i \sum_j p_{ij}^a f_{ij} \quad (3.1)$$

Çalışmada bir makro ulaşım analiz, tahmin ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı veri yönetimi bilgisayar programı olan PTV Visum yazılımı kullanılmıştır. Yazılım kapsamında gözlem verileri ile talep tahmini probleminin çözümünde temel prensiplerin tabanı üzerinde literatürde geliştirilmiş entropi maksimizasyonu ve bulanık mantık işlemlerinin bir sentezi kullanılmaktadır. Dolayısı ile yazılımın, çalışılan yöntem çerçevesinde kullandığı formülasyonlar ilerleyen paragraflarda verilmiş, yöntem detayları ile beraber açıklanmıştır.

Trafik sayımlarından talep matrisinin elde edilmesi işleminde başlangıç olarak, B-V matrisinin vektör formatında ifade edilmesi uygun olmaktadır:

$$\begin{matrix} 0 & f_{12} & f_{13} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & 0 & f_{23} & \cdots & f_{2n} \\ f_{31} & f_{32} & 0 & \cdots & f_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & f_{n3} & \cdots & 0 \end{matrix} = \begin{pmatrix} f_{12} \\ f_{13} \\ \vdots \\ f_{1n} \\ f_{21} \\ f_{23} \\ \vdots \\ f_{2n} \\ f_{31} \\ \vdots \\ f_{3n} \\ \vdots \\ f_{n1} \\ f_{n2} \\ f_{n3} \\ \vdots \\ f_{nn} \end{pmatrix}$$

Gözlem değerlerinin ayrı bir vektör olarak yazılması halinde ise aşağıdaki ifade elde edilir:

$$v^r = (v_1 \quad v_2 \quad v_3 \quad \cdots \quad v_m)$$

Genel olarak B-V çiftleri ve trafik sayımları arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. A, akım matrisi olarak düşünüldüğünde, doğrusal ilişki (3.2)'deki formu alır.

$$A * f = v \quad (3.2)$$

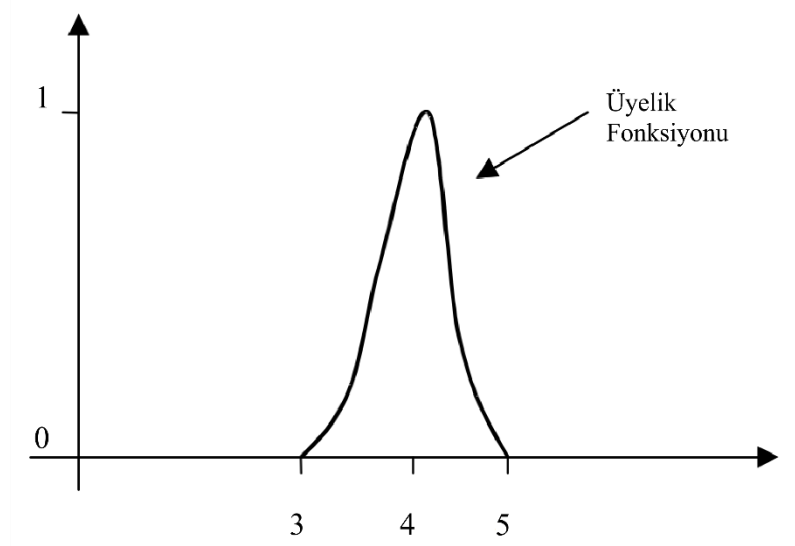
(3.2)'de verilen doğrusal problemin çözümü ile elde edilecek sayısız türde B-V matrisi bulunmaktadır. Bu matrislerin arasından en uygun olanı seçmek için, atama matrisinin belirli oranlarında entropi ve ağırlık kombinasyonundan oluşan bir gelişim fonksiyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Problem en uygun olan talep matrisinin elde edilmesi için (3.3)'te verilen gelişim fonksiyonunun maksimizasyonunu aramakta ve doğrusal olmayan bir formülüzasyon uygulanmaktadır.

$$q(f) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(f_{ij} \ln \frac{f_{ij}}{\hat{f}_{ij}} - f_{ij} \right) \quad (3.3)$$

Eşitlikte; $q(f)$, ağırlıklı entropi gelişim fonksiyonunu, \hat{f}_{ij} , ilk atama talep matrisini ifade etmektedir.

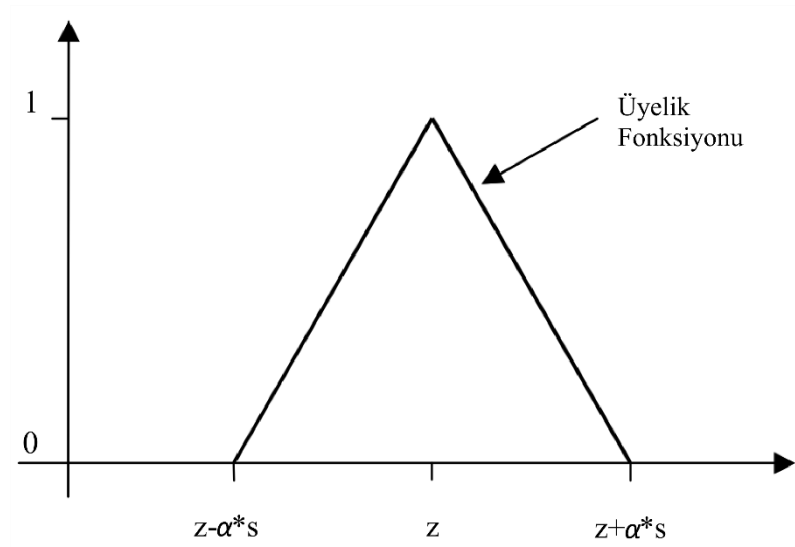
İlk atama talep matrisi eski çalışmalar ile elde edilen bir talep matrisi olabileceği gibi, seyahat dağılımı ile elde edilebilecek bir B-V matrisi de olabilmektedir. Bu durumda doğrusal olmayan iteratif yöntem açısından, ilk atamanın gerçekleştirilmesi ve trafik hacimlerindeki gözlem değerleri ile model değerleri arasındaki karşılaştırmanın elde edilmiş olması gerekmektedir. Ulaşım ağındaki yol parçalarının kapasitelerinin göz önüne alınması durumunda ise, her atama sonrası değişen talep matrisinin tekrar sisteme atanması ile rotalar değiştiğinden, yöntemin iterasyon sayısının yüksek olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun yanında makro çalışmalarda çok keskin değerlerin elde edilmesi mümkün olmayacağından, gözlem değerleri bulanıklaştırılarak bazı limitler dahilinde hareket edilmesi sağlanır.

Bir bulanık düzen genel olarak üyelik fonksiyonu çerçevesindeki olası değerler olarak nitelendirilebilir. Örnek olarak “yaklaşık 4” değerini bulanık düzende ifade etmek için [3;5] ifadesi kullanılır. Böylelikle “yaklaşık 4” değerini ifade etmek için kullanılan üyelik fonksiyonu Şekil 3.25’te gösterildiği gibi olabilmektedir.



Şekil 3.25: Bulanık düzen dağınmık üyelik fonksiyonu

Matematiksel olarak daha net ve anlaşılır ifade edilebilmesi bakımından, üyelik fonksiyonları genellikle belirli formlarda ifade edilir. Şekil 3.26’da örnek üyelik fonksiyonu formu gösterilmiştir.



Şekil 3.26: Bulanık düzen örnek üyelik fonksiyonu formu

Şekil 3.26’da, z , sayım değerini, s , sayım değeri ile üyelik fonksiyonunun sıfır olduğu değer arasındaki uzaklığı, α , ölçek faktörünü ($\alpha > 0$) ifade etmektedir. Sayım değerlerinin bulanık düzende ifade edilmesinden sonra, gelişim fonksiyonunun eniyilenmesi problemi (3.4)’teki formu alır.

$$\begin{aligned}
 &\text{Enbüyük } q(f, s, s') \\
 &A * f + s = \bar{v} \\
 &A * f - s' = \underline{v} \\
 &s \geq 0 \\
 &s' \geq 0
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

(3.4)’te; \bar{v} ve \underline{v} sayım değerlerinin bulanık düzendeki maksimum ve minimum değerlerini, s ve s' serbestlik değişkenlerini ifade etmektedir. $s = s' = 0$ olduğu durumda trafik gözlem değerlerini ve başlangıç bilgilerinin şartlarını sağlayan en iyi talep matrisi elde edilmiş olmaktadır.

