

Yolculuk Üretim ve Çekim Modellerinin Rastgele Pişmanlık Minimizasyonu ve Rastgele
Fayda Maksimizasyonu Yöntemleri ile Geliştirilmesi

Kadir Berkhan Akalın

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2021

Utilization of Random Regret Minimization and Random Utility Maximization Methods
for Trip Generation and Attraction Modeling

Kadir Berkhan Akalın

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Civil Engineering

December 2021

Yolculuk Üretim ve Çekim Modellerinin Rastgele Pişmanlık Minimizasyonu ve Rastgele
Fayda Maksimizasyonu Yöntemleri ile Geliştirilmesi

Kadir Berkhan Akalın

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Murat Karacasu
İkinci Danışman: Doç. Dr. Hüseyin Onur Tezcan

Aralık 2021

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Murat Karacasu ve Doç. Dr. Hüseyin Onur Tezcan danışmanlığında hazırlamış olduğum “Yolculuk Üretim ve Çekim Modellerinin Rastgele Pışmanlık Minimizasyonu ve Rastgele Fayda Maksimizasyonu Yöntemleri ile Geliştirilmesi” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı, kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 17/12/2021

Kadir Berkhan Akalın

İmza

ÖZET

Tez çalışması kapsamında, davranıştan bağımsız olarak bölgenin özellikleri veya nüfusa göre tahmin edilen geleneksel yolculuk üretim ve çekim modellerine alternatif olarak, bireylerin gerçek tercihlerine göre fayda ve pişmanlık tabanlı Kesikli Tercih Modelleri (KTM) kullanılarak hazırlanan yolculuk üretim ve çekim modelleri geliştirilmiştir. Modellerin hazırlanmasında, Eskişehir Ulaşım Ana Planı için 2015 yılında yapılan hane halkı anketleri ile arazi kullanımına ait veri seti kullanılmıştır. Yolculuk üretimi modelinde, bireylerin tercihlerine göre yolculuk amaçlarının paylarının hesaplandığı Rastgele Fayda Maksimizasyon (RFM) tabanlı Çok Terimli Lojit (ÇTL) model yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen üretim modeli sayesinde, ilgili trafik analiz bölgelerindeki (TAB) hanelere ait sosyoekonomik değişkenlerin yolculuk yapmama durumu ve diğer bütün yolculuk amaçlarına göre üretilen yolculukların payları üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Yolculuk çekim modeli için yakın zamanda geliştirilmiş olan Rastgele Pişmanlık Minimizasyon (RPM) yöntemlerinden Klasik RPM (K-RPM) ile ÇTL modellerinin birlikte kullanılmasıyla elde edilen Hibrit RFM-RPM model yöntemi tercih edilmiştir. Çekim potansiyellerine göre Kümeleme Analizi yöntemi ile gruplandırılan TAB'lar tarafından çekilen yolculukların payları, mesafe ve arazi kullanımı verilerinden oluşan bağımsız değişkenlere göre tahmin edilmiştir.

Çalışmada, bölgesel özelliklere göre oluşturulan mevcut deterministik üretim ve çekim modelleri yerine, bireylerin tercihlerinin dikkate alındığı gerçek durumu daha iyi temsil eden stokastik modellerin uygulanabilirliği gösterilmiştir. Önerilen yolculuk üretim ve çekim modelleri sayesinde geleneksel yöntemde olduğu gibi dört aşamalı ulaşım modelinin bütün aşamalarının birbirinden bağımsız süreçler olarak değerlendirilmesinin yerine birbirini dinamik olarak etkileyen modeller şeklinde kurulabilmesi ve bireylerin tercihlerinden biri olan yolculuk yapmama seçeneğinin ölçülebilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca bu çalışma, yeni olması dolayısıyla ulaştırma planlaması literatüründe henüz sınırlı sayıda çalışma bulunan RPM model yaklaşımları için öncü çalışmalardan biri olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ulaştırma planlaması, kesikli tercih modelleri, pişmanlık minimizasyonu, fayda maksimizasyonu, yolculuk üretimi ve çekimi

SUMMARY

Within the scope of the thesis, trip generation and attraction models prepared by using utility and regret-based Discrete Choice Models (DCM) according to the revealed preferences of individuals are proposed as an alternative to the traditional trip generation and attraction models which are estimated according to the characteristics of land use or population regardless of the individuals' behaviour. The household surveys conducted in 2015 for Eskişehir Transportation Master Plan and the data set of land use were used for the development of the models. In the trip generation model, the Random Utility Maximization (RUM) based Multinomial Logit (MNL) model method is used, in which the shares of trip purposes are calculated according to the preferences of the individuals. Through the production model obtained, the effects of the socioeconomic variables of the households in the relevant traffic analysis zones (TAZ) on the no-travel choice and the shares of the trips produced according to all other trip purposes were determined. For the trip attraction model, the Hybrid RUM-RRM model method, which is obtained by using the Classic RRM (RRM2010) model which is one of the recently developed Random Regret Minimization (RRM) methods and MNL model were preferred. The shares of trips attracted by the TAZs grouped by the Cluster Analysis method considering their attraction potentials were estimated according to the independent variables consisting of distance and land use data.

In the study, the applicability of stochastic models that better represent the fact which individuals' preferences are considered, instead of the existing deterministic production and attraction models created according to regional characteristics, has been demonstrated. Through the proposed trip production and attraction models, instead of evaluating all stages of four-step transportation model as independent processes as in the traditional method, it is possible to establish models that affect each other dynamically and to measure the option of not making a trip which is one of the trip preferences of individuals. In addition, this study will be one of the pioneering studies for RRM model approaches in the transportation planning literature, which currently has a limited number of studies as an emerging method.

Keywords: Transportation planning, discrete choice models, regret minimization, utility maximization, trip generation and attraction

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
3. YÖNTEM.....	13
3.1. Ulaştırma Planlaması	13
3.2. Dört Aşamalı Model.....	16
3.2.1. Ulaştırma talep tahmin modeli yaklaşımları	19
3.2.1.1. Toplulaştırılmış model yaklaşımı	19
3.2.1.2. Ayrık model yaklaşımı.....	20
3.2.2. Yolculuk üretimi	20
3.2.3. Yolculuk dağıtımı	24
3.2.4. Tür tercihi.....	28
3.2.5. Trafik ataması	29
3.3. Kesikli Tercih Modelleri	32
3.3.1. Fayda tabanlı tercih modelleri.....	33
3.3.1.1. İkili lojit (İL) model.....	39
3.3.1.2. Çok terimli lojit (CTL) model	40
3.3.1.3. Karma lojit (KL) model	42
3.3.1.4. Yuvalanmış lojit (YL) model.....	43
3.3.1.5. Sıralı lojit (SL) model	44
3.3.2. Pişmanlık tabanlı tercih modelleri	46
3.3.2.1. Temel rastgele pişmanlık minimizasyon (T-RPM) modeli.....	49
3.3.2.2. Klasik rastgele pişmanlık minimizasyon (K-RPM) modeli.....	52
3.3.2.3. Genelleştirilmiş rastgele pişmanlık minimizasyon (G-RPM) modeli.....	56
3.3.2.4. Ölçekli rastgele pişmanlık minimizasyon (O-RPM) modeli.....	59
3.3.2.5. Saf rastgele pişmanlık minimizasyon (S-RPM) modeli.....	61

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.3.3. Hibrit RFM-RPM modeli.....	62
3.3.4. Model tasarımı	63
3.3.5. Model tahmin yöntemi	66
3.3.6. Model performans değerlendirmesi	67
3.3.6.1. Katsayıların işaretlerinin incelenmesi.....	68
3.3.6.2. Katsayıların anlamlılığı testi.....	68
3.3.6.3. Olabilirlik oranı testi.....	69
3.3.6.4. Uyum iyiliği testi	70
3.3.7. RFM ve RPM yaklaşımlarındaki benzerlik ve farklılıklar.....	71
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	75
4.1. Çalışma Bölgesi: Eskişehir	76
4.1.1. Kentin konumu ve genel yapısı.....	76
4.1.2. Trafik analiz bölgelerinin (TAB) belirlenmesi	78
4.1.3. Ulaştırma altyapısı	79
4.1.3.1. Karayolu ağı.....	79
4.1.3.2. Toplu Taşıma Sistemleri	81
4.1.4. Sosyoekonomik yapısı	85
4.1.4.1. Nüfus.....	85
4.1.4.2. İstihdam	88
4.1.4.3. Öğrenci sayıları.....	89
4.1.4.4. Otomobil sahipliği	90
4.1.4.5. Gayrisafi yurt içi hasıla.....	91
4.1.5. Hane halkı anketi	92
4.1.6. Arazi kullanımı	96
4.2. Yolculuk Üretim Modeli	99
4.2.1. Üretim modelinde kullanılan değişkenler	102
4.2.2. TAB'ların üretim potansiyellerine göre gruplandırılması.....	104
4.2.3. Yolculuk üretim modeli tasarımı ve analiz sonuçları	110
4.2.4. Nüfus ölçeğinde yolculuk üretimleri.....	115
4.3. Yolculuk Çekim Modeli.....	121
4.3.1. Çekim modelinde kullanılan değişkenler.....	123
4.3.2. TAB'ların çekim potansiyellerine göre gruplandırılması	126
4.3.3. Yolculuk çekim modeli tasarımı ve analiz sonuçları	127

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3.4. Nüfus ölçeğinde yolculuk çekimleri	142
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	150
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	158



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Ulaştırma planlamada gerçek durum ve tahmin modeli.....	16
3.2. Ulaştırma Sistem Analizi (USA) temel yapısı	17
3.3. Dört Aşamalı Model (DAM) temel yapısı	18
3.4. Yolculuk üretim ve çekim karakteristikleri.....	22
3.5. TAB’lardan yolculuk üretimi ve dağıtımı	25
3.6. Hız-akım ve yolculuk süresi-akım ilişkileri	30
3.7. Temel bağıntılar ve olasılık dağılımları: a) Doğrusal Olasılık Modeli, b) Lojit Model için.....	33
3.8. İki seviyeli Yuvalanmış Lojit (YL) genel yapısı.....	43
3.9. İki seviyeli Yuvalanmış Lojit (YL) model örneği.....	44
3.10. Bir değişken bazında T-RPM ikili pişmanlık fonksiyonu dağılımı.....	51
3.11. Bir değişken bazında farklı katsayı değerleri için K-RPM ikili pişmanlık fonksiyonu dağılımı: a) iki boyulu dağılım, b) üç boyutlu dağılım	54
3.12. K-RPM modelinde, bir değişken bazında, $\beta = -1$ ve $\beta = +1$ için ikili pişmanlıkların dağılımı	55
3.13. Farklı pişmanlık ağırlıkları için $\beta = 1$ sabit olmak üzere G-RPM ikili pişmanlık fonksiyonu dağılımları: a) iki boyulu dağılım, b) üç boyulu dağılım	56
3.14. Farklı pişmanlık ağırlıkları için $\beta = 1$ sabit olmak üzere G-RPM ikili pişmanlık	58
3.15. Farklı ölçek parametreleri için $\beta = 1$ sabit olmak üzere O-RPM ikili pişmanlık fonksiyonu dağılımları: a) iki boyutlu dağılım, b) üç boyutlu dağılım.....	61
3.16. R^2 ile ρ^2 arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (Domencich ve McFadden, 1975)	70
3.17. RFM ve RPM modelleri için zaman değerindeki değişim: a) RFM, b) RPM.....	73
4.1. Yolculuk üretim ve çekim modellerine ait akış şeması.....	75
4.2. Çalışma bölgesi olarak seçilen Eskişehir ilinin konumu	76
4.3. Tepebaşı ve Odunpazarı ilçelerindeki alışveriş, eğitim, hastane ve endüstri bölgelerinin dağılımı ile merkezi iş alanı	78
4.4. Çalışma bölgesi Eskişehir için belirlenen TAB’ların: a) isimleri, b) numaraları.....	79
4.5. Eskişehir kent merkezine bağlantı sağlayan cadde ve bulvarlar	80
4.6. Araç trafiğine kapatılarak yayalaştırılmış cadde kesimleri	81
4.7. ESTRAM sisteminin mevcut hatları	82
4.8. ESTRAM yolcu sayılarının 2004 ile 2020 yılları için aylara göre dağılımı	83
4.9. 2018 yılı için ESTRAM sistemi ve otobüs hatlarında taşınan günlük yolcu sayılarının saat aralıklarına göre dağılımları.....	84
4.10. Eskişehir kent içi otobüs hatları	84
4.11. Eskişehir kent içi dolmuş ve minibüs hatları.....	85

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.12. Eskişehir nüfusunun yıllara göre değişimi	86
4.13. Eskişehir için nüfus artış grafiği.....	87
4.14. Eskişehir için nüfus artış grafiği.....	87
4.15. 2020 yılı için Eskişehir'deki öğrenci sayıları ve nüfusa oranı	89
4.16. Eskişehir için özel otomobil sahipliği (otomobil/1000 kişi)	90
4.17. Eskişehir için nüfus artış ve otomobil sayısı artış eğrileri.....	91
4.18. Türkiye ve Eskişehir için yıllara göre kişi başına ortalama GSYH (\$).....	91
4.19. 2015 yılı Eskişehir hane halkı anket verilerine göre: a) TAB bazında örneklem oranı, b) TAB'larda ikamet edenlerin ortalama hareketlilik değerleri	92
4.20. 2015 yılı anket verilerindeki bireylerin, çalışma durumu, otomobil ve ehliyet sahipliği göre yolculuk sayıları.....	95
4.21. 2015 yılı anket verilerindeki bireylerin yaş ve çalışma durumuna göre ortalama hareketlilik ve yolculuk sayıları dağılımı.....	96
4.22. Eskişehir için: a) TAB bazında hane sayıları, b) hastane bulunan TAB'lar	97
4.23. Eskişehir için TAB bazında: a) kamu/özel iş yeri sayısı, b) endüstri alanları.....	97
4.24. Eskişehir için: a) üniversiteleri alanları bulunan TAB'lar, b) TAB bazında okul sayıları	98
4.25. Eskişehir için TAB bazında: a) AVM sayısı, b) eğlence merkezi sayısı, c) park alanları	99
4.26. Yolculuk üretim modeli ve nüfus bazında yolculuk üretim tahminleri akış şeması	101
4.27. Değişkenlerin dağılımları, değişken verilerinin çapraz dağılımları ve korelasyon değerleri	104
4.28. K-ortalamalar Kümeleme Analizi algoritması akış şeması	107
4.29. TAB'ların üretime göre gruplandırılması için en uygun küme sayısının tespiti grafikleri: a) Dirsek metodu, b) Siluet metodu	109
4.30. Üretim potansiyellerine göre TAB'ların ait olduğu kümeler (üretim kümeleri)	109
4.31. Yolculuk çekim modeli ve nüfus bazında yolculuk çekim tahminleri akış şeması	122
4.32. Değişkenlerin dağılımları, değişken verilerinin çapraz dağılımları ve korelasyon matrisi ...	125
4.33. TAB'ların çekime göre gruplandırılması için en uygun küme sayısının tespiti grafikleri: a) Dirsek metodu, b) Siluet metodu	127
4.34. Çekim potansiyellerine göre TAB'ların ait olduğu kümeler (çekim kümeleri)	127

ÇİZELGELER DİZİNİ

Cizelge

Sayfa

2.1. Lojit modellerin tarihsel gelişim süreci	9
2.2. Rastgele pişmanlık minimizasyon (RPM) modellerinin tarihsel gelişim süreci	12
3.1. Farklı güven aralıkları için kritik değerler	69
4.1. 2020 yılı için Eskişehir ilçelerine ait nüfus değerleri	86
4.2. 2010-2020 yılları arasında Eskişehir ve bağlı olduğu bölgeye ait istihdam verileri	89
4.3. 2015 yılı anket verilerindeki hanelerin, aylık gelir grubu, ev sahipliği ve otomobil sayılarına göre dağılımları	93
4.4. 2015 yılı anket verilerindeki bireylerin, çalışma durumu, ehliyet sahipliği ve hanelerindeki otomobil sahipliğine göre dağılımları	94
4.5. Yolculuk üretim modelinde kullanılan bağımsız ve bağımlı değişkenlerin açıklamaları	103
4.6. Yolculuk üretim modeli parametre tahmin sonuçları	111
4.7. Yolculuk üretim modeli tahminleri ile gerçek yolculuk sayılarının karşılaştırılması	115
4.8. TAB bilgileri ve TAB'lardan üretilen büyütülmüş yolculuk tahminleri	118
4.9. Yolculuk çekim modelinde kullanılan bağımsız ve bağımlı değişkenlerin açıklamaları	124
4.10. Ev tabanlı iş yolculukları için çekim modeli parametre tahmin sonuçları	129
4.11. Ev tabanlı iş yolculukları için çekim modeli tahminleri ile gerçek yolculuk sayılarının karşılaştırılması	131
4.12. Ev tabanlı okul yolculukları için çekim modeli parametre tahmin sonuçları	132
4.13. Ev tabanlı okul yolculukları için çekim modeli tahminleri ile gerçek yolculuk sayılarının karşılaştırılması	133
4.14. Ev tabanlı hastane yolculukları için çekim modeli parametre tahmin sonuçları	134
4.15. Ev tabanlı hastane yolculukları için çekim modeli tahminleri ile gerçek yolculuk sayılarının karşılaştırılması	135
4.16. Ev tabanlı diğer yolculuklar için çekim modeli parametre tahmin sonuçları	137
4.17. Ev tabanlı diğer yolculuklar için çekim modeli tahminleri ile gerçek yolculuk sayılarının karşılaştırılması	138
4.18. Diğer yolculuklar için çekim modeli parametre tahmin sonuçları	140
4.19. Diğer yolculuklar için çekim modeli tahminleri ile gerçek yolculuk sayılarının karşılaştırılması	140
4.20. TAB gruplarının yolculuk amaçlarına göre yolculuk çekme olasılıkları	142
4.21. TAB'ların grup içi uzaklık hesapları ve çekim olasılıkları	144
4.22. TAB bilgileri ve TAB'lara çekilen büyütülmüş yolculuk tahminleri	147

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

α_s	Pişmanlık derinliği
β_0	Sabit terim
BF	Büyütme faktörü
β	Değişkenlerin katsayıları (tahmin parametreleri)
C	Kapasite (taşıt/sa)
D_{Euc}	Öklid uzaklığı
D_{Mah}	Mahalanobis uzaklığı
D_{Man}	Manhattan uzaklığı
D_{TAB}	TAB'ların grup içi uzaklık fonksiyonu
ε	Hata terimi (rassal bileşen)
$F(x)$	Birikimli dağılım fonksiyonu
$f(x)$	Olasılık yoğunluk fonksiyonu
φ	Öz değer fonksiyonu
H_0	Sıfır hipotezi
K	Küme sayısı
κ	Eşik uç değerleri
KKT	Küme içi kareler toplamı
χ^2	Ki-kare
L	Olabilirlik fonksiyonu
LL	Log-olabilirlik
μ	Ölçek parametresi, konum parametresi
n	Küme içi eleman sayısı
Π	Çarpım sembolü
P	Seçim olasılığı
P_{TAB}	Aynı gruptaki TAB'ların yolculuk çekme olasılıkları
Q	Hacim (taşıt/sa)
R	Pişmanlık fonksiyonu
R^2	Açıklayıcılık (belirtme) katsayısı
RR	Toplam pişmanlık
ρ^2	Uyum iyiliği göstergesi (Sanal_ R^2)
$\bar{\rho}^2$	Düzeltilmiş uyum iyiliği göstergesi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler

S	Kovaryans matrisi
$\bar{S}$	Ortalama siluet genişliği
Σ	Toplam sembolü
σ^2	Varyans
sd	Serbestlik derecesi
T_0	Serbest akım durumundaki yolculuk süresi
T	Yolculuk süresi
U	Fayda fonksiyonu
V	Fayda fonksiyonunun belirleyici bileşeni
Var	Varyans
v	Katı fayda
x	Değişken
x_{norm}	Normalleştirilmiş değişken
X	Bölgesel veya toplulaştırılmış veri seti değişkeni
y	Mevcut yıl veya örneklemdaki yolculuk sayısı
Y	Gelecek veya nüfusa göre büyütülmüş yolculuk sayısı
Y^*	Gizil değişken
ZD	Zaman değeri

Kısaltmalar

1.ÜS	1. Ana Jet Üs Komutanlığı
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AÜ	Anadolu Üniversitesi
AVM	Alışveriş Merkezi
B-V	Başlangıç-Variş
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
ÇSA	Çoklu Sınıflandırma Analizi
ÇTL	Çok Terimli Lojit
D	Diğer Yolculuklar
DAM	Dört Aşamalı Model
EBO	En Büyük Olabilirlik

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ED	Ev Tabanlı Diğer Yolculuklar
EH	Ev Tabanlı Hastane Yolculukları
EI	Ev Tabanlı İş Yolculukları
EKK	En Küçük Kareler
EO	Ev Tabanlı Okul Yolculukları
EOSB	Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi
ESOGÜ	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
ESTRAM	Eskişehir Tramvay Sistemi
ESTÜ	Eskişehir Teknik Üniversitesi
EUAP	Eskişehir Ulaşım Ana Planı
G-RPM	Genelleştirilmiş Rastgele Pışmanlık Minimizasyon
GSYH	Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
İL	İkili Lojit
KKT	Küme İçi Kareler Toplamı
KL	Karışık Lojit
K-RPM	Klasik Rastgele Pışmanlık Minimizasyon
KTM	Kesikli Tercih Modeli
OEB	Otomobil Eşdeğerlik Birimi
O-RPM	Ölçekli Rastgele Pışmanlık Minimizasyon
RFM	Rastgele Fayda Maksimizasyon
RP	Rastgele Pışmanlık
RPM	Rastgele Pışmanlık Minimizasyon
SL	Sıralı Lojit
TAB	Trafik Analiz Bölgesi
TBB	Türkiye Belediyeler Birliği
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
T-RPM	Temel Rastgele Pışmanlık Minimizasyon
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UAP	Ulaşım Ana Planı
USA	Ulaştırma Sistem Analizi
Ü-Ç	Üretim-Çekim

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**Kısaltmalar**

YL

YOK

Açıklama

Yuvalanmış Lojit

Yolculuk Yapmama Durumu



1. GİRİŞ VE AMAÇ

Sosyoekonomik ve teknolojik gelişmeler nedeniyle dünyamız ve yaşam tarzımız gün geçtikçe değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte ulaştırma sistemleri ve dolayısıyla bu sistemlere olan talepler ve tercihler de hızlı bir şekilde değişmektedir (Ortúzar ve Willumsen, 2011; Wey ve Huang, 2018). Artan nüfus ve hareketlilik, sürdürülebilir ulaştırma sistemlerinin geliştirilmesine ve etkin ulaştırma planlamalarının uygulanmasına olan ihtiyacı beraberinde getirmektedir. 1950'lerin sonundan itibaren sürekli büyüyen ekonomi ve teknoloji nedeniyle özel otomobil sahipliğinin ve kullanımının her geçen yıl artacağı öngörülmüş ve bu amaçla gelişmiş ülkeler başta olmak üzere sürekli olarak çeşitli politikalar geliştirilmeye başlanmıştır (Gunn, 2018; U.S. DOT, 2021). Bu gelişmeler bilim insanlarını da harekete geçirerek yıllar içerisinde ulaştırma planlaması ve talep tahmin çalışmaları ile ilgili birçok çalışmanın ortaya çıkmasını sağlamıştır (Hyman, 1969; McFadden, 1974 b; Levinson ve Kumar, 1994; Ben-Akiva vd., 1996; Di Donna vd., 2015; Karami ve Kashef, 2020).

Ulaştırma ihtiyacı karşılanırken verilen hizmetin depo edilememesi nedeniyle yetersiz hizmet sağlanması durumunda, oluşan talebin karşılanamayacağı açıktır. Günümüzde tıkanıklık, kazalar, maliyet, gürültü ve hava kirliliği gibi problemler hala en önemli ulaştırma sorunları ve iyileştirilmesi gereken etmenler olarak dikkate alınmaktadır. Ancak gelişen bilgi teknolojileri sayesinde temin edilebilecek büyük veri seti ve ulaştırma planlaması sürecinde oluşturulan modellerle ulaştırma sistemindeki ve kent yapısındaki alternatif değişikliklerin olası sonuçlarını benzetim (simülasyon) yoluyla gözlemleyebilmek mümkündür (Ben-Akiva vd., 1996; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Cleophas vd., 2018).

İnsanlar, belirli yerlerdeki zorunlu (iş ve okul gibi) veya isteğe bağlı (hastane, alışveriş, eğlence, spor vb.) etkinlikleri gerçekleştirebilmek için yolculuk yapmaya ihtiyaç duyarlar. Bu yolculukların gerçekleştirilebilmesi için de ulaşım sisteminde bir talep türetilmiş olmaktadır. Ulaştırma sistemindeki talep; saat, gün, yolculuk amacı, taşınan yükün şekli, yolculuğun hızının önemi gibi nitel ve nicel özelliklere dayalı olarak farklılaşmış olabilir (Ortúzar ve Willumsen, 2011). Yolculuk talebi modellerinin oluşturulması sırasında kullanılan temel hipotez; ulaşım talebinin iş, okul, hastane, alışveriş, eğlence ve diğer

ihtiyaçlar gibi faaliyetlere olan talepten türetildiğini varsaymaktadır. Bir bireyin yaşam tarzı, büyük ölçüde bu faaliyetlere katılmak için ayrılan zaman ve kaynaklar tarafından belirlenir. Seçilen bu yaşam tarzı veya etkinlik programı; bireyin sosyoekonomik özelliklerine, mevcut etkinlik olanaklarına ve ulaşım sistemi de dahil olmak üzere bireylerin ve kentin özelliklerine bağlıdır (Ben-Akiva vd., 1996).

Literatür incelendiğinde, yolculuk talep tahmin modellemesi için yaygın olarak geleneksel Dört Aşamalı Modelin (DAM) kullanıldığı görülmektedir. Gerçekte herhangi bir etkinliğe olan talepten türetilmiş olan yolculuklar, pratikte etkinliğe dayalı yöntemlerden ziyade yolculuğa dayalı yöntemlerle modellenmiştir (McNally, 2016). Günümüzde DAM'ın en çok kullanılan yöntem olmasının başlıca nedeni yöntemin ulaştırma planlaması ve tahmin modellerinin oluşturulmasında kolay anlaşılır bir yapıya sahip olması ve uygulanabilirliğidir. DAM temel olarak sırasıyla yolculuk üretimi, yolculuk dağıtımı, tür tercihi ve trafik ataması aşamalarından oluşmaktadır. Analizlere başlamadan önce çalışma alanı trafik analiz bölgesi (TAB) adı verilen alt bölgelere ayrılır ve analizler bu TAB'lar arasındaki yolculukların nereden (yolculuk üretimi), nereye (yolculuk dağıtımı), hangi ulaştırma türüyle (tür tercihi), hangi gzerghlardan (trafik ataması) yapılacağının modellenenebilmesi için yapılır. Burada sözü edilen yolculuk, bireyin tercih ettiği ulaştırma türü veya türleri ile tercih ettiği güzergâhı kullanarak bir TAB'dan başlayarak aynı veya başka bir TAB'da sonlanan ulaşım ihtiyaını tamamlaması şeklinde tanımlanmaktadır. DAM oluşturulurken TAB'lardan üretilen yolculukların modellenmesi sırasında yolculuklar amaçlarına göre ayrılmalıdır. Bu ayrım genellikle, yolculuğun ev tabanlı olup olmaması ve yolculukların zorunlu olup olmaması şeklinde temel sınıflarda toplanır. Literatürde en sık görülen yolculuk amaçlarından zorunlu yolculuklar ev tabanlı iş, ev tabanlı okul, ev tabanlı olmayan iş; isteğe bağlı yolculuklar ise ev tabanlı hastane, ev tabanlı diğer, ev tabanlı olmayan diğer olarak sınıflara ayrılmaktadır (Ortzar ve Willumsen, 2011; Rasouli ve Timmermans, 2012; McNally, 2016).

Tez alışması kapsamında, DAM'daki birinci aşama olan yolculuk üretimi ve çekimindeki yolculuk sayıları; Rastgele Fayda Maksimizasyonu (RFM), Rastgele Pişmanlık Minim�asyonu (RPM) ve Kümeleme Analizi yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla geliştirilen yöntemlerle hesaplanmıştır. RFM yaklaşımında çok Terimli Lojit (TL) model yöntemi tercih edilmiştir. Literatürde DAM'ın aşamalarında TL dahil olmak üzere birçok

teknikğin kullanıldığı görülse de ÇTL genellikle tür tercihi ve güzergâh tercihi modelinde kullanılmıştır. Yolculuk üretim aşamasında ÇTL'nin çok fazla tercih edilmemesinin nedeni bu yaklaşımda doğrudan yolculuk sayıları yerine çıktı olarak seçeneklere ait olasılıkların verilmesidir. Ancak oluşturulan modelde her bir birim için hesaplanan olasılıklar (veya seçim kümesindeki elemanların payları) toplanarak toplam yolculuk sayısı elde edilebilir.

Yolculuk üretim ve çekiminin modellenmesi için uygulamada; Doğrusal Regresyon Analizi, Kategori Analizi, Çapraz Sınıflama ve Büyütme Faktörü yöntemlerine yaygın olarak rastlanmaktadır. Sıklıkla kullanılan bu yaklaşımların güçlü ve zayıf yönleri vardır. Doğrusal Regresyon Analizi'nde yolculuk üretimi, yolculuk sayısının genellikle toplulaştırılmış değişkenlerle ilişkili olduğu varsayılarak modellenenebilse de kesikli tercih yaklaşımlarında olduğu gibi bireysel düzeyde davranışsal gerekçelerden yoksundur. Toplulaştırılmış verilerin kullanıldığı Doğrusal Regresyon Analizi ve diğer yöntemlerdeki kısıtlamalar nedeniyle kentsel ulaşım modellemesi için toplulaştırılmış (aggregate) verilerin analiz ihtiyaçlarını yeterince karşılamadığı sonucuna varılmış ve ayırık (disaggregate) modelleme yaklaşımı ile Kesikli Tercih Modelleri (KTM) geliştirilmiştir. KTM'ler, genellikle hane halkı anketlerindeki bireysel düzeydeki verilere göre kalibre edilir. Modelleri ayırık düzeylerde tahmin etmek, yolculuk üretim modellerinin diğer süreçlere aktarılabilme kolaylığını artırmaktadır (Stopher ve McDonald, 1983; Koppelman ve Pas, 1984; Rose ve Koppelman, 1984; Ben-Akiva ve Lerman, 1985; Ben-Akiva vd., 1996; Wang, 1996; Páez vd., 2007; Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011).

Yaygın kullanılan yöntemlere göre bahsi geçen kısıtlamaların üstesinden gelebilecek RFM ÇTL ve RPM modelleri tez çalışmasındaki esas model yapısını oluşturmaktadır. Modellerin oluşturulması için 2015 yılında Ögüt vd. (2017) tarafından raporu hazırlanan Eskişehir Ulaştırma Ana Planı'nın Revizyonu Çalışması (EUAP 2035) için yapılan hane halkı anketlerine ait veriler kullanılmıştır. Öncelikle, çalışma bölgesi 177 farklı TAB'a ayrılmış ve TAB'lardan üretilen yolculuklar hane halkı anketlerine ait ayırık veri seti kullanılarak yolculuk amacına göre RFM ÇTL ile modellenmiştir. Anket verisi bulunmayan TAB'lardan üretililecek yolculukların tahmin edilebilmesi için TAB'ların özellikleri dikkate alınarak K-ortalamlar Kümeleme Analizi (K-means Cluster) yöntemi ile gruplandırma işlemi yapılmıştır. Veri bulunmayan TAB'lardaki bireylerin amaçlarına göre ürettikleri yolculuklara ait payların aynı kümede veri bulunan diğer TAB'lardaki model

tahmin ortalamaları ile benzer oldukları varsayılarak bütün TAB'ların nüfusları oranında büyütülmüş yolculuk üretimleri tahmin edilmiştir. Yolculuk çekimi tahminleri için TAB'lar çekim potansiyellerine göre Kümeleme Analizi ile gruplara ayrılmış ve ardından Hibrit RFM-RPM yöntemi ile çekim modeli oluşturulmuştur. Benzer çekim özelliğine göre aynı grupta bulunan TAB'ların çekeceği yolculuklar, ilgili çekim modelindeki seçeneğe özgü değişkenler dikkate alınarak, grup içi uzaklıklara (distance) göre olasılıklarılandırılarak hesaplanmıştır. Nüfus ölçeğinde tahmin edilen toplam yolculuk üretiminin çekim modeli sonucunda elde edilen ilgili gruba çekilme olasılığı ve ilgili TAB'ların grup içi uzaklığına göre hesaplanan çekim olasılıkları çarpılarak toplam yolculuk çekimleri tahmin edilmiştir. Modelleme çalışmaları, açık kaynak kodlu istatistiksel hesaplama ve veri analiz yazılımı R-Studio kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Ripley, 2001; Dessau ve Pipper, 2008; Hess ve Palma, 2019; R Studio, 2021).

Önerilen yolculuk üretim ve çekim modelleri sayesinde, geleneksel yöntemde olduğu gibi bütün aşamaların birbirinden bağımsız süreçler olarak değerlendirilmesinin yerine birbirini dinamik olarak etkileyen modeller şeklinde kurulabilmesi mümkün olmaktadır. Uygulamada genellikle; toplulaştırılmış ve sürekli veri setinin kullanıldığı, farklı özelliklerdeki değişkenlerin kullanımının kısıtlandığı, birçoğu deterministik (belirlenimsel) olan yöntemler tercih edilmektedir. Ancak gerçek hayatta neredeyse her süreç stokastik (olasılıksal) olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle yolculuk üretimi aşamasında kurulan Doğrusal Regresyon Modelleri, katsayı değer ve işaretlerine bağlı olarak bazı TAB'lar için hesaplanan yolculuk sayılarının negatif çıkmasına neden olabilir. Ayrıca bu yaklaşımlarla bireylerin tercihlerinden veya TAB'lardaki yolculuk amacı paylarından biri olan “yolculuk yapmama” durumunun modellenmesi oldukça güçtür. Daha doğru tahminlerin yapılabilmesine olanak tanıyan, sürekli ve süreksiz verilerin bir arada kullanabildiği KTM'lerin tercih edilmesi hem günümüz koşullarında hem de gelecekte yaygınlaşması öngörülen büyük verinin hızlı ve doğru analiz edilebilmesi için kullanılacak yapay zekâ ve makine öğrenmesi tekniklerinin de bu yöntemlerin bir parçası olduğu dikkate alındığında daha uygun olacaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde ulaştırma planlaması ve DAM için kısa tarihsel gelişim özetlendikten sonra tez kapsamında modellerin önerildiği DAM'daki yolculuk üretim ve çekim modelleri için daha önce geliştirilen yöntemler incelenmiştir. Ayrıca, tez çalışmasında önerilen modellerin temelini oluşturan ÇTL ve 2008 yılında ilk kez ulaştırma alanında kullanılan RPM modelleri için literatürdeki çalışmalar kısaca özetlenmiş ve bu modellerin metodolojisi “Yöntem” bölümünde detaylı olarak irdelenmiştir. Yöntem kısmında DAM ve modelleme yaklaşımlarına ait teknik detaylar verildiği için bu bölümde çalışmaların teknik olmayan yönlerinden bahsedilerek tarihsel gelişimi gösterilmiştir.

Ulaştırma planlama çalışmaları ve ulaştırma modellemesi 1950’lerde Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD) çalışmaları başlatılan ulaştırma analizi sürecinin bir bileşeni olarak geliştirilerek analitik yöntemlerin ilk uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Mitchell ve Rapkin (1954) tarafından yapılan öncü çalışmada, yolculuklar ile etkinlik ve arazi kullanımı arasındaki bağlantı kurulmuş ve yolculuk davranışı ile ilgili fikirler ortaya konmuştur. 1950’lerin başlarında yolculuk üretim ve dağıtım modellerindeki gelişmeler sayesinde Chicago Bölge Ulaştırma Çalışması kapsamında hazırlanan arazi kullanımı ve ekonomik değerlendirme modeli DAM’ın karayolu odaklı ilk kapsamlı uygulamasını oluşturmuştur (Weiner, 1997; McNally, 2016).

ABD’de 1960’larda DAM; sürekli, kapsamlı ve işbirlikçi kentsel ulaşım planlaması gerektiren federal mevzuat ile kurumsal hale getirilmiştir. 1970’lerde ise planlama ve modelleme çalışmalarına çevresel etkiler ve çok modlu planlama mevzuata dahil edilmiştir. İlk model yaklaşımlarının yeni politikaların değerlendirilebilmesi için yeterli olmaması nedeniyle yapılan araştırmalar, DAM ile çok iyi uyum sağlayan ayırık yolculuk talep tahmini ve denge atama yöntemlerinin gelişmesini sağlamıştır (McNally, 2016).

1970’lerin sonlarında yolculuk tahminine "hızlı tepki" yaklaşımları getirilmiştir (Sossau vd., 1978; Martin ve McGuckin, 1998). Bu yaklaşımlar da daha sonra etkinlik tabanlı yolculuk tahmin çalışmaları için öncü olmuştur (Wang, 1996; McNally, 2016). 1980’lerde DAM’ın değişen politikalara uyum sağlamakta zorlanması, 1991 yılında ABD’de

“Seyahat Modeli Geliştirme Programı” çalışmalarının başlatılmasına neden olmuş ve güncel sorunlara çözüm üretebilecek şekilde geleneksel model uygulamalarının iyileştirilmesini ve yeni yöntemlerin geliştirmesini teşvik etmiştir (McNally, 2016).

Literatür incelendiğinde, ulaştırma planlama kapsamında yolculuk talep tahmini çalışmalarında kullanılmak üzere birçok yöntem olduğu görülmektedir: Doğrudan Talep Tahmin Modeli (Carey ve Revelli, 1986; Tian ve Ewing, 2017), Dinamik Modelleme (Meurs, 1990; Di Donna vd., 2015), Yolculuk Zinciri (Goulias ve Kitamura, 1991; Golob, 2000), Yapay Sinir Ağları (Goel ve Sinha, 2008; Peng vd., 2010; Deng vd., 2014), Genetik Algoritma (Kalić ve Teodorović, 2003; Peng vd., 2010; Yang vd., 2016), Etkinlik Tabanlı Model (Wang, 1996; Bowman ve Ben-Akiva, 2001; Castiglione vd., 2014), Lojit Model (Domencich ve McFadden, 1975; Daly ve Zachary, 1978; Safwat ve Magnanti, 1988; Hu, 2010), Probit Model (Monzon vd., 1989; Bwambale vd., 2015) ve Tobit Model (Cotrus vd., 2005) yaklaşımları yolculuk talep tahmin modellemesi için literatürde kullanılan bazı modellerdir (Ben-Akiva ve Lerman, 1985; Ortúzar ve Willumsen, 2011). Tez çalışması kapsamında geliştirilen yolculuk üretim ve çekim modelleri için yaygın olarak kullanılan yöntemler ise Doğrusal Regresyon Analizi ve Kategori Analizidir (Douglas ve Lewis, 1970; Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Kara, 2019).

Levinson (1976) ve Bruton'a (1985) göre yolculuk yapma; bölgede ikamet eden ve yolculuk yapanların sosyoekonomik özellikleri, bölgenin arazi kullanımı ve fiziksel özellikleri ile bölgedeki gelişmelere ait temel etmenlerin bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Buna göre yapılan çalışmalar ya bölgenin özelliklerine göre toplulaştırılmış verilerle ya da yolculuk üreten hanelere veya yolculuk yapan bireylere ait ayrık verilerle modellenmiştir (Ben-Akiva vd., 1996; Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011). Toplulaştırılmış yolculuk üretim modellerinde; arazi kullanımı ve konuma ait özellikler (Douglas ve Lewis, 1970; Bruton, 1985; Páez vd., 2007), nüfusun sosyoekonomik karakteristikleri (Shuldiner, 1962; Taylor, 1968), kentleşme düzeyi (Shuldiner, 1962), yoğunluk ve tıkanıklık (Stopher ve McDonald, 1983; Bruton, 1985) parametreleri literatürde yaygın olarak kullanılan etmenlerdir. Ayrık yolculuk üretim modelleri için hane verilerine göre hane geliri, araç sahipliği, hane halkı yapısı ve büyüklüğü, çocuk sayısı, ev sahipliği, konut tipi ve değeri (Shuldiner, 1962; McDonald ve Stopher, 1983; Stopher ve McDonald, 1983; Bruton, 1985; Takyi, 1990; Agyemang-Duah vd., 1995; Schmöcker vd., 2005), yaşam

tarzı ve döngüsü (Allaman vd., 1982; Chicoine ve Boyle, 1984; Ortúzar ve Willumsen, 2011); bireylere ait verilere göre, ehliyet sahipliği, yaş, çalışma durumu ve meslek (Bruton, 1985; Agyemang-Duah vd., 1995; Páez vd., 2007), uzaktan çalışma durumu (Henderson vd., 1996; Koenig vd., 1996), internet üzerinden alışveriş yapma durumu (Farag vd., 2003; Lenz, 2003) etmenlerinin yolculuk yapma üzerine etkili olduğu literatürdeki çalışmalarla gösterilmiştir. Yolculuk çekim modellerinde benzer değişkenlerin kullanıldığı görülmekte birlikte yolculuğun yapıldığı bölgenin nüfusu, arazi kullanımı ve sosyoekonomik karakteristikler gibi etmenlerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Taplin, 1997; Ortúzar ve Willumsen, 2011; George ve Kattor, 2013; Amavi vd., 2014; Arliansyah ve Hartono, 2015; Agustin ve Waloea, 2017).

Kara (2019) tarafından yapılan tez çalışmasında, yanlı (biased) ve sağlam (robust) regresyon teknikleriyle Eskişehir'deki ev tabanlı hastane yolculukları için toplulaştırılmış veriler kullanılarak üretim ve çekim modelleri geliştirmiştir. Üretim modelinde; ortalama yaş, ortalama gelir, ortalama hane büyüklüğü, ortalama özel otomobil sayısı, öğrenci sayısı, istihdam ve nüfus; çekim modelinde hastane yatak sayıları ve aile sağlığı merkezlerinin sayıları kullanılmıştır. 2001 yılında yapılan EUAP çalışmasındaki verilerin eğitim verisi olarak kullanıldığı çalışmada, 2015 yılına ait hastane yolculuklarının sayıları tahmin ederek EUAP 2035 hane halkı anketi verileri ile karşılaştırılmıştır.

Hu'nun (2010) yolculuk üretim ve erişilebilirlik modeli için ÇTL modelin kullanılabilirliğini araştırdığı tez çalışmasında, Doğrusal Regresyon Analizi, Kategori Analizi, Sınıflandırma Analizi, İkili Lojit (İL), YL ve ÇTL model sonuçlarını karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yolculuk üretim modeli için Lojistik Regresyon Analizi (seçim kümesine göre İL veya ÇTL) kullanmanın uygun olduğuna ve yolculuk üretim tahmininin en iyi ÇTL model ve Doğrusal Regresyon Analizi kullanılarak yapılabileceğine dair güçlü kanıtlar sunulmuştur. Yapılan çalışmada, ÇTL model sayesinde üretilen yolculuk sayılarının tespit edilebilmesinin yanı sıra yolculuk sıklığının da tahmin edilebileceği gösterilmiştir.

Schmöcker vd. (2005) Sıralı Probit Model kullanarak yaşlı ve engelli insanların iş, alışveriş, kişisel ihtiyaçlar (bankacılık, kamu kurumu işlemleri vb.) ve eğlence yolculuk amaçları için yolculuk sayılarını tahmin eden bir yolculuk üretim modeli geliştirmiştir.

Modelde; bireylerin yaşı, cinsiyeti, etnik kökeni, hane halkı yapısı, hane geliri, ehliyet, otomobil ve ev sahipliği gibi sosyoekonomik etmenlerin yanında yürüme, görme, duyma ve anlama güçlüğü gibi fiziksel engel durumlarını içeren bireysel veri seti kullanılmıştır. Model sonucuna göre hane halkı yapısı, gelir, otomobil sahipliği, ehliyet sahipliği ve fiziksel engel durumlarının bireylerin yolculuk yapma sıklığı ve yolculuk uzunluğu üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Vrtic vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, İsviçre Ulusal Modeli için eşzamanlı Yuvalanmış Lojit (YL) model üzerine inşa edilmiş iki boyutlu kısıtlı ayrıık yolculuk üretim, dağıtım ve tür tercih modeli geliştirilmiştir. Yolculuk üretim ve çekiminde etkili olabilecek parametrelerden yolculuk süresi, ücret, varış süresi, otomobil sahipliği, yaş, gelir gibi bireysel etmenlerin yanında eğitim kurumu, eğlence ve alışveriş merkezi, iş ve işçi sayıları gibi bölgesel veriler tahmin modelinde kullanılmıştır. Eşzamanlı yolculuk amaç çiftlerine göre oluşturulan tahmin modelinde Ev-İş ve İş-Ev yolculukları yalnızca istihdam edilen bireyler için hesaplanırken okul, alışveriş, eğlence, kişisel ihtiyaçlar gibi diğer bütün yolculuk amaç çiftlerinin payları bütün bireyler için hesaplanmıştır.

McFadden'ın (1974 a) önerdiği ÇTL'den sonra sürekli geliştirilen Rastgele Fayda Teorisi tabanlı KTM'ler, bireylerin seçim davranışlarını açıklamak ve çok çeşitli bağlamlarda ürün ve hizmetler için pazar paylarını öngörmek için kullanılmıştır. Yöntem yıllardır; tıbbi araştırmalar, tüketici seçimi, çevre ekonomisi, ulaştırma talep tahmini ve güncel yapay zekâ ve makine öğrenmesi çalışmaları gibi birçok farklı alanlardaki analizler için kullanılmaktadır. McFadden (1974 a) tarafından yapılan öncü çalışmadan sonra Lojit modeller farklı yaklaşımlarla sürekli olarak gelişme göstermiş ve birçok araştırmaya konu olmuştur. Seçim kümesinde iki seçeneğin bulunduğu İL ve ÇTL (McFadden, 1974 a, 1974 b, Ben-Akiva ve Lerman, 1985; Hu, 2010) temel yaklaşımlar olmak üzere; bireysel ölçekte farklı parametre tahmini yapılabilen Karma Lojit (KL) (Schmidt ve Strauss, 1976; McFadden ve Train, 2000; Hensher ve Greene, 2003; Train, 2009), ilişkili seçeneklerin ortak gruplarda birleştirilerek değerlendirildiği YL (Daly ve Zachary, 1978; Wen ve Koppelman, 2001; Hu, 2010), seçenekler arasında sıra gözetilen Sıralı Lojit (SL) (Van Dijk ve Pellenbarg, 2000; Borooah, 2002; Menard, 2002; R. Williams, 2016) literatürdeki diğer temel Lojit yaklaşımlarıdır. Literatürde, burada bahsedilen temel Lojit modellerinin eksikliklerini veya kısıtlarını ortadan kaldıracak şekilde daha gelişmiş modeller (Greene ve

Hensher, 2003; Papola, 2004; Bierlaire, 2006; Bashir ve Carter, 2010) de bulunmaktadır. Çizelge 2.1’de ise yalnızca temel Lojit modellerinin tarihsel gelişim süreci özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Lojit modellerin tarihsel gelişim süreci

Model Yöntemi	Kısa Adı	Kaynaklar
İkili Lojit <i>Binary Logit</i>	İL <i>BL</i>	(McFadden, 1974a, 1974b; Ben-Akiva ve Lerman, 1985; Hu, 2010)
Çok Terimli Lojit <i>Multinomial Logit</i>	ÇTL <i>MNL</i>	(McFadden, 1974a, 1974b; Ben-Akiva ve Lerman, 1985; Hu, 2010)
Karma Lojit <i>Mixed Logit</i>	KL <i>ML</i>	(Schmidt ve Strauss, 1976; McFadden ve Train, 2000; Hensher ve Greene, 2003; Train, 2009)
Yuvalanmış Lojit <i>Nested Logit</i>	YL <i>NL</i>	(Daly ve Zachary, 1978; Hu, 2010; Wen ve Koppelman, 2001),
Sıralı Lojit <i>Ordered Logit</i>	SL <i>OL</i>	(Van Dijk ve Pellenbarg, 2000; Borooah, 2002; Menard, 2002; R. Williams, 2016)

RFM tabanlı yaklaşımlarda bir seçeneğin performansı diğer seçeneklerden etkilenmemektedir. Gerçekte ise insanlar seçeneklerden bağımsız olarak yalnızca faydalarını maksimize eden seçeneği tercih etmekten ziyade diğer seçeneklerin performansına bağlı olarak yaşayacakları memnuniyetsizlikten kaçınmak isteyebilirler. Bu durumda seçenek kümesindeki herhangi bir seçeneğe özgü değişim tercihi etkiyebilir. Diğer bir ifadeyle, bir seçeneğin performansı, diğer seçeneklerin performansına bağlı olabilir. Bu çerçevede, Chorus vd. (2008) tarafından Rastgele Pışmanlık Teorisi tabanlı RPM modeli önerilmiştir. Literatürde Lojit modellerle ilgili sayısız çalışma bulunması ve RPM modellerinin yeni yaklaşımlar olması nedeniyle bu kısımda RPM model yaklaşımlarına ait literatür özetine, RFM’ye göre daha fazla yer verilmiştir. “Yöntem” bölümünde ise her iki yaklaşıma ait teknik bilgiler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Chorus vd. (2008) tarafından yapılan çalışma kapsamında öncelikle üç farklı alternatif ulaşım türünün bulunduğu sentetik bir veri seti kullanılarak Temel RPM (T-RPM) model yaklaşımı tanıtılmış, ardından yolculuk amaçlarına göre çok türlü yolculuk simülatörü kullanılarak bireylerin sanal ortamda yaptıkları tür tercihlerine göre elde edilen veri setiyle KL model kullanarak oluşturduğu RFM ve RPM tabanlı tercih modellerini karşılaştırmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre bireylerin seçilmemiş bir seçeneğin seçilenden daha iyi performans gösterme olasılığını tahmin etmeye ve bundan kaçınmaya eğilimli oldukları görülmüştür. Bütün bunlardan hareketle, bireylerin davranışlarının faydanın maksimize edilmesinden ziyade beklenen pişmanlıktan kaçınma yönünde olduğu anlaşılmaktadır.

Chorus (2010), 2008 yılında tanıttığı T-RPM modelinin ardından benzer şekilde bireylerin seçim yaparken önceden tahmin edilen ve vazgeçilen seçeneklere ilişkin pişmanlığı en aza indirmeyi amaçladığını varsayan Klasik RPM (K-RPM) modelini önermiştir. T-RPM modelinde pişmanlığın yalnızca vazgeçilen seçeneklerin en iyisi ile ilgili olarak yaşandığı varsayılırken önerilen K-RPM modelinde, bir veya daha fazla öznitelik açısından değerlendirilen bir seçenekten daha iyi performans gösteren tüm seçeneklere ilişkin pişmanlık yaşandığı varsayılmaktadır. Ayrıca önerilen modelin ÇTL'ye benzer yaklaşımla oluşturulmuş bir olabilirlik fonksiyonuna sahip olması sayesinde model parametreleri mevcut KTM yazılımlarıyla tahmin edilebilmektedir. Çalışmada önerilen modelde farklı veri setleri kullanılarak RFM ÇTL model ile ampirik olarak karşılaştırılmış, K-RPM modelinin bu veriler üzerinde oldukça iyi performans gösterdiği ve nispeten sağlam bir tercih modeli olabileceğini ortaya konmuştur.

RPM modelinde, seçeneğe göre farklılık göstermeyen ve faydacıl olan değişkenler (sosyoekonomik göstergeler vb.) için pişmanlık kavramı söz konusu olamayacağından bu değişkenlerin modele fayda olarak katılması ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla, Chorus (2012 b) tarafından RFM ve RPM yaklaşımlarının birlikte kullanılabileceği Hibrit RFM-RPM modeli önerilmiştir.

Chorus (2014) tarafından yapılan diğer çalışmada, RFM ve RPM arasındaki farklılıklardan ziyade iki yaklaşımın birbiriyle bağlantılı olabileceğinin ortaya konulduğu Genelleştirilmiş RPM (G-RPM) modeli geliştirilmiştir. G-RPM modelinin K-RPM modelinden farkı, pişmanlık fonksiyonlarındaki sabitin (1) pişmanlık ağırlığına (γ) dönüştürülmesi şeklinde oluşturulmuştur. Sentetik veri seti ile yapılan ampirik analiz sonuçlarına göre, önerilen G-RPM modeli ile pişmanlık davranışı ve fayda davranışı arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. G-RPM model tahmini yapılarak hangi özelliğin fayda veya pişmanlık temelli bir öznitelik olarak işlenmesinin daha uygun olacağı tespit edilmiş ve bu bilgiye dayalı Hibrit RFM-RPM model oluşturulmuştur.

Cranenburgh vd. (2015) çalışmalarında, tahmin edilen parametrelerin ve karar kuralının birbiriyle olan ilişkisini açıklamış ve pişmanlık minimizasyonu davranışının derecesini ifade eden “pişmanlık derinliği” kavramını ortaya koymuştur. Ampirik verilerin kullanıldığı çalışma kapsamında K-RPM modelindeki değişkenlerin katsayılarının bir ölçek parametresine (μ) oranlandığı Ölçekli RPM (O-RPM) model tanıtılmıştır. Ayrıca önerilen O-RPM modelindeki ölçek parametresinin sıfıra yakınsaması ($\mu \rightarrow 0$) özel durumundan türetilen Saf RPM (S-RPM) modeli geliştirilmiştir.

RPM model yaklaşımlarının tanıtıldığı öncü çalışmaların ardından literatürde RPM model kullanılarak yapılan bazı ulaştırma talep tahmin model çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen RPM model yöntemleri ve tarihsel gelişim süreçleri Çizelge 2.2’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen Chorus vd. (2009) T-RPM model kullanarak mekânsal seçim davranışı için fayda maksimizasyon ve pişmanlık minimizasyon modelleri arasında ampirik bir karşılaştırma yapmıştır. Bekhor vd. (2012) RFM ÇTL model yerine T-RPM ve K-RPM model yaklaşımlarını kullanarak stokastik kullanıcı denge problemini formüle ederek güzergâh tercih modeli geliştirmiştir. Benzer şekilde, Mai vd. (2015) çalışmasında, T-RPM, K-RPM ve G-RPM model yaklaşımlarını kullanarak RFM ÇTL model ile karşılaştırmalı güzergâh tercih modelleri oluşturmuş ve tercih modellerinde RPM modellerin kullanılabilirliğini göstermiştir.

Chorus (2012 c) ve Dekker (2014) K-RPM model yaklaşımı ile zaman değeri hesaplamaları yapmış ve tezin yöntem kısmında “RFM ve RPM yaklaşımlarındaki benzerlik ve farklılıklar” başlığı altında detayları açıklanan RFM ÇTL’den farklarını ortaya koymuştur. Li vd. (2018) bir kent içi raylı sistem ağında yolcuların güzergâh tercihi davranışını incelemek için Hibrit RFM-RPM modeli ile sefer tarifesi tabanlı (schedule-based) atama modeli önermiştir. Belgiawan vd. (2019) çalışmalarında, K-RPM model yöntemi ile tür tercihinde yolculuk ücretinin etkilerini araştırmıştır. Luan vd. (2021) Çin’de yapılan anket verilerini kullanarak Koronavirüs (COVID-19) salgınının tür tercihi ve otomobil satın alma eğilimini nasıl etkileyeceğini RFM ÇTL, K-RPM ve G-RPM model ile araştırdığı çalışmalarında, bireylerin tür tercihi yaparken başlangıçta salgın nedeniyle kaçınma psikolojisindeyken bir süre sonra faydalarını maksimize edecek şekilde davrandıklarını ortaya koymuştur.

Çizelge 2.2. Rastgele pişmanlık minimizasyon (RPM) modellerinin tarihsel gelişim süreci

Model Yöntemi	Kısa Adı	Kaynaklar
Temel Rastgele Pişmanlık Minimizasyon <i>Random Regret Minimization (2008)</i>	T-RPM <i>RRM2008</i>	(Chorus vd., 2008, 2009; Bekhor vd., 2012)
Klasik Rastgele Pişmanlık Minimizasyon <i>Random Regret Minimization (2010)</i>	K-RPM <i>RRM2010</i>	(Chorus, 2010, 2012 c; Bekhor vd., 2012; Chorus vd., 2014; Dekker, 2014; Belgiawan vd., 2019; Luan vd., 2021)
Genelleştirilmiş Rastgele Pişmanlık Minimizasyon <i>Generalized Random Regret Minimization</i>	G-RPM <i>G-RRM</i>	(Chorus, 2014; Mai vd., 2015, 2017; Luan vd., 2021)
Ölçekli Rastgele Pişmanlık Minimizasyon <i>Random Regret Minimization with Scale Parameter</i>	O-RPM <i>μRRM</i>	(Cranenburgh vd., 2015)
Saf Rastgele Pişmanlık Minimizasyon <i>Pure Random Regret Minimization</i>	S-RPM <i>P-RRM</i>	(Cranenburgh vd., 2015)
Hibrit Rastgele Fayda Maksimizasyon ve Rastgele Pişmanlık Minimizasyon <i>Hybrid Random Utility Maximization and Random Regret Minimization</i>	Hibrit RFM-RPM <i>Hybrid RUM-RRM</i>	(Chorus, 2012 b; Chorus vd., 2014; Li vd., 2018)

Literatür incelendiğinde, RFM ÇTL ve RPM modelleri ulaştırma modelleri için genellikle tür tercihi ve atama modelleri için kullanılmıştır. Yolculuk üretimi ve çekiminin modellenmesi için RFM ÇTL yaklaşımları ile yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır. RPM modelin henüz görece yeni bir model yöntemi olması nedeniyle tam anlamıyla yolculuk üretim veya çekim modelleme çalışması bulunmamaktadır.

