

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

ULUSAL KARAYOLU SİSTEMİNİN
AĞ GÜVENİLİRLİĞİ YAKLAŞIMI İLE İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Y.Müh. Füsun ÜÇER

Balıkesir, Haziran-2009

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

**ULUSAL KARAYOLU SİSTEMİNİN
AĞ GÜVENİLİRLİĞİ YAKLAŞIMI İLE İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Y.Müh. Füsun ÜÇER

Balıkesir, Haziran-2009

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

ULUSAL KARAYOLU SİSTEMİNİN
AĞ GÜVENİLİRLİĞİ YAKLAŞIMI İLE İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Y.Müh. Fusun ÜÇER

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Turgut ÖZDEMİR

Sınav Tarihi:06.07.2009

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Turgut ÖZDEMİR (Danışman-BAÜ)

Doç. Dr. Halim CEYLAN (PAÜ)

Doç. Dr. Soner HALDENBİLEN (PAÜ)

Doç. Dr. Murat ERGÜN (İTÜ)

Yrd.Doç.Dr. Ayşe TURABİ (BAÜ)

Balıkesir, Haziran-2009

ÖZET

ULUSAL KARAYOLU SİSTEMİNİN AĞ GÜVENİLİRLİĞİ YAKLAŞIMI İLE İNCELENMESİ

Fusun ÜÇER
Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

(Doktora Tezi / Tez Danışmanı: Prof. Dr. Turgut ÖZDEMİR)
Balıkesir, 2009

Çalışmada, ulusal karayolu ağının seçilen bir bölümü için ulaşım planlaması sisteminin adımları uygulanmıştır. Zaman ve maliyetin sınırlı olmasından dolayı, trafik hacim değerleri her karayolu linki için daima gözlemlenemez. Bu bakımdan, ulaşım planlamasının yapılabilmesi için, önce B-V çiftlerini bağlayan karayolu linkleri üzerindeki trafik hacimlerinin gerçeği en iyi yansıtacak şekilde tahmin edilmesi gereklidir. Bunun için çalışmada B-V çiftlerinin giriş-çıkış kesimlerindeki YOGT değerlerinden yararlanılmıştır. Çalışma ağı seyahat üretimi matrisi, 6. bölümdeki uygulamada anlatıldığı şekilde, bölgenin farklı sosyo ekonomik karakterleri ile bölgede üretilen seyahat sayıları arasındaki ilişkiden yararlanılarak belirlenmiştir. Çekim yöntemi için geliştirilen makro yazılım ile seyahat dağılımı yapılmıştır.

Linkler üzerindeki trafik hacimlerinin bir fonksiyonu olarak, en yaygın şekilde kullanılan BPR maliyet fonksiyonu ile linklerin seyahat maliyetleri hesaplanmıştır. Stokastik kullanıcı denge trafik ataması ile rotalara trafik hacmi yüklenmiştir. Trafik Atama Ardışık Ortalamalar Yöntemi (AOY) esas alınarak geliştirilen makro yazılım ile yapılmış, denge link akımları hesaplanmıştır. Dijkstra algoritması ile çalışma ağı B-V çiftleri arasındaki en kısa rotalar belirlenmiştir. Trafik hacimleri yıllık artışlar göstereceğinden artan trafik hacimlerine göre denge durumundaki trafik atama tekrar belirlenerek mevcut durum değerlendirilmiştir.

Güvenilirlik bakımından, karşılaştırılabilen seyahat süreleri ve maliyet bir karayolu ağının kullanıcılarına sunması gereken önemli koşullardır. Ağ güvenilirliği, ağ bağlantılılığı ve maliyet bakımından değerlendirilmiştir. Seyahatin başlangıcından bitişine beklenen maliyeti, ağ performansına karşılık gelir. Çalışmada, rasgele kapalı linkin hangisi olabileceğini belirleyen bir program yazılarak, kapalı linkler belirlenmiştir. Böyle anormal bir durumun oluşması halinde, bağlantı ve süre güvenilirliği değerlendirilmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Çekim yöntemi / BPR / Trafik atama / Ulaşım ağlarında denge / Ardışık ortalamalar yöntemi / Dijkstra

ABSTRACT

THE RESEARCH WITH NETWORK RELIABILITY APPROACH FOR HIGHWAY SIYSTEM

Füsün ÜÇER
Balikesir University, Institute of Science,
Department of Civil Engineering

(Ph. D. Thesis / Supervisor: Prof. Dr. Turgut ÖZDEMİR)
Balikesir-Turkey, 2009

Transportation planning system steps were applied for a part of highway network in this study.. Due to the restriction of time and cost, traffic volumes are not always observed for every highway link. From this point of view first, traffic volumes prediction are needed on links which highway to connected O-D pair for transportation planning application. For this reason, was benefited from YOGT values where entry-exit region for O-D pair in research. Trip generation matrix was defined, as soon as to explained in chapter 6, owing to covariation between different socioeconomic characteristics of area and the number of trips generated in that area. Trip distribution was produced by mean of software for gravity models was developed.

Link costs were calculated as a function of traffic volumes thanks to the widely used BPR cost function. Traffic volumes were loaded with stochastic user equilibrium traffic assignment on routes. Link flows were calculated owing to method of successive averages algorithm. Shortest path from O to D was defined with Dijkstra algorithm. For traffic volumes increase from day to day, according to increased traffic volumes traffic assignment at equilibrium were calculated repetition and present situation was evaluated.

Point of view reliability, competitive travel times and cost are important conditions that a highway network must offer to its users. Network reliability was evaluated for connectivity of network and cost. The expected cost of a trip its origin to its destination corresponds to the performance of the network. Links to become closed situation were defined as random in research. Connectivity and travel time reliability were evaluationed in this way at unexpected condition.

KEY WORDS: Gravity method / BPR / Traffic assignment / Equilibrium at transportation network / Method of successive averages / Dijkstra

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORD	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı	2
1.2 Çalışmanın Amacı	3
1.3 Yöntem	3
1.4 Kapsam	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	6
2.1 Giriş	6
2.2 Seyahat Üretimi Tahmin Modelleri	10
2.2.1 Sonuç	18
3. ULAŞIM PLANLAMASI SİSTEMİ	20
3.1 Seyahat Üretimi	22
3.1.1 Seyahat Üretiminin Belirlenmesi	22
3.2 Seyahat Dağılımı	24
3.2.1 Çekim Modeli	26
3.3 Trafik Atama	29
3.3.1 Rota Seçimi Kriterleri	31
3.4 Sonuç	31
4. ULAŞIM AĞLARINDA DENGE ve TRAFİK ATAMA MODEL ARAŞTIRMASI	33
4.1 KD Atama Modeli	36
4.2 SKD Atama Modeli	40
4.2.1 Logit SKD Modeli	43
4.2.2 Probit SKD Modeli	44

	<u>Sayfa</u>
4.3 Sistem Optimum Atama	46
4.4 Hep ya da Hiç Atama Modeli	47
4.5 Link Seyahat Maliyetleri	48
4.6 Rota Maliyetleri	49
4.7 Sonuç	51
5. TRAFİK ATAMA PROBLEMİ İÇİN ÇÖZÜM ALGORİTMALARI	54
5.1 Ardışık Ortalamalar Yöntemi Algoritması (AOY)	55
5.1.1 AOY Adımlarının Uygulanmasının Örnek Bir Ağ İçin Gösterilmesi	58
5.2 En Kısa Rota Algoritmaları	60
5.2.1 Dijkstra Algoritması ile En Kısa Rotaların Bulunması	61
5.3 Sonuç	66
6. ULAŞIM PLANLAMASI SİSTEMİNİN ÇALIŞMA AĞINA UYGULANMASI	67
6.1 Akım ve Maliyet Değişkenleri	69
6.2 Çalışma Ağı Seyahat Üretimini Belirlenmesi	70
6.3 Çekim Yöntemi ile Seyahat Dağılımının Çalışma Ağına Uygulanması	75
6.4 Trafik Atama	78
6.4.1 Link ve Rota Seyahat Maliyetlerinin Hesaplanması	78
6.4.2 Belirleme Matrisleri	79
6.4.2.1 Link-Rota Belirleme Matrisi	80
6.4.3 Akımın Korunması İlişkileri	81
6.5 Örnek Uygulama (Bursa-Muğla B-V Çifti İçin)	82
6.5.1 Bursa-Muğla B-V Çifti İçin AOY ile Analitik Çözüm	84
6.5.2 Rota Maliyetleri ve Rota Akımları İçin Regresyon Analizi	92
6.6 Çalışma Ağının Ağ Güvenilirliği Bakımından Değerlendirilmesi	97
6.7 Sonuç	103
7. SONUÇLAR	104
EKLER	
EK A. Çalışma Ağı Dijkstra Algoritması İle En Kısa Rota Sonuçları	106
EK B. Çalışma Ağı AOY İle Trafik Atama Hesap Sonuçları	108
EK C. Çalışma Ağı Hesaplanan Link Akımları	110
EK D. α ve β Link Maliyeti Kalibrasyon Parametrelerinin Önerilen Değerlerine Göre Rota Akımları Ve Rota Maliyeti Değişimleri	114
KAYNAKLAR	126

SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Adı</u>	<u>Tanımı/Değeri</u>	<u>Birimi</u>
B-V	Başlangıç-Varış		
N	Bağlantı noktası sayısı		adet
Z	Başlangıç-variş noktası sayısı		adet
YOGT	Yıllık ortalama günlük trafik		araç/gün
AOY	Ardışık ortalamalar yöntemi		
i	Matriste satırlar		
j	Matriste kolonlar		
q_{ij}	Başlangıç i den varış j ye olan seyahatler		araç/saat
G	Çekim kuvveti katsayısı		
M	Kütle veya büyüklük		
D_{ij}	i ve j kütlelerinin birbirine mesafesi		km
b	Üs, katsayı		
P_i, P_j	i ve j zonlarının alan büyüklüğü		kişi
O_i	i bölgesinin diğer j bölgelerine ürettiği trafik (trafik oluşumu)		araç/saat
A_j	j bölgesinin diğer i bölgelerinden çektiği seyahatler		araç/saat
K_{ij}	Katsayı (ij değişimi için bir sosyo-ekonomik faktör)		
KD	Kullanıcı dengesi		
SKD	Stokastik kullanıcı dengesi		
SO	Sistem optimizasyonu		
v_k	k linki üzerindeki trafik hacmi		araç/saat
$t_k(v_k)$	v_k link akımı iken k linki üzerindeki seyahat süresi		dak
h_p^{ij}	ij BV çifti arasındaki p rotası üzerindeki akım		araç/saat
δ_{kp}^{ij}	(Eğer ij BV çifti arasındaki p rotası k linkini kullanıyorsa)	1	
δ_{kp}^{ij}	(Eğer ij BV çifti arasındaki p rotası k linkini kullanmıyorsa)	0	
C_p^{ij}	ij BV çifti arasındaki p rotası üzerindeki algılanan seyahat süresi		dak
c_p^{ij}	BV çifti arasındaki p rotası üzerindeki gerçek seyahat süresi		dak
ε_p^{ij}	ij BV çiftinin p rotasındaki seyahat süresi algılama hatası		
α	negatif olmayan dağılım parametresi		
P_p^{ij}	ij BV çifti arasında p rotasının seçilme olasılığı		
\mathbf{v}	Link akımı vektörü	$\mathbf{v}=\mathbf{A}*\mathbf{h}$	araç/saat
\mathbf{A}	Link-rota matrisi		
\mathbf{h}	Rota akımları vektörü		araç/saat
c_k	Yüklenmiş hacimde, k linki üzerinde link seyahat maliyeti		dak
c_{0k}	k linki üzerindeki serbest akım seyahat süresi		dak
Q_{pk}	k linkinin pratik kapasitesi		araç/saat
α ve β	Link maliyetinin kalibrasyon parametreleri	$\alpha = 0.15, \beta = 4.0$	
P_{ah}	Nüfus artış hızı		%
KBGYH	Kişi başı gayrisafi yurtiçi hasıla oranı		s

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u> <u>Numarası</u> <u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 B-V matrislerinin tahmini ve trafik atama ilişkisi.	7
Şekil 2.2 B-V seyahat üretimi matrislerinin tahmin yöntemleri.	9
Şekil 3.1 Ardışık seyahat tahmin prosedürü.	21
Şekil 3.2 Seyahat dağılımı modelleri.	25
Şekil 3.3 Çekim modeli diyagramı.	28
Şekil 4.1 Denge trafik atama modellerinin sınıflandırılması.	34
Şekil 4.2 Kullanıcı dengesine göre rota maliyetleri.	36
Şekil 4.3 Örnek ağ.	37
Şekil 4.4 Deterministik kullanıcı denge ataması için karşılaştırma yüzeyi.	38
Şekil 4.5 Tıkanıklığa göre bir linkin seyahat maliyeti.	39
Şekil 4.6 Stokastik kullanıcı denge ataması için pürüzsüz karşılaştırma yüzeyi.	42
Şekil 5.1 AOY akış diyagramı.	57
Şekil 5.2 AOY uygulamasının gösterildiği örnek ağ.	58
Şekil 5.3 Dijkstra algoritması uygulanmasının şematik gösterimi.	62
Şekil 5.4 Etiketleme prosedürü ile dijkstra algoritması uygulanan örnek ağ.	64
Şekil 6.1 Çalışma ağı.	68
Şekil 6.2 Çekim yöntemi ile hesap akış diyagramı.	76
Şekil 6.3 Bursa-Muğla AOY trafik atama rota maliyetleri iteratif değişimi.	89
Şekil 6.4 Bursa-Muğla denge durumundaki rota akımları (hp).	90
Şekil 6.5 Bursa-Muğla B-V çifti için hesaplanan link akımları (v_k).	91
Şekil 6.6 Bursa-Muğla artan hacim değerleri durumunda link akımlarında oluşan değişimler.	94
Şekil 6.7(a) Bursa-Muğla rotalarında tüm linkler açık ve bazı linklerin kapalı olabildiği durumlardaki rota akımı değişiklikleri.	100
Şekil 6.7(b) Bursa-Muğla rotalarında tüm linkler açık ve bazı linklerin kapalı olabildiği durumlardaki rota maliyetleri değişiklikleri.	100
Şekil 6.7(c) Balıkesir-Denizli rotalarında tüm linkler açık ve bazı linklerin kapalı olabildiği durumlardaki rota akımı değişiklikleri.	101
Şekil 6.7(d) Balıkesir-Denizli rotalarında tüm linkler açık ve bazı linklerin kapalı olabildiği durumlardaki rota maliyetleri değişiklikleri.	101
Şekil 6.7(e) Kütahya-Aydın rotalarında tüm linkler açık ve bazı linklerin kapalı olabildiği durumlardaki rota akımı değişiklikleri.	102
Şekil 6.7(f) Kütahya-Aydın rotalarında tüm linkler açık ve bazı linklerin kapalı olabildiği durumlardaki rota maliyetleri değişiklikleri.	102

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Numarası</u> <u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1	Örnek seyahat tablosu.	22
Tablo 3.2	Şekil 3.3 için hesaplanan seyahat tablosu.	28
Tablo 4.1	Genel trafik atama yaklaşımları	35
Tablo 4.2	α ve β parametreleri için önerilen değerler.	49
Tablo 4.3	Çeşitli bölge tipleri için örnek kapasiteler.	49
Tablo 6.1	Çalışma ağının temel verileri.	67
Tablo 6.2	B-V çiftleri arasında belirlenen YOGT değerleri (araç/gün).	70
Tablo 6.3	YOGT-P değerine bağımlı bugünkü qij değerleri (araç/gün).	72
Tablo 6.4	YOGT- Pah değerine bağımlı bugünkü qij değerleri (araç/gün).	72
Tablo 6.5	YOGT-KBGYH değerine bağımlı bugünkü qij değerleri (araç/gün).	73
Tablo 6.6	Bursa-Muğla için KBGYH ve P regresyon analizi.	73
Tablo 6.7	Çekim yöntemi ile hesaplanan bugünkü seyahat matrisi (araç/gün).	77
Tablo 6.8	K faktörünün sınır değerleri	77
Tablo 6.9	Çekim yöntemi ile hesaplanan bugünkü seyahat matrisi (araç/saat).	78
Tablo 6.10	Çalışma ağına ait c_0 değerleri.	79
Tablo 6.11	Örnek uygulamaya ait temel veriler.	82
Tablo 6.12	Bursa-Muğla AOY algoritma sonuçları.	88
Tablo 6.13	Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımları değerleri.	89
Tablo 6.14	Bursa-Muğla artan trafik hacimlerinde denge durumundaki link maliyetleri ve link akımları.	93
Tablo 6.15	Önerilen α ve β parametrelerine bağlı AOY hesap sonuçları (EkD den).	95
Tablo 6.16	hp_1 , hp_2 , hp_3 için α ve β parametrelerine bağımlı regresyon analizi sonucu.	95
Tablo 6.17	Seçilen B-V çiftlerine ait bazı linklerin açık ya da kapalı olması halinde izlenebilecek rotalar.	99
Tablo B.1	Alternatif rotalar, rota akımları ve rota maliyetleri.	108
Tablo C.1	Çalışma ağına ait hesaplanan link akımları.	110
Tablo D.1	Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,15$ ve $\beta=4$)	114
Tablo D.2	Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,50$ ve $\beta=4$)	115
Tablo D.3	Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,60$ ve $\beta=4$)	116
Tablo D.4	Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,70$ ve $\beta=4$)	118
Tablo D.5	Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,80$ ve $\beta=4$)	119
Tablo D.6	Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,15$ ve $\beta=2$)	121
Tablo D.7	Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,15$ ve $\beta=3$)	122
Tablo D.8	Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,15$ ve $\beta=5$)	123
Tablo D.9	Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,15$ ve $\beta=6$)	124
Tablo D.10	Önerilen α ve β parametrelerine bağlı AOY hesap sonuçları.	125

ÖNSÖZ

Ulaşım sistemlerinin planlanması ve yönetimi, Türkiye’de üzerinde az sayıda çalışma yapılan alanlardan biridir. Bu alanda kısıtlı sayıda çalışma yapılması, kaynak sıkıntısı çekilmesine yol açmaktadır. Bu çalışmanın, söz konusu eksikliklerin giderilmesinde, bir miktar katkı sağlayacağını umuyorum.

Böyle bir çalışmaya beni teşvik eden, akademik dünyaya hazırlayan, bana yol gösteren, benim yetişmemi sağlayan, yapmış olduğu katkılarla Doktora tezime yön veren saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Turgut ÖZDEMİR’e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Aramızda mesafeler olmasına rağmen gerek şahsen, gerek e-posta ile dahi bana destek olan, benden yardımlarını, sabrını ve bilgisini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Halim CEYLAN’a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca, her zaman yapıcı önerileriyle bana verdiği şevk, destek ve anlayışı için, aynı anabilim dalında olmamızdan mutluluk ve gurur duyduğum değerli hocam Yrd. Doç Dr. Ayşe TURABI’ye teşekkür ediyorum.

Tez çalışmam sırasında, Denizli’de kaldığım günlerde, desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen, makro öğrenmeye yardımcı olan sevgili arkadaşım, dostum Araş. Gör. Hüseyin CEYLAN’a ve manevi destekleri ile orada beni yalnız bırakmayan değerli hocalarım ve sevgili arkadaşlarıma;

Tez çalışması esnasında, aynı sıkıntıları paylaştığımız, zor zamanlarda birbirimizden destek aldığımız çok sevgili arkadaşlarım, dostlarım Araş. Gör. Erkan KARAMAN ve Araş. Gör. Barış ÖZKUL’a;

Beraber geçirdiğimiz ve geçireceğimiz tüm iş yaşamını paylaştığım saygıdeğer hocalarıma, asistan arkadaşlarıma, dostlarıma sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

En derin ve özel teşekkürlerim canım AİLEME; her zaman yanımda oldukları, anlayışları, sabırları, güvenleri ve hayata gülen gözlerle bakmayı öğrettikleri için.

Balıkesir, 2009

Füsun ÜÇER

1. GİRİŞ

Ulaştırma sistemlerinin gelişimi için ayrılan kaynakların etkili ve verimli bir şekilde kullanımının planlanması, trafik sıkışıklığı ve ulaşım talebinin yönetilmesi, tür ve rota seçimine etkiyen faktörlerin belirlenmesi, toplu taşıma öncelik verilmesi, kullanıcılar için güvenli sistemlerin oluşturulması, gürültü ve hava kirliliğinin azaltılmasına yönelik çalışmalar günümüzde ulaştırma mühendislerinin ilgilenmesi gereken konuları içermektedir.

Ulaşım talepleri ve hareketliliğin artması ile ortaya çıkan trafik sıkışıklığı her geçen gün hayatın bir parçası haline gelmektedir. Ulaşım araştırmacıları, ulaşım sistemlerinin hizmet seviyesini geliştirmek için bu problemleri azaltmaya gayret ederler. Bu konuda başarılı olabilmek için, ulaşım ağlarında trafik durumunu tahmin etmede ulaşım planlamasının trafik atama adımı kullanılır.

Trafik atama, bir ulaşım ağı üzerinde verilen bir Başlangıç (B)-Varış (V) seyahat talebi için, rota seçimi, link akımları, link seyahat süreleri ve rota seyahat maliyetlerini tahmin eder.

Ulaşım sistemlerinde dengeli bir trafik dağılımı sağlamanın yanı sıra, insanların ve eşyaların güvenilir bir şekilde hareketlerini düzenlemek, ayrıca ulaşılabilirliği sağlamak için, etkili ve güvenilir ulaşım sistemi sağlanmalıdır. Gerçekte, ulaşım sistemleri Nicholson ve Du tarafından depremler, seller, kasırgalar ve diğerleri gibi doğal felaket olaylarında hayatın bağlı olduğu en önemli şeyler olarak tanıtılmıştır [1]. Hayatın bağlı olduğu diğer şeylerin (örneğin su temini, elektrik gücü sistemi, kanalizasyon sistemi, haberleşme ve diğer pek çok şey) iyileştirilmesi, bozuk yerleşim alanlarına karşı ulaşım halindeki insanların ve araçların becerisine bağlıdır. Güvenilir olmayan bir ulaşım sistemi iyileştirme sürecini aksatır ve hem ekonomik kayıpları hem de kazaları artırır. Ulaşım ağlarında yolcuların daha kısa, hızlı, güvenli ve daha az maliyetli yolları tercih ettiği varsayılır [2].

Güvenilir bir ulaşım sistemi sadece doğal felaketleri değil, günlük rahatsızlıkları da göz önüne almalıdır. Karşılaştırılabilen seyahat süreleri ve maliyet, bir karayolu ağının kullanıcılarına sunması gereken önemli koşullardır. Bu yüzden, güvenilir bir ulaşım sisteminin önemi üzerinde durulmalıdır [3].

Ağ güvenilirliği, ulaştırma mühendisliğinde yeni bir kavram olup sistem yöneticisi, yol kullanıcıları, sistemlerin kapasiteleri, seyahat süresi ve tıkanıklık gibi çeşitli ölçütlerin ne şekilde ve nasıl hesaplanabileceğini belirlemektedir [4]. Trafik akımları felaketler, kazalar, yapım ve onarım gibi ağ kapasitesini ve karakteristiğini etkileyen olağan dışı olaylar ile etkilenmektedirler. İdeal olarak ağlar, alternatif yollar önerilerek tasarımılandırılır. Ağ güvenilirliğinin iki ölçüsü vardır. Birincisi ağ bağlantılılığı ile ilişkilidir. Elverişsiz konumlarda linkler yetersiz olduğunda verilen B ve V noktaları arasındaki ulaşım artık mümkün olmayabilir, böyle durumda ağ bağlantısız hale gelir. Oysa, bağlantısı olan ağ bile, uygun hizmet seviyesini sağlamak için yetersiz olabilir. Örneğin, B-V seyahat sürelerinde kabul edilemez farklar oluşabilir. Güvenilirliğin ikinci ölçüsü, performans güvenilirliği olarak bahsedilmektedir [5]. Bir yol trafik ağı üzerinde günden güne seyahat talep matrisinde farklılıklar olabilir. Çeşitli B-V talep akımları ağ performansı üzerinde etkilidir.

1.1 Problemin Tanımı

Şehirlerdeki gelişmelerin hızla artması ile, seyahat talebi ulaşım altyapısının gelişmesinden daha çabuk ve hızlı bir şekilde artar. Sonuç olarak, trafik tıkanıklığı, toplumsal bir problem haline gelir, önemli zaman kayıpları ve çevre kirliliği ortaya çıkar. Gelişen trafik talebini karşılamak için yeni yolların yapılması, mevcut yollara trafiğin dengeli bir şekilde yüklenmesi ile ulaşım ağının kapasitesi artırılmaya çalışılabilir.

Ulusal karayolu sisteminin farklı kapasite ve hizmet düzeyleri altında herhangi bir anormal durumun oluşması halinde talebin bağlantı güvenilirliğinin incelenmesi, problem belirlenmesi durumunda ise bağlantı güvenilirliğinin ağ üzerinde yeni

yönlendirmelerle sağlanması ve bu alternatiflerin süre tabanlı değerlendirilerek en iyi yönlendirmenin bulunması gerekmektedir.

Planlanacak alanın bugünkü trafik durumu öncelikle belirlenip, mevcut ulaşım olanaklarının yeterliliği ve kapasitesi incelenmelidir. Ulaşım planlaması ve analizi için yaygın olarak kullanılan verilerden biri, karayolu kesitleri üzerindeki trafik akımı değerleridir. Link akımı ölçümü doğrudan mümkün olmadığında, trafik atama modeline dayalı olarak hesaplanabilmektedir[6]. Bunun için, çalışma yapılacak ulaşım ağının bugünkü seyahat matrisinin tahmin edilmesi, oluşturulması gereklidir. Çalışmada devlet karayolları ağının bütününün genel özelliklerini taşıyan bir bölümü çalışma ağı olarak belirlenerek, beklenebilecek araç sayısı ve karayolu rotaları belirlenmiştir. Belirlenen trafik talebine göre, ulaşım planlaması sisteminin trafik atama adımı tamamlanmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı

- Bu çalışmanın amacı, ulaşım sistemlerinin yönetimi ve etkili bir planlama için gerçeğe en uygun, güvenilir, revize edilebilir, hızlı, yoğun iş gücü gerektirmeyecek bir şekilde, verilen bir ulaşım ağına ait B-V çiftleri talep matrislerinin oluşturulması için bir model ve çözüm yöntemi geliştirmek;
- Seyahat dağılımı ile belirlenen B-V çiftleri arasındaki seyahat talebini en az seyahat maliyeti kriteri altında rotalara yükleyerek denge durumundaki seyahat maliyetini, rota akımlarını belirlemek ve buna bağlı olarak link akımlarını hesaplayarak uygun linkleri ve ağır trafik hacmine sahip linkleri belirlemek;
- Her B-V çifti arasındaki kullanılabilir en kısa rotayı belirlemek;
- Bir yol ağının deprem gibi büyük doğal olayların yanı sıra, daha sıklıkla meydana gelen küçük kazalar, cadde üzerine park ihlali, kar, sel, yol bakımı gibi bağlantılılığını etkileyen beklenmeyen anormal durumlar söz konusu olduğunda ağdaki linklerden herhangi birinin ya da birkaçının kapalı duruma gelmesi halinde, herhangi bir B-V çifti arasındaki seyahat talebini karşılayan rota akımlarının belirlenmesi, seyahat maliyetindeki artış oranının saptanması şeklinde özetlenebilir.

1.3 Yöntem

Talebin normal ve anormal durumlar söz konusu iken trafik tahmininin belirlenmesi için, çalışmada sentetik seyahat dağılımı modellerinden çekim kuvveti esas alınarak, seyahat üretimi çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Modeller arasında karşılaştırmalar yapıldığında, hesaplamaların kolay olması ve diğer modellerin bazı teorik problemlere sahip olması sebebiyle, gelişen sosyo ekonomik faktörlere göre güncelleme kolaylığı olması ve büyük ölçekli ulaşım planlamalarında tercih edilmesi, uzun dönemli kullanımlar için uygun olması sebebiyle çekim modeli ile çalışılarak seyahat dağılımı elde edilmiştir. Önerilen çözüm yönteminde yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) değerlerinden ve bölgenin sosyo ekonomik faktörlerinden yararlanılmıştır. Denge trafik atama problemi için Ardışık Ortalamalar Yöntemi (AOY) esas alınarak geliştirilen makro yazılım ile minimum seyahat maliyeti, rota akımları ve link akımları hesaplanmıştır. Bağlantı ve performans güvenilirliğinin değerlendirilmesi için, geliştirilen program ile rasgele kapalı linkler belirlenmiş, bu linklerin kapalı olması durumundaki denge rota akımları ve rota maliyetlerindeki değişimler hesaplanmıştır.

1.4 Kapsam

Bu tez, yedi bölümden ve üç ek bölümden oluşmaktadır. 1. bölümde giriş kısmında trafik atama ve ağ güvenilirliği kavramı tanımlanmış, problemin tanımı yapılmış, çalışmanın amacı ve yöntem verilmiştir. Bölümleri açıklayan kapsam belirtilmiştir.

Çalışmanın 2. bölümü Literatür Araştırmasını oluşturmaktadır. Bu bölümde, B-V seyahat matrislerinin elde edilmesi için tahmin modelleri ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir.

3. bölümde, ulaşım planlaması sistemi açıklanmıştır. Ulaşım planlamasının amacı ve bu amaca ulaşmak için geliştirilen planlama çalışmalarından bahsedilmiştir. Geliştirilen ardışık seyahat tahmin prosedürünün avantajları belirtilmiştir. Bu

çalışmada kullanılan, seyahat üretiminin belirlenmesi, seyahat dağılımı yöntemleri, trafik atamanın önemi ve rota seçimini etkileyen faktörlerden söz edilmiştir.

4. bölümde ulaşım ağlarında denge ve trafik atama model araştırması, link seyahat maliyetleri ve rota maliyetleri açıklanmıştır.

5. bölümde trafik atama problemi için çözüm algoritmaları, bu çalışmada kullanılan Ardışık Ortalamalar Yöntemi Algoritması (AOY) açıklanmış ve algoritmanın adımlarının uygulanmasını daha iyi açıklayabilmek için, az sayıda iterasyon ile atama çözümüne ulaşabildiğimiz B-V çifti arasında iki linki olan küçük bir ulaşım ağı üzerinde uygulama verilmiştir. En kısa rota algoritmalarından bahsedilmiş örnek yapılmış, çalışmada kullanılan Dijkstra algoritması prosedürü açıklanmıştır.

6. bölümde çalışma ağı tanıtılarak, ulaşım planlaması sisteminin adımları uygulanmıştır. Ulaşım ağına ait, denge durumundaki rota maliyetleri, link akımları hesaplanmıştır. Rasgele bazı linklerin kapalı olması durumundaki denge trafik akımları ve seyahat maliyetleri hesaplanmıştır.

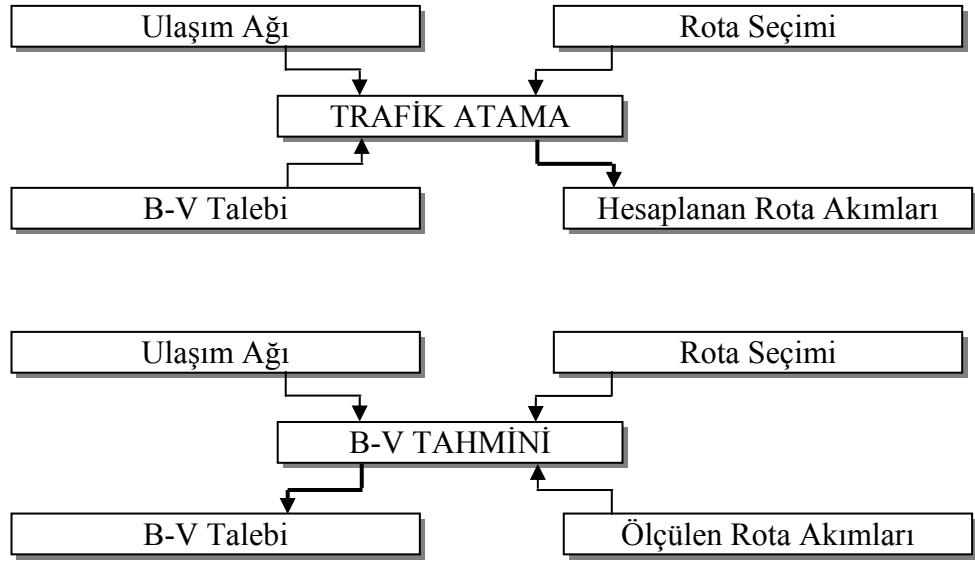
7. bölüm sonuç bölümünü oluşturmaktadır. Elde edilen hesaplara göre durum değerlendirilmesi yapılmıştır. Ulaşım ağına ait sayısal sonuçlar Ek A, Ek B, Ek C ve Ek D’de sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Giriş

Ulaşımında arz ve karşılığı olan talep hayata geçirilirken bir ulaşım planlaması mutlaka gereklidir. Ulaşım planlaması, seyahat talebi ile ulaşım imkanları arasında dengeyi sağlamak, ulaşım sistemini kullanacak talep tahmini ile rotalara akan talebi ve buna bağlı olarak linklerde meydana gelen trafik hacmini belirlemek amacı ile yapılmaktadır. İyi bir ulaşım planlamasının yapılabilmesi için, Başlangıç-Varış (B-V) çiftleri arasındaki trafik talebinin belirlenmesi, ulaşım planlamasının en önemli adımlarından birisidir. Bu amaçla ulaşım planlamasının başlangıcında, güvenilir bir B-V matrisi elde etmek için büyük çabalar harcanmaktadır. Ulaşım sistemlerinin planlanması ve yönetimi ile ilgili pek çok problemin çözümü için B-V seyahat talebi matrisinin üretilmesi en gerekli veri olduğu açıkça anlaşılmaktadır. B-V matrisleri bir ulaşım ağındaki başlangıçlar ve varışlar arasındaki seyahat sayısını belirtirler. Bu değerler bir bölgedeki insanların ve eşyaların hareketlerini tanımlamaktadırlar. Bu veriler ulaşım planlamacılarının, mevcut ulaşım olanakları üzerindeki talebi tahmin etmelerine, yeni rotaların uygunluğuna karar vermeye, seyahat karakteristiklerini belirlemeye yardımcı olurlar.

Ulaşım planlamasında trafik sayımlarını kullanarak B-V seyahat talebi matrisini tahmin etme problemi, atama probleminin tersi olarak düşünülebilir. Bu ilişki Cascetta E. (2001) tarafından iyi bir şekilde özetlenmiştir [7]. Şekil 2.1 de görüldüğü gibi B-V seyahat talebi matrisi, ulaşım ağı ve rota seçimi karakteristikleri, ağı oluşturan linklere trafik akımlarının uygun şekilde dağılımını sağlayan trafik atama problemi için önemli bir veridir. Tam tersi, ölçülen link akımları, ulaşım ağı ve rota seçimi karakteristikleri, trafik taleplerini gösteren B-V tahminlerinin üretilmesi için başlıca veridir.



Şekil 2.1 B-V matrislerinin tahmini ve trafik atama ilişkisi [7].

Ulaşım planlaması sürecinde çeşitli B-V matrisi tahmin yöntemleri kullanılmaktadır. B-V matrislerinin tahmin edilmesi için yaygın olarak kullanılan modeller Şekil 2.2 de görüldüğü gibi üç ana grup altında toplanmaktadır [8].

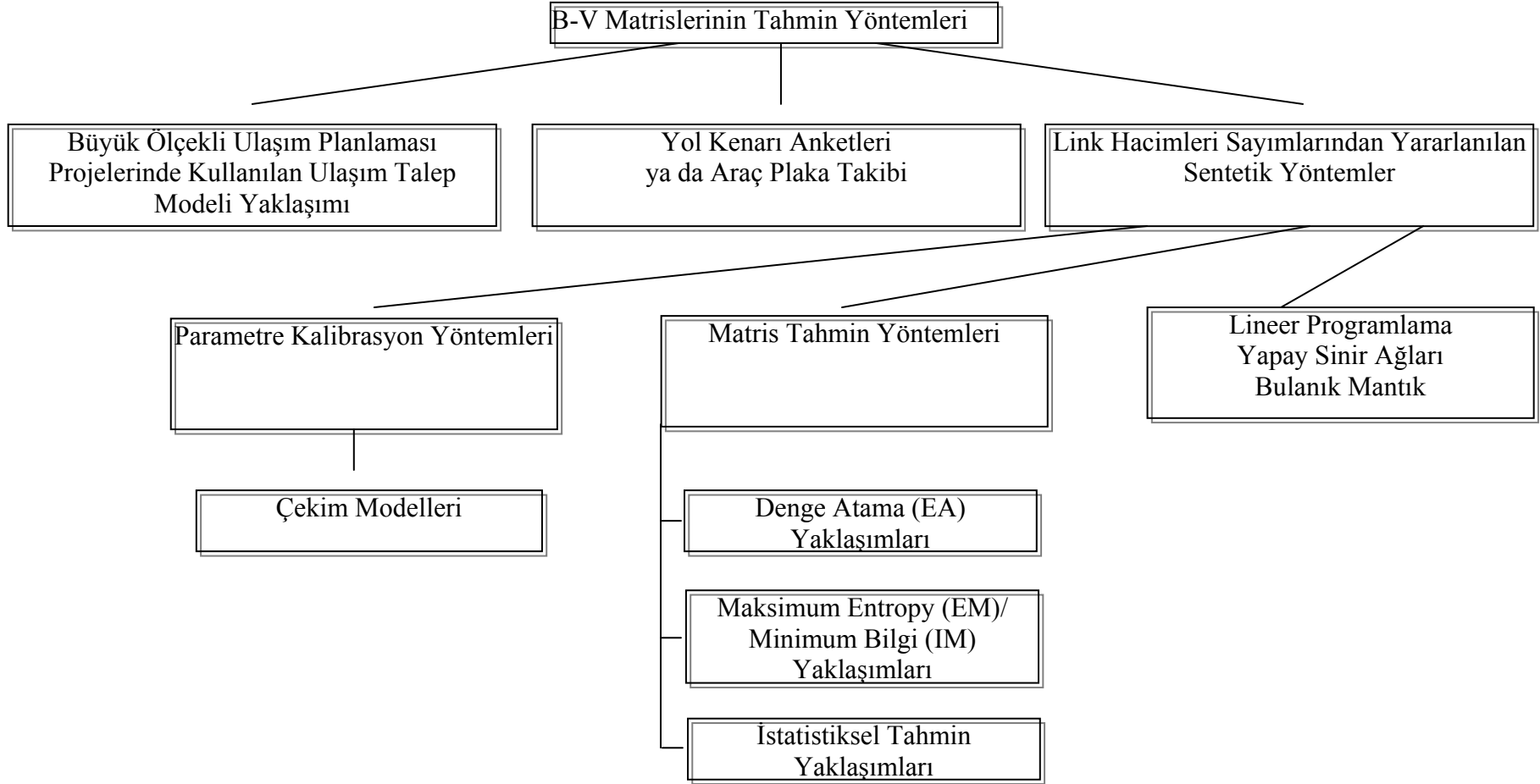
a) Ulaşım talep modeli yaklaşımı, büyük ölçekli ulaşım planlaması projelerinde kullanılmaktadır. Planlama yapılmak istenilen alan alt bölgelere ayrılarak, her bölgenin seyahat üretimi tahmin edilmektedir.

b) Yol kenarı anketleri ya da araç plaka takibi ile B-V matrislerinin doğrudan elde edilmesidir. Doğrudan yol kenarı sürücü anketleri ve plaka gözlemlene gibi arazi yöntemleri, trafiğin engellenmesi, yoğun işgücü gerektirmesi ve veri işleme güçlüğü gibi nedenlerle dezavantajlara sahiptir.

c) Link hacimlerinin sayımlarından B-V matrislerini tahmin eden sentetik yöntemlerdir. Sentetik B-V tahmini yaklaşımında, trafik hacim sayımları çabuk ve ucuz bir şekilde elde edilebilir. Denge modelleri tıkanık ağlarda uygulanabilir, fakat önceki seyahat tablosuna ihtiyaç duyulmaktadır ve bütün linkler için hacim sayımları gereklidir. Tıkanık ağlarda uygulanabildiğinden, yoğun trafik hacminin bulunduğu bölgelerin analizi için daha uygundur. Maksimum Entropy / Minimum Bilgi modelleri veri ihtiyacı bakımından daha esnektir, bölümsel link sayımları yeterli olabilir, ilk seyahat tablosu gerekli değildir, mevcut bilgiyi esas alarak en uygun B-V çiftini araştırırlar, kendilerine özgü bilgisayar programına sahiptirler; fakat tıkanıklık için uygun bir çözüm sağlamazlar (link performans karakteristiklerini kullanmazlar),

akımın kararlılığı gibi kısıtlamaları ihmal ederler. İstatistiksel modellerin uygulanabilmesi için önceki bilgilerden yararlanma esnekliği olsa da, pratikte önceki bilgileri elde etmek zor olabilir. Optimum-kullanıcı ilkesini esas alan modellerden biri olan Lineer Programlama (LP) teorisi, gözlenen link hacimlerinden B-V seyahat matrisini tahmin etmek için uygulanır. LP modeli, ağın dengede olması durumunda trafik akımlarının belirlenmesi için tasarlanmıştır. Bununla birlikte, bu model eksik bilgiler nedeniyle trafiğin denge akım modeline zaman zaman uymadığı ve gözlenen link akım verilerinde tutarsızlıklar olabildiği şeklinde bilinmektedir. B-V seyahat matrisini belirlemek için yapay sinir ağları yaklaşımının en belirgin dezavantajı, yapay sinir ağının çalışması için çok büyük miktarda veriye gereksinim olmasıdır. Geniş ağlar için modelleme yapılırken, gerçek verilerin olmaması sebebiyle ciddi problemler oluşabilir. B-V seyahat matrisini elde etmek için kullanılan bulanık modellerde linklere ait veriler için bulanık yaklaşımlar uygulanmaktadır [9].

Çekim modellerine göre B-V seyahat matrisleri, trafik sayımları, seyahat maliyetleri, mesafe gibi parametrelerin fonksiyonlarının lineer ve lineer olmayan regresyon modelleri ile üretilmişlerdir. Her bölgede üretilen ve çekilen toplam seyahatleri belirlemek için regresyon problemi çözülmüştür. Bu çalışmada, B-V seyahat üretiminin belirlenmesinde, sentetik seyahat dağılımı modellerinden çekim kuvveti esas alınarak, seyahat üretimi çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Böyle bir yöntem, çekim modellerinin çok sayıda teorik avantajlara sahip olmasından dolayı tercih edilmiştir. Arazi kullanımındaki değişikliklerden dolayı çekim değeri kolayca değişebilir. Sosyo ekonomik faktörlere ulaşmak kolay, maliyeti az ve güncellemek mümkün olduğundan, çalışma bölgesine ait sosyo ekonomik faktörler esas alınarak ve çalışma ağı bölgesini oluşturan linkler üzerindeki B-V noktalarına giriş ve çıkışlardaki YOGT değerlerine bağlı olarak geliştirilen formülasyonlar ile seyahat üretimi için bir yöntem önerilmiştir. Ulaşım planlamasının adımlarını oluşturan seyahat üretimi ve seyahat dağılımı araştırılmış, trafik atama ile rotalara akan trafik hacminin ve seyahat maliyetinin belirlenmesi örnek bir ulaşım ağına uygulanmıştır.



Şekil 2.2 B-V seyahat üretimi matrislerinin tahmin yöntemleri.

Güncellenebilir ve güvenilebilir B-V matrisini elde etmek için, doğrudan yol kenarı sürücü anketleri ve plaka gözlemleri gibi bazı B-V arazi yöntemleri yaygın olarak kullanılmıştır [10]. Genel olarak, insan gücü, zaman ve gider bakımından pahalıdır. Bu yöntemler trafiğin engellenmesi, yoğun işgücü gerektirmesi ve veri işleme güçlüğü gibi nedenlerle dezavantajlara sahiptir. Ayrıca bu tür, arazide gözlem yolu ile üretilen B-V matrislerinde hata kaçınılmazdır. Özellikle detektör ile trafik hacim bilgisinin toplanması gibi pahalı olmayan trafik verilerine dayalı yöntemlerin kullanılmasının doğruluğu kabul edilmiştir. Detektör ile trafik bilgilerinin doğru bir şekilde elde edilebilmesi için, detektörlerin çok iyi ayarlanmaları gerekir. İyi ayarlanmadıkları takdirde, hızlı geçen veya hafif olan taşıtlar kaydedilmemiş olabilir. Detektör yardımıyla trafik bilgisini elde eden bazı yöntemler (örneğin manyetik ve radar yöntemi), sabit tesis ve araç gerektirirler.

Sentetik B-V tahmini yaklaşımı ucuz olması, yol kenarı anketlerinin ve arazi verilerinin toplanmasının sıkıntı verici olmasından dolayı önemli avantajlara sahiptir. Trafik hacim sayımları çabuk ve ucuz bir şekilde elde edilebilir ve sentetik B-V tahmin modelleri için veri olarak kullanılabilirler. B-V matrisi tahmin modellerinde bu verilerden yararlanmak ulaşım plancısı ve mühendislerine etkili ve ucuz maliyetli çözüm sağlar.