Belirsizlikleri ifade etmek amacıyla kullanılan başlangıç matrisleri, etki matrisi olabileceği gibi, eski bir çalışmanın seyahat çiftlerinden veya seyahat dağılımı modellerinden elde edilmiş olabilir. Eski bir talep matrisinin kullanılması durumunda ara yıllarda bölgede seyahat taleplerini etkileyecek büyük değişikliklerin gerçekleşmemiş olması ve analiz bölgelerinin eski çalışmaya paralel seçilmesi, dağılım modeli matrisinin kullanılması durumunda ise model validasyonunun geçerli sonuç vermiş olması yöntemin tutarlılığına etki edecektir. Etki matrisleri ise temelde, birbirleri ile etkileşimde bulunabilen her bölge arasında herhangi bir seyahatin varlığı prensibine dayanmaktadır. Çalışmada, başlangıç matrislerinin analizlere olası negatif etkilerinden kaçınmak adına etki matrisi kullanılmıştır. Seyahatin mümkün olduğu her B-V çifti için değerlendirilen başlangıç etki matrisi Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8: Çalışmada kullanılan etki matrisi

Bölge	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	0	1	1	1	0
B	0	0	0	0	0	0	0
C	1	1	0	1	1	1	0
D	1	1	0	0	1	1	0
E	1	1	0	1	0	1	0
F	0	0	0	0	0	0	0
G	1	1	0	1	1	1	0

3.4 Örnek Uygulama

Test ağının analiz bölgeleri arasındaki baz seyahat miktarları (Bkz. Tablo 3.3) karşılaştırmalar ve analizler için gerekecek değerlerin elde edilmesi amacıyla ağa atanmış ve ağ ölçeği dolayısıyla kapasite kısıtlı denge ataması yöntemi kullanılmıştır. Bağ-gecikme ifadesi için kullanılan BPR fonksiyonu parametrelerinin katsayılarında çeşitli yaklaşımlar bulunmakla birlikte, fonksiyonun temel versiyonunda önerilen $a=0,15$ ve $b=4$ (FHWA, 2000) katsayılarına yakın olarak, literatürde şehir içi yollarda kullanılması önerilen $a=0,158$, $b=3,843$ katsayıları kullanılmıştır (Ergün, ve diğ., 2007). Baz matrisin ağa atanmasından sonra, baz denge seyahat süreleri, baz kesit hacimleri, baz kavşak dönüş hacimleri ve baz bağ hacimleri elde edilmiştir. Dolayısıyla çalışmada kullanılan yöntemlerin ve analiz amaçları doğrultusunda oluşturulan senaryoların uygulanmasıyla elde edilen bilgiler bu baz değerler ile karşılaştırılarak yöntemlerin yetenekleri sorgulanmıştır. Tablo 3.9’da test ağındaki B-V çiftleri arasındaki baz başlangıç seyahat süreleri, Tablo 3.10’da kapasite kısıtlı denge atamasından sonra oluşan, baz denge seyahat süreleri verilmiştir. Tablolarda görülen 999 rakamları, analiz bölgeleri arasında herhangi bir bağlantının olmadığını ve böylelikle herhangi bir seyahatin gerçekleşmeyeceğini ifade etmektedir.

Tablo 3.9: Baz başlangıç seyahat süreleri (sn)

Bölge	A	B	C	D	E	F	G
A	0	12.00	999	40.00	40.00	29.00	999
B	999	0	999	999	999	999	999
C	30.00	19.00	0	24.00	24.00	19.00	999
D	40.00	40.00	999	0	3.00	14.00	999
E	40.00	40.00	999	3.00	0	14.00	999
F	999	999	999	999	999	0	999
G	13.00	19.00	999	30.00	30.00	19.00	0

Tablo 3.10: Baz denge seyahat süreleri (sn)

Bölge	A	B	C	D	E	F	G
A	0.00	12.01	999	49.05	49.04	31.69	999
B	999	0.00	999	999	999	999	999
C	30.25	19.25	0.00	24.17	24.11	19.85	999
D	51.54	40.55	999	0.00	3.00	19.82	999
E	51.61	40.60	999	3.10	0.00	19.91	999
F	999	999	999	999	999	0.00	999
G	18.03	19.10	999	37.25	37.25	19.90	0.00

Tablo 3.11’de baz talep matrisinin ağı atanması sonucunda oluşan baz bağ hacimleri, Tablo 3.12’de baz kesit hacimleri ve Tablo 3.13’te baz kavşak dönüş hacimleri verilmiştir.

Tablo 3.11: Baz bağ hacimleri (taşıt)

Bağ No	Hacim	Bağ No	Hacim
2	743	13	480
3	437	14	580
4	187	15	640
5	381	16	240
6	136	17	620
7	743	18	500
8	773	19	1050
9	220	20	1290
10	773	21	900
11	447	22	1250
12	353	23	450

Tablo 3.12: Baz kesit hacimleri (taşıt)

Kod	Yön	Hacim	Toplam Hacim
1	C-D	687	1097
1	D-C	563	
2	C-F	741	900
2	F-C	0	
3	G-B	450	450
3	B-G	0	
4	C-B	623	827
4	B-C	198	
5	G-F	982	1493
5	F-G	517	
6	D-F	796	1393
6	F-D	762	
7	A-B	448	677
7	B-A	223	
8	G-A	1067	1793
8	A-G	732	

Tablo 3.13: Baz kavşak dönüş hacimleri (taşıt)

Kod	Toplam Hacim
1	2272
2	3053
3	4113
4	5140
5	5026
6	4986

Başlangıç koşullarının elde edilmesi ile beraber modelin oluşumu ve problemin çözümünde kullanılan yöntemlerin sınanması için seyahat sürelerinin hacimler arasındaki dağılımı hesaplanmıştır. Dağılım histogramının şekli, oluşturulan sınıfların alt ve üst sınırları ile seçilen sınıf sayısına bağlıdır. Sınıf sayısı ise geleneksel yaklaşımlarda, uygulanan anket sayısına göre belirlenmektedir. Çalışma kapsamında sınıf sayısının belirlenmesi amacıyla varsayımsal anket sayısı hesaplanmış, hesaplamalarda (3.5)'ten faydalanılmıştır.

$$n = \left[\frac{1}{N} + \frac{N-1}{N} \frac{1}{PQ} \left(\frac{k}{z_{1-\alpha/2}} \right)^2 \right]^{-1} \quad (3.5)$$

(3.5)'te; N , popülasyon büyüklüğü, P , popülasyon oranı, $Q=1-P$, k , tahminin istenilen düzeyi olmaktadır. Anket uygulamalarında örnek büyüklüğünün seçimi üstel bir problem olmakta ve trafiğin artışı ile gerekli anket sayısı azalan bir ivmelenme göstermektedir. Belirli bir popülasyondan sonra ise gerekli anket sayısı sabit kalmaktadır. Tablo 3.14'te popülasyon büyüklüğüne göre değişen anket sayıları verilmiştir.

Tablo 3.14: %90 güven aralığında gerekli anket sayıları (Dünya Bankası, 2009).

Popülasyon Büyüklüğü	%5 Hata	%7,5 Hata
50	42	36
100	73	55
200	115	75
300	143	86
400	162	93
500	176	97
600	187	100
700	195	103
800	202	105
900	208	106
1,000	213	107
1,250	223	110
1,500	229	111
1,750	234	113
2,000	238	113
2,500	244	115
3,000	248	116
∴	∴	∴

Baz matrisinin kapasite kısıtlı denge yöntemi kullanılarak ağa atanması ile oluşan baz kesit hacimleri bu kapsamda 500 ile 1750 arasında değişen miktarlara sahip olduğundan yaklaşık 100 adet varsayımsal anket sayısı tez çalışması kapsamındaki test ağında uygun görülmüştür.