3. YÖNTEM

Bu bölümde, tez kapsamında araştırılan modellerden önce temel ulaştırma planlaması ve geleneksel Dört Aşamalı Model kısaca sunulmuş, ardından tez konusu kapsamında kullanılan modeller ve yöntemler detaylıca açıklanmıştır.

3.1. Ulaştırma Planlaması

Ulaştırma planlaması, gelecekteki ihtiyaçları karşılayacak şekilde insanların veya yüklerin istenilen noktaya ulaştırılması amacıyla oluşturulacak politika, hedef, yatırım ve mekânsal planlama tasarımlarının bütünü olarak ele alınabilir. Bu kapsamda ulaştırma planlaması; ülkenin tamamında, belirlenen bir bölge veya koridorda da uygulanabileceği gibi yoğunlukla kent ölçeğinde de değerlendirilmektedir. Planlama süreci, karar vericilere gelecekteki ulaşım ağı hakkında tahminleri sağlayabilmesi sayesinde alternatif yatırımların ulaşım sisteminde oluşturacağı değişiklikleri analiz etme olanağı tanımaktadır. Bu sayede, en uygun yatırımın tercih edilmesine ve kentin daha sürdürülebilir ulaşım sistemine sahip olmasına katkı sağlanmaktadır.

Ulaştırma modellemesi, ulaştırma planlama sürecinde en önemli role sahip unsur olmakla birlikte planlama sürecinin tamamını kapsamamaktadır. Ulaşım modellemesi, karar verme sürecinde ve planlamadaki etkili bir yardımcı olarak benimsenmelidir. 1970'lerin ortalarından itibaren geliştirilmeye başlanan ulaştırma modelleri, başlangıçta akademik dergilerin dışında çok fazla ilgi görmese de geliştirme çalışmalarının artması ve modellerin uygulanmaya başlamasıyla ulaşım planlamasını desteklemede modellemenin rolü yıllar geçtikçe daha iyi anlaşılmıştır. (Ortúzar ve Willumsen, 2011).

Ulaştırma planlama sürecinde dikkate alınan etmenler genellikle aşağıdaki gibidir:

- Kaynakların etkili ve verimli kullanılması,
- Toplu taşımaya ve çevre dostu ulaşım sistemlerine öncelik verilmesi,
- Konfor ve güvenliğin sağlanması,
- Karbon salımı ve gürültü kirliliğinin azaltılması,

- Türler arası bütünleşmenin (entegrasyon) sağlanması.

Türkiye’deki ulaştırma planlama çalışmaları Türkiye Belediyeler Birliği (TBB) (2014) tarafından hazırlanan Ulaşım Planlama Çalışmaları ve Ulaşım Ana Planı Hazırlama Kılavuzu’na göre aşağıdaki üç başlık altında değerlendirilmektedir:

- Ulaşım Ana Planı Hazırlanması
- Acil Eylem Ulaşım ve Trafik İyileştirme Plan, Etüt ve Projelerinin Hazırlanması
- Raylı Sistem/Metrobüs/Kablolu Sistem Hatları Ön/Kesin Projeleri ve Fizibilite Etütlerinin Hazırlanması

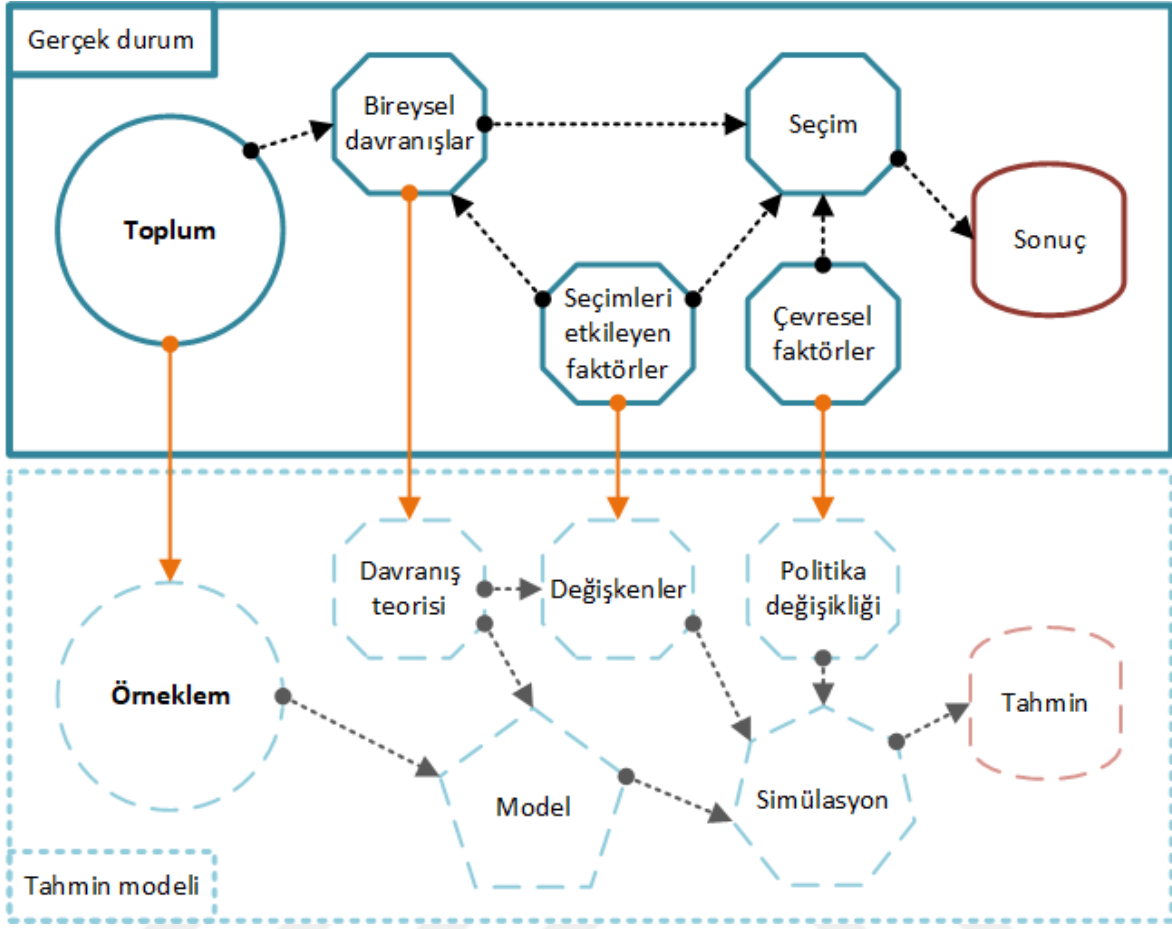
TBB’ye göre Ulaşım Ana Planı (UAP) “Metodolojik bir süreç izleyen ve matematiksel yöntemler ile talep tahmin modellerinin kurulumunu amaçlayan, kentlerin 15-20 yıllık veya imar planları kestirim yılındaki hedefler doğrultusunda kapsamlı bir çalışma.” şeklinde tanımlanmıştır. Kent merkezlerinde artan nüfus, özel otomobil sahipliği, çarpık kent yapısı, plansız kentleşme, azalan kaynaklar ve artan çevre kirliliği gibi unsurlar kent içi ulaştırma sorunlarının etkili bir şekilde çözülmesini zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, özellikle büyük kentler (metropol) başta olmak üzere bütün yerel yönetimler, kent içi ulaştırma sorunlarından çevresel ve sosyal problemler ile enerji ve sürdürülebilirlik alanlarındaki sorunları bilimsel yöntemlerle çözümleme sorumluluğunu üstlenmelidir. Bu kapsamda kent içi ulaşımın temel alınan yıl ile hedef yıllar için stratejik kentsel plan kararları da dikkate alınarak analiz edilmesi ve düzenlenmesi gerekmektedir. Kent içi ulaştırma sistemlerinden toplu taşıma sistemleri, yaya ve bisiklet gibi çevreci ulaşım türlerine öncelik verilerek trafik sorunlarına çözüm üretilmelidir. Ayrıca, toplu taşıma ve ara toplu taşıma (paratransit) sistemlerinin bütünleşmesi ile bu sistemlerin durak ve terminal alanlarının düzenlenmesi gerekmektedir. Özel otomobil ve diğer sistemler dahil olmak üzere ulaşım türlerinin aktarma olanakları geliştirilmelidir. Bütün bu süreç yalnızca bilimsel yöntemlerle hazırlanmış bir UAP ile mümkün olabilir (TBB, 2014).

UAP, kent içi ulaşımın ve trafiğin altyapısı ile işletmeciliğinin düzenlenmesi, Nazım İmar Planı kararlarındaki strateji ve gelişme önerileri kapsamında ulaşımın çözümlenmesi, toplu ulaşım ve diğer çevreci sistemlere öncelik verilerek kentteki mevcut ve gelecek için beklenen ulaşım sorunlarının uzun vadeli yaklaşımlarla çözümlenmesi için geliştirilen

planlama kararları ve ilkelerinin bütününe kapsayan bir çalışma olmalıdır. UAP; detaylı hane halkı anketi, trafik sayımları, hız ve kuyruk ölçümleri gibi saha çalışmaları, ulaştırma talep tahmin modellerinin hazırlanması ve farklı ulaştırma senaryolarını içeren zahmetli aşamalardan oluşmaktadır (Şekil 3.1). Bu nedenle bahsi geçen UAP çalışmalarının istenen nitelikte hazırlanması için nüfusu 250.000 üzerinde olan belediye ve büyükşehir belediyelerinin uygulaması, nüfusu 100.000 ile 250.000 arasında olan belediyelerin ise öncelikli olarak kısa vadeli ulaştırma planlama çalışmaları yapmasının maliyet ve zaman kaybını önlemek amacıyla daha verimli olacağı belirtilmiştir. 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanununa dayanılarak 09.06.2008 tarih ve 26901 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Ulaşımda Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmeliğin “Kentsel Ulaşım Planları” başlığı altında; “Madde 10 – (1) Büyükşehir belediyeleri ve büyükşehir belediyesi sınırları dışındaki belediyelerden nüfusu 100.000 üzerinde olanlar ulaşım ana planı hazırlarlar. Bu planlar on beş yıllık süreler için yapılır ve her beş yılda bir yenilenir. Şehir planları ile sürdürülebilir kentsel ulaşım planları birlikte ele alınır.” denilmektedir (T.C. Ulaştırma Bakanlığı, 2008; Ortúzar ve Willumsen, 2011; TBB, 2014).

TBB’ye (2014) göre UAP hazırlama aşamalarındaki temel iş kalemleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Mevcut bilgilerin toplanması ve değerlendirilmesi
- Yeni bilgilerin toplanması ve değerlendirilmesi
- Ulaşım talep tahmin modeli kalibrasyonu ve doğrulanması
- Hedef yılı tahminleri ve kestirimleri
- Mevcut ve hedef yılı yapısındaki sorunların ve darboğazların belirlenmesi
- Alternatif sistemlerin geliştirilmesi ve oluşturulan modellerle test edilmesi
- Seçilen alternatifin UAP olarak hazırlanması



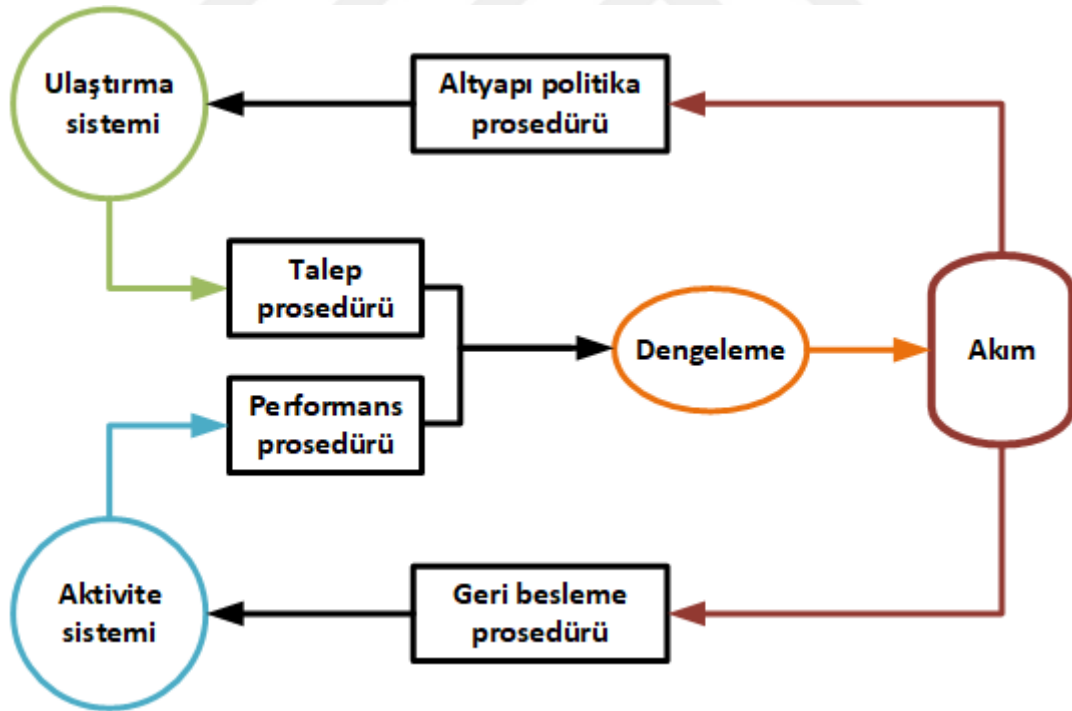
Şekil 3.1. Ulaştırma planlamada gerçek durum ve tahmin modeli

DAM, birçok bilim insanı tarafından yıllardır geliştirilmeye ve ulaştırma plancılar tarafından uygulanmaya devam edilmesi, birçok teknik veriye ulaşabilme olanağı, modelin yapısının basit ve anlaşılır olması gibi nedenlerle ulaştırma planlaması benimsenen en yaygın yöntemdir (Ortúzar ve Willumsen, 2011; McNally, 2016; Ögüt vd., 2017; Kara, 2019).

3.2. Dört Aşamalı Model

Ulaşım planlaması alanında uzun yıllardır süren çalışmalar, klasik ulaşım modeli olarak adlandırılan DAM yapısı ile sonuçlanmıştır. Bu yapı aslında 1960'lardaki sürekli, anlaşılabilir ve işbirliğine uygun olması istenen uygulamanın bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. O zamandan beri modelleme tekniklerindeki büyük gelişmelere rağmen halen kullanılan temel yapı neredeyse değişmemiştir (McNally, 2016).

DAM, Ulaştırma Sistem Analizinin (USA) özel bir uygulaması şeklinde gösterilebilir. Manheim (1979) tarafından tanıtılan ve Florian vd. (1988) tarafından geliştirilen temel USA yapısı DAM için kolay anlaşılır bir yaklaşımdır. Şekil 3.2’de gösterilen temel USA yapısında, ulaştırma ve etkinlik sistemine göre kullanıcılar ne zaman ve nasıl yolculuk yapacağına karar verir; işletmeciler de sistem çıktılarına göre ulaştırma sistemlerinde çizelgeleme, ücretler, filo, rotalama, tesisler vb. değişikliklere karar verir. Yönetimler ise sistem çıktılarına göre vergiler, sübvansiyonlar, kanunlar, yeni tesisler ve yolların inşası gibi konularda karar alırlar. Burada temel olarak DAM sürecini oluşturan talep ve performans süreçleridir. Dengeleme sürecinin farklı mekânsal düzeylerde tanımlanan talep ve performans süreçlerini çözüme ulaştırması beklenir. Bölgesel (zonal) düzeyde tanımlanan talep süreçleri ve bağlantı veya hat (link) düzeyinde tanımlanan performans süreçleri yol veya güzergâh düzeyinde birbirine bağlıdır. Yollar Başlangıç-Varış (Origin-Destination) çiftlerini birbirine bağlayan bağlantı veya hat dizilerinden oluşmaktadır (Manheim, 1979; Florian vd., 1988; Gerçek, 2015; McNally, 2016; Mathew, 2021).

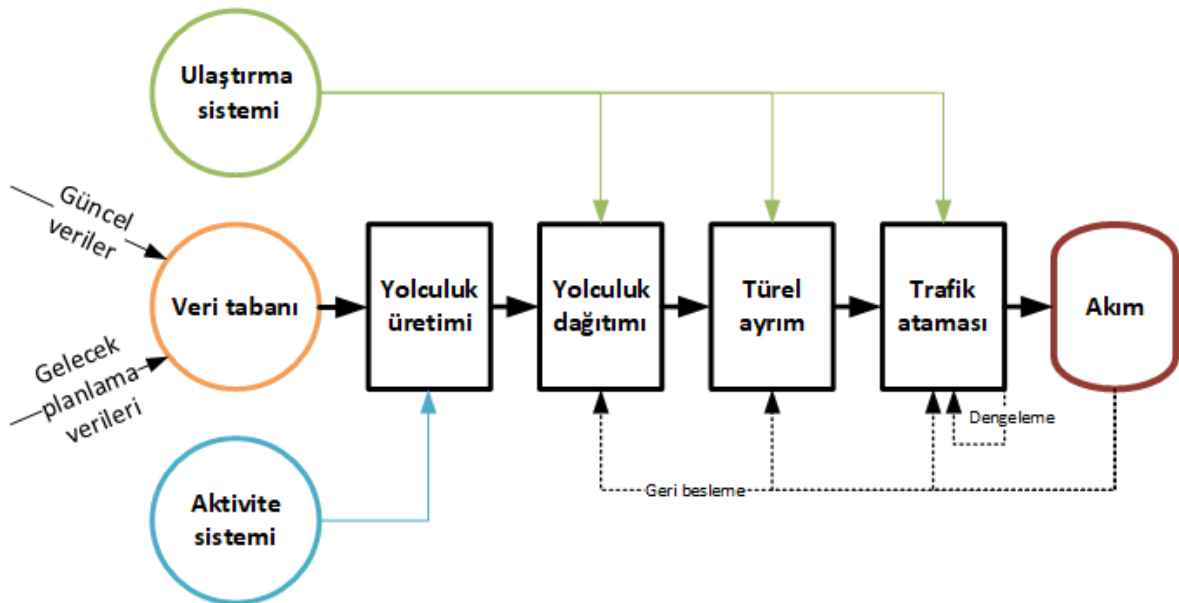


Şekil 3.2. Ulaştırma Sistem Analizi (USA) temel yapısı

DAM, tipik olarak bölgesel veya alt-bölgesel ölçekte tanımlanan bir ulaştırma sisteminin gelecekteki talebini ve performansını tahmin etmek için oluşturulmuş temel araçtır. Bu yapı gelecekteki talep ve performansı etkileyecek alternatif müdahalelerin

karşılaştırılmasına olanak sağlayacak şekilde politikalara duyarlı olmalıdır. Yolculuk tahmin modellerinin uygulanması sürekli bir süreçtir. Bu süreç veri toplama ve model tahmini çalışmalarından oluşmaktadır (Ben-Akiva, 2008; Ortúzar ve Willumsen, 2011; McNally, 2016).

DAM yaklaşımı Şekil 3.3'te gösterildiği gibidir. Bu yaklaşım; bölgeleme ve ağ yapısının oluşturulması, verilerin toplanması ve planlama yapısının işlenmesi, verilerin kalibrasyonu ve doğrulaması ile başlamaktadır. Modelde kullanılan veriler, çalışma alanında belirlenen alt bölgelerden toplanacak hane halkı yolculuklarını ve sosyoekonomik durumu içeren anketleri ve istihdam, alışveriş alanı, eğitim ve eğlence tesisleri gibi mekânsal ve ekonomik durumu gösteren bilgileri içermelidir. Bu veriler daha sonra temel DAM süreci olan sıralı dört aşamanın modellenmesinde kullanılacaktır. Birinci aşamada (yolculuk üretimi), çalışma alanının her bir bölgesi tarafından üretilen ve çekilen toplam yolculuk sayısının tahmin modeli geliştirilir. İkinci aşamada (yolculuk dağıtımı), üretilen yolculukların TAB'lar arasındaki çekimlerinin dağıtımı yapılır ve böylece Başlangıç-Variş matrisleri oluşturulur. Üçüncü aşama (tür tercihi), ulaşırma türlerinin seçiminin modellenmesini içerir. Geleneksel modeldeki son aşama olan dördüncü aşamada (trafik ataması), her bir ulaşırma türü (özel ve toplu ulaşım gibi) ile yapılan yolculukların ilgili ağlara ataması yapılır (Ortúzar ve Willumsen, 2011; McNally, 2016).



Şekil 3.3. Dört Aşamalı Model (DAM) temel yapısı

Ulaştırma talep tahmin modelleri üretilirken gerçek tercih (revealed preference) ve belirtilen tercih (stated preference) anketleri, planlama politikalarına ve ağ değişikliklerine yanıt olarak bireylerin seçim davranışını incelemeye yardımcı olacak değerli bilgiler sağladıkları için ulaşım çalışmalarında yaygın olarak uygulanmaktadır (Morikawa, 1994; Brownstone vd., 2000; Lavasani vd., 2017). Gerçek tercih anketlerinde, katılımcılardan yaptıkları gerçek yolculuk bilgileri alınırken belirtilen tercih anketlerinde katılımcıların çeşitli varsayımsal senaryolar üzerinden farklı koşullar altında yapabilecekleri tercihlere ait bilgiler toplanır. Belirtilen tercih çalışmaları genellikle mevcut olmayan seçenek bir ulaşım sisteminin açılması veya ulaşım türünün hizmete girmesi durumunda bireylerin tercih etme durumlarının ölçülebilmesi için plancılara fayda sağlamaktadır. Ancak katılımcılar ankete cevap verirken gerçek dünyada yapacakları tercihi belirtmek yerine farklı bir yanıt verebilirler. Bu duruma örnek olarak, normalde bireyler daha çevreci ulaşım türlerin daha faydalı olduğunu savunma eğilimdeyken, gerçek hayatta özel otomobil kullanımını tercih etmesi gösterilebilir (Brownstone vd., 2000; Lavasani vd., 2017).

3.2.1. Ulaştırma talep tahmin modeli yaklaşımları

Alternatif yöntem ve model yaklaşımlarını açıklamadan önce kullanılan verilerin yapısının açıklamak gereklidir. Literatür incelendiğinde, ulaşım talep tahmin modellerinde, toplulaştırılmış ve ayırık olmak üzere iki farklı yaklaşım olduğu görülmektedir.

3.2.1.1. Toplulaştırılmış model yaklaşımı

Toplulaştırılmış yaklaşımda genellikle bölgesel veriler tercih edilmekle birlikte hane halkı verileri de toplulaştırılarak esas alınabilir. Ayırık yaklaşımda ise hane halkı anketindeki bireysel veriler kullanılmaktadır. Toplulaştırılmış yolculuk üretim modelleri için genellikle konum, arazi kullanımı, nüfusun sosyoekonomik özellikleri, yoğunluk, kentleşme düzeyi gibi etmenler kullanılmıştır (Shuldiner, 1962; Douglas ve Lewis, 1970; Stopher ve McDonald, 1983; Bruton, 1985; Páez vd., 2007).

3.2.1.2. Ayrık model yaklaşımı

Ulaştırma planlamacılarının 1970'lerin başlarında, toplulaştırılmış kentsel ulaşırma modellemesi yaklaşımının analiz ihtiyaçlarını yeterince karşılamadığı sonucuna varmaları, KTM ve ayrıştırılmış modelleme yaklaşımının geliştirilmesine yol açmıştır. Ayrık modeller, hane halkı düzeyinde veya bireysel düzeydeki verilere göre kalibre edilir. Bu modeller, hane halkının veya bireyin etkinlikleri ve bunlarla ilgili yolculuk davranışına yol açan seçim süreçlerini açıkça hesaba katabilir (Ben-Akiva ve Lerman, 1985; Ben-Akiva vd., 1996). Ayrık model yaklaşımı toplulaştırılmış model yaklaşımından farklı olarak TAB'lardan üretilen toplam yolculuklar yerine bireysel düzeyde yolculuk sayısının veya sıklığının tahmin edilmesini sağlamaktadır. Modelleri ayrık düzeylerde tahmin etmek, yolculuk üretim modellerinin diğere süreçlere aktarılabilme kolaylığını artırmaktadır (Koppelman ve Pas, 1984; Rose ve Koppelman, 1984; Wang, 1996). Ayrık yolculuk üretim modelleri için genellikle hane halkı geliri, otomobil sahipliği, hane halkı büyüklüğü, ailedeki kişi ve çocukların sayısı, ev sahipliği, konut tipi ve değeri, yaşam tarzı gibi etmenler kullanılmıştır (Shuldiner, 1962; Stopher ve McDonald, 1983; Bruton, 1985; Takyi, 1990; Schmöcker vd., 2005).

3.2.2. Yolculuk üretimi

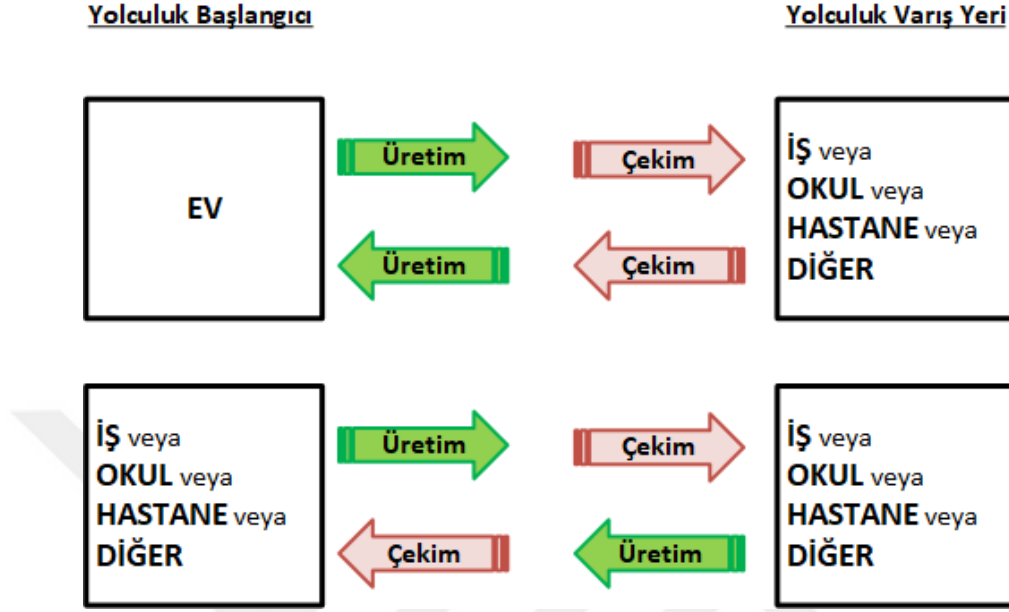
Geleneksel DAM'ın yolculuk üretimi aşamasında her bir TAB'dan oluşacak ve her bir TAB tarafından çekilecek yolculuk sayısının tahmin edilmesi hedeflenmektedir. Bu tahmin modeli birkaç farklı yaklaşımla gerçekleştirilebilir. Bu yaklaşımların birinde, her bir TAB'da ikamet eden bireylerin veya hanelerin ürettiği yolculuk sayıları ya da TAB bazında üretilen yolculuklar; nüfus, istihdam, otomobil sahipliği gibi sosyoekonomik özelliklere göre modellenerek tahmin edilebilir. Diğere bir yaklaşımda ise model yolculuk sıklığı tercih problemi şeklinde dikkate alınarak esas alınan bir süre zarfında bireylerin her bir yolculuk amacını kaç defa gerçekleştireceği modellenebilir (Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011; McNally, 2016; Tezcan, 2019).

Yolculuk üretim tahmin modeli yöntemlerinden bahsetmeden önce temel kavramların açıklanması gerekmektedir. Bunun için yolculuk, yolculuk amaçları, yolculuk

üretimi ve yolculuk çekimi kavramları aşağıdaki gibi açıklanmıştır (Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011; McNally, 2016):

- **Yolculuk:** Herhangi bir ulaştırma türüyle yapılan bir başlangıç noktasından bir varış noktasına yapılan hareket olarak tanımlanır. Yaya olarak yapılan yolculuklar da bu tanım içerisine dahil olmakla beraber araca veya durağa yürüme yolculuk tanımının dışında tutulur.
- **Yolculuk amaçları:** Ev tabanlı olup olmaması ve zorunlu olup olmaması birlikte değerlendirilecek şekilde farklı gruplara ayrılmıştır. Buradaki zorunlu yolculuklar ev tabanlı iş, ev tabanlı okul, ev tabanlı olmayan iş; isteğe bağlı yolculuklar ise ev tabanlı hastane, ev tabanlı diğer, ev tabanlı olmayan diğer vb. olarak ayrılmaktadır.
 - **Ev tabanlı yolculuklar:** Bir yolculuğun başlangıç veya varış noktasının ev olduğu yolculuk türüdür. Burada bir ucu iş veya okul ise zorunlu, başka bir yer ise isteğe bağlı yolculuk olarak değerlendirmeye alınır.
 - **Ev tabanlı olmayan yolculuklar:** Yolculuğun ne başlangıç ne de varış noktasının ev olmadığı yolculuklardır. Burada iş yolculukları hariç diğer yolculuklar isteğe bağlı yolculuk olarak dikkate alınır.
- **Yolculuk üretimi:** Temelde bir TAB'dan üretilen yolcuğu ifade eder. Bir ucu ev olan yolculuğun varış noktası ev ise o yolculuk için varış TAB'ı o yolcuğu üretmiştir. Ancak herhangi bir ucu ev olmayan yolculuklar için yolculuğu başlangıç TAB'ı üretmiştir (Şekil 3.4). Yolculuk üretiminin genellikle hane halkı yapısı, gelir, otomobil sahipliği, hane olanakları gibi etmenlere bağlı olarak değiştiği kabul edilir.
- **Yolculuk çekimi:** Temelde bir TAB tarafından çekilen yolcuğu ifade eder. Bir ucu ev olan yolculuklarda evin bulunduğu TAB yolcuğu üreten, diğer TAB ise çekendir. Ev uçlu olmayan yolculuklar için yolculuğun varış yeri yolculuğu çeken TAB'dır (Şekil 3.4). Yolculuk çekiminin genellikle arazi kullanımı, istihdam,

erişilebilirlik, bölgenin özelliği (sanayi, hizmet, eğlence vb.) gibi etmenlere bağlı olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 3.4. Yolculuk üretim ve çekim karakteristikleri

Yolculuk üretim modeli için uygulamada genellikle TAB'lara göre toplulaştırılmış verilerin kullanıldığı Doğrusal Regresyon Analizi, etkinliğe göre yolculuk oranı Tablo Analizi, Büyütme Faktörü, Kategori Analizi ve Çapraz Sınıflandırma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Ayrıca Doğrudan Talep Tahmin Modeli, Dinamik Modelleme, Yolculuk Zinciri (Trip Chaining), Yapay Sinir Ağları, Genetik Algoritma, Etkinlik Tabanlı Model, Lojit, Probit ve Tobit Model yaklaşımları da literatürdeki geliştirilmiş diğer modellerdir (Wang, 1996; Ben-Akiva, 2008; Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Castiglione vd., 2014; McNally, 2016; Kara, 2019; Tezcan, 2019).

Literatürde ve uygulamada yolculuk üretiminin modellenmesi için yaygın olarak kullanılan yöntem toplulaştırılmış verilerin kullanıldığı Doğrusal Regresyon Analizi'dir. Kuramsal regresyon yapısı Denklem 3.1'de gösterilmiştir (Wang, 1996; Ortúzar ve Willumsen, 2011).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_n X_{ni} + \varepsilon_i \quad (3.1)$$

Burada;

Y_i : ilgili (i) TAB'dan üretilen veya çekilen toplam yolculuk,

β_n : ilgili (i) değişken için tahmin edilecek katsayı veya tahmin parametresi,

X_{ni} : yolculuk üretimini etkilediği varsayılan ilgili TAB özelliğini içeren değişken,

ε_i : hata terimi.

Buradaki yaklaşım, TAB'ların özelliklerinin bağımsız değişkenler olarak toplulaştırılmış verilerin kullanıldığı ve sonuç olarak da toplam yolculuk üretimi veya çekimini tahmin eden bir model üretilmesini sağlamaktadır. Ancak bazı TAB'lar analiz süreciyle uyumsuz aykırı değerler içerebilir ya da ilgili TAB'ın sanayi bölgesi olması gibi durumlarda hane içermemesi nedeniyle yolculuk üretmediği sonucu elde edilebilir. Bu nedenle Ortúzar ve Willumsen (2011) TAB'lardaki toplam yolculuk sayıları yerine yolculuk oranlarının (hane halkı başı yolculuk) kullanıldığı Denklem 3.2'deki yaklaşımı önermiştir. Böylece; hane halkı düzeyinde veya bireysel düzeyde daha doğru tahminler yapılabilen, ayrık yolculuk üretim modeli yaklaşımı geliştirilmiştir (Wang, 1996; Hu, 2010).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \varepsilon_i \quad (3.2)$$

Burada;

H_i : ilgili (i) TAB'daki hane halkı sayısı olmak üzere,

$y_i = Y_i/H_i$: ilgili (i) TAB'dan üretilen veya çekilen hane halkı başına yolculuk,

β_n : ilgili değişken için tahmin edilecek katsayı,

$x_{ni} = X_{ni}/H_i$: hane halkı özelliğini içeren değişken,

$\varepsilon_i = \varepsilon_i/H_i$: hata terimi.

Doğrusal Regresyon Analizi'nde, modellerin uyum iyiliği için istatistiksel testler olmasına rağmen bağımsız değişkenlerin her birinin bağımlı değişkenlerle birlikte doğrusallık varsayımı kısıtlayıcıdır. Yolculuk sayısına ilişkin yerleşik üst ve alt sınırların olmaması, modelin ortak değişkenleri arttıkça potansiyel olarak mantıksız tahminlere yol açabilir veya ortak değişkenlerin katsayıları nispeten düşük olduğunda negatif yolculuk sayısına neden olabilir (Páez vd., 2007). Doğrusal bir regresyonda yolculuk sayısı ve ortak değişkenler arasındaki bağlantı, yolculuk üretimiyle ilgili varsayımlara dayansa da RFM

teorisinde desteklendiği gibi davranışsal bir gerekçeden yoksundur (Ben-Akiva ve Lerman, 1985).

Kategori Analizi'nde haneler özelliklerinin çapraz sınıflandırması temelinde kategorilere ayrılır ve her kategori için sabit bir yolculuk üretim oranı uygulanır (Denklem 3.3). Kategori Analizi'nin avantajları; anlaşılmasının kolay olması ve ilişkinin şekli ile ilgili önceden herhangi bir varsayıma gerek olmamasıdır. Kategori Analizi'ndeki zorluk, en iyi hane halkı özelliklerini ve dolayısıyla en iyi kategorileri seçmenin etkili bir yolunun olmamasıdır. Kategori analizinin bir başka dezavantajı, çıkarımsal istatistiklerin olmamasıdır. Bu nedenle, yolculuk üretimi için açıklayıcı değişkenlerin istatistiksel önemini değerlendirmenin bir yolu yoktur. Ayrıca, yolculuk oranlarını kalibre etmek için çok büyük örneklem gereksinimi de bu yöntemin önemli bir dezavantajıdır. Kategori Analizi yaklaşımının bazı eksikliklerinin üstesinden gelmek için sağladığı gelişmiş teknikler sayesinde Çoklu Sınıflandırma Analizi yöntemi geliştirilmiştir (Stopher ve McDonald, 1983; Guevara ve Thomas, 2007; Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011).

$$y^p(h) = Y^p(h)/H(h) \quad (3.3)$$

Burada;

h : ilgili hane,

$y^p(h)$: p yolculuk amacı için yapılan ortalama yolculuk sayısı,

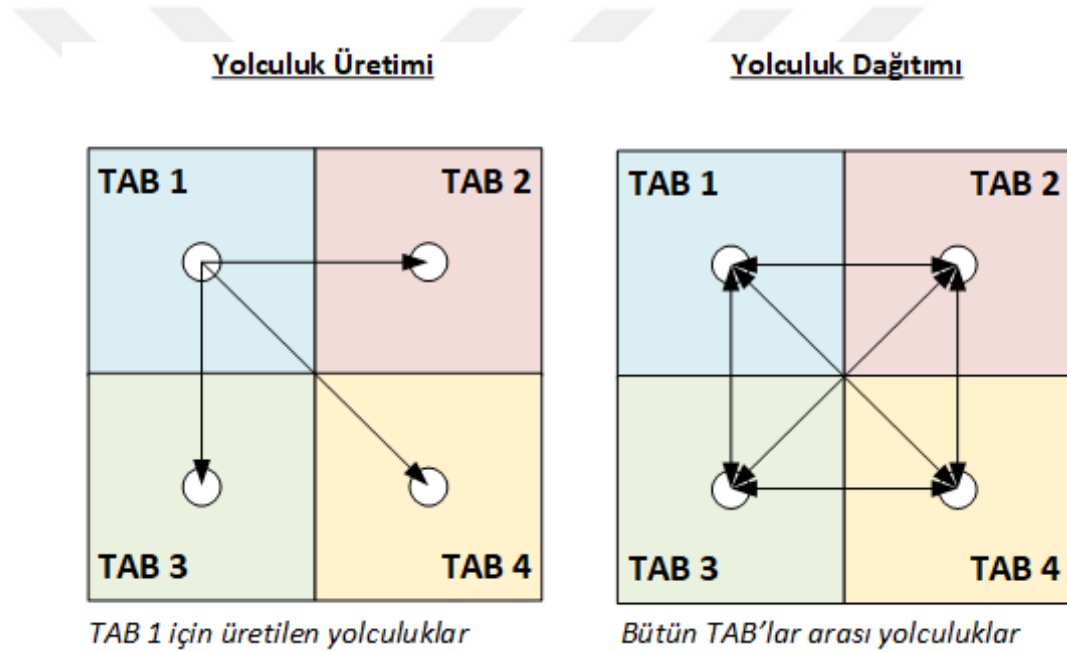
$Y^p(h)$: p yolculuk amacı için gözlenen yolculuk sayısı,

$H(h)$: hane halkı sayısı.

3.2.3. Yolculuk dağıtımı

Yolculuk dağıtım modeli, hem mevcut durum hem de gelecek tahminleri için TAB'lardan üretilen ve TAB'lara çekilen yolculukların dağılımının belirlenmesi amacıyla üretilir (Şekil 3.5). Model iki farklı yaklaşımla temsil edilebilir. Birinci yaklaşım, yolculuk matrisi (trip matrix) veya yolculuk tablosu (trip table) şeklinde ifade edilir. Burada, belirli bir zaman diliminde bir başlangıç noktasından bir varış noktasına yapılan yolculuk matrisleri, diğer bir ifade ile Başlangıç-Varış yeri (B-V: Başlangıç-Varış veya O-D: Origin-Destination) matrisleri oluşturulur. Bu matrisler, yolculuk amacı veya etkinliğe göre

ayrıştırılmış olarak tüm atama modelleri için gereklidir. Diğer bir yaklaşım ise, yolculuk üretim ve çekime (Ü-Ç: Üretim-Çekim veya P-A: Production-Attraction) göre oluşturulan matrisler şeklinde ifade edilir. Burada dikkat edilmesi gereken konu, B-V matrisleri yolculuk amacı fark etmeksizin yolculuğun başladığı noktayı başlangıç TAB'ı, yolculuğun sonlandığı noktayı varış TAB'ı olarak dikkate alınırken, Ü-Ç matrislerinde ev uçlu yolculuklarda yolculuğun başladığı noktanın neresi olduğu fark etmeksizin yolculuğun üretildiği nokta evin bulunduğu TAB'dır. Ayrıca bir Ü-Ç matrisi, bir B-V matrisinden daha uzun bir zaman aralığını (genellikle bir gün) kapsamaktadır. Bir sonraki aşama olan tür tercihi modeline göre yolculuk dağıtım modelinden üretilen Ü-Ç matrislerinin B-V matrislerine dönüştürülmesi gerekebilir (Ortúzar ve Willumsen, 2011; McNally, 2016).



Şekil 3.5. TAB'lardan yolculuk üretimi ve yolculukların dağıtımı

Yolculuk üretim modelinden elde edilen yolculukları TAB'lar arasında dağıtmak için çeşitli yöntemler mevcuttur. Literatürde ve uygulamada yolculuk dağıtımı, genellikle toplulaştırılmış yaklaşım kullanılarak çözümlenen toplulaştırılmış modeller şeklinde görülür. Bununla birlikte, varış noktası seçimi ayrı bir seçim problemi olarak da ele alınabilir ve bireysel veri düzeyinde modellerle ele alınabilir. (Ben-Akiva vd., 1996; Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011; McNally, 2016).

Yolculuk dağıtım aşaması için Büyütme Faktörü (Growth Factor) ve Çekim Modeli (Gravity Model) yaklaşımı literatürde yaygın olarak kabul görmüş modellerdir (Ortúzar ve Willumsen, 2011).

Büyütme Faktörü yaklaşımında; tekdüze (uniform), tek kısıtlı (singly constrained) ve çift kısıtlı (doubly constrained) olmak üzere üç farklı tür vardır. Eğer yalnızca tahmin yılı için genel büyütme oranı bilgisi varsa tekdüze büyütme faktörü (Denklem 3.4), her bir bölgeden üretilen veya her bir bölgeden çekilen yolculuklar için tahmin yılına ait büyütme bilgisi varsa tek kısıtlı büyütme faktörü (Denklem 3.5), her bir bölge için hem üretilen hem de çekilen yolculuklar için tahmin yılına ait bilgi varsa çift kısıtlı büyütme faktörü (Denklem 3.6) yaklaşımı uygulanabilir (Ortúzar ve Willumsen, 2011; Tezcan, 2019).

$$Y_{ij} = k \cdot y_{ij} \quad (3.4)$$

Burada;

Y_{ij} : tahmin yılı yolculukları (TAB i 'den TAB j 'ye),

y_{ij} : mevcut yıl yolculukları (TAB i 'den TAB j 'ye),

k : tekdüze faktör.

$$\begin{aligned} Y_{ij} &= k_i \cdot y_{ij} \\ Y_{ij} &= k_j \cdot y_{ij} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Burada;

Y_{ij} : tahmin yılı yolculukları (TAB i 'den TAB j 'ye),

y_{ij} : mevcut yıl yolculukları (TAB i 'den TAB j 'ye),

k_i : yolculuk üretimine dayalı faktör,

k_j : yolculuk çekimine dayalı faktör.

$$\begin{aligned} Y_{ij} &= k_i \cdot k_j \cdot y_{ij} \\ Y_{ij} &= A_i \cdot B_j \cdot O_i / o_i \cdot D_j / d_j \cdot y_{ij} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Burada;

Y_{ij} : tahmin yılı yolculukları (TAB i 'den TAB j 'ye),

y_{ij} : mevcut yıl yolculuklar (TAB i 'den TAB j 'ye),

O_i : TAB i 'den üretilen (veya çıkan) tahmin yılı yolculukları,

o_i : TAB i 'den üretilen (veya çıkan) mevcut yıl yolculukları,

D_j : TAB j 'den çekilen (veya sonlanan) tahmin yılı yolculukları,

d_j : TAB j 'den çekilen (veya sonlanan) mevcut yıl yolculukları,

A_i, B_j : dengeleme faktörleri.

Büyütme Faktörü yöntemleri, gözlemlenen mevcut yıl (base year) yolculuk matrisini esas alarak gelecek yıla ait tahmin matrisini oluşturması nedeniyle mevcut yıl matrisindeki olası hatadan doğrudan etkilenir. Bu nedenle, esas alınan yıla ait yolculuk matrisindeki gözlemlenemeyen değerler için gelecek yıl matrisinde de tahmin yapılamaz. Ayrıca yöntemin yalnızca yolculuk sayılarını dikkate alması nedeniyle ağdaki iyileştirmeler veya yolculuk maliyetlerindeki değişiklikler bu yöntemle gözlenememektedir (Ortúzar ve Willumsen, 2011).

Çekim Modeli yaklaşımı ise Newton'un çekim yasasından esinlenilerek türetilmiştir. Bu modelde iki bölge arasındaki yolculuk sayısı, iki bölgedeki etkinliklerle doğru, bölgeler arasındaki mesafeyle ters orantılıdır (Denklem 3.7). Çekim modelinin yaygın olarak kullanılan biçiminde (Denklem 3.8), bölgeler arasındaki ayırım bir direnç fonksiyonuyla temsil edilirken çift kısıtlı büyütme faktörüne benzer şekilde, tek orantılılık faktörü iki dengeleme faktörü ile değiştirilmiştir (Casey, 1955; Schneider, 1959; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Tezcan, 2019).

$$Y_{ij} = \alpha \cdot \frac{P_i \cdot P_j}{d_{ij}^2} \quad (3.7)$$

Burada;

Y_{ij} : tahmin yılı yolculukları (TAB i 'den TAB j 'ye),

α : orantılılık faktörü,

P_i, P_j : sırasıyla TAB i 'nin ve TAB j 'nin nüfusu,

d_{ij} : TAB i ile TAB j arasındaki mesafe.

$$Y_{ij} = A_i \cdot B_j \cdot O_i \cdot D_j \cdot f(I_{ij}) \quad (3.8)$$

Burada;

Y_{ij} : tahmin yılı yolculukları (TAB i 'den TAB j 'ye),

O_i : TAB i 'den üretilen (veya çıkan) tahmin yılı yolculukları,

D_j : TAB j 'den çekilen (veya sonlanan) tahmin yılı yolculukları,

$f(I_{ij})$: TAB i ile TAB j arasındaki yolculuğun direnç fonksiyonu,

A_i, B_j : dengeleme faktörleri.

Yolculuk dağıtımının modellenmesi için çekim modelinde olduğu gibi mesafeye değil de hareketlilik ve fırsatların erişilebilirliği ile ilgili olmasına göre modellenen Kesişen Fırsatlar Modeli (Stouffer, 1940; Schneider, 1959) ve Rakip Fırsatlar Modeli (Tomazinis, 1962), B-V çiftleri arasında yapılan yolculuklar için yolcuğu yapanların toplam yolculuk süresini en aza indirmeyi amaçlayarak modellenen Doğrusal Programa yaklaşımı (Colston ve Blunden, 1970), matematiksel veya sezgisel yöntemlerin kullanılabileceği Entropi Maksimizasyon yaklaşımı (Wilson, 1970; Wang vd., 2006; Kar ve Mazumder, 2011; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Dhingra, 2021) literatürde görülebilecek diğer yaklaşımlardır.

3.2.4. Tür tercihi

Üçüncü aşama olan tür tercihi aşamasında ulaştırma türlerinin TAB'lar arasında yapılan yolculukları hangi oranlarda paylaşacağı modellenir. Tür tercihi veya diğer bir deyişle türel ayırım modelleri, güncel ulaştırma politikalarındaki sürdürülebilir ve çevreci ulaştırma türlerine (toplu taşıma, yaya vb.) aktarılması istenen yolculuklar üzerindeki etkilerin araştırılabildiği süreci kapsamı nedeniyle oldukça önemlidir (Ortúzar ve Willumsen, 2011).

Tür tercihi yaklaşımında genellikle ayrı seçime dayalı örnekler üzerinde tahmin edilen ve bireylerin seçim olasılıklarını yansıtan KTM kullanılmaktadır. Bu aşamada, bireysel tür seçimlerini etkileyen yolculuk özelliklerine duyarlı modeller geliştirmek gereklidir. Bu kapsamda, genellikle ÇTL (MNL: Multinomial Logit) model ve YL (NL: Nested Logit) model en yaygın tercih edilen yöntemlerdir. Lojit formülüyle hesaplanan i seçeneğinin seçilme olasılığı Denklem 3.9'da gösterilmiştir (Williams, 1977; Williams ve

Senior, 1977; Daly ve Zachary, 1978; Ben-Akiva ve Lerman, 1979; Ortúzar ve Willumsen, 2011; McNally, 2016).

$$P_i = \frac{e^{U_i}}{\sum_{j=1}^n e^{U_j}} \quad (3.9)$$

Burada;

P_i : i seçeneğinin seçilme olasılığı,

U_i, U_j : ilgili (i ve j) fayda fonksiyonları.

3.2.5. Trafik ataması

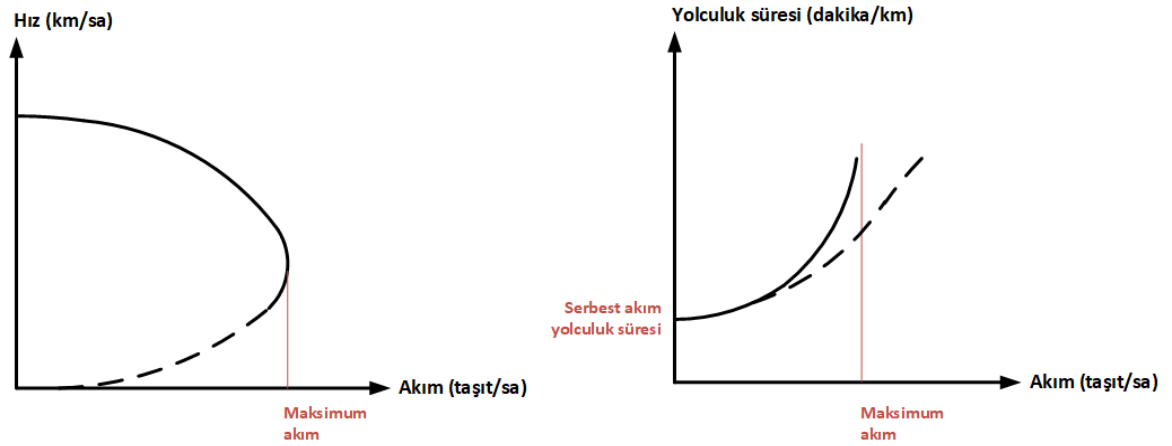
Trafik ataması veya seçim olarak modellenirse literatürde güzergâh tercihi olarak isimlendirilebilecek DAM'ın dördüncü ve son aşamasında, yolculuklar için kullanılacak güzergâhların seçim modelleri üretilir. Bu aşamada, ulaştırma plancıları alternatif uygulamaların ve yapılacak değişikliklerin ulaştırma ağındaki yolculuk talebi üzerindeki etkilerine ilişkin gerçekçi tahminler elde edebilir. Böylece ulaşım ağındaki eksiklikler/ihtiyaçlar tespit edilerek öncelikli yatırımlara karar verilebilir. Ayrıca bu aşamanın çıktısı olarak karayolu ve kavşak tasarımcılar için tasarım saatlik trafik hacim değerleri sağlanabilir (Ortúzar ve Willumsen, 2011; McNally, 2016; Tezcan, 2019).

Trafik ataması için karayolu ataması ve toplu taşıma ataması olmak üzere iki farklı bağlantılı atama mevcuttur. Karayolu atamasında karayolu ağını kullanan otomobil, taksi, motosiklet, kamyon vb. türler ile yayalar gibi diğer kullanıcılar için güzergâhlar belirlenir. Toplu taşıma atamasında ise bireylerin kullandığı toplu taşıma hatları belirlenmektedir.

Ağ sistemi ve toplu taşımada sunulan hizmetlerin sıklık ve kapasite gibi özellikleri ulaştırma sisteminin arz unsurlarını oluştururken bireylerin yolculuk yapma ihtiyaçları da talep olarak değerlendirilir. Artan talebe karşılık olarak yolculuk ücretleri, tıkanıklık fiyatlandırması, yeni yol yatırımları, geçiş ücretleri, toplu taşıma kapasite ve sıklıklarında değişiklikler gibi uygulamalar arz-talep dengesinin korunması için politika yapıcılar tarafından değerlendirilen uygulamalardır. Modelde arz tarafı maliyetler ve hatlarla ilişkili özelliklerin bir fonksiyonu, talep tarafı ise belirli hizmet düzeyindeki B-V çiftleri ve

ulaştırma türü ile yapılan yolculuklar şeklinde ifade edilir. Burada arz tarafındaki yol ağı özellikleri karayolu ağı için mesafe, serbest akım hızı, yolun kapasitesi vb.; toplu taşıma için yolculuk ücreti, sıklık, hizmetin niteliği, kapasite vb. olabilir. Talep tarafındaki hizmet düzeyini tanımlayan temel unsur olarak genellikle yolculuk süresi dikkate alınırken maliyet (yakıt, geçiş ücreti vb.) ve konfor gibi özellikler de talep üzerinde etkilidir (Ortúzar ve Willumsen, 2011).

Güzergâh seçiminde, güzergâhın özellikleri ve bireylerin seçim karakteristikleri olmak üzere iki farklı ölçüt dikkate alınmaktadır. Güzergâh özellikleri, trafik akımının bağlantı veya hat özellikleri üzerindeki etkisini temsil eden ve bağlantı-performans fonksiyonları olarak nitelendirilen fonksiyonlar kullanılarak ifade edilir. Burada aralarındaki farkı vurgulamak adına iki noktayı birbirine bağlayan karayolu ağındaki elemanlara bağlantı, toplu taşıma ağındaki elemanlara ise hat ifadesi kullanılmıştır. Bağlantı veya hat performanslarını etkileyen hız ve yolculuk süresi ile akım ilişkileri Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Literatürdeki bazı bağlantı-performans fonksiyonları (Smock, 1962; Bureau of Public Roads, 1964; Overgaard, 1967) kronolojik sırasıyla Denklem 3.10-12'de verilmiştir (Ortúzar ve Willumsen, 2011; Tezcan, 2019).



Şekil 3.6. Hız-akım ve yolculuk süresi-akım ilişkileri

$$T_{Smock} = T_0 \cdot e^{(Q/C)} \quad (3.10)$$

$$T_{BPR} = T_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (Q/C)^\beta] \quad (3.11)$$

$$T_{Overgaard} = T_0 \cdot \alpha^{\beta \cdot (Q/C)} \quad (3.12)$$

Burada;

$T_{Smock}, T_{BPR}, T_{Overgaard}$: sırasıyla Smock (1962) Bureau of Public Roads (1964) ve Overgaard'a (1967) göre hat veya bağlantı üzerindeki yolculuk süreleri,

T_0 : hat veya bağlantı üzerindeki serbest akım durumundaki yolculuk süresi,

Q : hat veya bağlantı üzerindeki hacim,

C : hat veya bağlantı üzerindeki kapasite,

α, β : katsayılar.

Bireylerin seçim karakteristikleri deterministik ve stokastik olmak üzere iki farkı şekilde sınıflandırılmaktadır. Deterministik süreçte bireylerin her zaman en kısa veya maliyeti en düşük olan güzergâhı kullandıkları varsayılırken stokastik süreçte kısa veya uygun maliyetli güzergâhlar arasında dağılım gösteren bir seçim yaptıkları varsayılır. Buna uygun olarak da hacimlerin dağılımları; deterministik kullanıcı optimumu, stokastik kullanıcı optimumu ve sistem optimumu olmak üzere üç tipte tanımlanmaktadır. Deterministik kullanıcı optimumunda, bireyler güzergâh özelliklerine göre tanımlanmış bir fayda fonksiyonuna sahiptir ve kendisine maksimum fayda sağlayan yolu seçerler. Wardrop'un (1952) birinci prensibine göre denge durumunda tüm güzergâhlar üzerindeki hacimler ve hizmet seviyeleri, hiçbir kullanıcının yolları değiştirerek faydasını artırmayacağı şekildedir. Stokastik kullanıcı optimumunda, bireyler güzergâh özelliklerine göre tanımlanmış bir fayda fonksiyonuna sahiptir ancak yapılan seçimler olasılıklıdır. Yolculuklar; çok seyahat çeken, kısa veya maliyeti düşük güzergâhlar arasında dağılmaktadır. Sistem optimumunda güzergâh seçimlerinin bireyler tarafından değil sistemdeki akımları kontrol eden karar verici tarafından yapıldığı kabul edilir. Wardrop'un (1952) ikinci prensibine göre trafik, sistemin tamamındaki toplam maliyeti en aza indirecek şekilde bir ağa atanır (Wardrop, 1952; Ben-Akiva, 2008; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Tezcan, 2019).

Genel olarak trafik atama yöntemlerini; minimum direnç, maksimum kapasite, stokastik ve dinamik olmak üzere dört kategori altında incelemek mümkündür. Birinci kategoride değerlendirilen ya-hep-ya-hiç (all-or-nothing) yaklaşımında, bağlantı-performans fonksiyonları kullanılarak minimum direnç ile sonuçlanan B-V çiftlerine göre trafik ataması yapılır. Maksimum kapasite veya kapasite kısıtlamalı atamada, birçok

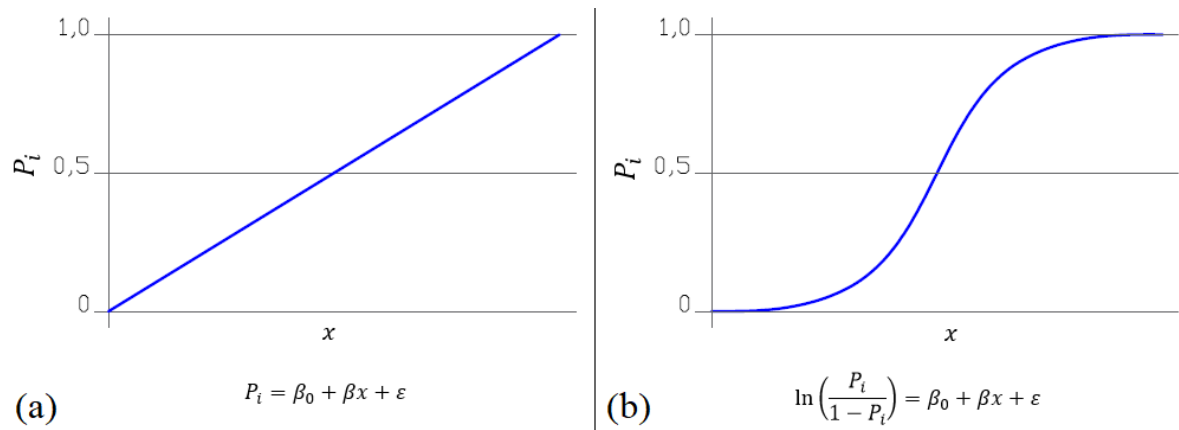
matematiksel fonksiyon ve adım gerektirebilir. Bunun için genellikle çok sayıda yapılan ya-hep-ya-hiç atamalarının her birinin ardından bağlantı-performans fonksiyonlarına dayalı olarak yeni yolculuk süreleri hesaplanarak süreç devam ettirilir. Stokastik atamada, bireylerin maliyet veya zaman kazancı algılarındaki değişkenlik modellenmeye çalışılır. Stokastik yöntemler; B-V çiftleri arasında birden fazla güzergâh seçeneğini dikkate alır ve atama, istatistiksel benzetim yöntemlerinin kullanıldığı benzetim tabanlı veya Lojit benzeri ifadelerin kullanıldığı olasılık (veya pay) tabanlı olabilir. Dinamik atamada ise genellikle B-V matrisi zaman dilimlerine ayrılarak hazırlanır ve her bir dilim ayrı ayrı ağa atanır. Kuyruklar ve artık talepler bir dilimden diğerine taşınarak sürece devam edilir. Dinamik atama Wardrop'un (1952) kullanıcı dengesi prensibinin -hiçbir sürücü alternatif bir güzergâh veya hareket saati seçerek yolculuk faydasını artıramaz veya kaybını azaltamaz- bir uzantısı olarak da ifade edilebilir (Wardrop, 1952; Dafermos ve Sparrow, 1969; Florian ve Nguyen, 1976; Eash vd., 1979; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Tezcan, 2019; Mathew, 2021).