2.2 Seyahat Üretimi Tahmin Modelleri

Trafik sayımlarından B-V seyahat matrisini tahmin etme ya da güncelleme yaklaşımlarından *parametre kalibrasyon yöntemleri*, trafik hacmi tahmini ile ilgili istatistiksel analizlerin uygulamalarına dayanmaktadır. Bu yöntemde B-V matrisini oluşturmak için ilk yaklaşımlar, akım çiftleri arasında *çekim* oluştuğunu varsayan talep modellerini oluşturan lineer ya da lineer olmayan regresyon analizlerini esas almışlardır. Bu modeller, bölgeye ait nüfus, işsizlik oranı, ortalama gelir düzeyi gibi çeşitli değişkenlere ihtiyaç duymaktadırlar. Matris tahmin yöntemleri olarak, daha sonraki model grupları, tıkanıklık etkisini de göz önünde bulundurarak, ağ trafik *denge yaklaşımına* dayalı seyahat matrislerini tahmin etmişlerdir. Diğer grup modeller, *maksimum entropi ya da minimum bilgi yaklaşımı* yoluyla ölçülen link

akımları ile tutarlı olacak şekilde en uygun seyahat matrisini elde etmeye çalışmışlardır. Başka bir model grubu ise, önceki bilgilere dayalı olarak gelecekteki tahminleri üretmek üzere *istatistiksel yöntemlerden* yararlanmışlardır. Son zamanlardaki araştırmalar, bu problemi çözmek için *lineer programlama, yapay sinir ağları ve bulanık mantık* gibi yöntemleri denemişlerdir. Gelecekteki gelişmeler göz önüne alındığında, B-V seyahat talebi matrislerinin üretilmesi için çeşitli yöntemlerin denenmesine devam edildiği açıkça görülmektedir. Bunlardan birisi de, çekim modeli ile B-V tahminidir.

Trafik sayımlarından B-V matrislerinin tahmin edilmesi ve güncellenmesinde yararlanılan teoriye dayalı modeller aşağıda açıklanmıştır:

- *Çekim Modelleri*: Bu modellerde B-V matrisleri, trafik sayımlarının, seyahat maliyetlerinin ya da mesafe gibi parametrelerin fonksiyonları olarak düşünülür. Gözlenen hacimler ve hesaplanan hacimler arasındaki farkın en aza indirgenmesi gibi çeşitli parametreleri kalibre etmek için çeşitli regresyon teknikleri ve düğüm noktalarında akımın korunması kuralından yararlanır. Bu modeller, lineer ve lineer olmayan regresyon modelleri olarak isimlendirilerek ikiye ayrılırlar.

1970'lerin öncesinde trafik hacmi verisi, trafik kontrolü ve yol yapım çalışmaları için kullanılmıştır. Robillard (1973) gözlenen link hacimlerine dayalı olarak B-V seyahat matrislerini belirlemek için bir yöntem önermiştir [17]. Robillard'ın yaklaşımına göre çekim modelini esas alarak B-V matrisini tahmin etmek için her B-V çifti arasındaki seyahat maliyeti kullanılmıştır. Her bölgede üretilen ve çekilen toplam seyahatleri belirlemek için bir regresyon problemi çözülmüştür. Low (1972), Overgaard vd. (1974), Holm vd. (1976), Gaudry ve Lamarre (1979), Smith ve Mc Farlane (1978) ve Symons vd. (1976) tarafından trafik sayımlarını esas alarak parametrelerin kalibre edilebildiği çekim modeli ile B-V matrisleri tahmin edilmiştir [12-16]. Formülasyonu oluşturulan bu modellerin tümü, lineer regresyon türü içerisinde yer alır. Holm vd. (1976) tarafından geliştirilen biri dışındaki bütün modeller orantılı hep ya da hiç atama uygulamaktadırlar. Modeller arasındaki diğer farklılıklar, çeşitli tanımlar ve parametre seçimleri ile ilişkilidir. Bu modellerin esas dezavantajı, gözlenen sayımlardan elde edilen, çalışma bölgesine

dışarıdan gelen seyahatlerin tahminine gereksinim olmasıdır. Ivan ve Allaire (2001) karayolu ağı linklerinin trafik hacimlerini tahmin etmek için lineer regresyon analizi kullanmışlardır [17]. Onların çalışmaları karayolu linkleri üzerinde tıkanıklığı etkileyen zirve saatlik trafik hacimleri üzerine odaklanmıştır. Sharma vd. (1996), kısa süreli trafik hacmi gözlemlerine göre YOGT tahminlerinin istatistiksel doğruluğunu araştırmışlardır [18].

Robillard (1975) ve Hogberg (1976) tarafından formüle edilen modeller, lineer olmayan regresyon türü içerisinde yer alır. Robillard'ın modeli, orantılı atama yöntemini kullanır ve kapasite direncini hesaba katmaz. Hogberg'in modeli, hep ya da hiç atamayı kullanır. Bu modellerin dezavantajı, çok miktarda veri gerektirmesi olup, arazi kullanımında değişiklikler olduğunda elde edilen sonuçların geçersiz hale gelmesidir. Bu modellerin bir başka dezavantajı da, tıkanıklıkla ilgili denge atama ilkesi göz önüne alındığında beklenen sonucu veremezler [19,20].

- *Denge Modelleri:* Matris tahmin yöntemlerinde, denge atama modelleri trafik akımlarının kullanıcı dengesine göre optimizasyon yaklaşımını esas alarak Kuzey Amerika'da geliştirilmiştir. "Denge İlkesi" ya da "Wardrop'un İlkesi" (Wardrop, 1952) olarak isimlendirilirler [21]. Wardrop'un denge ilkesine göre, kullanıcılar kendi seyahat sürelerini minimize edecek şekilde kullanacakları rotayı seçerler. Her B-V çifti arasında belirli akımlara sahip bütün rotalar eşit seyahat maliyetlerine veya seyahat sürelerine sahip olmalıdırlar ve bu maliyet B-V çifti arasında kullanılmayan herhangi bir rota üzerindeki seyahat maliyetini aşmamalıdır. Bu, kullanıcı dengesi (KD) olarak tanımlanır. Denge atama yaklaşımı, B-V matrisini hem denge atama koşullarına uygun olarak hem de gözlenen link akımları ile tutarlı olacak şekilde tahmin eder. Kullanıcı dengesini esas alan modellerde, kullanıcıların rota seçimleri üzerinde ağın tıkanıklık etkileri, B-V tahmini sürecinde düşünülür. Bu tip modeller, yoğun trafik hacminin bulunduğu bölgelerin analizi için daha uygundur. Genellikle, verilen bir B-V çifti arasındaki rotaların önceden bilindiği varsayılır. Bu modellerde esas hedef, gerçeği en iyi yansıtan B-V matrisine mümkün olduğu kadar yakın denge seyahat tablosunu elde etmektir. Bu nedenle, bu modeller hem link hacimleri hem de B-V çiftleri arasındaki rotalardan yararlanırlar. B-V seyahat matrisi elde edilene kadar, B-V seyahat üretimi ve seyahat atama arasında iterasyon yapılır.

İlk olarak Nguyen (1977), kullanıcı denge koşulları altında, trafik hacim sayımlarından bir B-V matrisi tahmin etmek için, matematiksel program (LINKOD) önermiştir [22]. Bu programın çözümü, kullanıcı dengesi atama koşullarına uygun olarak gözlenen akımlar ile tutarlı bir B-V matrisi oluşturur. Nguyen (1977), küçük ağlar üzerindeki testleri esas alarak, kullanıcı dengesi ilkesine göre ağa atanan seyahatlerin gözlenen seyahatlere yakın değerler olduğunu iddia eder. Bu yaklaşımın dezavantajı, benzer trafik modellerini tekrar üretebilen çeşitli B-V çözümlerinin olabilmesidir. Bu nedenle, alternatif çözümlerden en uygun seyahat tablosunu elde etmek için bir dağılım parametresi gereklidir. Nguyen'in çalışması, link kapasitesi ya da tıkanıklığı göz önünde bulundurması nedeniyle farklıdır. Diğer araştırmacılar tarafından sonradan yapılan çalışmalar, Nguyen'in çözüm algoritmasının birçok önemli eksiklikleri olmasından dolayı sıkıntı yarattığını ortaya çıkarmıştır.

LeBlanc ve Farhongian (1982) ve Spiess (1990), Nguyen'in çözüm algoritmasının çok geniş ağlara uygulandığında pratik uygulamadaki ihtiyaçlar nedeniyle yetersiz olduğunu vurgulamışlardır [23,24].

Turnquist ve Gur (1979), Nguyen'in algoritmasını geliştirerek iteratif bir algoritma önermişlerdir [25]. Bu yaklaşım altında, her iterasyonda daha makul çözüme yaklaşmak için bir düzeltme prosedürü belirtmişlerdir. Bu yaklaşımın en önemli gelişmesi, çözüm arama prosedürünün hızlı olmasıdır. Turnquist ve Gur (1979) ve Gur (1983) seyahat düzeltme fonksiyonunun, algoritmanın hızlı çalışmasını etkilediğini göstermiştir [25,26]. Çalışmalarında, çok sayıdaki deneysel testlere dayalı olarak seyahat tablosu güncelleme prosedürü seçildiğini belirtmişlerdir. Onların algoritması, Nguyen'in yaklaşımının önemli eksiklikleri olduğunu, bu problemin giriş verisi olarak ilk seyahat tablosunun kullanılmasıyla çözümlendiğini göstermiştir. İlk B-V seyahat matrisi verilen ulaşım ağına atanır ve gerçeğe uygun trafik akımları üretir. Model, gerçeğe uygun toplam seyahat süreleri ve gözlenen link akımlarından elde edilen toplam seyahat süreleri arasındaki fark minimize edilene kadar, ilk B-V seyahat matrisini güncelleştirir. Optimizasyon modeli, Frank-Wolfe algoritmasını uygular, çözüm iteratif prosedür ile elde edilir. Çözüm algoritması ilk seyahat tablosunu 4. adımda atar, sonra gözlenen akım ile mümkün olduğunca birbirine yakın olacak şekilde düzeltir. Bu yaklaşım, çok sayıda

alternatif çözümler arasından tek bir çözümün seçilmesi için bir mekanizma sağlar. İlk matris aynı bölgedeki geçmiş çalışmalardan, kabaca hesaplanmış talep analizlerinden ya da yol kenarı anketlerinden elde edilebilir. Nguyen'in algoritmasının birbirini tutmayan link hacimleri problemi Turnquist ve Gur'un sezgisel algoritmasında çözülmüştür fakat hala çeşitli problemlerin olduğu belirtilmektedir. Birincisi, algoritma her link üzerindeki hacimlerin kesin sayısına ihtiyaç duyar. Kullanıcıların, hacimlere ulaşamadığında ağdaki linkleri hesaba katmamaları gerekmektedir. KD atama modelleri hacim değerleri gözlenemeyen linkler ağdan çıkarıldıktan sonra ağa uygulanabilir. KD ataması bakış açısıyla bu eliminasyonlar, hacim değerleri gözlenemeyen linklerin sıfır kapasiteye sahip olduğu ya da link seyahat sürelerinin sonsuz olması ile eşdeğer kabul edilir. İkincisi, onların yaklaşımında her iterasyonda daha makul çözüme yaklaşmak için seyahat tablosu düzeltme prosedürü tanımlanır. Turnquist ve Gur seyahat tablosu düzeltme prosedürünün, algoritmanın çok önemli bir elemanı olduğunu açıklamışlardır. Bu seyahat düzeltme fonksiyonu sezgiseldir ve çözümün bir noktada birleşim garantisi yoktur.

Gur (1983), Han ve Sullivan (1983), Fisk (1988, 1989), Oh (1992) ve Yang (1995) Nguyen'in ve Turnquist & Gur'un modellerinin modifikasyonlarını ve daha fazla ayrıntılar uygulamışlardır [26-31]. Bu genişletmeler algoritmanın verimliliğini geliştirmeye odaklanmıştır. Seyahat tablosu düzeltme prosedürünün gelişiminde ve algoritmada kesin link hacmi verisinin gereksiniminde çok az bir iyileşme olmuştur.

Bu modeller arzu edilen denge atama problemini içerir fakat doğrusal olmayan özelliği, bir noktada birleşme göz önünde tutulduğunda problemlere yol açar. Büyük ağların kabul edilebilir bir çözümünü elde etmek için gerekli olan hesaplama genellikle çok fazladır. Bu nedenle, denge modelleri genel olarak yaygın değildir.

- *Entropy Modeller:* Entropy kavramı, Wilson (1970) tarafından ulaşım planlamasına uygulanmıştır [32]. B-V seyahat matrisi problemi için maksimum entropy yaklaşımının kullanımı ilk olarak Willumsen (1978) tarafından önerilmiştir [33]. Willumsen maksimum entropy ile, kısıtlamaların olduğu durumda en uygun seyahat matrisinin tahmin edilebildiğini göstermiştir. Bu modeller, B-V seyahat

üretimi matrislerini elde etmek için, gözlenen link akımlarını kullanırlar. Çekime dayalı modellere göre avantajı, link hacimlerini daha hatasız elde etmenin kolay olmasıdır. Bu tür modeller, orantılı atama koşulları altında trafik sayımlarını esas alarak en uygun B-V matrisini tahmin eder. Ulaşım ağını oluşturan bütün linkler üzerindeki trafik sayımları ve ilk B-V matrisi gerekli değildir. Maksimum entropy modelleri, kendilerine özgü bilgisayar programlarına sahiptirler.

Van Zuylen ve Willumsen (1980), link hacimlerini içeren bilginin tamamen kullanılmadığını söyleyerek bu yaklaşımı eleştirmişlerdir [34]. Çünkü belirli bir problem dikkate alındığında, diğer yaklaşımlar tarafından önceki seyahat bilgisi kullanılmaktadır. Van Zuylen ve Willumsen problemin minimum harici bilgi ile çözülebildiğini göstermişlerdir. Bu görüşe sahip olan yazarlar minimum bilgi ve maksimum entropy düşüncelerine dayalı iki yaklaşım ileri sürmüşlerdir. Maksimum entropy ve minimum harici bilgi birbirlerine karşılık gelirler. Maksimum entropy durumunda olasılık entropy ve maksimum olarak isimlendirilir, minimum bilgi durumunda ise olasılığın negatif doğal logaritması minimize edilir. Bu yüzden her iki yaklaşım birbirine eşittir. Minimum bilgi yaklaşımında, link sayımlarından seyahat matrisi tahmini için genel denklemde mümkün olduğunca az bilginin ilave edilmesi ile seyahat matrisi seçimi yapılmaya çalışılır. Van Zuylen ve Willumsen (1980), B-V seyahat üretimi matrislerini elde etmek için bir maksimum entropy yaklaşımı ileri sürmüşlerdir. Bu yaklaşımlar, toplam seyahat sayısının sabit olduğu şeklinde bir varsayımı kabul ederler. Bu varsayım, bütün durumlar için geçerli olmayabilir. Van Zuylen ve Willumsen (1980)'nin trafik sayımlarından B-V matrisini tahmin etmek için iki formülasyon önerdikleri bu yaklaşımda, B-V seyahatlerinin toplam sayısı T , başlangıç i ve varış j arasındaki seyahat sayısı T_{ij} olduğu düşünüldüğünde, T_{ij} seyahat gruplarından oluşan T seyahatlerinde entropy ile tanımlanan yolların sayısı Denklem (2.1) kullanılarak hesaplanabilir.

$$\text{Maksimum: } (T_{ij}) = \prod_{ij} \binom{T_n}{T_{ij}} = \frac{T!}{\prod_{ij} T_{ij}!} \quad (2.1)$$

Kısıtlar;

$$V_a = \sum_{ij} T_{ij} p_{ij}^a \quad \forall a$$

$$T_{ij} \geq 0 \quad \forall i,j$$

Burada, T_k : $p \times p$ B-V matrisinin k 'nci hücresindeki mevcut seyahatin sayısıdır.

$$T_n = T - \sum_{k=1}^{k=n-1} T_k$$

$$T = \sum_{ij} T_{ij}$$

$$k = i + (j - 1) \times p$$

Entropy fonksiyonu ile maksimize olan T_{ij} değerleri en uygun çözümü sunmaktadır. Entropy fonksiyonunun doğal logaritmasının alınması ile çözüm Denklem (2.2) de gösterildiği gibi ifade edilir.

$$\text{Maksimum: } (T_{ij}) = Ln \left(\frac{T!}{\prod_{ij} T_{ij}!} \right) = Ln(T!) - \sum_{ij} Ln(T_{ij}!) \quad (2.2)$$

Bu modelin çeşitli uygulamalarının örnekleri, Hall vd. (1980), Beagan ve Bromage (1987), Lam ve Lo (1991), Oh (1992), Sivanada vd. (1994) ve Yang vd. (1995) tarafından yapılan çalışmalarda kullanılmıştır [35,36,8,30,37,31].

- *İstatistiksel Modeller:* Trafik hacmi tahmini ile ilgili olarak yapılan çeşitli araştırmalar, istatistiksel analizlerin uygulamalarına dayanmaktadır. Bu modeller istatistiksel tekniklere dayanarak, daha önceki bilgilerden seyahat tablolarını tahmin etmeye çalışırlar Modeller, amaçlarına ulaşmak için Bayesian çıkarım yöntemleri ya da en küçük kareler (OLS) tahmin yöntemlerini kullanırlar.

Bayesian yaklaşımı, hesaplamada önceki bilgilerden yararlanma esnekliği sağlasa bile, pratik uygulamalarda önceki bilgileri elde etmek oldukça zor olabilir. Gerçek uygulamalardaki bu zorluklara rağmen, B-V tahminleri yeni gözlemlere ulaşılabildiğinde güncellenebilir. Maher (1983), kavşaklar ve küçük ağların B-V akım modelini tahmin etmek için Bayesian istatistiksel yaklaşımını önermiştir [38]. Bu yöntem, önceki bilgiler ve gözlemlerin olasılıksal değişkenleri ile hesaplama yapmaktadır. Benzer şekilde, Cascetta ve Nguyen (1988), küçük bir ağda ortalama

B-V akım oranlarını tahmin etmek için bir Bayesian çıkarım yöntemi sunmuşlardır [39]. Önceki B-V bilgisi ve gözlenen link trafik sayımları, link akımlarının büyüklüğüne bağlı olarak olasılıksal değişken ya da Poisson dağılımı uygulanarak hesaplanabilir.

OLS yöntemleri, gözlenen ve tahmin edilen link trafik sayımları arasındaki farkı en aza indirgeyerek tahminleri elde ederler. Bu tür modellerin esas avantajı, verilerin rasgele özelliğini göz önüne almasıdır fakat seyahatin olması olasılığını ihmal ederler. OLS yöntemleri, gözlenen ve bilinmeyen B-V çiftleri için özel olasılık dağılım varsayımlarına ihtiyaç duymazlar ve gerekli hesaplamalar daha azdır. Literatürde OLS yöntemlerine göre hesaplanan pek çok tahmin bulunabilir [40-42,39,43]. En küçük kareler tahmin yaklaşımları kategorisinde Carey vd.(1981), McNeil ve Hendrickson (1985) ve Cascetta (1984) alternatif modeller önermişlerdir [44-46]. Cascetta (1984), B-V seyahat talebi matrisi için geliştirilmiş en küçük kareler (GLS) yöntemini kullanmıştır. Wells ve Evans (1989), gözlemsel verilerdeki uyumsuzluk problemini çözmek için GLS optimizasyonunu önermişlerdir [47]. Bu yaklaşımlar, denge atama ya da maksimum entropy/minimum bilgi yaklaşımları kadar yaygın olarak kullanılmamaktadır.

- *Lineer Programlama Modelleri:* Optimum-kullanıcı ilkesini esas alan modellerden biri olan Lineer Programlama (LP) teorisi, gözlenen link hacimlerinden B-V seyahat matrisini tahmin etmek için uygulanır. Sherali vd. (1994a), link üzerindeki mevcut trafik hacim bilgilerinden B-V seyahat talebi matrisi tahmini için LP yaklaşımını kullanmışlardır [48]. Model, ağın dengede olması durumunda trafik akımlarının belirlenmesi için tasarlanmıştır. Bununla birlikte, bu model eksik bilgiler nedeniyle trafiğin denge akım modeline uymayabildiği ve gözlenen link akım verilerinde tutarsızlıklar olabildiği şeklinde bilinmektedir. Kullanıcı denge çözümleri için daima güvence veren bir yaklaşım değildir. Sherali vd. (1994b), pratikte her zaman elde edilemeyen link hacimleri olması durumunda izlenen teoriyi belirtmişlerdir [49]. Bu durumda kullanılan öneri, bazı lineer ve lineer olmayan iteratif programlama ile seyahat süresi ya da maliyetin güncellenmesidir. Orijinal ve geliştirilen versiyonlar bazı gerçek ağlarda test edilmiştir [50].

- *Yapay Sinir Ağları Modelleri:* Yapay sinir ağları, insan beyninin öğrenme davranışını taklit eden kavramları esas almaktadır. Multer ve Reinhardt (1990), trafik sayımlarından B-V seyahat matrisini belirlemek için yapay sinir ağları yaklaşımını ortaya çıkarmışlardır [51]. Bu modellerin en belirgin dezavantajı, yapay sinir ağının çalışması için çok büyük miktarda veriye gereksinim olmasıdır. Geniş ağlar için modelleme yapılırken, gerçek verilerin olmaması sebebiyle ciddi problemler oluşabilir. Yang vd. (1992), dört kollu kavşak ve kısa bir karayolu kesimi için B-V akımlarını oluşturan yapay sinir ağları modeli uygulamışlardır [52]. Chin vd. (1994), link hacimlerinden B-V bilgisini elde etmek için bir yapay sinir ağı modeli tanımlamışlardır [53]. Bu modeller oldukça yeni olmalarına rağmen, umut verici olmayabilir.
- *Bulanık Modeller:* Son zamanlardaki başka bir yaklaşım, B-V seyahat matrisini elde etmek için bulanık modellerden yararlanmışlardır. Pek çok modelde uygulanan hep ya da hiç yaklaşımı yerine, linklere ait veriler için bulanık yaklaşımlar uygulanır [9]. Bu model, doğu karayolu kesimi için test edilmiştir ve uygun sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. İlk test sonuçları umut verici olmasına rağmen, daha sonraki değerlendirmeler için farklı durum çalışmaları ve tecrübeler gereklidir.

2.2.1 Sonuç

Yukarıda incelendiği gibi, link hacimlerinin sayımlarından B-V matrislerini elde etmek için çeşitli yaklaşımlar açıklanmıştır. Her yöntemin avantaj ve dezavantajları söz konusudur. Denge modelleri tıkanık ağlarda uygulanabilir, fakat önceki seyahat tablosuna ihtiyaç duyulmaktadır ve bütün linkler için hacim sayımları gereklidir. Yoğun trafik hacminin bulunduğu bölgelerin analizi için daha uygundur. Maksimum Entropy / Minimum Bilgi modelleri veri ihtiyacı bakımından daha esnekler, bölümsel link sayımları yeterli olabilir, ilk seyahat tablosu gerekli değildir, mevcut bilgiyi esas alarak en uygun B-V çiftini araştırırlar, kendilerine özgü bilgisayar programına sahiptirler; fakat tıkanıklık için uygun bir çözüm sağlamazlar (link performans karakteristiklerini kullanmazlar), akımın kararlılığı gibi kısıtlamaları ihmal ederler.

İstatistiksel modellerin uygulanabilmesi için önceki bilgilerden yararlanma esnekliği olsa da, pratikte önceki bilgileri elde etmek zor olabilir.

Çekim modellerine göre B-V seyahat matrisleri, trafik sayımları, seyahat maliyetleri, mesafe gibi parametrelerin fonksiyonlarının lineer ve lineer olmayan regresyon modelleri ile üretilmişlerdir. Her bölgede üretilen ve çekilen toplam seyahatleri belirlemek için regresyon problemi çözülmüştür. Bu tezde, trafik atamanın yapılması için gerekli olan B-V seyahat üretiminin belirlenmesinde, sentetik seyahat dağılımı modellerinden çekim kuvveti esas alınarak, seyahat üretimi çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Böyle bir yöntem, çekim modellerinin çok sayıda teorik avantajlara sahip olmasından dolayı tercih edilmiştir. Arazi kullanımındaki değişikliklerden dolayı çekim değeri kolayca değişebilir. Sosyo ekonomik faktörlere ulaşmak kolay, maliyeti az ve güncellemek mümkün olduğundan, çalışma bölgesine ait sosyo ekonomik faktörler esas alınarak ve çalışma ağı bölgesini oluşturan linkler üzerindeki B-V noktalarına giriş ve çıkışlardaki YOGT değerlerine bağlı olarak geliştirilen formülasyonlar ile seyahat üretimi belirlenmiştir. İlerideki bölümlerde, geliştirilen çözüm yöntemi ve detayları açıklanmıştır.

3. ULAŞIM PLANLAMASI SİSTEMİ

Ulaşım, çeşitli başlangıçlar (B) ve varışlar (V) arasında insanların ve eşyaların minimum maliyetle, en kısa sürede güvenli bir şekilde hedeflerine ulaşımının sağlanmasıdır. Ulaşım planlamasının amacı, seyahat talebi ile ulaşım imkanları arasındaki uyumu sağlamak, ulaşım sistemini kullanacak talep tahmini ile rotalara akan talebi ve buna bağlı olarak linklerde meydana gelen trafik hacmini belirlemektir.

Hızlı ve verimli bir ulaşım sisteminin sağlanmasının planlanması için, planlamacılar aşağıda belirtilen soruların cevaplarını bilmeye ihtiyaç duyarlar:

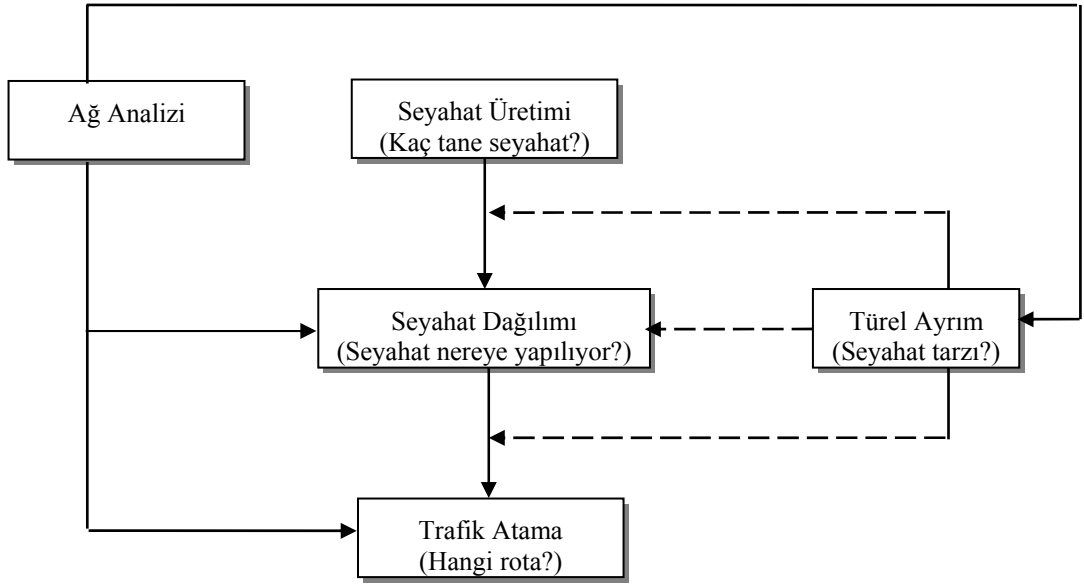
- a) Nüfusun yüzde kaçı ya da ne kadar insan seyahat ediyor?
- b) Gelecekte nüfusu etkileyen faktörler neler olabilir?
- c) Sosyo ekonomik ve demografik profil nedir?
- d) Her bölge tarafından üretilen ve çekilen seyahat (yolculuk) talebi nedir?
- e) Her bölgeden ayrılan seyahatler nereye, hangi bölgeye gider?
- f) Seyahat hangi seyahat tarzı ile yapılacaktır?
- g) Seyahat etmek için kişilerin kararını etkileyen faktörler nelerdir?
- h) Bu seyahatler tarafından hangi rotalar kullanılır?

Ulaşım planlaması sistemi, dört adımda, bu soruları cevaplamak için geliştirilmiştir:

- 1) Seyahat Üretimi (Trip Generation)
- 2) Seyahat Dağılımı (Trip Distribution)
- 3) Türel Dağılım (Modal Split)
- 4) Trafik Atama (Traffic Assignment)

Modelleme çalışmaları için veri toplanmadan önce, çalışma ağı belirlenir ve daha sonra karayolu ağı üzerindeki trafik hacimlerinin tahmini için yaygın olarak kullanılan ardışık seyahat tahmin prosedürü adımları uygulanır (Şekil 3.1). Ulaşım

ağı, trafik analiz bölgelerine bölünebilir ve çalışma alanı için tasarım yapılabilir. Yapılacak işlerin sonucu, link, düğüm ve B-V merkezlerinden meydana gelen ağ tasarlanır. Linkler, tek yol veya yol grupları ile gösterilebilir. Düğüm, yol çekiciliğinin değiştiği noktalarda, linklerin son noktalarını gösterir. Merkez, seyahat üretiminin merkezinde bütün seyahatlerin başladığı ve bittiği noktaları gösterir. Planlama için bu veriler elde edilerek gelecek tahminler oluşturulur.



Şekil 3.1 Ardışık seyahat tahmin prosedürü [54].

Her adım, prosedürün belirli bir türünü gerektirir ve her adımda farklı model seçimleri vardır. Bu prosedürün önemli avantajlarından biri, gelecekte ortaya çıkabilecek çeşitli değişiklikleri yansıtabilmesidir. Bu değişiklikler a) seyahat yapma oranlarındaki değişiklik, b) alternatif seyahat modellerinde meydana gelen gelişmelerdeki değişiklikler, c) ulaşım ağındaki değişiklikler şeklinde belirtilebilir. Ardışık seyahat prosedürünün diğer bir avantajı, her adımın sonunda yararlı bilgiler oluşturmasıdır. Dezavantajı ise, modelin gelişimi için geniş miktarda veriye ihtiyaç duymasındır. Araştırmaların büyük bir bölümü bu modeli uygulamışlardır ve hala geliştirilmeye devam edilmektedir.

3.1 Seyahat Üretimi

Seyahat üretimi, ulaşım planlamasının ilk adımıdır. Çünkü, hem bir sonraki adımların gerçeğe en uygun değerlere yakın olması, hem de çalışma alanında üretilen toplam seyahat sayısı gibi değerlerin kontrolünü sağlamaktadır. Seyahat üretimi, belirli bir bölge tarafından üretilen ve çekilen seyahatin toplam miktarını tahmin etmeye yardımcı olur. Seyahat üretimi modelinde, bölgenin sosyo ekonomik karakteri ve arazi kullanımı ile bölgede üretilen seyahat sayısı arasındaki ilişkiden yararlanır. Yani seyahatin üretilmesinde bugünkü çekim veya sosyo ekonomik yapı, araç sahipliği, gayrisafi milli hasıla vb. diğer etkenler bulunur. Seyahat üretimi, her bölgenin ürettiği veya çektiği seyahati belirtir. Seyahat üretiminin bugünkü değerleri, Tablo 3.1’de görüldüğü gibi B-V matrisinde gösterilir. Ulaşım planlamasının seyahat dağılımı adımında bu matrisler kullanılarak modelleme yapılır.

Tablo 3.1 Örnek seyahat tablosu.

B-V	1	2	3	<i>j</i>
1	q_{11}	q_{12}	q_{13}						q_{1j}
2	q_{21}								
3	q_{31}								
.									
.									
.									
.									
.									
<i>i</i>	q_{i1}								q_{ij}

Burada, q_{ij} = Başlangıç *i* den varış *j* ye olan seyahatler

3.1.1 Seyahat Üretimini Belirlenmesi

Ulaşım ağlarının planlanabilmesi için gerekli olan B-V matrislerini tahmin etmek için 2. bölümde ayrıntılı olarak bahsedilen çeşitli modellerden yararlanılabilir. Seyahat üretimi modellerinin gelişiminde, modelin bağımsız değişkenlerini oluşturan seyahat üretimini etkileyen verilerden her biri için, verinin elde edilebilmesi değişkenin seçimini etkileyen önemli bir faktördür. Genellikle başlangıç yılları için

verinin elde edilmesi gelecek yıllara göre daha kolaydır. Eğer başlangıç yılları için bağımsız değişken verisi elde edilemezse, modelin gelişiminde bağımsız değişken kullanılamaz. Halbuki, modelin gelişimi için, modelin uygulanmasından önce modelde kullanılan bağımsız değişkenlerin tahmin edilip edilemeyeceği düşünülmelidir. Eğer böyle tahminler çok zor olacaksa o halde modelde bu değişkenleri kullanmaktan kaçınılabilir. Bazen ulaşım plancıları böyle tahminler için kullanılması gereken bir yöntem geliştirmek zorundadırlar. Genellikle, seyahat üretiminde kullanılan sosyoekonomik parametrelerin bütün değerlerini tahmin etmek zordur.

Ev ve sürücülerle yapılan yol kenarı anketleri yıllardır kullanılmıştır. Aslında bu teknikler hem çok maliyetlidir, hem de zaman alıcıdır. Yoğun iş gücü gerektirirler ve seyahat edenleri rahatsız edicidir, ayrıca trafik işletim amaçlarına hakim değildir [55].

Demografik yapıda hızlı değişimlerin görüldüğü gelişmekte olan ülkelerde ise, maliyetli yöntemlerle elde edilen verilerin kullanım ömrü çok kısa olmakta ve daha ucuz yöntemler kullanılarak sık sık revize edilmeleri gerekmektedir. Bu yüzden şimdiki ve gelecekteki dönemlere ait B-V matrislerini oluşturmak ve revize etmek üzere pahalı olmayan ve yoğun işgücü gerektirmeyen çeşitli yaklaşık yöntemler geliştirilmiştir. Bu yüzden B-V matrisinin tahmin edilmesi problemi için tek bir çözümün bulunması imkansızdır. Bu bakımdan karayolları üzerindeki araç sayıları, yolculuk matrisi ile sürücülerin rota seçimine dair verdikleri kararların bir fonksiyonu olup sayım yapılan karayolu bağlantılarını kullanan bütün B-V çiftleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Bunun yanında trafiği aksatmadan ve ucuz bir şekilde elde edildiklerinden çok çekici bir veri kaynağı olmaktadır. Anlaşılacağı üzere, en uygun B-V matrisini tahmin etmek için mevcut trafik hacim sayımlarından yararlanılabilir [56].

Bir dizi bağlantı yolu ve düğüm noktasından oluşan bir karayolu ağıyla n adet bölgenin birbirine bağlandığı varsayılırsa, bir adet B noktası n adet V noktasına seyahat üretecektir, ya da başka bir ifadeyle bir adet V noktası n adet B noktasından seyahat çekecektir. Bu durumda n adet bölgenin oluşturacağı yolculuk matrisinin n^2

hücreden oluşacağı açıktır. Eğer bölge içi yolculuklar göz önüne alınmazsa B-V matrisindeki hücre sayısı n^2-n olacaktır. Trafik sayımlarından B-V matrisini oluşturan bu n^2 tane hücrenin bulunması için öncelikle her bir son noktasına yapılan yolculukların izledikleri rotaların belirlenmesi gerekmektedir [57].

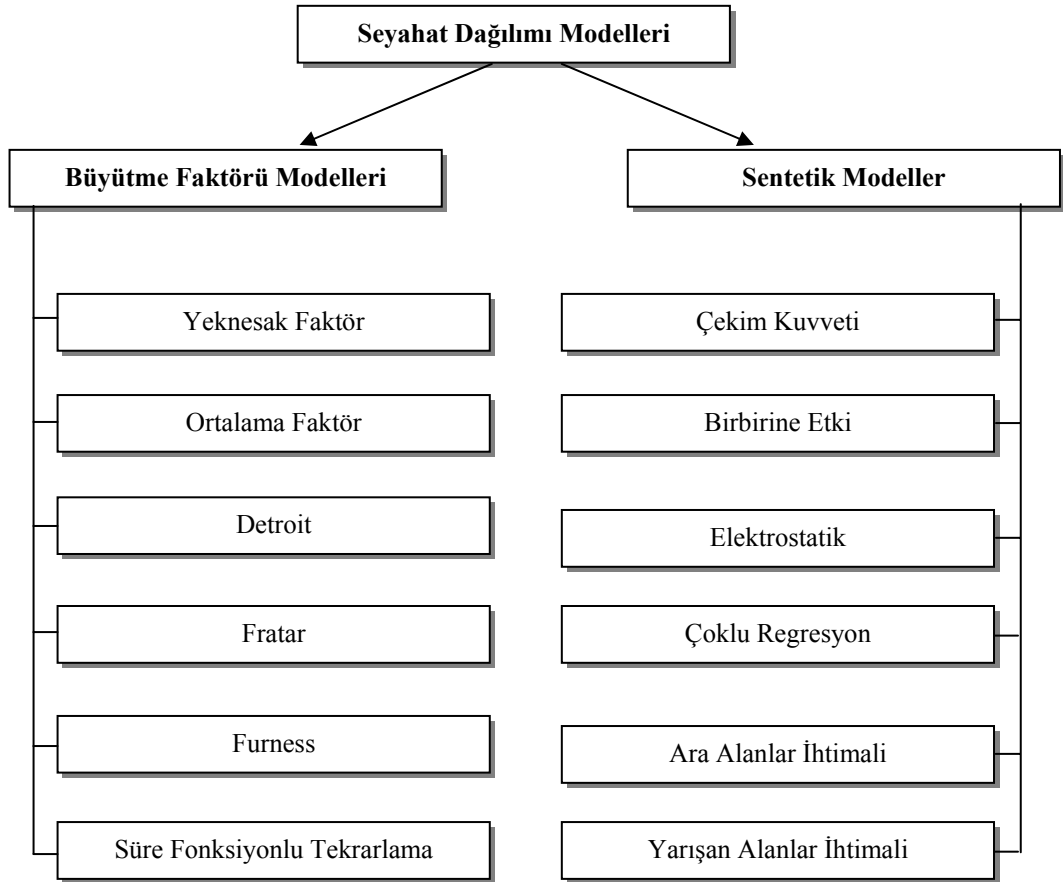
Çekim modeli ile seyahat üretiminin belirlenmesinde trafik sayımlarının, seyahat maliyetlerinin ya da mesafe gibi parametrelerin lineer ve lineer olmayan regresyon modelleri ile çözüm yapılmıştır. Trafik hacmi, ulaşım ağına yüklendiği zaman gözlenen trafik sayımlarıyla uyumlu sonuçlar verecek birden daha fazla sayıda yolculuk matrisi bulunacaktır.

Bu problemi ortadan kaldırmak için, tezde sentetik seyahat dağılımı modellerinden çekim kuvveti esas alınarak, seyahat üretimi çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Böyle bir yöntem, çekim modellerinin çok sayıda teorik avantajlara sahip olmasından dolayı tercih edilmiştir. Sosyoekonomik faktörlere ulaşmak kolay, maliyeti az ve güncellemek mümkün olduğundan, çalışma bölgesine ait sosyoekonomik faktörler esas alınmıştır. Çalışma ağına ulaşım planlaması ardışık seyahat tahmin prosedürünün uygulandığı ilgili bölümde, ayrıntıları ile açıklanan geliştirilen seyahat üretimi çözüm yöntemi ile gerçeğe en yakın, güncel B-V seyahat üretimi matrisi elde edilmiştir.

3.2 Seyahat Dağılımı

Seyahat dağılımı, trafik çalışmalarının en önemli öğelerinden biridir. Her zonun ürettiği ve gelecekte üreteceği veya çekeceği seyahatler ve dolayısıyla, çalışma alanındaki toplam seyahatlerin, planlama yılında zonlara göre nasıl dağılacağı “Seyahat Dağılımı” modellerine göre yapılır. Tahmin edilen seyahat üretimi için, seyahat amaçlarının her biri için farklı seyahat dağılımı modelleri geliştirilmiştir. Seyahat dağılımı modelleri, tahmin edilen seyahatleri yaratmak için seyahat üretimi ile tahmin edilen seyahat başlangıçları ve varışları ile bağlantılıdır [58].

Seyahat dağılımında, başlangıç ve sonu belli olan seyahatler birleştirilir; bilinen başlangıç ve son noktaları için bir seyahat matrisi oluşturulur. Gelecekteki seyahatlerin, zonlara dengeli biçimde dağılımını sağlayan ‘Seyahat Dağılımı Yöntemleri’, “*Büyütme Faktörü Modelleri*” ve “*Sentetik Modeller*” olarak iki grupta incelenir (Şekil 3.2). Büyütme Faktörü Modellerinde, çalışma alanı içindeki zonlar arasında bugünkü mevcut yolculuklara büyütme katsayısı=büyütme faktörü uygulanır. Bu modellerde zon içi hareketleri ve zonlar arasındaki mesafe faktörü, seyahat çiftleri arasındaki değişiklikler ve tıkanıklık dikkate alınmaz. Küçük yerleşim alanları için uzun dönemde arazi kullanımında ve dış faktörlerde fazla değişme olmayacağı için, bu model genel olarak kabul edilir. Sentetik Modellerde, bugünkü seyahatlere etki eden faktörler ve nedenleri açıklanıp, buna uyan model kurulur. Modeldeki girdi değerleri, gelecek için değiştirilerek zonlar arasındaki gelecekteki seyahat dağılımı hesaplanır [59].



Şekil 3.2 Seyahat dağılımı modelleri [59].

Pratikte, günümüzde çok sık kullanılan ve en popüler olan seyahat dağılımı modelleri, Newton'un çekim kanununu esas almasına dayanılarak isimlendirilen çekim modelidir [60]. 1960'larda çeşitli model türlerinin değerlendirilmesi ile çekim modeli ve ara alanlar ihtimali modelinin güvenilirliği ve işe yararlılığının ispatlandığı sonucuna varılmıştır [61]. Fratar modelin arazi kullanımı değişikliklerinde yetersizliklere sahip olduğu görülmüştür. Modeller arasında karşılaştırmalar yapıldığında, hesaplamaların kolay olması ve diğer modellerin bazı teorik problemlere sahip olması sebebiyle çekim modeli daha yaygın hale gelmiştir. Bu hususlar göz önüne alındığında tezde, gelişen sosyo ekonomik faktörlere göre güncelleme kolaylığı olması ve büyük ölçekli ulaşım planlamalarında tercih edilmesi, uzun dönemli kullanımlar için uygun olması sebebiyle Sentetik Modellerden "Çekim Modeli" ile çalışılarak seyahat dağılımı elde edilmiştir. Seyahat dağılımı için çekim modelleri, bir bölgede başlayan ve sona eren toplam seyahat sayısı ile uyum gösterir. Böyle bir model üretim-çekim kısıtlı çekim modeli ya da çift kısıtlı çekim modeli olarak adlandırılmaktadır [62].

3.2.1 Çekim Modeli

Çekim modelleri geçmişteki B-V bilgisine güvenirlir [63]. Çekim modelleri çok sayıda teorik avantajlara sahiptirler [64]. Örneğin, seyahat çekim değerinin etkisi gibi nedensel bir mantığa dayalıdır, arazi kullanımındaki değişikliklerden dolayı çekim değeri kolayca değiştirilebilir, ulaşım faaliyetlerindeki gelişmeler dahil edilebilir, çözümü kolaydır. Bununla birlikte dezavantajları da vardır. Örneğin, çekim modelinde uzaklığın karesinin ters orantı olarak kullanılması her zaman uygun olmayabilir, çok uzun veya çok kısa seyahatlerde uygun sonuçlar vermeyebilir. G çekim katsayısının belirlenmesi zordur, tamamen deneme yanılma ile elde edilir. G çekim katsayısı sabit olduğu için gelecek talep tahminlerinde bu sabitler tahminin güvenilirliğini azaltan en önemli faktörlerden biridir. Çekim Modeli, büyük kentlerin ulaşım planlamasında, diğer matematik modellere göre en çok kullanılan bir modeldir. Bu modelde, fizik kanunlarından yararlanılmıştır. İki yerleşim yeri arasındaki çekim, aralarındaki mesafe, süre ve maliyet gibi etkenlerin artmasıyla azalır fakat her yerleşim yerindeki hareketlilik miktarı ile doğru orantılıdır. Çekim

modeli, iki bölge arasındaki çekimi, bölgelerin nüfuslarının birbirleriyle çarpılması ve bölgeler arasındaki mesafenin bazı fonksiyonlarına bölünmesi ile tahmin eder [65]. Kısaca, Newton kanunundaki; iki kütle birbirini, kütlelerinin çarpımı ve uzaklıklarının karesi ile ters orantılı olarak çekerler esasına dayanan bu modeldeki genel eşitlik fiziksel olarak şöyledir;

$$q_{ij} = \frac{GM_i M_j}{D_{ij}^2} \quad (3.1)$$

Burada; q_{ij} = i ve j arasındaki çekim kuvveti
 G = Çekim kuvvet katsayısı
 M = Kütle veya büyüklük
 D_{ij} = i ve j kütlelerinin birbirine mesafesi

Mühendisler ve sosyal bilimciler şehirler arası veya aynı şehrin farklı bölgeleri arasındaki yük ve insan hareketliliğini tahmin etmede Newton'un çekim modelinin değiştirilmiş versiyonlarını son yıllarda kullanmaktadırlar. Seyahat talebi tahmininde çekim modeli de Newton'un çekim modelinin benzeridir [66].

