

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YOLCULUK SÜRESİ YETERLİLİK İNDEKSİ İLE TÜRLER-ARASI
ULAŞIMDA ERİŞİM MODELLEMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Seda YANIK UĞURLU**

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Endüstri Mühendisliği

AĞUSTOS 2011

ÖNSÖZ

Kalite, ürün veya hizmetler ile ilgili olsun yaşam tarzımızı etkileyen çok önemli bir özelliktir. Bu nedenle kalitenin izlenir hale getirilmesi, iyileştirilmesi ve tüketicilerin beklentilerini karşılayacak düzeye çıkarılması tüm üretim sistemleri için gereklidir. Ancak hizmet kalitesi için kalitenin algısal ölçümünün ötesinde objektif ölçütlerin ve standartların tanımlanması oldukça güçtür. Bu tez çalışmasında, şehir yaşamının vazgeçilmez bir ögesi olan şehir-içi toplu ulaşım sistemlerinde hizmet kalitesinin tanımlanması ve ölçümü için bir yaklaşım önerilmiştir. Ve sunulan kalite düzeyinin yolcuların seçimlerini nasıl etkilediğinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Yoğun özel araç kullanımının çevre ve kalabalık şehirlerde daha yüksek yaşam kalitesine ulaşmak üzerinde çok büyük olumsuz etkileri bulunmaktadır. Özel araçlar yerine toplu ulaşım kullanımının artırılması ancak hizmetlerin doğru şekilde analiz edilmesi, yolcuların davranışları ve beklentilerinin anlaşılması ve hizmetlerin bu yönde planlanması ile mümkündür. Bu çalışmada önerilen sayısal yöntemler ile yaşadığım İstanbul şehrinin en önemli problemlerinden birinin çözümü için toplu ulaşım hizmetlerinin planlanmasına katkı yapılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın her aşamasında, konu ile ilgili bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, ilgi ve önerilerini hiç bir zaman esirgemeyen, tez danışmanlığımı ve eş danışmanlığımı yürüten değerli hocalarım Prof. Dr. Nahit SERARSLAN ve Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ'a çok teşekkür ederim. Değerli hocam Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN'a süreç yeterlilik analizi konusu üzerinde araştırma yapabileceğimi önererek bu tezin gelişmesine katkıları ve değerli öğrencisi Yrd. Doç. Dr. İhsan KAYA arkadaşımın bu konudaki önerileri ve katkıları için çok teşekkür ederim. Değerli hocam Doç. Dr. İlker TOPÇU'ya beni her zaman sabırla dinlediği, değerli tecrübe, bilgi ve yorumları ile teze verdiği katkılar için çok teşekkür ederim. Değerli hocam Doç. Dr. Bahadır GÜLSÜN'e tez çalışmalarımın izlenmesinde ve değerlendirilmesindeki katkılarından dolayı çok teşekkür ederim. Doktora çalışmalarım sürecinde farklı araştırma projelerinde birlikte çalıştığım değerli hocam Doç. Dr. Burçin BOZKAYA'ya her zaman bana güvendiği, her konuda destek olduğu, akademik çalışmalar konusunda bana yön gösterdiği, coğrafi bilgi sistemleri ve yöneylem araştırması konusunda değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaştığı için çok teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmalarım için Projem İstanbul proje destek fonu kapsamında destek veren İstanbul Büyükşehir Belediye'sine; veri sağlanması, proje izlemesi ve değerlendirmesinde katkıda bulunan İstanbul Metropolitan Planlama, İstanbul Ulaşım ve Belbim'in değerli çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak, bana en büyük desteği veren aileme ve eşime teşekkür etmek istiyorum. Bu tezi doktor olmamı çok isteyen canım anneme adıyorum.

Ağustos 2011

Seda UĞURLU
Endüstri Yüksek Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Kapsamı ve Amacı	1
1.2 Tezin Özgünlüğü ve Katkısı.....	4
2. ULAŞIM ALANINDA YAYINLARA GENEL BİR BAKIŞ	7
3. ULAŞIM SİSTEMİ VE ULAŞIM TÜRLERİ ARASI YOLCULUKLAR	19
3.1 Toplu Ulaşım Sistemi ve Bileşenleri.....	19
3.2 Ulaşım Türleri	21
3.3 Ulaşım Türleri Kapasite Değerlendirmesi ve Hizmet Kalitesi ile İlişkisi.....	24
3.4 Durak/İstasyon Türleri	25
3.5 Durak/İstasyon Kapasite Değerlendirmesi ve Hizmet Kalitesi ile İlişkisi.....	27
3.6 Ulaşım Türleri Arası Yolculuklar	28
4. HİZMET KALİTESİ VE BOYUTLARI	33
4.1 Hizmet Kalitesinin Tarihçesi ve Gelişimi	33
4.2 Toplu Ulaşımında Hizmet Kalitesi Kavramı ve İlgili Tanımlar.....	36
4.3 Hizmet Kalitesi Ölçümü ve Değerlendirmesinde Yaklaşımlar	51
5. SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ.....	57
5.1 Süreç Yeterlilik Analizi İçin Farklı Yaklaşımlar	59
5.1.1 Histogram yaklaşımı ile SYA	59
5.1.2 Olasılık grafiği yaklaşımı ile SYA.....	59
5.1.3 Kontrol diyagramları yaklaşımı ile SYA	61
5.1.4 Deneysel tasarım yaklaşımı ile SYA	62
5.2 Süreç Yeterlilik Analizinde Kontrol Diyagramları	63
5.2.1 Değişkenler için kontrol diyagramları	63
5.2.2 Otokorelasyona sahip veriler ile kontrol diyagramları	65
5.3 Süreç Yeterlilik İndeksleri	66
5.3.1 C_p süreç yeterlilik indeksi	67
5.3.2 C_a süreç yeterlilik indeksi	69
5.3.3 C_{pk} süreç yeterlilik indeksi	70
5.3.4 C_{pm} süreç yeterlilik indeksi	70
5.3.5 C_{pmk} süreç yeterlilik indeksi	71
5.4 Normal Olmayan Dağılımlar İçin Süreç Yeterlilik İndeksleri	71
5.5 Bulanık Küme Teorisi ve Bulanık Süreç Yeterlilik İndeksleri	75
5.5.1 Üçgen bulanık sayılar ile bulanık süreç yeterlilik indeksleri.....	76

5.5.2 Yamuk bulanık sayılar ile bulanık süreç yeterlilik indeksleri.....	78
6. TÜKETİCİ SEÇİM MODELLEMESİ	81
6.1 Davranışsal Seçim Modelleri	81
6.2 Rassal Fayda En Büyükleme Seçim Modelleri	84
6.2.1 Çoklu lojit modeller	88
6.2.2 Genelleştirilmiş uç değer modelleri	90
6.2.3 Probit ve karma lojit modeller.....	94
6.3 Seçim Kümesinin Oluşturulması	96
6.4 Seçim Modellerinin Tahmin Edilmesi.....	98
6.4.1 Modelin uygunluk derecesi	102
6.4.2 Tüketici fazlası	103
6.4.3 Türev ve esneklikler	105
7. SÜRE GÜVENİLİRLİĞİ ÖLÇÜTLERİ VE SEÇİM MODELLERİNDE KULLANIMINA İLİŞKİN YAYINLARIN İNCELENMESİ	107
7.1. Süre Güvenilirliği Kavramı ve Ölçüm Yaklaşımlarına İlişkin Yayınlar	107
7.2. Süre Güvenilirliği Ölçütlerinin Seçim Modellerinde Kullanımına İlişkin Yayınlar	113
8. SÜRE GÜVENİLİRLİĞİ İNDEKSİ İLE TÜRLER-ARASI ULAŞIMDA ERİŞİM MODELLEMESİ İÇİN ÖNERİLEN METODOLOJİ.....	123
8.1 Varsayımlar	123
8.2 Toplu Ulaşımında Süreç Yeterlilik Analizi	125
8.2.1 Deneysel tasarım	126
8.2.2 Sürecin kontrol altında olup olmadığının tespit edilmesi	128
8.2.3 Ulaşım süresi dağılım özelliklerinin belirlenmesi.....	132
8.2.4 Spesifikasyon limitlerinin oluşturulması.....	134
8.2.5 Yolculuk süre güvenilirliği süreç yeterlilik indeksi formülasyonu.....	137
8.3 Erişim Durağı ve Türü Seçim Modeli	139
8.3.1 Seçim davranışı ve modelleme çerçevesi.....	140
8.3.2 Seçim modelinin tanımlanması	142
8.3.3 Türler-arası ulaşım için erişilebilirlik ölçütünün formülasyonu	147
8.3.4 Seçim kümesi oluşturma esasları	147
9. METODOLOJİNİN GEÇERLİLİĞİNİN İNCELENMESİ	151
9.1 Uygulama alanı ve kapsamı.....	151
9.2 Kullanılan Veri Setleri.....	153
9.2.1 Otomatik ödeme sistemleri veri tabanı	153
9.2.2 Yolculuk anket verisi	157
9.2.3 Ulaşım şebekesi veri tabanı.....	158
9.3 Erişim Süresi Süreç Yeterlilik Analizi – İstanbul Uygulaması	159
9.3.1 Erişim süresi güvenilirliği yeterlilik indeksleri.....	169
9.3.2 Süre güvenilirliği yeterlilik indekslerinin karşılaştırması	173
9.4 Türler-arası Ulaşımında Süre Güvenilirliği ile Erişim Seçim Modeli - İstanbul Uygulaması	178
9.4.1 Erişim modelinin tanımlanması ve tahmin edilmesi	178
9.4.2 Model ile yapılan talep tahminlerinin gerçek durumla karşılaştırılması.	182
9.4.3 Türler-arası erişilebilirlik değerlendirmesi	184
9.5 Süre Güvenilirliği ve Erişim Modelinin Diğer Modeller ile Karşılaştırılması.....	187
9.6 Metodolojinin Üstün ve Zayıf Yönleri	190
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	193
KAYNAKLAR.....	199
EKLER.....	213

ÖZGEÇMİŞ.....	231
----------------------	------------

KISALTMALAR

AD	: Anderson-Darling
Akbil ID	: Akbil kimlik numarası
AKL	: Alt kontrol limiti
ASL	: Alt spesifikasyon limiti
AV	: Ağırlıklı varyans yaklaşımı
BC	: Box-Cox dönüşümü yaklaşımı
BED	: Bağımsız eş dağılımlı
BRT	: Metrobüs
CY	: Clement's yaklaşımı
ÇKL	: Çiftli kombinatoriyel lojit
ÇYL	: Çapraz yuvalı lojit
dk	: Dakika
D	: Bitiş (varış) noktası
GUD	: Genelleştirilmiş uç değer
JD	: Johnson dönüşümü yaklaşımı
km	: Kilometre
m	: Metre
NV	: Normal dağılım varsayımı
O	: Başlangıç noktası
OG	: Olasılık grafiği
RFB	: Rassal fayda en büyükleme
SGUD	: Sıralı genelleştirilmiş uç değer
sn	: Saniye
SYA	: Süreç yeterlilik analizi
SYI	: Süreç yeterlilik indeksi
USD	: ABD doları
ÜKL	: Üst kontrol limiti
ÜSL	: Üst spesifikasyon limiti
Wİ	: Wright indeksi
YDM	: Yapısal denklem modelleri

SEMBOL LİSTESİ

$\underline{x}_{nj}$	: Alternatif j 'nin karar verici n için hizmet özellikleri
$\underline{\beta}$	: Alternatif faydasının hesaplanması için özelliklere ait parametre
δ	: $\underline{\beta}$ 'nin olasılık yoğunluk fonksiyonuna ait parametre
β_z	: Bir alternatifin hizmet özelliği z 'ye ilişkin fayda parametresi
K	: Alternatiflerin oluşturduğu grup (yuva) sayısı
J	: Alternatif sayısı
μ	: Anakütle ortalaması
ρ_k	: Anakütle otokorelasyon katsayısı
σ	: Anakütle standart sapması
t_a	: Araç içi yolculuk süresi
$I_{C_{mn}}$	: Bir yuvanın sağladığı toplam beklenen fayda değeri
$\tilde{U}$	: Bulanık üst spesifikasyon limiti indeksi
$\tilde{C}_{pu}$	: Bulanık tek yönlü üst süreç yeterlilik indeksi
R	: Dağılım aralığı
γ_2	: Dağılım basıklığı
γ_1	: Dağılım çarpıklığı
$I(\cdot)$	: Gösterge fonksiyon
$V(x_t)$	: Gözlemlerin varyansı
t_b^h	: h yolculuk ayağında bekleme süresi
$f(\varepsilon_n)$	: Hata terimi $\underline{\varepsilon}_n = \langle \varepsilon_{n1}, \dots, \varepsilon_{nj} \rangle$ 'nin bileşik yoğunluğunu gösteren rassal vektör
ω	: İyimserlik indeksi
λ_k	: k yuvasındaki alternatiflerin gözlemlenmeyen faydası arasındaki bağımsızlık derecesi
U_{nj}	: Karar verici n 'nin alternatif j 'den elde ettiği fayda
χ^2	: Kikare değeri
$Pr_{zd}\%$	: Kusurlu oranı
C_n	: n karar vericisinin seçim kümesi

$\tilde{C}_{pu}^{nn}$	: Normal dağılmayan bulanık tek yönlü üst süreç yeterlilik indeksi
ε_t	: Normal ve bağımsız dağılan kalan değeri
θ, ϕ	: Otoregresyon fonksiyonu katsayısı
ξ	: Otoregresyon fonksiyonu sabit değeri
n	: Örnek hacmi
$\bar{x}$	: Örnek ortalaması
S	: Örnek standart sapması
r_k	: Örnek otokorelasyon katsayıları
t_y^s	: s aktarma noktasındaki yürüme süresi
$f_{\tilde{C}_{pu}}^R, f_{\tilde{C}_{pu}}^L$	: Sağ ve sol üyelik fonksiyonu
$\Phi(.)$	: Standart normal dağılımın birikimli dağılım fonksiyonu
$F(.)$	: Sürecin izlenen kalite karakteristiğinin birikimli dağılım fonksiyonu
$\hat{C}_p$	: Süreç yeterlilik indeksinin tahmini
C_{pu}	: Tek yönlü süreç yeterlilik indeksi
C_{pl}	: Tek yönlü alt süreç yeterlilik indeksi
V_{nj}	: Temsili fayda değeri
t	: Yolculuk süresi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Ulaşım çalışmaları ile ilgili bir sınıflandırma.	7
Çizelge 3.1 : Toplu ulaşım kavramlarının tanımı.	21
Çizelge 3.2 : Bazı ulaşım türlerine ait operasyonel özellikler.	24
Çizelge 3.3 : Toplu ulaşım kapasitesini etkileyen faktörler.	26
Çizelge 3.4 : Türler-arası yolculuklarda kullanılan kavramlar.	31
Çizelge 4.1 : Japonya’da yapılmış bir çalışmada yolcu yükleri için tanımlamalar. ..	42
Çizelge 4.2 : Kuzey Amerika’da yolcu yükleri için kullanılan hizmet düzeyleri.	42
Çizelge 4.3 : A.B.D.’de kullanılan taşıt takip aralığına bağlı kalma düzeyleri.	45
Çizelge 4.4 : Yolcular için ulaşım süre bileşenlerinin araç-içi süreye göre önemi. ..	46
Çizelge 4.5 : Toplu ulaşım-otomobil ulaşım süresine göre hizmet düzeyleri.	47
Çizelge 4.6 : Kalite faktörleri ve ölçütleri arasındaki ilişki.	50
Çizelge 4.7 : EN 13816 kalite boyutları ve belirleyicileri.	52
Çizelge 4.8 : EN 13816 kalite boyutları, ölçütleri ve hedefleri.	53
Çizelge 4.9 : A.B.D’de kullanılan zamanındalık performans düzeyleri.	54
Çizelge 5.1 : $\bar{x}$ -R ve $\bar{x}$ -S kontrol diyagramları için formülasyonlar.	64
Çizelge 5.2 : C_p değerine bağlı olarak süreç çıktılarının kalitesi.	68
Çizelge 5.3 : Süreç yeterlilik indeksleri için önerilen en düşük değerler.	68
Çizelge 5.4 : Normal olmayan veri setleri için literatürde önerilen ana yaklaşımlar.	74
Çizelge 5.5 : Farklı çarpıklık ve basıklık aralıkları için uygun yöntemler.	75
Çizelge 6.1 : Gözlemlenen seçimler.	101
Çizelge 6.2 : Parametre tahminleri.	101
Çizelge 6.3 : Fayda ve seçim olasılık tahminleri.	101
Çizelge 7.1 : Zamanın ve güvenilirliğin tahmin edilen değeri.	116
Çizelge 7.2 : Özel araç ile farklı ulaşım türlerinin araç-içi süre karşılaştırması.	119
Çizelge 7.3 : Süre güvenilirliği öneminin süre önemine oranına ilişkin değerler ..	120
Çizelge 9.1 : M2 Metro hattı istasyonlarının kullanım oranları.	152
Çizelge 9.2 : M2 metro hattını içeren yolculukların aktarma sayıları.	156
Çizelge 9.3 : Ölçüm yapılan rotalardan örnek Anderson-Darling test istatistiği.	168
Çizelge 9.4 : 34 Metrobüs hattı SYI parametreleri ve hesaplanan süre güvenilirliği SYI’leri.	170
Çizelge 9.5 : 34 Metrobüs hattı SYI’lerine göre süre güvenilirliği kalite seviyesi.	171
Çizelge 9.6 : 34A Metrobüs hattı SYI parametreleri ve hesaplanan SYI’leri.	171
Çizelge 9.7 : 34A Metrobüs hattı SYI’lerine göre süre güvenilirliği kalite seviyesi.	172
Çizelge 9.8 : M2 Metro hattına erişim rotalarının süre güvenilirliği SYI’leri ve kalite seviyeleri.	172
Çizelge 9.9 : Durak sayısı aralıklarına göre rota uzunluğu düzeyleri.	173
Çizelge 9.10 : Farklı rota ve rota uzunlukları için yolculuk süresi ve C_{pu} değerleri.	174

Çizelge 9.11 : Rota uzunluğu bağımsız değişkeninin etkisi.	173
Çizelge 9.12 : Rota bağımsız değişkeninin etkisi.	175
Çizelge 9.13 : 2^3 faktöriyel deney tasarımı için faktörler ve düzeyleri.	177
Çizelge 9.14 : 2^3 faktöriyel tasarım ANOVA testi sonuçları.	177
Çizelge 9.15 : Model parametrelerinin tahminleri.	180
Çizelge 9.16 : Tahmin edilen ve gerçek ulaşım türleri seçim olasılıkları.	182
Çizelge 9.17 : Tahmin edilen ve gerçek erişim durağı seçim olasılıkları.	183
Çizelge 9.18 : İlçe-durak türler-arası ulaşım erişilebilirlik ölçütleri.	185
Çizelge 9.19 : Avcılar-Bakırköy-Kabataş denizyolu hattı senaryosu ile M2'ye erişimde sağlanan fayda artışı.	186
Çizelge 9.20 : Yuvalı lojit ile çoklu ve karma lojit modellerin karşılaştırılması.	189

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Farklı ulaşım türlerinin ayrıştırılması.....	19
Şekil 3.2 : Farklı ulaşım türlerinin yolcu kapasitesi ve ortalama çalışma hızları.....	24
Şekil 3.3 : Bir aktarma merkezi boyunca örnek bir yaya akış diyagramı.....	28
Şekil 3.4 : Tek tür ile ve türler-arası yolculuk örnekleri.....	29
Şekil 3.5 : Ulaşım türleri arası yolculuk bileşenleri/ayakları	30
Şekil 3.6 : Tek ulaşım türü alt şebekeleri ile süper şebekenin oluşturulması	32
Şekil 4.1 : Hizmet kalitesi modeli ve algılanan hizmet kalitesi belirleyicileri.	34
Şekil 4.2 : Toplu ulaşım erişim için nüfusun kapsanma yüzdesi.	39
Şekil 4.3 : EN 13816 Toplu ulaşımında hizmet kalitesi standartları döngüsü.....	51
Şekil 4.4 : Kuadran analizi.....	55
Şekil 5.1 : Bir dağılım üzerinde süreç yeterlilik analizinin gösterilmesi.....	58
Şekil 5.2 : Bir veri setinin histogramı.	59
Şekil 5.3 : Olasılık grafiğinde normal dağılıma uyan ve uymayan iki veri seti	60
Şekil 5.4 : Çarpıklık, basıklık düzleminde farklı dağılımlara ait bölgeler.....	60
Şekil 5.5 : Taşıma hizmeti için değişkenliklerin kaynakları.....	62
Şekil 5.6 : Süreç çıktıları ve kusurlu ürün yüzdesi.	69
Şekil 5.7 : C_p ve C_{pk} indeksleri.	70
Şekil 5.8 : Bir üçgen bulanık sayı $\tilde{a}$	76
Şekil 5.9 : Bir yamuk bulanık sayı $\tilde{a}$	79
Şekil 6.1 : Davranışsal varsayımlara göre seçim modelleri sınıflandırması.....	83
Şekil 6.2 : Ulaşım türü seçimi için ağaç gösterimi.	91
Şekil 6.3 : Varış noktası koşulu altında ulaşım türü seçimi.....	93
Şekil 6.4 : Seçim kümesi oluşturma süreci.	97
Şekil 7.1 : Yolculuk süresi dağılımına etki eden faktörler	108
Şekil 7.2 : Yolculuk süresi dağılımı ve güvenilirlik ölçütleri.....	111
Şekil 7.3 : Bir iş günü için yolculuk sürelerinin ortalama ve standart sapması.....	118
Şekil 8.1 : Metodolojinin yol haritası.	124
Şekil 8.2 : Farklı ulaşım türleri veya hatlarına ait yolculuk süresinin günlere göre ortalamaları ve standart sapmaları.	127
Şekil 8.3 : Farklı istasyonlara ait yolculuk süresinin günlere göre ortalamaları ve standart sapmaları.....	128
Şekil 8.4 : Veri setlerinin iki varsayım açısından test edilmesi	129
Şekil 8.5 : 34 metrobüs hattı Zeytinburnu istasyonundan başlayan yolculuklar için süre dağılımının histogramı.	133
Şekil 8.6 : 34 metrobüs hattı Zeytinburnu istasyonundan başlayan yolculuklar için sürenin lognormal dağılımının %99,865’lik değeri.	134
Şekil 8.7 : Bir üçgen bulanık sayı $\tilde{T}$	135
Şekil 8.8 : Türler-arası ulaşım erişim durağı ve erişim ulaşım türü.....	140
Şekil 8.9 : Erişim seçim modellemesinin şema gösterimi.	141
Şekil 8.10 : Erişim durağı ve erişim ulaşım türü yuvalı seçim modeli.....	143
Şekil 8.11 : Şebeke üzerinde OD noktaları arası farklı rota seçenekleri	148

Şekil 9.1 : M2 yolcuları anakütlesinden, izlenecek yolcu örnek kümesinin belirlenmesi için akış şeması.....	154
Şekil 9.2 : M2 hattını içeren türler-arası yolculuk rotaları ve kullanım sayıları.....	155
Şekil 9.3 : Yolcu örnek kümesinden yolculuk süresi veri setinin elde edilmesi için akış şeması.....	157
Şekil 9.4 : 34 metrobus hattı Edirnekapı istasyonu ile M2 metro hattı Şişli istasyonu arasındaki yolculuk süreleri için kontrol diyagramı.....	161
Şekil 9.5 : 34 metrobus hattı Edirnekapı istasyonu ile M2 hattı Şişli istasyonu arasındaki yolculuk süresi veri setinin otokorelasyon fonksiyonu.....	161
Şekil 9.6 : 34 metrobus hattı Edirnekapı istasyonu ile M2 hattı Şişli istasyonu arasındaki yolculuk süresi veri setinin otoregresyon modelinden elde edilen kalan değerleriyle oluşturulan kontrol diyagramı.....	162
Şekil 9.7 : 34 metrobus hattı Zeytinburnu istasyonu ile M2 hattı Şişli istasyonu arasındaki yolculuk süreleri için kontrol diyagramı.....	162
Şekil 9.8 : 34A metrobus hattı Söğütlüçeşme istasyonu ile M2 metro hattı Şişli istasyonu arasındaki yolculuk süreleri için kontrol diyagramı.....	164
Şekil 9.9 : F1 funiküler hattı Kabataş istasyonu ile M2 hattı Taksim istasyonu arasındaki yolculuk süreleri için kontrol diyagramı.....	165
Şekil 9.10 : T4 tramvay hattı Çukurçeşme istasyonu-34 metrobüs hattı Edirnekapı istasyonu ile M2 hattı arası yolculuk süreleri kontrol diyagramı.....	166
Şekil 9.11 : Bostancı-Kabataş deniz otobüsü hattı, F1 hattı Kabataş istasyonu ve M2 hattı Taksim istasyonu yolculuk süreleri kontrol diyagramı.....	166
Şekil 9.12 : 34 metrobüs hattı Zeytinburnu istasyonu Mecidiyeköy istasyonu arasındaki yolculuklar için süre dağılımının histogramı.....	167
Şekil 9.13 : 34 metrobüs hattı Zeytinburnu istasyonundan başlayan yolculuklar için sürenin lognormal dağılımının %99,865'lik değeri.....	169
Şekil 9.14 : Süre güvenilirliği indeksi-rota uzunluğu değerleri dağılımı.....	175
Şekil 9.15 : Süre güvenilirliği indeksi-rota değer dağılımı.....	176
Şekil 9.16 : 2^3 faktöriyel deney tasarımında ikili faktör etkileşimleri.....	178
Şekil B.1 : Harita üzerinde M2 metro hattı ve istasyonlarının gösterimi.....	215
Şekil B.2 : M2 metro hattı ile bağlantılı tüm ulaşım türleri şebekesi.....	215
Şekil B.3 : Harita üzerinde İstanbul metropoliten alanının planlama birimi olan sahaların ve saha alanlarının merkez noktalarının gösterimi.....	216
Şekil B.4 : Harita üzerinde M2 metro hattı ve yol (cadde) şebekesinin gösterimi.....	217
Şekil B.5 : Harita üzerinde M2 metro hattı ve toplu ulaşım şebekesinin gösterimi.....	217
Şekil B.6 : Harita üzerinde Avcılar-Bakırköy-Kabataş hattı senaryosu gösterimi.....	218
Şekil D.1 : ArcGIS yazılımıyla saha merkezleriyle yürüme mesafesindeki istasyonların belirlenmesi.....	223
Şekil D.2 : ArcGIS yazılımıyla saha merkezleri ve M2 metro hattı istasyonları arasındaki en kısa rotaların bulunması.....	224
Şekil E.1 : Biogeme paket programı ile yuvalı lojit model formülasyonu.....	225
Şekil E.2 : Biogeme paket programında kullanılan girdi dosyası.....	225
Şekil E.3 : Yuvalı lojit model ile elde edilen çıktı dosyası.....	226
Şekil E.4 : Biogeme paket programı ile karma lojit model formülasyonu.....	226
Şekil E.5 : Karma lojit model ile elde edilen çıktı dosyası.....	227

YOLCULUK SÜRESİ YETERLİLİK İNDEKSİ İLE TÜRLER-ARASI ULAŞIMDA ERİŞİM MODELLEMESİ

ÖZET

Büyüyen şehirler ve artan yer değiştirme talebi şehir-içi ulaşımında etkin taşıma sistemlerinin tasarlanmasını gerektirmektedir. Etkin bir taşıma alternatifi olan toplu ulaşım, özel araçların yolcuya sundukları avantajlarla rekabet edebilmek için yolcuya yüksek kalite ve hizmet düzeyi sağlamalıdır. Aktarma içeren türler-arası yolculukların sunduğu hizmet kalitesinin iyi planlaması daha da kritiktir çünkü bu tür yolculuklar iyi planlanmadığında yolcular açısından tercih edilmeyen bir seçenek haline gelmektedir.

Şehir-içi türler-arası yolculuklar için kalite boyutlarını tanımlayacak ölçütlerin ve bu boyutların kontrol edilebilmesi için yöntemlerin incelenmesi önemli ve güncel bir konudur. Yayın incelemesinde yolculuk hizmeti için süre güvenilirliği ve erişilebilirlik boyutlarının son yıllarda öne çıkan kalite boyutları olduğu tespit edilmiştir. Yapılan tez çalışmasında süre güvenilirliğinin sayısallaştırılması için süreç yeterlilik analizinden faydalanılarak süre güvenilirliği indeksleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu indeksler ile türler-arası yolculuklarda erişimin modellenmesi için bir kesikli seçim modeli formüle edilmiştir. Bu model ile türler-arası yolculukların planlanması ve türler-arası erişilebilirliğin değerlendirilmesi için bir yöntem önerilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen metodolojinin geçerliliğinin test edilmesi açısından İstanbul şehrinde Şişhane-Darüşşafaka metro hattına erişim hizmetleri için bir uygulama yapılmıştır. Süre yeterlilik analizi ile çeşitli erişim hizmetlerindeki sorunlar, bu sorunların kaynakları tespit edilmiştir ve çeşitli hizmetlerin karşılaştırılması sağlanmıştır. Süre güvenilirliği yeterlilik indeksi ile formüle edilen seçim modeli ile çeşitli bölgelerden erişim seçeneklerine olan talep düzeyi belirlenmiş ve türler-arası erişilebilirlik performansı değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasının uygulama bölümünde önerilen yöntem ile süre güvenilirliği açısından sabah yolculuklarında haftanın ilk gününde sorunlar olduğu belirlenmiştir. Süre güvenilirliğinin rota uzunluğundan etkilendiği, özellikle 15 duraktan uzun rotalar için süre güvenilirliğinde önemli bir düşüş olacağı ortaya çıkarılmıştır. Funiküler, deniz yolu, tramvay türlerinin, metrobüs türüne göre süre güvenilirliği açısından daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Erişim modellemesine göre, Şişhane-Darüşşafaka metro hattına, erişilebilirlik düzeyi en düşük ilçeler Avcılar ve Büyükçekmece'dir. Bu ilçelerin erişim düzeyinin artırılması için yeni bir deniz yolu hattı ile sunulan hizmetin, yolcular için sağlanan faydayı sırasıyla %6 ve %16 oranında artıracığı öngörülmüştür.

ACCESS MODELING IN URBAN INTERMODAL TRANSPORTATION INTEGRATED WITH CAPABILITY INDICES OF TRAVEL TIME

SUMMARY

It has become a necessity to design efficient transportation systems due to high mobility of people in growing cities. Public transportation which is an efficient transportation option is required to provide high service quality and service level for passengers in order to compete with the advantages of private vehicles. Intermodal-transportation is a viable option for passengers when the service components are planned well. When it is not planned well, it becomes an undesirable type of travel.

In recent years, an important topic is to investigate the measures that identify the quality dimensions of urban intermodal travel as well as the methodologies to control these quality dimensions. In the literature review, it has been stated that time reliability and accessibility are some of the major quality dimensions of transportation service. In this thesis, travel time reliability has been quantified using process capability analysis and capability indices have been developed. Using these indices, a discrete choice model has been formulated for modeling access in intermodal travels. This model has been presented as a tool to plan intermodal travels and to investigate the intermodal accessibility.

An application of the proposed methodology to a real life transportation system has been included in this thesis study in order to test the validity of the methodology. Process capability analysis has been used to determine the problems, the sources of the problems and to compare various transportation services. After that, demand levels to various services from different residential areas and the present intermodal access performance of the services have been identified using the presented choice model.

The results derived in the application section show that the performance of time reliability of some services is low in the first day of the week for morning travels. It has been found that time reliability is affected by the route length. There is a substantial decrease in the performance of time reliability especially for routes longer than 15 stops. It has been identified that funicular, waterborne vessels and trams perform better than bus rapid travel in terms of reliability. The intermodal accessibility indicators derived from the choice model show that the lowest level of accessibility is provided to Avcılar and Büyükçekmece districts. It is anticipated based on the formulated choice model that the utility provided to passengers will increase by 6% and 16% respectively under a scenario of a new waterborne line serving these districts.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Kapsamı ve Amacı

Modern toplumda ulaşım, nüfusun artan yer değiştirme ihtiyacını karşılayabilmek için kapsamlı bir planlama çabası gerektiren zorunlu bir olgudur. Bu çabada, yüksek performans ve hizmet kalitesi sağlayabilmek en önemli hedeflerdir. Altyapıyı ve hizmetleri tasarlamak, geliştirmek, iyileştirmek ve ulaşım sistemini en etkin şekilde çalıştırmak bu amaca ulaşmak için gerekli olan faaliyetlerdir. Ulaşım sistemleri için iyi planlanmamış altyapı ve hizmetler büyük bir maliyet yükü yaratır. Ani karar verilen yeni yol yapımı gibi önlemlerin, daha fazla talep oluşturacağı ve daha yüksek kapasitenin faydasını yok edeceği hatta trafik sıkışıklığını daha da artıracığı yaygın olarak anlaşılmıştır (Sheffi, 1985; Hills, 1996). Etkili bir ulaşım sistemi toplum için olumlu sonuçlar yaratır. Yaşam kalitesini artırır, yüksek yer değiştirme oranlarını sağlarken aynı zamanda trafik sıkışıklığını azaltır, yolcular için daha az stres seviyesi oluşturur ve daha fazla boş vakit sağlar. Bunun yanı sıra sürdürülebilir büyüme için uygun arazi kullanım şekilleri, düşük emisyon oranları ve gürültü gibi daha az çevresel kirliliğine ve daha az enerji kullanımına neden olur.

Dünya nüfusunun büyük bir çoğunluğunun şehirlerde yaşamaya başlaması ve hızla artan yer değiştirme talebi şehirlerdeki alt yapı ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu sorunlara çözüm olarak toplu ulaşım, talebin daha az kaynak ile taşınmasını sağladığı için sürdürülebilir, çevre ile dost ve etkin bir ulaşım şekli olarak görülmektedir. Ancak, artan özel araç kullanımı, toplu ulaşımın başarısız olduğunu göstermektedir (Murray, 2001). Son yıllarda özellikle araba sahipliğinin ve yolcuların yüksek konfor beklentisinin artmasıyla geçmişe oranla kentlerde toplu taşıma çok daha az kullanılmaktadır. Özel otomobiller, kişiye özel kullanımları nedeniyle, bireylere toplu ulaşımına göre daha fazla esneklik ve kolaylık sağlamaktadır. Toplu ulaşımın, özel otomobil kullanımı ile rekabet edebilmesi için bireylere daha kullanışlı ve cazip bir seçenek haline getirilmesi gereklidir. Dünyada birçok şehir, toplu taşımacılık alanında büyük yatırımlar ve iyileştirmeler yapmışlardır. Elde edilen tecrübeler, toplu taşımacılığın etkili bir ulaşım sistemi,

şehir yaşam kalitesi ve sürdürülebilirlik için çok önemli olduğunu göstermektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde ve hızla büyüyen şehirlerde, toplu taşımacılık, otoyolların sağlayamayacağı yüksek yolcu taşıma kapasitesini sağlayabilir ve çok sayıda kişiye hizmet verebilir.

Sistemin fiziksel karakteristikleri, planlama faaliyetleri ve kent ulaşım politikaları etkili bir toplu taşıma sistemi için büyük rol oynamaktadır. Bu amaçla, yolcuların talep, davranış ve beklentilerinin anlaşılması, buna bağlı olarak toplu taşıma hizmetlerinin hatlar boyunca ulaşım talebine, istenen hizmet seviyesine ve kalitesine göre tasarlanması önemlidir. Bu bakış açısıyla, toplu ulaşım sistem performansının, yolcu açısından, yolculuk tecrübesiyle ilgili kaliteyi ve yolcu memnuniyetini nasıl etkilediğinin ölçülmesi gereklidir. Yolcular arasında yapılacak yolculuk tanımı, yolculuk başlangıç noktası (örn. ev) ile bitiş noktası (örn. iş) arasında yer değiştirmektir. Özellikle toplu ulaşım kullanımında, yolcuların tecrübe ettiği yolculuk, birden fazla aracın ardı arda kullanımı, araçlar arası geçişler, vb. birçok etkene bağlıdır. Dolayısıyla yolcular açısından yolculuk kalitesi, araçlar için yapılan ölçümlerde elde edilen ortalama performans değerlerinden oldukça farklı olabilir. Tez kapsamında, şehir-içi ulaşım tasarımı, planlama ve iyileştirme faaliyetleri için yolcuya ve yolculuğa bağlı bileşenlere odaklanılması, hizmet seviyesi ve kalitesi için ölçülebilir performans göstergelerinin oluşturulması ve ulaşım sistem bileşenlerinin etkileşimlerinin analiz edilmesine yönelik bir yaklaşım benimsenmiştir.

Toplu ulaşımın kullanıcılar tarafından daha fazla tercih edilmesini sağlamak için yolculara sunulan hizmet kalitesine odaklanılmalıdır. Yolcular için son yıllarda gittikçe daha fazla önem taşıyan kesintisiz yolculukların sağlanması için, toplu ulaşımın kolay erişilebilir ve kolay yolculuk edilebilir bir seçenek haline getirilmesi gereklidir. Bu açıdan, sistem bütünlük olarak ele alınmalı ve analiz edilmelidir. Büyük şehirlerdeki uzun mesafeli yolculukların birden fazla araç türü ile yapılması sonucu ortaya çıkan aktarmaların yarattığı sorunlar yok edilmelidir. Yolculara daha yüksek kalite sağlayan, yüksek kapasiteli ulaşım seçenekleri nüfusun daha büyük bir kısmı için erişilebilir hale getirilmelidir. Yüksek kapasiteli ulaşım türleri yüksek maliyetli yatırımlardır. Yapılan yatırımların potansiyelinin tam olarak kullanılması için gerekli hizmet düzeylerinin ve kalitesinin tüm ulaşım sistemi ile bütünlük olarak ele alınması ve planlanması önem kazanmaktadır.

Ulaşım sistemlerinde, özellikle toplu ulaşım kullanımında, aktarmalar çoğunlukla zorunlu bir yolculuk bileşenidir. Aktarmaların mevcut olduğu yolculuklar türler-arası ulaşım olarak adlandırılır. Ulaşım türleri arası yolculuklarda genellikle amaç, yolculukların büyük bölümünün yüksek kapasiteli ve daha etkin ulaşım türleri ile yapılması ve bu hatlara, destekleyici besleme hatları ile erişilmesini içerir. Bu nedenle, yolcuların en az bir veya iki kez farklı araç türleri veya hatlar arasında geçiş yapması gereklidir.

Ulaşım türleri arası yolculuklar, birçok farklı rotada seyahat etmek isteyen yolcuların, farklı karakteristiklere sahip hatların ve durakların bir araya geldiği bir şebeke üzerinde yapılır. Bu yolculuklarda birbiriyle etkileşim içindeki ulaşım türleri, farklı yolculuk bölümlerinde kullanılır. Böyle bir şebeke üzerinde birden fazla sayıdaki yolculuk bileşeninin bütünsel olarak ele almak, hizmet etkinliğinin ve kalitesinin artırılmasında önemli bir rol oynar. Türler-arası ulaşımında çok iyi planlanmış ve koordine edilmiş hizmetlere ve fiziksel tesislere ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer bu başarılabilirse yolcular için sunulan yüksek esneklik ve kalite düzeyi ile türler-arası yolculuklar olumlu bir tür haline gelebilir.

Bu nedenle, ulaşım sisteminin tasarımında, değerlendirme ve iyileştirme faaliyetlerinde sistemin bütünleşik şekilde ele alınması en iyi çözümün elde edilmesi için önemlidir. Bu tez çalışması kapsamında farklı araç türlerinin birbiri ve araç türlerinin ulaşım tesisleri ile etkileşimi, diğer sistem bileşenleri, performans ölçütleri ve yolcu tercihleri açısından incelenmiştir. Hizmet kalitesi ve performans ile sistem bileşenlerinin ilişkilerinin incelenmesi, yolculuk süresine ilişkin sayısal bir kalite ölçütü geliştirilmesi ve bu ölçütün yolcu tercihleri açısından kullanımının test edilmesi hedeflenmektedir. Yolculuklarında birden fazla araç türünü kullanan yolcuların araç ve aktarma merkezi tercihlerinin belirlenmesi, ulaşım planlamasında farklı araç türleri için talebin tahmin edilmesi, hat, durak ve aktarma merkezi özelliklerinin talep üzerindeki etkilerinin incelenmesi için önemlidir.

Bu tezin amaçları aşağıdaki başlıklar altında özetlenebilir:

- Türler-arası ulaşımında önem kazanan hizmet kalitesi faktörlerinin ortaya çıkarılması ve bu faktörlerin ölçülmesinde kullanılabilecek göstergelerin belirlenmesi, birbirleri arasındaki ve diğer sistem bileşenleri ile ilişkilerinin incelenmesi.

- Türler-arası yolculuklarda hizmet süresinin güvenilirliğine ait yeni bir sayısal kalite ölçütünün formüle edilmesi.
- Ulaşım türleri arası yolculuklarda aktarma merkezi ve erişim türü tercihlerini formüle etmek için uygun bir seçim modeli belirlenmesi ve sayısallaştırılan kalite ölçütleri ile formüle edilmesi.

1.2 Tezin Özgünlüğü ve Katkısı

Bu tezde, bir toplu ulaşım yolculuğunu oluşturan erişim, sürüş ve aktarma bileşenleriyle tanımlanan türler-arası yolculuklar incelenmiştir. Ulaşım planlamada, ulaşım hizmetinin yolcu açısından incelenmesi için sistemin bütünlük olarak ele alınmasını önemlidir. Ancak, ulaşım hizmetleri coğrafi, zaman, tasarım, kapasite, teknoloji, talep, yolcu karakteristikleri vb. çok farklı yapıda ve karşılaştırılması güç bileşenlerle yakından ilişkilidir.

Bu tez çalışmasında, yüksek önem taşıyan hizmet kalite özelliklerinden biri olan yolculuk süresine ilişkin yeni bir ölçüt geliştirilmiştir. Yolculuk süresi, ulaşımın en sık ele alınan hizmet kalitesi boyutudur. Yolculuk sürelerinin kısa olmasının yanı sıra tahmin edilebilir olması da istenir. Özellikle aktarmaların olduğu bir yolculuk sırasında planlanan çizelgelerden sapmalar, sapma kadar yolculuk süresini uzatırken yolculuğun ikinci adımında binilmesi planlanan araca binilememesine neden olabilir. Bu durum, planlanandan fazla bekleme sürelerine yol açmaktadır. Bu nedenle yolculuk sürelerindeki sapmaların en küçüklenmesi gerekir. Bu tezde, yolculuk sürelerindeki sapmalar, süreç yeterlilik analizi ile incelenmektedir. Bu şekilde, sürelerin zamana göre değişkenliğini gösteren sayısal bir süreç yeterlilik indeksi geliştirilmektedir. Bu yöntemle süre güvenilirliğinin izlenir hale getirilmesi ve süre değişkenliklerinin kaynaklarının tespit edilmesi sağlanabilmektedir. Tez kapsamında, geniş çapta yapılan yayın incelemesi sonucu, birimsiz sayısal kalite göstergeleri olan süreç yeterlilik indekslerinin toplu ulaşım yolculuk sürelerinin incelenmesinde kullanımına rastlanmamıştır.

Yolculuk süresi için geliştirilen süreç yeterlilik indeksleri, ulaşım alternatiflerinin yolcu için sağladığı fayda özelliklerinden biri olarak tanımlanmıştır. Ulaşım alternatiflerinin fayda formülasyonu ortalama süre, süre güvenilirliği, aktarma sayısı ve maliyet unsurları ile formüle edilmiştir. Yolcuların aktarma merkezi ve ulaşım

türü seçimi için önerilen bir lojit model ile yüksek kapasiteli araçlara erişim için yapılan türler-arası yolculukların erişim bölümü incelenmiştir. Lojit modeller ile farklı ulaşım alternatiflerinin yolcuya sağladığı faydaya göre seçilme olasılıkları belirlenmiştir. Bu olasılıklar ile farklı bölgelerden hangi aktarma merkezlerinin ve erişim türlerinin daha fazla tercih edildiği belirlenmiştir. Yolcular için sunulan faydanın artırılması için uygulanacak politikaların (örn. fiyat indirimi, kalite iyileştirmesi, vb.) yolcu seçimleri üzerindeki sonuçlarının belirlenmesi için bu model oldukça faydalı bir araçtır. Elde edilen model ile aktarma merkezleri için türler-arası erişebilirlik ölçütleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Tezin akışı şu şekilde planlanmıştır: Bölüm 2’de ulaşım alanında yapılan yayınların genel bir sınıflandırması sunulmuş ve her alanla ilgili örnek çalışmalardan kısaca bahsedilmiştir. Bölüm 3’te ulaşım sistemi, bileşenleri, ulaşım türlerinin ve türler-arası ulaşımın tanımları, özellikleri incelenmiştir. Bölüm 4’te hizmet kalitesinin tarihsel gelişimi, ilgili kavramlar ve ulaşım alanında hizmet kalitesinin tanımları ve boyutları tartışılmıştır. Bölüm 5’te süreç yeterlilik analizi ve Bölüm 6’da tüketici seçim modelleri incelenmiştir. Bölüm 7’de süre güvenilirliği kalite boyutuyla ilgili geliştirilen ölçütler ve seçim modellerinde kullanımıyla ilgili yayın incelemesi sunulmuştur. Bölüm 8’de süreç yeterlilik analizi ile süre güvenirliliğinin incelenmesi ve bu şekilde formüle edilen ölçütün türler-arası erişim seçim modellerinde kullanılması için önerilen yöntem ortaya konmuştur. Bölüm 9’da önerilen yöntemin İstanbul metropoliten alanında uygulaması ve elde edilen bulgular sunulmuştur. Bölüm 10’da elde edilen sonuçlar ve geleceğe yönelik çalışmalar için öneriler tartışılmıştır.

2. ULAŞIM ALANINDA YAYINLARA GENEL BİR BAKIŞ

Ulaşım, çok boyutlu ve karmaşık yapısı ile analizi ve planlanması oldukça zor bir alandır. Bu alan, araştırmacılar ve uygulamacılar için birçok farklı türde ulaşım problemi barındırmaktadır. Mart 2009’da tez çalışmasının başlangıcında, son 3 yıl için yapılan ulaşım ile ilgili genel yayın incelemesinde, ulaşım çalışma alanlarının bir sınıflandırması oluşturulmuştur. Bu sınıflandırma, her sınıftan incelenen çalışma sayısı ve çalışmalarda kullanılan yöntemler Çizelge 2.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 : Ulaşım çalışmaları ile ilgili bir sınıflandırma.

	Şebeke Tasarımı	Çizel- geleme	Trafik Atama	Yolcu Seçimleri	Kalite	Ulaşım Politika- ları	Fiyatlan- dırma	Hava Kirliliği	Sürdürü- lebilirlik
Sayısal	11	3	13	28	4	2	6	5	
Optimizasyon	8	3	6				4		
İstatistiksel	2			4	3	1			
Seçim Model.				24	1		1		
Denge Model.	1		7			1	1		
Emisyon Model.								5	
Deskriptif			2	18	6	5		2	5
Deskriptif Analiz			1	14	6	5		2	5
Literatür Tarama			1	4					
Toplam	11	3	15	46	10	7	6	7	5

Ulaşım, insanları, malzemeleri veya bilgiyi bir yerden başka bir yere aktarmak için kara, su veya hava üzerinde belirlenmiş nokta ve bunların bağlantılarından oluşan bir şebeke yapısı üzerinde tanımlanmaktadır. Bu yapı, hem arazinin coğrafi yapısından kaynaklanan özelliklerden hem de insanlar tarafından belirlenmiş arazi kullanım şekillerinden etkilenmektedir. Örneğin konut, iş merkezi veya alışveriş alanlarında oluşan ulaşım talebi farklı özellikler göstermektedir. Bu açılardan, ulaşım planlamasının başarılı olması için özellikle şehirler gibi yoğunluğun fazla olduğu bölgelerde disiplinlerarası (şehir planlama, inşaat mühendisliği, karar bilimleri, matematiksel modelleme, vb.) çalışmalar ile yürütülmesi önemlidir.

Arazi özelliklerinden kaynaklanan kısıtlar altında farklı taşıma türlerinin kapasiteleri ve planlanacak şebekelerin kısa ve uzun vadede oluşacak talebe cevap verebilmesi için ulaşımda en kritik problemlerden biri Şebeke Tasarımı'dır. Birçok çalışmada farklı ulaşım türleri ve farklı planlama dönemleri için, farklı amaçlar ile ulaşım şebeke tasarımı çok boyutlu şekilde ele alınmıştır. Son yıllarda transit ulaşım ile ilgili şebeke tasarımı alanında önerilen optimizasyon modeli ve çözüm yöntemlerinden örnekler şöyledir: Mauttone ve Urquhart'ın (2009) yaptığı çalışmada, bir Ulaşım Ağı Tasarım problemi olarak tanımlanan toplu taşıma sistemlerinde en uygun otobüs rotaları setini belirlemek amaçlanmıştır. Bu problemde rota setini oluştururken amaç, yolcuların taleplerinin en geniş şekilde kapsanması ile servis sağlayıcıların maliyetlerinin en küçüklenmesi arasındaki ödünleşmeyi (İng.:trade-off) en uygun şekilde karşılayabilmektir. Çalışmada, Baaj ve Mahmassani tarafından 1995 yılında sunulan rota oluşturma algoritması üzerinde bir geliştirme sunulmuştur. Baaj ve Mahssani'nin sezgisel algoritmasında en yüksek talepli düğüm noktaları en kısa yol rotaları ile birleştirilerek başlanılır ve ortaya çıkan bu şebekeye yeni noktalar, tek tek talep karşılanma kısıtları sağlanana kadar eklenerek devam edilir. Bu çalışmada da benzer bir algoritma kullanılmış fakat şebeke genişletme aşamasında yeni noktalar çiftli olarak eklenmiştir. Çiftli ekleme sırasında birinci yöntemle göre iki noktanın toplam ekleme maliyeti ile iki nokta arasındaki en kısa yol rotasını ekleme maliyeti karşılaştırılarak maliyeti düşük olan yöntemle göre şebeke genişletilmiştir. Bu iki farklı algoritmanın verdiği sonuçlar karşılaştırıldığında her ikisinde de talebin benzer oranlarda karşılandığı görülmüş ancak ikinci yöntemle ulaşılan sonuçlar hizmet vericiler için daha düşük maliyetler sağlamıştır. Marin ve Jaramillo (2008) yaptığı çalışmada ise hızlı transit şebeke tasarımı için uzun vadeli bir planlama dönemi ele alınmıştır. Bu uzun vade içinde çok dönemli kapasite genişleme problemi formüle edilmiştir. Çalışmada, transit şebeke kapasite genişleme problemi, tren hatları ve tren istasyonlarının lokasyonlarının tespit edilmesi için tanımlanmıştır. Geliştirilen modelde her dönem için kısıtlı bir bütçe ile toplu ulaşım talebini en büyükmek amaçlanmıştır. Her dönemde yerleştirilen istasyonlar ve hatlar bir sonraki dönemde zorunlu olarak mevcut olacak şekilde, şebeke genişletilmesi problemi, karma tamsayılı programlama modeli olarak formüle edilmiş ve çözümü için dal-sınır algoritması kullanılmıştır. Bu çözüm yönteminin yanı sıra, büyük çaplı problem çözümlerinde daha etkin bir sürede optimum sonuçlara yakın sonuçlar veren sezgisel bir yöntem de geliştirilmiştir. Başka bir çalışmada, hızlı transit şebeke tasarım

problemi, transit talebini en büyükleme ve ulaşım süresini en küçükleme amaçları ile ele alınmıştır (Marin ve Rodenas, 2009). Bu model bütçe kısıtları, fiziksel şebeke kısıtları, kullanıcıların ulaşım türü ve rota seçimleri için kullanılan lojit formülasyon ile ortaya konulmuştur. Geliştirilen hızlı transit şebeke tasarım modeli, lojit formülasyon nedeniyle lineer olmayan bir programlama modelidir. Lojit için bir yakınsama formülü geliştirilmiş ve model lineer hale getirilmiştir. Son olarak, bu modelin çözümünün, lineer olmayan model için de en iyi çözüm olduğu gösterilmiştir.

Ayrıca ulaşım sistemleri içinde çeşitli tesislerin lokasyonlarının belirlenmesi için geliştirilen modeller üzerine de çalışmalar sunulmuştur. Örneğin Farhan ve Murray'in (2008) yaptığı çalışmada park et-devam et tesislerinin çok amaçlı programlama ile modellenmesi problemi ele alınmıştır. Tesislerin yerleşiminde dikkate alınan iki amaç, potansiyel talebin en yüksek oranda kapsanması ve tesisin ana yollara en yakın şekilde konumlandırılmasıdır. Bu çok-amaçlı optimizasyon problemi, mesafelerin en küçükleme amacı ile kullanılan p -medyan probleminin, kapsama için verilen standartlar için geliştirilmesi ile formüle edilmiştir. Problemin çözümü sunulmuş ve elde edilen çözümler bir coğrafi bilgi sistemi ile görselleştirilmiştir.

Sadece ulaşım sisteminin bileşenlerinin yerleştirilmesinde değil, lokasyon seçimi literatüründe herhangi bir perakende tesisine talebinin modellenmesi için, tesis civarından geçen trafiğin miktarının gösterge olarak kullanılması, son yıllarda sıkça kullanılan bir bileşendir. Bu bileşenin belirlenmesi için trafik modelleri kullanılmaktadır. Yang ve diğ.'nin (2009) yaptığı çalışma aslında bir perakende tesisi için lokasyon optimizasyonu problemidir. Bu problemde amaç, yoldan geçen yolculara verilen hizmeti en büyükmektir. Dolayısıyla tesis müşterilerinin hangi yolu seçeceklerini ve yolculuk maliyet kısıtlarını dikkate alır. İç içe iki programlama modeli içeren çalışmada birinci model yerleştirme problemini formüle eder, ikinci model ise yolcuların yolculuk maliyetlerine bağlı olarak hangi yolu seçeceklerini formüle etmeyi amaçlar. Yolculuk maliyetleri bulanık değişkenler olarak ele alınmış ve geliştirilen modelin; simpleks, genetik algortima ve bulanık simülasyondan oluşan hibrid bir algoritma ile çözümü sunulmuştur.

Şebeke ve hatların tasarımının yanı sıra, hatlar üzerinde taşıma için kullanılan araçlar için optimum zaman çizelgelerini belirleyen çizelgeleme araştırmaları da verilecek

hizmetin seviyesinin belirlenmesinde önemli rol alır ve bu alanda bir çok çalışma yapılmaktadır. Yalçinkaya ve Bayhan (2009), bir metro hattı için yaptıkları çizelgeleme çalışmasında kesikli olay simülasyonu kullanmıştır. Bu problemde ortalama yolculuk sürelerinin optimizasyonunun yanı sıra belirli bir araç doluluğu da hedeflenmiştir. Derringer ve Suich (1980) tarafından geliştirilen Derringer–Suich optimizasyon yöntemi ile optimum girdi faktörleri belirlenir. Bu yöntemle gerçek bir metro hattı için yapılan simülasyonlar ile fazla deneme gerektirmeden belirlenen araçlar arası sürelerin kalitesinin oldukça iyi olduğu gösterilmiştir.

Son yıllarda ulaşım etkinliğinin, yüksek kapasiteli hatlara bağlanan, daha düşük kapasiteli besleme hatlarıyla bütünleşik olarak hizmet vermesi ile artırılması amaçlanmaktadır. Bu açıdan, çizelgelemede ulaşım türleri arası kesintisiz geçiş sağlanması da önemli bir amaç olarak çalışmalarda ele alınmaktadır. Farklı ulaşım türlerinin bağlantı noktalarında kullanıcıların aktarma sırasında bekleme sürelerinin azaltılması için varış ve kalkış zamanlarının eşleştirilmesi amacı da dikkate alınarak optimizasyon problemleri üzerinde çalışılmaktadır. Bu alanda Pedersen'in (2005) doktora çalışmasında türler-arası ulaşımın hem yolcu taşımacılığı için hem de kargo taşımacılığı için önemli boyutları detaylı olarak ele alınmıştır. Farklı ulaşım türlerinin bütünleştirilmesi ve kesintisiz yolculuk imkanı sağlaması için mevcut ulaşım sistemlerindeki eksiklikler tartışılmış ve bunların giderilmesi için çözüm yöntemleri ile birlikte problemler tanımlanmıştır. Farklı ulaşım türlerinin birlikte kullanılmasında bütünleşik çizelgelerin belirlenmesinin önemi ortaya çıkarılmıştır. Hem yolcu taşımacılığı için hem de kargo taşımacılığı için türler-arası çizelgeleme modeli formüle edilmiş ve tabu arama algoritması ile çözümü geliştirilmiştir.

Yukarıda incelenen yayınlarda ulaşım ile ilgili optimizasyon problemlerinden bazı örnekler verilmiştir. Ulaşım ile ilgili en önemli araştırma alanlarından biri de yolcu seçimlerini modellemektir. Çünkü hem kısa hem de uzun vadede trafik planlaması yapılırken yolcuların taleplerini belirlemek gereklidir. Bu amaçla kullanılan klasik 4-adımlı trafik planlama problemleri, yolculuk oluşturma, yolculuk dağıtımı, ulaşım türü dağılımı ve trafik atama adımlarından oluşur. Bu çalışmalarda amaç, yolcu seçimlerinin modellenmesi ve ulaşım talebinin belirlenmesidir. Bunun için yolcuların ulaşım hizmetlerinden sağladıkları fayda hangi bileşenlerden oluşur sorusu cevaplandırılmaya çalışılır. Bu sorunun cevabı aranırken yolculara sunulan hizmet

seviyesi ve kalite gibi kavramlar kullanılır ve bu unsurlar ile toplam fayda değeri formüle edilir. Aşağıda bu alanda yapılan çalışmalardan bazı örnekler vardır.

Lu ve diğ.'nin (2008) yaptığı çalışmanın amacı, yolcuların rota seçimlerini belirleyebilmektir. Bunun için trafik atama literatüründe geniş olarak ele alınmış Wardrop'un prensibini çift kriterli dinamik trafik atama olarak tanımlamışlardır. Wardrop prensibi, her başlangıç ve bitiş (OD) noktası çifti ve her zaman aralığı için, ilgili tüm rotalardaki yolculuk sayısının denge içinde dağılması prensibine dayanır. Bahsedilen denge durumunda, hiç bir yolcunun rota değiştirerek genel yolculuk maliyetini azaltamayacağı kabul edilir. Bu makalede rotalara atamalar yapılırken dikkate alınan iki kriter, farklı zaman değeri olan farklı kullanıcı gruplarının varlığı ve zamana göre değişen gişe geçiş ücretlendirmesi uygulamasıdır. Bu koşullar altında simülasyon tabanlı sezgisel bir yaklaşım ile etkin rota kümelerini oluşturan bir algoritma geliştirilmiştir. Çalışmada trafik yoğunluğundan kaynaklanan yolculuk sürelerini belirlemek için de bir trafik simülatörü kullanılmıştır.

Ghatee ve Hashemi'nin (2009) çalışmasında yeni bir trafik atama modeli sunulmuştur. Modelin amacı ulaşım şebekesindeki bağlantı noktaları üzerindeki yolcu sayısını tahmin etmektir. Birçok çalışmada stokastik yolculuk talebi ile atama modelleri geliştirilmişken bu çalışmada talebin deterministik olmama özelliği bulanık sayılarla formüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda bulanık denge akış miktarları lojit rota seçim modellerine benzer sonuçlar vermektedir. Ayrıca çalışmada farklı rota ortaya çıkarma (İng.: enumeration) teknikleri ile elde edilen sonuçların kalitesi de karşılaştırılmıştır.

Zhou ve diğ.'nin (2008) çalışmasında, bir dinamik trafik atama modeli çoklu ulaşım türleri ile tanımlanmış şehir içi ulaşım şebekesinde yolcuların ulaşım türü, yolculuk başlangıç zamanı ve rota seçimlerini dikkate alarak geliştirilmiştir. Yolculukla ilgili kullanılan yolcu seçimleri stokastik fayda en büyükleme amacı ile formüle edilmiştir. Bu çerçevede yolcuların karar vermesinde kullanılan çoklu kriterler yolculuk süresi, yolculuk maliyeti, çizelgelere göre gecikmeler ve yolculuk süresi güvenilirliği olarak varsayılmıştır. Yolcuların kullanabilecekleri ulaşım türleri seçenekleri tek sürücü olarak özel araç yolculuğu, birden fazla kişi ile özel araç yolculuğu, metrobüs (İng: bus rapid transit, BRT) ve metro yolculuklarıdır. Lojit tabanlı seçim modellemesi ile dinamik yolcu denge problemi bir optimizasyon modeli olarak formüle edilmiş ve iteratif bir sezgisel yöntem ile çözülmüştür. Çok

boyutlu şebeke üzerinde ulaşım türleri arası rota seçim kümelerini oluşturabilmek için zamana bağılı en az maliyetli yol algoritması geliştirilmiştir. Ulaşım türleri arası rotalarda zamana bağılı aktarma maliyetleri ve uygun aktarma sıralamaları dikkate alınmıştır.

Yukarıda bazı çalışmalarla örnekleri verilen trafik atama problemleri ulaşım planlamada sık kullanılan bir yöntemdir. Bu problemlerde ulaşım talebi genellikle yolcu açısından modellenir ve ele alınan bölge üzerinde yolculukların nasıl dağılacığı tahmin edilmeye çalışılır. Bu problemlerin tanımlanması için gerekli olan bir girdi yolcuların tercihlerini belirleyen, seçim kriterleri kümesinin tanımlanması ve ulaşım ile ilgili sunulan hizmetlerin bu kriterleri ne ölçüde sağladığını belirlenmesidir. Bunun için ulaşım da yolcuların faydayı hangi unsurlar ile sağladığını belirlenmelidir. Bu unsurlar, genellikle maliyet ve ulaşım ile ilgili tanımlanan kalite boyutlarını içermektedir. Bu açıdan da ulaşım sistemlerinde kalite boyutlarının tanımlanması, kalite seviyelerinin belirlenmesi ve kontrol altında tutulması araştırmaları da önemli bir çalışma alanını oluşturmaktadır.

Ulaşım da kalite araştırmaları betimsel ve sayısal istatistiksel modelleme teknikleri ile literatürde geniş çapta ele alınmaktadır. Aşağıda her iki yöntemle yapılmış bazı güncel çalışmalara yer verilmiştir.

Currie ve Wallis'in (2008) çalışmalarında, öncelikle bir literatür taraması sunulmuş ve sonrasında 'Delphi' ve açıklayıcı (İng: explanatory) yöntemlerle toplu ulaşım da spesifik olarak otobüs kullanımı nasıl artırılabilir sorusuna cevap aranmaktadır. Bunun için şebeke yapısında ve hizmet düzeylerinde, otobüs geçişlerine öncelik verilmesi, araç ve durak altyapısı, ücretler ve biletlendirme sistemleri, yolcu bilgilendirme ve pazarlama, kişisel güvenlik ve can güvenliği hizmet iyileştirmesi için literatürde tanımlanmış ölçütler derlenmiştir. En iyi uygulamalar değerlendirilmiş ve son olarak uzmanların hem en iyi uygulamaları değerlendirmeleri hem de genel değerlendirmeleri ile ilgili yapılan anketten alınan sonuçlar tablolarda raporlanmıştır.

Tyrinopoulos ve Antoniou (2008) tarafından yapılan çalışmada, toplu taşıma yolcu memnuniyeti ile ilgili araştırmalar gözden geçirilmiş ve Yunanistan'daki 5 farklı toplu ulaşım kuruluşunun performans ve politikalarının değerlendirilmesine yer verilmiştir. İlk olarak toplu ulaşım la ilgili müşteri memnuniyetini oluşturan

değişkenler belirlenmiş ve sınıflandırılmıştır. Belirlenen dört kalite boyutu, sistemin genel özellikleri, terminal-durakların özellikleri, araçların özellikleri ve aktarma noktalarının özellikleridir. Bu ana başlıkları içeren alt başlıklardan oluşan bir anket çalışması, belirlenen örnekleme göre, ilgili kuruluşlardaki yolcular ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara faktör analizi uygulanarak servis kalitesi, aktarma kalitesi, hizmet üretimi ve bilgi/nezaket olmak üzere dört faktör belirlenmiştir. Her kuruluş için bu faktörlerin müşteri memnuniyetine hangi oranda katkı yaptığı belirlenmiştir. Ayrıca anketten elde edilen veriler ile her kuruluş için bir sıralı lojit model oluşturulmuştur. Son olarak, faktör analizi ve sıralı lojit modeller, cinsiyet bazlı pazar bölümlendirmesi yapılarak oluşturulmuş ve farklı cinsiyetteki yolcu grupları arasındaki farklılıklar analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçların kuruluşların politikalarını oluştururken ne açıdan ele alınabileceği tartışılmıştır.

Genel olarak, tüm hizmet sektörlerinde, üretim kalitesinin ölçülmesine benzer şekilde, hizmet kalitesinin de ölçülmesine duyulan gereklilik ortaya çıktığında, yapılan araştırmaların birçoğunda anket ile değerlendirmeler kullanılmıştır. Ulaşımda da hizmet kalitesinin yolcular tarafından nasıl algılandığını belirlemek için anketler sıklıkla kullanılmaktadır. Hizmet kalitesi ölçümünde, kalitenin çok boyutlu ve bileşenlerin birbirleriyle ilişkili olması nedeniyle farklı modeller sunulmuş ve istatistiksel yöntemlerle bu modeller test edilmiştir. Bu tekniklerden yapısal denklem modelleri yöntemi, birbiri ile ilişkili ulaşım kalite boyutları arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için sıklıkla kullanılmaktadır. Roorda ve Ruiz (2008) tarafından ulaşımda yolcu seçimleri içindeki dinamiği anlamak için yapılan çalışmada yapısal denklem modelleri tekniği ile kısa ve uzun vadede kişilerin aktiviteleri ve ulaşım talepleri arasındaki benzerlikler ve farklılıklar ortaya çıkarılmak istenmektedir. Yapısal denklem modelleri (YDM) 3 tip denklem kümesi ile ifade edilir: yapısal denklemler, iç değişkenler için ölçüm denklemleri ve dış değişkenler için ölçüm denklemleri. Yapısal denklemler dışsal değişkenlerin, içsel değişkenlerin üzerindeki ağırlıklı etkilerini, nedenselliklerini ortaya koyar. Bu çalışmada öncelikle gözlemlenebilir dışsal değişkenler ile gözlemlenmeyen değişkenler tanımlanır ve bunlardan da içsel değişkenler formüle edilir. Makalede Toronto, Kanada da yapılan bir panel müşteri anket araştırmasının sonuçları ile kurulan 4 farklı model ile aktivite-ulaşım benzerlikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Geliştirilen ilk iki modelde bir hafta içindeki günlük iki değişken formüle edilmiştir. İlkinde günlük önceden planlanmış

aktiviteler ve ani olarak ortaya çıkmış aktiviteler arasındaki ilişki, ikincisinde ise her ulaşım türü için günlük yolculuk sayılarını belirlenmiştir. Bunlar dışında daha uzun vadeli değişimleri tanımlayabilmek için ise yıldan-yıla değişimler ortaya çıkarılmak istenmektedir. Bunun için geliştirilen iki modelden ilkinde, peş peşe iki aynı gün için, peş peşe iki yılda yapılan ev dışı aktiviteler karşılaştırılmıştır. Diğerinde ise modelin yapısı birincisine çok benzerdir fakat içsel değişken, ulaşım türü bazında yolculuk sayısıdır. Yaş, cinsiyet, çalışma durumu gibi dışsal değişkenler ile tanımlanan gözlemlenemeyen değişkenler (monotonluk, araba ile yolculuğa eğilim v.b.) ile içsel değişkenlerin değerleri elde edilmiş ve buna göre aktivite ulaşım benzerlikleri kısa ve uzun vade için belirlenmiştir.

Shiftan ve diğ.'nin (2008) makalesinde, ulaşımında YDM yaklaşımının yolcu davranışları ve seçimleri araştırmalarında özgün bir kullanımı ortaya konulmuştur. Makalede toplu ulaşım için potansiyel pazarları belirlemek ve toplu ulaşım kullanımını artırmaya yönelik stratejiler geliştirmek üzere yolcu özellikleri ile yolcu davranışları ve tutumları arasındaki nedensel ilişki ortaya çıkarılmak amaçlanmaktadır. Bunun için davranışsal değişkenler ile pazar bölümlendirmesi YDM yaklaşımı ile uygulanmıştır. Çalışmada hane halkına uygulanmış, tavirlara ilişkin 38 farklı değişkenin sorgulandığı bir anketten elde edilen veriler kullanılmıştır. Yapılan faktör analiziyle tüm değişkenler 7 faktör ile temsil edilmiştir. Kurulan YDM modelinde sosyoekonomik değişkenler dışsal değişkenleri, anket çalışması ile sorgulanmış tavirlara ilişkin belirlenen 38 değişken içsel değişkenleri ve faktör analizinde belirlenen tavirlara ilişkin 7 faktör de gözlemlenemeyen değişkenleri oluşturmuştur. YDM formülasyonu ile tavirlara ilişkin faktörlerin birbirleri arasındaki ilişkiler ile sosyoekonomik değişkenler ve tavirlara ilişkin değişkenler ile ilişkileri incelenmiştir. Tavirlara ilişkin faktörlerin birbirleri arasındaki ilişkilere dayanarak güvenilirliği en yüksek 3 değişken ile pazar bölümlendirmesi modeli kurulmuş ve her bölümün özellikleri ve bu pazar katmanı için hangi politikaların uygulanmasının etkili olacağı tartışılmıştır.

Chou ve Kim'in (2009) çalışmasında şehirlerarası hızlı tren ulaşımında hizmet veren iki tren şirketi için yolcu sadakatini ölçmek için bir YDM formülasyonu önerilmiştir. Bu modelde hizmet kalitesi, şirket imajı, müşteri memnuniyeti, müşteri şikayetleri ve sadakati boyutları altında tanımlanan ilişkiler, yapılan anketler aracılığıyla ağırlıklandırılmıştır. Her boyut, ankette ilgili soruların cevaplarına göre faktör analizi

ile test edilmiştir. Sonuçlara göre modelin uygunluğunu artırmak için müşteri şikayetleri gibi bazı değişkenler eklenmiş ve yeni bazı bağlantılar belirlenmiştir. Buna göre geliştirilen modelde değişkenlerin doğrudan, dolaylı etkiler ve değişkenlerin birbirleri ile ilişkileri ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca incelenen iki tren şirketi için değişkenlerin etkileri karşılaştırılmıştır.

Ulaşımda kalitenin çok boyutlu yapısının ele alınmasında çok boyutlu istatistiksel modeller de birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Estupinan ve Rodriguez'in (2008) çalışmasında bir metrobüs hattı için kullanım oranı ile çevre düzenlemesi ve diğer faktörlerin ilişkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla transit hizmet arzının seviyesini etkileyen faktörler metrobüse ulaşmak için kullanılabilecek araçların varlığı, çevredeki nüfus miktarı ve sosyal statüleri olarak belirlemiştir. Transit talebinin ise çevre düzenlemesi ve transit hizmet arzının bir fonksiyonu olarak tanımlanabileceği varsayılmıştır. Buna göre, istasyon bazında çevre düzenlemesi ve hizmet arzına ilişkin 23 değere faktör analizi uygulanarak 4 faktör tanımlanmıştır. Son olarak istasyon kullanım oranlarını hesaplamak için oluşturulan regresyon modelinin katsayıları tahmin edilmiştir. Her iki yöntemde de çevre düzenlemesi öneminin yüksek derecede olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Grange ve diğ.'nin (2008) çalışmasında ulaşım planlamasında sıklıkla kullanılan çekim modellerinin, yaklaşık değişkenlere bağlı çoklu lineer regresyon ile tahmin yöntemi sunulmuştur. Çoğunlukla en küçük kareler yöntemiyle yapılan çalışmalarda, içsellikten kaynaklanan (İng.:endogeneity) sapma oluştuğu için yeni bir yöntem geliştirilmiş ve en küçük kareler yöntemiyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. İki yöntemle yapılan katsayı tahminlerinin birbirinden oldukça farklı olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, bu katsayıların kullanıldığı modellerle elde edilen çıktı tahminlerinin birbirine çok yakın olduğu ve gerçeği büyük oranda yansıttığı görülmüştür. Modellerin hata değerleri ile yapılan korelasyon analizlerinden yaklaşık değişkenler yönteminde içsellik sapmasının oluşmadığı, ancak en küçük kareler yöntemiyle yapılan tahminlerde sapmanın varlığı tespit edilmiştir. Ancak yaklaşık değişkenler yönteminde modelin serbestlik derecesi daha düşük olduğu için en küçük kareler yönteminden daha etkin olmadığı belirlenmiştir. Elde edilen çıktı sonuçlarına göre ise en küçük kareler yöntemi, yolculuk dağılım tahmininde oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Ancak en küçük kareler yöntemi, kullanıcı faydalarının tahmininde

büyük çaplı değişiklikler olduğunda, yaklaşık değişkenler yöntemine göre, daha büyük sapmalara neden olmaktadır.

Ulaşımda geliştirilen çok boyutlu istatistiksel modellerde tanımlanan bağımlı değişkenden bazıları kalite göstergeleri, kullanım oranları veya kullanıcı fayda göstergeleridir. Bu değişkenler ve maliyet gibi diğer faktörler ile tanımlanan fayda değerleri ile yolcu seçimlerini ortaya çıkarmak için lojit modellerin kullanımı literatürde geniş olarak ele alınmıştır. Farklı lojit model türleri olan çoklu, yuvalı (İng: nested), çapraz yuvalı (İng: cross nested), v.b. modeller, literatürde, tanımlanan problemin yapısına göre kullanılmaktadır. Farklı lojit modelleri ile ele alınan yolcu seçimlerinden bazı örnekler incelenmiştir. Vega ve Feighan'ın (2009) çalışmasının amacı bireylerin konut alanlarını ve işlerine yolculuklarında kullandıkları ulaşım türünü eş zamanlı olarak değerlendirmek ve birey seçimlerini modellemektir. Bu amaçla çapraz yuvalı lojit modelleme yöntemi kullanılmıştır. Coğrafi olarak yaşam alanları gruplandırılmıştır. Ulaşım türü seçimleri ise özel ulaşım ve toplu ulaşım olarak sınıflandırılmıştır. Modelde kullanılan 3 grup değişken sosyo-ekonomik karakteristikler, emlak fiyatları ve ulaşım ile ilgili ulaşım süreleri, maliyetleri, park olanakları gibi özelliklerdir. Bu değişkenlere ilişkin çeşitli kaynaklardan ulaşılan veriler ile model parametreleri tahmin edilmiştir. Formüle edilen model ile direkt ve çapraz esneklikler hesaplanmış ve farklı fiyat seviyeleri için duyarlılık analizleri sunulmuştur.

Debrezion ve diğ.'nin (2009) makalesinin ilk bölümünde tren hizmet kalitesi indeksi için bir regresyon modeli ve bu model kullanılarak yolcu tercihlerini belirlemek için bir lojit model oluşturulmuştur. Tren kalite indeksi modelinde başlangıç ve varış noktaları arasındaki hizmet seviyesini ölçmek için başlangıç ve varış noktalarındaki bölge özellikleri yansıtan katsayılar, genel ulaşım süresi ve tren yolculuğunun diğer ulaşım türlerine göre etkinliğini gösteren bir formülasyon oluşturulmuştur. Model parametreleri farklı başlangıç ve varış noktaları arasındaki mevcut yolculuk miktarları ve değişken değerlerine göre tahmin edilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde, yolcu tercihlerini modellemek için ilk bölümde formüle edilen tren hizmet kalite indeksi ve tren istasyonlarının farklı ulaşım türlerine göre erişilebilirliğini gösteren değişkenler kullanılarak yuvalı lojit model uygulanmıştır. Modelin iki adımı istasyona erişim türünün ve tren istasyonunun seçimidir. Yuvalı lojit modelin her iki adımı için katsayılar, direkt ve çapraz esneklikler tahmin

edilmiştir. Daha sonra bazı değişkenlerin, uzaklık ve araba sahipliğinin, seçimler üzerindeki etkisi hassasiyet analizleri yapılarak gösterilmiştir.

Brons ve diğ.'nin (2009) makalesinin tren kullanım potansiyeli ve tren istasyonlarının ulaşılabilirlikleri ile ilgili iki ana amacı vardır. Birinci amaç tren kullanımında yolcu memnuniyeti boyutlarının belirlenmesi ve genel memnuniyete göre bu boyutlardan biri olan istasyonların erişebilirliği ile ilgili memnuniyet seviyesi, önemi ve etkisini ortaya çıkarmak. Bunun için genel memnuniyet ve memnuniyet için tanımlanan alt boyutlar arasında bir regresyon modeli tanımlanmıştır. Çalışmanın ikinci amacı ise tren kullanımının tren hizmet seviyesi, tren istasyonun erişilebilirliği ve hizmet verilen bölge ve popülasyon karakteristiklerinden hangi oranda etkilendiğini ortaya çıkarmaktır. Tren hizmet seviyesi için Debrezion ve diğ.'nin (2006) tanımladığı tren hizmet kalite endeksi, istasyon ulaşılabilirliği için her istasyonun park alanları ve diğer ulaşım türleri ile bağlantı özellikleri, son olarak da bölge ve popülasyon karakteristikleri posta kodu bazında belirlenen ilgili değişkenler ile temsil edilmiştir. Bunlara göre oluşturulan ikinci bir en küçük kareler regresyon modeli ile her bir özelliğin ağırlığı belirlenmiştir. Böylece, servis sağlayıcıların etkileyebilecekleri değişkenlerin iyileştirilmesinin, genel kullanım oranlarına etkileri ile iyileştirme maliyetleri arasında fayda-maliyet analizi yapılarak etkin kararlar vermelerine yardımcı olacak bir araç sunulmuştur.

Son yıllarda, literatürde yolcu seçimlerinin modellenmesi için faydanın formülasyonuna, klasik olarak kullanılan süre ve maliyet değişkenlerinin yanı sıra, önemli diğer değişkenlerin de dahil edildiği görülmektedir. Süre ve maliyet dışında sayısal olmayan hizmet kalitesini belirleyen diğer değişkenlerin değerlendirilmesi basit değildir. Yolcu seçimlerinde önem taşıyan bazı özellikler olan erişim ve güvenilirliğin sayısallaştırılması için literatürde farklı yöntemler geliştirilmiştir. Ancak, bunlar, özel durumlar için geçerli olan ve farklı yapıdaki ulaşım hizmetlerini karşılaştırabilecek genel ölçütler değildir. Bu çalışmada son yıllarda önem verilen süre güvenilirliği için birimsiz bir sayısal indeks geliştirilmiştir. Bu indeksin, farklı yapıdaki ulaşım hizmetlerinin karşılaştırılması için genel bir araç olarak kullanılabileceği önerilmektedir. Geliştirilen süre güvenilirliği indeksinin yolcu seçim modellerinde açıklayıcı bir değişken olarak kullanılabileceği gösterilmiştir. Tez kapsamında önerilen seçim modeli ise yolculukları bütünleşik olarak ele alan

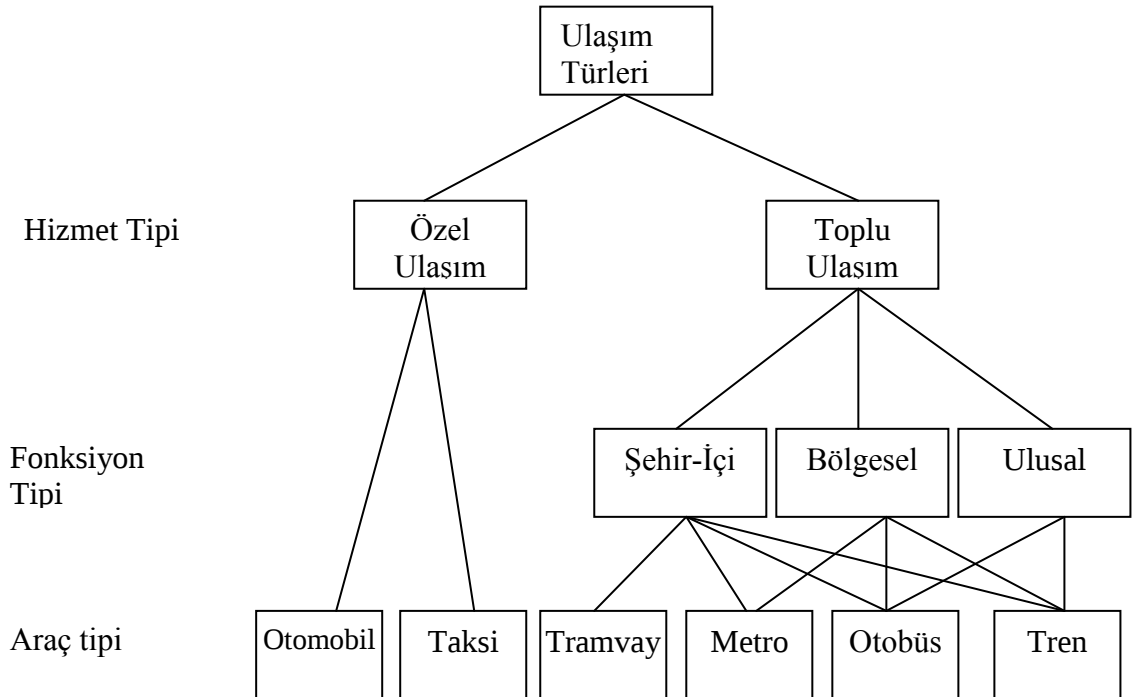
aktarma merkezi ve erişim ulaşım türü seçimi için formüle edilmiştir. Son yıllarda şehirlerde artan nüfus yoğunluğu ve trafik problemleri nedeniyle toplu ulaşım hizmet kalitesi iyileştirilmesi gerekli bir olgu olarak görülmektedir. Şehir içi toplu ulaşımında, günümüzde, yolculukların büyük bölümünün aktarma içermesi nedeniyle aktarma içeren yolculukların incelenmesi önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu amaçla, bu tür yolculuklarda, yolculara ne tür alternatifler sunulduğunun, bu alternatiflerin yolcular için sağladığı faydanın ve bu alternatifler için ortaya çıkacak talebin belirlenmesi için süre güvenilirliği ile formüle edilen bir lojit model önerilmiştir. Bu modelin, İstanbul'da metro hizmetine erişim seçeneklerinin incelenmesi için kullanımı incelenmiştir.

3. ULAŞIM SİSTEMİ VE ULAŞIM TÜRLERİ ARASI YOLCULUKLAR

3.1 Toplu Ulaşım Sistemi ve Bileşenleri

Şehir içinde yolcular için ulaşım hizmeti sağlayan farklı şehir içi ulaşım türleri mevcuttur. Bu ulaşım türleri, kullanım şekillerine göre iki temel sınıfa ayrılabilir: özel veya toplu ulaşım. Özel ulaşım, sahipleri tarafından -kendi kullanımları için- özel mülkiyetteki araçların kullanımını içerir. Toplu ulaşım ise ortak taşıyıcılar ile sabit rota ve çizelgeler ile ücret karşılığı herkes tarafından kullanılabilen ulaşım sistemleridir.

“Ulaşım türü” kavramı bir hizmet tipi, ulaşım fonksiyonu tipi, araç tipi veya bunların bir birleşimi için kullanılabilir. Şekil 3.1’de ulaşım türleriyle ilgili bir sınıflandırma verilmiştir. Hizmet tipi özel ve toplu ulaşım türleri, araç tipleri ise otomobil, otobüs tren gibi örneklerle tanımlanmıştır (Hoogendoorn-Lanser, 2005).



Şekil 3.1 : Farklı ulaşım türlerinin ayrıştırılması (Hoogendoorn-Lanser, 2005).

Toplu ulaşım, araçların önceden belirlenmiş bir çizelgeye göre sabit hatlarda hareket etmesi ile sağlanır. “Toplu ulaşım hatları” olarak adlandırılan hatlar, toplu ulaşım sistemlerinin en temel bileşeni olarak kabul edilebilir. Birbirine bağlanan veya birbiriyle kesişen toplu ulaşım hatlarının bir araya gelmesi ile yolcuların rahatlığı ve operasyon etkinliği için belirli bir alanda bütünleşik olarak sunulan hizmetlere ve operasyonlara “toplu ulaşım şebekesi” adı verilmektedir (Vuchic, 2005)

Toplu ulaşım şebekesi üzerinde yolcuların toplu ulaşım hatlarına binip inmesi için durak, istasyon, aktarma merkezi veya terminal adı verilen düğüm noktaları bulunur. Durak, istasyon, aktarma merkezi veya terminal lokasyonları kapasite, donanım ve olanaklar açısından birbirinden farklıdır. Duraklarda araçlar, sadece yolcu indirip bindirir ve donanımları genellikle tabela, hava şartlarından korunmak için küçük bir korumak ve oturaklardır. İstasyonlarda ise inme ve binme dışında, bekleme ve aktarma yapılabilir, özellikle ücret toplama için turnike, vb. ekipmanlar bulunur. Aktarma merkezlerinde çok sayıda hattın kesişmesi nedeniyle aktarma olanağı sunduğu için bu adı almıştır. Terminaller ise hattın başında veya sonunda yer alan istasyonlara veya büyük aktarma merkezlerine verilen isimdir.

Toplu ulaşım sisteminin fiziksel bileşenleri, araçlar, yollar veya geçiş hakkı, düğüm veya tesislerdir. Ulaşım sisteminin performansını ve hizmet düzeyini planlamak için bu fiziksel bileşenlerin de dikkate alınması gerekir. Ulaşım türlerinin operasyonel açıdan yapılan sınıflandırmasında, geçiş hakkı en etkili özelliktir. Geçiş hakkı, bir türün diğer trafikten ayrılış derecesine bağlı olarak üç sınıfta ele alınmaktadır (Vuchic, 2005):

- Sınıf C: karma trafik içinde olan yüzey yollarını tanımlar. Otobüsler bu geçiş hakkına sahip toplu ulaşım türlerinden biridir.
- Sınıf B: bariyer, bordür vb. ayırıcılar ile diğer trafikten fiziksel olarak uzunlamasına ayrılmış geçiş hakkıdır. Fakat bu tür, sokak kavşakları, araç ve yayalar için hemzemin geçişlerde diğer trafikle kesişir. Bu geçiş hakkına sahip, en sık rastlanan ulaşım türü hafif tramvay hatlarıdır.
- Sınıf A: herhangi bir hemzemin geçiş olmayan, yasal olarak hiçbir araç veya insan tarafından erişimin mümkün olmadığı, tamamen kontrol edilen geçiş haklarıdır.

Çizelge 3.1’de toplu ulaşım sistemiyle ilgili kavramlar ve tanımları verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Toplu ulaşım kavramlarının tanımı.

Kavram	Tanım
Toplu ulaşım	Araçların önceden belirlenmiş bir çizelgeye göre sabit hatlarda hareket etmesi ile sunulan yolcu taşıma hizmeti
Toplu ulaşım şebekesi	Birbirine bağlanan veya birbiriyle kesişen toplu ulaşım hatlarının bir araya gelmesi ile yolcuların rahatlığı ve operasyon etkinliği için bir alanda entegre olarak sunulan hizmetler ve operasyonlar
Toplu ulaşım hattı	Araçların hangi yollardan hangi zamanlarda geçeceği belirlenerek tanımlanmış operasyon ve hizmet birimi
Çizelge	Her ulaşım hattı için, araçların hangi zamanda hangi noktada olacağını gösteren zaman planı
Durak	Araçların yolcu indirip bindirdiği noktalar
İstasyon	Yolcu inme ve binme, bekleme ve aktarma yapılması, ücret toplama ekipmanları, merdiven, platform vb. olanaklara sahip alanlar
Aktarma merkezi	Çok sayıda hattın kesişmesi nedeniyle aktarma olanağı oldukça fazla olan noktalar
Terminal	Bir hattın başında veya sonunda yer alan istasyonları da kapsayan büyük ölçekli aktarma merkezleri
Geçiş hakkı	Bir türün diğer trafikten ayrılış derecesi veya geçiş üstünlüğü.
Ulaşım türü	Ulaşımında bir hizmet tipi, ulaşım fonksiyonu tipi, araç tipi veya bunların bir birleşimi için tanımlanan ulaşım şekli

3.2 Ulaşım Türleri

Otobüsler, sabit hatlarda sabit çizelgeye göre çalışırlar. Her şehirde, sokaklarda çalışan (geçiş hakkı sınıfı C), ülkemizde en çok kullanılan toplu ulaşım türüdür. 20-35 kişilik oturma kapasiteli midibüslerin yanı sıra, 150 kişiye kadar yolcu kapasiteli olabilen körüklü otobüsler vardır. Hemen hemen tüm sokaklarda, ana arterlerde ve otoyollarda geniş bir hizmet düzeyi ve performans aralığında faaliyet gösterebilirler. Otobüslerin ortalama hızları 15-25 km/saat'tir. Otobüs hatları, küçük ve orta büyüklükteki şehirlerde tüm toplu ulaşım şebekesini oluşturabilirken, orta ve büyük şehirlerde ise raylı şebekelere besleme hattı olarak hizmet verebilir. Otobüsler, yoğun kullanılan koridorlarda sık operasyonla çalıştıklarında bir yönde 5000 kişi/saat kapasite ile hizmet verebilir (Vuchic, 2007).

Tramvaylar, elektrik ile çalışan, birbirine bağlı bir ile üç ünitelerden oluşan toplam 80-300 kişilik oturma kapasiteli raylı toplu ulaşım araçlarıdır. Geçiş hakkı B ve C olan yollarda çalışır. Tramvayların ortalama hızları 12-20 km/saat'tir. En önemli

özellikleri olan geniş alan, rahat sürüş ve araçların farklı görüntüsüdür. Bu nedenler, bir çok şehirde, bu ulaşım türünü yaygınlaştırmıştır (Vuchic, 2007).

Metrobüs (İng: Bus rapid transit, BRT), normal otobüslere göre daha yüksek performans ve kapasite sağlayan özelliklere sahiptir. Bu özelliklerin en önemlisi geçiş hakkının B sınıfı veya C sınıfı olmasıdır. Açıkça belirlenmiş, 500-1500 metre aralıklar ile durak veya istasyonları vardır. Metrobüslerin ortalama hızları 20-40 km/saat'tir ve en yüksek hizmet sıklığı 60-300 araç/saat'tir. Araçların, sürüş rahatlığı, yüksek kapasitesi, fazla sayıda kapısı ve düşük taban özellikleri avantajlarıdır.