Çalışmada anket sayısına bağlı olarak sınıf sayısının seçiminde ise (3.6)'daki bağıntılardan yararlanılmıştır (Beyazıt, 1996).

$$m = 1 + 3.3 \log N \quad 2^m = N \quad (3.6)$$

(3.6)'da; m , sınıf sayısı, N , anket sayısı olmaktadır. 100 adet varsayımsal anket sayısına karşılık gelen seyahat süresi dağılımının sınıf sayısı (3.6)'dan yola çıkılarak 7 adet olarak belirlenmiş ancak test ağındaki baz denge seyahat sürelerinin kısıtlı yapısından dolayı 6 adet sınıf sayısı çalışma kapsamında uygun görülmüştür.

Sınıf sayısı belirli herhangi bir histogramın aralıklarını belirlemede dünyada çeşitli yöntemler mevcuttur. Literatürde bu konudaki başlıca yöntemler aşağıdaki gibi açıklanabilir (ESRI, 2006):

- *Eşit Aralıklar Metodu*: Histogramın her bir sınıfında eşit aralık mevcuttur.
- *Eşit Dağılım Metodu*: Histogramın her bir sınıfında eşit sayıda veri vardır.
- *Doğal Kırılmalar*: Histogramdaki sınıflar, veri sistemindeki büyük değişikliklerin doğal kırılmaları ile oluşturulur.
- *Standart Sapma*: Histogramın sınıfları, veri sisteminin standart sapmasının belirli katları ile oluşturulur.
- *Düz Kırılmalar*: Histogramın her bir sınıfı veri sisteminden bağımsız olarak kullanıcı tarafından oluşturulur ve 10, 20, 30... gibi dağılımlara sahiptir.

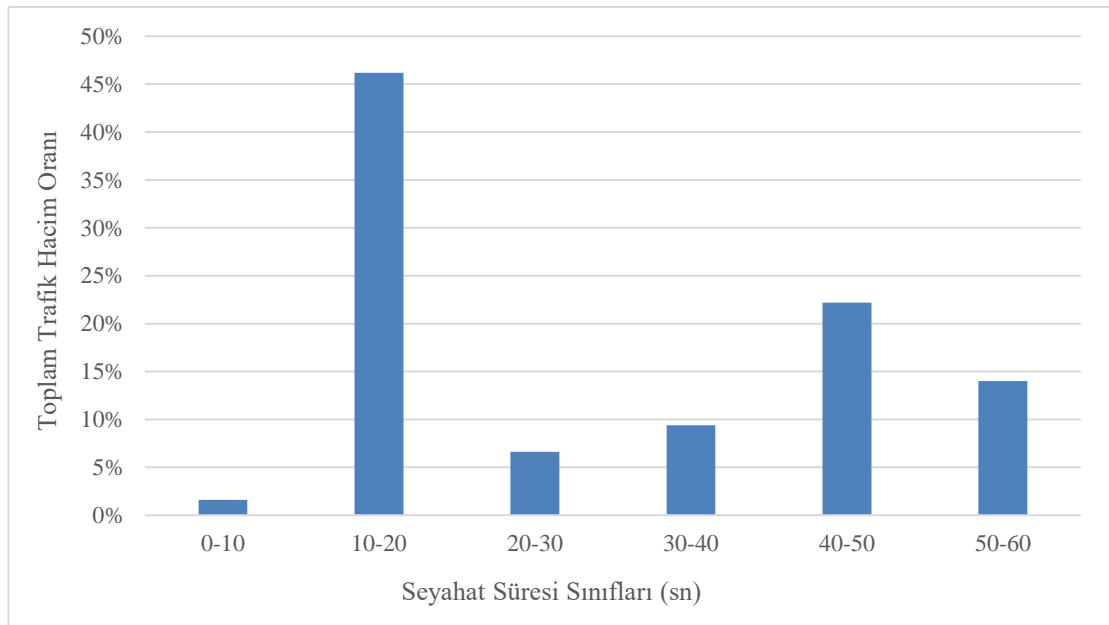
Literatürde çeşitli sınıflandırma yöntemleri bulunsa da ulaşım projelerinde genellikle kullanılan sistem düz kırılmalar olduğundan, çalışma kapsamında düz kırılmalar sınıflandırma sistemine yer verilmiştir. Böylelikle baz seyahat matrisinin ağa atanması ile oluşan baz denge seyahat sürelerinin sınıflarına karşılık gelen hacimler toplam talebe oranlanmış ve ağdaki denge seyahat süresi hacimsel dağılımı elde edilmiştir.

Tablo 3.15'te düz kırılmalar sistemi ile oluşturulan baz denge seyahat sürelerinin hacimsel dağılımı sınıflarının alt limiti Sütun 1'de, üst limiti Sütun 2'de, sınıflara karşılık gelen baz trafik hacim miktarları Sütun 3'te, sınıfların içerisinde bulunan veri sayısı Sütun 4'te ve sınıflara karşılık gelen trafik hacimlerinin toplam talebe oranları Sütun 5'te verilmiştir.

Tablo 3.15: Baz denge seyahat sürelerinin talep dağılımı

Alt Limit	Üst Limit	Hacim	Sayı	Oran
0	10	80	2	2%
10	20	2310	8	46%
20	30	330	2	7%
30	40	470	4	9%
40	50	1110	4	22%
50	60	700	2	14%
Toplam		5000	22	%100

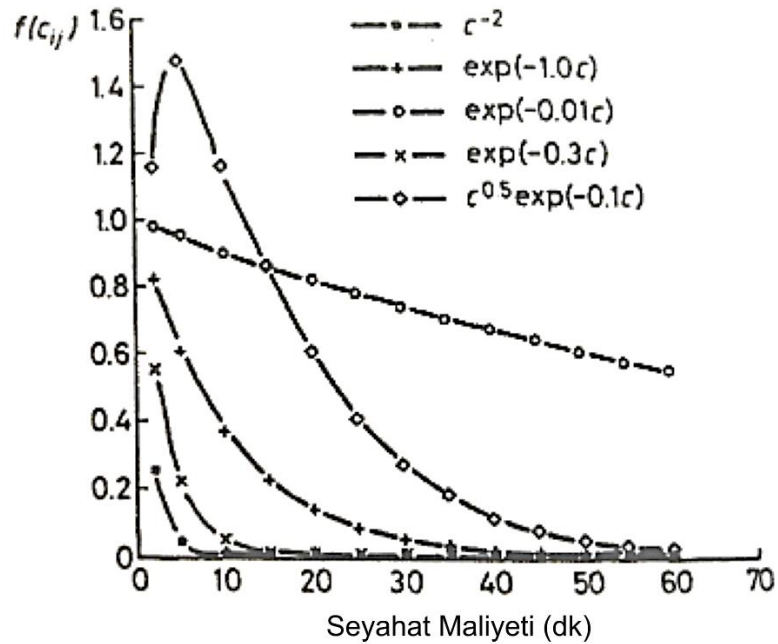
Şekil 3.27'de düz kırılmalar sistemi ile oluşturulan baz seyahat sürelerinin dağılımına karşılık gelen toplam trafik hacim oranlarının dağılımı gösterilmiştir. Tablo 3.15 ve Şekil 3.27'de görülen, seyahat süreleri sınıflarına karşılık gelen hacimsel dağılım oranları problemin çözümü amacıyla oluşturulan senaryolar çerçevesinde sisteme şartlı başlangıç bilgisi olarak girilmiş bunun yanında uygulanan yöntemlerin başarımının test edilmesi aracı olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.27: Baz denge seyahat sürelerinin hacimsel dağılımı

Tablo 3.15'ten ve Şekil 3.27'den görüleceği üzere, 0-10 saniye süren seyahatler toplam seyahatlerin %2'sini, 10-20 saniye süren seyahatler, toplam seyahatlerin %46'sını, 20-30 saniye süren seyahatler toplam seyahatlerin %7'sini, 30-40 saniye süren seyahatler toplam seyahatlerin %9'unu, 40-50 saniye süren seyahatler toplam seyahatlerin %22'sini, 50-60 saniye süren seyahatler toplam seyahatlerin %14'ünü oluşturmaktadır.