TBB'ye (2014) göre trafik ataması, zirve saatteki akım değerleri belirlenecek şekilde bağlantı veya hat seçimi yapacak bireylerin yolculuk maliyetlerini en küçükleyeceği varsayımına dayandırılarak yapılır. Buradaki yolculuk maliyeti için yolculuk ücretleri ve yolculuk süresince geçen zamanın parasal değerinin bütünü oluşturulan genelleştirilmiş maliyet kullanılır. Karayolu atamasında, yol kesimlerindeki hacimler ve kapasiteler dikkate alınmalı ve tüm B-V matrisleri otomobil eşdeğerlik birimlerine (OEB) dönüştürülmelidir. Mevcut ve gelecek planları için önerilen toplu taşıma ağında, zirve saatlerde durak ve terminal bazında yapılacak yükleme ve sistem tasarım öncelikleri belirlenmelidir. Model doğrulama ve kalibrasyonu, kordon noktalarında yapılan trafik sayımlarından elde edilen verilere göre günlük zirve saatteki yolculuk/OEB değerlerinin atama modeli sonucu bulunan değerlerle karşılaştırılması ile yapılır ve bu süreç optimum değerler elde edilene kadar devam ettirilir (TBB, 2014).

3.3. Kesikli Tercih Modelleri

Ulaştırma planlamasının en önemli parçası olan ulaştırma talep tahmin modellerinde, bireylerin davranışlarının modellenmesi ve seçimlerin paylarının tahmin edilmesi için KTM'ler kullanılır. Bağımlı değişkeninin sürekli sayısal değerler yerine iki veya daha fazla ayrık seçeneklerden oluştuğu problemler için KTM yöntemleri kullanılmaktadır. Bu

modellerde amaç seçimin olasılığının hesaplanmasıdır. Bu modellerin en temeli Doğrusal Olasılık Modeli'dir. Ancak bu modelde karşılaşılan hata terimlerinin normal dağılıma uymaması ve hata terimlerinin varyanslarının değişken olması gibi problemler Lojit ve Probit Model gibi farklı tekniklerin geliştirilmesine olan ihtiyacı doğurmuştur. Doğrusal Olasılık Modeli ve Lojit Model yaklaşımlarına ait olasılık dağılımları ve temel bağıntılar Şekil 3.7'de verilmiştir (Uğurlu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011).



Şekil 3.7. Temel bağıntılar ve olasılık dağılımları: a) Doğrusal Olasılık Modeli, b) Lojit Model için

KTM oluşturmak için en yaygın teorik çerçeve veya paradigma, bireylerin seçim yaparken faydalarını en büyükmeye çalıştığı varsayımına dayalı Rastgele Fayda Teorisi'dir (McFadden, 1974 a). Uzun yıllardır ve halen birçok alanda kullanılan ve McFadden'a 2000 yılında Nobel ödülü kazandıran RFM yaklaşımına alternatif olarak, Chorus vd. (2008) tarafından bireylerin seçim yaparken faydayı maksimize etmek yerine pişmanlığı en aza indirmeyi öngördüğü ve amaçladığı fikrine dayanan Rastgele Pişmanlık Minimizasyonu (RPM) yaklaşımı geliştirilmiştir. Buna göre, temelleri çok eskiye dayansa da KTM'lerin sürekli geliştirildiği ve farklı alanlarda kullanılmak üzere uyarlandığı görülmektedir.

3.3.1. Fayda tabanlı tercih modelleri

McFadden (1974 a) tarafından RFM teorisi üzerine geliştirilen KTM'ler, bireylerin seçim davranışlarını açıklamak ve birçok farklı alanda çeşitli ürün ve hizmetlerin pazar paylarını tahmin etmek için kullanılmıştır. KTM'ler, bireylerin temel tercihlerini türetmek için farklı seçenekler arasında gözlenen seçimleri kullanır. Örneğin; farklı seçeneklerin

yolculuk süreleri ve yolculuk türlerinin maliyetleri gibi özellikleri hakkında bilgilerden faydalanılarak oluşturulan bir KTM, seçimi etkileyen değişkenlerin bulunduğu fayda fonksiyonlarındaki değişkenlerin ağırlıklarını tahmin etmeyi mümkün kılmaktadır (Ortúzar ve Willumsen, 2011; Chorus, 2012 b). Ulaştırma planlaması ve DAM için tercih modelleri hazırlanırken bireylerin faydalarını en büyükmeye veya zararını en küçükmeye çalıştığı varsayılır. Ancak seçenekler faydaları üretmez, faydalar seçeneklerin ve bireylerin sosyoekonomik özelliklerinden türer (Lancaster, 1966; Akalın, 2016). Fayda tabanlı tercih modelleri ile ilgili varsayımlar, en yaygın kullanılan model olması nedeniyle ÇTL bağlamında açıklanmış; diğer Lojit modeller için farklı kabuller alt başlıklarda ayrıca belirtilmiştir.

RFM modellerinde bireylerin faydaları, fayda fonksiyonu adı verilen bir denklemlerle tanımlanır. Fayda fonksiyonu (Denklem 3.13) genellikle doğrusal bir ifade olarak belirlenir (McFadden, 1974 a; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016).

$$U_i = U_i(X, Z) = \sum aX + bZ + \varepsilon \quad (3.13)$$

Burada;

U_i : i seçeneğinin fayda fonksiyonu,

X : seçeneklere ait özellikler,

Z : bireylere ait değişkenler,

a, b : ağırlık faktörleri,

ε : hata terimi.

KTM'lerde, bir seçeneğin faydası sistematik ve rassal (hata terimi) olmak üzere iki bileşenden meydana gelmektedir (Denklem 3.20). RFM'deki "rastgele" terimi eklenen hata terimini temsil etmektedir. Denklemde ifade edilen sistematik bileşen, tercih için etkili olan ve ölçülebilir ifadeleri temsil etmektedir. Rassal bileşen veya diğer bir deyişle hata terimi ise tercih üzerinde etkili olduğu halde ölçülemediği için model dışında kalan etkileri temsil etmektedir (McFadden, 1974 a; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016; Tezcan, 2019).

$$U_i = V_i + \varepsilon_i \quad (3.14)$$

Burada;

U_i : i seçeneğinin fayda fonksiyonu,

V_i : i seçeneğinin faydasının belirleyici bileşeni,

ε_i : i seçeneğinin faydasının rassal bileşeni veya hata terimi.

RFM modelinde, deterministik ve stokastik olmak üzere iki yaklaşım mevcuttur. Deterministik yaklaşımda (Denklem 3.15), bireylerin kesin olarak faydası en yüksek olan seçeneği tercih ettikleri varsayımı yapılırken stokastik yaklaşımda (Denklem 3.16) bireylerin faydası en yüksek olan seçeneği tercih etme olasılığının daha yüksek olduğu varsayılmaktadır (McFadden, 1974 a; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016; Tezcan, 2019).

$$U_i > U_j \text{ ise } U_i \text{ seçilir.} \quad (3.15)$$

$$U_i > U_j \text{ ise } P_i > P_j \quad (3.16)$$

Burada;

U_i, U_j : ilgili seçeneğin (i veya j) fayda fonksiyonları,

P_i, P_j : ilgili seçeneğin (i veya j) tercih edilme olasılıkları.

Luce'nin (1959) seçim aksiyomuna göre seçeneklerden birinin seçilme olasılığı, ilgili seçeneğin faydasının tüm tercihlerin faydalarının toplamına oranı şeklinde hesaplanır (Denklem 3.17). Bu teoremin bir kısıtı olarak (strict utility) faydalar pozitif değer almak zorundadır (Luce, 1959; Akalın, 2016; Tezcan, 2019).

$$P(i | Z) = \frac{v(i)}{\sum_{j \in Z} v(j)} \quad , (v > 0) \quad (3.17)$$

Burada;

$P(i | Z)$: ilgili seçeneğin (i) seçilme olasılığı,

v : katı fayda (strict utility).

Luce'ye (1959) göre; iki farklı seçeneğin tercih edilme olasılıklarının oranı, özelliklerin varlığından veya diğer bütün seçeneklerden bağımsızdır. Bu durum ilgisiz

seçeneklerin bağımsızlığı (IIA: Independence of Irrelevant Alternatives) olarak adlandırılmaktadır. Bu durumda, RFM teoremindeki hata terimlerinin birbirinden bağımsız olduğu söylenebilir. Buna göre; hata terimleri arasında herhangi bir ilişki bulunması durumunda, model tahminleri çıktı olarak hatalı olasılıklar verecektir. Belirtilen hatayla karşı karşıya kalmamak için farklı seçenekler arasında bir ilişki bulunmamalı, seçenekler arasında belirgin fark olmalıdır. Bu durum literatürde mavi otobüs-kırmızı otobüs (blue bus-red bus) örneğiyle açıklanmaktadır. İki seçenekli bir seçim modelindeki seçeneklerden biri özel otomobil diğeri otobüs olarak verilmişken genel bir tercih için iki seçeneğin seçilme olasılıklarının eşit yani %50-%50 olduğu varsayalım. Mevcut renkleri mavi olan otobüslere ilave olarak seçim kümesine renkleri kırmızı olan otobüslerin eklenmesi durumunda seçim kümesi; özel otomobil, mavi otobüs ve kırmızı otobüs olarak belirlenecektir. Bu durumda, özel otomobilin seçilme olasılığı %33,33, mavi otobüsün seçilme olasılığı %33,33 ve kırmızı otobüslerin seçilme olasılığı yine %33,33 olacaktır. Ancak gerçekte insanlar yalnızca otobüsün rengine bakarak diğeri rengi tercih etmeyecektir. Yani seçim olasılıkları gerçekte özel otomobil için %33,33 iken rengine bakılmaksızın otobüsler için %66,67 olamaz. Sisteme kırmızı otobüs eklenmesi durumunda olasılıklar yine %50-%50 olacak şekilde paylaşılmalıydı. İşte bu örnekte olduğu gibi gerçekte bağlantılı olan seçenekler, bağlantısızmış gibi seçim kümesinde yer almamalıdır (Luce, 1959; Mayberry, 1973; McFadden, 1974 a; Domencich ve McFadden, 1975; Akalın, 2016; Tezcan, 2019).

RFM modelindeki bir başka varsayımda, rassal terimlerin birbirinden bağımsız ve özdeş dağılımı gösterdikleri (IID: Independent and Identically Distributed) kabul edilmektedir. Bu durumda; bir seçenek kümesi içindeki her bir gözlem, belirli durağan olasılık modelinden bağımsızdır (Denklem 3.18). Bunu açıklamak için basit bir zar örneği verilebilir. Örneğin, altı yüze sahip hilesiz iki adet zar olduğu varsayalım. Her bir zar için de 3 gelme olasılığı (1/6) aynıdır. İki zarın aynı anda ya da farklı zamanlarda atılmış olması bu olasılığı değıştirmez. Yani, görünen değerler bağımsız ve aynı dağılım gösteren rassal değişkenlerdir (Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016). RFM modellerindeki Lojit yaklaşımı esasen şans olasılıklarına benzer şekilde Denklem 3.19'daki gibi bir Olasılık Oranı (Odds) kavramından türetilmiştir (Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011).

$$P(Z_1, Z_2) = P(Z_1) \cdot P(Z_2) \quad (3.18)$$

$$Odds = \frac{P}{1 - P} = \frac{\text{Olayın olma olasılığı}}{\text{Olayın olmama olasılığı}} \quad (3.19)$$

Burada;

P : seçilme olasılığı,

Z_1, Z_2 : seçenek kümesi içindeki seçenekler.

Rassal terimlerin birbirinden bağımsız ve aynı dağılım gösterdikleri varsayımına göre, her bir seçeneğin hata terimlerinin varyansının aynı olduğu söylenir. Buna göre, örnek olarak üç değişken için hata terimleri arasındaki ilişkiyi belirten Varyans-Kovaryans matrisi Denklem 3.20'deki gibidir:

$$Var(\varepsilon) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \sigma^2 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.20)$$

Burada;

$Var(\varepsilon)$ ve σ^2 : varyans.

Burada görüleceği gibi, diyagonal haricindeki tüm terimlerin sıfır (0) olması seçeneklerin hata terimleri arasında herhangi bir bağlantı yani korelasyon olmadığını ifade etmektedir. Buradan anlaşılabacağı üzere, Lojit Model'de hata terimlerinin varyansı aynıdır. Tip-1 uç değer dağılımı için varyans Denklem 3.21'deki gibidir. ÇTL modelde konum parametresi $\mu = 1$ kabul edildiği için varyans değeri 1,645 kabul edilir (Akalin, 2016; Ortúzar ve Willumsen, 2011).

$$Var(\varepsilon) = \frac{\pi^2}{6} \mu^2$$

$$Var(\varepsilon)_{\text{ÇTL}} = \frac{\pi^2}{6} = 1,645 \quad (3.21)$$

Burada;

μ : konum parametresi.

İki seçeneğin olduğu bir seçim kümesi için örnek fayda fonksiyonları tasarımları Denklem 3.22’de verilmiştir. Burada birinci faydanın ikinci faydadan büyük olması durumunda ise Denklem 3.23’teki çıkarım yapılır. Ancak hata terimlerinin var olması durumunda deterministik bir sonuç elde edilemeyeceği, genellikle buradaki hata terimlerinin farkları ($\varepsilon_2 - \varepsilon_1$) ihmal edildiğinden, seçenek 1’in seçilme olasılığının Denklem 3.24’teki gibi gösterilmesi doğru bir yaklaşım olmaktadır (McFadden, 1974 a; Akalın, 2016; Ortúzar ve Willumsen, 2011).

$$\begin{aligned} U_1 &= V_1 + \varepsilon_1 \\ U_2 &= V_2 + \varepsilon_2 \end{aligned} \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} V_1 + \varepsilon_1 &\geq V_2 + \varepsilon_2 \\ V_1 - V_2 &\geq \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \end{aligned} \quad (3.23)$$

$$\begin{aligned} P(1) &= P(U_1 \geq U_2) \\ P(1) &= P(V_1 + \varepsilon_1 \geq V_2 + \varepsilon_2) \\ P(1) &= P(V_1 - V_2 \geq \varepsilon_2 - \varepsilon_1) \end{aligned} \quad (3.24)$$

Burada;

P : ilgili seçeneğin seçilme olasılığı,

U_1, U_2 : seçenek 1 ve 2’nin faydaları,

V_1, V_2 : seçenek 1 ve 2’nin faydalarının belirleyici bileşenleri,

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$: seçenek 1 ve 2’nin faydalarının rassal bileşenleri veya hata terimleri.

Modelde hesaplamalar, hata terimlerinin varyanslarının normal dağılıma uyması durumunda Probit, Gumbel dağılımı gibi Tip-1 uç değer dağılıma uyması durumunda Lojit Model yaklaşımıyla ele alınır. Hata terimlerinin farkı iki sabit değer arasında tekdüze dağılıyorsa Doğrusal Olasılık Modeli ile hesap yapılır. İki rastgele değişken normal dağılıma uyuyorsa farkları ($\varepsilon_2 - \varepsilon_1$) da normal dağılıma uyum göstermektedir. İki rastgele değişken Tip-1 uç değer dağılımına uyuyorsa farkları lojistik dağılıma uymaktadır (Domencich ve McFadden, 1975; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016; Tezcan, 2019).

RFM yaklaşımında Lojit Model veya başka bir deyişle Lojistik Regresyon Modeli, En Küçük Kareler (EKK) yaklaşımının kısıtlayıcı varsayımlarının üstesinden gelebildiği için araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. EKK yaklaşımında, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında doğrusal ilişki olduğu ve hata terimlerinin normal dağılıma uyması durumunda bağımlı değişkenlerin de normal dağıldığı varsayılırken; RFM yaklaşımında, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında doğrusal ilişki olması ve bağımlı değişkenin ve hata terimlerinin normal dağılıma uyması gerekmemektedir. EKK'ye göre tahmin edilen Doğrusal Regresyon Modeli'nde, bağımlı değişkenler sürekli değişkenler olarak hesaba katılabilirken Lojit modelde bağımlı değişkenler kesiklidir. Ayrıca Doğrusal Regresyon Modeli'nde kullanılan bağımsız değişkenler sayısal, sıralı veya en fazla kukla olarak seçilebilirken Lojit modelde ek olarak kategorik değişkenlerin de bağımsız değişken olarak kullanılabilmesi mümkündür. Lojit modelde bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayılmaz ve bağımlı değişkenlerin normal dağılıma uyma zorunluğu yoktur (Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011).

3.3.1.1. İkili lojit (İL) model

İkili Lojit (İL) model, seçim kümesinin iki seçenek içerdiği özel bir durumla ilgilenmektedir. Hata terimlerinin farklarının lojistik dağıtıldığı varsayımı altında, seçenek 1'in seçilme olasılığı Denklem 3.25'te gösterildiği gibidir. Burada seçeneklerden birinin seçilme olasılığının artması, ilgili seçeneğin belirleyici bileşenin artmasına, diğer seçeneğin belirleyici bileşeninin azalmasına bağlıdır. Ancak bir belirleyici bileşen diğerine göre ne kadar büyük olursa olsun, ilgili seçeneğin seçilme olasılığı 1'e yaklaşıp da hiçbir zaman tam olarak 1 olamaz. (Domencich ve McFadden, 1975; Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016).

$$P_1 = \frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2}} = \frac{1}{1 + e^{V_2 - V_1}}$$

$$P_2 = \frac{e^{V_2}}{e^{V_1} + e^{V_2}} = \frac{1}{1 + e^{V_1 - V_2}}$$
(3.25)

Burada;

P_1 : seçenek 1'in seçilme olasılığı,

V_1, V_2 : seçenek 1 ve 2'nin fayda fonksiyonlarını belirleyici bileşenleri.

İL’de seçeneklere ilişkin fayda fonksiyonlarının belirleyici bileşenleri, öznitelikleri temsil eden bağımsız değişkenler ve tahmin edilmesi gereken katsayılardan oluşmaktadır (Denklem 3.26) (Domencich ve McFadden, 1975; Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016).

$$V_i = \beta_0 + \sum_1^j \beta_j \cdot X_j \quad (3.26)$$

Burada;

V_i : seçenek i ’in fayda fonksiyonunun belirleyici bileşeni,

X_j : bağımsız değişkenler,

β_0, β_j : sırasıyla, tahmin edilecek sabit terim ve bağımsız değişkenlerin katsayıları.

3.3.1.2. Çok terimli lojit (CTL) model

Çok Terimli Lojit (CTL) model, seçim kümesinde ikiden daha fazla seçeneğin bulunması durumunda kullanılmaktadır. Seçim kümesinde üç farklı seçenek olduğunun varsayıldığı durum için seçenek 1’in seçilme olasılığının genel gösterimi Denklem 3.27’de gösterilmiştir (Domencich ve McFadden, 1975; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016).

$$P(1) = P(U_1 > U_2 \text{ \& } U_1 > U_3) \quad (3.27)$$

Burada;

$P(1)$: seçenek 1’in seçilme olasılığı,

U_1, U_2, U_3 : sırasıyla, seçenek 1, 2 ve 3 için fayda fonksiyonları.

Yaygın olarak kullanılan CTL modelde, rassal terimlerin birikimli dağılım fonksiyonu Denklem 3.28’de gösterilmiştir. Denklem 3.29’da verilen olasılık yoğunluk fonksiyonunun bağımsız özdeşçe dağılmış Tip-1 uç değer (Gumbel gibi) dağılımına uyduğu kabul edilir (Domencich ve McFadden, 1975; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016).

$$F(x) = e^{-e^{-\mu x}} \quad (3.28)$$

$$f(x) = \mu e^{-e^{-\mu x}} e^{-\mu x} \quad (3.29)$$

Burada;

$F(x)$: Tip-1 uç değer dağılımının birikimli dağılım fonksiyonu,

$f(x)$: Tip-1 uç değer dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu,

μ : pozitif ölçek çarpanı.

Denklem 3.27’te verilen matematiksel ifade, dağılıma uygun olarak genişletilerek Denklem 3.30’daki ifade elde edilmektedir (Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016).

$$\begin{aligned}
 P(1) &= P(U_1 > U_2 \& U_1 > U_3) \\
 P(1) &= P(V_1 + \varepsilon_1 > V_2 + \varepsilon_2 \& V_1 + \varepsilon_1 > V_3 + \varepsilon_3) \\
 P(1) &= P(\varepsilon_2 < \varepsilon_1 + V_1 - V_2 \& \varepsilon_3 < \varepsilon_1 + V_1 - V_3) \\
 P(1) &= P(\varepsilon_2 < \varepsilon_1 + V_1 - V_2) \times P(\varepsilon_3 < \varepsilon_1 + V_1 - V_3) \\
 P(1) &= e^{-e^{-\mu(\varepsilon_1 + V_1 - V_2)}} \times e^{-e^{-\mu(\varepsilon_1 + V_1 - V_3)}} \\
 P(1) &= \prod_{j=2}^3 e^{-e^{-\mu(\varepsilon_1 + V_1 - V_j)}}
 \end{aligned} \quad (3.30)$$

Burada;

$P(1)$: seçenek 1’in seçilme olasılığı,

V_1, V_2, V_3 : sırasıyla, seçenek 1, 2 ve 3 için fayda fonksiyonlarının belirleyici bileşenleri,

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$: sırasıyla, seçenek 1, 2 ve 3 için hata terimleri,

μ : pozitif ölçek çarpanı.

Denklem 3.30’daki $\mu = 1$ olarak alınırsa Denklem 3.31’deki bağıntı elde edilir (Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016).

$$P(i | \varepsilon_i) = \prod_{j \neq i} e^{-e^{-(\varepsilon_i + V_i - V_j)}} \quad (3.31)$$

Denklem 3.31’deki formülün integralinin alınması ile ÇTL modelin Denklem 3.32’de gösterilen genelleştirilmiş olasılık formülü elde edilmektedir (Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016).

$$\begin{aligned}
P(i) &= \int_{-\infty}^{\infty} P(i | \varepsilon_i) f(\varepsilon_i) d\varepsilon_i \\
P(i) &= \int_{-\infty}^{\infty} \prod_{j \neq i} e^{-e^{-(\varepsilon_i + V_i - V_j)}} e^{-e^{-\varepsilon_i}} e^{-\varepsilon_i} d\varepsilon_i \\
P(i) &= \frac{e^{V_i}}{\sum_j e^{V_j}}
\end{aligned} \tag{3.32}$$

ÇTL modelde olasılığın seçeneklerin belirleyici kısımlarının farklarına bağlı olduğu, Denklem 3.33'teki üç farklı seçeneğin bulunduğu seçim kümesi için verilen seçenek 1'in seçilme olasılığını veren denklemde görülebilir. Burada denklemde kullanılan ifadelerle ilgili açıklama, daha önce verilen Denklem 3.30'un açıklamalarıyla aynı olduğu için tekrar yazılmamıştır. Bu yaklaşım tezin tamamında benimsenmiştir.

$$P(1) = \frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2} + e^{V_3}} = \frac{1}{1 + e^{-(V_1 - V_2)} + e^{-(V_1 - V_3)}} \tag{3.33}$$

3.3.1.3. Karma lojit (KL) model

Karma (Mixed) Lojit (KL), herhangi bir RFM modelini tahminleyebilen oldukça esnek bir modeldir. Diğer Lojit yaklaşımlarında, modelin tahmin parametreleri (β) her bir birey için sabit olacak şekilde tanımlanırken KL modelde parametreler sabit veya rassal olarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca KL modelde, gözlenemeyen faktörlerde korelasyona izin verilir. Normal dağılımla sınırlı olan Probit, Tip-1 uç değer dağılım gösterdiği kabul edilen ÇTL modelin aksine KL modelde rastgele katsayılar için herhangi dağılım seçilebilir (McFadden ve Train, 2000; Train, 2009; Şak, 2013).

KL modele göre seçim olasılıkları Denklem 3.34'teki gibi ifade edilmektedir. Buradan görüleceği üzere KL modeldeki karma ifadesi, belirlenen dağılıma sahip parametre yoğunluk fonksiyonu ($f(\beta)$) ve farklı katsayılar (β) için hesaplanan lojit fonksiyonunun karışımı şeklinde tanımlanmasından kaynaklanmaktadır (McFadden ve Train, 2000; Hensher ve Greene, 2003; Train, 2009).

$$P_{ni} = \int \left(\frac{e^{V_{ni}(\beta)}}{\sum_{j=1}^J e^{V_{nj}(\beta)}} \right) f(\beta) d\beta = \int \left(\frac{e^{\beta' x_{ni}}}{\sum_j e^{\beta' x_{nj}}} \right) f(\beta) d\beta \quad (3.34)$$

Burada;

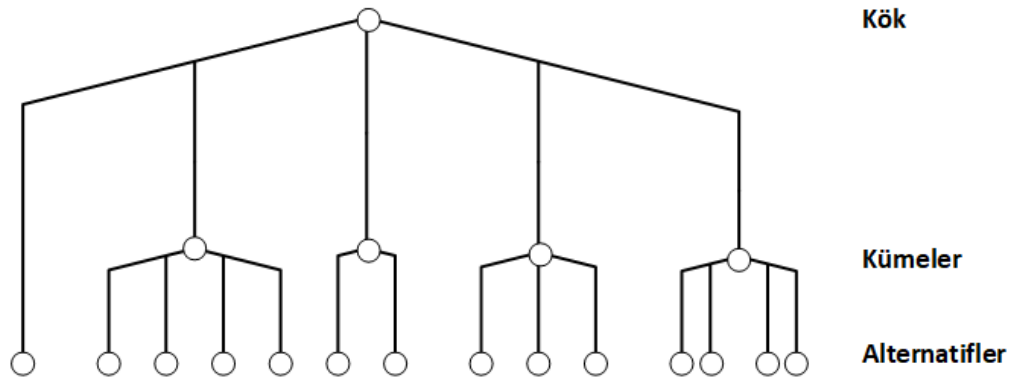
P_{ni} : n bireyi için seçenek i 'in seçilme olasılığı,

V_{ni}, V_{nj} : n bireyi için sırasıyla, seçenek i ve j için fayda fonksiyonlarının belirleyici bileşenleri,

$f(\beta)$: parametre yoğunluk fonksiyonu.

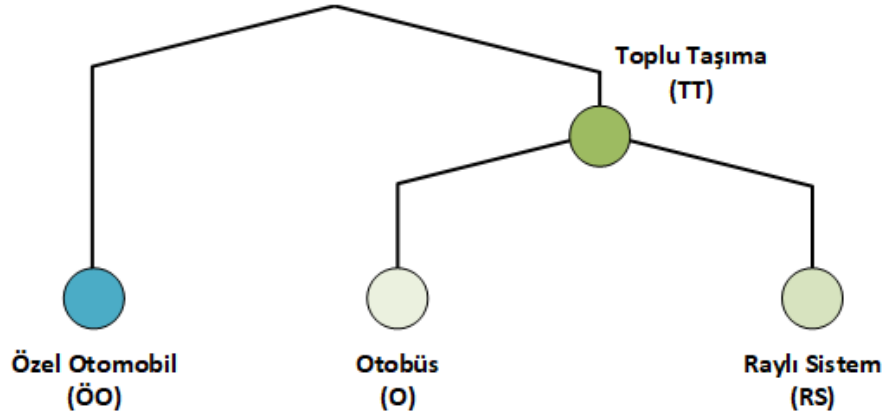
3.3.1.4. Yuvalanmış lojit (YL) model

Yuvalanmış (Nested) Lojit (YL) modeli, kapalı form Lojit modelidir. YL modeli, aralarında ilişki olabilecek seçeneklerin daha kapsamlı kümeler haline gruplandırılarak hesaba katıldığı, ÇTL modelin bir uzantısıdır. Bu yaklaşımda, ortak gruplardaki seçeneklerin faydaları arasında bağımlılığa veya korelasyona izin verilir. Model, bu varsayım haricinde ÇTL ile aynı varsayımlara dayanmaktadır. İki seviyeli YL modelin genel yapısı Şekil 3.8'de gösterilmiştir (Daly ve Zachary, 1978; Wen ve Koppelman, 2001; Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011).



Şekil 3.8. İki seviyeli Yuvalanmış Lojit (YL) genel yapısı

Şekil 3.9'da gösterilen iki seviyeli YL model örneği için kümeler dahil olasılık fonksiyonları Denklem 3.35'te, seçeneklerin olasılık fonksiyonları Denklem 3.36'da gösterilmiştir (Wen ve Koppelman, 2001; Ortúzar ve Willumsen, 2011).



Şekil 3.9. İki seviyeli Yuvalanmış Lojit (YL) model örneği

$$\begin{aligned}
 P(\ddot{O}O) &= \frac{e^{(V_{\ddot{O}O})}}{e^{(V_{\ddot{O}O})} + e^{(V_{TT})}} \\
 P(TT) &= 1 - P(\ddot{O}O) \\
 P(O/TT) &= \frac{e^{(W_O)}}{e^{(W_O)} + e^{(W_{RS})}} \\
 P(RS/TT) &= 1 - P(O/TT)
 \end{aligned} \tag{3.35}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\ddot{O}O} &= P(\ddot{O}O) \\
 P_O &= P(O/TT) \cdot P(TT) \\
 P_{RS} &= P(RS/TT) \cdot P(TT)
 \end{aligned} \tag{3.36}$$

Burada;

$i = \{\ddot{O}O, TT, O/TT, RS/TT\}, j = \{\ddot{O}O, O, RS\}, k = \{\ddot{O}O, TT\}, t = \{O, RS\}$ olmak üzere,

P : ilgili seçeneğin veya kümenin seçilme olasılığı,

V_k, W_t : ilgili seçeneğin fayda fonksiyonlarının belirleyici bileşenleri.

3.3.1.5. Sıralı lojit (SL) model

Sıralı (Ordered) Lojit (SL), diğer bir ifadeyle Orantılı Odds (Proportional Odds) modeli, bağımlı değişkenler arasında sıralı bir ilişki olması durumu (1-kötü, 2-orta, 3-iyi gibi) için üretilmiş bir Lojit Model'dir. SL modelinde temel süreç; gözlenen sıralı değişken Y 'nin, kesin ancak ölçüsüz Y^* (Denklem 3.37) değişkeni ile belirlenmesi şeklinde tanımlanır (Van Dijk ve Pellenbarg, 2000; Borooah, 2002; Menard, 2002; Williams, 2016, 2021).

$$Y^* = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad (3.37)$$

Burada;

Y^* : sürekli örtülü veya gizil (latent) değişken,

X : bağımsız değişken,

β : bağımsız değişkenlerin tahmin edilecek katsayılar,

ε : hata terimi.

Sürekli gizil değişken çeşitli eşik noktalarına sahiptir ve gözlenen sıralı değişken bu eşik değerlere bağlıdır. Gizil değişkene göre belirlenen, gözlenen sıralı değişken Denklem 3.38'deki gibi seçilir (Van Dijk ve Pellenbarg, 2000; Borooah, 2002; Menard, 2002; Williams, 2016, 2021).

$$\begin{aligned} Y_i &= 0 \quad \text{eğer } Y_i^* \leq \kappa_0 \\ Y_i &= 1 \quad \text{eğer } \kappa_0 < Y_i^* \leq \kappa_1 \\ Y_i &= 2 \quad \text{eğer } \kappa_1 < Y_i^* \leq \kappa_2 \\ Y_i &= N \quad \text{eğer } \kappa_{N-1} < Y_i^* \end{aligned} \quad (3.38)$$

Burada;

Y^* : sürekli örtülü veya gizil (latent) değişken,

Y : gözlenen sıralı değişken,

κ : eşik uç değerleri.

SL modeldeki ilgili sıranın olasılıkları Denklem 3.39'da, basit bir üçlü sıra için olasılıklar Denklem 3.40'da gösterildiği gibi hesaplanır (Van Dijk ve Pellenbarg, 2000; Borooah, 2002; Menard, 2002; Williams, 2016, 2021).

$$\begin{aligned}
P(Y_i > j) &= \frac{e^{(\beta X_i - \kappa_j)}}{1 + e^{(\beta X_i - \kappa_j)}} \\
P(Y_i = 1) &= \frac{e^{(\beta X_i - \kappa_1)}}{1 + e^{(\beta X_i - \kappa_1)}} \\
P(Y_i = j) &= \frac{e^{(\beta X_i - \kappa_{j-1})}}{1 + e^{(\beta X_i - \kappa_{j-1})}} - \frac{e^{(\beta X_i - \kappa_j)}}{1 + e^{(\beta X_i - \kappa_j)}}, \quad j = \{2, 3, \dots, (M-1)\} \\
P(Y_i = M) &= \frac{e^{(\beta X_i - \kappa_{M-1})}}{1 + e^{(\beta X_i - \kappa_{M-1})}}
\end{aligned} \tag{3.39}$$

$$\begin{aligned}
P(Y = 1) &= \frac{1}{1 + e^{(Z_i - \kappa_1)}} \\
P(Y = 2) &= \frac{1}{1 + e^{(Z_i - \kappa_2)}} - \frac{1}{1 + e^{(Z_i - \kappa_1)}} \\
P(Y = 3) &= 1 - \frac{1}{1 + e^{(Z_i - \kappa_2)}}
\end{aligned} \tag{3.40}$$

Burada;

$$Z_i = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{ki} = E(Y^*_i).$$

3.3.2. Pişmanlık tabanlı tercih modelleri

Tercih modellerinde genellikle RFM yaklaşımı kullanılmaktadır. Ancak insanların davranışsal özellikleri ulaştırma alanında da yalnızca faydayı en büyükmek üzerine değil, ekonomideki fırsat maliyetine benzer olarak tercih etmediği veya vazgeçtiği seçenekten duyduğu pişmanlık üzerine de kurulabilmektedir. Bu kapsamda, ulaştırma planlaması için oluşturulacak tercih modellerinde bu tarz yaklaşımlar da dikkate alınarak daha güçlü modeller elde edilebilir.

Pişmanlık teorisi, 1980'li yıllarda Fishburn (1982), Bell (1982), Loomes ve Sugden (1987) tarafından teorik ekonomi alanında geliştirilmiştir. Kısaca pişmanlıktan kaçınma olarak da ifade edilebilen pişmanlık teorisinde, beklenen pişmanlığın etkisi dikkate alınarak belirsizlik altında tercihlerin modellenmesi amaçlanmaktadır. Pişmanlık teorisinde, bireylerin tercihlerinin yalnızca herhangi bir durum için düşünülen bir seçeneğin beklenen performansına değil aynı zamanda diğer seçeneklerin performanslarına da bağlı olduğu yaklaşımına dayanmaktadır. Başka bir ifadeyle; birey tarafından seçilmemiş veya

vazgeçilmiş seçeneğin, seçilenden daha çekici hale gelme olasılığının öngörüldüğü ve hesaba katıldığı varsayılır. Ulaştırma alanından bir örnek vermek gerekirse: Bir bireyin yolculuğunu gerçekleştirmek için özel otomobili seçtiği durumda sistemde mevcut olan toplu taşıma, motosiklet, bisiklet ve yaya gibi türleri seçmediği için yaşanan pişmanlığın (maliyet vb. değişkenler açısından) veya memnuniyetin (süre vb. değişkenler açısından) bilindiği varsayılır. Burada pişmanlık, seçilmeyen seçeneğin daha iyi (Örneğin; $maliyet_{bisiklet} - maliyet_{otomobil} < 0$), memnuniyet ise seçilmeyen seçeneğin daha kötü performans göstermesi durumunu (Örneğin; $süre_{bisiklet} - süre_{otomobil} > 0$) ifade etmektedir. Buradan anlaşılabacağı üzere, her seçenek için beklenen pişmanlığın veya memnuniyetin ölçülmesi gereklidir. Matematiksel ifadeyle pişmanlık teorisinde i ve j seçeneklerinin olduğu seçim kümesi için Denklem 3.41'in sağlanması durumunda, seçenek i seçilir. Ayrıca bir i seçiminin j 'ye göre pişmanlığı ile bir j seçiminin i 'ye göre pişmanlığı birbirinin toplamaya göre tersi (Denklem 3.42) şeklinde ifade edilir (Loomes ve Sugden, 1987; Quiggin, 1994; Chorus vd., 2008).

$$\sum_{s \in M} [p(s) \cdot R_{ij}(s)] > 0 \quad (3.41)$$

Burada;

s : seçim evrenindeki belirli durum,

M : seçim evrenindeki olası bütün durumlar,

$p(s)$: s durumunun olma olasılığı,

$R_{ij}(s)$: i seçiminin j 'ye göre pişmanlık veya memnuniyet ölçüsü (i 'nin daha cazip olması durumunda negatif değer alır, aksi halde j daha cazip bir seçenek olarak değerlendirilir).

$$R_{ij}(s) = -R_{ji}(s) \quad (3.42)$$

Pişmanlık teorisi, ilk olarak seçim davranışlarını incelemek ve modellemek için fayda teorisine alternatif olarak önerilmiştir. Buna göre; Denklem 3.43'ün sağlanması durumunda, pişmanlık modeli beklenen fayda modeline indirgenmektedir (Loomes ve Sugden, 1987; Quiggin, 1994; Von Neumann ve Morgenstern, 2007; Chorus vd., 2008).

$$\begin{aligned}
 R_{ij}(s) &\equiv U_j(s) - U_i(s) \\
 R_{ji}(s) &\equiv U_i(s) - U_j(s)
 \end{aligned}
 \tag{3.43}$$

Burada;

$R_{ij}(s), R_{ji}(s)$: sırasıyla, i seçiminin j 'ye göre ve j seçiminin i 'ye göre pişmanlıkları,
 $U_i(s), U_j(s)$: sırasıyla, seçenek i ve j 'nin fayda fonksiyonları.

Basit ve anlaşılır yapısı ile birlikte gerçek davranışları daha doğru yansıtması, pişmanlık teorisi modellerini mikroekonomik analizlerde oldukça yaygın olarak kullanılan bir yaklaşım olarak ön plana çıkarmıştır (Loomes ve Sugden, 1987; Quiggin, 1994; Machina, 2008; Starmer, 2011). Chorus vd. (2008) mevcut seçim davranışı modellerini kullanarak, yolculuk seçimlerinin analizinde pişmanlık modelinin uygulanabilirliği ile ilgili öncü çalışmayı gerçekleştirmiş ve model yaklaşımını ulaştırma disiplinine uyarlanarak RPM modelinin temel yapısını geliştirmiştir.

Ulaştırma talep tahmin modellerinde, bireylerin seçim davranışları bağlamında pişmanlık teorisini uygulamak için çok terimli seçim kümesi ve çok nitelikli karar verme olmak üzere iki tür genelleme yapılmalıdır. Birinci genellemeye göre türetilen pişmanlık modeli fonksiyonlarında kullanılan genel seçim kümeleri, duruma ait seçeneklerin bağımsızlığı (ISDA: Irrelevant of State-wise Dominated Alternatives) gerekliliğine dayalı olmalıdır. Bu durum; fayda tabanlı tercih teorisindeki ilgisiz seçeneklerin bağımsızlığına benzer şekilde belirli bir seçim kümesindeki bir seçimin, bu kümeye diğer seçeneklerin hâkim olduğu bir seçeneğin eklenmesi veya çıkarılmasından etkilenmeyeceğini belirtmektedir. Bir seçenekle ilişkili pişmanlığın en iyi seçenek hariç daha iyi olan diğer seçeneklere bağlı olması ve modelin memnuniyetten daha çok pişmanlıkla ilgili olması durumu bu genellemenin en temel iki sonucudur. İkinci genellemeye göre ise işlevsel bir pişmanlık tabanlı yolculuk tercihi modeli elde edilebilmesi için bir seçeneğin beklenen performansının birden fazla özneliğe, diğer bir deyişle farklı seçeneklere ait değişkenlere bağlı olması gereklidir (Quiggin, 1994; Chorus vd., 2008).

3.3.2.1. Temel rastgele pişmanlık minimizasyon (T-RPM) modeli

RPM modellerinin temel versiyonu olan T-RPM modeli, Quiggin (1994) tarafından yapılan pişmanlık tabanlı çalışma üzerine Chorus vd. (2008) tarafından geliştirilmiştir. En temel pişmanlık yaklaşımını içeren bu modelde; tercih edilen seçenek, rakip seçeneklerle karşılaştırıldığında aldığı maksimum pişmanlık değerine göre belirlenir.

Örnek olarak: Üç seçenek (i, j ve k) bulunan bir seçim kümesinden seçim yapacak bir birey için, üç farklı bağımsız değişken (x, y ve z) Denklem 3.44'te gösterildiği gibi tanımlanmıştır (Chorus vd., 2008).

$$\begin{aligned} i &= \{x_i, y_i, z_i\} \\ j &= \{x_j, y_j, z_j\} \\ k &= \{x_k, y_k, z_k\} \end{aligned} \quad (3.44)$$

Buradaki bireyin ele alınan bir seçenekle ilişkilendirdiği pişmanlık, iki seçeneğin karşılaştırılması sonucunda en iyi seçeneğin seçilmesiyle elde edilen pişmanlığa eşittir (Denklem 3.45) (Chorus vd., 2008).

$$\begin{aligned} R_i &= \max\{R_{ij}, R_{ik}\} \\ R_j &= \max\{R_{ji}, R_{jk}\} \\ R_k &= \max\{R_{ki}, R_{kj}\} \end{aligned} \quad (3.45)$$

Denklem 3.45'teki ikili pişmanlıkların her biri, bir öznitelik düzeyinde seçeneklerin karşılaştırılmasıyla ilişkili pişmanlıkların toplamıdır. Örneğin: j seçeneği ile karşılaştırıldığında i ile ilişkili ikili pişmanlık Denklem 3.46'daki gibi ifade edilmektedir (Chorus vd., 2008).

$$R_{ij} = \varphi_x(x_i, x_j) + \varphi_y(y_i, y_j) + \varphi_z(z_i, z_j) \quad (3.46)$$

Burada, daha karmaşık yapılar için uygun olsa da özetle Denklem 3.47'deki doğrusal formu kullanarak φ_x , φ_y ve φ_z özdeğer fonksiyonları tanımlanmaktadır (Loomes ve Sugden, 1982; Chorus vd., 2008).

$$\begin{aligned}\varphi_x(x_i, x_j) &= \max\{0, \beta_x \cdot (x_j - x_i)\} \\ \varphi_y(y_i, y_j) &= \max\{0, \beta_y \cdot (y_j - y_i)\} \\ \varphi_z(z_i, z_j) &= \max\{0, \beta_z \cdot (z_j - z_i)\}\end{aligned}\tag{3.47}$$

Düşünülen seçeneğin (i) başka bir seçenek (j) ile karşılaştırılmasıyla ilişkili ikili pişmanlık düzeyi, iki seçeneğin özniteliklerinin (M) her biri açısından karşılaştırılmasıyla ilişkili pişmanlıkların toplamı olarak düşünülür. Bu öznitelik düzeyinde pişmanlık, ya sıfıra eşittir ya da öznitelik performansındaki ağırlıklı farka eşittir. Sıfıra eşit olma durumunda; göz önünde bulundurulmuş seçeneğin, söz konusu öznitelikte diğer seçenektan daha iyi performans gösterdiği kabul edilir. Böylece, j seçeneği ile karşılaştırıldığında i ile ilişkili ikili pişmanlık Denklem 3.48'deki gibi ifade edilmektedir (Chorus vd., 2008; Chorus, 2010).

$$R_i = \max_{i \neq j} \left\{ \sum_{s=1}^M \max(0, \beta_s [x_{js} - x_{is}]) \right\}\tag{3.48}$$

Burada;

R_i : i seçeneğinin pişmanlığı,

β_s : s özniteliği için tahmin edilecek katsayı,

x_{js}, x_{is} : sırasıyla, j 'nin ve i 'nin seçilmesi durumunda s özniteliğindeki değişken değerleri.

Rastgele pişmanlığın (RP) en küçüklenmesinin matematiksel olarak -RP'nin en büyüklenmesine eşdeğer olduğunu kabul ederek n bireyinin i seçeneğini seçme olasılığı $P_n(i)$, mevcut KL formülü yardımıyla Denklem 3.49'daki gibi türetilir (Chorus vd., 2008).

$$P_n(i) = \int_{\eta_n, \delta_n} \left(\frac{e^{(-R_{in}(\eta_n))}}{\sum_{l \in \{i, j, k\}} e^{(-R_{ln}(\eta_n))} + e^{(-\pi(\delta_n))}} \right) f(\eta_n, \delta_n) d(\eta_n, \delta_n)\tag{3.49}$$

Burada;

P_n : n bireyinin ilgili seçeneği seçme olasılığı,

η_n : sabit terimlere eklenen hata terimleri,

π : bağımsız özdeşçe dağılmış uç değer dağılıma sahip rastgele bileşen ile deterministik ifade olan δ_n 'dan oluşan, seçimin ertelenip ertelenmeyeceği ile ilgili pişmanlık eşik ifadesi,

δ_n : bir bireye özgü rastgele bileşen.

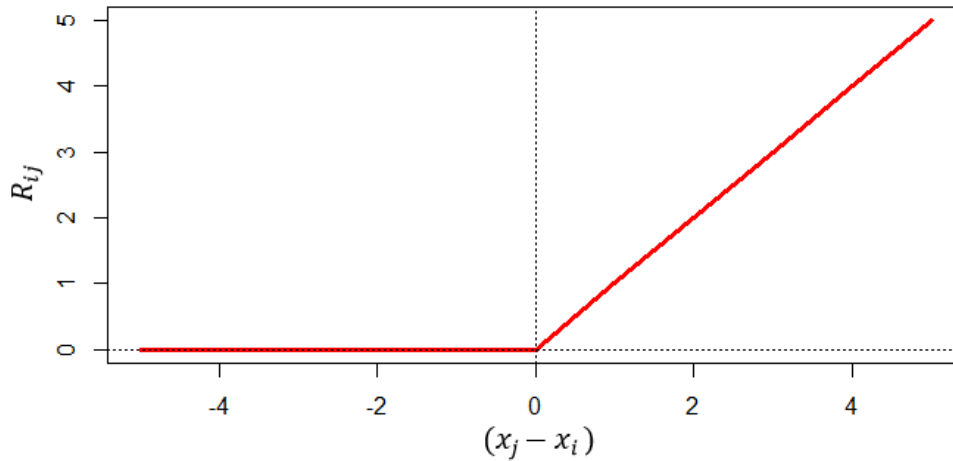
Seçim kümesinde J seçeneğin olduğu bir örnek için bir bireyin seçenek i 'yi seçme olasılığı Denklem 3.50'de verilmiştir.

$$P_i = \frac{e^{(-R_i)}}{\sum_{j=1}^J e^{(-R_j)}} \quad (3.50)$$

Herhangi iki seçenekten birinin, herhangi bir değişken düzeyinde diğerine göre ikili pişmanlığı (R_{ij}) Denklem 3.51'de verilmiştir.

$$R_{ij} = \max(0, \beta(x_j - x_i)) \quad (3.51)$$

Buna göre, değişkenlerin farklarının ($x_j - x_i$) örnek olarak -5 ile 5 arasında değiştiği ve $\beta = 1$ için ikili pişmanlığın dağılımı Şekil 3.10'da verilmiştir. Buradan anlaşılabileceği üzere değişkenlerin karşılaştırılması durumunda, mevcut seçime ait değişken daha iyi performans gösteriyorsa pişmanlığın olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.10. Bir değişken bazında T-RPM ikili pişmanlık fonksiyonu dağılımı

3.3.2.2. Klasik rastgele pişmanlık minimizasyon (K-RPM) modeli

Klasik RPM (K-RPM) modeli, seçenekler arasında seçim yaparken karar vericilerin beklenen rasgele pişmanlığı en aza indirmeyi amaçladığını varsaymaktadır. Buna göre; dikkate alınan her bir seçenek ile ilişkili beklenen rasgele pişmanlık seviyesi, pişmanlığın gözlemlenmeyen heterojenliğini temsil eden bağımsız özdeşçe dağılmış ve Tip-1 uç değer dağılıma uygun rastgele hata terimi ile sistematik pişmanlık bileşeninden meydana gelmektedir. Sistematik pişmanlık bileşeni, göz önünde bulundurulan seçenek ile seçim kümesindeki diğer seçeneklerin sırayla birbirleriyle kıyaslanarak bütün ikili pişmanlıkların toplamı olarak düşünülür (Denklem 3.52). Böylece K-RPM modelinde, dikkate alınan seçenektan daha iyi performans gösteren ve vazgeçilen her seçeneğin beklenen pişmanlığa etki ettiği varsayılmaktadır (Chorus, 2010).

$$R_i = \sum_{j \neq i} R_{i \leftrightarrow j} \quad (3.52)$$

Öznitelik düzeyinde (s) pişmanlık ifadesi; göz önünde bulundurulan seçeneğin, söz konusu öznitelikte diğer seçenektan daha iyi performans göstermesi durumunda sıfıra veya öznitelik performansındaki ağırlıklı farka eşittir. Bu ifadeye iki durum için hata terimlerinin eklenmesinin ardından iki seçeneğin birbirine göre ikili pişmanlığı Denklem 3.53'teki halini almaktadır (Chorus, 2010).

$$R_{i \leftrightarrow j} = \sum_{s=1}^M R_{i \leftrightarrow j}^s \quad (3.53)$$

$$R_{i \leftrightarrow j}^s = \max\{(0 + \varepsilon_{0s}), (\beta_s(x_{js} - x_{is}) + \varepsilon_{xs})\}$$

Burada;

$R_{i \leftrightarrow j}^s$: öznitelik (s) düzeyinde seçenek i 'nin j 'ye göre pişmanlığı,

β_s : s özniteliği için tahmin edilecek katsayı,

x_{js}, x_{is} : sırasıyla, j 'nin ve i 'nin seçilmesi durumunda s özniteliğindeki değişken değerleri,

$\varepsilon_{0s}, \varepsilon_{xs}$: sırasıyla, sabit hata terimi ve değişken düzeyinde hata terimi.

Seçim olasılıklarına ulaşmak için önce Denklem 3.53'teki ifadenin hata terimlerine göre integrasyon yapılmalıdır. Bunun sonucunda, Denklem 3.54'teki fonksiyon elde edilir (Ben-Akiva ve Lerman, 1985; Chorus, 2010).

$$\begin{aligned}\tilde{R}_i &= \int_{\varepsilon} [R_{i \leftrightarrow j}^s f(\varepsilon)] d\varepsilon = \ln \left(1 + e^{(\beta_s(x_{js} - x_{is}))} \right) \\ \tilde{R}_i &= \sum_{j \neq i} \sum_{s=1}^M \ln \left(1 + e^{(\beta_s(x_{js} - x_{is}))} \right)\end{aligned}\quad (3.54)$$

Herhangi üç seçenektan (i, j ve k) birinin (i) diğerlerine göre, herhangi bir değişken düzeyinde pişmanlığı Denklem 3.55'te gösterildiği gibidir. Örnek gösterebilmek adına burada sabit terim ve hata terimi ihmal edilmiştir.

$$R_i = \ln \left(1 + e^{(\beta(x_j - x_i))} \right) + \ln \left(1 + e^{(\beta(x_k - x_i))} \right) \quad (3.55)$$

K-RPM modelinde bireylerin seçim yaparken en aza indirmeye çalıştıkları varsayılan pişmanlık; bir veya daha fazla seçilmemiş seçeneğin, bir veya daha fazla öznitelige bağlı olarak seçilene göre daha iyi performans göstermesi durumunda yaşanır. Denklem 3.56'da gösterilen toplam pişmanlık ise dikkate alınan seçenek (i) ile onun rakip seçenekleri arasındaki bütün öznitelikler ($s = 1, \dots, M$) için ikili karşılaştırmalarla elde edilen ikili pişmanlıkların tamamının toplamı şeklinde düşünülür (Chorus, 2010, 2012 b; Cranenburgh vd., 2015).

$$RR_i = R_i + \varepsilon_i = \sum_{j \neq i} \sum_{s=1}^M \ln \left(1 + e^{(\beta_s(x_{js} - x_{is}))} \right) + \varepsilon_i \quad (3.56)$$

Burada;

RR_i : i seçeneğinin seçimi için toplam pişmanlık,

R_i : i seçeneğinin seçimi için pişmanlığın gözlenen bileşeni veya ikili pişmanlık fonksiyonları,

ε_i : i seçeneğinin seçimi için pişmanlığın gözlenemeyen bileşeni veya hata terimi,

β_s : s öznitelik düzeyinde tahmin edilecek katsayı,

x_{js}, x_{is} : öznitelik (s) düzeyinde sırasıyla j ve i seçeneğine özgü değişkenler.

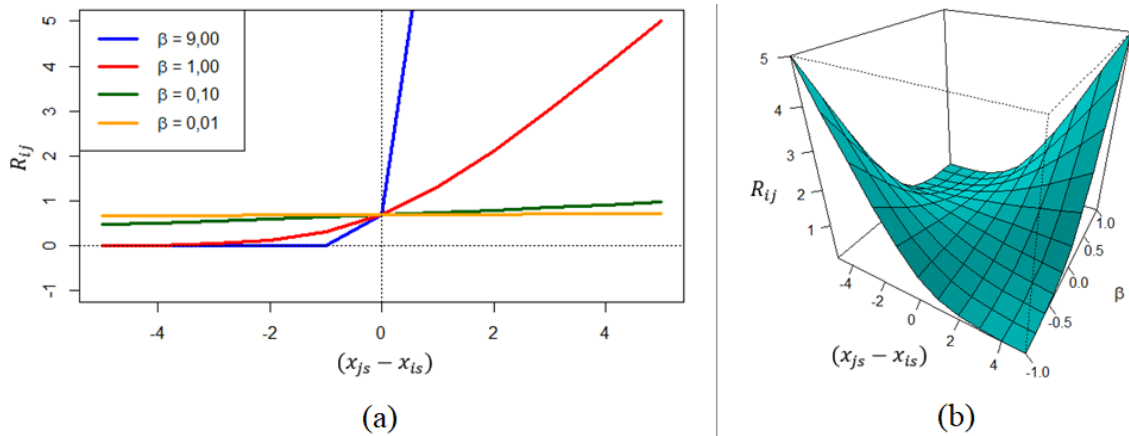
RFM modellerinden esinlenerek üretilen K-RPM modelinde negatif hata teriminin, ÇTL'deki gibi bağımsız özdeşçe dağılmış Tip-1 uç değer dağılımına uygun ve varyans değerinin $\pi^2/6$ olduğu kabul edilmektedir. Buna göre, K-RPM modeli için seçim olasılıkları için iyi bilinen en uygun kapalı form olan lojit formülü ile Denklem 3.57'deki gibi hesaplanmaktadır (Chorus, 2010, 2012 b; Cranenburgh vd., 2015).

$$P_i = \frac{e^{(-R_i)}}{\sum_{j=1}^J e^{(-R_j)}} \quad (3.57)$$

Herhangi iki seçenektan birinin, herhangi bir değişken düzeyinde diğerine göre ikili pişmanlığı (R_{ij}) Denklem 3.58'de verilmiştir.