Hafif tramvay, tramvayların geliştirilmesi sonucu daha üstün özellikler kazandırılmış ulaşım türleridir. Geçiş hakkı olarak ağırlıkla sınıf B bazen de sınıf A kullanır. Sokak geçişlerinde genellikle geçiş üstünlüğü olan sinyalizasyon kontrolü vardır. Duraklar/istasyonlar sokak ve yollardan ayrılmıştır. Duraklar arası mesafe 300-600 metredir. Araçlar iki ile dört ünitelerden oluşan yüksek kapasiteye sahiptir. En yüksek hızları 70 km/saat civarındadır. Ortalama hızları ise ancak 20-45 km/saat'tir. En yüksek hizmet sıklığı 40-60 araç/saat'tir. Araçların çok sayıda kapısı vardır ve düşük tabanlıdır. Rahat ve sessiz sürüş özellikleri vardır.

Otomatik insan taşıyıcıları (İng.: people movers), orta büyüklükte iki dingilli elektrikli araçlar ile mürettebatsız olarak hizmet verir. A sınıfı geçiş hakkı gereklidir. Bu nedenle yatırım maliyeti yüksektir. Fakat insan kontrolü gerekmeden çalışabildiği için işletim maliyetleri düşüktür. Yüksek hızlı ve güvenilir hizmet sağlar. Düşük ölçekle metroya benzer bir performans sunar. Hizmet özellikleri ve metroya kıyasla düşük yatırım maliyeti nedeniyle orta ölçekli hatlarda birçok şehirde kullanılmaktadır.

Hafif metro, kapasite açısından küçük ölçekli ancak hızlı bir ulaşım türüdür. Geçiş hakkı sınıf A'dır. Bu ulaşım türü, yüksek performans gerektiren fakat uzun tren ve büyük istasyonları gerektirecek yüksek yolcu hacimleri olmayan hatlar için uygundur.

Lastik tekerlekli hızlı toplu ulaşım, orta büyüklükte, dört dingilli (brüt alanları 36-53 m2 arasında) metal veya asfalt yüzeylerde lastik tekerlek ile üç ile dokuz araç trenleri şeklinde tamamen kontrol edilen sınıf A geçiş hakkı ile çalışır.

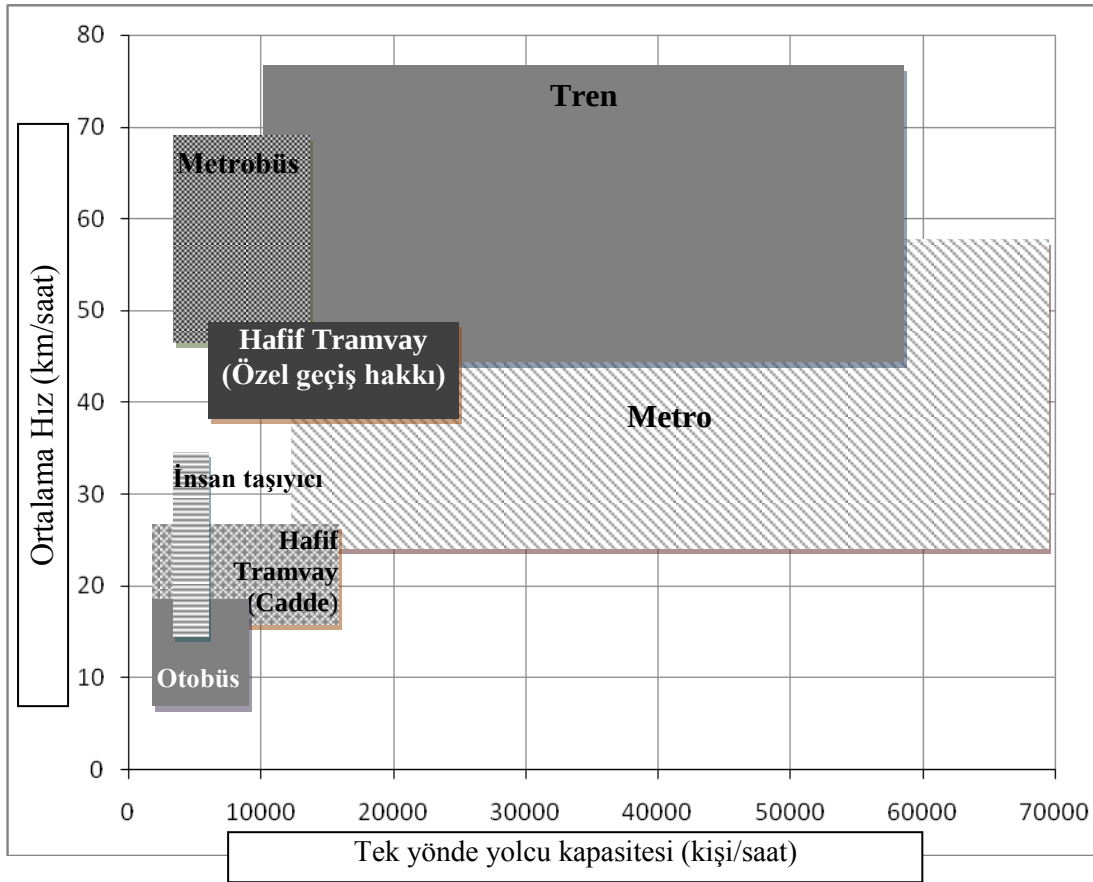
Metro, yüksek performanslı, hızlı bir raylı toplu ulaşım türüdür. Genel olarak büyük dört dingilli, en fazla 10 ünitelik trenler şeklinde elektrik ile çalışan raylı araçlardır. Tamamen kontrol edilen geçiş hakkı ile tam sinyal kontrolü sağlanmaktadır. Bu, yüksek hız, güvenilirlik, kapasite ve güvenlik sunmaktadır. Çok sayıda kapısının olması, istasyonlarda 40 kişi/saniye oranında hızlı biniş iniş sağlamaktadır. Tren kapasitesi, geçtiği bir noktada 40 tren/saat ile 2000 oturma kapasitesi/saat'i geçer. Metronun ortalama hızı 25-60 km/saat'tir ve en yüksek hizmet sıklığı 20-40 araç/saat'tir. Sağladığı tüm özellikler ile diğer ulaşım türlerinden üstündür. Ancak şehir bölgelerinde tamamen kontrol edilen geçiş hakkı ve istasyonlar nedeniyle yatırım maliyeti de diğerlerine oranla çok daha yüksektir.

Tren, tüm raylı ulaşım sistemlerinin en büyük alanlı araçları (80 m²'ye kadar) ile çalışır. Ortalama hızları 40-80 km/saat'tir ve en yüksek hizmet sıklığı 10-30 araç/saat'tir. Daha uzun rotalarda, daha az sayıda istasyon ile daha yüksek hızlarda çalışır. Bu nedenle, daha çok bölgesel düzeyde, uzun şehir yolculukları için daha etkin bir ulaşım türüdür.

Araziye özel ulaşım türleri, araziden kaynaklanan bazı engellere rağmen geliştirilmiş türlerdir. *Funiküler* bunun için önemli bir örnektir. Çok dik eğimlerde bir kablonun iki ucuna birbirini dengeleyecek şekilde bir motor ile çekilen raylı sistemlerdir. (İstanbul, Hong Kong, Pittsburgh, Salzburg, vb.).

Su-yolu ulaşım türleri, deniz, göl, nehir kenarı gibi su teşekkülleri boyunca yerleştirilmiş şehirler için çok önemli bir toplu ulaşım bileşenidir (İstanbul, Amsterdam, HongKong, New York, Seattle, Sydney, vb.). *Feribotlar* hızlı yanaşma, kalkış ve yolcu değişimi imkanı sunan kısa mesafe ulaşımı için tasarlanmıştır. Yolcu bazen de araç taşıyabilir. *Deniz otobüsleri*, feribotların sunduğu hizmeti daha yüksek hız ile sağlar.

Şekil 3.2'de yukarıda tanımlanan bazı ulaşım türüne ait hız ve hizmet kapasitesi değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Çizelge 3.2'de geçiş hakkı, kapasite ve hız değerleri gibi operasyonel özellikleri listelenmiştir (Vuchic, 2007).



Şekil 3.2 : Farklı ulaşım türlerinin yolcu kapasitesi ve ortalama çalışma hızları (Danaher ve diğ., 2003).

Çizelge 3.2 : Bazı ulaşım türlerine ait operasyonel özellikler.

Ulaşım Türü	Oturma Kapasitesi (kişi)	Hız (km/saat)	Hizmet Kapasitesi (kişi/saat)	Geçiş Hakkı Sınıfı
Otobüs	20-150	15-25	5000	C
Tramvay	80-300	12-20	8000	B-C
Metrobüs	50-150	20-40	8000	B-C
Hafif tramvay	150-400	20-45	15000	B-A
Metro	250-500	25-60	45000	A
Tren	250-750	40-80	35000	A

3.3 Ulaşım Türleri Kapasite Değerlendirmesi ve Hizmet Kalitesi ile İlişkisi

Toplu ulaşım kapasitesinin temel belirleyicileri, araçların büyüklüğü ve araçların sıklığıdır. Kapasite, yolcu trafiği ile araç akışı arasındaki etkileşimi yansıtır ve hizmet kalitesi ile yakından ilgilidir. Kapasite, ulaşım hızı ile doğrudan ilişkili yolculuk süresi, süre güvenilirliği ve yolcu yükleri gibi hizmet kalitesi boyutlarını etkiler. Ancak, hizmet kalitesi değerlendirmesinde, kapasitenin yanı sıra yolcuların

bakış açısı, farklı talep, arz ve kontrol durumlarında sistemin nasıl çalıştığının ölçümü gibi daha karmaşık faktörler önem kazanır. Hizmet kalitesi boyutları ve ölçümü için literatürdeki yaklaşımlar Bölüm 4’te kapsamlı olarak incelenecektir.

Özel araç ile ulaşımda, özel kullanım nedeniyle belirli bir rota için araç kapasitesi önemlidir ve taşınan insan sayısı ile yakın oranda araç sayısı artmaktadır. Toplu ulaşımda ise amaç daha az sayıda araçla çok sayıda insan taşımaktır. Bu nedenle kapasite, birim zamanda hizmet verilebilecek insan sayısı ile hesaplanır. Bunun için ilk aşamada birim zamanda hizmet verebilecek araç sayısını da belirlemek gerekir. Bu, çizelgelenebilecek araç sıklığının en üst değeri olacaktır.

Belirli bir rota ile taşınabilecek insan sayısını etkileyen özelliklerin bazıları iç etkenlerdir ve kontrol altındadır, bazıları ise kontrol altında olmayan dış etkenlerdir. En temel olarak insan kapasitesi, araç kapasiteleri ve o araçların yolcu kapasitelerinin çarpımı ile ifade edilebilir. İnsan kapasitesi belirli bir lokasyonda, genellikle bir rotanın bir bölümünde, özellikle en çok yüklü olan bölümünde, belirlenmelidir. Araç kapasitesi ise belirli bir rota için belirli bir zaman diliminde belirlenen bir lokasyondan geçebilecek en fazla araç (otobüs, tren, vapur, vb.) sayısıdır. Araç kapasitesi büyük oranda toplu ulaşım araçlarının birbiri arasında bırakması gereken en küçük mesafeye bağlıdır. En küçük mesafe ise kontrol sistemleri (örn. trafik veya tren sinyalleri), yoğun duraklardaki yolcu inme, binme talepleri ve/veya diğer araçlarla etkileşime bağlıdır (Soberman ve diğ., 1980). Çizelge 3.3’te toplu ulaşım kapasitesini etkileyen önemli faktörler listelenmiştir. Bunların bir kısmı araç başına insan sayısını, diğer kısmı ise araç kapasitesini etkiler.

3.4 Durak/İstasyon Türleri

Duraklar, çoğunlukla otobüslere hizmet verir. Yerleşimleri yol üzerindedir. Kaldırımla birleşik olarak bekleme alanları, durağı gösteren bir işareti ve çoğunlukla oturma yeri ile zor hava şartları için bir korunağı bulunur. Otobüs durakları, diğer aktarma merkezleri, raylı istasyonlar veya ulaşım türleri arsı terminallerde de bulunabilir.

Çizelge 3.3 : Toplu ulaşım kapasitesini etkileyen faktörler (Soberman ve diğ., 1980).

ARAÇ ÖZELLİKLERİ	
Araç başına izin verilen ünite sayısı (örn. tek körüklü otobüs, çok vagonlu tren, vb.)	Basamak sayısı ve yüksekliği En yüksek hız
Araç boyutları	Hızlanma ve yavaşlama dereceleri
Koltuk düzeni ve kapasitesi	Kapı açma mekanizmasının türü
Tekerlekli sandalye sabitleme yer sayısı	Kapıların sayısı, yerleri ve genişliği
GEÇİŞ HAKKI ÖZELLİKLERİ	
Kesit tasarımı (şerit ve ray sayısı)	Kesişim tasarımı ve kontrolü
Diğer trafikten ayrılma derecesi	Yatay ve dikey hizalama
DURAK ÖZELLİKLERİ	
Aracın bekleme süreleri uzunluğu	Ücret toplama yöntemi
Duraklar arası mesafe	Ücret tipi
Platform yüksekliği ile araç yükseklik uyumu	Ortak veya ayrı inme binme alanları
Yükleme şekli sayısı ve uzunluğu	Duraklara yolcu erişimi
OPERASYON ÖZELLİKLERİ	
Terminallerdeki şehirlerarası/ şehir dışı operasyonlar	Verilen bir istasyona varış süresinin
Bekleme süresi ve çizelge ayarlama çalışmaları	düzenli olması
YOLCU TRAFİĞİ ÖZELLİKLERİ	
Büyük duraklardaki yolcu birikmeleri ve dağılımı	Kullanımın pik yapma özellikleri
YOL TRAFİĞİ ÖZELLİKLERİ	
Diğer trafiğin hacmi ve yapısı	Hem zemin kesişimlerin varlığı

İstasyonlar, büyük yolcu hacmi için tasarlanmış yoğunlukla araçlara platformlar aracılığı ile hizmet veren ve ücretin araca binişin öncesinde toplandığı lokasyonlardır. Metrobüs, hafif metro, metro ve trenlere yolcu iniş binışı için hizmet veren tesislerdir. İstasyonlar metrobüs için yol üzerinde, hafif metro için yol üzerinde veya dışında, metro için ise yoğunlukla yer altındadır.

Aktarma merkezi veya ulaşım türleri arası istasyonlar, çok sayıda rotanın birleştiği ve hatlar arası aktarma olanağı sunan tesislerdir. Eğer birleşen hatlar aynı ulaşım türlerinden oluşuyorsa yoğunlukla aktarma merkezi, farklı türler mevcutsa ulaşım türleri arası istasyonlar adı verilir.

Feribot iskeleleri ve terminalleri, daha düşük hacimde yolcu akışı olan ve kısıtlı olanaklar sunan basit su kenarındaki tesislerden, çok sayıda feribota, yolcuya ve araçlara hizmet veren önemli terminallere kadar farklılıklar gösterebilir. Su kenarları

hava şartlarına önemli oranda açık olduğu için iklim şartlarında korunma iyi kalitede bir yolculuk sağlamak için önemli kazanmaktadır (Vuchic, 2007).

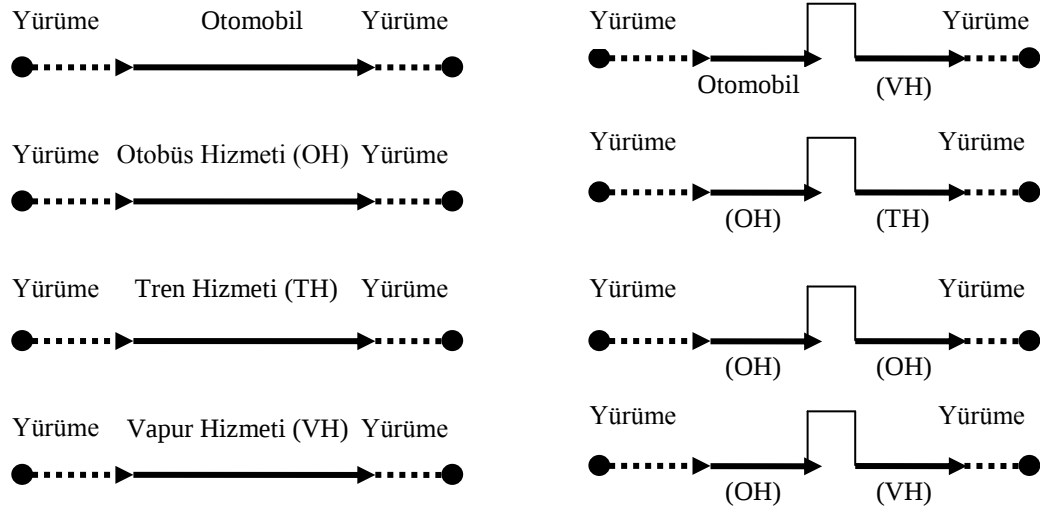
3.5 Durak/İstasyon Kapasite Değerlendirmesi ve Hizmet Kalitesi ile İlişkisi

İstasyonlarda, yol üzeri duraklar, yol dışı duraklar, istasyon platformları, korunma alanları, bekleme alanları, oturaklar, yürüme yolları, kapılar/geçiş yolları, merdivenler, asansörler, yürüyen merdivenler, kayan bantlar, ücret kontrolü, turnikeler, bilet satış makineleri, sinyaller ve yolcu iletişim sistemleri, diğer olanaklar (aydınlatma, telefonlar, çöp kutuları, vb.), bisiklet park alanları ve park-et devam-et tesisleri bulunmaktadır. Bu bileşenlerin tasarımı hem istasyonun kapasitesi hem de bakım, engelliler için uygunluğu ve güvenliği gibi özellikleri etkilemektedir.

İstasyon tasarımı son yıllarda yaya akışı sistem bakış açısı kullanılarak simülasyon modelleri ile değerlendirilmektedir ve istasyon tasarımı belirlenmektedir (Daamen, 2004). Yolcu akışı, özellikle yürüme yollarındaki ve merdivenlerdeki akışa ek olarak kuyruk ve bekleme alanlarındaki yoğunluk ile ölçülmektedir. Şekil 3.3'te bir aktarma merkezi için örnek bir yaya akış diyagramı verilmiştir. Yaya hızı, yaya akış oranı, birim genişlik için yaya akışı, yaya yoğunluğu, yaya alanı gibi ölçütler kullanılmaktadır. Bu parametreler, hem istasyon içindeki erişim hızını hem de rahatlığı etkilemektedir. Örneğin, yürüme yollarında, tam kapasitenin yarısından fazlası oranında yoğunluk olması durumunda, bir yolcuya düşen ortalama alan yaklaşık 1 m²'dir. Ancak yürüme yollarında tam kapasite oranında yoğunluk olması durumunda, bir yolcuya düşen alan 0,5 m²'den azdır ve yolcunun yürüme hızı ilk duruma göre yaklaşık üçte bir oranında düşmektedir (Danaher ve diğ., 2003). İstasyon içinde yaya dolaşımının modellenmesi için bir bağlantı-düğüm şebekesi oluşturulur. Bu şebeke, genellikle, yolcuların kullandığı yollar dikkate alınarak oluşturulur. Analiz edilen süre içerisinde şebekeye, önce, istasyona gelen yolcular yüklenir, sonra, istasyondan çıkan yolcular yüklenir. Böylece, her bağlantı üzerindeki yürüme süreleri ve kalabalık belirlenir. Kuyruk süreleri ve düğümlerdeki kalabalık belirlenir. Bu şekilde de istasyon içindeki erişim süreleri ve toplu ulaşım araçları için bekleme süreleri belirlenir. Bir aktarma merkezinden geçen ortalama yolculuk sürelerini bulmak için erişim süresi ve bekleme sürelerine, yolculuk süresi de eklenir.

mevcuttur. Örneğin, özel araç ile yapılan bir yolculukta araca yürümek gereklidir; toplu ulaşım da biniş durağına kadar ve iniş durağından sonra yürümek gereklidir. Türler-arası yolculuklarda ise buna ek olarak, aktarmalar sırasında duraklar arasında yürümek zorunludur. Dolayısıyla, yürüme tüm yolculuklarda var olan bir bileşendir.

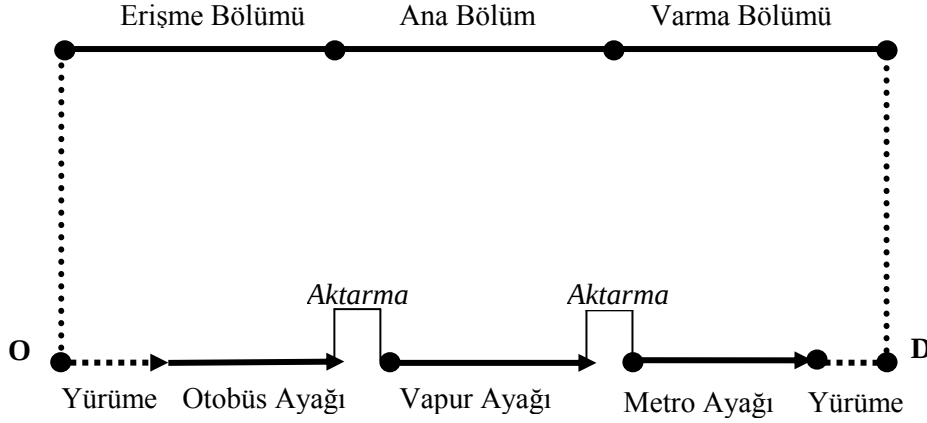
Türler-arası yolculuklar, başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar yapılan tek bir yolculukta, iki veya daha fazla araç türü veya ulaşım hizmeti (yürüyüşler hariç) içeren ve bunlar arasında en az bir aktarmanın yapıldığı yolculuklardır. Aktarmalar tanımı gereği ulaşım türleri arası yolculukların zorunlu bir parçasıdır. İki veya daha fazla sayıda ulaşım türü kullanmak için yolcular, ulaşım ağı içinde tanımlı noktalarda ulaşım türü veya araç değiştirmek durumundadır. Aktarmalar, aynı tür içinde veya türler-arası olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilir. Türler-arası aktarma, bir yolculukta yolcunun, iki ulaşım hizmet ağı veya türü arasında geçiş yapmasıdır. Aynı tür içi aktarma ise, aynı ulaşım hizmet ağı içerisinde araç değiştirmesidir. Örneğin, ardı ardına iki farklı otobüs hattı kullanan bir yolcunun iki otobüs hattı arasında aktarma yapması tür içi aktarmadır. Otobüs ile tren istasyonuna ulaşan ve tren ile devam bir yolcunun yaptığı aktarma türü ise türler-arası aktarma için bir örnektir. Şekil 3.4'te tek ulaşım türü ile ve türler-arası yapılan yolculuklar gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Tek tür ile ve türler-arası yolculuk örnekleri (Fiorenzo-Catalano, 2007).

Bir yolculuk içerisinde üç farklı yolculuk bölümünü tanımlayabiliriz. Bunların isimleri ana bölüm, erişme ve varma bölümleridir. Ana yolculuk bölümü, erişme ve varma bölümlerine kıyasla, en büyük mesafenin, mümkün olan en yüksek hızla katedildiği bölümdür. Genel olarak ana yolculuk bölümlerinde kullanılan ulaşım türleri araba, tren, metro ve bazen otobüs bile olabilir. Ana yolculuk bölümü iki uç

noktasında, erişme yolculuk bölümünü, yolculuk başlangıç noktasını ve varma yolculuk bölümünü, yolculuk bitiş noktasına Şekil 3.5’te gösterildiği gibi bağlamaktadır (Hoogendoorn-Lanser, 2005).



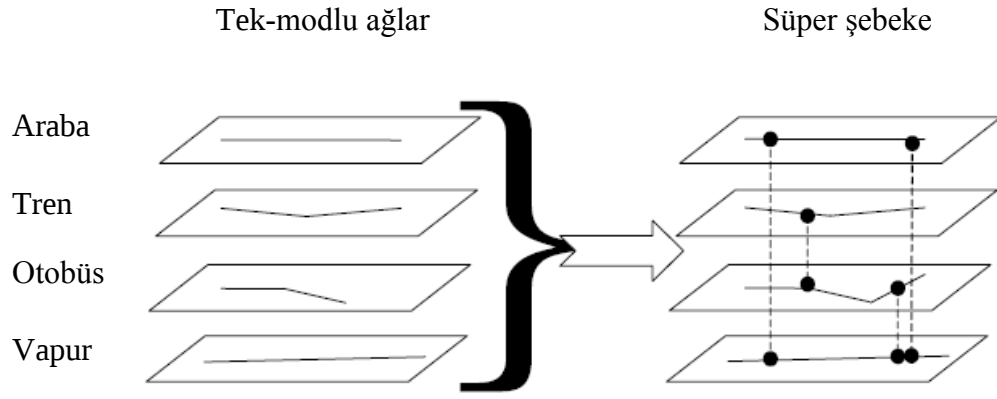
Şekil 3.5 : Ulaşım türleri arası yolculuk bileşenleri/ayakları (O:başlangıç, D: bitiş).

Ulaşım şebekesi için genellikle çizge kuramını (İng.: Graph theory) temel alan bir gösterim kullanılır. Buna göre kesişimler düğümler ile, yollar ise düğümlerde sonlanan bağlantılar ile temsil edilir. Sadece mekansal veya durağan bir şebeke gösterimi yerine, düğümlerin hem uzayda hem de zamanda lokasyonlarının gösterdiği bir şebeke de tanımlanabilir (Nuzzolo ve Russo, 1998). Türler-arası ulaşım modelleri, bağlantılar ve düğümler üzerinde tanımlanan operasyonları içermektedir (Ramming, 2002).

Türler-arası ulaşım şebeke gösteriminde bir kaç tek ulaşım türüne ait şebeke, birleştirilerek aynı şebeke üzerinde gösterilebilir. Bu şebekeye “Süper Şebeke” ismi verilir (Sheffi, 1985). Şekil 3.6’da süper şebeke gösteriminde, farklı ulaşım türü şebekelerinin uygun düğümlerde, aktarma bağlantıları ile birleştirilmesi gösterilmiştir. Süper şebekelerde, aktarma bağlantılarının zaman ve maliyet gibi özellikleri de tanımlanabilir. Bu özellikler ile aktarmaların neden olduğu zorluklar hesaplanabilir. Çizelge 3.4’te bu bölümde türler-arası yolculuklarda kullanılan kavramlar özetlenmiştir.

Çizelge 3.4 : Türler-arası yolculuklarda kullanılan kavramlar.

Kavram	Tanımı
Yolculuk	Verilen bir başlangıç bitiş nokta çiftini bağlayan araç türleri ve aktarma düğümleri sıralaması
Seyahat alternatifi	Bir çıkış saati için tek ulaşım türü ile veya türler-arası yolculuk alternatifleri
Ulaşım türü	Bir hizmet tipi (özel veya toplu), bir fonksiyon tipi (şehir içi, bölgesel, ulusal) ve bir araç tipi (otomobil, tramvay, otobüs, tren) için tanımlanmış seyahat için kullanılan ulaşım şekli
Ana yolculuk bölümü	En büyük mesafenin mümkün olan en yüksek hızlarla ana ulaşım türleri ile katedildiği ve bir veya daha fazla sayıda ayağı olan türler-arası yolculuk kısmı
Erişme bölümü	Ana yolculuk bölümünün başlangıç düğümü (sıklıkla bir aktarma noktası) ile yolculuğun başlangıç noktasına, erişme ulaşım türleri ile birbirine bağlayan ve bir veya birden fazla ayağı olan türler-arası yolculuk kısmı
Varma bölümü	Ana yolculuk bölümünün son düğümü (sıklıkla bir aktarma noktası) ile yolculuğun bitiş noktasını, varma ulaşım türleri ile birbirine bağlayan ve bir veya birden fazla ayağı olan türler-arası yolculuk kısmı
Ayak	Ara bir aktarma olmadan tek ulaşım türünün kullanıldığı türler-arası yolculuk kısmı
Tek tür ile yolculuk	Tek bir ulaşım türü ile yapılan fakat bir veya birden fazla yürüme ayağı olan yolculuk
Türler-arası yolculuk	En az iki ulaşım türü (yürüme dışında) içeren ve arasında en az bir aktarma olan yolculuk tipi
Aktarma	Ulaşım hizmet şebekeleri arasında veya içerisinde ulaşım aracının değiştirilmesi
Aktarma noktası	Ulaşım hizmet ağı içinde başka bir araç türüne geçmenin mümkün olduğu düğüm
Türler-arası aktarma	Yolcuların farklı ulaşım türlerinin hizmet şebekeleri arası geçiş yapmak zorunda olduğu aktarma türü
Tür içi aktarma	Bir ulaşım hizmet şebekesi içerisinde (örn. şehir içi otobüs şebekesi) yolcuların aynı türe ait araç değişikliği yaptıkları aktarma türü
Süper şebeke	Bir kaç tek ulaşım türüne ait şebekenin, uygun düğümlerde (aktarma noktaları) birleştirilerek aynı şebeke üzerinde gösterimi



Şekil 3.6 : Tek ulaşım türü alt şebekeleri ile süper şebekenin oluşturulması (Fiorenzo-Catalano, 2007).

4. HİZMET KALİTESİ VE BOYUTLARI

4.1 Hizmet Kalitesinin Tarihçesi ve Gelişimi

Dünyada, hizmet kalitesi ve müşteri davranışları araştırmaları 1960'lı yıllarda ortaya çıkmıştır. Bu yıllardan önce yapılan araştırmalar, günlük problemleri çözmek amacıyla oluşturulan memnuniyet politikaları düzeyinde kalmıştır. Yapılan ilk çalışmalarda kavramsal yöntemler kullanılmıştır. Handy ve Pfaff, 1970'lerde öncü bir çalışma ile farklı kategorilerdeki yiyecekler için müşteri memnuniyeti endeksleri geliştirilmiştir. Bu çalışma sonrasında benzer araştırmalar yaygınlaşmıştır (Handy ve Pfaff, 1975).

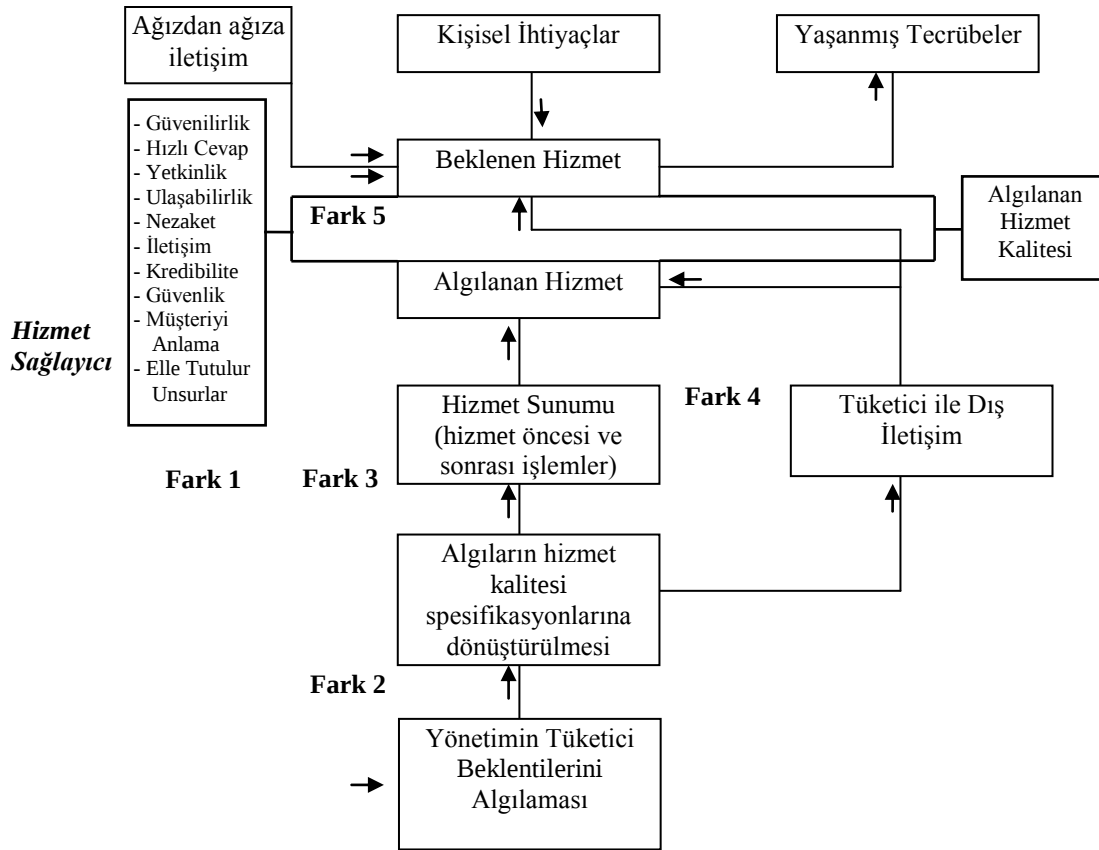
1975-1985 yılları arasında yapılan müşteri memnuniyeti araştırmaları fiziksel ürün üreten sektörlere odaklanmıştır. Ancak, gelişmiş ekonomilerde hizmet sektörünün hızla büyümesiyle, hizmet sektöründe ürünü oluşturan unsurların farklı olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte 1980'lerden sonra hizmet sektöründe de kalite, memnuniyet kavramı, modeller ve yöntemler geliştirilmiştir.

Hizmet üretiminde de mal üretimine benzer şekilde kalite özelliklerinin ve memnuniyetin ölçümü, takibi ve sürekli iyileştirilmesi başarılı olmak için gereklidir. İlk zamanlarda daha çok sorunlara odaklanılmış ve farklı yaklaşımlar benimsenmiştir. Bu yaklaşımlarda nesnel sorunlar, özel duyguları da içeren memnuniyetsizlikler, tüm sorunlar, en önemli veya en güncel sorunlar ele alınmıştır. İlk yapılan çalışmalarda anket veya şikayet verileri kullanılmıştır. Anket verileri daha tutarlı sonuçlar verdiği için ilerleyen yıllarda daha sık kullanılmıştır. Daha objektif veri sağlamak için maliyeti daha yüksek olan operasyonla ilgili veri toplama yöntemleri de tercih edilmektedir (Morpac Int. ve Cambridge Sys., 1999).

Parasuraman ve diğ. (1985, 1990) hizmet kalitesi araştırmaları için öncü çalışmaları ile hizmet kalitesini tanımlamış ve bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmalarda, hizmet kalitesinin, fiziksel ürünlerden farklılıklarını yansıtan özellikleri tartışılmıştır. Hizmet kalitesinin bu özellikleri elle tutulamayan, değişik öğelerden oluşan (heterojen) ve üretim ile tüketimin birbirinden ayrılmaz yapısıdır. Elle tutulamaz

olması ürün kalitesindeki gibi üretim standartları ve spesifikasyonlarını tanımlamayı zorlaştırmaktadır. Hizmet kalitesinin değişik öğelerden oluşan heterojen yapısı ise performansın üreticiden üreticiye, müşteriden müşteriye hatta günden güne değişmesine neden olmaktadır. Son olarak, hizmetin, üretiminin ve tüketiminin aynı anda gerçekleşmesinden kaynaklanan ayrılmaz yapı, müşteri ve hizmet sağlayıcı arasındaki etkileşimi kalite için belirleyici bir unsur haline getirmektedir. Çalışmada, bu unsurların, tüketici ile hizmet sağlayıcılar arasında algı farklılıklarına neden olduğu gösterilmiştir. Bu farkları temel alan SERVQUAL adını verdikleri hizmet kalitesi modelini geliştirmişlerdir. Modelin genel yapısı Şekil 4.1’de gösterilmiştir (Parasuraman ve diğ., 1985).

Tüketici



Şekil 4.1 : Hizmet kalitesi modeli ve algılanan hizmet kalitesi belirleyicileri.

Çalışmada, incelenen hizmet türleri ve tüketicilerden bağımsız olarak hizmet kalitesinin değerlendirilmesinde benzer kriterler kullanılmıştır. Bu kriterler şunlardır:

- Güvenilirlik (İng.: Reliability)
- Hızlı Cevap Verme (İng.: Responsiveness)

- Yetkinlik (İng.: Competence)
- Erişilebilirlik (İng.: Access)
- Nezaket (İng.: Courtesy)
- İletişim (İng.: Communication)
- Kredibilite (İng.: Credibility)
- Güvenlik (İng.: Security)
- Müşteriyi Anlama/Tanıma (İng.: Understanding/Knowing the Customer)
- Elle Tutulur Unsurlar (İng.: Tangibles)

Algılanan hizmet kalitesi, tüketicinin beklediği hizmet ile algıladığı hizmetin karşılaştırılmasının bir sonucudur. Memnuniyetsizlik, beklenen hizmet seviyesinin, algılanandan yüksek olduğu durumlar; memnuniyet ise algılanan hizmet seviyesinin, beklenene eşit veya yüksek olduğu durumlardır. Çalışmada, benzer kriterler kullanmalarına rağmen, tüketiciler arasında bu kriterlerin ağırlıklarının ve beklentilerin farklı olduğu gösterilmiştir. Buna bağlı olarak hizmet kalitesi segmentlerinin belirlenmesine ve beklentilerin ne yönde farklılaştığı yönünde araştırmalara ihtiyaç olduğu gösterilmiştir.

Parasuraman ve diğ.'nin önerdiği model ve yöntem öncü olmuş ve geniş çapta kullanılmıştır ancak aynı zamanda birçok araştırmacı tarafından model ve ölçüm yöntemi sorgulanmıştır. Özellikle, beklentilerin tanımlanmasının birçok açıdan sorgulanabileceğini ortaya çıkarılmıştır. Örneğin, cevap verenlerin beklentiler ölçeğinde gerçekçi olmayan yüksek değerlendirmeleri olabileceği görülmüştür. Carman (1990), tüketicilerin “iyi şekillenmemiş beklentilere” sahip olduğunda beklenti ölçümlerinin geçerliliğinin sorgulanabileceği sonucuna varmıştır. Bu sorunları aşmak için Parasuraman ve diğ. (1990), öznitelikleri “gerekli” ve “daha az gerekli” olarak ikiye ayırmışlardır. Anketi cevaplayanların, gerekli öznitelikleri değerlendirmelerinde karşılaşılan yüksek puanları, özniteliğin gerekliliğine bağlı olarak revize etmişlerdir. Ancak bu yöntemde gerekli niteliklerin kaliteye katkısının az olması gibi bir çelişki oluşmuştur. Cronin ve Taylor (1992), hizmet kalitesi performansına dayalı ölçümlerle yeni bir model önermişlerdir. Bu modele SERVPERF adı verilmiş ve daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Bu arada Kano (1984) müşteri ihtiyaçları ve ürün kalite özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için bir yöntem geliştirmiştir. Hem akademik hem uygulama çalışmalarında yaygın olarak kullanılmıştır. Bu yöntem ile ürün kalite özellikleri,

genel memnuniyete katkısına göre gerekli, performans ve çekici olmak üzere temel üç sınıfa ayırmıştır. Kano yöntemiyle ilgili birçok alanda çalışmalar mevcuttur (Berger ve diğ., 1993; Griffin ve Hauser, 1993; Matzler ve Hinterhuber, 1998; Matzler ve Sauerwein, 2002; Matzler ve diğ., 2004; Xu ve diğ., 2009; Lin ve diğ., 2010). Kuo (2004), çalışmasında Kano yöntemini hizmet kalitesi için başarılı bir şekilde uyarlamıştır. Bu çalışmada Kano yöntemini web sosyal şebeke hizmetlerindeki kalite boyutlarının sınıflandırılması ve müşteri taleplerinin belirlenmesi için kullanmıştır. Johnson ve diğ. (1995) memnuniyet kavramını bireysel düzeyde değil, pazar düzeyinde incelemiş ve birikimli memnuniyet olarak ele alınmıştır. Önemli bir bulgu, bir dönemden diğerine memnuniyette anlamlı bir taşınma etkisi olması yani, pazar memnuniyetinin kararlı, birikimli bir değer olması ve zaman içinde yavaş değişmesidir. Zeithaml ve diğ. (2002) web sitesi hizmet kalitesini ölçmek için yeni bir model önermişlerdir. Bu modelde, web sitesi hizmet kalitesi araştırmalarında, müşteri beklentilerinin çok açık şekilde belirlenemediğini ortaya çıkarmışlar ve müşteri beklentilerinden bağımsız bir model öne sürmüşlerdir. Pizzi (2008) çalışmasında, yazılım sistemlerinin karmaşıklığı nedeniyle yazılım sistem bileşenlerinden ortaya çıkan toplam kaliteyi değerlendirmek için kalitatif özellikleri ölçecek yazılım ölçütleri geliştirmeyi önermiştir. Kalitatif değerlendirmeleri bir araya getirmek için bulanık entegrasyon yöntemini esas alan bir toplama yöntemi geliştirmiştir.

4.2 Toplu Ulaşımında Hizmet Kalitesi Kavramı ve İlgili Tanımlar

Ulaşım literatüründe hizmet kalitesi açısından üç temel kavramdan bahsedebiliriz: hizmet düzeyi, hizmet kalitesi ve ulaşım performans ölçütleri. Bu kavramlar, birbiri ile kesişimleri olan ve sıklıkla birbiri yerine kullanılan kavramlardır. Literatürde kalite tanımları standart değildir, çalışmanın ele aldığı belirli bir sisteme özel olarak tanımlanabilmektedir. Literatürdeki genel kullanımlarından bu kavramlar kısaca şöyle tanımlanmaktadır (Danaher ve diğ., 2003):

Hizmet düzeyi: sıklık veya hizmet saatleri cinsinden sunulan hizmet miktarıdır.

Hizmet kalitesi: yolcu açısından ulaşım hizmetinin ölçülen veya algılanan genel performansıdır.

Ulaşım performans ölçütü: ulaşım hizmetinin belirli bir yönünü değerlendirmek için kullanılan nitel veya nicel faktörlerdir.

Toplu ulaşımda, hizmet kalitesi iki temel başlık altında analiz edilmelidir. Bunlardan ilki, bir hizmetin, yolcu için mevcut olması ile ilgilidir. Diğeri ise, mevcut olan hizmetin kullanımının, genel anlamda, kolay ve rahat olması ile ilgilidir. Her iki ana başlık altında toplanan, toplu ulaşımın kalite özellikleri, kişilerin ev, iş lokasyonları gibi uzun vadeli kararlarında ve yolculuk türü seçimi, yolculuk zamanı seçimi gibi daha sık alınan kararlarda etkilidir.

Mevcudiyet başlığı altındaki kalite özellikleri, toplu ulaşım hizmetinin, coğrafi olarak erişilebilir olması ve zamansal olarak yolcu için gerekli saatte gerekli zaman planına göre sunulması ile ilgilidir. Potansiyel bir yolcu için, toplu ulaşım hizmeti çok uzakta ise veya kullanıcının ihtiyacı olan zamanlarda toplu ulaşım servisi verilmiyorsa, hizmet düzeyi çok düşüktür. Toplu ulaşım hizmetinin mevcut olduğu varsayıldığında, rahatlık ve kolaylık ile ilgili performans ölçütleri kullanıcının toplu ulaşım deneyimi ile ilgili kalite algılarını değerlendirmek için kullanılır.

Toplu ulaşım sistemindeki farklı bileşenler için farklı performans ölçütleri gerekir. Örneğin, durak, rota veya belirli bir bölgedeki ulaşım sistemi bazında yapılan değerlendirmeler için farklı performans ölçütlerine ihtiyaç duyulur. Hizmetin mevcut olması, durak bazında sıklık ölçütü ile ölçülürken, sistem ölçeği bazında hizmet kapsama alanı ölçütü ile ölçülmektedir. Başka bir sınıflandırma ise kullanılan ölçütlerin kimin açısından ele alındığı ile ilgilidir. Performans ölçütleri, yolcular, servis sağlayıcıları veya toplum açısından, bu grupların deneyimini daha fazla etkilemesi açısından değerlendirilmektedir.

Hizmet kalitesi, yolcuların belirli bir toplu ulaşım yolculuğunun kalite algılamalarını direk olarak etkileyen ulaşım hizmet özellikleri üzerine odaklanır. Hizmet kalitesi hem mevcudiyet hem de rahatlık, kolaylık başlığı altındaki özelliklerle ilgilidir. Ancak mevcudiyet ile ilgili özellikler, toplu ulaşımın seçenek olarak dikkate alınmasını etkilerken; rahatlık ve kolaylık ile ilgili özellikler yolcunun kişisel beklentileri ile ilgilidir. Her iki başlık altında literatürde sıklıkla karşılaşılan kalite özellikleri aşağıda incelenmiştir.

a) Erişilebilirlik

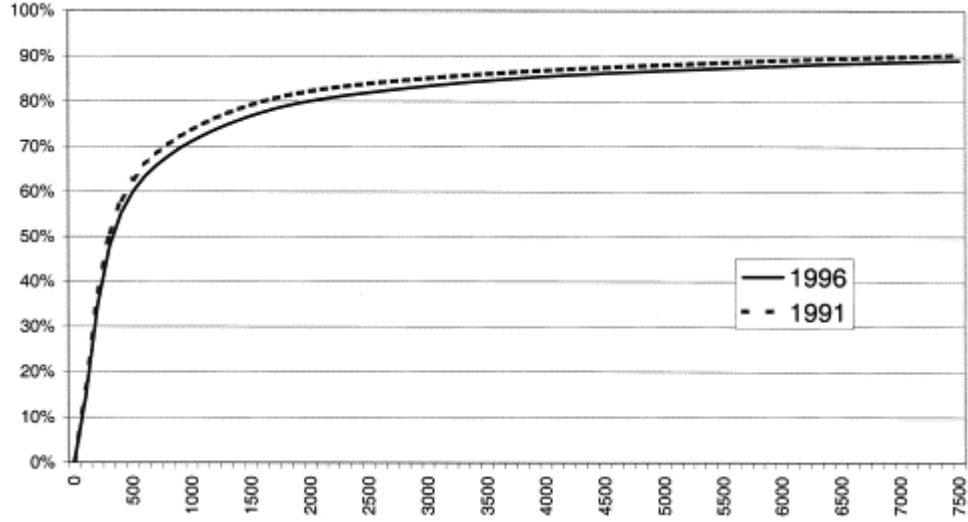
Erişilebilirlik, hizmet kapsama alanının yolcunun başlangıç ve varış noktasına kabul edilebilir bir uzaklıkta olması ile değerlendirilmektedir. Toplu ulaşım hizmeti kişinin başlangıç ve varış noktasına yürüme mesafesinde olmalıdır veya kişinin başlangıç noktasına yakın toplu ulaşım hizmeti, yürüme mesafesinde sağlanmıyorsa, en yakın toplu ulaşım noktasına araba ile gidip arabasını park etme ve toplu ulaşım ile devam etme seçeneği sağlanmalıdır. Aksi halde, toplu ulaşım, yolcu için kullanılması mümkün olmayan bir seçenektir.

Hizmet kapsama alanı yolculuğun hem başlangıç hem de varış noktaları, örneğin ev ve iş lokasyonları, ile ilgilidir. Yolcunun varış noktasına, toplu ulaşım hizmeti sunulmuyorsa sadece başlangıç noktasında toplu ulaşım hizmeti olmasının pek faydası olmamaktadır. Toplu ulaşım, yaya olarak erişim de mesafenin yanı sıra, çevrenin yürümeye uygun olması da önemli bir etkidir. Yürümenin zorlaşmasına neden olan bazı faktörler şunlardır: kötü yaya yolları, yollarda ışıklandırmanın olmaması, geniş ve işlek caddelerden güvenli yaya geçişlerinin sağlanmaması, sinyalizasyon eksiklikleri veya yokuş yukarı bölgeler.

Literatürde ve dünyada birçok farklı bölgede erişilebilirlik için kullanılan standart yolcuların 400-800 metre içinde bir ulaşım hizmetine ait durağa ulaşmasını öngörmektedir (Smith ve Taylor, 1994; Murray ve diğ., 1998; Murray, 2001, Danaher ve diğ., 2003). Yürüme hızı ortalama 5 km/sa. kabul edilirse bu mesafeye göre yürüme süresi yaklaşık 5-10 dakika'ya eş değerdir. Kişilerin toplu ulaşım erişmek için yürüyecekleri mesafe gelir grubu, yaş grubu, yaşadığı bölge, coğrafi veya çevre düzenlemesi gibi durumlara bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca daha yüksek hizmet düzeyi sunabilecek raylı ulaşım, sık hizmet veya durakların fiziksel koşullarının iyi olmasına da bağlı olarak erişim için yolcuların kabul edeceği yürüme mesafesi artmaktadır.

Bu kalite özelliğinin değerlendirilmesinde çoğunlukla kullanılan performans ölçütü hizmet kapsama alanıdır. Kapsama alanı, toplu ulaşımın yürüme mesafesi içinde olduğu bölgedir. Kapsama alanı için diğer bazı ölçütler şunlardır: *kilometre kare başına toplam rota kilometresi, kapsama alanının yüzdesi*. Kapsama alanı yüzdesinin hesaplanmasında, belirli bir rota tarafından kapsanan alan bir otobüs durağı için 400 metre veya tren veya metro istasyonu için 800 metre kuş uçuşu mesafe olarak

tanımlanır ve buna göre kapsama alan yüzdesi veya kapsanan ulaşım bölgelerinin yüzdesi bulunur. Şekil 4.2’de Avusturalya’da Queensland bölgesi için toplu ulaşım erişim mesafelerine göre nüfusun kapsanma yüzdeleri verilmiştir (Murray ve diğ., 1998).



Şekil 4.2 : Toplu ulaşım erişim için nüfusun kapsanma yüzdesi.

Metrobüs veya yolcu trenleri gibi yüksek performanslı toplu ulaşım hizmetlerine genellikle yürüyerek erişim, en çok kullanılan ulaşım türü değildir. Bu ulaşım türleri için yolcu erişiminde arabayla erişip arabayı park etmek ve toplu ulaşım ile devam etmek sıklıkla kullanılan seçeneklerden biridir. Park et-devam et hizmeti genellikle düşük yoğunluklu yerleşim bölgelerinde toplu ulaşım erişmek için kullanılan bir seçenektir.

Park et-devam et hizmeti için de kapsama alanı hesaplanmaktadır. Park et-devam et tesislerinin hizmet sağladıkları alan, tesisin tipi, tesis çevresindeki arazi kullanım şekilleri, yakındaki yollardaki trafik sıkışıklığı ve tesisin bulunduğu bölgeye özel diğer faktörlere bağlıdır. Buna rağmen park et-devam et kullanıcılarının yaklaşık yarısının yolculuklarına, tesise 3-5 km. uzakta başladıklarını göstermektedir. Park et-devam et kullanıcılarının diğer yarısı ise, 3-5 km.’lik mesafedeki iç bölgenin dışında bu bölgeden 4 kat daha geniş bir bölgeye yayılmıştır. Bu nedenle 3-5 km.’lik bir daire içindeki bölge kapsama alanı olarak kabul edilmektedir. Park et-devam et genellikle yolculuğun ev ucunda ve düşük yoğunluklu bölgelerde hizmet verdiği için, performans ölçütü olarak *hizmet alanı içinde hizmet verilen kişi yüzdesi* kullanılabilir (Danaher, 2003). Park et – devam et hizmeti ile ilgili önemli kullanıcı ve tesis özellikleri aşağıdaki gibi özetlenmiştir (KJS Associates, 2001):

- Park et–devam et kullanıcılarının gelirleri, lokal otobüs yolcularına göre anlamlı derece yüksektir
- Park et–devam et kullanıcıları (%60’ından fazlası), iş merkezlerine haftada dört kereden sık iş yolculuğu yapmışlardır
- Varış noktasında park etmek pahalıdır
- Kullanıcıların çoğu park et–devam et tesislerini düzenli kullandıkları iş güzergahları üzerinde görebildikleri için bulmuşlardır.
- Başarılı bir park et–devam et için tesis lokasyonunun literatüre göre ana varış noktalarından en az 7-10 km., ideal olarak yaklaşık 16 km. uzak olması gereklidir.
- Park et–devam et sonrasında ulaşılan toplu ulaşım hizmeti, sık ve hızlı bir hizmet olmalıdır.
- Park et–devam et tesisi, otoyol ve metroya yakın olmalı ve yakın ana yollardan görünmelidir.
- Park et–devam et hizmetine otomobil erişimi en kolay ve hızlı şekilde olmalıdır. Yolculuğun toplu ulaşım kısmı, çoğu zaman, kullanıcının evinden son varış noktasına toplam yolculuk süresinin %50’sinden fazla olmalıdır.
- Park etme ücreti, otomobille erişim maliyetini belirleyen önemli etkenlerdir. Yolculuğun son varış noktasındaki park ücretleri genel olarak gidiş-dönüş toplu ulaşım ücretinden oldukça fazladır.

b) Sıklık

Toplu ulaşım hizmetlerinin hangi sıklıkta sağlandığı önemlidir çünkü hizmetler daha sık ise, bir aracın kaçırılması durumunda veya çizelgenin tam olarak bilinmemesi durumunda bekleme süresi daha kısadır ve yolcunun yolculuk zaman seçimi için daha fazla esneklik sağlamaktadır. Gün içinde hizmetin, hangi zamanlarda ve sıklıkla verileceği hizmet çizelgeleri ile belirlenmektedir.

Bu özelliğinin değerlendirilmesinde çoğunlukla kullanılan performans göstergesi hizmet sıklığıdır. Hizmet sıklığı, bir saat içinde yolcunun kaç kez toplu ulaşım hizmetine ulaşabileceğini gösterir. Bu gösterge, hizmet 5-10 dakikadan daha sık sağlanıyorsa genellikle taşıt takip aralığı (İng.: headway) değeri ile ölçülür. Taşıt

takip aralığı, hizmet sıklığının tersidir. Araçlar arası süre, 5-10 dakikadan az ise genellikle kullanıcı açısından çizelgenin bilinmesi de çok önemli değildir çünkü yolcu durağa ulaştığında kısa bir süre içinde herhangi bir araç gelecektir. Fakat araçlar arası süre daha uzun olduğuunda, duraklarda çizelgelerin olması gerekir. Böylece, yolcular ulaşım ihtiyaçlarının zamanlamasına göre çizelgelenen en uygun araç varış saatini dikkate alarak durağa gelirler. Böylece duraktaki bekleme süresi kısaltılabilir.

Toplu ulaşım hizmetinin yolcu tarafından bir seçenek olarak değerlendirilmemesine yetersiz kapasite de yol açabilir. Eğer bir toplu ulaşım aracı durağa aşırı dolu geliyorsa, durakta o sırada bekleyen kişi için toplu ulaşım hizmeti sağlanmamaktadır. Diğer aracı beklemek zorunda kaldığı için bu yolcu için hizmet sıklığı verilen çizelgedeki sıklıktan daha az olacaktır. Diğer önemli bir ölçüt ise hizmet saatleridir. Bu ölçüt, iki lokasyon arası veya bir koridorda hizmet sunulan saatlerin sayısı ile belirlenmektedir (Danaher ve diğ., 2003).

c) Yolcu yükleri

Yolcular uzun süre boyunca ayakta yolculuk etmek zorunda kalınca toplu ulaşım daha az cazip hale gelir ve tercih edilirlığı azalır. Yolcuların özellikle uzun yolculuklarda oturacak yer bulmaları, yolcu rahatlığı için önemli bir faktördür. Yolcular ayakta kaldıklarında, yolculuk zamanlarını üretken bir şekilde geçirmeleri de zorlaşır. Bu da, toplu ulaşımın özel otomobillere karşı potansiyel bir avantajı olan yolculuk sırasında başka bir işle meşgul olabilme özelliğini yok eder. Kalabalık araçlar, toplu ulaşımındaki operasyonların da yavaşlamasına neden olur çünkü yolcuların inip binmeleri daha uzun süre alır.

Bazı durumlarda yolcu yükleri, hizmet sıklığı ile dengelemektedir. Binen yolcu hacmi göreceli olarak düşük ise, otobüslerin boş çalışmaması için hizmet sıklıkları azaltılabilir. Daha yoğun hatlar veya saatlerde, tüm yolcuların koltukta oturması mümkün olmaz fakat yolcuların bir sonraki otobüsü çok uzun beklememesini sağlamak için verilen hizmet sıkılaştırılır.

Hizmet sağlayıcıları, çoğunlukla, bir toplu ulaşım aracındaki yolcu kalabalığı derecesini, yük faktörü ile ifade eder. Yük faktörü, kullanımın koltuk sayısına oranıdır. Yük faktörünün 1,0 olması, tüm koltukların dolu olduğu anlamına gelir. Bu değer ile ilgili standartlar, hizmet tipine göre farklılık gösterir. Genel olarak, uzun

mesafeli ev-iş yolculukları ve yüksek hızlı trafik içindeki operasyonlar için yük faktörleri 1,0 düzeyinde sağlanırken, şehir-içi raylı hizmetlerde bu oran 2,0 veya daha yukarıya çıkabilir. Raylı sistemlerde, sunulan koltuk sayıları farklı olduğu için, araç yükünü, birim araç uzunluğuna düşen yolcu sayısı olarak ölçülebilir (Danaher ve diğ., 2003). Yolcu yükü hizmet düzeyi iki ölçütle değerlendirilir: tüm yolcular oturabiliyorsa *yük faktörü* (koltuk başına yolcu) ve bazı yolcular ayakta kalıyorsa veya araçlar oturan yolcu almak için değil, ayakta yolcu almak için tasarlanmış ise *ayakta duran yolcu alanı*.

Hizmet sağlayıcılarının bu değerleri ortalama olarak değerlendirmeleri, yolcuların ne kadarının ne oranda yolcu yükü ile yolculuk yaptığını doğru olarak yansıtmaz. Örneğin, yolcuların büyük bölümü pik zamanlarda aşırı kalabalık araçlarda seyahat ederken, çok daha az sayıda yolcu pik olmayan zamanlarda genellikle yük faktörü çok düşük araçlarda seyahat eder. Bu değerler, birlikte ortalama olarak hesaplandığında, gerçek durumda yolcuların çoğunluğu aşırı kalabalık araçlarda seyahat etmesine rağmen, bulunan değerler bu durumu yansıtmaz. Bu nedenle, yolcu yüklerine ait hizmet düzeyi günün zamanına göre (örn. pik zaman ve pik olmayan zaman) ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de sırasıyla Japonya’da ve Kuzey Amerika’da yapılan çalışmalarda yolcu yükü tanımlamaları gösterilmiştir (Morikawa, 1989; Danaher ve diğ., 2003).

Çizelge 4.1 : Japonya’da yapılmış bir çalışmada yolcu yükleri için tanımlamalar.

Düzye	Açıklama
1	Herkes için oturacak yer vardır.
2	Herkes tutacaklardan tutunabilir.
3	Çok kalabalık ama gazete veya dergi açabilirim.
4	Kesinlikle kıpırdamak için bile yer yok.

Çizelge 4.2 : Kuzey Amerika’da yolcu yükleri için kullanılan hizmet düzeyleri.

Hizmet Düzeyi	Yük Faktörü (kişi/koltuk)	Ayakta Yolcu Alanı (m2/kişi)	Açıklama
A	0,00-0,50	>1,00	Hiçbir yolcu birbiri yanına oturmak zorunda değil
B	0,51-0,75	0,76-1,00	Yolcular nereye oturacaklarını seçebilir
C	0,76-1,00	0,51-0,75	Tüm yolcular oturabilir
D	1,01-1,25	0,36-0,50	Rahatlıkla ayakta durulabilir
E	1,26-1,50	0,20-0,35	En büyük çizelge yükü
F	>1,50	<0,20	Aşırı yük

d) Süre Güvenilirliği / Zamanındalık

Güvenilirliğin, kapsamı ve yolcu açısından önemi aşağıdaki iki başlıkta incelenebilir:

- İki araç arası sürenin, açıklanan çizelgeye uygun olması, yolcuların bir toplu ulaşım durağında, araç gelene kadar bekleyeceği süreyi etkiler.
- Taşıma işinin zamanında yapılması, yolcular için farklı günlerde yolculuk sürelerinin tutarlı olmasını etkiler.

Her iki açıdan da, süre güvenilirliği, yolcuların toplam yolculuk süresini belirleyici bir etkidir. Örneğin, kişi bir aracın daha erken hareket edeceğini düşünüyorsa, aracı kaçırmamak için normalde geleceğinden daha erken bir zamanda durağa gelir. Veya yolcular, varış noktalarına zamanında varacaklarından emin olamıyorsa, varış noktasına zamanında gitmek için yolculuk başlangıç zamanını daha erken seçerler.

İki araç arası sürenin düzgün olmaması, yolcu yüklerini de olumsuz etkiler. Geç kalan bir araç olağan yolcuları dışında bir sonraki araç için erken gelen yolcuları da alır. Bu durumda, aracın duraklara varış zamanları çizelgeden gittikçe daha fazla sapar ve daha fazla yolcu ayakta kalır. Sonraki araçlar ise normalden daha az araç yüküne sahip olur ve çizelgeden daha önde olma eğiliminde olur. Otobüslerin katarlaşması (İng.: bunching) sorunu, hem bu otobüslerin yolcuları için, hem de diğer hatlar için otobüs bekleyip aynı hat için birkaç tane otobüsün peş peşe geçtiğini gören yolcular için rahatsız edici bir durum oluşturur. Araçların katarlaşması, sunulan kapasitenin tam olarak kullanılamamasına neden olur.

Süre güvenilirliği/zamanındalık, bir kısmı hizmet sağlayıcıların kontrolü altında olan, bir kısmı ise kontrol altında olmayan bir dizi etkene bağlıdır. Bu etkenler şunlardır: trafik durumu, yol yapımı ve ray bakımları, araç ve bakım kalitesi, araç ve personelin bulunabilirliği, toplu ulaşım ayrıcalıklı uygulamalar, çizelgeye uyabilmek için boşluklar verilmiş olması, yolcu talebinin düzgünlüğü, rota uzunluğu ve durak sayısı, operasyon kontrol stratejileri (Levinson, 1991, Strathman ve diğ., 2003).

Toplu ulaşım hizmet sağlayıcıları tarafından, süre güvenilirliği için farklı ölçütler kullanılır. Bunlardan bazıları şunlardır: zamanındalık performansı, taşıt takip aralığına bağlı kalma (taşıtlar arası aralığın düzenli olması), kaçırılan sefer sayısı, mekanik bozulmalar arası seyahat edilen mesafe.

Zamanındalık performansı, toplu ulaşımda en sık kullanılan güvenilirlik ölçütüdür. Literatürde düşük sıklıkla çizelgelenmiş ve yolculuk süresi değişkenliği az olan hizmetler için zamanındalık performansı *geç kalma sürelerinin ortalaması* olarak sıkça kullanılmıştır (Algers, 1995; Wardman, 2001; Phillips ve diğ., 2001; Rietveld ve diğ. 2001; Hensher ve Prioni, 2002; Eliasson, 2004; Kroes ve diğ., 2005, 2007; Vincent, 2008; Abrantes ve Wardman; 2011). Zamanındalık performansını ölçmek için belirli bir geç olma tolerans aralığı belirlenmelidir. Bu toleranslar farklı toplumlarda farklılaşabilir. Örneğin, A.B.D. ve Kanada’da birçok toplu ulaşım hizmet sağlayıcılarının zamanındalık performans standartları karşılaştırılmış ve A.B.D’de en fazla 5dk. geç olma durumunda araç zamanında kabul edilirken, Kanada’da, 3-4 dk. geç olma toleransı dahilinde aracı zamanında kabul etmektedir (Benn, 1995). Ayrıca, bu standartlar çoğunlukla pik zaman ve pik olmayan zaman dilimleri için farklı belirlenir. Kullanılan standartlar %95 ve %80 zamanındalık performansı aralığındadır. Son olarak, bazı durumlarda erken gelme, zamanında kabul ederken, bazı durumlarda erken gelme zamanında kabul edilmemektedir. Bir durakta binişler daha fazla ise harekete başlangıcın zamanındalık performansı, inişler daha fazla ise varışın zamanındalık performansının ölçülmesi önem kazanır. Zamanındalık performans ölçümü, zaman çizelgesi açıklanmış ve taşıt takip aralığı 10 dakikadan daha uzun olan hizmetler için yapılabilir. Zamanındalık performansı, genellikle bir rotada bir dizi gün (ardışık günler veya bir aylık örnek) için ölçülür. Sık çizelgelenmiş ve seyahat süre değişkenliği daha fazla olan hizmetler için “*ortalama-varyans*” yaklaşımı sıklıkla kullanılmaktadır (Jackson ve Jucker, 1982; Black ve Towriss, 1993; Senna, 1994; Eliasson, 2004; Fosgerau ve Karlström, 2010). Bu yöntemde, yolculuk süresi dağılımının standart sapması kullanıldığı için dağılımın şekli önem kazanmaktadır. Dağılımların belirlenmesi pek dikkat çeken bir alan olmamıştır, bu konuda Börjesson ve diğ. (2010) sunduğu ampirik bir çalışma vardır.

Sık çizelgelenmiş hizmetler için başka bir yaklaşım, *taşıt takip aralığına bağlı kalma* ölçütünün kullanılmasıdır. Bu ölçüt, belirli bir rotada hizmet veren toplu ulaşım araçlarının bir durağa gelişindeki taşıt aralıklarının belirsizlik katsayısıdır. Belirsizlik katsayısı c_{vh} denklem (4.1)’deki gibi hesaplanır:

$$c_{vh} = \frac{\sigma_{\text{sapma}}}{\mu_{\text{tasit araligi}}} \quad (4.1)$$

öyle ki, σ_{sapma} , taşıt aralık sapmalarının standart sapması, $\mu_{\text{taşıtaralığı}}$ ise çizelgelenmiş taşıt aralıkları ortalamasıdır. Çizelge 4.3'te gösterildiği gibi taşıt aralıklarının belirsizlik katsayısı, bir aracın verilen taşıt aralığı h_i 'nin, çizelgelenen taşıt aralığı h 'nin yarısından daha fazla sapma olasılığı ile ilişkilidir. Bu olasılık, normal dağılım varsayımı ile belirlenmektedir (Danaher ve diğ., 2003).

Çizelge 4.3 : A.B.D.'de kullanılan taşıt takip aralığına bağlı kalma düzeyleri.

Hizmet Düzeyi	C_{vh}	$\Pr\{h_i > h\}$	Açıklama
A	0,00-0,21	$\leq \%1$	Sunulan hizmet saat gibi işler
B	0,22-0,30	$\leq \%10$	Araçlar takip aralığından hafif sapar
C	0,31-0,39	$\leq \%20$	Araçlar takip aralığından sıkça sapar
D	0,40-0,52	$\leq \%33$	Tamamen düzensiz takip aralıkları, bazen katarlaşma
E	0,53-0,74	$\leq \%50$	Sık sık katarlaşma
F	$\geq 0,75$	$> \%50$	Çoğu araç katarlaşmıştır

e) Yolculuk süresi

Toplu ulaşımında yolculuk süresi, yolcunun başlangıç noktasından (örn. ev) toplu ulaşım durağına yürüme süresini, aracı bekleme süresini, araç içi süresini, iniş durağından varış noktasına (örn. iş) yürüme süresini ve yolculuk sırasında gerekiyorsa hatlar arası aktarma için geçen süreyi içerir. Toplam yolculuk süresi birçok faktörden etkilenir. Yolculuk süresi bileşenlerinden yürüme süresini hat ve duraklar arası aralıklar, bekleme süresini hizmet sıklığı, araç-içi süreyi ise trafik sıkışıklığı, sinyal süreleri vb. faktörler etkiler.

Toplu ulaşımında yolculuk süresini oluşturan bileşenlerle ilgili geçen süre yolcular tarafından genellikle farklı algılanır. Örneğin, fazladan ortaya çıkan bekleme süresi, fazladan ortaya çıkan araç-içi süresinden daha önemli olabilir. Yolculuk bileşenleriyle ilgili yolcuların değerlendirmeleri üzerinde ulusal, bölge veya koridor bazında birçok çalışma yapılmıştır (Pursula ve Kurri, 1996; Ramjerdi ve diğ., 1997; Pratt, 2000; Wardman, 2001). Çizelge 4.4'te, Wardman (2001) yaptığı literatür taraması çalışmasında, araç için yolculuk süresine göre diğer yolculuk bileşenlerinin süresine verilen, göreceli önem değerleri gösterilmiştir.

Aktarmalar, operatörler için hizmeti daha etkin hale getirebilir, ancak bazı sonuçları yüzünden çoğunlukla istenmeyen bir bileşendir. Aktarmalar bağlantıyı kaçırma

durumunda, yolculuk süresini artırır. İlk kez seyahat edecek yolcular için karmaşıklığı artırır. Bunlara ek olarak, genellikle ek bir ücrete tabi olmaları nedeniyle de istenmez. Her aktarma, iki hat arasında bekleme gerektirdiği için, yolcuların toplam yolculuk süresini artırır. Fakat bu durum, zaman-planlı aktarmalar ile en aza indirilebilir. En önemlisi, aktarma içeren bir rota, aktarmasız bir rotaya göre, yolculara net zaman tasarrufu, hizmet sıklığında iyileşme yani daha faydalı bir seçenek sunuyorsa, aktarmalı rota yolcular tarafından tercih edilebilir (Pratt, 2000).

Çizelge 4.4 : Yolcular için ulaşım süre bileşenlerinin araç-içi süreye göre önemi.

Yolculuk Bileşeni	Ortalama	Standart Sapma
Yürüme süresi	1,66	0,71
Erişim süresi	1,81	0,75
Yürüme ve bekleme süresi	1,46	0,79
Bekleme süresi	1,47	0,52
Taşıtlar arası süre	0,80	0,46
Arama süresi	1,38	0,52
Geç kalma süresi	7,40	3,86
Gecikme süresi	1,48	0,32
Aktarma	33,08	22,73

Yolcular, toplu ulaşım süresini aynı başlangıç-bitiş noktaları arasında yapacakları otomobil yolculuğunun süresine göre de değerlendirir. Ulaşım süresi tek başına veya rekabet ettiği diğer ulaşım türlerine göre süre farkı veya sürelerin birbirine oranı ölçütleri ile değerlendirilebilir.

Süre farkı ölçütü şu şekilde hesaplanır: otomobil ve toplu ulaşımın kapıdan kapıya seyahat süreleri farkıdır. Toplu ulaşım seyahat süresi, kişinin başlangıç noktasından biniş durağına yürümesini, bekleme süresini, araç-içindeki seyahat süresi, iniş durağından varış noktasına yürüme süresini ve gerekli ise aktarma süresini içerir. Otomobiller için yolculuk süresi, otomobil içindeki seyahat süresini, kişinin arabasını park etmesi için gerekli süreyi ve kişinin son varış noktasına yürüme süresini içerir. Yürüme süresi, genellikle 400 metre yürüme mesafesinin 5 km/saat hızında 5 dakika süreceği hesaplanarak belirlenir. Toplu ulaşım-otomobil seyahat süresi farkı, günün farklı zamanlarında ölçülebilir (örn. pik zamanlar veya pik olmayan zamanlar). Pik zamanlar otomobil zamanlarını daha fazla artırdığı için toplu ulaşım performansı pik

zamanlarda daha yüksektir. Çizelge 4.5’da bu ölçüte göre tanımlanmış hizmet düzeyleri yer almaktadır (Danaher ve diğ., 2003).

Çizelge 4.5 : Toplu ulaşım-otomobil ulaşım süresi farklarına göre hizmet düzeyleri.

Hizmet Düzeyi	Yolculuk Süresi Farkı (dk)	Açıklama
A	≤0	Toplu ulaşım ile yolculuk otomobilden daha hızlı
B	1-15	Yaklaşık otomobille aynı hızda
C	16-30	İki türü de kullanan yolcular için tolere edilebilir
D	31-45	Geliş-gidiş yolculuğu toplu ulaşım ile en az bir saat daha uzun
E	46-60	Tüm yolcular için can sıkıcı
F	>60	Yolcuların çoğu için kabul edilemez

f) Güvenlik

Yolcuların toplu ulaşım ile ilgili güvenlik algıları, ulaşım türü seçim kararlarında dikkate alınır (Ryus ve diğ., 2003). Dolayısıyla, mevcut durumla birlikte yolcuların algıları da önemlidir. Güvenliğin iki boyutu vardır. Can güvenliği, bir kazaya maruz kalma veya ulaşım sisteminin merdiven gibi bileşenlerinde kaymalar ve düşmeleri, suça karşı güvenlik ise, toplu ulaşım kullanılırken bir suça kurban olma ihtimali ile ilgili algıları ve mevcut durumu kapsar. Bunların yanı sıra güvenlik, sık sık kaba ve kurallara uymayan yolcularla karşılaşmak, vb. diğer yolcularla ilgili durumları da içermektedir.

Toplu ulaşım duraklarında suça karşı güvenlik, iyi ışıklandırılmış alanlar oluşturarak, iyi işaretlenmiş acil telefon ve dikkat çeken yardım noktalarını yerleştirerek iyileştirilebilir. Bunlar dışında suça karşı güvenliği artırmak için üniformalı polislerin bulunması, takip kameraları, acil iletişim için sessiz alarmlar sağlanabilir. Yolcular çevrelerinde genellikle başka yolcular olunca daha rahat hissederler.

Can güvenliği ölçütleri, toplu ulaşım kullanırken yaralanma olasılıklarını yansıtır. Suça karşı güvenlik ölçütleri ise toplu ulaşım kullanırken bir suç olayında kurban olma olasılığını yansıtır.

g) Konfor ve olanaklar

Toplu ulaşım da yolcuların önem verdiği bazı konfor faktörleri şunlardır:

- Yerel hava durumuna uygun iklim kontrolü (örn. kış mevsiminde ısıtma, yaz mevsiminde klima)

- Koltuk rahatlığı (örn. koltuk boyutu, diz aralığı,vb.)
- Sürüş rahatlığı (örn. hızlanma ve fren şiddeti, aracın sarsılması, gürültüsü)

Toplu ulaşım altyapısındaki birçok bileşen, yolcular için toplu ulaşımı daha konforlu ve otomobil ile daha fazla rekabet eder hale getirir. Bu bileşenlere olanaklar (İng.: amenities) ismi verilmektedir. Genellikle, sağlanan olanakların türleri, bir durakta binen yolcu sayısına bağlıdır. Toplu ulaşımında sunulan olanaklara bazı örnekler şunlardır:

- Yolcuların aracı beklerken oturması için oturaklar
- Hava koşullarından koruma sağlayacak yarı-kapalı duraklar
- Yolcuların duraktaki güvenlik hissini artırmak için ışıklandırma
- Duraktan geçen hatların rotalarını, varış noktalarını, çizelgelenmiş veya gerçek varış zamanlarını göstermek için bilgi panoları
- Araç ve istasyonlarda havalandırma ve klima, ısıtma.
- Çöp kutuları, telefonlar, otomatik yiyecek içecek satış makineleri, çalışanlı gazete bayileri, çiçekçi stantları, seyyar yiyecek satıcıları, toplu ulaşım bilet/kart satış noktaları, vb.

h) Temizlik ve görünüş

Temiz ve bakımlı duraklar, istasyonlar ve araçlar, toplu ulaşımın imajını iyileştirici bir unsurdur. Duraklarda, üstü kapalı bekleme yerleri, kullanıcı olmayanların da bölgelerindeki toplu ulaşım hizmetinin varlığından haberdar olmalarını sağlar. Kirli ve bakımsız duraklar veya araçlar, kullanıcı olmayanların aklında toplu ulaşımın rahatlığı, kalitesi ve bakımı gibi diğer yönleri hakkında şüpheler oluşmasına neden olur. Bu nedenle dünyada, ulaşım tesisinin görünüşü ve temizliği ile ilgili birçok standartlar belirlenmiştir. Bu standartların kontrolü için ayrıca denetim programları da oluşturulmuştur (Mathieu ve diğ., 1996; Danaher ve diğ., 1997, Weinstein ve Rhonda, 1998).

i) Maliyetler

Potansiyel yolcular, toplu ulaşımı kullanma değerini ve maliyetleri, cepten çıkan tutar ile ve diğer ulaşım türlerini kullanma maliyeti ile kıyaslayarak ölçmektedir. Cepten çıkan toplu ulaşım maliyeti, her yolculuk için ücreti veya aylık kart

maliyetini içerir. Cepten çıkan araba maliyeti ise yol ve köprülerdeki gişe ücreti, park etme ücretleri, benzin maliyetlerini kapsamaktadır. Genellikle araba ile ilgili bakım, sigorta, vergiler ve arabayı satın alma maliyetinin genellikle yolcular tarafından dikkate alınmadığı varsayılmaktadır. Bu nedenle, eğer kişi bir yere araba ile giderken gişe ücreti ve park ücreti ödemiyorsa toplu ulaşım dezavantaj olabilmektedir çünkü araba kullanmak için cepten anlık çıkan bir tutar yokken toplu ulaşım için vardır. Örneğin, iş yerlerine yakın ücretsiz park etme olanağı, toplu ulaşım kullanımı için engelleyici bir durumdur. Bu engelleyici durumu yok etmek için, çalışanlara toplu ulaşım katılım noktalarında ücretsiz park sağlamak, sübvans edilmiş toplu ulaşım kartları sunmak veya özel araba kullanımına alternatif olarak toplu ulaşımı öne çıkaracak diğer bazı “Toplu Ulaşım Talep Yönetimi” düzenlemeleri kullanılır.

Bu bölümde açıklanan tüm kalite özellikleri ile her özelliğin ölçümü için kullanılan ilgili ölçütler arasındaki ilişkiler Çizelge 4.6’da özetlenmiştir. Tüm ölçütler için hangi düzeyde (durak, koridor veya sistem düzeyleri) ölçüm yapılabileceği ile ilgili bilgi verilmiştir. Ölçütler, doğrudan/birinci derecede ilgili oldukları kalite özellikleri ve dolaylı/ikinci derecen ilgili oldukları kalite özellikleri için ** veya * işaretleri ile ilişkilendirilmiştir.

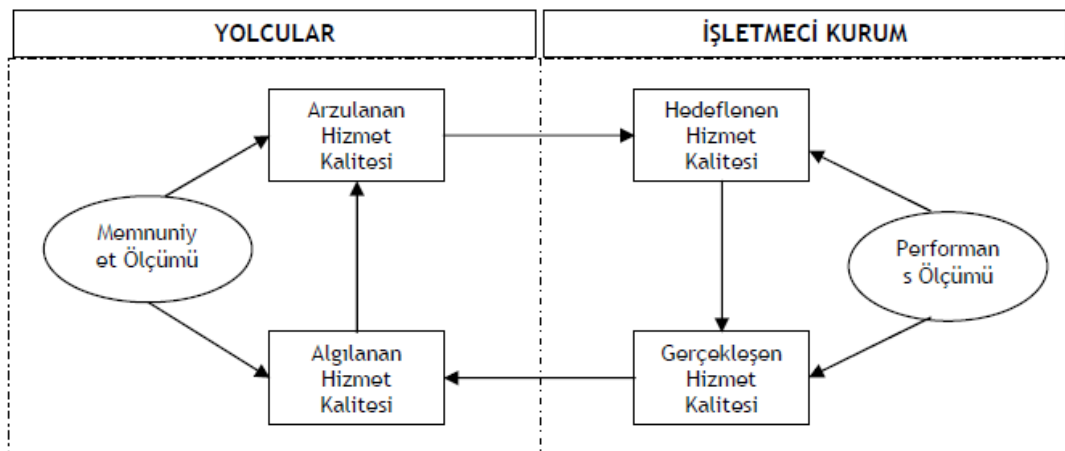
Çizelge 4.6 : Kalite faktörleri ve ölçütleri arasındaki ilişki.

Ölçüt	Ölçüm Birimi	Kapsama	Sıklık	Yolcu Yükleri	Güvenilirlik	Yolculuk Süresi	Güvenlik	Konfor/ Olanaklar	Temizlik/ Görünüş	Maliyet
Km ² başına rota km'si	Sistem	**				*				
Hizmet sunulan alan yüzdesi	Sistem	**				*				
Park et-devam et'i kullanan kişi yüzdesi	Sistem	**				*				
Saat başı sefer sayısı	Durak		**			*				
Taşıt takip aralığı	Durak		**			*				
Gün içinde hizmet sunulan saat sayısı	Koridor		**							
Koltuk başına kişi sayısı	Durak		*	**	*	*				
Ayakta duran yolcu alanı	Durak		*	**	*	*				
Zamanındalık performansı	Koridor		*	*	**	*				
Araçlar arası süre düzgünlüğü	Koridor		*	*	**	*				
Bir kazada yaralanma olasılığı	Koridor						**			
Bir suç olayında kurban olma olasılığı	Durak						**			
Yolculuk süresi	Sistem					**				
Toplu ulaşım-oto yolculuk süresi farkı	Sistem					**				
Araç içi havalandırmanın uygunluğu	Koridor							**		
Araçtaki koltuk konforu	Koridor							**		
Sürüş rahatlığı	Koridor							**		
Durak olanakları (oturak, korunak, panolar, ısıtık, vb.)	Durak							**	*	
Araçların temizliği ve görünüşü	Koridor							*	**	
Durak temizliği ve görünüşü	Durak							*	**	
Yolculuk başına ücret	Koridor									**
Aylık kart ücreti	Sistem									**
Araç gişe ücretleri	Koridor									**
Araç park etme ücretleri	Koridor									**

4.3 Hizmet Kalitesi Ölçümü ve Değerlendirmesinde Yaklaşımlar

Hizmet kalitesi standartları, ölçüm yöntemleri ve değerlendirmesi ile ilgili farklı yaklaşımlar mevcuttur. Literatürde, üzerinde anlaşılmış tek bir yöntem veya standart bulunmamaktadır. Genellikle ulusal düzeyde bölgelere, ele alınan sistem veya problemin özelliklerine göre yöntemler ve değerlendirmeler kullanılmaktadır. Bu bölümde, literatürde farklı bölgelerden bazı örnek yöntem ve değerlendirmeler sunulmuştur.

Toplu ulaşım performansının belirli yönleri sayısallaştırılabilir. Ancak sayısal değerlerin iyi veya kötü olduğuna dair yorum yapabilmek için, performans sonuçları, belirli standartlar veya geçmiş performans ile karşılaştırılır. Bu amaçla, toplu ulaşım *hizmet kalitesi standartları* geliştirilmesi için bir Avrupa Birliği projesi olan QUATTRO (Mathieu ve diğ., 1996) kapsamında EN 13816 standartları oluşturulmuştur. Bu standartlar, 2002 yılında Avrupa Standartlar Komitesi tarafından Toplu Ulaşım Hizmet Kalitesi Standartları olarak kabul edilmiştir. Bu çerçevede yapılan hizmet kalitesi, performans ve memnuniyet tanımları şunlardır: Toplu ulaşım hizmetinde, mevcut hizmet kalitesi ve hedeflenen hizmet kalitesi arasındaki fark şirketin performansını gösterir. Mevcut hizmetlerin, yolcular tarafından algılanan bir hizmet kalitesi düzeyi bulunmaktadır. Bu hizmet kalitesi düzeyi ve yolcuların arzuladığı hizmet kalitesi düzeyi arasındaki fark ise yolcuların memnuniyet düzeyini belirler. Şekil 4.3'te gösterilen hizmet kalite döngüsü, ideal noktada bu dört hizmet kalitesinin birbirine eşit olacağını varsayar. EN 13816, hizmet kalitesi seviyeleri arasındaki farkı en aza indirmeyi amaçlayan bir araçtır.



Şekil 4.3 : EN 13816 Toplu ulaşım hizmet kalitesi standartları döngüsü.

Hizmet kalitesi düzeyi ölçüm metotları ve veri toplama yöntemleri standartlar ile belirlenmiştir. EN 13816, Çizelge 4.7’de listelenen ana 8 hizmet kalitesi kriteri bulunmaktadır. Bunlar erişilebilirlik, bilgilendirme, zaman, müşteri ilişkileri, konfor, güvenlik, mevcudiyet ve çevresel etkililerdir.

Çizelge 4.7 : EN 13816 kalite boyutları ve belirleyicileri.

Boyut	Tanım	Belirleyiciler
Mevcudiyet	Hizmetin coğrafi, zaman olarak ve türlere bağlı kapsama değeri	Şebeke Zaman Çizelgesi Duraklara olan mesafe; aktarma gereksinimi, kapsanan alan Çalışma saatleri, sıklık
Erişim	Diğer ulaşım türleri ile arayüz ve ulaşım hizmetlerine fiziksel erişim	Dış arayüz İç arayüz Bilet alma Yayalar, bisiklet, taksi ve özel araba kullanıcıları Duraklara giriş/çıkışlar, durakların içindeki hareket, araca erişim, araç içinde hareket Evden bilet alma, sistem içinde bilet alma, diğer lokasyonlarda bilet alma
Bilgi	Bir seyahat veya seyahatler dizisinin planlanması ve yapılması ile ilgili bilginin mevcudiyeti	Genel bilgi Olağan şartlarda seyahat bilgisi Olağan dışı şartlarda bilgi Mevcudiyet, erişim, zaman, müşteri ilişkileri, konfor, güvenlik Yönlendirmeler, durak bilgisi, araç yönlendirmeleri, rota, zaman, ücret, bilet tipi Mevcut şebeke durumu, alternatif önerisi, para iadesi, öneri vb.
Zaman	Bir seyahat veya seyahat zinciri planlama ve yapılması için harcanan zaman	Yolculuk süresi Zamanındalık Güvenilirlik
Müşteri İlişkileri	Genel olarak insanların bulunması ile bir yolculuğun daha kolay olması için gerekli bileşenler	Müşteri Ara yüzü Personel Fiziksel yardım Biletlendirme seçenekleri Sorular, şikayet, tazminat, öneriler Mevcudiyet, tavır, beceri, görünüş Engelliler için, deneyimli olmayan yolcular için, bavulların taşınması Değiştirilebilirlik, esneklik, indirimler, ödeme seçenekleri, yolculuk boyunca geçerli bilet
Konfor	Çevre şartları veya araç ve çeşitli donanımların kullanımı veya tasarımı ile sağlanan fiziksel konfor	Çevre şartları Tesisler Ergonomi Sürüş konforu Hava temizliği ve sıcaklık, hava koşullarından korunma, temizlik, sıkışıklık, gürültü Oturma alanı, tuvaletler, iletişim, içecekler, ticari hizmetler, eğlence Hareket kolaylığı, donatım ve döşemelerin tasarımı Harekete başlama/durma, seyahat
Güvenlik	Suç veya kazalara karşı gerçek güvenlik derecesi ve bunların sonucunda ortaya çıkan güvenlik hissi ve diğer psikolojik faktörler	Suç karşı güvenlik Kazaya karşı güvenlik Güvenlik algısı Personel/polisin varlığı, ışıklandırma, görünür izleme, tesis tasarımı, yardım noktaları Destek noktaları, tehlikelerden sakınma, personelin muhafazası Güvenlik önemlerinin göze çarpması, yol ağının bilinmesi
Çevresel Etki	Toplu ulaşım nedeniyle çevreye etkiler	Kirlilik Doğal kaynaklar Altyapı Emisyon, gürültü, görsel kirlilik, titreşim, pislik, koku, çöp Enerji ve alan Titreşimlerin etkisi, yol bozuklukları, düzensizlik

Geliştirilen ölçüm ve yönetim sisteminde, kalite kriterleri için kullanılan ölçütler ve hedefler Çizelge 4.8’de gösterilmiştir. Avrupa bölgesinde birçok toplu ulaşım hizmet sağlayıcısı EN 13816’yı bir kalite ve yönetim sistemi olarak uygulamaktadır.

Çizelge 4.8 : EN 13816 kalite boyutları, ölçütleri ve hedefleri.

Amaç	Ölçüt	Hedef
Ulaşım Süresi	Zamanındalık (Dakiklik)	% 98-99
	Güvenilirlik	% 65-95
	Ulaşım Süresi	95%
Erişilebilirlik	Asansörler	% 90-96 çalışır
	Yürüme mesafesi	En fazla 400-700 mt
Temizlik	Temizlik sıklığı	-
	Grafitilerin yok edilmesi	-
Konfor		Pik olmayan zamanlarda her zaman, Pik zamanlarda en fazla 15 dakika ayakta
Bilgi	Şikayetlere cevap verme	7-15 gün
	Telefonlara cevap verme	0,5-3 dakika
Bilet satma	Bekleme	En fazla 3 dakika
	Otomatik bilet makinaları	% 95 çalışır

A.B.D.’de ulaşım performansı, sıklıkla “*hizmet düzeyi*” olarak tanımlanmış standartlar ile değerlendirilmektedir (TRB, 1965). Performans ölçütleri, 6 değer aralığı için sınıflandırılarak “A” en yüksek hizmet düzeyi, “F” en düşük hizmet düzeyi olmak üzere derecelendirilir. Her derece arasındaki eşik değeri, hizmet kalitesinin yolcular açısından hissedilir derecede farklılaşması varsayımına dayanarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, aynı harf hizmet düzeyinde ideal olarak yolcuların önemli derece bir farklılık hissetmemeleri gereklidir. Bu hizmet kalitesi değerlerini oluştururken iki önemli unsurdan biri yolcular açısından hizmet değerini yansıtabilmek, diğeri ise en düşük değer F ile yolcu açısından istenmeyen durumu temsil etmektir. En yüksek değer olan A hedeflenen değerdir fakat bu hedefi gerçekleştirmenin ekonomik olmaması durumunda, hedef değer ve ekonomiklik arasında bir denge aranmaktadır. Çizelge 4.9’da, zamanındalık kalite özelliği için kullanılan 6 kademeli hizmet düzeyleri gösterilmiştir.

Tanımlanan hizmet düzeyleri kullanılarak koridor düzeyinde farklı ulaşım türlerinin hizmet düzeylerinin hesaplanması, hizmet düzeylerinin planlama ve tasarımla ilişkisi, hizmet düzeyleri ile müşteri memnuniyet sonuçlarının uyumu gibi birçok alanda araştırmalar yapılmıştır (Dowling ve diğ., 2002; Crider ve diğ., 2001; Guttenplan ve diğ., 2001, 2003; Winters ve diğ., 2001; Ryus ve diğ., 2003; Winters

ve Tucker, 2004; Perone ve diğ., 2005; Xin ve diğ., 2005; Hiatt, 2006; Dowling ve diğ., 2008).