Geleneksel normlara uygun seyahat davranışlarında seyahat sürelerinin dağılımı seyahatin amacına, türüne ve taşıt türüne bağlı olarak değişmekle beraber azalan bir eğilim göstermektedir. Bu eğimin formu ve cinsi bölgelere ve uygulanan planın türüne göre kalibrasyon işlemlerinde belirlenmektedir. Seyahatlerin, seyahat dağılımının çekim modelinde kullanılabilen ve örnek olarak verilen direnir fonksiyonu kapsamında, artan maliyetler karşısında gösterdiği genel yaklaşım Şekil 3.28'de gösterilmiştir. Maliyetler bu kapsamda seyahat süresi olarak örneklendirilmiştir.



Şekil 3.28: Artan maliyetlere göre değişen seyahatlerin genel seyri (Ortuzar & Willumsen, 2001)

Şekil 3.27 ve Şekil 3.28'den görüleceği üzere çalışma kapsamında seçilen test ağı geleneksel seyahat dağılım problemlerine uymamakla beraber seyahatlerin tahmininde kullanılacak yöntemlerin test edilmesi için uygun ve zorlayıcı bir ağ olmaktadır.

Çalışmada kavşak modeli ve bağ modeli olmak üzere iki yöntem, seyahat üretim-çekimi ve seyahat süresi dağılımı olmak üzere iki şartlı başlangıç bilgisi kullanılmıştır. Kullanılan ağda yol parçalarını ifade eden sekiz adet kesit ve bağ kesişimlerini ifade eden altı adet ana kavşak bulunmaktadır. Bağ ve kavşak trafiği gözlemlerinin karşılaştırıldığı uygulamada en yüksek baz trafik hacmine sahip elemandan başlanıp sırası ile yığınsal olarak kullanılan gözlem sayısı artırılmıştır. Her bir denemede sırası ile yine yığınsal olarak, sayım verileri, seyahat üretim-çekim şartlı başlangıç bilgisi ve seyahat süresi dağılımı şartlı başlangıç bilgisi kullanılmış ve böylelikle toplamda Tablo 3.16’da verilen 42 adet senaryo oluşturulmuştur.

Tablo 3.16: Deney düzeneği

Yöntem	Deneme No*	Kullanılan Elemanlar**	Senaryolar (a, b, c)***		
			S-I	S-II	S-III
Bağ	B-I	8	a	a&b	a&b&c
	B-II	8, 5	a	a&b	a&b&c
	B-III	8, 5, 6	a	a&b	a&b&c
	B-IV	8, 5, 6, 1	a	a&b	a&b&c
	B-V	8, 5, 6, 1, 2	a	a&b	a&b&c
	B-VI	8, 5, 6, 1, 2, 4	a	a&b	a&b&c
	B-VII	8, 5, 6, 1, 2, 4, 7	a	a&b	a&b&c
	B-VIII	8, 5, 6, 1, 2, 4, 7, 3	a	a&b	a&b&c
Kavşak	K-I	4	a	a&b	a&b&c
	K-II	4, 5	a	a&b	a&b&c
	K-III	4, 5, 6	a	a&b	a&b&c
	K-IV	4, 5, 6, 3	a	a&b	a&b&c
	K-V	4, 5, 6, 3, 2	a	a&b	a&b&c
	K-VI	4, 5, 6, 3, 2, 1	a	a&b	a&b&c
* (B), bağ denemelerini, (K), kavşak denemelerini ifade etmektedir.					
** En yüksek hacim sırasına göre kullanılan eleman kodlarını ifade etmektedir. Test ağındaki şeritsel bağlardaki trafiğin iki düğüm arasındaki toplam yolculuğa ve böylelikle bağ yöntemine indirgenmesinde kullanılan kesitlerin kodları bağ yönteminde, ana düğümlerin kodları kavşak yönteminde görülmektedir.					
*** a) Gözlem verilerinin kullanılması b) Seyahat üretim-çekimi şartlı başlangıç bilgisinin kullanılması c) Seyahat süresi dağılımı şartlı başlangıç bilgisinin kullanılması					

42 senaryonun her birisinin çalıştırılmasında 25 adet eşit iterasyon kullanılmış bu şekilde senaryolar arasındaki olası hesap farkı ortadan kaldırılmıştır. Her bir senaryonun çalıştırılması sonucunda tahmin değerleri elde edilmiştir. Tahmin değerleri; bağ trafik hacimi, B-V matrisi ve denge seyahat süresi dağılımları olmaktadır. Elde edilen tahmin değerleri başlangıç koşullarındaki baz bağ hacimleri, baz B-V matrisi ve baz denge seyahat süresi dağılımları ile karşılaştırılmıştır. Her bir karşılaştırmada farklı hata yöntemi kullanılmıştır.

3.4.1 Bağ Trafik Hacimlerinin Karşılaştırılması

Tahmin bağ trafik hacimlerinin baz bağ hacimleri ile karşılaştırılması, test ağındaki 16 adet şerit bağlarında geręekleřtirilmiř ve GEH hata yöntemi kullanılmıştır. GEH istatistiği trafik mühendisliğinde, tahmin ve modellemede, iki trafik hacmini karşılaştırmak için kullanılmaktadır. GEH istatistiğinde “model” ve “gözlem” olmak üzere iki adet değişken vardır. (3.7)’de istatistiğin bağıntısı verilmiştir.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}} \quad (3.7)$$

(3.7)’de; M , modelden elde edilen trafik hacmi, C , gözlemden elde edilen trafik hacmini ifade etmektedir. GEH değerlerinin genel olarak 0 ila 5 veya 5-10 arasında olması beklenmelidir. Bununla beraber değerlerin belirli koşullar altında ağ üzerinde bulunan elemanların %85’inde 5’ten az olması gerektiği belirtilmiştir (DfT, 1996). Karşılaştırma yapılan gözlem sayısının artması ile beraber veya geleneksel yolcu planlarının dışına çıkan uygulamalarda, literatürde ve uygulamada bu koşulu sağlamayan modeller de bulunmaktadır.

3.4.2 Seyahat Süresi Dağılımlarının Karşılaştırılması

Tahmin denge seyahat süresi dağılımları ile baz denge seyahat süresi dağılımlarının karşılaştırılmasında R^2 uyum oranı kullanılmıştır. R^2 , tahmin ve gözlem değerlerinin regresyonu sonucu, iki değerin arasından geçen doğrunun, değerlere olan uzaklıklarının bir ölçütüdür. (3.8)’de R^2 bağıntısı verilmiştir.

$$R^2 = \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.8)$$

(3.8)’de; y , gözlem değeri, \hat{y} , tahmin değeri, \bar{y} , gözlem değerlerinin ortalaması olmaktadır. R^2 değeri doğası gereği negatif olamamakla birlikte 0 ila 1 arasında değişmektedir. 0; iki veri seti arasında bir ilişkinin olmadığını, 1; iki veri setinin birbirinin aynısı olduğunu söylemektedir. Dolayısı ile R^2 değeri 1’e yakınladığı ölçüde kurulan modelin başarısı artmaktadır.

3.4.3 Başlangıç-Variş Matrislerinin Karşılaştırılması

Tahmin B-V matrisleri ile baz B-V matrislerinin karşılaştırılmasında genellikle literatürde kullanılan yöntem olan kök ortalama kare hata (RMSE) yönteminden faydalanılmıştır. RMSE, tahmin ve baz matrisin her bir hücresindeki değerlerin karşılaştırılması sonucuyla hesaplanmıştır. Kullanılan hata yöntemi (3.9)'da verilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (3.9)$$

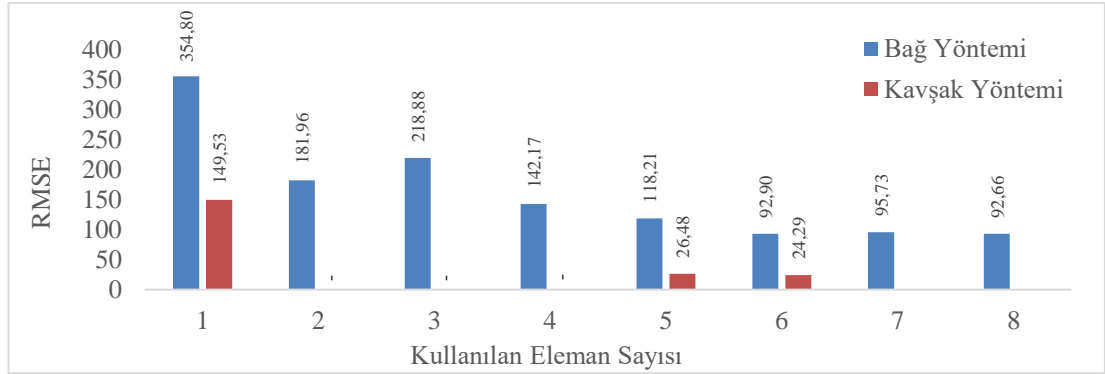
(3.9)'da; e_i ; matris hücrelerindeki hatanın büyüklüğü, n ; toplam hücre sayısı olmaktadır. Bu şekilde kullanılan hata yönteminde hassaslık ön planda olmuş, talep matrisi hücreleri arasında duyarlı ölçümler yapılması sağlanmıştır.