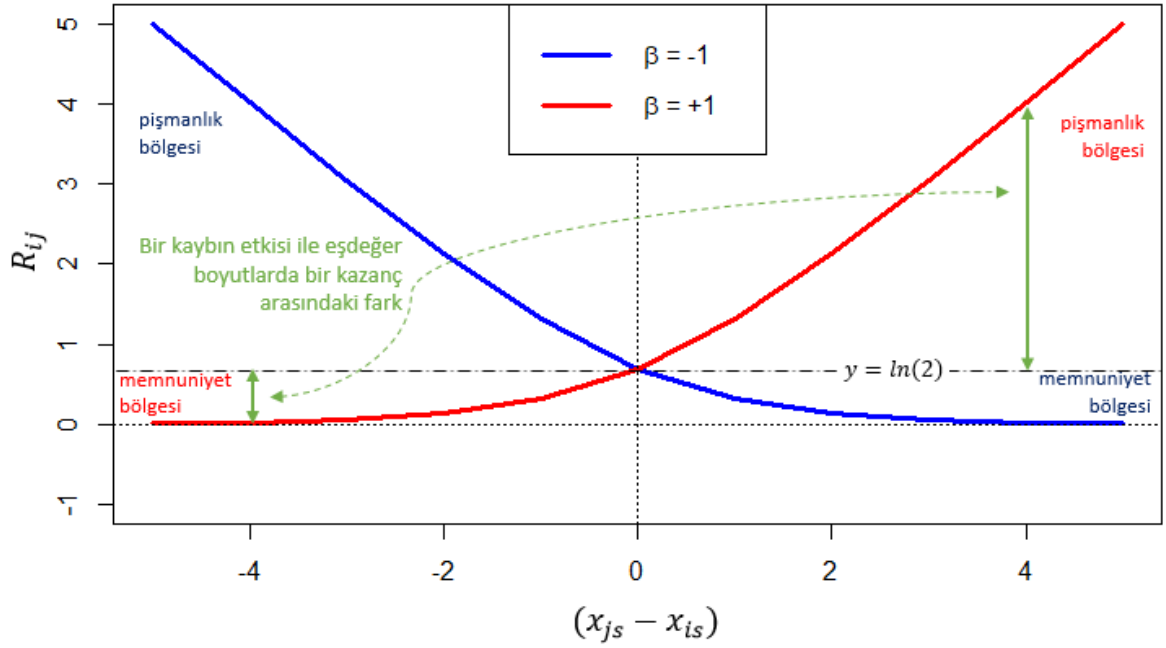
$$R_{ij} = \ln \left(1 + e^{\left(\beta (x_{js} - x_{is}) \right)} \right) \quad (3.58)$$

Buna göre, değişkenlerin farklarının ($x_{js} - x_{is}$) örnek olarak -5 ile 5 arasında değiştiği, bazı katsayı (β) değerleri için ikili pişmanlığın dağılımı Şekil 3.11'de verilmiştir. Grafikten görüleceği üzere, pişmanlık fonksiyonunun şekilleri verilen dört farklı β değeri için farklılık göstermektedir (Cranenburgh vd., 2015).



Şekil 3.11. Bir değişken bazında farklı katsayı değerleri için K-RPM ikili pişmanlık fonksiyonu dağılımı: a) iki boyutlu dağılım, b) üç boyutlu dağılım

Herhangi iki seçenekten birinin herhangi bir değişken düzeyinde diğerine göre ikili pişmanlıklarının dağılımı, $\beta = 1$ ve $\beta = -1$ değerleri için Şekil 3.12’de gösterildiği gibidir. Burada, $y = \ln(1 + e^0) = \ln(2)$ yatay çizgisi üzerinde kalan alan pişmanlık, $y = \ln(2)$ ile $y = 0$ arasında kalan alan ise memnuniyet bölgelerini oluşturmaktadır. Grafikte görüldüğü üzere; bir kaybın yarattığı pişmanlık, eşdeğer bir kazancın yarattığı memnuniyetten daha büyük olacaktır.



Şekil 3.12. K-RPM modelinde, bir değişken bazında, $\beta = -1$ ve $\beta = +1$ için ikili pişmanlıkların dağılımı

Şekilden anlaşılacağı gibi, hem pişmanlık hem de memnuniyet alanlarında öznitelik düzeyinde pişmanlık fonksiyonu pozitifdir. İlk bakışta bu durum mantık dışı gibi görülse de nihai pişmanlığın (veya RFM çerçevesindeki faydanın) davranışla ilişkisiz (irrelevant) olması nedeniyle anlamlıdır. Yani her iki seçenek eşit derecede iyi performans gösterdiğinde öznitelik düzeyinde pişmanlık fonksiyonunun $\ln(2)$ kadar pişmanlık üretmesi olasılıkları etkilemez. Aslında bütün öznitelikler düzeyindeki pişmanlıklardan $\ln(2)$ çıkarılmasıyla bu durumun düzeltilmesi söz konusu olabileceken, tercih modeli perspektifinden bakıldığında seçim olasılıklarını etkilemeyeceği için buna gerek olmadığı açıktır (Train, 2009; Chorus, 2010, 2012 c; Cranenburgh vd., 2015).

3.3.2.3. Genelleştirilmiş rastgele pişmanlık minimizasyon (G-RPM) modeli

Genelleştirilmiş RPM (G-RPM) modeli, Denklem 3.56’da verilen K-RPM modelindeki toplam pişmanlık denkleminde yer alan sabit 1 teriminin Denklem 3.59’daki gösterildiği gibi “pişmanlık ağırlığı” olarak adlandırılan bir γ ile değiştirilmesi ile oluşturulmaktadır (Chorus, 2014).

$$RR_i = R_i + \varepsilon_i = \sum_{j \neq i} \sum_{s=1}^M \ln \left(\gamma + e^{\left(\beta_s (x_{js} - x_{is}) \right)} \right) + \varepsilon_i \quad (3.59)$$

Burada;

RR_i : i seçeneği için toplam pişmanlık,

R_i : i seçeneği için pişmanlığın gözlenen bileşeni veya ikili pişmanlık fonksiyonları,

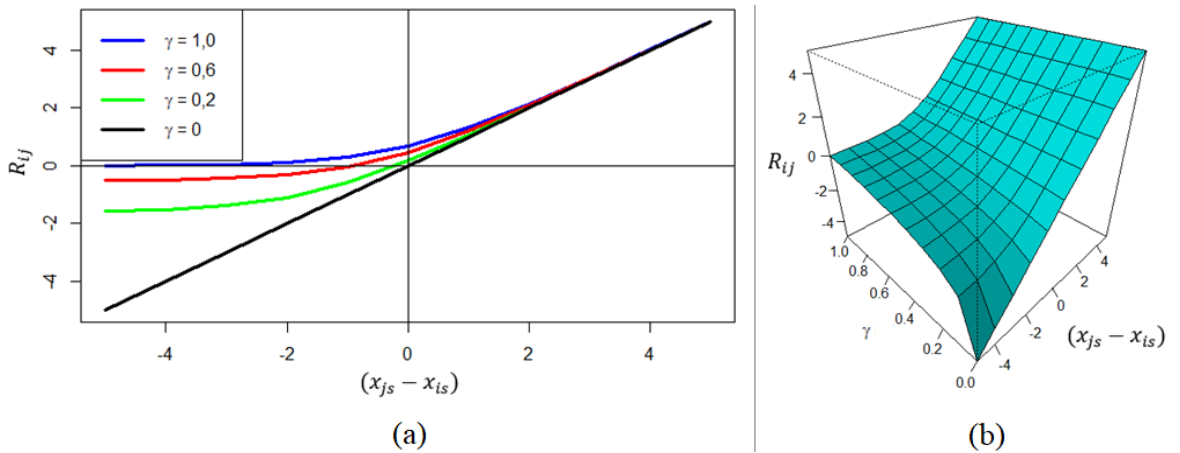
ε_i : i seçeneği için pişmanlığın gözlenemeyen bileşeni veya hata terimi,

β_s : s öznitelik düzeyinde tahmin edilecek katsayı,

x_{js}, x_{is} : öznitelik (s) düzeyinde sırasıyla j ve i seçeneğine özgü değişkenler,

γ : pişmanlık ağırlığı.

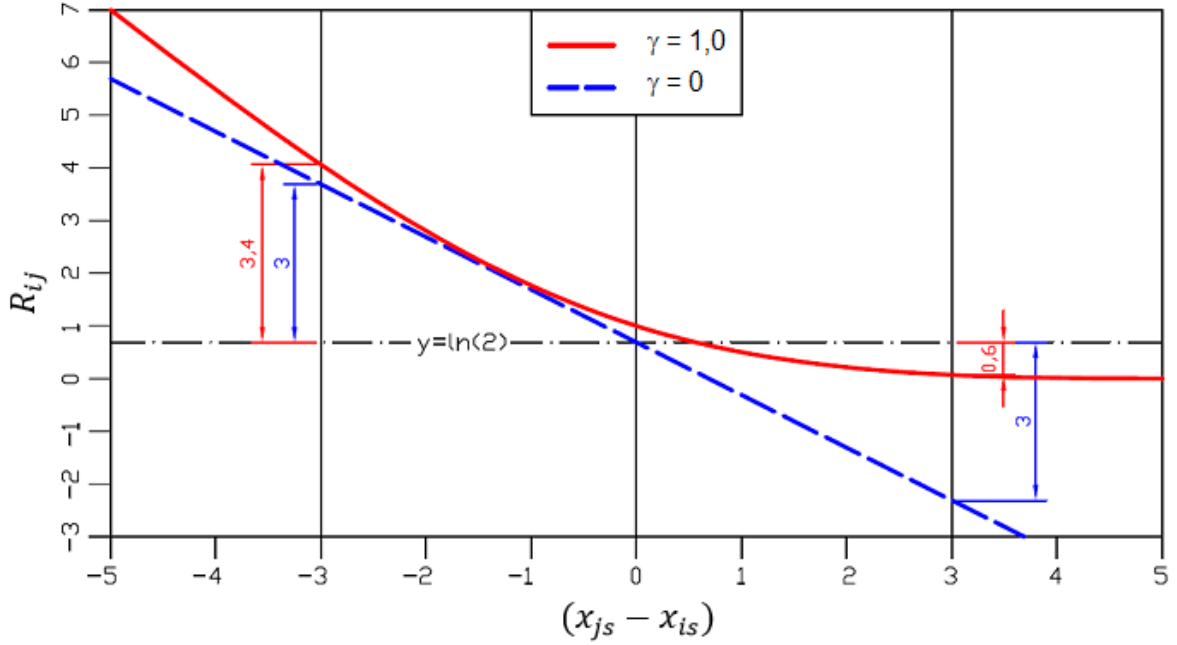
Buna göre; değişkenlerin farklarının ($x_{js} - x_{is}$) örnek olarak -5 ile 5 arasında değiştiği, $\beta = 1$ sabit olmak üzere bazı farklı pişmanlık ağırlıkları (γ) için ikili pişmanlıkların dağılımları Şekil 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3.13. Farklı pişmanlık ağırlıkları için $\beta = 1$ sabit olmak üzere G-RPM ikili pişmanlık fonksiyonu dağılımları: a) iki boyulu dağılım, b) üç boyulu dağılım

Şekilde 3.13'teki her iki grafik de (a ve b) pişmanlık ağırlığı küçüldüğünde ve sıfıra yaklaştıkça başladığında pişmanlık fonksiyonunun dışbükeyliği azalmaktadır. Pişmanlık ağırlığı sıfır (0) olduğunda ise asimetri ortadan kalkmakta ve fonksiyon tam doğrusal olmaktadır. Bu durumda artık bir seçeneğin özelliğindeki herhangi bir değişikliğin pişmanlık üzerindeki etkisinin, diğer seçeneklerin performansına bağlı olmadığı ifade edilebilir. G-RPM modelinin ilave esnekliği, değişkenlerin katsayılarının (β) ve pişmanlık fonksiyonunun doğrusal olmama (non-linearity) durumunu yakalama ve ayırt etme yeteneğinden kaynaklanmaktadır (Chorus, 2014).

G-RPM modelinde; pişmanlık ağırlığının 0 ile 1 arasında ($0 < \gamma < 1$) bir değer alması durumunda, model hala RPM yaklaşımının temel özelliklerini gösterirken yarı telafi edici davranış sergilemektedir. Bu ifadeyi açıklamak için Şekil 3.14'te negatif genel bir katsayı tahminiyle $\gamma = 0$ ve $\gamma = 1$ için çizilen G-RPM modelinin ikili pişmanlıklarına ait dağılımı incelendiğinde iki grafikteki kayıpların etkisi ile eşdeğer boyutlardaki kazançlar arasında önemli bir fark olduğu görülmektedir. Bir örnekle ifade etmek gerekirse: Bir bireyin toplu taşıma (i) kullanarak yaptığı yolculuğun maliyeti 3 TL olsun. Bu yolculuğun maliyetinin yaya (j) olarak yapılması durumunda 0 TL, özel otomobil (k) ile yapılması durumunda ise 6 TL olacağı varsayalım. Buna göre, $\gamma = 0$ için oluşturulan G-RPM modelinde yolculuğun yaya olarak yapılması ($x_j - x_i = 0 - 3 = -3$) durumunda 3,4 birimlik pişmanlık yaşanırken özel otomobil kullanılarak yapılması ($x_k - x_i = 6 - 3 = 3$) durumunda ise 0,6 birimlik memnuniyet yaşandığı; $\gamma = 1$ için oluşturulan modelde ise yolculuğun yaya olarak yapılması ile özel otomobil kullanılarak yapılması durumunda duyulacak pişmanlık ve memnuniyet miktarının (3) aynı olduğu görülmektedir. Buradan görüleceği üzere, pişmanlık dağılımında asimetri arttıkça aynı miktardaki değişken farkları için pişmanlık ile memnuniyet ölçüleri arasındaki fark artmaktadır. Pişmanlık ağırlığının 0 ile 1 arasında belirlenmesi ve 1' doğru yaklaşmasıyla pişmanlık ve memnuniyet arasındaki farkın azalması durumu, “yarı telafi edici” (semi-compensatory) davranış olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.14. Farklı pişmanlık ağırlıkları için $\beta = 1$ sabit olmak üzere G-RPM ikili pişmanlık

Pişmanlık ağırlığı sıfıra yaklaştıkça RPM özelliği daha az belirgin hale gelmektedir. Pişmanlık ağırlığının bire eşit olması durumunda ($\gamma = 1$) model doğrudan K-RPM modele dönüşmektedir. Pişmanlık ağırlığının sıfır olması durumunda ($\gamma = 0$) ise ortaya çıkan pişmanlık fonksiyonu, RFM modeli ile üretilmiş bir fonksiyona benzemektedir (Denklem 3.60 ve 3.61). Tahmin sonuçlarına bakıldığında da pişmanlık ağırlığı sıfır olarak belirlenen G-RPM modelinin ÇTL modeldekiyle aynı seçim davranışı tahminlerini üreteceği söylenebilir (Chorus, 2014).

$$R_i = \ln \left(0 + e^{\left(\beta(x_j - x_i) \right)} \right) + \varepsilon_i = \beta \cdot (x_j - x_i) + \varepsilon_i \quad (3.60)$$

$$U_i = \beta \cdot x_i + \varepsilon_i \quad (3.61)$$

Burada;

R_i : i seçeneği için ikili pişmanlık fonksiyonu,

U_i : i seçeneği için fayda fonksiyonu,

ε_i : hata terimi,

β : tahmin edilecek katsayı,

x_j, x_i : sırasıyla j ve i seçeneğine özgü değişkenler.

G-RPM modeli için seçim olasılıkları, tıpkı K-RPM’de olduğu gibi lojit formülü kullanılarak Denklem 3.62’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$P_i = \frac{e^{(-R_i)}}{\sum_{j=1}^J e^{(-R_j)}} \quad (3.62)$$

3.3.2.4. Ölçekli rastgele pişmanlık minimizasyon (O-RPM) modeli

Ölçekli RPM (O-RPM) modeli, Denklem 3.56’da verilen K-RPM modelindeki toplam pişmanlık denklemindeki değişken katsayılarının (β) bir ölçek parametresine (μ) bölünmesiyle Denklem 3.63’deki gösterildiği gibi oluşturulmaktadır. Burada daha önce bahsedilen diğer RPM modellerinden farklı olarak seçim olasılıkları (P_i) hesaplanırken Denklem 3.64’teki gibi pişmanlık fonksiyonları (R) bu ölçek parametresi (μ) ile çarpılır.

$$RR_i = R_i + \varepsilon_i = \sum_{j \neq i} \sum_s \ln \left(1 + e^{\left(\frac{\beta_s}{\mu} (x_{js} - x_{is}) \right)} \right) + \varepsilon_i \quad (3.63)$$

$$P_i = \frac{e^{(-\mu R_i)}}{\sum_{j=1}^J e^{(-\mu R_j)}} \quad (3.64)$$

Burada;

RR_i : i seçeneği için toplam pişmanlık,

R_i : i seçeneği için ikili pişmanlık fonksiyonu,

P_i : i seçeneğinin seçimi olasılığı,

μ : ölçek parametresi.

O-RPM modelindeki β_s/μ işlemi matematiksel olarak gereksiz gibi görülmekle birlikte değişken katsayıları için yapılan tahminlerinin boyutlarının yorumlanmasını kolaylaştırmaktadır. Modelde kullanılan ölçek parametresi, pişmanlık fonksiyonunun yanında, hem hata terimlerinin varyansına ($Var(\varepsilon) = (\pi^2/6)\mu^2$) bağlı olarak hem de seçim olasılığı formülü aracılığıyla modele girmektedir (Chorus, 2014; Cranenburgh vd., 2015).

Ölçek parametresinin boyutu, O-RPM modelindeki “pişmanlık derinliği” (profundity of regret) için açıklayıcı bir büyüklüktür. 0 ile 1 arasında değişiklik gösteren pişmanlık derinliği (α_s), RPM model tarafından ortaya konulan pişmanlık minimizasyon davranışının derecesini ifade etmektedir (Denklem 3.65). Görece büyük ölçekli bir parametreyi tahmin etmek veya modele yerleştirmek nispeten hafif bir pişmanlık derinliğine işaret etmekteyken görece küçük ölçekli bir parametreyi tahmin etmek nispeten güçlü bir pişmanlık derinliğine işaret etmektedir. Pişmanlık derinliğinin ölçülmesi, pişmanlığın en aza indirilme davranışının ne ölçüde uygulandığının değerlendirilmesi olarak açıklanabilir. Hafif pişmanlık derinliğinde; bir kaybın yarattığı pişmanlık ile eşdeğer bir kazancın yarattığı memnuniyet arasında fark oldukça az, güçlü pişmanlık derinliğinde ise bir kaybın yarattığı pişmanlık ile eşdeğer bir kazancın yarattığı memnuniyet arasındaki fark fazladır (Bkz. Şekil 3.12). Diğer bir deyişle; modelin güçlü pişmanlık derinliğine sahip olması güçlü yarı telafi edici davranış gösterdiği, hafif pişmanlık derinliğine sahip olması durumunda ise hafif telafi edici davranış gösterdiğini ifade etmektedir. Hesaplamaların ikili karşılaştırmalar şeklinde yapılmasından dolayı sabit terimler, kukla ve faydacıl olan değişkenler için pişmanlık derinliğinin hesaplanması söz konusu değildir (Cranenburgh vd., 2015).

$$\alpha_s = \frac{1}{N} \frac{1}{J \cdot (J - 1)} \sum_n \sum_i \sum_{j \neq i} \left| \frac{e^{\frac{\hat{\beta}_s}{\mu} [x_{jsn} - x_{isn}] - 1}}{e^{\frac{\hat{\beta}_s}{\mu} [x_{jsn} - x_{isn}] + 1}} \right| \quad (3.65)$$

Burada;

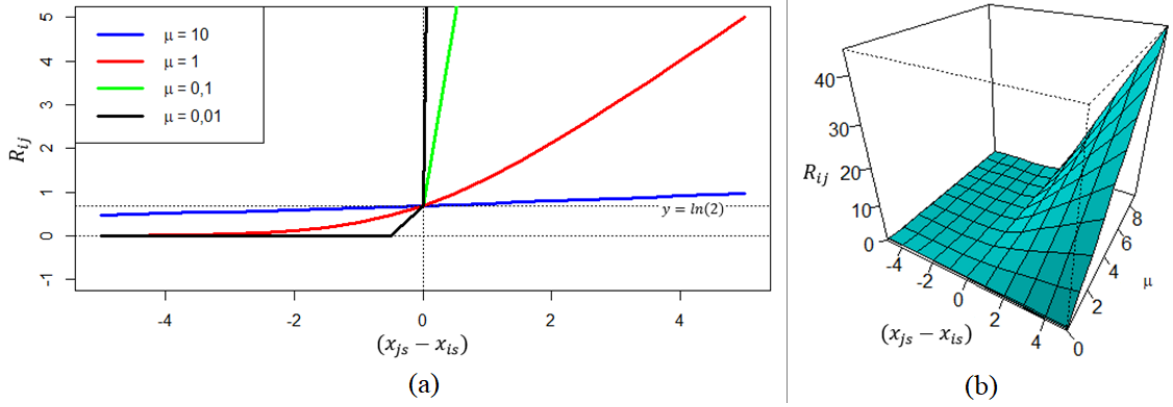
α_s : pişmanlık derinliği,

J : aynı sayıda seçenek içeren seçenek kümesi,

N : karar vericilerin sayısı,

n : ilgili birey.

Buna göre; değişkenlerin farklarının ($x_{js} - x_{is}$) örnek olarak -5 ile 5 arasında değiştiği, $\beta = 1$ sabit olmak üzere bazı farklı ölçek parametreleri (μ) için ikili pişmanlıkların dağılımları Şekil 3.15’te verilmiştir.



Şekil 3.15. Farklı ölçek parametreleri için $\beta = 1$ sabit olmak üzere O-RPM ikili pişmanlık fonksiyonu dağılımları: a) iki boyutlu dağılım, b) üç boyutlu dağılım

Şekilde görüleceği üzere, Ölçek parametresinin 1 olması ($\mu = 1$) durumunda model K-RPM modeline dönüşmektedir. Ölçek parametresinin yeterince büyük olması ($\mu \rightarrow \infty$) durumunda, asimetri azalmakta ve pişmanlık derinliği 0 olurken ($\alpha_s = 0 \forall s$) model RFM modeline yakınsamaktadır. Ölçek parametresinin sıfıra yaklaşması ($\mu \rightarrow 0$) durumunda ise asimetri giderek artmakta ve pişmanlık derinliği 1 olurken ($\alpha_s = 1 \forall s$) model saf veya tam pişmanlık durumuna yakınsamaktadır (Cranenburgh vd., 2015; Vargas vd., 2020).

3.3.2.5. Saf rastgele pişmanlık minimizasyon (S-RPM) modeli

Cranenburgh vd. (2015) tarafından yapılan çalışmaya göre, Saf RPM (S-RPM) modelinin RPM modelleme çerçevesinde mümkün olan en güçlü pişmanlık minimizasyon davranışını gösterdiği varsayılmaktadır. Bu model, O-RPM modelindeki ölçek parametresinin sıfıra yakınsaması ($\mu \rightarrow 0$) durumundan türetilmiştir. Bu modelin arkasındaki ana fikir, düşünülen seçeneğin rakip bir seçenekten daha iyi performans göstermesi durumunda hiçbir memnuniyetin (pişmanlığın tersi) yaşanmamasıdır. Bu model sayesinde, hem pişmanlıkların hem de memnuniyetin yaşandığı varsayılan K-RPM, G-RPM ve O-RPM modellerine alternatif olarak farklı bir yaklaşım önerilmiştir (Cranenburgh, 2015; Cranenburgh vd., 2015).

O-RPM'deki ölçek parametresi sıfıra yaklaştıkça ($\mu \rightarrow 0$), değişkenlerin katsayılarının ölçek parametresine oranı da büyümektedir ($\beta_s/\mu \rightarrow \infty$). Bu durumda, öznitelik düzeyindeki pişmanlık fonksiyonları, bir kaybın yarattığı pişmanlık ile eşdeğer bir

kazancın yarattığı memnuniyet arasında çok güçlü farklar vermektedir. Model $\mu \rightarrow 0$ limit değerinde, olası bir kayıp tarafından üretilen pişmanlık ile eşdeğer bir kazanç tarafından üretilen memnuniyet arasındaki en güçlü farkı verir ve ortaya çıkan pişmanlık derinliği, bütün öz nitelikler için 1'e eşittir. Bu durum "S-RPM davranışı" olarak adlandırılmıştır (Cranenburgh vd., 2015).

S-RPM modelinin bu sınırlayıcı durumunun O-RPM modelindeki forma uygun bir şekilde yeniden düzenlenmesiyle elde edilen S-RPM modelindeki pişmanlık fonksiyonları Denklem 3.66'daki gibi ifade edilmektedir. Seçim olasılıkları da Denklem 3.67'deki gibi hesaplanmaktadır (Cranenburgh vd., 2015).

$$R_i = \sum_s \beta_s x_{is}^{S-RPM} \text{ burada } x_{is}^{S-RPM} = \begin{cases} \sum_{m \neq i} \max(0, x_{js} - x_{is}) & \text{eğer } \beta_s > 0 \\ \sum_{m \neq i} \min(0, x_{js} - x_{is}) & \text{eğer } \beta_s < 0 \end{cases} \quad (3.66)$$

$$P_i = \frac{e^{(-R_i)}}{\sum_{j=1}^J e^{(-R_j)}} \quad (3.67)$$

S-RPM modelinde, x_{is}^{S-RPM} değeri tahminden önce hesaplanabildiği için modelin işlem süreleri RFM modellerinde olduğu gibi seçim kümesi boyutuyla birinci dereceden orantılıdır. Buna karşılık; K-RPM, G-RPM ve O-RPM modellerinin işlem süreleri, seçim kümesi boyutuyla ikinci derecede orantılıdır. Bu nedenle; diğer RPM modellerinin aksine S-RPM modeli için gerekli işlemci gücü ve işlem süreleri, seçim kümesi boyutunun güzergâh tercihi çalışmalarında olduğu gibi birkaç yüz seçeneği aşması durumunda dahi diğer modellere göre daha kabul edilebilir olduğu söylenebilir (Cranenburgh vd., 2015).

3.3.3. Hibrit RFM-RPM modeli

RPM yaklaşımında seçeneğe özgü sabit terimlerin ve kukla değişkenlerin model içinde RPM fonksiyonlarına özel formda kullanılması mümkün olmakla birlikte bunlar için pişmanlık derinliği ölçülememektedir. İkili yapıları nedeniyle bu değişkenlerin RFM ve RPM uygulamaları, doğrusal olmayan dönüşümler hariç, matematiksel olarak eşdeğerdir.

Bu nedenle, bu tür değişkenler pişmanlık fonksiyonlarının dışında faydacıl (utilitarian) değişkenler olarak da ele alınabilir (Chorus, 2012 b; Hess vd., 2014; Cranenburgh vd., 2015).

Seçim davranışı üzerinde etkili olabilecek değişkenlerin bazılarının RFM yaklaşımıyla, bazılarının ise RPM yaklaşımıyla işlenerek parametre tahminlerinin yapılmasına olan ihtiyacın karşılanabilmesi için Denklem 3.68'deki gibi gösterilen, hem RFM hem RPM model yaklaşımlarının birlikte değerlendirildiği Hibrit RFM-RPM modeli kullanılabilmektedir (Chorus, 2012 b; Hess vd., 2014).

$$U_i = \beta_{0i} + \sum_{s=1}^Q \beta_s x_s - \sum_{j \neq i} \sum_{s=Q+1}^M \ln \left(1 + e^{\left(\beta_s (x_{js} - x_{is}) \right)} \right) + \varepsilon_i \quad (3.68)$$

Burada;

U_i : i seçeneği için hibrit fayda-pişmanlık fonksiyonu,

β_{0i} : i seçeneği için seçeneğe özgü sabit terim.

Denklem 3.68'de görüleceği üzere; toplam M öznitelik bulunan bir bağımsız değişken kümesinde, Q kadar öznitelik fayda kısmında $M - Q$ kadar ise pişmanlık kısmında değerlendirilmiştir. Modelin seçim olasılıkları, Denklem 3.69'da verilen RFM'ye dayalı ÇTL modeldeki gibi hesaplanabilir.

$$P_i = \frac{e^{U_i}}{\sum_{j=1}^J e^{U_j}} \quad (3.69)$$

Burada;

U_i : i seçeneği için hibrit fayda-pişmanlık fonksiyonu,

P_i : i seçeneğinin seçilme olasılığı.

3.3.4. Model tasarımı

RFM veya RPM modellerinde, fayda veya pişmanlık fonksiyonları gözlenen ve gözlenemeyen bileşenlerden meydana gelmektedir. Gözlenen bileşen, değişkenler ve bunların tahmin edilecek katsayılarından oluşurken gözlenemeyen bileşen ise hata terimini

ya da değeri bilinmeyen sabit terimi içermektedir. Örneğin; seçim kümesinde ulaştırma türleri bulunan bir model senaryosunda bireyler ulaştırma türünü seçerken yalnızca ölçülebilen süre ve maliyet gibi değişkenlere göre değil aynı zamanda konfor, güvenlik, güvenilirlik gibi nitel değişkenlere göre de tercihlerini belirleyebilirler. Bu nedenle; referans olarak seçilen fayda veya pişmanlık fonksiyonu hariç, diğer fayda veya pişmanlık fonksiyonlarında açıklanamayan değişkenleri tahmin edebilmek için sabit terimlere yer verilir (Ergin, 2015; Akalın, 2016).

Model tasarımı sırasında hangi değişkenlerin kullanılacağı, analizi yapanın seçimi ile ilişkilidir. Aralarında yüksek korelasyon bulunmadığı sürece istenilen bağımsız değişkenler modele yerleştirilebilir. Ancak, katsayıların tahmin edilebilmesi için diğer fonksiyonlarda bulunan değişkenleri bulundurmamanın bir referans fonksiyonu tanımlanmalı ya da modelde kullanılan değişkenler en az bir fonksiyonda bulunmamalıdır (McFadden, 1974 a; Akalın, 2016; Tezcan, 2019).

Modelde kullanılan fonksiyonlar belirlenirken değişkenlerin katsayıları için genel (generic) ve seçeneğe özel (alternative-specific) olmak üzere iki farklı tasarım alternatifi bulunmaktadır. Genel katsayılar, ilgili değişkenin bulunduğu bütün fayda fonksiyonlarında aynı değeri almaktadır. Seçeneğe özgü katsayılar ise ilgili değişkenler için her bir fayda fonksiyonunda farklı değer alacak şekilde tahmin edilmektedir. Örnek olarak; Seçim kümesinde üç farklı seçeneğin bulunduğu ve iki bağımsız değişken kullanılarak üretilecek bir ÇTL model için genel katsayıların kullanıldığı fayda fonksiyonları Denklem 3.70’de, seçeneğe özgü katsayıların kullanıldığı fayda fonksiyonları ise Denklem 3.71’de gösterilmiştir (Ortúzar ve Willumsen, 2011; Chorus, 2012 b; Akalın, 2016).

$$U_1 = 0 \quad (\text{referans fonksiyon})$$

$$U_2 = \beta_{02} + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad (3.70)$$

$$U_3 = \beta_{03} + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2$$

Burada;

U_i : ilgili seçeneğin (i) fayda fonksiyonu ($i = \{1,2,3\}$),

β_{0i} : ilgili seçenek (i) için sabit terim ($i = \{1,2,3\}$),

x_j : değişkenler ($j = \{1,2\}$),

β_j : ilgili değişkenlerin katsayıları ($j = \{1,2\}$).

$$\begin{aligned} U_1 &= 0 \quad (\text{referans fonksiyon}) \\ U_2 &= \beta_{02} + \beta_{21}x_1 + \beta_{22}x_2 \\ U_3 &= \beta_{03} + \beta_{31}x_1 + \beta_{32}x_2 \end{aligned} \quad (3.71)$$

Burada;

β_{ij} : ilgili değişkenlerin katsayıları ($i = \{1,2,3\}$ ve $j = \{1,2\}$), burada $U_1 = 0$ olduğundan $\beta_{11} = \beta_{12} = 0$.

Benzer şekilde, seçim kümesinde üç farklı seçeneğin bulunduğu ve iki bağımsız değişken kullanılarak üretilecek bir K-RPM model için genel katsayıların kullanıldığı fayda fonksiyonları Denklem 3.72’de, seçeneğe özgü katsayıların kullanıldığı fayda fonksiyonları ise Denklem 3.73’te verilmiştir. Bu denklemler diğer RPM modeller için de benzer şekilde türetilir. Burada, ÇTL’de gerekli olmayan bir zorunluluk olarak her bir bağımsız değişken ilgili seçeneğin seçilmesi durumuna göre farklılık göstermelidir. Örneğin: Özel otomobil, otobüs ve raylı sistemin seçim kümesini oluşturduğu durum düşünüldüğünde, bağımsız değişkenlerden biri olan yolculuk ücreti her bir seçenek için farklılık gösterecektir (Chorus, 2012 b; Akalın, 2016).

$$\begin{aligned} R_1 &= 0 \quad (\text{referans fonksiyon}) \\ R_2 &= \beta_{02} + \ln(1 + e^{(\beta_1(x_{11}-x_{12})))} + \ln(1 + e^{(\beta_1(x_{13}-x_{12})))} \\ &\quad + \ln(1 + e^{(\beta_2(x_{21}-x_{22})))} + \ln(1 + e^{(\beta_2(x_{23}-x_{22})))} \\ R_3 &= \beta_{03} + \ln(1 + e^{(\beta_1(x_{11}-x_{13})))} + \ln(1 + e^{(\beta_1(x_{12}-x_{13})))} \\ &\quad + \ln(1 + e^{(\beta_2(x_{21}-x_{23})))} + \ln(1 + e^{(\beta_2(x_{22}-x_{23})))} \end{aligned} \quad (3.72)$$

Burada;

x_{ji} : değişkenlerin ilgili seçenek (i) için alacağı değer ($i = \{1,2,3\}$ ve $j = \{1,2\}$).

$R_1 = 0$ (referans fonksiyon)

$$\begin{aligned}
 R_2 &= \beta_{02} + \ln(1 + e^{(\beta_{11}x_{11} - \beta_{12}x_{12})}) + \ln(1 + e^{(\beta_{13}x_{13} - \beta_{12}x_{12})}) \\
 &\quad + \ln(1 + e^{(\beta_{21}x_{21} - \beta_{22}x_{22})}) + \ln(1 + e^{(\beta_{23}x_{23} - \beta_{22}x_{22})}) \\
 R_3 &= \beta_{03} + \ln(1 + e^{(\beta_{11}x_{11} - \beta_{13}x_{13})}) + \ln(1 + e^{(\beta_{12}x_{12} - \beta_{13}x_{13})}) \\
 &\quad + \ln(1 + e^{(\beta_{21}x_{21} - \beta_{23}x_{23})}) + \ln(1 + e^{(\beta_{22}x_{22} - \beta_{23}x_{23})})
 \end{aligned} \tag{3.73}$$

RPM modellerinde açıklanamayan değişkenler için kullanılan seçeneğe özgü sabit terime yer verilmek istenirse dikkate alınan seçenek (i) ile ilişkili fonksiyon Denklem 3.74'teki gibi yazılabilir (Chorus, 2012 b).

$$R_i = \sum_{m \neq i} \ln(1 + e^{(\beta_{0m} - \beta_{0i})}) + \sum_{m \neq i} \sum_s \ln(1 + e^{(\beta_s(x_{ms} - x_{is}))}) \tag{3.74}$$

Burada;

β_{0m}, β_{0i} : seçeneğe özgü sabitler.

Hibrit RFM-RPM modelinde bahsedildiği gibi kukla değişkenlerin ve seçeneğe özgü sabitlerin RFM ve RPM uygulamalarında matematiksel olarak eşdeğer olması nedeniyle seçeneğe özgü sabit terimlerin RPM modelinde, ÇTL modelde olduğu gibi Denklem 3.72 ve 3.73'teki gibi doğrudan fonksiyonda yer verilmesinde sakınca yoktur (Hess vd., 2014; Cranenburgh vd., 2015; Apollo, 2017; Hess ve Palma, 2019).

3.3.5. Model tahmin yöntemi

Bir RFM modelinin parametrelerini tahmin etmek için en yaygın olarak kullanılan yöntem, En Büyük Olabilirlik (EBO veya ML: Maximum Likelihood) yöntemidir (Ryan, 1997; Hu, 2010; Akalın, 2016). RFM tabanlı ÇTL modellerinde olduğu gibi RPM tabanlı modeller de EBO yöntemi ile tahmin edilir (Chorus, 2012 a, 2012 b). Bu yöntem, örneklemin farklı anakütlelerden oluşabilmesine rağmen alınma olasılığı en fazla olan anakütleden alındığı varsayımına dayanmaktadır. Bu nedenle, EBO tahminleri en sık gözlenen örnekleme oluşturacak olan parametreler kümesidir. Yinelemeli bir optimizasyon süreci olan EBO yönteminde, seçim modeli ve parametre tahminleri göz önüne alındığında seçimlere ait

olasılıkları en üst düzeye çıkaracak hesaplamalar yapılmaktadır (Ortúzar ve Willumsen, 2011; Chorus, 2012 b).

Gözlemler bağımsız olduğundan olabilirlik fonksiyonu (L), her bireyin gerçekte seçtikleri alternatif ile seçimin model olasılıkları çarpımı şeklinde verilir (Denklem 3.75).

$$L(\beta) = \prod_{\forall m \in M} \prod_{\forall j \in J} (P_{jm}(\beta))^{\delta_{jm}} \quad (3.75)$$

Burada;

δ_{jm} : seçilme durumu göstergesi (j seçeneği m bireyi tarafından seçilirse 1, seçilmezse 0),

P_{jm} : m bireyinin j seçeneğini seçme olasılığı,

M : örneklem kümesi,

J : seçenekler kümesi.

Katsayılar tahmin edilirken pratik olarak hesaplanabilme kabiliyeti ve aynı optimumu vermesinden dolayı olabilirlik fonksiyonu yerine doğal logaritması olan, Denklem 3.76'da verilen log-olabilirlik (LL: Log-likelihood) fonksiyonu en büyüklenir (Ortúzar ve Willumsen, 2011; Chorus, 2012 b).

$$LL(\beta) = \ln(L(\beta)) = \ln \left(\prod_{\forall m \in M} \prod_{\forall j \in J} (P_{jm}(\beta))^{\delta_{jm}} \right) = \sum_{\forall m \in M} \sum_{\forall j \in J} \delta_{jm} \times \ln(P_{jm}(\beta)) \quad (3.76)$$

3.3.6. Model performans değerlendirmesi

Hem RFM hem de RPM yaklaşımıyla oluşturulan modellerin performansı, katsayıların tahmin edilmesinin ardından bazı testler ile değerlendirilmelidir. RPM modelleri de genel olarak RFM ÇTL modeline benzer istatistiksel varsayımlarla oluşturulduğu için aynı performans testlerine tabi tutulmaktadır.

3.3.6.1. Katsayıların işaretlerinin incelenmesi

Bu değerlendirme temel olarak katsayıların büyüklüğü ve işaretlerinin (pozitif veya negatif) durumu incelenir. Özellikle işaret açısından yapılacak değerlendirme; fayda veya pişmanlık fonksiyonlarında, pozitif veya negatif değer alması beklenen katsayıların bu işaretlerin tam tersini alması durumunda model gerçeği yansıtmayacağı için oldukça önemlidir (Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016).

Mevcut uygulamada, herhangi bir anlamlılık testinde başarısız olsa bile anlamlı bir işaretle tahmin edilmiş bir politika değişkeninin modele dahil edilmesi önerilir. Bunun nedeni, ilgili değişkene ait katsayının gerçek değeri için mevcut en iyi kestirim olması ve anlamlılık sorununun veri eksikliğinden kaynaklanabilmesidir (Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011). Katsayının modelden çıkarılmaması sayesinde ilgili değişkenin alternatif senaryolar ile gelecek tahminlerinde meydana gelecek talepler üzerindeki etkisi gözlemlenebilecektir.

3.3.6.2. Katsayıların anlamlılığı testi

KTM'ler için t-istatistiği genellikle bir modeldeki her bir katsayı için anlamlılığı test etmek için kullanılır. Yeterince büyük t değerleri sıfır hipotezinin (H_0) reddedilmesi ve dolayısıyla istatistiksel olarak anlamlı olduğunun, diğer bir ifadeyle özniteliğin önemli bir etkiye sahip olduğunun kabul edilmesi anlamına gelir. Öncelikli olarak katsayıların işaretlerinin doğruluğuna göre değerlendirme yapıldıktan sonra anlamlı bulunmamışsa önerilen değer olarak %80 güven aralığı altındaki değişkenleri modelden çıkarmak uygundur (Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016).

Farklı güven aralıkları için kritik değerler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Herhangi bir katsayısının anlamlı olarak değerlendirilebilmesi için belirlenen anlamlılık düzeyinde (α) t değerinin kritik değerden daha büyük olması gereklidir.

Çizelge 3.1. Farklı güven aralıkları için kritik değerler

Güven aralığı	Anlamlılık düzeyi (α)	Kritik değer
%80	0,20	$\pm 1,280$
%85	0,15	$\pm 1,440$
%90	0,10	$\pm 1,645$
%95	0,05	$\pm 1,960$
%99	0,01	$\pm 2,575$

3.3.6.3. Olabilirlik oranı testi

Olabilirlik oranı (likelihood ratio) veya benzerlik oranı testi, üretilen kesikli modelin genel olarak test edilmesi amacıyla kullanılır. Bu test temelde, incelenen modelin seçilen bir referans model ile karşılaştırılmasına dayanır. Bu amaçla, tahmin edilen model ile referans modelin log-olabilirlik değerleri arasındaki fark alınarak ilgili serbestlik derecesine göre ki-kare (χ^2) kritik değeri ile test edilir. Denklem 3.77’de görüleceği üzere, tahmin edilen model referans olarak seçilen bir temel model (fayda veya pişmanlık fonksiyonları boş veya sadece sabit terim içeren model) veya iyileştirilmek istenen bir model ile kıyaslanır (Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016).

$$-2LL = -2 \cdot (LL_{referans} - LL_{tahmin}) \quad (3.77)$$

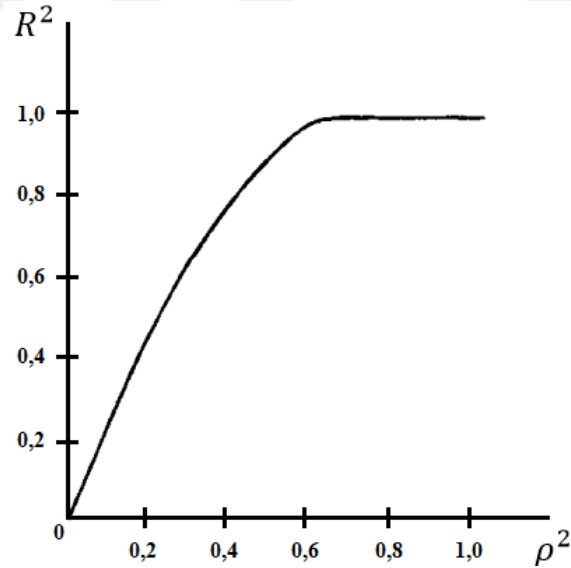
Hesaplanan $-2LL$ değeri, belirlenen bir anlamlılık düzeyindeki kritik χ^2 değeri ile karşılaştırıldığında, kritik değerden büyük bulunursa sıfır hipotezi reddedilerek tahmin edilen modelin anlamlı ve daha iyi bir model olduğu kabul edilir. Burada karşılaştırılan kritik χ^2 değeri, değişken sayısından referans modelde kullanılan değişken ve sabit terimlerin sayısı kadar eksik serbestlik derecesine sahip değerdir (Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016). Örneğin: Yalnızca sabit terim içeren iki fayda veya pişmanlık fonksiyonu bulunan bir referans model ile sabit terimler dahil toplam on değişken bulunan tahmin modeli kıyaslanırken serbestlik derecesi sekiz ($sd = 10 - 2 = 8$) olarak dikkate alınır.

3.3.6.4. Uyum iyiliği testi

RFM ve RPM model için bağımlı değişkenlerin bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilme performansının değerlendirilebilmesi için McFadden (1974 a) tarafından ρ^2 ($Sanal_R^2$) değeri önerilmiştir. Denklem 3.78'deki gibi hesaplanan ρ^2 , logaritmik benzerlik değerlerine dayanması nedeniyle Doğrusal Regresyon modeli için yaygın olarak kullanılan açıklayıcılık (R^2) katsayısı ile kıyaslandığında daha küçük değerler için de model performansının iyi olduğu söylenebilir.

$$Sanal_R^2 = \rho^2 = 1 - \frac{LL_{tahmin}}{LL_{referans}} \quad (3.78)$$

Domencich ve McFadden (1975) tarafından tarif edilen, R^2 ile ρ^2 arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 3.16'daki grafikten de anlaşılacağı üzere; 0,2 ile 0,4 arasındaki değerler için modelin uyum iyiliğinin yeterli, 0,4 üzerindeki değerler içinse son derece iyi olduğu kabul edilir (Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011; Akalın, 2016).



Şekil 3.16. R^2 ile ρ^2 arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (Domencich ve McFadden, 1975)

Denklem 3.79'da gösterilen, Ben-Akiva ve Lerman (1985) tarafından önerilen $\bar{\rho}^2$ ($Düzeltilmiş_ \rho^2$), fayda veya pişmanlık fonksiyonlarına yeni değişkenler eklendiğinde ρ^2 'nin artması veya en azından aynı kalması durumunun üstesinden gelmek için kullanılabilir

(Ben-Akiva ve Lerman, 1985; Hardin ve Hilbe, 2007; Hu, 2010; Ortúzar ve Willumsen, 2011).

$$Düzeltilmiş_ρ^2 = \bar{ρ}^2 = 1 - \frac{LL_{tahmin} - k}{LL_{referans}} \quad (3.79)$$

Burada;

k : tahmin modelindeki değişken sayısı.

3.3.7. RFM ve RPM yaklaşımlarındaki benzerlik ve farklılıklar

RFM ve RPM yaklaşımlarındaki en temel fark, RFM’de bir seçeneğin faydası yalnızca ilgili seçeneğin özelliklerine bağlıyken RPM’de bir seçenekle ilişkili pişmanlığın diğer seçeneklerin performansına da bağlı olmasıdır (Chorus, 2012 b; Hess vd., 2014). RPM’de hem pişmanlık fonksiyonlarında (Bkz. Denklem 3.56) ilgili seçenek (i) için negatif işaretli ($x_j - x_i$) hem de olasılık hesabında (Bkz. Denklem 3.57) ilgili fonksiyonun negatif işaretli ($-R_i$) olarak dikkate alınması nedeniyle aynı değişkenlerin kullanıldığı RFM ve RPM modelleriyle elde edilen katsayılar aynı işarete sahip olarak karşımıza çıkar. Tahmin sonuçlarının büyüklüğü farklılık göstermekle birlikte büyüklük sırası benzerlik gösterir (Chorus, 2012 b).

Ulaştırma modellerinin oldukça önemli bir çıktısı olan zaman değeri (ZD) üzerinden RFM ve RPM model arasındaki temel farkı göstermek mümkündür. Örneğin: Denklem 3.80’de verilen RFM ÇTL fayda fonksiyonu ve Denklem 3.81’de verilen K-RPM pişmanlık fonksiyonları için yolculuk ücreti ve yolculuk zamanı değişkenleri için katsayılar tahmin edilecek olsun (Chorus, 2012 c, 2012 b; Cranenburgh vd., 2015):

$$U_i = \beta_{0i} + \beta_u x_{iu} + \beta_z x_{iz} \quad (3.80)$$

$$R_i = \beta_{0i} + \sum_{j \neq i} \left(\ln \left(1 + e^{\beta_u (x_{ju} - x_{iu})} \right) + \ln \left(1 + e^{\beta_z (x_{jz} - x_{iz})} \right) \right) \quad (3.81)$$

Burada;

U_i : seçenek i için RFM ÇTL model fayda fonksiyonu,

R_i : seçenek i için K-RPM model pişmanlık fonksiyonu,

β_u, β_z : sırasıyla yolculuk ücreti ve yolculuk zamanı değişkenlerinin katsayıları,

x_{iu}, x_{iz} : seçilen seçenek (i) için ücret ve zaman değişkenleri,

x_{ju}, x_{jz} : seçilmeyen seçenek (j) için ücret ve zaman değişkenleri,

β_{0i} : sabit terim.

Burada, RFM ÇTL ve K-RPM için zaman değeri hesapları sırasıyla Denklem 3.82 ve 3.83'teki gibidir (Chorus, 2012 c, 2012 b).

$$ZD_{RFM \text{ ÇTL}} = \frac{\beta_z}{\beta_u} TL/dk \quad (3.82)$$

$$ZD_{RPM} = \frac{\sum_{j \neq i} \left(-\beta_z / (1 + 1/e^{(\beta_z(x_{jz} - x_{iz})))} \right)}{\sum_{j \neq i} \left(-\beta_u / (1 + 1/e^{(\beta_u(x_{ju} - x_{iu})))} \right)} TL/dk \quad (3.83)$$

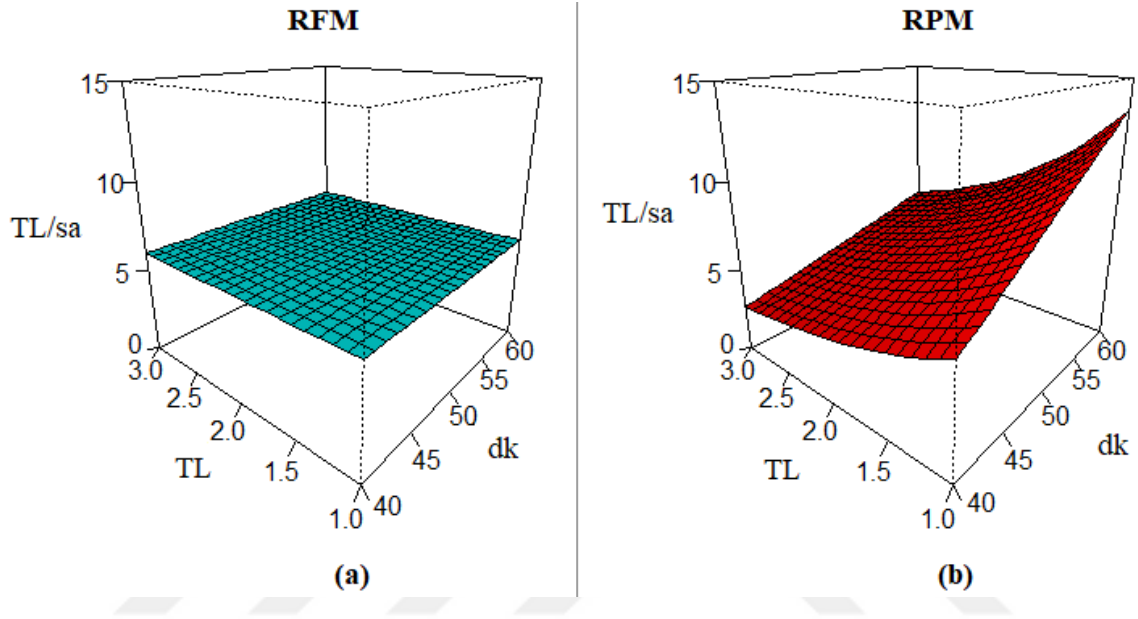
Burada;

$ZD_{RFM \text{ ÇTL}}$: RFM ÇTL model için zaman değeri,

ZD_{RPM} : K-RPM model için seçeneğe özgü zaman değeri.

Yolculuk ücreti ve yolculuk zamanı değişkenleri için katsayıların sırasıyla, $\beta_u = -0,1/TL$ ve $\beta_z = -1/dk$ olarak hesaplandığı varsayımı için zaman değeri denklemlerine bakıldığında RFM ÇTL için yeni bir seçeneğin seçim kümesine girmesinin zaman değerinde herhangi bir değişiklik meydana getirmeyeceği ve $ZD_{RFM \text{ ÇTL}} = 6 TL/sa$ değerinin sabit kalacağı açıkça görülmektedir. Zaman değeri açısından değerlendirildiğinde RPM modelin RFM ÇTL'den en önemli farkı her şart altında seçeneğe özgü ölçümlenmesidir. Yani, hem dikkate alınan seçeneğin hem de rakiplerinin yolculuk süreleri ve maliyetleri zaman değeri denklemlerine girmektedir. Buna göre; seçeneklerin zaman ve maliyet performansı açısından seçeneklere özgü değişkenlere ait değerlerin değişmesi durumunda, zaman değeri ölçümlerinin genel olarak değişeceği anlamına gelmektedir (Chorus, 2012 b, 2012 c).

Mevcut durumda iki farklı seçenek güzergâh bulunan bir seçenek kümesi örneği için birinci seçeneğin ucuz ama yavaş (süre=60 dk ve ücret=1 TL), ikinci seçeneğin ise hızlı ama pahalı (süre=40 dk ve ücret=3 TL) olarak verildiği varsayalım. Üçüncü bir seçeneğin seçim kümesine girmesiyle, ilgili seçenek için RFM ve RPM modelleri için zaman değerindeki değişiklik Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. RFM ve RPM modelleri için zaman değerindeki değişim: a) RFM, b) RPM

Şekilde görüleceği üzere RFM ÇTL modelinde zaman değeri, üçüncü bir seçeneğin seçim kümesine girmesiyle yolculuk zamanı ve maliyetindeki değişikliklerden etkilenmez ve her zaman saat başına 6 TL olarak dikkate alınır. Buna karşılık RPM için diğer seçeneklere göre üçüncü seçeneğin performansının bir fonksiyonu olarak hesaplanan zaman değeri; üçüncü seçenek nispeten ucuz ve yavaş olduğunda, 13,4 TL’ye kadar çıkabilirken nispeten hızlı ancak pahalı bir seçenek olduğunda 2,7 TL’ye kadar düşebilir. Sonuç olarak üçüncü seçeneğin hızlı fakat pahalı olması durumunda birey yolculuk süresinde marjinal bir azalma için nispeten küçük bir miktar para ödemeye razı olurken, seçenek nispeten ucuz ama yavaş olduğunda birey yolculuk süresinde marjinal bir azalma için nispeten büyük miktarda para ödemeye razıdır (Chorus, 2012 b, 2012 c).

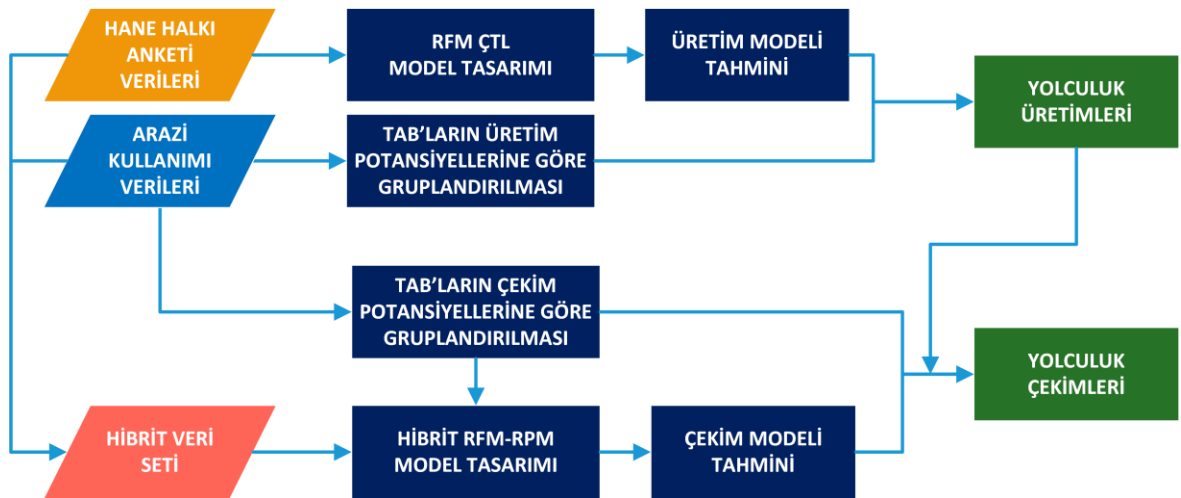
Farklı şekillerde geliştirilen RPM modellerinin geleneksel RFM modellerine güçlü bir alternatif olduğu literatürde yapılan çalışmalarla birlikte kabul edilmektedir. Pişmanlık temelli bu öncü yaklaşımlar, uzun yıllardır seçim modelleri alanında hâkim olan fayda

maksimizasyonu paradigmasına davranışsal açıdan sezgisel bir alternatif sunmaktadır. RPM'nin önemli bir avantajı; politika yapıcılara ve ulaştırma plancılarına, bireyin seçim kümesinin davranışı nasıl etkilendiğini belirleme ve bunlardan yararlanma yolunda nicel bir araç sunmasıdır (Chorus, 2012 b; Hensher vd., 2013; Cranenburgh vd., 2015; Leong ve Hensher, 2015).