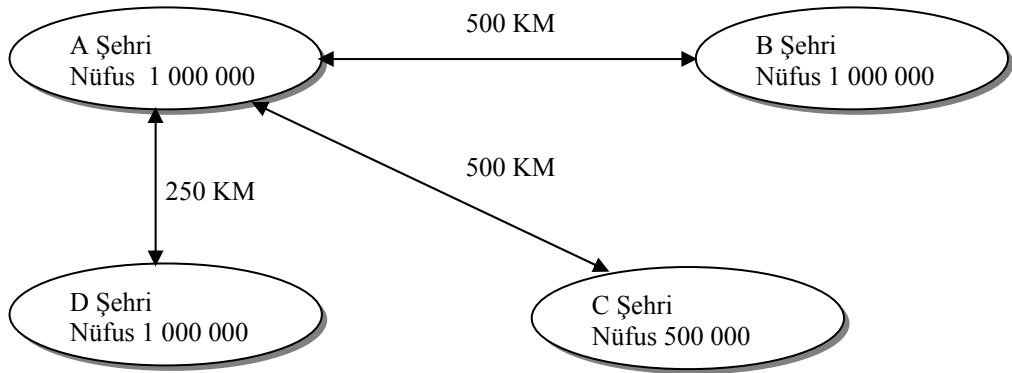
Kentsel sistemlerin analizinde, ilk uygulamalardaki Çekim modelinde; iki alanın birbirine etkisi olarak, alanın büyüklüğü (veya çekimi) ve uzaklığın üssü kullanılmıştır. Bu kullanıştaki Çekim denklemi;

$$q_{ij} = G \frac{P_i P_j}{d_{ij}^b} \quad (3.2)$$

Burada; i = matriste satırları
 j = matriste kolonları ifade eder.
 q = i zonundan j zonuna olan hareket (yolculuk)
 b = üs, katsayı=0,6~3,5
 P_i, P_j = i ve j zonlarının alan büyüklüğü
 G = amprik olarak bulunan katsayı'dır.

Örneğin, Şekil 3.3'de verilen B-V noktaları ve ara uzaklıklar ile deneme yanılma ile seçilen $G=1000$ ve $b=3,5$ olduğunda Denklem (3.2)'nin uygulanması

halinde, seyahat çekimi Tablo 3.2’de görüldüğü gibi hesaplanmıştır. Elde edilen değerler, beklenen çekim için nüfus ve mesafenin ana etkenler olduğunu açık olarak ifade etmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, A ve B şehirleri arasında A ve C şehirlerinininkinden daha fazla bir seyahat talebi beklenecektir. Çünkü aradaki mesafeler aynı olmasına rağmen C şehrinin nüfusu B şehrininkinden daha azdır. Ayrıca B ve D şehirleri eşit nüfusa sahip olmalarına rağmen A ve D şehirleri arasındaki seyahat talebi, A ve B şehirlerindekiinden daha fazladır. Çünkü A ve D şehirleri arasındaki mesafe A ve B şehirlerinin arasındaki mesafeden daha azdır [65].



Şekil 3.3 Çekim modeli diyagramı.

Tablo 3.2 Şekil 3.3 için hesaplanan seyahat tablosu.

q_{ij}	A	B	C	D
A	0	357.771	178.886	4.047.716
B	357.771	0	15.812	86.554
C	178.886	15.812	0	43.277
D	4.047.716	86.554	43.277	0

Seyahat dağılımı için, bölgeler arası mesafe ölçüsü olarak genellikle yol seyahat süresi kullanılabilir. Çoğunlukla pik-period seyahat süreleri kullanılmasına gayret edilir [58].

Çekim Modelinin, ulaşım planlamasında kullanılan çift kısıtlı çekim modeli denklemi;

$$q_{ij} = \frac{O_i A_j K_{ij} F(d_{ij})}{\sum_j A_j K_{ij} F(d_{ij})} \quad (3.3)$$

Burada; q_{ij} = i zonundan j zonuna seyahat

O_i = i zonundan diğer j zonlarına ürettiği trafik (trafik oluşumu)

A_j = j zonunun diğer i zonlarından çektiği seyahatler

d_{ij} = zonlar arasındaki uzaklık

K_{ij} = katsayı (ij değişimi için bir sosyo-ekonomik faktör)

Denklem (3.3) deki $F(d_{ij})$: deterance (belirleme) fonksiyonu bilinmemektedir. Kişilerin farklı mesafelere veya farklı seyahat yapma gönülsüzlüklerini ya da seyahat zorluklarını ifade eder. Bunu hesaplamak için, bugünkü trafiğe göre; benzer bir kentte daha önce hesaplanmış değer varsa bu değer, yoksa, tahmin edilen değer veya $F(d_{ij}) = 1$ alınarak, q_{ij} değerinin aynısı veya kabul edilebilir doğruluk limitlerine yakın değerini bulup, bu fonksiyonun gelecekte de aynen devam edeceği kabul edilir. $F(d_{ij})$ ve K katsayıları her aralıkta hesaplanacaktır. Daha sonra da uzaklıklara göre bulunan, $F(d_{ij})$ ve K katsayıları kullanılarak, Denklem (3.3) den, geleceğin seyahat dağılımı yapılır. Çalışmada, uygulamanın yapıldığı bölümde çekim modeli ile hesap akış diyagramı verilmiş ve çekim modeli ile çalışma ağına ait seyahat dağılımı yapılmıştır.

3.3 Trafik Atama

Trafik atama, karayolu üzerindeki beklenebilecek araç sayısı ve karayolu rotalarını belirlemek için, ulaşım planlaması sisteminin model analizi sürecindeki son adımdır. Trafik atama adımının temel görevi, seyahat dağılımı ile belirlenen B-V seyahat talebini ulaşım ağına yükleyerek, ulaşım ağının her bölümünde yüklemeleri ya da kullanıcı hacimlerini ortaya çıkarmaktır. Kullanıcı hacimleri araç sayıları, toplam kişi sayısı, transit sürücülerin sayısı ya da başlangıç varış ile tanımlanabilen seyahat talebinin bir başka birimi olabilir [67]. Özetle, trafik ataması, ulaşım sistemi ağına, seyahat eden yolcuların oluşturduğu trafiğin yüklenmesidir. Bu yüklemenin yapılabilmesi için, mevcut ya da önerilecek yol ağı, ulaşım sistemi ve B-V çiftleri

arasındaki trafik hacimlerini belirleyen akım matrisinin (seyahat dağılım matrisinin) bilinmesi gerekmektedir.

Trafik atamanın amaçları şöyle sıralanabilir:

- Ulaşım ağına ait toplam trafik akımları, toplam seyahat süreleri gibi değerleri belirlemek,
- Seyahat talebini esas alarak B-V arasındaki seyahat maliyetini tahmin etmek,
- Makul link akımlarını ve ağır trafik hacmine sahip linkleri belirlemek,
- Her B-V çifti arasındaki kullanılan rotaları tahmin etmek,
- Belirli link ya da rotayı kullanan B-V çiftlerini analiz etmek,

Trafik atama (ağın yüklenmesi) için gerekli temel veriler:

- Bölgeler arası seyahat sayısını belirten seyahat matrisi (seyahat dağılımı adımı belirlenmiştir)
- Ağ bileşenleri,
Linkler,
Başlangıç veya varış düğüm noktalarına bağlantılar (centroid connectors),
Başlangıç veya varış düğüm noktaları (nodes),
Link seyahat maliyetleri,
Düğüm noktaları arasındaki uygun rotalar,
- Yol seçim kriterleri ve olasılıkları,
Maliyet fonksiyonu
Minimum maliyet şeklinde açıklanabilir.

Bir bölgeden diğerine seyahat eden araçlar, bölgeler arasındaki belirli seyahat rotalarını bilgi düzeyleri doğrultusunda seçerler. Trafik atama, sürücülerin yol ağını algılama düzeylerine göre, bölgelerin her B-V çifti arasındaki seyahatin minimum genel maliyetine dayalı olarak yapılır. Bu genel maliyet, link seyahat süresinin ve link mesafesine bağlı uygun maliyetin lineer kombinasyonudur.

3.3.1 Rota Seçimi Kriterleri

Trafik atamanın temel dayanak noktası, algılanan en az maliyetli rotayı seçen yol kullanıcılarının orantılı olarak rotalara yüklendikleri varsayımdır. Uygulamada, sürücüler herhangi bir başlangıç ve varış çifti arasında ulaşımı sağlamak için, B-V çiftlerini bağlayan rotalardan seçim yaparlar. İki nokta arasındaki rota seçimini etkileyen çok sayıda faktör söz konusudur. İngiliz Ulaşım Departmanının (Department of Transportation, 1981) 7000'nin üzerinde sürücü ile görüştükları çalışmalarında rota seçimini etkileyen faktörler:

- seyahat süresi,
- mesafe,
- parasal maliyet,
- tıkanıklılık,
- kuyruklanmalar,
- yol tipi,
- manzara,
- trafik işaretleri,
- yol çalışmaları,
- kolay ve düzgün bir rota,
- yatay ve düşey kurların azlığı,
- bağlantı güvenilirliği,
- seyahat süresi güvenilirliği ve
- alışkanlıklar şeklinde sayılabilir.

Bu seçimi etkileyen faktörler ve sürücülerin her rotaya paylaştırılması trafik atama problemi olarak bilinir. Çalışmalar belirli bir rotanın seçilmesinin en önemli sebebinin seyahat süresi avantajı olduğunu, yine de farklı seyahat amacına sahip gruplar arasında değişik seçimler meydana geldiğini ortaya koymuştur. Sürücülerin büyük bir bölümü iş seyahati amacıyla en kısa rotayı (ya da en az maliyetli yolu) seçerlerken, vakit problemi olmayan sürücüler manzara ya da diğer sebeplerle farklı rotaları seçebilirler. Ancak, yine de çalışmalar sürücünün rota seçiminde zaman ve mesafe kombinasyonunun etkili olduğunu göstermiştir.

3.4 Sonuç

Bu bölümde, ulaşım planlamasını uygulamak için gerekli adımlardan bahsedilmiştir. Ulaşım planlaması için önce, çalışma ağı üzerinde trafik akımını, ağa ait bağlantı yollarına ait mesafeler belirlenir. Daha sonra, karayolu ağı bağlantı

yolları üzerindeki trafik hacimlerinin tahmini için seyahat tahmin prosedürünün adımları uygulanır. İlk adımı oluşturan seyahat üretiminin amacı, sosyo ekonomik ya da arazi kullanımı gibi verilere bağlı olarak, her bölgede üretilen ve çekilen toplam seyahat sayısını belirlemektir. Seyahat üretiminin belirlenmesi için, 2. bölümde açıklanan literatürde yer alan çeşitli modellerden yararlanılır. Bu çalışmada, sosyo ekonomik faktörlere ulaşmak kolay, maliyet az ve güncellemek mümkün olduğundan çalışma ağına ait sosyo ekonomik faktörlerden ve YOGT bilgilerinden yararlanılarak çekim yöntemi esaslarına göre seyahat üretimi çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bir sonraki adımda, tahmin edilen seyahat üretimi için, geliştirilen modellerden yararlanılarak, B-V noktaları arasındaki seyahat dağılımı belirlenir. Seyahat dağılımının amacı, B-V noktaları arasındaki hareketleri, seyahat değişikliklerini tahmin etmektir. Herhangi bir başlangıç noktasından diğer varış noktalarına üretilen, ya da başka bir ifade ile herhangi bir varış noktasının diğer başlangıç noktalarından çektiği seyahatlerin sayısı hesaplanır. Seyahat dağılımı analizinde kullanılabilecek pek çok matematiksel model söz konusudur. Bu modeller büyütme faktörü modelleri ve sentetik modeller olarak iki ana grupta incelenebilir. Büyütme faktörü modellerinde bölgeler arasındaki mesafe faktörü ve tıkanıklık etkisi dikkate alınmaz. Bu sebeplerle küçük yerleşim alanlarında, fazla gelişme ve değişikliklerin olmayacağı bölgelerde uygulanabilir. Sentetik modeller ise, seyahate etki eden faktörler, tıkanıklık etkileri ve bölgelerin gelişmelerinde ortaya çıkan değişiklikler göz önüne alındığı için, yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Modeller arasında karşılaştırmalar yapıldığında, hesaplamaların kolay olması ve diğer modellerin bazı teorik problemlere sahip olması sebebiyle çekim modeli daha yaygın hale gelmiştir. Bu hususlar göz önüne alındığında çalışmada, gelişen sosyo ekonomik faktörlere göre güncelleme kolaylığı olması ve büyük ölçekli ulaşım planlamalarında tercih edilmesi, uzun dönemli kullanımlar için uygun olması sebebiyle Sentetik Modellerden “Çekim Modeli” ile çalışılarak seyahat dağılımı elde edilmiştir. Ulaşım ağına ait hesaplanan seyahat talebi, trafik atama adımında ağa yüklenerek, rota seyahat maliyetleri, rota akımları, link akımları belirlenmiştir. Trafik atama, sürücülerin yol ağını algılama düzeylerine göre, bölgelerin her B-V çifti arasındaki link seyahat süresinin ve link mesafesine bağlı uygun maliyetin minimum olması esasına dayalı olarak yapılır.

4. ULAŞIM AĞLARINDA DENGE ve TRAFİK ATAMA MODEL ARAŞTIRMASI

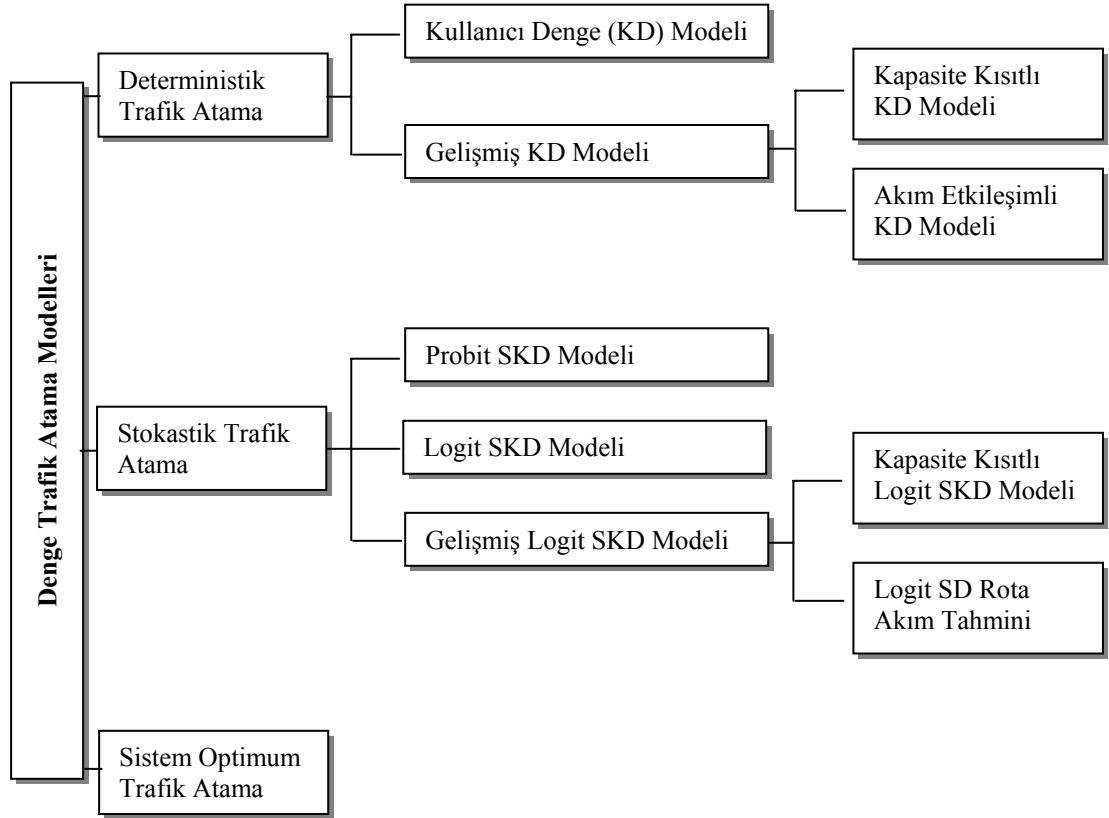
Trafik atama, seyahat talebi ve fiziksel kolaylıklar bakımından ulaşımın sağlanması arasındaki denge olarak değerlendirilebilir. Ulaşım ağlarında oluşan denge, arz ve talep arasındadır. Seyahat edenler talebi temsil ederler, arz ise seyahat maliyetleri ile değerleri belirlenen ağ ile ifade edilir. Trafik akımlarının dengede olması yaklaşımına dayalı bir sistemi gerektiren ağ bileşenleri ve seyahat süresi arasındaki bağımlılık ağ boyunca eş zamanlı olarak belirlenmelidir.

Link akımları üzerinde link seyahat sürelerinin trafik hacmine bağımlı olarak belirlenmesi denge özelliğinden gelir. Verilen bir B-V çiftinin pek çok rota ile bağlandığını ve bu iki nokta arasındaki seyahat sayısının bilindiğini varsayalım. Yol kullanıcıları öncelikle seyahat süresi bakımından en kısa yolu kullanmaya yönelirler. Bütün sürücülerin en kısa rotaya yönelmesinden dolayı trafik hacminin artması ile en kısa rota tıkanık hale gelebilir. Sonuç olarak, bu rota üzerindeki seyahat süresi artabilir ve bu noktada artık minimum süreli rota değildir. O halde, yol kullanıcılarının bazıları, daha hızlı seyahat etmeyi umduklarında, daha uzun olduğunu düşündükleri alternatif başka bir rota kullanabilirler. Bu rotaların her biri üzerindeki trafik hacimlerinin belirlenmesi, arz / talep denge probleminin çözümünü içerir. Her link üzerindeki akım, B-V çifti arasındaki rotalar üzerindeki akımların toplamıdır. Her link için, linkin akımı ve seyahat süresi ile ilişkili yol karakteristikleri ve hacme bağlı bir maliyet fonksiyonu belirlenmektedir [68].

Tıkanıklığa konu olan ulaşım ağlarında, rotalardaki trafik akımının tahmini için, ağ denge modelleri kullanılır. Ağı oluşturan herhangi bir link üzerine gelen toplam talep, belirli bir zaman dilimi içerisinde linkin kapasitesini aşarsa, bu durum tıkanıklık olarak değerlendirilir. Tıkanık ağlarda denge koşulları altında trafik, B-V çiftleri arasında kullanılmayan rotaların hepsi daha büyük veya eşit maliyetlere

sahipken, B-V çiftleri arasında kullanılan bütün rotalar eşit ve minimum maliyete sahip olacak şekilde düzenlenir.

Denge modeli kavramı Wardrop (1952) tarafından ve trafik atama matematiksel planlama modeli Beckmann (1956) tarafından tanımlanmıştır [21,69]. Bugüne kadar deterministik, stokastik ve sistem optimum trafik atama modellerini içeren çok sayıda model araştırması yapılmıştır. Denge trafik atama modelleri (Sheffi, 1985) üç tipte sınıflandırılabilir [70]: Kullanıcı dengesi (KD) ya da deterministik kullanıcı dengesi (DKD), Stokastik kullanıcı dengesi (SKD) ve Sistem optimum (SO)dur. Trafik atama modellerinin sınıflandırılması Şekil 4.1 de görülmektedir. Bunlar kısaca aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 4.1 Denge trafik atama modellerinin sınıflandırılması.

Akımların ağa atanması için kullanılan yaklaşımlar kapasite kısıtı var ya da yok ve stokastik etkiler var ya da yok varsayımlarını esas alırlar. *Kapasite kısıtı kavramı*; sürücü seçimlerinin B-V noktalarını bağlayan mümkün rotaların tıkanıklık seviyesi

ile etkilendiğini kabul eder. Bu yüzden kapasite kısıtını uygulayan her model, link performans fonksiyonu olarak da bilinen link seyahat maliyeti ile ilişkili fonksiyonları gerektirir. Trafik iterasyonlar halinde ağa yüklenir. Her iterasyondan sonra, link seyahat süreleri link performans fonksiyonları kullanılarak ayarlanır [57]. Yüklemede pratik kapasite geçilemez. İterasyonlarla (tekrar eden hesaplamalar) bir link, kapasite üstü yüklendiğinde, o linkteki ortalama trafik hızını azaltıp seyahat süresinin artırılması ile linkin trafik çekiciliği azaltılır. Eğer link kapasitesi göz önüne alınmazsa, trafiğin tıkanıklığının önemsenmediği sabit bir maliyetin kabul edildiği bir rota dikkate alınır; bu koşul altında bir tek rota B-V çiftinin bütün akımını toplar (örneğin hep ya da hiç algoritması). *Stokastik etki kavramı*, sürücülerin ulaşım sistemi hakkında mükemmel bir bilgiye sahip olmadıklarını kabul eder, böylece ulaşım ağının farklı algılanmaları sonucu her B-V için rotaların seçiminde değişik tercihler ortaya çıkar. Daha gerçekçi bir yaklaşım olmasına rağmen, bu yaklaşımın kullanılması çalışma bölgesinde sürücüler tarafından seçilen rotaların tercih edilmesi hakkında gerçeğe uygun veriler gerektirir.

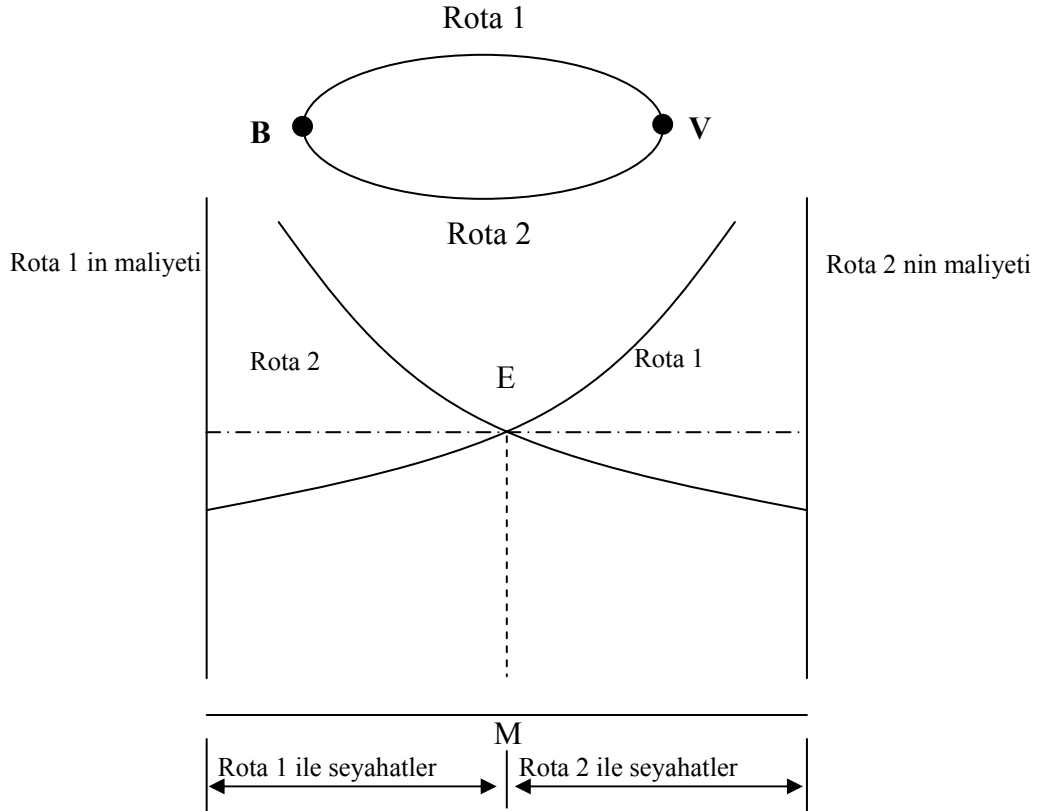
Ortuzar ve Willumsen (2002), kapasite kısıtı ve stokastik etki kavramlarına bağlı olarak Tablo 4.1’de görülen dört genel trafik atama yaklaşımı sınıflandırmışlardır [71].

Tablo 4.1 Genel trafik atama yaklaşımları.

		Stokastik etkiler var mı?	
		Hayır	Evet
Kapasite kısıtı var mı?	Hayır	Hep ya da hiç modeller	Tam stokastik modeller (Dial ve Burrel)
	Evet	Wardrop’un denge durumu KD atama modelleri	Stokastik kullanıcı denge modelleri

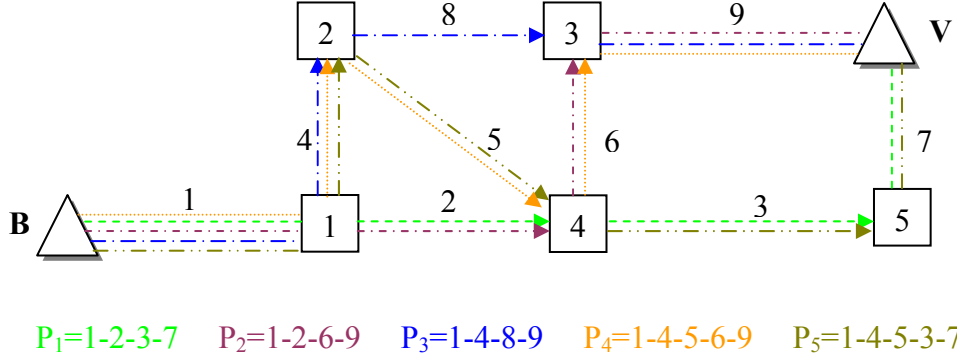
4.1 KD Atama Modeli

KD modelleri deterministiktir. KD ilkesi Wardrop (1952) tarafından ileri sürülmüştür [21]. Wardrop, denge kavramını formüle eden ve toplam seyahat maliyetini minimize eden alternatif davranış esasını tanıtan iki ilke belirtmiştir. Ağ performansı esasını şekillendiren rota seçim davranışını modellemeyi amaçlamıştır. Onun *birinci ilkesine* göre, kullanıcılar kendi seyahat sürelerini minimize edecek şekilde kullanacakları rotayı seçerler. Her B-V çifti için tüm kullanılan rotalar üzerindeki seyahat süresi eşittir ve hiç kullanılmayan rota üzerindeki maliyet veya seyahat süreleri diğer kullanılan rotalara göre daha fazladır. Bu, kullanıcı dengesi (KD) olarak tanımlanır. KD tanımı, yol kullanıcılarının seyahat maliyetleri hakkında tam bilgiye sahip olduklarını ve rota seçimi hakkında doğru karar verdiklerini ifade eder. Şekil 4.2 de iki rotalı bir B-V için KD ifadesi açıklanmıştır. B-V çiftlerini bağlayan 1 ve 2 linkleri varsayıldığında, KD'ne göre rota seçimi optimize edildiğinde ortalama maliyet fonksiyonları, iki maliyetin kesiştiği E noktasında elde edilir. Bu yüzden 1 ve 2 linkleri için kullanıcı dengesi optimizasyon çözümü M noktasında sağlanır. Her link üzerinde ortalama seyahat maliyeti EM dir.



Şekil 4.2 Kullanıcı dengesine göre rota maliyetleri [2].

KD ataması, seyahat edenlerin rotalarını kendi ilgi alanlarına göre farklı bir şekilde seçtiklerini varsayar. Bu durumda, her seyahat eden, B-V düğüm noktalarını bağlayan mümkün olabilen bütün yolları kıyaslarlar ve minimum maliyetli yolu seçer. Kullanıcı dengesi durumunda, B-V çiftleri arasında seyahat edenler tarafından seçilen bütün rotalar, aynı ya da seçilmeyenden daha az maliyetlidir. Örneğin Şekil 4.3 de görülen P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 şeklinde beş rotalı bir ağ varsayıldığında, B-V arasındaki talebi karşılamak için sadece P_1, P_2, P_3 kullanılıyorsa, o halde denge durumunda, P_1, P_2, P_3 rotalarının seyahat maliyeti P_4, P_5 rotalarının seyahat maliyetinden daha azdır ya da eşittir. P_1, P_2, P_3 rotalarının seyahat maliyeti aynıdır.



Şekil 4.3 Örnek ağ.

KD modelleri pratik olarak atamada muhtemelen en yaygın olarak kullanılan modeller olmasına rağmen, sınırlamalar ile nitelendirildikleri şeklinde bilinirler. Kullanıcı denge ataması, seyahat edenlerin davranışını gerçeğe uygun şekilde tam olarak yansıtmaz. Çünkü rota seçim kararları, çeşitli kişisel farklılıkların söz konusu olduğu algılanan seyahat süreleri ya da seyahat maliyetlerine bağlıdır. Üstelik bazı sürücüler en kısa seyahat süresi ya da en az maliyetli rotayı yanlış tahmin ederler ya da zaman ve maliyet fonksiyonları ile elde edilmemiş bir yol seçerler. KD ataması, seyahat edenlerin seçim maliyetlerinin algılamasını hemen hemen eşit kabul ettiği için, sonuçta algılama hataları ortaya çıkar. Şekil 4.4 de KD ataması için karşılaştırma yüzeyi verilmiştir [2]. İki rotanın eşit maliyete sahip olduğu noktada, seçim olasılığı tanımsızdır. Bu, kullanıcı denge ataması ile zorlukların birini ifade eder, yani verilen bir B-V çifti arasında dengedeki bütün kullanılan rotalar, eşit maliyete sahiptir, fakat rota maliyetleri eşit olduğunda karşılaştırma yüzeyi, rotalar

arasında trafik paylaşımının tanımlı olmayabildiğini gösterir. Bu yüzden, genelde kullanıcı dengesinde rota akımları tek olarak tanımlı değildir, rota akımları sonsuzdur.

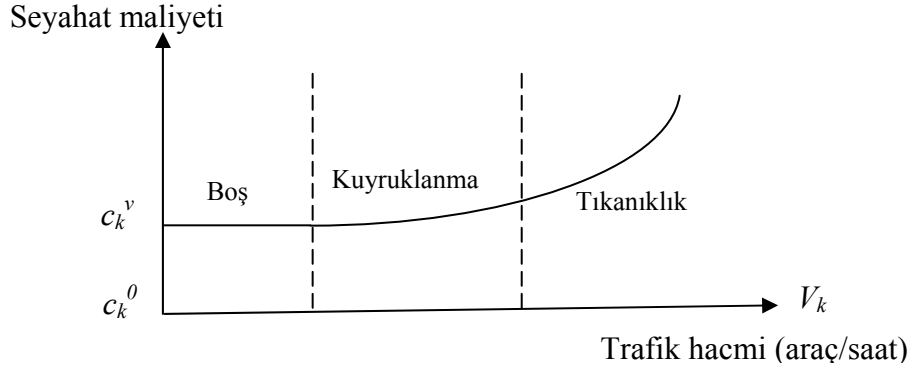


Şekil 4.4 Deterministik kullanıcı denge ataması için karşılaştırma yüzeyi.

Ayrıca, KD ataması için link maliyet fonksiyonlarının önemi oldukça büyüktür. Genellikle KD atamasında iki tür link maliyet fonksiyonu kabul edilir. Birincisi, link trafik hacminin bir fonksiyonu olarak link maliyet artışına sahiptir (örneğin BPR fonksiyonu). Bu durum artan maliyet fonksiyonu olarak ifade edilir. Diğeri, sabit bir maliyet ve belirlenmiş bir kapasiteye sahiptir. Hidrodinamik teorisini kullanan kuyruklanan trafik maliyet fonksiyonudur, şehir içi ulaşım modellemesinde kullanılır. Belirlenmiş kapasitede, link üzerinde kuyruklanma meydana gelir ve kapasiteyi aşmayacak şekilde talebi karşılayacak maliyet belirlenir. Atama modelinde, linklerin seyahat maliyeti, tıkanıklık etkisi nedeniyle sabit değildir. Bir link seyahat maliyeti, link üzerindeki trafik akımı belirli tıkanıklık noktasına ulaşınca kadar sabit kalır ve daha sonra trafik akım artışlarına göre artar. Şekil 4.5 linkin trafik hacmi ve maliyet fonksiyonu arasındaki ilişkiyi gösterir [72].

KD ataması varsayımları aşağıda bahsedildiği şekilde özetlenebilir;

- Yol kullanıcıları yolun seyahat maliyetini bilmeyi tercih ederler.
- Verilen bir link üzerindeki seyahat süresi, link üzerindeki akımın, şerit genişliği ve kapasite gibi parametrelerin bir fonksiyonudur.
- Seyahat süresi fonksiyonları pozitifdir ve artış gösterir.



Şekil 4.5 Tıkanıklığa göre bir linkin seyahat maliyeti.

Burada, c_k^0 =trafik hacmi 0 olduğunda k linkinin maliyeti,
 c_k^v =trafik hacmi v olduğunda k linkinin maliyetidir.

KD ilkeleri için, iyi bilinen optimizasyon problemi Beckmann vd. (1956) tarafından geliştirilen formülasyon dönüşümü ile çözülebilir [69].

$$\text{Min } Z_{KD} = \sum_k \int_0^{v_k} t_k(v_k) dv_k \quad (4.1)$$

$$\sum_p h_p^{ij} = q_{ij}, \forall ij \quad (4.2)$$

$$h_p^{ij} \geq 0, \forall p, ij \quad (4.3)$$

$$v_k = \sum_{ij} \sum_p h_p^{ij} \delta_{kp}^{ij}, \forall k \quad (4.4)$$

Burada, v_k = k linki üzerindeki trafik hacmi

$t_k(v_k)$ = v_k link akımı iken k linki üzerindeki seyahat süresi

h_p^{ij} = ij BV çifti arasındaki p rotası üzerindeki akım

q_{ij} = ij BV çifti arasındaki toplam seyahat talebidir

$\delta_{kp}^{ij} = 1$ (Eğer ij BV çifti arasındaki p rotası k linkini kullanıyorsa)

$\delta_{kp}^{ij} = 0$ (Eğer ij BV çifti arasındaki p rotası k linkini kullanmıyorsa).

Denklem (4.1) bütün sürücülerin toplam seyahat sürelerini minimize etmeyi amaçlar. Denklem (4.2) akımın korunma kısıtıdır. Aynı ij BV çiftinin bütün rotaları üzerindeki akımın miktarı, BV çifti arasındaki toplam talebe eşit olmalıdır. Link akımı ve rota akımları arasındaki ilişki Denklem (4.4) ile hesaplanır.

KD altındaki çözüm amaç fonksiyonu, KD koşuluna rehberlik eden Denklem (4.1)-(4.4) aralığındaki koşulların düzenlenmesi ile elde edilebilir. Denklem (4.2) kısıtının Lagrange çarpanı μ_{ij} olarak belirtilirse bu durumda kısıtsız çözüm haline gelir, KD için Lagrange fonksiyonu Denklem (4.5) de verilmiştir.

$$L_{KD} = \sum_k \int_0^{v_k} t_k(v_k) d_{vk} + \sum_{ij} \mu_{ij} \left(q_{ij} - \sum_p h_p^{ij} \right) \quad (4.5)$$

$$c_p^{ij} = \sum_k \delta_{kp}^{ij} t_k(v_k) \quad (4.6)$$

$$h_p^{ij} (c_p^{ij} - \mu_p^{ij}) = 0, \forall p, ij \quad (4.7)$$

$$c_p^{ij} - \mu_p^{ij} \geq 0, \forall p, ij \quad (4.8)$$

$$\sum_p h_p^{ij} = q_{ij}, \forall ij \quad (4.9)$$

$$h_p^{ij} \geq 0, \forall p, ij \quad (4.10)$$

Denklem (4.7) ve (4.8), $h_p^{ij} > 0$, $c_p^{ij} = \mu_{ij}$ ve $h_p^{ij} = 0$, $c_p^{ij} \geq \mu_{ij}$ olduğunda elde edilebilir. Burada, μ_{ij} , ij B-V çifti arasında minimum seyahat süresidir.

Eğer link seyahat süresi fonksiyonu $t_k(v_k)$ konveks ve v_k 'ya karşılık gelen artan bir fonksiyon ise, L_{KD} pozitifdir, KD problemi için link akımı çözümü bu yüzden tektir. Dikkat edilmelidir ki, KD problemi link akımları için konvektir ve tekil çözümü vardır fakat rota akımları için değildir, rota akımları tanımsızdır [70].

4.2 SKD Atama Modeli

Denge modelinin diğer bir çeşidi Stokastik Kullanıcı Dengesi (SKD) olarak adlandırılır. Stokastik modeller sürücülerin seyahat süresi ya da maliyetini algılamalarındaki farklılıkları göz önünde bulundurarak, başlangıçta Burrell (1968) ve Dial (1971) tarafından geliştirilmiştir [73,74]. Algılanan link maliyetlerinin olasılık dağılımları ile yapılır. İlk stokastik modeller, kapasite kısıtını ihmal etmişlerdir, bu yüzden tıkanıklığın olduğu kent içi ağlarında uygulanmaları sınırlıdır. Bu problemin

üstesinden gelmek için daha sonraki araştırmalar [örneğin 75,76,70] SKD modellerinin gelişiminde önemli hususların farkına varmışlardır. Bu modeller KD ve Stokastik yöntemleri kombine ederler.

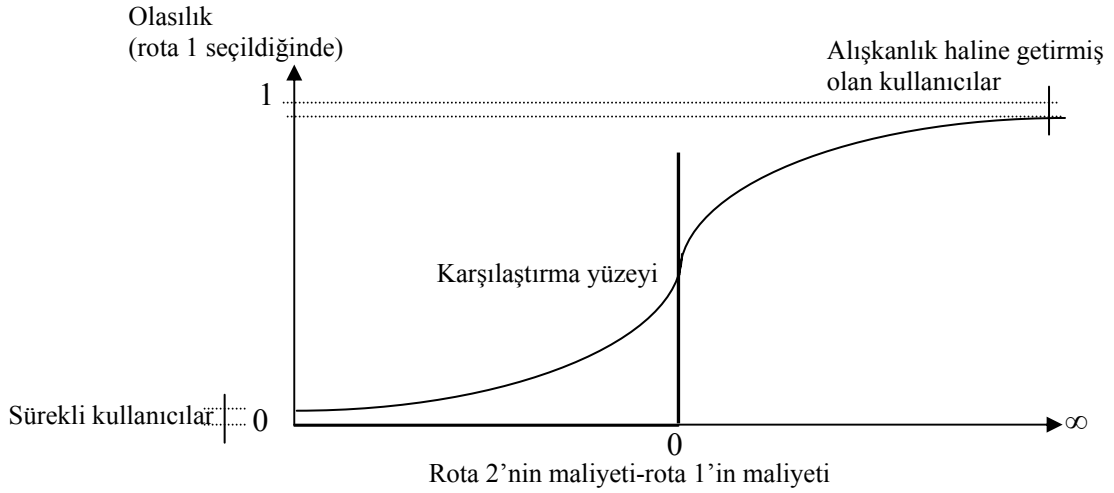
SKD modelinde, kullanıcılar ağ hakkında sadece sınırlı bilgiye sahiptirler ve seyahat maliyetlerindeki algılama hatalarına dayalı olarak rotaları seçerler. SKD modelleri, bir dağılım fonksiyonuna göre algılanan link maliyetlerinin çeşitli olarak atanması ile tüm kullanıcıların benzer şekilde davranmayacakları gerçeğini varsayarak geliştirilmişlerdir. SKD faydalara rasgele bileşen ilave eden rasgele fayda modeli fikrine dayalı bir denge oluşturur. Bu modellerde, sürücülerin rota seçimleri, stokastik yöntem olarak modellenir ve kapasite link-maliyet-akım ilişkisini esas alarak tanımlanır.

KD modelleri, seyahat edenlerin en az maliyetli yolları seçeceklerini varsayarken, SKD seyahat edenin hissedilen en az maliyetli yolu seçeceğini varsayar. KD ataması ile kıyaslandığında, SKD ataması gerçek duruma uygun rota seçimi davranışını sürücülere ilişkin eksik bilgileri hesaba katarak daha iyi modelleyebilir.

SKD ataması için, logit ve probit rota seçim modelleri olmak üzere iki yöntem kabul edilmiştir. Her ikisi de Şekil 4.6 da gösterildiği gibi rota seçimi davranışını tanımlayan pürüzsüz karşılaştırma yüzeyine karşılık gelir [2]. Logit model, bir eşdeğer optimizasyon problemi sunduğu için daha kolay kontrol edilebilir. Probit model, alternatif rotalar arasında korelasyona izin verebilir, fakat bilinmeyen eşdeğer optimizasyon problemine sahiptir.

Alternatif rotaların oluşması halinde bir rotanın seçilme olasılığı, alternatif rotaların maliyeti ile ilişkili olarak seçilecek rotanın maliyetine bağlıdır. Şekil 4.6 dan da görüldüğu gibi, eğimin artması 1 ve 2 alternatif rotalarının maliyet farkının artması, eğimin azalması ise maliyet farklarının azalması anlamına gelir. Uygun davranışa göre, karşılaştırma yüzeyi aşağıdaki iki özelliği sağlamalıdır:

- Herhangi bir rotanın seçilme olasılığı, o rotanın maliyeti ile düzgün değişmelidir, maliyet artarken düşmeli, maliyet azalırken yükselmelidir.
- Alternatif rotalar eşit maliyetli ise eşit seçilme olasılıklarına sahip olmalıdırlar.



Şekil 4.6 Stokastik kullanıcı denge ataması için pürüzsüz karşılaştırma yüzeyi.

Böyle bir karşılaştırma yüzeyi çok değişkenli logit model ile elde edilebilir. Van Vliet (1981), rota saymayı (elle rotaların önceden listelenme işi) gerektirmeyen bir şekilde linklere atama seçim olasılıklarını hesaplayan bir prosedürünü ortaya koymuştur [77]. Prosedürün içeriğine göre, başlangıçtan itibaren linklere minimum maliyetli artış olacak şekilde ilerleme olur. Algoritma bu yüzden her başlangıçtan herhangi bir bağlantı noktasına minimum maliyetli veriyi gerektirir.

SKD ataması modelinde, sürücülerin eksik bilgileri, aşağıdaki Denklem (4.11)'deki ε_p^{ij} algılama hatası ile modellenir.

$$C_p^{ij} = c_p^{ij} + \varepsilon_p^{ij} \quad (4.11)$$

Burada; C_p^{ij} = algılanan seyahat süresi

c_p^{ij} = gerçek seyahat süresi

ε_p^{ij} = ij BV çiftinin p rotasındaki seyahat süresi algılama hatasıdır.

ε_p^{ij} seyahat süresi algılama hatası, rota seçim olasılıkları ile bulunur. Bunlar da SKD modelinin logit SKD modeli ve probit SKD modeli fonksiyonları ile elde edilebilir.

4.2.1 Logit SKD Modeli

Logit SKD modelinde, BV çifti arasındaki rota seyahat süresi algılama hatası (ε_p^{ij}), Gumbel dağılımı ile sözü edilen hemen hemen bağımsız dağıtılmış değişken olduğu varsayılır. Gumbel dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF) şöyle ifade edilir:

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha \left(x - \frac{\gamma}{\alpha}\right)} e^{-e^{-\alpha \left(x - \frac{\gamma}{\alpha}\right)}}, \quad -\infty < x < \infty \quad (4.12)$$

Burada, γ Euler sabitidir, örneğin 0.577216

α negatif olmayan dağılım parametresidir.

Logit SKD çözümü için, modelin formülasyon karşılığı Fisk (1980) tarafından ileri sürülmüştür ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\text{Min } Z(v_k) = \frac{1}{\alpha} \sum_{ij} \sum_p h_p^{ij} \ln h_p^{ij} + \sum_k \int_0^{v_k} t_k(v_k) dv_k \quad (4.13)$$

$$\sum_p h_p^{ij} = q_{ij}, \quad \forall ij \quad (4.14)$$

$$h_p^{ij} \geq 0, \quad \forall p, ij \quad (4.15)$$

$$v_k = \sum_{ij} \sum_p h_p^{ij} \delta_{kp}^{ij}, \quad \forall k \quad (4.16)$$

Burada, α dağılım parametresi

$V_k = k$ linki üzerindeki akım

$t_k(v_k) = v_k$ link akımı iken a linki üzerindeki seyahat süresi

$h_p^{ij} = ij$ BV çifti arasındaki p rotası üzerindeki akım

$q_{ij} = ij$ BV çifti arasındaki toplam seyahat talebidir.