3.5 Sonuç

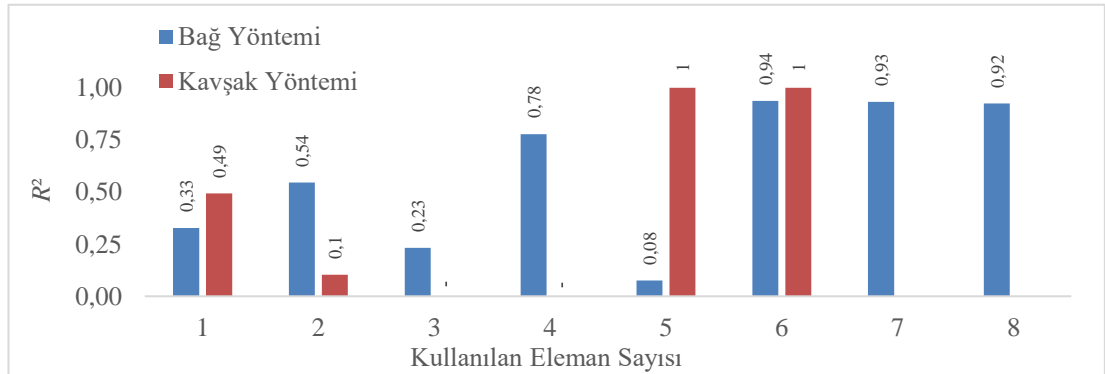
Geliştirilen 42 adet senaryonun çalıştırılması sonucu oluşan gözlem bağ trafik hacimleri, gözlem seyahat süresi dağılımları ve gözlem talep matrisinin, baz bağ trafik hacimlerine, baz seyahat süresi dağılımlarına ve baz talep matrislerine olan karşılaştırmaları sonucu hata oranları elde edilmiştir. Öncelikle, sadece sayım verileri kullanılarak yapılan, şartlı başlangıç bilgisiz (a) denemeler için bağ ve kavşak modelleri ile oluşan hatalar verilmiş, bunun arkasından (b) seyahat üretim çekimi şartlı başlangıç bilgisi ve (c) seyahat süresi dağılımları şartlı başlangıç bilgisi sisteme dahil edilerek yöntemlerin şartlı başlangıç bilgileri ile beraber kullanılması sonucu başarımları test edilmiştir. Bu kapsamda şartlı başlangıç bilgileri yöntemlerin her bir denemesinde yığınsal olarak geliştirilmiştir. Yöntem denemeleri de senaryolar kapsamında elemanların baz trafik hacimlerinin en yüksek hacim sırasına göre yığınsal olarak denenmiştir. Böylelikle bağ yönteminin ifadesinde kullanılan kesit elemanlarında en yüksek hacime sahip eleman ilk denemede yer almış, bunu hacim sırasına göre takip eden diğer elemanlar her bir denemede yığınsal olarak eklenmiştir. Aynı durum kavşak elemanları için de geçerli olmaktadır. Örneğin, B-II_S-III denemesinde, en yüksek baz (gözlem) hacmine sahip “8” ve “5” kodlu iki kesit elemanı ile beraber (a), (b) ve (c) bilgileri birlikte kullanılmıştır (Bkz. Tablo 3.16).

3.5.1 Şarhlı Başlangıç Bilgisiz Çözüm (S-I)

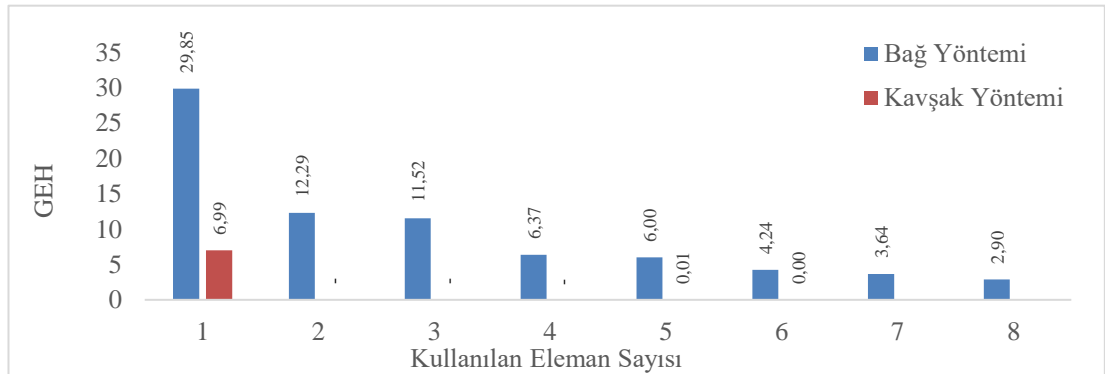
B-V seyahatlerinin tahmini için sadece bağ ve kavşaklardaki trafik gözlem değerlerinin, elemanların yüksek hacim değerlerine göre yığınsal olarak kullanıldığı denemeler sonucu elde edilen talep matrislerindeki hata Şekil 3.29’da, seyahat süresi dağılımlarındaki hata Şekil 3.30’da, bağ trafik hacimlerindeki hata Şekil 3.31’de gösterilmiştir.



Şekil 3.29: S-I talep matrisi tahmini hataları



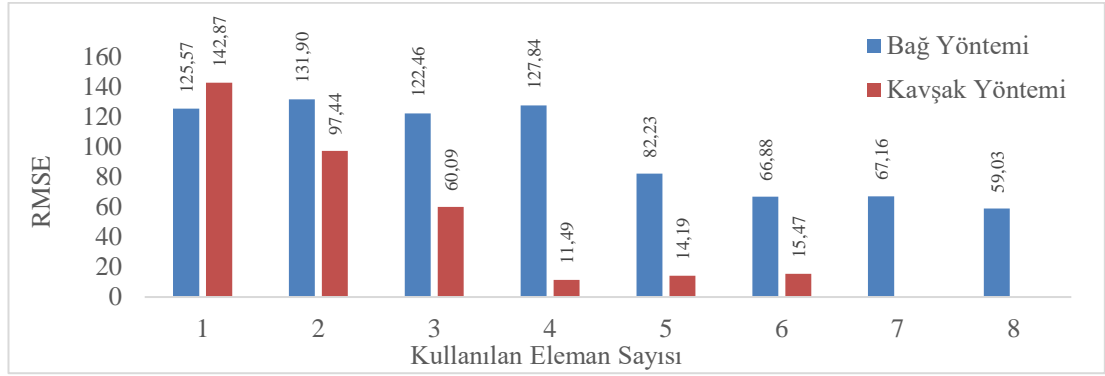
Şekil 3.30: S-I seyahat süresi dağılımı tahmini hataları



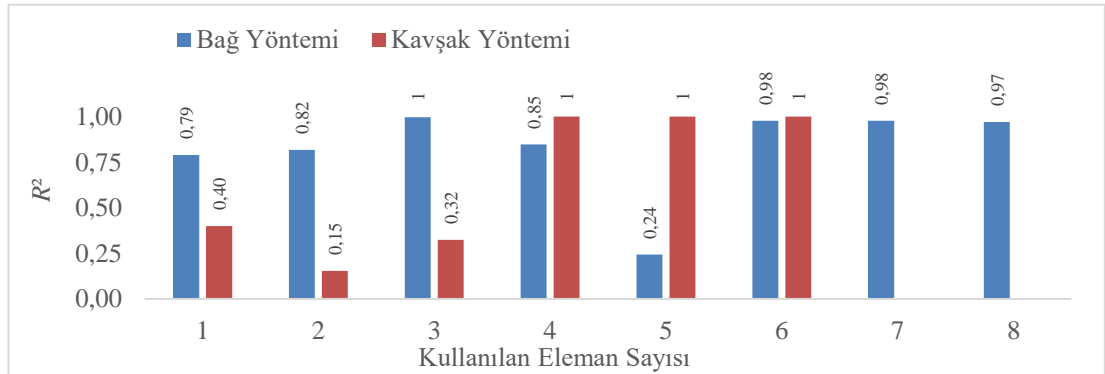
Şekil 3.31: S-I bağ trafik tahmini hataları