RPM'nin bahsedilen güçlü veya RFM ile benzer özelliklerinin yanında bazı sınırlamaları ve zayıf yönleri de mevcuttur. Model katsayılarının tahmin edilebilmesi için kullanılan bilgisayar işlemci gücü gereksinimi ve işlem süreleri RFM modellerine göre çok daha fazladır. Bu nedenle, model tasarımında seçeneğe özgü katsayılar yerine genel katsayıların kullanımı tercih edilebilir. Ayrıca, kukla veya faydacıl olan değişkenler (cinsiyet, sosyoekonomik değişkenler vb.) modelde yer alacaksa yalnızca RPM modellerinden herhangi birisiyle tahmin modeli oluşturmak yerine Hibrit RFM-RPM model yaklaşımı kullanılabilir (Chorus, 2012 b; Hensher vd., 2013; Cranenburgh vd., 2015).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada yolculuk üretimi ve dağıtımı modelleri için literatürde kullanılan geleneksel ve deterministik yöntemler yerine stokastik ve yenilikçi yöntemlerin birlikte kullanılarak oluşturulduğu hibrit modeller ile yolculukların tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Eskişehir Büyükşehir Belediyesi işbirliği ile Ögüt vd. (2017) tarafından raporlanan EUAP 2035 çalışması için Bilgiç vd. (2015) tarafından hazırlanan mevcut ve yeni bilgilerin toplandığı saha ve anket çalışmalarından elde edilen veriler ile arazi kullanım verileri birleştirilerek modellerin oluşturulmasında kullanılmıştır. Anket verilerinden elde edilen bireylerin gerçek yolculuk tercihlerine ve sosyoekonomik özelliklerine ait veriler kullanılarak yapılan yolculuklar amaçlarına göre ayrılmış ve RFM ÇTL model kullanılarak TAB'lerden üretilen yolculuk amaçlarının paylarının tahmin edildiği stokastik yolculuk üretim modeli geliştirilmiştir. TAB'lar yolculuk üretim ve çekim karakteristiklerine göre K-ortalamlar Kümeleme Analizi ile gruplandırılmış ve veri bulunmayan TAB'lerden üretilen yolculukların tahmini için üretim potansiyellerine göre aynı grupta bulunan TAB'lardaki değerlerden faydalanılmıştır. Çekim modelinde ise çekim potansiyellerine göre ayrılan gruplara yapılan yolculuk çekimlerinin ÇTL ve K-RPM modellerinin bir arada kullanıldığı Hibrit RFM-RPM model ile tahmin edilmesinin ardından TAB'ların özelliklerine ait veriler kullanılarak hesaplanan grup içi uzaklıklara göre çekilen yolculukların TAB bazında payları hesaplanmıştır. Yolculuk üretim ve çekim modellerinin genel akış şeması Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



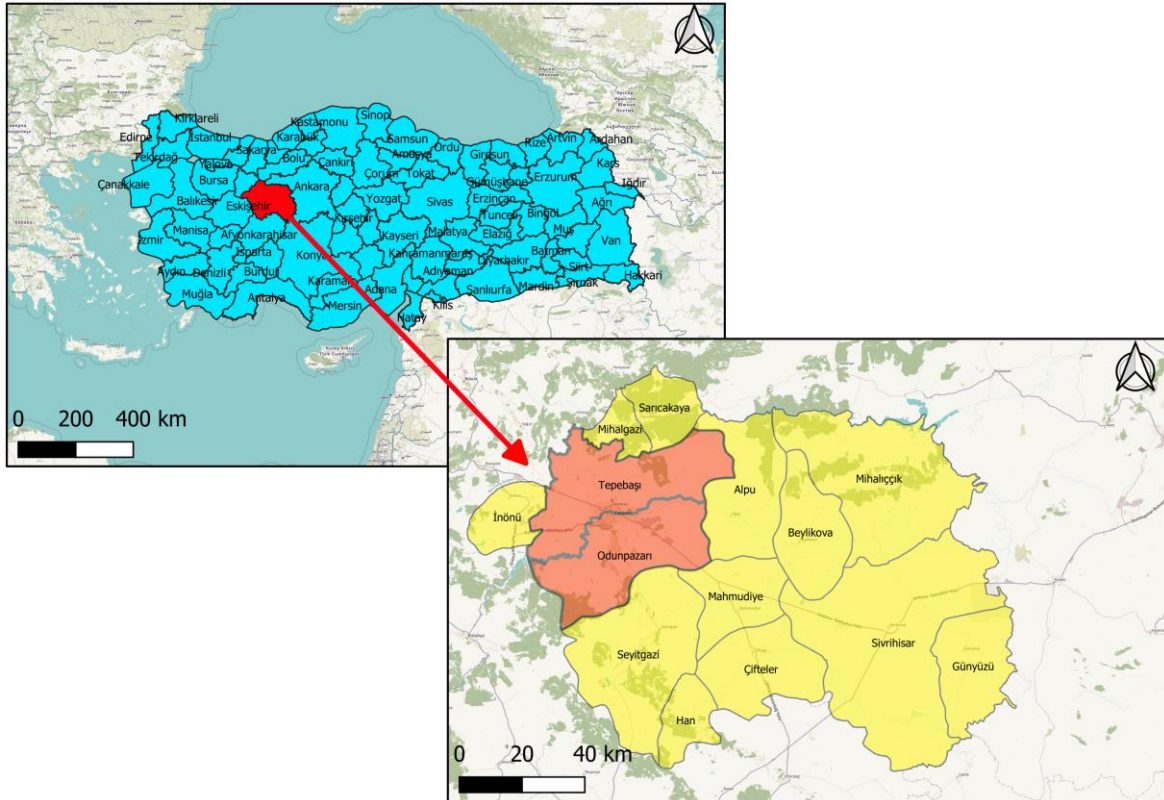
Şekil 4.1. Yolculuk üretim ve çekim modellerine ait akış şeması

4.1. Çalışma Bölgesi: Eskişehir

Tez çalışması kapsamında geliştirilen yolculuk üretim ve çekim modellerinde, EUAP 2035 için yapılan anket ve saha çalışmasına ait veriler kullanılmıştır. Bu bölümde, analiz bölgesi olarak seçilen Eskişehir için kent yapısı, sosyoekonomik özellikler ve arazi kullanım özellikleri ile tez kapsamında geliştirilecek modellerde kullanılmak üzere alt bölgelere ayrılan trafik analiz bölgeleri (TAB) açıklanmıştır.

4.1.1. Kentin konumu ve genel yapısı

Çalışmanın genel analiz bölgesini oluşturan Eskişehir, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nin batısında bulunmaktadır. Tepebaşı ve Odunpazarı olmak üzere iki merkez ilçeye sahip Eskişehir, toplam 14 ilçesi olan bir büyükşehirdir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Çalışma bölgesi olarak seçilen Eskişehir ilinin konumu

Eskişehir, ilk yerleşim yıllarında Odunpazarı ilçesindeki mahallelerdeki yapılaşmalar ile kentleşmeye başlamıştır. Tepebaşı ilçesindeki yerleşim daha sonraki yıllarda

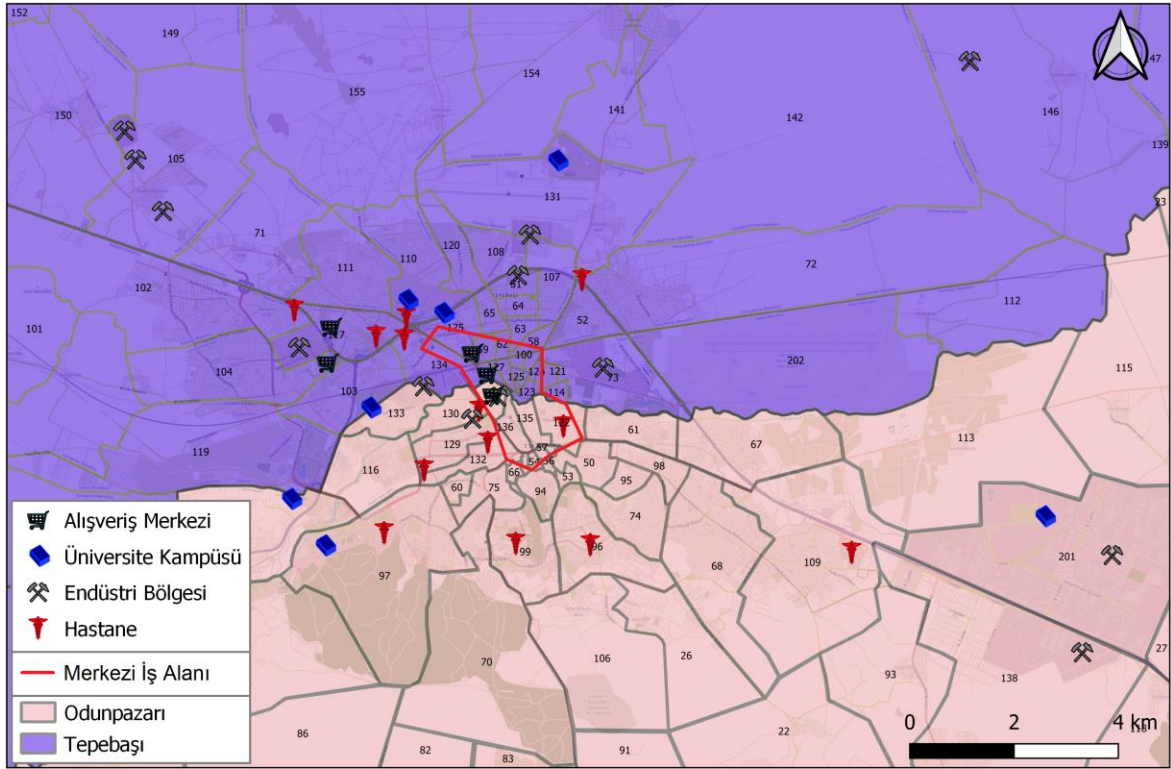
yaygınlaşmaya başlamış olsa da gelişme bölgesi olması ve uygun yerleşim alanları nedeniyle iş, eğlence ve alışveriş alanları genellikle Tepebaşı ilçesi sınırlarında daha fazladır.

Şehrin ev sahipliğini yaptığı üç üniversiteden; Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ) Merkez (Meşelik) Kampüsü Odunpazarı Büyükdere Mahallesi'nde, Anadolu Üniversitesi (AÜ) Merkez (Yunus Emre) Kampüsü Tepebaşı Yeşiltepe Mahallesi'nde ve Eskişehir Teknik Üniversitesi (ESTÜ) Merkez (İki Eylül) Kampüsü Tepebaşı Gazipaşa Mahallesi'nde bulunmaktadır.

Şehirde bulunan üç büyük devlet hastanesinden Şehir Hastanesi Odunpazarı 71 Evler Mahallesi'nde ve ESOĞÜ Tıp Fakültesi Hastanesi Odunpazarı Büyükdere Mahallesi'nde, Yunus Emre Devlet Hastanesi ise Tepebaşı Uluönder Mahallesi'nde yer almakta; diğer özel hastaneler ile devlet hastanelerine ait ek hizmet binalarının beş tanesi Odunpazarı, dört tanesi ise Tepebaşı ilçelerindeki mahallelerde bulunmaktadır. Ayrıca Odunpazarı Yenikent Mahallesi'nde de Ağız ve Diş Sağlığı Hastanesi bulunmaktadır.

Eskişehir gelişmiş bir sanayi altyapısına sahiptir. 3200 hektar alana ulaşan ve birçok fabrika ve şirkete ev sahipliği yapan Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi (EOSB), 68 hektar alana kurulu Baksan Sanayi Sitesi, 55 hektar alana kurulu KOBİ-OSB, TÜRASAŞ, TUSAŞ, Şeker Fabrikası ve Basma Fabrikası gibi endüstri alanları mevcuttur. Ayrıca Muharip Hava Kuvveti Komutanlığı ile buraya bağlı olan 1. Hava Bakım Fabrika Müdürlüğü ve 1. Ana Jet Üs Komutanlığı'na (1.ÜS) ev sahipliği yapan Eskişehir, Sivil Havacılık ve Hava Kuvvetleri Komutanlığı için önemli bir merkez konumundadır.

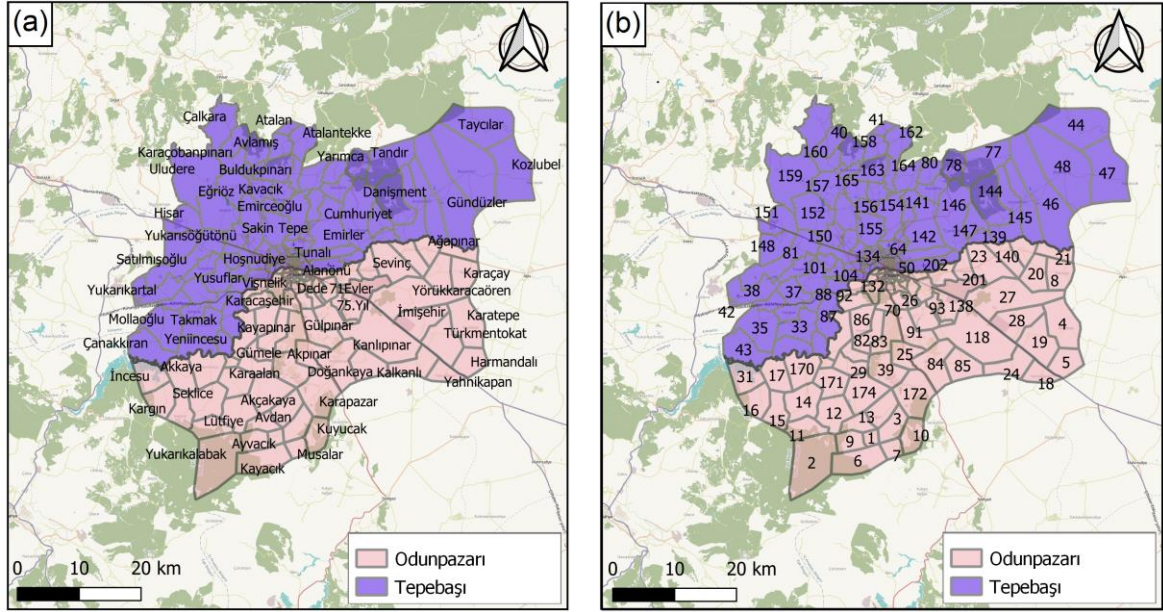
Şehrin merkezine yakın alanlara kurulmuş dört büyük alışveriş merkezi (AVM) ve merkezi iş alanının merkezinde yer alan büyük kısmı yayalaştırılmış çarşı bölgesi de ulaşım talebi oluşturan diğer çekim alanlarıdır. Çalışma bölgesi olarak belirlenen Eskişehir ilinde merkezi alandaki alışveriş, eğitim, hastane ve endüstri bölgelerinin Tepebaşı ve Odunpazarı ilçelerine dağılımı ile merkezi iş alanı Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Tepebaşı ve Odunpazarı ilçelerindeki alışveriş, eğitim, hastane ve endüstri bölgelerinin dağılımı ile merkezi iş alanı

4.1.2. Trafik analiz bölgelerinin (TAB) belirlenmesi

Tez kapsamında geliştirilen yolculuk üretim ve çekim modellerinin oluşturulması ve analizler yapılabilmesi için öncelikle genel çalışma bölgesi TAB adı verilen alt analiz bölgelerine ayrılmalıdır. Bu amaçla 2017 yılında hazırlanan EUAP 2035'te olduğu gibi Tepebaşı ve Odunpazarı merkez ilçelerine bağlı mahalleler birer TAB olarak belirlenmiştir. Odunpazarı'nda 86 ve Tepebaşı'nda 89 olmak üzere merkez ilçelere bağlı 175 mahalle bulunmaktadır. Ayrıca Odunpazarı sınırları içerisindeki EOSB ve Tepebaşı sınırlarındaki Hava Kuvvetleri Komutanlığı'na bağlı 1.ÜS de diğer mahallelerden farklı olarak nüfus barındırmayan ancak yolculuk üreten ve çeken TAB'lar olarak belirlenmiştir. Bu TAB'ları diğer TAB'lardan ayırmak için sırasıyla 201 ve 202 olarak numaralandırılmıştır. Böylece çalışma bölgesi Şekil 4.4'te gösterildiği gibi toplam 177 TAB'a ayrılarak modeller oluşturulmuş ve analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4. Çalışma bölgesi Eskişehir için belirlenen TAB'ların: a) isimleri, b) numaraları

4.1.3. Ulaştırma altyapısı

Eskişehir kent merkezindeki bireysel ulaşım; özel otomobil, motosiklet, taksi ve merkezdeki engebesiz arazi yapısı sayesinde bisiklet veya elektrikli ulaşım araçları (e-bisiklet, e-skuter vb.) ile yapılabilirken toplu ulaşım; dolmuş, minibüs, otobüs veya tramvay sistemi ile sağlanmaktadır.

4.1.3.1. Karayolu ağı

Eskişehir, kent merkezinden doğu-batı doğrultusunda geçen Porsuk Çayı çevresinde şehirleşmeye başlamış ve bu doğrultuda gelişme göstermiştir. Kentin kuzeyinden geçen İstanbul-Ankara karayolu, çevre yolu olarak nitelendirilse de kentin hızlı gelişmesi neticesinde yerleşim alanlarının içerisinde kalmıştır.

Kent merkezinde, Atatürk Bulvarı ve Cumhuriyet Bulvarı'nın oluşturduğu koridor, doğu-batı doğrultusunda hizmet veren karayolu ağının kapasitesi ve hacmi yüksek önemli bir parçasıdır. Kuzey-güney doğrultusunda ise kesiştikleri bölgede TCDD tren garı bulunan Mustafa Kemal Atatürk Caddesi ve İsmet İnönü-1 Caddesi, AÜ merkez kampüsüne bağlanan Üniversite Caddesi ve devamında merkeze bağlantı sağlayan Cengiz Topel Caddesi; eğitim, iş, eğlence ve alışveriş alanlarına ulaşım sağlayan önemli ana arterlerdir.

Eskişehir İl Emniyet Müdürlüğü ve Tepebaşı Esentepe Mahallesi'ne bağlantı sağlayan Prof. Dr. Orhan Oğuz Caddesi; kuzeyde ESTÜ merkez kampüsüne, güneyde Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Sanat ve Kültür Sarayı'na (Opera) ulaşım sağlayan Gazi Yakup Satar Caddesi karayolu ağının hacimleri nispeten daha az olan diğer önemli elemanlarıdır. Sivrihisar-2 Caddesi, Şeker Fabrikası ve Otogar ile kent merkezi arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Yunusemre Caddesi'nde ise hem doğu-batı ve kuzey-güney doğrultularındaki karayolu ağının hem de kentin merkezi iş alanı ile toplu taşıma sistemlerinin aktarma bölgesinin kesişim bölgesinde bulunması nedeniyle trafik hacimleri kapasiteye yakın, zirve saatlerde ise trafik akımı zorlamalıdır. Eskişehir kent merkezindeki karayolu ağının ana elemanlarını oluşturan cadde ve bulvarlar Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Eskişehir kent merkezine bağlantı sağlayan cadde ve bulvarlar

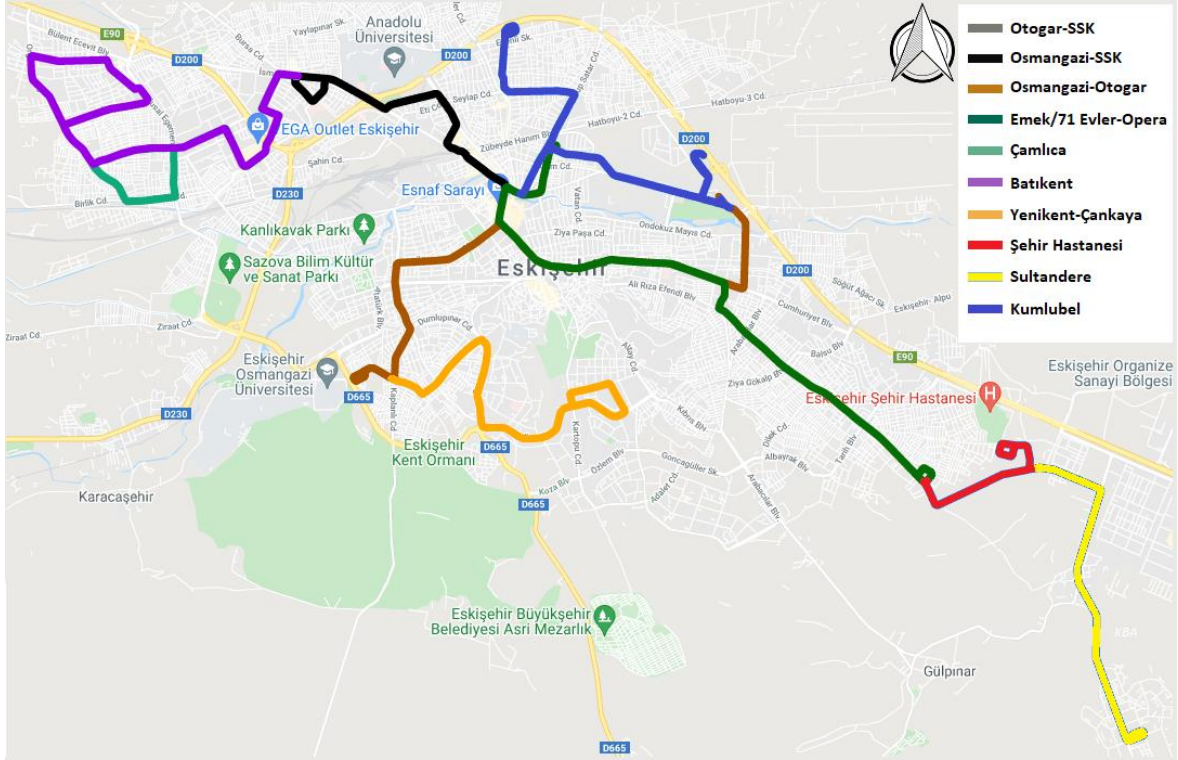
Eskişehir kent merkezinde; İsmet İnönü-1 Caddesi'nin Doktorlar Caddesi olarak anılan kesimi, İki Eylül Caddesi'nin Çarşı olarak anılan kesimi ve Hamam Yolu Caddesi, 2003 ve 2017 yıllarında yapılan UAP çalışmaları kapsamında, yapılan değerlendirmeler sonucunda Eskişehir Büyükşehir Belediyesi tarafından alınan kararlar neticesinde araç trafiğine kapatılarak yayalaştırılmıştır. Şekil 4.6'da ilgili caddelerin yayalaştırılmış kesimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Araç trafiğine kapatılarak yayalaştırılmış cadde kesimleri

4.1.3.2. Toplu Taşıma Sistemleri

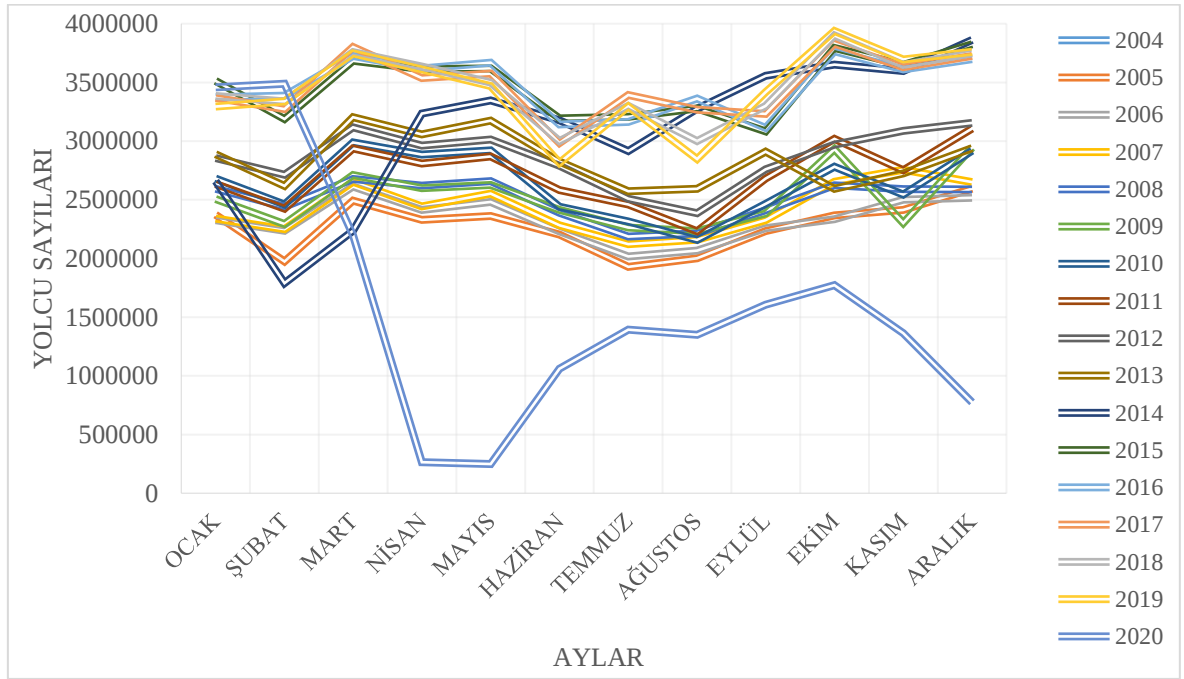
Eskişehir kent içindeki toplu taşıma hizmeti; tramvay (ESTRAM), otobüs, dolmuş ve minibüs hatları ile sağlanmaktadır. 2004 yılında hizmete giren ESTRAM, kentin yayalaştırılmış caddeleri üzerinden veya yakınından geçmesi ve akıllı durakları sayesinde erişilebilir ve güvenilir; birçok ışıklı kavşakta yeşil ışık önceliği olması ve diğer sistemlere göre hızlı bir seçenek olması nedeniyle kent halkı tarafından yaygın olarak tercih edilen bir toplu taşıma sistemidir. ESTRAM sisteminin toplam uzunluğu, 2014 yılında tamamlanan uzatma hatları ile 36,5 kilometreye ulaşmıştır ve planlanan hatların tamamlanması ile birlikte 52 kilometreye kadar ulaşacaktır (ESTRAM, 2021; Karacasu vd., 2021). 2021 yılı itibarıyla ESTRAM sisteminin mevcut hatları Şekil 4.7’de göstermiştir.



Şekil 4.7. ESTRAM sisteminin mevcut hatları

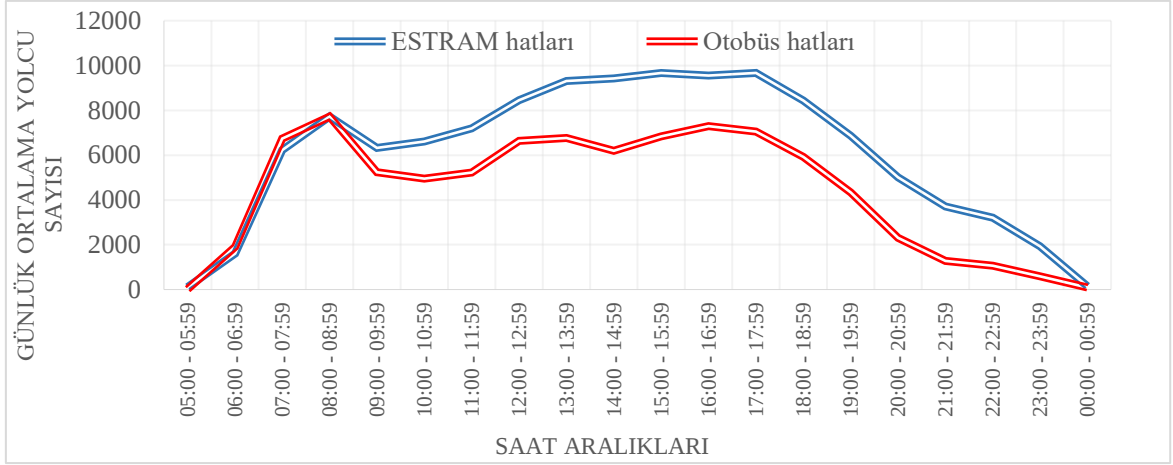
ESTRAM sistemi 2004 yılının Aralık ayındaki açılışının ardından bir ay içinde yaklaşık 470 bin, 2005 yılının sonunda ise yıllık 27 milyonun üzerinde yolcu taşımıştır. Bu değer, 2015 yılında 41 milyonu aşarak 2019 yılı sonuna kadar da benzer sayıdaki yolcuya hizmet vermiştir. Ancak 2019 yılının Aralık ayında Çin'in Vuhan kentinde ortaya çıkan ve COVID-19 olarak adlandırılan Koronavirüs (Coronavirus) salgınının yaygınlaşmasıyla birlikte, 16 Mart 2020 tarihinden itibaren eğitim öğretime ara verilmiş ve 17 Mart 2020 tarihinde de toplu etkinliklerin yapılabileceği alanlardaki faaliyetler durdurulmuştur. Birçok devlet kurumu ve özel kuruluş uzaktan çalışma sistemine geçmiş, eğitim öğretim faaliyetleri de uzaktan yürütülmeye başlanmıştır. İnsanların zaman zaman zorunlu ihtiyaçlar hariç sokağa çıkmalarının da kısıtlanmasıyla ulaştırma sistemlerinin kullanımı da azalmıştır. 2020 yılının Mart ayında İçişleri Bakanlığının İl Umumi Hıfzıssıhha Kurul Kararları gereği virüsün bulaşmasını önlemek amacıyla sosyal mesafeyi koruyacak şekilde çeşitli önlemler alınarak toplu ulaşım araçlarında kapasite %50 oranında azaltılmıştır. COVID-19 salgını doğal olarak toplu taşıma sistemlerinin kullanımının azalmasına ve bireysel ulaşım araçlarının kullanımının artmasına neden olmuştur. 2021 yılında başlayan normalleşme sürecinde de insanların bir kısmı tedbir amacıyla toplu olarak bulunulan kapalı alanlara girmemeyi ve toplu taşıma sistemlerini kullanmamayı tercih etmektedir. 2004 ile 2020 yılları

arasında ESTRAM ile taşınan yolcu sayılarının aylara göre dağılımı grafiği Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Burada, COVID-19 salgını nedeniyle 2020 yılının Mart ayında başlayan yolcu sayılarındaki şiddetli azalma görülebilir. Salgın sürecinin dışında, diğer yıllara bakıldığında şubat, haziran, temmuz ve ağustos aylarında eğitimin tatil olması nedeniyle okul yolculuklarında ve insanların büyük bölümünün tatile çıkması nedeniyle de iş yolculuklarındaki azalmanın ESTRAM ile yapılan yolculuklar üzerindeki etkileri gözlemlenebilir.



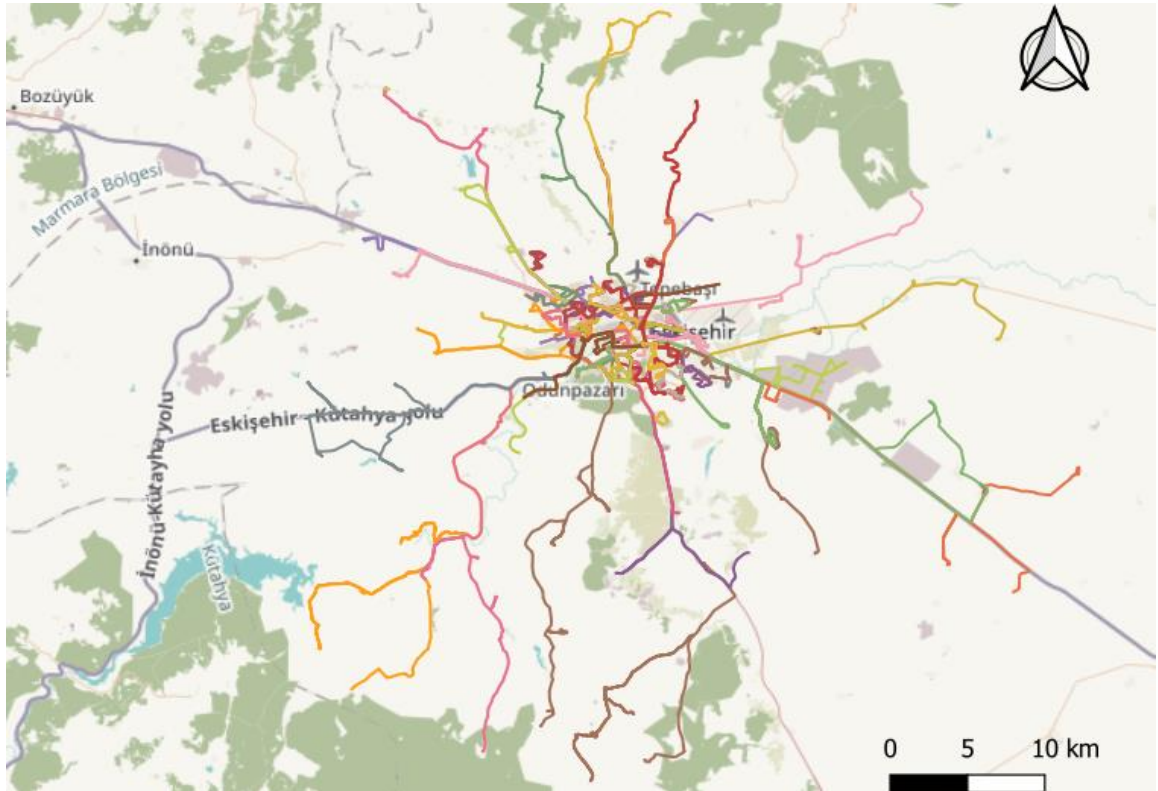
Şekil 4.8. ESTRAM yolcu sayılarının 2004 ile 2020 yılları için aylara göre dağılımı

2018 yılı verilerine göre ESTRAM ve otobüs hatlarında taşınan günlük yolcu sayılarının saat aralıklarına göre dağılımları Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Burada, toplu taşıma sistemleri ile yapılan yolculuklar için 08:00-08:59 saat aralığındaki sabah zirvesi ve 17:00-17:59 saat aralığındaki akşam zirvesi açıkça görülmektedir.

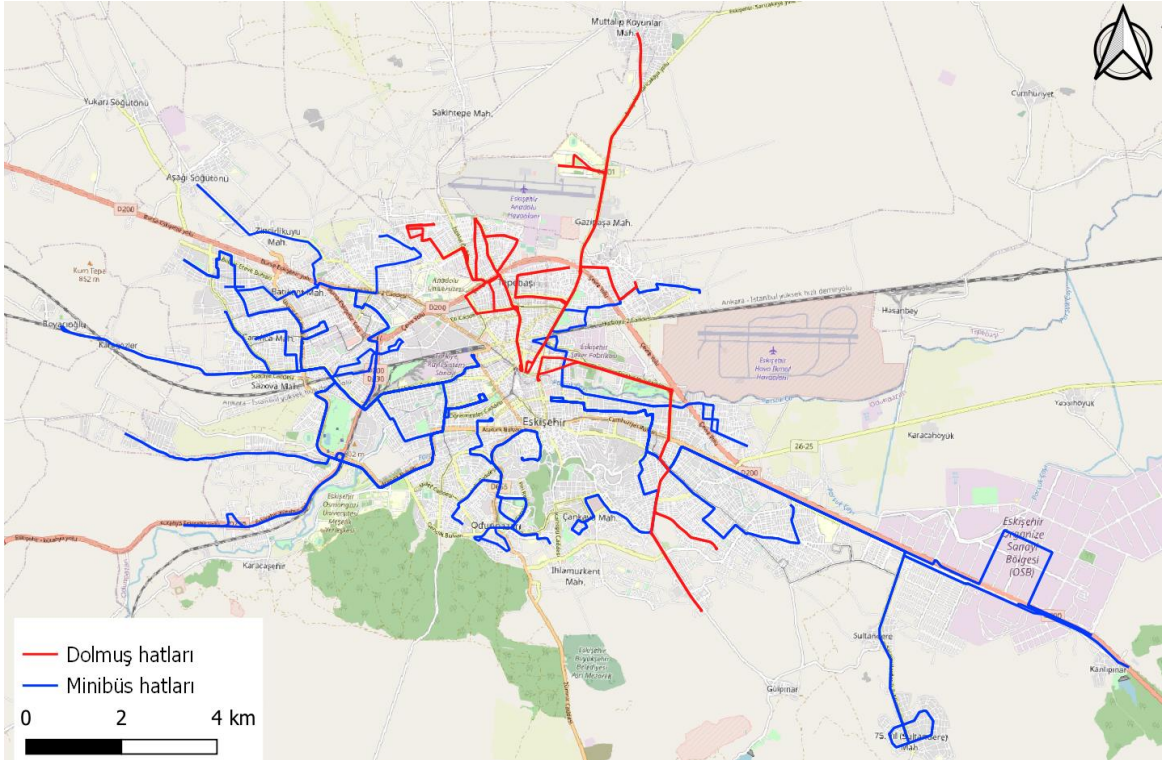


Şekil 4.9. 2018 yılı için ESRAM sistemi ve otobüs hatlarında taşınan günlük yolcu sayılarının saat aralıklarına göre dağılımları

Eskişehir için Şekil 4.7’deki ESRAM hatları, Şekil 4.10’daki kent içi otobüs hatları ve Şekil 4.11’deki dolmuş ve minibüs hatlarına ait görsellerden anlaşılacağı üzere toplu taşıma sisteminin omurgasını raylı sistem hatları oluşturmakta ve kent merkezinde birleşen otobüs, dolmuş ve minibüs hatları ise bu omurgayı desteklemektedir (Öğüt vd., 2017; Karacasu vd., 2021).



Şekil 4.10. Eskişehir kent içi otobüs hatları

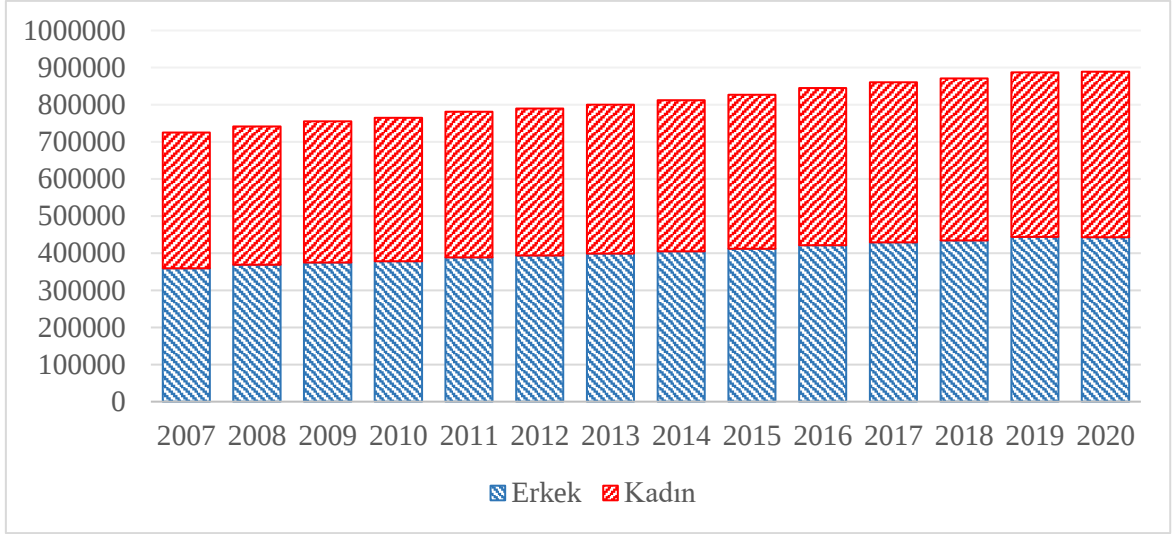


Şekil 4.11. Eskişehir kent içi dolmuş ve minibüs hatları

4.1.4. Sosyoekonomik yapısı

4.1.4.1. Nüfus

Eskişehir nüfusu 2020 yılı sayımlarına göre 445601'i kadın, 442228'i erkek olmak üzere toplam 888828 kişiden oluşmaktadır. Eskişehir nüfusunun yıllara göre değişim grafiği Şekil 4.12'de verilmiştir. 2020 yılı için ilçelere ait nüfus değerlerinin gösterildiği Çizelge 4.1'den anlaşılabacağı üzere merkez ilçelerdeki nüfus yoğunluğu, Odunpazarı ilçesinde (%46,72) Tepebaşı ilçesine (%41,77) göre daha fazladır. Diğer ilçelerde ise nüfus yoğunluğu %0,24 ile %2,27 arasında değişmektedir.

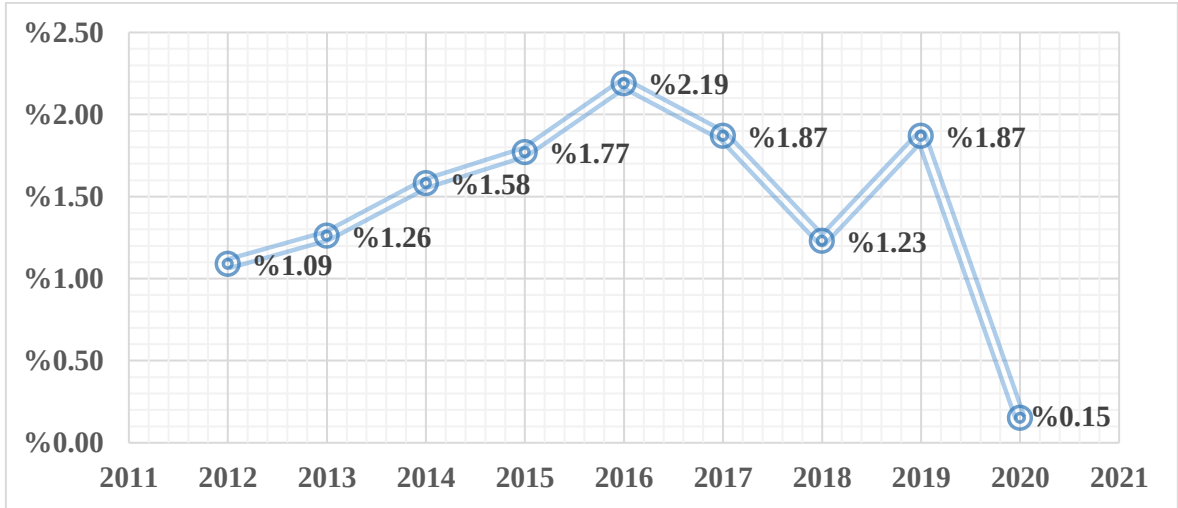


Şekil 4.12. Eskişehir nüfusunun yıllara göre değişimi

Çizelge 4.1. 2020 yılı için Eskişehir ilçelerine ait nüfus değerleri

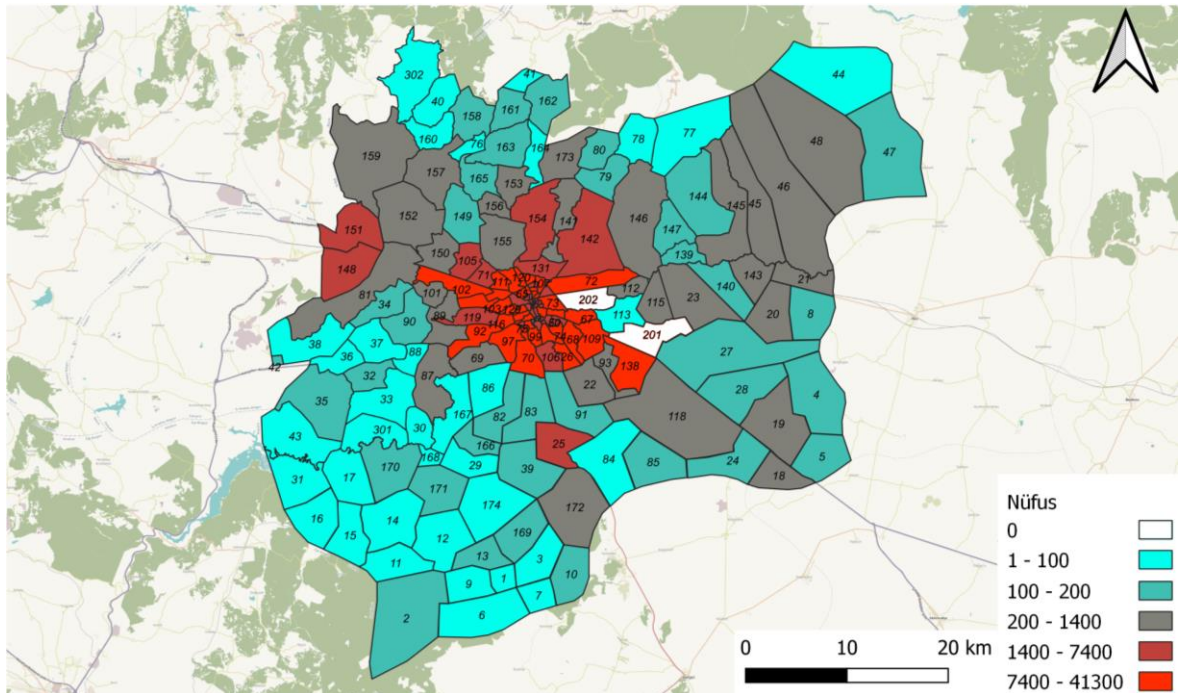
İlçe	Toplam Nüfus	Erkek Nüfusu	Kadın Nüfusu	Nüfus Oranı (%)
Odunpazarı	415230	204703	210527	46,72
Tepebaşı	371303	186358	184945	41,77
Sivrihisar	20140	10214	9926	2,27
Çifteler	14925	7529	7396	1,68
Seyitgazi	12844	6627	6217	1,45
Alpu	10614	5508	5106	1,19
Mihalıççık	8011	4102	3909	0,90
Mahmudiye	7740	3975	3765	0,87
İnönü	6355	3268	3087	0,71
Beylikova	6222	3206	3016	0,70
Günyüzü	5455	2692	2763	0,61
Sarıcakaya	4790	2367	2423	0,54
Mihalgazi	3099	1568	1531	0,35
Han	2100	111	990	0,24
Toplam	888828	442228	445601	

Çalışmada 2015 yılında EUAP 2035 için yapılan anket verileri kullanılması nedeniyle 2015 yılına ait nüfus sayımlarına bakıldığında nüfusun 414511'i kadın, 412205'i erkek olmak üzere 826716 kişi olduğu görülmektedir. Şekil 4.13'te verilen nüfus artış grafiği incelendiğinde nüfusun 2016'ya kadar %2,19 gibi yüksek bir hızla arttığı gözlemlenirken 2020'ye gelindiğinde %0,15'e kadar azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.13. Eskişehir için nüfus artış grafiği

Belirlenen TAB'lardaki, diğer bir deyişle merkez ilçelere ait mahallelerdeki, 2015 yılı verilerine göre nüfus yoğunlukları Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere nüfus yoğunluğu, merkezi iş alanı olarak belirtilen bölgede diğer bölgelere göre fazladır. 201 no.lu TAB (EOSB) ve 202 no.lu TAB (1. ÜS) daha önce açıklandığı gibi nüfus bulunmayan ancak yolculuk üretim ve çekimi yapılan bölgelerdir.



Şekil 4.14. Eskişehir için nüfus artış grafiği

4.1.4.2. İstihdam

Eğitim ve kültür kenti olarak ön plana çıkan Eskişehir’de; askeri, sanayi ve hizmet alanında da faaliyet gösteren birçok kurum ve kuruluş bulunmaktadır. Askeri alanda Hava Kuvvetleri Komutanlığına bağlı birimler, TUSAŞ, TÜRASAŞ, Şeker Fabrikası, Basma Fabrikası ile EOSB, KOBİ-OSB ve Baksan Sanayi Sitesi’nde bulunan birçok fabrika ve firma da sanayi alanlarında istihdam yaratan bölgelerin başında gelmektedir. Ayrıca üç devlet üniversitesine ev sahipliği yapan Eskişehir’de kent merkezi başta olmak üzere çeşitli alanlarda hizmet sektöründe de faaliyet gösteren birçok iş yeri bulunmaktadır.

Önceleri merkezi bölgede genellikle hizmet sektöründe faaliyet gösteren iş yerleri ile turizm alanında faaliyet gösteren termal kaplıcalar, tarihi kent merkezinde ise Odunpazarı Evleri ve müzeler bulunurken doğuda kentleşmenin az olduğu alanlarda EOSB ve KOBİ-OSB, çevre yolunun kuzeydoğusunda 1.ÜS, kuzeyinde ise TUSAŞ yer almaktadır. Şeker Fabrikası, Basma Fabrikası ve TÜRASAŞ ise kent merkezine yakın alanlarda faaliyet göstermektedir.

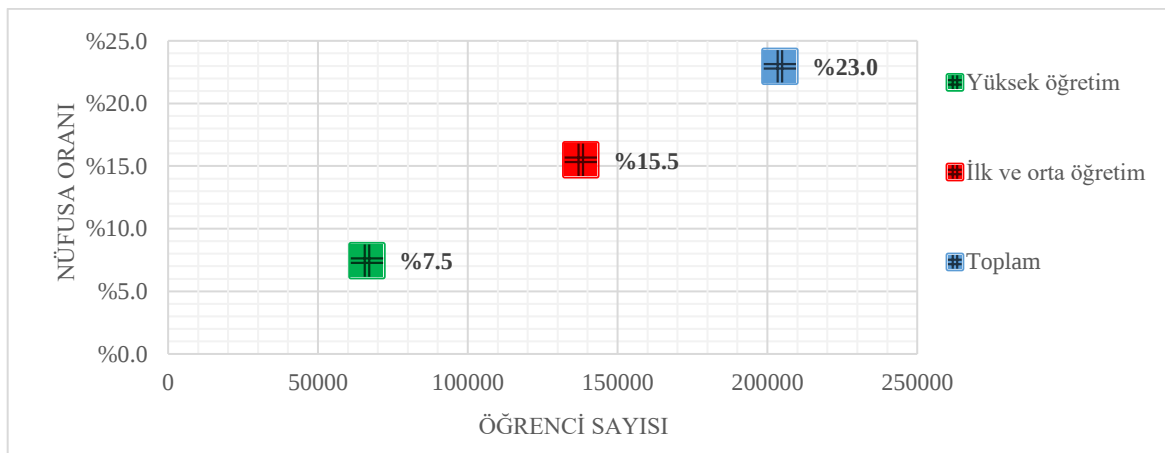
İstihdam, ulaştırma planlaması ve DAM için önemli bir etmendir. 2013 yılına kadar il bazında paylaşılan istihdam verileri, 2014 yılı itibariyle bölgesel olarak verilmeye başlanmıştır. Eskişehir, TR41 olarak adlandırılan Bursa ve Bilecik ile aynı bölgeyi paylaşmaktadır. Bu bilgi dikkate alınarak 2010-2020 yılları arasındaki istihdam verileri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Buna göre; Eskişehir’in de içinde bulunduğu bölgede 2010 yılından itibaren 2015 yılına kadar iş gücüne katılma ve istihdam oranının yükseldiği, işsizlik oranının ise azaldığı söylenebilir. 2019 yılında TR41 Bölgesi’nin işsizlik oranı %11,2’ye kadar yükselmiş, COVID-19 salgını etkisiyle 2020 yılında %9,6’ya gerilemiştir (BEBKA, 2017; TÜİK, 2021).

Çizelge 4.2. 2010-2020 yılları arasında Eskişehir ve bağlı olduğu bölgeye ait istihdam verileri

	Yıl	İşgücüne Katılma Oranı (%)	İşsizlik Oranı (%)	İstihdam Oranı (%)
Eskişehir	2010	42,7	10,5	38,2
	2011	42,2	8,9	38,4
	2012	44	8,4	40,3
	2013	46,9	8,5	42,9
TR41 Bölgesi (Bursa, Eskişehir, Bilecik)	2014	49,3	6,2	46,3
	2015	50,3	7,8	46,4
	2016	50,1	9,2	45,5
	2017	51,8	9,8	46,7
	2018	53	9	48,2
	2019	51,3	11,2	45,5
	2020	49,2	9,6	44,5

4.1.4.3. Öğrenci sayıları

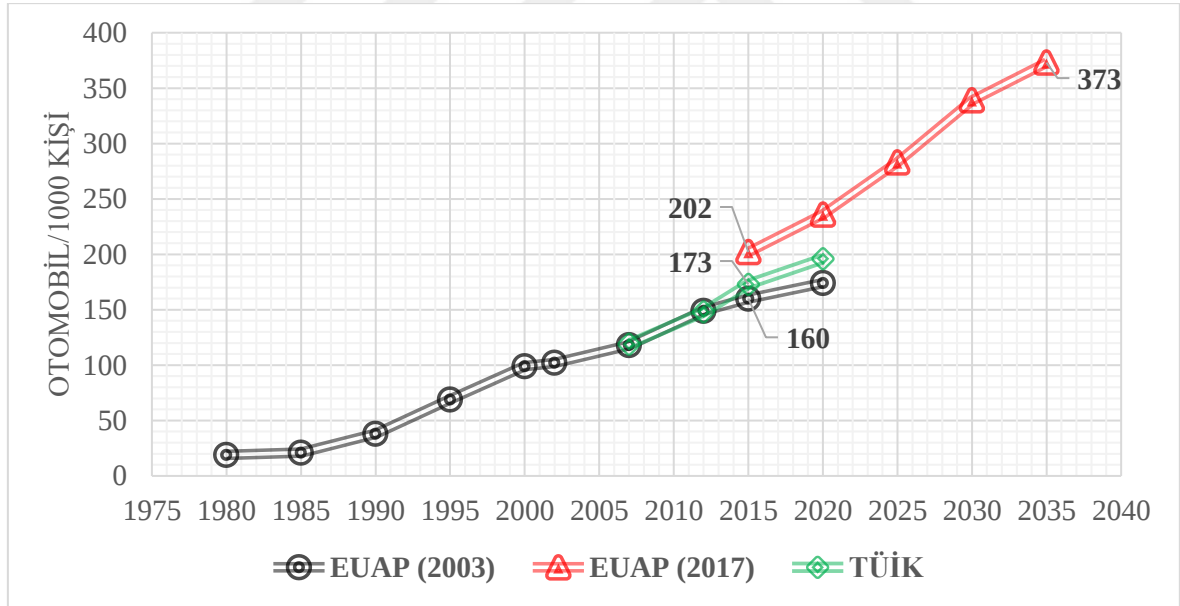
Eskişehir İl Milli Eğitim Müdürlüğü (2021) verilerine göre Eskişehir’de ilk ve orta öğretimde toplam 495 okul, 6557 derslik ve 137811 öğrenci bulunmaktadır. Yükseköğretimde; ön lisans, lisans ve lisansüstü örgün eğitim alan toplam öğrenci sayıları ESOĞÜ (2021) bünyesinde 30234, AÜ (2021) bünyesinde 23236, ESTÜ (2021) bünyesinde 12908 olarak açıklanmıştır. Şekil 4.15’te verilen öğrenci sayıları ve nüfusa oranlarına bakılırsa 2020 yılı sonu itibariyle Eskişehir’de ilk ve orta dereceli okullarda eğitim gören öğrencilerin nüfusa oranı %15,5, yükseköğretim öğrencilerinin nüfusa oranı %7,5, bütün öğrenciler dikkate alındığında ise toplam öğrenci sayısının nüfusa oranının %23,0 olduğu görülmektedir.



Şekil 4.15. 2020 yılı için Eskişehir’deki öğrenci sayıları ve nüfusa oranı

4.1.4.4. Otomobil sahipliği

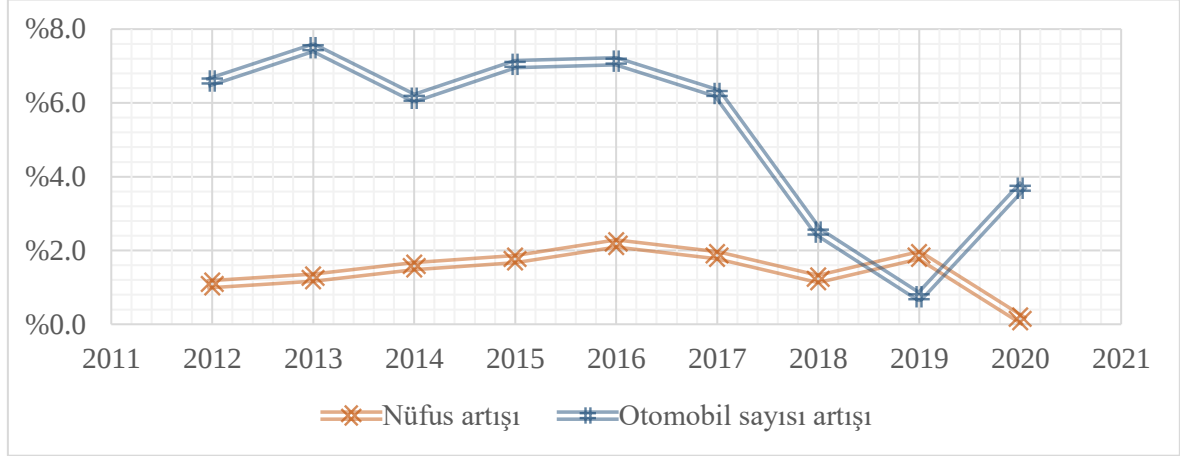
Eskişehir’de 1000 kişi başına otomobil sahipliği 1980 yılında 18 iken, 1990 yılında 34’e, ardından hızlı bir artış eğilimi göstererek 2001 yılında 100’e kadar ulaşmıştır. Eskişehir için Şekil 4.16’da verilen otomobil sahipliğinin yıllara göre değişim grafiğinde görüleceği üzere 2003 yılında hazırlanan EUAP kapsamında yapılan tahminlerde 2015 yılında otomobil sahipliğinin 160 otomobil/1000 kişi olacağı öngörülürken 2017 yılında hazırlanan EUAP 2035’te bu değerin 202 olduğu tespit edilmiştir. EUAP 2035’e göre 2035 yılı için yapılan öngöründe ise otomobil sahipliğinin 373 otomobil/1000 kişi olacağı ifade edilmiştir (Gerçek vd., 2003; Ögüt vd., 2017). TÜİK verileri incelendiğinde 2015 yılı için 100 kişi başına otomobil sahipliğinin 173 olduğu görülmektedir. EUAP 2035 ve TÜİK verileri dikkate alındığında otomobil sahipliğinin 2003 yılında hazırlanan raporda öngörülen değerin üstünde gerçekleşmesi nedeniyle otomobil sahipliğinin tahmin edilenden çok daha hızlı arttığı söylenebilir.



Şekil 4.16. Eskişehir için özel otomobil sahipliği (otomobil/1000 kişi)

Eskişehir’de trafiğe kayıtlı otomobillerin sayıları incelendiğinde, 2012 yılında kayıtlı 117007 otomobil varken 2015 yılında bu sayı 142894’e ve 2020 yılında ise 174166’ya ulaşmıştır. Şekil 4.17’de verilen yıllık nüfus artışı ile otomobil sayılarının yıllık artışları karşılaştırıldığında, 2019 yılı hariç olmak üzere, otomobil sayılarının artışları nüfus

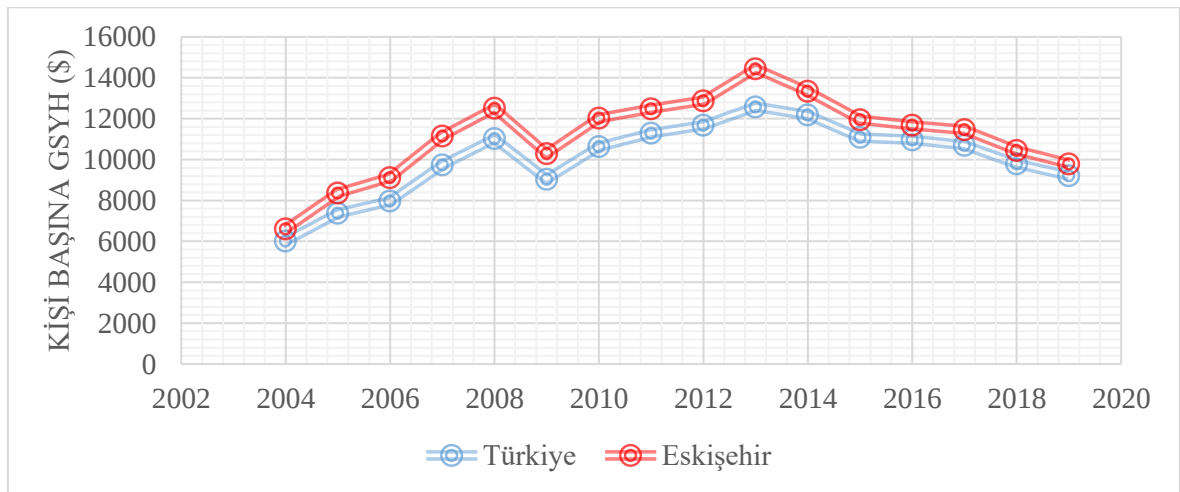
artışlarına göre oldukça yüksektir. 2020 yılı ile 2015 yılı kıyaslandığında, nüfus 5 yılda %7,5 kadar artış göstermişken otomobil sayısı %21,9 artmıştır (TÜİK, 2021).