$\delta_{kp}^{ij} = 1$ (Eğer ij BV çifti arasındaki p rotası k linkini kullanıyorsa)

$\delta_{kp}^{ij} = 0$ (Eğer ij BV çifti arasındaki p rotası k linkini kullanmıyorsa).

Denklem (4.14) ile (4.16) arasındaki kısıtlar, KD probleminin Denklem (4.2) ile (4.4) arasındaki kısıtları ile aynıdır.

Logit SKD modelinin avantajı, rota seçim olasılıkları aşağıdaki denkleme yakın formda hesaplanabilir.

$$P_p^{ij} = \frac{e^{-\alpha c_p^{ij}}}{\sum_i e^{-\alpha c_i^{ij}}} q_{ij} \quad (4.17)$$

Burada, q_{ij} = başlangıç i den varış j ye başlayan seyahatlerin toplam sayısı

c_p^{ij} = ij BV çifti arasında p rotası üzerindeki gerçek seyahat süresi

P_p^{ij} = ij BV çifti arasında p rotasının seçilme olasılığı

Denklem (4.13) ile (4.16) arasındaki modelin stokastik özelliği, α parametresi ile ifade edilebilir. α sonsuza yaklaştığında amaç fonksiyonu (4.13) sıfıra yaklaşır. Denklem (4.13)-(4.16) arasındaki kısıtlar, denklem (4.1)-(4.4) arasında gösterildiği gibi standart KD kısıtlarına dönüşür, yani deterministik olur. Eğer α sıfıra doğru azalırsa yani rasgele olma özelliği sıfıra doğru yaklaşırsa deterministik durumdan stokastik duruma yaklaşırlar, B-V çifti akımı q_{ij} ağa düzenli olarak atanır.

Şunu söyleyebiliriz ki, logit SKD modellerinde rota akımları arasındaki kovaryans sıfırdır. Başka bir ifadeyle, logit SKD modellerinde alternatif rotalar arasında korelasyon yoktur. Bu yüzden, logit SKD modelleri, alternatif rotalar bağımsız olduğunda ve kovaryans bilgisi gerekli olmadığında uygundur [78].

Son zamanlarda, teorik problemlerin üstesinden gelmek için bazı logit modeller önerilmiştir. Bu modeller C-Logit model [79], cross-nested logit model [80] ve kombinatoriel logit model [81].

4.2.2 Probit SKD Modeli

Probit SKD modelinde Denklem (4.11) deki ε_p^{ij} (algılama hatası) için çok değişkenli olasılıksal normal dağılım uygulanır. Normal dağılımın olasılık fonksiyonu şöyle ifade edilir:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad -\infty < x < \infty \quad (4.18)$$

Burada, μ ortalama değer

σ^2 normal dağılım değişkeni varyansıdır.

Logit SKD modelinden farklı olarak, probit SKD modeli makul rota akım çiftlerinde sonuçlanır. Ayrıca, probit model daha genel kovaryans matris yapısına sahiptir ve alternatif rotalar diğerinden bağımsız olmadığında bile uygundur.

Eğer link seyahat süresi fonksiyonu ayrılabilir (bir link üzerindeki seyahat süresi sadece link üzerindeki akım ile belirlenirse) ve B-V matrisi belirlenmişe, probit SKD genel SKD problemini çözmek için Sheffi (1985) tarafından ileri sürülen yöntem Denklem (4.19) ile ifade edilir.

$$\text{Min } Z(v_k) = -\sum_{ij} q_{ij} S_{ij}(v_k) + \sum_k v_k t_k - \sum_k \int_0^{v_k} t_k(v_k) dv_k \quad (4.19)$$

Burada, $v_k = k$ linki üzerindeki akım

$t_k = k$ linki üzerindeki seyahat süresi

$q_{ij} = ij$ BV çifti arasındaki seyahat talebi

$S_{ij} = ij$ BV çifti arasında beklenen minimum seyahat süresidir.

Sheffi ve Powell (1982) tarafından, link seyahat süresi fonksiyonunun, link akımı ile artması halinde, SKD çözümleri için Denklem (4.19)'un link akımlarında tek olduğu bulunmuştur [82]. Logit SKD modelinde, rota seçim olasılığı Denklem (4.17) kullanılarak kolaylıkla hesaplanabilir. Halbuki, probit-tip SKD atama probleminde rota seçim olasılığı f_k^{ij} için uygun form yoktur [83]. Link/rota seçim olasılığını elde etmek gibi probit SKD problemini çözmek için genellikle üç yaklaşım uygulanır. Bunlar, simülasyon, analitik yaklaşım ve sayısal integrasyondur [82,84]. The Monte Carlo simülasyon tekniği ve Clark (1961)'in yaklaşık yaklaşımı Sheffi ve Powell (1982) tarafından tartışılmıştır [85]. Sezgisel probit-tip SKD atama yöntemi, Clark'ın yaklaşımına dayalı olarak Maher ve Hughes (1997) tarafından ileri sürülmüştür fakat çözümlenemeyen problemle karşılaşılabılır [86]. Sezgisel olduğu için kesin sonuç değildir. Rosa ve Maher (2002) tarafından çeşitli analitik yaklaşım

yöntemleri araştırılmıştır. Probit SUE modelinin başka bir avantajı, link akımları üzerindeki varyans ve kovaryans matrisi ve seyahat süresi elde edilebilir [84].

Logit ve probit modelleri arasındaki seçim hata teriminin dağılımına bağlıdır. İki model arasındaki diğer bir farklılık ise, bağımlı değişkenin özelliği ile ilgili yapılan varsayımdır. Probit modeli kullanıldığında, bağımlı değişkenin sürekli bir değişken olduğu varsayılmaktadır, logit modelinde ise bağımlı değişkenin aralıklı bir değişken olduğu varsayılır. İki model çoğu zaman benzer sonuçlar verdiği için, model seçimi genelde araştırmacının tercihine kalmıştır [87].

Ağ koşulları altında kullanıcının rota seçimi davranışını varsayan SKD modelinin performans güvenilirlik modelinde birleştirilebildiği ifade edilmiştir. Sağlanan bilginin etkileri, rota seçiminin iki farklı grubuyla (bilgilendirilmiş sürücüler ve bilgilendirilmemiş sürücüler) SKD modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Sağlanan bilginin genellikle ağ performansının güvenilirliğini artırdığı bulunmuştur [88].

4.3 Sistem Optimum Atama

Wardrop'un *ikinci ilkesine* göre, sistemin yöneticileri rota maliyetlerini minimum etmeye çalışırlar. Bu durum, tüm sistemin en etkili kullanımını sağlamak için ve tüm sistemin yararına olacak şekilde, her kullanıcının kendi rotasını seçmede mantıklı davrandığı anlamına gelir, bu da sistem optimum (SO) olarak tanımlanır. SO atama modelinde, rota seçiminde tüm sürücülerin en kolay ulaşılan alternatifleri izleyebildiği varsayılır. Tarif edilen rota, tüm sürücülerin toplam seyahat sürelerini minimize edecek şekilde sistemci tarafından belirlenir. SO, tıkanıklığın minimize edildiği bir model olarak düşünülebilir. SO atama, seyahat edenlerin tercihlerini dikkate almadan tüm seyahatlerin mutlaka bir danışman tarafından yönetilebildiği durumlarda uygundur. SO atamaya ulaşmak için seyahat edenler, link maliyet fonksiyonlarının tıkanıklık süresi ile tanımlanan ortalama maliyete nazaran, ekstra ortaya çıkabilecek seyahatlerin link seyahat sürelerini etkilediği marjinal maliyete göre linklere atanmalıdırlar. Açıkçası, bu gerçeğe uygun davranış gösteren bir model değildir, fakat ulaşım planıcıları ve mühendisleri için minimum seyahat maliyetlerine

ulaşarak trafiği yönetmeye çalışmak ve böylece en iyi sosyal dengeye ulaşmak amacıyla kullanılabilir.

SO için denge kısıtları aşağıda belirtildiği gibidir.

$$\text{Min } Z_{SO} = \sum_k v_k t_k(v_k) \quad (4.20)$$

$$\sum_p h_p^{ij} = q_{ij}, \forall ij \quad (4.21)$$

$$h_p^{ij} \geq 0, \forall p, ij \quad (4.22)$$

$$v_k = \sum_{ij} \sum_p h_p^{ij} \delta_{kp}^{ij}, \forall k \quad (4.23)$$

Burada, $v_k = k$ linki üzerindeki trafik hacmi

$t_k(v_k) = v_k$ link akımı iken k linki üzerindeki seyahat süresi

$h_p^{ij} = ij$ BV çifti arasındaki p rotası üzerindeki akım

$q_{ij} = ij$ BV çifti arasındaki toplam seyahat talebidir

$\delta_{kp}^{ij} = 1$ (Eğer ij BV çifti arasındaki p rotası k linkini kullanıyorsa)

$\delta_{kp}^{ij} = 0$ (Eğer ij BV çifti arasındaki p rotası k linkini kullanmıyorsa).

Denklem (4.20) ile (4.23) arasındaki kısıtlar, KD probleminin Denklem (4.2) ile (4.4) arasındaki kısıtları ile aynıdır.

4.4 Hep ya da Hiç Atama Modeli

En basit rota seçimi ve atama yöntemi hep ya da hiç atamadır. Bu yöntem tıkanıklık etkilerinin olmadığını varsayar ve bütün sürücüler rota seçimi için aynı özellikleri dikkate alırlar, rotaları aynı yönde algılar ve değerlendirirler. Tıkanıklık etkilerinin olmaması link maliyetlerinin uygun olduğu anlamına gelir. Bütün sürücülerin aynı maliyeti algılaması herhangi bir B-V noktası için sürücüler aynı rotayı seçerler demektir. En kısa rotalar bulunduktan sonra her B-V arasındaki tüm trafik akımları en kısa rotalara yüklenir. Böylece her link üzerinde diğer V noktalarına giden toplam trafik akımı bulunur. Farklı maliyetlerde birkaç alternatif rotaya sahip olan tıkanık olmayan ağlar için uygun çözümler beklenir. Hep ya da hiç atama, pek çok atama tekniği için temel model olarak yardımcı olur.

4.5 Link Seyahat Maliyetleri

B-V çiftleri arasındaki seyahatler (araç /saat) için verilen talep, trafik atama problemi ile bir davranışsal hipoteze göre düğüm noktaları ve linklerden oluşan belirli rotalara yüklenir. Ulaşım araştırmalarında en yaygın hipotez, kullanıcıların seçtikleri rotalar ile bağdaşan minimum maliyeti aramalarıdır. Bunun için başlangıçta link seyahat maliyetlerinin ve buna bağlı olarak da linklerden oluşan rota seyahat maliyetlerinin belirlenmesi gereklidir. Rota seçimini etkileyen faktörler dikkate alındığında maliyet fonksiyonunu belirlemek neredeyse imkansız olacak şekilde zordur.

Link seyahat maliyetleri sabit değildir, trafik hacmine göre değişir. Link seyahat maliyetleri, trafik hacimlerine bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanabilir. Maliyet fonksiyonlarına göre, her link, üzerindeki tıkanıklık etkileri düşünülerek farklı parametrelere sahip olabilir. Ayrıca, maliyet fonksiyonlarının tıkanıklığa karşı hassasiyeti, her araç sınıfı için farklı olabilir. Denge trafik atama maliyet fonksiyonlarından en yaygın olarak kullanılan BPR [89] fonksiyonudur. BPR fonksiyonu karayolu ağında her bağlantı yolu için olağan dışı hacim ve seyahat süresi arasındaki ilişkiyi ele alarak Denklem (4.24) ile ifade edilir.

BPR fonksiyonu

$$c_k = c_{0k} \left[1 + \alpha \left(v_k / Q_{pk} \right)^\beta \right] \quad (4.24)$$

Burada c_k =yüklenmiş hacimde, k linki üzerinde her birim mesafede link seyahat maliyeti (dakika)

c_{0k} =k linki üzerindeki serbest akım seyahat süresi (dakika)

v_k =k linki üzerindeki yüklenen akım (araç/saat)

Q_{pk} =k linkinin pratik kapasitesi (araç/saat)

α ve β = link maliyetinin kalibrasyon parametreleridir (default değerler

$\alpha = 0.15$ ve $\beta = 4.0$).

BPR fonksiyonu için α , β kalibrasyon parametreleri ve link kapasitesi seçilir. Son zamanlardaki çalışmalar, α ve β sabitleri için farklı değerlerin kullanılabileceğini göstermiştir. Bunun için α ve β için önerilen değerler çok şeritli yollar için ve tek şeritli karayolları için Tablo 4.2 de görüldüğü gibi çeşitlilik gösterir.

Tablo 4.2 α ve β parametreleri için önerilen değerler [90].

	α için önerilen değerler	β için önerilen değerler
Çok şeritli yollar için	0.71~1.00	2.1~5.04
Tek şeritli yollar için	0.56~0.88	3.6~9.8

Karayolu bağlantı yolu kapasitesi, model ağı için gerekli bir veridir. Bağlantı yolu kapasiteleri, kapasiteye yakın hacimler için bağlantı yolu seyahat süreleriyle (hızlarıyla) uyum göstermek için kullanılır. Bağlantı kapasiteleri şerit sayılarının bir fonksiyonudur fakat pik saat faktörleri, kavşak kontrol tipleri, ağır taşıt yüzdeleri vb. diğer faktörler tarafından etkilenirler. Bir ağda her bağlantı yolu için gerçek kapasiteleri belirlemek tamamen zaman harcamadır. Bunun yerine, şerit sayısına, bölge tipine bağlı olarak bağlantı yolları için genelleştirilmiş kapasiteler belirlenmiştir. Çeşitli bölge tipleri için örnek saatlik kapasiteler aşağıda Tablo 4.3 de verilmiştir [90], çalışmada 1800 araç/saat olarak kullanılmıştır.

Tablo 4.3 Çeşitli bölge tipleri için örnek kapasiteler [90].

Şerit tipi	Bölge tipi	Her şerit başına saatlik kapasite (araç/saat)
Hizmet seviyesi yüksek karayolu	Şehirçi/Şehirlerarası	1800
Bölünmüş çift şeritli karayolu	Şehirlerarası	1800
Bölünmüş çift şeritli karayolu	Şehirçi	1600
Çift şeritli yol	Şehirçi/Şehirlerarası	1500
Tek şeritli sinyalize kavşak yaklaşımı	Şehirçi/Şehirlerarası	825
Çift şeritli sinyalize kavşak yaklaşımı	Şehirçi/Şehirlerarası	825
Toplayıcı-dur kontrollü kavşak	Şehirçi/Şehirlerarası	750

4.6 Rota Maliyetleri

Rota maliyetleri, link maliyetlerinin serisel toplamıdır. Rota p nin i den j ye maliyeti Denklem (4.25) ile ifade edilir.

$$c_{pij} = \sum_k a_{kpij} c_k \quad (4.25)$$

Burada, a_{kpij} =link-rota belirleme matrisinin bir elemanıdır, elemanlar 1 ve 0 dan oluşur, önceden belirlidir.

Çok değişkenli logit modele göre, i den j ye seyahat için p rotasının seçilme olasılığı,

$$\text{Olasılık}(p \text{ seçilen}/ij) = \frac{e^{-\alpha c_{pij}}}{\sum_p e^{-\alpha c_{pij}}} \quad (4.26)$$

Burada, α dağılım parametresidir. Dağılım parametresi, maliyete göre seçim hassasiyetini etkiler:

$\alpha=0$ ise, $e^0=1$ çıkar, rota seçimi maliyete karşı duyarsızdır ve her rota seçilebilir. Yoldaki kullanıcılar arasındaki algılama hataları çok yüksek yani stokastik durum söz konusu demektir.

$\alpha=\infty$ ise, seçim en az maliyetli rotada toplanır yani sürücüler en az maliyetli rotaya yüklenir, deterministik durum söz konusu demektir.

B-V noktaları arasında birçok rota olabileceğinden, bulunan denklemin daha kullanılabilir hale gelmesi için Denklem (4.27) ile ifade edilir.

$$\text{Olasılık}(p \text{ seçilen}/ij) = \beta e^{\left(-\alpha \sum_k a_{kpij} c_k\right)} \quad (4.27)$$

$$\text{Burada, } \beta = \frac{1}{\sum_p e^{\left(-\alpha \sum_k a_{kpij} c_k\right)}} \quad (4.28)$$

Bu yüzden,

$$\text{Olasılık}(p \text{ seçilen}/ij) = \beta e^{\left(-\alpha a_{1pij} c_1\right)} e^{\left(-\alpha a_{2pij} c_2\right)} \dots e^{\left(-\alpha a_{Kpij} c_K\right)} \quad (4.29)$$

Burada, K ağdaki link sayısıdır.

Her linkin ağırlığı $= e^{(-\alpha c_k)}$ şeklinde ifade edilir. Verilen bir B-V çiftini bağlayan herhangi bir rota boyunca linklerdeki ağırlıkların çarpılması ile, rotanın seçilme olasılığına orantılı β hesaplanır. Bu Dial algoritmasının esasıdır[74].

$$W_{mn} = \begin{cases} e^{-\alpha c_{mn}} & \text{eğer bir link, } m \text{ ve } n \text{ düğüm noktalarını bağlarsa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Burada, c_{mn} n den m ye olan linklerin maliyetidir.

Bu durumda m ve n düğüm noktaları arasında;

$$\text{Herhangi iki linkli rotada seyahat etme olasılığı} = w = \sum_{l=1, N} w_{ml} w_{ln} \quad (4.30)$$

$$\text{Herhangi üç linkli rotada seyahat etme olasılığı} = w^2 = \sum_{k=1, N} \sum_{l=1, N} w_{mk} w_{kl} w_{ln} \quad (4.31)$$

Bu durumda link sayısına bakmaksızın m ve n düğüm noktaları arasındaki seyahat olasılığı, Denklem (4.32) ile ifade edilir [91].

$$N = W + W^2 + W^3 + \dots = (I - W)^{-1} - I \quad (4.32)$$

4.7 Sonuç

Trafik atama modelleri, yol seçim davranışları için seçilen prensipler ne olursa olsun, ulaşım modellerinin temel bileşenidir. Atama modelleri için, B-V matrisleri en önemli girdilerden biridir. Tıkanıklığa konu olan ulaşım ağlarında, rotalardaki trafik akımının tahmini için, ağ denge modelleri kullanılır. Denge trafik atama modelleri Kullanıcı dengesi (KD) ya da deterministik kullanıcı dengesi (DKD), Stokastik kullanıcı dengesi (SKD) ve Sistem optimum (SO) olmak üzere üç tipte sınıflandırılabilir. Wardrop'un *birinci ilkesine* göre, kullanıcılar kendi seyahat sürelerini minimize edecek şekilde kullanacakları rotayı seçerler. Her B-V çifti için tüm kullanılan rotalar üzerindeki seyahat süresi eşittir ve hiç kullanılmayan rota üzerindeki maliyet veya seyahat süreleri diğer kullanılan rotalara göre daha fazladır. Bu, KD olarak tanımlanır. KD ataması, seyahat edenlerin davranışını gerçeğe uygun şekilde tam olarak yansıtmaz. Çünkü rota seçim kararları, çeşitli kişisel farklılıkların söz konusu olduğu algılanan seyahat süreleri ya da seyahat maliyetlerine bağlıdır. Üstelik bazı sürücüler en kısa seyahat süresi ya da en az maliyetli rotayı yanlış tahmin ederler ya da zaman ve maliyet fonksiyonları ile elde edilmemiş bir yol seçerler. KD ataması, seyahat edenlerin rota seçim maliyetlerinin algılamasını

hemen hemen eşit kabul ettiği için, sonuçta algılama hataları ortaya çıkar. İki rotanın eşit maliyete sahip olduğu noktada, seçim olasılığı tanımsızdır. Bu, kullanıcı denge ataması ile zorlukların birini ifade eder, yani verilen bir B-V çifti arasında dengedeki bütün kullanılan rotalar, eşit maliyete sahiptir, fakat rota maliyetleri eşit olduğunda karşılaştırma yüzeyi, rotalar arasında trafik paylaşımının tanımlı olmayabildiğini gösterir. Bu yüzden, genelde kullanıcı dengesinde rota akımları tek olarak tanımlı değildir, rota akımları sonsuzdur. Stokastik modeller, sürücülerin seyahat süresi ya da maliyetini algılamalarındaki farklılıkları göz önünde bulundurlar. Bu modellerde, sürücülerin rota seçimleri, stokastik yöntem olarak modellenir ve kapasite link-maliyet-akım ilişkisini esas alarak tanımlanır.

KD modelleri, seyahat edenlerin en az maliyetli yolları seçeceklerini varsayarken, SKD seyahat edenin hissedilen en az maliyetli yolu seçeceğini varsayar. KD ataması ile kıyaslandığında, SKD ataması gerçek duruma uygun rota seçimi davranışını sürücülere ilişkin eksik bilgileri hesaba katarak daha iyi modelleyebilir.

SKD ataması için, logit ve probit rota seçim modelleri olmak üzere iki yöntem kabul edilmiştir. Logit SKD modellerinde alternatif rotalar arasında korelasyon yoktur. Bu yüzden, logit SKD modelleri, alternatif rotalar bağımsız olduğunda uygundur. Probit SKD modeli uygun rota akım çiftlerinde sonuçlanır. Ayrıca, probit model daha genel kovaryans matris yapısına sahiptir ve alternatif rotalar diğerinden bağımsız olmadığında bile uygundur. Logit ve probit modelleri arasındaki seçim hata teriminin dağılımına bağlıdır. Probit modeli kullanıldığında, bağımlı değişkenin sürekli bir değişken olduğu varsayılmaktadır, logit modelinde ise bağımlı değişkenin aralıklı bir değişken olduğu varsayılır. İki model çoğu zaman benzer sonuçlar vermektedir.

Wardrop'un *ikinci ilkesine* göre, sistemin yöneticileri rota maliyetlerini minimum etmeye çalışırlar. SO atama modelinde, rota seçiminde tüm sürücülerin en kolay ulaşılan alternatifleri izleyebildiği varsayılır. SO, tıkanıklığın minimize edildiği bir model olarak düşünülebilir. SO atama, seyahat edenlerin tercihlerini dikkate almadan tüm seyahatlerin mutlaka bir danışman tarafından yönetilebildiği durumlarda uygundur.

Tıkanıklık etkilerinin olmaması, link maliyetlerinin uygun olduğu anlamına gelir. Bu durumda, en basit rota seçimi ve atama yöntemi hep ya da hiç atamadır. Bu yöntem tıkanıklık etkilerinin olmadığını varsayar ve bütün sürücüler rota seçimi için aynı özellikleri dikkate alırlar. Bütün sürücülerin aynı maliyeti algılaması herhangi bir B-V noktası için sürücüler aynı rotayı seçerler demektir. Farklı maliyetlerde birkaç alternatif rotaya sahip olan tıkanık olmayan ağlar için uygun çözümler beklenir. Hep ya da hiç atama, pek çok atama tekniği için temel model olarak yardımcı olur.

5. TRAFİK ATAMA PROBLEMİ İÇİN ÇÖZÜM ALGORİTMALARI

Trafik atama adımında, seyahat dağılımı modelleri ile geliştirilen B-V seyahat matrisleri ağı yüklenirler. Bu yükleme, B-V akımlarını bağlayan ağın belirli rotalarını en az seyahat maliyeti kriteri altında seçen algoritmalar yardımıyla çözülür.

Ulaşım ağlarına akımların atanması için çeşitli yaklaşımlar vardır. Trafik atama yöntemlerindeki gelişme iteratif yöntemlerin ortaya çıkması ile daha da artmıştır. Trafik atama problemi için çözüm algoritmaları aşağıda belirtilmiştir.

- Arttırarak yükleme algoritması
- Frank-Wolfe algoritması
- Ardışık ortalamalar yöntemi (AOY) algoritması

Arttırarak yükleme algoritması, her seyahat eden seyahat süresini minimum edecek şekilde bir rota seçer kabulüne ilave olarak seyahat sürelerinin link üzerindeki akımlara bağlı olarak değişiklik gösterdiğini varsayar. Atama esnasında linkler üzerindeki seyahat süresi kararlıdır varsayımı ile trafik hacmi atanır. Toplam seyahat matrisi çok sayıda küçük matrislere bölünür ve artan bir şekilde adım adım yüklenir. Her adımda en son yüklenen trafik hacmine göre link maliyetleri hesaplanır. Bu süreç bütün seyahatler yüklenene kadar devam eder. Bu yöntem, çok büyük sayıda seyahat hacmine sahip ağlar için kullanışlı değildir. Yerel ulaşım sistemlerinde otomobil akımlarını simule etmek için önerilir. Bu algoritma Wardrop'un denge koşulu ile uyumsuz [92].

Link seyahat sürelerindeki varsayımlar ve link seyahat sürelerinde sürücülerin algılama hataları esas alınarak, trafik atama modelleri deterministik ağ-deterministik kullanıcı dengesi (DA-DKD), deterministik ağ-stokastik kullanıcı dengesi (DA-SKD), stokastik ağ-deterministik kullanıcı dengesi (SA-DKD), stokastik ağ-stokastik kullanıcı dengesi (SA-SKD) şeklinde sınıflandırıldığında Frank-Wolfe

algoritması ve AOY algoritmaları ile çözümler önerilmiştir. DA'da rotanın tek bir seyahat süresi vardır; sürücü B-V arasındaki en kısa süreli rotayı seçer. Gerçekte SA'da rotanın seyahat süresi tek değildir, trafik hacimleri ile değişir; her sürücü dezavantajın en az olduğu rotayı seçer [93].

Beckmann vd. (1956) tarafından formüle edilen (DA-DKD) modeller ya da (SA-DKD) modeller Frank-Wolfe algoritması ile çözülebilir. Frank-Wolfe algoritması, ayrıştırma yolu ile, lineer olmayan optimizasyon problemini çözmek için genel prosedür olarak Frank ve Wolfe (1956) tarafından önerilmiştir [94]. Problem, bir lineer program veya rota araştırması şekline dönüştürülür. Lineer program adımı, amaç fonksiyonunun geliştirilmesi ile uygun yeni çözümler için bir araştırma sunduğundan “doğrudan bulma” olarak isimlendirilir. Rota araştırma adımı, yeni minimum amaç fonksiyonunu elde etmek için önceki sonuçlarla, geçerli doğrudan-bulma çözümünün ortalama ağırlıklarını belirler. Doğrudan-bulma adımı, uygun seyahat sürelerini varsayan en kısa yol algoritmaları (örneğin Dijkstra's algorithm) ile çözülür.

(DA-SKD) modeller ya da (SA-SKD) modeller için AOY (Sheffi ve Powell, 1982) genel bir çözüm algoritmasıdır [82]. AOY, Frank-Wolfe algoritmasından daha genel bir yaklaşımdır. Doğrudan-bulma adımını içerir, fakat rota araştırmasında ağırlığı hesaplamak yerine, AOY tahmin edilen uygun ağırlıkları kullanır. Kolay ve güvenilir bir yöntemdir. Bu çalışmada, aşağıda açıklanan ve örneklenen AOY algoritması kullanılarak denge optimizasyonunun amaç fonksiyonu iteratif olarak azaltılmaya çalışılmış ve çalışma ağına ait denge trafik akımları yüklemesi yapılmıştır.

5.1 Ardışık Ortalamalar Yöntemi Algoritması (AOY)

Denge atama problemi çözümü için, Powell ve Sheffi tarafından önerilen, AOY yöntemi geliştirilmiştir. Algoritmanın başlıca özelliği adım aralığı ile belirlemedir. Her iterasyonda en kısa rota algoritması ile tahmin edilen , B-V çiftleri arasındaki minimum seyahat süreli rotaya trafik hacmi yüklenir. Algoritmanın önemli bir

avantajı, Sheffi (1985) tarafından tanımlandığı gibi her rota seçimi modeli ile uyuşmasıdır [70]. AOY amaç fonksiyonunu kullanmadığı için, matematiksel ve benzeşime dayalı rota seçim modelleri ile uyuşabilir. Algoritmanın başka bir avantajı, sadece link akımlarını kullanarak tamamlanabilmesidir. AOY sadece bir sezgisel adım aralığı optimizasyon yöntemi olmasına rağmen, son zamanlarda bilgisayar teknolojisindeki ilerleme ile pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır. AOY, trafik akım simülasyonu için alternatif bir çözüm algoritması sağlayabilir.

AOY ile, minimum $f(h)$ gibi bir fonksiyon $\mathbf{b}=A_h$ kısıtına bağlı olarak çözülebilir. h 'ın her noktasında eğimin negatif olduğu kabul edilir, yani $-\nabla f(h) \rightarrow$ azalan yöndedir. Bir h^1 noktasından maksimum olası azalış, Minimum $h^T \nabla f(h^1)$ lineer programlama probleminin $\mathbf{b}=A_h$ kısıtına bağlı olarak çözülmesi ile bulunur.

Bu problem yardımcı bir problemden söz eder ve bu yardımcı problemin çözümü, h^* diye isimlendirilen yardımcı bir noktadır. Ardışık ortalamalar metodu, ardışık yardımcı noktaların ortalamasını alır. Her yardımcı nokta, yardımcı noktaların önceki ortalamalarına dayalı yardımcı problemin çözümüdür. Sonuç olarak, eğer h_n^* , n . yardımcı nokta ise N kadar iterasyona bağlı olarak aşağıdaki eşitlikler verilebilir.

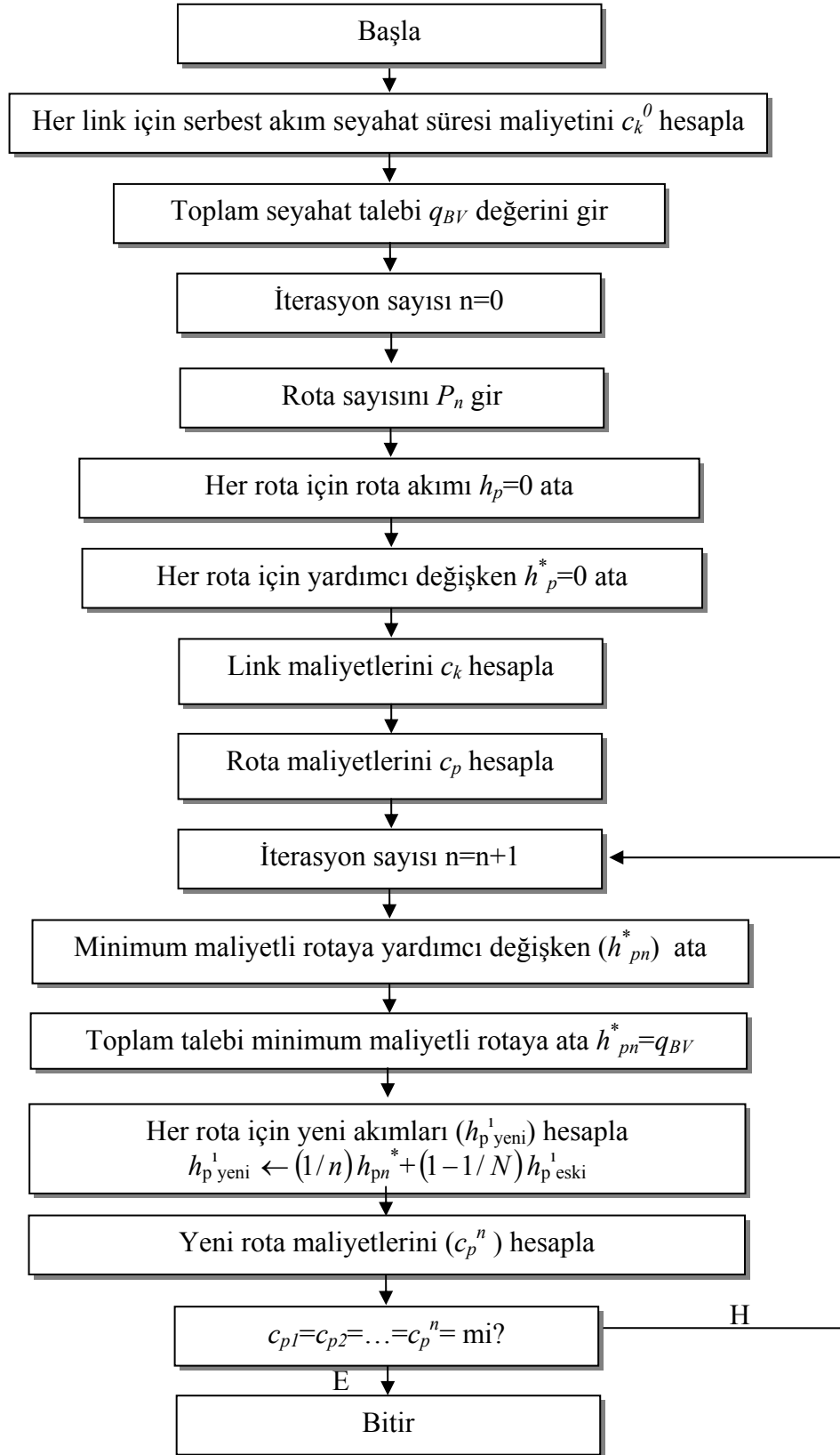
$$h^1 \leftarrow (1/N) \sum_{n=1}^N h_n^* \quad (5.1)$$

$$(1/N) \sum_{n=1}^N h_n^* = (1/N) h_N^* + (1/N) \sum_{n=1}^{N-1} h_n^* \quad (5.2)$$

$$h^1_{yeni} \leftarrow (1/N) h_N^* + (1-1/N) h^1_{eski} \quad (5.3)$$

Burada, h_N^* , yukarıda sözü edilen yardımcı problemin çözümü ile bulunur.

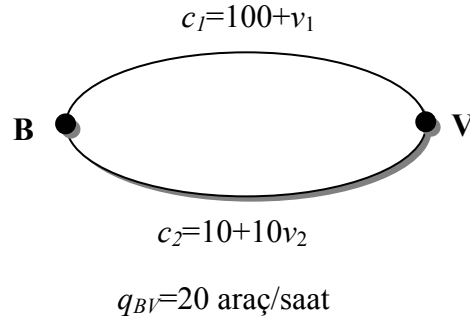
AOY algoritmasının uygulama adımları, Şekil 5.1 de verilen akış diyagramı ile açıklanmıştır.



Şekil 5.1 AOY akış diyagramı.

5.1.1 AOY Adımlarının Uygulanmasının Örnek Bir Ağ İçin Gösterilmesi

AOY birçok sayıda iterasyon sonucu eşitliğin sağlanması sebebiyle yavaş bir algoritma olabilir, fakat güvenilir bir yöntemdir. Ağın büyümesi ve B-V çiftlerinin artması durumunda, AOY ile link akımları ve link maliyetlerinin hesaplanması sürecinde oldukça çok sayıda iterasyon ile eşitlik sağlanabileceğinden, çalışmada makro yazılım geliştirilerek çalışma ağına ait çözüm yapılmıştır. AOY adımlarının uygulanmasını daha iyi açıklayabilmek için, az sayıda iterasyon ile atama çözümüne ulaşabildiğimiz Şekil 5.2 de görülen B-V çifti arasında iki linki olan küçük bir ulaşım ağı üzerinde uygulama verilmiştir. B-V çifti arasında meydana gelen toplam trafik akımı talebi $q_{BV}=20$ araç/saat olsun. Her link üzerinde meydana gelen link maliyet fonksiyonları c_1 ve c_2 olarak hesaplanmıştır. Analitik çözüm aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.2 AOY uygulamasının gösterildiği örnek ağ.

Çözüm:

Adım 1: Bütün link hacimlerinin sıfıra atanarak başlanması (başlangıçta her link için $v_k=0$)

İterasyon sayısını sıfır ile başlatmak ($n=0$)

Adım 2: $v_k=0$ iken tüm rotaların maliyetini bulmak

$n=0$, $v_1=0$, $v_2=0$ \implies $c_1=100$, $c_2=10$ olur.

Bütün akımı minimum maliyetli rotaya atamak $c_2 < c_1$ olduğuna göre trafik atamada bütün akım minimum maliyetli rotaya atanır.

Adım 3: İterasyon sayısını 1 artırmak

$$n=n+1=0+1=1$$

Adım 4: Minimum maliyetli rotaya yardımcı değişken atamak ($h^*=v_{\text{minimum}}$

maliyetli rota numarası= q_{BV})

$$h^*_1 = 0 \quad h^*_2 = 20 \quad \text{atanır.}$$

Yeni akımların hesaplanması Denklem (5.3)'den

$$v_1^1 = (1/1)*0 + [1-(1/1)]*0 = 0$$

$$v_2^1 = (1/1)*20 + [1-(1/1)]*0 = 20$$

Adım 5: Link maliyetlerinin (c_k^n) hesaplanması

$$c_1 = 100 + 0 = 100$$

$$c_2 = 10 + 10*20 = 210$$

Adım 6: Yakınsamanın kontrol edilmesi, eğer yakınsama yoksa n değeri 1 artırılarak iterasyona devam edilmesi.

$c_1 < c_2$ olduğundan iterasyona devam edilir.

2.iterasyon:

$n=2$ olur.

$y_1=20$, $y_2=0$ atanır.

$$v_1^2 = (1/2)*20 + [1-(1/2)]*0 = 10$$

$$v_2^2 = (1/2)*0 + [1-(1/2)]*20 = 10$$

$$c_1 = 100 + 10 = 110$$

$$c_2 = 10 + 10*10 = 110$$

Link maliyetlerinde yakınsama sağlanmıştır. Sonuç olarak, her rotanın maliyeti ve her rotanın akımı hesaplanmıştır.

5.2 En Kısa Rota Algoritmaları

Herhangi bir bağlantı noktaları ya da B-V çiftleri arasında en kısa (genel olarak en az maliyetli) rotayı bulma, pek çok ağ akım programlama yöntemindeki önemli bir adımdır. En kısa rotayı bulma deterministiktir. En kısa rotayı algılamaktan kaynaklanan hatalar stokastiktir. En kısa rota algoritması, deterministik kullanıcı ağına uygulanır. Her algoritmanın kullandığı, bağlantı matrisi ve bağlantı noktası gerisi matrisi söz konusudur. Bu matrislerde,

N =bağlantı noktası sayısı,

Z =başlangıç-varış noktası sayısıdır.

Bağlantı matrisi, satır sayısı= $N+Z$, kolon sayısı= $N+Z$ ve elemanları c_{ij} olan bir matristir. Bağlantı matrisi için; eğer bağlantı noktası ya da B-V noktası i den, bağlantı noktası ya da B-V noktası j ye kadar link varsa, c_{ij} o linkin maliyetine atanır, böyle bir link yoksa çok büyük bir değere veya sonsuza atanır.

İşlem sırasında, eğer tahmin edilen bağlantıdan daha iyi veya yeni bağlantılar yapılırsa, bağlantı matrisinde yer alır. İşlem sürecinden sonra, bağlantı matrisi herhangi bir bağlantı noktası ya da B-V noktasından, diğer herhangi bir bağlantı noktası ya da B-V noktasına seyahatin minimum maliyetini verir.

Bağlantı gerisi matrisi, bağlantı matrisi ile aynı büyüklüğe sahiptir. İşlem sürecinden sonra, elemanı q_{ij} olan bu matris, bağlantı noktası ya da B-V noktası i den, bağlantı noktası ya da B-V noktası j ye kadar olan rotayı kullanan ve sondan bir önceki bağlantı noktasını veren matristir. Bağlantı gerisi matrisi, en uygun rotanın izlenmesini olanaklı kılar. Bu yöntem, Floyd (1962) ve Warshall (1962) tarafından geliştirilmiştir ve hesap adımları aşağıdaki gibidir [95,96].

Adım 1: Bağlantı ve bağlantı gerisi matrislerinin ilk değerlerine atanması.

Tüm bağlantı noktaları ya da B-V noktaları i ve j için,

$$q_{ij} \leftarrow i$$

Eğer bir link i j' ye katılıyorsa, $c_{ij} \leftarrow$ link maliyeti

aksi halde $c_{ij} \leftarrow \infty$

Adım 2: En az maliyetli rotanın bulunması

Tüm k bağlantı noktaları için,

k 'ya eşit olmayan tüm bağlantı noktaları ya da B-V noktaları i için,

k ya da i 'ye eşit olmayan tüm bağlantı noktaları ya da B-V noktaları i için,

Eğer $c_{ik} + c_{kj} < c_{ij}$ ise $c_{ij} \leftarrow c_{ik} + c_{kj}$ ve $q_{ij} \leftarrow q_{kj}$

Floyd-Warshall algoritması, bütün ya da çoğu bağlantı noktaları başlangıç olarak bağlanan ve bütün bağlantı noktaları arasında en az maliyetli rotaların gerekli olduğu ağlar için caziptir. En az maliyetli rotayı bulmak için alternatif daha etkili bir yaklaşım, Dijkstra tarafından en az maliyetli rota dallanması olarak yapılmıştır ve hesap adımları aşağıdaki gibidir.

5.2.1 Dijkstra Algoritması ile En Kısa Rotaların Bulunması

Dijkstra algoritması, kaynak düğümüyle ağdaki başka bir düğüm arasındaki en kısa yolu belirlemek üzere tasarlanmıştır [97]. Dijkstra algoritması gibi hızlı ve verimli dinamik programlama algoritmaları, ulaşım ağları için en iyi şekilde çalışır. Dijkstra algoritması, sadece pozitif maliyet fonksiyonları ile çalışır. Negatif dönüşlerin bulunduğu algoritmalarda çalışmaz, çünkü negatif dönüşler sonsuza ulaşan seyahat maliyetlerini içerir.

Adım 1: Bağlantı ve bağlantı gerisi matrislerinin ilk değerlerine atanması.

Tüm bağlantı noktaları ya da B-V noktaları i ve j için,

$q_{ij} \leftarrow i$

Eğer bir link i j 'ye katılıyorsa, $c_{ij} \leftarrow$ link maliyeti

aksi halde $c_{ij} \leftarrow \infty$

Adım 2: En az maliyetli rotanın bulunması

Tüm i B-V noktaları için,

$k \leftarrow i$

set V boştur

set E boştur

tekrar

set V 'ye k 'yı ekle

k 'ya bağlanan bütün j 'ler için

set E 'ye j 'yi koy

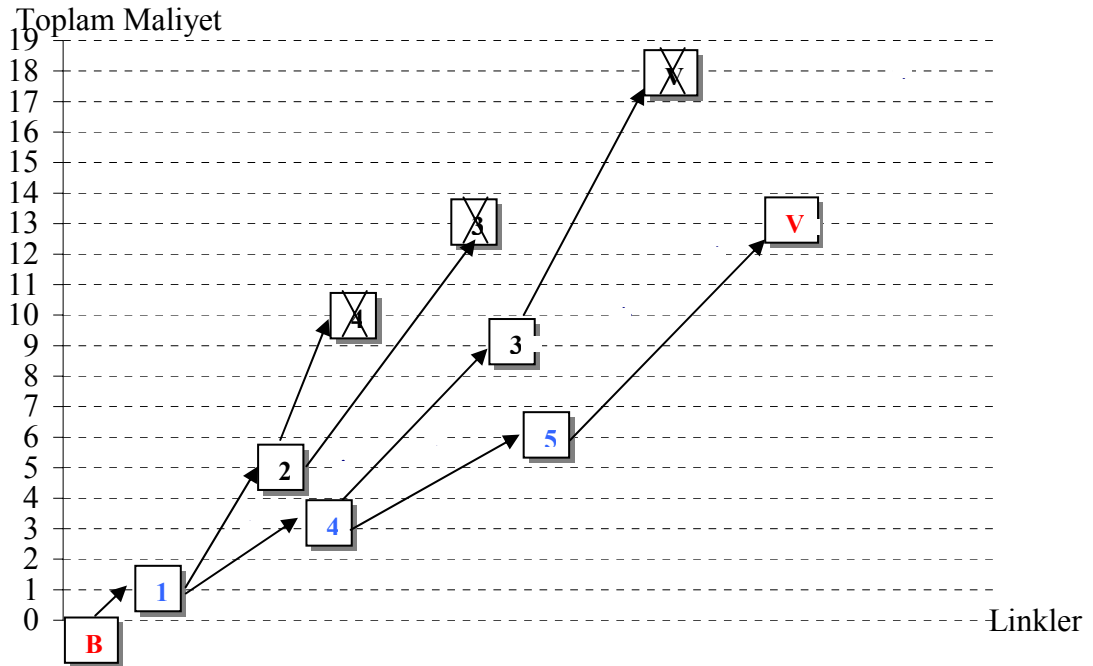
Eğer $c_{ik} + c_{kj} < c_{ij}$ ise $c_{ij} \leftarrow c_{ik} + c_{kj}$ ve $q_{ij} \leftarrow q_{kj}$

C_{ik} 'yi minimum yapmak için, E de k 'yi seç

V bütün bağlantı noktalarını içerene kadar devam et

Set V , ziyaret edilen bağlantı noktalarını içerir, her bağlantı noktası sadece bir kez ziyaret edilmiştir. Set E dallanmayla ulaşılan bağlantı noktalarını içerir. Dallanmayla ulaşılan her bağlantı noktasına en az maliyetle ulaşılır. Böylelikle herhangi bir B-V noktası arasındaki en düşük maliyetli rota belirlenir.