3.5.2 Bir Şartlı Başlangıç Bilgisi ile Çözüm (S-II)

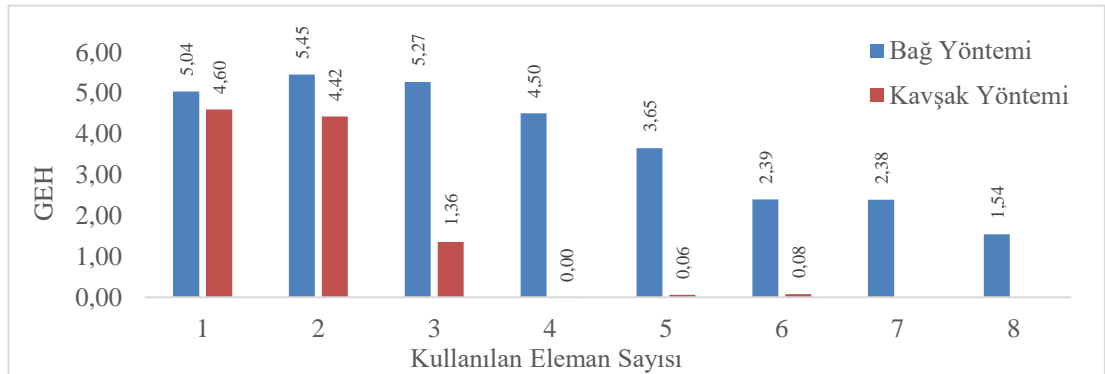
B-V seyahatlerinin tahmini için bağ ve kavşaklardaki trafik gözlem değerlerinin, elemanların yüksek hacim değerlerine göre yığınsal olarak ve baz seyahat üretim-çekim değerlerinin şartlı başlangıç bilgisi olarak kullanıldığı denemeler sonucu elde edilen talep matrislerindeki hata Şekil 3.32’de, seyahat süresi dağılımlarındaki hata Şekil 3.33’te, bağ trafik hacimlerindeki hata Şekil 3.34’te gösterilmiştir.



Şekil 3.32: S-II talep matrisi tahmini hataları



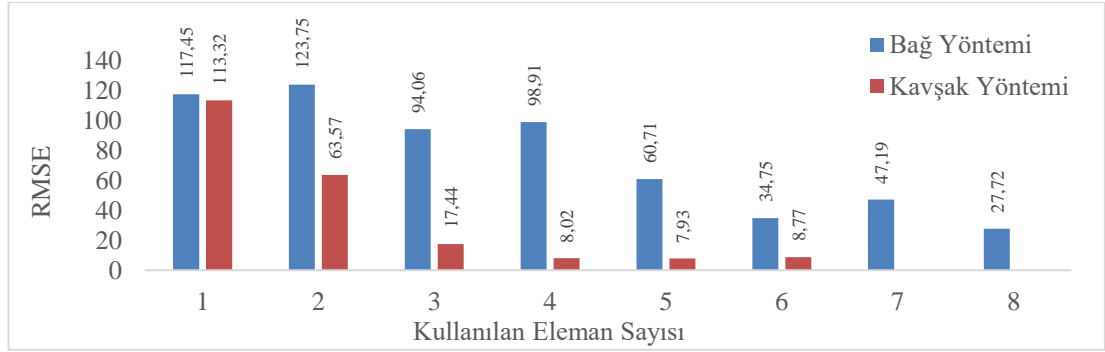
Şekil 3.33: S-II seyahat süresi dağılımı tahmini hataları



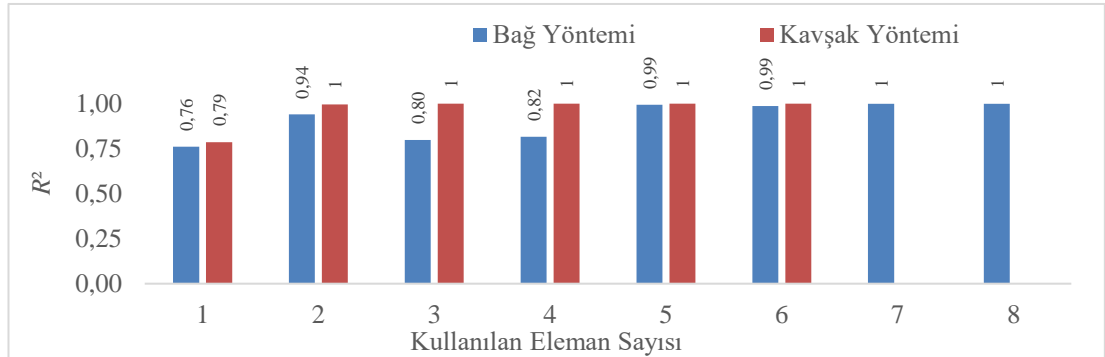
Şekil 3.34: S-II bağ trafik tahmini hataları

3.5.3 İki Şartlı Başlangıç Bilgisi ile Çözüm (S-III)

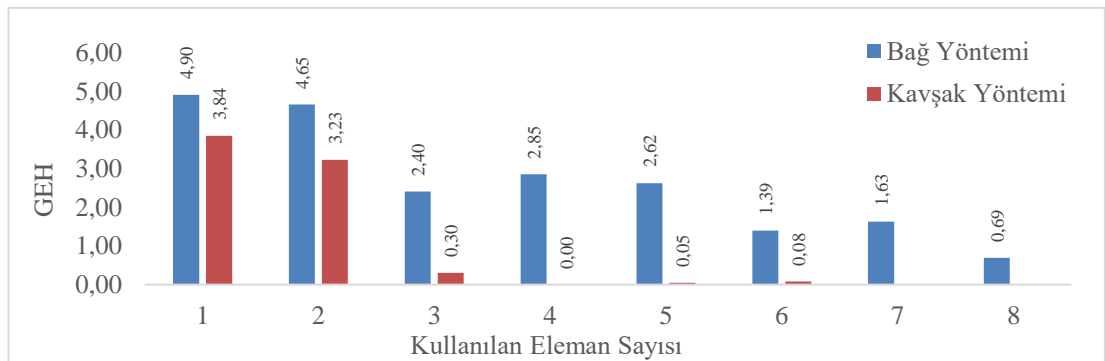
B-V seyahatlerinin tahmini için bağ ve kavşaklardaki trafik gözlem değerlerinin, elemanların yüksek hacim değerlerine göre yığınsal olarak, baz seyahat üretim-çekim değerlerinin ve baz seyahat süresi dağılımlarının şartlı başlangıç bilgileri olarak kullanıldığı denemeler sonucu elde edilen talep matrislerindeki hata Şekil 3.35'te, seyahat süresi dağılımlarındaki hata Şekil 3.36'da, bağ trafik hacimlerindeki hata Şekil 3.37'de gösterilmiştir.