Çizelge 4.9 : A.B.D.’de kullanılan zamanındalık performans düzeyleri (0-5 dk. geç kalma toleransı ile haftada 5 kez gidiş-dönüş yapan yolcu için)

Hizmet Düzeyi	Zamanındalık oranı	Açıklama
A	95,0-100,0%	Her iki haftada 1 geç araç (aktarma yok)
B	90,0-94,9%	Her bir haftada 1 geç araç (aktarma yok)
C	85,0-89,9%	Her iki haftada 3 geç araç (aktarma yok)
D	80,0-84,9%	Her bir haftada 2 geç (aktarma yok)
E	75,0-79,9%	Her gün 1 geç araç (aktarma ile)
F	<75,0%	En az günlük 1 geç araç (aktarma ile)

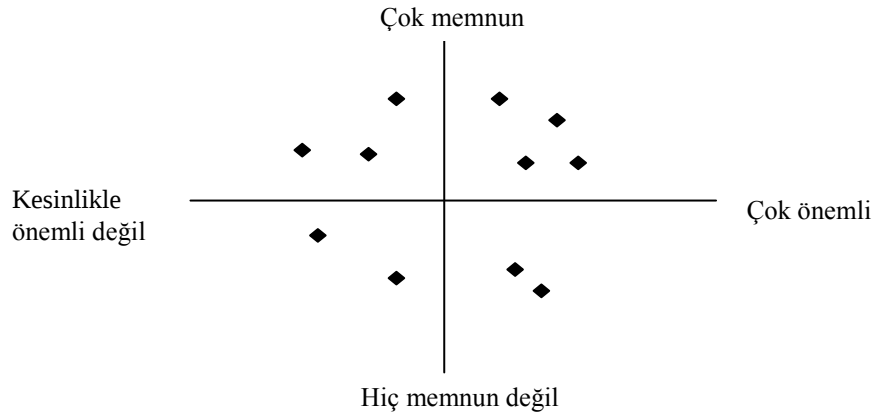
Literatürde, sıklıkla karşılaşılan başka bir yaklaşım *hizmet kalite indeksi* geliştirmektir. Bu yöntemde amaç, çok sayıdaki performans ölçütünün sayısını azaltarak toplam bir gösterge oluşturmaktır. Birkaç farklı performans ölçütünü içeren bir indeksin hesaplanmasında, her ölçütün göreceli önemlerini yansıtacak ağırlıklar kullanılmaktadır. Ağırlıklar, kullanım sayıları, anket sonuçları, vb. veriler kullanılarak farklı şekillerde belirlenebilir. Bir indeks için kullanılan genel bir formülasyon, denklem (4.2)’de verilmiştir:

$$i = c_n(w_1p_1 + w_2p_2 + \dots + w_xp_x) \quad (4.2)$$

öyle ki, i indeks değeri, c_n en yüksek indeks değerini belirli bir sayıya normalize etmek için bir sabit değer, w_x x performans ölçütünün ağırlığı, p_x x performans ölçütünün değeridir. Debrezion ve diğ. (2009) çalışmalarında, geliştirdikleri ulaşım türü seçim modellerinde, birçok hizmet kalitesi ölçütü ile formüle edilmiş bir kalite indeksi kullanmışlardır. Bu kalite indeksi formülasyonunda, yolculuk başlangıç ve varış noktalarındaki bölge özelliklerini (yoğunluk, iş merkezi, vb.) yansıtan katsayılar, genel ulaşım süresi (araç-içi, bekleme, yürüme ve aktarma sürelerini içeren) ve ele aldıkları ulaşım türünün yolculuk süresinin diğer türlere göre etkinlik değeri açıklayıcı değişkenlerdir. Model parametrelerini tahmin etmek için bağımlı değişken değeri, farklı başlangıç ve varış noktaları arasındaki mevcut yolculuk miktarları olarak tanımlamış ve doğrusal regresyon modeli ile “tren hizmet kalite indeksi” geliştirmişlerdir. İndeksler, hizmet kalitesi için genel bir ölçüt geliştirmek için oldukça faydalıdır. Ancak, tek tek indeks bileşenlerinin değişimler üzerindeki etkisi bu yöntemde saklı kalabilir. Örneğin belirli bir hizmet kalitesi bileşeninde

önemli derecede bir kötüleşme, diğer kalite bileşenlerindeki küçük iyileşmeler ile fark edilmeyebilir.

Kalite çalışmalarında önerilen diğer bir yaklaşım ise öncelikli iyileştirme alanlarını belirlemek için en yüksek katkı sağlayacak kalite özelliklerinin belirlenmesini amaçlar. Bu amaçla memnuniyet anket çalışmalarından elde edilen veri ile kuadran analizi veya etki/fark puanı analizi yapılmaktadır. Kuadran (İng.: quadrant) analizinde, hizmet kalite özellikleri Şekil 4.4'te gösterildiği gibi bir grafikte kalite özelliklerinin, müşteri değerlendirmesine göre önemi x-ekseninde, müşteri memnuniyet derecesi y-eksenine yerleştirilir. Yolcu memnuniyetine en fazla etkisi olan kalite özellikleri, grafikteki dört bölümden alt-sağ bölümde olanlardır. Tam ters, üst-sol bölümde olanlar ise en düşük etkisi olan kalite özellikleridir (Ryus ve diğ., 2003).



Şekil 4.4 : Kuadran analizi.

Bu amaçla geliştirilen etki puanı analizi yaklaşımda, müşteri memnuniyeti anket sonuçlarına göre, yolcular için en önemli hizmet kalitesi özelliklerini belirlemek için “etki puanı” formüle edilir (Morpac Int. ve Cambridge Sys., 1999). Bu yöntemde öncelikle, her hizmet kalite özelliği için bir fark puanı geliştirilir. Fark puanı, son 30 gün içinde bu kalite özelliği ile ilgili problem yaşamamış yolcuların genel memnuniyet düzeylerinin ortalaması S^{NPi} ile bir problem yaşamış olanların genel memnuniyet ortalamaları S^{HPi} arasındaki farktır. Fark puanı ne kadar büyük ise, kalite özelliği ile ilgili bir problem yolcular için o kadar önemlidir. Yöntemin ikinci adımında, problemin ortaya çıkma oranı r_i hesaplanır. Ortaya çıkma oranı, anketi cevap verenler arasında son 30 gün içinde ilgili kalite özelliği ile ilgili problem yaşamış olanların yüzdesini gösterir. Ortaya çıkma oranı ne kadar yüksek ise, o hizmet kalite özelliği ile ilgili problem yaşayan yolcu sayısı o kadar fazladır. Son

olarak, etki puanı $I_i = (S^{NPi} - S^{HPi}) * r_i$ ile hesaplanır ve iyileştirme için kalite özellikleri bu puana göre önceliklendirilir.

Brons ve diğ. (2009) kalite özelliklerinin, tren kullanım potansiyeline etkisinin belirlenmesi için yaptıkları çalışmada etki puanı yaklaşım kullanmışlardır. Memnuniyet anket sonuçlarına göre belirlenen hizmet kalite özellikleri, erişilebilirlik, rahatlık, yolculuk süresi güvenilirliği, fiyat-kalite oranı, istasyon organizasyonu ve bilgi, kişisel güvenlik, bilet hizmeti ve personel'dir. Bu çalışmada yolcu memnuniyeti anketinden elde edilen genel memnuniyet düzeyi S ve her bir kalite özelliğine ait memnuniyet düzeyi S_i arasında kurulan regresyon modelinin katsayıları hesaplanmıştır. Bu katsayıların kalite özelliğinin önemini w_i gösterdiği kabul edilmiştir. Her kalite özelliğinin etki değeri $I_i = (S_i - S) * w_i$ ile formüle edilmiştir. Bu çalışmada, beş yıllık memnuniyet anketleriyle elde edilen sonuçlara göre, memnuniyet düzeyi düştüğünde, kalite özelliğinin önem derecesinin yükseldiği ancak etki değerinin yıllar boyunca yaklaşık olarak aynı düzeyde olduğu bulunmuştur.

Ulaşım hizmetlerinin kalitesinin algısal ölçümü için memnuniyet değerlendirmeleri ve sorunların tespiti literatürde ve uygulamada sıklıkla ele alınmıştır. Hizmet kalitesinin bazı özelliklerinin objektif değerlendirilmesi için sayısallaştırılması hem gerekli verinin toplanması hem de genel ölçütlerin geliştirilmesi açısından basit değildir. Güvenilirlik, erişilebilirlik gibi bazı ölçütlerin performans ve kalite için önemli ve takip edilmesi gereken özellikleri olduğu belirlenmiştir (Murray, 2001; Bates ve diğ., 2001; Cambridge Sys. ve diğ., 2003; Krygsman ve diğ., 2004; van Lint ve diğ. 2008; Debrezion ve diğ., 2009; van Loon ve diğ., 2011). Bu yönde artan çalışmalarda daha çok özel durumlar için geçerli, üzerinde anlaşma sağlanamamış yaklaşımlar ve ölçütler geliştirilmiştir.

Literatürde yeni yaklaşımların bu yöndeki ihtiyaçları karşılayabileceği düşüncesiyle süre güvenilirliğinin süreç yeterlilik analizi yöntemiyle incelenmesi önerilmiştir. Daha sonra süreç yeterlilik analizi ile geliştirilen yolcu davranışları üzerindeki etkisi yolcu seçim modelleri ile incelenecektir. Süreç yeterlilik analizi ve yolcu seçim modellerinin temel esasları Bölüm 5 ve 6'da incelenecektir. Bölüm 7'de yayın incelemesi, Bölüm 8'de önerilen metodoloji ve Bölüm 9'da bu metodolojinin bir gerçek hayat problemine uygulaması sunulacaktır.

5. SÜREÇ YETERLİLİK ANALİZİ

Bir ürün veya hizmetin tercih edilmesi ve rakipleri ile rekabet edebilmesi için belirli bir kalite seviyesinin sunulması ve sürekliliği vazgeçilmez bir unsurdur. Bunun başarılabilmesi için ürün veya hizmet süreçlerinin, beklentiler düzeyine uygun çıktılar üretmesinin sağlanması önemlidir. Bu amaçla, sıklıkla kullanılan istatistiksel teknikler ile süreç değişkenliği ölçülür, bu değişkenliğin ürün gerekleri ile ilişkisi incelenir ve değişkenliğin azaltılması için süreçleri iyileştirici faaliyetlerde bulunulur. Tüm bu faaliyetleri içeren çalışmalara, genel anlamda, *süreç yeterlilik analizi* (SYA) adı verilir (Montgomery, 2001).

Süreç yapısının anlaşılması ve sayısallaştırılması şüphesiz sürecin iyileştirilmesi için gereklidir. Süreç yeterlilik analizi, son 20 yıl içinde kalitenin ve verimliliğin sürekli iyileştirilmesi için önemli ve iyi tanımlanmış bir istatistiksel süreç kontrol aracı haline gelmiştir (Wu ve diğ., 2009). Süreç yeterliliğinin bir ölçütü olarak 6σ , ilk Feigenbaum (1951) ve Juran (1951) tarafından önerilmiştir. Bu ölçüt, süreç yeterliliğini, sürecin değişkenliğinin bir ölçüsü olarak temsil etmektedir, ancak bu ölçüt müşterinin taleplerinden ayrık bir ölçü olarak görülmektedir. Juran (1974), bu durumu, 6σ 'yı tolerans genişliği ile karşılaştırarak süreç iyileştirme faaliyetleri için bir yöntem olarak kullanarak geliştirmiştir. Bunun ardından, Juran ve Gryna (1980), süreç değişkenliğini doğrudan müşteri spesifikasyonları ile karşılaştırarak ilk yeterlilik oranını önermiştir.

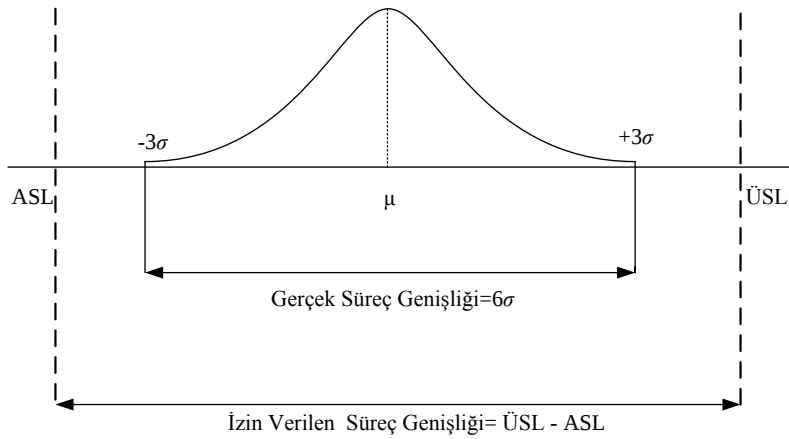
Gerçek süreç performansı ve olması istenen süreç performansı arasındaki ilişki, literatürde geliştirilmiş uygun bir *süreç yeterlilik indeksi* ile sayısallaştırılabilmektedir. Yeterlilik indekslerinin –sıklıkla kullanılan C_p , C_a , C_{pk} , C_{pm} ve C_{pmk} – sürecin önceden belirlenmiş tolerans düzeyini karşılamakta yeterli olup olmadığının sayısal ölçütlerini sağlıyor olması, hem akademik araştırma alanlarında hem de uygulamada süreç ölçümleri ve satın alma kararlarında kullanımlarının yaygınlaşmasının en önemli nedenidir (Wu ve diğ., 2009). Ayrıca, birimi olmayan bu indeksler, farklı sektörler, farklı bölgeler, gibi geniş çapta

farklılıklar gösteren alanlardaki süreçler arasında karşılaştırma yapılmasına da olanak sağlamaktadır (Anis, 2008).

Süreç yeterlilik indekslerinin formülasyonundaki ana fikir, sürecin “mevcut durumda ne yaptığı” ile “yapması gerekenin” karşılaştırılmasıdır (Kotz ve Lovelace, 1998). Formülasyonda kullanılan spesifikasyon aralığı (“yapması gereken”), ürünün kullanılabilirliğinin sınırlarını yansıtmalıdır ki, sürecin kontrol edilmesi yüksek kaliteli ürünlerin ortaya çıkmasını sağlayabilsin. Sürecin “mevcut durumda yaptığı”, süreç değişkenliği ile ifade edilir. Değişkenlik ne kadar düşük olursa, tolerans sınırları dışına çıkan çıktı sayısı da o kadar düşük olacaktır. Literatürde ilk geliştirilen indeks C_p , denklem (5.1)’de gösterildiği gibi formüle edilir:

$$C_p = \frac{\text{İzin verilen süreç genişliği}}{\text{Gerçek süreç genişliği}} = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6\sigma} \quad (5.1)$$

Bu formülasyonda ÜSL, üst spesifikasyon limitini ASL, alt spesifikasyon limitini, σ dağılımın standart sapmasını temsil etmektedir. Şekil 5.1’de süreç çıktı dağılımı üzerinde C_p formülasyonunda kullanılan parametreler gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Bir dağılım üzerinde süreç yeterlilik analizinin gösterilmesi.

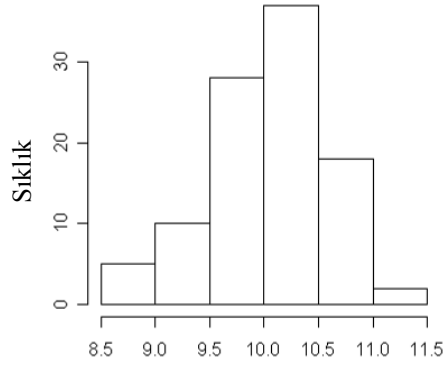
Bu bölümün devamında, sırasıyla süreç yeterlilik analizi için farklı yaklaşımlar, kontrol diyagramları ve sık kullanılan süreç yeterlilik indeksleri açıklanacaktır. Ardından, süreç yeterlilik analizinin kullanımında önemli olan bazı varsayımlar ele alınacaktır.

5.1 Süreç Yeterlilik Analizi İçin Farklı Yaklaşımlar

5.1.1 Histogram yaklaşımı ile SYA

Histogramlar, süreç yeterliliği tahmininde kullanılan yöntemlerden biridir. Histogramların oluşturulmasının en önemli avantajı süreç yeterliliğinin tahmininden önce histogramlardan elde edilen görsel kanının, sürecin performansı ile ilgili hızlı bilgi sağlamasıdır. Bunun yanı sıra, histogramlar görsel olarak dağılımın normale yakın olup olmadığını da hızlı bir şekilde göstermektedir. Histogramlar oluşturulurken değişkenler, belirlenen sınıf aralıklarına göre gruplanırlar. Örnek bir histogram Şekil 5.2’de gösterilmiştir.

Süreç yeterliliği hakkında güvenilir sonuçlar elde etmek için histogramların en az 100 gözlem ile oluşturulması gereklidir. Süreç yeterliliği tahmini için histogramların oluşturulması ve ortalama, standart sapma değerleri hesaplanmalıdır.



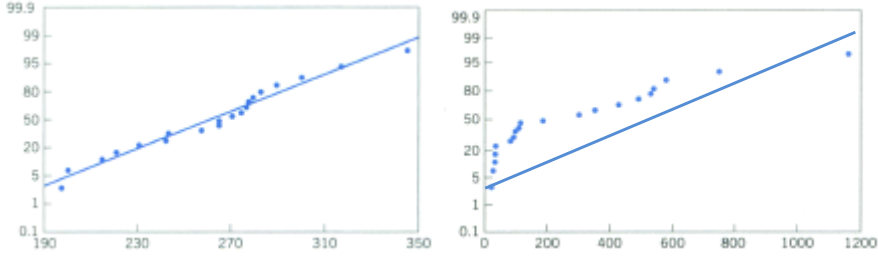
Şekil 5.2 : Bir veri setinin histogramı.

5.1.2 Olasılık grafiği yaklaşımı ile SYA

Olasılık grafiği yaklaşımı, veri dağılımı şeklinin, merkezinin ve dağılımının bulunması için histogram kullanımına alternatif bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, histogramdaki gibi değişkenlerin sınıf aralıklarına göre gruplandırılmasına gerek yoktur ve histograma göre çok daha az sayıda gözlem sayısı ile süreç yeterlilik analizi sonuçları elde edilebilmektedir.

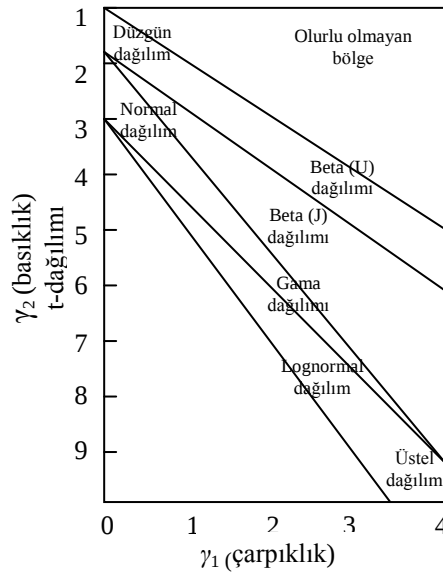
Olasılık grafiği, dikey ekseninde örneklemdeki birikimli sıklığın gösterildiği, sıralı verilerin bir grafiği olarak çizilir. Bu grafik üzerinde, tahmin edilen dağılım türü düz bir çizgi ile gösterilir. Verilerin bu çizgiye göre grafik üzerindeki yerleşimleri veri dağılımı hakkında, süreç yeterlilik analizi için oldukça önemli olan, bilginin elde edilmesini sağlar.

Olasılık grafiği yöntemi kullanılırken dikkat edilmesi gereken unsur, verinin geldiği varsayılan dağılımın doğru belirlenmesidir. Aksi takdirde, süreç yeterliliği ile ilgili yapılacak çıkarımlarda ciddi hatalar ortaya çıkabilir. Şekil 5.3'te normal dağılımın olasılık grafiği ve dağılıma uyan ve uymayan örnek iki veri setinin grafik üzerindeki yerleşimi gösterilmiştir (Montgomery, 2001).



Şekil 5.3 : Olasılık grafiği üzerinde normal dağılıma uyan (solda) ve uymayan (sağda) iki veri seti.

Ancak, olasılık grafiği yönteminde veri setinin belirli bir dağılıma uygunluğunun görsel olarak yorumlanması objektif değildir. Bu nedenle olasılık grafiği yönetimine ek olarak istatistiksel uygunluk derecesi testlerinin de yapılması istenir. Bazı durumlarda verinin belirli bir dağılıma uymasının test edilmesi yerine, elimizdeki veri setine uygun dağılımı belirlemek gerekebilmektedir. Bazı durumlarda geçmiş bilgi ve deneyimler veya fiziksel olgular ile dağılımlar belirlenir. Ancak elimizde böyle bir bilgi yok ise, dağılım türünü belirlemek için basıklık ve çarpıklık değerlerine göre oluşturulan Şekil 5.4'teki grafik yardımcı olmaktadır.



Şekil 5.4 : Çarpıklık, basıklık düzleminde farklı dağılımlara ait bölgeler (Hahn ve Shapiro, 1967).

Grafikte, x -ekseninde çarpıklık (γ_1), y -ekseninde basıklık (γ_2) değerleri gösterilmektedir. Veri setinden hesaplanan çarpıklık ve basıklık tahminleriyle eşleşen bölge için tanımlanan dağılım türü, veri setine uygun dağılım seti olarak kabul edilebilir. Eğer tahminler herhangi bir bölgenin içine düşmüyorsa, Johnson veya Pearson ailesindeki daha genel bir dağılımın kullanılması uygun olabilir.

5.1.3 Kontrol diyagramları yaklaşımı ile SYA

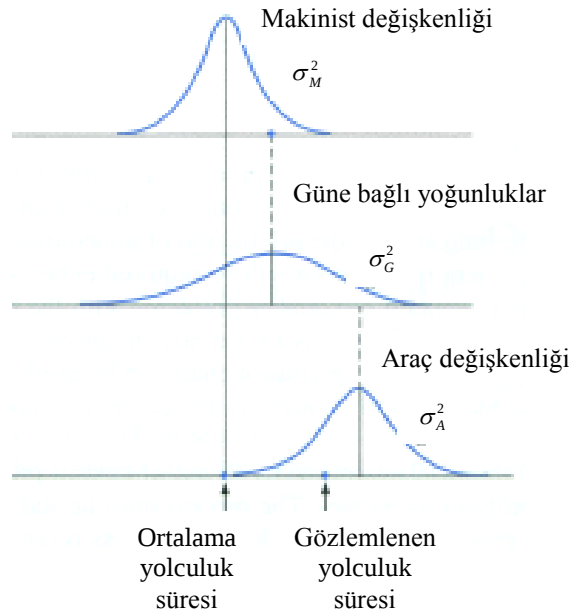
Histogram ve olasılık grafiği sürecin performansını özetler ancak bu iki yaklaşım süreç çıktısındaki sistematik örüntüleri gösteren istatistiksel birer kontrol aracı değildirler. Sistematik sorunlar özellikle önemlidir çünkü bu sorunlar ortadan kaldırıldığında çoğunlukla istenen bir durum olan kalite özelliğinin değişkenliğinde azalma gözlemlenir. Bu nedenle kontrol diyagramları, süreç yeterliliğinin analizinde en önemli yöntemlerden biridir. Ürünün ölçülebilen özelliklerine dair kontrol diyagramlarına, değişkenler kontrol diyagramları, ürünün ölçülemeyen vasıflarına ilişkin kontrol diyagramlarına özellikler (İng.: attributes) kontrol diyagramı adı verilir. Kontrol diyagramları oluşturulurken önemli birkaç husus şunlardır:

- *Kontrol limitlerinin belirlenmesi*: limitlerin merkezden uzaklaştırılması ile tip I hata riskini (hata yokken kontrol limitlerinin dışına çıkılması) azaltırken, merkeze yaklaştırılması tip II hata riskini (süreç kontrol dışıyken sürecin kontrol limitleri içinde kalması) azaltır. Dolayısıyla, iki hatayı dengede tutacak bir değerde tutulmalıdır. Kontrol limitlerinin standart sapmanın bir katı olarak belirlenmesi kabul gören standart bir uygulamadır.
- *Örnek hacmi ve örnek alma sıklığının belirlenmesi*: süreç içindeki değişkenliğin miktarı, örnek hacminin belirlenmesinde önemli bir etkidir. Sapmaların tespitinde daha hassas olabilmek için örnek hacminin ve örnek alma sıklığının artırılması gerekir.
- *Alt grupların oluşturulması*: rasyonel alt gruplar, hata nedenleri varsa alt gruplar arası farklılıkların en büyükleneceği şekilde, ancak alt gruplar içi farklılıkların en küçükleneceği şekilde belirlenmelidir.
- *Kontrol diyagram türünün belirlenmesi*: “ortalama – dağılım aralıkları” kontrol diyagramları sıklıkla kullanılan kontrol diyagramıdır. Ancak örnek hacmi 10 veya 12 gözlemden büyük ise veya örnek hacmi değişken ise ortalama-standart sapma kontrol diyagramları tercih edilir.

Süreç yeterlilik analizinde, sürecin kontrol dışı olması, süreç yeterliliğinin tahminin doğruluğu için oldukça kritiktir. Güvenilir bir süreç yeterlilik tahmini yapabilmek için sürecin kontrol altında olması gereklidir. Süreç yeterlilik analizinin ilk adımlarında süreç kontrol altında değil ise, nedenleri saptanarak süreci kontrol içine getirecek düzenlemeler yapılmalıdır.

5.1.4 Deneysel tasarım yaklaşımı ile SYA

Deneylerin tasarlanması, süreçte kontrol edilebilen girdi değişkenlerinin farklılaştırılması ve bu kontrol değişkenlerinin süreç çıktısı üzerindeki etkilerinin incelenmesi için sistematik bir yaklaşımdır. Deneysel tasarımı, süreç çıktısı üzerinde etkili süreç değişkenleri kümesinin tespit edilmesi ve süreç performansının optimize edilmesi için faydalıdır. Dolayısıyla, deneysel tasarımın temel amaçlarından biri süreçteki değişkenliklerin kaynaklarının bulunması ve ortadan kaldırılmasıdır. Örneğin, toplu ulaşım hattındaki taşıma hizmetinin farklı araçlarla, farklı makinistlerin kullanımında ve haftanın farklı günlerindeki talep koşulları altında verildiğini düşünürsek, taşıma hizmetinin çıktısı olan yolculuk süresindeki değişkenlik, araçlar, makinistler ve farklı günlerdeki yoğunluktan kaynaklanabilir. Yolculuk süresi kalite özelliğinin ölçülmesi için tasarlanan bir deney ile üç etkenin farklı durumlarını içeren örnekler toplanabilir ve farklı değişkenlik kaynaklarının varyans tahminleri yapılabilir. Böyle bir analiz için örnek olabilecek farklı dağılım varyansları Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5 : Taşıma hizmeti için değişkenliklerin kaynakları.

5.2 Süreç Yeterlilik Analizinde Kontrol Diyagramları

Süreç yeterlilik analizinin önemli yaklaşımlarından biri olan kontrol diyagramları, yeterlilik analiz kapsamında hesaplanacak süreç yeterlilik indekslerinin güvenilir olarak tahmin edilebilmesi için önemlidir. Süreç yeterlilik indekslerinin formülasyonunda kullanılan parametrelerin doğru olarak bulunabilmesi için sürecin kararlı ve kontrol altında olması gereklidir. Bu nedenle, süreç yeterlilik indekslerinin tahmininden önce sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunun belirlenmesi gerekir. Bu amaçla kullanılan farklı kontrol diyagramları mevcuttur.

Kalite özelliği nümerik olarak ölçülebiliyorsa değişkenler kontrol diyagramı, ölçülemiyorsa özellikler kontrol diyagramları kullanılır. Daha küçük kaymaların tespiti için birikimli toplam veya üssel ağırlıklı hareketli ortalama kalite diyagramları kullanılabilir. Bu tez çalışmasında ölçülen değişken nümerik bir değişken olduğu için değişkenler için kontrol diyagramlarının esasları ve veri setinde otokorelasyon olması durumunda uygulanan yöntemler Bölüm 5.2.1 ve 5.2.2’de incelenecektir. Kontrol diyagramlarıyla ilgili Montogomery (2001) referansına başvurulabilir.

5.2.1 Değişkenler için kontrol diyagramları

Kalite özelliği nümerik bir ölçekte izlenebiliyorsa, bu kalite özelliği değişken olarak adlandırılır. Bu tip kalite özellikleri için kullanılan diyagramlara, Shewhart kontrol diyagramları adı da verilir. Sürecin çıktılarının ortalamasını ve değişkenliğini takip etmek için ortalama – dağılma aralıkları ($\bar{x}$ -R) veya ortalama-standart sapma ($\bar{x}$ -S) kontrol diyagramları örnek hacmine bağlı olarak kullanılmaktadır. Diyagramı oluşturmak için örnek hacimleri, $n < 10$ -12 ise $\bar{x}$ -R kontrol diyagramı, $n > 10$ -12 ise $\bar{x}$ -S kontrol diyagramı daha uygundur.

Shewhart kontrol diyagramlarının genel modeline göre, w izlenen belirli bir kalite özelliğinin örnek istatistiği ise, w ’nun ortalaması μ_w ve standart sapması σ_w ’dur. Merkez çizgisi, üst-alt kontrol limitleri (ÜKL-AKL), denklem (6.2) ile belirlenir (Shewhart, 1931).

$$\text{ÜKL} = \mu_w + L \sigma_w$$

$$\text{Merkez çizgisi} = \mu_w \quad (5.2)$$

$$\text{AKL} = \mu_w - L \sigma_w$$

$\bar{x}$ -R ve $\bar{x}$ -S kontrol diyagramlarıyla ilgili tanımlanan merkez çizgisi, üst ve alt kontrol sınırları formülasyonları Çizelge 5.1’de verilmiştir (Montgomery, 2001).

Bu yöntemde önemli bir varsayım, izlenen kalite özelliğinin dağılımının normal olduğudur. Ancak, dağılımın normal olup olmadığının bilinmediği veya normallikten aşırı bir sapma olmadığı durumlarda bu tip kontrol diyagramlarının kullanılması uygun kabul edilmektedir. Literatürde, dağılımın normale uymamasının kontrol diyagramları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Normal dağılıma göre kontrol sınırlarının belirlenmesinin, dağılımın aşırı derecede normallikten sapmaması koşuluyla, gürbüz olduğu bulunmuştur. (Burr, 1967; Chan, Hapuarachchi ve Macpherson, 1988; Yourstone Fve Zimmer, 1992). Shewhart kontrol diyagramları özellikle sürecin durağan ve birbiri ile ilişkisiz olduğu durumlar için en uygun kontrol diyagramları olarak kabul edilmektedir.

Çizelge 5.1 : $\bar{x}$ -R ve $\bar{x}$ -S kontrol diyagramları için formülasyonlar.

Kontrol Diyagram Tipi	Üst Kontrol Limiti	Merkez Çizgisi	Alt Kontrol Limiti	Parametre Formülasyonları
$\bar{x}$ -R ortalamalar kontrol diy.	$\bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$	$\bar{\bar{x}} = \sum_{i=1}^m \bar{x}_i$, $R = x_{maks} - x_{min}$ $\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i$, $A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$, $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$
$\bar{x}$ -R dağılıma aralıkları kontrol diy.	$D_4 \bar{R}$	$\bar{R}$	$D_3 \bar{R}$	$D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$, $D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$ $\hat{\sigma}_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$
$\bar{x}$ -S ortalamalar kontrol diy.	$\bar{\bar{x}} + A_3 \bar{S}$	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}} - A_3 \bar{S}$	$A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}}$, $c_4 \cong \frac{4(n-1)}{4n-3}$
$\bar{x}$ -S örnek standart sapmaları kontrol diy.	$B_4 \bar{S}$	$\bar{S}$	$B_3 \bar{S}$	$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i$, $B_3 = 1 - 3 \frac{\sqrt{1-c_4^2}}{c_4}$ $B_4 = 1 + 3 \frac{\sqrt{1-c_4^2}}{c_4}$

* n örnek hacmi, m alt grup sayısı, S örnek standart sapması, R örnek dağılıma aralığı $\bar{x}$ örnek ortalaması, $\hat{\sigma}$ anakütle standart sapmasının tahmini, x gözlem değeri

Kontrol diyagramlarında, sürecin kontrol dışında olduğunu gösteren en temel saptama örnek istatistiklerinin kontrol limitleri dışında olmasıdır. Ancak, tüm örnek istatistikleri kontrol limitleri içinde olsa dahi, sürecin kontrol dışında olabileceğini gösteren bazı kurallar belirlenmiştir (Montgomery, 2001):

1. Kontrol limitleri dışında bir veya daha fazla sayıda nokta olması.
2. Peş peşe üç noktadan ikisinin, 3σ limitleri içinde olsa da 2σ uyarı limitlerini geçmiş olması.
3. Peş peşe beş noktadan dördünün, 1σ uyarı limitlerinin dışında olması.
4. Merkez çizgisinin bir tarafında peş peşe sekiz nokta bulunması.
5. Sürekli artan veya azalan peş peşe altı nokta bulunması.
6. Üst ve alt tarafta 1σ içerisinde on beş nokta olması.
7. Yukarı ve aşağı dalgalanan on dört nokta bulunması.
8. Merkez çizgisinin her iki tarafı için de, 1σ bölgesinde bulunmayan bir çizgi halinde sekiz nokta olması.
9. Veri de beklenmeyen rassal olmayan bir örüntü.
10. Kontrol limitine yakın bir veya daha fazla sayıda nokta.

Bu kuralların ilk dördü dikkate alınarak yapılan bir incelemede, kontrol diyagramlarında sürecin kontrol içinde olmasına rağmen, kontrol dışı olarak yanlış alarm verilmesinin ortalama aralığı 91,25 gözlem olarak bulunmuştur. Ancak, Shewhart'ın kontrol diyagramlarında sadece 1. kuralın -yani kontrol limiti dışında olma durumuna göre sürecin kontrol dışı olma- kabulü ile yanlış alarm ortalama aralığı 370 gözlem olur (Champ ve Woodall, 1987).

5.2.2 Otokorelasyona sahip veriler ile kontrol diyagramları

Kontrol diyagramlarının az sayıda yanlış alarm vermesi için gözlemlerin bağımsız olması ve aralarında korelasyon olmaması gerekir (Maragah ve Woodall, 1992; Montgomery, 2001). Ancak gözlemler arasında korelasyon olmaması koşulu her zaman sağlanamaz. Bir veri setinde otokorelasyon olup olmadığı otokorelasyon katsayısı denklem (5.3) ile ölçülebilir:

$$\rho_k = \frac{\text{Cov}(x_t, x_{t-k})}{V(x_t)}, k = 0, 1, \dots \quad (5.3)$$

$\text{Cov}(x_t, x_{t-k})$ aralarında k zaman dilimi olan gözlemler arasındaki kovaryans, $V(x_t)$ gözlemlerin varyansıdır. Örnek veri setinin otokorelasyon katsayısı ise denklem (5.4) ile bulunur:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t-k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2}, k = 0, 1, \dots, K \quad (5.4)$$

Otokorelasyondan kaynaklanan sorunu çözmek için kullanılan bir yaklaşım, verinin korelasyon yapısının uygun bir zaman serileri modeli ile formüle edilmesidir. Ardından bu model, verideki otokorelasyonun ortadan kaldırılması ve kontrol diyagramlarının oluşturulmasında kullanılacak model kalan değerlerinin bulunması için kullanılmaktadır. Birinci dereceden otoregresyon modeli denklem (5.5)'teki gibidir:

$$x_t = \xi + \phi x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5.5)$$

öyle ki, ξ sabit değer, ϕ katsayı ve ε_t normal ve bağımsız dağılan kalan değeridir.

Sırasıyla ikinci dereceden otoregresyon modeli, birinci dereceden hareketli ortalama modeli, birinci dereceden karma model ve birinci dereceden bütünleşik hareketli ortalama modellerinin denklemleri (5.6), (5.7), (5.8) ve (5.9)'da verilmiştir.

$$x_t = \xi + \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \varepsilon_t \quad (5.6)$$

$$x_t = \mu + \varepsilon_t - \theta \varepsilon_{t-1} \quad (5.7)$$

$$x_t = \xi + \phi_1 x_{t-1} + \varepsilon_t - \theta \varepsilon_{t-1} \quad (5.8)$$

$$x_t = x_{t-1} + \varepsilon_t - \theta \varepsilon_{t-1} \quad (5.9)$$

5.3 Süreç Yeterlilik İndeksleri

Süreç yeterlilik indeksleri (SYI), incelenen kalite özelliğinin spesifikasyon limitlerini karşılama yeterliliğinin tek bir sayı ile ölçülmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Çok sayıda süreç yeterlilik indeks türü, farklı koşullar altında

kullanılmaları nedeniyle geliştirilmiştir. Tek bir organizasyon için bile, kendine ait gereksinimleri ve sorunları olan birçok farklı ürün veya süreç bulunmaktadır ve bunlarla ilgili farklı SYI'ler kullanılabilir. Bu ihtiyacın bir sonucu olarak geliştirilen temel süreç yeterlilik indeksleri şunlardır:

5.3.1 C_p süreç yeterlilik indeksi

Süreç yeterliliğini basit bir şekilde sayısal olarak ifade etmek için mühendislik literatüründe ilk ortaya çıkan indeks C_p indeksidir (Juran,1974; Sullivan,1984; Kane, 1986). Bu indeks ile genel süreç değişkenliği, sürecin üretim tolerans ölçüsüne göre denklem (5.1) ile formüle edilir. C_p indeksi ile süreç değişkenliğine odaklanılır ancak sürecin merkezi bir değere ne kadar yakın olduğu hakkında bilgi sağlanamaz.

Uygulamalarda, sürecin gerçek standart sapması hakkında çoğunlukla bilgi sahibi olunmadığı için örnek standart sapması, gerçek standart sapmanın bir tahmini olarak kullanılır. Bu durumda süreç yeterlilik indeksinin bir tahmini, $\hat{C}_p$, denklem (5.10)'daki gibi formüle edilir.

$$\hat{C}_p = \frac{\bar{USL} - ASL}{6\hat{\sigma}} \quad (5.10)$$

SYI'ler hesaplanırken kullanılan tahmini standart sapma veya ortalama değerlerinin anakütlenin gerçek parametreleriyle birebir aynı olması beklenemez. Bu nedenle doğru C_p değerini içerecek $100(1 - \alpha)\%$ güven aralığı sıklıkla hesaplanır. Bu aralık denklem (5.11)'deki gibi ifade edilir (Kotz ve Johnson, 1993):

$$(\hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi_{n-1, \alpha/2}^2}{n-1}}, \hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi_{n-1, 1-\alpha/2}^2}{n-1}}) \quad (5.11)$$

Burada $\chi_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}}^2$ ve $\chi_{n-1, \frac{\alpha}{2}}^2$ $n-1$ serbestlik derecesine sahip ki-kare dağılımı için alt ve üst limit değerleridir. Süreç yeterlilik analiziyle hesaplanan C_p değerine göre süreçler için literatürde tanımlanan kalite seviyeleri Çizelge 5.2'de verilmiştir (Tsai ve Chen, 2006).

Bazı süreçleri için sadece tek taraflı spesifikasyon limitleri kullanılır. Sadece üst veya sadece alt spesifikasyon limitleri için geliştirilen SYI'ler, denklem (5.12) ve (5.13)'teki gibi dağılım ortalaması μ değeri ile formüle edilir.

$$C_{pu} = \frac{\bar{U}SL - \mu}{3\sigma} \quad (5.12)$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - ASL}{3\sigma} \quad (5.13)$$

Çizelge 5.2 : C_p değerine bağlı olarak süreç çıktılarının kalitesi.

Kalite Seviyesi	C_p Değeri
Süper Mükemmel	$2,00 \leq C_p$
Mükemmel	$1,67 \leq C_p < 2,00$
Tatmin Edici	$1,33 \leq C_p < 1,67$
Yeterli	$1,00 \leq C_p < 1,33$
Yetersiz	$0,67 \leq C_p < 1,00$
Zayıf	$C_p < 0,67$

Farklı organizasyonlar süreçlerini değerlendirmek için farklı süreç yeterlilik hedefleri kullansa da literatürde iki yönlü ve tek yönlü SYI'ler için önerilen değerler Çizelge 5.3'te sunulmuştur (Montgomery, 2001).

Çizelge 5.3 : Süreç yeterlilik indeksleri için önerilen en düşük değerler.

	İki Yönlü Spesifikasyon Limitleri için SYI değeri	Tek Yönlü Spesifikasyon Limitleri için SYI değeri
Mevcut Süreç	1,33	1,25
Yeni Süreç	1,50	1,45
Güvenlik, kuvvet (güç) veya kritik parametreler-(Mevcut Süreç)	1,50	1,45
Güvenlik, kuvvet (güç) veya kritik parametreler-(Yeni Süreç)	1,67	1,60

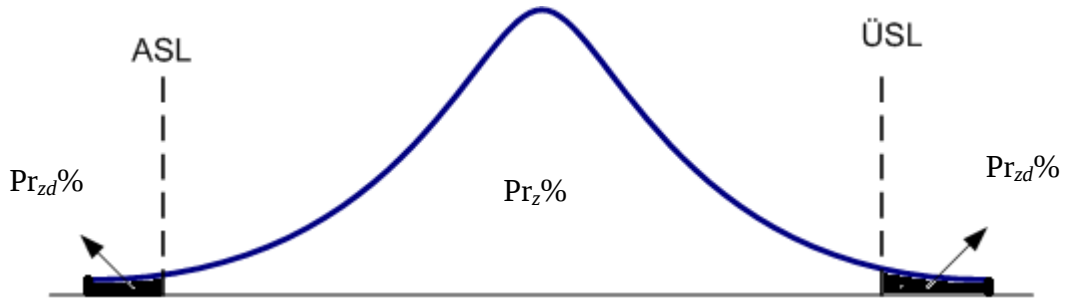
İki yönlü spesifikasyon limitlerine sahip bir süreç için, spesifikasyonları sağlayamayan kusurlu ürünlerin yüzdesi, $Pr_{zd}\%$, denklem (5.14) ile formüle edilebilir (Pearn ve Kotz, 2006):

$$Pr_{zd}(\%) = 1 - F(\bar{U}SL) + F(ASL) \quad (5.14)$$

Denklem (5.14)'te verilen $F(\cdot)$, sürecin izlenen kalite karakteristiğinin birikimli dağılım fonksiyonudur. Kalite karakteristiğinin normal dağılıma uyduğu varsayımı altında kusurlu ürünlerin yüzdesi denklem (5.15) ile yeniden formüle edilebilir:

$$Pr_{zd}(\%) = 1 - \Phi\left(\frac{\bar{ÜSL} - \mu}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{ASL - \mu}{\sigma}\right) \quad (5.15)$$

Denklem (5.15)'te verilen $\Phi(\cdot)$ ifadesi standart normal dağılımın birikimli dağılım fonksiyonudur. Sürecin ürettiği kusurlu çıktıların grafiksel gösterimi Şekil 5.6'da sunulmuştur.



Şekil 5.6 : Süreç çıktıları ve kusurlu ürün yüzdesi.

İki yönlü spesifikasyon limitleri olan ve normal dağılan bir kalite karakteristiği için, $C_p = 1,00$ olması, milyonda kusur sayısının 2700 ($Pr_{zd}(\%) = 2700$) ve $C_p = 1,33$ olması da milyonda kusur sayısının 63 ($Pr_{zd}(\%) = 63$) olmasını gösterir. (Pearn ve Kotz, 2006).

5.3.2 C_a süreç yeterlilik indeksi

Süreç performansını değerlendirmek için literatürde C_p indeksinin yanı sıra kullanılan başka bir indeks C_a indeksidir. C_a indeksi, spesifikasyon limitleri ile süreç ortalamasının bir fonksiyonudur ve sürecin çıktılarının merkezi bir değere yakınlığını spesifikasyon limitlerine göre ölçen bir “ayarlılık” göstergesidir (Pearn ve diğ.,1998). C_a indeksi, denklem (5.16) ile formüle edilir:

$$C_a = 1 - \frac{|\mu - m|}{d} \quad (5.16)$$

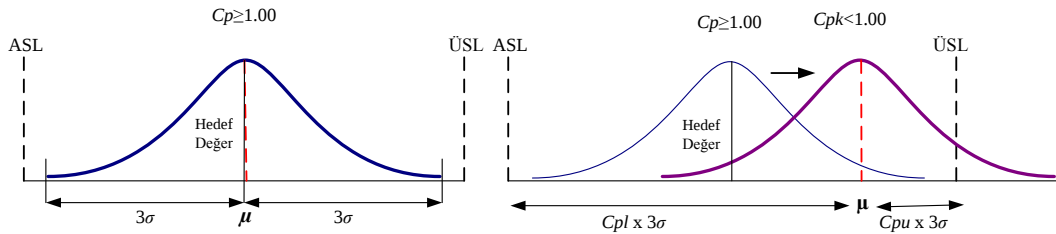
Formülasyonda, μ ortalamayı, $d = (\bar{ÜSL} - ASL) / 2$ değerini ve $m = (\bar{ÜSL} + ASL) / 2$ sürecin merkez değerini göstermektedir.

5.3.3 C_{pk} süreç yeterlilik indeksi

C_p ve C_a indeks'leri sırasıyla sürecin değişkenliğini ve sürecin merkeziliğini dikkate alır. C_{pk} her iki indeksin birleşimi olarak hem süreç varyansının büyüklüğünü hem de sürecin merkez noktasından ne kadar uzaklaştığını dikkate alan bir indekstir (Kane, 1986). C_{pk} indeksinin formülasyonu denklem (5.17)'de verilmiştir.

$$C_{pk} = \frac{d - |\mu - m|}{3\sigma} = \frac{\min(\bar{U}SL - \mu, \mu - ASL)}{3\sigma} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (5.17)$$

Şekil 5.7'de gösterilen soldaki grafik, sürecin merkezi bir hedef değer etrafında dağılımını göstermektedir. Sağdaki grafik ise süreç çıktı genişlikleri aynı iki dağılımı gösterir. Ancak bu dağılımlardan biri merkezi hedef değer ile örtüşürken diğeri hedef değerden sapmıştır. C_{pk} indeksi ile bu sapma belirlenebilir.



Şekil 5.7 : C_p ve C_{pk} indeksleri.

C_{pk} indeksi sürecin merkeziliği hakkında bilgi verir ancak ortalamanın, tolerans aralığı içindeki yeri hakkında bilgi sağlamaz. Bu açıdan sürecin, müşterinin talep ettiği hedef değerini karşılamamasının maliyeti ile ilgili değildir.

5.3.4 C_{pm} süreç yeterlilik indeksi

Kalite kontrolün öncülerinden biri olan G. Taguchi, ürünün bir özelliğinin, müşterinin ideal değerinden sapmasının ürün değerinde neden olduğu kayba odaklanmıştır. Bu bakış açısı ile Hsiang ve Taguchi (1985) C_{pm} indeksini önermiştir. Bu indeks, hata kayıplarının karesi ile formüle edilir ve sürecin bir hedef değer çevresinde kümelenmesini dikkate alarak ürünlerdeki varyasyonu hedef değer ve spesifikasyon limitlerine göre ifade eder. Sürecin hedef değeri T ile temsil edilirse, C_{pm} formülasyonu denklem (5.18) ile gösterilir:

$$C_{pm} = \frac{\bar{U}SL - ASL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} = \frac{d}{3\tau} \quad (5.18)$$

Bu indeks, C_p ve C_a indekslerinin bir fonksiyonudur: $C_{pm} = C_p / (1 * [3C_p - C_a])^{1/2}$. Ayrıca, formülasyonda kullanılan τ sembolü ile ifade edilen değer $\tau^2 = E(X - T)^2$ 'dir ve bu değer ile iki tip varyasyon bileşeni temsil edilir: (i) süreç ortalamasına göre varyasyon (σ^2) ve (ii) süreç ortalamasının hedef değerden sapması $(\mu - T)^2$.

5.3.5 C_{pmk} süreç yeterlilik indeksi

Pearn ve diğ. (1992) C_p , C_{pk} ve C_{pm} indekslerinin özelliklerini bir araya getiren C_{pmk} indeksini önermiştir. C_{pmk} indeksi, C_{pk} indeksinin yapısına benzer bir şekilde süreç varyansı arttığında ve/veya süreç ortalaması hedef değerden saptığında gözlemciyi uyarmak amacıyla geliştirilmiştir. C_{pmk} 'in formülasyonu denklem (5.19)'da verilmiştir.

$$C_{pmk} = \min \left\{ \frac{\bar{USL} - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - ASL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right\} = \frac{d - |\mu - m|}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (5.19)$$

(C_{pmk} , C_{pm}) indekslerinin arasındaki özellik, daha önce (C_{pk} , C_p) indeksleri arasında tanımlanan özellik gibidir, benzer şekilde $C_{pmk} = C_{pm} \times C_a = (C_{pm} \times C_{pk}) / C_p$ 'dir.

Süreç yeterlilik indekslerinin formüllerinin elde edilmesinde, iki temel süreç özelliği –süreç lokasyonunun hedef değerine göre yeri ve süreç yayılımı (genel süreç varyansı) – kullanılır. Süreç çıktısı, hedef değere ne kadar yakınsa ve süreç yayılımı ne kadar azsa, süreç o kadar yeterlidir. Hedefe yakınlık formülasyonun payında, süreç yayılımı ise formülasyonun paydasında bulunmaktadır. Buna bağlı olarak da, bir SYI ne kadar büyük ise, süreç o kadar yeterli olarak yorum yapılabilir.

5.4 Normal Olmayan Dağılımlar İçin Süreç Yeterlilik İndeksleri

Yukarıda açıklanan temel süreç yeterlilik indeksleri yalnızca simetrik toleransları olan normal dağılım veya normal dağılıma yakın süreçlerin performansının izlenmesi için geliştirilmiştir. Normal dağılım altında bu indeksler tutarlı ve güvenilirdir ancak örnek varyansı, S^2 , normal dağılımdan uzaklaştığında oldukça tutarsız hale gelmektedirler (Somerville ve Montgomery, 1996). C_p , C_{pk} , C_{pm} , C_{pmk} gibi normal dağılımı temel alan indekslerin kullanılması, normal olmayan süreç verileri için yanlış sonuçlar verdikleri ve gerçek ürün kalitesini göstermedikleri için uygun değildir.

Normal olmayan veri setleri için literatürde geliştirilen ilk öneri Kane (1986)'ın veri dönüşümü yaklaşımıdır. Bu yaklaşıma göre veri dönüşümünden sonra SYI'ler geleneksel yöntemlerle tahmin edilebilir. Kullanılan temel iki dönüşüm tekniğinden biri Johnson'ın (1949), moment yöntemini temel alan dağılımlar sistemidir. Diğeri Box ve Cox (1964) tarafından önerilen bir üstel dönüşüm yöntemiyle normal olmayan veriyi normal dağılıma dönüştürmektir. Box Cox dönüşüm formülasyonu denklem (5.20)'de sunulmuştur. Bu denklemde kullanılan λ değeri en büyük olabilirlik yöntemiyle tahmin edilmektedir.

$$X^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{X^\lambda - 1}{\lambda} & \text{for } \lambda \neq 0 \\ \ln X & \text{for } \lambda = 0 \end{cases} \quad (5.20)$$

Bunlar dışında Somerville ve Montgomery (1996) çarpık dağılımları karekökü dönüşümü ile ele almıştır. Hosseinifard ve diğ. (2009) ise çarpıklığı yok edecek üstel dönüşüm kökünü bulmak için bir yöntem önermiş ve elde edilen en iyi üstel dönüşüm kökü ile veri setinin normale uygun hale getirilmesi sağlanmıştır.

Normal olmayan dağılımlarda veri dönüşümü ile normale yakın bir dağılım bulmak her zaman mümkün olmayabilir. Literatürde kullanılan ikinci yaklaşım, olasılık grafiği yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda normal dağılıma uyan veri setlerinde 6σ aralığı, veri setine uyan olasılık grafiği belirlendikten sonra ilgili yüzdelik noktaların değerleri olarak kullanılır. Bu durumda SYI formülasyonu, denklem (5.21)'deki hali alır.

$$C_p = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{(\%0,135\text{'lik üst nokta}) - (\%0,135\text{'lik alt nokta})} = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{U_p - A_p} \quad (5.21)$$

Olasılık grafiği yönteminde, uygun grafiğin bulunması da her zaman mümkün olmayabilir. Bu durumlar için, Clements'in (1989) literatürde yaygın olarak incelenmiş yaklaşımı kullanılmaktadır. Clements'in çalışmasında, olasılık grafiği yöntemine benzer şekilde, normal dağılımı temel alan “ 6σ ” ifadesi yerine verilen dağılımın 0,135 yüzdelik üst ve alt noktaları arasındaki aralığın kullanılması önerilmektedir. Ancak, yüzdelik noktalarının değerinin, Pearson'ın dağılımlar sistemi yoluyla belirlenmesi önerilmiştir. Bu şekilde geliştirilmiş C_p ve C_{pk} indeksinin formülasyonu denklem (5.22) ve (5.23)'de gösterilmiştir.

$$C_p = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{(\%0,135' \text{lik üst nokta}) - (\%0,135' \text{lik alt nokta})} = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{U_p - A_p} \quad (5.22)$$

$$C_{pk} = \min \{C_{pu}, C_{pl}\} = \min \left\{ \frac{\text{ÜSL} - \text{medyan}}{X_{0,99865} - \text{medyan}}, \frac{\text{medyan} - \text{ASL}}{\text{medyan} - X_{0,00135}} \right\} \quad (5.23)$$

Formülasyonda, A_p değeri, X 'in dağılımında $\Pr\{X \leq A_p\} = 0,00135$ ile bulunur. Beklenen değerin medyan değeri ile değiştirilmesinin gerekçesi, çarpık dağılımlarda medyanın ortalamaya göre merkezi eğilimin daha doğru bir göstergesi olmasıdır, ancak bu değişiklik zorunlu değildir. Clements'in önerdiği bu yöntem ile normal olmayan kalite özelliklerine ilişkin süreç yeterlilik indeksleri birçok çalışmada incelenmiştir (Padgett ve Sengupta, 1996; Sommerville ve Montgomery, 1996; Polansky, 2000).

Bu arada, normal dağılımı temel alan indekslerin normal olmayan veriler ile nasıl sonuçlar verdiği üzerine de birçok çalışma sunulmuştur. Buna göre, C_{pk} indeksinin dağılımların normal olmamasına daha hassas olduğu, aksine C_{pmk} 'in normal olmayan verileri incelemek için daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır (English ve Taylor, 1993; Deleryd; 1996).

Pearn ve diğ. (1992) başka bir yaklaşımda, SYI formülasyonlarında paydada kullanılan “ 6σ ” yerine σ 'nın en uygun katının kullanılmasını önermiştir. İncelenen dağılımın şekline bağlı olarak yeterlilik değerinin büyük oranda etkilenmemesi prensibine uygun olarak σ 'nın en uygun katı belirlenmiştir. Bu fikrin izinde Kotz ve Johnson (1993) 6σ yerine spesifik olarak $5,15\sigma$ kullanılmasını önermiştir çünkü gamma tipi dağılımlar arasında, $\Pr\{\mu - 2,575\sigma\} \leq X \leq \{\mu + 2,575\sigma\} \approx 0.99$ çok az farklılık göstermektedir. Bu yaklaşım, uygun dağılımın belirlenmesi için yeterli veri yoksa faydalı bir yaklaşımdır. Ancak, bu yaklaşım -üstelden normale kadar birçok dağılım şeklini kapsıyor olsa da- sadece gamma tipi dağılımlar için geçerlidir.

Wright (1995), C_{pmk} indeksinin formülasyonunda paydaya çarpıklığı düzeltici bir faktör ekleyip yeni bir indeks, C_s 'yi önermiştir. Bu indeksin formülasyonu denklem (5.24)'te verilmiştir.

$$C_s = \frac{d - |\mu - m|}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2 + |\sqrt{\beta_1}|}} \quad (5.24)$$

Formülasyonda γ_1 çarpıklığı temsil eder. Chen ve Kotz (1996) bu formülasyonda çarpıklık değerinin $\gamma > 0$ değeri ile istenen optimallik düzeyine göre ağırlıklandırılabilirliğini önermiştir.

Çarpık dağılımlar için başka bir yaklaşım, değişkenlik ölçütlerinin ağırlıklandırılmasıdır. Bai ve Choi (1997) ağırlıklı varyans yaklaşımı önermişlerdir. Bu yaklaşımda SYI değerlerinde, dağılımın çarpıklığına göre düzeltme yapılmaktadır. Bu düzeltme, denklem (5.25) ile gösterilen şekilde hesaplanan ağırlık değeri ile yapılmaktadır. Buna göre ağırlıklandırılmış SYI formülasyonu denklem (5.26) ile gösterilmiştir.

$$W_x = \sqrt{1 + |1 - 2Pr_x|} \quad (5.25)$$

öyle ki, $Pr_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(\bar{X} - X_i)$ ve $x > 0$ ise $I(x) = 1$, $x < 0$ ise $I(x) = 0$

$$C_p = \frac{\bar{U}SL - ASL}{6\sigma W_x} \quad (5.26)$$

Tang ve Than (1999), normal olmayan veri setleri ile SYI hesaplama yaklaşımlarını gruplandırmışlar ve farklı veri setleri ile yaptıkları simülasyonlar ile bu yaklaşımların ne kadar doğru sonuç verdiğini karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada yukarıda açıklanan yaklaşımlar Çizelge 5.4'teki iki ana grup altında incelenmiştir.

Çizelge 5.4 : Normal olmayan veri setleri için literatürde önerilen ana yaklaşımlar.

Veri dönüşümü kullanan yaklaşımlar	Veri dönüşümü kullanmayan yaklaşımlar
Box-Cox dönüşümü yaklaşımı (BC)	Normal dağılım varsayımı (NV)
Johnson dönüşümü yaklaşımı (JD)	Olasılık grafiği (OG)
Clement's yaklaşımı (CY)	Ağırlıklı varyans yaklaşımı (AV)
	Wright indeksi (WI)

Bu yaklaşımların karşılaştırmaları Weibull ve lognormal şekilde dağılmış veri setleri ile yapılmıştır. Sonuçlara göre, genel olarak veri dönüşümü kullanılan yaklaşımların, veri dönüşümü kullanılmayan yaklaşımlara göre gerçek yeterlilik değerine daha yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Veri dönüşümü kullanılmayan teknikler içinde ise en iyi sonucun olasılık grafiği yöntemiyle elde edildiği bulunmuştur. Weibull dağılım durumunda olasılık grafiği yöntemi Clement's yaklaşımından daha iyi sonuçlar vermektedir. Veri dönüşümü yapılan yöntemler içinde ise en iyi

sonuçların elde edildiği yöntem Box-Cox dönüşümüdür. Ancak veri dönüşümü yaklaşımının uygulanması ile ilgili bir sakınca, örnek hacmine göre performansta belirgin derecede farklılıklar görülmesidir. Özellikle küçük örnek hacimleri için veri dönüşümünün kullanılmasının uygun olmadığı, örnek hacmi 100'den büyük olduğunda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. İncelenen dağılımın farklı çarpıklık ve basıklık değerleri için kullanılması uygun yaklaşımlar önerilmiştir. Bu öneriler Çizelge 5.5'te verilmiştir (Tang ve Than, 1999).

Çizelge 5.5 : Farklı çarpıklık ($\sqrt{\gamma_1}$) ve basıklık (γ_2) aralıkları için uygun yöntemler.

	$-0,1 < \sqrt{\gamma_1} \leq 0,1$		$0,1 < \sqrt{\gamma_1} \leq 1$	$\sqrt{\gamma_1} > 0,1$	
$2,5 < \gamma_2 \leq 3,5$	NV	CY	OG	BC	BC
	OG	BC		JD	JD
		JD	WI		
	AV	WI			
$\gamma_2 > 3,5$	BC		BC		BC
	JD		JD		JD

Son yıllarda, literatürde normal olmayan veri setleri için yeni yaklaşımlar da önerilmektedir. Ağırlıklı varyans yaklaşımın prensibini temel alan Chang ve diğ. (2002), sezgisel olarak ağırlıklandırılmış standart sapma yaklaşımı geliştirmiştir. Clements'in yaklaşımındaki basıklık ve çarpıklık değerlerinden üst ve alt yüzdelik noktaların Pearson dağılım sistemine göre hesaplanmasına benzer bir yöntem, Abbasi (2009) tarafından önerilmiştir. Bu çalışmada, olasılık yoğunluk dağılımı tahminine gerek olmadan, sağa çarpık veri setleri için basıklık, çarpıklık ve üst spesifikasyon limitlerini kullanarak doğrudan SYI'lerin, geliştirilen yapay sinir ağları ile hesaplanabileceği önerilmiştir.

5.5 Bulanık Küme Teorisi ve Bulanık Süreç Yeterlilik İndeksleri

Bulanık küme teorisi, Zadeh (1965) tarafından belirsizlik içeren ve muğlak durumların olduğu problemleri çözmek için geliştirilmiş bir teoridir. Klasik kümelerde bir eleman, bir kümenin içinde veya dışında olabilir. Ancak elemanın kümeye ait olup olmadığı kesin olarak belirlenemiyorsa, bulanık küme teorisine göre üyeliği 0 ile 1 arasında bir üyelik derecesi ile temsil edilebilir. Örneğin, havanın

sıcak ve soğuk olarak tanımlandığı hava sıcaklık değerlerini içeren iki küme tanımlarsak, havanın 40°C olması sıcak kümeye kesin olarak dahil edilebilirken, havanın 15°C olması farklı kişiler tarafından sıcak veya soğuk olarak tanımlanabilir. Bulanık küme teorisine göre havanın 15°C olması farklı üyelik dereceleri ile birden fazla kümeye dahil olabilir.

Klasik küme teorisine göre a elemanın belirli bir U kümesine üyelik derecesi ancak 0 ve 1 değerlerini alabilir ve (5.27) ile gösterilir.

$$\mu_U(x) = \begin{cases} 1, & a \in U \\ 0, & a \notin U \end{cases} \quad (5.27)$$

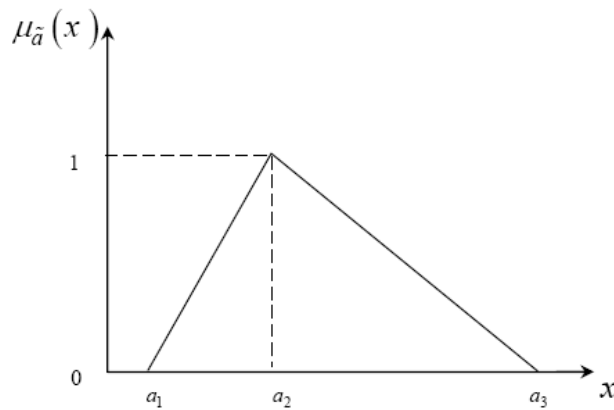
A tanım kümesi içinde tanımlanan bulanık bir $\tilde{U}$ kümesi ise (5.28)'deki gibi üyelik derecesini ile birlikte çift terimli olarak gösterilir:

$$\tilde{U} = \{(a, \mu_{\tilde{U}}(a)) \mid a \in A\} \quad (5.28)$$

5.5.1 Üçgen bulanık sayılar ile bulanık süreç yeterlilik indeksleri

Herhangi bir $a \in F(\mathfrak{R})$, $\mathfrak{R}$ üzerinde bulanık bir miktardır ve herhangi bir $\tilde{a}_{a_1, a_2, a_3} \in F(\mathfrak{R})$ bir üçgen bulanık sayı (ÜBS) olarak tanımlanır. Bir ÜBS için üyelik fonksiyonu Şekil 5.8'de gösterilmiştir ve (5.29) ile hesaplanır (Lee, 2005):

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_1, \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 < x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 < x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (5.29)$$



Şekil 5.8 : Bir üçgen bulanık sayı $\tilde{a}$.

$\tilde{A} = TFN(a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = TFN(b_1, b_2, b_3)$ pozitif bulanık sayılar ise ÜBS ile işlemler (5.30), (5.31), (5.32) ve (5.33) ile tanımlanmaktadır (Lee, 2005):

Toplama

$$\begin{aligned}\tilde{A} \oplus \tilde{B} &= \ddot{U}BS(a_1, a_2, a_3) \oplus \ddot{U}BS(b_1, b_2, b_3) \\ &= \ddot{U}BS(a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3)\end{aligned}\quad (5.30)$$

Çıkarma

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = \ddot{U}BS(a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad (5.31)$$

Bölme

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = \ddot{U}BS(a_1, a_2, a_3) \oslash \ddot{U}BS(b_1, b_2, b_3) = \ddot{U}BS\left(\frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1}\right) \quad (5.32)$$

$$\tilde{A} \oslash m = \ddot{U}BS(a_1, a_2, a_3) \oslash m = \ddot{U}BS\left(\frac{a_1}{m}, \frac{a_2}{m}, \frac{a_3}{m}\right) \quad (5.33)$$

Varsayalım ki, standart sapması σ olan bir sürecimiz var. Bu sürecin, üst ve alt spesifikasyon limitleri bulanık kümeler olarak belirlenmiş $\tilde{ÜSL} = \ddot{U}BS(a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{AŞL} = \ddot{U}BS(b_1, b_2, b_3)$ olsun. Bulanık süreç spesifikasyon limitleri arasındaki genişlik $\tilde{w}_{SL}, \tilde{w}_{SL} = \tilde{ÜSL}(a_1, a_2, a_3) \ominus \tilde{AŞL}(b_1, b_2, b_3)$ şeklinde tanımlanır. Buna göre, bulanık süreç yeterlilik indeksi de bir ÜBS'dir ve $\tilde{C}_p = \tilde{w}_{SL} \oslash 6\sigma$ olarak (5.34), (5.35), (5.36) veya (5.37) ile formüle edilir.

$$\tilde{C}_p = \ddot{U}BS\left(\frac{a_1 - b_3}{6\sigma}, \frac{a_2 - b_2}{6\sigma}, \frac{a_3 - b_1}{6\sigma}\right) \quad (5.34)$$

$$\tilde{C}_{pu} = TFN\left(\frac{a_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{a_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{a_3 - \mu}{3\sigma}\right) \quad (5.35)$$

$$\tilde{C}_{pl} = TFN\left(\frac{\mu - b_3}{3\sigma}, \frac{\mu - b_2}{3\sigma}, \frac{\mu - b_1}{3\sigma}\right) \quad (5.36)$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min(\tilde{C}_{pu}, \tilde{C}_{pl}) \quad (5.37)$$

Eğer kalite özelliğinin dağılımı normal dağılıma uymuyorsa, ÜBS için bulanık SYI'ler (5.38), (5.39), (5.40) ve (5.41) ile hesaplanabilir:

$$\tilde{C}_p^{nn} = \text{ÜBS}\left(\frac{a_1 - b_3}{d}, \frac{a_2 - b_2}{d}, \frac{a_3 - b_1}{d}\right) \quad (5.38)$$

öyle ki, d , süreç dağılımının üst %0,135'lik nokta ve alt %0,135'lik nokta arasındaki aralıktır ($d = \text{üst \%0,135'lik nokta} - \text{alt \%0,135'lik nokta}$).

$$\tilde{C}_{pu}^{nn} = \text{ÜBS}\left(\frac{a_1 - M}{d_u}, \frac{a_2 - M}{d_u}, \frac{a_3 - M}{d_u}\right) \quad (5.39)$$

öyle ki, d_u , süreç dağılımının üst %0,135'lik nokta ve medyan değeri arasındaki aralıktır ($d = \text{üst \%0,135'lik nokta} - M$).

$$\tilde{C}_p^{nn} = \text{ÜBS}\left(\frac{M - b_3}{d_l}, \frac{M - b_2}{d_l}, \frac{M - b_1}{d_l}\right) \quad (5.40)$$

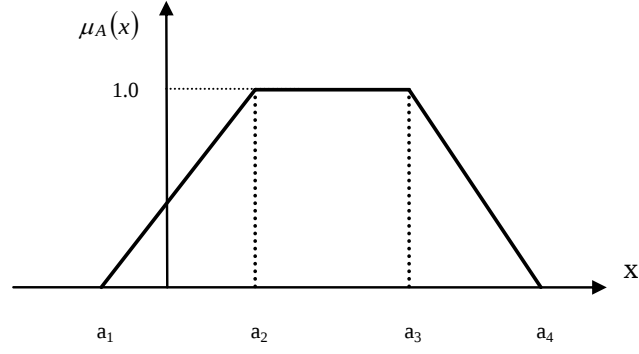
öyle ki, d_l , süreç dağılımının medyan değeri ve alt %0,135'lik nokta arasındaki aralıktır ($d = M - \text{alt \%0,135'lik nokta}$).

$$\tilde{C}_{pk} = \min(\tilde{C}_{pu}^{nn}, \tilde{C}_{pl}^{nn}) \quad (5.41)$$

5.5.2 Yamuk bulanık sayılar ile bulanık süreç yeterlilik indeksleri

Üyelik derecesi maksimum ($\alpha=1.00$) olan birden fazla nokta olabileceği varsayımından başka bir bulanık sayı şekli olan yamuk bulanık sayılar (YBS) ortaya çıkmıştır. Bir YBS, $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$, Şekil 5.9'daki üyelik fonksiyonu ile birlikte tanımlanabilir. Bu bulanık sayının üyelik fonksiyonu (5.42)'de verilmiştir (Lee, 2005):

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (5.42)$$



Şekil 5.9 : Bir yamuk bulanık sayı $\tilde{a}$.

YBS'ler için işlem operatörleri (5.43), (5.44), (5.45), (5.46)'da tanımlanmıştır (Lee, 2005):

Toplama

$$\begin{aligned}\tilde{A} \oplus \tilde{B} &= \text{YBS}(a_1, a_2, a_3, a_4) \oplus \text{YBS}(b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= \text{YBS}(a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4)\end{aligned}\quad (5.43)$$

Çıkarma

$$\begin{aligned}\tilde{A} \ominus \tilde{B} &= \text{YBS}(a_1, a_2, a_3, a_4) \ominus \text{YBS}(b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= \text{YBS}(a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1)\end{aligned}\quad (5.44)$$

Bölme

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = \text{YBS}(a_1, a_2, a_3, a_4) \oslash \text{YBS}(b_1, b_2, b_3, b_4) = \text{YBS}\left(\frac{a_1}{b_4}, \frac{a_2}{b_3}, \frac{a_3}{b_2}, \frac{a_4}{b_1}\right) \quad (5.45)$$

$$\tilde{A} \oslash m = \text{YBS}(a_1, a_2, a_3, a_4) \oslash m = \text{YBS}\left(\frac{a_1}{m}, \frac{a_2}{m}, \frac{a_3}{m}, \frac{a_4}{m}\right) \quad (5.46)$$

Bazı durumlarda spesifikasyon limitleri YBS'ler şeklinde $\tilde{ÜSL} = \text{YBS}(a_1, a_2, a_3, a_4)$ ve $\tilde{AŞL} = \text{YBS}(b_1, b_2, b_3, b_4)$ olarak ifade edilebilir. Bu durumda spesifikasyon limitleri arasındaki genişlik, $\tilde{w}_{SL} \in F_T(\mathfrak{R})$ de bir YBS olarak $\tilde{w}_{SL} = \text{YBS}(a_1, a_2, a_3, a_4) \ominus \text{YBS}(b_1, b_2, b_3, b_4)$ ile bulunur. Bulanık süreç yeterlilik indeksi de yamuk bir bulanık sayı olarak $\tilde{C}_p = \tilde{w}_{SL} \oslash 6\sigma$ şeklinde (5.47), (5.48), (5.49) ve (5.50) ile formüle edilir.

$$\tilde{C}_p = \text{YBS}\left(\frac{a_1 - b_4}{6\sigma}, \frac{a_2 - b_3}{6\sigma}, \frac{a_3 - b_2}{6\sigma}, \frac{a_4 - b_1}{6\sigma}\right) \quad (5.47)$$

$$\tilde{C}_{pu} = \text{YBS}\left(\frac{a_1 - \mu}{3\sigma}, \frac{a_2 - \mu}{3\sigma}, \frac{a_3 - \mu}{3\sigma}, \frac{a_4 - \mu}{3\sigma}\right) \quad (5.48)$$

$$\tilde{C}_{pl} = \text{YBS}\left(\frac{\mu - b_4}{3\sigma}, \frac{\mu - b_3}{3\sigma}, \frac{\mu - b_2}{3\sigma}, \frac{\mu - b_1}{3\sigma}\right) \quad (5.49)$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min(\tilde{C}_{pu}, \tilde{C}_{pl}) \quad (5.50)$$

Eğer kalite özelliğinin dağılımı normal dağılıma uymuyorsa, YBS için bulanık SYI'ler (5.51), (5.52), (5.53) ve (5.54) ile hesaplanabilir:

$$\tilde{C}_p^{nn} = \text{YBS}\left(\frac{a_1 - b_4}{d}, \frac{a_2 - b_3}{d}, \frac{a_3 - b_2}{d}, \frac{a_4 - b_1}{d}\right) \quad (5.51)$$

$$\tilde{C}_{pu}^{nn} = \text{YBS}\left(\frac{a_1 - M}{d_u}, \frac{a_2 - M}{d_u}, \frac{a_3 - M}{d_u}, \frac{a_4 - M}{d_u}\right) \quad (5.52)$$

$$\tilde{C}_p^{nn} = \text{YBS}\left(\frac{M - b_4}{d_l}, \frac{M - b_3}{d_l}, \frac{M - b_2}{d_l}, \frac{M - b_1}{d_l}\right) \quad (5.53)$$

$$\tilde{C}_{pk} = \min(\tilde{C}_{pu}^{nn}, \tilde{C}_{pl}^{nn}) \quad (5.54)$$

6. TÜKETİCİ SEÇİM MODELLEMESİ

6.1 Davranışsal Seçim Modelleri

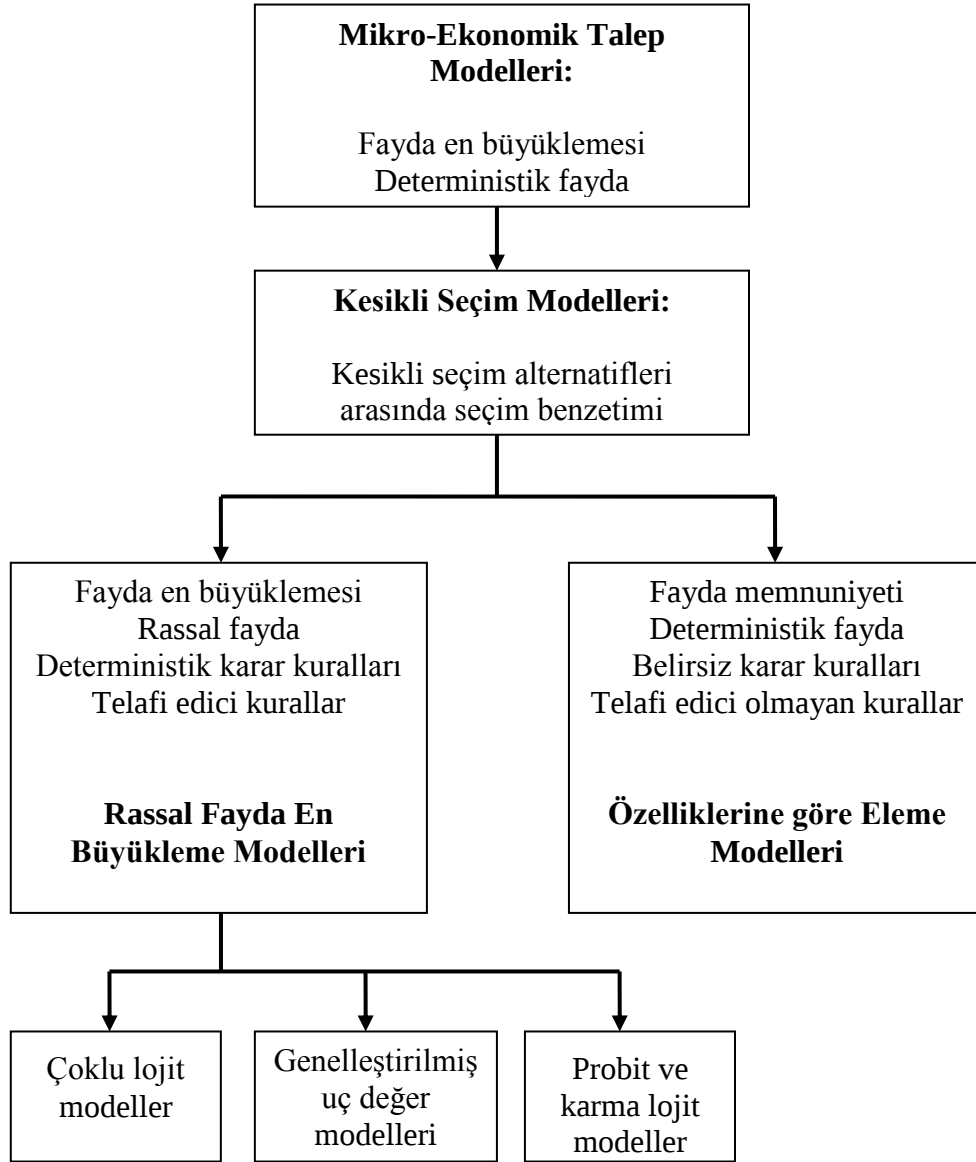
Bireylerin seçim davranışının modellenmesi, klasik mikro-ekonomi kuramındaki “fayda” kavramına dayanmaktadır. Bu kavramın ortaya çıktığı araştırma alanı ekonomik tüketici teorisi ve bu teoriden gelişen kesikli seçim teorisi ile rassal fayda seçim modellerinin temel prensipleri bu bölümde incelenecektir.

Ekonomik tüketici teorisi, bireylerin akılcı karar vericiler olduğunu varsaymaktadır. Tanımlanan “akılcılık” şunu ifade etmektedir: tüketicilerin mevcut ürün veya hizmet alternatifler kümesine dair tercihleri vardır ve tüketiciler seçimlerini en fazla tercih ettikleri ve karşılanabilir olan alternatif için yaparlar. Ekonomik tüketici teorisinde, sürekli bir fonksiyonla tanımlanan ve her ürün veya hizmete dair tüketicilerin tercih sıralamasını gösteren gerçek bir sayı vardır. Bu sıralamaya bağlı olarak, tüketici davranışı, bütçe kısıtı altında faydayı en büyüleyecek şekilde ürün veya hizmet seçiminin yapıldığı bir optimizasyon problemi olarak ifade edilmektedir. Bu optimizasyon fonksiyonunun çözülmesi ile talep fonksiyonu da elde edilmektedir. Elde edilen talep fonksiyonu, fayda denkleminde yerine konulduğunda, verilen fiyat ve gelir altında dolaylı fayda fonksiyonu ortaya çıkmaktadır. Kesikli seçim modellerinde de tanımlanan dolaylı fayda kullanılmaktadır ve kısaca fayda olarak adlandırılmaktadır (Walker, 2001).

Klasik tüketici teorisinde, mallar arasındaki farklılıklar dikkate alınmaz. Bu nedenle fayda, malların özelliklerinin değil miktarlarının fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Kesikli seçim modellerinde ise bu varsayımın dışına çıkılarak tüketicilerin elde ettikleri faydanın, ürünün özelliklerine bağlı olduğu ortaya atılmıştır ve fayda, ürünün özelliklerine göre formüle edilmiştir (Lancaster, 1966). İlk olarak, Thurstone (1927) psikolojik uyarı (İng.: stimuli) kavramını geliştirmiştir. Thurstone çalışmasında, uyarıya cevap verenlerin, uyarılma düzeyine göre farklılaşp farklılaşmadığını test etmek için bir probit model oluşturmuştur. Marschak (1960), Thurstone’un çalışmasında tanımlanan uyarıyı, fayda olarak yorumlamıştır.

Marschak (1960) ve Luce (1959) tarafından yapılan çalışmalar ile bireysel seçim davranışının, olasılıklara bağlı olmasından yola çıkılmış ve bu şekilde elde edilen modellere rassal fayda modelleri ismi verilmiştir. Klasik tüketicisi teorisinde rassal fayda modellerindekinden farklı olarak seçim davranışı belirli (deterministik) olarak ele alınmaktadır. Rassal fayda teorisi ise, karar vericinin (tüketicinin) alternatifler arasında mükemmel ayırım yapma kabiliyetine sahip olmasına rağmen, araştırmacının bu bilgiye tam olarak sahip olmadığı fikrine dayanmaktadır. Dolayısıyla rassal fayda teorisi, seçim modellerinde bu belirsizliğin dikkate alınması gerektiği fikrine dayanır. Rassal fayda teorisinin, klasik seçim modellerine benzer yaklaşımı ise faydanın en byklenmesini temel almasıdır ve belirli (deterministik) karar kuralları olduğunun varsayılmasıdır. Ancak rassal fayda teorisi yaklaşımı, bu karar kuralları kullanılırken araştırmacının tam bilgiye sahip olmamasından kaynaklanan belirsizliğe çözüm olarak önerilmiştir. Fayda formülasyonunda, araştırmaı tarafındaki belirsizlik, bilinmeyen faydaları temsil eden rassal değişkenler ile yansıtılmaktadır. Manski (1977) belirsizliğin dört nedeni olduğunu tanımlamıştır: rn alternatiflerinin gözlemlenemeyen özellikleri, bireylerin gözlemlenemeyen özellikleri (veya beğeni çeşitliliği), ölçüm hataları ve yaklaşık (araçlarla ilgili) değişkenler.

Kesikli seçim modellerini tüketicisi teorisinden ayıran başka bir nokta, tüketicisi teorisinin sürekli (rn. sonsuz kez bölünebilen) rnleri ele almasıdır. Bunun nedeni sonuçların bulunmasında kullanılan kalkülüs tekniklerinde, alternatiflerin sürekli bir uzay oluşturmasının gerekliliğidir. Kesikli seçim teorisinde ise ele alınan ürün alternatifleri sonlu ve birbirinden bağımsızdır. Bu nedenle, modelin çözümünde klasik tüketicisi teorisinden farklı teknikler kullanılmaktadır. Seçim kümesi ismi verilen alternatifler kümesinin, kesikli seçim küme yapısına uyması için üç niteliği olmalıdır. Öncelikle alternatifler karar verici açısından birbirinden bağımsız olmalıdır. Başka bir deyişle, bir alternatifin seçilmesi, zorunlu olarak diğer alternatiflerden birinin seilmemesini gerektirir. Karar verici, seçim kümesinden sadece bir alternatifi seçebilir. İkinci olarak, seçim kümesi tam (İng.:exhaustive) olmalıdır. Bu kümede tüm olası alternatifler bulunmalıdır. Karar verici zorunlu olarak alternatiflerden birini seçmelidir. nc olarak, alternatiflerin sayısı sonlu olmalıdır. şekil 6.1’de ekonomik tüketicisi kuramından ortaya çıkan seçim modelleme yöntemleri için bir sınıflandırma verilmiştir.



Şekil 6.1 : Davranışsal varsayımlara göre seçim modelleri sınıflandırması.

Bireylerin seçim davranışını modellemek için literatürde sıklıkla kullanılan yöntem, rassal fayda teorisi ile elde edilen kesikli seçim modelleridir. Rassal fayda en büyükleme (RFB) modellerinin önemli bir özelliği tela fi edici (İng.: compensatory) bir yapısının olmasıdır. Diğer bir deyiş le, seçilen bir alternatif, diğer bütün alternatiflere göre belirli yönlerden daha kötü olabilir, yine de toplam fayda değ eri diğer alternatiflerden daha yüksekse belirli bir olasılıkla seçilebilir.

Özelliklerine göre eleme modelleri, tela fi edici olmayan seçim modelleri olarak bilinir. Çünkü bu modellerde pozitif özelliklerin negatif özellikleri tela fi etmesine izin verilmez. Özelliklerine göre eleme modellerine bir örnek, Tversky (1972) tarafından geliştirilmiştir. Bu modellerde bir alternatifin dikkate alınması ve

seçilmesi için alternatifin özelliklerinin hiyerarşik olarak belirli eşik değerlerini sağlaması gereklidir. Bu alanda önemli başka bir örnek, Arentze ve Timmermans'ın (2000, 2003, 2005) geliştirdiği kural-temelli seçim modelleridir. Bu modellerde genel olarak faydanın deterministik olduğu varsayılır ve karar süreci olasılıklarla tanımlanır.

Telafi edici olmayan modellerin akademik amaçlı kullanımı kısıtlıdır. Uygulamada da hem gerçeği tam yansıtmadığına inanıldığı için hem de modellenmesi ve çözümü daha güç olduğu için kullanılmaz. Rassal fayda en büyükleme modelleri literatürde ve uygulamada daha sık kullanılır ve doğru belirlenmiş bir rassal fayda en büyükleme modeli çoğunlukla tercih davranışına yeteri kadar yaklaşmaktadır (Train, 2009).

6.2 Rassal Fayda En Büyükleme Seçim Modelleri

RFB seçim modelleri, tıpkı tüketici teorisinde olduğu gibi bireyin bir alternatifi seçmesi veya satın alması ile fayda sağladığı fikrine dayanmaktadır. Bu modellerde bireyin en büyük faydayı sağlayacağı alternatifi seçeceği varsayılmaktadır. Bu modellerde de tüketicinin seçimi, seçim teorisi ile paralel olarak aşağıdaki basamakları içeren tüketici karar sürecinin bir sonucu olarak tanımlanır:

1. Seçim probleminin tanımı
2. Seçim alternatiflerinin oluşturulması
3. Alternatiflerin özelliklerinin değerlendirilmesi
4. Seçim
5. Uygulama

Lancaster (1966) ve McFadden (1974) faydanın, alternatiflerin özelliklerinin ile birlikte karar vericilerin özelliklerinin (bireyler arası farklılıkları yansıtabilmek için) bir fonksiyonu şeklinde formüle edilmesini önermiştir. Rassal fayda yaklaşımı Manski (1977) tarafından geliştirilmiştir. RFB seçim modellerinde faydanın araştırmacı tarafından kesin olarak bilinemeyeceği kabul edilir. Dolayısıyla, ürünün sağladığı fayda, gözlenemeyen değişkenler olarak tanımlanmaktadır. Ancak gerçekleşen seçim, ki bu gözlemlenebilmektedir, ürün seçiminin altındaki faydanın bir yansıması olarak kabul edilmektedir (Walker, 2001). Rassal seçim modellerinde

Fayda formülasyonu rassal hata terimini içermektedir. Bu hata terimi, araştırmacının, tüketicinin ürün seçiminde elde ettiği faydayı tam olarak bilmemesinden kaynaklanan hatayı temsil etmektedir. Literatürde geliştirilmiş farklı RFB seçim modellerinde, hata teriminin olasılık dağılımı farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Manski (1977) rassallığın kaynaklarını dört başlık altında toplamıştır:

- Gözlemlenmemiş özellikler
- Gözlemlenmemiş beğeni değişkenlikleri
- Ölçüm hataları ve eksik bilgi
- Yardımcı değişkenler

RFB modelleri ile seçim formülasyonunda, J sayıda alternatif arasından seçim yapacak olan karar verici n indisi ile temsil edilsin. Karar vericinin, her alternatiften belirli seviyede fayda sağlayacağı kabul edilmektedir ve karar verici n 'nin alternatif j 'den elde ettiği fayda U_{nj} , $j = 1, \dots, J$ ile temsil edilmektedir. Fayda değeri, karar verici tarafından tam olarak bilinmemektedir ancak araştırmacı tarafından tam olarak bilinmemektedir. Karar vericinin en fazla faydayı sağlayan alternatifini seçeceği kabul edilmektedir. Bu durumda, karar vericinin davranış modeli şöyle tanımlanmaktadır: alternatif i sadece ve yalnız sadece $U_{ni} > U_{nj}$, $\forall j \neq i$ ise seçilir.

Araştırmacı, karar vericinin tanımladığı faydayı tam olarak bilmediği için karar vericinin davranışını, gözlemleyebildiği alternatif özellikleri, $\underline{x}_{nj}$, $\forall j$ ve karar vericinin özellikleri, s_n , ile formüle etmektedir. Daha sonra, gözlemlenen bu faktörler ile karar vericinin faydası arasında bir fonksiyon tanımlanmaktadır. Bu gözlemlenen faktörler ile formüle edilen fayda, $V_{nj} = V(\underline{x}_{nj}, s_n)$, $\forall j$ ile gösterilmektedir ve *temsili fayda* olarak isimlendirilmektedir. Temsili fayda, V , genellikle araştırmacı tarafından bilinmeyen, β ile temsil edilen parametrelere bağlıdır. Bu parametreler istatistiksel olarak tahmin edilmelidir.

Ayrıca, araştırmacının gözlemleyemediği fayda boyutları olduğundan $V_{nj} \neq U_{nj}$ 'dir. Fayda, $U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj}$ olarak formüle edilmektedir. Bu formülasyondaki hata terimi, ε_{nj} , faydayı etkileyen fakat V_{nj} 'nin kapsamadığı faktörleri tanımlamaktadır. Bu genel formülasyon kısaca şöyle tanımlanabilir: ε_{nj} , gerçek fayda U_{nj} ile araştırmacının gözlemleyebildiği faydanın V_{nj} arasındaki farktır. Bu tanıma göre, ε_{nj} 'nin özellikleri, örneğin dağılımı, araştırmacının V_{nj} tanımına bağlıdır. Aslında ε_{nj} , araştırmacının

seçim durumunu nasıl temsil ettiğine bağlıdır. Seçim durumunun temsil edilme şekli, uygun kesikli seçim modeli tipinin belirlemesi için önemlidir.

Araştırmacı, $\varepsilon_{nj} \forall j$ bilgilerine sahip değildir. Bu nedenle, bu terimler rassal olarak tanımlanmaktadır. $f(\underline{\varepsilon}_n)$, rassal vektör $\underline{\varepsilon}_n = \langle \varepsilon_{n1}, \dots, \varepsilon_{nj} \rangle$ 'nin bileşik olasılık yoğunluğunu gösterir. Araştırmacı, bu yoğunluk ile karar vericinin seçimi ile ilgili olasılık ifadelerini oluşturabilir. Karar verici n 'nin alternatif i 'yi seçme olasılığı (6.1) ile tanımlanmaktadır (Train, 2009):

$$\begin{aligned} \Pr_{ni} &= \Pr\{U_{ni} > U_{nj} \forall j \neq i\} \\ &= \Pr\{V_{ni} + \varepsilon_{ni} > V_{nj} + \varepsilon_{nj} \forall j \neq i\} \\ &= \Pr\{\varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni} < V_{ni} - V_{nj} \forall j \neq i\} \end{aligned} \quad (6.1)$$

Tanımlanan bu olasılık, birikimli bir dağılımdır. Her rassal terim $(\varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni})$ 'nin, gözlemlenen faydaların farkı $(V_{ni} - V_{nj})$ değerinden küçük olma olasılığıdır. Bu birikimli olasılık, $f(\underline{\varepsilon}_n)$ kullanılarak (6.2)'deki gibi yazılabilir (Train, 2009):

$$\begin{aligned} P_{ni} &= P\{\varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni} < V_{ni} - V_{nj}, \forall j \neq i\} \\ &= \int_{\underline{\varepsilon}} I(\varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni} < V_{ni} - V_{nj}, \forall j \neq i) f(\underline{\varepsilon}_n) d\underline{\varepsilon}_n \end{aligned} \quad (6.2)$$

Bu formülasyonda kullanılan, $I(\cdot)$, gösterge bir fonksiyondur. Bu gösterge fonksiyon, parantez içindeki ifade doğru ise 1, değil ise 0 değerini almaktadır. (6.2)'deki olasılık değeri, faydanın gözlemlenemeyen bölümünün yoğunluğu $f(\underline{\varepsilon}_n)$, üzerindeki çok katlı integral ile tanımlanmaktadır. Farklı kesikli seçim modelleri, bu yoğunluğun farklı tiplerde belirlenmesi ile elde edilmiştir. Bu integral, $f(\cdot)$ 'nin bazı tanımlamaları için kapalı bir form almaktadır. Literatür ve uygulamalarda sıklıkla kullanılan çoklu lojit ve yuvalı lojit seçim modelleri bu integral için kapalı formda ifadeler halini almaktadır. Çoklu lojit ve yuvalı lojit seçim modelleri, faydanın gözlemlenemeyen parçasının, sırasıyla bağımsız eş dağılımlı (BED) uç değer olarak veya genelleştirilmiş uç değer (GUD) tipinde dağıldığı varsayımından elde edilmektedir. Başka bir RFB seçim model tipi olan probit modeller ise $f(\cdot)$ 'nin çok değişkenli normal olarak dağıldığı varsayımını temel almaktadır. Karma lojit seçim modellerinde faydanın gözlemlenemeyen bölümünün dağılımına ilişkin varsayımda ise bu bölüm iki parçaya ayrılmıştır. Faydanın gözlemlenemeyen bölümünün bir parçasının araştırmacı tarafından belirlenen herhangi bir dağılıma uyduğu ve diğer

bir parçasının ise bağımsız eş dağılımlı olduğu varsayılmaktadır. Probit ve karma lojit ile ortaya çıkan integraller analitik olarak çözülebilecek kapalı bir forma indirgenememektedir. Bu nedenle bu modellerin çözümleri, benzetimler aracılığı ile nümerik olarak hesaplanmaktadır. Bahsedilen farklı seçim modelleri, gözlemlenemeyen faktörlerin yoğunluklarının, $f(\varepsilon_n)$, farklı tanımlamalarından elde edilir. Kullanılacak modele karar verirken hata terimi dağılım varsayımını ve bu varsayımın altında yatan nedenleri belirlemek gerekir.