Algoritmanın uygulanmasını en yalın halde açıklayabilmek için, Şekil 4.3 deki örnek ağ ile ilişkili olarak, varsayılan link maliyetleri için uygulama Şekil 5.3 de verilmiştir.



Şekil 5.3 Dijkstra algoritması uygulanmasının şematik gösterimi.

En az maliyetli rota ağacı için, B noktasından 1 nolu düğüm noktasına ulaşıldıktan sonra 2 ve 4 nolu düğüm noktalarına dallanma olur. 2 nolu düğüm noktasından 3 ve 4 nolu düğüm noktalarına dallanma vardır. 4 nolu düğüm noktasına daha önce 1 noktasından ulaşıldığından maliyeti düşük olan dallanma geçerlidir. 3 nolu düğüm noktasından V noktasına ulaşılır. 4 nolu düğüm noktasından 3 ve 5 nolu düğüm noktalarına ulaşılır. Daha önce 3 noktasına ulaşılan maliyet yüksek olduğundan iptal edilir, düşük maliyetli olan geçerlidir. 5 nolu düğüm noktasından da V noktasına ulaşılır. Toplam maliyet en az olacak şekilde B-1-4-5-V şeklinde en kısa rota belirlenmiş olur.

Algoritma bir etiketleme prosedürü kullanır. Etiketleme şu şekilde yapılmaktadır:

u_i -----→ 1.düğümünden i .düğüme en kısa uzaklık,
 $d_{ij} (>=0)$ -----→ (i, j) bağlantısının uzunluğu olmak üzere;
 j düğümü için etiket:
 $[u_j, l] = [u_i + d_{ij}, l]$, $d_{ij} >=0$ şeklindedir.

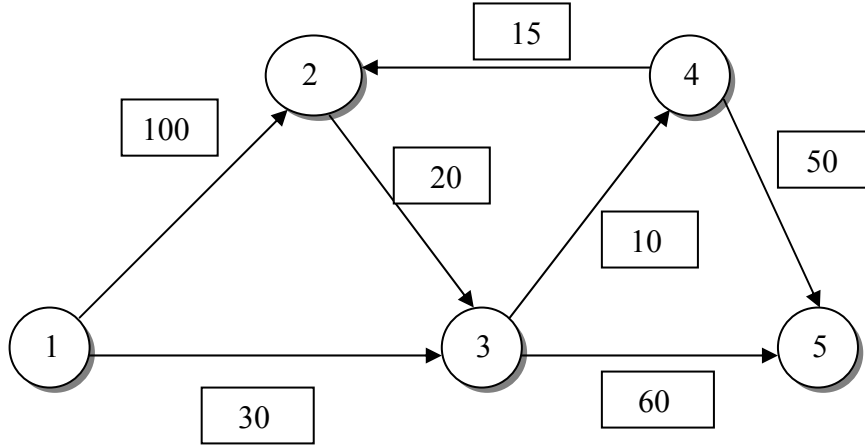
Düğüm etiketleri geçici ve kalıcı olarak işaretlenirler. Geçici etiket, aynı düğüme daha kısa bir yol bulunursa başka bir etiketle değiştirilir. Daha iyi bir yol bulunamayacaksa etiket kalıcı olarak işaretlenir. Algoritma adım adım şu şekilde açıklanabilir:

0.adım : 1.düğüm(başlangıç düğümü) kalıcı etiketle $[0,-]$ şeklinde işaretlenir.
 $i = 1$ dir.

i .adım :

- j 'nin kalıcı etiketlenmemiş olması koşuluyla, i . düğümden ulaşılabilen her j düğümü için geçici $[u_i + d_{ij}, l]$ etiketleri hesaplanır. j düğümü başka bir k düğümü içinde $[u_j, k]$ ile zaten etiketli ise ve $u_i + d_{ij} < u_j$ ise $[u_j, k]$, $[u_i + d_{ij}, l]$ ile değiştirilir.
- Tüm etiketler kalıcı ise işlem durdurulur. Aksi halde tüm geçici etiketler arasından $[u_r, s]$ nin en kısa mesafeli(= u_r) olanı seçilir(eşitlik varsa herhangi biri seçilebilir.) $i=r$ olarak atanır ve i . adım tekrarlanır.

Örneğin, etiketleme prosedürü kullanılarak Şekil 5.4 de verilen ağ için Dijkstra algoritması ile en kısa rota aşağıda anlatıldığı şekilde bulunabilir. Kutu içindeki sayılar mesafeleri göstermektedir.



Şekil 5.4 Etiketleme prosedürü ile dijkstra algoritması uygulanan örnek ağ.

0.adım: 1.düğümüne [0,-] kalıcı etiketi atanır.

1.adım: 2. ve 3. düğümlere 1.düğümünden (en son kalıcı etiketlenen) ulaşılır ve düğümler aşağıdaki gibi etiketlenir.

düğüm	etiket	statü
1	[0, -]	<i>kalıcı</i>
2	[0+100,1]=[100,1]	geçici
3	[0+30,1]=[30,1]	geçici

3.düğüm en kısa yolu verdiği için bir sonraki tabloda statüsü kalıcı olarak işaretlenecektir.

2. adım: 4. ve 5. düğümlere 3.düğümünden ulaşılmaktadır ve yeni etiketleme aşağıdaki gibidir.

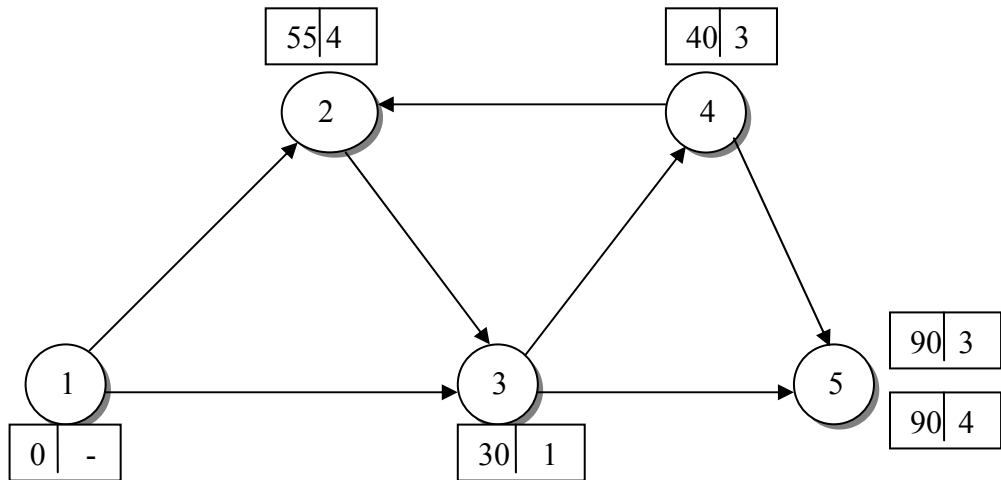
düğüm	etiket	statü
1	[0, -]	<i>kalıcı</i>
2	[100,1]	geçici
3	[30,1]	<i>kalıcı</i>
4	[30+10,3]=[40,3]	geçici
5	[30+60,3]=[90,3]	geçici

3.adım : 2. ve 5. düğümlere 4.düğümün ulaşılabilir. 4. düğümün statüsü değiştirilir.

düğüm	etiket	statü
1	[0, -]	<i>kalıcı</i>
2	[40+15,4]=[55,4]	geçici
3	[30,1]	<i>kalıcı</i>
4	[40,3]	<i>kalıcı</i>
5	[90,3]veya [40+50,4]=[90,4]	geçici

2.düğümün etiketi daha kısa yol bulunduğundan değiştirilir. 5. düğümüm 2 seçeneği vardır.

4.adım: 2. düğümden sadece 3. düğüme gidilebilir. 3.düğümün etiketi kalıcı olduğu için yeniden etiketlenemez.2.düğümdeki etiket de kalıcı olarak işaretlenir. 5. düğümden diğer düğümlere gidiş olmadığı için işlem tamamlanır.



1.düğüm ile ağdaki başka bir düğüm arasındaki en kısa yolu bulmak için, istenen varış düğümünden başlanır ve kalıcı etiketler kullanılarak geriye doğru gidilir.

Örneğin 1.düğümünden 2. düğüme giden en kısa rota;

(2) ----→ [55,4]----→ (4)----→ [40,3] ----→ (3) ----→ [30,1] ----→ (1)

Aranan yolun uzunluğu 1----→3----→ 4----→ 2 şeklinde olup toplam mesafe 55 km dir [98].

Çalışmada, Şekil 6.1 de görülen ulaşım ağı için, java programlama dili ile yazılmış Dijkstra algoritması uygulanarak, B-V çiftleri için en kısa rotalar belirlenmiştir. En kısa yol algoritması ve elde edilen sonuçlar Ek A da verilmiştir.

5.3 Sonuç

Seyahat dağılımı modelleri ile geliştirilen B-V seyahat matrisleri ulaşım ağına yüklenerek, en az seyahat maliyeti kriteri altındaki uygun rotalar, algoritmalar yardımı ile çözümlenir. Trafik atama problemi için geliştirilen çeşitli yaklaşımlar, artırarak yükleme algoritması, Frank-Wolfe algoritması, ardışık ortalamalar algoritması şeklinde belirtilmiştir. Artırarak yükleme algoritması, Wardrop'un denge koşulu ile uyuşmaz. Trafik hacmi yüksek olan ulaşım ağları için uygun değildir.

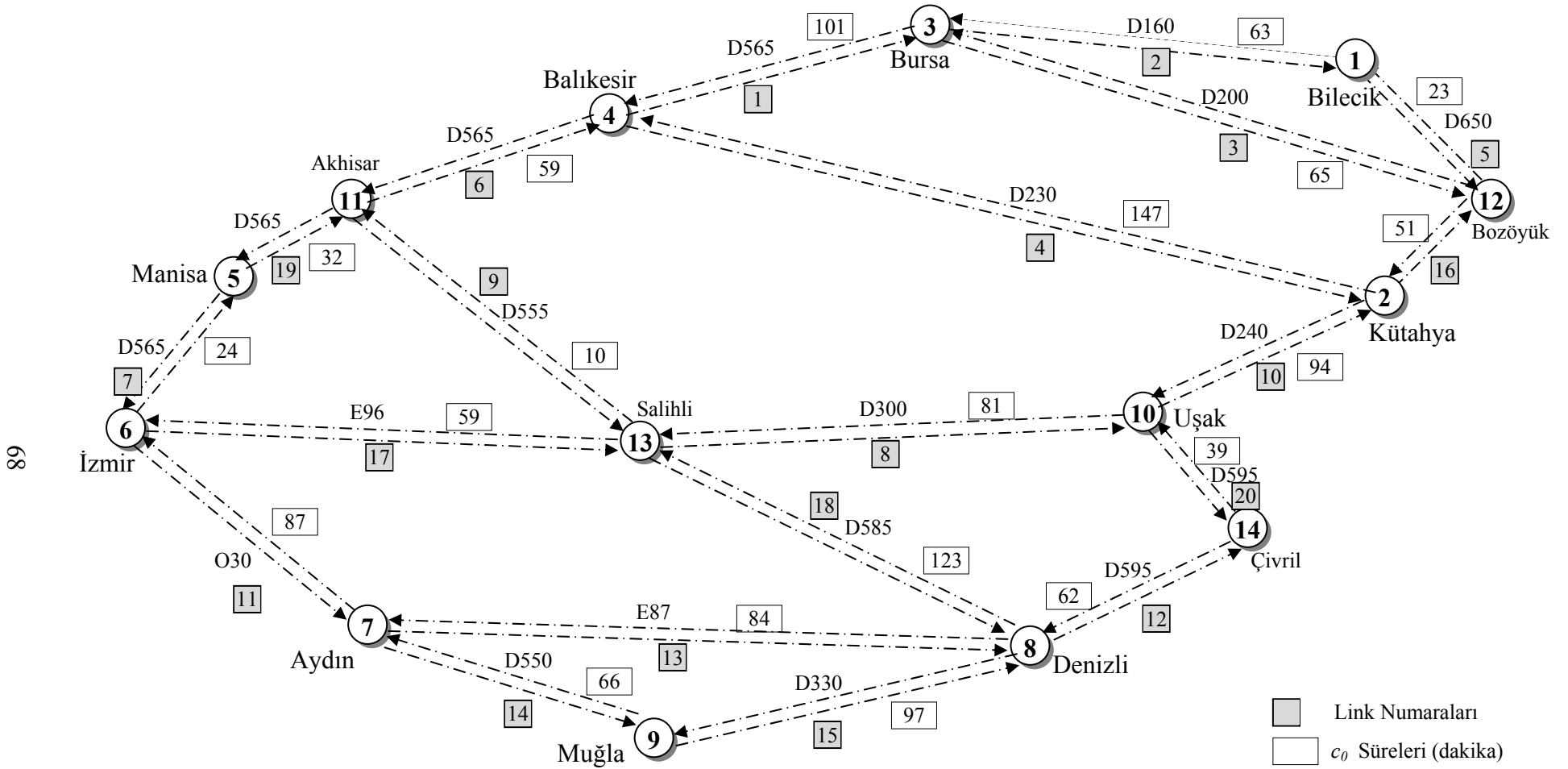
Link seyahat sürelerindeki varsayımlar ve link seyahat sürelerinde sürücülerin algılama hataları esas alınarak, trafik atama modelleri deterministik ağ-deterministik kullanıcı dengesi (DA-DKD), deterministik ağ-stokastik kullanıcı dengesi (DA-SKD), stokastik ağ-deterministik kullanıcı dengesi (SA-DKD), stokastik ağ-stokastik kullanıcı dengesi (SA-SKD) şeklinde sınıflandırıldığında Frank-Wolfe algoritması ve AOY algoritmaları ile çözümler önerilmiştir. (DA-DKD) modeller ya da (SA-DKD) modeller Frank-Wolfe algoritması ile çözülebilir. (DA-SKD) modeller ya da (SA-SKD) modeller için AOY genel bir çözüm algoritmasıdır. AOY, Frank-Wolfe algoritmasından daha genel bir yaklaşımdır. Kolay ve güvenilir bir yöntemdir. En kısa rota algoritması ile tahmin edilen, B-V çiftleri arasındaki minimum seyahat süreli rotalara trafik hacmi yüklenir. Bu çalışmada, AOY algoritması kullanılarak denge optimizasyonunun amaç fonksiyonu iteratif olarak azaltılmaya çalışılmış ve çalışma ağına ait denge trafik akımları yüklemesi yapılmıştır.

6. ULAŞIM PLANLAMASI SİSTEMİNİN ÇALIŞMA AĞINA UYGULANMASI

Ulaşım planlaması sistemi ile modelleme çalışması için, çalışma ağları trafik analiz bölgelerine bölünebilir ve çalışma alanı için tasarım yapılabilir. Bu husus göz önünde bulundurularak çalışmada, devlet karayolları ağının bütününün genel özelliklerini taşıyan bir bölümü için ulaşım planlaması sisteminin adımları uygulanmıştır. Öncelikle çalışma ağına ait, B-V seyahat talepleri çekim modeli ile bulunmuştur. Sonra belirlenen bu B-V seyahat talepleri ağa yüklenerek denge trafik atama modeli esas alınarak rota akımları ve link akımları hesaplanmıştır. Çalışma ağı üzerindeki B-V çiftleri arasında, bağlantıyı sağlayan 14 adet bağlantı noktası ve 20 adet link vardır. Çalışmada linklere ardışık numaralar verilmiş ve bu numaraların karşılık geldiği uluslararası yol numaraları ile ağın temel verileri Tablo 6.1’de sunulmuştur. Şekil 6.1’de çalışma ağı ve ağı oluşturan linklerin kullandıkları uluslararası yol numaraları görülmektedir.

Tablo 6.1 Çalışma ağının temel verileri.

Bağlantı Nokta Sayısı: 14 adet	Link Sayısı : 20 adet	B-V Çifti Sayısı : 45 adet
Uluslararası Yol Numaraları		Belirlenen Link Numaraları
D565		1
D160		2
D200		3
D230		4
D650		5-16
D565		6-7-19
D300		8
D555		9
D240		10
O30		11
D565		12-20
E87		13
D550		14
D330		15
E96		17
D585		18



Şekil 6.1 Çalışma ağı.

6.1 Akım ve Maliyet Değişkenleri

Akım değişkenleri için aşağıdaki notasyonlar uygulanmıştır:

$v_k = k$ linkindeki akım,

$h_p^{ij} =$ başlangıç i ve varış j arasında p rotası üzerindeki akım

$q_{ij} =$ başlangıç i ve varış j arasındaki akım (toplam talep)

Yukarıdaki değişkenlerin oluşturulmasını ifade etmek için vektör notasyonu kullanılmıştır. Vektörler transpoze olmadıkça değişkenlerin kolonlarıdır. Vektör, değişkenlerin dizilişini göstermek için transpoze edilmiştir. Örneğin,

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ v_K \end{bmatrix} \quad \mathbf{v}^T = [v_1, v_2, \dots, v_K] \quad \text{Burada } K \text{ linklerin sayısı, } T \text{ transpozedir,}$$

Rota akımları için, rotalar farklı ve ardışık olarak numaralandırılmıştır. Rota akımları durumunda;

$$\mathbf{h}^T = [h_{111}, h_{211}, \dots, h_{P11}, h_{121}, h_{221}, \dots, h_{P21}, \dots, h_{PIJ}]$$

Burada, $P =$ her başlangıç ve varış arasındaki rota sayısı

$I =$ başlangıçların sayısı

$J =$ varışların sayısı

$h_p^{IJ} =$ başlangıç I den varış J ye P rotasını kullanarak giden akımdır.

Seyahat tablosunda topluca gösterilen başlangıç ve varış arasındaki akımlar, aşağıdaki gibi vektör formatında ifade edilmiştir:

$$\mathbf{q}^T = [q_{11}, q_{12}, q_{13}, \dots, q_{1j}, \dots, q_{IJ}]$$

Burada, $I =$ başlangıç sayısı $J =$ varış sayısıdır.

Maliyet değişkenleri için aşağıdaki notasyonlar uygulanmıştır:

$c_k = k$ linki üzerindeki birim seyahat maliyeti

$c_p^{ij} =$ başlangıç i ile varış j arasında p rotası üzerindeki seyahatin birim maliyeti

$c_{ij} =$ başlangıç i den varış j ye olan seyahatin birim maliyeti

6.2 Çalışma Ağı Seyahat Üretiminin Belirlenmesi

Çalışmada, bugünkü seyahat talep matrisinin oluşturulabilmesi için, sentetik seyahat dağılımı modellerinden çekim modeli esas alınarak, geliştirilen yöntemle seyahat üretimi hesaplanmıştır. Seyahat üretiminin belirlenebilmesi için, ulaşım ağındaki bölgelere ait sosyo ekonomik faktörler göz önüne alınmıştır. Sosyo ekonomik faktörler olarak, nüfus oranı, yıllık nüfus artış hızı, kişi başı gayri safi yurtiçi hasıla oranı değerleri seçilmiştir. Sosyo ekonomik faktörlere göre tatonmanlar yapılarak, hesaplanan seyahat taleplerinin yakınlığının kıyaslanması ile gerçeğe en yakın seyahat talep değerleri elde edilmeye çalışılmıştır.

Bir i bölgesinden j bölgesine yapılan yolculuklar, bağlantı yolundaki YOGT değerleri ve bölgelerin seçilen sosyo ekonomik faktörleri verilerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Bunun için önce, çalışma alanına ait ulaşım bağlantı yolları üzerindeki YOGT değerleri elde edilmiştir [99]. Yerleşim merkezlerine giriş ve çıkışlardaki 2004, 2005, 2006, 2007 yıllarına ait YOGT değerlerinin ortalamaları alınarak çalışma alanı B-V çiftleri arasındaki YOGT değerleri belirlenmiştir (Tablo 6.2).

Tablo 6.2 B-V çiftleri arasında belirlenen YOGT değerleri (araç/gün).

B/V araç/gün	1 Bilecik	2 Kütahya	3 Bursa	4 Balıkesir	5 Manisa	6 İzmir	7 Aydın	8 Denizli	9 Muğla	10 Uşak
1 Bilecik	0	4127	2848	8874	11271	12586	13060	7554	6531	2743
2 Kütahya	4127	0	8522	3847	4673	7693	5774	4002	3652	2051
3 Bursa	2848	8522	0	14899	15482	16481	15978	14498	14254	5286
4 Balıkesir	8874	3847	14899	0	16065	17535	16409	6769	4860	9663
5 Manisa	11271	4673	15482	16065	0	20475	16638	13710	13457	15715
6 İzmir	12586	7693	16481	17535	20475	0	14720	12019	11703	13336
7 Aydın	13060	5774	15978	16409	16638	10470	0	9318	8686	14028
8 Denizli	7554	4002	14498	6769	13710	14720	9318	0	2951	5953
9 Muğla	6531	3652	14254	4860	13457	12019	8686	2951	0	2601
10 Uşak	2743	2051	5286	9663	15715	11703	14028	5953	2601	0

Belirlenen YOGT değerleri iki yöne ait seyahat talebinin toplamı olduğundan, günlük ortalama trafik hacminin tek yön için dağılımı, B-V çiftlerine ait *Nüfus (P)*, *Yıllık nüfus artış hızı (P_{ah})*, *Kişi başı gayri safi yurtiçi hasıla (KBGYH)* [100] kriterlerine dayalı olarak, geliştirilen makro yazılım ile ayrı ayrı tatonman yapılarak hesaplanmıştır. Bunun için izlenen yol şöyle açıklanabilir:

1. Tatonman: YOGT- P değerine bağımlı olarak bugünkü q_{ij} değerleri hesaplanmıştır. B-V çiftlerini oluşturan merkezlerin P değerleri için, çalışma yılı itibariyle yapılan son sayımlardaki (2007 yılı) toplam şehir nüfusları kullanılmıştır. Buna göre Denklem (6.1) ile ifade edilen formülasyon kullanılmıştır.

$$q_{ij} = YOGT * P_j / (P_i + P_j) \quad (6.1)$$

2. Tatonman: YOGT- P_{ah} değerine bağımlı olarak bugünkü q_{ij} değerleri hesaplanmıştır. Bunun için Denklem (6.2) den yararlanılmıştır.

$$q_{ij} = YOGT * P_{ah_j} / (P_{ah_i} + P_{ah_j}) \quad (6.2)$$

3. Tatonman: YOGT-KBGYH değerine bağımlı olarak bugünkü q_{ij} değerleri hesaplanmıştır. Bunun için Denklem (6.3) den yararlanılmıştır.

$$q_{ij} = YOGT * KBGYH_j / (KBGYH_i + KBGYH_j) \quad (6.3)$$

B-V çiftlerine ait seyahat taleplerinin üretilmesi için geliştirilen çözüm yöntemi ile, yapılan tatonman hesap sonuçları Tablo 6.3, 6.4, 6.5 de sunulmuştur. En uygun ve birbirine en yakın değerlerin 2. ve 3. tatonmanlarda hesaplandığı görülmüştür. 1. tatonman ve 3. tatonman sonuçları birbirlerine daha uzak değerlerdir. Bu bakımdan KBGYH ve P bağımsız değişkenlerinin, hesaplanan seyahat üretimindeki etkisini değerlendirmek için regresyon analizi yapılmıştır. Çalışma ağı B-V çiftlerinden Bursa Muğla için elde edilen sonuçlar Tablo 6.6'da sunulmuştur.

Tablo 6.3 YOGT-P değerine bağımlı bugünkü q_{ij} değerleri (araç/gün).

Nüfus (P) (Kişi)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Bilecik	Kütahya	Bursa	Balıkesir	Manisa	İzmir	Aydın	Denizli	Muğla	Uşak
	145 126	350 255	1979 999	649 423	841 059	3175 133	536 758	460 747	310 527	217 267
q_{ij} (araç/gün)										
1 Bilecik	0	2918	2654	7253	9612	12035	10280	5745	4451	1645
2 Kütahya	1209	0	7241	2499	3299	6928	3494	2274	1716	785
3 Bursa	195	1281	0	3680	4616	10147	3408	2737	1932	523
4 Balıkesir	1621	1348	11219	0	9065	14555	7425	2809	1572	2422
5 Manisa	1659	1374	10866	7000	0	16184	6482	4852	3629	3226
6 İzmir	551	765	6334	2980	4291	0	2130	1524	1043	855
7 Aydın	2780	2280	12570	8984	10156	8955	0	4304	3183	4042
8 Denizli	1809	1728	11761	3959	8858	12853	5014	0	1188	1908
9 Muğla	2080	1936	12321	3288	9828	10947	5503	1763	0	1071
10 Uşak	1098	1266	4764	7240	12489	10953	9986	4045	1530	0

Tablo 6.4 YOGT- P_{ah} değerine bağımlı bugünkü q_{ij} değerleri(araç/gün).

P Artışı (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Bilecik	Kütahya	Bursa	Balıkesir	Manisa	İzmir	Aydın	Denizli	Muğla	Uşak
	31,82	27,10	34,67	20,87	19,11	24,55	24,82	20,43	30,35	21,50
q_{ij} (araç/gün)										
1 Bilecik	0	1898	1485	3515	4229	5481	5723	2954	3188	1106
2 Kütahya	2229	0	4783	1674	1933	3657	2760	1720	1929	907
3 Bursa	1363	3739	0	5599	5501	6832	6666	5375	6653	2023
4 Balıkesir	5359	2173	9301	0	7679	9478	8914	3348	2879	4903
5 Manisa	7042	2741	9981	8386	0	11513	9400	7084	8258	8320
6 İzmir	7104	4037	9648	8057	8962	0	7400	5459	6470	6226
7 Aydın	7337	3014	9312	7495	7238	5206	0	4207	4778	6511
8 Denizli	4600	2282	9122	3420	6626	8034	5111	0	1763	3053
9 Muğla	3343	1722	7600	1980	5200	5375	3908	1187	0	1079
10 Uşak	1637	1144	3263	4759	7395	6239	7517	2901	1523	0

Tablo 6.5 YOGT-KBGYH değerine bağımlı bugünkü q_{ij} değerleri (araç/gün).

KBGYH (\$)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Bilecik	Kütahya	Bursa	Balıkesir	Manisa	İzmir	Aydın	Denizli	Muğla	Uşak
	2,584	1,805	2,507	2,005	2,459	3,215	2,017	2,133	3,308	1,436
q_{ij} (araç/gün)										
1 Bilecik	0	1697	1403	3877	5496	6978	5725	3416	3667	980
2 Kütahya	2430	0	4955	2025	2695	4927	3047	2168	2362	909
3 Bursa	1446	3567	0	6621	7666	9260	7124	6665	8108	1925
4 Balıkesir	4997	1823	8279	0	8849	10800	8229	3489	3026	4032
5 Manisa	5775	1978	7816	7215	0	11602	7498	6368	7719	5794
6 İzmir	5608	2766	7221	6735	8873	0	5675	4794	5935	4117
7 Aydın	7335	2727	8854	8180	9141	6434	0	4789	5396	5834
8 Denizli	4138	1834	7833	3280	7342	8849	4529	0	1794	2395
9 Muğla	2864	1289	6145	1834	5738	5924	3290	1157	0	787
10 Uşak	1763	1142	3361	5630	9921	8090	8194	3558	1814	0

Tablo 6.6 Bursa-Muğla için KBGYH ve P regresyon analizi.

Yıllara göre KBGYH değerleri	B-V seyahat		
	Bursa	Muğla	üretimi (araç/gün)
1987	2.253	2.299	7199,226
1988	2.498	2.332	6882,561
1989	2.816	2.678	6948,447
1990	3.868	3.347	6612,664
1991	3.607	3.146	6640,36
1992	3.753	3.466	6843,698
1993	4.327	3.729	6598,244
1994	2.906	3.088	7343,78
1995	3.660	3.707	7172,527
1996	3.548	4.223	7746,884
1997	3.442	4.071	7723,975
1998	3 706	4 736	7996,121
1999	3 270	3 976	7820,918
2000	3 491	4 253	7828,145
2001	2 507	3 308	8108,099

Yıllara göre Nüfus değerleri			B-V seyahat üretimi (araç/gün)
Yıllar	Bursa	Muğla	
1990	1.157.805	186.397	1976,565
2000	1.630.940	268.341	2013,885
2007	1.979.999	310.527	1932,417
2008	2.204.874	329.126	1851,366

ÖZET ÇIKIŞI (bağımsız değişken=KBGYH)					
<i>Regresyon İstatistikleri</i>					
Çoklu R					0,990974
R Kare					0,982029
Ayarlı R Kare					0,979034
Standart Hata					77,41289
Gözlem					15
ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık</i> <i>F</i>
Regresyon	2	3929766	1964883	327,8764	3,37E-11
Fark	12	71913,06	5992,755		
Toplam	14	4001679			

ÖZET ÇIKIŞI (bağımsız değişken=Nüfus)					
<i>Regresyon İstatistikleri</i>					
Çoklu R					0,997738
R Kare					0,99548
Ayarlı R Kare					0,986441
Standart Hata					8,139594
Gözlem					4
ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık</i> <i>F</i>
Regresyon	2	14592,48	7296,24	110,127	0,067229
Fark	1	66,25298	66,25298		
Toplam	3	14658,73			

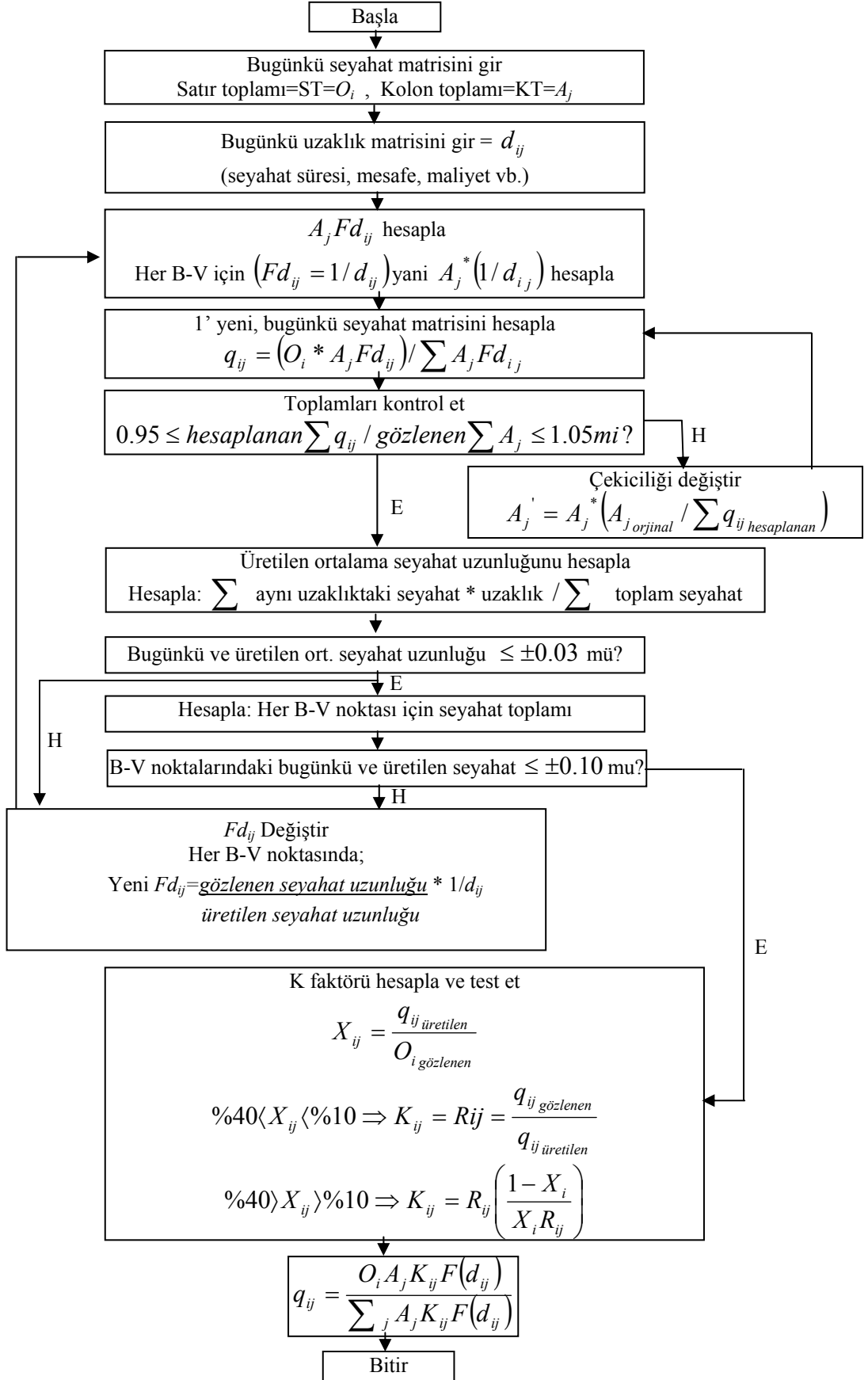
Regresyon analizi sonucu, her iki bağımsız değişken için de R Kare $\geq 0,95$ olduğundan, B-V seyahat üretimi KBGYH ve P bağımsız değişkenlerinden etkilenmektedir.

Bağımsız değişken=KBGYH iken *Anlamlılık F* =3,37E-11 < 0,05; Bağımsız değişken=P iken *Anlamlılık F* =0,067229 > 0,05 olarak hesaplanmıştır. KBGYH bağımsız değişkeni için *Anlamlılık F* uygun olduğundan model kabul edilebilir. Bunun için, YOGT-KBGYH değerlerine bağımlı olarak hesaplanan seyahat üretimine göre, çalışma ağına ait seyahat dağılımı yapılmıştır.

6.3 Çekim Yöntemi ile Seyahat Dağılımının Çalışma Ağına Uygulanması

Çekim Yöntemi ile seyahat dağılımının hesaplanabilmesi için, B-V çiftleri arasında uzaklık matrisinin ve önceki bölümde açıklanan seyahat üretiminin (Tablo 6.5) belirlenmiş olması gereklidir.

Çekim Yöntemine göre seyahat talebinin hesaplanmasına ait akış diyagramı Şekil 6.2 de görülmektedir. Trafik atamanın uygulanacağı çalışma ağı B-V matrisine ait seyahat talebi dağılımının Çekim Yöntemi ile bulunması için, makro yazılım geliştirilerek Çekim Yöntemi hesap adımlarına göre B-V çiftleri arasındaki talebin seyahat dağılımı yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 6.7 de verilmiştir.



Şekil 6.2 Çekim yöntemi ile hesap akış diyagramı.

Tablo 6.7 Çekim yöntemi ile hesaplanan bugünkü seyahat matrisi (araç/gün).

q_{ij} araç/gün	1 Bilecik	2 Kütahya	3 Bursa	4 Balıkesir	5 Manisa	6 İzmir	7 Aydın	8 Denizli	9 Muğla	10 Uşak
1 Bilecik	0	1702	1406	3893	5464	6988	5679	3425	3698	982
2 Kütahya	2431	0	4996	2026	2682	4915	3026	2169	2364	909
3 Bursa	1447	3571	0	6633	7610	9246	7067	6704	8177	1927
4 Balıkesir	5009	1827	8364	0	8792	10783	8175	3498	3033	4042
5 Manisa	5785	1982	7870	7229	0	11505	7440	6401	7749	5804
6 İzmir	5653	2776	7278	6744	8739	0	5695	4754	5953	4132
7 Aydın	7400	2731	8938	8211	9073	6296	0	4796	5403	5842
8 Denizli	4137	1834	7878	3278	7240	8952	4488	0	1793	2394
9 Muğla	2869	1291	6236	1837	5661	5922	3266	1158	0	789
10 Uşak	1770	1146	3373	5670	9899	8046	8177	3571	1821	0

Ulaşım planlamasında, denge trafik atamasında kullanılan link seyahat maliyetlerinin Denklem (4.24) ile ifade edilen BPR fonksiyonuna göre hesaplanmasında, link kapasitesi araç/saat birimindedir. Bu bakımdan Çekim Yöntemi ile hesaplanan B-V çiftleri arasındaki seyahat hacmi değerlerinin araç/saat olarak dönüşümü yapılmıştır. Saatlik trafik hacmi (STH), YOGT'nin yüzdesi olarak alınır ve ondalık sayı olan K ile ifade edilir. K faktörü yolun sahip olduğu çevresel yoğunluk arttıkça azalır. K faktörü kent dışı yollarda daha fazla, kentiçi yollarda daha düşük değere sahiptir. Kent dışı yollarda saatlik trafik hacmi, YOGT/10 alınmaktadır, yani saatlik trafik hacmi 1/24 yerine 1/10 alınarak artırılmaktadır. Ancak K=0.10 değeri oldukça düşük olup bir miktar daha fazla olması uygundur. Tablo 6.8 de yolun cinsine göre K faktörleri verilmiştir. Buna göre, çalışma ağına ait B-V (araç/saat) seyahat hacimleri K=0.25 olması halinde Tablo 6.9 da verildiği gibi hesaplanmıştır.

Tablo 6.8 K faktörünün sınır değerleri [101].

Yol Tipi	K Faktörü
Kent dışı	0.15-0.25
Kent girişi	0.12-0.15
Kentiçi	0.07-0.12

Tablo 6.9 Çekim yöntemi ile hesaplanan bugünkü seyahat matrisi (araç/saat).

q_{ij} araç/saat	1 Bilecik	2 Kütahya	3 Bursa	4 Balıkesir	5 Manisa	6 İzmir	7 Aydın	8 Denizli	9 Muğla	10 Uşak
1 Bilecik	0	425	352	973	1366	1747	1420	856	925	246
2 Kütahya	608	0	1249	506	670	1229	756	542	591	227
3 Bursa	362	893	0	1658	1903	2311	1767	1676	2044	482
4 Balıkesir	1252	457	2091	0	2198	2696	2044	874	758	1011
5 Manisa	1446	495	1967	1807	0	2876	1860	1600	1937	1451
6 İzmir	1413	694	1820	1686	2185	0	1424	1188	1488	1033
7 Aydın	1850	683	2234	2053	2268	1574	0	1199	1351	1460
8 Denizli	1034	458	1969	820	1810	2238	1122	0	448	599
9 Muğla	717	323	1559	459	1415	1481	817	290	0	197
10 Uşak	442	287	843	1417	2475	2012	2044	893	455	0

6.4 Trafik Atama

Çalışma ağına ait 45 B-V çifti için denge atama problemi AOY yöntemi ile çözülmüştür. AOY uygulaması için Şekil 5.1 de verilen akış diyagramına göre geliştirilen makro yazılım ile rota maliyetleri ve rota akımları hesaplanmıştır.

Trafik atamanın yapılabilmesi için gerekli olan, çalışma ağına ait link seyahat maliyetleri aşağıda anlatıldığı şekilde hesaplanmıştır.

6.4.1 Link ve Rota Seyahat Maliyetlerinin Hesaplanması

Link seyahat maliyetleri, seyahat dağılımı ile hesaplanan trafik hacimlerine bağlı olarak belirlenmiştir. Link maliyetlerinin bulunmasında, Denklem (4.24) de ifade edilen, denge trafik atama maliyet fonksiyonlarından en yaygın olarak kullanılan BPR fonksiyonu kullanılmıştır. Linklerin seyahat maliyetlerinin hesaplanması adımı, ağıdaki linkleri isimlendirmek için, her linke ait link numarası verilmiştir. Link üzerinde sıfır seyahat hacmi olması durumundaki seyahat süresi (c_0) Denklem (6.4) de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Bu hesaplama için makro yazılım geliştirilmiştir. Ortalama hız, 2007 trafik hacim bilgilerine göre

maksimum devlet yolu hız sınırı olarak belirlenen 90 km/saat alınmıştır. Çalışma ağına ait hesaplanan c_0 değerleri Tablo 6.10 da verilmiştir, ayrıca Şekil 6.1 de verilen çalışma ağı üzerinde gösterilmiştir.

$$c_{0(dakika)} = \frac{\text{link uzunluğu}(km) * 60}{\text{ortalama hiz}(km / saat)} \quad (6.4)$$

Tablo 6.10 Çalışma ağına ait c_0 değerleri.

c_0 (dakika)	1 Bilecik	2 Kütahya	3 Bursa	4 Balıkesir	5 Manisa	6 İzmir	7 Aydın	8 Denizli	9 Muğla	10 Uşak
1 Bilecik	0	73	63	164	254	278	350	266	363	167
2 Kütahya	73	0	115	147	211	223	277	193	289	94
3 Bursa	63	115	0	101	191	215	295	291	361	207
4 Balıkesir	164	147	101	0	91	115	195	192	261	150
5 Manisa	254	211	191	91	0	24	104	137	170	129
6 İzmir	278	223	215	115	24	0	87	149	153	141
7 Aydın	350	277	295	195	104	87	0	84	66	185
8 Denizli	266	193	291	192	137	149	84	0	97	101
9 Muğla	363	289	361	261	170	153	66	97	0	198
10 Uşak	167	94	207	150	129	141	185	101	198	0

Her rotanın maliyeti, rotayı kullanan link maliyetlerinin serisel toplamı ile elde edilmiştir. Bunun için aşağıda açıklandığı şekilde, link-rota belirleme matrislerinden yararlanılarak rotaların kullandıkları linkler belirlenmiştir. AOY algoritması kullanılarak rota maliyetlerindeki yakınsama sağlanana kadar iterasyona devam edilmiş ve yakınsama sağlandığında rota maliyetleri ile rota akımları hesaplanmıştır.

6.4.2 Belirleme Matrisleri

Belirleme matrisleri ağ elemanları ve diğer değişkenler arasında bir ilişkinin var olup olmadığını belirleyen ikili ya da üçlü değişkenlerdir. Belirleme matrisleri ağ topolojisini belirler. Bunlar, bağlantı noktası (node)-link belirleme matrisi, link-rota belirleme matrisi, başlangıç-varış (orijin-destinasyon) - rota belirleme matrisi şeklinde belirlenirler.

6.4.2.1 Link-Rota Belirleme Matrisi

$$a_{kp} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } p \text{ rotası } k \text{ linkini kullanırsa} \\ 0 & \text{eğer } p \text{ rotası } k \text{ linkini kullanmazsa} \end{cases}$$

link-rota belirleme matrisinin formu aşağıda verilmiştir.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1P} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & a_{2P} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{K1} & a_{K2} & \cdot & \cdot & a_{KP} \end{bmatrix}$$

Örnek olarak Şekil 4.3 deki ağın, öncelikle rotaların hangi linkleri kullandıkları belirlenerek aşağıda verildiği gibi link-rota belirleme matrisi yazılabilir.

$$\begin{array}{c} \text{(rotalar)} \\ 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \\ \text{(linkler)} \\ 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \end{array} \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Link rota matrisinden görüldüğü gibi, 1 rotası 1, 2, 3 ve 7 linklerini, 2 rotası 1, 2, 6 ve 9 linklerini, 3 rotası 1, 4, 8 ve 9 linklerini, 4 rotası 1, 4, 5, 6 ve 9 linklerini, 5 rotası 1, 3, 4, 5 ve 7 linklerini kullanmaktadırlar.

Link akımlarını hesaplamak için akımın korunması ilişkilerinden yararlanılmıştır. Çalışmada link-rota belirleme matrisinden yararlanılarak, denge atama probleminin çözümü için kullanılan AOY yöntemi ile hesaplanan rota

akımları, Denklem (6.5) de yerine konularak link akımlarının hesaplanması sağlanmıştır.

6.4.3 Akımın Korunması İlişkileri

Bütün iç bağlantı noktalarında akım korunur. Bu demektir ki, her içsel bağlantı noktasına giren akım çıkan akıma eşit olmalıdır. Herhangi bir link üzerindeki akım, linki kullanan tüm rotalar üzerindeki akımların toplamına eşittir. Bu durum Denklem (6.5) ile açıklanabilir [2];

$$\mathbf{v}=\mathbf{A}*\mathbf{h} \quad (6.5)$$

Burada, \mathbf{v} = link akımı

\mathbf{A} = link-rota belirleme matrisi

\mathbf{h} = rota akımları vektörüdür.

Şekil 4.3 deki örnek ağda B-V noktaları arasında beş rota ve dokuz link vardır. Bu ağa ait link akımları matrisi (\mathbf{v}), yukarıda verilen link-rota belirleme matrisi (\mathbf{A}) ve rota akımları vektörü (\mathbf{h})'nün çarpılması ile aşağıdaki şekilde elde edilmiştir;

$$\mathbf{v}=\mathbf{A}*\mathbf{h} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 \\ h_1 + h_2 \\ h_1 + h_5 \\ h_3 + h_4 + h_5 \\ h_4 + h_5 \\ h_2 + h_4 \\ h_1 + h_5 \\ h_3 \\ h_2 + h_3 + h_4 \end{bmatrix}$$

linkler üzerindeki akımlar,

$$v_1 = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$$

$$v_2 = h_1 + h_2$$

$$v_3 = h_1 + h_5$$

$$v_4 = h_3 + h_4 + h_5$$

$$v_5 = h_4 + h_5$$

$$v_6 = h_2 + h_4$$

$$v_7 = h_1 + h_5$$

$$v_8 = h_3$$

$$v_9 = h_2 + h_3 + h_4 \quad \text{şeklinde rota akımlarının serisel toplamı ile hesaplanır.}$$

Tüm bu hesaplamalar, çalışma ağındaki Bursa-Muğla B-V çifti için örnek analitik çözüm olarak aşağıda açıklanmıştır. Çalışma ağına ait 45 B-V çifti için geliştirilen makro yazılım ile elde edilen sonuçlar Ek B Tablo B.1 de sunulmuştur.