Şekil 4.17. Eskişehir için nüfus artış ve otomobil sayısı artış eğrileri

4.1.4.5. Gayrisafi yurt içi hasıla

Eskişehir'de TÜİK (2021) verilerine göre kişi başına yıllık ortalama gayrisafi yurt içi hasıla (GSYH); 2015 yılında 11952 \$, 2019 yılında ise 9793 \$ olarak hesaplanmıştır. Türkiye'de kişi başına GSYH ise 2015 yılı için 11085 \$ ve 2019 yılı için 9213 \$ olarak verilmiştir. Bu iki değer dikkate alındığında Eskişehir'de kişi başına ortalama GSYH, Türkiye ortalamasının yaklaşık %7 kadar fazlasıdır. Şekil 4.18'de Türkiye ve Eskişehir için yıllara göre kişi başına ortalama GSYH değerleri verilmiştir.

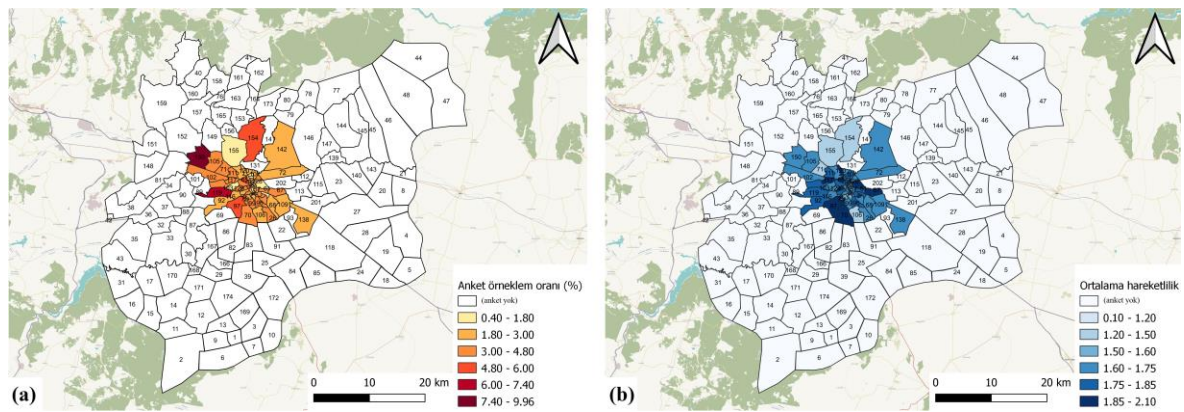


Şekil 4.18. Türkiye ve Eskişehir için yıllara göre kişi başına ortalama GSYH (\$)

4.1.5. Hane halkı anketi

EUAP 2035 kapsamında Bilgiç vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, Eskişehir’de merkez ilçelerine bağlı toplam 175 mahallenin 71 tanesinde hane halkı anketi yapılmıştır. Merkez nüfusu dikkate alındığında %4,69 örneklem oranıyla toplam 32845 kişiye, sosyoekonomik ve yaptıkları gerçek yolculuklara ait soruların yöneltildiği anket uygulanmıştır. Toplam anket uygulanan hane sayısı 10732 olduğuna göre, ortalama hane büyüklüğü 3,06 olarak hesaplanmıştır. Ancak hesaplamalar ve tahmin modellerinin oluşturulması için eksik veriler çıkartıldığında %3,14 örneklem oranıyla 8735 hanedeki 22015 bireye ait veri seti esas alınmıştır.

Kent içi yolculuklar için en temel göstergelerden biri, hareketlilik olarak tanımlanan kişi başına günlük ortalama yolculuk sayısıdır. Hareketlilik, karayolu ağı ve toplu taşıma sistemindeki gelişmeye; yaya, bisiklet ve elektrikli bireysel araçlar gibi çevreci ve sürdürülebilir ulaşım türlerine ait olanakların artırılmasına; otomobil sahipliği, gelir, istihdam gibi sosyoekonomik parametrelerdeki ve arazi kullanımındaki değişikliklere bağlıdır (Öğüt vd., 2017). Anket verisindeki merkez içi yolculuklar dikkate alındığında, Eskişehir için 2015 yılına ait hareketlilik değeri 1,57 olarak hesaplanmaktadır. Yapılan anketlerin TAB bazında örneklem oranı ve ilgili TAB’larda ikamet eden bireylerin ortalama hareketlilik değerleri Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. 2015 yılı Eskişehir hane halkı anket verilerine göre: a) TAB bazında örneklem oranı, b) TAB’larda ikamet edenlerin ortalama hareketlilik değerleri

Eskişehir için eksik verilerin çıkarıldığı 2015 yılı anket verilerindeki hanelerin aylık gelir grubu, ev sahipliği ve otomobil sayılarına göre dağılımları Çizelge 4.3’te gösterilmiştir.

Hane halkının gelir düzeyini belirlemek için hanenin aylık geliri, ev ve otomobil sahipliği ölçütleri dikkate alınmıştır. Buna göre gelir düzeyi; düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Aylık geliri 0-2500 TL arasında olanların tamamı düşük, 4501-6000 TL arasında olanların tamamı orta ve 7501 üzeri olanların tamamı yüksek gelir grubu olarak belirlenmiştir. Otomobil sahipliğinden bağımsız olarak aylık geliri 2501-4500 TL arasında olup evi olmayanlar düşük, evi olanlar orta gelir grubuna; aylık geliri 6001-7500 TL arasında olup evi olmayanlar orta, evi olanlar ise yüksek gelir grubuna dahil edilmiştir. Buna göre aylık geliri belirsiz olanlar çıkarıldığında örnek nüfusun %80,58'si düşük, %17,21'i orta ve %1,44'ü yüksek gelir düzeyindedir.

Örnek nüfustaki hanelerin gelir dağılımındaki en büyük payını %26,87 ile 1001-1500 TL aralığındaki gelir grubu oluşturmaktadır. Örnek nüfusun %65,91'i kendi evinde, %34,09'u ise kirada oturmakta, hanelerin %46,26'sının bir ve %2,71'inin birden fazla otomobili varken %51,02'sinin otomobili bulunmamaktadır.

Çizelge 4.3. 2015 yılı anket verilerindeki hanelerin aylık gelir grubu, ev sahipliği ve otomobil sayılarına göre dağılımları

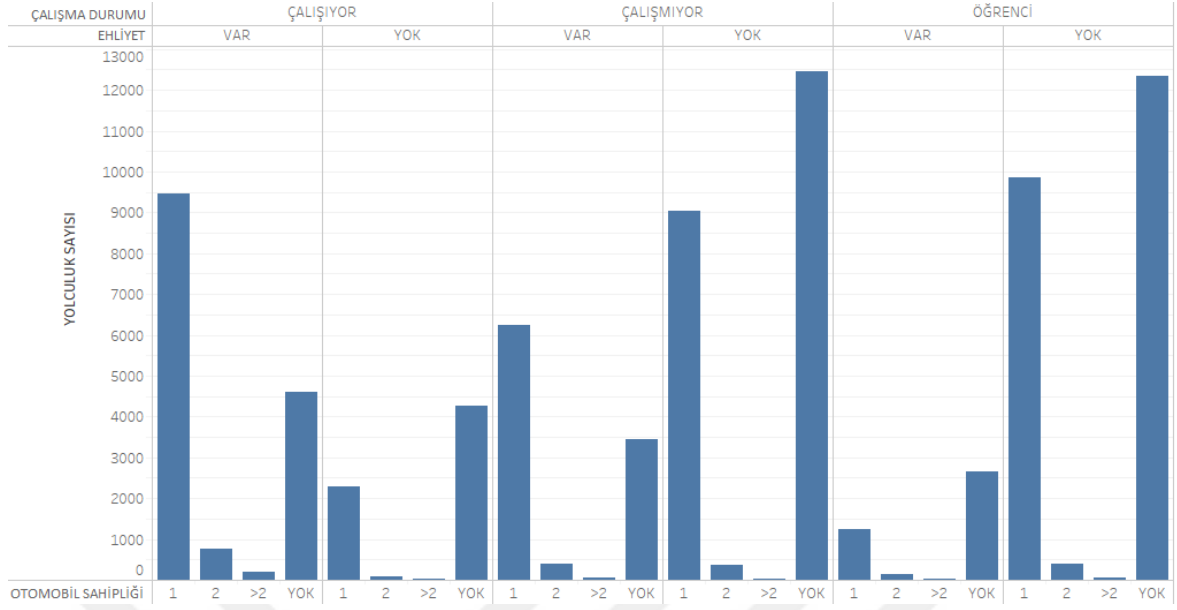
AYLIK GELİR (TL)	EV SAHİPLİĞİ VAR				EV SAHİPLİĞİ YOK (KİRA)				TOPLAM
	OTOMOBİL SAYISI				OTOMOBİL SAYISI				
	1	2	>2	YOK	1	2	>2	YOK	
0 (Belirsiz)	%0,29	%0,01		%0,26	%0,06			%0,15	%0,77
1 (0 - 500)	%0,18			%0,35	%0,03			%0,61	%1,18
2 (501 - 1000)	%1,85	%0,05		%4,76	%0,95			%4,54	%12,16
3 (1001 - 1500)	%7,61	%0,11		%9,49	%2,55	%0,06		%7,04	%26,87
4 (1501 - 2000)	%7,38	%0,24	%0,05	%5,94	%1,58	%0,05	%0,03	%4,74	%20,01
5 (2001 -2500)	%6,27	%0,32	%0,03	%3,45	%1,88	%0,08		%2,74	%14,77
6 (2501 - 3000)	%3,84	%0,23	%0,05	%1,67	%1,14	%0,05	%0,01	%1,33	%8,31
7 (3001 - 3500)	%2,76	%0,18		%0,93	%0,81	%0,03	%0,02	%0,82	%5,56
8 (3501 - 4000)	%1,32	%0,13	%0,01	%0,31	%0,24	%0,03		%0,33	%2,37
9 (4001 - 4500)	%1,34	%0,14	%0,02	%0,25	%0,42			%0,34	%2,52
10 (4501 - 5000)	%1,04	%0,19	%0,03	%0,22	%0,30	%0,01		%0,16	%1,96
11 (5001 - 5500)	%0,62	%0,08	%0,03	%0,15	%0,19	%0,01		%0,08	%1,17
12 (5501 - 6000)	%0,35	%0,03	%0,01	%0,07	%0,11	%0,01	%0,01	%0,06	%0,66
13 (6001 - 6500)	%0,24	%0,06		%0,02	%0,05			%0,02	%0,39
14 (6501 - 7000)	%0,13	%0,01	%0,01	%0,03	%0,05	%0,01	%0,01	%0,05	%0,30
15 (7001 - 7500)	%0,10	%0,02	%0,02	%0,01	%0,06			%0,01	%0,23
16 (7501 - 8000)	%0,08	%0,02		%0,02	%0,03	%0,02			%0,18
17 (>8000)	%0,31	%0,10	%0,01	%0,02	%0,08	%0,02	%0,01	%0,03	%0,60
TOPLAM	%35,72	%1,93	%0,29	%27,97	%10,54	%0,39	%0,10	%23,06	
Lejant (Gelir Düzeyi)	Düşük			Orta			Yüksek		

Örnek nüfustaki bireylerin çalışma durumu, ehliyet sahipliği ve hanelerindeki otomobil sahipliğine göre dağılımları Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Buna göre, hanelerinde en az bir otomobili olanlardan ehliyet sahibi olanların örnek nüfusa oranı %21,61'dir. Bunların %55,25'i çalışan, %7,61'i öğrenci ve %37,14'ü çalışmayan bireylerden oluşmaktadır. Otomobili bulunmayan ve ehliyeti olmayanların örnek nüfusa oranı %78,39'dur. Bunların %17,20'si çalışan, %37,88'i öğrenci ve %44,92'si ise çalışmayan bireylerdir. Örnek nüfusun tamamı dikkate alındığında çalışanların payı %25,42, öğrencilerin payı %31,34, çalışmayanların payı ise %43,24'tür.

Çizelge 4.4. 2015 yılı anket verilerindeki bireylerin çalışma durumu, ehliyet sahipliği ve hanelerindeki otomobil sahipliğine göre dağılımları

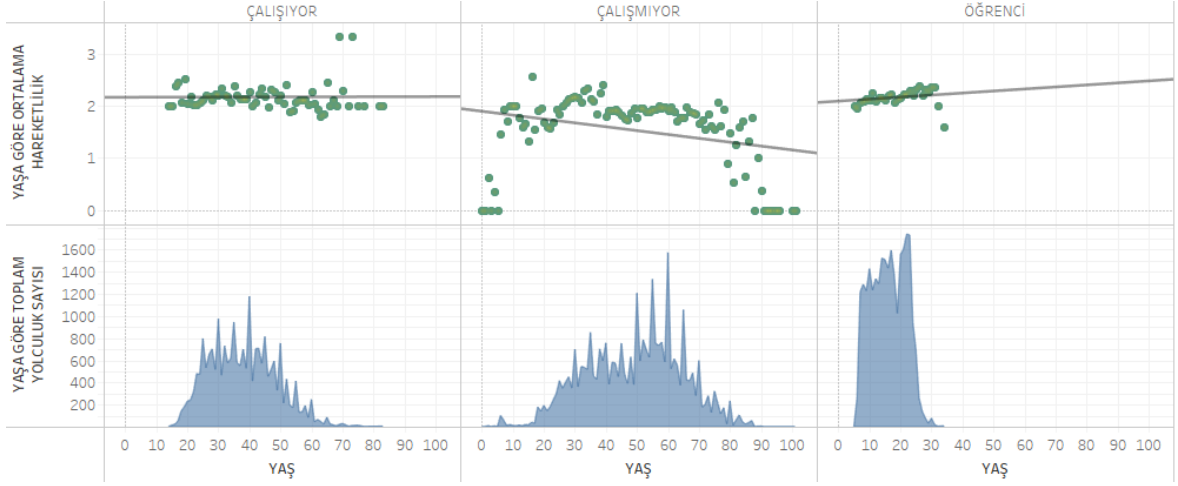
OTOMOBİL SAHİPLİĞİ	EHLİYET	ÇALIŞMA DURUMU			TOPLAM
		ÇALIŞIYOR	ÇALIŞMIYOR	ÖĞRENCİ	
YOK	YOK	%5,08	%17,59	%14,51	%37,19
	VAR	%5,47	%4,17	%2,94	%12,58
1	YOK	%2,79	%12,81	%11,66	%27,26
	VAR	%10,85	%7,50	%1,47	%19,82
2	YOK	%0,11	%0,57	%0,48	%1,16
	VAR	%0,91	%0,44	%0,14	%1,50
>2	YOK	%0,04	%0,07	%0,09	%0,20
	VAR	%0,18	%0,08	%0,03	%0,29
TOPLAM		%25,42	%43,24	%31,34	

Anket verilerindeki bireylerin çalışma durumu ile otomobil ve ehliyet sahipliğine göre yolculuk sayıları Şekil 4.20'de verilmiştir. Buna göre, en çok yolculuğu ehliyeti olmayan öğrencilerin yaptığı görülmektedir. Ehliyet veya otomobil sahipliğine bakılmaksızın en çok yolculuk çalışmayan bireyler tarafından yapılmaktadır. Ancak burada ehliyet ve otomobil sahipliği verileriyle çapraz olarak sorgulama yapmak; toplu taşımayı kullanma potansiyeli fazla olan, özel otomobili bulunmayan veya ehliyeti olmayan bireylerin ön tespitinin yapılabilmesi için faydalıdır.



Şekil 4.20. 2015 yılı anket verilerindeki bireylerin, çalışma durumu, otomobil ve ehliyet sahipliği göre yolculuk sayıları

Anket verilerindeki bireylerin yaş ve çalışma durumuna göre ortalama hareketlilik ve yolculuk sayılarına ait dağılımlar Şekil 4.21’de verilmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere en çok yolculuk 8-25 yaş arasındaki öğrenciler tarafından yapılmaktadır. Yaşa göre ortalama hareketlilik değerleri incelendiğinde, aykırı değerler hariç, 17-40 yaş arasındaki kişiler günlük ortalama yolculuk sayısı en fazla olan grubu oluşturmaktadır. Yaşa göre ortalama hareketlilikler için eğilim çizgilerine bakıldığında çalışan grubun ortalama hareketliliği 2’nin üzerinde ve yataya yakın, yani yaşa göre neredeyse değişiklik göstermeyecek şekilde çizilmektedir. Çalışmayan grupta ortalama hareketlilik yaş arttıkça şiddetli bir şekilde azalmakta, öğrencilerde ise yaşın artmasıyla birlikte ortalama hareketlilik artış göstermektedir.



Şekil 4.21. 2015 yılı anket verilerindeki bireylerin yaş ve çalışma durumuna göre ortalama hareketlilik ve yolculuk sayıları dağılımı

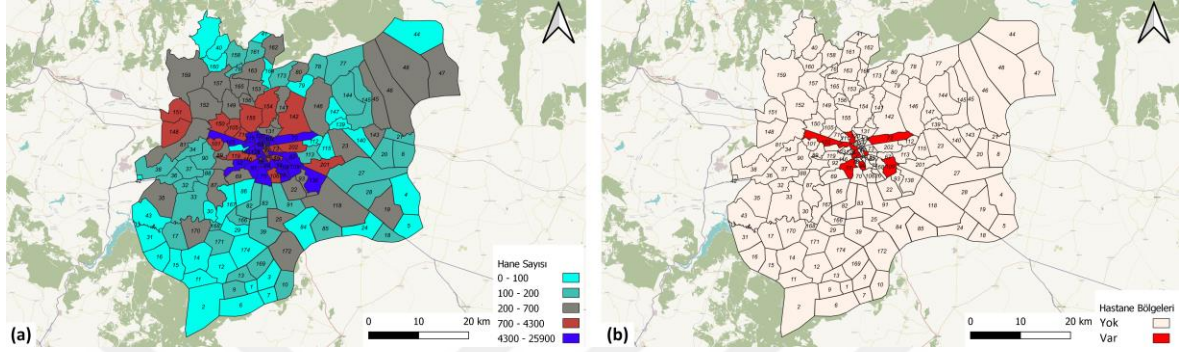
4.1.6. Arazi kullanımı

Çalışma kapsamında yolculuk taleplerinin tahmin edilmesinde kullanılmak üzere Eskişehir’deki arazi kullanımına ilişkin veriler, Eskişehir Büyükşehir Belediyesi ve EUAP 2035’ten alınan veriler ile açık kaynak kodlu Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı QGIS 3.16 ve QuickOSM eklentisi birlikte kullanılarak elde edilen veriler birleştirilerek oluşturulmuştur (Öğüt vd., 2017; QGIS, 2021; Trimaille, 2021).

Eskişehir için CBS’de işlenen verilere göre, TAB bazında hane sayıları ve hastane bulunan TAB’lara ait haritalar Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Burada, TAB’ların yolculuk üretme potansiyeli ile hastane amaçlı yolculukların çekilebileceği TAB’lar görülmektedir. Görselden anlaşılabileceği üzere haneler genellikle merkezi iş alanına yakın mahallelerde yoğunlaşmıştır. Kentin konumu ve genel yapısının anlatıldığı kısımda da açıklandığı gibi ESOĞÜ Tıp Fakültesi Hastanesi, Şehir Hastanesi, Yunus Emre Devlet Hastaneleri, devlet hastanelerinin ek hizmet binaları ve özel hastanelerin bulunduğu TAB’lar hastane bölgeleri olarak değerlendirilmiş; sağlık ocağı ve aile sağlığı merkezleri ise arazi kullanımı kapsamında dikkate alınmamıştır.

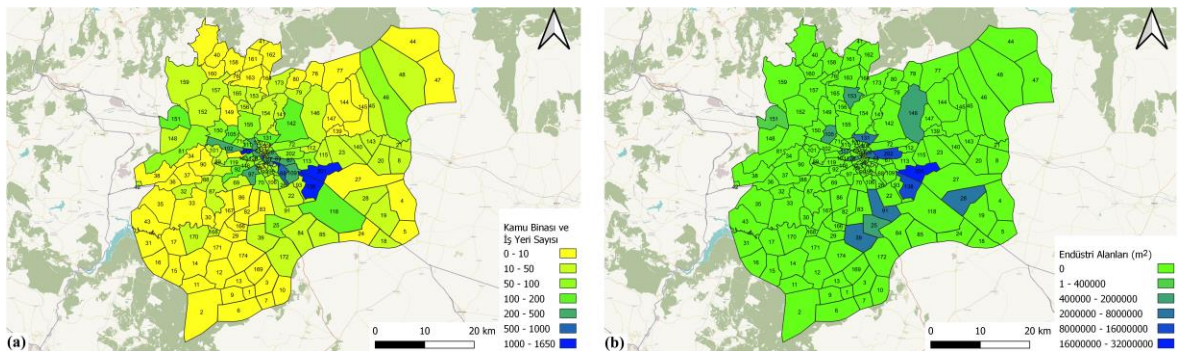
Anket çalışmasının yapıldığı 2015 yılında 71 Evler Mahallesi’ndeki (109 no.lu TAB) Şehir Hastanesi henüz bulunmazken Yenidoğan Mahallesi’ndeki (98 no.lu TAB) Eskişehir Devlet Hastanesi şehir merkezine yakınlığı nedeniyle şehirdeki en çok yolculuk çeken

hastaneydi. 2018 yılı itibariyle Eskişehir Devlet Hastanesi ek hizmet binasına dönüştürülerek şehirdeki en büyük hastane olarak Şehir Hastanesi hizmete girmiştir. Bu nedenle mevcut anket verilerinde 109 no.lu TAB tarafından çekilen hastane yolculuğu bulunmamaktadır.



Şekil 4.22. Eskişehir için: a) TAB bazında hane sayıları, b) hastane bulunan TAB'lar

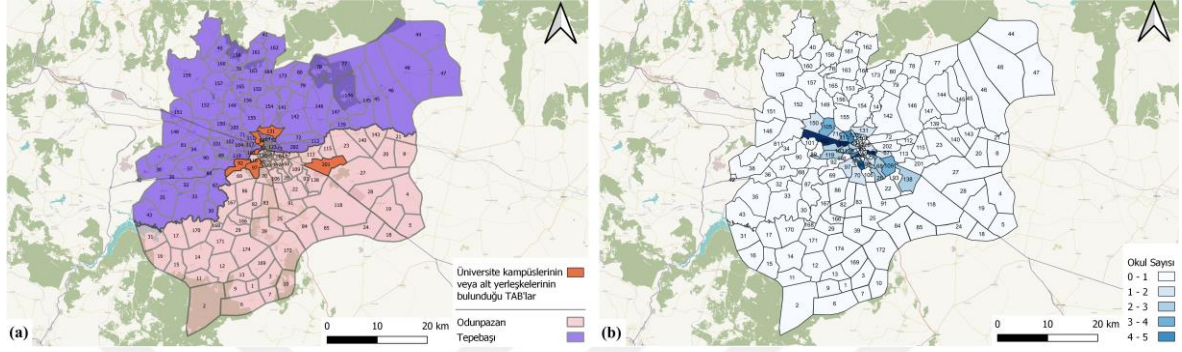
Kentin genel yapısında bahsedildiği gibi Eskişehir; demiryolu, havacılık ve birçok farklı alanda üretim tesislerinin, fabrikaların ve maden ocaklarının bulunduğu, gelişmiş sanayi altyapısına sahip bir kendir. Kentin farklı bölgelerine yayılmış geniş alanlara sahip, birçok alanda üretim ve araştırma-geliştirme faaliyetleri yürüten tesislerin bulunduğu endüstri alanları ile Odunpazarı ve Tepebaşı ilçelerinin hemen hemen eşit bir şekilde paylaştığı merkezi iş alanı ve kamu kurumları, özel kuruluş ve iş yerlerinin (kamu/özel iş yeri) TAB'lara dağılımı Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Burada, kent merkezindeki iş amaçlı yolculukları yoğun olarak çekebilecek TAB'ların potansiyeli görülebilir.



Şekil 4.23. Eskişehir için TAB bazında: a) kamu/özel iş yeri sayısı, b) endüstri alanları

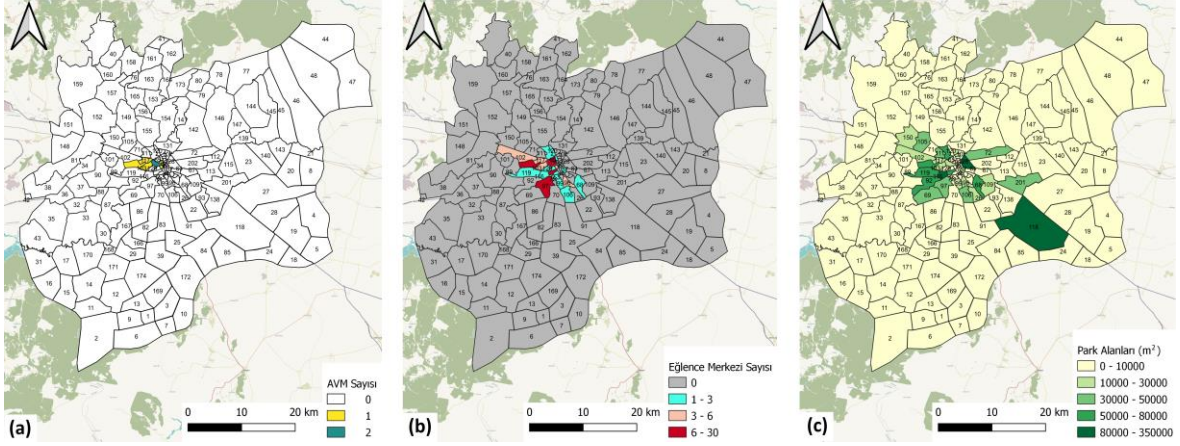
Kentteki üç devlet üniversitesinin (AÜ, ESOĞÜ ve ESTÜ) merkez kampüsleri ve alt yerleşkelerinin bulunduğu TAB'lar ile ilk ve orta öğretimde hizmet veren devlet okulları ve

özel okulların toplamının TAB bazında dağılımları Şekil 4.24'te verilmiştir. Okul amaçlı yolculukların yoğun olarak çekileceği TAB'lar buradan öngörülebilir. Şekilde görüleceği üzere okul bölgeleri kent merkezinde konut bölgelerinin fazla olduğu yerlere, üniversite yerleşkeleri ise bu bölgelerin hemen dışında kalan bölgelere yayılmıştır.



Şekil 4.24. Eskişehir için: a) üniversite yerleşkeleri bulunan TAB'lar, b) TAB bazında okul sayıları

Eskişehir hızlı gelişen bir kent olması nedeniyle daha önceleri kentin konut bölgesinin dışındaki alanlarda planlanan AVM'ler zamanla kentin içinde kalmıştır. Kent merkezindeki düzgün arazi yapısı ve Porsuk Çayı'nın oluşturulduğu doğal güzellik, yerleşim yerleri ve eğitim kurumlarına yakın olması, kent merkezinin gezi ve termal tesis kullanımı amaçlı turizm çekmesi ve üniversite öğrencilerin yarattığı talep gibi nedenler; merkezde yaygın bir şekilde kafe, bar ve diğer eğlence alanlarının oluşmasını sağlamıştır. Kentin zengin doğal yapısının dışında, büyükşehir belediyesinin oluşturduğu park ve bahçeler de kentteki diğer eğlence ve rekreasyon amaçlı yolculuk çeken bölgeleri oluşturmaktadır. Şekil 4.25'te alışveriş ve eğlence amaçlı yolculukların çekilebileceği TAB bazında AVM sayısı, eğlence merkezi sayısı ve park alanları gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Eskişehir için TAB bazında: a) AVM sayısı, b) eğlence merkezi sayısı, c) park alanları

4.2. Yolculuk Üretim Modeli

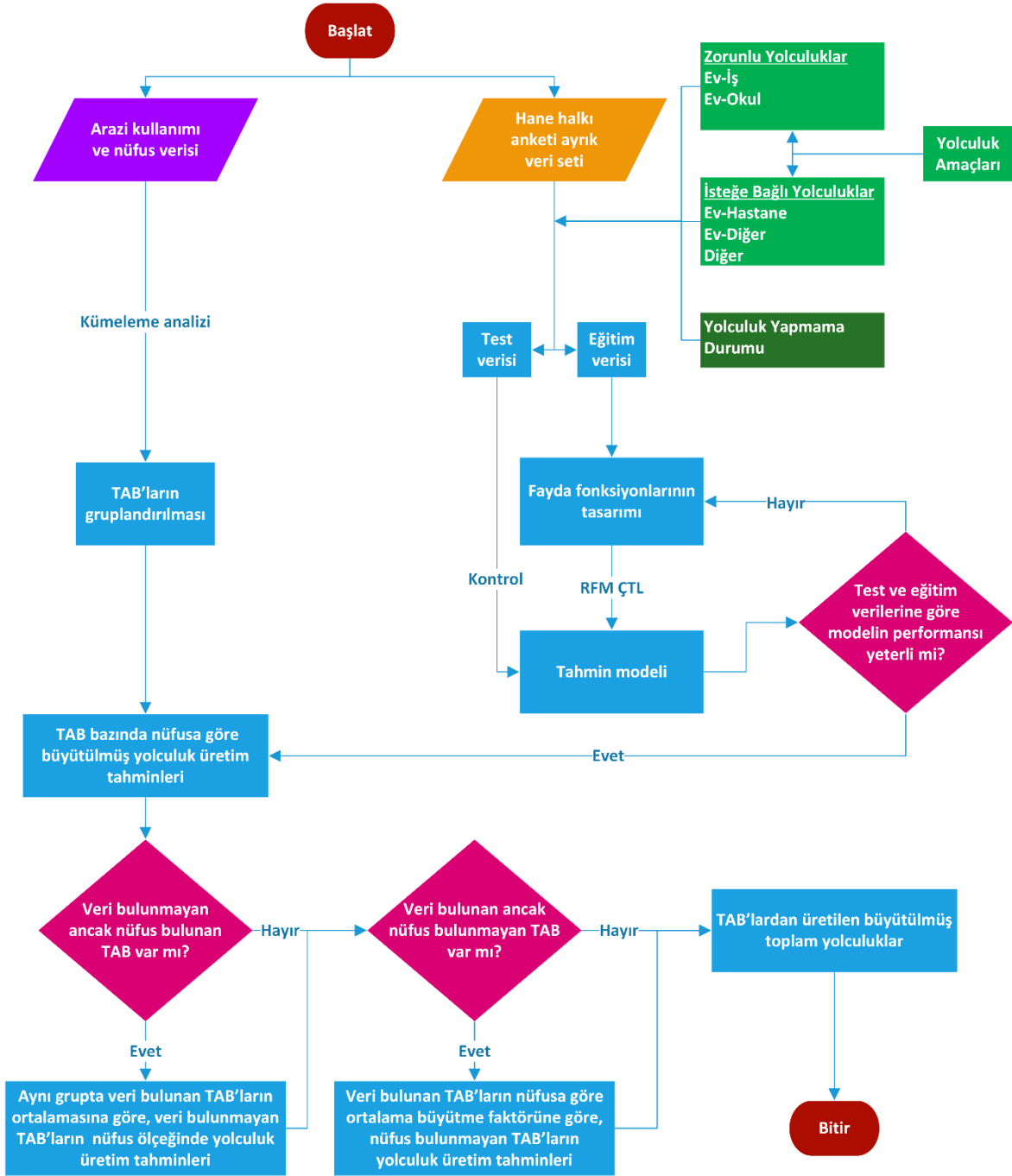
Yolculuk üretimi için hem ayrıık hem de toplulaştırılmış modelleme yaklaşımlarında kullanılabilecek şekilde örnek nüfustaki bireylerin ev, otomobil, diğer motorlu araç sahipliği, ehliyet durumu, meslek, yaş, hane büyüklüğü gibi değişkenler bağımsız değişkenler olarak model tasarımında kullanılmıştır. Bağımlı değişken (seçim kümesi) olarak da yolculuk amaçları ve yolculuk yapmama durumları belirlenerek her bir amaç için ayrı modeller geliştirilmesi yerine bireylerin özelliklerinin dikkate alındığı ayrıık veri setinin kullanıldığı modelde, TAB'lardan yapılacak yolculukların ulaşım amaçlarına göre paylarının tahmin edilmesi amaçlanmaktadır.

Ortúzar ve Willumsen (2011) tarafından belirtildiği gibi bireylerin tercihleri olarak düşünüldüğünde yolculuk amaçlarından iş ve okul yolculukları zorunlu; alışveriş, sosyalleşme vb. etkinlikleri kapsayan diğer yolculuklar ile hastane yolculukları ise isteğe bağlı yolculuklar olarak dikkate alınmaktadır. Önerilen modelde bireylerin kendi davranışlarından ziyade aynı TAB'da yaşayan benzer özellikteki bireylerin davranışlarının, yani zorunlu ve isteğe bağlı yolculuklar dahil yapılan tüm yolculukların hangi oranlarda paylaşılacağı tahmin edilmesi amacıyla her bir ulaşım amacının ve yolculuk yapmama durumunun bağımsız değişkenler olarak kullanıldığı model tasarımı yapılmıştır. Benzer şekilde, Gulden vd. (2013) tarafından yapılan karma kullanımlı geliştirme (MXD: Mixed Use Development) yolculuk üretim modeli çalışmasında, bölgesel veriler kullanılarak her bir yolculuk amacının toplam yolculuklardaki paylarının hesaplandığı bir tahmin modeli geliştirilmiştir. Vrtic vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, bölgelerin cazibe yaratan

özelliklerinin ifade edildiği değişkenler kullanılarak yolculuk amaç çiftlerine göre eş zamanlı üretim, çekim, dağıtım ve tür seçim modeli oluşturulmuştur. Tez çalışmasında ise bireysel veri seti kullanılarak bireylerin yolculuk amaçlarına göre paylarını veren bir model önerilmiştir. Böylece elde edilen model sayesinde ilgili bölgelerdeki hanelerin sosyoekonomik durumlarındaki değişikliğin yolculuk yapmama durumu ve yolculuk amaçlarına göre üretilen yolculukların payları üzerindeki etkisi gözlenebilecektir. Bireysel olarak düşünüldüğünde bir bireyin iş veya okul yolculuklarını yapmak zorunda oldukları, yalnızca zorunlu olmayan yolculuklar arasında bir seçim yapabileceği düşünülebilir. Fakat buradaki amacın ilgili bölgelerdeki bütün bireylerin yolculuk davranışlarının birikimli sonuçlarına göre yolculuk yapmayanların ve amaçlarına göre yapılan yolculukların paylarının hesaplanması olduğu unutulmamalıdır. Bu amaçla her bir bireyin seçim kümesi için geçerlilik listesi tanımlanabilir. Böylece, okul yolculuğu seçeneği öğrenci olmayan bireylerin, iş yolculuğu seçeneği ise istihdam edilmemiş bireylerin seçenek kümelerinden çıkarılabilir.

Yolculuk üretim modelinde; birbirine göre dezavantajlı veya avantajlı olabilecek özelliği bulunmayan, herhangi bir sıra izlemeyen, birbirinden tamamen bağımsız yolculuk amacı değişkenlerinin seçilme olasılıklarının hesaplanması için RFM ÇTL model kullanılmıştır. Burada bireylerin kendi tercihlerinden ziyade birikimli paylara bakılarak TAB bazında yolculuk amaçlarına göre üretilen yolculuk sayılarının hesaplanması hedeflenmiştir.

EUAP 2035 hane halkı anketinden alınan ayrık veri setindeki değişkenlerin bağımsız değişken, yolculuk yapmama durumu ve yolculuk amaçlarının bağımlı değişken olarak kullanıldığı yolculuk üretimi için tahmin modeline ve nüfus bazında TAB'lardan üretilen toplam yolculuk tahminlerine ait akış şeması Şekil 4.26'da gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Yolculuk üretim modeli ve nüfus bazında yolculuk üretim tahminleri akış şeması

Akış şemasından da anlaşılacağı üzere anket yapılan TAB'lardan üretilen yolculuklar, ayrık veri seti kullanılarak yolculuk amaçlarına göre RFM ÇTL yöntemi ile modellenmiştir. Model performans testleri ve hata miktarlarının uygunluğunun kontrol edilebilmesi için veri seti, eğitim ve test verisi olmak üzere farklı oranlarda rassal olarak ikiye ayrılmıştır. Her bir yolculuk amacına göre hazırlanan fayda fonksiyonlarındaki katsayılar, eğitim veri setine göre tahmin edilerek oluşturulan tahmin modeli performans

testlerine tabi tutulmuş ve test verilerindeki gerçek tercihlerle model sonuçları karşılaştırılarak hata miktarlarının uygunluğu kontrol edilmiştir. Fayda fonksiyonu tasarımları, her bir fonksiyonda kullanılacak değişkenlerin seçimi ile yapılır. Genelde seçeneklerden birinin fayda fonksiyonu referans yani boş olarak belirlenirken aralarında iç ilişki bulunmadığı tespit edilen bütün değişkenler diğer seçenekler için hazırlanan fonksiyonların tamamında bulunacak şekilde fayda fonksiyonlarının tasarımı yapılır. Ancak fonksiyonlarda kullanılacak değişkenlerin seçimi model performansını etkileyeceği için en uygun tasarımın araştırılması daha doğru tahminler yapılmasını sağlayacaktır. Bu nedenle model performansının yeterli olduğuna karar verilene kadar fayda fonksiyonlarının tasarımları değiştirilerek modelde kullanılacak değişkenlerin seçimi ve katsayılarının tahmini işlemleri tekrarlanmıştır. En uygun tahmin modeline göre veri bulunan TAB'lardan üretilcek yolculuklar, yolculuğun üretildiği TAB'ların nüfusları ölçeğinde büyütülerek ilgili TAB'lardan nüfus bazında yapılan toplam yolculuklar belirlenmiştir.

Yolculuk üretim modeli, anket çalışması yapılan TAB'lardaki bireysel yolculuklara ait ayırık veri seti kullanılarak oluşturulmuştur. Ancak anket verisi bulunmayan TAB'lara ait sosyoekonomik durumu veya yolculuk miktarlarını gösteren herhangi bir veri seti bulunmadığı için arazi kullanımı verilerine göre TAB'lar Kümeleme Analizi ile gruplandırılmış ve aynı grupta bulunan TAB'lardan nüfusları oranında benzer yolculuk üretimi yapıldığı varsayılarak nüfus bazında toplam yolculuk üretimleri tahmin edilmiştir. Anket verisi bulunan ancak nüfus bulunmayan TAB'lardan yapılan büyütülmüş yolculukların tahminleri; üretim modeli sonucunda bu TAB'lardan üretilen birikimli payların, veri bulunan TAB'ların nüfusa göre ortalama büyütme faktörü ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Böylece bütün TAB'lar için büyütülmüş yolculuk üretimleri tahmin edilmiştir.

4.2.1. Üretim modelinde kullanılan değişkenler

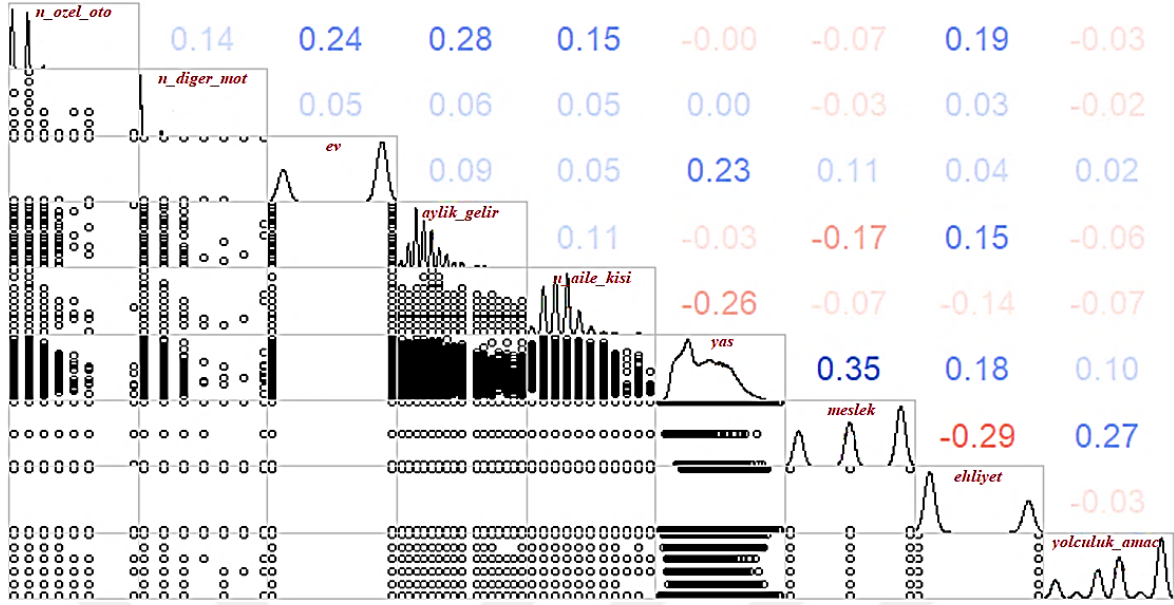
Yolculuk üretim modelinin fayda fonksiyonlarında kullanılan bağımsız ve bağımlı değişkenlerin kısaltmaları, tipleri ve açıklamaları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkinin incelenebilmesi Şekil 4.27'de verilen grafikte, diyagonalde; değişkenlerin dağılımları, diyagonalin alt kısmında verilerin çapraz dağılımları ve diyagonalin üst kısmında ise korelasyon değerleri birlikte verilmiştir. Korelasyon

matrisinde, rassal değişkenlerin birbirleri arasındaki doğrusal ilişkinin yönü ve şiddeti -1 ile +1 arasında olacak şekilde verilir. Genelleştirilememekle birlikte, -0,5'dan küçük veya +0,5'dan büyük değerler için iki değişken arasında yüksek korelasyon olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.5. Yolculuk üretim modelinde kullanılan bağımsız ve bağımlı değişkenlerin açıklamaları

Bağımsız Değişkenler			
Kodu	Açıklama	Tipi	Değişken açıklaması
<i>n_ozel_oto</i>	Özel otomobil sahipliği	Sayısal	
<i>n_diger_mot</i>	Diğer motorlu araç sahipliği	Sayısal	
<i>ev</i>	Ev sahipliği	Kukla	0: Evi yok (Kira) 1: Evi var
<i>aylik_gelir</i>	Aylık gelir	Sayısal	
<i>n_aile_kisi</i>	Hane büyüklüğü	Sayısal	
<i>yas</i>	Yaş	Sayısal	
<i>meslek</i>	Çalışma durumu	Kategorik	1: Çalışıyor 2: Öğrenci 3: Çalışmıyor
<i>ehliyet</i>	Ehliyet sahipliği	Kukla	0: Ehliyeti yok 1: Ehliyeti var
Bağımlı Değişkenler			
Kodu	Açıklama	Tipi	Değişken Açıklaması
<i>yolculuk_amac</i>	Yolculuk amaçlarına ve yolculuk yapmama durumuna göre verilen kategorik değişken	Kategorik	YOK: Yolculuk yapmama EI: Ev-İş yolculuğu EO: Ev-Okul yolculuğu EH: Ev-Hastane yolculuğu ED: Ev-Diğer yolculuğu D: Diğer yolculuklar

Korelasyon değerleri incelendiğinde belirlenen değişkenler arasında yüksek korelasyona sahip değişkenler bulunmamaktadır. Burada yaş değişkenleri ile çalışma durumunu ifade eden meslek değişkeninin yüksek çoklu iç ilişkiye (multicollinearity) sahip olmaması için meslek değişkeni çalışan ve öğrenci olmak üzere iki ayrı kukla değişken olarak belirlenmemiştir. Eğer meslek değişkeni, çalışan (1: Çalışan, 0: Diğer) ve öğrenci (1: Öğrenci, 0: Öğrenci değil) olacak şekilde iki ayrı kukla değişken ile tanımlanmış olsaydı öğrenci ve yaş değişkeninin birlikte kullanılması durumunda aralarındaki korelasyon 1'e çok yakın çıkacak ve çoklu iç ilişki problemi yaşanacaktı. Bu nedenle meslek değişkeni modelde kategorik değişken (1: Çalışıyor, 2: Öğrenci, 3: Çalışmıyor) olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.27. Değişkenlerin dağılımları, değişken verilerinin çapraz dağılımları ve korelasyon değerleri

4.2.2. TAB'ların üretim potansiyellerine göre gruplandırılması

EUAP 2035 için yapılan çalışmada, analiz bölgesindeki toplam 177 TAB'ın 71 tanesinde hane halkı anketi düzenlenmiştir. Bunlardan iki tanesi nüfus içermeyen EOSB ve 1.ÜS TAB'larıdır. Tamamı mahalle olan diğer TAB'lardaki hanelere ait sosyoekonomik durumu açıklayan başka bir veri seti de bulunmamaktadır. Ancak bütün TAB'lara ait arazi kullanım verileri ve nüfus bilgileri mevcuttur. Bu nedenle yolculuk üretim modeli oluşturulduktan sonra anket verisi bulunmayan TAB'lardan üretilebilecek yolculukları tahmin edebilmek için arazi kullanım ve nüfus verileri kullanılarak üretim potansiyellerine göre TAB'lar Kümeleme Analizi ile gruplandırılmıştır. Yolculuk çekim modeli için de gerek tahmin sürecindeki işlemci gücünü ve hesaplama süresini azaltmak gerek gelecekte alternatif TAB oluşturulması veya TAB'ın niteliğinin değişmesi gibi senaryo sonuçlarını kestirebilmek için TAB'lar arazi kullanım ve nüfus verileri kullanılarak çekim potansiyellerine göre gruplandırılmıştır. Böylece veri bulunmayan TAB'lara ait veriler, bulundukları kümelerdeki veri bulunan TAB'ların değerlerinden faydalanılarak belirlenmektedir.

Modelleme çalışmaları sırasında kullanılan yardımcı bir yöntem olması nedeniyle Kümeleme Analizi, "Yöntem" bölümü yerine bu kısımda açıklanmıştır. Kümeleme Analizi; veri madenciliği, makine öğrenmesi ve istatistiksel veri analizinde yaygın olarak kullanılan,

benzer özellikteki nesnelerin gruplandırılması amacıyla uygulanan bir yöntemdir. (Kendall, 1966; MacQueen, 1967; Kassambara, 2017). Literatürde her türden veri için farklı türde kümeleme algoritmalarını görmek mümkündür. Genel olarak yoğunluk, dağılım, merkez ve hiyerarşik tabanlı algoritmalar en yaygın kullanılanlardır (Lloyd, 1982; Bouman vd., 1997; Nielsen, 2016; Campello vd., 2020; McGregor, 2020).

Kümeleme algoritmaları içerisindeki en basiti ve yaygın olarak kullanılan, merkez tabanlı bir algoritma olan K-ortalamlar Kümeleme Analizi'dir. Büyük veri setlerinde hızlı sonuçlar verebilmesi, kolay anlaşılabilir ve hesaplanabilir olması algoritmanın avantajlarıken verinin bölüneceği küme sayısının kullanıcı tarafından belirlenmesi ve veri setindeki uç değerlerden etkilenmesi dezavantajları olarak karşımıza çıkmaktadır (Takaoğlu ve Takaoğlu, 2017; Chatterjee, 2019; McGregor, 2020).

K-ortalamlar algoritmasında gruplandırılacak elemanların her biri sadece birer bağımsız kümenin elemanı olabilmektedir. Kümelerin temsil edildiği noktalar merkez noktası olarak isimlendirilir. K-ortalamlar algoritmasında Denklem 4.1'de verilen toplam küme içi kareler toplamı (KKT) en küçüklenecek çalışılır (Nelson, 2012; Takaoğlu ve Takaoğlu, 2017).

$$KKT = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{n_k} (\|x_i^{(k)} - y_k\|)^2 \quad (4.1)$$

Burada;

KKT: K-ortalamlar algoritmasında en küçüklenecek toplam küme içi kareler toplamı,

K: küme merkezi sayısı,

n_k: ilgili kümedeki (*k*) eleman sayısı,

$\|x_i^{(k)} - y_k\|$: veri setindeki ilgili elemana ait değişken ile ilgili küme merkezi arasındaki Öklid uzaklığı.

Küme sayısının belirlenmesinin ardından algoritmanın ilk adımında rastgele küme merkezi seçilir. İkinci adımda veri setindeki her bir elemana ait değişkenler kullanılarak seçilen uzaklık ölçüsüne göre, küme merkezlerine olan uzaklıklar hesaplanır. Burada bahsedilen uzaklık için Öklid (Euclidean) (Denklem 4.2), Manhattan (Denklem 4.3),

Mahalanobis (Denklem 4.4) gibi farklı birçok hesaplama yöntemi mevcuttur. Çalışma kapsamında, yaygın kullanılması ve büyük veri setlerinde hızlı sonuç vermesi nedeniyle Öklid uzaklığı tercih edilmiştir (Nelson, 2012; Takaoğlu ve Takaoğlu, 2017; Chatterjee, 2019).

$$D_{Euc}(x, y) = \|x_i - y_i\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (4.2)$$

$$D_{Man}(x, y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (4.3)$$

$$D_{Mah}(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^T S^{-1} (x_i - y_i)} \quad (4.4)$$

Burada;

$D_{Euc}(x, y)$: Öklid uzaklığı,

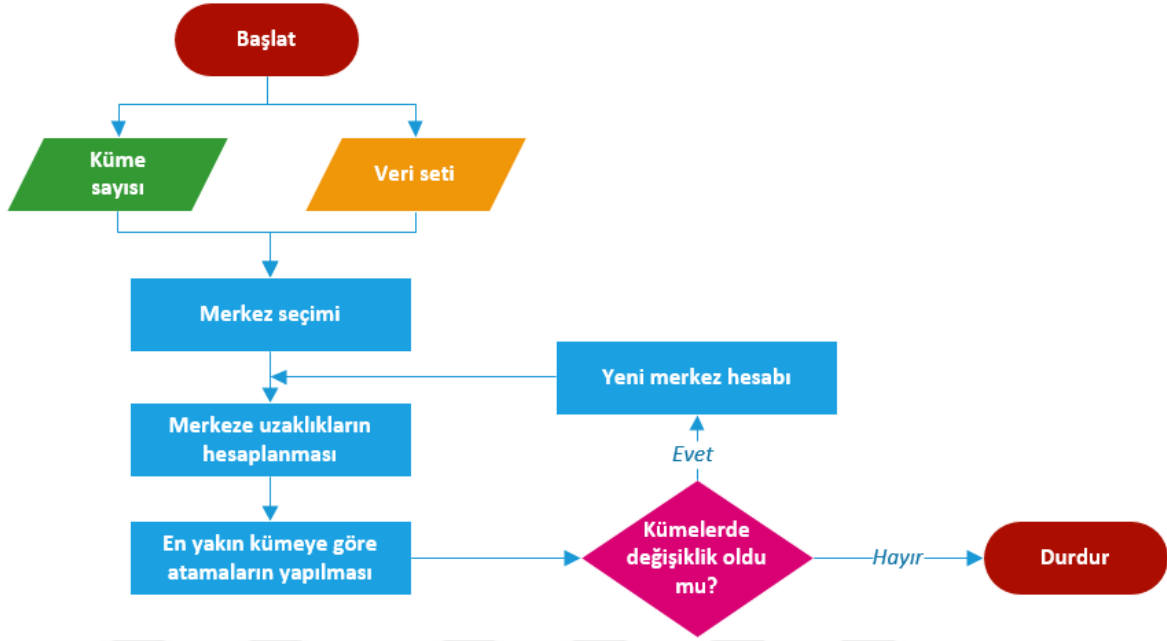
$D_{Man}(x, y)$: Manhattan uzaklığı,

$D_{Mah}(x, y)$: Mahalanobis uzaklığı,

S : kovaryans matrisi.

Algoritmanın üçüncü aşamasında, küme merkezleri arasındaki uzaklığa göre elemanlar en yakın olan kümelerle atanır. Bu aşama sonrasında küme atamalarında değişiklik olmadıysa algoritma durur. Eğer atamalarda değişiklik olduysa dördüncü aşamaya geçilerek yeni küme merkezleri Denklem 4.5'deki gibi hesaplanır ve ikinci aşamaya dönlür (Nelson, 2012; Takaoğlu ve Takaoğlu, 2017; Chatterjee, 2019). K-ortalamlar algoritmasının akış şeması Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

$$y_k = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} x_i^{(k)} \quad (4.5)$$



Şekil 4.28. K-ortalamlar Kümeleme Analizi algoritması akış şeması

K-ortalamlar tekniğinde küme sayısı kullanıcı tarafından verilmektedir. Bu nedenle optimum küme sayısının belirlenmesi oldukça önem arz etmektedir. Kümelerin belirlenmesinin kesin bir hesabı olmasa da literatürde kullanılan doğrudan hesaplamalı ve istatistiksel bazı yöntemler mevcuttur. Tez çalışması kapsamında doğrudan hesaplamalı yöntemlerden Dirsek (elbow) ve Siluet (silhouette) yöntemleri kullanılarak küme sayıları belirlenmiştir. Dirsek metodunda, K-ortalamlar tekniğindeki en küçükleme toplam KKT küme sayısının bir fonksiyonu olarak ele alınarak belirlenen küme sayısı aralığı için KKT grafiği çizilir ve grafikte kırılmanın olduğu yerin en uygun küme sayısı için bir gösterge olduğu kabul edilir. Siluet metodunda ise belirlenen küme sayısı aralığı için kümenin kalitesinin göstergesi olan ortalama siluet genişliği (average silhouette width) (Denklem 4.6) değerleri hesaplanarak grafiği çizilir ve en yüksek değer için en uygun küme sayısı için bir gösterge olduğu söylenir (Kaufman ve Rousseeuw, 1990; Charrad vd., 2014; Kassambara, 2017, 2019; Batool ve Hennig, 2021).

$$\bar{s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s(i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}} \quad (4.6)$$

Burada;

$\bar{S}$: ortalama siluet genişliği,

$a(i)$: i elemanının atandığı kümedeki noktalara olan ortalama uzaklık,

$b(i)$: i elemanının atanmadığı en yakın kümedeki noktalara olan ortalama uzaklık.

Üretim potansiyellerine göre TAB'ların gruplandırılması için yapılacak Kümeleme Analizi'nde kullanılacak, nüfus ve hane sayıları değişkenlerinin eşit şiddette etki edecek şekilde hesaba katılabilmesi için değişkenler, Denklem 4.7'de gösterilen formüle göre normalleştirilmiştir. Buna göre her bir değişkene ait veriler 0 ile 1 arasında değişecek şekilde analizde kullanılacaktır. Aksi durumda örneğin: Değerleri 10-20 milyon arasında değişen bir değişken ile 1-10 arasında değişen değerlere sahip bir değişken birlikte hesaba katıldığında küçük değerler içeren değişkenin Kümeleme Analizi'nde neredeyse etkisi olmayacaktır.

$$x_{norm}(i) = \frac{x(i) - x_{maks}}{x_{maks} - x_{min}} \quad (4.7)$$

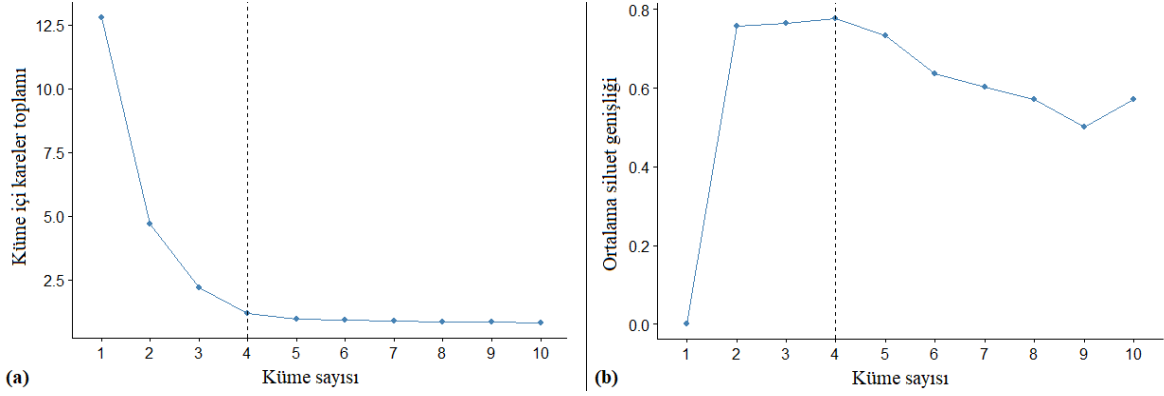
Burada;

$x(i)$: değişkenin ilgili (i) satırındaki değer,

$x_{norm}(i)$: değişkenin ilgili (i) satırındaki 0 ile 1 arasında normalleştirilmiş değeri,

x_{maks}, x_{min} : sırasıyla değişkendeki en büyük değer ve en küçük değer.