Çoklu lojit modeller en yaygın olarak kullanılan kesikli seçim modelleridir. ε_{ni} 'nin her i alternatifi için bağımsız eş dağılımlı uç değer olduğu varsayımını temel almaktadır. Hata teriminin bağımsız eş dağılımlı uç değer olması varsayımına göre, gözlemlenemeyen faktörler, alternatifler arasında korele değildir ve aynı zamanda tüm alternatifler için aynı varyansa sahiptir.

Diğer RFB seçim model türlerinin gelişimi büyük oranda lojit modelle ortaya çıkan bağımsızlık varsayımının yarattığı sorunlara çözüm bulmak için ortaya çıkmıştır. Genelleştirilmiş uç değer (GUD) modelleri, uç değer dağılımının genelleştirmesine dayanmaktadır. Farklı birçok genelleştirme şekli tanımlanmaktadır. Bu genelleştirme şekillerinin ortak özelliği, alternatifler arasında gözlemlenemeyen faktörlerde korelasyona izin verilmesidir. Korelasyonun sıfır olduğu özel durumda, GUD modelleri çoklu lojit modele indirgenmektedir. GUD modelin türüne bağlı olarak, korelasyonlar çok ya da daha az esnek olabilir. Örneğin, bir GUD modeli, alternatifleri birkaç gruba ayırabilir. Bu durumda, bir grup içindeki tüm alternatiflerin gözlemlenemeyen faktörlerinin aynı korelasyona sahip olduğu ve farklı gruplar arasındaki alternatifler arasında korelasyon olmadığı varsayılmaktadır. Daha karmaşık GUD modelleri (çapraz yuvalı, sıralı, genelleştirilmiş, vb.) ise temel olarak her tür korelasyona izin vermektedir.

Probit modeller, gözlemlenemeyen faktörlerin bileşik olarak normal dağıldığı varsayımına dayanmaktadır: $\underline{\varepsilon}_n = \langle \varepsilon_{n1}, \dots, \varepsilon_{nj} \rangle \sim N(0, \Omega)$. Tam kovaryans matrisi Ω ile her tür korelasyon ve heteroskedastisite (heterojen varyanslar) ele alınabilmektedir. Alternatifler veya farklı zamanlar arasında korelasyon olması durumunda probit modellerin kullanılabilmesi önemli bir fayda sağlamaktadır. Probit modellerin bir sınırlaması, gözlemlenemeyen faktörlerin dağılımının, sadece normal

olduğunun varsayılabilmesidir. Ancak bazı durumlarda gözlemlenemeyen faktörler normal olarak dağılmamaktadır.

Bu duruma çözüm olarak da karma lojit modeller geliştirilmiştir. Karma lojit modeller gözlemlenemeyen faktörlerin herhangi bir dağılıma uymasına izin vermektedir. Bu modellerin özelliği, gözlemlenemeyen faktörlerin tüm korelasyon ve heteroskedastisite değerlerini ayrı bir parçaya ve BED uç değeri de başka bir parçaya ayırmasıdır. İlk parçanın, normal olmayan dağılımları da içerecek şekilde herhangi bir dağılıma uyabileceği kabul edilmektedir. Karma lojit model, yukarıda anlatılan kesikli seçim modellerinin en genel halidir. Yani, karma lojit model için özel durumlar tanımlanarak, yukarıda tanımlanmış herhangi bir kesikli seçim modeline dönüştürülebilir (Train, 2009).

6.2.1 Çoklu lojit modeller

Çoklu lojit modeller seçim olasılıklarını veren integralin kolay çözüme olanak veren kapalı forma dönüşmesi nedeniyle en sık kullanılan lojit modellerdir. Bu modellerin tanımında, tüm hata terimlerinin bağımsız ve benzer uç değer olduğu varsayılmaktadır. Bu tür gözlemlenemeyen fayda dağılımına, Gumbel tip I uç değer dağılımı adı da verilmektedir. Gumbel dağılım özelliklerine göre, ε gumbel dağıldığında dağılım fonksiyonu, $F(\varepsilon) = \exp [-e^{-\mu(\varepsilon-\eta)}]$, $\mu > 0$ şeklinde tanımlanır. Buna göre η konum parametresidir ve dağılımın tepe değeridir. Dağılımın ortalaması, ν Euler sabiti (~ 0.577) iken $\eta + \nu/\mu$ 'dir ve varyansı ise $\pi^2/6\mu^2$ 'dir.

Lojit kavramının kullanımı, iki uç değer Gumbel dağılması durumunda, aralarındaki farkın lojistik olarak dağılmasından kaynaklanmaktadır. Yani, ε_{nj} ve ε_{ni} BED uç değer ise, aralarındaki fark $\varepsilon_{nji}^* = \varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni}$ (6.3)'te verilen lojistik dağılıma uymaktadır:

$$F = \frac{e^{\varepsilon_{nji}^*}}{1 + e^{\varepsilon_{nji}^*}} \quad (6.3)$$

öyle ki, n karar vericiyi, j ve i seçim alternatiflerini temsil etmektedir.

Bu modellerle ilgili önemli olan varsayım, dağılımın şekli değil, hata terimlerinin birbirinden bağımsız olmasıdır. Bu bağımsızlık, alternatiflerin gözlemlenemeyen fayda bölümleri arasında ilişki olmadığı anlamına gelmektedir.

Lojit seçim olasılıkları (6.4)'teki gibi tanımlanabilir (McFadden, 1974):

$$\begin{aligned}
Pr_{ni} &= \Pr\{\varepsilon_{nj} - \varepsilon_{ni} < V_{ni} - V_{nj} \forall j \neq i\} \\
&= \Pr\{\varepsilon_{nj} < \varepsilon_{ni} - V_{ni} + V_{nj} \forall j \neq i\}
\end{aligned} \tag{6.4}$$

ε_{ni} biliniyorsa, bu ifade her ε_{nj} 'nin $(\varepsilon_{ni} - V_{ni} + V_{nj})$ 'de birikimli olasılık yoğunluk dağılımdır. ε 'ler bağımsız olduğu için tüm $j \neq i$ 'lerin üzerindeki birikimli olasılık yoğunluk dağılımı, denklem (6.5)'teki gibi tüm dağılımların çarpımıdır:

$$Pr_{ni} | \varepsilon_{ni} = \prod_{j \neq i} e^{-e^{-(\varepsilon_{ni} + V_{ni} + V_{nj})}} \tag{6.5}$$

ε_{ni} 'ler bilinmediğine göre, seçim olasılığı, denklem (6.6)'da verilen $P_{ni} | \varepsilon_{ni}$ 'nin tüm ε_{ni} değerleri üzerinde yoğunluğu ile ağırlıklandırılmış integralidir (Train, 2009).

$$Pr_{ni} = \int \left(\prod_{j \neq i} e^{-e^{-(\varepsilon_{ni} + V_{ni} + V_{nj})}} \right) e^{-\varepsilon_{ni}} e^{-e^{-\varepsilon_{ni}}} d\varepsilon_{ni} \tag{6.6}$$

Bazı cebir işlemlerinden sonra bu integral, kapalı formdaki denklem (6.7) halini almaktadır (Ben-Akiva ve Lerman, 1985):

$$Pr_{ni} = \frac{e^{V_{ni}}}{\sum_j e^{V_{nj}}} \tag{6.7}$$

Birçok seçim modelinde, her karar vericiye özel, seçim alternatifleri kümesi, C_n ile tanımlanmaktadır. Örneğin, ulaşım türü seçimi probleminde özel aracı olmayan bir kişi için genel seçim kümesinde bulunan özel araç alternatifi seçilebilecek, geçerli bir alternatif değildir.

Temsili fayda genellikle lineer olarak parametreler ile tanımlanır. Lojit modellerde, faydanın lineer olmayan tanımlamaları üzerine incelemeler de mevcuttur (Karlstrom, 2000). Lineer tanımlamalarda temsili fayda şu hali almaktadır: $V_{nj} = \underline{\beta} \underline{x}_{nj}$, öyle ki, $\underline{x}_{nj}$ alternatif j ile ilgili gözlemlenen değişkenler vektörüdür. Bu tanımlama ile lojit olasılıklar denklem (6.8) halini almaktadır:

$$Pr_{ni} = \frac{e^{\underline{\beta} \underline{x}_{ni}}}{\sum_{j \in C_n} e^{\underline{\beta} \underline{x}_{nj}}} \tag{6.8}$$

McFadden (1974), bu seçim olasılıklarıyla, log-olabilirlik fonksiyonundan nümerik en büyükleme yöntemiyle $\underline{\beta}$ parametreler vektörünün tahmin edilebileceğini

göstermiştir. Birçok paket programda, faydayı temsil eden lineer parametrelili lojiti modellerinin tahmin yöntemleri bulunmaktadır.

Çoklu lojiti modellerin kapalı bir form ile basit bir şekilde tahmin edilebilmesinin sağladığı gücün yanı sıra bir takım sınırlamaları da vardır. Bu sınırlamalar aşağıdaki üç başlık altında özetlenebilir (Train, 2009):

- Çoklu lojiti modeller ile karar vericinin gözlemlenen özellikleri ile ilgili sistematik beğeni farklılıkları temsil edebilir fakat gözlemlenen özelliklere bağlı olmayan (rassal) zevk farklılıkları temsil edilememektedir.
- Temsili faydanın araştırmacı tarafından tanımlamasına bağlı olarak çoklu lojiti modeller, alternatifler arasında orantısali ikameyi ele alabilir. Ancak daha esnek ikame özelliğini yansıtabilmek için başka modellere ihtiyaç vardır.
- Zaman içinde tekrarlanan seçimler için gözlemlenemeyen faktörler bağımsızsa, çoklu lojiti modeller, durum bağımlılığı da dahil olmak üzere tekrarlayan seçim dinamiklerini gösterebilir. Ancak gözlemlenemeyen faktörler zaman içinde korele ise çoklu lojiti bu durumları ele alamamaktadır.

6.2.2 Genelleştirilmiş uç değeri modelleri

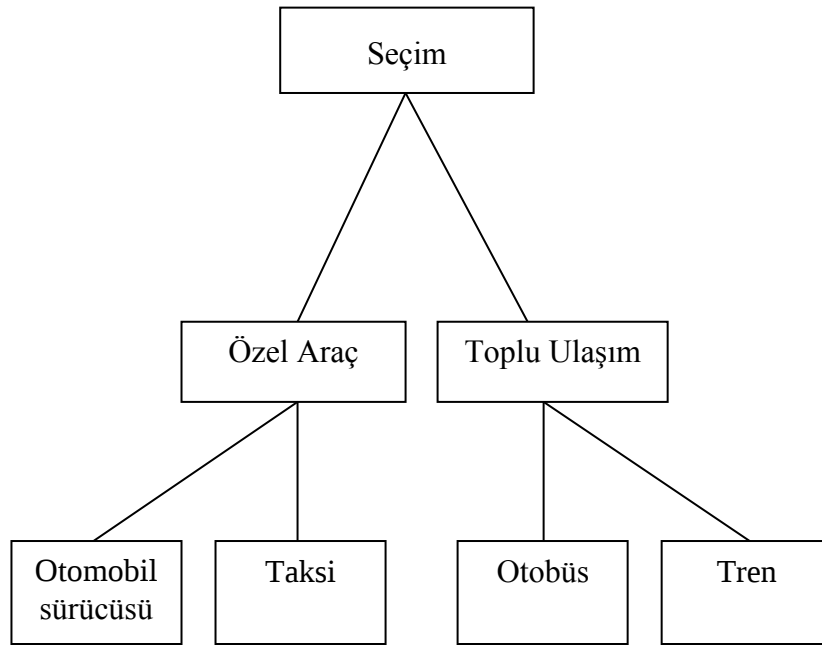
Genelleştirilmiş uç değeri (GUD) modelleri çeşitli ikame şekli sunan büyük bir modeller sınıfını oluşturmaktadır. Bu modelleri birleştiren özellik, tüm alternatifler için faydanın gözlemlenemeyen bölümünün genelleştirilmiş uç değeri olarak birleşik dağılmasıdır. Bu dağılım, alternatifler arasında korelasyona izin verir. Genelleştirilmiş uç değeri adı verilmesinin nedeni, standart lojiti modeller için kullanılan tek değişkenli uç değeri dağılımının bir genelleştirmesinin yapılmasıdır.

GUD ailesinin en geniş kullanıma sahip olan üyesine, yuvalı (İng.: nested) lojiti ismi verilir. Yuvalı lojiti'in fonksiyonel formu diğer GUD model tiplerine göre daha basit ve oldukça geniş bir ikame şekli sağlar. Yuvalı lojiti modellerde, alternatifler gruplara öyle ayrılır ki, aynı gruptaki alternatiflerin gözlemlenemeyen özellikleri ortaktır veya grup içindeki alternatifler, diğer gruptaki alternatiflere göre birbirinin ikamesi olarak daha yakındır. Alternatiflerin gruplara ayrılması açısından şu özellikler dikkate alınmaktadır (Train, 2009):

- Her grup içindeki alternatifler için bağımsız, benzer dağılımlı (BED) varsayımı geçerlidir.

- Farklı gruplardaki alternatifler için bağımsız, benzer dağılımlı olma özelliği genellikle geçerli değildir.

Yuvalı lojit bazen, alternatiflerin gruplandırılmasını göstermek için kullanılan hiyerarşik şekiller nedeniyle ağaç lojit olarak da adlandırılmaktadır. Bu gösterimde bir ağaç yapısındaki gibi her dal bir alternatifler alt kümesini, her daldaki yapraklar ise bir alternatifi gösterir. Şekil 6.2’de bir çalışanın iş yolculuğunda ulaşım türü seçimi için bir yuvalı lojit gösterimi vardır. İki dal “araba” ve “toplu ulaşım” isimli alternatif alt gruplarını gösterir. Her dalda da iki yaprak vardır, bunlar da alt kümeler içindeki alternatifleri temsil eder. Dal içindeki yapraklar arasında ikame vardır fakat dallar arasında yoktur. Yuvalı lojit modeller sıklıkla ulaşım türü seçimi ve çok boyutlu seçimler (örn. birleşik varış noktası ve ulaşım türü seçimi) için kullanılır (Ramming, 2002).



Şekil 6.2 : Ulaşım türü seçimi için ağaç gösterimi.

Yuvalı lojit modelleri ile seçim olasılıklarını formüle etmek için j alternatifleri kümesi K sayıda birbiri ile örtüşmeyen alt kümeye ayrılır ve $B_1, B_2, \dots, B_K$ ile gösterilir. Gözlemlenemeyen fayda vektörünün, $\underline{\varepsilon}_n = < \varepsilon_{n1}, \dots, \varepsilon_{nJ} >$, denklem (6.9)’da verilen birikimli dağılımı olduğu varsayılmaktadır (Ben-Akiva ve Lerman, 1985):

$$\exp\left(-\sum_{k=1}^K \left(\sum_{j \in B_k} e^{-\varepsilon_{nj}/\lambda_k}\right)^{\lambda_k}\right) \quad (6.9)$$

λ_k parametresi, k yuvasındaki alternatiflerin gözlemlenmeyen faydası arasındaki bağımsızlık derecesinin bir ölçüsüdür. λ_k 'nin yüksek bir değeri daha fazla bağımsızlık ve daha az korelasyon anlamına gelir. λ_k 'nin 1'e eşit olması hiç korelasyon olmadığını gösterir ve bu durumda model standart lojit modele indirgenir.

Faydanın gözlemlenmeyen bileşenin bu şekilde dağılması $i \in B_k$ alternatifi için seçim olasılıklarının, denklem (6.10)'daki gibi ortaya çıkmasını sağlar (Ben-Akiva ve Lerman, 1985):

$$\Pr_{ni} = \frac{e^{V_{ni}/\lambda_k} \left(\sum_{j \in B_k} e^{V_{nj}/\lambda_k}\right)^{\lambda_k - 1}}{\sum_{l=1}^K \left(\sum_{j \in B_l} e^{V_{nj}/\lambda_l}\right)^{\lambda_l}} \quad (6.10)$$

λ_k parametresi yuvalar arasında farklı olabilir. Bu durum her yuva içerisindeki gözlemlenmeyen faktörler arasında farklı korelasyon olduğunu gösterir. Araştırmacı, tüm yuvalar veya bazıları için λ_k 'ları aynı olacak şekilde sınırlandırabilir.

Yuvalı lojit modellerde karar vericilerin seçim kümesi C_n 'nin K yuvaya ayrılması matematiksel olarak denklem (6.11) ile gösterilebilir.

$$C_n = \bigcup_{k=1}^K C_{kn} \text{ ve } C_{kn} \cap C_{k'n} = \emptyset, \forall k \neq k' \quad (6.11)$$

Denklem (6.10)'da verilen yuvalı lojit olasılığı, denklem (6.12) ile bir alternatifin içinde olduğu yuvanın seçimi ve bu yuva içinden alternatifin seçiminin çarpımı olarak yeniden formüle edilebilir:

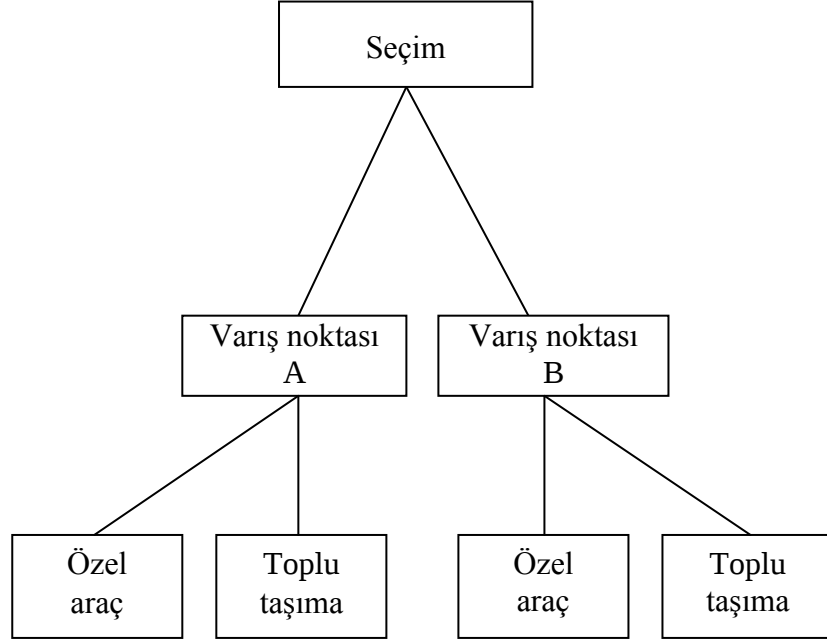
$$\Pr\{i | C_n\} = \Pr\{C_{kn} | C_n\} \Pr\{i | C_{kn}\} \quad (6.12)$$

Kendi yuvası içinde bir alternatifin seçim olasılığı ise çoklu lojit formülasyonunu temel alan denklem (6.13) ile hesaplanır:

$$\Pr\{i | C_{kn}\} = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{j \in C_{kn}} e^{V_{jn}}} \quad (6.13)$$

Bir yuvanın sağladığı fayda, $I_{C_{kn}}$, o yuva içinde alternatiflerin sağladığı faydanın birleşimidir. Şekil 6.3'te verilen bir varış noktası-ulaşım türü yuvalı seçim modeli

için bir yuvanın sağladığı fayda yuvadaki alternatiflerin sağladığı en büyük faydanın beklenen değerlerine bağlıdır. Beklenen en büyük fayda, denklem (6.14) ile verilen “logtoplama” (İng.: logsum) formülasyonu ile hesaplanabilir (Ben-Akiva ve Lerman, 1985):



Şekil 6.3 : Varış noktası koşulu altında ulaşım türü seçimi.

$$I_{C_{kn}} = \ln \sum_{j \in C_{kn}} e^{V_{jn}} \quad (6.14)$$

$I_{C_{kn}}$, bir yuvadaki tüm alternatiflerin faydasını gösterdiği için toplam değer veya toplam fiyat olarak da adlandırılır. Bir varış noktası seçim yuvasının toplam değeri bir erişilebilirlik ölçütü olarak da kullanılmaktadır (Walker, 2001; Ramming, 2002).

Yuvalı modelin parametreleri, standart en iyi olabilirlik yöntemleri ile tahmin edilebilir. Yukarıda verilen seçim olasılıkları ifadesi log-olabilirlik fonksiyonuna yerleştirildiğinde modelin parametreleri için açık bir fonksiyon verir. Genel koşullarda bu fonksiyonu en büyükleyen parametre değerleri tutarlı ve etkindir (Brownstone ve Small, 1989). Yuvalı modelleri en iyi olabilirlik ile tahmin etmek için paket programlar mevcuttur. Hensher ve Greene (2002) yuvalı lojit için kullanılabilecek paket programlarla ilgili bir rehber sunmuşlardır.

Yuvalı lojit modellerin yanı sıra, farklı ihtiyaçlarını karşılamak üzere GUD prensiplerini temel alan farklı modeller geliştirilmiştir. Bazı durumlarda bir alternatifin birden fazla yuvanın elemanı olması daha uygun doğru sonuçlar vermektedir, bu amaçla çapraz yuvalı (İng.: cross-nested) modeller

tanımlanmıştır. Vovsha (1997), Bierlaire (1998), ve Ben-Akiva ve Bierlaire (1999) çapraz yuvalı lojit (ÇYL) modeller üzerine çalışmalar sunmuştur.

Small (1987) ise, bir hanenin sahip olduğu araba sayısı (0,1,2,...) gibi alternatiflerin doğal bir sırasının olduğu durumları ele almıştır ve sıralı genelleştirilmiş uç değer (SGUD) adını vermiştir. Bu modellerde, herhangi iki alternatif arasındaki gözlemlenemeyen fayda korelasyonları, sıralamadaki yakınlıklarına bağlıdır. Bu modelde de SGUD gibi örtüşen yuvalar vardır fakat her yuva iki alternatif içerir ve sırası yakın çift için yüksek korelasyon olacak şekilde bir örüntü belirlenmiştir. Chu (1981, 1989) her alternatif çiftinin kendi korelasyonu ile bir yuva oluşturduğu çiftli kombinatoriyel lojit (ÇKL) ismi verilen bir model geliştirmiştir. Bu modellerde J alternatif varsa, her alternatif $J-1$ yuvanın elemanıdır.

Wen ve Koppelman (2001), ÇKL ve diğer GUD modellerini özel durumu olarak içeren genelleştirilmiş yuvalı lojit modeller adı altında genel bir form önermişlerdir. Her alternatif birden fazla yuvanın üyesi olabilir. Bir alternatif bir yuvaya çeşitli derecelerde ait olabilir. α_{jk} gibi bir üyelik parametresi, alternatif j 'nin k yuvasına ne derecede ait olduğunu gösterir. Bu parametrenin sıfır değerini alması alternatifin o yuvanın hiçbir şekilde elemanı olmadığını gösterir.

Yuvalı lojit modeldekine benzer şekilde her yuva için λ_k parametresi tanımlanır. Bu parametre yuva içerisinde alternatifler arası bağımsızlık derecesini gösterir: yüksek λ_k daha fazla bağımsızlık ve daha az korelasyon demektir. n kişinin i alternatifini seçme olasılığı denklem (6.15) ile verilmiştir (Train, 2009):

$$Pr_{ni} = \frac{\sum_k (\alpha_{ik} e^{V_{ni}})^{1/\lambda_k} (\sum_{j \in B_k} (\alpha_{jk} e^{V_{nj}})^{1/\lambda_k})^{\lambda_k - 1}}{\sum_{l=1}^K (\sum_{j \in B_l} (\alpha_{jl} e^{V_{nj}})^{1/\lambda_l})^{\lambda_l}} \quad (6.15)$$

6.2.3 Probit ve karma lojit modeller

Probit modellerdeki hata terimi, çoklu lojit ve genelleştirilmiş uç değer modellerinden farklı olarak Tip I uç değer dağılımını değil çok değişkenli normal dağılımı temel alır. Çoklu probit modellerin kullanımını Daganzo (1977) önermiştir.

Probit modeller daha önce lojit modellerin özelliklerinde açıklanan bazı sınırlamaları belirli bir ölçü de gevşetebilir. Bu modellerde kişiler arası zevk varyasyonları dikkate alınabilir ve alternatifler arasında her türlü ikame şekline izin verilir. Buna ek olarak,

zaman boyunca korele hata terimlerine neden olan panel verisiyle de uygulanabilir. Probit modellerin sınırlaması, faydanın gözlemlenemeyen bölümünün normal dağılmasını gerektirmesidir. Bazı durumlarda normal dağılım, rassal bileşen için uygun bir temsil sağlarken bazı koşullarda modelin rassal bileşeni normal dağılım uymayabilir. Buna çözüm olarak karma lojit modeller önerilmiştir.

Karma lojit modeller, Gauss tipi ve Tip I uç değer hata terimlerinin birlikte kullanılmasını temel alan seçim modelleridir. İlk olarak, McFadden ve Train (2000) tarafından önerilmiştir. Karma lojit, herhangi bir rassal faydaya yakınsayabilecek oldukça esnek bir modeldir. Probite benzer şekilde, diğer lojit modellerin sınırlandırmaları olan zevk varyasyonları, sınırlandırılmamış ikame şekilleri ve zaman boyunca gözlemlenemeyen faktörlerdeki korelasyonu ele alabilir. Probit'ten de genel bir modeldir çünkü sadece normal dağılımlarla sınırlı değildir.

Karma lojit olasılıklar, standart lojit olasılıkların, parametre yoğunlukları üzerindeki integralleridir. Daha açık ifade edilirse, bir karma lojit model seçim olasılıkları denklem (6.16)'da verilen formda ifade edilebilen herhangi bir model olabilir (Train, 2009):

$$Pr_{ni} = \int L_{ni}(\underline{\beta}) f(\underline{\beta}) d\underline{\beta} \quad (6.16)$$

$$L_{ni} = \frac{e^{V_{ni}(\underline{\beta})}}{\sum_{j=1}^J e^{V_{nj}(\underline{\beta})}}$$

$L_{ni}(\underline{\beta})$, $\underline{\beta}$ parametresinde hesaplanan lojit olasılığıdır. $f(\underline{\beta})$ bir olasılık yoğunluk fonksiyonudur. $V_{ni}(\underline{\beta})$ faydanın gözlemlenen bölümüdür ve $\underline{\beta}$ parametresine bağlıdır. Fayda $\underline{\beta}$ vektörüne göre lineer ise, $V_{ni}(\underline{\beta}) = \underline{\beta} \underline{x}_{ni}$ 'dir. Bu durumda karma lojit olasılık denklem (6.17)'deki genel formu alır:

$$Pr_{ni} = \int \frac{e^{\underline{\beta} \underline{x}_{ni}}}{\sum_j e^{\underline{\beta} \underline{x}_{nj}}} f(\underline{\beta}) d\underline{\beta} \quad (6.17)$$

Karma lojit modellerde seçim olasılıkları, lojit formülün, $f(\underline{\beta})$ olasılık yoğunluğundan alınan ağırlıklar olan farklı $\underline{\beta}$ değerleri ile ağırlıklı ortalaması olarak hesaplanmaktadır. İstatistik literatüründe, birkaç fonksiyonun ağırlıklı ortalamaları karma bir fonksiyon olarak isimlendirilir ve ağırlıkların alındığı olasılık yoğunluğuna

da karma dağılımı denir. Çoklu lojit, karma dağılımı $f(\underline{\beta})$ 'nın b sabit parametrelerde dejenere olduğu özel bir durumdur (Train, 2009).

$\underline{\beta}$ 'nin olasılık yoğunluğunu belirleyen parametreler $\underline{\delta}$ ile gösterilsin. Bu yoğunluk, $f(\underline{\beta}|\underline{\delta})$ ile temsil edilebilir. Karma lojit seçim olasılıkları $\underline{\beta}$ 'nin değerlerine bağlı değildir. Bu olasılıklar $\underline{\delta}$ 'nin fonksiyonu olan $\Pr_{ni} = \int L_{ni}(\underline{\beta}) f(\underline{\beta}|\underline{\delta}) d\underline{\beta}$ 'dir. $\underline{\beta}$ parametreleri integrasyon ile yok olmaktadır. Karma lojit modellerde, $\underline{\beta}$ parametreleri, ε_{nj} hata terimlerine benzerdir çünkü her ikisi de seçim olasılıklarını elde etmek için entegre edilen rassal terimler olarak tanımlanmaktadır.

Probit ve karma lojit modellerin tahmin edilmesi diğer lojit modellerdeki gibi kapalı bir forma indirgenemedikleri için daha karmaşıktır. Bu modellerin tahmini için en iyi benzetimli olabilirlik (Bolduc, 1999) veya bayes yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle ilgili kapsamlı bilgi için Train (2009)'a başvurulabilir.

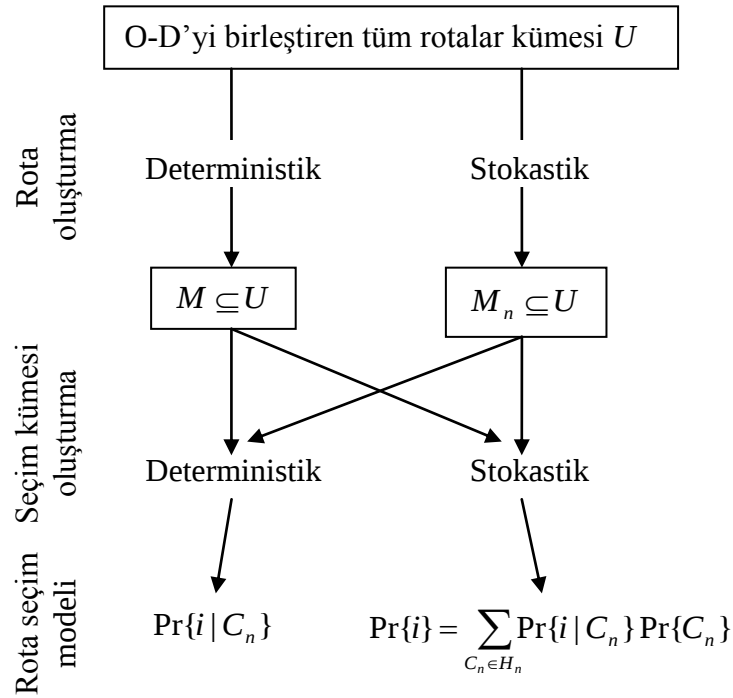
6.3 Seçim Kümesinin Oluşturulması

Ürün veya hizmet alternatifleri arasında karar vericilerin yaptığı seçimlerin modellenmesi için bazı durumlarda önceden kişilerin içinden seçim yapacağı alternatifleri içeren seçim kümesinin belirlenmesi yaklaşımı benimsenmektedir. Bundan sonra, belirlenen alternatifler arasından hangisinin seçileceği belirlenmektedir. Önceki bölümde ele alınan rassal fayda en büyükleme modelleri de genel olarak ikinci bölümde kullanılmaktadır.

Seçim kümelerinin modellenmesi, özellikle bazı seçim problemlerinde, ayrı bir süreç olarak ele alınmaktadır. Örneğin, gerçek bir ulaşım şebekesinde başlangıç noktası, O ile varış noktası, D 'yi birleştiren çok fazla sayıda rota mevcuttur. Oysa yolcular, OD arasında yapacakları yolculuk rotasını seçerken OD 'yi birleştiren sayısız rotadan sadece bir kısmını dikkate alarak seçimlerini yapmaktadır. Literatürde, kişilerin seçim yaparken en fazla 7 civarında alternatifini dikkate alarak seçim yaptıkları sonucuna varılmıştır (Bovy ve Stern, 1990). Seçim kümesi oluşturma aşamasında araştırmacı, bir OD 'yi birleştiren tüm rotaları içeren evrensel küme U içinden belirli veya stokastik yaklaşımlar ile rota oluşturma algoritmalarını kullanarak karar vericinin dikkate aldığı seçim kümesini belirlemeye çalışır. Bu süreç Şekil 6.4'te gösterilmiştir (Frejinger, 2008).

Deterministik yaklaşımlarda her OD çifti için aynı seçim kümesi M oluşturulur, ancak stokastik yaklaşımlarda karar vericiye özel veya gözleme özel seçim kümeleri M_n oluşturulmaktadır. Karar verici n için tanımlanan C_n , tüm olurlu alternatifleri deterministik bir yöntemle veya M 'nin tüm boş olmayan alt kümeleri H_n ile bir olasılık model kullanarak belirlenir. $\Pr\{i|C_n\}$, C_n verilmişken rota i 'nin olasılığıdır.

Seçim kümelerinin olasılık modeller ile belirlenmesi oldukça güç ve karmaşık bir işlemdir ve gerçek boyutlu uygulamalar için hiç kullanılmamıştır (Frejinger, 2008). Bu modellerle ilgili daha detaylı bilgi Swait ve Ben-Akiva (1987), Ben-Akiva ve Boccara (1995) ve Morikawa (1996)'nın çalışmalarında bulunabilir. Literatürde karmaşık olasılık seçim küme modellerini basitleştirmek için seçim kümelerini bulanık kümeler olarak ele alan çalışmalar da mevcuttur (Cascetta ve Papola, 2001; Cascetta ve diğ., 2002).



Şekil 6.4 : Seçim kümesi oluşturma süreci.

Deterministik seçim kümeleri oluşturulurken özelliklerine göre eleme yöntemi (Tversky, 1972) kullanılabilir. Bu yöntemde belirli bir eşik değerini aşan alternatifler seçim kümesinden çıkartılır veya karar vericiye ait belirli bir sosyo-ekonomik özelliğe göre alternatif, seçim kümesine dahil edilmeyebilir. Deterministik seçim kümesi oluşturma kuralları genellikle sezgisellere veya göz kararı uygulamalara dayanır (Ramming, 2002).

Rota seçim kümesi oluşturma problemi için literatürde kabul görmüş, Dial (1971) tarafından belirlenen olurlu rota seçim kriterleri mevcuttur. Buna göre, bir rota ancak yolcuyu başlangıç noktasından varış noktasına doğru yaklaştırıyorsa olurludur. Rota seçimi probleminde rotalar genellikle en kısa k rota algoritması ile belirlenmektedir. Bu algoritmaya göre, mesafe, süre, maliyet vb. özelliklerin en küçüklendiği k adet rota oluşturulmaktadır. Rota oluşturmak için kullanılan diğer yöntemler arasında bağlantı çıkarma veya cezalandırma literatürde araştırılmıştır. Bağlantı çıkarma yöntemi, şebeke üzerinde belirli bağlantılar olmadan en kısa rota algoritması ile yeni rotalar belirlenmesine dayanır. Başka bir yöntem bağlantı cezalandırmada, daha önce oluşturulan bir rotadaki bir bağlantı ile aynı bağlantıya sahip yeni bir rotada bu bağlantının en iyilenecek özelliği cezalandırılmaktadır. Ayrıca rota probleminde Monte Carlo simülasyon yöntemi de kullanılarak şebeke üzerindeki özelliklerin belirli bir dağılıma göre benzetimi ile rotaların oluşturulması da kullanılan başka bir yöntemdir. Bu yöntemlerle ilgili daha detaylı bilgi için Ben-Akiva ve diğ. (1984) Bovy ve Stern (1995), Ramming (2002), Fiorenzo-Catalano (2007) ve Frejinger (2008) kaynaklarına başvurulabilir.

6.4 Seçim Modellerinin Tahmin Edilmesi

Bu bölümde kapalı forma indirgenebilen lojit formülasyonları için örnek kümesinin rassal belirlenmesi durumunda kullanılan en büyük log-olabilirlik tahmin yöntemi incelenecektir. Log-olabilirlik tahmin yönteminin lojit modeller için kullanımına ait bu bölümde sunulan bilgiler, Train (2009)'den alınmıştır.

Örnek kümesinin rassal belirlenmesi durumunda tahmin için kullanılan örnek kümesi seçimlerden bağımsızdır. Ayrıca temsili faydayı oluşturan açıklayıcı değişkenlerin de faydanın gözlemlenemeyen bileşeninden bağımsız olduğu varsayılmaktadır. N sayıda karar vericiye ait bir örnek ile tahminde, çoklu ve genelleştirilmiş uç değer lojit modellerin kapalı formları için geleneksel en büyük olabilirlik yöntemi uygulanmaktadır.

n kişinin örnekte gözlemlenen gerçek seçimi olan alternatifini seçme olasılığı şöyle ifade edilmektedir: $\prod_i (\text{Pr}_{ni})^{y_{ni}}$, öyle ki, n kişisi i alternatifini seçmişse $y_{ni} = 1$ diğer durumda $y_{ni} = 0$ 'dır. Tüm seçilmemiş alternatifler için $y_{ni} = 0$ olacağı için $\text{Pr}_{ni} = 1$ olacaktır. Dolayısıyla, bu terim sadece seçilen alternatifin olasılığına eşittir. Her

karar vericinin seçimi, diğer karar vericilerin seçimlerinden bağımsız ise, her kişinin gerçekte seçtiği alternatifi seçme olasılığı denklem (6.18)'de verilmiştir:

$$L(\underline{\beta}) = \prod_{n=1}^N \prod_i (\text{Pr}_{ni})^{y_{ni}} \quad (6.18)$$

öyle ki, $\underline{\beta}$ modelin parametrelerini içeren bir vektördür. Bu durumda log-olabilirlik fonksiyonu denklem (6.19)'daki hali almaktadır:

$$LL(\underline{\beta}) = \sum_{n=1}^N \sum_i y_{ni} \ln \text{Pr}_{ni} \quad (6.19)$$

Bu fonksiyonu en büyükleyen $\underline{\beta}$ değeri kestiricidir. Lineer parametreler ile tanımlanan fayda için $LL(\underline{\beta})$ 'nın global olarak konkav olduğu literatürde ispatlanmıştır (McFadden, 1974). Bu tür modellerin tahmini için birçok paket program sunulmuştur.

Olabilirlik fonksiyonunun türevi, en büyük noktasında her parametreye göre sıfır değerini almaktadır. Bu nedenle en büyük olabilirlik tahminleri, (6.20)'de verilen birinci derece koşulu sağlayan $\underline{\beta}$ vektörünün kestirimidir. $\underline{\beta}$ vektörü Z sayıda ürün özelliğine ilişkin parametreleri içeren bir satır vektörüdür. β_z , $\underline{\beta}$ vektörünün z . elemanıdır.

$$\frac{\partial LL(\underline{\beta})}{\partial \beta_z} = 0, z = 1, \dots, Z \quad (6.20)$$

Faydanın lineer olduğu, $V_{nj} = \underline{\beta} \underline{x}_{nj}$, varsayılırsa, bu ifade denklem (6.21) halini almaktadır. Bu dönüşüm ispatı Ek.A'da verilmiştir (Train, 2009). Denklem (6.21)'i çözmek için kullanılan kestiricilere, kestiricileri tanımlamak için model hataları ve değişkenler arasındaki moment koşullarını (bu problemde korelasyonlar) kullandıkları için momentler yöntemi (İng.:method-of-moments) adı verilmektedir. Bu ifadenin düzenlenmiş ve örnek hacmi n 'ye bölünmüş hali (6.22)'de verilmiştir.

$$\sum_n \sum_i (y_{ni} - \text{Pr}_{ni}) \underline{x}_{ni} = 0 \quad (6.21)$$

$$\frac{1}{n} \sum_n \sum_i y_{ni} \underline{x}_{ni} = \frac{1}{n} \sum_n \sum_i \text{Pr}_{ni} \underline{x}_{ni} \quad (6.22)$$

Örnek kümesinde kişiler tarafından seçilen alternatiflere ilişkin $\underline{x}$ 'lerin ortalaması, $\underline{x}_{\text{ort}}$ 'in formülasyonu denklem (6.23)'te; örnek kümesindeki kişiler için tahmin edilen seçimlere ilişkin $\underline{x}$ 'lerin ortalaması, $\hat{\underline{x}}$ 'in formülasyonu denklem (6.24)'te verilmiştir.

$$\underline{x}_{\text{ort}} = \frac{1}{n} \sum_n \sum_i y_{ni} \underline{x}_{ni} \quad (6.23)$$

$$\hat{\underline{x}} = \frac{1}{n} \sum_n \sum_i \text{Pr}_{ni} \underline{x}_{ni} \quad (6.24)$$

Denklem (6.22)'ye göre bu iki ortalama en büyük olabilirlik tahminleri için eşittir. Diğer bir deyişle, $\underline{\beta}$ 'nın en büyük olabilirlik tahminleri, her açıklayıcı değişkenin tahmin edilen ortalamasını, örnekte gözlemlenen ortalamaya eşitlemektedir. Böylece model ile yapılan tahminler, modelin, örnekte gözlemlenen ortalamaları vermesini sağlamaktadır (Train, 2009).

Lojit modellerde sıklıkla kullanılan alternatife özel sabitler için en büyük olabilirlik kestiricisinin bu özelliklerinin yorumlanması önemlidir. Alternatife özel sabit, bir alternatifi tanımlayan kukla bir değişkene, $d_i^j = 1, i = j$ ait katsayıdır. Denklem (6.22)'ye göre tahmin edilen alternatife özel sabit denklemi (6.25)'te verilmiştir.

$$\frac{1}{n} \sum_n \sum_i y_{ni} d_i^j = \frac{1}{n} \sum_n \sum_i \text{Pr}_{ni} d_i^j, \text{ öyle ki } S_j = \hat{S}_j \quad (6.25)$$

S_j , örnek kümesinde j alternatifini seçen kişilerin payı ve $\hat{S}_j$, j alternatifinin tahmin edilen payıdır. Alternatife özel sabitler ile örnek için tahmin edilen alternatiflerin payları ile gözlemlenen paylar eşitlenmektedir. Böylece tahmin edilen model örnek içinde ortalama düzeyinde doğrulanmaktadır. Bu özellik, lineer regresyon modellerindeki sabitlerin, bağımlı değişkenin tahmin edilen değerinin ortalamasının, örnekteki gözlemlenen ortalamaya eşitlenmesindeki rolüne benzer (Train, 2009).

Bir seçim modelinin tanımlanması, tahmini ve bu tahminleri nasıl kullanıldığını küçük bir örnek ile gösterelim. Bir yolcunun iş yolculuğunda iki araç türü arasında yaptığı seçimi ele alalım. Bu seçimle ilgili bazı tanımlamalar aşağıdaki gibi olsun:

1. Alternatifler: özel araç (Alt1), otobüs (Alt2)
2. Alternatif özellikleri: süre (x_1), maliyet (x_2)

Birbirine karar vericilerin, yani yolcuların, birbirine eş olduğunu varsayalım. Daha önce bazı yolcuların yaptığı seçimlerle ilgili gözlemler Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Gözlemlenen seçimler.

	Kişi1	Kişi2	Kişi3
Seçim	Alt2	Alt1	Alt1
x_1 (Alt1)	10	12	8
x_1 (Alt2)	12	15	13
x_2 (Alt1)	2	3	3
x_2 (Alt2)	1	5	2

Log-olabilirlik fonksiyonunu en büyükleyen parametre değerlerinin tahmini, mevcut gözlemlerdeki seçimler ve alternatiflerin özellikleri ile Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 : Parametre tahminleri.

Sabit(Alt1)	0
Sabit (Alt2)	18.9
β_1	-6.17
β_2	-8.63

Bu parametre tahminleri kullanılarak yeni bir kişinin, karşılaştığı alternatiflerin özellikleri biliniyorsa, seçim olasılıkları aşağıdaki fayda ve olasılık formülasyonları kullanılarak Çizelge 6.3’teki gibi belirlenebilir:

$$V_{Alt1} = 0 - 6.17x_1 - 8.63x_2, V_{Alt2} = 18.9 - 6.17x_1 - 8.63x_2$$

$$Pr_{Alt1} = \frac{e^{V_{Alt1}}}{e^{V_{Alt1}} + e^{V_{Alt2}}}, Pr_{Alt2} = \frac{e^{V_{Alt2}}}{e^{V_{Alt1}} + e^{V_{Alt2}}}$$

Çizelge 6.3 : Fayda ve seçim olasılık tahminleri.

	Alternatif Özellikleri		Fayda	
	Alt1	Alt2	Alt1	Alt2
	0	18.9	0	18.9
Süre (x_1)	10.00	15.00	-61.7	-92.55
Maliyet (x_2)	6.00	4.50	-51.78	-38.84
	V		-113.48	-112.5
	$\exp(V)$		5.203E-50	1E-49
	Pr		0.27	0.73

Çoklu ve genelleştirilmiş uç değer lojit modellerde seçim olasılıklarının kapalı forma indirgenmesi ile log-olabilirlik fonksiyonu en büyüklenmektedir. Ancak, probit ve karma lojit modeller için diğer modeller gibi basit bir şekilde tahmin yapmak mümkün değildir. Bu modellerin tahmininde benzetim ile en iyi olabilirlik tahminleri yapılabilmektedir. Bu yöntemle ilgili detaylı bilgi için Train (2009) kitabına başvurulabilir.

6.4.1 Modelin uygunluk derecesi

Log-olabilirlik fonksiyonunun tam olarak hesaplanabildiği lojit modeller kapsamında uygunluk derecesi, tanımlanan modelin veri kümesini doğru yansıtıp yansıtmadığının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Kesikli seçim modellerinde, modelin veriye ne kadar uygun olduğunu ölçmek için sıklıkla olabilirlik oran indisi ismi verilen bir istatistik kullanılır. Bu istatistik, modelin tahmin edilen parametrelerle ne kadar iyi performans gösterdiğini, tüm parametrelerin sıfır olduğu bir modelin (hiçbir model olmamasına eş değer olan) performansı ile karşılaştırmasıdır. Bu karşılaştırma log-olabilirlik fonksiyonu ile yapılmaktadır. Olabilirlik oran indisi denklem (6.26) ile tanımlanmaktadır:

$$\rho = 1 - \frac{LL(\hat{\beta})}{LL(0)} \quad (6.26)$$

öyle ki, $LL(\hat{\beta})$ log-olabilirlik fonksiyonunun, tahmin edilen parametreler ile değeri, $LL(0)$ ise tüm parametrelerin sıfır olması durumundaki değeridir. Eğer tahmin edilen parametreler, parametrelerin sıfır olduğu duruma göre olabilirlik fonksiyonu cinsinden hiç bir iyileşme sağlamıyorsa (yani, tahmin edilen model, hiç model olmamasından daha iyi değil ise) $\rho = 0$ 'dır. Bu ρ 'nun alabileceği en düşük değerdir. ρ 'nun alabileceği en yüksek değer ise 1'dir ve tahmin edilen model ile her örneklenen karar vericinin seçiminin mükemmel olarak belirlenebildiğini göstermektedir. Özetle, olabilirlik oran indisi 0 ile 1 değeri arasındadır.

Olabilirlik oran indisi, regresyonda kullanılan R^2 istatistiği gibi 0-1 arasında bir değer alır. Ancak, bu değer yorumlanması açısından regresyondaki R^2 istatistiği ile ilişkisi yoktur. Regresyon modellerindeki R^2 istatistiği, bağımlı değişkenin tahmin edilen model tarafından açıklanan varyans oranını göstermektedir. Oysa, olabilirlik oranının, 0 ve 1 uç değerleri arasındaki değerlerinin anlamının hiç bir sezgisel

yorumlaması yoktur. Bu oran, 0 parametreleri ile elde edilen log-olabilirlik fonksiyonu değerlerinin üzerinde elde edilen log-olabilirlik fonksiyonundaki değerin artışın yüzdesidir. Ancak yüzdedeki bu artışın anlamı açık değildir. Aynı alternatifler kümesi ile aynı veri üzerinde tahmin edilmiş iki modeli (öyle ki, her iki model için $LL(0)$ aynı) karşılaştırırken, daha yüksek bir ρ değerine sahip modelin, veri için daha uygun olduğunu söylemek çoğunlukla geçerlidir. Çünkü log-olabilirlik fonksiyonunun değerinde bir artış olması tercih edilir bir durumdur. Ancak, farklı şekillerde örneklenmiş karar vericiler için, farklı alternatifler kümesi ile veya benzer olmayan örnekler ile tahmin edilmiş iki modelin olabilirlik oran indisinin karşılaştırması doğru değildir (Train, 2009).

6.4.2 Tüketici fazlası

Seçim modelleri, bir tür en iyileme modeli değildir. Örneğin ulaşım sisteminin en iyi hangi özellikler ile tasarlanabileceğine karar veren normatif bir model değildir. Seçim modelleri, yolcuların bir ulaşım sisteminde yapacakları yolculuklar hakkındaki tercihlerini, ulaşım sistemlerinin özelliklerini dikkate alarak, nasıl yapabileceklerini tanımlamak amacıyla kullanılan modellerdir.

Ulaşım alanında bu modeller çoğu kez şu şekilde kullanılmaktadırlar: ulaşımında farklı yatırım veya politikalar içinden birine karar vermek istenebilir. Bu durumda, her senaryo matematiksel girdiler ile ifade edilir ve geliştirilen seçim modeli ile analiz edilir. Bu modeller ile yapılan analizlerde, farklı yatırım veya politikalardan birine karar vermek için seçim modelleri ile bu yatırım veya politikaların yarattığı etki ve bunlara bağlı oluşturulan performans göstergeleri karşılaştırılır. Tüketici fazlası da bu karşılaştırma için kullanılabilecek göstergelerinden biridir.

Tüketici fazlası belirli bir ürün veya hizmet politikası sonucu faydadaki değişim olarak tanımlanabilir. Örneğin, bir şehirde tramvay hattının inşaatı gibi yeni bir alternatif sunulması düşünülürse bu projenin faydalarının maliyetini karşıladığını belirlemek kritik bir analizdir. Benzer şekilde, bir alternetife ait özelliklerdeki bir değişim de tüketici fazlasını etkileyebilir. Bir politikanın yarattığı etkinin hem parasal değerinin ölçülmesi hem de politikanın dağılımsal olarak etkilerinin, örneğin bir vergi yükünün nüfusun farklı grupları üzerindeki farklılaşan etkisinin ölçülmesi önemli değerlendirmelerdir.

Lojit varsayımlar altında alternatifler kümesinin sağladığı tüketici fazlası kapalı formdadır ve hesaplanması basittir. Bir kişinin tüketici fazlası, parasal birim cinsinden ölçülen, seçim durumunda sağladığı fayda olarak tanımlanmaktadır. Karar verici en yüksek faydayı getiren alternatifi seçer. Bundan dolayı tüketici fazlası denklem (6.27) ile formüle edilebilir (Train, 2009):

$$TF_n = (1/\alpha_n) \max_j U_{nj} \quad (6.27)$$

öyle ki, α_n , n kişinin geliri, Y_n 'nin marjinal faydasıdır: $\alpha_n = dU_n / dY_n$. Formülasyonun $1/\alpha_n = dY_n / dU_n$ bileşeni, faydayı para birimine dönüştürmektedir. Ancak, U_n 'yi araştırmacı tam olarak bilmediği için tüketici fazlasının hesaplanması için, araştırmacı tarafından gözlemlenebilen temsili fayda, V_{nj} ve faydanın geriye kalan rassal kısmının dağılımı kullanılarak tüketici faydasının beklenen değeri denklem (6.28) ile formüle edilmektedir.

$$E(TF_n) = (1/\alpha_n) E[\max_j (V_{nj} + \varepsilon_{nj})] \quad (6.28)$$

öyle ki, beklenen değer ε_{nj} 'nin olası tüm değerleri üzerinden hesaplanır.

Williams (1977) ve Small ve Rosen (1981), ε_{nj} 'nin BED uç değer olması ve faydanın gelire göre lineer olması durumunda, bu beklenen değer denklemin (6.29)'daki hali aldığını göstermişlerdir (Train, 2009):

$$E(TF_n) = \left(\frac{1}{\alpha_n}\right) \ln\left(\sum_{j=1}^J e^{V_{nj}}\right) + C \quad (6.29)$$

öyle ki, C faydanın ölçülemeyen mutlak değerini temsil eden bilinmeyen bir sabittir. Bu sabit politikalar açısından önem taşımamaktadır ve dikkate alınmayabilir. Alternatifler ve/veya seçim kümesinde ortaya çıkacak bir değişikliğin sonucunda tüketici fazlasında ortaya çıkan değişim $E(TF_n)$ 'nin değişiklikten önceki koşullar altında ve değişiklikten sonraki koşullar altında ayrı ayrı hesaplanıp farkının alınması ile denklem (6.30)'daki gibi formüle edilebilir.

$$\Delta E(TF_n) = \left(\frac{1}{\alpha_n}\right) \left[\ln\left(\sum_{j=1}^{J^1} e^{V_{nj^1}}\right) - \ln\left(\sum_{j=1}^{J^0} e^{V_{nj^0}}\right) \right] \quad (6.30)$$

öyle ki, 0 ve 1 üst indisleri değişiklikten önceki ve sonraki alternatif sayısı veya alternatiflerin özelliklerini ifade etmektedir. Burada bahsedilen değişiklik, alternatif

sayısının değişmesi (örn. yeni bir alternatifin eklenmesi) veya alternatiflerin özelliklerinde bir değişim olabilir (Train, 2009).

6.4.3 Türev ve esneklikler

Herhangi bir gözlemlenen faktörde değişiklik olduğunda, bunun, seçim olasılıklarını ne derecede değiştirdiğini bilmek yararlı bir bilgi sağlamaktadır. Örneğin, aynı koridorda iş yolculuğu yapan kişilerin ulaşım türü seçimi için kritik bir soru, bu koridorda hizmet veren otobüs ve metro hatlarından birinin yolculuk maliyetinde indirimle gidildiğinde o türün seçim olasılığının nasıl değişeceğidir. Diğer bir deyişle, birbiri ile rekabet eden hizmet sağlayıcıları açısından, bir ulaşım türünde yapılacak fiyat indiriminin, diğer türün seçilme olasılığını ne kadar azaltacağıdır.

Bu sorulara cevap bulmak için seçim olasılıklarının diferansiyelleri hesaplanmaktadır. Alternatif i 'nin temsili faydasının bileşenlerinden biri olan z_{ni} gözlemlenen fayda faktöründe değişiklik (ve diğer alternatiflerin temsili faydalarının sabit tutulması) olduğunda n karar vericisinin i alternatifini seçme olasılığındaki değişim, denklem (6.31) ile formüle edilir (Train, 2009):

$$\frac{\partial \Pr_{ni}}{\partial z_{ni}} = \frac{\partial(e^{V_{ni}} / \sum_j e^{V_{nj}})}{\partial z_{ni}} = \left[\frac{e^{V_{ni}}}{\sum e^{V_{nj}}} \frac{\partial V_{ni}}{\partial z_{ni}} - \frac{e^{V_{ni}}}{(\sum e^{V_{nj}})^2} e^{V_{ni}} \frac{\partial V_{ni}}{\partial z_{ni}} \right] = \frac{\partial V_{ni}}{\partial z_{ni}} \Pr_{ni} (1 - \Pr_{ni}) \quad (6.31)$$

Temsili fayda z_{ni} 'ye göre β_z katsayısı ile lineer ise bu diferansiyel $\beta_z \Pr_{ni}(1 - \Pr_{ni})$ halini almaktadır. $\Pr_{ni} = 1 - \Pr_{ni}$ olduğunda, yani $\Pr_{ni} = 0.5$ ise diferansiyel değeri en büyük değeri alır. $\Pr_{ni}$ 'nin değeri sıfır veya bire yaklaştığında ise diferansiyelin değeri küçülür. Sezgisel olarak da gözlemlenen bir değişkendeki değişikliğin etkisi, seçimle ilgili belirsizliğin derecesi yüksek ise fazla olur.

Bir alternatifin seçim olasılığındaki değişikliğin derecesi, başka bir alternatifin gözlemlenen bir değişkeninde değişiklik olduğunda da bulunabilir. z_{nj} , j alternatifinin bir özelliğini gösterirse, z_{nj} 'nin artması durumunda alternatif i 'nin seçilme olasılığındaki değişiklik denklem (6.32) ile formüle edilebilir.

$$\frac{\partial \Pr_{ni}}{\partial z_{nj}} = \frac{\partial(e^{V_{ni}} / \sum_k e^{V_{nk}})}{\partial z_{nj}} = \left[\frac{e^{V_{ni}}}{(\sum e^{V_{nk}})^2} e^{V_{nj}} \frac{\partial V_{nj}}{\partial z_{nj}} \right] = - \frac{\partial V_{nj}}{\partial z_{nj}} \Pr_{ni} \Pr_{nj} \quad (6.32)$$

Eğer temsili fayda V_{nj} , z_{nj} 'ye göre β_z katsayısı ile lineer ise, olasılıktaki değişimi gösteren diferansiyel, çapraz diferansiyel $-\beta_z \Pr_{ni} \Pr_{nj}$, halini almaktadır. Eğer z_{nj}

istenen bir özellik ise, β_z katsayısı pozitiftir. Bu durumda z_{nj} 'yi artırmak j dışındaki her alternatifin seçilme olasılığını azaltır. Ayrıca, olasılıktaki azalma, z_{nj} 'nin değiştirilmeden önceki olasılık değeri ile orantılıdır.

Yolcuların tepkileri iktisadi açıdan çoğunlukla diferansiyeller yerine esnekliklerle ölçülmektedir çünkü esnekliklerin formülasyonunda değişkenler birimlerine göre normalize edilir. Alternatif i 'nin faydasını oluşturan değişkenlerden biri olan z_{ni} 'ye bağlı olarak Pr_{ni} 'nin esnekliği denklem (6.33) ile bulunur (Train, 2009):

$$E_{iz_{ni}} = \frac{\partial Pr_{ni}}{\partial z_{ni}} \frac{z_{ni}}{Pr_{ni}} = \frac{\partial V_{ni}}{\partial z_{ni}} z_{ni} (1 - Pr_{ni}) \quad (6.33)$$

Eğer temsili fayda z_{ni} 'ye göre β_z katsayısı ile lineer ise, esneklik $E_{iz_{ni}} = \beta_z z_{ni} (1 - Pr_{ni})$ halini almaktadır. Alternatif j 'ye ait değişkenlerden birine bağlı olarak Pr_{ni} 'nin çapraz esnekliği ise denklem (6.34) ile elde edilmektedir:

$$E_{iz_{nj}} = \frac{\partial Pr_{ni}}{\partial z_{nj}} \frac{z_{nj}}{Pr_{ni}} = - \frac{\partial V_{nj}}{\partial z_{nj}} z_{nj} Pr_{nj} \quad (6.34)$$

Faydanın lineer olması durumunda, esneklik formülasyonu $E_{iz_{nj}} = -\beta_z z_{nj} Pr_{nj}$ 'ye indirgenmektedir. Çapraz esneklikler tüm alternatifler için aynıdır çünkü alternatif j 'nin bir özelliğindeki değişiklik, tüm diğer alternatiflerin olasılıklarını aynı yüzde ile değiştirmektedir. Lojit modellerdeki bu özellik, lojit seçim olasılıklarının BED özelliğinden kaynaklanmaktadır (Train, 2009).

7. SÜRE GÜVENİLİRLİĞİ ÖLÇÜTLERİ VE SEÇİM MODELLERİNDE KULLANIMINA İLİŞKİN YAYINLARIN İNCELENMESİ

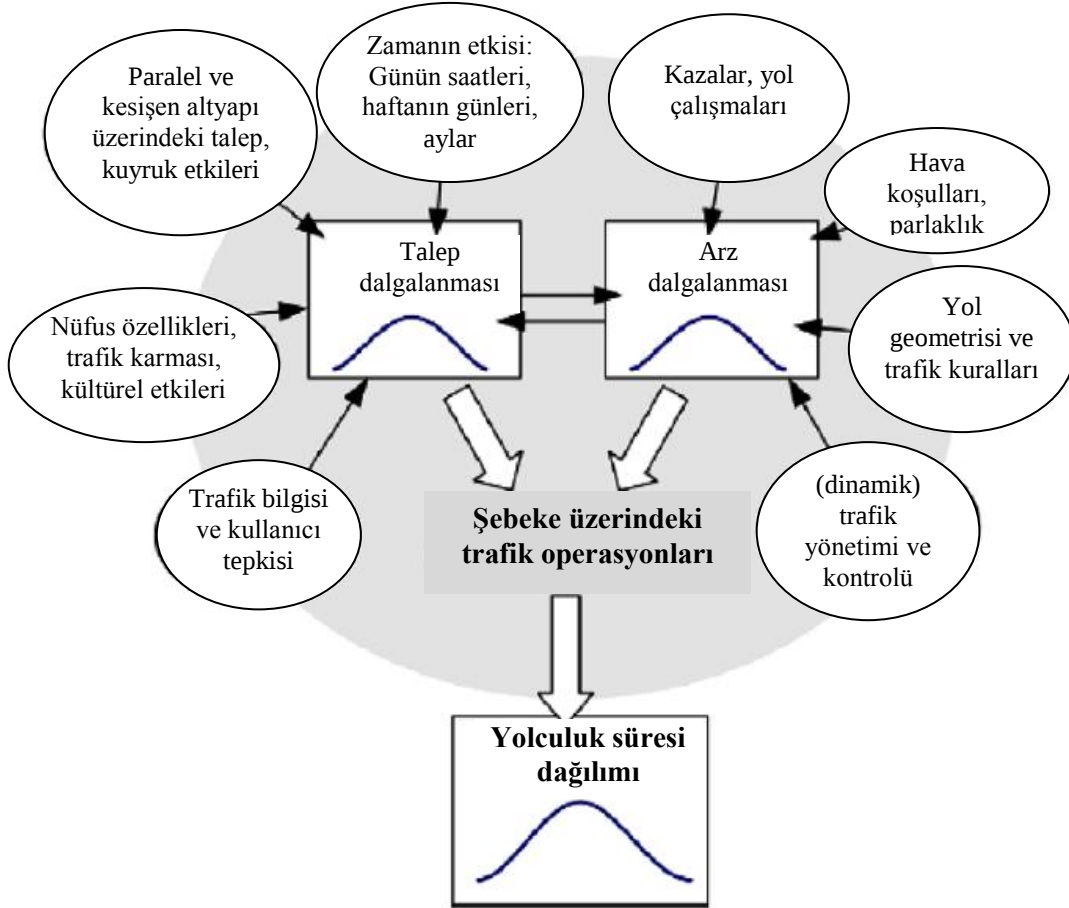
1 Nisan 2011’de Science Direct veri tabanında “ulaşım” ve “güvenilirlik” kelimeleri İngilizce olarak aratılarak listelenen 30.976 makale içinden, 2001 yılı ve sonrasında süre güvenilirliği üzerine yayımlanmış 62 çalışma gözden geçirilmiştir. Bu makaleler, Journal of Transport Geography, Transportation Research Part A, Transportation Research Part B, Transportation Research Part C, Transportation Research Part E ve European Journal of Operations Research dergilerinde bulunmuştur.

7.1. Süre Güvenilirliği Kavramı ve Ölçüm Yaklaşımlarına İlişkin Yayınlar

Yolcuların seçim davranışları ile ilgili birçok kalitatif ve kantitatif çalışmada güvenilirliğin yolcular tarafından önem verilen bir özellik olduğu ortaya konmuştur. Çünkü güvenilir bir yolculuk süresi, yolcuların vakitlerini daha iyi kullanmalarını sağlamaktadır. Türler-arası ulaşım sistemlerinin güvenilirliğinin artırılmasına son yıllarda birçok gelişmiş ülkede vurgu yapılmaktadır çünkü ulaşım şebekesinde güvenilirliğin düşük olmasının neden olduğu gecikmelerin hem insanlar için maliyetleri artırıcı hem de işletmeler için maliyetleri artırarak, verimliliği etkilemesi ile doğrudan sonuçları olduğu anlaşılmıştır (European Rail Research Advisory Council, 2007; Furth ve Müller, 2006; Eddington, 2006).

Güvenilirliğin düşük olmasının nedeni olan yolculuk süresi değişkenlikleri, şebekedeki farklı belirsizlik kaynaklarına bağlıdır. Bu kaynaklar kabaca iki gruba ayrılabilir: iç kaynaklar ve dış kaynaklar (Shao ve diğ., 2006). İç kaynaklar, çoğunlukla sinyalizasyon, kazalar, bozulmalar vb. kapasite değişkenlikleri ile ilgilidir. Bu tür değişkenlikler, genellikle, tekrarlanmayan trafik sıkışıklıklarına neden olur (Chen ve Zhou, 2010). Dış değişkenler ise yolculuk talep dalgalanmaları ile ilgilidir. Belirli bir başlangıç-bitiş nokta çifti arasındaki yolculuk talebi günün farklı saatleri, haftanın farklı günleri ve yılın farklı mevsimleri arasında değişkenlik göstermektedir. Bu tip değişkenlikler tekrarlanan trafik sıkışıklıklarına yol açar

(Asakura ve Kashiwadani, 1991; Clark ve Watling, 2005). Şekil 7.1’de değişkenliklerin kaynakları, büyük oranda dış değişkenleri oluşturan talep dalgalanmaları ve iç değişkenleri oluşturan arz dalgalanmaları olarak iki grupta özetlenmiştir (van Lint ve diğ., 2008).



Şekil 7.1 : Yolculuk süresi dağılımına etki eden faktörler (van Lint ve diğ., 2008).

İç ve dış kaynaklı değişkenliklerin tanımları ve doğurdukları sonuçlar dolayısıyla farklı ulaşım türleri için etkileri farklılık gösterebilir. Ortalama gecikmeleri ele alırsak, çoğunlukla sokak ulaşım sistemlerine bağlı özel ulaşım türleri için tekrarlanan trafik sıkışıklıkları, tekrarlanmayan trafik sıkışıklıklarına göre daha önemli gibi görünmektedir. Toplu ulaşımında ise tekrarlanan ve tekrarlanmayan (tahmin edilemez) gecikmeler arasındaki denge, yol ulaşımına göre farklılık göstermektedir. Tahmin edilemeyen bileşenler daha fazla önem taşımaya eğilimlidir (Rietveld et al., 2001).

Türler-arası yolculuklardaki gecikmelerin ve güvenilirliğin düşük olmasının analizi ise daha karmaşıktır çünkü hem tekrarlanan hem de tekrarlanmayan trafik

sıkışıklıkları dikkate alınmalıdır. Çoğu türler-arası yolculuk, genellikle sokak üzerinde faaliyette olan besleme hizmetleri (örn. otobüs, park et ve devam et, vb.) ile özel geçiş hakkı olan yüksek hızlı transit hizmetlerin (örn. tren, metro, vb.) birlikte kullanılmasını içermektedir. Bu nedenle, türler-arası yolculuklarda toplam yolculuk süresi yalnızca yüksek kapasiteli transit hizmetlerin performansından değil, transit sistemdeki besleme hizmetlerinin hizmet özelliklerinden de etkilenir (Hsu, 2010). Türler-arası yolculuklar açısından, değişkenlikler, düşük veya yüksek oranda, çok-türlü ulaşım şebekesindeki iç ve dış belirsizliklerden kaynaklanmaktadır ve bu değişkenliklerin gerçekleşen yolculuk süreleri üzerinde önemli etkileri vardır.

Türler-arası yolculuklarda güvenilirliğin incelenmesi için araçların varış süreleri yerine yolcuların yolculuk süreleri ele alınmalıdır. Tek tür ile yolculuk durumunda aracın yolcu süresi ile yolcunun yolculuk süresi arasındaki fark küçük olsa da, bağlantıların kaçırılması, vb. nedenlerden dolayı türler-arası yolculuk yapılması durumunda aradaki fark oldukça büyüktür (Rietveld et al., 2001). Literatürde güvenilirlik, yoğunlukla, araçların yolculuk sürelerine bağlı olarak incelenmektedir (Lam ve Small, 2001; Liu ve diğ., 2004, 2007; Lin ve diğ., 2008; Fosgerau ve Karlström, 2010). Ancak araçların yolculuk süreleri, yolcuların yolculuk deneyiminin yalnızca araç-içi süreleri bölümünü yansıtmaktadır. Oysa, yolculuk sürelerindeki değişkenlik, yalnızca araç içi sürelerden değil, araç dışında geçen sürelerden de kaynaklanmaktadır (Chang, 2010). Türler-arası yolculuklar için, yolcular açısından güvenilirliğin incelenmesinde yolcunun kapıdan-kapıya yolculuk tecrübesinin incelenmesi önem kazanmaktadır.

Güvenilirlik fikri içerisinde farklı kavramlar mevcuttur. Derinlemesine incelendiğinde, güvenilirlik (İng.: reliability) ve zamanındalık (İng.: punctuality) kavramları ayrıştırılabilir. Bu kavramlardan güvenilirlik, ulaşım hizmetindeki tutarlılık derecesidir, zamanındalık ise hizmetlerin verilen bir geç olma standardını aşma derecesi olarak tanımlanmıştır (Cambridge Systems ve diğ., 2003; Association of Train Operating Companies, 2005).

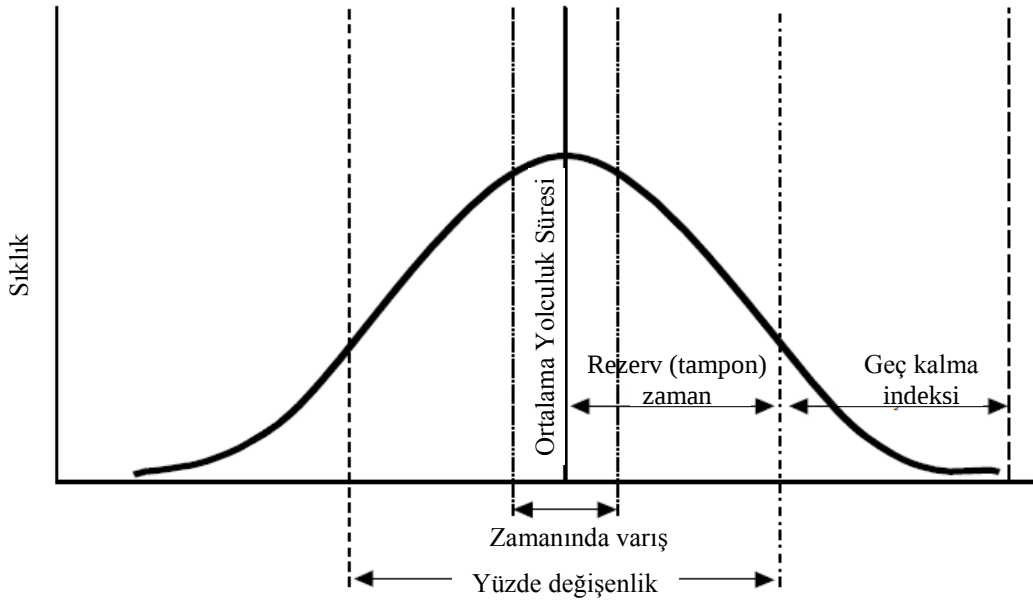
Zamanındalık, geç kalma ve gecikme başlıkları altında incelenebilir. Geç kalma, varış noktasına gerçek varış zamanı ile zaman planında açıklanan varış zamanı arasındaki farkı ifade eder. Gecikme, kısa rota parçaları geçmek için gerçekte geçen süre ile planlanan süre arasındaki farktır (Batley et al., 2011). Güvenilirlik boyutu içerisinde ulaşım süresi tutarlılığı da ele alınır. Ulaşım süresi güvenilirliği, ulaşım

sürelerinin zaman boyunca (örn. saatten saate, günden güne) değişkenliği olarak tanımlanmaktadır. Bu çerçevede, değişkenlik operasyonlardaki tutarsızlık miktarıdır (Cambridge Systems ve diğ., 2003).

Güvenilirlik kavramının, ulaşımda başlıca kullanımı, zaman tasarrufu ile ilgilidir (Bates ve diğ., 2001). Güvenilirlik ve ona bağlı zaman tasarrufu yolcuların hangi ulaşım hizmetini seçeceklerini etkileyen en önemli özelliklerden biridir. Güvenilirlik kavramı, ulaşım seçim modellerinde geleneksel olarak yolcuların yolculuk zamanları seçimleriyle dolaylı bir şekilde ele alınmıştır (Noland ve Small, 1995). Bates ve diğ. (2001), güvenilirlik kavramının bu yaklaşımla değerlendirilmesine alternatif bir yaklaşım önermişlerdir. Yolculuk zaman seçim yaklaşımı, teorik olarak Gaver (1968), Polak (1987) ve Small (1982)'un katkıları ile geliştirilmiştir ve ana fikri, yolcuların yolculuk seçeneklerini sadece yolculuk süresiyle değil, yolculuk bitiş noktasına erken veya geç gitme ile de değerlendirmesini temel alır. Ancak Bates ve diğ. (2001), bu yaklaşımda yolculuk süresi değişkenliğinin direk olarak ele alınmamasına dikkat çekmişler ve yolculuk süresi değişkenliğinin, yolculuk seçeneklerinin değerlendirilmesinde kullanılan modellere dahil edilmesi gereken etkili bir faktör olduğunu öne sürmüşlerdir. Çalışmada, “beklenen en yüksek fayda” modellerinin kullanımı gözden geçirilmiştir. Ayrıca yolculuk süresi değişkenliği; sabit çizelgeli hizmetlerde bekleme süresi, çizelgeye uyum ve aktarmalarda ortaya çıkan sorunlar açısından değerlendirilmiştir. Son olarak, tren hizmetleri için ulaşım modelleri ile güvenilirliğin (yolculuk süresi değişkenliği) yolcular açısından değeri hesaplanmıştır. Bu çalışmayı takiben son yıllarda yolculuk süresi güvenilirliğinin sayısallaştırılması, uygun güvenilirlik göstergeleri geliştirilmesi ve bunların ulaşım modellerinde kullanımı ile yolcular açısından güvenilirliğin değerinin hesaplanmasıyla ilgili literatürde çalışmalar yer almaktadır.

Rietveld ve diğ. (2001) toplu ulaşım seyahatlerinde süre güvenilirliğinin, yolcuların bakış açısı ile incelenmesinin ne derece önemli olduğunu tartışmışlar ve varış sürelerindeki değişkenliklerin yolcuların seyahat zinciri üzerindeki etkilerini Hollanda örneğinde toplu ulaşım sistemi üzerinde elde ettikleri verileri kullanarak simülasyon yöntemi ile göstermişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre kesin olarak ortaya çıkacak 1 dakika gecikmenin yolcular açısından değeri 27 kuruş iken %50 olasılıkla ortaya çıkacak 2 dakikalık bir gecikmenin değerini 64 kuruş olarak bulmuşlardır.

Otoyol ulaşım sistemlerinde, “güvenilirlik kavramı” ulaşım hizmetindeki tutarlılık derecesi; “değişkenlik kavramı” operasyonlardaki tutarsızlık miktarı ve “ulaşım süresi güvenilirliği kavramı” ulaşım sürelerinin zaman boyunca (örn. saatten saate, günden güne) değişkenliği olarak tanımlanmıştır (Cambridge Systems ve diğ., 2003). Bu çalışmada güvenilirliği bozan faktörler kazalar, yol çalışmaları, hava koşulları, talepteki dalgalanmalar, özel olaylar, trafik kontrol araçları ve temel kapasitenin yetersiz olması olarak gösterilmiştir. Çalışmada, süre güvenilirliğinin değerlendirilmesi için önerilen ölçütler, Şekil 7.2’de özetlenmiştir.



Şekil 7.2 : Yolculuk süresi dağılımı ve güvenilirlik ölçütleri.

Toplu ulaşımında güvenilirlik, literatürde hem araçlar için önceden belirlenmiş zaman planlarına uyuma göre gecikmeler hem de toplam sürelerin değişkenliği açısından ele alınmaktadır. Tren gecikmelerinin nedenleri ve nasıl en aza indirilebileceği üzerine yapılan Vromans ve diğ.’nin (2006) çalışmasında, sorunların en önemli nedeninin heterojen hizmetlerin aynı altyapıda hizmet vermesi olduğu öne sürülmüştür. Güvenilirliğin artırılması için, trenler arası bağımlılığın benzer araçlar arası süreler planlanarak en aza indirilmesini ve hizmetlerin daha homojen hale getirilmesini önermişlerdir. Farklı tür hizmetler (örn. kısa mesafeli ve uzun mesafeli hizmet veren trenler) için benzer sayıda durak, benzer araç tipi vb. önlemler alınarak özellikle zaman planlarının homojen hale getirilmesinin kritik olduğunu alternatif zaman planları ile yapılan simülasyon sonuçları ile göstermişlerdir.

Otobüs hizmetlerinin zaman planlarına göre güvenilirliği de literatürde araştırılmış ve bir kalite kontrol sistemi kapsamında kullanılabilecek ölçütler geliştirilmiştir. Lin ve diğ. (2008) otomatik araç lokasyonu belirleme sistemlerinden elde edilen veri seti ile Chicago şehrindeki 24 farklı otobüs hattı için kalite kontrol sonuçlarının kolay bir şekilde elde edilebileceğini göstermiştir. Çalışmada yüzde cinsinden ölçülen iki ölçüt tanımlanmıştır: yolculuk süresine uyum ve araçlar arası süreler uyum. Kullanılan güvenilirlik ölçütleri ile veri zarflama analizinde tek bir özet gösterge elde edilmiştir ve istatistiksel olarak güvenilirlik sınırları belirlenmiştir. Bu yöntemle yapılan analizlerde veri zarflama puanı, belirlenen sınırların altında çıkarsa, dikkat edilmesi gereken bir sorunun varlığını göstermektedir.

Yol şebekelerinde de yolculuk sürelerinin günden güne değişkenlikleri önemli birer performans göstergesi olarak kullanılmaktadır, ancak dağılımın normal dağılıma göre geniş ve çarpık olması kullanılan göstergelerde önemli sapmalara neden olmaktadır. van Lint ve diğ. (2008) otoyol ulaşım sistemlerinin güvenilirliği için Cambridge Systems ve diğ.'nin (2003) önerdiği ölçütleri –istatistikî aralık, rezerv (tampon) zaman, geç kalma ölçütleri ve olasılıksal ölçütler– yolculuk süresi dağılımının genişliği ve çarpıklığını dikkate alarak geliştirdiği sonuçlar ile Hollanda'da yoğun olarak kullanılan bir otoyola ait verileri kullanarak karşılaştırmış ve oldukça farklı olduklarını göstermiştir. Yolculuk süresi dağılımlarının tipik şekli üzerinde tartışılmış ve yapılan analizler sonucu dağılım özelliklerinin dikkate alınarak yoruma gidilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır.

Chen ve diğ. (2009), ulaşım sisteminin farklı analiz düzeyleri olan durak, rota veya şebeke bazında güvenilirlik ölçütlerini hesaplayarak aralarındaki ilişkileri, otobüs hizmetleri için Pekin, Çin örneği üzerinde araştırmıştır. Rota düzeyi için kullanılan ölçüt, zamanındalık indeksidir ve belirli bir zaman aralığında otobüsün duraklara gelme olasılığı olarak hesaplanmıştır. Durak düzeyinde operasyon özelliklerinin tespiti için durak düzeyinde araçlar arası süreden sapma ölçütü kullanılmıştır. Son olarak kullanılan ölçüt, düzenlilik indeksidir ve talebin yoğun olduğu rotalarda araçlar arası sürenin tutarlılığı veya düzenliliğinin bulunması için kullanılmıştır. Yapılan bir ampirik çalışma ile hizmet güvenilirliğinin belirlenmesi için tanımlanan ölçütler ile rota uzunluğu, araçlar arası süre, başlangıç noktasından durağın uzaklığı ve otobüsler için ayrılmış şeritler gibi hizmet özellikleri arasında yüksek korelasyon olduğu bulunmuştur.

Ng ve Waller (2010), yolculuk sürelerinin kabul edilebilir bir düzeyin altında kalma olasılığı olarak tanımladıkları yolculuk süresi güvenilirliğinin ölçümü için Fourier dönüşümleri teorisini temel alan bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemle, sistem düzeyinde yolculuk sürelerine ait olasılık yoğunluk fonksiyonlarının nümerik olarak yaklaşık değerleri elde edilmiş ve kapasiteyle ilgili belirsizlikler modellenmiştir.

7.2. Süre Güvenilirliği Ölçütlerinin Seçim Modellerinde Kullanımına İlişkin Yayınlar

Yolculuk süresi güvenilirliği için farklı ölçütlerin geliştirilmesi yönünde çabaların son yıllarda arttığı görülmektedir. Geliştirilen ölçütler ile sayısallaştırılan değerlerin geçerliliğinin incelenmesi ve süre güvenilirliği özelliğinin ulaşım talebi ile ilişkisinin derecesinin bulunması için literatürde çalışmalar sunulmuştur. Bu amaçla, Batley ve diğ. (2011), tren talebinin gecikmeye göre zamana bağlı dinamik esnekliklerini pazar düzeyinde araştırmışlar ve güvenilirliğin etkili olduğunu fakat bireysel düzeyde elde edilen sonuçlara göre pazar düzeyindeki esnekliklerin daha düşük oranda bulunduğunu göstermişlerdir. Çalışmada, talep miktarları başlangıç ve bitiş istasyonları arası için tutulan bilet satış veri setinden alınmış; trenlerin hizmet performansına ilişkin veriler ise, trenlerin geçtiği noktada zamanı kaydeden veri tabanından elde edilmiştir. 3 farklı güvenilirlik ölçütü -ortalama geç kalma dakikası, ortalama performans dakikası ve genel performans ölçütü- ile geliştirilen farklı modellerin parametreleri tahmin edilmiştir. Bu modellerde, bağımlı değişken, belirli başlangıç ve bitiş istasyonları arasında belirli bir zamandaki ulaşım talep hacmidir. Güvenilirlik ölçütü dışındaki bağımsız değişkenler, başlangıç ve bitiş noktasının etkileri, 4-haftalık verideki sezon dalgalanmalarını temsil eden 12 kukla değişken, perakende indeksine göre bilet ücreti ve genelleştirilmiş yolculuk süresidir. 3 farklı güvenilirlik ölçütünden ikisinin talep üzerinde sadece marjinal etkileri olduğu bulunmuştur, genel performans ölçütü olarak adlandırılan güvenilirlik ölçütünün ise diğer güvenilirlik ölçütlerine göre daha yüksek derecede etkili olduğu belirlenmiştir.

Ulaşım süresi güvenilirliğinin tren yolcu talebi üzerindeki etkisinin ölçülmesi için benzer bir çalışma Hollanda’da altı farklı güvenilirlik performans ölçütü kullanılarak yapılmıştır (van Loon ve diğ., 2011). Çalışmada tanımlanan altı güvenilirlik ölçütü şunlardır: geç kalan trenlerin yüzdesi (gecikme süresi >3 dakika), çok geç kalan trenlerin yüzdesi (gecikme süresi >9 dakika), ortama gecikme dakikası, geciken

trenlerin ortalama gecikme dakikası, kalkış/varış zamanları dağılımının standart sapması, kalkış/varış zamanları dağılımının 80. ile 50. yüzdeler arasındaki fark. Lineer ilişki varsayımı ile formüle edilen regresyon modelinde, sezonluk bilet sahipliğinde ortaya çıkan göreceli fark ile talep temsil edilmiştir. Modelde, talep ile yolculuk süresi güvenilirliği ve seçilen bir rotadaki tren sayısı (sıklık) özelliklerinde ortaya çıkan göreceli farklar arasında bağıntı tanımlanmıştır. Altı farklı güvenilirlik ölçütü ile test edilen modelde en iyi sonuç, 80. ile 50. yüzdeler arasındaki fark ölçütü ile elde edilmiştir. 80. ile 50. yüzdeler arasındaki fark ölçütü hem dağılımın özelliğini dikkate alması ile hem de erken gitme yönündeki değil, geç kalma yönündeki değişkenliği ele alma özellikleri ile tanımlanabilir. Bulunan sonuca göre güvenilirlik ölçütünde elde edilecek %10'luk bir iyileşme, sezonluk bilet sahipleri sayısını %1,47 oranında artırmaktadır.

Ulaşım süresi güvenilirlik ölçütlerinin, ulaşım talebiyle ilişkisinin incelenmesinin yanı sıra, yolcuların güvenilirliğe ne derecede değer verdiğinin araştırılması da ulaşım literatürünün konusu olmuştur. Ulaşım modellemede en önemli bileşenlerden biri, yolcu seçimlerinin belirlenmesidir. Seçim modellerinde yolculuk süresinin kullanımı literatürde geniş çaplı olarak işlenmiştir. Bu modeller ile elde edilen zamanın değerinin hesaplanma yaklaşımına benzer yaklaşımla elde edilen süre güvenilirliğinin değeri, son yıllarda güvenilirliğin de yolcuların önem verdiği bir faktör olduğunun belirlenmesini sağlamıştır.

Lam ve Small (2001) zaman ve güvenilirlik değerlerini ölçmek amacıyla yolcuların rota seçimleri için bir model formüle etmişlerdir. Çalışmada, California'da ücretsiz ve gişelerde ücretlendirilen iki otoyol rotasındaki yol sensörlerinden elde edilen gerçek yolculuk verileri kullanılmıştır. Elde edilen veri setiyle her rota için günün her zamanı ve haftanın her günü için yolculuk süreleri dağılımları elde edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, yolculuk sürelerini en iyi temsil eden modelde kullanılan güvenilirlik ölçütü, medyan ile 90. yüzdeler arasındaki fark ile bulunan ölçüttür. Belirlenen en iyi modelde, sürenin değeri 22,87 USD, süre güvenilirliğinin değeri ise erkek yolcular için 15,12 USD, kadın yolcular için 31,91 USD olarak bulunmuştur. Herhangi bir değişkenin parasal değeri, genellikle bu maliyet değişkeninin katsayısı ile ilgili değişkenin katsayısı arasındaki oran ile belirlenir.

Wardman (2001) sunduğu literatür tarama çalışmasında İngiltere’de 1980-1996 yılları arasında davranışsal seçim çalışmalarında elde edilen yolculuk süresine ilişkin değerlendirmeleri gözden geçirmiştir. Yapılan taramada 300’den fazla çalışmadan elde edilen yolculuk süresinin farklı bileşenleri için yolcu değerlendirmelerinin ortalamaları sunulmuştur. Araç-içinde geçen süreye göre, yolculuğun diğer bileşenleri, yürüme süresi 1,66, bekleme süresi 1,47, araçlar-arası süre 0,80, arama için geçen süre 1,38, geç kalma süresi 1,48, aktarma yaklaşık 20 kez daha önemlidir. Tarama sonucu elde edilen değerlendirmeler üzerinde gelirin, uzaklığın, yolculuk amacının, kullanılan ulaşım türünün, kalkış zamanı sapmalarının etkileri ve bu özelliklere göre değerlendirmelerin esneklikleri hakkında geniş bilgi verilmiştir.

Liu ve diğ. (2004) yolculuk süresi güvenilirliğinin yolcu rota seçimlerine katkısını bir karma lojit model formüle ederek göstermiştir. Çalışmada karma lojit modelleme yönteminin kullanılması, yolcu tercihlerini yansıtan zaman, güvenilirlik ve maliyet katsayılarının, yolcular arasındaki değişkenlikleri gösteren dağılımlar olarak elde edilmesini sağlamıştır. Katsayıların tahmininde geleneksel bir yöntem olan simülasyon yerine genetik algoritma kullanılmıştır. Model tahmini California’da farklı otoyol rotalarındaki yol sensörlerinden elde edilen veriler ile yapılmıştır. Sonuçlarda elde edilen dağılım medyanlarına göre yolcular, süre güvenilirliğine (20,63 USD) süreden (12,81 USD) istatistiksel olarak anlamlı derecede daha fazla değer vermektedir. Dolayısıyla, yolcular riskten kaçan bir davranış şekli benimsemektedirler. Ancak katsayıların geniş bir aralıkta dağılması, yolcuların değerlendirmelerinde önemli derecede farklılıklar olduğunu göstermektedir. Çizelge 7.1’de bu çalışmada elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Brownstone ve Small (2005), California’da yapılan iki çalışmadaki yolcu değerlendirmelerini karşılaştırmıştır. Bu iki çalışmadan biri gerçek yolcu davranışlarından elde edilen “yapılmış tercihler (İng.: revealed preferences)” veri setini, diğeri ise yolculara hipotetik durumlarda hangi seçeneği seçecekleri doğrultusunda yöneltilen sorularla elde edilen “açıklanmış tercihler (İng.: stated preferences)” veri setini kullanmıştır. Sabah iş yolculukları için, yapılmış tercihler veri seti ile elde edilen zamanın değeri oldukça yüksek bulunmuştur ancak hipotetik davranışlar için bulunan zamanın değeri, bunun yarısından daha azdır. Çalışmalarda güvenilirlik özelliği, yolculuk süresi dağılımının 90. ve 50. yüzdelik değerler arasındaki fark değeri olarak tanımlanmıştır. Bu ölçüt ile süre değişkenliğinin sadece

geç kalmayla değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yolcuların bu açıdan güvenilirliğe verdiği değer oldukça yüksek çıkmıştır ancak güvenilirliğe verilen değerlerin kişiler arasında önemli derecede farklılıklar gösterdiği bulunmuştur.

Çizelge 7.1 : Zamanın ve güvenilirliğin tahmin edilen değeri.