Şekil 3.35: S-III talep matrisi tahmini hataları



Şekil 3.36: S-III seyahat süresi dağılımı tahmini hataları



Şekil 3.37: S-III bağ trafik tahmini hataları

4. SONUÇLAR

20. yüzyılda ulaşım araçlarının kolay erişilebilir olması ve kentlerdeki nüfus yoğunluğunun artması ile yüksek maliyetli ulaşım yatırımlarında da ciddi bir artış meydana gelmiştir. Dolayısı ile yatırımların etkili bir şekilde planlanması amacıyla mühendisler ve şehir plancıları tarafından çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar 20. yüzyılın ikinci yarısına kadar yatırım planlanmasına yönelik yapılmaktaydı. Ancak problemin doğası gereği, arzın yeni talepler yaratması ve mevcut imkanların talebi karşılayamamasından dolayı, yerel yönetimler, sorunları parça parça çözmekten çok, sorunlara yol açan sebepleri stratejik misyonlar çerçevesinde çözmeyi hedeflemiştir. Bu sebeple ulaşım talebinin tahmini için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiş ve uygulanan yaklaşımlardan başlıcası “Dört Aşamalı Ulaşım Planı” olmuştur. Bu sistem, toplamda ne kadar seyahatin olduğunu söyleyen “Seyahat Üretimi”, seyahatlerin nereden nereye gerçekleştiğini söyleyen “Seyahat Dağılımı”, seyahatlerin hangi ulaşım türü ile yapıldığını söyleyen “Türel Ayrım” ve seyahatlerin hangi rotalarda seyrettiğini söyleyen “Trafik Ataması” aşamalarından oluşmaktadır.

Yöntem makro planlarda veya büyük ölçekli yatırım planlarında dünya üzerinde başarılı olarak görülürken her bir aşamanın kendi içerisinde yüksek maliyet, işgücü ve girdiye ihtiyaç duyması aşamalar arasında taşınımı ilerleyen belirsizlik ve hatalara sebebiyet vererek sistemi kararsız hale getirebilmektedir. Gelenekselleşmiş bu yöntemin anılan eksiklikleri dolayısıyla talebin daha az maliyet veya çalışma ile elde edilmesi çalışılmalı bir konu olmuştur.

Konu ile ilgili geliştirilen yöntemlerin başlıcası ise talep tahmininde trafik sayımlarını kullanan uygulamalar olmuştur. Amaç doğrultusunda trafik sayımları yol parçalarında, perde hatlarında veya kavşaklarda gerçekleştirilebilmektedir.

Test ağlarında veya durum çalışmalarında denenen yöntemlerin, seyahat talebinin tahmininde başarılı sonuçlar verdiği, bununla beraber analiz bölgelerindeki seyahat miktarları veya yaklaşık B-V talep matrisi gibi çeşitli şartlı veya şartsız başlangıç bilgilerine ihtiyacın gerekebileceği kaydedilmiştir. Literatürde en çok denenen yöntem ise bu kapsamda bağ hacimlerinin sayımı yöntemi olmuştur.

Tez çalışması kapsamında literatürdeki eksiklikleri gidermek ve gelecek çalışmalara ışık tutmak amacıyla doğrudan talep tahmininde kullanılan gözlem türlerinden bağ trafik sayımları ve kavşak dönüş hareketleri sayımlarının problemin çözümündeki başarımlarının karşılaştırılması ana çatıyı oluşturmuştur. Tahminde etkili olan yöntemin sağlıklı bir şekilde belirlenebilmesi adına geleneksel seyahat dağılım normları dışında sayılabilecek zorlayıcı bir test ağı kullanılmıştır. 6 adet ana kavşağa ve 16 adet şerit bağını kesen 8 adet kesite ve 7 adet başlangıç-variş bölgesine sahip test ağının baz koşullarından elde edilen baz trafik hacimleri, gözlem değerleri olarak, baz seyahat üretim-çekimi ve baz denge seyahat süresi dağılımı ise çalışmada şartlı başlangıç bilgileri olarak kullanılmıştır. Problemin çözümünde uygun yöntemin, gerekli şartlı başlangıç bilgilerinin ve yeterli gözlem adedinin belirlenebilmesi adına 42 adet senaryo geliştirilmiştir. En yüksek hacim sırasına göre yığinsal olarak kullanılan bağ ve kavşak elemanlarının denemelerine sırasıyla yine yığinsal olarak dahil edilen şartlı başlangıç bilgileri kapsamında oluşturulan senaryoların çalıştırılması sonucunda uygulamaya da yönelik olarak bir takım bulgular elde edilmiştir. Anılan bulgular aşağıda verilmiştir.

Herhangi bir şartlı başlangıç bilgisinin kullanılmaması durumunda, kavşak modeli, hareket kısıtlarının karmaşıklığından ötürü talep tahmini ve talebin ağ performansında sistemi kararsızlaştırabilmekte ve böylelikle bağ modelinin kullanılması yeterlilik koşullarının tartışılabilir olması ile beraber hareket kısıtlı bölgelerde kavşak modeline göre daha uygun olmaktadır.

Sistemde üretim çekim değerlerinin şartlı başlangıç bilgisi olarak kullanılması durumunda kavşak modeli, talep tahmini ve talebin ağ performansında bağ modeline göre daha az elemanla yeterli ve tutarlı çözüm sunmaktadır. Bu kapsamda şartlı başlangıç bilgisi olarak kullanılan, analiz bölgesi bazlı üretim-çekim değerlerinin de tutarlı bir şekilde çeşitli veri toplama yöntemleri veya anketler yardımıyla elde edilmiş olması gerekmektedir.

Ağda üretim-çekim değerlerinin ve seyahat sürelerinin şartlı başlangıç bilgileri olarak kullanılması durumunda yine kavşak modeli, talep tahmini ve talebin ağ performansında bağ modeline göre daha az elemanla yeterli ve tutarlı çözüm sunmaktadır. Bu yönde, üretim-çekim miktarları gibi, şartlı başlangıç bilgisi olarak kullanılan seyahat süresi dağılımlarının da tutarlı ve başarılı olması gerekmektedir.

Şartlı başlangıç bilgilerinin trafik sayımları ile beraber kullanılması durumunda iki yöntem de belirli bir eleman sayısının kullanılmasından sonra kabul edilebilir hata sınırları içerisinde tahminler gerçekleştirmektedir.

Senaryo uygulamaları sonucu elde edilen talep matrisinin baz talep matrisine olan hatasının ölçütünde kullanılan RMSE değeri, kullanılan eleman ve şartlı başlangıç bilgisi sayısı arttıkça, son denemelerde, kavşak modelinde 8 değerine yaklaşmış, bağ modelinde ise 27 değerine yaklaşmıştır. Model seyahat süresi dağılımları ile gözlem seyahat süresinin dağılımları arasındaki uygunluğun ifadesi olarak kullanılan R^2 değeri, son denemelerde iki yöntemde de 1 değerine yaklaşmıştır. Talebin ağ performansının şeritsel bazlı karşılaştırılması sonucu kullanılan GEH hata değeri ise son denemelerde iki yöntemde de 0 değerine yaklaşmıştır.

Şartlı başlangıç bilgilerinin kullanılması sonucunda talep tahmini ve talebin ağ performansında kavşak modeli, bağ modeline göre daha az sayıda elemanla daha tutarlı tahminler gerçekleştirmektedir.

Enerji minimizasyonu ve bilgi maksimizasyonu çerçevesinde, ağdaki en yüksek hacime sahip üç kavşağın, talep tahmininde kullanılması ile beraber hata oranlarında keskin bir düşüş gerçekleşmiş, ve bundan sonraki denemelerde eklenen kavşak elemanlarının problemin çözümünde kayda değer bir değişiklik sağlamadığı görülmüştür. Bununla beraber bağ modelinde aynı durum söz konusu olmayıp, hata oranları eleman sayısı arttıkça düşük bir hızda azalmıştır.

4.1 Öneriler

Uygulamaya da yönelik olarak tasarlanan çalışma kapsamında gözlemler ile doğrudan talep tahmininde kullanılan bağ modeli ve kavşak modeli başarımlarının ölçülmesi adına belirli miktarda analiz bölgesine, bağ sayısına ve kavşak sayısına sahip bir test ağı kullanılmıştır. Geliştirilen senaryoların anılan test ağında çalıştırılması sonucu elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan bağ ve kavşak modellerine ek olarak perde sayımları yönteminin de talep tahminindeki başarımlarının sınanması ve farklı şartlı başlangıç bilgileri ile başlangıç matrislerinin farklı ağlarda veya durum çalışmalarında kullanılması önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

Alibabai, H. & Mahmassani, H. S., "Dynamic Origin-Destination Demand Estimation Using Turning Movement Counts", *Journal of the Transportation Research Board*, 2085, 39-48, (2008).

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, 262-264, (1977).