6.5 Örnek Uygulama (Bursa-Muğla B-V Çifti İçin)

Örnek bir çözüm olarak ağ üzerindeki Bursa-Muğla B-V çifti için link maliyetleri, rota maliyetleri, rota akımları ve link akımlarının hesaplanabilmesi için yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir. Bursa-Muğla B-V çifti için seyahat sayısı ve kullanılan rotalar ile, aşağıda verilen link-rota belirleme matrisinden yararlanılarak saptanan rotaların kullandıkları link numaraları Tablo 6.11 de görülmektedir.

Tablo 6.11 Örnek uygulamaya ait temel veriler.

Bursa-Muğla Hesaplanan Seyahat Sayısı ($q_{Bursa-Muğla}$)	2044 araç/saat (Tablo 6.8'den)
Rotalar (P)	Linkler
$P1$	1-6-19-7-11-14
$P2$	1-6-9-18-15
$P3$	3-16-10-20-12-15

Bursa-Muğla B-V çifti link-rota belirleme matrisi A:

(Rotalar)

$P_1 P_2 P_3$

(Linkler)

$$A = \begin{matrix} 1 \\ 3 \\ 6 \\ 7 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \\ 12 \\ 14 \\ 15 \\ 16 \\ 18 \\ 19 \\ 20 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Link seyahat maliyetleri Denklem (4.24) ile ifade edilen BPR fonksiyonu ile hesaplanmıştır. Denge koşullarında rota maliyetleri eşit ($c_{p1} = c_{p2} = c_{p3}$) olmalıdır. Bursa-Muğla çifti için bağlantı sağlayan her rotanın maliyeti, rotaları kullanan link maliyetlerinin serisel toplamı ile aşağıda ifade edildiği gibi elde edilmiştir;

$$c_{p1} = c_{k1} + c_{k6} + c_{k19} + c_{k7} + c_{k11} + c_{k14}$$

$$c_{p2} = c_{k1} + c_{k6} + c_{k9} + c_{k18} + c_{k15}$$

$$c_{p3} = c_{k3} + c_{k16} + c_{k10} + c_{k20} + c_{k12} + c_{k15}$$

AOY algoritmasından yararlanılarak, denge koşullarında tüm rota maliyetlerinde yakınsama sağlandığında, toplam talebi karşılayan rotaların her birine ait rota akımları hesaplanmıştır. Çalışmada iterasyonlar sonucu rota maliyetlerindeki yakınsama kriteri, rota maliyetlerindeki eşitliğin standart sapması ≤ 0.2 olacak şekilde belirlenmiştir. Akımın korunma ilişkilerinde Denklem (6.5) de ifade edildiği şekilde link-rota belirleme matrisi ve rota akımları vektörünün çarpılması ile de link akımları elde edilmiştir.

(Rotalar)

$P_1 \ P_2 \ P_3$

(Linkler)

$$\mathbf{V} = \mathbf{A} * \mathbf{h} = \begin{matrix} 1 \\ 3 \\ 6 \\ 7 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \\ 12 \\ 14 \\ 15 \\ 16 \\ 18 \\ 19 \\ 20 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 + h_2 \\ h_3 \\ h_1 + h_2 \\ h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_1 \\ h_3 \\ h_1 \\ h_2 + h_3 \\ h_3 \\ h_2 \\ h_1 \\ h_3 \end{bmatrix}$$

6.5.1 Bursa-Muğla B-V Çifti İçin AOY ile Analitik Çözüm:

$q_{Bursa-Muğla} = 2044$ araç/saat (Tablo 6.8'den)

- **Adım 1:** Bütün link hacimlerinin sıfıra atanarak başlanması, İterasyon sayısını sıfır ile başlatmak

$$(n=0, \forall v = 0)$$

- **Adım 2:** $h_k=0$ iken tüm rotaların maliyetini bulmak

$$n=0, \quad h_1=0, \quad h_2=0, \quad h_3=0$$

$$c_{p1} = c_{k1} + c_{k6} + c_{k19} + c_{k7} + c_{k11} + c_{k14} = 369 \text{ dakika}$$

$$c_{p2} = c_{k1} + c_{k6} + c_{k9} + c_{k18} + c_{k15} = 390 \text{ dakika}$$

$$c_{p3} = c_{k3} + c_{k16} + c_{k10} + c_{k20} + c_{k12} + c_{k15} = 408 \text{ dakika}$$

- Bütün akımı minimum maliyetli rotaya atamak
 $c_{p1} < c_{p2} < c_{p3}$ olduğuna göre trafik atamada bütün akım minimum maliyetli rotaya yani en kısa yola P1'e atanır.

- **Adım 3:** İterasyon sayısını 1 artırmak
 $n=n+1=0+1=1$

- **Adım 4:** Minimum maliyetli rotaya yardımcı değişken atamak ($h^* = q_{BV}$)
 $h^*_1 = 2044$ araç/saat $h^*_2 = 0$ $h^*_3 = 0$ atanır.

- Yeni rota akımlarının hesaplanması Denklem (5.3)'den;

$$h^*_1 = \frac{1}{1} \times 2044 + \left(1 - \frac{1}{1}\right) \times 0 = 2044 \text{ araç / saat}$$

$$h^*_2 = \frac{1}{1} \times 0 + \left(1 - \frac{1}{1}\right) \times 0 = 0$$

$$h^*_3 = \frac{1}{1} \times 0 + \left(1 - \frac{1}{1}\right) \times 0 = 0$$

- Yeni link akımlarının hesaplanması Denklem (6.5)'den;

$$v_1 = h^*_1 + h^*_2 = 2044 \text{ araç / saat}$$

$$v_3 = h^*_3 = 0$$

$$v_6 = h^*_1 + h^*_2 = 2044 \text{ araç / saat}$$

$$v_7 = h^*_1 = 2044 \text{ araç / saat}$$

$$v_9 = h^*_2 = 0$$

$$v_{10} = h^*_3 = 0$$

$$v_{11} = h^*_1 = 2044 \text{ araç / saat}$$

$$v_{12} = h^*_3 = 0$$

$$v_{14} = h^*_1 = 2044 \text{ araç / saat}$$

$$v_{15} = h^*_2 + h^*_3 = 0$$

$$v_{16} = h^*_3 = 0$$

$$v_{18} = h^*_2 = 0$$

$$v_{19} = h^*_1 = 2044 \text{ araç / saat}$$

$$v_{20} = h^*_3 = 0$$

- **Adım 5:** Yeni rota maliyetlerinin (c_p^n) hesaplanması

$$c_{p1} = 461,03 \text{ dakika}$$

$$c_{p2} = 429,91 \text{ dakika}$$

$$c_{p3} = 408 \text{ dakika}$$

- **Adım 6:** Yakınsamanın kontrol edilmesi, eğer yakınsama yoksa n değeri 1 artırılarak iterasyona devam edilmesi.

$c_{p3} < c_{p2} < c_{p1}$ olduğundan iterasyona devam edilir, trafik atamada bütün akım $P3$ 'e atanır.

2.iterasyon:

$n=2$ olur.

$$h^*_1=0 \quad h^*_2=0 \quad h^*_3=2044 \text{ araç/saat atanır.}$$

- Yeni rota akımlarının hesaplanması Denklem (5.3)'den;

$$h^*_1 = \frac{1}{2} \times 0 + \left(1 - \frac{1}{2}\right) \times 2044 = 1022,50 \text{ araç / saat}$$

$$h^*_2 = \frac{1}{2} \times 0 + \left(1 - \frac{1}{2}\right) \times 0 = 0$$

$$h^*_3 = \frac{1}{2} \times 8177 + \left(1 - \frac{1}{2}\right) \times 0 = 1022,50 \text{ araç / saat}$$

- Yeni link akımlarının hesaplanması Denklem (6.5)'den;

$$v_1 = h^*_1 + h^*_2 = 1022,50 \text{ araç / saat}$$

$$v_3 = h^*_3 = 1022,50 \text{ araç / saat}$$

$$v_6 = h^*_1 + h^*_2 = 1022,50 \text{ araç / saat}$$

$$v_7 = h^*_1 = 1022,50 \text{ araç / saat}$$

$$v_9 = h^*_2 = 0$$

$$v_{10} = h^*_3 = 1022,50 \text{ araç / saat}$$

$$v_{11} = h^*_1 = 1022,50 \text{ araç / saat}$$

$$v_{12} = h^*_3 = 1022,50 \text{ araç / saat}$$

$$v_{14} = h^*_1 = 1022 \text{ araç / saat}$$

$$v_{15} = h^*_2 + h^*_3 = 1022,50 \text{ araç / saat}$$

$$v_{16} = h^*_3 = 1022,50 \text{ araç / saat}$$

$$v_{18} = h^*_2 = 0$$

$$v_{19} = h^*_1 = 1022,50 \text{ araç / saat}$$

$$v_{20} = h^*_3 = 1022,50 \text{ araç / saat}$$

- **Adım 5:** Yeni rota maliyetlerinin (c_p^n) hesaplanması

$$c_{p1} = 374,75 \text{ dakika}$$

$$c_{p2} = 394 \text{ dakika}$$

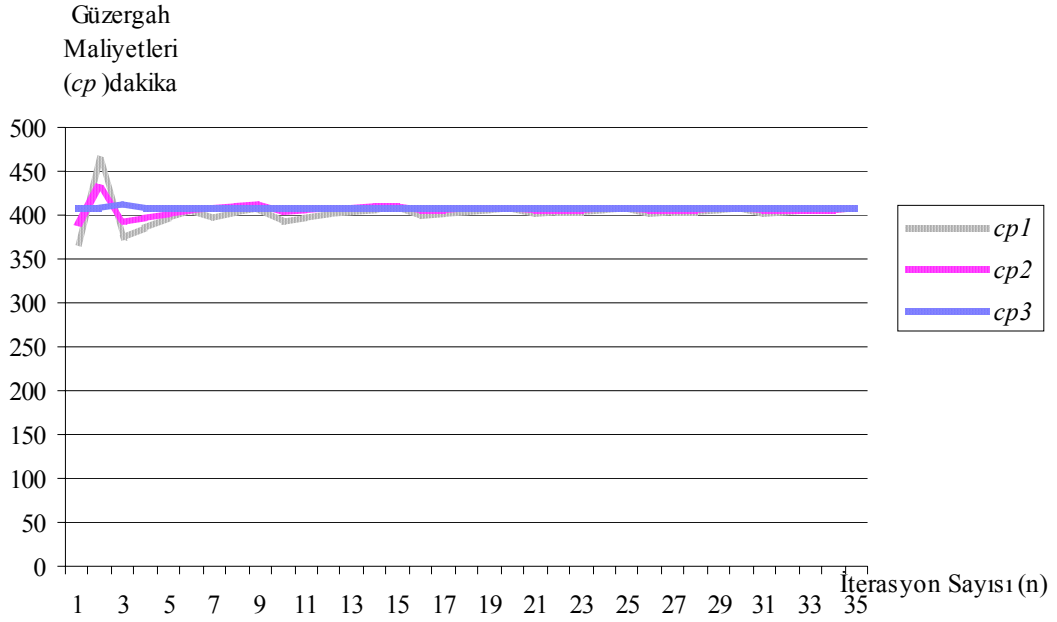
$$c_{p3} = 414,36 \text{ dakika}$$

Link maliyetlerinde yakınsama henüz sağlanamamıştır, iterasyona devam edilecektir. Sonuç olarak, iterasyon sağlandığında, her rotanın maliyeti ve her rotanın akımı hesaplanmıştır.

Yukarıda verilen örnekte de görüldüğü gibi, yakınsama sağlanana kadar iterasyon sayısı oldukça büyük değerlere ulaşacaktır. Ağın büyümesi ve B-V çiftlerinin artması ile bu hesaplama ağırlaşacağı için Şekil 5.1 de verilen akış diyagramına göre geliştirilen makro yazılım kullanılmıştır. Çalışma ağındaki 45 adet B-V çiftine ait, rotaları kullanan tüm linklerin maliyetleri, rota maliyetleri, rota akımları ve link akımlarına ait sayısal sonuçlar link rota-belirleme matrisi, BPR maliyet fonksiyonu, AOY trafik atama çözüm algoritması ve akımın korunması ilişkilerinden yararlanarak elde edilmiştir. Tablo 6.12 de Bursa-Muğla B-V çifti için, AOY algoritması ile denge durumundaki trafik atama sonuçları görülmektedir. AOY algoritması ile atama sırasında seyahat maliyetlerinde yakınsama sağlanana kadar devam eden her bir iterasyon sonucu elde edilen rota maliyetlerindeki (c_{p1} , c_{p2} , c_{p3}) değişim grafik olarak Şekil 6.3 de gösterilmiştir. Bu değişim, rota maliyetlerindeki yakınsamanın sağlanması için gereken iterasyon sayısı (Bursa-Muğla B-V çifti için 35) kadar olmuştur. Denge durumuna ulaşana kadar elde edilen maliyet ve rota akımlarındaki iteratif değişim değerleri Tablo 6.13 de görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

Tablo 6.12 Bursa-Muğla AOY algoritma sonuçları.

Linkler	1	3	4	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20
	$c1_0$	$c3_0$	$c4_0$	$c6_0$	$c7_0$		$c9_0$	$c10_0$	$c11_0$	$c12_0$	$c14_0$	$c15_0$	$c16_0$	$c17_0$	$c18_0$	$c19_0$	$c20_0$
c_0 değerleri (dakika)	101	65		59	24		10	94	87	62	66	97	51		123	32	39
Rotaları kullanan link akımları V_k (araç/saat)	1683	361		1683	1623		60	361	1623	361	1623	421	361		60	1623	361
Rota akımları $h1$ (araç/saat)	1623		$h1 (n-1)$	1623	yardımcı değişken	$h1^*$	2044										
$h2$ (araç/saat)	60		$h2 (n-1)$	60		$h2^*$	0										
$h3$ (araç/saat)	361		$h3 (n-1)$	361		$h3^*$	0										
Linklerin maliyetleri c_k (dakika)	113	65		66	26		10	94	96	62	73	97	51		123	35	39
Rotalar	R1	R2	R3	STD													
Rota maliyetleri c_p (dakika)	408	408	408	0,17198			Min rota maliyeti	408									



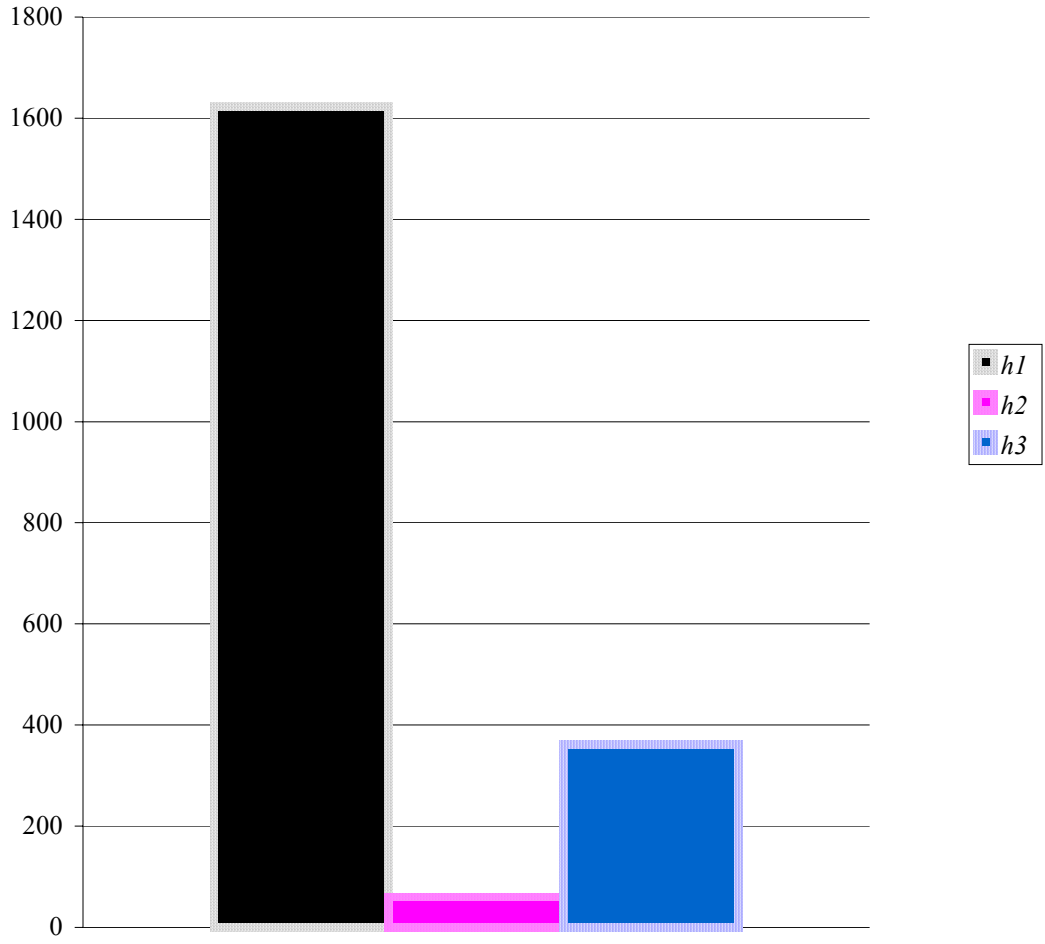
Şekil 6.3 Bursa-Muğla AOY trafik atama rota maliyetleri iteratif değişimi.

Tablo 6.13 Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımları değerleri.

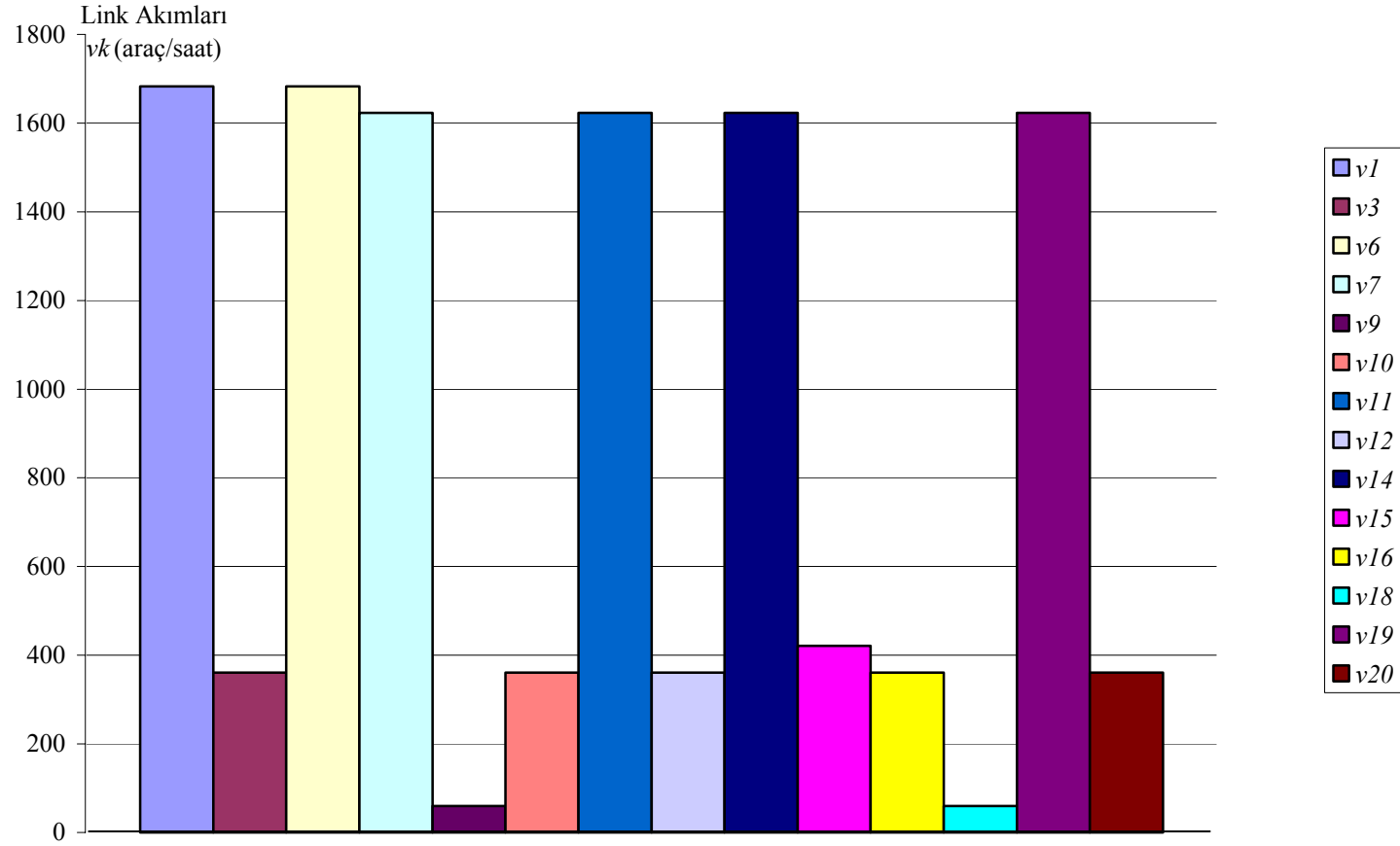
İterasyon	Rota Maliyetleri (dakika)			Rota Akımları (araç/saat)		
	cp_1	cp_2	cp_3	hp_1	hp_2	hp_3
1	461,03460	429,90660	408	2044,00	0,00	0,00
5	406,69737	406,38445	408,16281	1635,20	0,00	408,80
10	397,86167	406,54502	408,32007	1430,80	204,40	408,80
15	400,42142	406,46874	408,24645	1498,93	136,27	408,80
20	401,83937	406,44045	408,21861	1533,00	102,20	408,80
25	402,73678	406,42609	408,20437	1553,44	81,76	408,80
30	403,35507	406,4175	408,19582	1567,07	68,13	408,80
35	408,08582	408,39878	408,11869	1623,18	60,12	360,71

Algoritma sonucuna göre, Bursa-Muğla için belirlenen rota akımı değerlerine bakıldığında Şekil 6.4'de görüldüğü gibi, toplam seyahat talebinin en büyük bölümünün $P1$ 'e daha azının $P3$ 'e, en azının ise $P2$ 'ye yüklendiği görülmektedir. Şekil 6.5'de Bursa-Muğla B-V çifti için hesaplanan link akımları verilmiştir. Çalışma ağına ait hesaplanan tüm link akımları Ek C Tablo C.1'de sunulmuştur.

Güzergah Akımları
 hp (araç/saat)



Şekil 6.4 Bursa-Muğla denge durumundaki rota akımları (hp).



Şekil 6.5 Bursa-Muğla B-V çifti için hesaplanan link akımları (v_k).

Trafik hacimleri yıllık artışlar göstereceğinden, önerilen yöntemin güvenilirliğini test etmek için B-V çiftleri arasında seyahat dağılımı ile hesaplanan hacim değerleri değişik oranlarda artırılmış ve yöntemin çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir. %10-%20-%30 oranlarında artırılarak trafik atama yapılmış, artan trafik hacimlerine göre denge durumundaki trafik atama tekrar belirlenmiştir. Bursa-Muğla çifti için algoritma ile hesaplanan denge durumundaki link maliyetleri ve link akımları Tablo 6.14 de sunulmuştur. Şekil 6.6 da artan trafik yüklemesi durumunda link akımlarında oluşan değişimler verilmiştir.

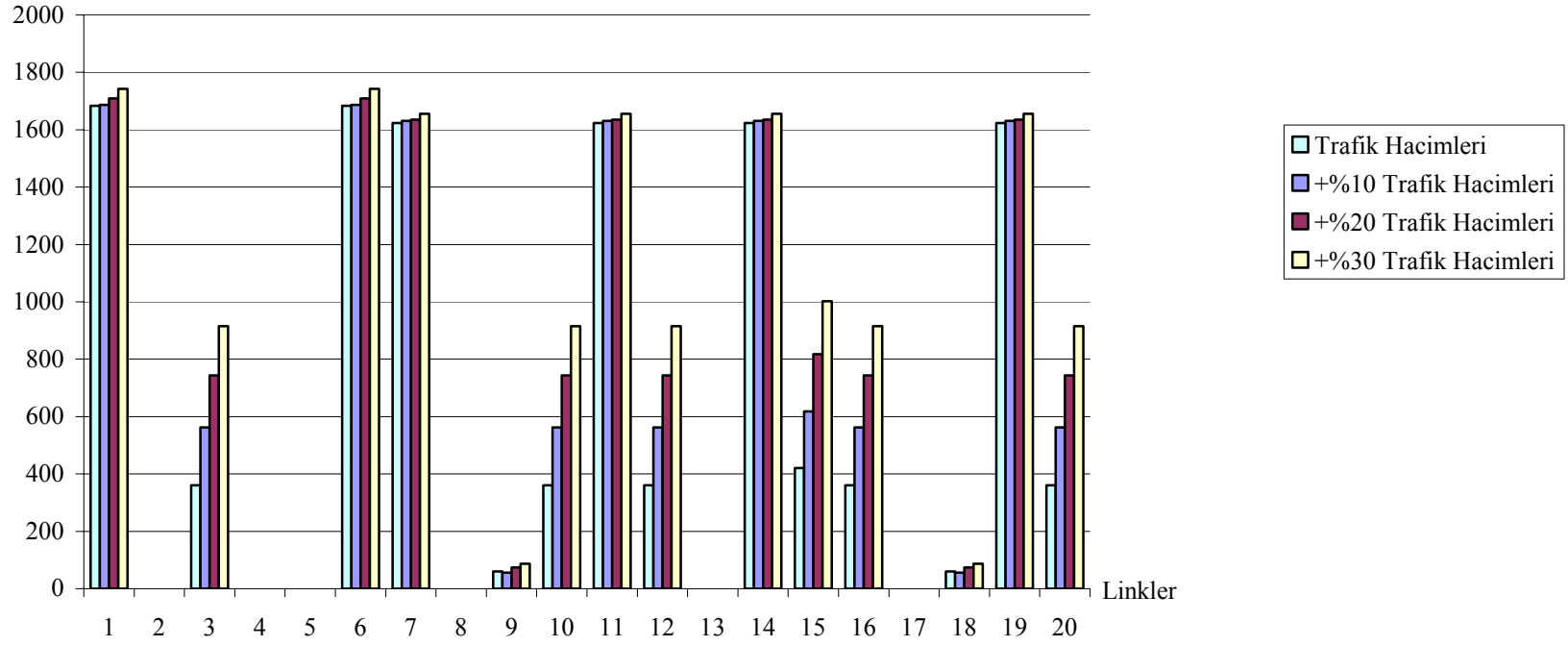
6.5.2 Rota Maliyetleri ve Rota Akımları İçin Regresyon Analizi

Link Maliyetlerinin serisel toplamı ile hesaplanan rota maliyetleri ve buna bağlı olarak denge durumunda hesaplanan rota akımı değerleri, Denklem (4.24) de verilen BPR fonksiyonundaki α ve β link maliyeti kalibrasyon parametrelerinin Tablo 4.2 de önerilen değerlerine bağımlı olarak değişebilmektedir. Bu bakımdan, bağımsız değişken olan α ve β kalibrasyon parametreleri karşısında, bağımlı değişken olan maliyet değişkenleri cp_1 , cp_2 , cp_3 ve rota akımı değişkenleri hp_1 , hp_2 , hp_3 arasındaki etkilenmenin bulunmasına imkan veren regresyon analizi yapılmıştır.

Regresyon analizinin yapılabilmesi için, hesaplamada önerilen (Tablo 4.2) farklı α ve β kalibrasyon parametreleri ve buna göre AOY kullanılarak iterasyonlar sonucu hesaplanan, Bursa-Muğla B-V çiftine ait denge durumundaki rota maliyetleri ve rota akımları Tablo 6.15 de verilmiştir. İteratif değişimlere göre hesaplanan sonuçlar, Ek D Tablo D.1-D.10'da sunulmuştur. Tablo 6.15 de verilen AOY hesap sonuçlarına göre hesaplanan hp_1 , hp_2 , hp_3 , cp_1 , cp_2 , cp_3 regresyon analiz sonuçları Tablo 6.16 da görülmektedir.

Tablo 6.14 Bursa-Muğla artan trafik hacimlerinde denge durumundaki link maliyetleri ve link akımları.

q (araç/saat)	Linkler	1	3	4	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20
2044 (Tablo6.8)	Rotaları kullanan link akımları V_k (araç/saat)	1683	361		1683	1623		60	361	1623	361	1623	421	361		60	1623	361
+%10=2249	Rotaları kullanan link akımları V_k (araç/saat)	1687	562		1687	1631		56	562	1631	562	1631	618	562		56	1631	562
+%20=2453	Rotaları kullanan link akımları V_k (araç/saat)	1710	743		1710	1635		74	743	1635	743	1635	818	743		74	1635	743
+%30=2658	Rotaları kullanan link akımları V_k (araç/saat)	1743	915		1743	1656		87	915	1656	915	1656	1002	915		87	1656	915
		$P1$		$P2$		$P3$												
Rota Akımları h_p (araç/saat)	Hesaplanan trafik hacmi için atama	1623		60		361												
	+%10	1631		56		562												
	+%20	1635		74		743												
	+%30	1656		87		915												
Rota Maliyeti c_p (dk)		408		408		408												
	+%10	409		409		409												
	+%20	410		410		410												
	+%30	413		412		413												

Link Akımları v_k (araç/saat)

Şekil 6.6 Bursa-Muğla artan hacim değerleri durumunda link akımlarında oluşan değişimler.

Tablo 6.15 Önerilen α ve β parametrelerine bağlı AOY hesap sonuçları (EkD den).

Bağımsız Değişkenler		Bağımlı Değişkenler					
Kalibrasyon parametreleri		Rota Akımları (araç/saat)			Rota Maliyetleri (dakika)		
α için önerilen değerler	β için önerilen değerler	hp_1	hp_2	hp_3	cp_1	cp_2	cp_3
0,15	4	1623,18	60,12	360,71	408,0858	408,3988	408,1187
0,5	4	1234,11	77,13	732,75	414,6199	414,5166	414,2582
0,6	4	1186,84	87,91	769,25	416,8496	417,1415	417,2171
0,7	4	1153,87	98,9	791,23	419,9845	420,3411	420,1884
0,8	4	1132,82	98,51	812,67	423,2587	423,1257	423,4333
0,15	2	1516,52	131,87	395,61	411,3802	411,4838	411,5029
0,15	3	1582,45	65,94	395,61	408,7335	408,6782	408,7406
0,15	5	1660,75	42,58	340,67	408,1718	408,2179	408,0177
0,15	6	1681,35	32,97	329,68	407,7352	407,9125	408,0027

Tablo 6.16 hp_1 , hp_2 , hp_3 için α ve β parametrelerine bağımlı regresyon analizi sonucu

ÖZET ÇIKIŞI		$(hp_1 \alpha$ ya bağımlı)			
<i>Regresyon İstatistikleri</i>					
Çoklu R	0,965042				
R Kare	0,931306				
Ayarlı R Kare	0,921492				
Standart Hata	66,11747				
Gözlem	9				
ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	414861,4	414861,4	94,90096	2,54E-05
Fark	7	30600,64	4371,52		
Toplam	8	445462			
ÖZET ÇIKIŞI		$(hp_1 \beta$ ya bağımlı)			
<i>Regresyon İstatistikleri</i>					
Çoklu R	0,193291				
R Kare	0,037361				
Ayarlı R Kare	-0,10016				
Standart Hata	247,5073				
Gözlem	9				
ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	16643	16643	0,271679	0,618286
Fark	7	428819	61259,86		
Toplam	8	445462			

ÖZET ÇIKIŞI		(h2 α ya bağımlı)			
<i>Regresyon İstatistikleri</i>					
Çoklu R	0,44705				
R Kare	0,199854				
Ayarlı R Kare	0,085547				
Standart Hata	29,47779				
Gözlem	9				
ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	1519,255	1519,255	1,7484	0,22764364
Fark	7	6082,581	868,9402		
Toplam	8	7601,836			
ÖZET ÇIKIŞI		(h2 β ya bağımlı)			
<i>Regresyon İstatistikleri</i>					
Çoklu R	0,802118				
R Kare	0,643394				
Ayarlı R Kare	0,59245				
Standart Hata	19,67907				
Gözlem	9				
ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	4890,975	4890,975	12,6295	0,009296
Fark	7	2710,861	387,2659		
Toplam	8	7601,836			
ÖZET ÇIKIŞI		(h3 α ya bağımlı)			
<i>Regresyon İstatistikleri</i>					
Çoklu R	0,97591				
R Kare	0,9524				
Ayarlı R Kare	0,9456				
Standart Hata	51,13084				
Gözlem	9				
ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	366164,4	366164,4	140,0588	6,98E-06
Fark	7	18300,54	2614,363		
Toplam	8	384465			
ÖZET ÇIKIŞI		(h3 β ya bağımlı)			
<i>Regresyon İstatistikleri</i>					
Çoklu R	0,09527				
R Kare	0,009076				
Ayarlı R Kare	-0,13248				
Standart Hata	233,2918				
Gözlem	9				
ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	3489,532	3489,532	0,064116	0,80737994
Fark	7	380975,5	54425,06		
Toplam	8	384465			

Özellikle, B-V çifti arasındaki toplam seyahat talebinin en büyük bölümünü karşılayan hp_1 in α ya göre bağımlılığı, Anova tablosuna bakıldığında; *Güvenilirlik düzeyi* = 0,95 olduğunda, *Güvensizlik bölgesi* = $1 - 0,95 = 0,05$ olması demektir. Buna göre, *Anlamlılık F* = $2,54E-05 < 0.05$ olduğundan model kabul edilebilir anlamına gelmektedir. Modelin kabul edilebilirliği test edildikten sonra, hp_1 rota akımındaki değişimin α ya bağımlılığını değerlendirmek için, R Kare = 0,931336 bakılırsa, hp_1 'deki değişim %931336 oranında α kalibrasyon parametresinden etkilenmektedir.

hp_1 in β ya göre bağımlılığı, Anova tablosuna bakıldığında; *Anlamlılık F* = 0,618286 \square 0.05 ve R Kare = 0,037361 olduğundan, hp_1 'deki değişime β kalibrasyon parametresinin etkisi çok küçüktür, anlamlı değildir.

Regresyon analizi sonuçları, benzer şekilde toplam seyahat talebinin daha az miktarını karşılayan hp_3 rota akımlarındaki değişimin α ya bağımlılığının yüksek olduğunu ve anlamlı olduğunu, β ya bağımlılığının ise çok küçük ve anlamsız olduğunu göstermektedir. Toplam seyahatin en az kısmını karşılayan hp_2 rota akımlarındaki değişim α ve β parametrelerinden küçük oranda etkilenmektedir.

6.6 Çalışma Ağının Ağ Güvenilirliği Bakımından Değerlendirilmesi

Ağ güvenilirliği, seyahat süresi ve tıkanıklık gibi çeşitli ölçütlerin ne şekilde ve nasıl hesaplanabileceğini belirler. Trafik akımları felaketler, kazalar, yapım ve onarım gibi ağ kapasitesini ve karakteristiğini etkileyen olaylar ile etkilenirler. Güvenilirlik bakımından, karşılaştırılabilen seyahat süreleri ve maliyet bir karayolu ağının kullanıcılarına sunması gereken önemli koşullardır. Ağ güvenilirliğinin iki ölçüsü vardır. Birincisi ağ bağlantılılığı ile ilişkilidir. Elverişsiz konumlarda linkler yetersiz olduğunda, verilen B-V noktaları arasındaki ulaşımın sağlanmasında bazı rotaların kullanılması artık mümkün olmayabilir. Böyle durumda rota bağlantısız hale gelir. Bazı durumlarda, bağlantısı olan rota bile yetersiz olabilir. Örneğin, B-V seyahat sürelerinde kabul edilemez farklar oluşabilir. Bir yol ağının bağlantılılığını etkileyen deprem gibi büyük doğal olayların yanı sıra, daha sıklıkla meydana gelen

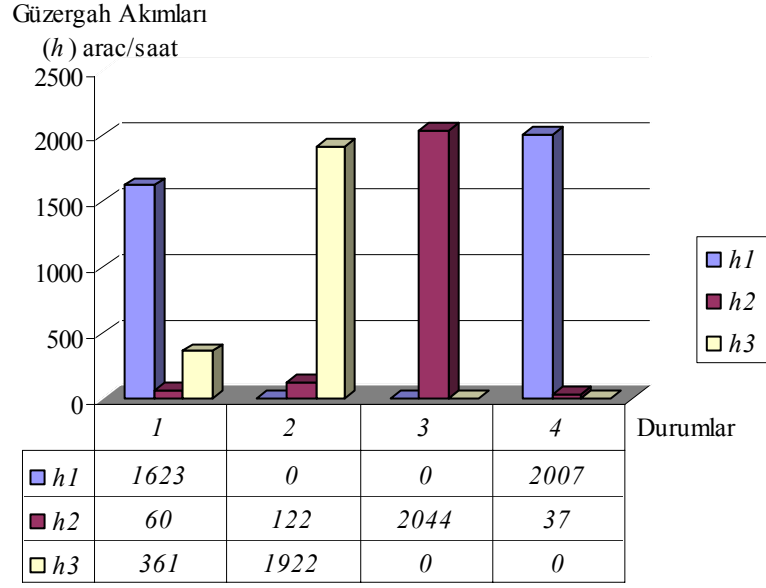
olaylar bir ağın işleyişini etkileyebilir. Bu olaylar kk kazalar, cadde üzerine park ihlali, kar, sel, yol bakımı gibi durumlar olabilir. Ağdaki linklerden herhangi biri bahsedilen sebepler dolayısı ile kapalı duruma gelebilir. Kapalı link sayısı birden fazla da olabilir. Bu durumda, belirli bir B-V arasındaki, kapalı hale gelen linki kullanan rotaların bazıları hizmet veremez olur. Çalışmada, rasgele kapalı linkin hangisi olabileceğini belirleyen bir program yazılarak, kapalı linkler belirlenmiştir.

Güvenilirliğin ikinci ls, performans güvenilirliği olarak bahsedilir. Bir ağ kullanıcısının bakış açısıyla, seyahatin başlangıcından bitişine beklenen maliyeti, ağ performansına karşılık gelir [102].

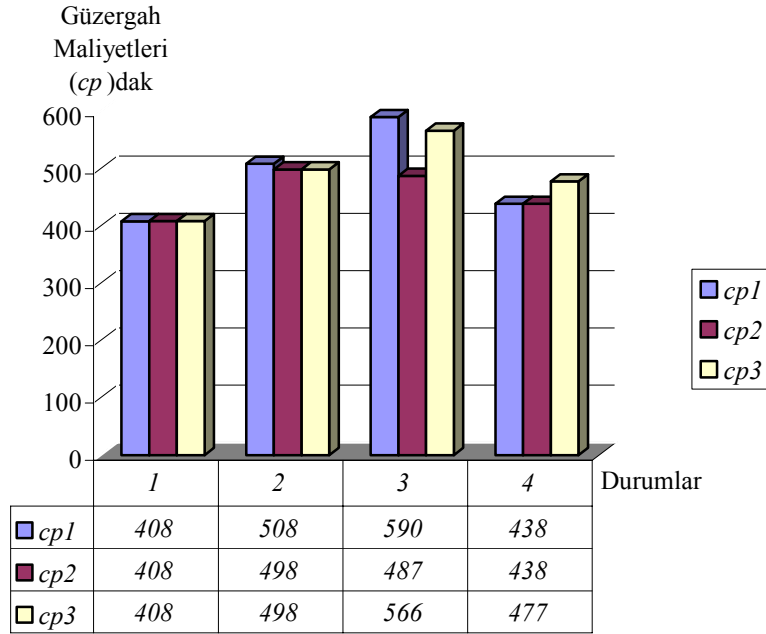
Ağ güvenilirliğinin bağlantılılığı ve performansını değerlendirmek amacıyla, B-V çiftlerini bağlayan farklı rotalardaki maliyet ve akım değişiklikleri aralarındaki farklılıklar incelenebilir. Bu değerlendirmeyi yapmak için, çalışma ağından örnek olarak  B-V çifti (Bursa-Muğla, Balıkesir-Denizli ve Kütahya-Aydın) için, mevcut tüm linklerin kullanılabilir olması halinde ve rasgele bazı linklerin kapalı olabileceği durumlarda, her durumda  farklı rotanın kullanılabileceği varsayılarak, link ve rotalardaki maliyet ve akım değişikliklerini görebilmek için AOY algoritması ile hesaplanan denge trafik atama sonuçları verilmiştir. Bu B-V çiftlerine ait tüm linklerin açık olması halinde ve bazı linklerin rasgele kapalı olabileceği durumlarda izlenebilecek rotalar Tablo 6.17 de verilmiştir. AOY algoritması ile yapılan çözüm sonucunda, elde edilen rota akımı ve rota maliyeti farklılıkları grafik olarak Şekil 6.7 (a,b,c,d,e,f) de görülmektedir.

Tablo 6.17 Seçilen B-V çiftlerine ait bazı linklerin açık ya da kapalı olması halinde izlenebilecek rotalar.

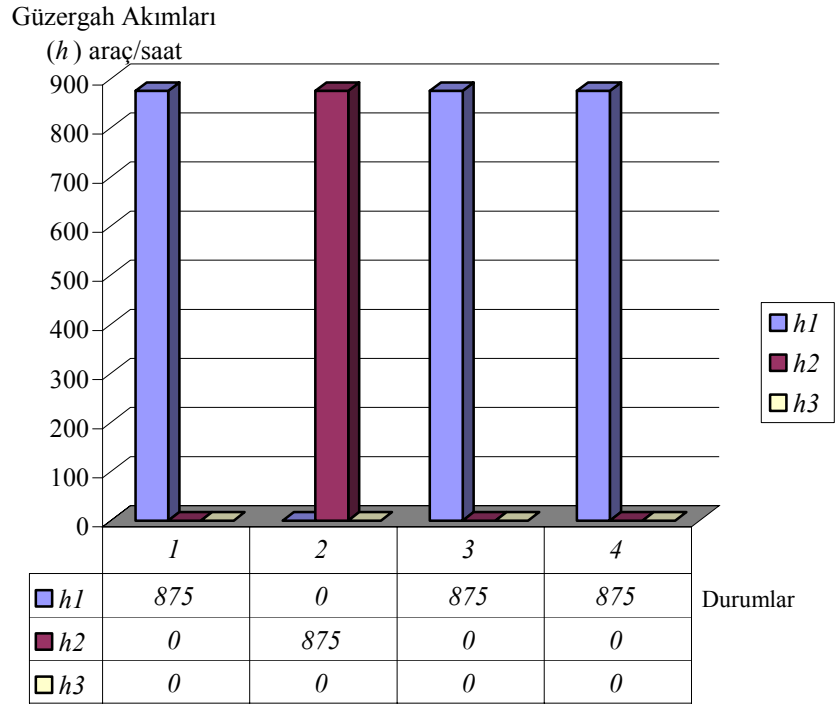
Bursa-Muğla	Durum 1: Tüm linkler açık	Durum 2: 14 (Aydın-Muğla)- 18 (Salihli-Denizli) nolu linkler kapalı	Durum 3: 11 (İzmir-Aydın)- 20-12 (Uşak-Denizli) nolu linkler kapalı	Durum 4: 15 (Denizli-Muğla)- 18 (Salihli-Denizli) nolu linkler kapalı
<i>P1</i>	1-6-19-7-11-14	1-6-19-7-11-13-15	1-6-19-7-17-18-15	1-6-19-7-11-14
<i>P2</i>	1-6-9-18-15	1-6-9-8-20-12-15	1-6-9-18-15	1-6-9-17-11-14
<i>P3</i>	3-16-10-20-12-15	3-16-10-20-12-15	3-16-10-8-18-15	3-16-10-20-12-13-14
Balıkesir-Denizli	Durum 1: Tüm linkler açık	Durum 2: 18 (Salihli-Denizli) nolu linkler kapalı	Durum 3: 20-12 (Uşak-Denizli) 19-7 (Akhisar-İzmir) nolu linkler kapalı	Durum4:9-18(Akhisar-Denizli) nolu linkler kapalı
<i>P1</i>	6-9-18	6-9-17-11-13	6-9-18	6-19-7-11-13
<i>P2</i>	6-9-8-20-12	6-19-7-11-13	6-9-17-11-13	6-19-7-17-8-20-12
<i>P3</i>	4-10-20-12	4-10-20-12	4-10-8-18	4-10-20-12
Kütahya-Aydın	Durum 1: Tüm linkler açık	Durum 2: 8-17 (Uşak-İzmir) nolu linkler kapalı	Durum 3: 9 (Akhisar-Salihli)- 17 (Salihli-İzmir) nolu linkler kapalı	Durum 4: 20 (Uşak-Çivril)- 12 (Çivril-Denizli) nolu linkler kapalı
<i>P1</i>	4-6-19-7-11	4-6-19-7-11	4-6-19-7-11	10-8-17-11
<i>P2</i>	10-8-17-11	4-6-9-18-13	10-8-18-13	10-8-18-13
<i>P3</i>	10-20-12-13	10-20-12-13	10-20-12-13	10-8-18-15-14



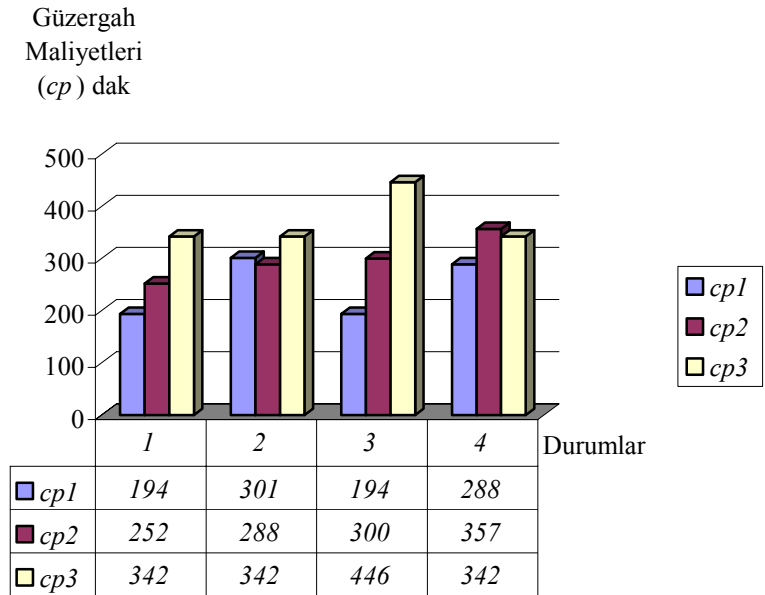
Şekil 6.7 (a) Bursa-Muğla rotalarında tüm linkler açık ve bazı linklerin kapalı olabildiği durumlardaki rota akımı değişiklikleri.