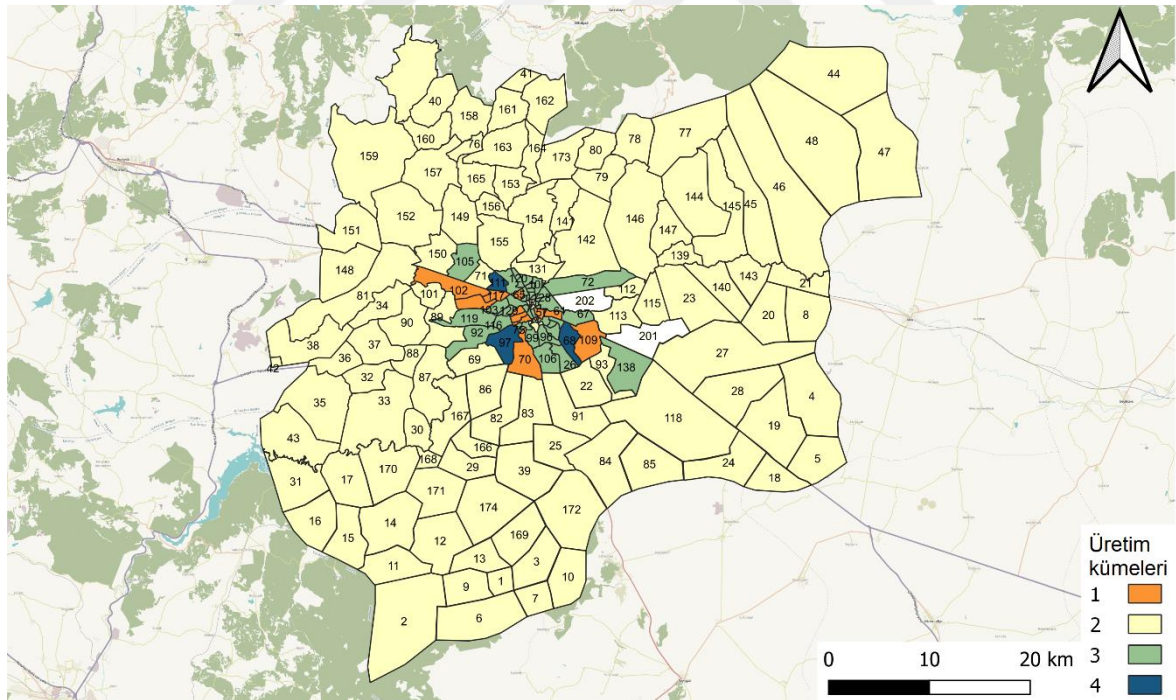
K-ortalamalar tekniğinde küme sayısının kullanıcı tarafından girilmesi gerektiği için öncelikle Şekil 4.29'da gösterildiği gibi dirsek ve siluet metotları kullanılarak analizler yapılmış ve her iki metot sonucuna göre en uygun küme sayısının dört (4) olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.29. TAB'ların üretime göre gruplandırılması için en uygun küme sayısının tespiti grafikleri:

a) Dirsek metodu, b) Siluet metodu

Nüfus barındırmayan 201 no.lu 1.ÜS ve 202 no.lu EOSB TAB'ları ev tabanlı yolculuk üretimi gerçekleştirilemeyeceği, yalnızca diğer yolculukları üretebileceği için kümelerin dışında bırakılmıştır. K-ortalamlar Kümeleme Analizi sonucuna göre dört gruba ayrılan TAB'ların ait olduğu kümeler Şekil 4.30'da gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Üretim potansiyellerine göre TAB'ların ait olduğu kümeler (üretim kümeleri)

4.2.3. Yolculuk üretim modeli tasarımı ve analiz sonuçları

Üretim modelinde yolculuk yapmama durumu ve her bir yolculuk amacına göre fayda fonksiyonları oluşturulmuş, TAB'lardan amaçlarına göre üretilen yolculukların ve TAB bazında yolculuk yapmayanların payları tahmin edilmiştir. Bu kapsamda, fayda fonksiyonlarında kullanılacak değişkenler için seçeneğe özgü katsayı tahminleri yapılmıştır. Çizelge 4.5'te gösterilen sekiz (8) bağımsız değişken, yapılan performans testlerine göre modelin yeterli düzeyde olduğu tespit edilene kadar farklı fayda fonksiyonu tasarımlarında test edilerek uygun model belirlenmiştir.

Model oluşturulmadan önce toplam 38840 satırlık yolculuk anketi verisinin rastgele seçilen %75'i eğitim verisi, kalan %25'i ise test verisi olarak belirlenmiş ve model parametreleri (değişkenlerin katsayıları) eğitim verisine göre tahmin edilmiştir.

Eğitim verisine göre uygun bir model olduğuna karar verilen yolculuk yapmama durumuna ve yolculuk amaçlarına göre yolculuk üretimlerini etkileyen etmenlerin araştırıldığı modelde kullanılan değişkenlerin katsayıları, standart hataları ve t-istatistikleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Katsayı tahminlerinin istatistiksel olarak anlamlılığı t-istatistiği değerlerine göre test edilmiş ve %90 güven aralığının üzerindeki katsayı tahminlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu kabul edilmiştir. Tahmin modelinin ve referans (boş) modelin log-olabilirlik değerleri (sırasıyla LL(model) ve LL(0)) ile uyum iyiliği değerleri (ρ^2 ve $\bar{\rho}^2$) çizelgenin altında verilmiştir. Şekil 3.16'daki R^2 ile ρ^2 arasındaki ilişkiyi gösteren grafik incelendiğinde model sonucunda elde edilen uyum iyiliği parametresinin 0,8'in üzerinde R^2 'ye karşılık geldiği söylenebilir.

Model parametre tahmin sonuçlarına bakıldığında yolculuk yapmama (YOK) seçeneğinin fayda fonksiyonunda; ehliyet sahipliği (*ehliyet*), hanedeki otomobil haricindeki diğer motorlu araç sayısı (*n_diger_mot*) ve hanedeki kişi sayısı (*n_aile_kisi*) değişkenleri yer almaktadır. Ev tabanlı iş (*EI*), okul (*EO*), hastane (*EH*) ve diğer (*ED*) yolculuğu yapma seçenekleri ile ev tabanlı olmayan diğer (*D*) yolculuk seçeneğinin fayda fonksiyonlarında ortak olarak sabit terim, hanedeki özel otomobil sayısı (*n_ozel_oto*), hanenin ev sahipliği (*ev*), haneye giren aylık gelir (*aylik_gelir*), bireyin yaşı (*yas*) ve bireyin çalışma durumu (*meslek*) değişkenleri bulunmaktadır.

Çizelge 4.6 incelendiğinde n_ozel_oto değişkeninin katsayısı EI ve EH yolculuğu, ev değişkeninin katsayısı ED ve D yolculuğu, $aylik_gelir$ değişkeninin katsayısı EO ve EH yolculuğu, yas değişkeninin katsayısı yalnızca EI yolculuğu, $meslek$ değişkeninin katsayısı EH ve ED yolculuğu tercihlerinde istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. İstatistiksel olarak anlamsız olduğu tespit edilse de katsayılarının anlamlı olduğu düşünüldüğü için etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla bu değişkenler ilgili fayda fonksiyonlarından çıkarılmamıştır.

Çizelge 4.6. Yolculuk üretim modeli parametre tahmin sonuçları

Değişken	Katsayı (t-istatistiği)					
	<i>YOK</i>	<i>EI</i>	<i>EO</i>	<i>EH</i>	<i>ED</i>	<i>D</i>
<i>Sabit terim</i>		5,0141 (36,6455) ^a	6,2571 (46,4354) ^a	-0,8662 (-4,9861) ^a	1,5286 (13,6938) ^a	1,0505 (6,7674) ^a
<i>n_ozel_oto</i>		0,0576 (1,1675)	-0,1328 (-2,7899) ^a	0,0256 (0,4046)	-0,0651 (-1,7238) ^b	-0,1264 (-1,9226) ^b
<i>ev</i>		0,1077 (1,7619) ^b	-0,1140 (-2,0457) ^a	-0,1794 (-2,2752) ^a	-0,0198 (-0,4226)	0,0712 (0,8819)
<i>aylik_gelir</i>		0,0577 (5,1391) ^a	0,0072 (0,6295)	-0,0222 (-1,3619)	0,0227 (2,4263) ^a	0,0790 (5,4735) ^a
<i>yas</i>		-0,0020 (-1,0187)	-0,1600 (-62,8842) ^a	0,0065 (2,9874) ^a	-0,0048 (-3,6705) ^a	-0,0201 (-8,7439) ^a
<i>meslek</i>		-2,6416 (-55,8874) ^a	-0,3749 (-8,5366) ^a	-0,0233 (-0,4045)	0,0040 (0,1136)	-0,6295 (-12,5146) ^a
<i>ehliyet</i>		-0,4939 (-10,7009) ^a				
<i>n_diger_mot</i>		0,1654 (2,9831) ^a				
<i>n_aile_kisi</i>		0,1020 (6,7510) ^a				
Gözlem sayısı	29130					-2LL=21758
LL(model)	-30436					$\rho^2=0,4169$
LL(0)	-52194					$\bar{\rho}^2=0,4162$

^a %95 güven aralığında anlamlı

^b %90 güven aralığında anlamlı

%90 güven aralığının üzerinde anlamlı olan katsayı tahminleri kalın yazılmıştır.

Sabit terimler incelendiğinde EH yolculuğu için negatif işaretli; EI , EO , ED ve D yolculukları için pozitif işaretli ve tamamı istatistiksel olarak anlamlı değerler almıştır. YOK seçeneğine ait fayda fonksiyonunun referans olarak planlanması nedeniyle fayda fonksiyonu

tasarımında sabit terime yer verilmemiş ve diğer fayda fonksiyonlarında kullanılmayan değişkenler kullanılmıştır.

Hanedeki özel otomobil sayısını ifade eden değişken (n_ozel_oto) için tahmin edilen katsayılar; EO , ED ve D yolculukları için negatif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değerler almıştır. EI ve EH yolculukları için ilgili değişkene ait katsayılar pozitif ancak istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. Anket verisine göre bütün bireylerin %50,23'ünün hanelerinde en az bir otomobil bulunduğu halde ED ve D yolculuklarının genellikle ehliyeti olmayan öğrenciler ve araç sahibi olmayan bireyler tarafından eğlence ve rekreasyon amaçlı yapılması, okul yolculukları yapan öğrencilerin de büyük bir kısmının (anket verisine göre öğrencilerin %85,32'si) ehliyet sahibi olmaması nedeniyle katsayıların negatif olması anlamsız değildir. Anket verisine göre EH ve EI yolculuklarının büyük kısmının özel otomobil kullanılarak yapılması nedeniyle de hanedeki özel otomobil sayısının artması, işe veya hastaneye gitme olasılığını artırmaktır. TAB'daki istihdam arttıkça iş yolculuklarının artacağı ve anket verisine göre çalışanların %46,97'sinin hanelerinde en az bir otomobil bulunduğu düşünüldüğünde model parametrelerinin anlamlı olduğu söylenebilir (Bkz. Çizelge 4.3 ve 4.4, Şekil 4.20 ve 4.21).

Hanenin ev sahipliği durumu ifade eden değişken (ev) için tahmin edilen katsayılar; EI yolculuğu için pozitif, EO ve EH yolculukları için negatif olmak üzere istatistiksel olarak anlamlı değerler almıştır. ED yolculuğu için negatif ve D yolculuğu için pozitif çıkan katsayılar ise istatistiksel olarak anlamsızdır. Ev sahipliğindeki artış veya azalışın ED ve D yolculukları yapma tercihi üzerindeki etkisinin diğer yolculuk amaçlarına göre az olduğu söylenebilir. Model parametreleri incelendiğinde ev sahipliği arttığında EI yolculuklarının artacağı, ev sahipliği azaldığında ise EO ve EH yolculuklarının artacağı görülmektedir. Eskişehir'de farklı şehirlerden gelerek kiralık evlerde veya yurtlarda ikamet eden oldukça fazla üniversite öğrencisi bulunması ve düşük gelirli bireylerin hastaneye gitme potansiyellerinin daha fazla olabileceği düşünüldüğünde ev sahibi olmayan bireylerin EO ve EH yolculuğu yapma olasılıklarının daha fazla olması ve çalışan kesimin genellikle ev sahibi olması nedeniyle ev sahipliği arttıkça EI yolculuğu yapma olasılığının artması anlamlıdır.

Haneye giren aylık gelir durumunu ifade eden değişken (*aylik_gelir*) için tahmin edilen katsayılar, *EI*, *ED* ve *D* yolculukları için pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değerler almıştır. Buna göre aylık gelirdeki artış, eğlence ve alışveriş amaçlı yolculukları içeren *ED* ve *D* yolculukları ile *EI* yolculuklarının paylarını artırmaktadır. Diğer taraftan *EO* yolculuğu için pozitif, *EH* yolculuğu için negatif çıkan katsayılar istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ev sahipliği değişkeni açıklanırken bahsedildiği üzere genellikle düşük gelirli bireylerin hastane yolculuğu yapma olasılıklarının daha fazla olması durumu buradaki model parametreleri tarafından da desteklenmektedir. Buna göre gelirin artması hastane yolculuklarının paylarını azaltmaktadır. *EO* yolculuğu için tahmin edilen katsayı değerinin diğerlerine göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşılabileceği üzere gelir durumunun okul yolculuğu yapma olasılığı üzerine etkisi diğer seçeneklere göre oldukça azdır.

Bireylerin yaşını belirten değişken (*yas*) için tahmin edilen katsayılar; *EO*, *ED* ve *D* yolculukları için negatif işaretli, *EH* yolculuğu için pozitif işaretli olmak üzere istatistiksel olarak anlamlı değerler almıştır. *EI* yolculuğu için negatif çıkan katsayı ise istatistiksel olarak anlamsızdır. Buradan, bireylerin yaşları arttıkça hastane yolculuğu yapma olasılığının arttığı anlaşılmaktadır. En büyük negatif etkinin *EO* yolculuklarında olması da anlamlıdır. TAB bazında düşünüldüğünde zorunlu eğitim yaşındaki birey sayısının artması ile *EO* yolculuklarının payları da artacaktır. Eğlence ve rekreasyon amaçlı diğer yolculukların genellikle yaşı nispeten daha küçük olan bireyler tarafından yapıldığı göz önüne alındığında da yaş azaldıkça *ED* ve *D* yolculuklarının paylarının artacağı görülmektedir. Yaş değişkeninin iş yolculuğu yapma olasılığı üzerindeki etkisi ise oldukça düşüktür.

Bireylerin çalışma durumunu gösteren değişken (*meslek*) için tahmin edilen katsayılar; *EI*, *EO* ve *D* yolculukları için negatif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değerler almıştır. Buna göre çalışma durumunun ilgili kategorik değişkenin en küçük değeri (1) ile temsil edildiği dikkate alındığında, değişken değeri azaldıkça, yani istihdam arttıkça *EI* yolculuğu yapma olasılığı da artmaktadır. Yaş değişkeni tarafından da desteklendiği üzere yaş arttıkça çalışmayan kesimin sayısı arttığı düşünüldüğünde iş yerinden yapılabilen yolculukları (İş-Alışveriş, İş-Okul vb.) da içeren *D* yolculuklarının payı da azalmaktadır. Okul yolculuğu yapma olasılığı ise öğrenci olma durumunun ilgili kategorik değişkenin ortanca değeri (2) ile ifade edildiği dikkate alındığında *meslek* değişkeni tarafından iş

yolculuklarına göre daha az ancak yine negatif yönde etkilenmektedir. *EH* yolculuğu için negatif ve *ED* yolculuğu için pozitif çıkan katsayılar ise istatistiksel olarak anlamsızdır. Buna göre *EH* ve *ED* yolculuklarına ait payların çalışma durumuna göre çok fazla etkilenmediği söylenebilir.

Yolculuk yapmama (*YOK*) seçeneğinin fayda fonksiyonundaki ehliyet sahipliğini ifade eden *ehliyet* değişkeninin katsayısı negatif işaretli, hanedeki otomobil haricindeki diğer motorlu araç sayısını ifade eden *n_diger_mot* ve hanedeki kişi sayısını belirten *n_aile_kisi* değişkenlerinin katsayıları ise pozitif işaretli olmak üzere istatistiksel olarak anlamlı değerler almıştır. Buna göre ehliyet sahipliğinin artması yolculuk yapmama olasılığını azalmaktadır. Hanedeki otomobil haricindeki diğer motorlu taşıtlardaki azalma da yolculuk yapmama olasılığını azaltmaktadır. Anket sırasında, hanedeki çocuklara ait yolculuk amacıyla kullanılmayan bisiklet ve skuter (scooter) gibi araçların da buradaki değişkene ilave edilebilmesi, yolculuk yapma miktarları daha az olan hanedeki engelli bireylere ait araçların da bu değişkende bulunması nedenleri göz önüne alındığında diğer araç sahipliği arttıkça yolculuk yapmama paylarının artması mantıklıdır. Ailedeki kişi sayısının artmasıyla genellikle gelir durumunun düştüğü ve ailedeki yaşı küçük bireylere bakabilmek amacıyla hanedeki yaşı büyük olan bireylerin de yolculuk sayılarının azaldığı düşünüldüğünde, modele göre hanedeki birey sayısı arttıkça yolculuk yapmama olasılığının artması anlamlıdır.

Yolculuk amaçlarına göre fayda fonksiyonları Denklem 4.8-4.13'te gösterilmiştir. Eğitim verisi kullanılarak tahmin edilen model parametrelerine göre eğitim verisi, test verisi ve toplam veri setindeki yolculuk amaçlarına göre gerçek yolculuk üretimleri ile model tahminleri Çizelge 4.9'da karşılaştırılmış ve hata miktarları gösterilmiştir.

$$U_{YOK} = -0,4939 \cdot ehliyet + 0,1654 \cdot n_diger_mot + 0,1020 \cdot n_aile_kisi \quad (4.8)$$

$$U_{EI} = 5,0141 + 0,0576 \cdot n_ozel_oto + 0,1077 \cdot ev + 0,0577 \cdot ayluk_gelir - 0,0020 \cdot yas - 2,6416 \cdot meslek \quad (4.9)$$

$$U_{EO} = 6,2571 - 0,1328 \cdot n_ozel_oto - 0,1140 \cdot ev + 0,0072 \cdot ayluk_gelir - 0,1600 \cdot yas - 0,3749 \cdot meslek \quad (4.10)$$

$$U_{EH} = -0,8662 + 0,0256 \cdot n_ozel_oto - 0,1794 \cdot ev - 0,0222 \cdot ayluk_gelir + 0,0065 \cdot yas - 0,0233 \cdot meslek \quad (4.11)$$

$$U_{ED} = 1,5286 - 0,0651 \cdot n_{ozel_oto} - 0,0198 \cdot ev + 0,0227 \cdot aylık_gelir - 0,0048 \cdot yas + 0,0040 \cdot meslek \quad (4.12)$$

$$U_D = 1,0505 - 0,1264 \cdot n_{ozel_oto} + 0,0712 \cdot ev + 0,0790 \cdot aylık_gelir - 0,0201 \cdot yas - 0,6295 \cdot meslek \quad (4.13)$$

Zorunlu ve isteğe bağlı yolculukların birlikte değerlendirildiği, yolculuk amaçlarına göre fayda fonksiyonu tasarımı literatürde çok fazla görülmesi de veri setinden rastgele seçilen eğitim ve test verileri kullanılarak oluşturulan üretim modeline ait Çizelge 4.7'deki model performans sonuçları bu tasarımın matematiksel olarak yapılabilir olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.7. Yolculuk üretim modeli tahminleri ile gerçek yolculuk sayılarının karşılaştırılması

Veri Seti / Yolculuk Amacı		YOK	EI	EO	EH	ED	D	Gözlem Sayısı
Eğitim Verisi	Yolculuk sayısı	3372	5220	7406	1205	10849	1078	29130
	Model tahmini	3371,97	5219,98	7405,97	1205,05	10849,06	1077,97	
	Hata (Fark)	-0,03	-0,02	-0,03	0,05	0,06	-0,03	
	Hata (%)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
Test Verisi	Yolculuk sayısı	1104	1729	2497	414	3607	359	9710
	Model tahmini	1113,1	1749,16	2515,38	395,03	3577,22	360,11	
	Hata (Fark)	9,10	20,16	18,38	-18,97	-29,78	1,11	
	Hata (%)	-0,82	-1,17	-0,74	-4,58	-0,83	-0,31	
Toplam Veri	Yolculuk sayısı	4476	6949	9903	1619	14456	1437	38840
	Model tahmini	4485,07	6969,14	9921,35	1600,07	14426,28	1438,08	
	Hata (Fark)	9,07	20,14	18,35	-18,93	-29,72	1,08	
	Hata (%)	-0,20	-0,29	-0,19	-1,17	-0,21	-0,08	

Literatürde yaygın olarak her bir yolculuk amacı için ayrı ayrı yolculuk sayısına göre model tasarımı yapıldığı görülmektedir. Ancak bu modellerden, hiçbir amaca ait veri setine ilave edilemeyeceği için, TAB'larda ikamet eden ancak yolculuk yapmayanların payları tespit edilememektedir. Tez kapsamında önerilen yolculuk amaçlarına göre yolculuk üretim modeli sayesinde bölgelerde yaşayan hane halkının sosyoekonomik özelliklerindeki değişimin yolculuk yapmama üzerindeki etkisi de gözlenebilmektedir.

4.2.4. Nüfus ölçeğinde yolculuk üretimleri

RFM ÇTL ile yolculuk amaçlarına göre oluşturulan yolculuk üretim modeline göre modelde kullanılan anket verisi bulunan TAB'lardan üretilen yolculuklar tahmin edilmiştir. Buna göre TAB nüfusunun TAB bazında anket yapılan bireylerin sayısına (örnek nüfus) oranlanmasıyla her bir TAB için Denklem 4.14'te gösterilen büyütme faktörleri

hesaplanarak veri ve nüfus bulunan TAB'lardan yolculuk amaçlarına göre üretilen yolculuklar, büyüme faktörleriyle çarpılarak nüfus ölçeğinde büyütülmüştür. Böylece veri bulunan TAB'ların nüfus ölçeğinde amaçlarına göre ürettikleri toplam yolculuk tahminleri yapılmıştır (Denklem 4.15).

$$\text{Büyütme_Faktörü}(i) = BF(i) = \frac{i \text{ TAB}'ının nüfusu}{i \text{ TAB}'ında anket yapılan kişi sayısı} \quad (4.14)$$

$$Y(i)_j = BF(i) \cdot y(i)_j \quad (4.15)$$

Burada;

$i = \{\text{veri ve nüfus bulunan TAB numaraları}\},$

$j = \{YOK, EI, EO, EH, ED, D\},$

$y(i)_j$: model tahmin sonucuna göre veri ve nüfus bulunan i TAB'ından j amacı için üretilen yolculuk sayısı,

$Y(i)_j$: veri ve nüfus bulunan i TAB'ından j amacı için üretilen büyütülmüş toplam yolculuk tahmini,

$BF(i)$: i TAB'ı için büyüme faktörü.

Anket verisi bulunmayan TAB'lardan üretilen yolculukların tahmini için K-ortalamlar Kümeleme Analizi ile gruplandırılan TAB'lardan veri bulunanlara ait nüfus ölçeğinde amaçlarına göre üretilen yolculukların ortalamalarından faydalanılmıştır. Buna göre aynı grupta veri bulunan TAB'lardan amaçlarına göre üretilen yolculukların ortalamaları, nüfus ortalamalarına oranlanarak grupların yolculuk amaçlarına göre ortalama hareketlilik değerleri hesaplanmıştır. Veri bulunmayan TAB'ların nüfusları, bulundukları grup için hesaplanan yolculuk amaçlarına göre ortalama hareketlilik değerleri ile çarpılarak (Denklem 4.16) veri bulunmayan TAB'ların nüfus ölçeğinde amaçlarına göre ürettikleri toplam yolculuk tahminleri yapılmıştır.

$$Y(kt)_j = \frac{\sum Y(ki)_j}{\sum n(ki)} \cdot n(kt) \quad (4.16)$$

Burada;

$ki = \{k \text{ kümesindeki veri bulunan TAB numaraları}\},$

$kt = \{k \text{ kümesindeki veri bulunmayan TAB numaraları}\},$

$j = \{YOK, EI, EO, EH, ED, D\},$

$n(ki)$: k kümesindeki veri bulunan i TAB'ının nüfusu,

$n(kt)$: k kümesindeki veri bulunmayan t TAB'ının nüfusu,

$Y(ki)_j$: k kümesindeki veri bulunan i TAB'ından j amacı için üretilen yolculuk sayısı,

$Y(kt)_j$: k kümesindeki veri bulunmayan t TAB'ından j amacı için üretilen yolculuk sayısı.

Veri bulunmayan ancak nüfus bulunan TAB'ların yolculuk üretimlerinin hesaplanabilmesi için Doğrusal Regresyon Analizi kullanılarak, veri ve nüfus bulunan TAB'lardaki verilere göre sabit terim ve nüfus değişkenine ait katsayı tahminleri yapılarak elde edilen ilave modeller kullanılabilir. Ancak tez kapsamında önerilen üretim modelindeki temel amacın yolculuk amaçlarına ait payların hesaplandığı fayda tabanlı bir KTM'nin kullanılabilirliğinin araştırılması olduğundan, ilave teknikler kullanılarak konunun anlaşılmasının daha fazla zorlaşmasını engellemek için buradaki soruna daha basit bir çözüm önerisi getirilmiştir. Ayrıca sabit terim kullanılarak oluşturulacak Doğrusal Regresyon Modeli'ne göre nüfusun görece küçük olması durumunda bazı TAB'larda negatif yolculuk tahminleri gözlemlenmiştir. Bu durumun önüne geçilmesi amacıyla sabit terimin kaldırılması durumunda ise tez kapsamında önerilen yöntem (Bkz. Denklem 4.16) göre yapılan tahminlerle Doğrusal Regresyon Analiz sonuçları kıyaslandığında önerilen yöntem kullanılarak elde edilen tahminlerin daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anket verisi bulunan ancak nüfus bulunmayan TAB'lardan üretilen yolculukların tahmini için veri bulunan TAB'lardan nüfus ölçeğinde amaçlarına göre üretilen yolculukların ortalama büyütme faktörlerinden faydalanılmıştır. Nüfus verisi bulunmayan EOSB (201) ve 1.ÜS (202) TAB'larından ev tabanlı yolculuk üretimi yapılması söz konusu değildir. Bu TAB'lardan yalnızca ev tabanlı olmayan diğer (D) yolculuklar üretilebilir. Buna göre veri bulunan TAB'lardan üretilen nüfus ölçeğinde büyütülmüş D yolculuklarının toplamı, model tahmin sonucuna göre veri bulunan TAB'lardan üretilen D yolculuklarının sayısına oranlanarak elde edilen ortalama büyütme faktörü ile nüfus bulunmayan TAB'lardan üretilen yolculuk sayısı çarpılarak (Denklem 4.17) nüfus bulunmayan TAB'ların ürettikleri toplam D yolculuklarına ait tahminler yapılmıştır.

$$Y(n)_D = \frac{\sum Y(i)_D}{\sum y(i)_D} \cdot y(n)_D \quad (4.17)$$

Burada;

$n = \{\text{veri bulunan ancak nüfus bulunmayan TAB numaraları}\} = \{201, 202\}$,

$i = \{\text{veri ve nüfus bulunan TAB numaraları}\}$,

$y(i)_D$: model tahmin sonucuna göre veri ve nüfus bulunan i TAB'ından üretilen D yolculuklarının sayısı,

$Y(i)_D$: veri ve nüfus bulunan i TAB'ından üretilen büyütülmüş D yolculuklarının sayısı,

$y(n)_D$: model tahmin sonucuna göre veri bulunan ancak nüfus bulunmayan n TAB'ından üretilen D yolculuklarının sayısı,

$Y(n)_D$: veri bulunan ancak nüfus bulunmayan n TAB'ından üretilen büyütülmüş D yolculukların tahmini.

Yolculuk üretim modeline göre TAB bazındaki yolculuk üretim tahminlerinin nüfus ölçeğinde büyütülmüş değerleri, TAB numaraları ve adları, Kümeleme Analizi'ne göre TAB'ların ait oldukları gruplar (Küme No), TAB nüfusları ve anket yapılan kişi sayılarına (örnek nüfus) ait bilgiler Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. TAB bilgileri ve TAB'lardan üretilen büyütülmüş yolculuk tahminleri

TAB No	TAB Adı	Küme No	TAB Nüfusu	Örnek Nüfus	Amaçlarına göre yolculuk üretimleri						Toplam Yolculuk Üretimi
					YOK	EI	EO	EH	ED	D	
1	AYVACIK	2	47	-	13,5	11,4	16,7	3,0	30,4	3,0	64,5
2	YUKARIKALABAK	2	104	-	29,9	25,2	37,0	6,6	67,3	6,7	142,7
3	KARAMUSTAFA	2	24	-	6,9	5,8	8,5	1,5	15,5	1,5	32,9
4	KARATEPE	2	86	-	24,8	20,8	30,6	5,4	55,7	5,5	118,0
5	HARMANDALI	2	101	-	29,1	24,5	35,9	6,4	65,4	6,5	138,6
6	KAYACIK	2	49	-	14,1	11,9	17,4	3,1	31,7	3,1	67,2
7	MUSALAR	2	27	-	7,8	6,5	9,6	1,7	17,5	1,7	37,0
8	KARAÇAY	2	83	-	23,9	20,1	29,5	5,2	53,7	5,3	113,9
9	YUKARIILICA	2	48	-	13,8	11,6	17,1	3,0	31,1	3,1	65,9
10	KUYUCAK	2	165	-	47,5	39,9	58,6	10,4	106,8	10,6	226,4
11	ÇAMLICAKÖY	2	36	-	10,4	8,7	12,8	2,3	23,3	2,3	49,4
12	LÜTFİYE	2	24	-	6,9	5,8	8,5	1,5	15,5	1,5	32,9
13	AŞAĞILICA	2	108	-	31,1	26,1	38,4	6,8	69,9	6,9	148,2
14	SEKLİCE	2	50	-	14,4	12,1	17,8	3,2	32,4	3,2	68,6
15	DEMİRLİ	2	37	-	10,7	9,0	13,1	2,3	24,0	2,4	50,8
16	KARGIN	2	71	-	20,4	17,2	25,2	4,5	46,0	4,5	97,4
17	AKKAYA	2	54	-	15,5	13,1	19,2	3,4	35,0	3,5	74,1
18	YAHNİKAPAN	2	294	-	84,6	71,2	104,5	18,6	190,3	18,8	403,4
19	TÜRKMENTOKAT	2	339	-	97,6	82,1	120,5	21,4	219,4	21,7	465,1
20	KİREÇ	2	671	-	193,2	162,4	238,5	42,4	434,3	42,9	920,6
21	KARAHÖYÜK	2	263	-	75,7	63,7	93,5	16,6	170,2	16,8	360,8
22	GÜLPINAR	2	376	-	108,2	91,0	133,6	23,8	243,4	24,1	515,9
23	SEVİNÇ	2	1292	-	371,9	312,8	459,2	81,6	836,3	82,7	1772,6
24	KALKANLI	2	104	-	29,9	25,2	37,0	6,6	67,3	6,7	142,7
25	AKPINAR	2	2061	-	593,3	498,9	732,5	130,2	1334,1	131,9	2827,6
26	VADİŞEHİR	3	8298	287	1258,6	2442,0	5049,5	432,7	4260,6	492,6	12677,5
27	YÖRÜKKARACAÖREN	2	140	-	40,3	33,9	49,8	8,8	90,6	9,0	192,1
28	İMİŞEHİR	2	80	-	23,0	19,4	28,4	5,1	51,8	5,1	109,8
29	KARAALAN	2	44	-	12,7	10,7	15,6	2,8	28,5	2,8	60,4

Çizelge 4.8. TAB bilgileri ve TAB'lardan üretilen büyütülmüş yolculuk tahminleri (devam)

TAB No	TAB Adı	Küme No	TAB Nüfusu	Örnek Nüfus	Amaçlarına göre yolculuk üretimleri						Toplam Yolculuk Üretimi
					YOK	EI	EO	EH	ED	D	
30	GÖKÇEKİSİK	2	24	-	6,9	5,8	8,5	1,5	15,5	1,5	32,9
31	İNCESU	2	64	-	18,4	15,5	22,7	4,0	41,4	4,1	87,8
32	TAKMAK	2	89	-	25,6	21,5	31,6	5,6	57,6	5,7	122,1
33	MUSAÖZÜ	2	74	-	21,3	17,9	26,3	4,7	47,9	4,7	101,5
34	TURGUTLAR	2	150	-	43,2	36,3	53,3	9,5	97,1	9,6	205,8
35	TURGUTLAR	2	106	-	30,5	25,7	37,7	6,7	68,6	6,8	145,4
36	AŞAĞIKARTAL	2	62	-	17,8	15,0	22,0	3,9	40,1	4,0	85,1
37	YÖRÜKAĞÇAYIR	2	66	-	19,0	16,0	23,5	4,2	42,7	4,2	90,5
38	YUKARIKARTAL	2	63	-	18,1	15,3	22,4	4,0	40,8	4,0	86,4
39	SÜPÜREN	2	118	-	34,0	28,6	41,9	7,5	76,4	7,5	161,9
40	BEHÇETİYE	2	71	-	20,4	17,2	25,2	4,5	46,0	4,5	97,4
41	ATALAN	2	64	-	18,4	15,5	22,7	4,0	41,4	4,1	87,8
42	NEMLİ	2	121	-	34,8	29,3	43,0	7,6	78,3	7,7	166,0
43	ÇANAKKIRAN	2	20	-	5,8	4,8	7,1	1,3	12,9	1,3	27,4
44	TAYCILAR	2	27	-	7,8	6,5	9,6	1,7	17,5	1,7	37,0
45	YAKAKAYI	2	216	-	62,2	52,3	76,8	13,6	139,8	13,8	296,3
46	GÜNDÜZLER	2	1267	-	364,7	306,7	450,3	80,1	820,1	81,1	1738,3
47	KOZLUBEL	2	153	-	44,0	37,0	54,4	9,7	99,0	9,8	209,9
48	BEYAZALTIN	2	405	-	116,6	98,0	143,9	25,6	262,2	25,9	555,6
49	AKÇAĞLAN	2	2464	46	547,7	992,7	912,3	185,0	1692,1	169,7	3951,7
50	ALANÖNÜ	3	5989	214	1347,2	1917,8	2253,4	503,4	4209,1	375,8	9259,5
51	KUMLUBEL	3	5944	101	1226,1	2016,3	2014,8	409,8	3788,8	372,3	8602,1
52	ŞARHÖYÜK	3	6817	259	1523,8	1415,2	3061,2	493,3	4187,1	347,6	9504,4
53	KARAPINAR	2	2614	75	434,9	632,4	1036,7	143,3	1228,9	113,6	3155,0
54	PAŞA	2	424	29	92,3	110,4	118,0	37,1	305,6	23,8	594,9
55	ŞARKİYE	2	550	-	158,3	133,1	195,5	34,8	356,0	35,2	754,6
56	ORTA	2	1454	85	339,0	268,9	371,7	125,2	1028,0	73,9	1867,7
57	AKCAMI	2	653	48	178,9	382,1	277,9	62,8	573,5	62,1	1358,4
58	ÖMERAĞA	3	8711	203	2022,2	2846,5	3664,2	737,6	6537,2	584,3	14369,9
59	ESKİBAĞLAR	3	7359	428	1190,6	2230,1	4539,7	454,2	4445,1	603,2	12272,3
60	GÖZTEPE	3	3717	179	918,3	1536,2	1511,2	340,8	2945,0	265,5	6598,8
61	GÖKMEYDAN	1	26408	989	5389,1	9510,5	11713,3	1972,4	17772,7	1785,1	42754,1
62	GÜLLÜK	3	5615	225	1084,0	1724,4	2414,1	398,5	3646,9	390,0	8573,8
63	TUNALI	3	9204	372	1917,0	3151,9	3641,5	657,2	5909,7	582,2	13942,6
64	FATİH	3	8239	145	1645,3	2357,9	2861,4	584,0	5388,7	515,6	11707,6
65	BAHÇELİEVLER	3	12090	341	2126,9	3136,4	6856,7	816,3	7766,9	888,6	19464,9
66	CUNUDİYE	2	1337	9	236,1	227,0	167,3	94,8	839,3	69,5	1398,0
67	GÜNDOĞDU	3	11206	405	2238,3	3590,7	5220,8	756,3	6785,0	666,6	17019,4
68	EMEK	4	41306	1215	8706,4	9763,9	20640,8	2792,1	25634,8	2359,3	61190,9
69	KARACAŞEHİR	2	265	-	76,3	64,2	94,2	16,7	171,5	17,0	363,6
70	GÜLTEPE	1	12432	558	2676,7	4595,3	5244,9	929,6	8506,6	838,9	20115,3
71	ZİNCİRLİKUYU	2	2493	100	490,1	474,6	942,0	165,8	1375,7	116,8	3074,8
72	FEVZİ ÇAKMAK	3	9176	234	2200,1	2123,4	4196,8	707,4	6149,8	504,1	13681,5
73	ŞEKER	3	9139	78	2155,4	4926,1	3668,0	880,3	7457,4	714,0	17645,8
74	ERENKÖY	3	12171	398	2506,0	3164,6	4866,5	923,8	7904,8	664,4	17524,2
75	YILDIZTEPE	3	10283	264	1598,4	2981,8	4558,8	527,4	4997,1	566,3	13631,4
76	BULDUKPINARI	2	39	-	11,2	9,4	13,9	2,5	25,2	2,5	53,5
77	TANDIR	2	63	-	18,1	15,3	22,4	4,0	40,8	4,0	86,4
78	YARIMCA	2	69	-	19,9	16,7	24,5	4,4	44,7	4,4	94,7
79	KARADERE	2	77	-	22,2	18,6	27,4	4,9	49,8	4,9	105,6
80	BOZDAĞ	2	133	-	38,3	32,2	47,3	8,4	86,1	8,5	182,5
81	SATILMIŞOĞLU	2	863	-	248,4	208,9	306,7	54,5	558,6	55,2	1184,0
82	AŞAĞIÇAĞLAN	2	152	-	43,8	36,8	54,0	9,6	98,4	9,7	208,5
83	YUKARIÇAĞLAN	2	148	-	42,6	35,8	52,6	9,4	95,8	9,5	203,1
84	DOĞANKAYA	2	53	-	15,3	12,8	18,8	3,3	34,3	3,4	72,7
85	KIRAVDAN	2	130	-	37,4	31,5	46,2	8,2	84,2	8,3	178,4
86	KAYAPINAR	2	49	-	14,1	11,9	17,4	3,1	31,7	3,1	67,2
87	KIZILINLER	2	199	-	57,3	48,2	70,7	12,6	128,8	12,7	273,0
88	YENİAKÇAYIR	2	74	-	21,3	17,9	26,3	4,7	47,9	4,7	101,5
89	KARAGÖZLER	2	219	-	63,0	53,0	77,8	13,8	141,8	14,0	300,5
90	YUSUFLAR	2	151	-	43,5	36,6	53,7	9,5	97,7	9,7	207,2
91	SARISUNGUR	2	85	-	24,5	20,6	30,2	5,4	55,0	5,4	116,6
92	ORHANGAZI	3	7492	221	1638,3	1997,3	2914,0	608,0	5098,3	422,9	11040,5
93	SULTANDERE	2	694	-	199,8	168,0	246,6	43,8	449,2	44,4	952,1
94	DEDE	2	1853	46	422,6	572,0	401,4	155,0	1254,3	95,0	2477,7
95	HUZUR	3	7163	287	1689,9	1979,5	3675,4	561,7	5119,1	476,8	11812,5
96	ÇANKAYA	3	10371	477	2109,6	3607,5	3211,0	749,4	6669,4	633,7	14871,0
97	BÜYÜKDERE	4	25714	1498	4828,3	8716,6	14675,9	1766,7	16689,7	1987,1	43836,0
98	YENİDOĞAN	3	7293	110	1643,1	3515,6	3960,1	628,6	5709,9	587,3	14401,5
99	YENİKENT	3	11435	525	2112,5	3801,4	4176,3	808,8	7245,7	717,6	16749,8
100	HAYRİYE	2	1630	35	463,9	421,5	359,1	187,7	1525,6	115,8	2609,8
101	BOYACIOĞLU	2	678	-	195,2	164,1	241,0	42,8	438,9	43,4	930,2
102	BATIKENT	1	22537	685	3993,8	9914,3	10279,2	1461,3	14118,1	1655,3	37428,2
103	ERTUĞRULGAZI	3	14044	136	3053,0	3909,0	5214,5	1140,4	9687,7	849,6	20801,2
104	ÇAMLICA	1	26700	1135	5358,3	8439,9	12150,6	1833,6	16457,5	1608,8	40490,4

Çizelge 4.8. TAB bilgileri ve TAB'lardan üretilen büyütülmüş yolculuk tahminleri (devam)

TAB No	TAB Adı	Küme No	TAB Nüfusu	Örnek Nüfus	Amaçlarına göre yolculuk üretimleri						Toplam Yolculuk Üretimi
					YOK	EI	EO	EH	ED	D	
105	AŞAĞISOĞÜTÖNÜ	3	6390	246	1055,5	2194,2	3042,5	347,4	3372,6	378,0	9334,7
106	IHLAMURKENT	3	6897	157	1091,2	1931,3	2802,8	329,2	3167,0	343,1	8573,4
107	ZAFER	3	9816	181	1885,5	2795,4	4425,2	622,1	5702,1	568,2	14113,0
108	ESENTEPE	3	8028	224	1700,6	1741,0	3560,8	584,4	4962,4	424,5	11273,3
109	71EVLER	1	19774	520	4309,7	3802,1	11361,5	1351,3	12230,5	1093,0	29838,4
110	YEŞİLTEPE	3	14163	334	3227,8	3744,7	6208,7	1179,6	10491,5	971,7	22596,4
111	ŞİRİNTEPE	4	30885	1240	6461,7	9309,5	14882,1	2194,7	19907,3	1990,9	48284,4
112	HASANBEY	2	198	-	57,0	47,9	70,4	12,5	128,2	12,7	271,6
113	KARACAHÖYÜK	2	70	-	20,2	16,9	24,9	4,4	45,3	4,5	96,0
114	YENİ	3	5624	149	1166,4	1686,0	1961,6	434,7	3901,4	361,6	8345,3
115	YASSIHÖYÜK	2	188	-	54,1	45,5	66,8	11,9	121,7	12,0	257,9
116	SÜMER	3	7974	183	1449,8	3187,3	2852,2	540,9	4871,7	518,8	11970,9
117	ULUÖNDER	1	17079	682	3959,3	6341,2	7484,1	1465,3	12769,0	1212,5	29272,1
118	KANLIPINAR	2	231	-	66,5	55,9	82,1	14,6	149,5	14,8	316,9
119	SAZOVA	3	4546	288	1211,3	1164,1	1270,5	405,5	3504,7	273,1	6618,0
120	SÜTLÜCE	3	8123	236	1878,3	2613,7	3840,3	664,0	5875,9	547,7	13541,7
121	IŞIKLAR	3	5199	124	942,0	1300,5	2161,5	369,3	3159,5	284,9	7275,8
122	KURTULUŞ	1	19475	421	3876,6	6647,4	6922,8	1457,5	12778,4	1207,4	29013,5
123	MUSTAFAKEMALPAŞA	2	2565	59	575,4	851,5	966,1	249,3	2092,4	177,8	4337,2
124	MAMURE	2	4058	77	815,9	1110,5	1221,6	341,0	2770,7	222,7	5666,4
125	HACIALİBEY	2	2498	35	433,3	827,1	979,0	147,3	1266,0	130,1	3349,4
126	HACİSEYİT	2	3414	64	616,8	1060,9	1472,4	232,9	2153,8	224,3	5144,3
127	CUMHURİYE	2	4683	85	995,1	1507,1	1845,0	389,9	3427,9	319,5	7489,4
128	İHSANİYE	2	1612	11	454,4	101,2	1186,0	107,8	1114,4	113,7	2623,0
129	VIŞNELİK	1	21669	526	5162,6	5834,1	7572,6	1997,8	17359,7	1456,3	34220,6
130	KIRMIZITOPRAK	1	18686	654	3954,4	6202,1	7564,4	1457,5	13082,4	1254,0	29560,4
131	GAZİPAŞA	2	1456	-	419,2	352,5	517,5	92,0	942,5	93,2	1997,6
132	AKARBAŞI	1	19234	647	3664,2	6527,7	7245,3	1340,5	12024,2	1215,1	28352,9
133	OSMANGAZİ	3	9378	290	1954,6	3061,3	3558,7	776,0	6707,6	595,8	14699,4
134	HOŞNUDİYE	3	6284	253	1360,0	2768,1	2375,9	557,3	4866,6	491,1	11058,9
135	DELİKLİTAŞ	3	7286	83	1481,6	4267,8	3127,1	526,5	4995,8	612,0	13529,3
136	ARIFIYE	3	6235	169	1417,5	2932,2	2666,3	508,7	4626,0	503,7	11236,9
137	İSTİKLAL	3	5896	292	1120,7	2314,8	2308,3	461,8	3921,4	393,0	9399,2
138	75.YIL	3	11534	310	2007,9	3354,6	5607,4	679,7	6332,7	658,1	16632,6
139	GÖKDERE	2	139	-	40,0	33,6	49,4	8,8	90,0	8,9	190,7
140	ÇAVLUM	2	131	-	37,7	31,7	46,6	8,3	84,8	8,4	179,7
141	ORTA KÖYÜ	2	594	-	171,0	143,8	211,1	37,5	384,5	38,0	814,9
142	EMİRLER	2	1918	43	545,5	338,7	578,4	170,2	1471,1	107,5	2666,0
143	AĞAPINAR	2	630	-	181,4	152,5	223,9	39,8	407,8	40,3	864,3
144	DANIŞMENT	2	134	-	38,6	32,4	47,6	8,5	86,7	8,6	183,8
145	KIZILCAÖREN	2	481	-	138,5	116,4	170,9	30,4	311,4	30,8	659,9
146	CUMHURİYET	2	864	-	248,7	209,2	307,1	54,6	559,3	55,3	1185,4
147	AHİLER	2	183	-	52,7	44,3	65,0	11,6	118,5	11,7	251,1
148	ÇUKURHİSAR YENİ	2	2086	-	600,5	505,0	741,4	131,8	1350,3	133,5	2861,9
149	ALINCA	2	144	-	41,5	34,9	51,2	9,1	93,2	9,2	197,6
150	YUKARIŞOĞÜTÖNÜ	2	733	73	169,3	290,7	151,1	55,6	482,7	45,4	1025,6
151	HİSAR	2	1720	-	495,2	416,4	611,3	108,7	1113,4	110,1	2359,8
152	KESKİN	2	732	-	210,7	177,2	260,2	46,2	473,8	46,8	1004,3
153	KOZKAYI	2	444	-	127,8	107,5	157,8	28,1	287,4	28,4	609,2
154	KOYUNLAR	2	1572	82	335,8	394,9	511,9	98,5	830,9	71,0	1907,2
155	SAKİNTEPE	2	738	3	100,8	346,8	7,9	56,8	436,1	35,6	883,2
156	EMİRCEOĞLU	2	213	-	61,3	51,6	75,7	13,5	137,9	13,6	292,2
157	EĞRİÖZ	2	217	-	62,5	52,5	77,1	13,7	140,5	13,9	297,7
158	AVLAMIŞ	2	176	-	50,7	42,6	62,5	11,1	113,9	11,3	241,5
159	ULUDERE	2	428	-	123,2	103,6	152,1	27,0	277,1	27,4	587,2
160	KARAÇOBANPINARI	2	31	-	8,9	7,5	11,0	2,0	20,1	2,0	42,5
161	TEKECİLER	2	111	-	32,0	26,9	39,4	7,0	71,9	7,1	152,3
162	ATALANTEKKE	2	109	-	31,4	26,4	38,7	6,9	70,6	7,0	149,5
163	SULUKARAAĞAÇ	2	132	-	38,0	32,0	46,9	8,3	85,4	8,4	181,1
164	BEKTAŞPINARI	2	47	-	13,5	11,4	16,7	3,0	30,4	3,0	64,5
165	KAVACIK	2	147	-	42,3	35,6	52,2	9,3	95,2	9,4	201,7
166	GÜMELE	2	112	-	32,2	27,1	39,8	7,1	72,5	7,2	153,7
167	EŞENKARA	2	62	-	17,8	15,0	22,0	3,9	40,1	4,0	85,1
168	ULUÇAYIR	2	39	-	11,2	9,4	13,9	2,5	25,2	2,5	53,5
169	AVDAN	2	148	-	42,6	35,8	52,6	9,4	95,8	9,5	203,1
170	YENİŞOĞÇA	2	154	-	44,3	37,3	54,7	9,7	99,7	9,9	211,3
171	YÖRÜKKIRKA	2	159	-	45,8	38,5	56,5	10,0	102,9	10,2	218,1
172	KARAPAZAR	2	399	-	114,9	96,6	141,8	25,2	258,3	25,5	547,4
173	HEKİMDAĞ	2	424	-	122,1	102,6	150,7	26,8	274,5	27,1	581,7
174	AKÇAKAYA	2	50	-	14,4	12,1	17,8	3,2	32,4	3,2	68,6
175	YENİBAĞLAR	1	16597	832	2962,9	4593,3	10510,1	1076,6	10494,9	1322,0	27996,8
201	EOSB	-	0	-	-	-	-	-	-	651,3	651,3
202	1.ÜS	-	0	-	-	-	-	-	-	31,0	31,0
Toplam			700550	22015	145828,9	219367,2	307080,0	50992,6	460325,2	45907,6	1083672,6

4.3. Yolculuk Çekim Modeli

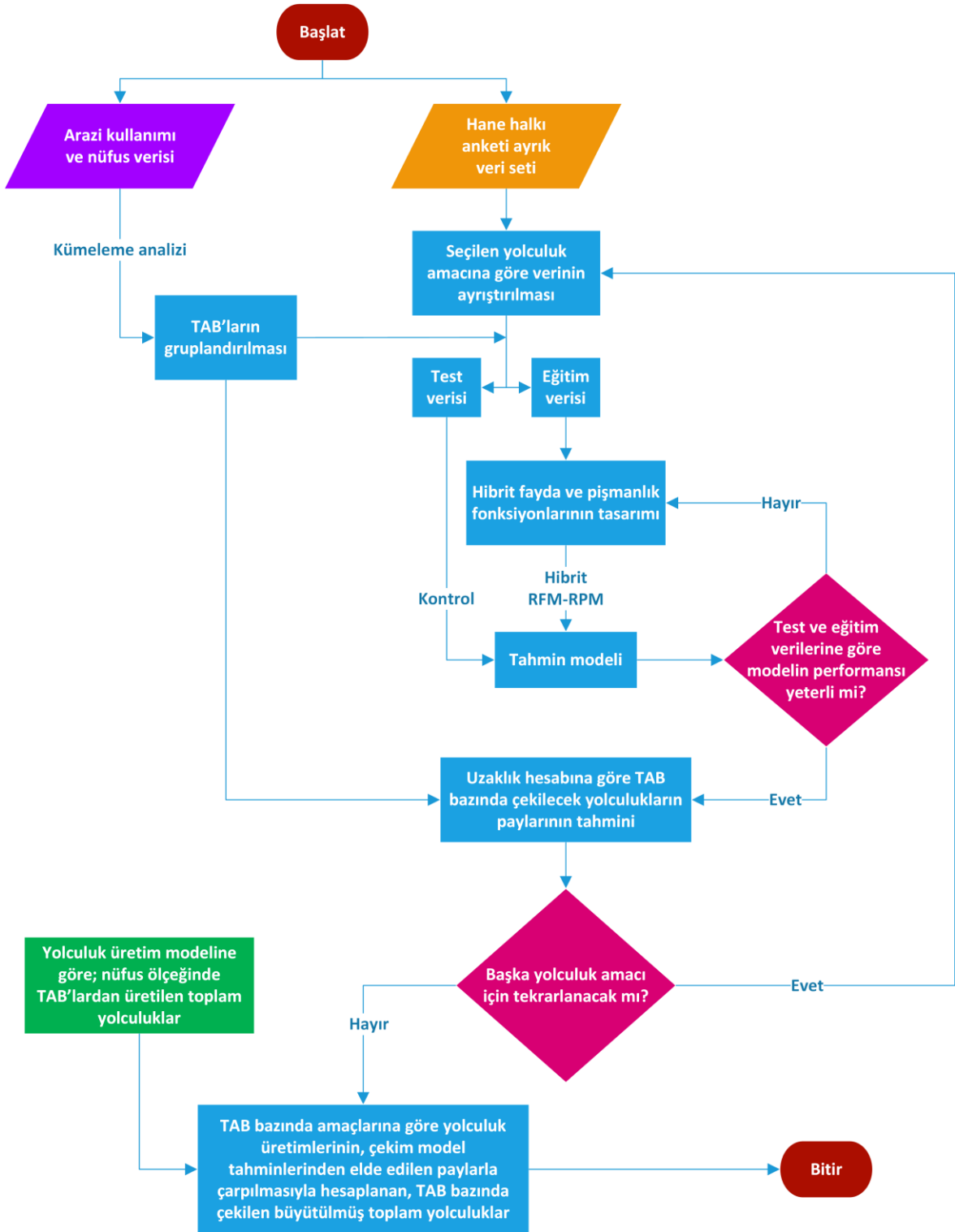
Yolculuk çekimi için örnek nüfustaki bireylerin yaptıkları yolculuklara ait veri setindeki üretim modelinde kullanılan sosyoekonomik değişkenler çıkarılarak yolculuk için kat edilen mesafe değişkeni ve arazi kullanımı kısmında da açıklanan yolculuğun çekildiği ilgili TAB'daki nüfus, kamu/özel iş yeri sayısı, park alanları, kampüs alanları, endüstri alanları, eğlence merkezi sayısı, hastane sayısı ve okul sayısını ifade eden değişkenler model tasarımında bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Bağımlı değişkenlerin belirlenmesi sırasında, yolculuğun çekildiği TAB'ların seçim kümesini oluşturması yerine TAB'ların Kümeleme Analizi ile gruplandırılmasının ardından elde edilen grupların birer seçenek olması durumu tercih edilmiştir. Bunun nedeni, hem gelecekte oluşturulabilecek yeni bir TAB'a çekilecek yolculuk tahmini hesaplarında hem de 177 TAB için ayrı ayrı fayda ve/veya pişmanlık fonksiyonlarının oluşturulması ve model parametrelerinin hesaplanması sırasında yaşanacak sorunların önüne geçmektir.

Çekim modelinde, herhangi bir sıra izlemeyen ancak farklı yolculuk amaçları için birbirine göre dezavantajlı veya avantajlı olabilecek özellikler barındırabilen, yolculukların çekildiği grupların seçilme olasılıklarının hesaplandığı Hibrit RFM-RPM model kullanılmıştır. Burada bağımsız değişken olarak kullanılan yolculuk için kat edilen mesafe, seçeneklerin birbirlerine göre kıyaslanamaması yani aynı grupta yakın ve uzak TAB'ların bulunması nedeniyle modele fayda olarak katılmıştır. Ancak arazi kullanımı verilerinden oluşan diğer bağımsız değişkenler, yolculuk yapılan gruplar arasında kıyaslanabileceği için modele pişmanlık bileşeninde dahil edilmiştir. Bu nedenle seçeneklerin fonksiyonlarında hem fayda hem de pişmanlık bileşeni bulunan bir model tasarımı oluşturulabilmesi için Hibrit RFM-RPM model yöntemi tercih edilmiştir.

Herhangi bir TAB veya TAB'ın ait olduğu grup, herhangi bir amaç için fazla miktarda yolculuk çekebilecekken, başka bir yolculuk amacı için daha az tercih edilebileceği dikkate alınarak her bir yolculuk amacı için farklı bir çekim modeli geliştirilmiştir.

EUAP 2035 hane halkı anketinden alınan ayrık veri setindeki bireylerin yaptığı yolculuklara ait mesafe değişkeninin, çekilen TAB'ların arazi kullanımının ve nüfus değişkenlerinin bağımsız değişkenler; çekilen TAB'ların ait olduğu grupların ise bağımlı

değişken (seçenek kümesi) olarak kullanıldığı yolculuk çekimi için tahmin modeline ve nüfus ölçeğinde TAB'lerden çekilen toplam yolculuk tahminlerine ait akış şeması Şekil 4.31'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Yolculuk çekim modeli ve nüfus bazında yolculuk çekim tahminleri akış şeması

Akış şemasında görüleceği üzere çekim modeli, ayrık veri setindeki bireylerin tercihleri kullanılarak Hibrit RFM-RPM yöntemi ile her bir yolculuk amacı için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Model performans testleri ve hata miktarlarının uygunluğunun kontrol edilebilmesi için veri seti, eğitim ve test verisi olmak üzere farklı oranlarda rassal olarak ikiye ayrılmıştır. Her bir yolculuk amacına göre ayrı ayrı geliştirilen modelde oluşturulan seçenek kümesindeki gruplar için hibrit fayda-pişmanlık fonksiyonlarındaki katsayılar, eğitim veri setine göre tahmin edilmiş ve tahmin modeli performans testlerine tabi tutularak test verilerindeki gerçek tercihlerle model sonuçları karşılaştırılmıştır. Buna göre hata miktarlarının uygunluğu kontrol edilerek en uygun hibrit fayda-pişmanlık fonksiyonu tasarımı, yani her bir fonksiyonda kullanılacak değişkenlerin seçimi yapılmıştır. Uygun olduğuna karar verilen tahmin modellerine göre TAB grupları tarafından çekilecek yolculukların amaçlarına göre payları hesaplanmıştır. Modelden elde edilen paylar, ilgili amaç için modelde kullanılan değişkenlere göre grup içi uzaklık hesabı ile olasılıklandırılarak ilgili grupların içindeki TAB'lara dağıtılmıştır. Çekim modeliyle elde edilen ilgili gruba çekilme olasılığı ile uzaklığa göre hesaplanan grup içindeki ilgili TAB'a çekilme olasılığı, üretim modeline göre her bir amaç için TAB'lardan nüfus ölçeğinde üretilen toplam yolculuk sayısı ile çarpılarak TAB'lara çekilecek büyütülmüş toplam yolculuklar hesaplanmıştır.