	Medyan tahmini	5. ve 95. yüzdeler değeri
<i>Zamanın değeri (USD/saat)</i>		
Medyan	12,81	[8,66 16,08]
Heterojenlik (75 -25)	8,72	[4,16 16,73]
<i>Güvenilirliğin değeri (USD/saat)</i>		
Medyan	20,63	[12,81 28,47]
Heterojenlik (75 -25)	13,06	[5,62 23,44]
<i>Riskten kaçma derecesi</i>		
Medyan	1,73	[1,26 2,13]
Heterojenlik (75 -25)	0,97	[0,41 1,75]

Başka bir çalışmada yolculuk sürelerinde günden güne ortaya çıkan beklenmeyen değişkenlikler, ulaşım modelleme literatüründe iki farklı yaklaşımla ele alınmaktadır (Hollander, 2006): Bates ve diğ.’nin (2001) yaklaşımı ile yolcunun, yolculuk süresi değişkenliklerine doğrudan tepki vermesi ve geleneksel yaklaşım ile yolcunun süre değişkenliğini dolaylı olarak yolculuk zamanı planlamasında dikkate almasıdır. Özellikle toplu ulaşım kullanıcılarının, bu iki yaklaşımdan hangisini tercih edeceği araştırılmıştır. York, İngiltere’de toplanan “açıklanmış tercihler” veri seti ile yapılan tahminlere göre, ulaşım süresi değişkenliklerinin otobüs yolcu seçimlerine etkisi, dolaylı olarak yolculuk zamanı planlamasında dikkate alındığında en iyi şekilde açıklanmıştır. Bu model tahminlerine göre erken varışın değeri yaklaşık olarak yolculuk süresine verilen değere eşittir, ancak geç varışlar her ikisinden de daha önemlidir.

İş yolculuklarında yolculuk süresi güvenilirliğinin, gün içinde başka bir yere gitme durumu ile birlikte dikkate alınması, bir ulaşım türü seçimi problemi için karma lojit model olarak geliştirilmiştir (Bhat ve Sardesai, 2006). Bu çalışmada, güvenilirlik, en yüksek yolculuk süresi ile sıklıkla karşılaşılan yolculuk süresi arasındaki fark olarak hesaplanmıştır. Model tahmini için yapılmış tercihler ve açıklanmış tercihlerden oluşan Austin, Texas’da toplanan bir veri seti kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile

iş yolculuklarında gün içinde başka bir yere gitmenin önemli bir etkisinin olduğu ayrıca güvenilirliğin de önemli bir değişken olduğu ortaya çıkarmıştır. Sonuçlara göre zamanın değeri 12,19 USD iken güvenilirliğin yolcular için değeri esnek iş saatleri olan yolcular için 3,27 USD, esnek olmayan iş saatleri olan yolcular için 6,05 USD olarak bulunmuştur. Tahmin edilen model ile önerilen bir tren hattı seçeneği ve otoyollara ücretli geçiş seçeneği ile ulaşım türü seçimlerinin nasıl değiştiği incelenmiştir.

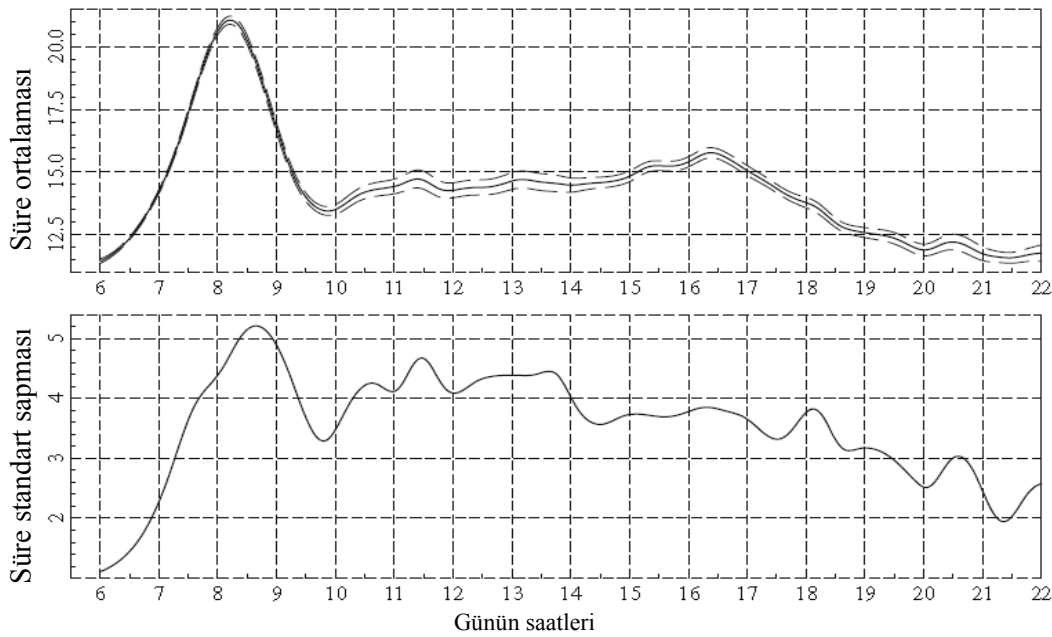
Liu ve diğ. (2007), 2004 yılındaki çalışmada sundukları modeli, sadece yolcular arasındaki değişkenlikleri yansıtacak şekilde değil, zamanın etkilerini yansıtacak şekilde formüle ederek zamanın yolcu rota seçimlerine etkisini test etmişlerdir. Önceki çalışmaya benzer şekilde karma lojit model, genetik algoritma yaklaşımı ile çözülmüştür. Zamana bağlı formülasyon ile elde edilen sonuçlara göre iş başlangıç saatlerine yakın zamanlarda yolculuk süresindeki kazançlar, yolculuk süresinin belirsizliğinden daha fazla önem kazanmaktadır.

Batley (2007), belirsizliğin ve güvenilirliğin düşük olmasının eş kavramlar olarak ele alınmasının talep için geçerli olabileceğini ancak güvenilirliğin değerinin belirlenmesinde yanlışlıklara yol açabileceğini öne sürmüştür. Bu fikirden yola çıkarak “güvenilirlik niteliği” adı altında bir kavram ortaya atarak yolculuk alternatiflerinin faydasının yolculuk süresi, çizelgeye göre erken varış süresi, çizelgeye göre geç varış gecikme süresi ve geç varış durumu için 0-1 kukla değişkeni ile kullanılmasını önermiştir.

Ulaşım süresi güvenilirliğinin değerinin belirlenmesi için Chang (2010), literatüre paralel olarak lojit modeller ile ulaşım türü seçimini formüle etmiştir. “Açıklanmış tercihler” veri seti ile otobüs, metro ve otomobil seçimleri incelenmiştir. Model formülasyonuna dahil edilen yolculuk süresi güvenilirliği, planlanan ve gerçekleşen yolculuk süresi arasındaki fark olarak ifade edilmiştir. Süre güvenilirliği, sadece araç içi süreler için tanımlanmıştır. Toplu ulaşım kullanan yolcuların ulaşimleri sırasında araç-dışında geçen sürede de belirsizliklerin mevcut olduğuna dikkat çekilmiş ancak bunlar modelde dikkate alınmamıştır. Araç-içi sürelerin güvenilirliği, gerçekleşen ve planlanan süre farkının, mesafeye oranı için tanımlanan lognormal yolculuk süresi dağılımı kullanılarak ölçülmüştür ancak erken varışlar dikkate alınmamıştır. Elde edilen sonuçlara göre süre güvenilirliğinin değerinin zamanın değerine oranı, şehirler

arası iş yolculukları için 0,77 iken, şehirlerarası iş amaçlı olmayan yolculuklar için 0,82, şehir içi yolculuklarda bu oran 0,94 değerini almaktadır.

Fosgerau ve Karlström (2010), süresi rassal olan bir yolculuk için yolculuk zamanı planlamada güvenilirliğin değerini araştırmıştır. Güvenilirlik ele alınırken, zaman planlama maliyetlerinin formülasyonunda erken başlama zamanı için bir maliyet ve yolculuğu geç bitirme zamanı için ise daha yüksek bir maliyet tanımlanmıştır. Ayrıca yolculuk süresi de fayda formülasyonuna dahil edilmiştir. Çalışmada kullanılan yolculuk süresi veri seti, bir iş gününde sabah saat 6 ile akşam saat 10 arasında Kopenhag, Danimarka’da bir raylı sistem üzerinde toplanan yolculuk süresi dağılımlarıdır. Şekil 7.3’te saatlere göre yolculuk süresi dağılımlarının ortalama ve standart sapma değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Modelde günün farklı saatleri için güvenilirliğin yolcu için değeri tahmin edilmiştir. Sonuçlara göre, yolcular için toplam süre maliyetleri içinde güvenilirliğin payı, sabah saat 7 ile akşam saat 10 arasında 0.10 ile 0.20 arasında değişmektedir.



Şekil 7.3 : Bir iş günü için yolculuk sürelerinin ortalama ve standart sapması (Fosgerau ve Karlström, 2010).

Li ve diğ. (2010) ise literatürde diğer birçok çalışmadakine benzer şekilde yolculuk sürelerinde günden güne ortaya çıkan değişkenlikleri incelemiştir (Bates et al., 2001; Hollander, 2006). Çalışmada, Avustralya’da gişe geçişleri ele alınmış ve açıklanmış tercihlerden oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Yolculuk süresi değişkenliğinin

etkisinin yansıtıldığı modelin tahmini ile güvenilirlik için yolcuların ödemeye razı olduğu değer belirlenmiştir.

Wardman (2001) farklı yolculuk bileşenlerinin yolcular açısından önemi ile ilgili literatür taraması çalışmasını genişleterek bir güncelleme çalışması sunmuştur (Abrantes ve Wardman, 2011). Bu çalışmada, tarama yılları genişletilerek 1960-2008 arasındaki yıllardaki 1749 farklı değerlendirme ele alınmıştır. Daha önceki çalışmaya benzer şekilde araç içi süreye göre, yürüme, bekleme, geç süre, sıklık, sıkışık trafikte geçen süre, vb. farklı ulaşım süre bileşenleri için yolcuların değerlendirmeleri toplanmış ve sunulmuştur. Ayrıca, 30'dan farklı nümerik ve kategorik değişken ile formüle edilen çok değişkenli regresyon modeli ile zamanın değerlerinde ortaya çıkan farklılıkların açıklanması amaçlanmıştır. Sonuçlara göre zamanın değerini, kullanılan ulaşım türü, yolculuk amacı ve mesafe gibi özellikler etkilemektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre Çizelge 7.2'de araç içi sürelerin farklı ulaşım türleri için zaman değerlerinin oranı sunulmuştur.

Çizelge 7.2 : Özel araç ile farklı ulaşım türlerinin araç-içi süre değer karşılaştırması.

	Süre Önem Oranı	Standart sapma
Otobüs ile özel araç	1,20	0,73
Tren ile özel araç	1,08	0,72
Toplu ulaşım ile özel araç	1,16	0,79
Tren ile özel araç	0,88	0,35

Börjesson ve Eliasson (2011) uzun-mesafeli tren hizmetlerinde yolcuların zaman planına göre beklenmeyen gecikmelere verdikleri değeri, kullandıkları üç farklı açıklanmış tercihler veri seti ile karşılaştırmıştır. Sonuçlara göre, süre güvenilirliğinin, ortalama gecikmeler ile temsil edilmesi doğru sonuçlar vermemektedir. Gecikme riskine göre faydadaki azalmanın lineerden daha yavaş olduğu bulunmuştur, yani ortalama gecikme değeri kullanıldığında, uzun gecikmelerin düşük olasılıkla ortaya çıkma riski, kısa gecikmelerin daha yüksek olasılıkla ortaya çıkma riskine göre, gerçekte olduğundan daha az önemli olarak değerlendirilmektedir.

Yukarıda ele alınan yayınlarda geçen güvenilirlik değeri ile zaman değeri oranlarının karşılaştırması Çizelge 7.3'te sunulmuştur.

Çizelge 7.3 : Süre güvenilirliği öneminin süre önemine oranına ilişkin değerler (Chang, 2010 genişletilmiştir).

Yayın	Süre Güvenilirlik Ölçütü	Model Türü	Veri	Çalışma Bölgesi	Veri toplama yılı	Güvenilir- lik/Zaman değeri
Small ve diğ. (2005)	>10 dk geç olma olasılığı	Karma lojit	Açıklanmış ve yapılmış tercihler	Los Angeles,	1999- 2000	0,89-1,04
Lam ve Small (2001)	90.-50.%'lik dilim	Çoklu lojit/ Yuvalı lojit	Yapılmış tercihler	Orange, ABD	1998	0,95-1,39
Bhat ve Sardesia (2006)	ek yolculuk süresi	Çoklu lojit/ Karma lojit	Açıklanmış ve yapılmış tercihler	Austin, ABD	2003- 2004	0,38-0,95
Bates ve diğ. (2001)	Ort. geç varma süresi	-	Açıklanmış tercihler	Londra, İngiltere	1999	0,90
Fosgerau ve Karlström, (2010)	Ortalama geç kalma süresi	Karma lojit	Yapılmış tercihler	Kopenhag, Danimarka	2007	0,25
Liu ve diğ. (2007)	80.-50.%'lik dilim	Karma lojit	Yapılmış tercihler	California, ABD	2001	0,92-1,10
Hollander (2006)	ek yolculuk süresi	Çoklu lojit/ Yuvalı lojit	Açıklanmış tercihler	York, İngiltere	2004	0,70-2,00
Brownstone ve Small (2005)	90.-50.%'lik dilim	Karma lojit	Açıklanmış ve yapılmış tercihler	California, ABD	1996- 2000	0,40
Liu ve diğ. (2004)	80.-50.%'lik dilim	Karma lojit	Yapılmış tercihler	California, ABD	2001	1,73
Ortalama						0,89

Güvenilirlik genel olarak, ulaşım hizmetindeki tutarlılık derecesi olarak tanımlanmıştır (Cambridge Systems ve diğ., 2003). Son yıllarda ulaşım alternatiflerinin performanslarının değerlendirilmesinde yolculuk süresinin yanı sıra yolculuk süresinin güvenilirliğinin de yolcular açısından önemli olduğu üzerinde

alışmalar artmıştır. Ancak, süre güvenilirliğinin ölçülmesi, yolculuk süresinin ölçülmesinden daha zor ve karmaşıktır. Süre güvenilirliği, yolculuk süresinin değişkenliğine bağlıdır. Literatürde süre güvenilirliğinin sayısallaştırılması için birçok ölçüt sunulmuştur. Bu ölçütlerden bazıları yolculuk süresi dağıllarını dikkate alarak hesaplanmaktadır. Bu tip ölçütlerin geliştirilmeleri zor olmasına rağmen bu değerlendirmelerin daha doğru olduğu gösterilmiştir (Lam ve Small, 2001; Brownstone ve Small, 2005; Chang, 2010; van Loon ve diğ., 2011). Bunun yanı sıra, süre dağıllarının normal dağılmaması nedeniyle dağılım şeklinin değerlendirme sırasında dikkate alınmasının önemi açığa çıkarılmıştır (Lam ve Small, 2001; Liu ve diğ; 2004, 2007; Brownstone ve Small, 2005). Bu zellikleri barındıran doğru ve karşılaştırılabilir bir ölçüt geliştirilmesi ve bu ölçütün sistematik şekilde takip edilmesi, elde edilecek ölçütler ile yapılan performans tahminlerinin gerçeği yansıtmaması ve sürecin istenen düzeyde hizmet kalitesi sunması açısından kritiktir.

Literatürde nerilen süre güvenilirliği ltleri duruma özel ve farklı ölçeklerde hesaplanmış karşılaştırılması g ölçütlerdir. Ulaşım sistemlerindeki rota, hat, mesafe, vb. farklı yapıdaki sistemler için hesaplanmış farklı ölçeklerdeki ltleri karşılaştırmak güçtür. Bu nedenle birimsiz, karşılaştırılabilir bir ölçüt geliştirilmesi farklı hizmetlerin performanslarının değerlendirilmesi için önemlidir.

Böyle bir ölçütün geliştirilmesi, takibi, performans değişkenliğin incelenmesi ve kaynaklarının belirlenmesi için bir kalite kontrol yöntemi olarak süreç yeterlilik analizinin kullanılabileceği önerilmektedir. Bu yöntemde süreç değerlendirmesi, sürecin mevcut performansı ile olması istenen performansının karşılaştırmasıdır. Elde edilen bu ölçütün anlamlı olduğu, yolcunun bu özelliğe ne kadar değer verdiği ve yolcu seçimlerini ne derecede etkilediği de seçim modelleri ile test edilmiştir. Bunun için önerilen metodoloji Bölüm 8’de incelenecektir.

8. SÜRE GÜVENİLİRLİĞİ İNDEKSİ İLE TÜRLER-ARASI ULAŞIMDA ERİŞİM MODELLEMESİ İÇİN ÖNERİLEN METODOLOJİ

Önerilen metodoloji kapsamında izlenecek yol haritası Şekil 8.1 ile verilmiştir. Önerilen metodolojinin ilk aşamasında, yeni bir süre güvenilirliği indeksi geliştirilmesi için süreç yeterliliği analiz edilmektedir. Süreç yeterliliği analizinde, süre güvenilirliği indeksinin doğru olarak elde edilmesi için sürecin kontrol altında olduğu ve ulaşım süre dağılımının özellikleri belirlenmektedir. Aynı zamanda, yolcuların etkin ulaşım sürelerini belirleyen süre bileşenleri dikkate alınarak bulanık spesifikasyon limitleri oluşturulmaktadır. Bunlara göre ulaşım süre güvenilirliği için normal olmayan veri ile bulanık süreç yeterlilik indeksleri formüle edilmiştir.

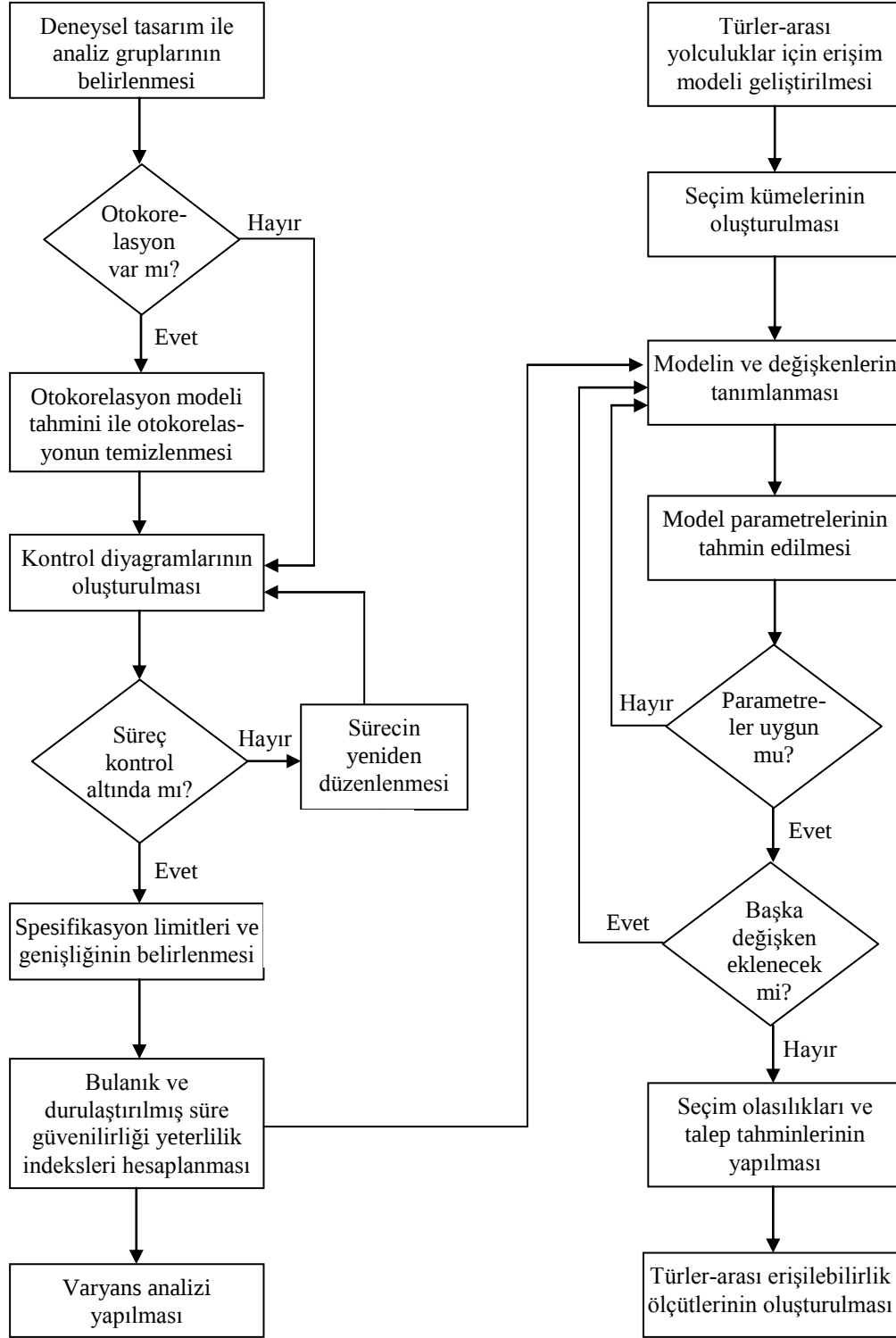
Metodolojinin ikinci aşamasında, türler-arası yolculuklarda erişim hizmetinin planlanması için bir seçim modeli formüle edilmiştir. İlk aşamada geliştirilen süreç yeterlilik indeksinin önemi, bu seçim modeli ile belirlenmiştir. Bunun için süre güvenilirlik indeksi, modelde açıklayıcı bir değişken olarak kullanılarak modelin parametreleri tahmin edilmiş ve uygunluk derecesindeki iyileşme sınanmıştır. Erişim modeliyle hesaplanan seçim olasılıkları, gerçek talep dağılımı ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, bu model ile formüle edilen türler-arası erişilebilirlik ölçütü hesaplanmış ve farklı bölgelerin erişilebilirlik düzeyleri değerlendirilmiştir.

8.1 Varsayımlar

Metodoloji kapsamında aşağıdaki varsayımlar geçerlidir.

1. Yolculuk süresi, yolculuğun erişme bölümündeki araç süresi bekleme, araç- içi süre ve yürümeleri içerir.
2. Yolculuk süreleri lognormal dağılır.
3. Yolculuk süreleri spesifikasyonları rotalara göre farklıdır.
4. Ulaşım türlerinin ortalama hızları farklıdır ve deterministiktir.
5. Ulaşım şebekesindeki süreler deterministiktir.

6. Aynı bölgede yaşayan kişiler için hizmet özellikleri açısından fark yoktur.
7. Erişim durak seçimi, erişim için kullanılacak ulaşım türü seçiminden önce yapılır.



Şekil 8.1 : Metodolojinin yol haritası.

8.2 Toplu Ulaşımında Süreç Yeterlilik Analizi

Yolculuk hizmeti çoğunlukla ortalama yolculuk süresi ve/veya yolculuk süresindeki gecikme miktarı ile değerlendirilmektedir. Bir yolcu, belirli bir güzergahta yaptığı yolculukta, farklı durumlarda farklı yolculuk süreleriyle karşılaşabilir. Yolculuk süreleri ile ilgili değişkenlikler, yolcuların yolculuklarının bitiş noktalarına, yolculuk süresi için verilen limit değer içinde varmalarını etkileyen önemli bir özelliktir (Asakura ve Kashiwadani, 1991).

Ulaşım sistemlerinde, süre güvenilirliği üzerine temel araştırma soruları şunlardır:

- Ulaşım süresi güvenilirliği için hangi ölçütler ve standartlar tanımlanabilir ve bunlar nasıl izlenebilir hale getirilebilir?
- Ulaşım güvenilirliğinin nedenleri nasıl tanımlanabilir ve güvenilirlik nasıl kontrol edilebilir?

Bu araştırma sorularının cevabını verebilmek için süre güvenilirliğinin sistematik olarak ele alınması gereklidir. Bu çalışmada, ulaşım süresi güvenilirliğinin ölçülmesi ve izlenmesi için süreç yeterlilik analizi önemli bir istatistiksel teknik olarak önerilmektedir.

Bu yöntem ile yolculuk süresi değişkenliklerinin ortaya çıkardığı tipik dağılım özelliklerinin yarattığı sorunları ele alabilecek doğru bir indeks geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Yöntem ile ulaşım süresi güvenilirliği, yolcu açısından yolculuk deneyiminin çıktılarını ele alarak uygulanmaktadır. Önerilen yöntem ile geliştirilen performans ölçütü kullanılarak, farklı ulaşım türlerini içeren şebekelerde, yolcuların karşılaştığı değişkenliklere bağlı olarak farklı hizmetlerin yeterlilikleri belirlenebilecektir. Bu yöntemle, farklı özelliklere sahip hizmetler için elde edilen süre dağılımları ile farklı ulaşım sistemi bileşenlerinin güvenilirlik performansı üzerine etkisinin incelenmesi mümkündür. Süreç yeterlilik analizi ile geliştirilecek birimsiz indeksler kullanılarak hizmetlerin analizi ve karşılaştırılmasının yapılması sağlanabilir. Bu yaklaşımla, değişkenliklerin kaynaklarının tespiti ve hizmetlerin sistematik bir yaklaşım ile iyileştirilmesi sağlanabilir.

Süreç yeterlilik analizi kapsamında geliştirilecek SYT'ler, süre değişkenliğinin, spesifikasyon limitlerine göre durumunun incelenmesini sağlayacak basit ve özet

ölçütlerdir. Bu amaçla SYI'lerin formüle edilmesi için süreç yeterlilik analizi kapsamında şu aşamalar ele alınmıştır:

- deneysel tasarım
- sürecin kontrol altında olduğunun saptanması
- ulaşım süresi değişkenliğinin yapısının belirlenmesi
- spesifikasyon limitlerinin belirlenmesi

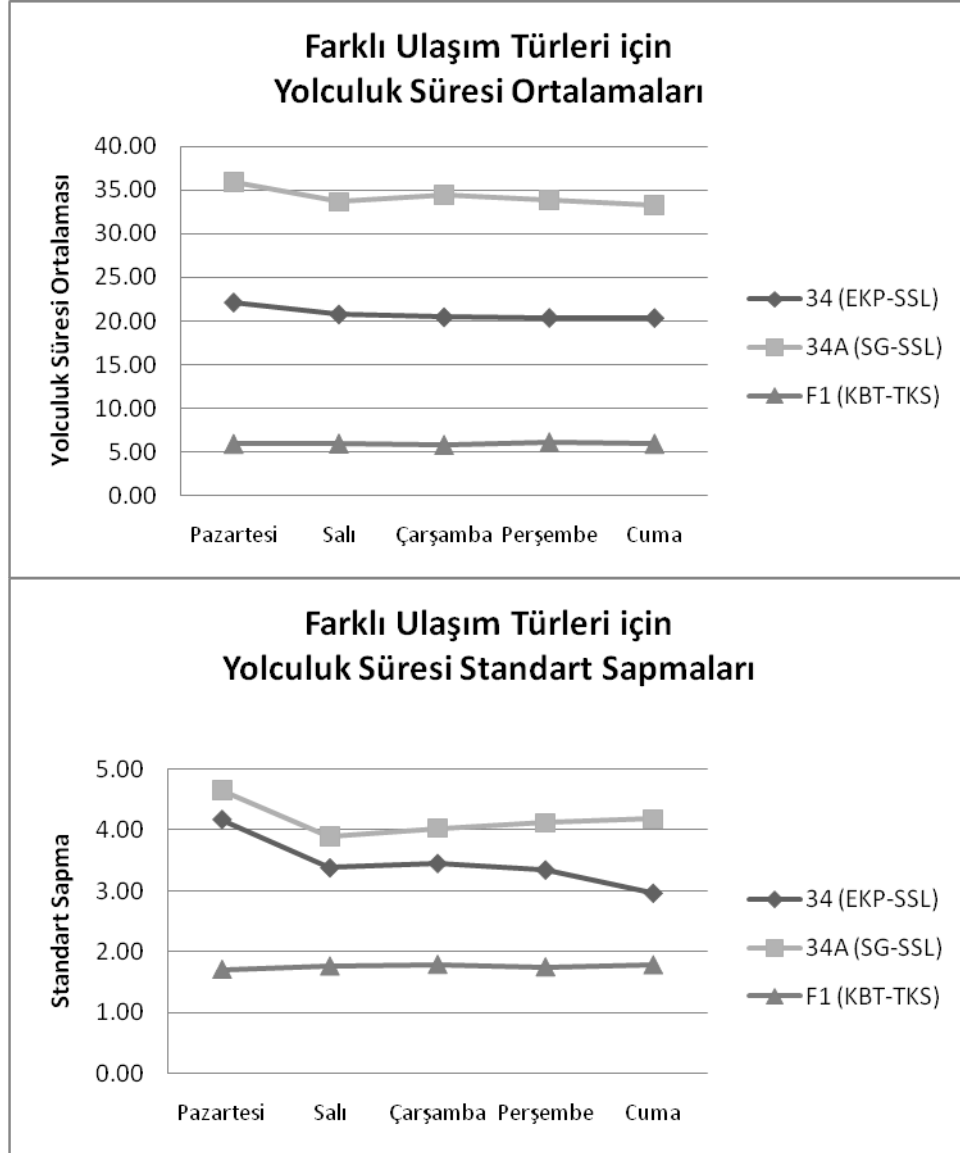
8.2.1 Deneysel tasarım

Ulaşım süreleri arz koşulları (örn. kullanılan ulaşım türü özellikleri vb), talep koşulları (örn. haftanın günleri, günün saatleri, vb.) gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Arz koşulları genellikle kontrol edilebilir değişkenlerdir ancak talep koşulları kontrol edilemeyen ve belirsizliği yüksek olan değişkenlerdir.

Deney tasarımı yapılırken şebeke ve hizmet yapısından kaynaklanan hangi özelliklerin yolculuk süresini etkilediği belirlenmiştir. Literatürdeki çalışmalarda ulaşım süre değişkenliklerinin büyük oranda rota, istasyon, gün ve günün zamanına göre değişkenlik gösterdiği yönünde sonuçlar mevcuttur. Bu özellikler dikkate alınarak süreç yeterlilik analizi için yapılan deneysel tasarımda, rota özellikleri (ulaşım türleri, başlangıç bitiş noktaları, aktarma sayısı, rota uzunluğu) güvenilirlik performansını etkileyen faktörler olarak tanımlanmıştır. Ayrıca talep koşulları farklılaşması nedeniyle haftanın günleri ve günün saatleri de değişkenliği etkileyen faktörlerdir. Süreç yeterlilik analizinde haftanın farklı günlerinde, günün yaklaşık aynı zamanında sunulan hizmetlerin süre güvenilirlik performansının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle günün saatinden kaynaklanacak değişkenlikleri en küçükleme için analizde belirli bir saat aralığı incelenmiştir. Analizin bu şekilde belirlenmesinin amacı, her gün aynı saatlerde düzenli yapılan yolculukların (örn. iş yolculukları) süre güvenilirliği performansının belirlenmesidir. Böylece, farklı günlerde günün aynı saatinde yolculara sunulan hizmetin, süre güvenilirliği açısından yeterli olup olmadığı tanımlanabilir.

Analizin rota ve durak düzeyinde ele alınmasının en önemli gerekçesi bu özelliklere bağlı olarak ortaya çıkan değişkenliklerdir. Farklı ulaşım rotaları ve rota uzunluklarından kaynaklanan, günlere göre süre değişkenlikleri Şekil 8.2'de gösterilmiştir. Verilen şekilde, uygulamada kullanılan örnek bir veri setinden iki

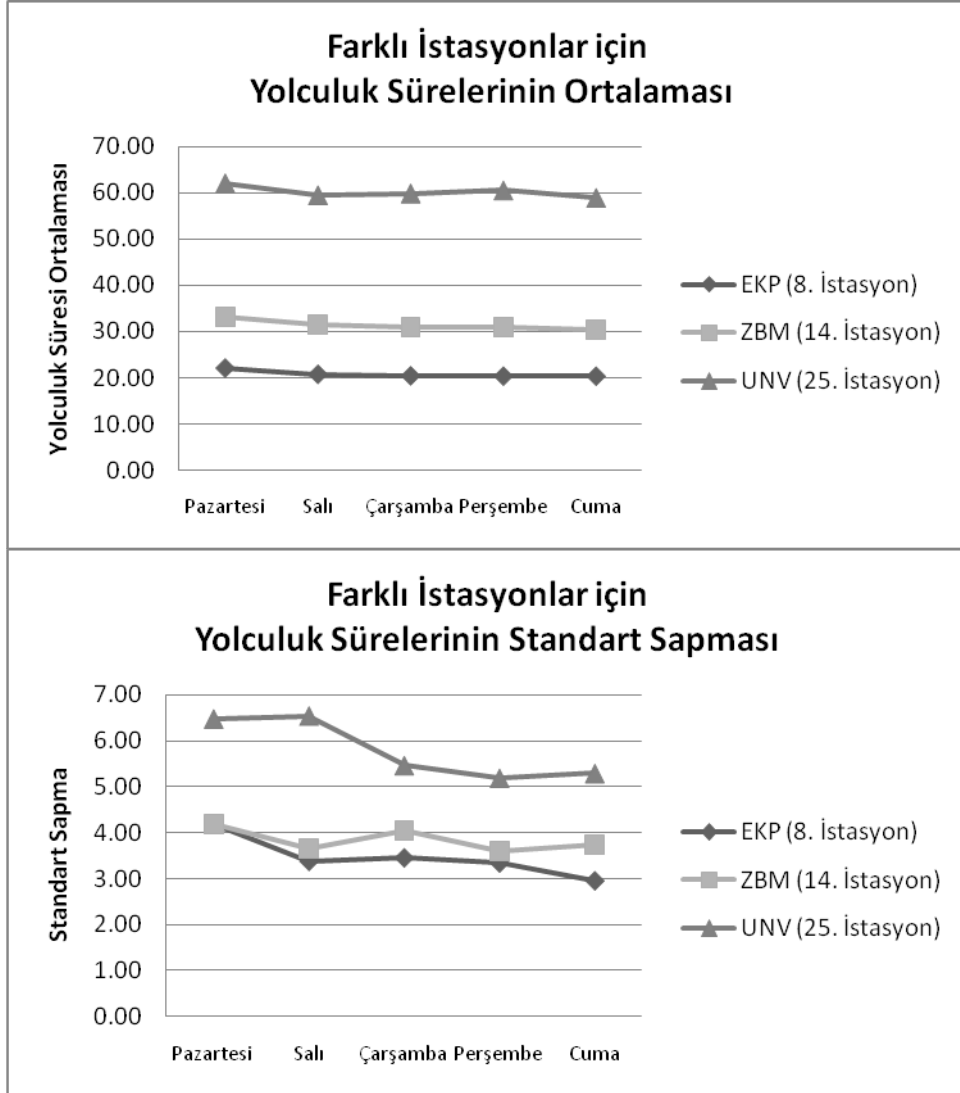
farklı metrobüs hattı (34 ve 34A) ve funiküler (F1) hattındaki farklı günlere ait yolculuk süresi ortalamaları ve standart sapmaları karşılaştırılmıştır. Farklı ulaşım türleri ve koridorların ortalama ve standart sapmalarının günlere göre değişkenlik düzeyleri arasındaki farklılık açıkça görülmektedir.



Şekil 8.2 : Farklı ulaşım türleri veya hatlarına ait yolculuk süresinin günlere göre ortalamaları ve standart sapmaları.

Benzer bir karşılaştırma ulaşım hattı sabit tutulup farklı duraklardan başlayan farklı uzunluktaki yolculuklar için yapıldığında da elde edilmiştir. Tek bir hat üzerinde farklı rota uzunluklarında yapılan yolculuklar için farklı günler için yolculuk süresi ortalamaları ve standart sapmaları Şekil 8.3'te verilmiştir. Burada da süre ortalama ve standart sapmalarının, günler bazında gösterdiği değişkenliğin farklı rota uzunlukları için farklı düzeylerde olduğu görülmektedir.

Bu nedenle yolculuk süresine ait spesifikasyonlar ve süreç yeterlilik indeksleri her rota (hat sıralaması) ve rota uzunluğu için ayrı ayrı belirlenmiştir.

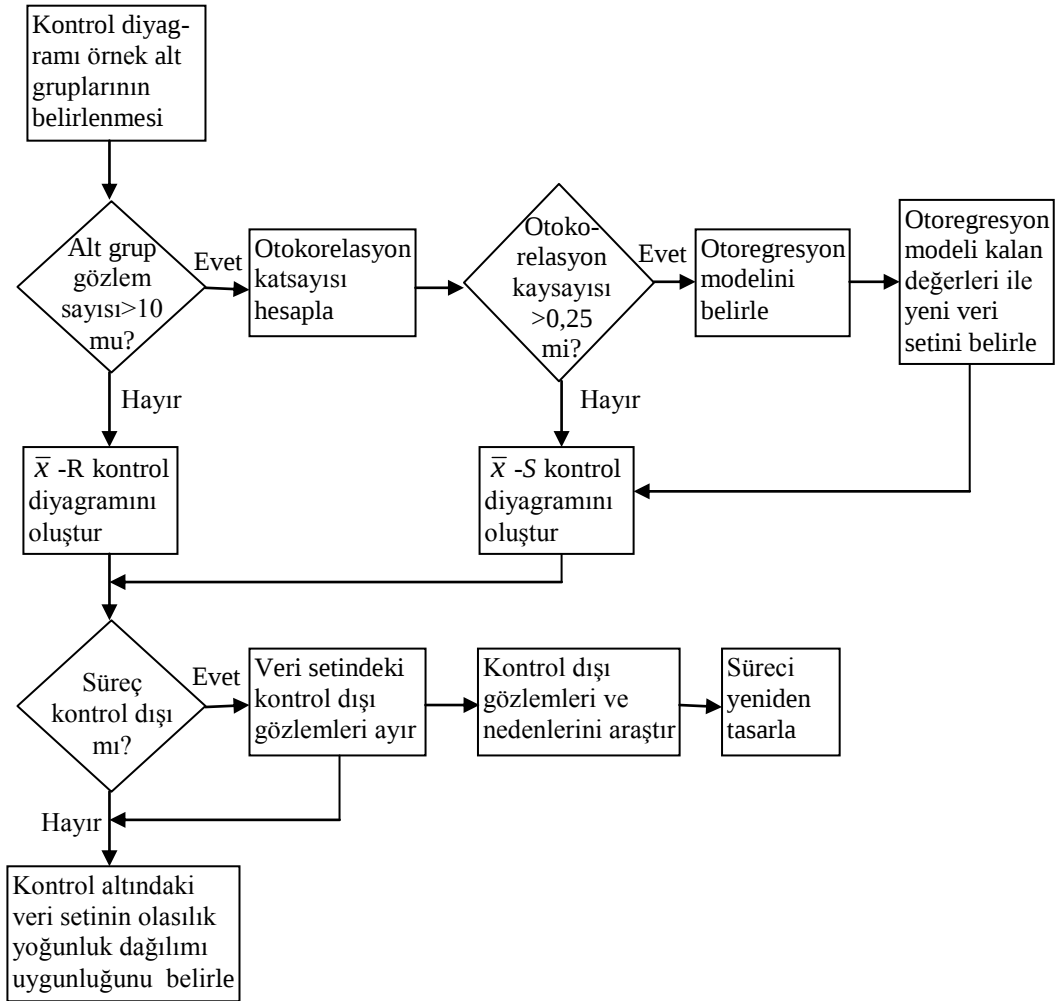


Şekil 8.3 : Farklı istasyonlara ait yolculuk süresinin günlere göre ortalamaları ve standart sapmaları.

8.2.2 Sürecin kontrol altında olup olmadığının tespit edilmesi

Süreç yeterlilik indekslerinin güvenilir olarak tahmin edilebilmesi için, sürecin kararlı olması ve indekslerin formülasyonunda kullanılan parametrelerin doğru olarak bulunabilmesi gereklidir. Bu nedenle, süreç yeterlilik indekslerinin tahmininden önce sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olduğunun belirlenmesi gerekir. Bu amaçla, literatürde sıklıkla başvuru Shewhart kontrol diyagramları kullanılmıştır. Ulaşımda süreç değişkenliği, kontrol edilemeyen dış etkenlerin de varlığı nedeniyle imalat süreçlerindeki değişkenliklerden daha fazladır. Bu nedenle, küçük kaymaların saptanması için kullanılabilecek birikimli toplam veya üssel

ağırlıklı hareketli ortalama kontrol diyagramları yerine Shewhart kontrol diyagramları kullanılmıştır. Shewhart kontrol diyagramları, tipik olarak sağa çarpık olan ancak normallikten aşırı uzak sayılmayacak ulaşım süreleri dağılımları için uygun sonuçlar vermiştir. Literatürde dağılımın normale uymamasının Shewhart kontrol diyagramlarına etkileri ile ilgili normal dağılıma göre kontrol limitlerinin belirlenmesinin, dağılımın normallikten aşırı sapmadığı sürece oldukça gürbüz olduğu bulunmuştur (Burr, 1967; Chan, Hapuarachchi ve Macpherson, 1988; Yourstone ve Zimmer, 1992). Bu nedenle, kontrol diyagramları herhangi bir veri dönüşümü uygulanmadan kullanılmıştır. Şekil 8.4'te kontrol diyagramları ile sürecin kontrol altında olup olmadığının belirlenmesi için izlenen adımlar gösterilmiştir.



Şekil 8.4 : Veri setlerinin iki varsayım (sürecin kontrol altında olması ve dağılım uygunluğu) açısından test edilmesi.

Önerilen yöntemde, sık örnek alınan durumlarda ortaya çıkan otokorelasyonun etkisi test edilmektedir. Örnek otokorelasyon katsayısının 0,25'den büyük bulunması durumunda oto regresyon modeli formüle edildikten sonra modelin kalan değerleri ile

kontrol diyagramları oluşturulmuş ve sürecin kontrol dışında olup olmadığı saptanmıştır.

Kontrol diyagramlarında, sürecin kontrol dışında olduğunu gösteren en temel saptama, örnek istatistiklerinin kontrol limitleri dışında olmasıdır. Ancak, literatürde tüm örnek istatistikleri kontrol limitleri içinde olsa dahi sürecin kontrol dışında olabileceğini gösteren Bölüm 5.2.1’de verilmiş bazı genişletilmiş kurallar belirlenmiştir (Montgomery, 2001). Yine literatürdeki bulgulara göre bu kuralların kullanımı ile yanlış kontrol dışı alarm sayısı artmaktadır. Bu nedenle, sürecin kontrol dışı kabulü için genişletilmiş kurallar listesinin uygulanması yerine, yalnızca kontrol limiti dışında olma kontrolü yapılmıştır.

Shewhart kontrol diyagramları, değişken örnek hacimleriyle oluşturulmuştur. Daha önce tanımlanmış Shewhart genel modelinin değişken örnek hacmiyle $\bar{x}$ -R süre ortalamaları, dağılma aralıkları ve $\bar{x}$ -S süre ortalamaları, standart sapmaları kontrol diyagramları için üst kontrol limiti, merkez çizgisi ve alt kontrol limiti denklemlerinin uyarlanmış hali (8.1), (8.2), (8.3) ve (8.4)’te verilmiştir.

$\bar{x}$ -R ortalamalar kontrol diyagramı için:

$$\text{ÜKL} = \bar{\bar{t}} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$$

$$\text{Merkez çizgisi} = \bar{\bar{t}} \quad (8.1)$$

$$\text{AKL} = \bar{\bar{t}} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$$

$\bar{x}$ -R dağılma aralıkları kontrol diyagramı için:

$$\text{ÜKL} = \bar{\bar{R}} + 3 \frac{d_3 \bar{R}}{d_2}$$

$$\text{Merkez çizgisi} = \bar{\bar{R}} \quad (8.2)$$

$$\text{AKL} = \bar{\bar{R}} - 3 \frac{d_3 \bar{R}}{d_2}$$

$\bar{x}$ -S ortalamalar kontrol diyagramı için:

$$\text{ÜKL} = \bar{\bar{t}} + 3 \frac{\bar{S}}{c_4 \sqrt{n}}$$

$$\text{Merkez çizgisi} = \bar{\bar{t}} \quad (8.3)$$

$$\text{AKL} = \bar{\bar{t}} - 3 \frac{\bar{S}}{c_4 \sqrt{n}}$$

$\bar{x}$ -S standart sapmalar kontrol diyagramı için:

$$\text{ÜKL} = \bar{\bar{S}} + 3 \frac{\bar{S} \sqrt{1 - c_4^2}}{c_4}$$

$$\text{Merkez çizgisi} = \bar{\bar{S}} \quad (8.4)$$

$$\text{AKL} = \bar{\bar{S}} - 3 \frac{\bar{S} \sqrt{1 - c_4^2}}{c_4}$$

öyle ki, t yolculuk süresi, $\bar{\bar{t}} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i \bar{t}_i}{\sum_{i=1}^m n_i}$, $\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (t_{maks} - t_{min})_i$, d_2 ve d_3 örnek hacmi

$$n\text{'ye bağlı sabitler, } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}}, \quad \bar{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (n_i - 1) S_i^2}{\sum_{i=1}^m n_i - m}}, \quad c_4 \cong \frac{4(n-1)}{4n-3}, \quad S_i \text{ i. alt}$$

grubun standart sapması, m alt grup sayısı, n_i i. alt grubun örnek hacmidir.

Örnek hacmi büyüklüğüne göre $\bar{x}$ -R süre ortalamaları, dağılma aralıkları veya $\bar{x}$ -S süre ortalamaları, standart sapmaları kontrol diyagramları oluşturularak sürecin kontrol altında olup olmadığı belirlenmiştir.

Veri toplama için, uygulama bölümünde önerilen otomatik ödeme sistemleriyle elde edilen veri setlerinde, kontrol diyagramlarının önemli bir varsayımı geçerli olmamaktadır. Shewhart gibi geleneksel kontrol diyagramlarının doğru sonuçlar verebilmesi için gözlemlerin bağımsız veya birbirleriyle korele olmama varsayımı yapılmaktadır. Ancak, peş peşe yapılan sık ölçümlerin olduğu otomatik kontrol sistemlerinde bu varsayım gerçekleşmemektedir (Montgomery, 2001). Otomatik ödeme sistemleriyle elde edilen büyük veri setlerinde de veride otokorelasyon

bulunmaktadır. Bu nedenle veri setlerinin otokorelasyon katsayıları denklem (8.5) ile formüle edilmiştir. 0,25'den büyük otokorelasyona sahip veri setleriyle oluşturulan kontrol diyagramlarında yanlış alarm oranında çok büyük artış görülmektedir (Montgomery, 2001). Bu nedenle otokorelasyon katsayısının 0,25'den büyük olması durumunda denklem (8.6) ile birinci dereceden otoregresyon modeli tahmin edilmiştir. Model sonucunda elde edilen, korele olmayan kalan değerler ile süreç yeterlilik analizine devam edilmiştir.

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (t_t - \bar{t})(t_{t-k} - \bar{t})}{\sum_{t=1}^N (t_t - \bar{t})}, k = 0,1,...,K \quad (8.5)$$

K gecikme adımı, t_t , t anında yolculuk süresinin değeri, t_{t-k} ise t anından k adım sonra yolculuk süresinin değeridir.

$$t_t = \xi + \phi x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (8.6)$$

öyle ki, ξ sabit değer, ϕ katsayı ve ε_t normal ve bağımsız dağılan kalan değeridir.

8.2.3 Ulaşım süresi dağılım özelliklerinin belirlenmesi

Literatürde ulaşım sürelerinin normal dağılıma uymaması ve dağılımın sağa çarpık olmasının dikkate alınmasının önemi, son yıllarda ortaya çıkarılmıştır (van Lint ve diğ., 2008; van Loon ve diğ., 2011). Mevcut çalışmaların birçoğunda süre güvenilirliği için normal dağılım varsayımı altında normal dağılımdan gelen parametreler kullanılsa da, çarpıklığın dikkate alınması durumunda çok daha iyi sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, ulaşım süresi güvenilirliği literatüründe, geç varışların erken varışlara göre daha büyük önem taşıdığı bulunmuştur (Brownstone ve Small, 2005; van Loon ve diğ., 2011). Bu özellik dikkate alınarak normal olmayan dağılımlarda tek yönlü spesifikasyon limiti ile süreç yeterlilik analizi yapılması önerilmektedir.

Normal olmayan dağılımlar ile süreç yeterlilik analizi yaklaşımlarından biri olan veri dönüşümü tekniğinin küçük örnek hacimleri ile kullanımı uygun değildir. Bu nedenle veri dönüşümü gerektirmeyen tekniklerden biri olan olasılık grafiği yöntemi ile süreç yeterlilik indeksleri hesaplanmıştır. Literatürde olasılık grafiği yönteminin dönüşüm

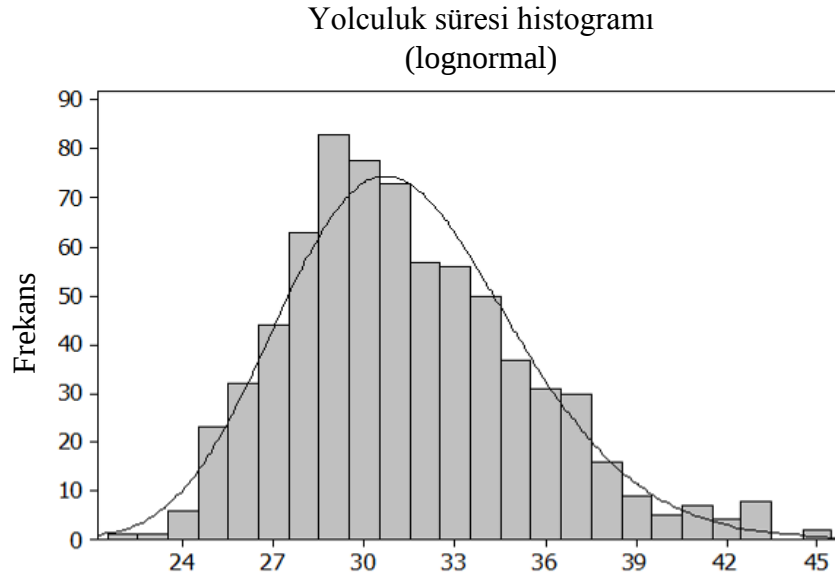
gerektirmeyen teknikler içinde en iyi performansı gösterdiği belirlenmiştir (Tang ve Than, 1999).

Olasılık grafiği yöntemiyle tek yönlü süreç yeterlilik analizinde merkezi eğilim değeri medyan olarak kullanılmıştır. Olasılık grafiği yöntemine göre normal olmayan veri setleri ile tek yönlü süreç yeterlilik indeksi, denklem (8.7) ile elde edilmektedir.

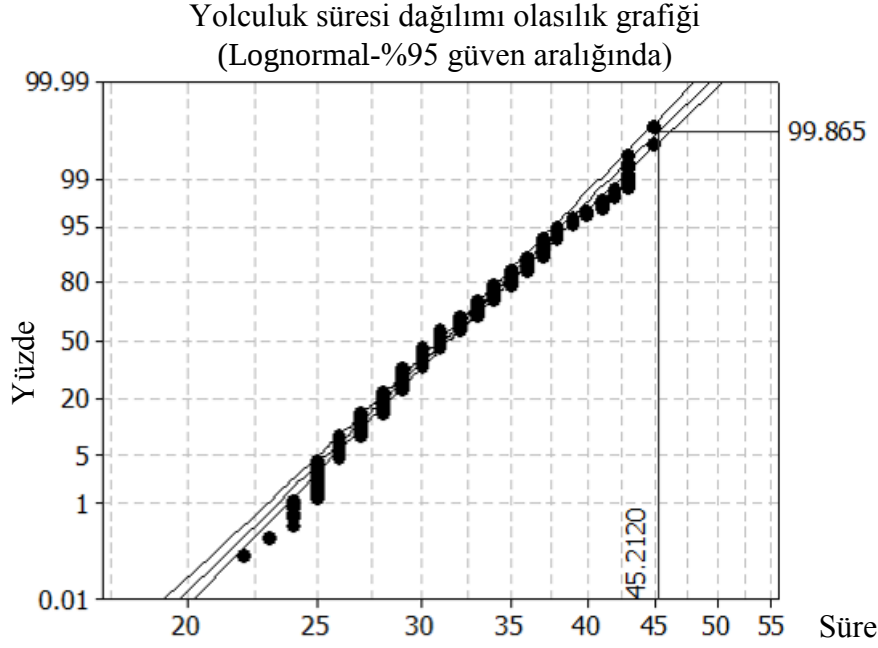
$$C_{pu}^{nn} = \frac{\text{ÜSL} - \text{medyan}}{U_p - \text{medyan}} = \frac{\text{ÜSL} - X_{\%50\text{liknokta}}}{X_{\%0,135\text{lik üstnokta}} - X_{\%50\text{liknokta}}} \quad (8.7)$$

öyle ki, U_p dağılımın 0,135’lik yüzdelik üst noktasıdır.

Ulaşım sürelerinin, daha önce Chang’ın (2010) çalışmasında önerildiği gibi, lognormal dağılıma uyduğu kabul edilmiştir. Uygulama veri setlerinde yapılan dağılım uyum test istatistiklerinde de en iyi sonuçlar lognormal dağılım ile elde edilmiştir. Lognormal olasılık dağılımının uygunluğu için Anderson-Darling (AD) testleri uygulanmıştır. Örnek bir uygulama veri setinin lognormal dağılıma uygunluğu görselleştirilmesi için Şekil 8.5 ile dağılımının histogramı ve lognormal dağılım çizgisi verilmiştir. Şekil 8.6’da olasılık grafiğiyle gözlemlerin, lognormal çizgisine uyumu gösterilmiştir. Bu veri seti için elde edilen AD test sonucu 3,32’dir.



Şekil 8.5 : 34 metrobüs hattı Zeytinburnu istasyonundan başlayan yolculuklar için süre dağılımının histogramı.



Şekil 8.6 : 34 metrobüs hattı Zeytinburnu istasyonundan başlayan yolculuklar için sürenin lognormal dağılımının %99,865’lik değeri.

8.2.4 Spesifikasyon limitlerinin oluşturulması

Ulaşım hizmetine ait spesifikasyonların belirlenmesi, elle tutulur fiziksel ürünlerin spesifikasyonlarının belirlenmesinden daha güçtür. Spesifikasyonların belirlenmesinde karşılaşılan iki önemli zorluk şunlardır:

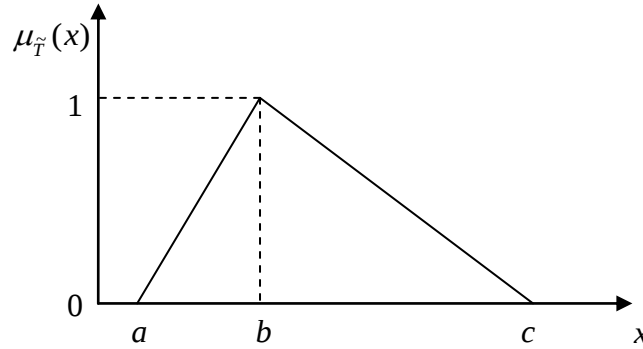
- spesifikasyonları etkileyen faktörlerin belirlenmesi
- spesifikasyonlarla ilgili dış etkenlerden kaynaklanan belirsizliğin dikkate alınması

Ulaşım süresi spesifikasyonları, birçok fiziksel ürünlerdeki elle tutulur özellikler için belirlenen spesifikasyonlar gibi kesin değerler değildir. Ulaşım süresi spesifikasyonları çoğu zaman belirsiz ve hakkında kesin bilgi sahibi olunmayan değerlerdir. Bu nedenle, ulaşım süresi spesifikasyonlarının bulanık sayılar olarak ele alınmasının, süreç yeterlilik indekslerinin daha hassas bir şekilde hesaplanmasını sağlayabileceği önerilmektedir. Bulanık küme teorisi, Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiştir. Bulanık küme teorisi, birçok olguyu gerçek hayattaki gibi kesin olmayan bir şekilde ifade etme gücü sağladığı için çok sayıda alandaki mühendislik uygulamalarında kullanılmıştır. Bulanık küme teorisinde tanımlanan üçgensel bir bulanık sayı denklem (8.8)’de gösterilmiştir.

R gerçek sayılar kümesi ise $F(R) = \{A|A : R \rightarrow [0,1], A \text{ sürekli bir fonksiyon iken}\}$,
 $F_T(R) = \{T_{a,b,c} \mid a,b,c \in R, a \leq b \leq c\}$, öyle ki,

$$\mu_T(x;a,b,c) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & , \text{eger } a \leq x < b \\ (c-x)/(c-b) & , \text{eger } b \leq x < c \\ 0 & , \text{diger durumlarda} \end{cases} \quad (8.8)$$

Bu durumda, $\tilde{T}_{a,b,c} \in F_T(R)$ bir bulanık üçgen sayıdır. $\tilde{T}$ üçgen bulanık sayısına ait üyelik fonksiyonu Şekil 8.7’de gösterilmiştir.



Şekil 8.7 : Bir üçgen bulanık sayı $\tilde{T}$.

Önerilen süreç yeterlilik indeksleri için üst spesifikasyon limiti $\tilde{U}(a_u, b_u, c_u) \in F_T(R)$ şeklinde bir üçgen bulanık sayı olarak tanımlanmaktadır.

Spesifikasyon limitinin tanımlanmasında yolculuk süresini oluşturan şu bileşenler ele alınmıştır:

- aracı bekleme süresi (t_b)
- araç içi süre (t_a)
- araçlar-arası yürüme süresi (t_v)

Aracı beklemesi süresi (t_b)

Bekleme süresi, yolcunun istasyona varış zamanı ile aracın istasyona varış zamanına bağlıdır. Aracın istasyona varış zamanı ise aracın, önceden belirlenmiş hizmet sıklığına, başka bir deyişle durağa iki araç gelişi arasında geçen süreye (periyoda) bağlıdır. Literatürde, yolcuların bekleme sürelerini, hizmet sıklıklarına göre şu şekilde ayarladıkları belirlenmiştir: (i) hizmet sık ise yolcu, aracın çizelgenmiş varış zamanını dikkate almadan durağa rassal bir zamanda gelir, (ii) hizmet sık değil ise yolcu, aracın çizelgelenmiş varış zamanından yaklaşık 5 dakika önce durağa gelir. Dolayısıyla spesifikasyonlar belirlenirken, periyodu 10 dakikadan kısa şekilde

çizelgelenmiş hizmetler için bekleme süresi periyodun yarısı, periyodu 10 dakika ve bundan daha uzun hizmetler için bekleme süresi 5 olarak tanımlanmıştır.

Araç-içi süre (t_a)

Araç içi süre, yolcunun araca bindiği ve indiği nokta arasında araç içinde sürüş sırasında geçirdiği süredir. Dolayısıyla araç-içi süre, mesafe ve ulaşım hizmetinin hızına bağlıdır. Ulaşım hizmetinin hızı ise ulaşım türünün geçiş hakkı, trafik sıkışıklığı, aracın performansı, talebin yoğunluğu, vb. birçok faktöre bağlıdır. Şebeke zamanları deterministik olarak ele alınmış ve literatürde ulaşım türleri için tanımlanmış ortalama hızlar kullanılarak araç içi süreler belirlenmiştir. Her ulaşım türü için hız değeri Çizelge 3.2’de verilen hız aralıklarının orta değeri olarak kabul edilmiştir. Mesafeler, ulaşım şebekesi üzerinden belirlenerek araç içi süreler hesaplanmıştır.

Araçlar-arası yürüme mesafesi (t_y)

Aktarma içeren türler-arası yolculuklarda aktarma sırasından bir araçtan diğerine yürüme süresi de yolculuk sürelerinin bir parçasıdır. Araçlar-arası yürüme sürelerini belirlemek için aktarma lokasyonunda istasyonlar arası mesafe ve literatürde verilmiş ortalama yürüme hızı 5 km/sa. değerleri kullanılmıştır.

Bu değişkenler ile bulanık spesifikasyon limitleri oluşturulurken, bekleme süresi, araç-içi süre ve yürüme sürelerindeki belirsizlikler dikkate alınmıştır. Ayrıca spesifikasyon limitleri belirlenirken, literatürde 3-9 dakika olarak tanımlanmış gecikme süresi, tolerans dahilinde bulanık sayıların belirlenmesinde dikkate alınmıştır (van Loon ve diğ., 2011). Bu esaslar doğrultusunda rotalar bazında gecikme spesifikasyonları denklem (8.9) ile tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned} \hat{ÜSL}^r = & [(t_a + \sum_h t_b^h + \sum_s t_y^s), (t_a + 2\sum_h t_b^h + 2\sum_s t_y^s + 3), \\ & (t_a + 2\sum_h t_b^h + 3\sum_s t_y^s + 9)] \end{aligned} \quad (8.9)$$

öyle ki, $r(h,s)$ rotası, h hatları ve s aktarma merkezlerinin bir sıralamasıdır ve $\hat{ÜSL}^r$, r rotasına ait bulanık üst spesifikasyon limitidir.

8.2.5 Yolculuk süre güvenilirliği süreç yeterlilik indeksi formülasyonu

Üst spesifikasyon limiti $\tilde{U}(a_u, b_u, c_u) \in F_T(R)$ şeklinde bir üçgen bulanık sayıyla tanımlandığında, olasılık grafiği yöntemiyle süreç yeterlilik indeksi formülasyonu kullanılarak denklem (8.10) ile süreç yeterlilik indeksi, bulanık bir sayı olarak elde edilmiştir.

$$\tilde{C}_{pu}^{nn} = \left(\frac{a_u - \text{medyan}}{U_p - \text{medyan}}, \frac{b_u - \text{medyan}}{U_p - \text{medyan}}, \frac{c_u - \text{medyan}}{U_p - \text{medyan}} \right) \quad (8.10)$$

$\tilde{C}_{pu}^{nn}$ normal olmayan veri setleri ile hesaplanmış üst spesifikasyon limiti ile geliştirilmiş tek yönlü bulanık süreç yeterlilik indeksidir. Normal olmayan veri setlerinde dağılımın merkezi eğilim değerinin ortalama ile temsil edilmesi, dağılımın çarpık olması nedeniyle uygun değildir. Çarpık dağılımlarda medyan değerinin ortalama göre daha doğru bir istatistik olması nedeniyle formülasyonda ortalama değeri yerine medyan değeri kullanılmıştır.

Süreç yeterlilik indeks formülasyonunda, spesifikasyon genişliği –dağılımın normal olması durumunda- 6σ aralığı ile karşılaştırılır. Ancak tek yönlü indeksler için yarım spesifikasyon genişliği kullanıldığı için 3σ ile karşılaştırılır. Normal olmayan dağılımlar için indeksler, olasılık grafiği yöntemiyle formüle edildiği için normal dağılımdaki 3σ genişliğine eşit aralık, dağılımın 0,135 yüzdelik üst noktası ile medyan değerinin farkıdır. Bu aralığı belirlemek için U_p değeri X kalite özelliğinin dağılımında $\Pr\{U_p \geq X_{0,99865}\} = 0,00135$ ile bulunur. Bu durumda olasılık grafiği yöntemi ile tek yönlü bulanık süreç yeterlilik indeks formülasyonu denklem (8.11) şeklinde de yazılabilir.

$$\tilde{C}_{pu}^{nn} = \left(\frac{a_u - X_{0,5}}{X_{0,99865} - X_{0,5}}, \frac{b_u - X_{0,5}}{X_{0,99865} - X_{0,5}}, \frac{c_u - X_{0,5}}{X_{0,99865} - X_{0,5}} \right) \quad (8.11)$$

Birden fazla sayıda bulanık süreç mevcut ise, bu süreçleri karşılaştırmak için süreç yeterlilik indekslerini karşılaştırmak gereklidir. Bu amaçla, bulanık sayılar durulaştırıldıktan sonra karşılaştırma yapılmıştır. Durulaştırma için iyimserlik indeksi ile toplam integral yöntemi kullanılmıştır. Liou ve Wang (1992), $\omega \in [0,1]$ iyimserlik indeksini kullanarak toplam integral yöntemini önermiştir. Bu indeks iyimserlik derecesini temsil etmektedir. Örneğin, bu indeks farklı geçiş üstünlükleri olan farklı ulaşım türlerinin süre güvenilirlik performansı açısından iyimserlik

dereceleri farklı ise farklı düzeylerde belirlenebilir. Ancak uygulama bölümünde, tüm örnekler için iyimserlik veya kötümserlik benimsenmemesi durumunda kullanılan, 0,5 değeri, iyimserlik indeksi olarak dikkate alınmıştır.

Toplam integral yönteminde $\tilde{C}_{pu}^{nn}$ bulanık sayısının sağ üyelik fonksiyonu $f_{\tilde{C}_{pu}^{nn}}^R$ ile sol üyelik fonksiyonu $f_{\tilde{C}_{pu}^{nn}}^L$ ile tanımlanırsa, toplam integral değeri denklem (8.11), (8.12), (8.13) ile gösterilir.

$$E_w(\tilde{C}_{pu}^{nn}) = \omega E_R(\tilde{C}_{pu}^{nn}) + (1 - \omega) E_L(\tilde{C}_{pu}^{nn}) \quad (8.11)$$

öyle ki,

$$E_R(\tilde{C}_{pu}^{nn}) = \int_{\alpha}^{\beta} x f_{\tilde{C}_{pu}^{nn}}^R(x) dx \quad (8.12)$$

ve

$$E_L(\tilde{C}_{pu}^{nn}) = \int_{\gamma}^{\delta} x f_{\tilde{C}_{pu}^{nn}}^L(x) dx \quad (8.13)$$

öyle ki, $-\infty < \alpha \leq \beta \leq \gamma \leq \infty$ 'dir. İncelenen bulanık sayı, üçgensel bir bulanık sayı,

$$\tilde{C}_{pu}^{nn} = \left(\frac{a_u - X_{0,5}}{d_u}, \frac{b_u - X_{0,5}}{d_u}, \frac{c_u - X_{0,5}}{d_u} \right), \text{ olduğu için toplam integral değeri, denklem}$$

(8.14) ve (8.15) ile elde edilir.

$$E_w(\tilde{C}_{pu}^{nn}) = \frac{1}{2} \left[\omega \left(\frac{a_u - X_{0,5}}{d_u} + \frac{b_u - X_{0,5}}{d_u} \right) + (1 - \omega) \left(\frac{b_u - X_{0,5}}{d_u} + \frac{c_u - X_{0,5}}{d_u} \right) \right] \quad (8.14)$$

öyle ki, $d_u = X_{0,99865} - X_{0,5}$ 'dir

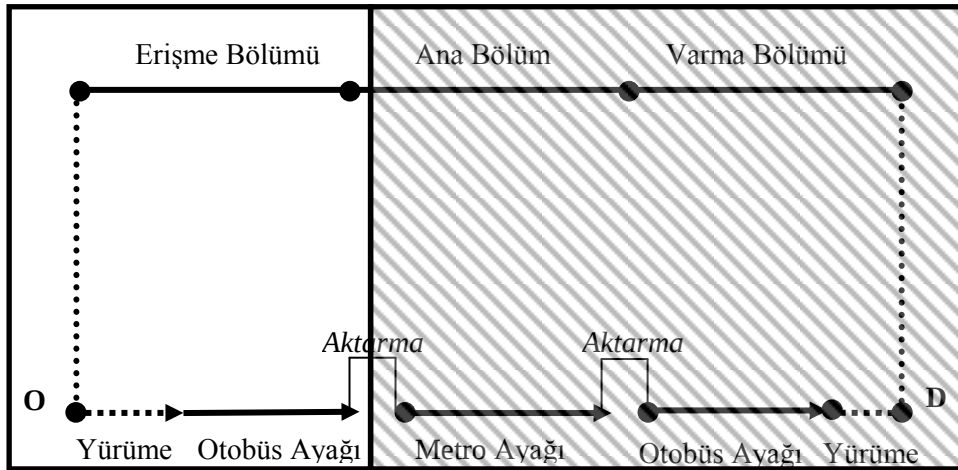
8.3 Erişim Durağı ve Türü Seçim Modeli

Ulaşım modellemede farklı başlangıç ve varış noktaları arasında yapılacak yolculukların hangi noktalardan geçtiği ve hangi türler ile yapıldığının belirlenmesi ulaşım planlaması açısından önem taşımaktadır. Yolcuların, yolculuklarıyla ilgili seçimleri yaparken yolculukla ilgili süre, güvenilirlik, maliyet, vb. hizmet özelliklerine göre karar verdiği bilinmektedir. Ulaşımda talep planlaması yapabilmek için yolcuların seçimlerini en iyi yansıtan seçim modellerinin geliştirilmesi gerekir. Seçimin altında yatan fayda formülasyonuyla farklı hizmet özelliklerinin ( rn. güvenilirlik, ücret, vb.) yolcu açısından önemi ve bu değişkenler üzerindeki değişikliklerin, yolcu seçimlerini ne derece etkilediği bulunur. Böylece, şebeke üzerinde farklı nokta ve bağlantılarda ortaya çıkabilecek yoğunluklar tahmin edilebilir ve seçim modelleri ile hangi alanlarda ne tür politikalar izlenirse talebin nasıl yönlendirilebileceği belirlenebilir.

Bu tez çalışmasında, ele alınan seçim probleminde türler-arası ulaşımda besleme hatları ile yüksek hız ve kapasite sunan hatların birleştiği aktarma olanağı sunan duraklar (erişim durağı) ve bu duraklara erişim için kullanılacak türler (erişim türü) arasından yolcuların yaptıkları seçimlerin formüle edilmesi amaçlanmıştır. Toplu ulaşımda yüksek kapasite sunan ulaşım türlerine, diğer türlere göre daha uzak mesafelerden erişmek ve kullanmak isteyen yolcu sayısı fazladır. Dolayısıyla, yolcular yüksek kapasiteli ulaşım türlerine besleme hatlarıyla gelmeyi kabul etmektedir. Bu tür yolculuklar en az bir aktarma içerdiği için daha önce tanımlandığı gibi türler-arası yolculuk adı altında incelenmektedir. Toplu ulaşımın, özel araç ulaşımının sağladığı faydalar ile rekabet edebilmesi için etkin ve hızlı bir alternatif haline gelmesi gerekir. Bu nedenle, özel araçlar ile rekabet edebilecek yüksek hız ve kapasite sunan hatların daha etkili seçenekler haline gelebilmesi için türler-arası ulaşımın daha iyi incelenmesi gereklidir. Yolcuların türler-arası yolculuklarda, erişim durağı ve erişim türü seçimlerinde dikkate alınan süre, süre güvenilirliği gibi değişkenlerin önem dereceleriyle bir seçim modeli geliştirilmiştir. Elde edilen seçim modeli ile ne tür politikalar ile yolculara sunulan hizmet düzeyinde ve talepte ne derecede değişimler elde edileceği belirlenmiş ve farklı bölgelerin farklı durak ve ulaşım türlerine göre erişilebilirlikleri incelenmiştir.

8.3.1 Seçim davranışı ve modelleme çerçevesi

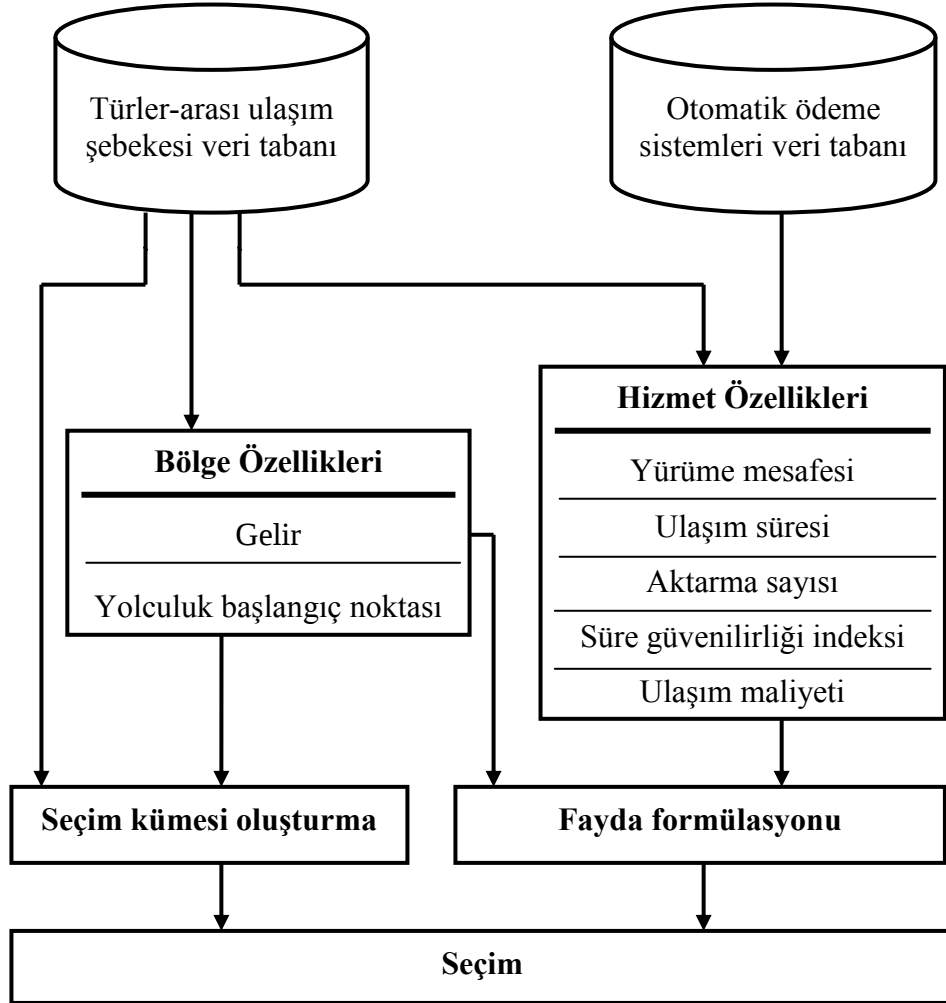
Model çerçevesinde yolcuların, türler-arası yolculuklarının erişim bölümünde yaptıkları seçimler ele alınmaktadır. Yolcuların varış noktalarına varmak için hali hazırda belirli bir ulaşım hizmetini kullanmaya karar verdikleri varsayılmıştır. Önceden belirlenmiş bu ulaşım hizmetine erişmek için, olası duraklar ve erişim için kullanılacak olası ulaşım türleri arasında yolcuların seçimlerinin modellenmesi amaçlanmaktadır. Bu modelde ele alınan ulaşım türü seçimi, yolculuğun erişme bölümünde kullanılan ulaşım türü ile ilgilidir. Durak seçimi ise yolculuğun ana bölümünün başlangıç durağı seçimiyle ilgilidir. Şekil 8.8’de bir türler-arası yolculuğun tipik bileşenleri gösterilmiştir. Önerilen model, bu bileşenlerden erişme bölümü ile ilgilenmektedir. Yolcuların, yolculuklarının diğer bölümleriyle ilgili seçimleri hali hazırda yaptıkları varsayılmaktadır.



Şekil 8.8 : Türler-arası ulaşımında erişim durağı ve erişim ulaşım türü.

Önerilen bu model ile ana bölüm için önceden belirlenmiş ulaşım hizmetinin ne derecede erişilebilir olduğunun tanımlanması amaçlanmıştır. Tek tür ile yolculuklarda yürüme mesafesi ile ölçülen erişilebilirliğin, türler-arası yolculuklarda yalnızca yürüme mesafesi ile ölçülmesi, yolculuğun tüm erişim bölümünü içermemektedir. Geliştirilen model ile elde edilen erişilebilirlik formülasyonu, türler-arası yolculuklarda ulaşım hizmetlerinin erişilebilirliğinin ölçülmesini sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar ile aktarma merkezleri, park-et devam-et tesisleri, besleme hatları vb. türler-arası yolculuk bileşenleri için talep dağılımı, miktarları ve çeşitli politikalar sonucu yapılacak değişikliklerin etkileri belirlenebilir.

Erişim durağı ve ulaşım türü seçiminde, karar vericilerin yolculuk alternatifleri durak-erişim türü çiftleridir. Karar vericilerin yolculuk başlangıç noktalarına göre, yolculuk alternatiflerinin hizmet özellikleri, ulaşım şebekesi ve otomatik ödeme sistemleri veri tabanı ile belirlenmiştir. Bu hizmet özellikleri, fayda formülasyonunda açıklayıcı değişkenler olarak dikkate alınmıştır. Seçim modeli bireysel düzeyde değil, toplu (İng.: aggregate) düzeyde tanımlanmıştır. Yolcular, başlangıç noktalarına göre toplu olarak temsil edilmiştir. Bu nedenle, seçim modelinde kullanılan hizmet özellikleri, yolcuların başlangıç noktasına göre belirlenmektedir. Belirli bir bölgede yaşayan yolcuların başlangıç noktası, o bölgenin merkez noktası olarak kabul edilmiştir. Böylece, belirli bir bölgedeki ortalama bir yolcu ile bu bölgede yaşayan tüm yolcular temsil edilmiştir. Şekil 8.9’da modelleme çerçevesi görsel olarak gösterilmiştir.



Şekil 8.9 : Erişim seçim modellemesinin şema gösterimi.

Yolcular türler-arası bir yolculuk yapacaklarında yüksek hızlı ve kapasiteli bir araca erişmek için başka bir araç kullanırlar. Bu modelde yapılacak seçim, mevcut erişim alternatifleri arasında en uygun olanını belirlemektir. Erişim alternatifleri, modelde erişim için kullanılacak ulaşım türü ve erişim yolculuğunun sonunda varılacak duraktır. Erişim yolculuğu sonunda varılacak durakta aktarma yapılarak ikinci araca bağlantı sağlanmaktadır. Dolayısıyla bu durak, yolculuğun ilk bölümü için varış durağı olsa da yolculuğun ana bölümünün yapılacağı ikinci araca erişim için kullanılan erişim durağıdır. Bu nedenle, bu duraktan erişim durağı olarak bahsedilecektir.

Yolcuların seçimlerini yaparken mevcut alternatifler arasından en uygun alternatifi seçtikleri varsayılmaktadır. Mevcut alternatiflerin bulunduğu kümeye seçim kümesi (C_n) adı verilmektedir. Erişim için seçim kümeleri, yolculuğun başlangıç noktası, bitiş noktası ve ulaşım şebekesinin imkanlarına bağlıdır. Dolayısıyla, farklı bölgeler için ulaşım şebekesinin özelliklerine göre seçim kümeleri belirlenmektedir.

Mevcut alternatifler içinden en uygun seçimin yapılması için, alternatiflerin yolcular tarafından nasıl değerlendirildiğinin tahmin edilmesi gerekir. Tüketici teorisine göre yolcular kendileri için en büyük faydayı sağlayan alternatifi seçerler. Dolayısıyla tüketici açısından faydanın nasıl formüle edilebileceği tahmin edilmelidir. Ulaşım literatüründe süre ve maliyet fayda formülasyonunda en sık kullanılan değişkenlerdir. Bir ürünün maliyeti, farklı gelir grupları için aynı görece değerde olmadığı için çoğunlukla gelir ile normalize edilir veya gelir de fayda formülasyonuna ayrıca dahil edilir. Sürenin uzunluğunun yanı sıra, sürenin tahmin edilebilir olması da yolcular açısından önem taşımaktadır. Formüle edilen modelde, yolculuk sürelerinin değişkenliğinin bir özeti olarak geliştirilmiş süre güvenilirliği yeterlilik indeksi de yolcular için fayda sağlayan önemli bir değişken olarak dikkate alınmıştır. Bunlara ek olarak, türler-arası yolculuklarda yolcular için önem taşıyan aktarma sayısı ve aktarmada yürüme mesafesi de fayda formülasyonuna dahil edilmiştir.

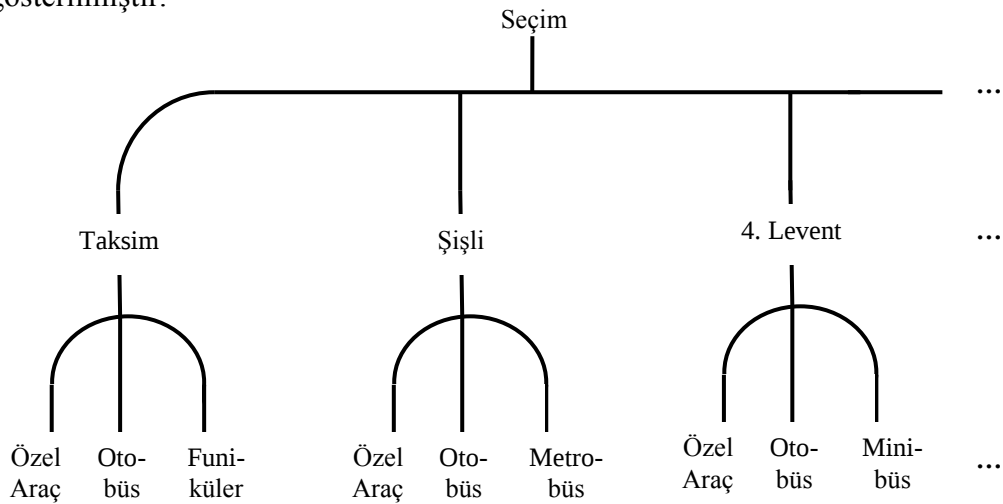
8.3.2 Seçim modelinin tanımlanması

Erişim durağı ve erişim ulaşım türü seçimi, hem bir varış noktası hem de ulaşım türü seçimi içeren çok boyutlu bir problem olarak tanımlanmıştır. Çok boyutlu seçimlerde iki seçim boyutu olduğu için önce bir boyut ile ilgili seçim yapıldıktan sonra buna

göre ikinci boyutla ilgili seçim yapılır. Bu tür seçimlerdeki hiyerarşik yapı nedeniyle erişim durağı ve erişim ulaşım türü seçimi, genelleştirilmiş uç değer modelleri ailesinden yuvalı lojit model olarak tanımlanmıştır.

Yuvalı lojit modellerde alternatifler gruplandırılarak seçimler modellenmektedir. Bu özellik, erişim durağı ve erişim ulaşım türü seçim probleminde, her durağın yolculara farklı bağlantı özellikleri sunması nedeniyle ortaya çıkan doğal gruplandırmayı ele almayı kolaylaştırmaktadır. Belirli bir durak içinde tanımlanan alternatifler arasında gözlemlenemeyen faktörler arasında korelasyon yüksektir. Bu nedenle bir durağa erişmek isteyen yolcular için farklı ulaşım türlerinin birbirinin yakın ikamesi olabileceği kabul edilmiştir.

Bu gruplama yuvalı lojit modelde hiyerarşik bir yapıyla ele alınmaktadır. Erişim durağı-ulaşım türü seçim modelinde durak seçiminin hiyerarşik olarak üstte olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım, ele alınan türler-arası ulaşımında erişim seçimi probleminde, seçilen durağın yüksek kapasiteli bir hat için erişim durağı olması ve seçilen ulaşım türünün de bu durağa erişmek için kullanılan besleme hattının türü olması nedeniyle öncelikli kararın yüksek hızlı hatta erişilecek durak olması ve buna göre besleme hattının seçilmesi kabulüne dayanmaktadır. Daha farklı yapıdaki bir problem için ulaşım türü hiyerarşik olarak durağın üstünde tanımlanabilir. Ancak, ele alınan türler-arası erişim probleminde durak seçiminin, ulaşım türü seçimine göre üstte tanımlandığı yuvalı lojit model kullanılmıştır ve modelin yapısı Şekil 8.10'da gösterilmiştir.



Şekil 8.10 : Erişim durağı ve erişim ulaşım türü yuvalı seçim modeli.

Bölüm 6.2.1’de lojit modeller kapsamında yuvalı lojit modeller ele alınmıştır. Burada yuvalı lojit modelin, türler-arası yolcularda erişim seçim modellemesi için bir uyarlaması yapılacaktır.

İndisler:

n : belirli bir bölge (karar verici)

s : erişim durağı

m : erişim alternatifi (erişim durağı-ulaşım türü kombinasyonu)

C_n belirli bir bölgenin seçim kümesi ise, bu seçim kümesi erişim durağı yuvalarına öyle bölünmüştür ki,

$$C_n = \bigcup_{s=1}^S C_{sn}$$

$$C_{sn} \cap C_{s'n} = \emptyset, \forall s \neq s'$$

Yuvalı lojit modellerde fayda, çok boyutlu seçim nedeniyle çok parçalı bir yapıda tanımlanır:

$$U_{mn} = W_{sn} + Y_{mn} + \varepsilon_{mn}, m \in C_{sn} \text{ için} \quad (8.16)$$

öyle ki, W_{sn} , s yuvasını tanımlayan değişkenlere bağlıdır. Bu değişkenler yuvalar arasında değişir ancak yuvaların içindeki tüm alternatifler için aynı değeri alır. Y_{mn} ise m alternatifini tanımlayan değişkenlere bağlıdır.

Bu çalışmada durak-erişim türü seçiminde, m için tanımlanan Y_{mn} temsili fayda fonksiyonu dört farklı değişken kombinasyonu ile formüle edilmiştir. Bu fonksiyondaki değişkenlerin parametrelerinin tahmini için olabilirlik fonksiyonu oluşturulup en büyüklenmiştir. Yuvalı lojit modelin fayda formülasyonuna hizmet özellikleri ve parametreleri yerleştirildiğinde fayda formülasyonu şu hali almaktadır:

$$U_{mn} = \underline{\beta}_s x_{sn} + \underline{\beta}_m x_{mn} + \varepsilon_{mn}, m \in C_{sn} \quad (8.17)$$

öyle ki, x_{mn} n bölgesinin m alternatifi için erişim hizmetinin özelliklerini gösterir. Eğer faydayı J sayıda değişken belirliyorsa erişim hizmeti özellikleri vektörü şöyle gösterilebilir:

$$\underline{x}_{mn} = \begin{bmatrix} x_{mn1} \\ x_{mn2} \\ \vdots \\ x_{mnJ} \end{bmatrix}, m = 1, \dots, M \quad n = 1, \dots, N \quad (8.18)$$

$\underline{x}_{sn}$ ise n bölgesinin s durağı için erişim hizmeti özelliklerini gösterir ve s yuvası içindeki tüm alternatifler için aynıdır. I sayıda erişim durağı özelliği varsa $\underline{x}_{sn}$ (8.19)'da gösterilmiştir

$$\underline{x}_{sn} = \begin{bmatrix} x_{sn1} \\ x_{sn2} \\ \vdots \\ x_{snI} \end{bmatrix}, s = 1, \dots, S \quad n = 1, \dots, N \quad (8.19)$$

Her erişim özelliğinin fayda üzerindeki etkisi, tahmin edilen parametreler ile ağırlıklandırılmaktadır. J sayıda alternatif özelliği ve I sayıda durak özelliği için parametre vektörleri şöyle gösterilir:

$$\underline{\beta}_m = [\beta_{m1} \quad \beta_{m2} \quad \dots \quad \beta_{mJ}], m = 1, \dots, M \quad (8.20)$$

$$\underline{\beta}_s = [\beta_{s1} \quad \beta_{s2} \quad \dots \quad \beta_{sI}], s = 1, \dots, S \quad (8.21)$$

Çoklu ve yuvalı lojit modellerde alternatiflere ait gözlemlenemeyen fayda faktörlerinin bağımsız eş dağılımlı olması varsayımı altında seçim olasılıkları integrali (8.22)'deki kapalı formu almaktadır.

$$\Pr_{nm^*} = \frac{e^{V_{m^*n}/\lambda_{s^*}} (\sum_{m \in C_{s^*n}} e^{V_{mn}/\lambda_{s^*}})^{\lambda_{s^*}-1}}{\sum_{s=1}^S (\sum_{m \in C_{sn}} e^{V_{mn}/\lambda_s})^{\lambda_s}}, \text{ öyle ki, } V_{mn} = \underline{\beta}_s \underline{x}_{sn} + \underline{\beta}_m \underline{x}_{mn} \quad (8.22)$$

öyle ki, m^* seçilen alternatif, s^* seçilen alternatifin içinde olduğu yuvayı gösterir.

Bu olasılık, ayrıca koşullu olasılıklar ile bileşik seçim olasılıkları olarak da (8.23)'teki şekilde ifade edilebilir:

$$\Pr_{nm^*} = \Pr\{s\} \Pr\{m | s^*\} \quad (8.23)$$

Fayda ve seçim olasılıklarının bu modele göre oluşturulabilmesi için model parametrelerinin tahmin edilmesi gerekir. Tahmin için (8.23)'teki bileşik seçim

olasılıklarının log-olabilirlik fonksiyonunu en büyükleyen parametreler tahmin edilir. Log-olabilirlik fonksiyonu (8.24)'te verilmiştir.

$$LL = \sum_{n=1}^N \sum_{s \in C_n} y_{sn} \ln \Pr_n \{s\} + \sum_{n=1}^N \sum_{m \in C_{s^*n}} y_{mn} \ln \Pr_n \{m | s^*\} \quad (8.24)$$

öyle ki,

$$y_{sn} = \begin{cases} 1 & \text{eger } n \text{ gözlemi } s \in C_n \text{ duragini secmisse} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$y_{mn} = \begin{cases} 1 & \text{eger } n \text{ gözlemi } m \in C_{s^*n} \text{ erisim turunu secmisse} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Böylece, fayda ve olasılık formülasyonundakine benzer iki parçalı yapı, log-olabilirlik fonksiyonunda da elde edilebilir. Log-olabilirlik fonksiyonu koşullu ve marjinal log-olabilirlik olmak üzere ikiye ayrılır. Bu fonksiyonun parametreleri 3 adımlı sıralı bir prosedür ile tahmin edilir (Ben-Akiva ve Lerman, 1985).

Koşullu log-olabilirlik fonksiyonunda n kişinin, s^* erişim durağını seçmiş olma koşulu altında m seçeneklerinden birini seçme olasılığı denklem (8.25) ile gösterilmektedir.

$$\Pr_n \{m | s^*\} = \frac{e^{Y_m / \lambda_{s^*}}}{\sum_{m \in C_{s^*n}} e^{Y_m / \lambda_{s^*}}} \quad (8.25)$$

Bu olasılığı içeren log-olabilirlik fonksiyonunun koşullu parçasını enbüyükleyen parametrelerin tahmini hızlı bir şekilde yapılabilir. Her s istasyonu için parametre tahminleri yapıldıktan sonra her istasyona ait τ değeri denklem (8.26) ile hesaplanır.

$$\tau_{sn} = \ln \sum_{m \in C_{sn}} e^{Y_m / \lambda_s} \quad (8.26)$$

Bu değer, marjinal log-olabilirlik fonksiyonu parçasında tanımlanan n kişinin s istasyonunu seçme olasılığının denklem (8.27) ile verilen formülasyonunda kullanılır.

$$\Pr_n \{s\} = \frac{e^{W_s + \lambda_s \tau_{sn}}}{\sum_{s=1}^S e^{W_s + \lambda_s \tau_{sn}}} \quad (8.27)$$

τ değeri bilindiğine göre log-olabilirlik fonksiyonunun marjinal parçasını enbüyükleyen parametrelerin tahmini ile λ_s , $\underline{\beta}_s$ ve $\underline{\beta}_m$ tahminleri elde edilir.