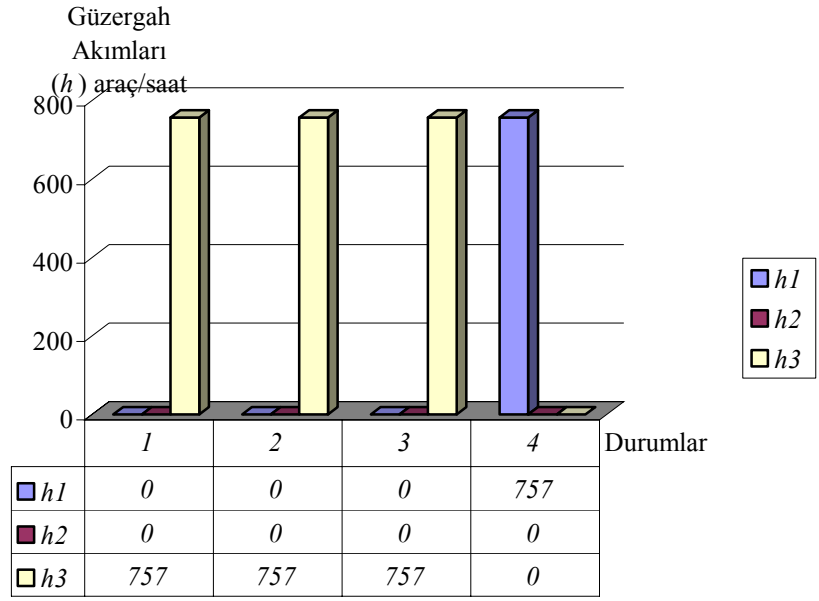
Şekil 6.7 (b) Bursa-Muğla rotalarında tüm linkler açık ve bazı linklerin kapalı olabildiği durumlardaki rota maliyetleri değişiklikleri.



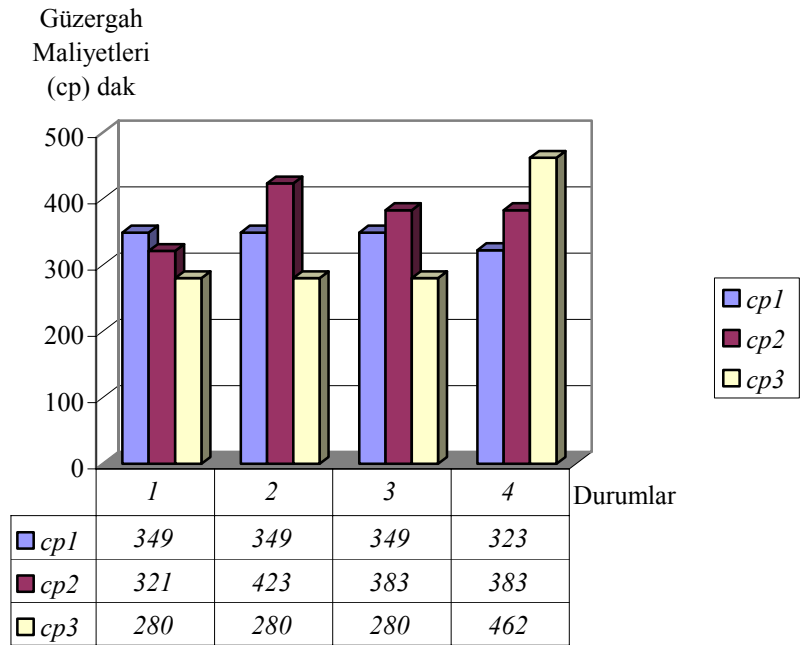
Şekil 6.7 (c) Balıkesir-Denizli rotalarında tüm linkler açık ve bazı linklerin kapalı olabildiği durumlardaki rota akımı değişiklikleri.



Şekil 6.7 (d) Balıkesir-Denizli rotalarında tüm linkler açık ve bazı linklerin kapalı olabildiği durumlardaki rota maliyetleri değişiklikleri.



Şekil 6.7 (e) Kütahya-Aydın rotalarında tüm linkler açık ve bazı linklerin kapalı olabildiği durumlardaki rota akımı değişiklikleri.



Şekil 6.7 (f) Kütahya-Aydın rotalarında tüm linkler açık ve bazı linklerin kapalı olabildiği durumlardaki rota maliyetleri değişiklikleri.

Grafikler incelendiğinde, Bursa-Muğla B-V çifti için tüm linklerin açık olduğu 1. durumda toplam trafik hacminin en büyük kısmı en kısa rotaya atanmıştır, kalan kısım ise maliyetlerin eşitlenmesi durumunda diğer iki rotaya atanmıştır. 2. ve 3. durumlarda en kısa yol linkleri kapalı olduğu için o rota kullanılamaz durumda olduğundan diğer rotalardaki trafik ataması hesaplanmıştır. 2. durumda 1 rotasının maliyeti yüksek olduğundan diğer rotalara atama yapılmıştır. 3. durumda en düşük maliyetli 2 rotası trafik hacmini karşılayabilmektedir. 4. durumda 1 ve 2 rotalarının maliyeti eşit olduğundan toplam trafik hacmini bu rotalar karşılamaktadır, 3 rotasına maliyetin yüksek olması dolayısıyla akım gitmemiştir. Maliyet bakımından değerlendirildiğinde, en düşük maliyetler tüm linklerin kullanılabilir olması halinde hesaplanmıştır. Maliyetin tüm linklerin açık olması durumundan farklı olarak artan miktarlara göre sırasıyla 4 durumunda %7,35, 3 durumunda %19,36 ve 2 durumunda %22,05 oranlarında arttığı hesapla bulunmuştur.

Balıkesir-Denizli B-V çifti için, tüm linklerin açık olduğu 1. durumda en kısa rotanın toplam trafik hacmini karşılayabildiği hesaplama sonucunda belirlenmiştir. Maliyet değerlendirilmesi bakımından tüm linkler açıkken en düşük değer elde edilirken, artış miktarları sırasıyla 3 durumunda değişmemiştir, 4 ve 2 durumlarında %48,45 oranında artan maliyetle trafik hacmi karşılanabilmiştir. Linklerin kapalı olması halinde maliyet yükselmektedir.

Kütahya-Aydın B-V çifti için, 1, 2, 3 durumlarında maliyet eşittir ve toplam trafik hacmi 3 rotası ile karşılanabilmektedir. Bu rotanın linklerinden bazılarının kapalı olması dolayısı ile kullanılamaz duruma gelmesi halinde, 4 durumunda hesaplandığı şekilde 1 nolu rota %15,36 oranında artan bir maliyetle toplam trafik hacmini karşılamaktadır.

6.7 Sonuç

Bu bölümde, ulaşım planlaması sistemi ile modelleme çalışması yapılmıştır. Belirlenen ulaşım ağına ait 45 B-V çifti için seyahat talebi bulunmuş ve trafik atama ile minimum seyahat maliyetlerinde rota akımları ve link akımları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamaların sonuçları bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

7. SONUÇLAR

- B-V trafik talep matrisi denge ataması için önemli bir veridir. Bu yüzden, B-V trafik taleplerinin güvenilir bir şekilde tahmini, linklere trafiğin yüklenmesi sonucu için önemlidir. Bu tezde, ulaşım planlamasının başlangıç adımı için gerekli olan seyahat üretimi matrisinin tahmin edilebilmesi için bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem, YOGT ve sosyo ekonomik faktörleri temel alarak bir ulaşım ağının seyahat talebi üretimini bulur. Yıllar içerisinde sosyo ekonomik faktörlerde gelişme olacağından ve YOGT değerleri değişeceğinden, geliştirilen model ile verilerin yenilenerek güncellenmenin her an yapılabilmesi ya da farklı ulaşım ağlarında da çözümler üretilebilmesi sağlanmıştır.
- Çalışma ağına ait B-V çiftleri için Dijkstra algoritması uygulanarak, en kısa rotalar ve bu rotaların seyahat süreleri belirlenmiştir. En kısa yol algoritması ile elde edilen sonuçlar Ek A da verilmiştir.
- Link maliyet fonksiyonları, link üzerindeki trafik hacmi ile etkilenmektedir. Link hacimleri de diğer linklerin maliyetlerinden etkilenmektedir. Bunun için farklı link akımları ile uyum gösteren BPR maliyet fonksiyonu ile B-V çiftleri arasındaki talebi karşılamak için kullanılan alternatif rotaların denge optimizasyonu halinde minimum seyahat süreleri hesaplanmıştır.
- Link trafik hacimlerinin belirlenmesinde regresyon analizi gibi istatistiksel yöntemler ya da trafik atama yöntemi kullanılmaktadır. Çalışmada, Çekim Yöntemi ile seyahat dağılımı belirlendikten sonra AOY kullanılarak, B-V çiftleri arasındaki rotaların denge durumundaki trafik hacimleri belirlenmiştir.
- Akımın korunması ilişkileri esas alınarak, rota akımları ve link-rota belirleme matrislerinden faydalanarak link akımları hesaplanmıştır. Çalışma ağına ait

hesaplanan sonuçlar Ek B Tablo B.1 de verilmiştir. Hesaplanan link akımları Ek C Tablo C.1 de görülmektedir.

Yapılan çözümler değerlendirildiğinde, trafik hacminin yüksek olması durumunda, dengedeki minimum seyahat maliyetine ulaşıldığında yüklenen trafik hacminin en büyük payının en kısa rotaya atandığı, daha az miktar trafik hacminin alternatif rotalara atandığı bulunmuştur. Bazı B-V çiftleri için, mümkün olan birçok alternatif rotaya rağmen bir ya da iki rota trafik hacmini taşımaktadır, diğer rotalara akım gitmemektedir. Çünkü, diğer rotaların serbest akım seyahat süreleri bile, trafik hacmini taşıyan rotaların trafik yüklü seyahat sürelerinden çok daha fazla olduğundan seyahat maliyetlerinde denge sağlanamamakta ve diğer rotalara akım gitmemektedir. Seyahat maliyetlerinde dengeye ulaşan rotalar tarafından B-V çifti arasındaki seyahat talebi karşılanmaktadır.

- Trafik hacimleri yıllık artışlar göstereceğinden, önerilen yöntemin güvenilirliğini test etmek için B-V çiftleri arasında seyahat dağılımı ile hesaplanan hacim değerleri değişik oranlarda artırılarak yöntemin çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir. %10-%20-%30 oranlarında artırılarak trafik atama yapılmış, artan trafik hacimlerine göre denge durumundaki seyahat maliyetleri ve rota akımları tekrar belirlenmiştir. Artırılarak yapılan trafik atamada hesaplanan seyahat sürelerinin birbirlerinden çok büyük farklarla ayrılmadıkları dolayısıyla önerilen yöntemin iyi çalıştığı sorun çıkmadığı belirlenmiştir.

- Trafik akımları felaketler, kazalar, yapım ve onarım gibi ağ kapasitesini ve karakteristiğini etkileyen olaylar ile etkileneceğinden bağlantı güvenilirliliğinin incelenmesi, problem belirlenmesi durumunda ise bağlantı güvenilirliliğinin ağ üzerinde yeni yönlendirmelerle sağlanması ve bu alternatiflerin süre tabanlı değerlendirilerek en iyi yönlendirmenin bulunması için, rasgele seçilen bazı linklerin kapalı olması durumunda rota akımlarındaki ve seyahat maliyetlerindeki değişimler hesaplanmıştır. Tüm linklerin açık olmasına göre, rasgele belirlenen bazı linklerin kapalı olması halinde rota akımları farklılıklar göstermekte bazı rotalar seyahat maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle hiç akım taşımamaktadır. Seyahat maliyetleri %7.35'den %48.45'e varan değişik oranlarda yükselmektedir.

EK A. ÇALIŞMA AĞI DİJKSTRA ALGORİTMASI İLE EN KISA ROTA SONUÇLARI

Graph:

10: <2,94> <13,81> <14,39>

8: <13,123> <14,62> <9,97> <7,84>

13: <10,81> <8,123> <11,10> <6,59>

9: <8,97> <7,66>

12: <3,65> <2,51> <1,23>

6: <13,59> <5,24> <7,87>

3: <4,101> <12,65> <1,63>

4: <3,101> <2,147> <11,59>

2: <10,94> <4,147> <12,51>

14: <10,39> <8,62>

5: <11,32> <6,24>

7: <8,84> <9,66> <6,87>

1: <3,63> <12,23>

11: <4,59> <13,10> <5,32>

Shortest path from 1 to 2: 1 12 2 , Cost=74

Shortest path from 1 to 3: 1 3 , Cost=63

Shortest path from 1 to 4: 1 3 4 , Cost=164

Shortest path from 1 to 5: 1 3 4 11 5 , Cost=255

Shortest path from 1 to 6: 1 3 4 11 5 6 , Cost=279

Shortest path from 1 to 7: 1 12 2 10 14 8 7 , Cost=353

Shortest path from 1 to 8: 1 12 2 10 14 8 , Cost=269

Shortest path from 1 to 9: 1 12 2 10 14 8 9 , Cost=366

Shortest path from 1 to 10: 1 12 2 10 , Cost=168

Shortest path from 2 to 3: 2 12 3 , Cost=116

Shortest path from 2 to 4: 2 4 , Cost=147

Shortest path from 2 to 5: 2 10 13 11 5 , Cost=217

Shortest path from 2 to 6: 2 10 13 6 , Cost=234

Shortest path from 2 to 7: 2 10 14 8 7 , Cost=279

Shortest path from 2 to 8: 2 10 14 8 , Cost=195

Shortest path from 2 to 9: 2 10 14 8 9 , Cost=292

Shortest path from 2 to 10: 2 10 , Cost=94

Shortest path from 3 to 4: 3 4 , Cost=101

Shortest path from 3 to 5: 3 4 11 5 , Cost=192

Shortest path from 3 to 6: 3 4 11 5 6 , Cost=216

Shortest path from 3 to 7: 3 4 11 5 6 7 , Cost=303

Shortest path from 3 to 8: 3 4 11 13 8 , Cost=293

Shortest path from 3 to 9: 3 4 11 5 6 7 9 , Cost=369

Shortest path from 3 to 10: 3 12 2 10 , Cost=210

Shortest path from 4 to 5: 4 11 5 , Cost=91

Shortest path from 4 to 6: 4 11 5 6 , Cost=115

Shortest path from 4 to 7: 4 11 5 6 7 , Cost=202

Shortest path from 4 to 8: 4 11 13 8 , Cost=192
Shortest path from 4 to 9: 4 11 5 6 7 9 , Cost=268
Shortest path from 4 to 10: 4 11 13 10 , Cost=150
Shortest path from 5 to 6: 5 6 , Cost=24
Shortest path from 5 to 7: 5 6 7 , Cost=111
Shortest path from 5 to 8: 5 11 13 8 , Cost=165
Shortest path from 5 to 9: 5 6 7 9 , Cost=177
Shortest path from 5 to 10: 5 11 13 10 , Cost=123
Shortest path from 6 to 7: 6 7 , Cost=87
Shortest path from 6 to 8: 6 7 8 , Cost=171
Shortest path from 6 to 9: 6 7 9 , Cost=153
Shortest path from 6 to 10: 6 13 10 , Cost=140
Shortest path from 7 to 8: 7 8 , Cost=84
Shortest path from 7 to 9: 7 9 , Cost=66
Shortest path from 7 to 10: 7 8 14 10 , Cost=185
Shortest path from 8 to 9: 8 9 , Cost=97
Shortest path from 8 to 10: 8 14 10 , Cost=101
Shortest path from 9 to 10: 9 8 14 10 , Cost=198

EK B. ÇALIŞMA AĞI AOY İLE TRAFİK ATAMA HESAP SONUÇLARI

Tablo B.1 Alternatif rotalar, rota akımları ve rota maliyetleri.

B/V	Rotalar			Rota Akımları (araç/saat)			Rota Maliyetleri (dakika)		
	P ₁	P ₂	P ₃	h ₁	h ₂	h ₃	C _{p2}	C _{p2}	C _{p3}
	Linkler								
1/2	5-16	2-3-16	2-1-4	426	0	0	174	179	311
1/3	P1	P2	P3	352	0	0	63	88	350
1/4	2-1	5-3-1	5-16-4	974	0	0	166	190	221
1/5	2-1-6-19	5-16-4-6-19	5-16-10-8-9-19	1366	0	0	268	317	293
1/6	2-1-6-19-7	5-16-4-6-19-7	5-16-10-8-17	1640	0	107	308	348	308
1/7	2-1-6-19-7-11	5-16-10-20-12-13	5-16-10-8-17-11	153	1267	0	366	366	401
1/8	2-1-6-9-18	5-16-10-20-12	5-16-10-8-18	0	857	0	356	271	373
1/9	2-1-6-19-7-11-14	2-1-6-9-18-15	5-16-10-20-12-15	0	0	925	432	454	370
1/10	2-1-6-9-8	5-16-10		0	246		314	168	
2/1	16-5	16-3-2	4-1-2	608	0	0	74	179	311
2/3	16-5-2	16-3	4-1	0	1249	0	139	120	248
2/4	4	16-3-1	10-8-9-6	507	0	0	147	217	163
2/5	4-6-19	10-8-17-7	10-8-9-19	0	0	671	238	259	218
2/6	4-6-19-7	10-8-17	10-8-9-19-7	0	1229	0	262	242	247
2/7	4-6-19-7-11	10-8-17-11	10-20-12-13	0	0	757	349	321	280
2/8	4-6-9-18	10-8-18	10-20-12	0	0	543	339	298	195
2/9	4-6-19-7-11-14	10-8-18-15	10-20-12-15	0	0	591	415	395	293
2/10	10	4-6-9-8	4-6-19-7-17-8	228	0	0	94	297	402
3/1	2	3-5	1-4-16-5	362	0	0	63	88	350
3/2	2-5-16	3-16	1-4	0	893	0	137	117	248
3/4	1	3-16-4	2-5-16-4	1659	0	0	112	263	284
3/5	1-6-19	3-16-10-8-9-19	3-16-10-8-17-7	1903	0	0	228	339	431
3/6	1-6-19-7	1-6-9-17	3-16-10-8-17	2007	305	0	294	294	350
3/7	1-6-19-7-11	1-6-9-18-13	3-16-10-20-12-13	1767	0	0	345	399	395
3/8	1-6-19-7-11-13	1-6-9-18	3-16-10-20-12	0	1437	239	397	311	311
3/9	1-6-19-7-11-14	1-6-9-18-15	3-16-10-20-12-15	1623	60	361	408	408	408
3/10	1-6-9-8	3-16-10		0	482		251	210	
4/1	1-2	1-3-5	4-16-5	1253	0	0	170	193	221
4/2	4	1-3-16	6-9-8-10	457	0	0	147	217	163
4/3	1	4-16-3	4-16-5-2	2091	0	0	129	263	284
4/5	6-19	6-9-17-7	4-10-8-9-19	2198	0	0	121	172	375
4/6	6-19-7	6-9-17	4-10-8-17	2016	680	0	173	173	381
4/7	6-19-7-11	6-9-17-11	4-10-20-12-13	2007	37	0	251	251	426
4/8	6-19-7-11-13	6-9-18	6-9-8-20-12	0	875	0	286	194	252
4/9	6-19-7-11-14	6-9-17-11-14	4-10-20-12-15	759	0	0	269	282	439
4/10	6-19-7-17-8	6-9-8	4-10	0	1011	0	257	152	241
5/1	19-6-1-2	19-6-4-16-5	19-9-8-10-16-5	1447	0	0	271	318	293
5/2	19-6-4	7-17-8-10	19-9-8-10	0	0	496	238	258	217
5/3	19-6-1	19-9-8-10-16-3	7-17-8-10-16-3	1968	0	0	233	340	431
5/4	19-6	7-17-9-6	19-9-8-10-4	1808	0	0	105	161	369
5/6	7	19-9-17		2877	0		47	101	
5/7	7-11	19-9-18-13	19-9-17-11	1860	0	0	130	249	203
5/8	7-11-13	19-9-18	7-17-18	0	1601	0	195	180	218
5/9	7-11-14	19-9-18-15	7-17-18-15	1938	0	0	213	262	308
5/10	7-17-8	19-9-8	19-6-4-10	0	1451	0	169	131	334
6/1	7-19-6-1-2	7-19-6-4-16-5	7-8-10-16-5	1414	0	0	295	343	308
6/2	7-19-6-4	17-8-10	7-19-9-8-10	0	694	0	262	235	242
6/3	7-19-6-1	17-9-6-1	17-8-10-16-3	1820	0	0	250	254	350
6/4	7-19-6	17-9-6	17-8-10-4	1686	0	0	128	135	381
6/5	7	17-9-19		2185	0		32	101	
6/7	11	17-18-13	7-19-9-18-13	1424	0	0	92	266	273

Tablo B.1'in devamı

6/8	11-13	17-18	7-19-9-18	1189	0	0	176	182	189
6/9	11-14	11-13-15	17-18-13-14	1489	0	0	164	274	337
6/10	17-8	7-19-9-8	17-18-12-20	1033	0	0	142	148	284
7/1	11-7-19-6-1-2	13-12-20-10-16-5	11-17-8-10-16-5	569	1281	0	367	367	402
7/2	11-7-19-6-4	11-17-8-10	13-12-20-10	0	0	683	349	321	280
7/3	11-7-19-6-1	13-18-9-6-1	13-12-20-10-16-3	2147	0	88	395	426	395
7/4	11-7-19-6	11-17-9-6	13-12-20-10-4	2006	47	0	252	252	426
7/5	11-7	13-18-9-19	11-17-9-19	2269	0	0	153	249	221
7/6	11	13-18-17	13-18-9-19-7	1574	0	0	95	266	273
7/8	13	14-15	11-17-18	1199	0	0	86	163	269
7/9	14	13-15	11-17-18-15	1351	0	0	69	181	366
7/10	13-12-20	14-15-12-20	11-17-8	1461	0	0	197	271	227
8/1	18-9-6-1-2	12-20-10-16-5	18-8-10-16-5	0	1035	0	356	273	375
8/2	18-9-6-4	18-8-10	12-20-10	0	0	456	339	298	195
8/3	13-11-7-19-6-1	18-9-6-1	12-20-10-16-3	0	1447	523	397	311	311
8/4	13-11-7-19-6	18-9-6	12-20-8-9-6	0	820	0	286	193	251
8/5	13-11-7	18-9-19	18-17-7	0	1810	0	195	190	225
8/6	13-11	18-17	18-9-19-7	1482	756	0	183	183	190
8/7	13	15-14	18-17-11	1122	0	0	86	163	269
8/9	15	13-14	18-17-11-14	449	0	0	97	150	335
8/10	12-20	18-8	13-11-17-8	599	0	0	101	204	211
9/1	14-11-7-19-6-1-2	15-18-9-6-1-2	15-12-20-10-16-5	0	0	718	432	453	367
9/2	14-11-7-19-6-4	15-18-8-10	15-12-20-10	0	0	323	415	395	292
9/3	14-11-7-19-6-1	15-18-9-6-1	15-12-20-10-16-3	1559	0	0	400	404	408
9/4	14-11-7-19-6	14-11-17-9-6	15-12-20-10-4	460	0	0	268	281	439
9/5	14-11-7	15-18-9-19	15-18-17-7	1416	0	0	187	262	304
9/6	14-11	15-13-11	14-13-18-17	1481	0	0	164	274	337
9/7	14	15-13	15-18-17-11	817	0	0	66	181	366
9/8	15	14-13	14-11-17-18	290	0	0	97	150	335
9/10	15-12-20	15-18-8	14-11-17-8	198	0	0	198	301	293
10/1	8-9-6-1-2	10-16-5		0	246		314	168	
10/2	10	8-9-6-4	8-17-7-19-6-4	287	0	0	94	297	402
10/3	8-9-6-1	10-16-3		0	844		251	212	
10/4	8-17-7-19-6	8-9-6	10-4	0	1418	0	263	159	241
10/5	8-17-7	8-9-19	10-4-6-19	0	2475	0	207	189	349
10/6	8-17	8-9-19-7	20-12-18-17	1698	314	0	166	166	290
10/7	20-12-13	20-12-15-14	8-17-11	1996	0	49	227	287	227
10/8	20-12	8-18	8-17-11-13	893	0	0	102	204	311
10/9	20-12-15	8-18-15	8-17-11-14	456	0	0	198	301	293

EK C. ÇALIŞMA AĞI HESAPLANAN LİNK AKIMLARI

Tablo C.1 Çalışma ağına ait hesaplanan link akımları.

B/V	Link Akımları (araç /saat)																			
	V1	V3	V4	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V2	V5	V13
1/2													426					0	426	
1/3													0					362	0	
1/4	974	0	0										0					974	0	
1/5	1366		0	1366		0	0	0					0			1366		1366	0	
1/6	1640		0	1640	1640	107		107					107	107		1640		1640	107	
1/7	153			153	153	0		1267	153	1267			1267	0		153	1267	153	1267	1267
1/8	0			0		0	0	857		857			857		0		857	0	857	
1/9	0			0	0		0	925	0	925	0	925	925		0	0	925	0	925	
1/10	0			0		0	0	246					246					0	246	
2/1	0	0	0										608					0	608	
2/3	0	1249	0										1249					0	0	
2/4	0	0	507	0			0	0					0							
2/5			0	0	0	671	671	671						0		671				
2/6			0	0	0	1229	0	1229						1229		0				
2/7			0	0	0	0		757	0	757				0		0	757			757
2/8			0	0		0	0	543		543					0		543			
2/9			0	0	0	0		591	0	591	0	591			0	0	591			
2/10			0	0	0	0	0	228						0		0				

Tablo C.1'in devamı

3/1	0	0	0										0					362	0	
3/2	0	893	0										893					0	0	
3/4	1659	0	0										0					0	0	
3/5	1903	0		1903	0	0	0	0					0	0		1903				
3/6	2312	0		2312	2007	0	305	0					0	305		2007				
3/7	1767	0		1767	1767		0	0	1767	0			0		0	1767	0			0
3/8	1437	239		1437	0		1437	239	0	239			239		1437	0	239			0
3/9	1683	361		1683	1623		60	361	1623	361	1623	421	361		60	1623	361			
3/10	0	482		0		0	0	482					482							
4/1	1253	0	0										0					1253	0	
4/2	0	0	457	0			0	0					0							
4/3	2091	0	0										0					0	0	
4/5			0	2198	0	0	0	0						0		2198				
4/6			0	2696	2016	0	680	0						680		2016				
4/7			0	2044	2007		37	0	2044	0				37	0	2007	0			0
4/8			0	875	0	0	875	0	0	0					875	0	0			0
4/9			0	759	759		0	0	759	0	759	0		0	0	759	0			
4/10			0	1011	0	1011	1011	0						0		0				
5/1	1447		0	1447		0	0	0					0			1447		1447	0	
5/2			0	0	0	496	496	496						0		496				
5/3	1968	0		1968	0	0	0	0					0	0		1968				
5/4			0	1808	0	0	0	0						0		1808				
5/6					2877		0							0		0				
5/7					1860		0		1860					0	0	0				0
5/8					0		1601		0					0	1601	1601				0
5/9					1938		0		1938		1938	0		0	0	0				
5/10			0	0	0	1451	1451	0						0		1451				

Tablo C.1'in devamı

6/1	1414		0	1414	1414	0		0					0	0		1414		1414	0	
6/2			0	0	0	694	0	694						694		0				
6/3	1820	0		1820	1820	0	0	0					0	0		1820				
6/4			0	1686	1686	0	0	0						0		1686				
6/5					2185		0							0		0				
6/7					0		0		1424					0	0	0				0
6/8					0		0		1189					0	0	0				1189
6/9									1489		1489	0		0	0					0
6/10					0	1033	0			0				1033	0	0	0			
7/1	569			569	569	0		1281	569	1281			1281	0		569	1281	569	1281	1281
7/2			0	0	0	0		683	0	683				0		0	683			683
7/3	2147	88		2147	2147		0	88	2147	88			88		0	2147	88			88
7/4			0	2053	2006		47	0	2053	0				47	0	2006	0			0
7/5					2269		0		2269					0	0	0				0
7/6					0		0		1574					0	0	0				0
7/8									0		0	0		0	0					1199
7/9									0		1351	0		0	0					0
7/10						0			0	1461	0	0		0			1461			1461
8/1	0			0		0	0	1035		1035			1035		0		1035	0	1035	
8/2			0	0		0	0	456		456					0		456			
8/3/	1447	523		1447	0		1447	523	0	523			523		1447	0	523			0
8/4			0	820	0	0	820	0	0	0					820	0	0			0
8/5					0		1810		0					0	1810	1810				0
8/6					0		0		1482					756	756	0				1482
8/7									0		0	0		0	0					1122
8/9									0		0	449		0	0					0
8/10						0			0	599				0	0		599			0

Tablo C.1'in devamı

9/1	0			0	0		0	718	0	718	0	718	718		0	0	718	0	718	
9/2			0	0	0	0		323	0	323	0	323			0	0	323			
9/3	1559	0		1559	1559		0	0	1559	0	1559	0	0		0	1559	0			
9/4			0	460	460		0	0	460	0	460	0		0	0	460	0			
9/5					1416		0		1416		1416	0		0	0	0				
9/6									1481		1481	0		0	0					0
9/7									0		817	0		0	0					0
9/8									0		0	290		0	0					0
9/10						0			0	198	0	198		0	0		198			0
10/1	0			0		0	0	443					443					0	443	
10/2			0	0	0	0	0	287						0		0				
10/3	0	844		0		0	0	844					844							
10/4			0	1418	0	1418	1418	0						0		0				
10/5			0	0	0	2475	2475	0						0		2475				
10/6					314	2012	314			0				1698	0	314	0			
10/7						49			49	1996	0	0		49			1996			1996
10/8						0			0	893				0	0		893			0
10/9						0			0	456	0	456		0	0		456			0

EK D. α ve β LİNK MALİYETİ KALİBRASYON PARAMETRELERİNİN ÖNERİLEN DEĞERLERİNE GÖRE ROTA AKIMLARI VE ROTA MALİYETİ DEĞİŞİMLERİ

Tablo D.1 Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,15$ ve $\beta=4$)

$\alpha=0,15$ $\beta=4$	hp1	hp2	hp3		cp1	cp2	cp3
n=0	0	0	0		369	390	408
n=1	2044,00	0,00	0,00		461,0346	429,9066	408
n=2	1022,00	0,00	1022,00		374,7522	394,0062	414,3601
n=3	1362,67	0,00	681,33		387,1797	398,1815	409,2563
n=4	1533,00	0,00	511,00		398,1203	402,7212	408,3975
n=5	1635,20	0,00	408,80		406,6974	406,3845	408,1628
n=6	1362,67	340,67	340,67		398,542	409,5694	408,3585
n=7	1460,00	292,00	292,00		404,1099	411,7156	408,1935
n=8	1533,00	255,50	255,50		408,8861	413,4951	408,1134
n=9	1362,67	227,11	454,22		393,9007	404,9076	408,4878
n=10	1430,80	204,40	408,80		397,8617	406,545	408,3201
n=11	1486,55	185,82	371,64		401,4666	408,0193	408,2186
n=12	1533,00	170,33	340,67		404,7387	409,3412	408,1544
n=13	1572,31	157,23	314,46		407,7085	410,5268	408,1121
n=14	1606,00	146,00	292,00		410,4075	411,5925	408,0833
n=15	1498,93	136,27	408,80		400,4214	406,4687	408,2465
n=16	1533,00	127,75	383,25		402,8852	407,4866	408,1904
n=17	1563,06	120,24	360,71		405,1811	408,4298	408,1494
n=18	1589,78	113,56	340,67		407,3213	409,3044	408,1189
n=19	1613,68	107,58	322,74		409,3181	410,1161	408,0957
n=20	1533,00	102,20	408,80		401,8394	406,4405	408,2186
n=21	1557,33	97,33	389,33		403,7042	407,216	408,1799
n=22	1579,45	92,91	371,64		405,4687	407,9478	408,1493
n=23	1599,65	88,87	355,48		407,139	408,6385	408,125
n=24	1618,17	85,17	340,67		408,7209	409,2908	408,1054
n=25	1553,44	81,76	408,80		402,7368	406,4261	408,2044
n=26	1572,31	78,62	393,08		404,235	407,0522	408,1747
n=27	1589,78	75,70	378,52		405,6669	407,6497	408,1502
n=28	1606,00	73,00	365,00		407,0356	408,2198	408,1299
n=29	1621,10	70,48	352,41		408,3445	408,764	408,1129
n=30	1567,07	68,13	408,80		403,3551	406,4175	408,1958
n=31	1582,45	65,94	395,61		404,6065	406,9424	408,1718
n=32	1596,88	63,88	383,25		405,8107	407,447	408,1513
n=33	1610,42	61,94	371,64		406,9699	407,9322	408,1338
n=34	1623,18	60,12	360,71		408,0858	408,3988	408,1187

Tablo D.2 Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,50$ ve $\beta=4$)

$\alpha=0,50$ $\beta=4$	hp1	hp2	hp3		cp1	cp2	cp3
n=0	0	0	0		369	390	408
n=1	2044,00	0,00	0,00		675,782029	523,022018	408
n=2	1022,00	0,00	1022,00		388,173877	403,354164	429,200384
n=3	1362,67	0,00	681,33		429,598919	417,271567	412,18773
n=4	1022,00	0,00	1022,00		388,173877	403,354164	429,200384
n=5	1226,40	0,00	817,60		408,758951	409,304155	416,683677
n=6	1362,67	0,00	681,33		429,598919	417,271567	412,18773
n=7	1168,00	0,00	876,00		401,709787	406,903727	419,443439
n=8	1277,50	0,00	766,50		415,811223	411,892328	414,707934
n=9	1135,56	227,11	681,33		411,82831	419,439434	414,338744
n=10	1226,40	204,40	613,20		423,457884	424,014146	412,15885
n=11	1114,91	185,82	743,27		406,195468	415,264621	415,96357
n=12	1192,33	170,33	681,33		415,395446	418,711981	413,622812
n=13	1100,62	157,23	786,15		402,684254	412,740246	417,317474
n=14	1168,00	146,00	730,00		410,245275	415,442093	414,927227
n=15	1226,40	136,27	681,33		417,795252	418,34264	413,25662
n=16	1149,75	127,75	766,50		406,69317	413,25376	416,06768
n=17	1202,35	120,24	721,41		413,122741	415,638027	414,330425
n=18	1249,11	113,56	681,33		419,510258	418,121502	413,036613
n=19	1183,37	107,58	753,05		409,686957	413,701287	415,298337
n=20	1226,40	102,20	715,40		415,264559	415,810454	413,944541
n=21	1168,00	97,33	778,67		407,061967	412,256476	416,166234
n=22	1207,82	92,91	743,27		411,999682	414,073636	414,779665
n=23	1244,17	88,87	710,96		416,91794	415,955666	413,675285
n=24	1192,33	85,17	766,50		409,417041	412,728577	415,54385
n=25	1226,40	81,76	735,84		413,836689	414,382176	414,407343
n=26	1257,85	78,62	707,54		418,231618	416,077274	413,477024
n=27	1211,26	75,70	757,04		411,333332	413,12761	415,08702
n=28	1241,00	73,00	730,00		415,329539	414,639713	414,127546
n=29	1198,21	70,48	775,31		409,262257	412,10787	415,716659
n=30	1226,40	68,13	749,47		412,921226	413,466567	414,738082
n=31	1252,77	65,94	725,29		416,565893	414,856912	413,909823
n=32	1213,63	63,88	766,50		410,893102	412,494243	415,309744
n=33	1238,79	61,94	743,27		414,257531	413,756773	414,463181
n=34	1202,35	120,24	721,41		413,122741	415,638027	414,330425
n=35	1226,40	116,80	700,80		416,325638	416,872021	413,637368
n=36	1192,33	113,56	738,11		411,282305	414,59456	414,827399
n=37	1215,35	110,49	718,16		414,267103	415,727734	414,118689
n=38	1183,37	107,58	753,05		409,686957	413,701287	415,298337
n=39	1205,44	104,82	733,74		412,479346	414,74609	414,578091
n=40	1226,40	102,20	715,40		415,264559	415,810454	413,944541
n=41	1196,49	99,71	747,80		410,913407	413,896273	415,015879
n=42	1216,67	97,33	730,00		413,531458	414,883742	414,371187
n=43	1235,91	95,07	713,02		416,141362	415,886288	413,798874
n=44	1207,82	92,91	743,27		411,999682	414,073636	414,779665
n=45	1226,40	90,84	726,76		414,463104	415,00874	414,19682
n=46	1199,74	88,87	755,39		410,636845	413,360453	415,170367
n=47	1217,70	86,98	739,32		412,968134	414,235045	414,579324

Tablo D.2'in devamı

n=48	1234,92	85,17	723,92		415,293618	415,122387	414,047944
n=49	1209,71	83,43	750,86		411,628667	413,548694	414,946622
n=50	1226,40	81,76	735,84		413,836689	414,382176	414,407343
n=51	1242,43	80,16	721,41		416,038458	415,225933	413,919394
n=52	1218,54	78,62	746,85		412,523159	413,721051	414,753615
n=53	1234,11	77,13	732,75		414,619866	414,516594	414,258154

Tablo D.3 Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,60$ ve $\beta=4$)

$\alpha=0,60$ $\beta=4$	hp1	hp2	hp3		cp1	cp2	cp3
n=0	0	0	0		369	390	408
n=1	2044,00	0,00	0,00		737,1384	549,6264	408
n=2	1022,00	0,00	1022,00		392,0087	406,025	433,4405
n=3	1362,67	0,00	681,33		441,7187	422,7259	413,0253
n=4	1022,00	0,00	1022,00		392,0087	406,025	433,4405
n=5	1226,40	0,00	817,60		416,7107	413,165	418,4204
n=6	1022,00	340,67	681,33		413,5631	427,6819	417,8789
n=7	1168,00	292,00	584,00		432,7841	434,8721	413,3324
n=8	1022,00	255,50	766,50		406,3891	420,4378	420,1841
n=9	1135,56	227,11	681,33		420,394	425,3273	415,6065
n=10	1022,00	204,40	817,60		402,7196	416,7492	421,9914
n=11	1114,91	185,82	743,27		413,6346	420,3175	417,5563
n=12	1192,33	170,33	681,33		424,6745	424,4544	414,7474
n=13	1100,62	157,23	786,15		409,4211	417,2883	419,181
n=14	1168,00	146,00	730,00		418,4943	420,5305	416,3127
n=15	1090,13	136,27	817,60		406,558	415,2799	420,5327
n=16	1149,75	127,75	766,50		414,2318	417,9045	417,6812
n=17	1202,35	120,24	721,41		421,9473	420,7656	415,5965
n=18	1135,56	113,56	794,89		411,1259	416,0403	418,8725
n=19	1183,37	107,58	753,05		417,8243	418,4415	416,758
n=20	1124,20	102,20	817,60		408,7677	414,6567	419,9113
n=21	1168,00	97,33	778,67		414,6744	416,7078	417,7995
n=22	1207,82	92,91	743,27		420,5996	418,8884	416,1356
n=23	1155,30	88,87	799,83		412,1942	415,3718	418,7327
n=24	1192,33	85,17	766,50		417,5004	417,2743	417,0526
n=25	1144,64	81,76	817,60		410,1937	414,3151	419,5702
n=26	1179,23	78,62	786,15		414,9919	415,9932	417,8902
n=27	1211,26	75,70	757,04		419,8	417,7531	416,5044
n=28	1168,00	73,00	803,00		412,9225	414,9554	418,6554
n=29	1198,21	70,48	775,31		417,3147	416,5294	417,26
n=30	1158,27	136,27	749,47		416,1825	419,0972	417,0206
n=31	1186,84	131,87	725,29		420,3567	420,6504	415,9118
n=32	1149,75	127,75	766,50		414,2318	417,9045	417,6812
n=33	1176,85	123,88	743,27		418,0908	419,314	416,56
n=34	1142,24	120,24	781,53		412,5652	416,8986	418,2975
n=35	1168,00	116,80	759,20		416,1506	418,1847	417,1701
n=36	1192,33	113,56	738,11		419,7388	419,5135	416,1929
n=37	1160,11	110,49	773,41		414,4719	417,2198	417,7439

Tablo D.3'ün devamı

n=38	1183,37	107,58	753,05		417,8243	418,4415	416,758
n=39	1153,03	104,82	786,15		413,0061	416,3871	418,2835
n=40	1175,30	102,20	766,50		416,1501	417,5152	417,2931
n=41	1196,49	99,71	747,80		419,2961	418,6755	416,4191
n=42	1168,00	97,33	778,67		414,6744	416,7078	417,7995
n=43	1188,37	95,07	760,56		417,6375	417,7855	416,9192
n=44	1161,36	92,91	789,73		413,3644	415,9987	418,2788
n=45	1180,98	90,84	772,18		416,1636	417,003	417,3952
n=46	1199,74	88,87	755,39		418,9642	418,0325	416,6044
n=47	1174,21	86,98	782,81		414,8457	416,3105	417,848
n=48	1192,33	85,17	766,50		417,5004	417,2743	417,0526
n=49	1168,00	83,43	792,57		413,6608	415,6939	418,2789
n=50	1185,52	81,76	776,72		416,1832	416,5986	417,4809
n=51	1202,35	80,16	761,49		418,7066	417,5237	416,7589
n=52	1179,23	78,62	786,15		414,9919	415,9932	417,8902
n=53	1195,55	77,13	771,32		417,3962	416,8648	417,1647
n=54	1173,41	113,56	757,04		416,7334	418,273	417,0232
n=55	1189,24	111,49	743,27		419,0709	419,138	416,3847
n=56	1168,00	109,50	766,50		415,5891	417,6229	417,4005
n=57	1183,37	107,58	753,05		417,8243	418,4415	416,758
n=58	1162,97	105,72	775,31		414,5432	417,0335	417,7632
n=59	1177,90	103,93	762,17		416,6843	417,8096	417,118
n=60	1192,33	102,20	749,47		418,8257	418,6	416,5251
n=61	1172,79	100,52	770,69		415,6379	417,2339	417,465
n=62	1186,84	98,90	758,26		417,6932	417,9853	416,8689
n=63	1168,00	97,33	778,67		414,6744	416,7078	417,7995
n=64	1181,69	95,81	766,50		416,6497	417,4231	417,2012
n=65	1194,95	94,34	754,71		418,6253	418,1506	416,6479
n=66	1176,85	92,91	774,24		415,6853	416,9073	417,5223
n=67	1189,79	91,52	762,69		417,5873	417,6015	416,9664
n=68	1172,29	90,18	781,53		414,7917	416,4326	417,8326
n=69	1184,93	88,87	770,20		416,625	417,096	417,2748
n=70	1197,20	87,60	759,20		418,4586	417,7698	416,7561
n=71	1180,34	86,37	777,30		415,7305	416,6292	417,5735
n=72	1192,33	85,17	766,50		417,5004	417,2743	417,0526
n=73	1176,00	84,00	784,00		414,897	416,1971	417,8627
n=74	1187,73	82,86	773,41		416,6073	416,8154	417,3403
n=75	1199,15	81,76	763,09		418,3179	417,4429	416,852
n=76	1183,37	80,68	779,95		415,773	416,3895	417,6194
n=77	1194,55	79,64	769,82		417,428	416,9919	417,1294
n=78	1179,23	104,82	759,95		416,9601	417,962	417,0292
n=79	1190,18	103,49	750,33		418,5832	418,5613	416,5806
n=80	1175,30	102,20	766,50		416,1501	417,5152	417,2931
n=81	1186,02	100,94	757,04		417,7233	418,0918	416,8426
n=82	1171,56	99,71	772,73		415,3896	417,098	417,5498
n=83	1182,07	98,51	763,42		416,9156	417,6534	417,0978
n=84	1192,33	97,33	754,33		418,4417	418,2158	416,6722
n=85	1178,31	96,19	769,51		416,1557	417,2431	417,3464
n=86	1188,37	95,07	760,56		417,6375	417,7855	416,9192