Barcelo, J., Montero, J., Bullejos, M., Serch, O., Carmona, C., "Dynamic OD Matrix Estimation Exploiting Bluetooth Data in Urban Networks", *Recent Researches in Automatic Control and Electronics*, 116-121, (2012).

Beebe, M. A., "Novel Traffic Survey Method Utilises Vehicle Lights", (eds: F. Buggraf, E.M. Ward, H.P. Orland), Washington, *Highway Research Board*, 224, 102-105, (1959).

Beyazıt, M., *İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, (1996).

Cao, J., Davis, R. D., Wiel, S. A. V. & Yu, B., *Method for Estimating the Traffic Matrix of a Communication Network*, Murray Hill: United States Patent, (2004).

Carey, M., Hendrickson, C. & Siddharthan, K., "A Method for Direct Estimation of Origin/Destination Trip Matrices", *Transportation Science*, 15, 32-49, (1981).

Ceylan, H., "A Genetic Algorithm Approach to the Equilibrium Network Design Problem", *Ph.D Thesis, University of Newcastle, Newcastle*, (2002).

Chen, A., Pravinvongvuth, S., Chootinan, P., "Strategies for Selecting Additional Traffic Counts for Improving O-D Trip Table Estimation", *Transportmetrica*, 3, 191-211, (2007).

Chiou, S. W., "Optimisation of Area Traffic Control for Equilibrium Network Flows", *Transportation Science*, 33, 279-289, (1999).

DfT, *Design Manual for Roads and Bridges*, Londra: Department for Transport, (1996).

Dünya Bankası, *Enterprise Survey and Indicator Surveys Sampling Methodology*, Dünya Bankası, (2009).

Ergün, G., Gün, F. & Çalışkan, B., *Link-Kapasite Fonksiyonlarının Geliştirilmesi*, İstanbul: İstanbul Metropolitan Planlama ve Kentsel Tasarım Merkezi, (2007).

ESRI, *Standart Classification Schemes*, ESRI, (2006).

Gong, Z., "Estimating the Urban OD Matrix: A Neural Network Approach", *European Journal of Operational Research*, 106, 108-115, (1998).

Haldenbilen, S., *Ulaşım Planlamasına Giriş Ders Notları*, Denizli: Pamukkale Üniversitesi, (2016).

Haldenbilen, S. & Ceylan, H., *Ulaşım Planlamasına Giriş Ders Notları*, Denizli: Pamukkale Üniversitesi, (2006).

Hamed, M. M. & Nihan, N. L., "Estimating Intersection O-D Matrices from Observed Time-Series of Traffic Counts: The Zellner Estimator", *Journal of Advanced Transportation*, 30, 57-77, (1996).

Hogberg, P., *Planning of the traffic counts*, Goteborg: University of Goteborg, (1975).

Holm, J., Jensen, T., Nielsen, S.K., Christensen, A., Johnsen, B., Ronby, G., "Calibrating Traffic Models on Traffic Census Results Only", *Traffic Engineering & Control*, 17, 137-140, (1976).

ICPSR, *Trip Distribution*, Washington: National Institute of Justice, (2010).

Iqbal, M. S., Choudhury, C. F., Wang, P. & Gonzalez, M. C., "Development of Origin-Destination Matrices Using Mobile Phone Call Data", *Transportation Research Part C*, 40, 63-74, (2014).

Jansn, B. N. & Southworth, F., "Estimating Departure Times from Traffic Counts Using Dynamic Assignment", *Transpn. Res. B.*, 26, 3-16, (1992).

Jaynes, E. T., "Information Theory and Statistical Mechanics", *Physical Review*, 106, 620-630, (1957).

Jensen, T. & Nielsen, S., "Calibrating Gravity Models and Estimating Their Parameters Using Traffic Volume Counts", *5th Conference of Universities Transport Study Group, London*, (1973).

- Kawakami, S., Lu, H. & Hirobata, Y., "Estimation of Origin-Destination Matrices from Link Traffic Counts Considering the Interaction of the Traffic Modes", *Papers in Regional Science*, 71, 139-151, (1992).
- Kim, H., Baek, S. & Lim, Y., "Origin-Destination Matrices Estimated with a Genetic Algorithm from Link Traffic Counts", *Transportation Research Record*, 1771, 156-163, (2001).
- Lee, S.-M., Baik, H. & Park, J. H., "Visual Traffic Movement Counts at Intersection and Origin-Destination (O-D) Trip Table Estimation", *Intelligent Transportation Systems Conference, Seattle, IEEE*, 1108-1113, (2007).
- Low, D., "A New Approach to Transportation Systems Modelling", *Traffic Quarterly*, 26, 391-405, (1972).
- Mathew, T. V. & Rao, K. V. K., *Introduction to Transportation Engineering*, Yeni Delhi: MHRB, (2007).
- Mladenovic, M. N. & Trifunovic, A., "The Shortcomings of the Conventional Four Step Travel Demand Forecasting Process", *Journal of Road and Traffic Engineering*, 60, 5-12, (2014).
- Nanda, R. & Kikuchi, S., "Estimation of Trip O-D Matrix when Input and Output are Fuzzy", *Newark, IEEE*, (1993).
- Neumann, E. S., Asce, M., Halkias, J. & Elrazaz, M., "Estimating Trip Rates from Traffic Counts", *Journal of Transportation Engineering*, 109, 565-578, (1983).
- Nguyen, S., *Procedures for Equilibrium Traffic Assignment with Elastic Demand*, Montreal: Universite de Montreal, (1976).
- Nihan, N. L. & Davis, G. A., "Recursive Estimation of Origin-Destination Matrices from Input/Output Counts", *Transpn. Res. B.*, 21, 149-163, (1987).
- Ortuzar, J. D. & Willumsen, L. G., *Modelling Transport*, Hoboken: Wiley, (2001).
- Plummer, A. V., *The Chicago Area Transportation Study*, (2010).
- PTV Group, *PTV Visum Manual*, Karlsruhe: PTV Group, (2015).
- Robillard, P., "Estimating the O-D Matrix from Observed Link Volumes", *Transpn Res.*, 9, 123-128, (1975).

Schofer, R. E. & Levin, B. M., "The Urban Transportation Planning Process", *Socio-Econ. Plan. Sci.*, 1, 185-197, (1967).

Shafahi, Y. & Faturechi, R., "A New Fuzzy Approach to Estimate the O-D Matrix from Link Volumes", *Transportation Planning and Technology*, 32, 499-526, (2008).

Shannon, C. E., "A Mathematical Theory of Communication", *The Bell System Technical Journal*, 27, 623-656, (1948).

Tamin & Willumsen, L. G., "Freight Demand Model Estimation from Traffic Counts", *Transport Research Laboratory*, 75-86, (1992).

FHWA, *Highway Capacity Manual*, Washington: Bureau of Public Roads, (2000).

Vardi, Y., "Network Tomography: Estimating Source-Destination Traffic Intensities from Link Data", *Journal of the American Statistical Association*, 91, 365-377, (1996).

Watling, D. P., Rasmussen, T. K., Prato, C. G. & Nielsen, O. A., "Stochastic user equilibrium with a bounded choice model", *Transportation Research Part B*, 114, 254-280, (2018).

Willumsen, L. G., *Estimation of an O-D Matrix from Traffic Counts-A Review*, Leeds: University of Leeds, (1978).

Wilson, B. A. G., "The Use of Entropy Maximising Models", *Journal of Transport Economics and Policy*, 3, 108-126, (1969).

Zuylen, H. J. V., *Some Remarks on the Information Minimising Method*, Tilburg: Verkeersakademie, (1977).

Zuylen, H. J. V. & Willumsen, L. G., "The Most Likely Trip Matrix Estimated from Traffic Counts", *Transpn Res. B.*, 14B, 281-293, (1980).

6. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kemal Yasin Göka
Doğum Yeri ve Tarihi : Antalya, 26.10.1990
Lisans Üniversite : Sakarya Üniversitesi
Elektronik posta : yasingoka@gmail.com
İletişim Adresi : Zeytniköy mah. No:13 D:26 Denizli
Konferans listesi :

- Kemal Yasin Göka, Halim Ceylan, Soner Haldenbilen, “Passenger Demand Estimation for Railways in Turkey” 13th International Congress on Advances in Civil Engineering, 2018 (İzmir)