Yöntemin uygulanması için Nlojit, Stata, biogeme gibi yazılımlar mevcuttur. Bunlar içinden biogeme v1.8 ile parametre tahminleri yapılmıştır. Elde edilen parametre tahminleri ile geleceğe yönelik fayda ve seçim olasılıkları tahminleri elde edilmiştir.

8.3.3 Türler-arası ulaşım için erişilebilirlik ölçütünün formülasyonu

Model tanımında, ulaşım hizmetlerinin bağlantı imkanı sağladığı şebeke noktaları (durak veya aktarma merkezi) yuvalı lojit modelde grupları oluşturmaktadır. Her grup altında ise o grup için mevcut erişim türü alternatifleri yuvalanmıştır. Bu erişim türleri, ele alınan durak (veya aktarma merkezi) için türler-arası yolculuklarda erişilebilirliği belirleyen en önemli faktörlerdir. Dolayısıyla belirli bir durak grubu altındaki erişim türleri alternatiflerinin sağladığı toplam fayda bu durak için türler-arası ulaşım için bir erişilebilirlik göstergesidir. Rassal fayda en büyükleme modellerinden biri olan yuvalı lojit modelde fayda, rassal bir değer olarak ele alındığı için faydanın beklenen en büyük değerleri kullanılarak toplam fayda değeri elde edilir. Bir yuvanın sağladığı toplam fayda $I_{C_{sn}}$ ile gösterilirse toplam beklenen en büyük fayda, denklem (8.28) ile elde edilmektedir:

$$I_{C_{sn}} = \ln \sum_{m \in C_{sn}} e^{V_{mn}} \quad (8.28)$$

öyle ki, C_{sn} n bölgesinin s durağına ait seçim kümesi, m alternatifler, V_{mn} ise n bölgesi için alternatif m 'nin temsili faydasıdır. Temsili fayda ise hizmet özellikleri değişkenleri ve parametreler ile daha önce verildiği gibi şöyle formüle edilmektedir:

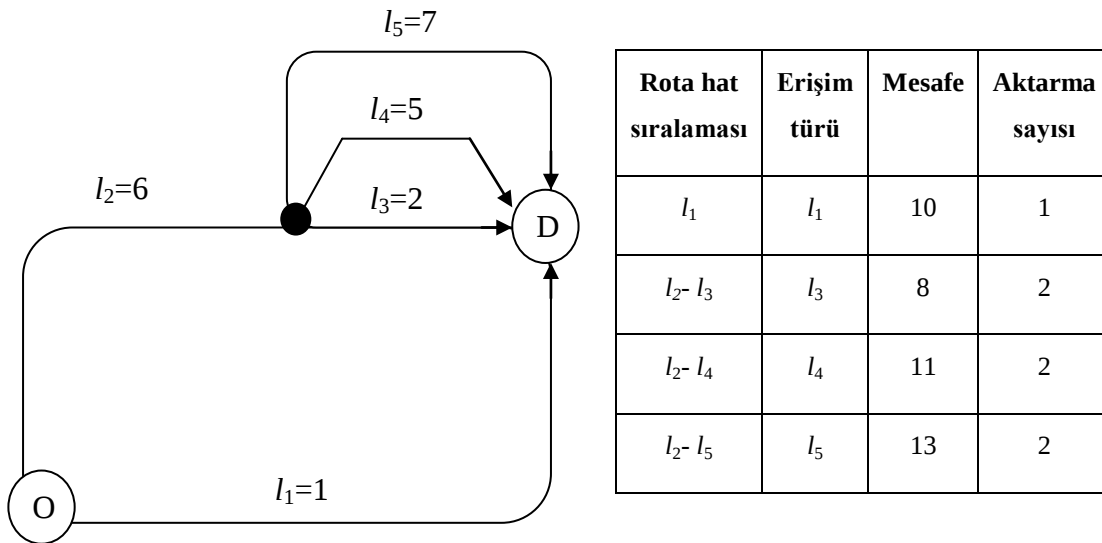
$$V_{mn} = \underline{\beta}_s x_{sn} + \underline{\beta}_m x_{mn}$$

8.3.4 Seçim kümesi oluşturma esasları

Gerçek ulaşım şebekelerinde yolcuların bir noktadan başka bir noktaya gitmesi için sayısız seçenek mevcuttur. Ancak, yolcular seyahat planlarını yaparken başlangıç noktalarından, varış noktalarına gitmek için sayısız rota içinden sadece bir kısmını dikkate almaktadır. Rota seçimi problemlerinde ideal olan bu sayısız rota seçeneği içinden her yolcunun dikkate aldığı gerçek seçim kümesi ve seçimleri belirleme kapasitesinde bir algoritma oluşturmaktadır.

Geleneksel ulaşım planlamada sıralı bir modelleme yöntemi benimsenmektedir. Her başlangıç noktası için önce bitiş noktası, ardından ulaşım türü seçimi, en son olarak seçilen ulaşım türü şebekesi üzerinde rota seçimi yapılır. Ancak bu sıralamada rota seçiminden önce ulaşım türü seçimi yapıldığı için türler-arası yolculukların yapılmadığı varsayılır ve yolculuklar tek tür ile tanımlanır. Ancak gerçek ulaşım sistemlerinde, türler arasında geçişler olabileceği için türler-arası geçişleri ele alabilmek için ulaşım türü seçimi ve rota seçimi birlikte ele alınmalıdır.

Bu çalışmada tanımlanan problem bir rota seçimi problemi değilse de, farklı başlangıç noktalarından belirli bir durağa erişmek için kullanılan erişim türlerinin öncesinde başka araçların kullanılmış olabileceği de dikkate alınmaktadır çünkü hizmet özellikleri (örn. aktarma sayısı) buna göre değişebilir. Bunun için her erişim türü-durağı kombinasyonu, başlangıç noktasına göre rota özellikleriyle tanımlanmıştır. Şekil 8.11’de verilen küçük bir şebeke üzerinde O noktası başlangıç, D noktası varış noktalarıdır. Bu şebekede OD noktaları arasında yolculuk yapmak için çeşitli rotalar mevcuttur. Şeklin sağ tarafındaki tabloda mevcut dört rotanın hangi bağlantıları takip ettiği gösterilmiştir. Seçim probleminde ele alınan erişim türü ise D varış noktasıyla kesişen bağlantıların ulaşım hizmet türüdür. Şekilde her bağlantının mesafeleri verilmiştir. Sağ tarafta verilen tabloda, OD noktaları arasında her rotanın mesafesi hesaplanmıştır. Ayrıca türler-arası yolculuklar için önemli bir değişken olan aktarma sayısı da farklı erişim türleri için şebekenin sağladığı olanaklara göre ortaya çıkan rota özelliklerine bağlıdır.



Şekil 8.11 : Şebeke üzerinde OD noktaları arası farklı rota seçenekleri.

Gerçek ulaşım şebekesi büyüklükleri için rota seçenekleri çok fazladır. Kişilerin tercihleri ve davranışları da oldukça karmaşık olduğu için kişilerin hangi alternatifleri dikkate aldığını belirlemek güçtür. Literatürde rota seçim problemleri için seçim kümelerini mümkün olduğunca doğru şekilde belirlemek amacıyla birçok algoritma sunulmuştur. Bu modelde, seçim kümelerini belirlemek için literatürde sıklıkla kullanılan en kısa rota algoritması belirli karar kuralları ile kullanılmıştır. Bu algoritma ile her yolculuk başlangıç noktası ev bitiş noktası arasında en kısa mesafeyi veren rotaya ait durak-erişim türü alternatifleri belirlenmiştir. Bu rotalar bazı karar kuralları ile birlikte kullanılarak seçim kümeleri belirlenmiştir.

Ele alınan seçim, erişim durağı ve erişim türü olduğu için, durak-erişim türü kombinasyonları ile yolculuk başlangıç noktaları arasında en kısa rotalar oluşturulmuştur. Bölge düzeyinde modelleme yapıldığı için yolculuk başlangıç noktaları bölgelerin merkez noktaları olarak tanımlanmıştır. Oluşturulan rotalar üzerinde kullanılan karar kuralları şunlardır:

- Belirlenen erişim rotasında en fazla 2 aktarmaya izin verilmiştir. Bunun nedeni yolcuların büyük çoğunluğunun en fazla 2 veya 3 aktarma ile yolculuk yapmayı kabul etmesidir. Yolculuğun sadece erişim kısmı ele alındığı için en fazla aktarma sayısı 2 olarak belirlenmiştir.
- Belirli bir ulaşım hizmetine aktarmasız erişim için en fazla yürüme mesafesi 1500 metre olarak varsayılmıştır. Literatürde yüksek performanslı hizmetler için yolcuların 1000-1500 metre arasında yürümeyi kabul ettiği bulunmuştur. Bölge bazında toplu planlama yapıldığı için yürüme mesafesinin üst değeri 1500 metre kullanılmıştır.
- Durağa, özel araç ile erişim için en büyük sürüş mesafesi 5000 metre ve aktarma sayısı 1 olarak varsayılmıştır. Ele alınan türler-arası yolculuk probleminde, özel araç ile durağa gelip, aracı park edip, başka bir tür ile yolculuğa devam edildiği düşünülmektedir. Park et-devam et hizmetinin kapsama alanı literatürde 5000 metre olarak belirlenmiştir. Ayrıca başlangıç noktasında özel araç ile belirli bir türe erişip bu türe aktarma yapıldığı için aktarma sayısı sadece 1 olarak kabul edilmiştir.

En kısa rota algoritması ile rotalar ArcGIS versiyon 9 yazılımı ile oluşturulmuştur. ArcGIS’de oluşturulan en kısa rotalar ile belirlenen karar kuralları kullanılarak seçim kümeleri aşağıda özetlenen yöntemle oluşturulmuştur:

1. Saha merkez noktaları için $d_{yürüme} \leq 1500$ m. olan toplu ulaşım istasyonlarını belirle.
 - 1.1. $d_{yürüme} \leq 1500$ m. olan sahalarda için bu istasyonlardan başlayan erişim istasyonu ile bağlantılı rotaları ekle.
 - 1.1.1. Rotanın hizmet özelliklerini belirle.
 - 1.2. $d_{yürüme} > 1500$ m. ise saha merkez noktalarını O, erişim durakları ile doğrudan bağlantılı toplu ulaşım istasyonlarını D olarak ata.
 - 1.2.1. OD en kısa rotaları ve uzaklık matrisini oluştur.
 - 1.2.2. Aktarma sayısını 2 olarak ve diğer hizmet özelliklerini belirle.
2. Erişim durakları ile kesişen toplu ulaşım şebekesini (otobüs, minibüs, dolmuş) ata.
 - 2.1. Saha ile şebeke kesişiyorsa, hattı seçim kümesine ekle.
 - 2.1.1. Aktarma sayısını 1 olarak ve diğer hizmet özelliklerini belirle.
 - 2.2. Saha ile şebeke kesişmiyorsa, saha merkez noktalarını O, erişim duraklarını D olarak ata.
 - 2.2.1. OD en kısa rotalarını ve uzaklık matrisi oluştur.
 - 2.2.2. Aktarma sayısını 2 olarak ve diğer hizmet özelliklerini belirle.
3. Yol şebekesi ata.
 - 3.1. Saha merkez noktalarını O, erişim duraklarını D olarak tanımla.
 - 3.2. OD en kısa rotalarını ve uzaklık matrisi oluştur.
 - 3.3. Uzaklık > 5000 metre ise seçim kümesinden çıkar.

Adımları verilen bu yöntemle, toplu ulaşım ve özel araçlar ile tanımlanan ulaşım şebekeleri kullanılarak sahalarda merkez noktaları ile erişim durakları arasındaki rotalara ait bitiş durağı, tanımlanan seçim probleminde erişim durağı olarak belirlenmiştir. Her rotanın son ayağındaki araç türü ise erişim türü olarak tanımlanmıştır. Her saha için belirlenen bu erişim durağı-erişim türü çiftleri, ilgili sahanın seçim kümesini oluşturmaktadır.

Seçim kümesindeki her alternatifin (erişim durağı-erişim türü çifti) özelliklerini belirlerken, yolculuk süreleri, her rota için mesafe, ortalama hız, yürüme süresi ve hizmet periyoduna bağlı olarak hesaplanmıştır. Modeldeki diğer alternatif özellikleri olan aktarma sayısı, taşıma hizmet ücreti, süre güvenilirliği yeterlilik indeksleri de rotalara göre belirlenmiştir.

9. METODOLOJİNİN GEÇERLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Önerilen süre güvenilirliği yeterlilik indekslerinin geliştirilmesi ve bu indeks ile erişim seçim modellerinin oluşturulması için İstanbul ulaşım şebekesi üzerinde bir uygulamaya yer verilmiştir. Uygulama alanı, kullanılan veri seti, yöntemin uygulanması ve elde edilen bulgular bu bölümde sunulacaktır.

9.1 Uygulama alanı ve kapsamı

Süreç yeterlilik analizi kapsamında, önerilen süreç yeterlilik indeksleri İstanbul'daki tek metro hattını kullanan yolcuların erişim rotaları için incelenmiştir. Bu metro hattı Şişhane-Darüşşafaka arasında hizmet vermektedir. Bu hattın, bölümün devamında M2 kısaltması ile bahsedilecektir. M2 metro hattı, 2000 yılında hizmet vermeye başlamıştır. 2009'da istasyon sayısı 11'e yükseltilmiştir ve önümüzdeki yıllarda bu hat uzatılacak ve daha fazla sayıda istasyon ile hizmet verecektir. Mevcut durumda 11 istasyon ile hizmet vermektedir. Bu istasyonlar güneyden kuzeye doğru sırasıyla şunlardır: Şişhane, Taksim, Osmanbey, Şişli, Gayrettepe, Levent, 4.Levent, Sanayi Mahallesi, İ.T.Ü. Ayazağa, A.O.Sanayi, Darüşşafaka. M2 hattının İstanbul haritası üzerindeki konumu ve 11 istasyonu Ek.B Şekil B.1'de gösterilmiştir. Bu istasyonların sabah iş saatlerinde üç gün için kullanım sayıları Çizelge 9.1'de verilmiştir. Şişli istasyonu kullanım oranının yüksekliğinin de gösterdiği gibi çok sayıda bağlantı sağlaması nedeniyle bir aktarma merkezi olarak değerlendirilebilir.

M2 metro hattında türler-arası yolculuk yapan yolculara sunulan hizmetin yolculuk süre güvenilirliğini ve türler-arası erişilebilirliğini incelemek için kullanılmasını teşvik eden ana fikir, tek bir hat olarak hizmet veren metro hizmetinin yolcular tarafından büyük oranda diğer türler ile bütünleşik olarak kullanılmasıdır. 2010 yılı kullanım sayılarından elde edilen bilgiye göre metro hattını kullanan yolcuların en az %65'i bir veya birden daha fazla sayıda aktarma yaparak metro hizmetinden yararlanmaktadır. Dolayısıyla, yolcu bakış açısıyla tüm yolculuk deneyimi dikkate alındığında, kapıdan-kapıya yolculuk süresi güvenilirliği, sadece metro hizmetinin sağladığı süre güvenilirliği düzeyine bağlı değildir. Bunun yanı sıra, metro hattı ile

bütünleşik olarak hizmet veren diğer hatların yolculuk süre güvenilirliği de, metroyu diğer ulaşım türleri ile bütünleşik olarak kullanan yolcular için büyük önem taşımaktadır.

Çizelge 9.1 : M2 Metro hattı istasyonlarının kullanım oranları.

İstasyon Adı	Kullanım Sayısı	Yüzde
Şişli	19073	43%
Taksim	6698	15%
Levent	5403	12%
4.Levent	4843	11%
Darüşşafaka	2245	5%
Gayrettepe	2143	5%
Sanayi	941	2%
A.O. Sanayi	889	2%
Osmanbey	834	2%
Şişhane	438	1%
İTÜ Ayazağa	385	1%

M2 metro hizmetinin sunduğu yüksek hız ve yüksek kapasiteye erişmek için yolcular ulaşım şebekesi içinde metro hattı ile kesişen birçok ulaşım türünü kullanmaktadır. Ulaşım şebekesinde metro hattı ile kesişen ve yolculara bağlantı yaparak ulaşım türleri arası bütünleşik hizmetlerden yararlanma fırsatı sağlayan türler arasında otobüs, metrobüs, funiküler, minibüs/dolmuş ve özel ulaşım hizmetleri (örn. özel araç, taksi, vb.) vardır. Ek.B Şekil B.2’de verilen harita ile M2 metro hattı ve ulaşım şebekesi gösterilmiştir. Ulaşım şebekesi üzerinde M2’ye erişmek için yapılan yolculuklardan yaklaşık %55’i yaklaşık 480 farklı hattın sunduğu otobüs hizmetidir. Ayrılmış bir şerit ile daha yüksek hız ve kapasite ile hizmet veren metrobüsler, M2 metro hattıyla Şişli ve Gayrettepe istasyonlarında bağlantı imkanı sağlayarak türler-arası yolculukların yaklaşık %33’ünde M2’ye erişim için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, başka bir raylı ulaşım hizmeti, funiküler, ise tek bir hat ve durak ile yalnızca Taksim istasyonunda M2 ile bağlantı sağlamaktadır ve türler-arası yolculukların %8’inde M2’ye erişmek için kullanılmaktadır.

Yolcular açısından genellikle, sabit programa tabi faaliyetler için yapılması gereken yolculuklarda varış noktasına zamanında ulaşmak daha büyük önem taşımaktadır. Bu bakış açısı ile uygulamanın birinci bölümünde yolcuların sabah iş yolculuklarındaki süre güvenilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Yolcuların iş yolculuklarını, her sabah benzer saatlerde yaptığı varsayımı ile kullanılan veri setleri, farklı günlerde,

günün sabah saatlerindeki yolculuk sürelerini içermektedir. Günün sabah saatlerinde M2 ile yapılan türler-arası yolculuklarda, M2'ye erişmek için M2'den önce araç kullananların sayısı, varış noktasına gitmek için M2'den sonra araç kullananların sayısından yaklaşık 5 kat daha fazladır. Sabah saatlerinde M2'ye erişim yönünün daha yoğun kullanılması nedeniyle M2'ye erişim yönündeki hizmetler için süre güvenilirliği yeterlilik analizi yapılmıştır. Benzer bir inceleme M2'den sonra varış noktasına gitmek için kullanılan araçlar için de yapılabilir. Bu yönde yoğunluğun akşam saatlerinde daha fazla olduğu dikkate alınarak böyle bir incelemede akşam saatleri öncelikli olarak incelenebilir.

Uygulamanın ikinci aşamasında, M2 metro hattını kullanacak yolcuların M2 metro istasyonlarından hangisine ve hangi ulaşım türü ile erişecekleri incelenmiştir. Türler-arası yolculukların ele alınması amaçlandığı için her yolculukta bulunan yürüme ile istasyona erişme, bir erişim türü olarak tanımlanmamıştır. Ele alınan problemde istasyonlara erişmek için kullanılan motorlu araç türleri, erişim türü olarak tanımlanmıştır. M2 metro hattı ile bağlantı sağlayan erişim türleri metrobüs, otobüs, funiküler, minibüs/dolmuş ve özel araçlardır. Bu erişim türleriyle farklı M2 istasyonlarına ulaşım hizmet özelliklerinden biri, geliştirilen süre güvenilirliği indeksi ile tanımlanmıştır. Her hizmetin yolcu için faydası bu indeks ile birlikte süre, maliyet, aktarma sayısı gibi değişkenlerin bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

9.2 Kullanılan Veri Setleri

Uygulamada üç tip veri seti kullanılmıştır. Otomatik veri sistemleri veri tabanı, farklı rotalara ait süre güvenilirliği yeterlilik analizi ve diğer bazı hizmet özelliklerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. M2 metro hattı kullanıcıları ile yapılan yolculuk anketinden erişim modeli parametrelerinin tahmini için faydalanılmıştır. Ulaşım şebekesi veri tabanı ise bölgeler düzeyinde seçim olasılık tahminlerinin yapılabilmesi için kullanılmıştır.

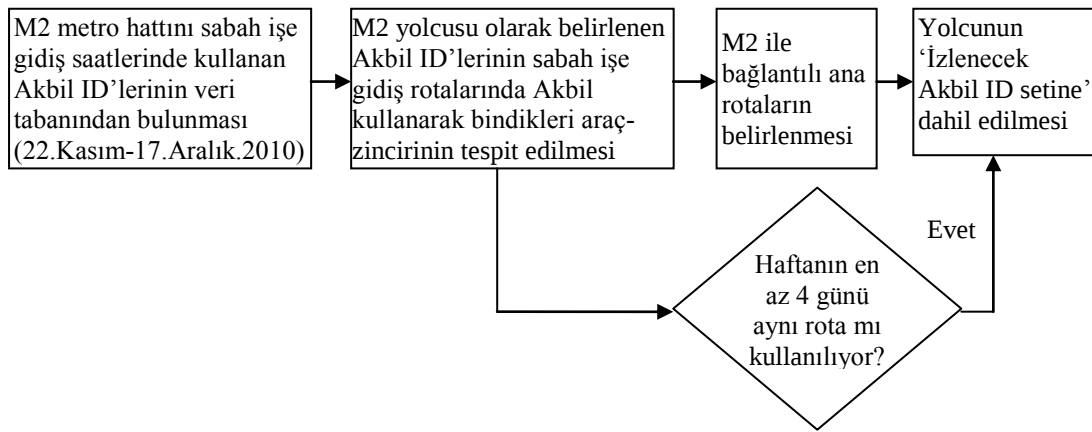
9.2.1 Otomatik ödeme sistemleri veri tabanı

Otomatik ödeme sistemlerine ait veri tabanları Belbim A.Ş. tarafından oluşturulmaktadır. Bu veri tabanlarından elde edilen veri setleri otomatik ödeme sistemlerinin kullanıldığı erişim türlerinin bazı hizmet özelliklerinin belirlenmesine imkan sağlamaktadır. Otobüslerde otomatik ödeme sistemleri kullanıldığı halde

durak düzeyinde veri setleri saklanmadığı için bu çalışma için gerekli veri setlerine otobüsler için ulaşılammıştır. Ayrıca otomatik ödeme sistemleri dışında kalan minibüs ve dolmuşlar için de bu veri tabanlarından faydalanılamamıştır.

Otomatik ödeme sistemlerinden elde edilen yolculuk süreleri, raylı sistemler ve metrobüs erişim türleri için süre güvenilirlik indekslerinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Akbil veri tabanlarından, M2 metro yolcularının türler-arası yolculuklarındaki erişim yolculuk süreleri elde edilmiştir. M2 metro hattında 2010 yılında 750 kişi ile yapılan bir ankette yolcuların %75'inin akbil kullanarak ödeme yaptıkları belirlenmiştir. Dolayısıyla, Akbil kullanan yolcuların oranı, tüm yolcuları temsil edecek kadar büyüktür.

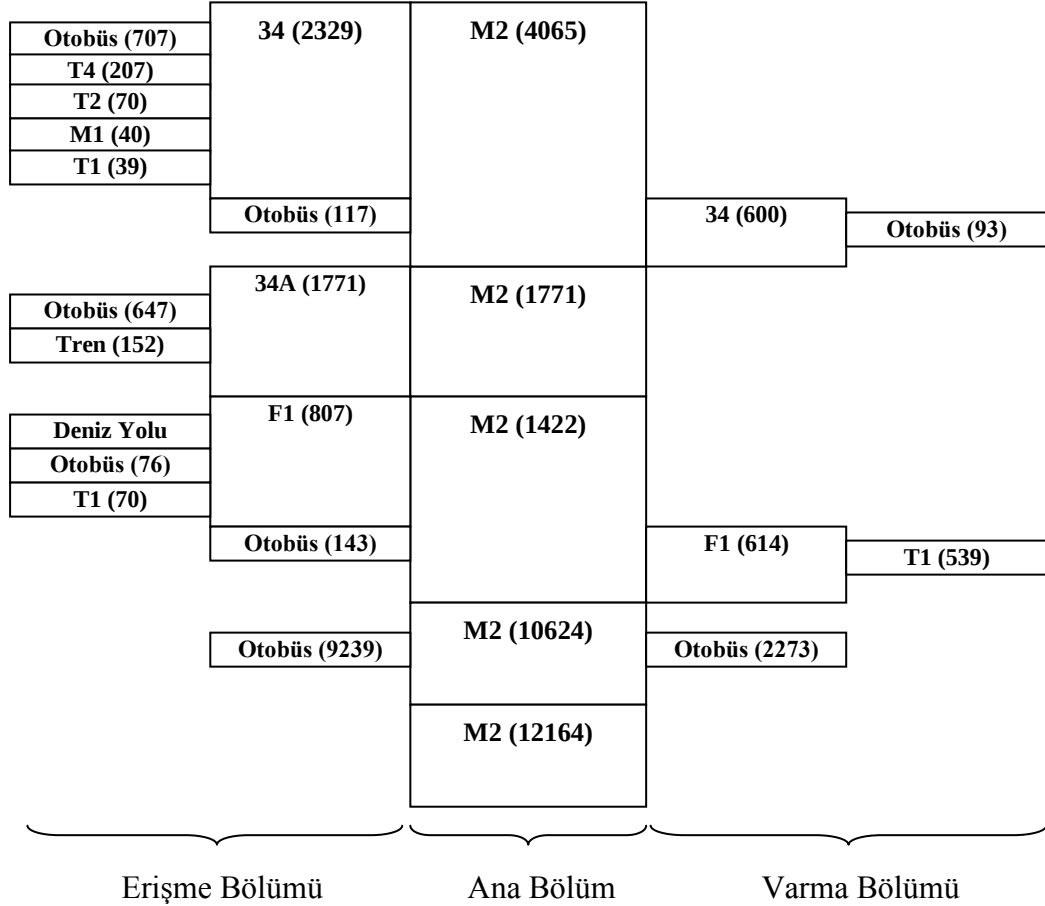
Akbil veri tabanından, istenen veri seti iki aşamalı bir süreç ile elde edilmiştir. İki aşamalı sürecin ilk aşaması Şekil 9.1'deki akış şeması ile gösterilmiştir.



Şekil 9.1 : M2 yolcuları anakütlesinden, izlenecek yolcu örnek kümesinin belirlenmesi için akış şeması.

İlk aşamada, otomatik ödeme sistemi veri tabanından 22 Kasım - 17 Aralık 2010 tarihleri arasındaki dört haftalık dönemde, M2 metro hattını sabah iş yolculuk saatlerinde (saat 7.00-9.00 arası) kullanan Akbil yolcu ID'leri belirlenmiştir. Belirlenen bu Akbil ID'leri için ilgili günlerde günün sabah saatlerindeki tüm yolculuk ödeme işlemleri ile ilgili kayıtlar elde edilmiştir. Veri tabanında kayıtlı olan işlem bilgileri, Akbil ID'si, yolcunun akbil ile ödeme zamanı (saat, dakika ve saniye cinsinden), ödeme yapılan istasyon bilgisi, istasyona ait hat ve operatör bilgisi, işlemin kaçınıcı aktarma olduğu, ödeme cinsi (indirimli, tam, vb.), Akbil cinsi (aylık, günlük, vb.) verilerini kapsamaktadır. Bir yolcu, her yolculuk ayağında ödeme yaptığı için her yolculuk ayağı ile ilgili işlem bilgileri, elde edilen veri seti içinde bulunmaktadır. 4 haftalık veri setinden, sabah iş saatlerinde haftanın en az 4 günü

aynı rotayı kullanan 330 yolcunun Akbil ID'si yolculuk süreleri incelenecek yolcu örnek kümesi olarak belirlenmiştir. Bu arada, yolcuların takip ettiği rotalar bulunarak M2 metro hattıyla bütünleşik hatların oluşturduğu ana rotalar da belirlenmiştir. Şekil 9.2'de yolcu sayıları ile birlikte M2 metro hattından önceki ve sonraki, bağlantılı ulaşım türleri, hatları ve kullanım sayıları gösterilmiştir.



Şekil 9.2 : M2 metro hattını içeren türler-arası yolculuk rotaları ve kullanım sayıları.

Bu şekilde parantez içinde kullanılan sayılar ilgili ulaşım türü veya hattının kullanım sayılarıdır. Bu kullanım sayıları, 25 Kasım, 26 Kasım ve 29 Kasım 2010 tarihlerinin sabah saat 6 - 10 arasındaki günlük ortalama yolcu sayılarıdır. Şekildeki diğer tanımlamalar, yolcunun kullandığı ulaşım türü veya belirli bir ulaşım türünün hattıdır. Otobüs hatları, toplu olarak ulaşım türü başlığı altında “otobüs” olarak ele alınmıştır. Mevcut durumda kullanılan yaklaşık 480 farklı hat bulunmaktadır. Bu hatların, süreç yeterlilik analizi için gerekli verileri, otomatik ödeme sistemleri veri tabanında bulunmadığı için süreç yeterlilik analizi yapılmayacaktır. Ancak gelecekte otobüs yolcularının ödeme zamanlarının lokasyonları, coğrafi lokasyon belirleme sistemlerinin kullanılması ile uygun şekilde saklandığında, bu uygulamada önerilen

yöntem ile süreç yeterlilik indeksleri otobüs hatları için de hesaplanabilir. Otobüs dışında şekilde verilen tanımlamalar hat numaralarıdır. Bu hat numaralarının, hangi ulaşım türü hizmetine ait olduğu ve ilgili hattın başlangıç-bitiş noktaları şunlardır:

- 34 (Avcılar-Zincirlikuyu) ve 34A (Söğütluçeşme-Edirnekapı) metrobüs hatları
- T1 (Zeytinburnu-Kabataş), T2 (Güngören-Bağcılar), T4 (Habipler-Topkapı) tramvay hatları
- M1 (Aksaray-Atatürk Havalimanı) hafif metro, M2 (Şişhane- Darrüşafaka) metro hattı, F1 (Taksim-Kabataş) funiküler hattı
- Deniz yolu; deniz otobüsü (Bostancı-Kadıköy-Kabataş ve Boğaz hattı), şehir hatları (Kadıköy-Kabataş ve Adalar-Kabataş) ve deniz motorları (Üsküdar-Kabataş)

Yukarıda verilen üç günde M2 metro hattının kullanıldığı tüm sabah yolculukları veri seti incelendiğinde, M2'yi kullanan yolcuların en az %63'ünün bir veya birden fazla sayıda aktarma içeren yolculuk yaptığı ortaya çıkmaktadır. Bu oran, otomatik ödeme sistemleri ile entegre olmamış, dolayısıyla veri setinin kapsamadığı minibüs, dolmuş, vb. ulaşım türleri de düşüldüğünde %63'den de daha yüksek olacaktır.

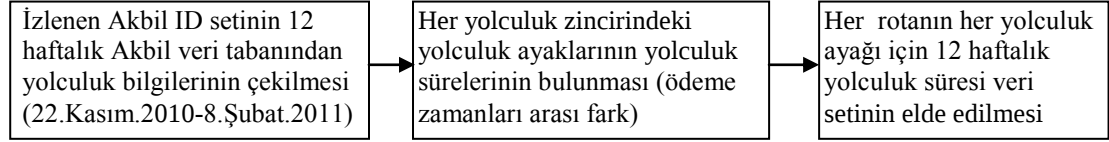
İki yolculuk ayağından oluşan bir yolculukta, bu ayaklar arasında geçiş yapmak için bir aktarma yapmak gereklidir. Veri setinden elde edilen aktarma sayılarının dağılımı Çizelge 9.2'de verilmiştir.

Çizelge 9.2 : M2 metro hattını içeren yolculukların aktarma sayıları.

En Az Yolculuk Ayağı Sayısı	Aktarma Sayısı	Kullanım Sayıları (sabah 6-10 arası)				Yüzde (%)
		25.11.2010 (Perşembe)	26.11.2010 (Cuma)	29.11.2010 (Pazartesi)	Ortalama	Ortalama
1	-	11756	11685	11793	11745	37%
2	En az 1 aktarma	13088	13031	13465	13195	42%
3	En az 2 aktarma	5074	4980	5266	5107	16%
≥4	En az 3 veya 3'den fazla aktarma	1350	1337	1450	1379	4%
Toplam		31268	31033	31974	31425	100%

Bu dağılıma göre yolcuların en az %42'si yolculuklarında en az bir aktarma yapmaktadır. Yolcuların en az %16'sı en az iki aktarma yapmaktadır. Aktarma içeren türler-arası yolculukların oranının bu derece yüksek olması metro hizmetinin diğer hizmetler ile bütünleşik olarak incelenmesinin önemini göstermektedir.

Otomatik ödeme sistemleri veri tabanından, ilk aşamada yolculuk rotalarının incelenmesi dışında elde edilen örneklem -ki bu örneklem belirli bir rotayı yaklaşık her gün düzenli olarak kullanan yolcuları kapsar- ile yolculuk süresi veri setinin oluşturulması için Şekil 9.3'te gösterilen ikinci aşama süreci takip edilmiştir.



Şekil 9.3 : Yolcu örnek kümesinden yolculuk süresi veri setinin elde edilmesi için akış şeması.

İkinci aşamada, yolcuların 22 Kasım 2010 – 8 Şubat 2011 tarihleri arasındaki 12 haftalık sabah yolculuk bilgileri alınmıştır. Bu veri setinde, yolcuların otomatik ödeme sistemi veri tabanında kayıtlı yolculuk zincirlerine ait Akbil ID'si, yolcunun akbil ile ödeme zamanı (saat, dakika ve saniye cinsinden), ödeme yapılan istasyon bilgisi, istasyona ait hat ve operatör bilgisi, işlemin kaçınıcı aktarma olduğu, ödeme cinsi (indirimli, tam, vb.) ve Akbil cinsine (aylık, günlük, vb.) ait bilgiler bulunmaktadır. Yolcuların yolculuk zincirlerinde, ardı arda gelen ikili yolculuk ayağına ilişkin ödeme zamanları kullanılarak ikilinin önceki ayağına ait yolculuk süreleri hesaplanmıştır. Bu şekilde elde edilen yolculuk süresine, yolcunun ödemediği sonra aracı bekleme süresi, araç-İçi süre ve bir sonraki aracın ödeme noktasına kadar yürüme süresi dahildir. Bu süre, araçların yolculuk sürelerini değil, yolcu açısından ele alınan yolcunun gerçek yolculuk süresini göstermektedir. Oluşturulan veri setinde, yolcuların her yolculuk ayağı ile ilgili yolculuk sürelerinin yanı sıra, ilgili sürenin ait olduğu ulaşım türü, hattı, başlangıç ve bitiş istasyonuna ait bilgiler, önceki ve sonraki yolculuk ayak bilgileri de belirlenmiştir. Bu veri setinden farklı ulaşım türleri, farklı hatlar ve farklı başlangıç bitiş istasyonlarına ait yolculuk süreleri oluşturulmaktadır. Bu yolculuk süre dağılımları ile hesaplanan süreç yeterlilik indeksleri farklı rota ve farklı rota uzunlukları için elde edilmiştir.

9.2.2 Yolculuk anket verisi

İstanbul Ulaşım A.Ş., verdiği M2 metro hizmetiyle ilgili periyodik olarak her yıl yolcu anketleri yapmaktadır. Bu anketin amaçları yolcu, yolculuk özellikleri ve yolcu memnuniyetlerini belirlemektir. Erişim modellerinde kullanılan süre güvenilirliği indeksi, süre, vb. hizmet değişkenlerine ait parametrelerin tahmini için bu anket ile elde edilen yolcuların gözlemlenmiş seçimleri dikkate alınmıştır. Kullanılan anket,

2010 yılı Mayıs ayında 750 yolcu tarafından cevaplandırılmıştır. Yolcu görüşmeleri metro istasyonlarında yolculuk sırasında yapılmıştır. Her istasyonda yapılan görüşme sayısı, istasyonların kullanım oranlarına göre belirlenmiştir.

Ek.C’de yapılan anketin bir örneği verilmiştir. Yapılan uygulamada, ankette elde edilen yolcu ve yolculuk özellikleri ile bilgiler kullanılmıştır. Anketin ilk iki sayfasında yolcu ve yapılan yolculuğa ilişkin sorular yöneltilmiştir. Yöneltilen birçok soru içinde model tahmininde özellikle ilgilenilen veriler, anketin yapıldığı istasyon, dolayısıyla yolcunun M2 hattı başlangıç istasyonu, yolcunun istasyona erişim şekli, yolcunun yolculuğuna başlangıç noktası, istasyona erişim yolculuğunun süresi ve ödeme şeklidir.

Veri seti üzerinde bazı elemeler yapılmıştır. Ele alınan problemde, yürüme ile M2 metro hattına erişim dikkate alınmadığı için bu gözlemler veri setinden çıkarılmıştır. Bunun yanı sıra yolculuk başlangıç noktası, M2 başlangıç istasyonu ve istasyona erişim şekli arasında mantıksız eşleşmeler olan gözlemler veri setinden silinmiştir. Sonuçta elde edilen veri setinde Şişli, Taksim ve 4.Levent dışındaki istasyonlar için gözlem sayısı çok az olduğu için model parametrelerinin tahmini bu 3 istasyon kullanılarak yapılmıştır. Anketten elde edilen veri setinde yolculuk başlangıç noktaları ilçe düzeyinde toplanmıştır. Dolayısıyla, model parametrelerinin tahmini ilçe düzeyinde toplu olarak yapılmıştır. İlçe oldukça büyük bir alan olduğu için model tahmininde, önerilen seçim kümesi oluşturma metodolojisi yerine, Debrezion ve diğ.’nin (2009) önerdiği seçim kümesi oluşturma yöntemi benimsenmiştir. Bu yöntemle göre belirli bir bölgede en çok kullanılan alternatifler, o bölgeye ait tüm gözlemler için geçerli alternatif olarak belirlenmiştir. Metodoloji bölümünde önerilen seçim kümesi oluşturma yöntemi, ilçelerden küçük saha birimlerinin seçim olasılıklarının, elde edilen model ile hesaplanması aşamasında uygulanmıştır.

9.2.3 Ulaşım şebekesi veri tabanı

İstanbul metropoliten planlama birimi, trafik planlama bölümü tarafından farklı ulaşım türlerine ait ulaşım şebekeleri geliştirilmiştir. Bu veri tabanından uygulama alanına ait veri setleri alınmıştır. Kullanılan veri setleri arasında İstanbul ilçeleri ve ilçeden daha küçük saha (İng.:zone) düzeyinde veri tabanları mevcuttur. İstanbul metropoliten bölgesi, planlama amacıyla yaklaşık 450 sahaya ayrılmıştır. Elde edilen erişim seçim modeli ile seçim olasılıkları hesaplanması için önceden belirlenmiş bu

sahalar dikkate alınmıştır. Bu sahalara ait merkez noktaları, 2006 nüfusu ve gelir düzeyine ilişkin bilgiler veri tabanında yer almaktadır. Ek.B Şekil B.3'te sahaları ve merkez noktalarını gösteren harita verilmiştir.

Kullanılan ulaşım şebekesi iki tiptir. Bunlardan biri yol şebekesidir. Bu şebeke yürüme ve özel araç yollarını tanımlamaktadır. Kullanılan veri setinde bu şebeke bağlantılarına ait uzunluklar mevcuttur. Diğer ulaşım şebekesi ise toplu ulaşım şebekesidir. Bu şebekede bağlantılarla ilgili ulaşım türü (örn. raylı, otobüs, minibüs, dolmuş), hat numarası, yönüne ait bilgiler bulunmaktadır. Ayrıca metrobüs ve raylı sistemlerin istasyonlarına ait veri setleri de kullanılmıştır. Veri tabanlarında otobüs, minibüs ve dolmuş türleri için duraklar tanımlanmamıştır. Otobüsler için, şehir içinde, durak aralıkları uzun olmadığı için saha içinden geçen bir bağlantının, erişilebilir bir durağının, saha içinde olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle saha merkez noktaları, otobüs hizmetlerine ait duraklar olarak kabul edilmektedir. Ek.B Şekil B.4'te yol şebekesi, Şekil B.5'de ise toplu ulaşım şebekesi ve duraklarının gösterildiği haritalar sunulmuştur.

Bu veri tabanları ArcGIS yazılımıyla kullanılmıştır. Model ile seçim olasılıklarının tahmin edilmesi için en kısa rotalarla seçim kümelerinin oluşturulması ve mühendislik hesapları ile hizmet özelliklerinin bulunması için ArcGIS yazılımının sunduğu araçlardan faydalanılmıştır. Ek.D, Şekil D.1 ve D.2'de şebeke veri tabanları, yürüme mesafesindeki istasyonların belirlenmesi, en kısa rota hesaplama ile ilgili ArcGIS yazılımı arayüzleri gösterilmiştir.

9.3 Erişim Süresi Süreç Yeterlilik Analizi – İstanbul Uygulaması

Yolculuk süresi dağılımları ile ilgili rota özellikleri, istasyon özellikleri ve rota uzunluğunun süre değişkenlikleri üzerinde etkili olduğu varsayılarak deney tasarımı rota ve rota uzunluğu bazında yapılmıştır. Dolayısıyla, farklı rotaların, farklı rota uzunlukları için süreç yeterlilik indeksleri hesaplanmıştır. Rota kavramı, burada, belirli bir koridorda kullanılan ulaşım hizmetlerinin sıralaması olarak kullanılmıştır.

M2 ile bağlantılı rotaların farklı başlangıç-bitiş durakları için süreç yeterlilik indeksleri hesaplanmadan önce literatürde daha önce bahsedilen iki varsayımın geçerliliği incelenmiştir. Bu varsayımlardan biri sürecin kontrol altında olduğu, diğeri kalite özelliği dağılımının normal olup olmadığıdır.

Sürecin kontrol altında olduğunun belirlenmesi için kontrol diyagramları kullanılmıştır. Kullanılan veri setlerinde, farklı yolcuların ardı ardına gelen 57 iş gününe ait yolculuk süreleri bulunmaktadır. Kontrol diyagramlarında farklı günler alt gruplar olarak belirlenmiştir. Alt gruptaki gözlem sayısının 10'dan büyük olduğu veri setleri için ortalama-standart sapma kontrol diyagramları, gözlem sayısının 10'dan küçük olduğu durumlarda ise ortama – dağılıma aralıkları kontrol diyagramları kullanılmıştır.

Öncelikle, M2 metro hattı ile doğrudan bağlantılı metrobüs hatları 34 ve 34A'nın tüm istasyonları, ayrıca funiküler hattı F1 ile M2 metro istasyonu arasındaki yolculuk süre dağılımlarına ait veri setleri ile kontrol diyagramları oluşturulmuştur.

Şekil 9.4 ve 9.7'de 34 numaralı metrobüs hattının sırasıyla Edirnekapı ve Zeytinburnu istasyonları ile M2 metro hattı Şişli istasyonu arasındaki yolculuk süresi kontrol diyagramları verilmiştir. Edirnekapı ve Zeytinburnu istasyonları ile ilgili veri setinde gözlem sayısı 1432 ve 716 olduğu için ortalama-standart sapma kontrol diyagramı kullanılmıştır.

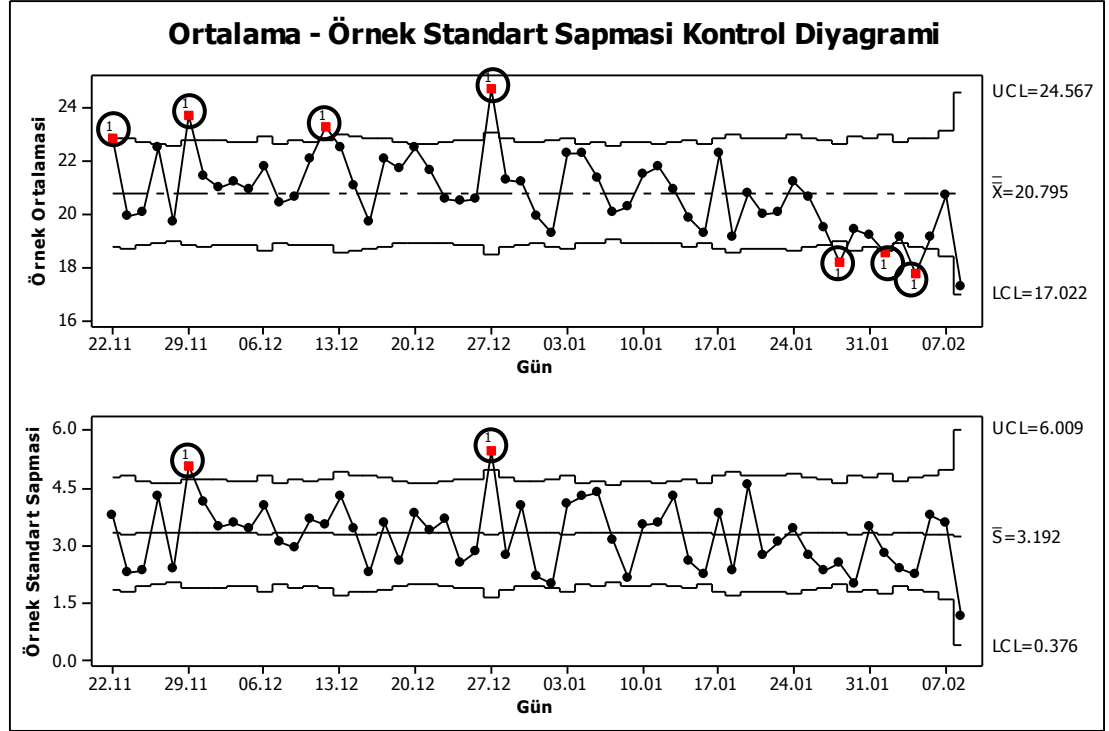
Edirnekapı ve Zeytinburnu veri setlerinde gözlem sayısı fazla olduğu için veri setinde otokorelasyon olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bu veri setleri için hesaplanan otokorelasyon katsayıları 0,45 ve 0,38 olarak bulunmuştur. Otokorelasyon katsayısı 0,25'den yüksek olan veri setlerinde sürecin otokorelasyon nedeniyle yanlış kontrol dışı alarmı verme olasılığı bulunmaktadır. Bu nedenle, bu veri setleri için birinci dereceden bir otoregresyon modeli belirlenmiştir. Edirnekapı ve Zeytinburnu istasyonunda başlayan yolculuk süreleri veri setleri için otoregresyon modelleri, denklem (9.1) ve (9.2)'de verilmiştir. Edirnekapı veri seti için otokorelasyon fonksiyonuna ait grafik ve otoregresyon modelinin kalan değerleri ile oluşturulmuş kontrol diyagramı da Şekil 9.5 ve 9.6'da gösterilmiştir.

$$x_t = 11,34 + 0,45x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (9.1)$$

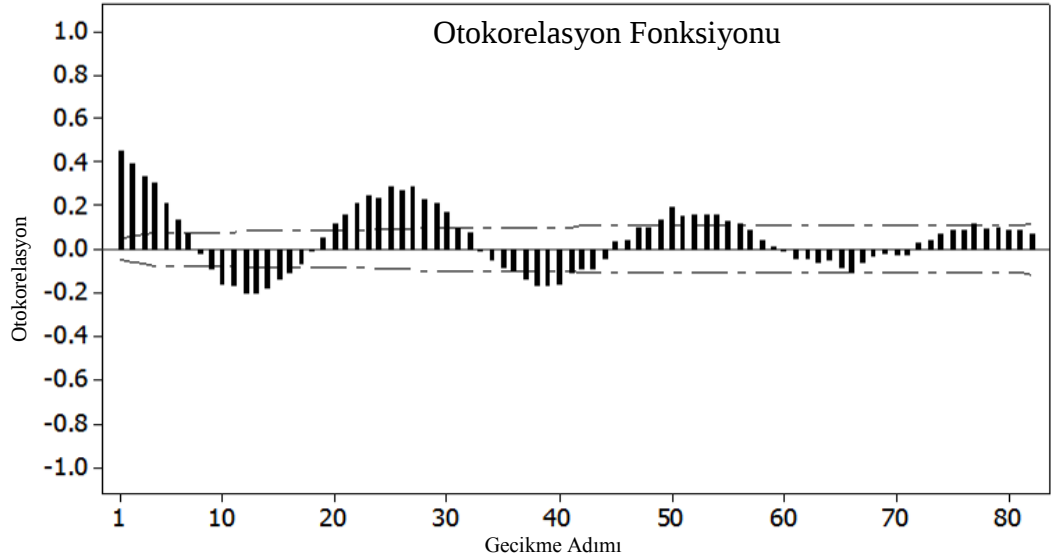
$$x_t = 19,40 + 0,38x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (9.2)$$

Diğer veri setlerinde otokorelasyonun 0,25'in altında olduğu bulunmuştur. Diğer veri setlerinde ortalama alt grup örnek hacmi büyüklükleri 10 veya 12'den fazla değildir. Dolayısıyla, ulaşım süresi veri setlerinde otokorelasyonun ortaya çıkması, otomatik veri toplama sistemleri nedeniyle birbiri ardına gelen gözlemlerin örnek hacminde bulunmasına bağlı olabilir. Bu tür büyük örnek hacimleri için veri setlerinde

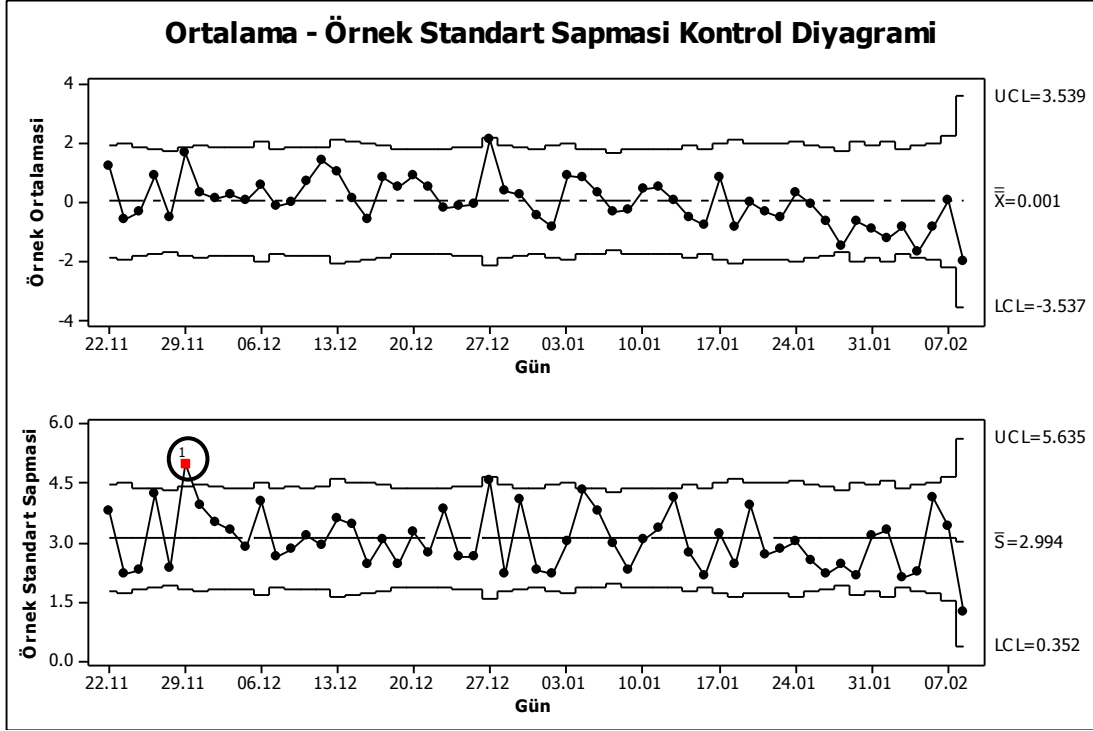
otokorelasyon varlığının kontrol edilmesi ve kontrol diyagramlarının, otokorelasyonun etkisi ortadan kaldırıldıktan sonra oluşturulması daha doğru sonuçlar vermektedir.



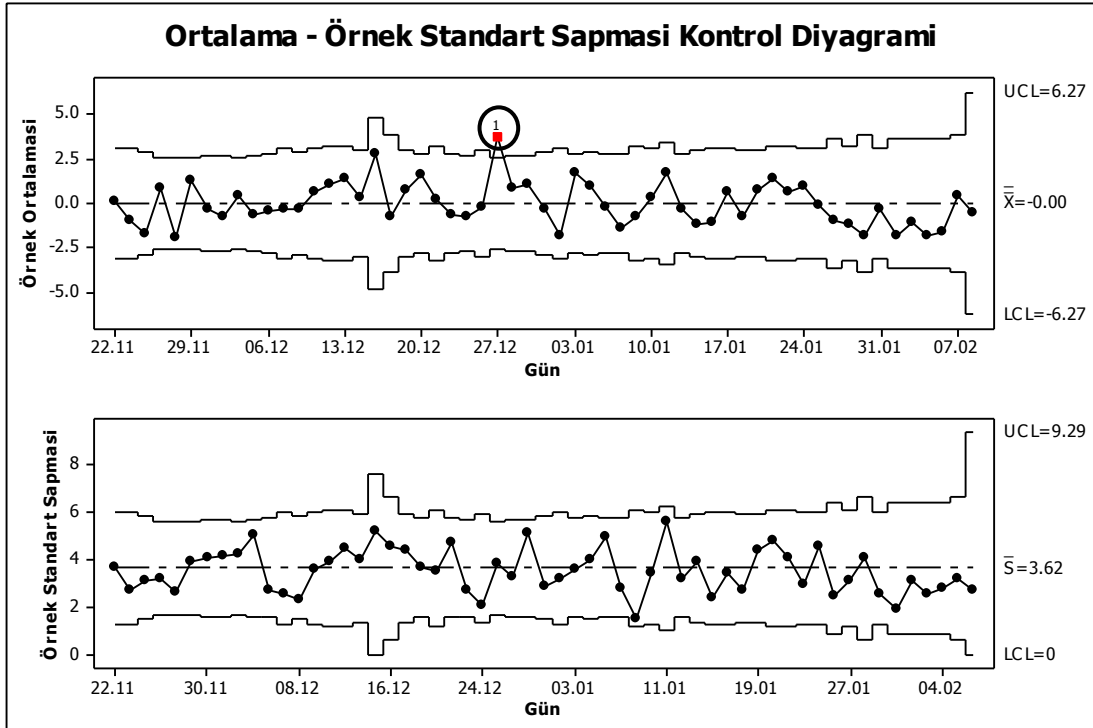
Şekil 9.4 : 34 metrobus hattı Edirnekapı istasyonu ile M2 metro hattı Şişli istasyonu arasındaki yolculuk süreleri için kontrol diyagramı.



Şekil 9.5 : 34 metrobus hattı Edirnekapı istasyonu ile M2 metro hattı Şişli istasyonu arasındaki yolculuk süresi veri setinin otokorelasyon fonksiyonu.



Şekil 9.6 : 34 metrobus hattı Edirnekapı istasyonu ile M2 metro hattı Şişli istasyonu arasındaki yolculuk süresi veri setinin otoregresyon modelinden elde edilen kalan değerleriyle oluşturulan kontrol diyagramı.



Şekil 9.7 : 34 metrobus hattı Zeytinburnu istasyonu ile M2 metro hattı Şişli istasyonu arasındaki yolculuk süreleri için kontrol diyagramı.

34 numaralı metrobüs hattına ait yukarıdaki diyagramlarda, bazı günlerde sürecin kontrol dışı olduğu görülmektedir. Süreç yeterlilik analizi kapsamında kontrol dışı gözlemlerin daha detaylı incelenmesi ve kontrol dışı olma nedenlerinin araştırılması önerilmektedir. Kontrol dışı gözlemlerin, yaklaşık hepsinin haftanın ilk gününe ait olduğu görülmektedir. Buna göre, sürecin haftanın ilk günlerinde kontrol dışı olabilmesi söz konusudur. Sürecin kontrol dışı olduğu gözlemler, süreç yeterlilik indeks tahminlerinin güvenilirliğini düşürdüğü için kontrol diyagramında kontrol dışı bulunan gözlemler süreç yeterlilik indeksleri hesaplanırken veri setlerinden çıkarılmıştır.

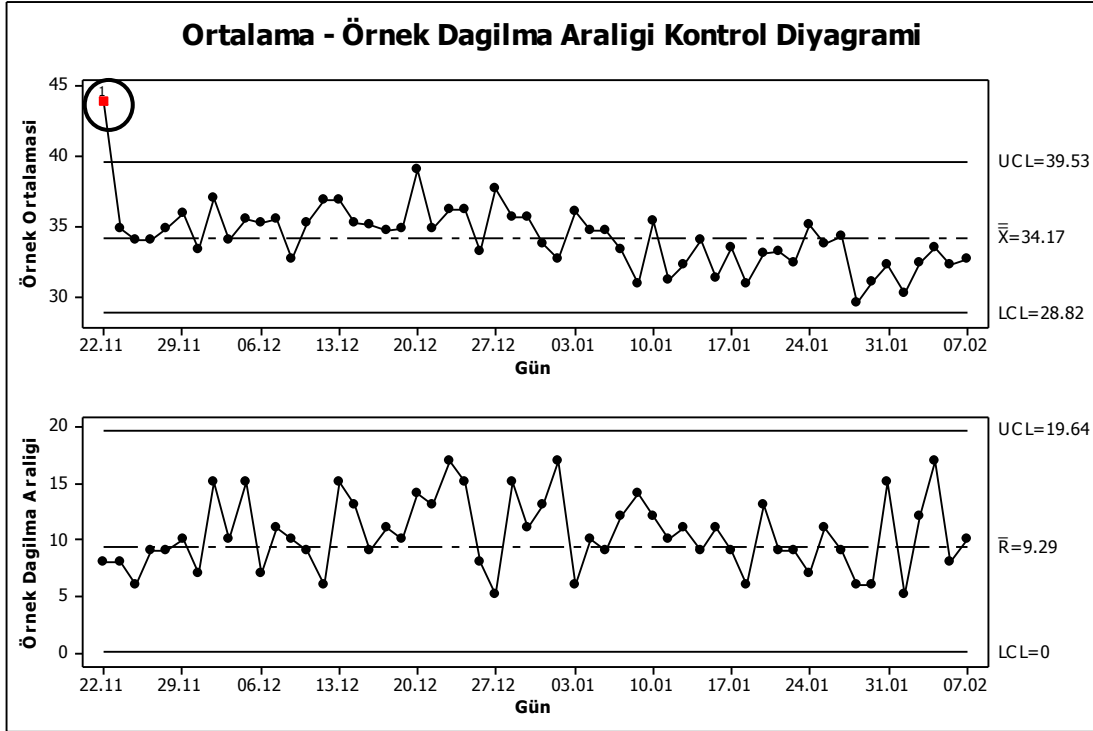
M2 metro hattı ile doğrudan bağlantılı önemli diğer hatlardan biri 34A metrobüs hattıdır. 34A metrobüs hattı, Anadolu yakasında Söğütluçeşme istasyonu ile Avrupa yakasında Edirnekapı istasyonu arasında hizmet vermektedir. Otomatik ödeme sistemleri veri tabanından elde edilen veri setlerine göre, Anadolu yakasından 34A metrobüs hattı ile M2 metro hattına bağlantı sağlayan yolcular, metrobüs ve metro hattının iki kesişme noktası olan Şişli ve Gayrettepe (Zincirlikuyu) istasyonlarını kullanmaktadır.

Bu yolculuklara ait süre kontrol diyagramlarının oluşturulmasından önce iki aktarma noktasının kullanılmasının nedenlerini araştırmanın önemli olduğu vurgulanmalıdır. Yolcuların iki aktarma seçeneğinin olması durumunda genellikle, daha yüksek hız ve kapasiteli bir hat olan metro hattına, metrobüs hattıyla ilk kesişme noktası olan Gayrettepe istasyonunda geçiş yapmaları beklenir. Oysa, Şişli istasyonunda aktarma yapmayı tercih eden yolcuların sayısı Gayrettepe istasyonunda aktarma yapmayı tercih edenlerin iki katından daha fazladır. Bu sonuç, aktarma noktalarının seçiminde ulaşım literatüründe genellikle en yakın istasyonun seçimi varsayımının gerçek durumda yakınlık dışında başka faktörlerden de etkilendiğini göstermektedir.

Şekil 9.8’de gösterilen kontrol diyagramı, 34A metrobüs hattı Söğütluçeşme istasyonu ile M2 metro hattı Şişli istasyonu arasındaki yolculuklara ilişkin veri setindeki 358 gözlem ile oluşturulmuştur. Bu nedenle, ortama-dağılma aralıkları kontrol diyagramları kullanılmıştır.

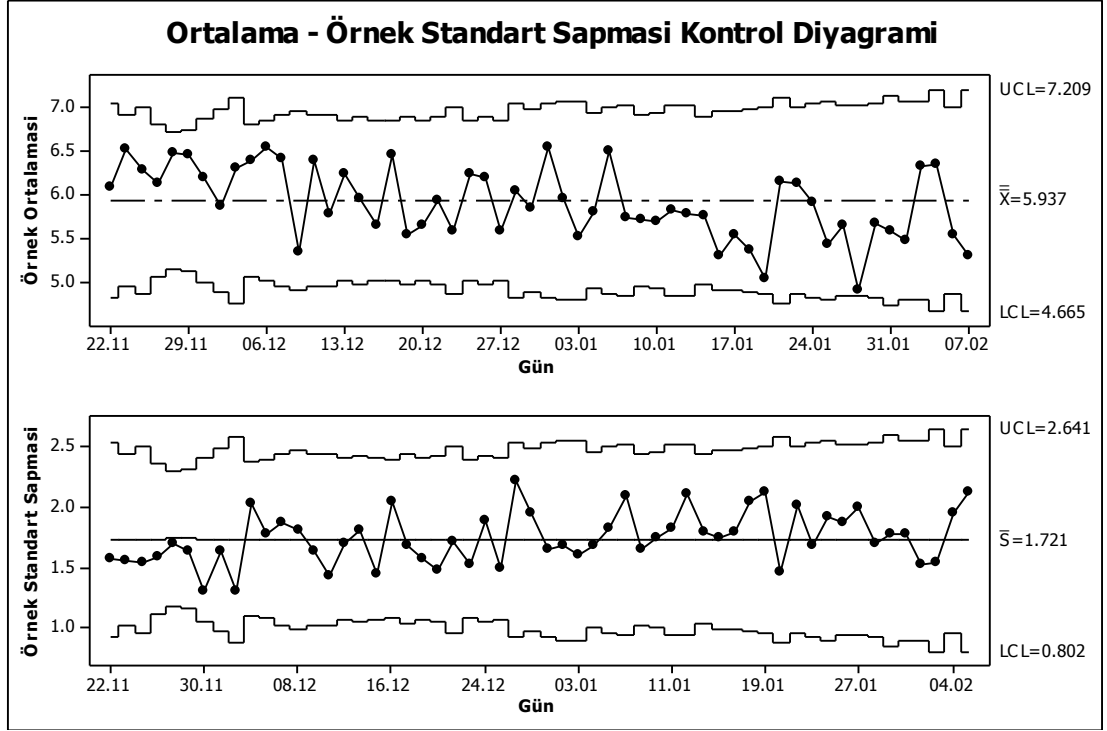
34A metrobüs hattında da 57 farklı günde süreç bir kez kontrol dışına çıkmıştır. Bu hatta da kontrol dışı durumlar, diğer metrobüs hattına benzer şekilde haftanın ilk

günü ortaya çıkmıştır. Bu veri setinde de kontrol dışı gözlemler silinerek süreç yeterlilik indeksleri hesaplanmıştır.



Şekil 9.8 : 34A metrobus hattı Söğütlüçeşme istasyonu ile M2 metro hattı Şişli istasyonu arasındaki yolculuk süreleri için kontrol diyagramı.

Şekil 9.9’da, F1 funiküler hattının Kabataş istasyonu ile M2 metro hattının Taksim istasyonu arasındaki yolculukların süre kontrol diyagramları sunulmuştur. Bu kontrol diyagramı 1477 gözlemden oluşan bir veri setinden oluşturulduğu için her alt gruptaki gözlem sayısı 10’dan fazladır, bu nedenle ortalama-standart sapma kontrol diyagramları kullanılmıştır. Bu veri seti de otokorelasyona neden olabilecek kadar büyük olduğu için otokorelasyonun varlığı incelenmiştir. Ancak veri setindeki otokorelasyon katsayısı 0,01 olduğu için orijinal verinin kullanılması bir sakınca yaratmamaktadır. Funiküler ulaşım hizmeti ile metro hattına erişim yolculukları için, yolculuk süresi kontrol diyagramına göre süreç tamamen kontrol altındadır.

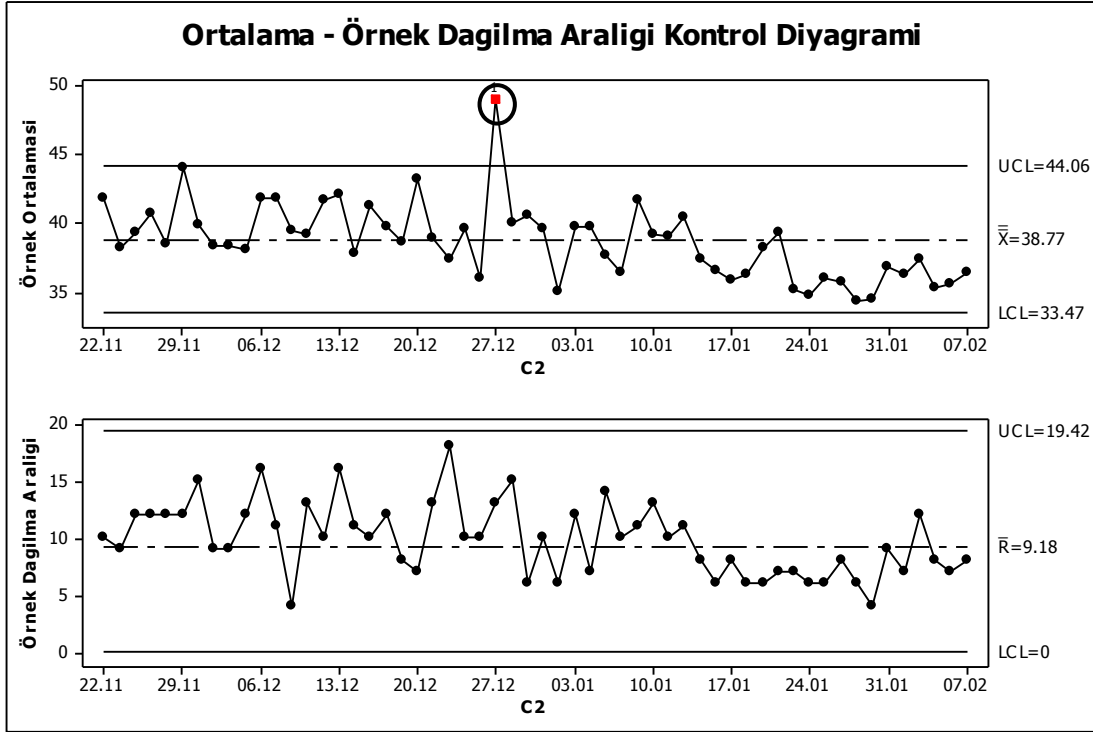


Şekil 9.9 : F1 funiküler hattı Kabataş istasyonu ile M2 metro hattı Taksim istasyonu arasındaki yolculuk süreleri için kontrol diyagramı.

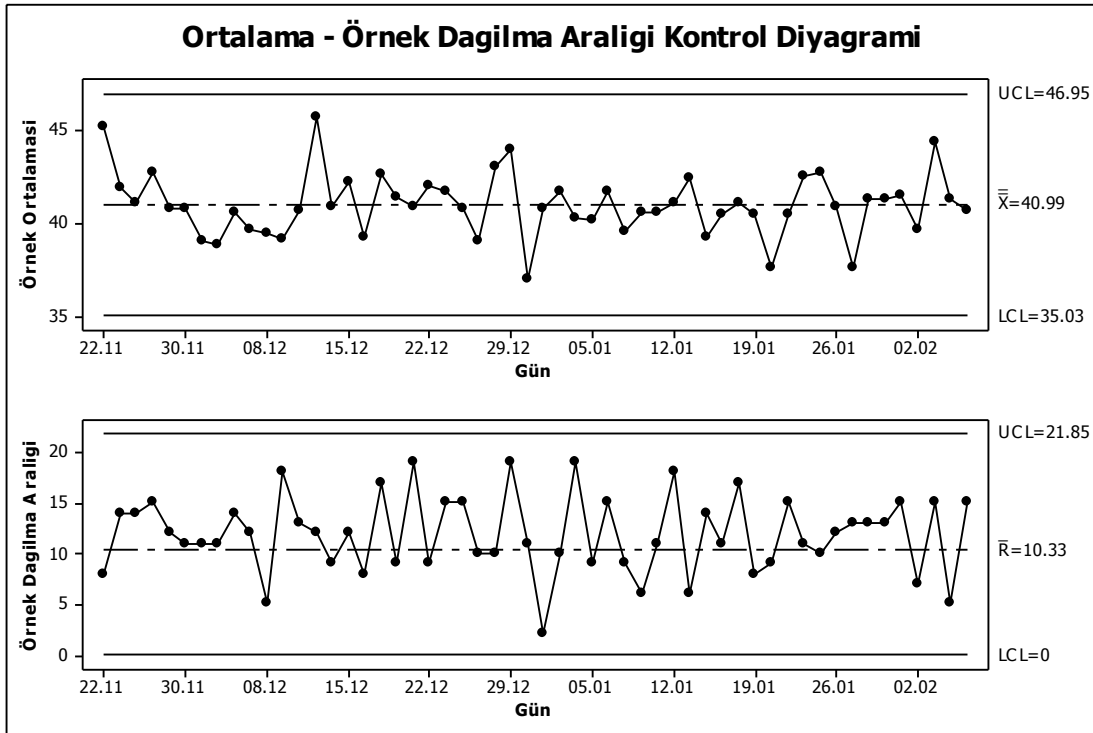
Buraya kadar incelenen veri setleri, M2 metro hattına sadece doğrudan bağlantılı hatlarda yapılan yolculuklar ile ilgiliydi. Oysa, M2 ile bağlantılı ana rotaların kullanım saylarına göre, M2 metro hattı ile doğrudan bağlantılı metrobüs hatları 34, 34A veya funiküler hattı F1'i içeren yolculukların %50'sinden fazlasının öncesinde başka bir yolculuk ayağı daha mevcuttur. Bu yolculuklarda, M2 metro hattına iki aktarma ile ulaşılmaktadır. Dolayısıyla, M2 metro hattına erişim hizmetine ilişkin süreç yeterliliği, iki aktarma ile erişim yapılan yolculuklar için de incelenmiştir. Bu amaçla, daha önce Şekil 9.2'de gösterilen M2 ile bağlantılı ana rotalardan, iki aktarmalı erişim rotaları için de süreç yeterlilik analizi yapılmıştır. Bu yolculuk rotaları ile ilgili yolculuk süresi veri setiyle oluşturulan kontrol diyagramları da M2 ile doğrudan bağlantılı hatların süre kontrol diyagramlarına benzemektedir.

Şekil 9.10'da M2 metro hattından önce 34 metrobüs hattı, 34 metrobüs hattından önce ise T4 tramvay hattını içeren rotada Çukurçeşme istasyonunda başlayan yolculuklar için, yolculuk süresi ortama – dağılma aralıkları kontrol diyagramı verilmiştir. 326 gözlem ile oluşturulan bu diyagramda, 57 günlük veri setinin yolculuk süresi ortalaması bir kez kontrol dışı bulunmuştur. Daha önceki bulgulara benzer şekilde sürecin kontrol dışına çıktığı bu günler haftanın ilk günleridir. Süreç yeterlilik indeksleri, kontrol dışı durumlar veri setinden çıkarılarak hesaplanmıştır.

Son olarak, F1 funiküler hattının deniz yolu ile bağlantılı olarak hizmet sunduğu M2 erişim rotası süreleri için kontrol diyagramı Şekil 9.11’de verilmiştir.



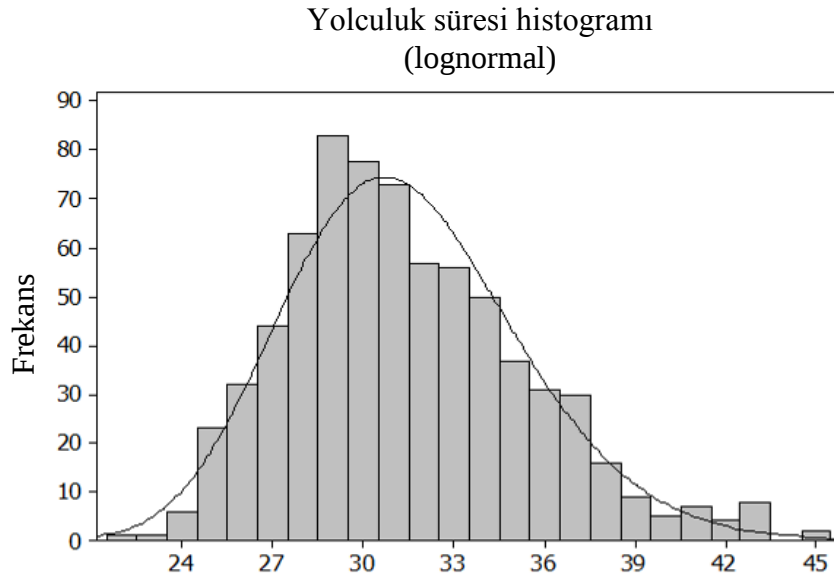
Şekil 9.10 : T4 tramvay hattı Çukurçeşme istasyonu-34 metrobüs hattı Edirnekapı istasyonu ile M2 hattı arası yolculuk süreleri kontrol diyagramı.



Şekil 9.11 : Bostancı-Kabataş deniz otobüsü hattı, F1 hattı Kabataş istasyonu ve M2 metro hattı Taksim istasyonu yolculuk süreleri kontrol diyagramı.

Bostancı-Kabataş deniz otobüsü hattının, F1 funiküler hattı ile M2 metro hattına erişimi için 386 gözlemlik yolculuk süresi veri seti ile ortama – dağılıma aralıkları kontrol diyagramı oluşturulmuştur. Bu rotanın yolculuk sürelerinin süreç dışında olduğu bir durum bulunmamıştır.

Yolculuk süresi verileri normal dağılıma uymamaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda da yolculuk süresi dağılımının, normal dağılıma göre sağa çarpık ve sağ tarafta daha uzun bir kuyruğa sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 9.12’de örnek bir rota için yolculuk sürelerinin dağılımının histogramı, dağılımın şeklinin görselleştirilmesi için sunulmuştur. Şekildeki, dağılım çizgisi ile histogramın lognormal dağılımına uyumu da gösterilmiştir.



Şekil 9.12 : 34 metrobüs hattı Zeytinburnu istasyonundan başlayan ve Mecidiyeköy istasyonunda biten yolculuklar için süre dağılımının histogramı.

Daha önce literatürde yolculuk süreleri için kullanılması önerildiği gibi, yolculuk sürelerinin lognormal dağılımdan geldiği varsayılmıştır. Bu varsayımı test etmek için dağılım uygunluğunun bir test istatistiği olan Anderson-Darling (AD) istatistikleri Minitab versiyon 14 istatistik paketinde hesaplanmıştır. Anderson-Darling istatistiği belirli bir verinin belirli bir dağılıma uygunluğunu ölçer. Verilen bir veri seti, dağılıma ne kadar uygunsa istatistik değeri o kadar küçük olur.

Çizelge 9.3’te uygulamanın yapıldığı M2 ile bağlantılı erişim rotalarının yolculuk süre dağılımları için hesaplanan bazı örnek AD istatistiği sonuçları sunulmuştur. Lognormal dağılım dışındaki normal, Weibull, gamma, vb. dağılımlar ile elde edilen AD istatistikleri lognormal dağılım istatistiklerinden daha kötü sonuç vermiştir.

Çizelge 9.3 : Ölçüm yapılan rotalardan örnek Anderson-Darling test istatistiği.

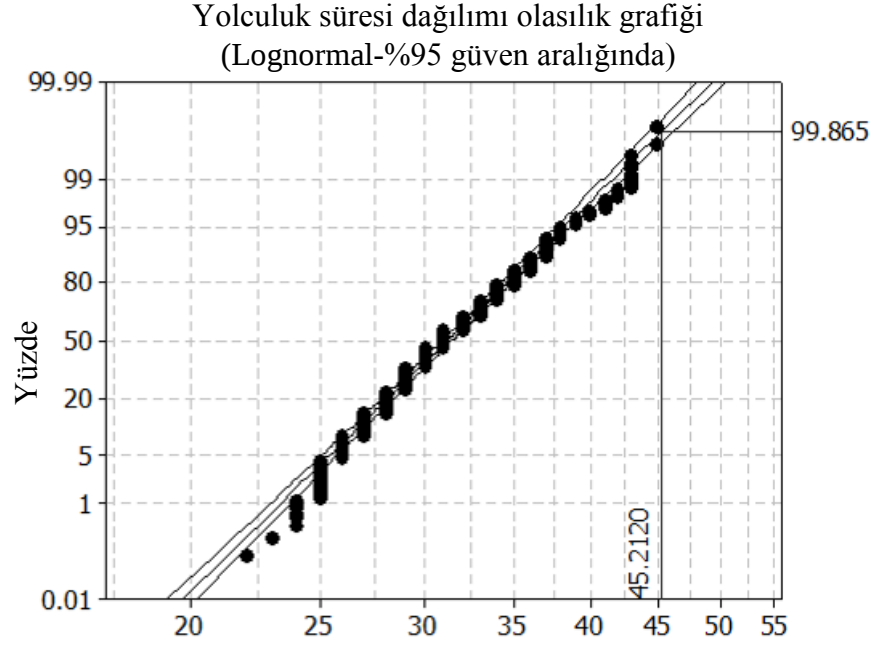
Rota	İstasyonlar	AD istatistiği	p- değeri	Gözlem sayısı (n)
34-M2	Edirnekapı-Şişli	11,363	<0,005	1432
34-M2	Zeytinburnu-Şişli	3,323	<0,005	716
34-M2	Üniversite-Şişli	0,504	0,504	202
34A-M2	Söğütlüçeşme-Şişli	1,454	<0,005	358
34A-M2	Söğütlüçeşme-Gayrettepe	2,801	<0,005	345
34A-M2	Altunizade-Şişli	0,880	0,024	209
F1-M2	Kabataş-Taksim	27,793	<0,005	1477
T4-34-M2	Çukurçeşme-Edirnekapı-Şişli	1,519	<0,005	326
M1-34-M2	Zeytinburnu-Zeyt.Metro-Şişli	1,511	<0,005	257
IDO-F1-M2	Bostancı-Kabataş-Taksim	1,094	0,007	380

Verilerin lognormal dağılım ile uygunlukları belirlendikten sonra süreç yeterlilik indekslerinin hesaplanması için şu adımlar izlenmiştir:

- Dağılımın tek yönlü 3σ noktasını belirleyen 99,865 yüzdelerik değeri belirlenir.
- Her rota için bulanık üst spesifikasyon limitleri belirlenir.
- Bulanık süreç yeterlilik indeksleri hesaplanır.
- Toplam entegrasyon yöntemi ile duru süreç yeterlilik indeksleri hesaplanır.
- Süreç yeterlilik indeksi değerine göre yeterlilik derecesi belirlenir.

Süreç yeterlilik indekslerinin hesaplanması için ilk adımda formülasyon için gerekli parametrelerden biri olan sürecin gerçek değişkenliğini gösteren, dağılımların 99,865 yüzdelerik değerleri bulunmuştur. Bunun için veri setleri ile oluşturulan lognormal dağılımların ilgili yüzdelerik değerleri hesaplanmıştır. Şekil 9.13'te Minitab çıktısı olan bir örnek üzerinde dağılımın 99,865 yüzdelerik değeri gösterilmiştir.

Süreç yeterlilik indekslerinin formülasyonu, süreç için istenen değişkenliğin, sürecin gerçek değişkenliğiyle karşılaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Sürecin gerçek değişkenliği yukarıda belirlenen 99,865 yüzdelerik dilimleri ile tanımlanırken, sürecin olması istenen değişkenlik düzeyi, süreç için belirlenmiş spesifikasyon limitleri ile saptanmaktadır. Spesifikasyon limitleri her rotanın uzunluğu, ulaşım türünün ortalama hızı, bekleme süresi ve yürüme mesafelerinin fonksiyonu olarak bulanık sayılar olarak denklem (8.9) ile belirlenmiştir.



Şekil 9.13 : 34 metrobüs hattı Zeytinburnu istasyonundan başlayan yolculuklar için sürenin lognormal dağılımının %99,865’lik değeri.

9.3.1 Erişim süresi güvenilirliği yeterlilik indeksleri

M2 metro hattına erişim için kullanılan, farklı hat ve durak kombinasyonlarından oluşan rotalar için spesifikasyon limitleri tanımlandıktan ve süre dağılımlarından merkezi eğilim değeri ve sürecin gerçek değişkenliğini gösteren %0,135’lik üst noktalar bulunduktan sonra denklem (8.11) ile her rota için bulanık süreç yeterlilik indeksleri hesaplanmıştır. Bulanık süreç yeterlilik indeksleri, toplam entegrasyon durulaştırma yöntemi ile duru süreç yeterlik indeksleri haline denklem (8.14) ve (8.15) ile dönüştürülmüştür. Bu formülasyonda ω , iyimserlik veya kötümserlik durumu olmayan 0,5 olarak kabul edilmiştir. Elde edilen indeks değerleri ve Çizelge 5.2’de sunulan, literatürde tanımlanmış süreç yeterlilik indeksi-kalite seviyesi eşleşmesine göre her rota ve durak için kalite seviyeleri belirlenmiştir.

M2 metro hattına erişim için kullanılan her rota üzerinde bulunan yaklaşık her istasyon, yolculuk başlangıç noktasıdır. Her istasyondan başlayan yolculukların mesafesi farklı olduğu ve farklı yolculuk süresi ile değişkenliğine sahip olması beklendiği için süreç yeterlilik indeksleri her istasyona özel olarak hesaplanmıştır. Bundan sonra, belirli bir erişim rotasının genel süre güvenilirlik indeksi, istasyonlar için hesaplanan süreç yeterlilik indekslerinin, kullanım sayılarına göre ağırlıklı bir ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Bu değer, belirli bir rotanın yolculuk süresi yeterlilik indeksi olarak diğer rotalar ile karşılaştırılabilecek bir gösterge olarak

kullanılmıştır. Denklem (9.3)'te her rotanın süreç yeterlilik indeksinin ağırlıklı ortalama formülasyonu verilmiştir. Bu formülasyonda C_{pu}^{rs} , r rotasının s istasyonundan başlayan yolculukların süreç yeterlilik indeksini, N_s s durağını M2 metro hattına erişmek için kullanan yolcu sayısını temsil etmektedir.

$$C_{pu}^r = \frac{N_s C_{pu}^{rs}}{\sum_s N_s} \quad (9.3)$$

Çizelge 9.4'te M2 metro hattına 34 metrobüs hattı ile erişimin farklı istasyonlarda başlayan rotaları için, yolculuk süresi merkezi eğilim değeri (medyan), %0,135'lik üst nokta, bulanık spesifikasyon limitleri, hesaplanan bulanık süre güvenilirliği yeterlilik indeksleri ve durulaştırılmış süre güvenilirliği yeterlilik indeksleri verilmiştir. İstasyon düzeyindeki SYI'ler, 34 metrobüs hattıyla M2 metro hattına, sabah iş saatleri yolculukları sırasında aktarma yapan 3 günlük yolcu sayısı ile ağırlıklandırılarak 34 metrobüs hattı ile M2 metro hattına erişim hizmeti için denklem (9.3) kullanılarak ortalama bir süre güvenilirliği yeterlilik indeksi bulunmuştur. Çizelge 9.5'te ise bulunan süreç yeterlilik indekslerine göre 34 metrobüs hattının her duraktan başlayan yolculukları için ve hat için genel kalite seviyeleri belirlenmiştir.

Çizelge 9.4 : 34 Metrobüs hattı SYI parametreleri ve hesaplanan SYI'ler.

Durak İsmi	Durak Sırası	Kullanım Sayısı	Medyan	99.865 %lik Değer	ÜSL- a	ÜSL- b	ÜSL- c	C_{pu}^a	C_{pu}^b	C_{pu}^c	C_{pu}
Perpa	5	267	13	23,82	19	25	38	0,55	1,11	2,31	1,27
Edimekapı	9	873	20	33,57	26	32	45	0,44	0,88	1,84	1,01
Cevizlibağ	13	359	25	38,77	31	37	50	0,44	0,87	1,82	1,00
Merter	14	214	32	45,80	38	44	57	0,43	0,87	1,81	1,00
Zeytinburnu	15	820	31	45,21	37	43	56	0,42	0,84	1,76	0,97
Şirinevler	18	1024	37	51,55	43	49	62	0,41	0,82	1,72	0,95
Sefaköy	20	749	43	59,32	49	55	68	0,36	0,71	1,49	0,82
Cennet Mahallesi	22	418	52	70,07	58	64	77	0,33	0,66	1,38	0,76
Avcılar (Üniversite)	26	2025	60	81,04	66	72	85	0,29	0,57	1,19	0,65
SYI Ağırlıklı Ortalama											0,88

*Kullanım sayısı 34 metrobüs hattıyla M2 metro hattına sabah iş saatleri yolculukları sırasında aktarma yapan 3 günlük yolcu sayısıdır.

34 metrobüs hattında rota uzunluğuna bağlı olarak süre güvenilirliği yeterlilik indeksinin azaldığı gözlemlenmektedir. Aktarma istasyonuna 15 durak uzaklıktaki Zeytinburnu istasyonu ve bu istasyondan daha uzak istasyonlar için süre güvenilirliği

yetersiz ve zayıf bulunmuştur. Bu hattın çok uzun bir rotada hizmet veriyor olması süre güvenilirliğini azaltan en önemli faktör olarak görünmektedir.

Çizelge 9.5 : 34 Metrobüs hattı SYI'lerine göre süre güvenilirliği kalite seviyesi.

Durak	SYI (C_{pu})	Kalite Seviyesi
Perpa	1,27	Yeterli
Edirnekapı	1,01	Yeterli
Cevizlibağ	1,00	Yeterli
Merter	1,00	Yeterli
Zeytinburnu	0,97	Yetersiz
Şirinevler	0,95	Yetersiz
Sefaköy	0,82	Yetersiz
Cennet Mahallesi	0,76	Yetersiz
Avcılar (Üniversite)	0,65	Zayıf
Genel	0,88	Yetersiz

Çizelge 9.6 ve 9.7'de Boğaz köprüsü üzerinden Anadolu yakasından M2 metro hattına erişimi sağlayan 34A metrobüs hattının süreç yeterlilik indeksleri ve kalite seviyeleri verilmiştir.

Çizelge 9.6 : 34A Metrobüs hattı SYI parametreleri ve hesaplanan SYI'leri.

M2'ye Aktarma Durağı	Başlangıç Durağı	Kullanım Sayısı	Medyan	99.865 %lik Nokta	ÜSL a	ÜSL b	ÜSL c	C_{pu-a}	C_{pu-b}	C_{pu-c}	C_{pu}
Gayrettepe	Boğaziçi K.	53	17	27,16	23	28	43	0,59	1,18	2,46	1,35
	Altunizade	152	20	35,82	26	31	46	0,38	0,76	1,58	0,87
	Uzunçayır	457	25,5	36,13	32	37	52	0,56	1,13	2,35	1,29
	Söğütluçeşme	642	30	40,85	36	41	56	0,55	1,11	2,30	1,27
Ortalama											1,25
Şişli	Boğaziçi K.	80	23	35,31	29	35	48	0,49	0,97	2,03	1,12
	Altunizade	344	24	39,57	30	36	49	0,39	0,77	1,61	0,88
	Acıbadem	257	26	37,78	32	38	51	0,51	1,02	2,12	1,17
	Uzunçayır	1336	30	44,35	36	42	55	0,42	0,84	1,74	0,96
	Fikirtepe	229	31	43,82	37	43	56	0,47	0,94	1,95	1,07
	Söğütluçeşme	1735	34	48,99	40	46	59	0,40	0,80	1,67	0,92
Ortalama											0,96
Genel Ortalama											1,04

34A metrobüs hattında da rota uzunluğuna bağlı olarak süre güvenilirliğinde bir düşüş görülmektedir. Ancak, (örn. Altunizade ve Uzunçayır) belirli istasyonlarda diğer istasyonlara göre daha düşük süre güvenilirliği yeterlilik indeksi ve kalite seviyesi bulunmuştur. Rota uzunluğu dışında bu düşüşe neden olabilecek faktörler (örn. istasyon yapısı, aşırı yolcu yükü, vb.) araştırılmalıdır.

Çizelge 9.7 : 34A Metrobüs hattı SYI'lerine göre süre güvenilirliği kalite seviyesi.

M2'ye Aktarma Durağı	Başlangıç Durağı	SYI (C_{pu})	Kalite Seviyesi
Gayrettepe	Boğaziçi K.	1,35	Tatmin edici
	Altunizade	0,87	Yetersiz
	Uzunçayır	1,29	Yeterli
	Söğütlüçeşme	1,27	Yeterli
	Ortalama	1,25	Yeterli
Şişli	Boğaziçi K.	1,12	Yeterli
	Altunizade	0,88	Yetersiz
	Acıbadem	1,17	Yeterli
	Uzunçayır	0,96	Yetersiz
	Fikirtepe	1,07	Yeterli
	Söğütlüçeşme	0,92	Yetersiz
Ortalama		0,96	Yetersiz
Genel Ortalama		1,04	Yeterli

Metrobüs hatlarına benzer şekilde süreç yeterlilik indeksi hesaplanan tek istasyonlu funiküler hattı için bulanık süre güvenilirlik indeksi (0,72; 1,45; 3,14), durulaştırılmış tam süre güvenilirlik indeksi 1,69 bulunmuştur. Süreç yeterlilik indeksi 1,69 olan süre güvenilirliği SYI' i için literatürde tanımlanan kalite seviyesi “süper mükemmel”dir.

M2 metro hattına erişimin iki yolculuk ayağı ile yapıldığı rotalar için de süreç yeterlilik indeksleri benzer şekilde hesaplanmıştır. Örneğin, 34 metrobüs hattından önce tramvay veya F1 funiküler hattından önce deniz otobüsü ile yapılan yolculuk rotaları bu tür iki ayaklı erişim rotalarıdır. Çizelge 9.8’de süre güvenilirliği yeterlilik indeksleri hesaplanan ve buna bağlı olarak süre güvenilirliği kalite seviyesi belirlenen tüm rotalarla ilgili sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 9.8 : M2 hattına erişim rotası süre güvenilirliği SYI'leri ve kalite seviyeleri.