Tablo D.3'ün devamı

n=87	1174,71	93,98	775,31		415,4396	416,8585	417,5886
n=88	1184,59	92,91	766,50		416,8794	417,382	417,1601
n=89	1194,25	91,87	757,89		418,3193	417,9118	416,7553
n=90	1180,98	90,84	772,18		416,1636	417,003	417,3952
n=91	1190,46	89,85	763,69		417,564	417,5149	416,9889
n=92	1177,52	88,87	777,61		415,4867	416,6464	417,6244
n=93	1186,84	87,91	769,25		416,8496	417,1415	417,2171

Tablo D.4 Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,70$ ve $\beta=4$)

$\alpha=0,70$ $\beta=4$	hp1	hp2	hp3		cp1	cp2	cp3
n=0	0	0	0		369	390	408
n=1	2044,00	0,00	0,00		798,4948	576,2308	408
n=2	1022,00	0,00	1022,00		395,8434	408,6958	437,6805
n=3	1362,67	0,00	681,33		453,8385	428,1802	413,8628
n=4	1022,00	0,00	1022,00		395,8434	408,6958	437,6805
n=5	1226,40	0,00	817,60		424,6625	417,0258	420,1571
n=6	1022,00	340,67	681,33		420,9903	433,9622	419,5254
n=7	876,00	292,00	876,00		397,0631	421,9587	432,2499
n=8	1022,00	255,50	766,50		412,6206	425,5108	422,2148
n=9	1135,56	227,11	681,33		428,9596	431,2152	416,8742
n=10	1022,00	204,40	817,60		408,3395	421,2074	424,3232
n=11	1114,91	185,82	743,27		421,0737	425,3705	419,149
n=12	1022,00	170,33	851,67		405,7675	418,6273	425,967
n=13	1100,62	157,23	786,15		416,158	421,8363	421,0445
n=14	1168,00	146,00	730,00		426,7434	425,6189	417,6981
n=15	1090,13	136,27	817,60		412,8177	419,4932	422,6215
n=16	1149,75	127,75	766,50		421,7704	422,5553	419,2948
n=17	1082,12	120,24	841,65		410,4071	417,8363	423,943
n=18	1135,56	113,56	794,89		418,1469	420,3804	420,6846
n=19	1183,37	107,58	753,05		425,9617	423,1818	418,2177
n=20	1124,20	102,20	817,60		415,3957	418,7662	421,8966
n=21	1168,00	97,33	778,67		422,2868	421,1591	419,4327
n=22	1114,91	92,91	836,18		413,239	417,5259	422,9581
n=23	1155,30	88,87	799,83		419,3933	419,6005	420,5215
n=24	1192,33	85,17	766,50		425,5839	421,82	418,5614
n=25	1144,64	81,76	817,60		417,0593	418,3676	421,4985
n=26	1179,23	78,62	786,15		422,6572	420,3254	419,5386
n=27	1135,56	75,70	832,74		415,1388	417,3711	422,3779
n=28	1168,00	73,00	803,00		420,2429	419,1146	420,4313
n=29	1127,72	140,97	775,31		419,1814	422,2034	420,0524
n=30	1158,27	136,27	749,47		424,0462	423,9468	418,524
n=31	1120,90	131,87	791,23		417,2798	420,9787	420,8242
n=32	1149,75	127,75	766,50		421,7704	422,5553	419,2948
n=33	1114,91	123,88	805,21		415,6589	419,9473	421,5375
n=34	1142,24	120,24	781,53		419,8261	421,3817	420,0137
n=35	1168,00	116,80	759,20		424,009	422,8822	418,6985

Tablo D.4'ün devamı

n=36	1135,56	113,56	794,89		418,1469	420,3804	420,6846
n=37	1160,11	110,49	773,41		422,0505	421,7564	419,3679
n=38	1129,58	107,58	806,84		416,6829	419,5171	421,311
n=39	1153,03	104,82	786,15		420,3404	420,7849	419,9974
n=40	1124,20	102,20	817,60		415,3957	418,7662	421,8966
n=41	1146,63	99,71	797,66		418,835	419,9392	420,5896
n=42	1168,00	97,33	778,67		422,2868	421,1591	419,4327
n=43	1140,84	95,07	808,09		417,5001	419,1971	421,147
n=44	1161,36	92,91	789,73		420,7585	420,3319	419,992
n=45	1135,56	90,84	817,60		416,3088	418,5414	421,6721
n=46	1155,30	88,87	799,83		419,3933	419,6005	420,5215
n=47	1174,21	86,98	782,81		422,4867	420,6955	419,4893
n=48	1149,75	85,17	809,08		418,1668	418,9498	421,0231
n=49	1168,00	83,43	792,57		421,1043	419,9762	419,992
n=50	1144,64	122,64	776,72		420,4419	421,7518	419,7796
n=51	1122,20	120,24	801,57		416,5243	420,0945	421,2313
n=52	1139,92	117,92	786,15		419,2397	421,0307	420,2425
n=53	1156,98	115,70	771,32		421,9624	421,9958	419,3444
n=54	1135,56	113,56	794,89		418,1469	420,3804	420,6846
n=55	1152,07	111,49	780,44		420,748	421,2916	419,7869
n=56	1131,50	109,50	803,00		417,1495	419,7913	421,1069
n=57	1147,51	107,58	788,91		419,6388	420,6534	420,2111
n=58	1162,97	105,72	775,31		422,1338	421,539	419,3904
n=59	1143,25	103,93	796,81		418,622	420,0728	420,6176
n=60	1158,27	102,20	783,53		421,0146	420,913	419,7972
n=61	1139,28	100,52	804,20		417,6868	419,5425	421,0075
n=62	1153,87	98,90	791,23		419,9845	420,3411	420,1884

Tablo D.5 Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,80$ ve $\beta=4$)

$\alpha=0,80$ $\beta=4$	hp1	hp2	hp3		cp1	cp2	cp3
n=0	0	0	0		369	390	408
n=1	2044,00	0,00	0,00		859,8512	602,8352	408
n=2	1022,00	0,00	1022,00		399,6782	411,3667	441,9206
n=3	1362,67	0,00	681,33		465,9583	433,6345	414,7004
n=4	1022,00	0,00	1022,00		399,6782	411,3667	441,9206
n=5	1226,40	0,00	817,60		432,6143	420,8866	421,8939
n=6	1022,00	340,67	681,33		428,4175	440,2425	421,1718
n=7	876,00	292,00	876,00		401,0721	426,5243	435,7141
n=8	1022,00	255,50	766,50		418,8521	430,5837	424,2455
n=9	1135,56	227,11	681,33		437,5253	437,1031	418,142
n=10	1022,00	204,40	817,60		413,9594	425,6656	426,6551
n=11	1114,91	185,82	743,27		428,5127	430,4234	420,7417
n=12	1022,00	170,33	851,67		411,02	422,717	428,5337
n=13	1100,62	157,23	786,15		422,8948	426,3844	422,908
n=14	1168,00	146,00	730,00		434,9924	430,7073	419,0836
n=15	1090,13	136,27	817,60		419,0773	423,7065	424,7103
n=16	1149,75	127,75	766,50		429,3091	427,206	420,9083

Tablo D.5'in devamı

n=17	1082,12	120,24	841,65		416,3224	421,8129	426,2206
n=18	1135,56	113,56	794,89		425,1679	424,7204	422,4967
n=19	1075,79	107,58	860,63		414,2443	420,4085	427,4987
n=20	1124,20	102,20	817,60		422,0236	422,8756	423,8818
n=21	1168,00	97,33	778,67		429,8991	425,6104	421,066
n=22	1114,91	92,91	836,18		419,5589	421,4582	425,0949
n=23	1155,30	88,87	799,83		426,5923	423,8291	422,3102
n=24	1107,17	85,17	851,67		417,577	420,3386	426,1633
n=25	1144,64	81,76	817,60		423,9249	422,4201	423,4269
n=26	1100,62	157,23	786,15		422,8948	426,3844	422,908
n=27	1135,56	151,41	757,04		428,9328	428,489	420,8191
n=28	1095,00	146,00	803,00		420,8189	424,9208	423,8499
n=29	1127,72	140,97	775,31		426,3501	426,8039	421,7742
n=30	1090,13	136,27	817,60		419,0773	423,7065	424,7103
n=31	1120,90	131,87	791,23		424,177	425,4043	422,6562
n=32	1085,88	127,75	830,38		417,5965	422,6843	425,4979
n=33	1114,91	123,88	805,21		422,3245	424,2254	423,4714
n=34	1142,24	120,24	781,53		427,087	425,8648	421,73
n=35	1109,60	116,80	817,60		420,7276	423,2205	424,2258
n=36	1135,56	113,56	794,89		425,1679	424,7204	422,4967
n=37	1104,86	110,49	828,65		419,3375	422,3545	424,9251
n=38	1129,58	107,58	806,84		423,4947	423,7339	423,2126
n=39	1100,62	104,82	838,56		418,1168	421,6014	425,5744
n=40	1124,20	102,20	817,60		422,0236	422,8756	423,8818
n=41	1146,63	99,71	797,66		425,9542	424,2162	422,3881
n=42	1119,33	97,33	827,33		420,7207	422,123	424,508
n=43	1140,84	95,07	808,09		424,4287	423,3681	423,0252
n=44	1114,91	92,91	836,18		419,5589	421,4582	425,0949
n=45	1135,56	90,84	817,60		423,0672	422,6187	423,6253
n=46	1110,87	133,30	799,83		422,4724	424,8253	423,3039
n=47	1130,72	130,47	782,81		425,8851	425,9947	422,0424
n=48	1107,17	127,75	809,08		421,2907	424,0544	423,8503
n=49	1126,29	125,14	792,57		424,5346	425,1508	422,5955
n=50	1103,76	122,64	817,60		420,2233	423,3631	424,368
n=51	1122,20	120,24	801,57		423,3135	424,3937	423,1215
n=52	1100,62	117,92	825,46		419,2546	422,7399	424,8589
n=53	1118,42	115,70	809,89		422,2045	423,7112	423,6221
n=54	1135,56	113,56	794,89		425,1679	424,7204	422,4967
n=55	1114,91	111,49	817,60		421,193	423,0931	424,0988
n=56	1131,50	109,50	803,00		424,028	424,0472	422,9793
n=57	1111,65	107,58	824,77		420,2669	422,5311	424,5531
n=58	1127,72	105,72	810,55		422,9837	423,4348	423,4406
n=59	1143,25	103,93	796,81		425,7109	424,3689	422,4201
n=60	1124,20	102,20	817,60		422,0236	422,8756	423,8818
n=61	1139,28	100,52	804,20		424,642	423,7628	422,8657
n=62	1120,90	98,90	824,19		421,1381	422,3633	424,3038
n=63	1135,56	97,33	811,11		423,6556	423,2074	423,2931
n=64	1117,81	127,75	798,44		423,2152	424,7905	423,0718
n=65	1100,62	125,78	817,60		419,9551	423,441	424,4457

Tablo D.5'in devamı

n=66	1114,91	123,88	805,21		422,3245	424,2254	423,4714
n=67	1128,78	122,03	793,19		424,7025	425,0344	422,5682
n=68	1112,18	120,24	811,59		421,4975	423,7036	423,8558
n=69	1125,68	118,49	799,83		423,7921	424,4767	422,9564
n=70	1109,60	116,80	817,60		420,7276	423,2205	424,2258
n=71	1122,76	115,15	806,08		422,9443	423,9602	423,3308
n=72	1135,56	113,56	794,89		425,1679	424,7204	422,4967
n=73	1120,00	112,00	812,00		422,1529	423,4807	423,6919
n=74	1132,49	110,49	801,03		424,3036	424,2094	422,8607
n=75	1117,39	109,01	817,60		421,4125	423,0345	424,0403
n=76	1129,58	107,58	806,84		423,4947	423,7339	423,2126
n=77	1114,91	106,18	822,91		420,7185	422,6183	424,3766
n=78	1126,82	104,82	812,36		422,7362	423,2903	423,5528
n=79	1138,43	103,49	802,08		424,7598	423,9792	422,7801
n=80	1124,20	102,20	817,60		422,0236	422,8756	423,8818
n=81	1135,56	100,94	807,51		423,9866	423,5385	423,1119
n=82	1121,71	99,71	822,59		421,353	422,4873	424,2
n=83	1132,82	98,51	812,67		423,2587	423,1257	423,4333

Tablo D.6 Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,15$ ve $\beta=2$)

$\alpha=0,15$ $\beta=2$	hp1	hp2	hp3		cp1	cp2	cp3
n=0	0	0	0		369	390	408
n=1	2044,00	0,00	0,00		440,373073	420,947674	408
n=2	1022,00	0,00	1022,00		386,843268	402,427425	427,729142
n=3	1362,67	0,00	681,33		400,721366	405,839192	416,768508
n=4	1533,00	0,00	511,00		409,147354	408,580693	412,932286
n=5	1226,40	408,80	408,80		403,359655	413,837446	413,408106
n=6	1362,67	340,67	340,67		408,458284	414,2907	411,755629
n=7	1460,00	292,00	292,00		412,36227	414,793666	410,759238
n=8	1277,50	255,50	511,00		402,199238	410,448434	414,398069
n=9	1362,67	227,11	454,22		405,688277	411,123698	413,055264
n=10	1430,80	204,40	408,80		408,614957	411,752346	412,094764
n=11	1486,55	185,82	371,64		411,099067	412,325166	411,384103
n=12	1533,00	170,33	340,67		413,230727	412,842715	410,843586
n=13	1415,08	157,23	471,69		406,68772	410,24074	412,979783
n=14	1460,00	146,00	438,00		408,730656	410,768297	412,293792
n=15	1498,93	136,27	408,80		410,546393	411,255034	411,74037
n=16	1533,00	127,75	383,25		412,169588	411,703416	411,287435
n=17	1442,82	120,24	480,94		407,240188	409,809456	412,953368
n=18	1476,22	113,56	454,22		408,80752	410,248519	412,418282
n=19	1506,11	107,58	430,32		410,237133	410,659287	411,965439
n=20	1533,00	102,20	408,80		411,545798	411,043451	411,578808
n=21	1460,00	194,67	389,33		409,906106	412,045832	411,714072
n=22	1486,55	185,82	371,64		411,099067	412,325166	411,384103
n=23	1510,78	177,74	355,48		412,204255	412,590632	411,09623
n=24	1447,83	170,33	425,83		408,678908	411,170748	412,206949

Tablo D.6'nın devamı

n=25	1471,68	163,52	408,80		409,763038	411,442096	411,877125
n=26	1493,69	157,23	393,08		410,777357	411,701427	411,58462
n=27	1514,07	151,41	378,52		411,728167	411,949128	411,324009
n=28	1460,00	146,00	438,00		408,730656	410,768297	412,293792
n=29	1480,14	140,97	422,90		409,664591	411,016635	412,002774
n=30	1498,93	136,27	408,80		410,546393	411,255034	411,74037
n=31	1516,52	131,87	395,61		411,380159	411,483837	411,502948

Tablo D.7 Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,15$ ve $\beta=3$)

$\alpha=0,15$ $\beta=3$	hp1	hp2	hp3		cp1	cp2	cp3
n=0	0	0	0		369	390	408
n=1	2044,00	0,00	0,00		450,0481	425,1428	408
n=2	1022,00	0,00	1022,00		379,131	397,056	419,2018
n=3	1362,67	0,00	681,33		393,0142	401,2018	411,319
n=4	1533,00	0,00	511,00		403,1922	405,1588	409,4002
n=5	1635,20	0,00	408,80		410,4966	408,1636	408,7169
n=6	1362,67	340,67	340,67		402,9388	411,2616	409,1053
n=7	1460,00	292,00	292,00		407,8601	412,7128	408,6961
n=8	1533,00	255,50	255,50		411,9092	413,9329	408,4663
n=9	1362,67	227,11	454,22		399,1365	407,3641	409,5387
n=10	1430,80	204,40	408,80		402,7386	408,5976	409,1217
n=11	1486,55	185,82	371,64		405,9065	409,7021	408,8428
n=12	1533,00	170,33	340,67		408,7036	410,6871	408,6491
n=13	1415,08	157,23	471,69		400,2279	406,6297	409,4601
n=14	1460,00	146,00	438,00		402,7756	407,5539	409,1691
n=15	1498,93	136,27	408,80		405,0968	408,4058	408,9505
n=16	1533,00	127,75	383,25		407,2161	409,1898	408,7832
n=17	1563,06	120,24	360,71		409,1559	409,9114	408,6529
n=18	1476,22	113,56	454,22		402,8281	406,9966	409,2063
n=19	1506,11	107,58	430,32		404,657	407,6847	409,0256
n=20	1533,00	102,20	408,80		406,3594	408,3297	408,8794
n=21	1557,33	97,33	389,33		407,9466	408,9341	408,7596
n=22	1579,45	92,91	371,64		409,4288	409,5009	408,6607
n=23	1510,78	88,87	444,35		404,3814	407,2256	409,08
n=24	1533,00	85,17	425,83		405,803	407,7717	408,9506
n=25	1553,44	81,76	408,80		407,1444	408,2895	408,841
n=26	1572,31	78,62	393,08		408,4117	408,7806	408,7476
n=27	1589,78	75,70	378,52		409,6101	409,2466	408,6676
n=28	1533,00	73,00	438,00		405,4126	407,3805	409,005
n=29	1550,62	70,48	422,90		406,5736	407,8326	408,9046
n=30	1567,07	68,13	408,80		407,6794	408,2649	408,8171
n=31	1582,45	65,94	395,61		408,7335	408,6782	408,7406

Tablo D.8 Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,15$ ve $\beta=5$)

$\alpha=0,15$ $\beta=5$	hp1	hp2	hp3		cp1	cp2	cp3
n=0	0	0	0		369	390	408
n=1	2044,00	0,00	0,00		473,5104	435,3162	408
n=2	1022,00	0,00	1022,00		372,266	392,2747	411,6111
n=3	1362,67	0,00	681,33		382,7627	396,0806	408,4755
n=4	1533,00	0,00	511,00		393,8008	400,7806	408,1128
n=5	1635,20	0,00	408,80		403,246	404,858	408,037
n=6	1703,33	0,00	340,67		411,0004	408,2151	408,0149
n=7	1460,00	0,00	584,00		388,4321	398,4781	408,22
n=8	1533,00	0,00	511,00		393,8008	400,7806	408,1128
n=9	1589,78	0,00	454,22		398,7466	402,9131	408,0626
n=10	1635,20	0,00	408,80		403,246	404,858	408,037
n=11	1672,36	0,00	371,64		407,3185	406,6205	408,023
n=12	1533,00	170,33	340,67		401,2586	408,2385	408,0382
n=13	1572,31	157,23	314,46		404,5989	409,6743	408,0256
n=14	1606,00	146,00	292,00		407,6918	410,9787	408,0177
n=15	1635,20	136,27	272,53		410,5539	412,166	408,0125
n=16	1533,00	127,75	383,25		399,0932	406,073	408,0472
n=17	1563,06	120,24	360,71		401,6445	407,185	408,0349
n=18	1589,78	113,56	340,67		404,0599	408,2265	408,0262
n=19	1613,68	107,58	322,74		406,3443	409,2018	408,02
n=20	1635,20	102,20	306,60		408,5038	410,1158	408,0155
n=21	1557,33	97,33	389,33		399,9523	405,7754	408,0431
n=22	1579,45	92,91	371,64		401,9234	406,6317	408,0342
n=23	1599,65	88,87	355,48		403,8115	407,4467	408,0274
n=24	1618,17	85,17	340,67		405,6189	408,2223	408,0221
n=25	1635,20	81,76	327,04		407,3485	408,9606	408,018
n=26	1650,92	78,62	314,46		409,0036	409,6634	408,0148
n=27	1589,78	75,70	378,52		402,1243	406,2909	408,0341
n=28	1606,00	73,00	365,00		403,673	406,9598	408,0284
n=29	1621,10	70,48	352,41		405,1672	407,6026	408,0238
n=30	1635,20	68,13	340,67		406,6083	408,2203	408,0201
n=31	1648,39	65,94	329,68		407,9983	408,8141	408,0171
n=32	1660,75	63,88	319,38		409,3388	409,385	408,0146
n=33	1610,42	61,94	371,64		403,5863	406,6269	408,0293
n=34	1623,18	60,12	360,71		404,8593	407,1754	408,0252
n=35	1635,20	58,40	350,40		406,0939	407,7059	408,0218
n=36	1646,56	56,78	340,67		407,2912	408,2192	408,019
n=37	1657,30	55,24	331,46		408,4524	408,7158	408,0165
n=38	1613,68	53,79	376,53		403,5274	406,3849	408,03
n=39	1624,72	52,41	366,87		404,6361	406,8631	408,0264
n=40	1635,20	51,10	357,70		405,7158	407,3278	408,0232
n=41	1645,17	49,85	348,98		406,7671	407,7795	408,0205
n=42	1654,67	48,67	340,67		407,7907	408,2184	408,0182
n=43	1663,72	47,53	332,74		408,7874	408,6452	408,0162
n=44	1625,91	46,45	371,64		404,467	406,6249	408,0273
n=45	1635,20	45,42	363,38		405,4262	407,0382	408,0244
n=46	1644,09	44,43	355,48		406,363	407,4413	408,0219

Tablo D.8'in devamı

n=47	1652,60	43,49	347,91		407,2781	407,8344	408,0197
n=48	1660,75	42,58	340,67		408,1718	408,2179	408,0177

Tablo D.9 Bursa-Muğla rota maliyeti ve rota akımı iterasyonları ($\alpha=0,15$ ve $\beta=6$)

$\alpha=0,15$ $\beta=6$	hp1	hp2	hp3		cp1	cp2	cp3
n=0	0	0	0		369	390	408
n=1	2044,00	0,00	0,00		487,6774	441,459	408
n=2	1022,00	0,00	1022,00		370,8543	391,2915	410,0503
n=3	1362,67	0,00	681,33		379,4189	394,5605	408,18
n=4	1533,00	0,00	511,00		390,122	399,1662	408,032
n=5	1635,20	0,00	408,80		400,1106	403,4917	408,0084
n=6	1703,33	0,00	340,67		408,7448	407,2342	408,0028
n=7	1460,00	292,00	292,00		398,3344	410,4244	408,0178
n=8	1533,00	255,50	255,50		404,058	413,1023	408,008
n=9	1589,78	227,11	227,11		409,2638	415,387	408,0039
n=10	1430,80	204,40	408,80		390,3978	403,5125	408,0291
n=11	1486,55	185,82	371,64		394,3834	405,4498	408,0165
n=12	1533,00	170,33	340,67		398,1969	407,2412	408,0098
n=13	1572,31	157,23	314,46		401,8128	408,8915	408,006
n=14	1606,00	146,00	292,00		405,2223	410,4101	408,0039
n=15	1635,20	136,27	272,53		408,4268	411,8079	408,0026
n=16	1533,00	127,75	383,25		395,7682	404,8124	408,012
n=17	1563,06	120,24	360,71		398,494	406,0576	408,0083
n=18	1589,78	113,56	340,67		401,1141	407,2373	408,0059
n=19	1613,68	107,58	322,74		403,6257	408,3537	408,0043
n=20	1635,20	102,20	306,60		406,0286	409,4097	408,0031
n=21	1654,67	97,33	292,00		408,3247	410,4086	408,0023
n=22	1579,45	92,91	371,64		398,7471	405,4412	408,0079
n=23	1599,65	88,87	355,48		400,7976	406,357	408,0061
n=24	1618,17	85,17	340,67		402,7814	407,2361	408,0047
n=25	1635,20	81,76	327,04		404,6983	408,0795	408,0037
n=26	1650,92	78,62	314,46		406,549	408,8883	408,0029
n=27	1665,48	75,70	302,81		408,3345	409,6641	408,0023
n=28	1606,00	73,00	365,00		400,6234	405,8111	408,0063
n=29	1621,10	70,48	352,41		402,2615	406,535	408,0051
n=30	1635,20	68,13	340,67		403,8544	407,2355	408,0041
n=31	1648,39	65,94	329,68		405,4024	407,9131	408,0034
n=32	1660,75	63,88	319,38		406,9058	408,5685	408,0028
n=33	1672,36	61,94	309,70		408,3656	409,2022	408,0023
n=34	1623,18	60,12	360,71		401,9099	406,0546	408,0054
n=35	1635,20	58,40	350,40		403,2719	406,653	408,0045
n=36	1646,56	56,78	340,67		404,6015	407,2352	408,0038
n=37	1657,30	55,24	331,46		405,8988	407,8015	408,0032
n=38	1667,47	53,79	322,74		407,1643	408,3522	408,0028
n=39	1677,13	52,41	314,46		408,3984	408,8878	408,0024

Tablo D.9'un devamı

n=40	1635,20	51,10	357,70		402,8459	406,227	408,0049
n=41	1645,17	49,85	348,98		404,0107	406,737	408,0042
n=42	1654,67	48,67	340,67		405,1511	407,235	408,0036
n=43	1663,72	47,53	332,74		406,2673	407,7214	408,0032
n=44	1672,36	46,45	325,18		407,3596	408,1963	408,0027
n=45	1680,62	45,42	317,96		408,4283	408,66	408,0024
n=46	1644,09	44,43	355,48		403,5571	406,3555	408,0045
n=47	1652,60	43,49	347,91		404,5741	406,7997	408,004
n=48	1660,75	42,58	340,67		405,5723	407,2349	408,0035
n=49	1668,57	41,71	333,71		406,5516	407,6611	408,0031
n=50	1676,08	40,88	327,04		407,5123	408,0785	408,0027
n=51	1683,29	40,08	320,63		408,4546	408,4873	408,0024
n=52	1650,92	39,31	353,77		404,1155	406,4548	408,0043
n=53	1658,34	38,57	347,09		405,0179	406,8484	408,0038
n=54	1665,48	37,85	340,67		405,9052	407,2348	408,0034
n=55	1672,36	37,16	334,47		406,7774	407,6141	408,003
n=56	1679,00	36,50	328,50		407,6348	407,9864	408,0027
n=57	1685,40	35,86	322,74		408,4774	408,3519	408,0025
n=58	1656,34	35,24	352,41		404,5656	406,534	408,0041
n=59	1662,92	34,64	346,44		405,3765	406,8873	408,0037
n=60	1669,27	34,07	340,67		406,175	407,2347	408,0033
n=61	1675,41	33,51	335,08		406,9612	407,5764	408,003
n=62	1681,35	32,97	329,68		407,7352	407,9125	408,0027

Tablo D.10 Önerilen α ve β parametrelerine bağlı AOY hesap sonuçları

Bağımsız Değişkenler		Bağımlı Değişkenler					
Kalibrasyon parametreleri		Rota Akımları (araç/saat)			Rota Maliyetleri (dakika)		
α için önerilen değerler	β için önerilen değerler	hp_1	hp_2	hp_3	cp_1	cp_2	cp_3
0,15	4	1623,18	60,12	360,71	408,0858	408,3988	408,1187
0,5	4	1234,11	77,13	732,75	414,6199	414,5166	414,2582
0,6	4	1186,84	87,91	769,25	416,8496	417,1415	417,2171
0,7	4	1153,87	98,9	791,23	419,9845	420,3411	420,1884
0,8	4	1132,82	98,51	812,67	423,2587	423,1257	423,4333
0,15	2	1516,52	131,87	395,61	411,3802	411,4838	411,5029
0,15	3	1582,45	65,94	395,61	408,7335	408,6782	408,7406
0,15	5	1660,75	42,58	340,67	408,1718	408,2179	408,0177
0,15	6	1681,35	32,97	329,68	407,7352	407,9125	408,0027

KAYNAKLAR

- [1] Nicholson, A. ve Du, Z.P., “Degradable transportation systems: an integrated equilibrium model”, *Transportation Research 31 B*, (1997).
- [2] Bell M.G.H. ve Iida Y., “Transportation network analysis”. *Jhon Wiley and Sons, Chichester, First Edition*, (1997).
- [3] Chen, A., Yang, H., Lo, H. K. ve Tang, W. H., “Capacity reliability of a road network: an assessment methodology and numerical results”, *Transportation Research Part B*, 225-252, (2002).
- [4] Iida, Y., “Basic concepts and future directions of road network reliability analysis”, *Journal of Advanced Transportation*, 33 (2), Paper#1, (1999).
- [5] Bell, M.G.H., “A game theory approach to measuring the performance reliability of transport networks”, *Transportation Research Part B*, 533-545, (2000).
- [6] Wakabayashi, H., Iida, Y. ve Inoue, Y., “A link reliability estimation method using characteristics of traffic flow fluctuation in road network by computer simulation” *Journal of Infrastructure Planning and Management, Japaoan Society of Civil Engineers*, 4-29, (1993).
- [7] Cascetta, E., “Transportation systems engineering: Theory and Methods”, *Kluwer Academic Publishers, Boston; MA.*, (2001).
- [8] Lam, W. ve H.Lo “Estimation of origin-destination matrix from traffic counts: A comparison of entropy maximizing and information minimizing models.”, *Transportation Planning and Technology 16*, 85-104, (1991).
- [9] Xu, W. and Y. Chang, “Estimating an origin destination matrix with fuzzy weights, part II: case studies”, *Transportation Planning and Technology*, 17:145-163, (1993).
- [10] Taylor, M.A.P., Bonsall, P.W., ve Young, W., “Understanding traffic systems: data, analysis and presentation”, *Aldershot, Ashgate Pub.*, (2000).
- [11] Robillard, P., “Estimating the O-D matrix and Network Characteristics from observed link volumes”, *Proceedings of the International Conference on Transportation Research. First Conference*, (1973).
- [12] Low, D.E., “ A new approach to transportation systems modeling”, *Traffic Quarterly*, 26:391-404, (1972).

- [13] Holm, Jensen, T., Nielsen, S.K., Christensen, A., Johnsen, B. ve Ronby, G., “Calibrating traffic models on traffic census results only”, *Traffic Engineering and Control, April: 137-140*, (1976).
- [14] Gaudry, M., ve Lamarre, L., “Estimation origin-destination matrices from traffic counts: a simple linear intercity model for quebec”, *The Logistics and Transportation Review, 15(5):631-642*, (1979).
- [15] Smith, R.L. ve Mcfarlane, W.J., “Examination of simplified travel demand model, journal of transportation engineering”, *ASCE, Vol.104, No.TE1, 31-41*, (1978).
- [16] Symons, J., Wilson, R. ve Patterson, J., “A model of inter-city motor travel estimated by link volumes”, *ARRB Proceedings, v. 8, n. 20, pp. 53-65*, (1976).
- [17] Ivan, J.N., ve Allaire, S.A., “Regional and area –type modelling of peak spreading on Connecticut freeways”, *Journal of Transportation Engineering, 223-229*, (2001).
- [18] Sharma, S.C., Gulati, B.M., Rizak, S.N., “Statewide traffic volume studies and precision of AADT estimates”, *Journal of Transportation Engineering, 430-439*, (1996).
- [19] Robillard, P., “Estimating the O-D matrix from observed link volumes”, *Transportation Research, 9:123-128*, (1975).
- [20] Hogberg, P., “Estimation of parameters in models for traffic prediction: A nonlinear regression Approach”, *Transportation Research, 10:263-265*, (1976).
- [21] Wardrop, J.G., “Some theoretical aspects of road traffic research”, *Proceedings of The Institution of Civil Engineers*, (1952).
- [22] Nguyen, S., “Estimating an OD matrix from network data: a network equilibrium approach”, *University of Montreal Publication No. 60*, (1977).
- [23] LeBlank, L., ve Farhangian, K., “Selection of a trip table which reproduces observed link flows”, *Transportation Research 169B, 83-88*, (1982).
- [24] Spiess, H., “A gradient approach for the O-D matrix adjustment problem”, *Centre De Recherché Sur Les Transports Publication No: 693*, (1990).
- [25] Turnquist, M., ve Gur, Y., “Estimation of a trip tables from observed link volumes”, *TRB. Transportation Research Record 730, 1-6*, (1979).
- [26] Gur, Y., “Estimating trip tables from traffic counts: Comparative evaluation of available techniques”, *TRB. Transportation Research Record 944, 113-117*, (1983).
- [27] Han, A. ve Sullivan, E., “Trip table synthesis for CBD Networks: Evaluation of the LINKOD model” *TRB. Transportation Research Record 944, 106-112* (1983).

- [28] Fisk, C., "On combining maximum entropy trip matrix estimation with user optimal assignment", *Transportation Research 22B*, 66-79, (1988).
- [29] Fisk, C., "Trip matrix estimation from link traffic counts: The congested network case", *Transportation Research 23B*, 331-356, (1989).
- [30] Oh, J. "Estimation of trip matrices from traffic count: An equilibrium approach", *Mathematics in Transport Planning and Control, Oxford: Clarendon Pres.*35-44, (1992).
- [31] Yang, H., "Heuristic algorithms for bilevel origin-destination matrix estimation problem" *Transportation Research 29B*, 66-79, (1995).
- [32] Wilson, A. G., "Entropy in urban and regional modeling", *Pion, London*, (1970).
- [33] Willumsen, J.G., "Estimation of an O-D matrix from traffic counts:A review", *Institute for Transport Studies, Working Paper No.99, Leeds University*, (1978).
- [34] Van Zuylen, J.H. ve Willumsen, L. G., "The most likely trip matrix estimated from traffic counts," *Transportation Research, 14(B):281-293*, (1980).
- [35] Hall, M., Van Vliet, D. ve Willumsen, L., "Saturn - a simulation - assignment model for the evaluation of traffic management schemes" *Traffic Engineering and Control, v. 21, n. 4, pp. 168-17*, (1980).
- [36] Beagan, D. ve Bromage, J., "Trip table estimate from observed traffic volumes" *Proceedings of the North American Conference on Microcomputers in Transportation, ASCE, Boston, pp. 275-283*,(1987).
- [37] Sivanandan, R. Sherali, D., ve Hobeika, A.G., "A new approach for estimating origin destination (O-D) trip tables from link traffic volumes" *Proceeding, TRB, Transportation Research Board 73rd Annual Meeting*, (1994).
- [38] Maher, M. J., "Inferences on trip matrices from observations on link volumes: A Bayesian statistical approach", *Transportation Research, 17B(6):435-447*, (1983).
- [39] Cascetta, E. ve Nguyen, S., "A unified framework for estimating or updating Origin/Destination matrices from traffic counts", *Transportation Research-B, Vol.22B, 437-455*, (1988).
- [40] Cremer, M. ve Keller, H., "A new class of dynamic methods for the identifications of Origin-Destination Flows" *Transportation Research-B, Vol.21B, 117-132*, (1987).
- [41] Nihan, N.L., ve Davis, G.A., "Recursive estimation of origin-destination matrices from input/output counts", *Transportation Research-B, Vol.21B, 149-163*, (1987).

- [42] Nihan, N.L., ve Davis, G.A., “Application of prediction-error minimization and maximum likelihood to estimate intersection O-D matrices from traffic counts”, *Transportation Science*, Vol.23, 77-90, (1989).
- [43] Bell, M.G.H., “The estimation of origin-destination matrices by constrained generalized least squares” *Transportation Research-B*, Vol.25B, 13-22, (1991a).
- [44] Carey, M., Hendrickson, C. ve Siddharthan, K., “A method for direct estimation of origin destination trip matrices”, *Transportation Science*, 15(1):32-49, (1981).
- [45] McNeil, S., ve Hendrickson, C., “A regression formulation on matrix estimation problem”, *Transportation Science*, 19(3):278-292 ,(1985).
- [46] Cascetta, E., “Estimation of trip matrices from traffic counts and survey data: A generalized least squares estimator”, *Transportation Research*, 18B:289-299, (1984).
- [47] Wells, C.E., ve Evans, J.R., “Stastical procedure for estimating branch flows and total network flow” *Networks Vol. 19*, 481-491, (1989).
- [48] Sherali, D.H., Sivanadan, R. ve Hobeika, A.G., “A study on estimation method of table by traffic count data and on street” *Transportation Research*, 28B, (1994a).
- [49] Sherali, D.H., Sivanadan, R. ve Hobeika, A.G., “Lineer programming approach for synthesizing origin destination (O-D) trip tables from link traffic volumes” *Transportation Research*, 28B:213-233, (1994b).
- [50] Sivanandan, R., Narayanan, A. ve Lei, P., “Review and evaluation of models that produce trip tables from ground counts”, *VTRC Report. 96-IR2*, Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, (1996).
- [51] Multer, B., and J. Reinhardt, “Neural networks-An Introduction”. *Springer-Verlag, Berlin, Germany*, (1990).
- [52] Yang, H., Akiyama, T. ve Sasaki, T., “A neural network approach to the identification of real time origin-destination from traffic counts” *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence Application in Transportation Engineering*, 253-269, (1992).
- [53] Chin, S., Hwang, H., ve Pei,T., “Using neural networks to synthesize origin-destination flows in a traffic circle”, *Transportation Research Record*, 1457:134-142., (1994).
- [54] O’Neil ve Wende A., “Developping optimal transportation analysis using GIS”, *ITE Journal*, 33-35,December, (1991).
- [55] Paramahamsan, H., ‘Fundamental properties of synthetic o-d generation formulations and solutions’, *Blacksburg, Virginia Polytecnic Institute and State University* , (1999).

- [56] Vitoşoğlu, Y., Bıçakçı, E. ve Güler, H., ‘Türkiyede şehirler arası otomobil yolculuklarının çoklu regresyon ve bulanık mantık yöntemleriyle modellenmesi’, *7th International Congress on Advances in Civil Engineering*, 385 October, (2006).
- [57] Ortuzar, J. ve Willumsen, L.G., “Modelling transport”, *John Willey ve Sons, London, England*, (1990).
- [58] “Travel demand forecasting”, *Transportation Planning Handbook published by The Institute of Transportation Engineers*, 112-114, (1992).
- [59] Gülgeç, İ., “Seyahat dağılımı”, *Ulaşım Planlaması*, 83-163, (1998).
- [60] Miller, E. J. ve Meyer, M. D., “Urban transportation planning-a decision oriented approach”, *Second Edition*, (2000).
- [61] Heanue, Kevin E. ve Pyers, Clyde E., “A Comparative Evaluation of Trip Distribution Procedures”, (1966).
- [62] Haynes, Kingsley, E. ve Fotheringham, A. Steward, “Gravity and spatial interaction models” *Bevellery Hills, CA:Sage Publications*, (1984).
- [63] Modali, N. K., “Modelling destination of civil and environmental engineering”, *Louisiana State Universty*, May, (2005).
- [64] Zhao, F., Chow, L. F., Li, M.T. ve Gan, A., “Refinement of fsutms trip distribution methodology”, *Final Report for BB942*, September, (2004).
- [65] Harris, D. M., “A GIS aproach to linking spatial patterns and trip generation/ trip distribution modelling”, *Florida Atlantic University*, 20-26, (1995).
- [66] Papacostas, C. S ve Prevedouros, P. D., *Transportation Engineering and Plannig*, (1993)
- [67] Chatterjee, A., ve Venigalla, M. M., “Travel demand forecasting for Urban transportation planning”, *Chapter 7 of Handbook of Transportation Engineering, Myer Kutz (Editor), McGraw-Hill*, (2004).
- [68] Robles, J., “Evaluating traveler costs of alternative traffic management plans at highway work zones using a dynamic traffic assignment model” *Dissertation MSc., University of Colorado at Denver*, (1997).
- [69] Beckmann, M.J., McGuire, C.B. ve Winsten, C.B., “Studies in the economics of transportation ”, *Yale University Pres, Nnew Haven, Connecticut*, (1956).
- [70] Sheffi, Y., “Urban transport networks: Equilibrium analysis with mathematical programming methods”, *Prentice –Hall inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA*, (1985).

- [71] Ortuzar, J.D. ve Willumsen, L.G., “Modelling transport”, Wiley, UK., (2002).
- [72] Kang, D.H., “Multi-commodity flow estimation with partial counts on selected links”, *Dissertation, Doctor of Phikosophy, Texas A and M University*, (2005).
- [73] Burrell, J.E., “Multiple route assignment and its application to capacity restraint” *In: Proceedings of the 4th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, University of Karlsruhe*, (1968).
- [74] Dial, R.B., “A probabilistic multipath traffic assignment model which obviates the need for path enumeration”, *Transportation Resarch*, 5, 83-111, (1971).
- [75] Daganzo, C.F. ve Sheffi, Y., “On stochastic models of traffic assignment”, *Transportation Science*, (1977).
- [76] Fisk, C., “Some developments in equilibrium traffic assignment”, *Transportation Research*, (1980).
- [77] Van Vliet, D., “Selected node-pair analyis analyis in Dial’s assignment algorithm”, *Transportation Research B*, (1981).
- [78] Gang, XU., “A traffic flow simulator for driver information system” *MSc. Thesis, Department of Civil and Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University*, (2003).
- [79] Cascetta, E., “A modified logit route choice model overcoming path overlapping problems: Specification and some calibration results for interurban Works”, *Proceedings of 13th International Symposion on Transportation and Traffic Theory, Pergamon*, 697-711, (1996).
- [80] Prashker, J.N., ve Bekhor, S., “Investigation of stochastic network loading procedures”, *Transportation Research Record*, 1645, 94-102, (1998).
- [81] Kopelman, F.S. ve Wen, C.H., “The paired combinatorial logit model: properties estimation and application”, *Transportation 34B*, 75-89, (2000).
- [82] Sheffi, Y. ve Powell, W.B., “An algorithm for the equilibrium assignment problem with random link times”, *Networks*, (1982).
- [83] Daganzo, C.F., “Multinomial probit: the theory and its application to demand forecasting”, *Academic Pres, New York*, (1979).
- [84] Rosa, A. ve Maher, M., “Algorithms for solving the probit path-based stochastic user equilibrium traffic assignment problem with one or more user classes”, *Proceedings of 15th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Adelside, Australia, Pergamon*, (2002).
- [85] Clark C.E., “The greatest of a finite set of random variables”, *Operations Research 9*, (1961).

- [86] Maher, M.J. ve Hughes, P.C., “A probit-based stochastic user equilibrium assignment model”, *Transportation Research*, 31B, 341-355, (1997).
- [87] Pampel, F.C., “Logistic regression”, *A Primer*, Sage University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 07-132 Thousand Oaks, CA:Sage (2000).
- [88] Asakura, Y., “Evaluation of network reliability using stochastic user equilibrium”, *Journal of Advanced Transportation*, 33(2), Paper#3, Summer (1999).
- [89] Bureau of Public Roads, “Traffic assignment manuel”, *US Department of Commerce, Washington, DC*, (1964).
- [90] www.rcgov.com/planning/transportation/pdfdocs/traveldemanddraftreport.pdf
- [91] Bell, M.G.H., “Alternatives to Dial’s Logit Assignment Algorithm”, *Transportation Resarch, B*, 29B, (1995).
- [92] http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/transport_e/TransportationII/mod12/node16.html, Son erişim:05.02.2009.
- [93] Cheu, R.L. ve Kreinovich V., “Use of deterministik traffic assignment algorithms in stochastic networks: Analysis of equivalent link disutility functions”, *Submitted to Transportmetrica for Review and Publication*, February, (2007).
- [94] Frank;M. Ve Wolfe P., “An algorithm for quadratic programming”, *Naval Research Logistics Quarterly* 3, (1956).
- [95] Floyd, R. W., “Algorithm 97, shortest path”, *Communications of the Association of Computing Machinery*, 5, 345, (1962).
- [96] Warshall, S., “A theorem on boolean matrices” *Journal of the Association of Computing Machinery*, 9, 11-12, (1962).
- [97] Dijkstra, E.W., “A note on two problems in connection with Graphs”, *Numerische math.*, 1,269-271, (1959).
- [98] <http://www.ce.yildiz.edu.tr/mygetfile.php?id=1000>, Son erişim:03.12.2008.
- [99] Karayolları Genel Müdürlüğü, “Trafik ve ulaşım bilgileri”, *TCK Yayınları* (2004, 2005, 2006, 2007)
- [100] Devlet İstatistik Enstitüsü Veri Tabanı, (2000, 2007)
- [101] Tunç, A., “Trafik mühendisliği ve uygulamaları”, (2003).
- [102] Bell, M.G.H., “A game theory approach to measuring the performance reliability of transport networks”, *Transportation Research Part B*, 533-545, (2000).