M2 Erişim Rotaları	Aktarma İstasyonları	Kullanım Sayıları	SYI	Kalite Seviyesi
34-M2	Şişli	10731	0,88	Yetersiz
34A-M2	Şişli veya Gayrettepe	5515	1,04	Yeterli
F1-M2	Taksim	2473	1,69	Süper mükemmel
T1-34-M2	Cevizlibağ-Şişli	114	1,24	Yeterli
T2-34-M2	Zeytinburnu-Şişli	243	0,76	Yetersiz
T4-34-M2	Edirnekapı-Şişli	691	0,93	Yetersiz
M1-34-M2	Merter/Zeytinburnu-Şişli	252	1,00	Yeterli
T1-F1-M2	Kabataş-Taksim	314	1,17	Yeterli
IDO-F1-M2	Kabataş-Taksim	578	1,24	Yeterli
DT-F1-M2	Kabataş-Taksim	740	1,25	Yeterli

9.3.2 Süre güvenilirliği yeterlilik indekslerinin karşılaştırması

Bu bölümde süre güvenilirliğini etkileyen faktörlerin etki dereceleri incelenmiştir. Bu amaçla ulaşım süresi güvenilirliği indeksi bağımlı değişken olarak tanımlanmış ve rota, rota uzunluğu bağımsız değişkenler olarak tanımlanmıştır. Bu şekilde süre güvenilirliği SYI'leri ile rota ve rota uzunlukları arasındaki ilişkiler ANOVA testi ile incelenmiştir.

İniş-biniş durağı arasındaki durak sayısı, rota uzunluğu olarak kabul edilmiştir. Rota uzunlukları Çizelge 9.9'daki gibi beş eşit düzeye bölünerek kesikli hale getirilmiştir.

Çizelge 9.9 : Durak sayısı aralıklarına göre rota uzunluğu düzeyleri.

Rota uzunluğu	Durak sayısı aralığı
1	1-5
2	6-10
3	11-15
4	16-20
5	21-25

Bu amaçla, ilk olarak rota uzunluğu ve süre güvenilirliği indeksi arasındaki ilişki incelenmiştir. Daha sonra, rota ve süre güvenilirliği indeksi arasındaki ilişki irdelenmiştir. Süreç yeterlilik analizinde elde edilen süre güvenilirliği SYI'leri, ilgili SYI'nin rotası ve rota uzunluğu Çizelge 9.10'da verilmiştir.

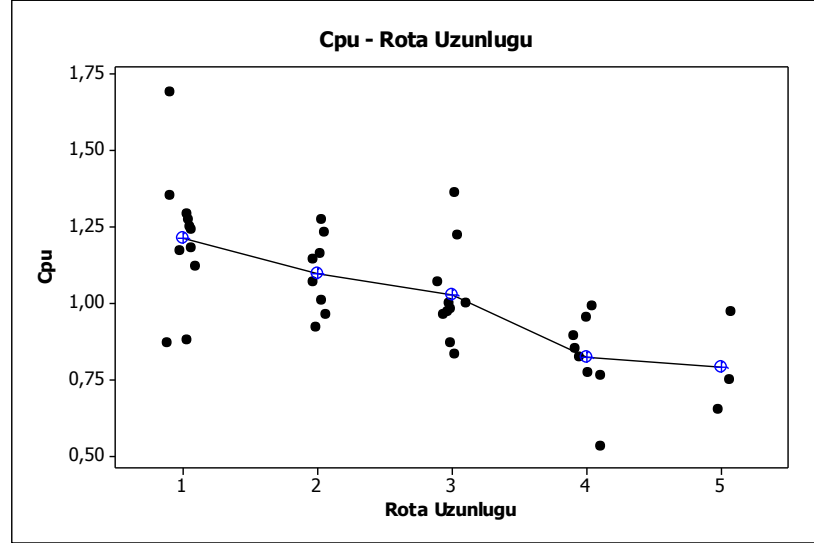
Rota uzunluğunun kesikli değişkeni ile süre güvenilirliği indeksleri ile elde edilen varyansların eşitliği testine göre p değeri $0,000 < 0,05$ bulunduğu için ($p = 0,05$ kabul edilmiştir) rota uzunluğunun süre güvenilirliği üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Çizelge 9.11'de minitab ile yapılan ANOVA testi sonuçları verilmiştir. Şekil 9.14'te ise değer dağılımları görselleştirilmiştir. Rota uzunluğu 3'ten 4'e geçerken süre güvenilirliğinde önemli bir düşüş görülmektedir.

Çizelge 9.11 : Rota uzunluğu bağımsız değişkeninin etkisi.

Source	DF	SS	MS	F	p
Rota Uzunlugu	4	0,9159	0,2290	7,78	0,000
Error	35	1,0296	0,0294		
Total	39	1,9455			

Çizelge 9.10 : Farklı rota ve rota uzunlukları için yolculuk süresi ve C_{pu} değerleri.

Rota	Erisim türü	Başlangıç Durağı	Aktarma Durağı 1	Aktarma Durağı 2	C_{pu}	Süre	Durak Sayısı	Rota Uzunluğu
Metrobus	Metrobus	Perpa	-	Şişli	1,27	13	3	1
Metrobus	Metrobus	Edirnekapı	-	Şişli	1,01	20	7	2
Metrobus	Metrobus	Cevizlibağ	-	Şişli	1,00	25	11	3
Metrobus	Metrobus	Merter	-	Şişli	1,00	31	12	3
Metrobus	Metrobus	Zeytinburnu	-	Şişli	0,97	31	13	3
Metrobus	Metrobus	Şirinevler	-	Şişli	0,95	36	16	4
Metrobus	Metrobus	Sefaköy	-	Şişli	0,82	43	18	4
Metrobus	Metrobus	Cennet	-	Şişli	0,76	52	20	4
Metrobus	Metrobus	Avcılar	-	Şişli	0,65	60	24	5
Metrobus	Metrobus	Boğaziçi K.	-	Gayrettepe	1,35	17	1	1
Metrobus	Metrobus	Altunizade	-	Gayrettepe	0,87	20	3	1
Metrobus	Metrobus	Uzunçayır	-	Gayrettepe	1,29	25	5	1
Metrobus	Metrobus	Söğütlüçeşme	-	Gayrettepe	1,27	30	7	2
Metrobus	Metrobus	Boğaziçi K.	-	Şişli	1,12	22	2	1
Metrobus	Metrobus	Altunizade	-	Şişli	0,88	24	4	1
Metrobus	Metrobus	Acıbadem	-	Şişli	1,17	26	5	1
Metrobus	Metrobus	Uzunçayır	-	Şişli	0,96	30	6	2
Metrobus	Metrobus	Fikirtepe	-	Şişli	1,07	31	7	2
Metrobus	Metrobus	Söğütlüçeşme	-	Şişli	0,92	34	8	2
Metrobus-Tramvay	Metrobus	Terazidere	Merter	Şişli	1,07	40	14	3
Metrobus-Tramvay	Metrobus	Esenler	Merter	Şişli	0,96	50	15	3
Metrobus-Tramvay	Metrobus	Akşemsettin	Cevizlibağ	Şişli	1,36	35	13	3
Metrobus-Tramvay	Metrobus	Merkez Efendi	Cevizlibağ	Şişli	0,83	31	12	3
Metrobus-Tramvay	Metrobus	Güngören	Zeytinburnu	Şişli	0,77	48	16	4
Metrobus-Tramvay	Metrobus	Soğanlı	Zeytinburnu	Şişli	0,85	51	18	4
Metrobus-Tramvay	Metrobus	Bağcılar	Zeytinburnu	Şişli	0,53	54	20	4
Metrobus-Tramvay	Metrobus	Sağmalcılar	Edirnekapı	Şişli	1,22	34	13	3
Metrobus-Tramvay	Metrobus	Çukurçeşme	Edirnekapı	Şişli	0,87	38	14	3
Metrobus-Tramvay	Metrobus	AliFuatBaşgil	Edirnekapı	Şişli	0,98	41	15	3
Metrobus-Tramvay	Metrobus	Taşköprü	Edirnekapı	Şişli	0,89	45	16	4
Metrobus-Tramvay	Metrobus	Karadeniz	Edirnekapı	Şişli	0,99	47	17	4
Metrobus-Tramvay	Metrobus	Sultançiftliği	Edirnekapı	Şişli	0,75	58	23	5
Metrobus-Tramvay	Metrobus	MescidiSelam	Edirnekapı	Şişli	0,97	61	25	5
Funiküler-Tramvay	Funiküler	Tophane	Kabataş	Taksim	1,18	13	3	1
Funiküler-Tramvay	Funiküler	Sirkeci	Kabataş	Taksim	1,14	19	6	2
Funiküler-Tramvay	Funiküler	Sultanahmet	Kabataş	Taksim	1,16	24	8	2
Funiküler-Tramvay	Funiküler	Çemberlitaş	Kabataş	Taksim	1,23	25	9	2
Funiküler-Deniz	Funiküler	Üsküdar	Kabataş	Taksim	1,25	20	2	1
Funiküler-Deniz	Funiküler	Bostancı	Kabataş	Taksim	1,24	41	2	1
Funiküler	Funiküler	Kabataş	-	Taksim	1,69	5	1	1

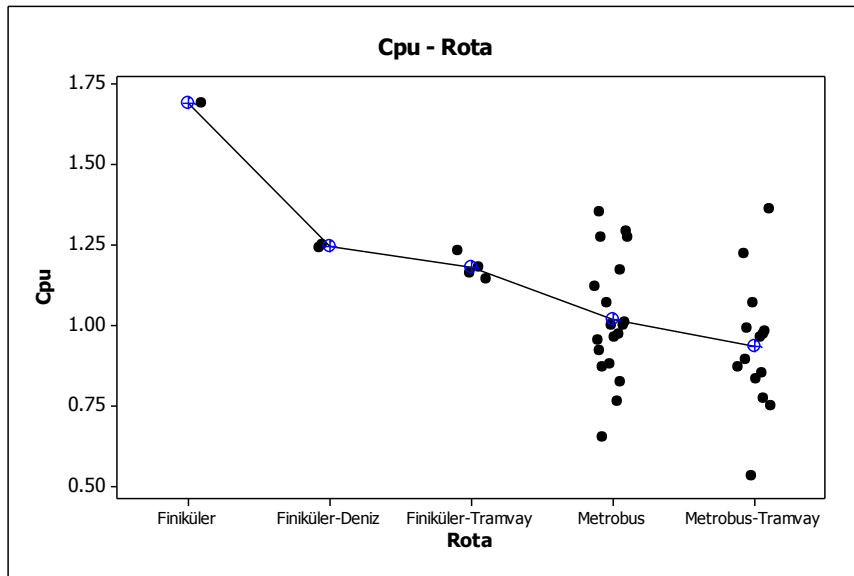


Şekil 9.14 : Süre güvenilirliği indeksi-rota uzunluğu değerleri dağılımı.

Benzer şekilde, rota bağımsız değişkeni için yapılan tek yönlü ANOVA testi sonuçları ve değer dağılımları Çizelge 9.12 ve Şekil 9.15'te verilmiştir. p değeri 0,05'in altında ($0,001 < 0,05$) olduğu için rota değişkeninin de süre güvenilirliği üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Şekil 9.15'te, değerlerin dağılımı grafiğine göre metrobüsün çok geniş bir değerler aralığında performans gösterdiği görülmektedir. Tramvay içeren metrobüs rotası yaklaşık metrobüse benzer aralıkta dağılmaktadır. Funiküler tek başına çok kısa bir hat olması nedeniyle çok yüksek performans gösterirken funikülerin deniz yolu ile birlikte gösterdiği performans, tramvay ile gösterdiği performansından biraz daha iyidir.

Çizelge 9.12 : Rota bağımsız değişkeninin etkisi.

Source	DF	SS	MS	F	p
Rota	4	0,7540	0,1885	5,54	0,001
Error	35	1,1915	0,0340		
Total	39	1,9455			



Tek-yönlü ANOVA testlerinde ele alınan faktörler genişletilerek, yeni bir faktöriyel tasarım ile başka faktörlerin etkileşimleri de incelenmiştir. Tek-yönlü ANOVA testlerinde sadece her faktörün ana etkisi incelenebilmektedir. Ancak faktörlerin etkileşimi de ayrıca incelenmeli çünkü bir faktörün farklı düzeyleri için bağımlı değişken değerleri arasındaki fark, diğer faktörlerin tüm düzeyleri için aynı olmayabilir. Bu durum etkileşim olduğunu yani, bir faktörün etkisinin diğer faktörün hangi düzeyde olduğuna bağlı olduğunu gösterir. Etkileşim çok büyük ise, bu etkileşim, ana etkilerin anlamını da düşürmektedir. Hatta bazı durumlarda etkileşimler, ana etkilerin anlamlılığını gizleyebilmektedir.

Etkileşimlerin incelenmesi için ANOVA testinde üç faktörün ana etkisi ve ikili etkileşimleri incelenmiştir. 2^k faktöriyel tasarım kullanıldığı için her faktörün iki düzeyi tanımlanmıştır, öyle ki k faktör sayısıdır. İncelenen üç faktörden biri rota uzunluğudur ve iki düzeyli olarak uzun ve kısa olarak tanımlanmıştır. Tek yönlü ANOVA testlerinde ele alınan rota bağımsız değişkeni aktarma sayısı ve M2 metro hattıyla kesişen erişim türü olarak iki ayrı faktör olarak tanımlanmıştır. Aktarma sayısı bağımsız değişkeni için belirlenen düzeyler 1 ve 2 aktarmadır. M2 ile kesişen erişim türleri ise metrobüs ve funiküler olarak tanımlanmıştır. Çizelge 9.13'te 2^3 faktöriyel tasarımı için ele alınan üç faktör ve düzeyleri listelenmiştir.

Çizelge 9.13 : 2^3 faktöriyel deney tasarımı için faktörler ve düzeyleri.

Faktörler	Düzeyler
Erişim türü	Metrobüs, Funiküler
Rota Uzunluğu	Kısa, Uzun
Aktarma Sayısı	1, 2

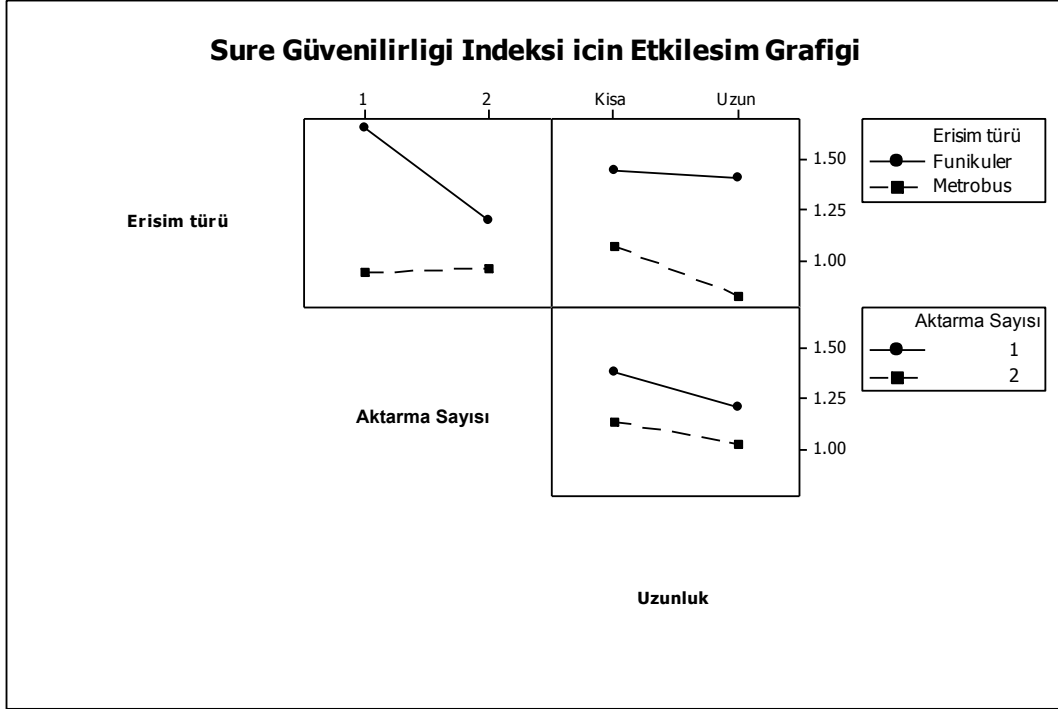
Bağımlı değişken, süre güvenilirliği yeterlilik indeksi (C_{pu}) olmak üzere faktöriyel tasarım için ANOVA testinden elde edilen sonuçlar Çizelge 9.14’te verilmiştir.

Çizelge 9.14 : 2^3 faktöriyel tasarım ANOVA testi sonuçları.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	p
Rota Uzunluğu	1	0,52215	0,07839	0,07839	3,24	0,081
Aktarma Sayısı	1	0,02187	0,11373	0,11373	4,71	0,037
Erişim Türü	1	0,39352	0,54233	0,54233	22,44	0,000
Aktarma Sayısı* Erişim Türü	1	0,13949	0,15244	0,15244	6,31	0,017
Rota Uzunluğu* Aktarma Sayısı	1	0,03011	0,00696	0,00696	0,29	0,595
Rota Uzunluğu* Erişim Türü	1	0,04079	0,04079	0,04079	1,69	0,203
Error	33	0,79758	0,79758	0,02417		
Total	39	1,94551				

Çizelgede üç faktörün ana etkileri ve bu faktörlerin ikili etkileşimlerinin anlamlı olup olmadığı gösterilmiştir. p değeri 0,05 olarak belirlendiğinde erişim türü faktörünün ve aktarma sayısı faktörünün, bağımlı değişken süre güvenilirliği yeterlilik indeksi üzerinde anlamlı bir etkisi vardır. Rota uzunluğu ise anlamlı bir etkiye sahip değildir. İkili etkileşimlerden aktarma sayısı-erişim türü etkileşiminin anlamlı bir etkisi olduğu bulunmuştur. Etkileşimler, Şekil 9.16’da grafikler ile gösterilmiştir. Faktörlerin farklı düzeylerinin bağımlı değişken üzerindeki etki farkı büyük olduğu için aktarma sayısı ve erişim türü grafiğindeki çizgiler çaprazı yakındır. Bu şekil etkileşimin anlamlı olduğunu göstermektedir. Diğer grafiklerde, çizgiler yaklaşık birbirine paralel olduğu için etkileşim anlamlı değildir.

Elde edilen bu sonuca göre anlamlı olmayan etkileşimlerden biri aktarma sayısı - rota uzunluğu etkileşimidir. Bu iki değişkenin süre güvenilirliği üzerine etki düzeyleri arasında büyük bir farklılık yoktur. Erişim türü - rota uzunluğu etkileşimi ise biraz daha güçlüdür ancak $p = 0,05$ düzeyi için anlamlı değildir. Erişim türünün ana etkisi çok daha güçlüdür.



Şekil 9.16 : 2^3 faktöriyel deney tasarımında ikili faktör etkileşimleri.

Bu sonuçlar, incelenen funiküler hattı ve metrobüs hattının yapısına bağlı olabilir. Elde edilen sonuçlar daha fazla sayıda erişim türü için test edilebilir. Ayrıca yeni faktörler (örn. istasyon, istasyon yoğunluğu, vb.) ile analiz genişletilebilir.

9.4 Türler-arası Ulaşımada Süre Güvenilirliği ile Erişim Seçim Modeli - İstanbul Uygulaması

9.4.1 Erişim modelinin tanımlanması ve tahmin edilmesi

Seçim modelinde yolcuların, M2 metrosuna erişim seçenekleri, farklı M2 duraklarına farklı ulaşım türü ile erişmek olarak tanımlanmıştır. Bu seçenekler içinden farklı alternatiflerin seçim olasılıklarının tahmin edileceği bir model formüle edilmiştir. Seçim modeli, seçeneklerin hizmet özelliklerine göre sağladıkları fayda ile tanımlanmaktadır. Faydanın belirli bölümünü oluşturan dört farklı değişken kombinasyonu ile dört farklı model tahmin edilmiştir.

Tanımlanan ilk modelde her alternatifin belirli fayda bölümü aktarma sayısı, yolculuk süresi, yolculuk maliyeti ve aktarma yürüme mesafesinin bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir:

$$V_{mn}^1 = \beta_m + \beta_{\text{Sure}} \text{Sure}_{mn} + \beta_{\text{AktarmaSayısı}} \text{AktarmaSayısı}_{mn} + \beta_{\text{Maliyet}} \text{Maliyet}_{mn} + \beta_{\text{YürümeMesafesi}} \text{YürümeMesafesi}_{mn}$$

öyle ki, n indisi yolculuk başlangıç noktasını gösteren bölge, m indisi erişim seçeneğidir.

İkinci modelde yolculuk maliyeti, gelir düzeyi ile normalize edilmiştir. Üçüncü modelde ise aktarma yürüme mesafesi çıkarılmış ve süre güvenilirliği değişkeni belirli fayda formülasyonuna eklenmiştir.

$$V_{mn}^2 = \beta_m + \beta_{\text{Sure}} \text{Sure}_{mn} + \beta_{\text{AktarmaSayısı}} \text{AktarmaSayısı}_{mn} + \beta_{\text{Maliyet}} (\text{Maliyet/Gelir})_{mn} + \beta_{\text{YürümeMesafesi}} \text{YürümeMesafesi}_{mn}$$

$$V_{mn}^3 = \beta_m + \beta_{\text{Sure}} \text{Sure}_{mn} + \beta_{\text{AktarmaSayısı}} \text{AktarmaSayısı}_{mn} + \beta_{\text{Maliyet/Gelir}} (\text{Maliyet/Gelir})_{mn} + \beta_{\text{SureGüvenilirliğiIndeksi}} \text{SureGüvenilirliğiIndeksi}_{mn}$$

Son olarak dördüncü modelde, aktarma sayısı olmadan model tahmini yapılmıştır. Problemden erişim yolculukları incelendiği için, model tanımlamalarında kullanılan tüm değişkenler yolculuğun erişim bölümü ile ilgilidir.

$$V_{mn}^4 = \beta_m + \beta_{\text{Sure}} \text{Sure}_{mn} + \beta_{\text{Maliyet/Gelir}} (\text{Maliyet/Gelir})_{mn} + \beta_{\text{SureGüvenilirliğiIndeksi}} \text{SureGüvenilirliğiIndeksi}_{mn}$$

Tüm modeller, yuvalı lojit formunda tanımlanmıştır. Yuvalı lojit modelin hiyerarşik yapısında erişim durağı üst düzeyde grupları oluştururken, her erişim durağı grubunun altında, erişim ulaşım türleri belirlenmiştir. Tanımlanan tüm modeller için log-olabilirlik fonksiyonunu en büyükleyen parametreler tahmin edilmiştir. Yuvalı lojit model tahminleri Biogeme v1.8 paket programı ile yapılmıştır (Bierlaire, 2003, 2007, 2009). Ek.E Şekil E.1, E.2 ve E.3'te yazılımda yuvalı lojit için modelleme ve parametre tahminleri çıktı arayüzleri verilmiştir. Çizelge 9.15'te tanımlanan dört model için elde edilen parametre tahminleri verilmiştir.

Tabloda değişken parametrelerinden sonra alternatifte özel sabitlerin tahminleri listelenmiştir. Alternatife özel sabitlerden ilki italik olarak gösterilen Şişli-Minibüs erişim seçeneği, diğer seçeneklerin sabitleri için referans olarak belirlenmiştir. Diğer tüm alternatifler için yapılan sabit tahminleri bu referansa göre değerlendirilmelidir. Benzer şekilde durak yuvaları için tahmin edilen bağımsızlık derecesini gösteren katsayılar için de Taksim istasyonu referans olarak belirlenmiştir.

Tahmin edilen tüm modellerde, aktarma yürüme mesafesi değişkenine ait parametre dışında tüm parametre işaretleri doğru olarak tahmin edilmiştir. Aktarma yürüme mesafesi için tahmin edilen parametre işaretinin yanlış olduğu düşünülmektedir çünkü kişilerin aktarma sırasında en kısa vakit kaybına neden olacak şekilde kısa yürüme mesafeleriyle faydanın arttığı kabul edilmektedir. Buna göre değişkenin katsayısının pozitif değil negatif çıkması beklenmektedir. Ayrıca aktarma yürüme mesafesi değişkeni için tahmin edilen katsayı da oldukça düşük, yaklaşık 0 civarında bir değerdir. Bu nedenle 3. modelde bu değişken çıkarılmıştır.

Çizelge 9.15 : Model parametrelerinin tahminleri.

Katsayı	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Katsayı Değeri	p- değeri	Katsayı Değeri	p- değeri	Katsayı Değeri	p- değeri	Katsayı Değeri	p- değeri
Süre	-0,302	0,16	-0,511	0,05	-0,504	0,07	-0,719	0,01
Aktarma Sayısı	-1,14	0,22	-1,73	0,03	-1,78	0,03	-	-
Maliyet (Maliyet/Gelir)	-0,56	0,07	-0,951	0,03	-0,989	0,04	-0,908	0,05
Aktarma Yürüme Mesafesi	0,00122	0,95	0,00029	0,99	-	-	-	-
Süre Güvenilirliği İndeksi					1,51	0,57	1,31	0,57
Şişli-Minibüs(Dolmuş)	0		0		0		0	
Şişli-Metrobüs	0,304	0,95	0,575	0,93	0,842	0	0,304	1
Şişli-Otobüs	1,04	0,09	1,45	0,25	1,71	0	2,01	1
Şişli-Özel Araç	-0,125	0,97	-0,202	0,96	-0,336	0,99	-0,329	0,96
Taksim-Funiküler	0,421	0,82	0,674	0,8	0,339	0,8	-0,169	0,88
Taksim-Minibüs(Dolmuş)	-0,457	0,75	-0,898	0,68	-1,64	0,24	-1,18	0,37
Taksim-Otobüs	-1,15	0,26	-1,75	0,32	-1,42	0,02	-2	0
Taksim-Özel Araç	-0,0059	1	-0,0133	1	-0,03	1	-0,0324	1
4.Levent-Minibüs(Dolmuş)	-1,08	0,62	-1,63	0,49	-1,86	0,23	-1,38	0,26
4.Levent-Otobüs	1,59	0,3	2,7	0,23	2,9	0,02	2,47	0
4.Levent-Özel Araç	0,261	0,94	0,143	0,96	0,348	0,87	1,1	0,49
Şişli	1,82	0,31	2,36	0,55	3,4	1	3,25	1
Taksim	1	1	1	1	1	1	1	1
4.Levent	1,06	0,93	1	1	1	1	1	0,77
<i>n</i>	69		69		69		69	
Sıfır log- olabilirlik:	-95,095		-95,095		-95,095		-95,095	
İlk log- olabilirlik:	-95,212		-95,212		-95,212		-95,212	
Son log-olabilirlik:	-41,961		-37,152		-35,626		-39,273	
Olabilirlik oran testi:	106,27		115,887		118,938		111,644	
ro-kare:	0,559		0,609		0,625		0,587	
Düzeltilmiş ro-kare:	0,38		0,431		0,447		0,419	

2. modelde yolculuk maliyeti değişkeni gelir düzeyi ile normalize edilmiştir. Bu durumda log-olabilirlik değeri arttığı için maliyetin gelir ile normalize edilmesinin

model uygunluk derecesini arttırdığı söylenebilir. Bu nedenle 3. ve 4. modellerde maliyet gelire göre normalize edilerek dikkate alınmıştır.

3. modelde ise işareti doğru tahmin edilmemiş olan aktarma yürüme mesafesi modelden çıkarılmış ve süre güvenilirliği indeksi yeni bir değişken olarak modele dahil edilmiştir. Süre güvenilirliği indeksleri metrobüs ve funiküler erişme türleri için otomatik ödeme sistemleri verileri kullanılarak uygulamanın ilk aşamasında süreç yeterlilik analiziyle tahmin edilmiştir. Ancak otobüs, minibüs ve özel araç için uygun veri setleri olmadığı için bu türlere ait süre güvenilirliği indeks değerleri yoktur.

Süreç yeterlilik analizi olmayan ulaşım türleri otobüs, minibüs ve özel araç lastik tekerlekli türlerdir ve geçiş üstünlükleri yoktur. Dolayısıyla trafik sıkışıklığından etkilenebilirler. Lastik tekerlekli bir tür olan metrobüs için hesaplanan süre güvenilirliği indeksi yaklaşık 1 civarındadır. Ancak metrobüs geçiş üstünlüğü olan bir ulaşım türü olduğu için, geçiş üstünlüğü olmayan otobüs, minibüs ve özel araç türleri için süre güvenilirliği indeksleri metrobüsten daha düşük sabit bir değer, 0.9 olarak kabul edilmiştir. Otobüs, minibüs ve özel araç türleri için rota uzunluğundan bağımsız olarak süre güvenilirliği sabit olarak varsayılmıştır. Ancak her rota için coğrafi lokasyon belirleme veya yol sensörleri gibi veri toplama yöntemleri ile uygun veri setleri elde edilerek süreç yeterlilik indeksleri gelecekte elde edilebilir.

Süre güvenilirlik indeksi dahil edilmiş 3. modelin uygunluk derecesinin arttığı görülmektedir. Elde edilen en iyi son log-olabilirlik değeri 3. modeldeki 35,6'dır. Sıfır log-olabilirlik değeri, tüm parametrelerin sıfır kabul edilmesi -yani hiç model olmaması- durumunda elde edilen log olabilirlik değeri, 95,0'ı göstermektedir. Bu duruma göre iyileşme ro-kare istatistiği ile temsil edilmektedir. 3. model için bulunan ro-kare istatistiği 0,62'dir. Literatür taramasında yuvalı lojit seçim modelleri için çeşitli çalışmalarda elde edilen ro-kare istatistiği 0,10'dan 0,95 düzeylerine kadar farklı değerlerde olabilmektedir. Ro-kare istatistiği, sıfır log-olabilirlik değeri ile parametreler ile elde edilen log-olabilirlik değerinin bir fonksiyonudur. Ro kare 1 ise mükemmel tahmin yapıldığını gösterir. Ro-kare istatistiğinin 0 ve 1 arasındaki değerlerinin herhangi bir anlamı yoktur. Sadece aynı alternatifler kümesi ile aynı veri üzerinde tahmin edilmiş iki model (öyle ki, her iki model için $LL(0)$ aynı) karşılaştırılırken, daha yüksek bir ro değerine sahip modelin, veri için daha uygun olduğunu söylemek geçerli olabilir çünkü log-olabilirlik fonksiyonunun değerinde bir artış olması tercih edilen bir durumdur. Ancak, farklı şekillerde örneklenmiş karar

vericiler için, farklı alternatifler kümesi ile veya benzer olmayan örnekler ile tahmin edilmiş iki modelin olabilirlik oran indisinin karşılaştırması doğru değildir.

9.4.2 Model ile yapılan talep tahminlerinin gerçek durumla karşılaştırılması

Tahmin edilen parametreler ile seçim modeli kullanılarak ulaşım şebekesi üzerinde seçim olasılıklarının bulunması mümkündür. Başlangıç-bitiş noktası arasında seyahat sayılarının tahmini mevcut ise, bu olasılıklar ile farklı seçenekler üzerinde yolcu sayılarının nasıl dağıldığı da elde edilebilir.

Ele alınan M2 metro hattına, farklı bölgelerden türler-arası yolculuklar ile erişim seçeneklerinin seçim oranları önerilen model ile tahmin edilmiştir. İstanbul bir ya da birkaç mahalleden oluşan yaklaşık 450 sahaya ayrılmıştır. Her saha için öncelikle seçim kümesi oluşturma yöntemiyle erişim türü ve durağı seçenekleri belirlenmiştir. Her sahanın her erişim alternatifi için hizmet özellikleri saptandıktan sonra, her sahanın seçim kümesindeki alternatifler için seçim olasılıkları yuvalı lojit model için verilen denklem (8.22) ile hesaplanmıştır. Buna göre olasılıklar öncelikle saha nüfusu ile ağırlandırılarak her ilçenin farklı alternatifler için seçim olasılıkları hesaplanmıştır. Ek.F’de her ilçenin seçim alternatifleri için hesaplanan seçim olasılıkları verilmiştir. Daha sonra her ilçe için hesaplanan olasılıklar ilçe nüfusu ile ağırlıklandırılarak İstanbul şehri için genel olasılıklar haline dönüştürülmüştür. Bu olasılıklar, M2 istasyonunun otomatik veri sistemleri veri tabanından elde edilen türler-arası kullanım sayılarından elde edilen gerçek kullanım oranları ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 9.16’da M2’ye farklı ulaşım türleri ile toplam erişme oranları için gerçek durum ve tahmin edilen durum karşılaştırması verilmiştir. Çizelge 9.17’de ise farklı M2 duraklarına türler-arası yolculuklar ile erişen yolcuların farklı durakları kullanım oranlarının tahmin edilen ve gerçek değerleri verilmiştir.

Çizelge 9.16 : Tahmin edilen ve gerçek ulaşım türleri seçim olasılıkları.

	Tahmin Edilen	Gerçek Durum
	Yüzde	Yüzde
Dolmuş/Minibüs	0,01	-
F1	0,03	0,06
Metrobüs	0,25	0,28
Otobüs	0,70	0,66
Özel Araç	0,00	-

Dolmuş/minibüs ve özel araç için otomatik veri sistemlerinde kayıt olmadığı için bu türler için gerçek kullanım oranları boş bırakılmıştır. Ulaşım türleri için yapılan tahminler gerçek duruma oldukça yakın bulunmuştur.

Erişim durak kullanım oranlarında bazı duraklar için tahminler gerçeğe yaklaşırken bazı duraklar için sapma değerleri daha yüksektir. Bunun en büyük nedeni model tahminin Şişli, 4.Levent ve Taksim durakları için yapılmış olmasıdır. Diğer durak-ulaşım türü seçenekleri için alternatifte özel katsayıların tahmini elde edilemediğinden bu alternatifler için seçimler hesaplanırken bazı varsayımlar ile seçenekler birbirine benzer olarak tanımlanmıştır. Bu varsayımlara göre Gayrettepe durağı için Şişli'ye ait alternatifte özel katsayı tahmini ve diğer duraklar için 4.Levent'e ait alternatifte özel katsayı tahmini kullanılarak seçim olasılığı tahminleri oluşturulmuştur. Gelecekte veri setleri genişletilerek her seçeneğe ait alternatifte özel katsayıların tahmini elde edilerek daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Çizelge 9.17 : Tahmin edilen ve gerçek erişim durağı seçim olasılıkları.

	Tahmin Edilen	Gerçek Durum
	Yüzde	Yüzde
4.Levent	0,03	0,11
AO Sanayi	0,00	0,02
Darüşşafaka	0,02	0,05
Gayrettepe	0,18	0,05
İTÜ Ayazağa	0,00	0,01
Levent	0,01	0,12
Osmanbey	0,03	0,02
Sanayi	0,01	0,02
Şişhane	0,06	0,01
Şişli	0,56	0,43
Taksim	0,10	0,15

Ayrıca seçim olasılıkları, herhangi bir hizmet özelliğinde bir değişiklik olduğunda talebin nasıl değişeceğinin tahmini için kullanabilir. Bu amaçla, tahmin edilen model ile farklı değişkenler için talebin esnekliği bulunabilir. Örneğin, maliyet üzerinde yapılan esneklik incelemesi literatürde sıklıkla bahsedilen fiyat esnekliğidir (McFadden, 1999). Fiyat esnekliği, maliyetin yüzde 1 değiştirilmesi ile kullanımdaki yüzde değişimi göstermektedir. Alternatif i 'nin faydasını oluşturan değişkenlerden biri z_{ni} 'ye bağlı olarak Pr_{ni} 'nin esnekliği, z_{ni} 'ye göre β_z katsayısı ile lineer ise, $E_{iz_{ni}} = \beta_z z_{ni}(1 - Pr_{ni})$ halini almaktadır.

Buna göre belirli bir alternatifte yapılacak fiyat değişiminin, belirli bir bölgenin talebini ne oranda değiştireceği bulunabilir. Örneğin, Gayrettepe istasyonuna özel araç ile erişimin maliyeti yüzde 1 değiştirildiğinde bu alternatifin seçimindeki değişimi hesaplamak için maliyet değişkeninin katsayısının 0,989 olduğunu biliyoruz. Beşiktaş bölgesinde bu alternatifin seçim olasılığı %0,00165 bulunmuştur. Beşiktaş bölgesi için bu alternatifin mevcut maliyeti ortalama 5,65'tir. Bunlara göre Gayrettepe istasyonuna erişim maliyeti yüzde 1 azaldığında Beşiktaş ilçesinin bu alternatifi seçim olasılığı %5,5 artacaktır, yani fiyat esnekliği 5,5'dir. Şişli ilçesi için benzer bir hesaplama yapılırsa seçim olasılığındaki artış % 6,3 olacaktır.

9.4.3 Türler-arası erişilebilirlik değerlendirmesi

Seçim modellerinin tahmininde kullanılan fayda formülasyonu ile ele alınan problem için duraklara ilişkin türler-arası erişilebilirlik değerleri belirlenebilir. Türler-arası erişilebilirlik değerleri, bir durağa erişmek için kullanılabilecek tüm ulaşım türlerinin sağladığı toplam fayda olarak tanımlanmıştır.

Farklı bölgelerden, seçim kümesindeki farklı duraklara verilen hizmetlerin sağladığı toplam fayda, tahmin edilen model kullanılarak denklem (8.25) ile hesaplanmıştır. Toplam fayda olarak elde edilen türler-arası erişilebilirlik değerleri farklı duraklar için karşılaştırılabilir ölçütler olarak kullanılabilir. Çizelge 9.18'de türler-arası yolculuklar için ilçelerin seçim kümelerindeki duraklara, modele göre hesaplanmış ve 1-10 arasında normalize edilmiş erişilebilirlik ölçütleri sunulmuştur.

Erişilebilirlik ölçütleri her ilçenin sınırları içinde bulunan birden fazla sayıdaki sahanın fayda değerleri ile formüle edilmiştir. Beklenen en büyük değer teorisine göre bu sahaların ilçe bazında toplam faydası hesaplanmıştır. Tabloda görüldüğü gibi M2 metro hattına ulaşmak için her ilçenin seçim kümesinde farklı sayıda istasyon bulunmaktadır. Seçim kümesinde olan farklı istasyonların erişilebilirlik ölçüt değerleri ortalaması alınarak, ilçelerin M2 metro hattına ortalama erişilebilirlik değeri belirlenmiştir. Bu değerlere göre en kötü türler-arası erişilebilirlik değerleri Avcılar, Büyükçekmece, Bağcılar, Küçükçekmece ve Esenler ilçeleri için bulunmuştur. En iyi türler-arası erişilebilirlik performansı ise Beşiktaş, Üsküdar, Sarıyer, Bakırköy, Şişli ve Beyoğlu ilçelerine aittir.

En kötü türler-arası erişilebilirlik değerlerine sahip olan ilçelerden Avcılar ve Büyükçekmece'nin M2 metro hattına erişilebilirliğinin artırılması için yeni bir deniz

yolu hattının hizmete sunulması senaryosu test edilebilir. Deniz yolu hattının önerilmesinin nedeni, hem bu ilçelerin denize yakınlıkları hem de funiküler-deniz yolu erişiminin, süreç yeterlilik analizinde süre güvenilirliği açısından performansı yüksek bir tür olarak belirlenmiş olmasıdır. Ek.B Şekil B.6’da bu senaryoda önerilen, deniz yolu hattı harita üzerinde gösterilmiştir. Buna göre Avcılar-Bakırköy-Kabataş arasında hizmet verecek denizyolu-funiküler rotası ile M2 metro hattına erişim seçeneğinin yolcuya sağladığı fayda artışı geliştirilen erişim modeli ile belirlenebilir. Önerilen hattın hizmet vermeden önceki ve sonraki durumlarını üst indisler 0 ve 1 ile temsil edersek, faydanın beklenen değerleri arasındaki fark, denklem (9.4) ile bulunur.

$$\Delta E(F_n) = \left[\ln \left(\sum_{j=1}^{J^1} e^{V_{nj^1}} \right) - \ln \left(\sum_{j=1}^{J^0} e^{V_{nj^0}} \right) \right] \quad (9.4)$$

Çizelge 9.18 : İlçe-durak türler-arası ulaşım erişilebilirlik ölçütleri.

İlçe	4. Levent	AO Sanayi	Darüş-şafaka	Gayret-tepe	İTÜ Ayaz.	Levent	Osman-bey	Sanayi	Şiş-hane	Şişli	Taksim	Orta-lama
Avcılar	0,86								4,09	8,45	3,98	4,35
Bağcılar	2,18								5,04	8,84	5,06	5,28
Bahçelievler	2,59								5,41	8,90	5,40	5,58
Bakırköy									6,36	9,36	6,38	7,37
Bayrampaşa	2,86						5,04		6,01	8,97	5,98	5,77
Beşiktaş				9,04		7,86	6,09			9,96	7,82	8,15
Beykoz				7,33		4,10		5,42		7,13	3,28	5,45
Beyoğlu						6,42	6,14		7,24		8,55	7,09
B.Cekmece	1,3								3,8	8,66	3,76	4,38
Esenler	2,51						4,58		5,56	8,81	5,55	5,40
Eyüp	8,48						5,29		5,83	9,31	6,29	7,04
Fatih	4,21					3,78			7,25	8,42	7,27	6,19
G.O.Pasa	7,27						5,77		5,95	8,72	5,74	6,69
Güngören	2,75								5,51	8,82	5,55	5,66
Kadıköy				8,18		5,93			5,99	7,34	6,6	6,81
Kağıthane	9,36					1,49	5,21	8,38		9,78	6,52	6,79
K.Çekmeçe	2,23								5,09	8,97	5,05	5,34
Maltepe				6,77		4,89					5,11	5,59
Sarıyer	8,42	8,6	9,48		6,71	3,29		8,04				7,42
Şişli	4,39	4,85		7,76	6,42	6,93	7,4	8,78	0	10	7,59	6,41
Ümraniye				7,37		5,47				6,9	5,57	6,33
Üsküdar				8,69		6,47				7,80	6,96	7,48
Zeytinburnu	2,51								5,96	9,09	5,91	5,87

Önerilen hat, Bakırköy’de de yolcu aldığı için Bağcılar, Güngören, Küçükçekmece, Bahçelievler gibi erişilebilirlik değerleri düşük olan ilçelerden de yolcu çekilmesi mümkün olabilir. Bu şekilde planlanan bir hattın etkileyeceği ilçeler üzerindeki fayda artışı modele göre Çizelge 9.19’daki gibi öngörülmüştür.

Çizelge 9.19 : Avcılar-Bakırköy-Kabataş denizyolu hattı senaryosu ile M2’ye erişimde sağlanan fayda artışı.

İlçe	Önceki durum		Sonraki durum		Fayda Artışı
	$\sum_{j=1}^{J^0} e^{V_{nj^0}}$	$\ln(\sum_{j=1}^{J^0} e^{V_{nj^0}})$	$\sum_{j=1}^{J^1} e^{V_{nj^1}}$	$\ln(\sum_{j=1}^{J^1} e^{V_{nj^1}})$	
Büyüçekmece	0,01	-5,09	0,01	-4,27	0,82
Avcılar	0,02	-4,13	0,02	-3,87	0,26
Bağcılar	0,06	-2,87	0,06	-2,82	0,04
Küçükçekmece	0,07	-2,66	0,08	-2,59	0,07
Maltepe	0,07	-2,63	0,07	-2,63	0,00
Esenler	0,11	-2,20	0,11	-2,20	0,00
Bahçelievler	0,13	-2,03	0,14	-1,99	0,04
Güngören	0,16	-1,84	0,16	-1,83	0,02
Ümraniye	0,21	-1,58	0,21	-1,58	0,00
Beykoz	0,22	-1,50	0,22	-1,50	0,00
Bayrampaşa	0,26	-1,36	0,26	-1,36	0,00
Zeytinburnu	0,27	-1,32	0,27	-1,32	0,00
Gaziosmanpaşa	0,31	-1,18	0,31	-1,18	0,00
Fatih	0,38	-0,97	0,38	-0,97	0,00
Bakırköy	0,53	-0,64	0,63	-0,47	0,17
Kadıköy	0,87	-0,14	0,87	-0,14	0,00
Beyoğlu	1,71	0,54	1,71	0,54	0,00
Eyüp	1,97	0,68	1,97	0,68	0,00
Üsküdar	2,08	0,73	2,08	0,73	0,00
Kağıthane	9,82	2,28	9,82	2,28	0,00
Şişli	10,44	2,35	10,44	2,35	0,00
Sarıyer	11,24	2,42	11,24	2,42	0,00
Beşiktaş	12,13	2,50	12,13	2,50	0,00

Elde edilen bulgulara göre en yüksek fayda artışı Büyüçekmece ve Avcılar ilçelerinde sağlanmıştır. Büyüçekmece ilçesinde Avcılar ilçesine göre daha büyük fayda artışı mevcuttur, bu Büyüçekmece’nin Avcılar’a göre saha sayısı açısından 3 kat daha büyük bir ilçe olmasından kaynaklanmaktadır. Önerilen senaryoda yeni hat Bakırköy’den de yolcu alacak şekilde planlandığı için Bakırköy’de de fayda artışı sağlamaktadır. Bakırköy de büyük bir ilçe olmasına rağmen, Bakırköy açısından senaryo öncesi ve sonrası faydaları arasındaki fark Avcılar ve Büyüçekmece ilçelerine göre daha az olduğu için fayda artışı daha düşük düzeyde

gözlemlenmektedir. Bu ilçeler dışında Küçükçekmece, Güngören, Bağcılar, Bahçelievler gibi deniz hattına coğrafi olarak daha uzak olan ilçelerden de bu hattın kullanılabilmesi olasıdır. Ancak fayda artış düzeyi diğer ilçelere göre daha düşük olmuştur.

9.5 Süre Güvenilirliği ve Erişim Modelinin Diğer Modeller ile Karşılaştırılması

Önerilen metodolojinin ilk aşamasında ulaşım süre güvenilirliğinin ölçülmesi ve takibi için süreç yeterlilik analizi önerilmektedir. Bu yöntem ile elde edilen süreç yeterlilik indeksleri, birimsiz değerlerdir. Bunun yanı sıra, anlaşılması oldukça kolay ve basittir.

Yolculuk sürelerinin normal dağılmadığı belirlenmiştir. Ancak literatürde geliştirilen ölçütler, genellikle dağılımın normal olduğu varsayımı ile kullanılmaktadır. Normal olmayan veri setleri ile süreç yeterlilik indekslerinin kullanılabilmesi, bu indekslerin daha doğru sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Karşılaştırılabilir, doğru sonuçlar veren ve uygulamada kullanılabilecek kadar basit indekslerin formüle edilebileceği bir yöntem olan süreç yeterlilik analizinin ulaşımında kullanımı araştırılmıştır.

Kullanılan metodoloji ile elde edilen sonuçlara göre süre güvenilirliği yeterlilik indeksleri ile rota özellikleri ve rota uzunluğu arasında anlamlı ilişki bulunmuştur. Bu bulgular geçmiş çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Chen ve diğ. (2009) süre güvenilirliği ile rota uzunluğu arasında korelasyon olduğunu belirlemiştir. Rota özellikleri ile kullanılan ulaşım hizmetleri ifade edilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre ele alınan dört ulaşım türünün, süre güvenilirlik indekslerinin performansına göre büyükten küçüğe sıralaması şu şekildedir:

- Funiküler
- Deniz yolu
- Tramvay
- Metrobüs

Bu sonuç, literatürde ulaşım türlerinin geçiş üstünlükleri ve teknolojilerine göre ortaya çıkan sıralamayla büyük oranda uyumludur (Vuchic, 2007).

Süre güvenilirliği yeterlilik indeksinin, yolculuk hizmetinin yolcu tarafından tanımlanan faydasına katkısı (yolcu için önemi), uygulamanın ikinci bölümünde

türler-arası erişim için geliştirilen bir yuvalı lojit model ile test edilmiştir. Yolculuk süresi uzunluğu ve yolculuk süresi güvenilirliğine verilen önemin karşılaştırması literatürde incelenmiştir. Çizelge 7.3'te bu karşılaştırmaların bir özeti sunulmuştur. Literatürde yapılan çalışmalarda süre güvenilirliğine verilen önem ile süreye verilen önem arasındaki oran 0,25 ile 2 arasında değerler almıştır.

Önerilen yöntemde erişim modelinin yuvalı lojit model ile tahmin edilmektedir. İstanbul metrosuna erişim yolculukları için yapılan model tahminlerinde süre güvenilirliğinin, yolculuk süresine göre daha fazla önem verilen bir değişken olduğu bulunmuştur. Süre güvenilirliğine, süreye göre yaklaşık 3 kat daha fazla önem verildiği bulunmuştur.

Aynı problem seti çoklu lojit model ve karma lojit model olarak da tanımlanmıştır. Çoklu lojit modellerinde seçim olasılıkları denklem (6.8)'de verilen aşağıdaki formülasyon ile elde edilir. Rassal faydanın bağımsız eş dağılım varsayımı altında rassal değişken üzerinden integrali aşağıdaki kapalı formu vermektedir:

$$Pr_{ni} = \frac{e^{\beta x_{ni}}}{\sum_{j \in C_n} e^{\beta x_{nj}}}$$

Seçim olasılığı denklemindeki, βx_{ni} ifadesi, fayda formülasyonudur. Model 3'de verilen fayda formülasyonu kullanılarak log-olabilirlik fonksiyonun en büyükleyen parametre tahminleri ve model uygunluk derecesi elde edilmiştir.

$$V_{mn}^3 = \beta_m + \beta_{Sure} Sure_{mn} + \beta_{AktarmaSayisi} AktarmaSayisi_{mn} + \beta_{Maliyet/Gelir} (Maliyet/Gelir)_{mn} + \beta_{SureGuvenciligiIndeksi} SureGuvenciligiIndeksi_{mn}$$

Ele alınan problem ayrıca, aynı model tanımlaması ile karma lojit model olarak da formüle edilmiştir. Karma lojit modeller, lojit model ailesinin en genel formudur. Çoklu lojit model ve geliştirilmiş uç değer modellerinin, faydanın rassal parçası için yapılan bağımsız eş dağılımlı varsayımının yanı sıra, karma lojitte herhangi bir dağılıma uyan bir fayda bölümü de modellenebilir. Daha önce denklem (6.17)'de verilmiş olan aşağıdaki formülasyon, karma lojit modeller ile elde edilen seçim olasılıklarıdır.

$$Pr_{ni} = \int \frac{e^{\beta x_{ni}}}{\sum_j e^{\beta x_{nj}}} f(\beta) d\beta$$

Bu formülasyonda görüldüğü gibi integralin içindeki ifadenin sol kısmı çoklu lojit modeldeki seçim olasılığı ifadesidir. Bu ifade, rassal ifadenin bağımsız eş dağılan bölümüdür. Fakat, karma lojit modellerin tanımında herhangi bir dağılıma uyan bir fayda parçasının eklenebilmesinin sağladığı esneklik ile parametrelerin herhangi bir dağılımdan geldiği dikkate alınabilir Bu durumda integral, β parametrelerine ait birleşik olasılık yoğunluk fonksiyonu üzerinden alınır. Bu şekilde, fayda formülasyonundaki parametrelerin dağılımlarına bağlı olarak incelenen popülasyon içindeki beğeni değişkenliği (İng.: taste variation) ortaya çıkarılabilmektedir.

Yuvalı lojit model, çoklu lojit model, karma lojit modeller ile elde edilen model uygunluk derecesi ve parametre tahminleri Çizelge 9.20’de sunulmuştur. Ayrıca Ek.E Şekil E.4 ve E.5’te karma lojit modelleme ve çıktı ara yüzleri sunulmuştur.

Çizelge 9.20 : Yuvalı lojit ile çoklu ve karma lojit modellerin karşılaştırılması.

	Yuvalı Lojit		Çoklu Lojit		Karma Lojit		
	Katsayı Değeri	p-değeri	Katsayı Değeri	p-değeri	Katsayı Ort. Değeri	Katsayı standart sapması	p-değeri
Süre	-0,504	0,07	-0,497	0,11	-0,544	0,052	0,06
Aktarma Sayısı	-1,78	0,03	-1,37	0,14	-1,48	0,45	0,17
Maliyet (Maliyet/Gelir)	-0,989	0,04	-1,19	0,03	-1,14	0,062	0,05
Süre Güvenilirliği İndeksi	1,51	0,57	9,37	0,01	1,79	1,06	0,62
n	69		69		69		
Sıfır log- olabilirlik:	-95,095		-95,095		-95,095		
Son log-olabilirlik:	-35,626		-33,695		-38,369		
Olabilirlik oran testi:	118,938		122,800		113,452		
ro-kare:	0,625		0,646		0,597		
Düzeltilmiş ro-kare:	0,447		0,498		0,386		
Tahmin süresi	5sn.		<1sn.		177 sn.		

Üç modelin uygunluk dereceleri karşılaştırıldığında en iyi uygunluk derecesi çoklu lojit modeller ile elde edilmiştir. Ancak çoklu lojit modellerde süre güvenilirlik indeksi için elde edilen parametre tahmini diğer iki model ile elde edilen parametre tahmininden oldukça farklıdır. Çoklu lojit modelde süre güvenilirliği, süre uzunluğuna göre yaklaşık 20 kat daha önemli bulunmuştur. Bu nedenle parametre tahminleri pek gerçekçi görünmemektedir.

Karma lojit modeller ile elde edilen sonuç, yuvalı lojit modeller ile elde edilen parametre tahminlerine oldukça yakındır. Karma lojit model sonuçlarına göre süre güvenilirliği değişkenine ait parametrenin standart sapması oldukça yüksektir. Bu

durum yolcuların süre güvenilirliğine verdiği önem derecesinin oldukça değişken olduğunu göstermektedir. Karma lojit modellerde parametre tahminleri yuvalı lojit model ile tutarlı olsa da yuvalı lojit modelinin uygunluk derecesi daha iyidir. Yuvalı lojit modellerde tahmininin daha basit olması ve çok daha kısa sürede yapılması da bir avantajdır. Bu nedenle yuvalı lojit modellerin kullanılması tercih edilmiştir. Ayrıca yuvalı lojit modellerin çok boyutlu (istasyon-ulaşım türü) şekilde tanımlanmasıyla da türler-arası erişilebilirlik için bir performans ölçütü elde edilmiştir.

9.6 Metodolojinin Üstün ve Zayıf Yönleri

Önerilen metodolojide iki aşama mevcuttur. Birinci aşamada süre güvenilirliğinin ölçümü için bir yöntem ve bir indeks önerilmiştir. İkinci aşamada ise bu ölçütün yolcu seçimlerindeki önemi lojit modeller ile belirlenmiştir. Tanımlanan model ile ayrıca türler-arası erişimde seçim olasılıkları ve türler-arası erişilebilirlik için bir performans ölçütü geliştirilmiştir. Her iki aşamanın üstün ve zayıf yönleri sırayla ele alınacaktır.

Süre güvenilirliğinin ölçümü için önerilen süreç yeterlilik analiziyle elde edilen süreç yeterlilik indeksinin en önemli özellikleri şunlardır:

- Farklı sistemleri karşılaştırabilecek birimsiz bir indekstir.
- Normal olmayan yolculuk süresi dağılımıyla kullanılabilir.
- Uygulamacıların anlayabileceği basit ve kolay bir göstergedir.
- Farklı deneysel tasarımlar ile değişkenliklerin kaynağı belirlenebilir.

Süreç yeterlilik indeksleri, listelenen üstün yönleri ile literatürde duruma özel geliştirilen ölçütler için önemli bir alternatif ve farklı koşullar için geçerli olabilecek genel bir gösterge olarak kullanılabilir.

Ancak süreç yeterlilik indekslerinin geliştirilmesi için gerekli olan hizmet spesifikasyonları, farklı ulaşım hizmetleri için oldukça belirsizdir. Bu çalışmada belirsizliğin ele alınması için bulanık spesifikasyonlar önerilmiş ve süreç yeterlilik indeksleri bu spesifikasyonlar ile geliştirilmiştir. Ancak, farklı talep koşulları altında (pik veya pik olmayan zamanlar), farklı ulaşım türleri veya hizmet tipleri için

spesifikasyonların özelleştirilmesi gerekebilir. Bunun için zaman içinde toplanan kapsamlı veri setleri ve testler ile daha hassas şekilde spesifikasyonlar belirlenebilir.

Süre güvenilirliğinin yolcular için önemi, önerilen lojit modeller ile belirlenmiştir. Tanımlanan modellerde süre güvenilirliği için tahmin edilen parametrenin oldukça geniş bir aralıkta değiştiği belirlenmiştir. Bunun nedeni veri setlerindeki eksikler veya anakütle içindeki beğeni değişkenliği olabilir. Bu amaçla, eksiksiz veri setleri ile tahminlerin ileride test edilmesi daha hassas sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir.

Süre güvenilirliğinin öneminin belirlenmesi için önerilen model türler-arası yolculuklarda erişim ulaşım türü ile erişilen durağın seçimi için tanımlanmıştır. Bu model tanımı ile türler-arası yolculuklarda besleme hatları ve aktarma istasyonlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu açıdan tanımlanan model, yüksek kapasiteli hatların bütünleşik hizmetler ile birlikte değerlendirilmesi için sonuçlar vermektedir. Model ile elde edilen sonuçlar farklı bölgelerden, duraklara farklı ulaşım türleri ile erişim seçenekleri için seçim olasılıklarını ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca formüle edilen model ile farklı bölgelerin belirli istasyonlara, türler-arası erişilebilirlik performansının ölçümü için bir gösterge elde edilmektedir. Böylece türler-arası erişilebilirlik hizmet performansının düşük olduğu bölgeler belirlenebilir ve hizmetlerin iyileştirilmesiyle seçim olasılıklarının nasıl değiştiği hesaplanabilir.

Uygulama ile ele alınan problemde kullanılan veri setleri ve veri toplama sistemlerinde ileriye dönük iyileştirmeler yapılabilir. Süreç yeterlilik analizinde otomatik ödeme sistemleri ile toplanan veri setleri kullanılmaktadır. Bu sistemin minibüs ve park-et devam-et hizmetleri gibi tüm ulaşım hizmetlerini kapsayacak şekilde genişletilmesi bütünleşik ulaşım sistemlerinin analizi için veri elde edilmesini kolaylaştıracaktır. Ayrıca erişim model tahminlerinin güvenilirliğinin artırılması için daha fazla sayıda kaliteli veri toplanabilir.

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

M2 metro hattının sağladığı yüksek hız ve kapasite, bu hattı kullananların en az %63'ünün başka bir araç ile bu hatta eriştiği düşünülürse, yolcu için sunulan hizmet düzeyi, yalnızca bu hat ile sunulan hizmet performansına bağlı değildir. Bu açıdan, uygulamada M2 metro hattına erişim hizmetlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Uygulamanın ilk aşamasında M2 metro hattına erişim için en çok kullanılan rotalar belirlenmiş ve bu rotaların süre güvenilirliği, süreç yeterlilik analizi yöntemi ile incelenmiştir.

Bu incelemede, her rotanın günden güne yolculuk süresinin kontrol altında olup olmadığı kontrol edilmiştir. Metrobüs ve metrobüs ile bütünleşik olan hatlar için haftanın ilk gününde kontrol dışı olma durumlarına rastlanmıştır. Dolayısıyla metrobüs operasyonlarının Pazartesi günleri için özel olarak incelenmesi, kontrol dışına çıkma sebebinin (örn. yüksek talep) belirlenmesi ve bu sorunun sebebinin giderilmesi için düzenlemeler (örn. daha sık operasyon) geliştirilmesi gereklidir.

Her rota için hesaplanan süre güvenilirliği yeterlilik indekslerine göre İstanbul Avrupa yakasında hizmet veren 34 numaralı metrobüs hattının süre güvenilirliğine ilişkin kalite seviyesi yetersizdir. Duraklar bazında hesaplanan SYI'lere göre kalite seviyesinin düşük olmasının en önemli sebebi rota uzunluğudur. Yolculuk süresi kısaltıkça, yani başlangıç istasyonu aktarma istasyonuna yaklaştıkça SYI artmaktadır. Tersine, istasyon uzaklaştıkça da kalite seviyesi azaltmaktadır. Ayrılmış şerit üzerinde hizmet veren 34 hattı çok uzundur. Metrobüs istasyonlarının yoğunlukları dikkate alınarak hizmet veren 34 metrobüs hattının ikiye bölünmesi veya hattın ortalarında yoğun istasyonların yükünü alacak şekilde daha kısa bir hattının hizmet vermesi bu sorunu azaltabilir. ANOVA testinde rota uzunluğunun 15 duraktan 20 durağa çıkması durumunda süre güvenilirliği indeksinde önemli bir düşüş görülmektedir. Dolayısıyla bu hatta yaklaşık 15 durak uzunluğunda hizmetler sunulması için gerekli düzenlemeler yapılmalıdır. Ayrıca, erişim türü ve yolculuklarda yapılan aktarmaların etkileşiminin, süre güvenilirliği üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu bulunmuştur. İncelenen örnekte erişim türlerinden biri olan

funiküler hattına başka bir araçtan aktarma yapılması durumunda süre güvenilirliği üzerindeki etkisi, metrobüs erişim türünün aktarma içeren yolculuklarda kullanılmasındaki etkisine göre farklıdır. Bu etki, farklı ulaşım türleri için gelecek çalışmalarda test edilebilir. Ayrıca aktarma istasyonu, istasyon yoğunluğu, vb. faktörlerin etkileri de gelecek çalışmalarda belirlenebilir.

Anadolu yakasından Avrupa yakasına geçiş sağlayan 34A metrobüs hattında süre güvenilirliğine ilişkin genel kalite seviyesi yeterli bulunmuştur. Bunun nedeni, M2 metro hattına aktarma istasyonu ile hattın başlangıç istasyonu arasının 8 istasyon içeren kısa bir rota olmasıdır. Hattın kısa olması, süre güvenilirliği yönünde olumlu bir etki sağlamaktadır. Ancak, bu hatta aktarma istasyonuna yakın olmasına rağmen belirli istasyonlarda (örn. Altunizade, Uzunçayır) süre güvenilirliği kalite seviyesi yetersiz bulunmuştur. İstasyon bazındaki bu durum, istasyona bağlı tasarım sorunları veya ilgili istasyondaki aşırı yoğunluğa bağlı olarak gelen araca binememe nedeniyle gereğinden uzun yolculuk sürelerinin ortaya çıkmasından kaynaklanabilir. Buna ek olarak, 34A hattıyla M2 hattına geçiş yapan yolcuların büyük çoğunluğu, iki hattın ilk kesişme noktası olan Zincirlikuyu (Gayrettepe) istasyonu yerine ikinci kesişme noktası olan Mecidiyeköy (Şişli) noktasında aktarma yapmaktadır. Oysa Gayrettepe aktarma noktasının SYI değeri, Şişli aktarma noktasına göre daha yüksektir, dolayısıyla Gayrettepe noktasında aktarma olması beklenmektedir. Bu sonuç, ilk kesişme noktası olan Zincirlikuyu (Gayrettepe) aktarma noktasında bir sorun olduğunu göstermektedir.

Kabataş'tan M2 metro hattına bağlantı sağlayan funiküler hattındaki süre güvenilirliği kalite seviyesi süper mükemmel bulunmuştur. Bu yüksek performansın nedenleri funiküler hattının tek duraklık çok kısa bir hat olması, yüksek teknolojisi, kendi geçiş hakkı olan bir altyapıya sahip olması ve M2 ile aktarmanın aynı düzeydeki istasyonlar arasında olması olarak sayılabilir. Funiküler hattı ile bağlantılı deniz yolu hatlarında yolculuk süre güvenilirliği de yeterli bulunmuştur. Benzer şekilde funiküler hattı ile bağlantılı T1 tramvay hattıyla yapılan yolculuklar da süre güvenilirliği açısından yeterlidir.

Ancak, 34 metrobüs hattı ile bağlantılı tramvay hatları T4 ve T2 ile yapılan yolculuklarda süre güvenilirliği yetersiz bulunmuştur. Bu rotada yapılan yolculuklarda genel olarak kalite düzeyleri düşüktür ve 34 metrobüs hattına benzer şekilde yolculuğun başlangıç durağı uzaklaştıkça SYI değerleri düşmektedir. 34

metrobüs hattı ile bağlantılı T1 tramvay ve M1 hafif metro hatlarındaki süre güvenilirliği ise yeterli kalite seviyesi sunmaktadır. T1 tramvay hattının yeterli kalite düzeyinde olması, yolcu yükünün funiküler ve 34 metrobüs bağlantısı olmak üzere iki hatta paylaşıyor olmasına bağlı olabilir. M1 hafif metro ise tramvaya göre daha fazla yolcu taşıma kapasitesine sahip olduğu için aşırı yük nedeniyle, süre güvenilirliği kalite düzeyi daha az etkilenebilir.

Süreç yeterlilik analizinde, istasyon hizmetleri sunulan hatlara ilişkin veri elde edilebildiği için bu hatlar üzerinde inceleme yapılmıştır. Ancak otobüsler için toplanan ödeme verileri, coğrafi lokasyon belirleme sistemleri ile elde edilebilecek veriler ile birleştirilerek, süre güvenilirliğinin istatistiksel olarak hatlar bazında takip edilmesi sağlanabilir. Bu şekilde elde edilecek veriler kullanılarak bu çalışmada önerilen yöntem, otobüs hizmetleri ile ilgili sorunların saptanması ve ortadan kaldırılması için önemli bir katkı sağlayabilir. M2 metro hattına erişim için en fazla kullanılan ulaşım türü otobüslerdir. Bunun yanı sıra minibüs, dolmuş, park-et devam-et tesisleri gibi otomatik ödeme sistemleri ile entegre olmamış hizmetlerin de entegrasyonu sağlanarak hizmet düzeylerinin takibi ulaşım sistemin bütünleşik şekilde incelenmesi ve takibi için önemli bir fayda sağlayacaktır. Minibüs, dolmuş, vb. hizmetler özel kuruluşlar tarafından verildiği için kalite düzeyinin belirlenmesinin önemi daha da yüksek olarak değerlendirilebilir.

Uygulamanın ikinci aşamasında ise erişim için seçim modelleri geliştirilmiştir. Süre güvenilirliği indeksinin seçim olasılıklarının tahminini iyileştiren ve yolcular tarafından önem verilen bir değişken olduğu bulunmuştur. Ayrıca modelde tahmin edilen parametrelere göre süre güvenilirliğinin önemi, sürenin öneminden daha yüksektir. Dolayısıyla yolcuların seçimlerinde sürenin daha kısa olmasından daha çok, yolculuk süresinin güvenilirliğine önem verdiği söylenebilir. Ancak, yolcular arasında süre güvenilirliğine verilen önem derecesinin yüksek değişkenlik gösterdiği tahmin edilen karma lojit parametre tahminlerinde görülmüştür. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre, model değişkenlerinden biri olan aktarma sayısı yolcular açısından en önemli hizmet özelliğidir. Aktarma sayısı, yolculuk süresinin 3 katından daha önemli bir değişken olarak bulunmuştur. Bunların yanı sıra yolculuk maliyeti de süreden daha önemli bir değişken olarak bulunmuştur.

Oluşturulan erişilebilirlik ölçütlerine göre M2 metro hattına türler-arası erişim açısından en iyi hizmet sağlanan ilçeler Beşiktaş, Üsküdar, Sarıyer, Bakırköy ve

Şişli'dir. Türler-arası erişimde en düşük ölçüt değerlerine sahip ilçeler ise Avcılar, Büyükçekmece, Bağcılar, Küçükçekmece ve Esenler olarak bulunmuştur. Benzer şekilde durakların sunduğu türler-arası erişim hizmet düzeyi incelenirse, en kötü performansı 4. Levent, Levent ve Osmanbey göstermektedir. En iyi türler-arası erişilebilirlik ise Darüşşafaka, Şişli ve Sanayi istasyonları için elde edilmiştir. Son olarak, Avcılar-Bakırköy-Kabataş arasında yeni bir denizyolu hattı açılması senaryosu M2'ye erişim yolculuğunun fayda artışının belirlenmesi için test edilmiştir. Bu ulaşım hattının en büyük fayda artışını, Büyükçekmece, Avcılar ve Bakırköy ilçeleri için sağlayacağı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra Güngören, Küçükçekmece, Bağcılar ve Bahçelievler ilçeleri için de M2'ye erişim açısından fayda artışı sağlanacaktır.

Çalışmanın ilk aşamasında, süreç yeterlilik analiziyle elde edilen süre güvenilirliği SYI'lerinin rota uzunluğu ve rota değişkenlerinden ne derecede etkilendiği araştırılmıştır. Gelecek çalışmalarda benzer şekilde istasyonların yolcu yoğunluğu, araç içi yolcu yükü, istasyon tasarımı, vb. bağımsız değişkenlerinin süre güvenilirliği SYI'leri üzerindeki etkileri incelenebilir. Bu faktörlerin sistem performansını ne derecede etkilediği belirlenebilir. Bu faktörler, sistemin kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörleri olarak sınıflandırılabilir ve performans üzerindeki etkilerine göre optimum sistem tasarımını sağlayacak standartlar belirlenebilir. Kontrol edilebilen faktörler için geliştirilecek standartlar ile kontrol edilemeyen faktörlerin sistem performansı üzerinde yarattığı varyasyonlar en küçüklenebilir ve sistem performansı gürbüz hale getirilebilir. Gürbüz bir sistem için oluşturulan bu standartlar, ağ tasarımı, çizelgeleme, ulaşım planlama, yeni yatırım fizibilitesi vb. ulaşım problemleri için girdi olarak kullanılabilir.

Süre güvenilirliği için geliştirilen süreç yeterlilik indekslerinin spesifikasyonları bulanık olarak belirlenmiştir. Ancak indekslerin formülasyonundaki diğer parametreler (örn. dağılımın 3σ genişliği, dağılımın merkezi eğilim değeri) de bulanık olarak ele alınabilir çünkü normal dağılıma uymayan yolculuk süreleri dağılımı için bu parametreleri hassas bir şekilde belirlemek güçtür. İleride yapılacak çalışmalarda, formülasyondaki parametreler bulanık olarak belirlenerek süreç yeterlilik indeksi tahminindeki iyileşme test edilebilir.

Otomatik ödeme sistemleri veri tabanının kullanımı, ulaşım sistemlerinin yolcuya sunduğu gerçek performansı ve hizmet kalite düzeyinin ölçülmesinde süre

güvenilirliğinin yanı sıra diğer kalite boyutlarının (örn. yolcu yükleri) ölçümü ve takibi için de katkı sağlayabilir. Özellikle, araçtan iniş verilerinin de veri tabanında kayıt edilebilmesinin sağlanması ile bu çalışmada sunulan yöntem, yolcu yükleri, vd. kalite boyutlarının ölçümü ve takibi için uygulanabilir.

Otomatik ödeme sistemleri veri tabanının gerçek-zamanlı olarak ulaşım yönetim birimleri ile paylaşılması ve önerilen yöntem ile performansın gerçek-zamanlı kalite takip sistemi ile sorunlar anında belirlenebilir. Mevcut sorunlara hızlı cevap verebilen uygulamaların ve adaptif sistemlerin geliştirilmesi mümkün olabilir.

İkinci aşamada ele alınan yolcu seçim modeli için gelecek çalışmalarda modelde kullanılan seçim kümesi belirleme yöntemi, literatürdeki alternatif yöntemler kullanılarak test edilebilir. Ayrıca yeni bir çalışmada modelde ele alınan deterministik süreler stokastik süreler olarak şebeke üzerindeki zamana bağlı yoğunluklar, vb. olaylar dikkate alınacak şekilde kullanılabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda erişim durağı ve erişim türü olarak tanımlanan problem, rota seçimi problemi olarak tanımlanabilir. Rota seçimi probleminde, yolculuğun sadece erişim kısmı değil, yolculuğun başlangıç ve bitiş (OD) noktaları arasındaki yapılan seyahatin rota seçiminin modellemesinde, tüm rota için geliştirilen süre güvenilirliği yeterlilik indeksi kullanılabilir. Böylece rota seçimi modeline göre süre güvenilirliğine yolcuların verdiği önem değeri belirlenebilir. Ayrıca yatırımlar için fizibilite analizleri için geliştirilen erişim modeli ile elde edilen talep tahminleri kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abbasi, B.**, 2009. A neural network applied to estimate process capability of non-normal processes. *Expert Systems with Applications*, **36**, 3093–3100.
- Abrantes, P., Wardman, M.**, 2011. Meta-analysis of UK values of travel time: an update. *Transportation Research A*, **45**, 1, 1–17.
- Algers, S.**, 1995. The Swedish value of time study. *Transek Report*.
- Anis, M.Z.**, 2008. Basic Process Capability Indices: An Expository Review. *International Statistical Review*, **76**, 3, 347–367.
- Arentze, T. A., Henk Van Mourik, F. H. ve Timmermans, H.**, 2000. ALBATROSS: a multi-agent rule based model of activity pattern decisions. Paper presented at the *79th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, DC, USA.
- Arentze, T. A. ve Timmermans, H.**, 2003. Measuring impacts of condition variables in rule-based models of space–time choice behavior: method of empirical illustration. *Geographical Analysis*, **35**, 24–45.
- Arentze, T. A. ve Timmermans, H. J. P.**, 2005. A learning-based transportation oriented simulation system, *Transportation Research B* 38, 613–633.
- Asakura Y., Kashiwadani M.**, 1991. Road network reliability caused by daily fluctuation of traffic flow. *European Transport, Highways & Planning*, **19**, 73–84.
- Association of Train Operating Companies**, 2005. Passenger Demand Forecasting Handbook. *Association of Train Operating Companies*, London.
- Bai D.S., Choi S.S.**, 1997. Process capability indices for skewed populations. *MSc. Thesis*, Department of Industrial Engineering, Advanced Institute of Science and Technology, Taejon, South Korea.
- Bates, J., Polak, J., Jones, P. ve Cook A.**, 2001. The valuation of reliability for personal travel. *Transportation Research Part E*, **37**, 191–229.
- Batley, R.**, 2007. Marginal valuations of travel time and scheduling, and the reliability premium. *Transportation Research Part E*, **43**, 387–408
- Batley, R., Dargay, J., Wardman, M.**, 2011. The impact of lateness and reliability on passenger rail demand. *Transportation Research Part E*, **47**, 61–72.
- Ben-Akiva, M. ve Bierlaire, M.**, 1999. Discrete Choice Methods and Their Applications to Short Term Travel Decisions, in *Handbook of Transportation Science*, p. 5–34, Eds. Hall, R.W., Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA.
- Ben-Akiva, M. ve Boccara, B.**, 1995. Discrete choice models with latent choice sets. *International Journal of Research in Marketing*, **12**, 9–24.

- Ben-Akiva, M. ve Boccara, B.**, 1995. Discrete choice models with latent choice sets. *International Journal of Research in Marketing*, **12**, 9-24.
- Ben-Akiva, M. ve Lerman, S.**, 1985. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, MIT Press, U.S.A
- Ben-Akiva, M., Bergman, M.J., Daly, A.J. ve Ramaswamy, R.**, 1984. Modelling Inter Urban Route Choice Behavior. *Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory*. VNU Science Press. 299-330
- Benn, H.P.**, 1995. Bus Route Evaluation Standards, TCRP *Synthesis of Transit Practice*, 10, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Berger, C., Blauth, R., Boger, D., Bolster, C., Burchill, G., DuMouchel, W., Pouliot, F., Richter, R., Rubinoff, A., Shen, D., Timko, M. ve Walden, D.**, 1993. Kano's method for understanding customer-defined quality. *Center for Quality of Management Journal*, **2** (4), 3-35.
- Bhat, C.R., Sardesai, R.**, 2006. The impact of stop-making and travel time reliability on commute mode choice. *Transportation Research Part B*, **40**, 709–730.
- Bierlaire, M.**, 1998. Discrete choice models, in *Operations Research and Decision Aid Methodologies in Traffic and Transportation Management*, p. 203-227, Eds. Labbe, M., Laporte, G., Tanczos, K. and Toint, P., Springer, Heidelberg.
- Bierlaire, M.** 2003. BIOGEME: a free package for the estimation of discrete choice models. In: *Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference*, Ascona, Switzerland.
- Bierlaire, M.**, 2008. An introduction to BIOGEME Version 1.8. <<http://biogeme.epfl.ch>>.
- Black, I.G., Towriss, J.G.**, 1993. Demand effects of travel time reliability. *HMSO*.
- Bolduc, D.**, 1999. A Practical Technique to Estimate Multinomial Probit Models in Transportation. *Transportation Research*, **33** (1), 63-79.
- Bovy, P.H.L. ve Stern, E.**, 1990. *Route Choice: Wayfinding in Transport Networks*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands
- Box G.E.P., Cox D.R.**, 1964. An analysis of transformation. *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, **26**, 211–243.
- Börjesson, M., Eliasson, J.**, 2011. On the use of “average delay” as a measure of train reliability. *Transportation Research Part A*, **45**, 171–184.
- Börjesson, M., Eliasson, J., Franklin, J.**, 2010. Valuations of travel time variability in scheduling versus mean–variance models. Working paper.
- Brons, M., Givoni, M. ve Rietveld, P.**, 2009. Access to railway stations and its potential in increasing rail use. *Transportation Research Part A*, **43**, 136–149.
- Brownstone, D. ve Small, K.A.**, 1989. Efficient estimation of nested logit model. *Journal of Business and Economic Statistics*, **7**, 67–74.

- Brownstone, D. ve Small, K.A.**, 2005. Valuing time and reliability: assessing the evidence from road pricing demonstrations. *Transportation Research Part A* **39**, 279–293.
- Burr, I.J.**, 1967. The Effect of nonnormality on constants x and R Charts. *Industrial Quality Control*, **23**, 563–568.
- Cambridge Systems, Texas Transportation Institute, University of Illinois, Dowling Associates**, 2003. Providing a Highway System with Reliable Travel Times Study 3□ Reliability, NCHRP Project 20-58[3] Final Report, Transportation Research Board.
- Carman, J.M.**, 1990. Consumer perceptions of service quality: an assessment of the SERVQUAL dimensions. *Journal of Retailing*, **66** (1), 33-55.
- Cascetta, E. ve Papola, A.**, 2001. Random utility models with implicit availability/perception of choice alternatives for the simulation of travel demand. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, **9** (4) 249–263.
- Cascetta, E., Russo, E., Viola, F. ve Vitetta, A.**, 2002. A model of route perception in urban road network. *Transportation Research Part B: Methodological*, **36**, 577–592.
- Champ, C.W. ve Woodall, W.H.**, 1987. Exact Results for Shewhart Control charts for Supplementary Runs Rules. *Technometrics*, **29**, 393–399.
- Chan, L.K., Hapuarachchi K.P. ve Macpherson, B.D.**, 1988. Robustness of x and R charts. *IEEE Transactions of Reliability*, **37** (1) 117-123.
- Chang, J.S.**, 2010. Assessing travel time reliability in transport appraisal. *Journal of Transport Geography*, **18**, 419–425.
- Chang, Y.S., Choi, I.S. ve Bai, D.S.**, 2002. Process capability for skewed populations. *Quality and Reliability Engineering International*, **18**, 383–393.
- Chen H.F. ve Kotz S.**, 1996. An Asymptotic Distribution of Wright's Process Capability Index Sensitive to Skewness. *Journal of statistical Computation and Simulation*, **55**, 147-158.
- Chen, A. ve Zhou, Z.**, 2010. The a-reliable mean-excess traffic equilibrium model with stochastic travel times. *Transportation Research Part B*, **44** (4), 493-513.
- Chen, X., Yu, L., Zhang, Y. Ve Guo, J.**, 2009. Analyzing urban bus service reliability at the stop, route and network levels. *Transport Research Part A*, **43**, 722-734.
- Chou J.S. ve Kim, C.**, 2009. A structural equation analysis of the QSL relationship with passenger riding experience on high speed rail: An empirical study of Taiwan and Korea. *Expert Systems with Applications*, **36**, 6945–6955.
- Chu, C.**, 1981. Structural issues and sources of bias in residential location and travel choice models, *PhD Thesis*, Northwestern University, Chicago.

- Chu, C.**, 1989. A paired combinational logit model for travel demand analysis, In WCTR '89, Proceedings of Fifth World Conference on Transportation Research, 4, 295–309.
- Clark, S.D., Watling, D.**, 2005. Modelling network travel time reliability under stochastic demand. *Transportation Research Part B* **39** (2), 119–140.
- Clements, J.A.**, 1989. Process capability calculations for non-normal distributions. *Quality Progress*, **22** (9), 95–100.
- Crider, L., Burden, J. ve Han, F.**, 2001. Multimodal LOS: Point Level of Service Project, *The Florida Department of Transportation Final Report*, Department of Urban & Regional Planning, University of Florida, Gainesville, FL.
- Cronin J.J., Taylor S.A.**, 1992. Measuring Service Quality: A Reexamination and Extension. *The Journal of Marketing*, **56** (3), 55-68.
- Currie, G. ve Wallis, I.**, 2008. Effective ways to grow urban bus markets – a synthesis of evidence. *Journal of Transport Geography*, **16**, 419–429.
- Daganzo, C.F.**, 1977. Multinomial Probit and Qualitative Choice: A Computationally Efficient Algorithm. *Transportation Science*, **11**, 338-358.
- Daamen, W.**, 2004. Modelling passenger flows in public transport facilities, *PhD Thesis*, Delft University of Technology, Netherlands.
- Danaher, A., Parkinson, T., Ryus, P. ve Nowlin, L.**, 1997. TCRP Web Document 6: Development of Transit Capacity and Quality of Service Principles, Practices and Procedures, *Transit Cooperative Research Program*, TRB, National Research Council, Washington, DC.
- Danaher, A., Ryus, P., Ellis, E., Walker, M.C. ve Hunter-Zaworski, K.**, 2003. TCRP Report 100: Transit Capacity and Quality of Service Manual, *Transit Cooperative Research Program*, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Debrezion, G., Pels, E., Rietveld, P.**, 2006. TI 2006-031/3: The Impact of Rail Transport on Real Estate Prices: An Empirical Analysis of the Dutch Housing Markets, *Tinbergen Institute Discussion Paper*, Vrije Universiteit Amsterdam and Tinbergen Institute, Amsterdam.
- Debrezion, G., Pels, E., Rietveld, P.**, 2009. Modelling the joint access mode and railway station choice. *Transportation Research Part E*, **45**, 270–283.
- Deleryd, M.**, 1996. Process capability indices in theory and practices, *B.Sc. Thesis*, Division of Quality Technology and Statistics, Lulea University of Technology.
- Derringer, G., ve Suich, R.**, 1980. Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality Technology*, **12** (4), 214-219.
- Dial, R.B.**, 1971. A probabilistic multipath traffic assignment model which obviates path enumeration. *Transportation Research*, **5**, 83–111.
- Dowling, R., McLeod, D., Guttenplan, M. ve Zegeer, J.**, 2002. Multimodal Corridor Level-Of-Service Analysis. *Transportation Research Record*, **1802**, 1-6.

- Dowling, R., Reinke, D., Flannery, A., Ryus, P., Vandehey, M., Petritsch, T., Landis, B., Rouphail, N. ve Bonneson, J.,** 2008. NCHRP Report 616: Multimodal Level of Service Analysis for Urban Streets, *National Cooperative Highway Research Program Report 616*, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Eddington, R.,** 2006. The Eddington Transport Study: The Case for Action. *HM Treasury*, London.
- Eliasson, J.,** 2004. Car drivers' valuations of travel time variability, unexpected delays and queue driving. In: Proceedings of the 2004 European Transport Conference.
- English, J.R. ve Taylor, J.R.,** 1993. Process Capability Analysis-A Robustness Study. *International Journal of Production Research*, **31**, 1621-1635.
- Estupinan, N. ve Rodriguez, D.A.,** 2008. The relationship between urban form and station boardings for Bogotá's BRT. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **42** (2), 296-306.
- European Rail Research Advisory Council,** 2007. Strategic Rail Research Agenda 2020. <<http://www.errac.org/IMG/pdf/SRRA-2007.pdf>> (accessed 08.02.11).
- Farhan, B. ve Murray, A.T.,** 2008. Siting park-and-ride facilities using a multi-objective spatial optimization model. *Computers & Operations Research*, **35**, 445 – 456.
- Feigenbaum, A.V.,** 1951. *Quality Control*. McGraw Hill, New York.
- Fiorenzo-Catalano, M.S.,** 2007. Choice Set Generation in Multi-Modal Transportation Networks, *PhD Thesis*, Delft University of Technology, Delft.
- Fosgerau, M., Karlström, A.,** 2010. The value of reliability. *Transportation Research B* **44** (1), 38–49.
- Frejinger, E.,** 2008. Route Choice Analysis: Data, Models, Algorithms and Applications, *PhD Thesis*, École Polytechnique Fédérale De Lausanne, Switzerland.
- Furth, P., ve Müller, T.,** 2006. "Service Reliability and Hidden Waiting Time: Insights from AVL Data." Presented at the *Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington, DC.
- Gaver, D.P.,** 1968. Headstart strategies for combating congestion. *Transportation Science* **2** (3), 172-181.
- Ghatee, M. ve Hashemi, S.H.,** 2009. Traffic assignment model with fuzzy level of travel demand: An efficient algorithm based on quasi-Logit formulas. *European Journal of Operational Research*, **194**, 432–451.
- Grange, L., Troncoso, R., Ibeas, A. ve González, F.,** 2008. Gravity model estimation with proxy variables and the impact of endogeneity on transportation planning. *Transportation Research Part A*, **43**, 105–116.
- Griffin A. ve Hauser, J.R.,** 1993. The voice of the customer, *Marketing Science* **12** (1), 1–27.

- GUIDE (Group for Urban Interchanges Development and Evaluation)**, 1999. European Commission, the Fourth Framework Research and Technological Development Programme. Available from: <www.cordis.lu/transport/src/guide.htm>.
- Guttenplan, M., Davis, B., Steiner, R. ve Miller, D.**, 2003. Planning Level Areawide Multi-Modal Level of Service (LOS) Analysis. *Journal of the Transportation Research Board*, **1858**, 61-68.
- Guttenplan, M., Landis, B.W., Crider, L. ve McLeod, D.S.**, 2001. Multimodal Level-Of-Service Analysis At Planning Level. *Journal of the Transportation Research Board*, **1776**, 151-158.
- Hahn, G.J. ve Shapiro, S.S.**, 1967. *Statistical Models in Engineering*, Wiley, New York.
- Handy, C. ve Pfaff, M.**, 1975. Consumer Satisfaction with Food Products and Marketing Services. *Agricultural Economic Research Service*, Rep. 281 ERS, USDA.
- Hensher, D. ve Greene, W.**, 2002. Specification and estimation of nested logit model. *Transportation Research B*, **36**, 1–17.
- Hensher, D., Prioni, P.**, 2002. A service quality index for area-wide contract performance assessment. *Journal of Transport Economics and Policy*, **36** (1), 93–113.
- Hiatt, R. E.**, 2006. An Alternative to Auto LOS for Transportation Impact Analysis. In Transportation Research Board 85th Annual Meeting, Washington, DC, USA, 22-26 January (CD-ROM).
- Hills, P.**, 1996. What is induced travel?. *Transportation*, **23**, 5-16.
- Hollander, Y.**, 2006. Direct versus indirect models for the effects of unreliability. *Transportation Research Part A*, **40**, 699–711.
- Hoogendoorn-Lanser, S.**, 2005. Modelling Travel Behaviour in Multi-modal Networks, *PhD Thesis*, Delft University of Technology, Delft.
- Hosseinfard, S. Z., Abbasi, B., Ahmad S. ve Abdollahian, M.**, 2009. A transformation technique to estimate the process capability index for non-normal processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **40** (5-6), 512-517.
- Hsiang, T.C. ve Taguchi, G.**, 1985. Tutorial on quality control and assurance—The Taguchi methods, *Joint Meetings of the American Statistical Association*, Las Vegas, Nevada.
- Hsu, S.C.**, 2010. Determinants of passenger transfer waiting time at multi-modal connecting stations. *Transportation Research Part E*, **46**, 404–413.
- Jackson, W.B. ve Jucker, J.V.**, 1982. An empirical study of travel time variability and travel choice behavior. *Transportation Science* **16** (4), 460–475.
- Johnson N.L.**, 1949. System of frequency curves generated by methods of translation. *Biometrika*, **36**, 149–176.

- Johnson, M. D., Anderson, E.W ve Fornell, C.,** 1995. Rational and Adaptive Performance Expectation in A Customer Satisfaction Framework, *Journal of Consumer Research*, **21**, 595-707.
- Juran, J.M.,** 1951. *Quality Control Handbook*, 1st ed., McGraw Hill, New York.
- Juran, J.M.,** 1974. *Quality Control Handbook*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York.
- Juran, J. M. ve Gryna , Jr. F.M.,** 1980. *Quality Planning and Analysis*, 2nd ed., McGraw-Hill, New York.
- Kane, V.E.,** 1986. Process Capability Indices. *Journal of Quality Technology*, **18**, 41-52.
- Kano, N., Seraku, N., Takahashi, F. ve Tsuji, S.,** 1984. Attractive quality and must-be quality, *Journal of the Japanese Society for Quality Control*, **14** (2), 39-48.
- Karlstrom, A.,** 2000. Non-linear value functions in random utility econometrics, Conference Presentation, *9th IATBR Travel Behavior Conference*, Australia; and Working Paper, Infrastructure and Planning, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- KJS Associates,** 2001. MAG Park-and-Ride Site Selection Study, *Maricopa Association of Governments*, Phoenix, AZ.
- Kotz, S. ve Johnson, N.L.,** 1993. Process Capability Indices for Non-normal Populations. *International Journal of Mathematical Statistical Science*, **1**, 35-44.
- Kotz, S. ve Lovelace, C.R.,** 1998. *Process Capability Indices in Theory and Practice*, Oxford University Press Inc., New York.
- Kroes, E., Kouwenhoven, M., Duchateau, H., Debrincat, L., Goldberg, J.,** 2005. On the value of punctuality on suburban trains to and from Paris. In: *Proceedings of the 2005 European Transport Conference*.
- Kroes, E., Kouwenhoven, M., Duchateau, H., Debrincat, L., Goldberg, J.,** 2007. The value of punctuality on suburban trains to and from Paris. In: *TRB meeting*.
- Krygsman, S., Dijst, M. ve Arentze, T.,** 2004. Multimodal public transport: an analysis of travel time elements and the interconnectivity ratio. *Transport Policy*, **11**, 265–275.
- Kuo, YF.,** 2004. Integrating Kano's model into web-community service quality. *Total Quality Management*, **15** (7), 925-939.
- Lam, T.C. ve Small, K.A.,** 2001. The value of time and reliability: measurement from a value pricing experiment. *Transportation Research Part E* **37**, 231-251.
- Lancaster, K.,** 1966. A New Approach to Consumer Theory. *Journal of Political Economy*, **74**, 132-157.
- Lee, H. K.,** 2005. *First Course on Fuzzy Theory and Applications*, Springer.

- Levinson, H.S.**, 1991. Supervision Strategies for Improved Reliability of Bus Routes, *NCTRP Synthesis of Transit Practice*, 15, TRB, National Research Council, Washington, DC.
- Li, Z., Hensher, D.A., Rose, J.M.**, 2010. Willingness to pay for travel time reliability in passenger transport: A review and some new empirical evidence. *Transportation Research Part E* **46**, 384–403.
- Lin, J., Wang P., Barnum, D.T.**, 2008. A quality control framework for bus schedule reliability. *Transportation Research Part E* **44**, 1086–1098.
- Lin, S.P., Yang C.L., Chan Y. ve Sheu, C.**, 2010. Refining Kano's 'quality attributes–satisfaction' model: A moderated regression approach. *Int. J. Production Economics*, **126**, 255–263.
- Liou, T.S., Wang, M. J.**, 1992. Ranking fuzzy numbers with integral value. *Fuzzy Sets and Systems*, **50**, 247–255.
- Liu, H.X., Recker, W., Chen, A**, 2004. Uncovering the contribution of travel time reliability to dynamic route choice using real-time loop data. *Transportation Research Part A*, **38**, 435–453.
- Liu, H.X., He., X. Recker, W.**, 2007. Estimation of the time-dependency of values of travel time and its reliability from loop detector data. *Transportation Research Part B*, **41**, 448–461.
- Lu C.C., Mahmassani H.S. ve Zhou, X.**, 2008. A bi-criterion dynamic user equilibrium traffic assignment model and solution algorithm for evaluating dynamic road pricing strategies, *Transportation Research Part C*, **16**, 371–389.
- Luce, R.D.**, 1959. *Individual Choice Behavior*, Wiley, New York.
- Manski, C.**, 1977. The Structure of Random Utility Models. *Theory and Decision*, **8**, 229–254.
- Maragah, H.O. ve Woodall, W.H.**, 1992. The Effect of Autocorrelation on the Retrospective *X*-chart. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, **40** (1-2), 29–42.
- Marin, A. ve Jaramillo, P.**, 2008. Urban rapid transit network capacity expansion. *European Journal of Operational Research*, **191**, 45–60.
- Marin, A. ve Garcia-Rodenas, R.**, 2009. Location of infrastructure in urban railway networks. *Computers & Operations Research*, **36**, 1461 – 1477.
- Marschak, J.**, 1960. Binary choice constraints on random utility indications, in *Stanford Symposium on Mathematical Methods in the Social Sciences*, p. 312–329, Eds. Arrow, K. Stanford University Press, Stanford, CA.
- Mathieu, Y., Viegas, J.M., Hilferink, P., Norheim, B. ve Castillo, J.G.P.**, 1996. UR-96-SC-1140: QUATTRO, *Transport RTD Programme, Technological Development and Demonstration*, Fourth Framework Programme for Research, EU.
- Matzler, K. ve Hinterhuber, H.H.**, 1998. How to make product development projects more successful by integrating Kano's model of customer satisfaction into quality function deployment. *Technovation*, **18** (1), 25–37.

- Matzler, K. ve Sauerwein, E.**, 2002. The factor structure of customer satisfaction: An empirical test of the importance grid and the penalty-reward-contrast analysis. *International Journal of Service Industry Management*, **13** (4), 314–332.
- Matzler, K., Bailom, F., Hinterhuber, H.H., Renzl, B. ve Pichler, J.**, 2004. The asymmetric relationship between attribute-level performance and overall customer satisfaction: A reconsideration of the importance-performance analysis. *Industrial Marketing Management*, **33**, 271–277.
- Mauttone, A. ve Urquhart, M.E.**, 2009. A route set construction algorithm for the transit network design problem. *Computers & Operations Research*, **36**, 2440–2449.
- McFadden, D.**, 1974. Conditional logit analysis of qualitative choice behavior, in *Frontiers in Econometrics*, p. 105–142, Eds., Zarembka, P., Academic Press, New York.
- McFadden, D.**, 1999. Computing willingness-to-pay in random utility models, in *Trade, Theory and Econometrics: Essays in Honour of John S. Chipman*, p. 253–274, Eds. Moore, J., Riezman, R. and Melvin, J., Routledge, London.
- McFadden, D. ve Train, K.**, 2000. Mixed MNL models of discrete response. *Journal of Applied Econometrics*, **15**, 447–470.
- Montgomery, D.C.**, 2001. *Introduction to Statistical Quality Control*, Wiley&Sons, Inc., New York.
- Morikawa, T.**, 1989. Incorporating Stated Preference Data in Travel Demand Analysis, *PhD Thesis*, MIT, Cambridge, MA.
- Morikawa, T.**, 1996. A hybrid probabilistic choice set model with compensatory and noncompensatory choice rules, *Proceedings of the 7th World Conference on Transport Research*, 1, 317–325.
- Morpace International ve Cambridge Systematics**, 1999. TCRP Report 47: A Handbook for Measuring Customer Satisfaction and Service Quality, *Transit Cooperative Research Program*, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Murray, A.T., Davis, R., Stimson, R.J. ve Ferreira, L.**, 1998. Public Transportation Access. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* **3** (5), 319–328.
- Murray, A.T.**, 2001. Strategic analysis of public transport coverage. *Socio-Economic Planning Sciences*, **35** (3), 175–188.
- New York Metropolitan Transportation Council (NYMTC)**, 1998. The 1997/1998 Regional Travel – Household Interview Survey (RT-HIS).
- Ng, M.W. ve Waller, S.T.**, 2010. A computationally efficient methodology to characterize travel time reliability using the fast Fourier transform. *Transportation Research Part B*, **44**, 1202–1219.

- Noland R.B. ve Small K.A.**, 1995. Travel time uncertainty, departure time and the cost of morning commute, Paper presented to the *74th Annual Meeting of Transport Research Board*, Washington.
- Nuzzolo, A. ve Russo, F.**, 1998. Departure time and path choice models for intercity transit assignment, in *Travel Behaviour Research: Updating the State of Play*, p. 385-399, Eds. Ortuzar J.D., Hensher D., JaraDiaz S., Pergamon Press, Oxford.
- Padgett, W.J. ve Sengupta, A.**, 1996. Performance Of Process Capability Indices For Weibull And Lognormal Distributions Or Autoregressive Processes. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, **3** (3), 217-229.
- Parasuraman, A., Berry, L. ve Zeithaml, V.A.**, 1990. Report 90-122: An Empirical Examination of Relationships in an Extended Service Quality Model, *Marketing Science Institute Research Program Series*, Cambridge, MA.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V.A. ve Berry, L.**, 1985. A Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research. *The Journal of Marketing*, **49** (4), 41-50.
- Pearn W.L., Chen K.S., Lin G.H.**, 1998. Distributional and inferential properties of the process accuracy and process precision indices. *Communications in Statistics: Theory and Methods*, **27**, 985–1000.
- Pearn, W. L., Kotz, S.**, 2006. *Encyclopedia and Handbook of Process capability Indices*, Series on Quality, Reliability and Engineering Statistics, 12, World Scientific.
- Pearn, W.L., Kotz, S. ve Johnson N.L.**, 1992. Distributional and Inferential Properties of Process Capability Indices. *Journal of Quality Technology*, **24** (4), 216-216.
- Pedersen, M.B.**, 2005. Optimization models and solution methods for intermodal transportation, *PhD Thesis*, Technical University of Denmark, Centre for Traffic and Transport, Lyngby.
- Perone, J., Winters, P., Read, M. ve Sankah, I.**, 2005. NCTR Project 527-08: Assessing Hierarchy of Needs in Levels of Service, *National Center for Transit Research*, University of South Florida, Tampa, FL.
- Phillips, R., Karachepone, J. ve Landis, B.**, 2001. FDOT Project BC-205: Multi-Modal Quality of Service Project, *The Florida Department of Transportation*, FL.
- Pizzi N.J.**, 2008. Software quality prediction using fuzzy integration: a case study, *Soft Computing*, **12**, 67–76.
- Polak J.W.**, 1987. The evaluation of reductions in the variability of travel times to work. PTRC Summer Annual Meeting, *Proceedings of Transportation Planning Methods Seminar*, 313-325.
- Polansky, A.M.**, 2000. An Algorithm for Computing a Smooth Non-Parametric Capability Estimate. *Journal of Quality Technology*, **32**, 284-289.

- Pratt, R.H.**, 2000. TCRP Web Document 12: Traveler Response to Transportation System Changes, *Transit Cooperative Research Program*, TRB, National Research Council, Washington, DC.
- Pursula, M., Kurri, J.**, 1996. Value of Time Research in Finland. Paper presented at *PTRC International Seminar on the Value of Time*. Easthampstead, London, 28–30 October.
- Ramjerdi, F., Rand, L., Sælensminde, K.**, 1997. The Norwegian Value of Time Study: Some Preliminary Results. *Institute of Transport Economics*, Oslo, Norway.
- Ramming, M.S.**, 2002. Network Knowledge and Route Choice, *PhD Thesis*, MIT, Cambridge, MA.
- Rietveld, P., Bruinsma, F.R., van Vuuren, D.J.**, 2001. Coping with unreliability in public transport chains: a case study for Netherlands. *Transportation Research E*, **37**, 539–559.
- Roorda, M.J. ve Ruiz, T.**, 2008. Long- and short-term dynamics in activity scheduling: A structural equations approach. *Transportation Research Part A*, **42**, 545–562.
- Ryus, P., Connor, M., Corbett, S., Rodenstein, A., Wargelin, L., Ferreira, L., Nakanishi, Y. ve Blume, K.**, 2003. TCRP Report 88: A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement System, *Transit Cooperative Research Program*, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Senna, L.A.D.S.**, 1994. The influence of travel time variability on the value of time. *Transportation* **21**, 203–228.
- Shao, H., Lam, W.H.K., Meng, Q., Tam, M.L.**, 2006. A Reliability-Based Stochastic Traffic Assignment Model for Network with Multiple User Classes under Uncertainty in Demand. *Network Spatial Economics*, **6**, 173–204.
- Sheffi, Y.**, 1985. *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*, Prentice-Hall, Inc., NJ.
- Shewhart, W.A.**, 1931. *Economic Control of Quality of Manufactured Products*. D. Van Nostrand., New York.
- Shiftan, Y., Outwater, M.L., Zhou, Y.**, 2008. Transit market research using structural equation modeling and attitudinal market segmentation, *Transport Policy*, **15**, 186–195.
- Small, K.A.**, 1982. The scheduling of consumer activities: work trips. *American Economic Review* **72**, 172–181.
- Small, K.A.**, 1987. A discrete choice model for ordered alternatives. *Econometrica*, **55**, 409–424.
- Small, K.A. ve Rosen, H.**, 1981. Applied welfare economics of discrete choice models. *Econometrica*, **49**, 105–130.
- Smith, P. ve Taylor, C.**, 1994. A method for the rationalisation of a suburban railway network. *Transportation Research A*, **28**, 93–107.

- Soberman, R.M. ve Hazard, H.A.** 1980. *Canadian Transit Handbook*, University of Toronto and York University, Toronto, Ontario.
- Somerville, S.E. ve Montgomery, D.C.,** 1996. Process Capability Indices and Nonnormal Distributions. *Quality Engineering*, **9** (2), 305–316.
- Strathman, J.G., Kimpel, T.J. ve Callas, S.,** 2003. Report TNW2003-01: Headway Deviation Effects on Bus Passenger Loads: Analysis of Tri-Met's Archived AVL-APC Data, *Transportation Northwest Regional Center Final Technical Report*, Department of Civil Engineering, University of Washington Seattle, WA.
- Sullivan, L.P.,** 1984. Reducing variability: A new approach to quality. *Quality Progress*, **17** (7), 15–21.
- Swait, J. ve Ben-Akiva, M.,** 1987. Incorporating random constraints in discrete models of choice set generation. *Transportation Research Part B: Methodological* **21** (2), 91–102.
- Tang, L.C. ve Than, S.,** 1999. Computing Process Capability Indices For Non-Normal Data: A Review And Comparative Study. *Quality and Reliability Engineering International*, **15**, 339–353.
- Thurstone, L.,** 1927. A law of comparative judgement. *Psychological Review*, **34**, 273–286.
- Train, K.E.,** 2009. *Discrete Choice Methods with Simulation*, Cambridge University Press, NY.
- Transport for London (TfL),** 2001. London Area Travel Survey (LATS), London, UK.
- Transportation Research Board,** 1965. Special Report 87: *Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Tsai, C. C., Chen, C. C.,** 2006. Making decision to evaluate process capability index C_p with fuzzy numbers. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **30**, 334–339.
- Tversky, A.,** 1972. Elimination by aspects: A theory of choice. *Psychological Review*, **79**, 281–299.
- Tyrinopoulos, Y. ve Antoniou, C.,** 2008. Public transit user satisfaction: Variability and policy implications. *Transport Policy*, **15**, 260–272.
- van Lint, J.W.C., van Zuylen, H.J., Tu, H.,** 2008. Travel time unreliability on freeways: Why measures based on variance tell only half the story. *Transportation Research Part A*, **42**, 258–277.
- van Loon, R., Rietveld, P. ve Brons, M.,** 2011. Travel-time reliability impacts on railway passenger demand: a revealed preference analysis. *Journal of Transport Geography*, (basimda).
- Vega, A. ve Feighan-Reynolds, A.,** 2009. A methodological framework for the study of residential location and travel-to-work mode choice under central and suburban employment destination patterns. *Transportation Research Part A*, **43**, 401–419.

- Vincent, M.**, 2008. Report 339: Measurement valuation of public transport reliability. *Land Transport New Zealand Research*.
- Vovsha, P.**, 1997. The cross-nested logit model: Application to mode choice in the Tel Aviv metropolitan area. Conference Presentation, 76th *Transportation Research Board Meetings*, Washington, DC.
- Vroman, J.C.M., Dekker R., Kroon, L.G.**, 2006. Reliability and heterogeneity of railway services, *European Journal of Operational Research*, **172**, 647–665.
- Vuchic, V.R.**, 2005. *Urban Transit: Operations, Planning and Economics*, John Wiley & Sons, NY.
- Vuchic, V.R.**, 2007. *Urban Transit Systems and Technology*, John Wiley & Sons, NY.
- Walker, J.L.**, 2001. Extended Discrete Choice Models: Integrated Framework, Flexible Error Structures, and Latent Variables, *PhD Thesis*, MIT, Cambridge, MA.
- Wardman, M.**, 2001. A review of British evidence on time and service quality valuations. *Transportation Research E*, **37**, 107–128.
- Weinstein, A. ve Rhonda A.**, 1998. Securing Objective Data on the Quality of the Passenger Environment for Transit Riders—Redesign of the Passenger Environment Measurement System for the Bay Area Rapid Transit District, *Transportation Research Record*, **1618**, 213-219.
- Wen, C.H. ve Koppelman, F.**, 2001. The generalized nested logit model. *Transportation Research B*, **35**, 627–641.
- Williams, H.**, 1977. On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefits, *Environment and Planning A*, **9**, 285–344.
- Winters, P.L., Cleland, F., Mierzejewski, E. ve Tucker, L.**, 2001. FDOT_BC353_15: Assessing Level of Service Equally Across Modes, *Florida Department of Transportation*, Center for Urban Transportation Research, University of South Florida, Tampa Bay, FL.
- Winters, P. ve Tucker, L.**, 2004. Creative Solutions For Assessing Level Of Service Equally Across Modes. *Transportation Research Record*, **1883**, 185-191.
- Wright, P.A.**, 1995. A process capability index sensitive to skewness. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, **52**, 195–203.
- Wu, C.W, Pearn, W.L., Kotz S.**, 2009. An overview of theory and practice on process capability indices for quality assurance. *Int. J. Production Economics*, **117**, 338–359.
- Xin, Y., Fu, L. ve Saccomanno, F.**, 2005. Assessing Transit Level of Service Along Travel Corridors: Case Study Using the "Transit Capacity and Quality of Service Manual. *Transportation Research Record*, **1927**, 259-267.

- Xu, Q., Jiao, R.J., Yang, X., Helander, M., Khalid, H.M. ve Opprud, A., 2009.** An analytical Kano model for customer need analysis. *Design Studies*, **30** (1), 87-110.
- Yalçinkaya, Ö. ve Bayhan, M. G., 2009.** Modelling and optimization of average travel time for a metro line by simulation and response surface methodology. *European Journal of Operational Research*, **196**, 225–233.
- Yang, J., Zhang, M., Hea, B. ve Yang, C., 2009.** Bi-level programming model and hybrid genetic algorithm for flow interception problem with customer choice. *Computers & Mathematics with Applications*, **57** (11-12), 1985-1994.
- Yourstone, S. ve Zimmer, W., 1992.** Non-normality and the Design of Control Charts for Averages. *Decision Sciences*, **23**, 1099- 1113.
- Zadeh, L., 1965.** Fuzzy sets, *Information Control*, **8**, 338-353.
- Zeithaml, V.A., Parasuraman, A. ve Malhotra, A., 2002.** Service quality delivery through web sites: A critical review of extant knowledge. *Journal of the Academy of Marketing Science*, **30** (4), 362-375.
- Zhou, X., Mahmassani, H.S. ve Zhang, K., 2008.** Dynamic micro-assignment modeling approach for integrated multimodal urban corridor management. *Transportation Research Part C*, **16**, 167–186.

EKLER

EK A : Faydanın lineer olması koşulunda olabilirlik fonksiyonunun türevi ifadesinin dönüşümü.

EK B : M2 metro hattı ile ilgili haritalar.

EK C : M2 metro hattında periyodik olarak yapılan yolcu anket formu.

EK D : ArcGIS yazılımında yapılan işlemler ile ilgili ekran görüntüleri.

EK E : Biogeme paket programı ile ilgili ekran görüntüleri.

EK F : İlçeler düzeyinde farklı erişim durağı ve erişim ulaşım türü seçenekleri için hesaplanan seçim olasılıkları.

EK A : Faydanın lineer olması koşulunda olabilirlik fonksiyonunun türevi ifadesinin dönüşümü

$$\begin{aligned}
 LL(\underline{\beta}) &= \sum_n \sum_i y_{ni} \ln \text{Pr}_{ni} = \sum_n \sum_i y_{ni} \ln \left(\frac{e^{\underline{\beta} \underline{x}_{ni}}}{\sum_j e^{\underline{\beta} \underline{x}_{nj}}} \right) \\
 &= \sum_n \sum_i y_{ni} (\underline{\beta} \underline{x}_{ni}) - \sum_n \sum_i y_{ni} \ln \left(\sum_j e^{\underline{\beta} \underline{x}_{nj}} \right)
 \end{aligned}$$

LL fonksiyonunun türevi şu hali alır:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial LL(\underline{\beta})}{\partial \underline{\beta}_z} &= \frac{\sum_n \sum_i y_{ni} (\underline{\beta} \underline{x}_{ni})}{\partial \underline{\beta}_z} - \frac{\sum_n \sum_i y_{ni} \ln \left(\sum_j e^{\underline{\beta} \underline{x}_{nj}} \right)}{\partial \underline{\beta}_z} \\
 &= \sum_n \sum_i y_{ni} \underline{x}_{ni} - \sum_n \sum_i y_{ni} \sum_j \text{Pr}_{nj} \underline{x}_{nj} \\
 &= \sum_n \sum_i y_{ni} \underline{x}_{ni} - \sum_n \left(\sum_j \text{Pr}_{nj} \underline{x}_{nj} \right) \sum_i y_{ni} \\
 &= \sum_n \sum_i y_{ni} \underline{x}_{ni} - \sum_n \left(\sum_j \text{Pr}_{nj} \underline{x}_{nj} \right) \\
 &= \sum_n \sum_i (y_{ni} - \text{Pr}_{ni}) \underline{x}_{ni}
 \end{aligned}$$

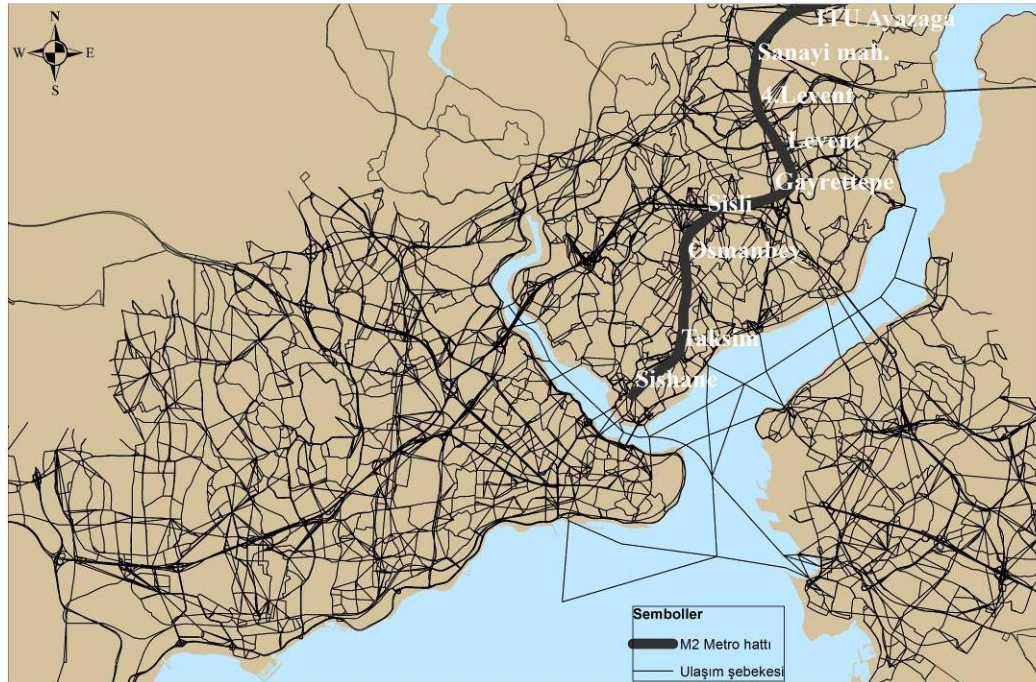
EK B : M2 metro hattı ile ilgili haritalar

M2 Metro Hattı ve İstasyonları



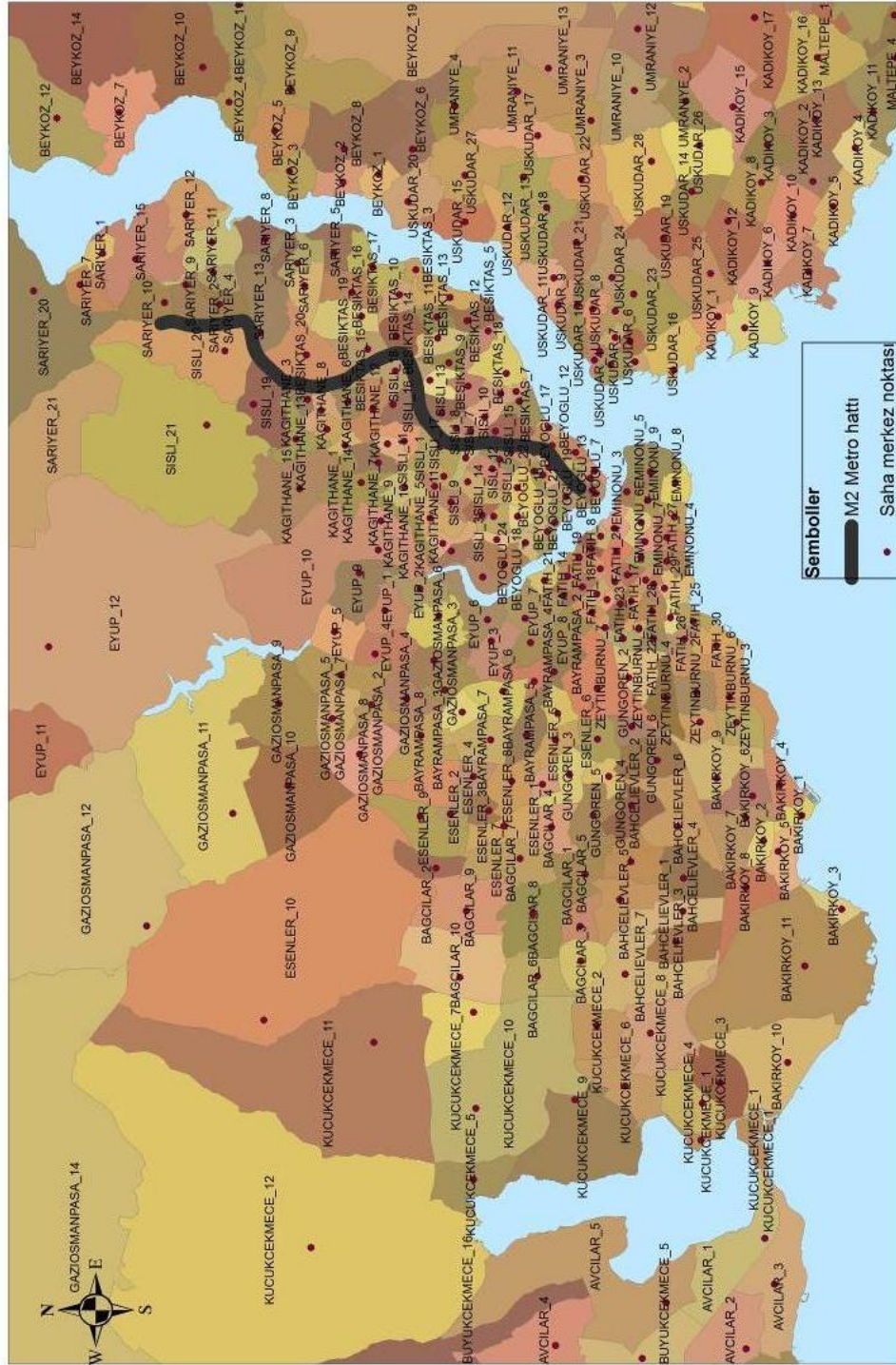
Şekil B.1 : Harita üzerinde M2 metro hattı ve istasyonlarının gösterimi.

M2 Metro Hattı ve Ulaşım Şebekesi



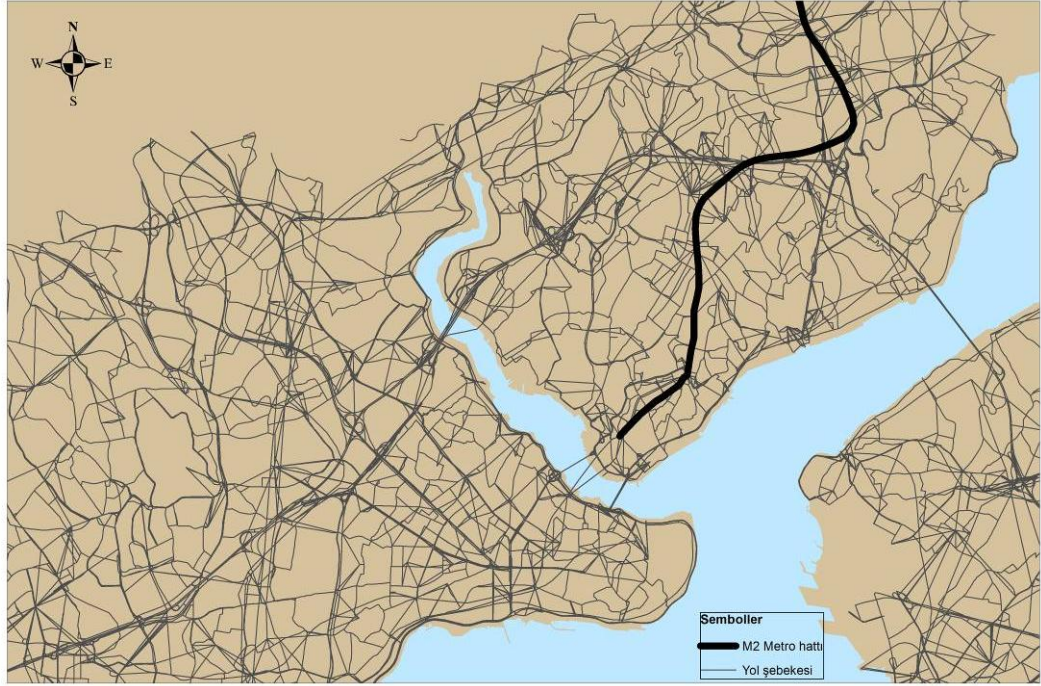
Şekil B.2 : M2 metro hattı ile bağlantılı tüm ulaşım türleri şebekesi.

M2 Metro Hattı ve Sahalar



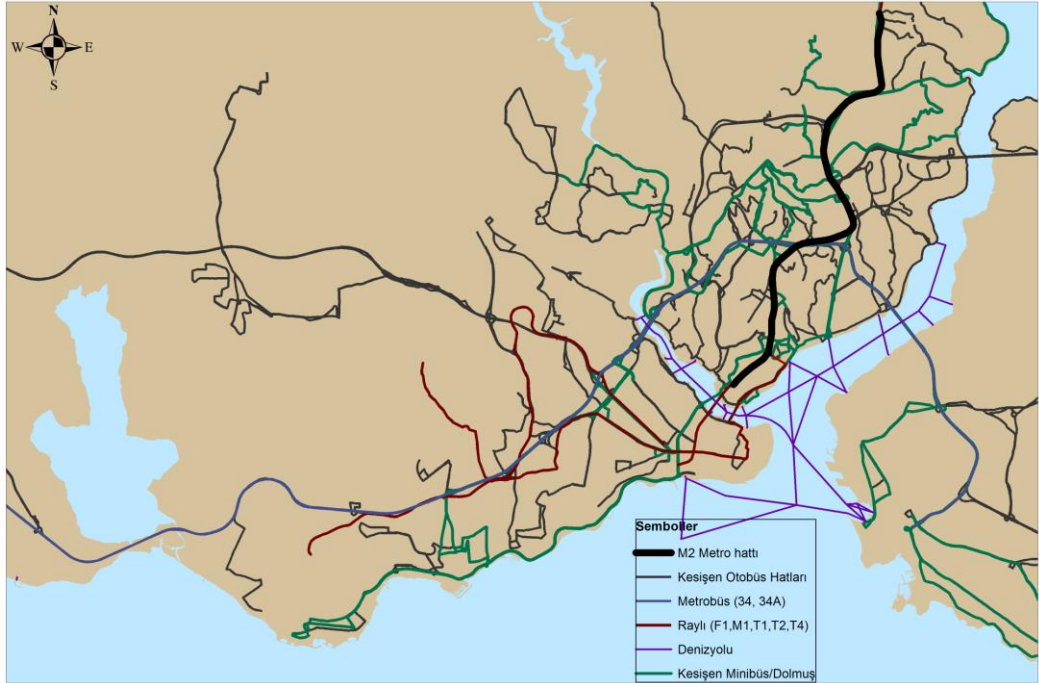
Şekil B.3 : Harita üzerinde İstanbul metropoliten alanının planlama birimi olan sahaların ve saha alanlarının merkez noktalarının gösterimi

M2 Metro Hattı ile Yol Şebekesi



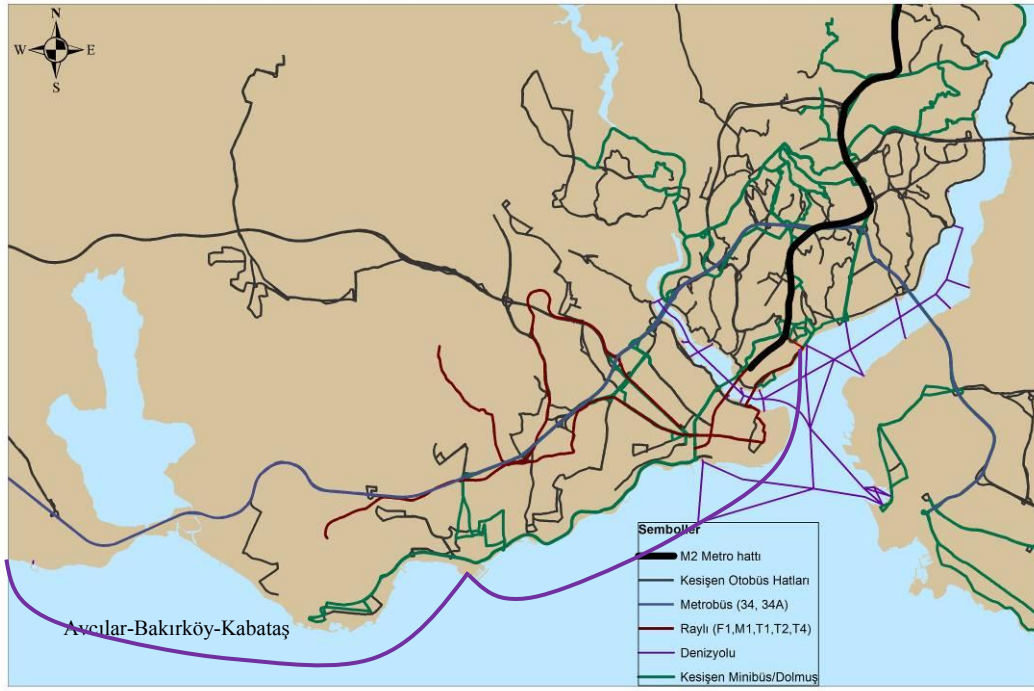
Şekil B.4 : Harita üzerinde M2 metro hattı ve yol (cadde) şebekesinin gösterimi.

M2 Metro Hattı ile Toplu Ulaşım Şebekesi



Şekil B.5 : Harita üzerinde M2 metro hattı ve toplu ulaşım şebekesinin gösterimi.

M2 Metro Hattı ile Toplu Ulaşım Şebekesi



Şekil B.6 : Harita üzerinde Avcılar-Bakırköy-Kabataş hattı senaryosu gösterimi.

EK C : M2 metro hattında periyodik olarak yapılan yolcu anket formu

M2 ŞİŞHANE – A.O.SANAYİİ METRO HATTI ANKET FORMU																																																																																																																																																						
BAŞLANGIÇ SAATİ :/...../.....		BİTİŞ SAATİ :/...../.....		ANKET NO																																																																																																																																																		
İyi günler. İsmim Şirketinde çalışıyorum. Şirketim şu anda Metro hizmetlerinde "Yolcu Memnuniyeti Araştırması" için bir anket çalışması gerçekleştirmektedir. Bu konu ile ilgili olarak sizin görüşleriniz de bizim için çok önemli, görüşmeyi kabul ederseniz görüşmemiz yaklaşık 15 dakika sürecektir. Araştırmamıza katılarak yardımcı olmak ister misiniz ? Yardımlarınız için teşekkür ederim. Anketi kaçınıcı kişinin kabul ettiği: ANKET YAPMAYI KABUL ETMEYEN KİŞİLERE ÇİZGİ (-) ÇEKİP, KABUL EDEN KİŞİNİN KAÇINCI KİŞİ OLDUĞUNU YUVARLAK İÇİNE ALARAK BELİRTİNİZ!																																																																																																																																																						
KİŞİ SIRASI																																																																																																																																																						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																													
İSTASYON VE BİLET BÖLÜMÜ																																																																																																																																																						
K.1. Anket yapılan istasyon adı: (SORMADAN KODLAYINIZ) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Şişhane</td><td>1</td></tr> <tr><td>Taksim</td><td>2</td></tr> <tr><td>Osmanbey</td><td>3</td></tr> <tr><td>Şişli</td><td>4</td></tr> <tr><td>Gayrettepe</td><td>5</td></tr> <tr><td>Levent</td><td>6</td></tr> <tr><td>4. Levent</td><td>7</td></tr> <tr><td>Sanayi mah.</td><td>8</td></tr> <tr><td>İ.T.Ü Ayazağa</td><td>9</td></tr> <tr><td>A.O.Sanayi</td><td>10</td></tr> </table> K.2. Anketin yapıldığı saat dilimi: (SORMADAN KODLAYINIZ) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Sabah Yoğun (08:00-10:00)</td><td>1</td></tr> <tr><td>Sabah Normal (10:01-12:00)</td><td>2</td></tr> <tr><td>Öğlen (12:01-17:00)</td><td>3</td></tr> <tr><td>Akşam Yoğun (17:01-20:30)</td><td>4</td></tr> <tr><td>Akşam Normal (20:31-00:30)</td><td>5</td></tr> </table> K.3. Şu andaki metro yolculuğunuz için kullandığınız bilet türünün okuyacaklarımdan hangisi olduğunu belirtir misiniz? TEK CEVAP. ŞIKLARI OKUYUNUZ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>KOTA KONTROL</th> <th>BİLET TURLERİ</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> </tr> <tr> <td rowspan="6" style="text-align: center;">1.İNDİRİMLİ</td> <td>Günlük sınırsız</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Haftalık sınırsız</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Onbeş günlük sınırsız</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aylık sınırsız</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>İndirimli (sınırsız olmayan) akbil (öğrenci öğretmen vb)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ücretsiz kart (Basın mensubu, özürü, polis, Büyükşehir Belediyesi çalışanı vb)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.TAM</td> <td>Tam (sınırsız olmayan) akbil</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3.JETON</td> <td>Jeton</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> K.4. Ne kadar süredir sınırsız akbil kullanıyorsunuz? (ANKETÖR DİKKAT: SİNİRSİZ KULLANDIĞINI BELİRTENLERE SORUNUZ) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>GÜN</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>AY</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>YIL</td> <td>.....</td> </tr> </table> K.5. Hangi istasyonda ineceksiniz? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Şişhane</td><td>1</td></tr> <tr><td>Taksim</td><td>2</td></tr> <tr><td>Osmanbey</td><td>3</td></tr> <tr><td>Şişli</td><td>4</td></tr> <tr><td>Gayrettepe</td><td>5</td></tr> <tr><td>Levent</td><td>6</td></tr> <tr><td>4. Levent</td><td>7</td></tr> <tr><td>Sanayi mah.</td><td>8</td></tr> <tr><td>İ.T.Ü Ayazağa</td><td>9</td></tr> <tr><td>A.O.Sanayi</td><td>10</td></tr> </table>										Şişhane	1	Taksim	2	Osmanbey	3	Şişli	4	Gayrettepe	5	Levent	6	4. Levent	7	Sanayi mah.	8	İ.T.Ü Ayazağa	9	A.O.Sanayi	10	Sabah Yoğun (08:00-10:00)	1	Sabah Normal (10:01-12:00)	2	Öğlen (12:01-17:00)	3	Akşam Yoğun (17:01-20:30)	4	Akşam Normal (20:31-00:30)	5	KOTA KONTROL	BİLET TURLERİ	1	2	3	4	5	6	7	8	1.İNDİRİMLİ	Günlük sınırsız									Haftalık sınırsız									Onbeş günlük sınırsız									Aylık sınırsız									İndirimli (sınırsız olmayan) akbil (öğrenci öğretmen vb)									Ücretsiz kart (Basın mensubu, özürü, polis, Büyükşehir Belediyesi çalışanı vb)									2.TAM	Tam (sınırsız olmayan) akbil									3.JETON	Jeton									GÜN		AY		YIL		Şişhane	1	Taksim	2	Osmanbey	3	Şişli	4	Gayrettepe	5	Levent	6	4. Levent	7	Sanayi mah.	8	İ.T.Ü Ayazağa	9	A.O.Sanayi	10
Şişhane	1																																																																																																																																																					
Taksim	2																																																																																																																																																					
Osmanbey	3																																																																																																																																																					
Şişli	4																																																																																																																																																					
Gayrettepe	5																																																																																																																																																					
Levent	6																																																																																																																																																					
4. Levent	7																																																																																																																																																					
Sanayi mah.	8																																																																																																																																																					
İ.T.Ü Ayazağa	9																																																																																																																																																					
A.O.Sanayi	10																																																																																																																																																					
Sabah Yoğun (08:00-10:00)	1																																																																																																																																																					
Sabah Normal (10:01-12:00)	2																																																																																																																																																					
Öğlen (12:01-17:00)	3																																																																																																																																																					
Akşam Yoğun (17:01-20:30)	4																																																																																																																																																					
Akşam Normal (20:31-00:30)	5																																																																																																																																																					
KOTA KONTROL	BİLET TURLERİ	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																																																																																													
1.İNDİRİMLİ	Günlük sınırsız																																																																																																																																																					
	Haftalık sınırsız																																																																																																																																																					
	Onbeş günlük sınırsız																																																																																																																																																					
	Aylık sınırsız																																																																																																																																																					
	İndirimli (sınırsız olmayan) akbil (öğrenci öğretmen vb)																																																																																																																																																					
	Ücretsiz kart (Basın mensubu, özürü, polis, Büyükşehir Belediyesi çalışanı vb)																																																																																																																																																					
2.TAM	Tam (sınırsız olmayan) akbil																																																																																																																																																					
3.JETON	Jeton																																																																																																																																																					
GÜN																																																																																																																																																						
AY																																																																																																																																																						
YIL																																																																																																																																																						
Şişhane	1																																																																																																																																																					
Taksim	2																																																																																																																																																					
Osmanbey	3																																																																																																																																																					
Şişli	4																																																																																																																																																					
Gayrettepe	5																																																																																																																																																					
Levent	6																																																																																																																																																					
4. Levent	7																																																																																																																																																					
Sanayi mah.	8																																																																																																																																																					
İ.T.Ü Ayazağa	9																																																																																																																																																					
A.O.Sanayi	10																																																																																																																																																					
METRO KULLANIM BÖLÜMÜ																																																																																																																																																						
S.1 Metroyu ne sıklıkla kullanıyorsunuz? TEK CEVAP.ANKETÖR DİKKAT: GÜNDE , HAFTADA AYDA VB. ŞEKLİNDE YALNIZCA BİR YANIT ALINIZ. "SEYREK, ARADA BİR" GİBİ CEVAPLAR VERİLİRSE İRDELEYİNİZ. <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>GÜNDE</td> <td>.....kez</td> </tr> <tr> <td>HAFTADA</td> <td>.....kez</td> </tr> <tr> <td>AYDA</td> <td>.....kez</td> </tr> <tr> <td>DİĞER</td> <td>.....</td> </tr> </table>										GÜNDE	kez	HAFTADA	kez	AYDA	kez	DİĞER																																																																																																																																						
GÜNDE	kez																																																																																																																																																					
HAFTADA	kez																																																																																																																																																					
AYDA	kez																																																																																																																																																					
DİĞER																																																																																																																																																						

S.2 Metro'ya farklı bir ulaşım aracı ile gelmiş olabilirsiniz. Veya Metro, kullanacağınız ilk ulaşım aracı olabilir. Bu hususu dikkate alarak yolculuğunuzun başlangıç noktasının hangi ilçe olduğunu söyler misiniz?

TEK CEVAP. ANKETÖR DİKKAT: METROYA BİNİLEN İSTASYON VEYA CİVARININ SÖYLENMEŞİ DURUMUNDA SÖYLENEN NOKTANIN YOLCULUĞUN "BAŞLANGIÇ" NOKTASI OLDUĞUNDAN EMİN OLUNUZ

S.3 Pekî, şu anda yaptığınız yolculuğun en son varış noktası neresidir; ilçesini söyler misiniz?

TEK CEVAP. ANKETÖR DİKKAT: METRODAN İNİLECEK İSTASYON VEYA CİVARININ SÖYLENMEŞİ DURUMUNDA SÖYLENEN NOKTANIN YOLCULUĞUN "EN SON" VARİŞ NOKTASI OLDUĞUNDAN EMİN OLUNUZ

İlçe / Belde	S.2	S.3
ADALAR	1	1
ARNAVUTKÖY	2	2
ATAŞEHİR	3	3
AVCILAR	4	4
BAĞCILAR	5	5
BAHÇELİEVLER	6	6
BAKIRKÖY	7	7
BAŞAKŞEHİR	8	8
BAYRAMPAŞA	9	9
BEŞİKTAŞ	10	10
BEYKOZ	11	11
BEYLİKDÜZÜ	12	12
BEYOĞLU	13	13
BÜYÜKÇEKMECE	14	14
ÇATALCA	15	15
ÇEKMEKÖY	16	16
ESENLER	17	17
ESENLYURT	18	18
EYÜP	19	19
FATİH	20	20
GAZİOSMANPAŞA	21	21
GÜNGÖREN	22	22
KADIKÖY	23	23
KAĞITHANE	24	24
KARTAL	25	25
KÜÇÜKÇEKMECE	26	26
MALTEPE	27	27
PENDİK	28	28
SANCAKTEPE	29	29
SARIYER	30	30
SİLİVRİ	31	31
SULTANBEYLİ	32	32
SULTANGAZİ	33	33
ŞİLE	34	34
ŞİŞLİ	35	35
TUZLA	36	36
ÜMRANİYE	37	37
ÜSKÜDAR	38	38
ZEYTİNBURNU	39	39
DİĞER		

S.4 Bu yolculuğunuzda metro istasyonuna hangi yolla/yollarla geldiniz?

ÇOKLU CEVAP

Yürüyerek	1
Fünikülerle	2
Tramvayla	3
Otobüsle	4
Taksiyle	5
Servis otobüsü ile	6
Özel araçla	7
Dolmuşla/Minibüsle	8
Deniz yoluyla	9
Diğer(Belirtiniz)	10

S.5 Bu yolculuğunuzda metro istasyonuna **TOPLAM** kaç dakika/saatte geldiniz?

ANKETÖR DİKKAT: S.4'TE BELİRTİLEN YOLU DİKKATE ALARAK CEVAP ALINIZ

KAÇ SAAT	KAÇ DAKİKA

S.6 Bu yolculuğunuzun, başlangıç noktasından gitmek istediğiniz yere gidene kadar **TOPLAM** kaç dakika/saat süreceğini düşünüyorsunuz?

ANKETÖR DİKKAT: TÜM YOLCULUK SÜRESİNİ DİKKATE ALARAK CEVAP ALINIZ

KAÇ SAAT	KAÇ DAKİKA

S.7 Metroyu en sık kullandığınız günler hangileridir?

ŞIKLARI OKUYUNUZ. ANKETÖR DİKKAT: EŞİT SIKLIKTA KULLANILIYORSA ÇOK CEVAP ALABİLİRSİNİZ

HAFTA İÇİ	1
CUMARTESİ	2
PAZAR	3

S.8 Metro yolculuğunuzu en çok hangi amaçla yapıyorsunuz?

TEK CEVAP. ŞIKLARI OKUYUNUZ

Evden işe-işten eve	1
Evden okula-okuldan eve	2
Alışveriş	3
İş amaçlı yolculuk	4
Eğlence veya sosyal faaliyet için	5
Hastane, doktor veya sağlık hizmetlerine gidiş	6
Akraba veya arkadaş ziyareti	7
Diğer(Belirtiniz)	

MEMNUNİYET BÖLÜMÜ

S.9 Metro ile yaptığınız yolculuklarda aşağıda sayacağım konular ile ilgili memnuniyet derecenizi 6 Kesinlikle memnunuz; 1 Kesinlikle memnun değilim olmak üzere elinizdeki kart yardımı ile değerlendirebilir misiniz?**KART 1’i GÖSTERİNİZ. İFADELERİ ROTASYONLU SORUNUZ**

6 - Kesinlikle Memnunuz	3 - Pek Memnun Değilim
5 - Memnunuz	2 - Memnun Değilim
4 - Biraz Memnunuz	1 - Kesinlikle memnun değilim

R		S9	S10
1	Metro aracını bekleme süresinden		
2	İstasyonlara erişimden		
3	İstasyonlardaki güvenlik seviyesinden		
4	Araçlardaki güvenlik seviyesinden		
5	Güvenlik görevlilerinin size karşı tutum ve davranışlarından		
6	Yolculuk süresinden		
7	Araçlardaki kalabalık seviyesinden (doluluk oranı)		
8	İstasyonların temizliğinden		
9	Araçların sefer tarifelerine uyumundan		
10	İstasyonlarda metro hizmetleriyle ilgili sunulan bilgilendirme hizmetleri(Yönlendirme tabelaları,Sefer tarifeleri, Güzergah haritaları vb.)		
11	Jeton satış hizmetinden		
12	Araçların temizliğinden		
13	Araçlardaki gürültü ve titreşim seviyesinden		
14	İstasyonların aydınlatmasından		
15	Yolculuk ücretinden		
16	Araçların içindeki havalandırma sisteminden (sıcaklık, nem durumu)		
17	Yürüyen merdivenler, yürüyen bant ve asansörlerin çalışma durumundan		
18	Akbil makinelerinin/Jetonmatiklerin çalışma durumundan		
19	Turnikelerin çalışma durumundan		
20	Araç içi bilgilendirme hizmetlerinden(anonslar,uyanlar, güzergah haritası)		
21	Seferlerde meydana gelen aksama durumlarındaki istasyonlarda yapılan bilgilendirmeden		
22	Seferde meydana gelen aksama durumlarındaki trende yapılan bilgilendirmelerden		
23	Akbil kullanarak yaptığınız aktarma ücretlerinden /tarifelerinden		
24	İstanbul Ulaşım AŞ İnternet sitesini " www.istanbul-ulasim.com.tr " VEYA " www.istanbululasim.com " daha önce hiç kullandınız mı?		
1- HAYIR	26'YA GEÇİNİZ	2- EVET	DEVAM EDİNİZ
25	İstanbul Ulaşım İnternet sitesinden sağlanan bilgilendirme hizmetlerinden memnuniyet dereceniz		
26	İstanbul Ulaşım AŞ Yolcu Hizmetleri Hattını-444 00 88 daha önce hiç aradınız mı?		
1- HAYIR	S10'A GEÇİNİZ	2- EVET	DEVAM EDİNİZ
27	İstanbul Ulaşım AŞ Yolcu Hizmetleri Hattından -444 00 88 sağlanan bilgilendirme hizmetlerinden memnuniyet dereceniz		

S.10 Metro yolculuklarınız için yukarıda saymış olduğum kriterlerden sizin için önemli olan 5 tanesini seçerek, en önemlisi ilk sırada olmak üzere 1'den 5'e kadar öncelik sırasına göre sıralar mısınız?

S.11 A Metro yolculuğunuz sırasında sizi rahatsız eden durumlar var mıdır?

HAYIR	1	S.12'E GEÇİNİZ
EVET	2	DEVAM EDİNİZ

S.11 B Sizi rahatsız eden durumlar nelerdir?

OKUMAYINIZ ÇOK CEVAP	
Diğer yolcuların tutum ve davranışları	1
Pahalı olması	2
İstasyonlara erişim zorluğu	3
Sefer tarifelerini bilmeme	4
Merdivenlerden inme ve çıkmanın zorluğu	5
Yeterince yürüyen merdiven olmaması	6
Hırsızlık, kapkaç vb. olaylara karşı güvenlik yetersizliği	7
İstasyonların kirliliği	8
Sarsıntının fazla olması	9
Araçların kalabalık olması	10
Yolculuğun uzun sürmesi	11
Araç bekleme süresinin fazla olması	12
Araçların konforsuz olması	13
Çalışanların tutum ve davranışları	14
Havalandırmanın yetersiz olması	15
Gürültünün fazla olması	16
Diğer	

S.11 C Rahatsız olduğunuz durumları biraz daha açıkla mısınız?

S.12 Raylı sistemleri tercih etme nedeninizi açıkla mısınız?

S.13 İstasyonlarınızda hizmetinize sunulan jetonmatiklerle ilgili görüşlerinizi açıkla mısınız?

S.14 Sizin veya ailenizin özel aracı var mı?

HAYIR	1	DEMOGRAFİYE GEÇİNİZ
EVET	2	DEVAM EDİNİZ

S.15 Bu yolculuğu özel aracınızla yapma imkanınız var mıydı?

Hayır	1
Evet	2

DEMOGRAFİK SORULAR

D.1. Yaşınız?

Yaş	
-----	--

D.2. Cinsiyetiniz?

SORMADAN KODLAYINIZ

Erkek	1
Kadın	2

D.3. Eğitim durumunuz?

Okuryazar değil	1
Okuryazar	2
İlkokul mezunu	3
İlköğretim/ortaokul mezunu	4
Lise öğrencisi	5
Lise mezunu	6
Ön lisans (2 yıllık yüksek okullar) Öğrenci veya mezunu	7
Üniversite öğrencisi	8
Üniversite mezunu	9
Yüksek öğrenim (Yüksek lisans, doktora ve üzeri)	10

D.4.A Şu anda çalışıyor musunuz?

HAYIR	1	DEVAM EDİNİZ
EVET	2	D.5'E GEÇİNİZ

D.4.B Çalışmıyorsa neden?

Emekli	1
Ev hanımı	2
Öğrenci	3
Yaşlı	4
Hasta	5
Engelli	6
İşsiz	7
Diğer(Belirtiniz)	

D.5.A Ne iş yapıyorsunuz?

ANKETÖR DİKKAT: KİŞİNİN NE İŞ YAPTIĞINI DETAYLI BİR ŞEKİLDE BELİRTİNİZ

Şu anda yaptığı iş:	
---------------------	--

D.5.B İşyerindeki konumu:

Çalışan(Üretici)	1
İşyeri sahibi(İşveren)	2
Kendi hesabına çalışan (Pazarıcı,Seyyar vb..)	3
Ücretsiz aile işçisi	4
Diğer(Belirtiniz)	5

D.6. Medeni durumunuz?

Evli	1
Bekar	2
Dul (Boşanmış + Eşi Ölmüş)	3

D.7. Ailenizin (tüm ev halkının kazancı, gayrimenkul gelirleri vb., Dahil) aylık toplam geliri nedir? KART 4'Ü GÖSTERİN

500 TL ve altı	1
501 - 1000 TL	2
1001 - 1500 TL	3
1501 - 2000 TL	4
2001 - 2500 TL	5
2501 - 3000 TL	6
3001 - 3500 TL	7
3501 - 4000 TL	8
4001 - 4500 TL	9
4501 - 5000 TL	10
5001 TL üzeri	11

D.8 Ailenizin yaklaşık toplam ulaşım gideri nedir?

0 - 50 TL	1
51 - 100 TL	2
101 - 150 TL	3
151 - 200 TL	4
201 - 250 TL	5
251 - 300 TL	6
351 - 400 TL	7
401 ve üzeri	8

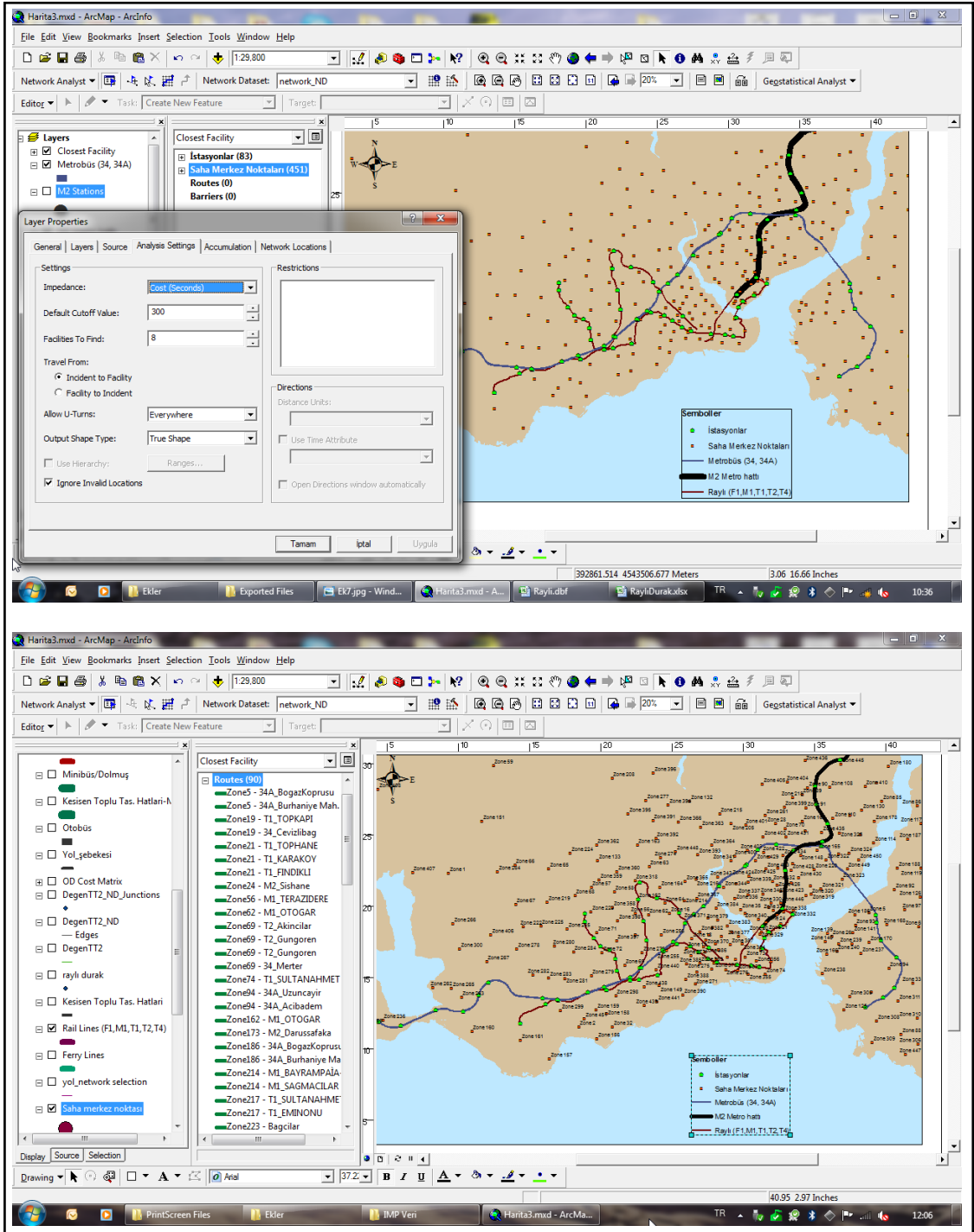
(ANKETÖR DİKKAT: SORMADAN KODLAYINIZ)

D.9. Deneğin herhangi bir engeli (özrü) var mı?

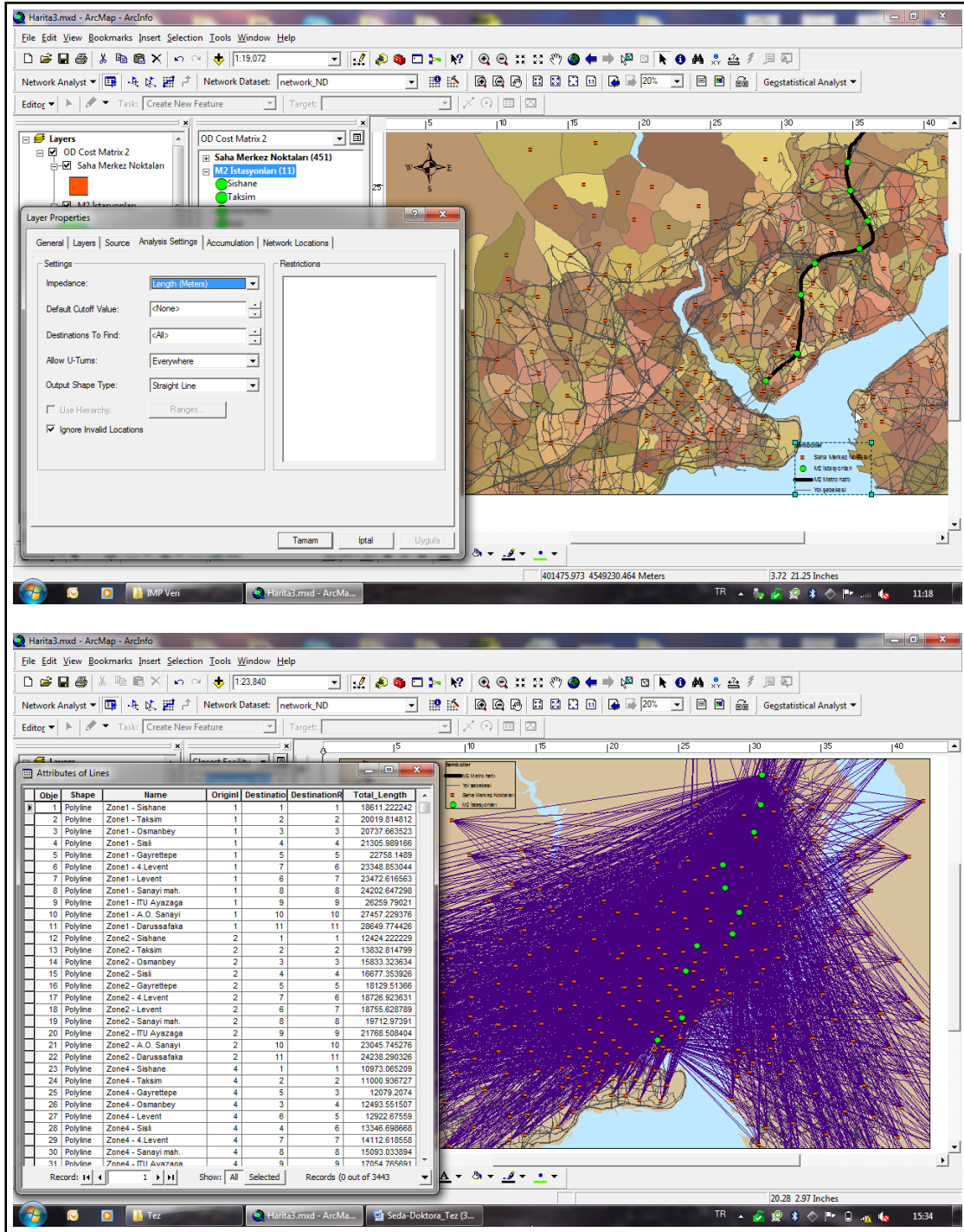
Hayır	1
Evet	2

D.10. Anket İstanbul'da Kent içi Raylı Sistemler İşletmecisi İstanbul Ulaşım A.Ş tarafından yapılmıştır. Metro hizmetleriyle ilgili İstanbul Ulaşım A.Ş. yetkililerine iletmek istediğiniz görüş ve önerileriniz nelerdir?

EK D : ArcGIS yazılımında yapılan işlemler ile ilgili ekran görüntüleri.



Şekil D.1 : ArcGIS yazılımıyla saha merkezleriyle yürüme mesafesindeki istasyonların belirlenmesi.



Şekil D.2 : ArcGIS yazılımıyla saha merkezleri (veya yürüme mesafesindeki istasyonlar) ve M2 metro hattı istasyonları arasındaki en kısa rotaların bulunması.

Biogeme paket programı ile yuvalı lojit model formülasyonu, girdi dosyası ve çıktı dosyası

```

mymodel.mod - Not Definer
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
[choice]
Choice
[beta]
// Name value Lowerbound upperbound status (0=variable, 1=fixed)
ASC1 0 -10000 10000 1
ASC2 0 -10000 10000 0
ASC3 0 -10000 10000 0
ASC4 0 -10000 10000 0
ASC5 0 -10000 10000 0
ASC6 0 -10000 10000 0
ASC7 0 -10000 10000 0
ASC8 0 -10000 10000 0
ASC9 0 -10000 10000 0
ASC10 0 -10000 10000 0
ASC11 0 -10000 10000 0
BETA1 0 -10000 10000 0
BETA2 0 -10000 10000 0
BETA3 0 -10000 10000 0
BETA4 0 -10000 10000 0

[utilities]
// id Name Avail linear-in-parameter expression
1 AT1 av1 ASC1 * one + BETA1 * x11 + BETA2 * x12 + BETA3 * x13 + BETA4 * x14
2 AT2 av2 ASC2 * one + BETA1 * x21 + BETA2 * x22 + BETA3 * x23 + BETA4 * x24
3 AT3 av3 ASC3 * one + BETA1 * x31 + BETA2 * x32 + BETA3 * x33 + BETA4 * x34
4 AT4 av4 ASC4 * one + BETA1 * x41 + BETA2 * x42 + BETA3 * x43 + BETA4 * x44
5 AT5 av5 ASC5 * one + BETA1 * x51 + BETA2 * x52 + BETA3 * x53 + BETA4 * x54
6 AT6 av6 ASC6 * one + BETA1 * x61 + BETA2 * x62 + BETA3 * x63 + BETA4 * x64
7 AT7 av7 ASC7 * one + BETA1 * x61 + BETA2 * x72 + BETA3 * x73 + BETA4 * x74
8 AT8 av8 ASC8 * one + BETA1 * x81 + BETA2 * x82 + BETA3 * x83 + BETA4 * x84
9 AT9 av9 ASC9 * one + BETA1 * x91 + BETA2 * x92 + BETA3 * x93 + BETA4 * x94
10 AT10 av10 ASC10 * one + BETA1 * x101 + BETA2 * x102 + BETA3 * x103 + BETA4 * x104
11 AT11 av11 ASC11 * one + BETA1 * x111 + BETA2 * x112 + BETA3 * x113 + BETA4 * x114

[expressions]
// define here arithmetic expressions for name that are not
// directly available from the data
one = 1

[Model]
// currently, only $MNL (multinomial logit),
// $NL (nested logit), $CNL (cross-nested logit) and
// $NGEV (Network GEV model) are valid keywords
$NL

[mu]
// in general, the value of mu must be fixed to 1. For testing purposes, you
// may change its value or let it be estimated.
Value Lowerbound upperbound Status
+1.000000e+00 +0.000000e+00 +1.000000e+00 1

```

Şekil E.1 : Biogeme paket programı ile yuvalı lojit model formülasyonu.

Choice	av1	av2	av3	av4	av5	av6	av7	av8	av9	av10	av11	x11	x21	x31	x41	x51	x61	x71	x81
1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	20	50	45	0	0	55	0
2	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	40	40	45	0	0	45	0
3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	40	20	50	45	0	0	55	0
4	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	45	20	15	10	20	5	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
6	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	40	20	50	45	0	0	55	0
7	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	15	10	5	5
8	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	15	25	5	5	0	0	45	0
9	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	15	0	45	0
10	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	40	20	50	45	0	0	55	0
11	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	45	0	0	0	30	35	40	0
12	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
13	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	90	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	45	45	40	0	0	45	0
15	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0
16	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	40	20	50	45	0	0	55	0
17	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	50	35	70	50	0	0	45	0
18	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	70	0
19	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	45	0
20	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	25	35	30	15	0	0	50	0
21	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
22	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	15	5	5	5
23	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	0
24	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	20	0	10	10
25	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
26	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	60	55	70	0
27	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
28	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
29	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
30	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
31	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	45	20	10	15	25	5
32	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
33	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
34	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	40	0
35	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
36	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
37	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	45	0
38	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
39	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
40	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
41	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	45	20	10	15	25	5
42	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
43	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
44	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
45	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
46	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
47	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	45	0
48	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
49	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
50	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
51	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
52	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	45	0
53	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
54	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
55	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
56	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
57	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
58	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
59	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
60	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
61	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
62	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
63	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
64	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
65	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
66	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
67	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
68	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
69	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
70	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
71	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
72	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
73	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
74	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
75	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
76	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
77	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
78	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
79	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
80	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
81	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
82	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
83	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
84	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
85	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
86	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
87	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
88	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
89	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
90	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
91	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
92	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
93	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
94	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
95	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0
96	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0				

Şekil E.2 : Biogeme paket programında kullanılan girdi dosyası.

```

mymodel.rep - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
// This file has automatically been generated.
// 02/25/11 17:50:18
// Michel Bierlaire, EPFL 2001-2007
BIOGEME Version 1.6 [Sun Mar 16 16:03:37 GMT 2008]
Michel Bierlaire, EPFL

Model: Nested Logit
Number of estimated parameters: 17
Number of observations: 69
Number of individuals: 69
Null log-likelihood: -95.095
Init log-likelihood: -95.212
Final log-likelihood: -35.626
Likelihood ratio test: 118.938
Rho-square: 0.625
Adjusted rho-square: 0.447
Final gradient norm: 6.285e+000
Diagnostic: Maximum number of iterations reached
Iterations: 1000
Run time: 00:05
variance-covariance: From finite difference hessian
sample file: sample.dat

utility parameters
*****
Name value std err t-test p-val
-----
ASC1 0.000 --fixed--
ASC10 2.90 1.26 2.30 0.02
ASC11 0.348 2.18 0.16 0.87 *
ASC2 0.842 0.168 5.00 0.00
ASC3 1.71 0.278 6.17 0.00
ASC4 -0.336 19.7 -0.02 0.98 *
ASC5 0.339 1.31 0.26 0.80 *
ASC6 -1.64 1.40 -1.17 0.24 *
ASC7 -1.42 0.632 -2.25 0.02
ASC8 -0.0300 8.10 -0.00 1.00 *
ASC9 -1.86 1.56 -1.19 0.23 *
BETA1 -0.504 0.0275 -1.83 0.07 *
BETA2 -1.78 0.837 -2.13 0.03
BETA3 -0.989 0.470 -2.11 0.04
BETA4 1.51 2.64 0.57 0.57 *

Model parameters
*****
Name value std err t-test(0) p-val(0) t-test(1) p-val(1)
-----
NESTA 3.40 1.80e+308 0.00 1.00 0.00 1.00 *
NESTB 1.00 1.80e+308 0.00 1.00 0.00 1.00 *
NESTC 1.00 1.80e+308 0.00 1.00 0.00 1.00 *

utility functions

```

Şekil E.3 : Yuvalı lojit model ile elde edilen çıktı dosyası.

```

mymodel.mod - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
[choice]
Choice
[beta]
// Name value LowerBound UpperBound status (0=variable, 1=fixed)
ASC1 1.0 -10 10 0
ASC2 1.0 -10 10 0
ASC3 1.0 -10 10 0
ASC4 1.0 -10 10 0
ASC5 1.0 -10 10 0
ASC6 1.0 -10 10 0
ASC7 1.0 -10 10 0
ASC8 1.0 -10 10 0
ASC9 1.0 -10 10 0
ASC10 1.0 -10 10 0
ASC11 1.0 -10 10 0
BETA1 1.0 -10 10 0
BETA2 1.0 -10 10 0
BETA3 1.0 -10 10 0
BETA4 1.0 -10 10 0
BETA1_S 1.0 -10 10 0
BETA2_S 1.0 -10 10 0
BETA3_S 1.0 -10 10 0
BETA4_S 1.0 -10 10 0

[utilities]
// id Name Avail linear-in-parameter expression
1 Alt1 av1 ASC1 * one + BETA1 [ BETA1_S ] * x11 + BETA2 [ BETA2_S ] * x12 + BETA3 [ BETA3_S ] * x13 + BETA4 [ BETA4_S ] * x14
2 Alt2 av2 ASC2 * one + BETA1 [ BETA1_S ] * x21 + BETA2 [ BETA2_S ] * x22 + BETA3 [ BETA3_S ] * x23 + BETA4 [ BETA4_S ] * x24
3 Alt3 av3 ASC3 * one + BETA1 [ BETA1_S ] * x31 + BETA2 [ BETA2_S ] * x32 + BETA3 [ BETA3_S ] * x33 + BETA4 [ BETA4_S ] * x34
4 Alt4 av4 ASC4 * one + BETA1 [ BETA1_S ] * x41 + BETA2 [ BETA2_S ] * x42 + BETA3 [ BETA3_S ] * x43 + BETA4 [ BETA4_S ] * x44
5 Alt5 av5 ASC5 * one + BETA1 [ BETA1_S ] * x51 + BETA2 [ BETA2_S ] * x52 + BETA3 [ BETA3_S ] * x53 + BETA4 [ BETA4_S ] * x54
6 Alt6 av6 ASC6 * one + BETA1 [ BETA1_S ] * x61 + BETA2 [ BETA2_S ] * x62 + BETA3 [ BETA3_S ] * x63 + BETA4 [ BETA4_S ] * x64
7 Alt7 av7 ASC7 * one + BETA1 [ BETA1_S ] * x71 + BETA2 [ BETA2_S ] * x72 + BETA3 [ BETA3_S ] * x73 + BETA4 [ BETA4_S ] * x74
8 Alt8 av8 ASC8 * one + BETA1 [ BETA1_S ] * x81 + BETA2 [ BETA2_S ] * x82 + BETA3 [ BETA3_S ] * x83 + BETA4 [ BETA4_S ] * x84
9 Alt9 av9 ASC9 * one + BETA1 [ BETA1_S ] * x91 + BETA2 [ BETA2_S ] * x92 + BETA3 [ BETA3_S ] * x93 + BETA4 [ BETA4_S ] * x94
10 Alt10 av10 ASC10 * one + BETA1 [ BETA1_S ] * x101 + BETA2 [ BETA2_S ] * x102 + BETA3 [ BETA3_S ] * x103 + BETA4 [ BETA4_S ] * x104
11 Alt11 av11 ASC11 * one + BETA1 [ BETA1_S ] * x111 + BETA2 [ BETA2_S ] * x112 + BETA3 [ BETA3_S ] * x113 + BETA4 [ BETA4_S ] * x114

[Expressions]
// Define here arithmetic expressions for name that are not
// directly available from the data
one = 1

[ParameterCovariances]
// BETA1_BETA1_S BETA2_BETA2_S 1.0 -10.0 10.0 0
// BETA1_BETA1_S BETA3_BETA3_S 1.0 -10.0 10.0 0
// BETA2_BETA2_S BETA3_BETA3_S 1.0 -10.0 10.0 0
// BETA2_BETA2_S BETA4_BETA4_S 1.0 -10.0 10.0 0
// BETA3_BETA3_S BETA4_BETA4_S 1.0 -10.0 10.0 0

[Model]
// Currently, only $MNL (Multinomial logit),

```

Şekil E.4 : Biogeme paket programı ile karma lojit model formülasyonu.

```
mymodel-2.rep - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
// This file has automatically been generated.
// 05/09/11 11:31:02
// Michel Bierlaire, EPFL 2001-2007
BIOGEME Version 1.6 [Sun Mar 16 16:03:37 GMT 2008]
Michel Bierlaire, EPFL

Model: Mixed Multinomial Logit
Number of draws: 150
Number of estimated parameters: 20
Number of observations: 69
Number of individuals: 69
Null log-likelihood: -95.095
Init log-likelihood: -162.706
Final log-likelihood: -38.369
Likelihood ratio test: 113.452
Rho-square: 0.597
Adjusted rho-square: 0.386
Final gradient norm: +2.246e+000
Diagnostic: Maximum number of iterations reached
Iterations: 1000
run time: 02:37
variance-covariance: from finite difference hessian
sample file: sample.dat

utility parameters
*****
Name Value Std err t-test p-val Rob. std err Rob. t-test Rob. p-val
-----
ASC1 0.449 1.80e+308 0.00 1.00 * 9.24 0.05 0.96 *
ASC10 3.57 1.80e+308 0.00 1.00 * 9.65 0.37 0.71 *
ASC11 1.07 1.80e+308 0.00 1.00 * 8.79 0.12 0.90 *
ASC2 1.28 1.80e+308 0.00 1.00 * 8.14 0.16 0.87 *
ASC3 2.92 1.80e+308 0.00 1.00 * 9.23 0.32 0.75 *
ASC4 0.573 1.80e+308 0.00 1.00 * 9.46 0.06 0.95 *
ASC5 0.994 1.80e+308 0.00 1.00 * 9.16 0.11 0.91 *
ASC6 0.0115 1.80e+308 0.00 1.00 * 8.01 0.00 1.00 *
ASC7 -0.455 1.80e+308 -0.00 1.00 * 9.51 -0.05 0.96 *
ASC8 1.02 1.80e+308 0.00 1.00 * 9.87 0.10 0.92 *
ASC9 -0.434 1.80e+308 -0.00 1.00 * 9.30 -0.05 0.96 *
BETA1 -0.544 0.0292 -1.86 0.06 * 0.0294 -2.80 0.01 *
BETA1_S 0.0521 0.0177 0.29 0.77 * 0.00793 0.66 0.51 *
BETA2 -1.48 1.07 -1.38 0.17 * 1.08 -1.36 0.17 *
BETA2_S 0.450 1.18 0.38 0.70 * 0.457 0.98 0.33 *
BETA3 -1.14 0.579 -1.97 0.05 0.468 -2.43 0.02 *
BETA3_S -0.0620 1.80e+308 -0.00 1.00 * 0.295 -0.21 0.83 *
BETA4 1.79 3.56 0.50 0.62 * 5.57 0.32 0.73 *
BETA4_S 1.06 10.8 0.10 0.92 * 20.1 0.05 0.96 *
```

Şekil E.5 : Karma lojlit model ile elde edilen çıktı dosyası.

EK F : İlçeler düzeyinde farklı erişim durağı ve erişim ulaşım türü seçenekleri için hesaplanan seçim olasılıkları.

İlçe	Durak	Ulaşım Türü	Olasılık
AVCILAR	Şişhane	Otobüs	1,2%
	Şişli	Metrobüs	43,5%
	Şişli	Otobüs	54,2%
	Taksim	Dolmuş	0,0%
	Taksim	F1	0,0%
	Taksim	Otobüs	0,9%
AVCILAR Topl.			100,0%
BAĞCILAR	4.Levent	Minibüs	0,0%
	Şişhane	Otobüs	2,1%
	Şişli	Metrobüs	27,2%
	Şişli	Otobüs	67,6%
	Taksim	Dolmuş	0,1%
	Taksim	F1	1,2%
	Taksim	Otobüs	1,7%
BAĞCILAR Topl.			100,0%
BAHÇELİEVLER	4.Levent	Minibüs	0,0%
	Şişhane	Otobüs	1,2%
	Şişli	Metrobüs	42,0%
	Şişli	Otobüs	55,3%
	Taksim	Dolmuş	0,1%
	Taksim	F1	0,6%
	Taksim	Otobüs	0,9%
BAHÇELİEVLER Topl.			100,0%
BAKIRKÖY	4.Levent	Minibüs	0,0%
	Şişhane	Otobüs	2,0%
	Şişli	Metrobüs	34,4%
	Şişli	Otobüs	61,3%
	Taksim	Dolmuş	0,5%
	Taksim	F1	0,3%
	Taksim	Otobüs	1,5%
BAKIRKÖY Topl.			100,0%
BAYRAMPAŞA	4.Levent	Minibüs	0,1%
	Osmanbey	Dolmuş	0,1%
	Osmanbey	Otobüs	11,1%
	Şişhane	Otobüs	14,5%
	Şişli	Metrobüs	16,8%
	Şişli	Otobüs	43,7%
	Taksim	Dolmuş	0,0%
	Taksim	F1	1,8%
	Taksim	Otobüs	11,8%
BAYRAMPAŞA Topl.			100,0%

İlçe	Durak	Ulaşım Türü	Olasılık
BEŞİKTAŞ	4.Levent	ÖzelAraç	0,2%
	Gayrettepe	Otobüs	15,7%
	Gayrettepe	ÖzelAraç	0,2%
	Levent	Minibüs	0,1%
	Levent	Otobüs	1,5%
	Levent	ÖzelAraç	0,1%
	Osmanbey	Dolmuş	0,0%
	Osmanbey	Otobüs	0,4%
	Şişli	Dolmuş	12,4%
	Şişli	Otobüs	65,2%
	Şişli	ÖzelAraç	1,2%
	Taksim	Dolmuş	0,0%
	Taksim	F1	2,2%
	Taksim	Otobüs	0,6%
BEŞİKTAŞ Topl.			100,0%
BEYKOZ	Gayrettepe	Metrobüs	3,9%
	Gayrettepe	Otobüs	37,6%
	Levent	Minibüs	0,0%
	Levent	Otobüs	0,3%
	Sanayi	Otobüs	9,3%
	Şişli	Dolmuş	9,6%
	Şişli	Otobüs	38,9%
	Taksim	Dolmuş	0,0%
	Taksim	F1	0,1%
	Taksim	Otobüs	0,3%
BEYKOZ Topl.			100,0%
BEYOĞLU	Levent	Minibüs	0,5%
	Levent	Otobüs	5,4%
	Osmanbey	Dolmuş	0,1%
	Osmanbey	Otobüs	11,8%
	Şişhane	Otobüs	24,9%
	Şişhane	ÖzelAraç	0,0%
	Taksim	Dolmuş	0,6%
	Taksim	F1	19,9%
	Taksim	Otobüs	36,8%
	Taksim	ÖzelAraç	0,0%
BEYOĞLU Topl.			100,0%

İlçe	Durak	Ulaşım Türü	Olasılık
BÜYÜKÇEKMECE	4.Levent	Minibüs	0,0%
	Şişhane	Otobüs	1,6%
	Şişli	Metrobüs	37,2%
	Şişli	Otobüs	59,6%
	Taksim	Dolmuş	0,1%
	Taksim	F1	0,1%
	Taksim	Otobüs	1,3%
BÜYÜKÇEKMECE Topl.			100,0%
ESENLER	4.Levent	Minibüs	0,2%
	Osmanbey	Dolmuş	0,4%
	Osmanbey	Otobüs	5,7%
	Şişhane	Otobüs	8,2%
	Şişli	Metrobüs	26,2%
	Şişli	Otobüs	47,2%
	Taksim	Dolmuş	0,0%
	Taksim	F1	5,4%
	Taksim	Otobüs	6,7%
ESENLER Topl.			100,0%
EYÜP	4.Levent	Minibüs	0,1%
	4.Levent	Otobüs	29,3%
	Osmanbey	Dolmuş	0,1%
	Osmanbey	Otobüs	7,3%
	Şişhane	Otobüs	8,6%
	Şişli	Dolmuş	4,1%
	Şişli	Metrobüs	12,7%
	Şişli	Otobüs	29,0%
	Şişli	ÖzelAraç	0,1%
	Taksim	F1	1,4%
	Taksim	Otobüs	7,3%
EYÜP Topl.			100,0%
FATİH	4.Levent	Minibüs	0,1%
	Levent	Minibüs	0,1%
	Şişhane	Otobüs	46,1%
	Şişli	Metrobüs	6,3%
	Taksim	Dolmuş	0,9%
	Taksim	F1	10,5%
	Taksim	Otobüs	36,1%
FATİH Topl.			100,0%

İlçe	Durak	Ulaşım Türü	Olasılık
G.O.PAŞA	4.Levent	Minibüs	0,7%
	4.Levent	Otobüs	4,0%
	Osmanbey	Dolmuş	1,0%
	Osmanbey	Otobüs	15,5%
	Şişhane	Otobüs	18,2%
	Şişli	Dolmuş	0,5%
	Şişli	Metrobüs	25,4%
	Şişli	Otobüs	8,3%
	Taksim	F1	11,7%
	Taksim	Otobüs	14,6%
G.O.PAŞA Topl.			100,0%
GÜNGÖREN	4.Levent	Minibüs	0,1%
	Şişhane	Otobüs	1,1%
	Şişli	Metrobüs	39,4%
	Şişli	Otobüs	56,4%
	Taksim	Dolmuş	0,2%
	Taksim	F1	1,9%
	Taksim	Otobüs	0,9%
GÜNGÖREN Topl.			100,0%
KADIKÖY	Gayrettepe	Metrobüs	18,2%
	Gayrettepe	Otobüs	71,3%
	Levent	Minibüs	0,2%
	Levent	Otobüs	1,9%
	Şişhane	Otobüs	1,3%
	Taksim	Dolmuş	1,5%
	Taksim	F1	1,5%
	Taksim	Otobüs	3,9%
KADIKÖY Topl.			100,0%
KAĞITHANE	4.Levent	Minibüs	0,1%
	4.Levent	Otobüs	44,4%
	Osmanbey	Otobüs	0,0%
	Sanayi	Otobüs	4,7%
	Şişli	Dolmuş	5,3%
	Şişli	Metrobüs	13,4%
	Şişli	Otobüs	31,5%
	Şişli	ÖzelAraç	0,4%
	Taksim	F1	0,1%
	Taksim	Otobüs	0,1%
KAĞITHANE Topl.			100,0%

İlçe	Durak	Ulaşım Türü	Olasılık
KÜÇÜKÇEKİ.	4.Levent	Minibüs	0,0%
	Şişhane	Otobüs	1,2%
	Şişli	Metrobüs	43,7%
	Şişli	Otobüs	53,8%
	Taksim	Dolmuş	0,1%
	Taksim	F1	0,4%
	Taksim	Otobüs	0,9%
KÜÇÜKÇEKİ. Topl.			100,0%
MALTEPE	Gayrettepe	Metrobüs	7,8%
	Gayrettepe	Otobüs	84,2%
	Levent	Minibüs	0,1%
	Levent	Otobüs	3,2%
	Taksim	Dolmuş	0,1%
	Taksim	F1	0,2%
	Taksim	Otobüs	4,4%
MALTEPE Topl.			100,0%
SARIYER	4.Levent	Otobüs	4,3%
	AO Sanayi	Otobüs	4,4%
	AO Sanayi	ÖzelAraç	1,0%
	Darüşşafaka	Minibüs	0,3%
	Darüşşafaka	Otobüs	72,8%
	Darüşşafaka	ÖzelAraç	0,1%
	İTÜ	Minibüs	1,4%
	Ayazağa	Otobüs	6,4%
	İTÜ	ÖzelAraç	0,7%
	Sanayi	Minibüs	0,2%
	Sanayi	Otobüs	8,4%
SARIYER Topl.			100,0%
ZEYTİNBURNU	4.Levent	Minibüs	0,0%
	Şişhane	Otobüs	2,5%
	Şişli	Metrobüs	32,1%
	Şişli	Otobüs	63,1%
	Taksim	Dolmuş	0,0%
	Taksim	F1	0,3%
	Taksim	Otobüs	1,9%
ZEYTİNBURNU Topl.			100,0%

İlçe	Durak	Ulaşım Türü	Olasılık
ŞİŞLİ	AO Sanayi	ÖzelAraç	0,0%
	Gayrettepe	Otobüs	1,0%
	Gayrettepe	ÖzelAraç	0,0%
	İTÜ Ayazağa	Minibüs	0,0%
	İTÜ Ayazağa	Otobüs	0,5%
	İTÜ Ayazağa	ÖzelAraç	0,0%
	Levent	Minibüs	0,1%
	Levent	Otobüs	0,5%
	Osmanbey	Dolmuş	0,1%
	Osmanbey	Otobüs	1,3%
	Osmanbey	ÖzelAraç	0,0%
	Sanayi	Minibüs	0,0%
ŞİŞLİ Topl.	Sanayi	Otobüs	2,3%
	Sanayi	ÖzelAraç	0,0%
	Şişli	Dolmuş	6,7%
	Şişli	Metrobüs	9,5%
	Şişli	Otobüs	72,6%
	Şişli	ÖzelAraç	3,1%
	Taksim	F1	0,6%
	Taksim	Otobüs	1,5%
ŞİŞLİ Topl.			100,0%
ÜMRANİYE	Gayrettepe	Metrobüs	16,1%
	Gayrettepe	Otobüs	77,2%
	Levent	Minibüs	0,2%
	Levent	Otobüs	2,9%
	Taksim	Dolmuş	0,2%
	Taksim	Otobüs	3,4%
ÜMRANİYE Topl.			100,0%
ÜSKÜDAR	Gayrettepe	Metrobüs	30,9%
	Gayrettepe	Otobüs	57,7%
	Levent	Minibüs	0,3%
	Levent	Otobüs	2,3%
	Şişli	Dolmuş	0,3%
	Şişli	Otobüs	0,7%
	Taksim	Dolmuş	0,3%
	Taksim	F1	4,8%
	Taksim	Otobüs	2,9%
ÜSKÜDAR Topl.			100,0%

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Seda YANIK UĞURLU

Doğum Yeri ve Tarihi: 20/02/1978 - İstanbul

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği

Yüksek Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Yönetimi

Yayın Listesi:

- **Uğurlu, S.** ve Kaya İ. (2011) A New Reliability Index Based On Fuzzy Process Capability Index For Travel Time in Multimodal Networks, *The International Journal of Computational Intelligence Systems*, 4 (4), 550-565.
- Ustundag, A., **Uğurlu, S.**, Kılınç, M.S. (2011) Evaluating the Performance of Technology Transfer Offices, *Journal of Enterprise Information Management*, 24 (4), 322-337.
- **Uğurlu, S.** ve Kahraman C. (2011) Fuzzy Multicriteria Risk Assessment for Hazardous Waste Management: The Case of Istanbul, *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 1 (1), 29-41.
- Bozkaya, B., **Yanık, S.** ve Balcisoy, S. (2010) A GIS-Based Optimization Framework for Competitive Multi-Facility Location-Routing Problem, *Networks and Spatial Economics*, Volume 10, Number 3, 297-320.
- Uğurlu, S., Aktas, E., Topcu, Y.İ. (2011) A Decision Support System to Improve Service Quality in Multimodal Rapid Rail Systems: A Bayesian Perspective, *Proceeding of 41st International Conference on Computers & Industrial Engineering*, Los Angeles, USA. (kabul edildi).
- Ustundag, A., Kılınç, S.M., **Yanık, S.** (2010) Fuzzy Multicriteria Selection Of Science Parks For Start-Up Companies, *Proceedings of the 9th International FLINS Conference*, Chengdu, China 2010, 478-484.

- **Yanık, S.** ve Tanyaş, M. (2009), A Comparative Review Of Simulation-Based Behavior Modeling For Travel Demand Generation, *International Conference Prospects on Transportation and Logistics*, Istanbul, Türkiye, February 12-14.
- Bozkaya, B., **Ugurlu, S.**, de Kervenoael, R., Kocoglu, I. (2010), Discriminating Behaviors Through Value-Added Premium E-Grocery Offering, *34th Annual Conference of the German Classification Society*, Karlsruhe.
- **Ugurlu, S.** ve Asan U. (2010) Using Choice Based Conjoint to Assess Price Sensitivity of Ferry Passengers, ITU-TUB Joint Conference 2010, Istanbul.
- Bozkaya, B. ve **Yanık, S.** (2009) A GIS-based Decision Support System for Competitive Facility Location, *23rd European Conference on Operational Research*, Bonn, Germany, July 5 - 8, Book of Abstracts, 129.
- Bozkaya, B., **Yanık, S.**, Engin, B., A Location-Routing Model and a GIS Framework for Competitive Multi-Facility Location Problem, *ISOLDE XI*, Haziran 26-Temmuz 1, 2008, Santa Barbara, California, USA.
- de Kervenoael, R., Kocoglu, I., **Ugurlu, S.** and Bozkaya, B. (2010) E-Market Tedarik Zincirinde Direncin Kırılması: E-Perakende, Lojistik ve Kentsel Planlama İşbirliği, *Pazarlama ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 15.
- Bozkaya, B., **Yanık, S.** (2008) Mağaza Yer Seçimi Optimizasyonu İçin CBS-Tabanlı Karar Destek Sistemi, *UZAL-CBS 2008*, Kayseri, Türkiye.
- **Ugurlu, S.**, Bozkaya, B., de Kervenoael, R. (2011) E-Perakendecilikte Dağıtım Toplamalı ve Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemine Sezgisel Bir Yaklaşım, *YAEM 2011*.
- Bozkaya, B., **Ugurlu, S.**, de Kervenoael, R. (2010) E-Perakendecilik için Dağıtım Toplamalı ve Zaman Pencereci bir Araç Rotalama Modeli ve Çözümü, *YAEM 2010*.
- **Yanık, S.** ve Boztepe, Y. (2008) Dinamik Fiyatlandırma Sistemine Geçişte Fiyat Düzeylerinin Belirlenmesinde Bir Conjoint Analiz Uygulaması - İDO Örneği, *YAEM 2008*, İstanbul, Türkiye.