4.3.1. Çekim modelinde kullanılan değişkenler

Yolculuk çekim modelinin fayda ve pişmanlık fonksiyonlarında kullanılacak bağımsız ve bağımlı değişkenlerin kısaltmaları, tipi ve açıklamaları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Bağımsız değişkenlerden eğlence merkezi sayıları (*eğlence_merk*) değişkeni; kafe, bar, sinema, sanat merkezi gibi ilgili TAB'daki eğlence amaçlı toplam mekân sayılarını içermektedir. Analiz bölgesinde az sayıda AVM bulunması nedeniyle özellikle Kümeleme Analizi'nde aykırı değer olarak sorun yaratmasını engellemek ve bazı kafeler ile sinema salonlarının tamamının zaten AVM'lerde bulunması nedeniyle arazi kullanımı bölümünde açıklanan AVM değişkeni veri setinden çıkarılmıştır. Yolculuğun çekileceği grupların seçiminde mesafenin etkisini ölçebilmek amacıyla bireylerin yaptıkları yolculuklarda kat ettikleri mesafeyi içeren *mesafe* değişkeni modelin fayda bileşeninde kullanılmıştır. Yolculuk amaçlarına göre yolculuk çeken TAB'ların çekim potansiyellerindeki etkiyi gözlemleyebilmek için kamu/özel iş yeri sayısı (*kamu_isyeri*), park alanları (*park_alan*),

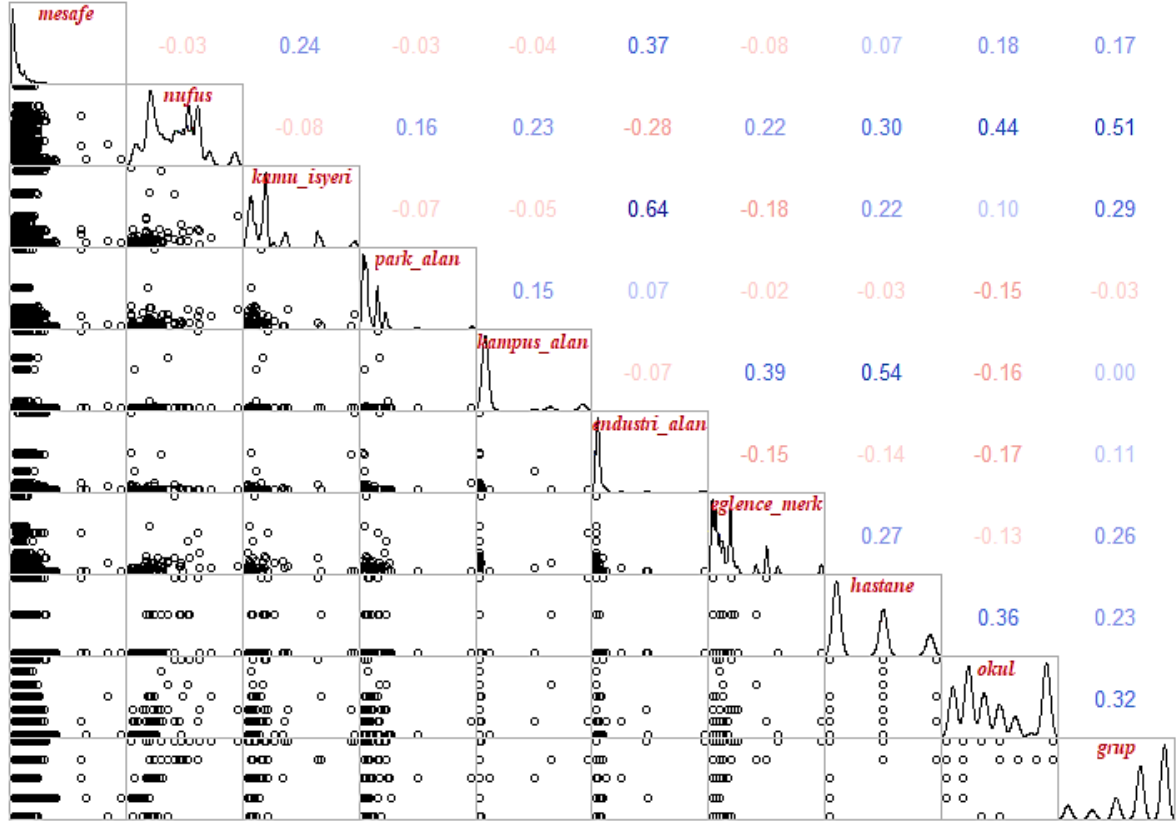
endüstri alanları (*endüstri_alan*), eğlence merkezi sayısı (*eğlence_merk*), hastane sayısı (*hastane*) ve okul sayısı (*okul*) değişkenleri çekim modelinin pişmanlık bileşeninde kullanılmıştır. Kümeleme Analizi'nde kullanılan arazi kullanımı değişkenleri TAB bazında değişkenlerdir ve veride toplam TAB sayısı kadar satır bulunmaktadır. Çekim modelinde ise hane halkı anketinden alınan bireylerin yaptığı yolculuklara ait veri seti kullanılmıştır. Buradaki yolculuklara ait veri setinde bulunan mesafe değişkeninin yanı sıra yolculuğu çeken TAB'lara ait değişkenler ayrık veri setindeki ilgili satırlara ilave edilmiştir.

Çizelge 4.9. Yolculuk çekim modelinde kullanılan bağımsız ve bağımlı değişkenlerin açıklamaları

Bağımsız Değişkenler		
Kodu	Açıklama	Tipi
mesafe	Yolculuk mesafesi (m)	Sayısal
kamu_isyeri	Çekilen TAB'daki kamu/özel iş yeri sayısı	Sayısal
park_alan	Çekilen TAB'daki toplam park alanı (m ²)	Sayısal
kampus_alan	Çekilen TAB'daki toplam kampüs alanı (m ²)	Sayısal
endustri_alan	Çekilen TAB'daki toplam endüstri alanı (m ²)	Sayısal
eğlence_merk	Çekilen TAB'daki toplam eğlence merkezi sayısı	Sayısal
hastane	Çekilen TAB'daki toplam hastane sayısı	Sayısal
okul	Çekilen TAB'daki toplam okul sayısı	Sayısal
Bağımlı Değişkenler		
Kodu	Açıklama	Tipi
grup	TAB'ların çekim potansiyellerine göre ait oldukları, Kategorik birbirinden bağımsız ve sıra gözetilmeyen 5 grup	

Değişkenler arasındaki ilişkinin incelenebilmesi için Şekil 4.32'de verilen grafikte; diyagonalde değişkenlerin dağılımları, diyagonalin alt kısmında verilerin çapraz dağılımları ve diyagonalin üst kısmında ise korelasyon değerleri birlikte verilmiştir. Çekim modelindeki seçeneklere ait fonksiyonlara mesafe değişkeni fayda olarak katılacaktır. Ancak diğer değişkenler modele pişmanlık olarak katılacağından hesaplamalarda ilgili değişkenin her bir grubun ortalamasına göre farkları alınacaktır. Bu nedenle korelasyon değeri yüksek olsa dahi değişkenlerin hem gruplara göre farkları ile işlem yapılacağı hem de bütün arazi kullanım değişkenlerinin etkilerini modelde gözlemleyebilmek için korelasyon matrisindeki -0,7'den büyük +0,7'den küçük değerlerin modelde kullanılmasının uygun olduğuna karar verilmiştir. Korelasyon değerleri incelendiğinde en yüksek korelasyonunun (0,64) *kamu_isyeri* ile *endüstri_alan* değişkenler arasında olduğu gözlemlenmiştir. Genellikle

endüstri alanı fazla olan TAB'larda özel işyeri sayısı da fazla olduğu için aralarında nispeten yüksek bir ilişki olması normaldir. Ancak her kamu/özel iş yeri bulunan bölge, endüstri alanı olmak zorunda olmadığı için iki değişkenin etkisini ayrı ayrı gözlemlemek daha uygun olacaktır.



Şekil 4.32. Değişkenlerin dağılımları, değişken verilerinin çapraz dağılımları ve korelasyon matrisi

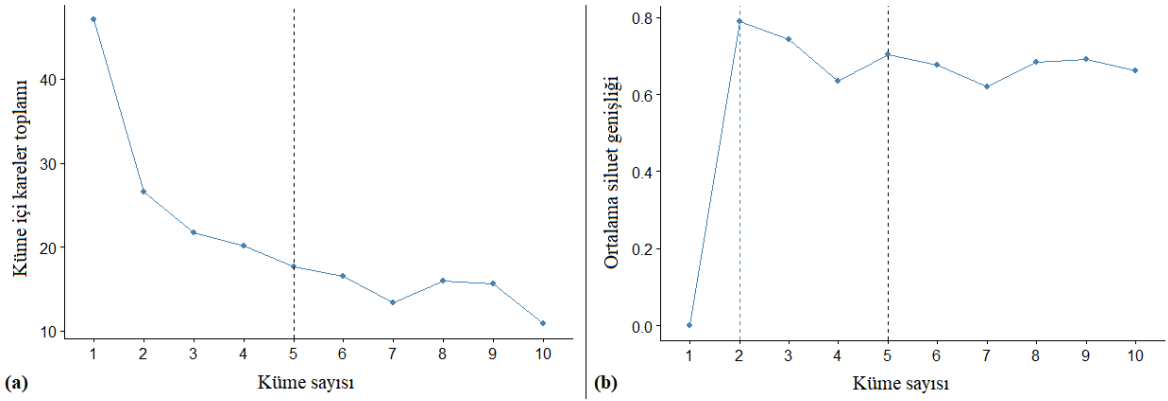
Model ve Kümeleme Analizi çalışmalarından önce veri setinde bazı düzenlemeler yapılması gereklidir. Denklem 3.68'deki Hibrit RFM-RFM model fonksiyonundaki pişmanlık bileşenine bakıldığında değişkenler kıyaslanırken üstel fonksiyon ile farkları alındığı görülmektedir. Çok büyük sayılar içeren değişkenler üstel fonksiyonun sonsuza yakınsamasına ve bu nedenle matematiksel yazılımlarda hatalarla karşılaşılmasına neden olmaktadır. Ayrıca Kümeleme Analizi'nde farklı boyutlardaki değişkenlerin birlikte kullanılması durumunda, değişkenlerin farklı şiddette etki etmeleri nedeniyle hatalı gruplandırma yapılmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle daha önce TAB'ların üretim potansiyellerine göre gruplandırılması kısmında olduğu gibi bağımlı değişken (*grup*) hariç bütün değişkenler normalleştirilmiştir.

4.3.2. TAB'ların çekim potansiyellerine göre gruplandırılması

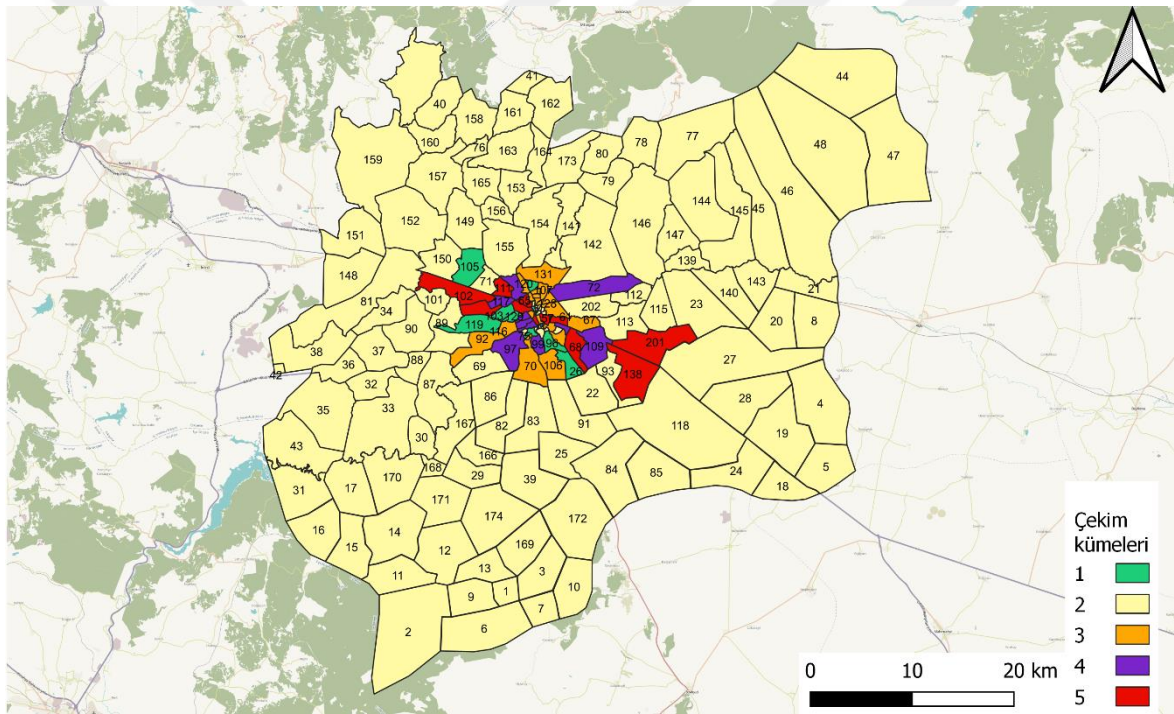
Pratikte her bir TAB'a çekilme olasılıklarının hesaplanması için seçenek kümesinde bütün TAB'ların bulunması durumu düşünülebilir. Ancak bu durumda her bir seçenek yani bu çalışmada 177 TAB için ayrı ayrı hibrit fayda ve pişmanlık fonksiyonu tasarımı yapmak gereklidir. Bu sorunu gidermek için tasarım aşamasında bir seçenek referans kabul edilerek diğer bütün seçeneklere ait fonksiyonlarda bütün değişkenlerin kullanılması mümkün gözüküyorsa da TAB sayısı arttıkça hem programlar üzerinde işlenmesi ve kontrol edilebilmesi zorlaşmakta hem de özellikle seçeneğe özgü katsayı tahmini yapılabilmesi için gereken işlemci gücü ve işlem süresi artmaktadır. Burada, Hibrit RFM-RPM model yöntemi kullanılacağı düşünüldüğünde, fonksiyonların programa işlenmesi sürecinin zorluğu ve parametre tahminleri için işlemci gücü gereksinimi ve hesaplama süresi RFM ÇTL'ye göre katlanarak artmaktadır.

Bahsi geçen hesaplama süresi ve fonksiyon tasarımlarının programa işlenebilmesi ile ilgili problemlerinin önüne geçebilmek ve gelecekte oluşturulabilecek TAB'lara çekilecek yolculuklarının tahmini gibi senaryo çalışmalarını kolaylaştırmak için benzer özelliklere sahip TAB'lar gruplandırılarak Hibrit RFM-RPM modelde gruplara çekilecek paylar hesaplanmıştır. Bu kapsamda, benzer özellik gösteren TAB'lar; nüfus, kamu/özel iş yeri, eğlence merkezi, hastane ve okul sayıları ile park, endüstri ve kampüs alanlarına göre K-ortalamlar Kümeleme Analizi tekniği kullanılarak gruplanmıştır.

K-ortalamlar tekniğinde küme sayısının kullanıcı tarafından girilmesi gerektiği için öncelikle Şekil 4.33'te gösterildiği gibi dirsek ve siluet metotlarına analiz yapılmış ve her iki metot sonucuna göre en uygun küme sayısının ortak değer olan beş (5) olduğu tespit edilmiştir. Çekim potansiyeline göre Kümeleme Analizi uygulanan TAB'ların ait olduğu kümeler Şekil 4.34'te gösterilmiştir.



Şekil 4.33. TAB'ların çekime göre gruplandırılması için en uygun küme sayısının tespiti grafikleri:
a) Dirsek metodu, b) Siluet metodu



Şekil 4.34. Çekim potansiyellerine göre TAB'ların ait olduğu kümeler (çekim kümeleri)

4.3.3. Yolculuk çekim modeli tasarımı ve analiz sonuçları

TAB'lardan çekilen yolculuklar, Hibrit RFM-RPM model yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Modelin bağımlı değişkenleri olarak Kümeleme Analizi'nden elde edilen, arazi kullanımına göre benzer özellik gösteren TAB'ların ait olduğu birbirinden bağımsız ve sıra gözetilmeyen beş grup; seçenek kümesini oluşturmaktadır. Her bir TAB veya TAB'ların ait olduğu gruplar, farklı yolculuk amaçları için farklı çekim özelliği gösterebileceği için,

her bir yolculuk amacı için farklı bir model oluşturulmuş ve gruplar tarafından çekilen yolculukların payları tahmin edilmiştir.

Hibrit RFM-RPM modelindeki seçeneklerin fonksiyonlarındaki fayda bileşeninde kullanılacak mesafe değişkeni için seçeneğe özgü katsayı tahmini yapılmıştır. Ancak fazla işlemci gücü gereksinimini ve hesaplama süresini azaltmak için, pişmanlık bileşeninde kullanılacak değişkenler için genel katsayı tahminleri yapılmıştır. Çizelge 4.9’da gösterilen dokuz (9) bağımsız değişken, yapılan performans testlerine göre modelin yeterli düzeyde olduğu tespit edilene kadar farklı hibrit fayda ve pişmanlık fonksiyonlarında kullanılarak test edildikten sonra uygun modele karar verilmiştir. RFM ÇTL modelden daha karmaşık bir model yapısına sahip olması nedeniyle çekim modeli için kullanılan Hibrit RFM-RPM modelde gruplardan bir tanesi referans (boş) fonksiyon olarak seçilmiştir.

Model oluşturulmadan önce veri seti yolculuk amaçlarına göre ayrılmış ve her bir alt veri setinin rastgele seçilen %75’i eğitim verisi, kalan %25’i ise test verisi olarak belirlenmiştir. Ev tabanlı iş (EI), okul (EO), hastane (EH) ve diğer (ED) yolculuklar ile ev tabanlı olmayan diğer (D) yolculuk amaçlarının her biri için ayrı ayrı oluşturulan çekim modelleri için eğitim veri setleri kullanılarak model parametreleri tahmin edilmiştir. Bütün modeller için katsayı tahminlerinin istatistiksel olarak anlamlılığı t-istatistiği değerlerine göre test edilmiş ve %90 güven aralığının üzerindeki katsayı tahminlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu kabul edilmiştir.

Ev tabanlı iş (EI) yolculukları için oluşturan yolculuk çekim modelinde kullanılan değişkenlerin katsayıları, standart hataları ve t-istatistikleri Çizelge 4.10’da gösterilmiştir. Sabit terimler incelendiğinde bütün seçenekler için tamamı pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değerler almıştır.

Çizelge 4.10. Ev tabanlı iş yolculukları için çekim modeli parametre tahmin sonuçları

Değişken	Katsayı (t-istatistiği)					(EI)
	1	2	3	4	5	
<i>Sabit terim</i>		15,4675	15,3743	14,0279	14,3652	
		(103,8105) ^a	(133,31) ^a	(117,616) ^a	(147,0197) ^a	
<i>mesafe</i>		13,6473	2,0618	-0,3012	8,8760	
		(8,6323) ^a	(1,2356)	(-0,1778)	(6,114) ^a	
<i>kamu_isyeri</i>		1,8490	1,8490	1,8490	1,8490	
		(18,5708) ^a	(18,5708) ^a	(18,5708) ^a	(18,5708) ^a	
<i>kampus_alan</i>		-0,4298	-0,4298	-0,4298	-0,4298	
		(-6,3178) ^a	(-6,3178) ^a	(-6,3178) ^a	(-6,3178) ^a	
<i>endustri_alan</i>		0,3347	0,3347	0,3347	0,3347	
		(4,549) ^a	(4,549) ^a	(4,549) ^a	(4,549) ^a	
<i>eglence_merk</i>		10,0399	10,0399	10,0399	10,0399	
		(31,0397) ^a	(31,0397) ^a	(31,0397) ^a	(31,0397) ^a	
<i>okul</i>		0,9084	0,9084	0,9084	0,9084	
		(13,2549) ^a	(13,2549) ^a	(13,2549) ^a	(13,2549) ^a	
Gözlem sayısı	5211				$-2LL=4088$	
LL(model)	-4299				$\rho^2=0,4874$	
LL(0)	-8387				$\bar{\rho}^2=0,4858$	

^a %95 güven aralığında anlamlı^b %90 güven aralığında anlamlı

%90 güven aralığının üzerinde anlamlı olan katsayı tahminleri kalın yazılmıştır.

Mesafe değişkeni için tahmin edilen katsayılar, 2 ve 5 numaralı grup için pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değer almıştır. 3 numaralı grup için pozitif işaretli ve 4 numaralı grup için negatif işaretli olan *mesafe* değişkeninin katsayıları istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. Normal şartlarda mesafenin kısaldıkça yolculuğun çekilme olasılıklarının artması yani insanların yakın yerlere gitme eğiliminde olması gerektiği düşünülebilir. Ancak iş merkezleri ve sanayi bölgelerinin genellikle şehrin dış bölgelerinde planlanması nedeniyle bazı bölgeler için yolculuk çekimi ile mesafe ters ilişkili olmayabilir.

Kamu/özel iş yeri sayısı, endüstri alanı, eğlence merkezi sayısı ve okul sayısı değişkenleri için tahmin edilen genel katsayıların tamamı, pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değer almıştır. Buna göre bölgedeki (TAB veya grup) iş yeri sayısı, endüstri alanı, eğlence merkezi sayısı ve/veya okul sayısı arttıkça bölgenin iş yolculuklarını çekme olasılığı artacaktır. Kampüs alanı değişkeni için tahmin edilen genel katsayı ise negatif

işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Buradan anlaşılacağı üzere kampüs alanlarının olduğu bölgelere daha az iş yolculuğu yapılmaktadır. Katsayıların büyüklüğü incelendiğinde iş yolculuklarının çekim olasılığı üzerindeki etkisi en büyük olan değişkenin eğlence merkezi sayısı olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, eğlence merkezlerinin yoğun olduğu bölgenin aynı zamanda merkezi iş alanında bulunuyor olmasıdır.

EI yolculukları için tasarlanan hibrit fayda-pişmanlık fonksiyonları Denklem 4.18-4.22’de gösterilmiştir.

$$U_1 = 0 \text{ (referans fonksiyon)} \quad (4.18)$$

$$\begin{aligned} U_2 = & 15,4675 + 13,6473 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{1,8490} \cdot (\text{kamu_isyeri}(i) - \text{kamu_isyeri}(2))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{-0,4298} \cdot (\text{kampus_alan}(i) - \text{kampus_alan}(2))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{0,3347} \cdot (\text{endustri_alan}(i) - \text{endustri_alan}(2))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{10,0399} \cdot (\text{eglenme_merk}(i) - \text{eglenme_merk}(2))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{0,9084} \cdot (\text{okul}(i) - \text{okul}(2))) \end{aligned} \quad (4.19)$$

$$\begin{aligned} U_3 = & 15,3743 + 2,0618 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{1,8490} \cdot (\text{kamu_isyeri}(i) - \text{kamu_isyeri}(3))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{-0,4298} \cdot (\text{kampus_alan}(i) - \text{kampus_alan}(3))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{0,3347} \cdot (\text{endustri_alan}(i) - \text{endustri_alan}(3))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{10,0399} \cdot (\text{eglenme_merk}(i) - \text{eglenme_merk}(3))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{0,9084} \cdot (\text{okul}(i) - \text{okul}(3))) \end{aligned} \quad (4.20)$$

$$\begin{aligned}
U_4 = & 14,0279 - 0,3012 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{1,8490} \cdot (\text{kamu_isyeri}(i) - \text{kamu_isyeri}(4))) \\
& - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{-0,4298} \cdot (\text{kampus_alan}(i) - \text{kampus_alan}(4))) \\
& - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{0,3347} \cdot (\text{endustri_alan}(i) - \text{endustri_alan}(4))) \\
& - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{10,0399} \cdot (\text{eglence_merk}(i) - \text{eglence_merk}(4))) \\
& - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{0,9084} \cdot (\text{okul}(i) - \text{okul}(4)))
\end{aligned} \tag{4.21}$$

$$\begin{aligned}
U_5 = & 14,3652 + 8,8760 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{1,8490} \cdot (\text{kamu_isyeri}(i) - \text{kamu_isyeri}(5))) \\
& - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{-0,4298} \cdot (\text{kampus_alan}(i) - \text{kampus_alan}(5))) \\
& - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{0,3347} \cdot (\text{endustri_alan}(i) - \text{endustri_alan}(5))) \\
& - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{10,0399} \cdot (\text{eglence_merk}(i) - \text{eglence_merk}(5))) \\
& - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{0,9084} \cdot (\text{okul}(i) - \text{okul}(5)))
\end{aligned} \tag{4.22}$$

EI yolculukları için eğitim, test ve toplam veri setlerinde yolculuk amaçlarına göre gerçek yolculuk çekimleri ile model tahminleri Çizelge 4.11’de karşılaştırılmış ve hatalar gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Ev tabanlı iş yolculukları için çekim modeli tahminleri ile gerçek yolculuk sayılarının karşılaştırılması

Veri Seti / TAB Grubu		1	2	3	4	5	Gözlem Sayısı
Eğitim Verisi	Yolculuk sayısı	295	317	660	1137	2802	5211
	Model tahmini	294,99	317,00	660,01	1137,00	2802,00	
	Hata (Fark)	-0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	
	Hata (%)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
Test Verisi	Yolculuk sayısı	100	112	195	422	908	1737
	Model tahmini	98,80	101,80	212,65	420,51	903,23	
	Hata (Fark)	-1,20	-10,20	17,65	-1,49	-4,77	
	Hata (%)	-1,20	-9,11	9,05	-0,35	-0,53	
Toplam Veri	Yolculuk sayısı	395	429	855	1559	3710	6948
	Model tahmini	393,79	418,80	872,66	1557,51	3705,23	
	Hata (Fark)	-1,21	-10,20	17,66	-1,49	-4,77	
	Hata (%)	-0,31	-2,38	2,07	-0,10	-0,13	

Ev tabanlı okul (EO) yolculukları için oluşturan yolculuk çekim modelinde kullanılan değişkenlerin katsayıları, standart hataları ve t-istatistikleri Çizelge 4.12’de gösterilmiştir. Sabit terimler incelendiğinde bütün seçenekler için tamamı pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değerler aldığı gözükmemektedir.

Mesafe değişkeni için tahmin edilen katsayılar, 2 numaralı grup için pozitif işaretli, 3 numaralı grup için negatif işaretli olmak üzere istatistiksel olarak anlamlı değerler almıştır. 4 numaralı grup için pozitif işaretli ve 5 numaralı grup için negatif işaretli olan mesafe değişkeninin katsayıları istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. Buradan anlaşılabileceği üzere 3 numaralı grupta bulunan TAB’lar için mesafe ne kadar kısa ise okul yolculuklarının çekilme olasılığı o kadar fazladır. 2 numaralı grup genellikle merkeze uzak TAB’lardan oluştuğu için bu bölgelere yapılan okul yolculukları ile mesafenin ters ilişkili olmaması doğaldır. Kampüs alanı ve okul sayısı değişkenleri için tahmin edilen genel katsayılar pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değerler almıştır. Buradan anlaşılabileceği üzere bölgedeki okul sayısı veya kampüs alanı arttıkça okul yolculuklarının çekilme olasılığı da artacaktır.

Çizelge 4.12. Ev tabanlı okul yolculukları için çekim modeli parametre tahmin sonuçları

Değişken	Katsayı (t-istatistiği)					(EO)
	1	2	3	4	5	
<i>Sabit terim</i>		5,0734 (47,6109) ^a	6,4538 (88,8446) ^a	5,2866 (86,1853) ^a	6,0888 (105,1489) ^a	
<i>mesafe</i>		13,9326 (11,3429) ^a	-4,7219 (-3,3513) ^a	0,3061 (0,3051)	-0,0831 (-0,0774)	
<i>kampus_alan</i>		1,5654 (32,5847) ^a	1,5654 (32,5847) ^a	1,5654 (32,5847) ^a	1,5654 (32,5847) ^a	
<i>okul</i>		1,6567 (30,4087) ^a	1,6567 (30,4087) ^a	1,6567 (30,4087) ^a	1,6567 (30,4087) ^a	
Gözlem sayısı	7426					-2LL=3242
LL(model)	-8710					$\rho^2=0,2712$
LL(0)	-11952					$\bar{\rho}^2=0,2704$

^a %95 güven aralığında anlamlı

^b %90 güven aralığında anlamlı

%90 güven aralığının üzerinde anlamlı olan katsayı tahminleri kalın yazılmıştır.

EO yolculukları için eğitim, test ve toplam veri setlerinde yolculuk amaçlarına göre gerçek yolculuk çekimleri ile model tahminleri Çizelge 4.13'te karşılaştırılmış ve hatalar gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Ev tabanlı okul yolculukları için çekim modeli tahminleri ile gerçek yolculuk sayılarının karşılaştırılması

Veri Seti / TAB Grubu		1	2	3	4	5	Gözlem Sayısı
Eğitim Verisi	Yolculuk sayısı	966	309	889	3381	1881	7426
	Model tahmini	966,00	309,00	889,00	3381,01	1880,99	
	Hata (Fark)	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,01	
	Hata (%)	0,00	0,00	0,00	<0,00	<0,00	
Test Verisi	Yolculuk sayısı	323	102	335	1073	642	2475
	Model tahmini	322,80	103,64	300,37	1112,56	635,63	
	Hata (Fark)	-0,20	1,64	-34,63	39,56	-6,37	
	Hata (%)	-0,06	1,61	-10,34	3,69	-0,99	
Toplam Veri	Yolculuk sayısı	1289	411	1224	4454	2523	9901
	Model tahmini	1288,80	412,64	1189,37	4493,57	2516,62	
	Hata (Fark)	-0,20	1,64	-34,63	39,57	-6,38	
	Hata (%)	-0,02	0,40	-2,83	0,89	-0,25	

EO yolculukları için tasarlanan hibrit fayda-pişmanlık fonksiyonları Denklem 4.23-4.27'de gösterilmiştir.

$$U_1 = 0 \text{ (referans fonksiyon)} \quad (4.23)$$

$$U_2 = 5,0734 + 13,9326 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{1,5654} \cdot (\text{kampus_alan}(i) - \text{kampus_alan}(2))) - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{1,6567} \cdot (\text{okul}(i) - \text{okul}(2))) \quad (4.24)$$

$$U_3 = 6,4538 - 4,7219 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{1,5654} \cdot (\text{kampus_alan}(i) - \text{kampus_alan}(3))) - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{1,6567} \cdot (\text{okul}(i) - \text{okul}(3))) \quad (4.25)$$

$$U_4 = 5,2866 + 0,3061 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{1,5654} \cdot (\text{kampus_alan}(i) - \text{kampus_alan}(4))) - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{1,6567} \cdot (\text{okul}(i) - \text{okul}(4))) \quad (4.26)$$

$$U_5 = 6,0888 - 0,0831 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{1,5654} \cdot (\text{kampus_alan}(i) - \text{kampus_alan}(5))) - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{1,6567} \cdot (\text{okul}(i) - \text{okul}(5))) \quad (4.27)$$

Ev tabanlı hastane (EH) yolculukları için oluşturan yolculuk çekim modelinde kullanılan değişkenlerin katsayıları, standart hataları ve t-istatistikleri Çizelge 4.14'te gösterilmiştir. Sabit terimler incelendiğinde bütün seçenekler için tamamı pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değerler almıştır.

Mesafe değişkeni için tahmin edilen katsayılar; 2 ve 5 numaralı gruplar için pozitif işaretli, 3 numaralı grup için negatif işaretli ancak istatistiksel olarak anlamsız değer almıştır. Yalnızca 4 numaralı grup tahmin edilen mesafe değişkeni katsayısı pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Hastanelerin büyük çoğunluğunun merkezden uzakta ve 4 numaralı grupta yer aldığı dikkate alındığında hastane yolculuğunun çekilme olasılığı ile mesafe doğru orantılı çıkmıştır. Bunun nedeni, acil durumlar hariç, bireylerin hastane yolculuğu tercihlerinde hastanenin yakın olmasından ziyade daha iyi hizmet alabilecekleri hastaneleri tercih etmesi olabilir.

Çizelge 4.14. Ev tabanlı hastane yolculukları için çekim modeli parametre tahmin sonuçları

Değişken	Katsayı (t-istatistiği)					(EH)
	1	2	3	4	5	
<i>Sabit terim</i>		6,5979 (13,8365) ^a	7,2908 (21,4369) ^a	5,5651 (22,2583) ^a	6,3568 (20,2959) ^a	
<i>mesafe</i>		8,0044 (1,2504)	-10,2030 (-1,3128)	7,8623 (1,7633) ^b	0,3789 (0,0703)	
<i>nufus</i>		1,6169 (5,0297) ^a	1,6169 (5,0297) ^a	1,6169 (5,0297) ^a	1,6169 (5,0297) ^a	
<i>hastane</i>		28,7486 (0,2781)	28,7486 (0,2781)	28,7486 (0,2781)	28,7486 (0,2781)	
Gözlem sayısı	1214					-2LL=2255
LL(model)	-351					$\rho^2=0,8653$
LL(0)	-2606					$\bar{\rho}^2=0,8615$

^a %95 güven aralığında anlamlı

^b %90 güven aralığında anlamlı

%90 güven aralığının üzerinde anlamlı olan katsayı tahminleri kalın yazılmıştır.

Nüfus değişkeni için tahmin edilen genel katsayılar pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değer almıştır. Aile sağlığı merkezlerindeki personel sayıları ve olanaklar genellikle bulundukları mahallenin nüfusu ile doğru orantılı arttığı için nüfusu fazla olan bölgelerin sağlık hizmeti alma amaçlı yolculuk çekme olasılığı daha fazladır. Hastane sayısı değişkeni için tahmin edilen genel katsayılar pozitif işaretli ve modeldeki etkisi oldukça fazla olduğu halde istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. Katsayının büyüklüğü ve işareti değerlendirildiğinde bölgenin hastane yolculukları çekme olasılığı üzerindeki en büyük etkiyi hastane sayısı değişkeni yarattığı söylenebilir.

EH yolculukları için eğitim, test ve toplam veri setlerinde yolculuk amaçlarına göre gerçek yolculuk çekimleri ile model tahminleri Çizelge 4.15'te karşılaştırılmış ve hatalar gösterilmiştir. Hastane yolcuğu sayısı az olduğu için hataların yüzdeleri fazla gibi gözükse de aslında gerçek duruma göre yalnızca birkaç yolculuk fark olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.15. Ev tabanlı hastane yolculukları için çekim modeli tahminleri ile gerçek yolculuk sayılarının karşılaştırılması

Veri Seti / TAB Grubu		1	2	3	4	5	Gözlem Sayısı
Eğitim Verisi	Yolculuk sayısı	40	18	43	943	170	1214
	Model tahmini	40,55	18,07	42,37	942,57	170,44	
	Hata (Fark)	0,55	0,07	-0,63	-0,43	0,44	
	Hata (%)	1,37	0,39	-1,47	-0,05	0,26	
Test Verisi	Yolculuk sayısı	15	3	9	321	57	405
	Model tahmini	14,93	3,78	10,18	321,85	54,26	
	Hata (Fark)	-0,07	0,78	1,18	0,85	-2,74	
	Hata (%)	-0,47	26,00	13,11	0,26	-4,81	
Toplam Veri	Yolculuk sayısı	55	21	52	1264	227	1619
	Model tahmini	55,48	21,85	52,55	1264,42	224,70	
	Hata (Fark)	0,48	0,85	0,55	0,42	-2,30	
	Hata (%)	0,87	4,05	1,06	0,03	-1,01	

EH yolculukları için, tasarlanan hibrit fayda-pişmanlık fonksiyonları Denklem 4.28-4.32'de gösterilmiştir.

$$U_1 = 0 \text{ (referans fonksiyon)} \quad (4.28)$$

$$\begin{aligned}
U_2 = & 6,5979 + 8,0044 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{1,6169} \cdot (\text{nufus}(i) - \text{nufus}(2))) \\
& - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{28,7486} \cdot (\text{hastane}(i) - \text{hastane}(2)))
\end{aligned} \tag{4.29}$$

$$\begin{aligned}
U_3 = & 7,2908 - 10,2030 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{1,6169} \cdot (\text{nufus}(i) - \text{nufus}(3))) \\
& - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{28,7486} \cdot (\text{hastane}(i) - \text{hastane}(3)))
\end{aligned} \tag{4.30}$$

$$\begin{aligned}
U_4 = & 5,5651 + 7,8623 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{1,6169} \cdot (\text{nufus}(i) - \text{nufus}(4))) \\
& - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{28,7486} \cdot (\text{hastane}(i) - \text{hastane}(4)))
\end{aligned} \tag{4.31}$$

$$\begin{aligned}
U_5 = & 6,3568 + 0,3789 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{1,6169} \cdot (\text{nufus}(i) - \text{nufus}(5))) \\
& - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{28,7486} \cdot (\text{hastane}(i) - \text{hastane}(5)))
\end{aligned} \tag{4.32}$$

Ev tabanlı diğer (ED) yolculuklar için oluşturan yolculuk çekim modelinde kullanılan değişkenlerin katsayıları, standart hataları ve t-istatistikleri Çizelge 4.16’da gösterilmiştir. Sabit terimler incelendiğinde bütün seçenekler için tamamı pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değerler almıştır.

Mesafe değişkeni için tahmin edilen katsayılar; 2 ve 5 numaralı gruplar için pozitif işaretli, 3 numaralı grup için negatif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değer almıştır. 4 numaralı grup için tahmin edilen *mesafe* değişkeni katsayısı pozitif işaretli ancak istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. Normal şartlarda mesafenin kısaldıkça yolculuğun çekilme olasılıklarının arttığı düşünülebilir. Ancak spor merkezleri ve rekreasyon alanları ile şehrin dış bölgelerindeki parklara gitme amacıyla gerçekleştirilen yolculuklar düşünüldüğünde bazı bölgeler için yolculuk çekimi ile mesafe ters ilişkili olmayabilir.

Çizelge 4.16. Ev tabanlı diğer yolculuklar için çekim modeli parametre tahmin sonuçları

Değişken	Katsayı (t-istatistiği)					(ED)
	1	2	3	4	5	
<i>Sabit terim</i>		13,1140 (133,7139) ^a	12,3002 (182,5219) ^a	10,9265 (157,3560) ^a	10,9916 (162,1515) ^a	
<i>mesafe</i>		12,1187 (8,4179) ^a	-2,7359 (-1,7391) ^b	0,3298 (0,2112)	12,8662 (10,0726) ^a	
<i>nüfus</i>		1,6768 (21,8533) ^a	1,6768 (21,8533) ^a	1,6768 (21,8533) ^a	1,6768 (21,8533) ^a	
<i>kamu_isyeri</i>		0,4593 (7,3190) ^a	0,4593 (7,3190) ^a	0,4593 (7,3190) ^a	0,4593 (7,3190) ^a	
<i>park_alan</i>		0,2808 (4,0602) ^a	0,2808 (4,0602) ^a	0,2808 (4,0602) ^a	0,2808 (4,0602) ^a	
<i>eglençe_merk</i>		10,6290 (45,7033) ^a	10,6290 (45,7033) ^a	10,6290 (45,7033) ^a	10,6290 (45,7033) ^a	
Gözlem sayısı	10840					-2LL=8433
LL(model)	-9013					$\rho^2=0,4834$
LL(0)	-17446					$\bar{\rho}^2=0,4827$

^a %95 güven aralığında anlamlı^b %90 güven aralığında anlamlı

%90 güven aralığının üzerinde anlamlı olan katsayı tahminleri kalın yazılmıştır.

Nüfus, kamu/özel iş yeri sayısı, park alanı ve eğlence merkezi sayısı değişkenleri için tahmin edilen genel katsayıların tamamı pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değer almıştır. Buna göre bölgedeki nüfus, kamu/özel iş yeri sayısı, park alanı ve/veya eğlence merkezi sayısı arttıkça bölgenin diğer yolculukları çekme olasılığı artacaktır. Katsayıların büyüklüğü incelendiğinde veriler normalleştirildiği için, ev tabanlı diğer yolculuk çekim olasılığı üzerindeki etkisi en büyük olan değişkenin eğlence merkezi sayısı değişkeni olduğu söylenebilir.

ED yolculukları için eğitim, test ve toplam veri setlerinde yolculuk amaçlarına göre gerçek yolculuk çekimleri ile model tahminleri Çizelge 4.17’de karşılaştırılmış ve hatalar gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Ev tabanlı diğer yolculuklar için çekim modeli tahminleri ile gerçek yolculuk sayılarının karşılaştırılması

Veri Seti / TAB Grubu		1	2	3	4	5	Gözlem Sayısı
Eğitim Verisi	Yolculuk sayısı	727	751	1542	2091	5729	10840
	Model tahmini	726,99	751,00	1541,99	2091,01	5729,01	
	Hata (Fark)	-0,01	0,00	-0,01	0,01	0,01	
	Hata (%)	<0,01	0,00	<0,01	<0,01	<0,01	
Test Verisi	Yolculuk sayısı	241	265	515	686	1906	3613
	Model tahmini	237,31	248,40	507,91	688,40	1930,98	
	Hata (Fark)	-3,69	-16,60	-7,09	2,40	24,98	
	Hata (%)	-1,53	-6,26	-1,38	0,35	1,31	
Toplam Veri	Yolculuk sayısı	968	1016	2057	2777	7635	14453
	Model tahmini	964,30	999,40	2049,90	2779,41	7659,99	
	Hata (Fark)	-3,70	-16,60	-7,10	2,41	24,99	
	Hata (%)	-0,38	-1,63	-0,35	0,09	0,33	

ED yolculukları için tasarlanan hibrit fayda-pişmanlık fonksiyonları Denklem 4.33-4.37’de gösterilmiştir.

$$U_1 = 0 \text{ (referans fonksiyon)} \quad (4.33)$$

$$\begin{aligned}
 U_2 = & 13,1140 + 12,1187 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{1,6768} \cdot (\text{nufus}(i) - \text{nufus}(2))) \\
 & - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{0,4593} \cdot (\text{kamu_isyeri}(i) - \text{kamu_isyeri}(2))) \\
 & - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{0,2808} \cdot (\text{park_alan}(i) - \text{park_alan}(2))) \\
 & - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{10,6290} \cdot (\text{eglence_merk}(i) - \text{eglence_merk}(2)))
 \end{aligned} \quad (4.34)$$

$$\begin{aligned}
 U_3 = & 12,3002 - 2,7359 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{1,6768} \cdot (\text{nufus}(i) - \text{nufus}(3))) \\
 & - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{0,4593} \cdot (\text{kamu_isyeri}(i) - \text{kamu_isyeri}(3))) \\
 & - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{0,2808} \cdot (\text{park_alan}(i) - \text{park_alan}(3))) \\
 & - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{10,6290} \cdot (\text{eglence_merk}(i) - \text{eglence_merk}(3)))
 \end{aligned} \quad (4.35)$$

$$\begin{aligned}
U_4 = & 10,9265 + 0,3298 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{1,6768} \cdot (\text{nufus}(i) - \text{nufus}(4))) \\
& - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{0,4593} \cdot (\text{kamu_isyeri}(i) - \text{kamu_isyeri}(4))) \\
& - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{0,2808} \cdot (\text{park_alan}(i) - \text{park_alan}(4))) \\
& - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{10,6290} \cdot (\text{eglençe_merk}(i) - \text{eglençe_merk}(4)))
\end{aligned} \tag{4.36}$$

$$\begin{aligned}
U_5 = & 10,9916 + 12,8662 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{1,6768} \cdot (\text{nufus}(i) - \text{nufus}(5))) \\
& - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{0,4593} \cdot (\text{kamu_isyeri}(i) - \text{kamu_isyeri}(5))) \\
& - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{0,2808} \cdot (\text{park_alan}(i) - \text{park_alan}(5))) \\
& - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{10,6290} \cdot (\text{eglençe_merk}(i) - \text{eglençe_merk}(5)))
\end{aligned} \tag{4.37}$$

Ev tabanlı olmayan diğer (D) yolculuklar için oluşturan yolculuk çekim modelinde kullanılan değişkenlerin katsayıları, standart hataları ve t-istatistikleri Çizelge 4.18’de gösterilmiştir. Sabit terimler incelendiğinde bütün seçenekler için tamamı pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değerler almıştır.

Mesafe değişkeni için tahmin edilen katsayılar, 5 numaralı grup için pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değer almıştır. Sözü edilen değişken; 2 ve 3 numaralı gruplar için negatif işaretli, 4 numaralı grup için pozitif işaretli ancak seçenekler istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. Nüfus, park alanı ve eğlence merkezi sayısı değişkenleri için tahmin edilen genel katsayıların tamamı pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değer almıştır. Kamu/özel iş yeri sayısı değişkeni için tahmin edilen genel katsayı, pozitif işaretli ancak istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. Ev tabanlı diğer yolculuk (ED) çekimlerine benzer şekilde bölgedeki nüfus, park alanı, eğlence merkezi sayısı ve/veya iş yeri sayısı arttıkça bölgenin diğer yolculukları çekme olasılığı artacaktır.

Çizelge 4.18. Diğer yolculuklar için çekim modeli parametre tahmin sonuçları

Değişken	Katsayı (t-istatistiği)					(D)
	1	2	3	4	5	
<i>Sabit terim</i>		13,0246	12,3777	11,7639	11,8423	
		(35,2358) ^a	(44,9167) ^a	(43,1504) ^a	(44,2661) ^a	
<i>mesafe</i>		-1,0088	-4,5574	0,4816	6,2833	
		(-0,2197)	(-1,167)	(0,1339)	(1,9404)	
<i>nufus</i>		0,2327	0,2327	0,2327	0,2327	
		(1,9404) ^b	(1,9404) ^b	(1,9404) ^b	(1,9404) ^b	
<i>kamu_isyeri</i>		1,3987	1,3987	1,3987	1,3987	
		(6,3632)	(6,3632)	(6,3632)	(6,3632)	
<i>park_alan</i>		0,5369	0,5369	0,5369	0,5369	
		(2,5308) ^a	(2,5308) ^a	(2,5308) ^a	(2,5308) ^a	
<i>eglence_merk</i>		12,4491	12,4491	12,4491	12,4491	
		(14,9292) ^a	(14,9292) ^a	(14,9292) ^a	(14,9292) ^a	
Gözlem sayısı	1078					-2LL=960
LL(model)	-775					$\rho^2=0,5533$
LL(0)	-1735					$\bar{\rho}^2=0,5463$

^a %95 güven aralığında anlamlı^b %90 güven aralığında anlamlı**%90 güven aralığının üzerinde anlamlı olan katsayı tahminleri kalın yazılmıştır.**

D yolculukları için, eğitim, test ve toplam veri setlerinde yolculuk amaçlarına göre gerçek yolculuk çekimleri ile model tahminleri Çizelge 4.19’da karşılaştırılmış ve hatalar gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. Diğer yolculuklar için çekim modeli tahminleri ile gerçek yolculuk sayılarının karşılaştırılması

Veri Seti / TAB Grubu		1	2	3	4	5	Gözlem Sayısı
Eğitim Verisi	Yolculuk sayısı	51	43	125	312	547	1078
	Model tahmini	51,01	42,99	125,01	311,99	547,00	
	Hata (Fark)	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,00	
	Hata (%)	0,02	-0,02	<0,01	<0,01	0,00	
Test Verisi	Yolculuk sayısı	16	14	45	103	181	359
	Model tahmini	17,74	14,96	46,35	107,50	172,46	
	Hata (Fark)	1,74	0,96	1,35	4,50	-8,54	
	Hata (%)	10,88	6,86	3,00	4,37	-4,72	
Toplam Veri	Yolculuk sayısı	67	57	170	415	728	1437
	Model tahmini	68,75	57,95	171,36	419,49	719,46	
	Hata (Fark)	1,75	0,95	1,36	4,49	-8,54	
	Hata (%)	2,61	1,67	0,80	1,08	-1,17	

D yolculukları için, tasarlanan hibrit fayda-pişmanlık fonksiyonları Denklem 4.38-4.42’de gösterilmiştir.

$$U_1 = 0 \text{ (referans fonksiyon)} \quad (4.38)$$

$$\begin{aligned} U_2 = & 13,0246 - 1,0088 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{0,2327} \cdot (\text{nufus}(i) - \text{nufus}(2))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{1,3987} \cdot (\text{kamu_isyeri}(i) - \text{kamu_isyeri}(2))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{0,5369} \cdot (\text{park_alan}(i) - \text{park_alan}(2))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 2}^5 \ln(1 + e^{12,4491} \cdot (\text{eglence_merk}(i) - \text{eglence_merk}(2))) \end{aligned} \quad (4.39)$$

$$\begin{aligned} U_3 = & 12,3777 - 4,5574 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{0,2327} \cdot (\text{nufus}(i) - \text{nufus}(3))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{1,3987} \cdot (\text{kamu_isyeri}(i) - \text{kamu_isyeri}(3))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{0,5369} \cdot (\text{park_alan}(i) - \text{park_alan}(3))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 3}^5 \ln(1 + e^{12,4491} \cdot (\text{eglence_merk}(i) - \text{eglence_merk}(3))) \end{aligned} \quad (4.40)$$

$$\begin{aligned} U_4 = & 11,7639 + 0,4816 \cdot \text{mesafe} - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{0,2327} \cdot (\text{nufus}(i) - \text{nufus}(4))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{1,3987} \cdot (\text{kamu_isyeri}(i) - \text{kamu_isyeri}(4))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{0,5369} \cdot (\text{park_alan}(i) - \text{park_alan}(4))) \\ & - \sum_{i=1, i \neq 4}^5 \ln(1 + e^{12,4491} \cdot (\text{eglence_merk}(i) - \text{eglence_merk}(4))) \end{aligned} \quad (4.41)$$

$$\begin{aligned}
U_5 = & 11,8423 + 6,2833 \cdot mesafe - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{0,2327} \cdot (nufus(i) - nufus(5)) \\
& - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{1,3987} \cdot (kamu_isyeri(i) - kamu_isyeri(5)) \\
& - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{0,5369} \cdot (park_alan(i) - park_alan(5)) \\
& - \sum_{i=1}^4 \ln(1 + e^{12,4491} \cdot (eglençe_merk(i) - eglençe_merk(5))
\end{aligned} \tag{4.42}$$

4.3.4. Nüfus ölçeğinde yolculuk çekimleri

Hibrit RFM-RPM model yöntemi ile TAB gruplarına göre yolculukların çekilme olasılıklarının hesaplandığı çekim modeline göre her bir grubun çektiği yolculukların amaçlarına göre payları (P_{GRUP}) Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. TAB gruplarının yolculuk amaçlarına göre yolculuk çekme olasılıkları

Yolculuk Amacı	TAB Grubu (P_{GRUP})				
	1	2	3	4	5
EI	%5,67	%6,03	%12,56	%22,42	%53,33
EO	%13,02	%4,17	%12,01	%45,39	%25,42
EH	%3,43	%1,35	%3,25	%78,10	%13,88
ED	%6,67	%6,91	%14,18	%19,23	%53,00
D	%4,78	%4,03	%11,92	%29,19	%50,07

Grup içindeki TAB’ların paylarının hesaplanması için Kümeleme Analizi’nde kullanılan Öklid uzaklığı formülünden faydalanılmıştır. Burada grup ortalaması en uygun değeri ifade etmeyeceği için Denklem 4.43’te gösterildiği gibi her bir TAB en olumsuz duruma (boş) göre kıyaslanarak uzaklık hesabı (D_{TAB}) yapılmıştır. Böylece en olumsuz duruma en uzak özellik gösteren TAB’ın en çok yolculuğu çekeceği varsayılmıştır. Her bir yolculuk amacı için oluşturulan modelde farklı değişkenler kullanıldığı için uzaklık hesaplarında da pişmanlık bileşeninde kullanılan değişkenler kullanılmıştır (Denklem 4.44-4.48).

$$D_{TAB}(i)_j = \|x_i - 0\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - 0)^2} \tag{4.43}$$

Burada;

j : ilgili yolculuk amacı ($\{EI, EO, EH, ED, D\}$),

x_i : ilgili modelde kullanılan değişkenler,

$D_{TAB}(i)_j$: j amacı için i TAB'ının referans (boş) TAB'a göre Öklid uzaklığı.

$$D_{TAB}(i)_{EI} = \sqrt{kamu_isyeri(i)^2 + kampus_alan(i)^2 + endustri_alan(i)^2 + eglenge_merk(i)^2 + okul(i)^2} \quad (4.44)$$

$$D_{TAB}(i)_{EO} = \sqrt{kampus_alan(i)^2 + okul(i)^2} \quad (4.45)$$

$$D_{TAB}(i)_{EH} = \sqrt{nufus(i)^2 + hastane(i)^2} \quad (4.46)$$

$$D_{TAB}(i)_{ED} = \sqrt{nufus(i)^2 + kamu_isyeri(i)^2 + park_alan(i)^2 + eglenge_merk(i)^2} \quad (4.47)$$

$$D_{TAB}(i)_D = \sqrt{nufus(i)^2 + kamu_isyeri(i)^2 + park_alan(i)^2 + eglenge_merk(i)^2} \quad (4.48)$$

Her bir yolculuk amacı için ilgili gruptaki bir TAB'ın grup içi çekim olasılığı, ilgili TAB'ın uzaklığının grupta bulunan TAB'ların uzaklıkları toplamına oranı ile hesaplanmıştır. Buna göre ilgili grup içindeki TAB'ların yolculuk çekme olasılığı Denklem 4.49'daki gibi hesaplanmıştır.

$$P_{TAB}(ki)_j = \frac{D_{TAB}(ki)_j}{\sum D_{TAB}(ki)_j} \quad (4.49)$$

Burada;

$ki = \{\text{ilgili kümedeki } (k) \text{ TAB numaraları}\}$,

$P_{TAB}(ki)_j$: j amacı için k kümesindeki i TAB'ının grup içi yolculuk çekme olasılığı.

Yolculuk amaçlarına göre ayrı ayrı hesaplanan, grup içindeki TAB'ların uzaklık hesapları ve çekim olasılıkları Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. TAB'ların grup içi uzaklık hesapları ve çekim olasılıkları

TAB No	Uzaklık Hesapları (D_{TAB})					Çekim Olasılıkları (P_{TAB})				
	EI	EO	EH	ED	D	EI	EO	EH	ED	D
1	0,142878	0,142857	0,001138	0,002705	0,002705	0,007547	0,007874	0,000537	0,000769	0,000769
2	0,142941	0,142857	0,002518	0,005516	0,005516	0,007550	0,007874	0,001189	0,001568	0,001568
3	0,142862	0,142857	0,000581	0,001358	0,001358	0,007546	0,007874	0,000274	0,000386	0,000386
4	0,142869	0,142857	0,002082	0,002779	0,002779	0,007546	0,007874	0,000983	0,000790	0,000790
5	0,142905	0,142857	0,002445	0,004419	0,004419	0,007548	0,007874	0,001155	0,001256	0,001256
6	0,142878	0,142857	0,001186	0,002726	0,002726	0,007547	0,007874	0,000560	0,000775	0,000775
7	0,142878	0,142857	0,000654	0,002540	0,002540	0,007547	0,007874	0,000309	0,000722	0,000722
8	0,143552	0,142857	0,002009	0,014253	0,014253	0,007582	0,007874	0,000949	0,004051	0,004051
9	0,142862	0,142857	0,001162	0,001690	0,001690	0,007546	0,007874	0,000549	0,000480	0,000480
10	0,142878	0,142857	0,003995	0,004688	0,004688	0,007547	0,007874	0,001887	0,001332	0,001332
11	0,142905	0,142857	0,000872	0,003783	0,003783	0,007548	0,007874	0,000412	0,001075	0,001075
12	0,142858	0,142857	0,000581	0,000845	0,000845	0,007546	0,007874	0,000274	0,000240	0,000240
13	0,142905	0,142857	0,002615	0,004515	0,004515	0,007548	0,007874	0,001235	0,001283	0,001283
14	0,142922	0,142857	0,001210	0,004462	0,004462	0,007549	0,007874	0,000572	0,001268	0,001268
15	0,142890	0,142857	0,000896	0,003196	0,003196	0,007547	0,007874	0,000423	0,000908	0,000908
16	0,142989	0,142857	0,001719	0,006371	0,006371	0,007552	0,007874	0,000812	0,001811	0,001811
17	0,142878	0,142857	0,001307	0,002780	0,002780	0,007547	0,007874	0,000617	0,000790	0,000790
18	0,144747	0,142857	0,007118	0,024375	0,024375	0,007645	0,007874	0,003362	0,006928	0,006928
19	0,144038	0,142857	0,008207	0,020152	0,020152	0,007608	0,007874	0,003876	0,005727	0,005727
20	0,143237	0,142857	0,016245	0,019304	0,019304	0,007566	0,007874	0,007673	0,005487	0,005487
21	0,143237	0,142857	0,006367	0,012219	0,012219	0,007566	0,007874	0,003007	0,003473	0,003473
22	0,143194	0,142857	0,009103	0,013612	0,013612	0,007563	0,007874	0,004300	0,003869	0,003869
23	0,143745	0,142857	0,031279	0,035111	0,035111	0,007592	0,007874	0,014774	0,009979	0,009979
24	0,142862	0,142857	0,002518	0,002801	0,002801	0,007546	0,007874	0,001189	0,000796	0,000796
25	0,158650	0,142857	0,049896	0,067459	0,067459	0,008380	0,007874	0,023567	0,019173	0,019173
26	0,430202	0,428571	0,200891	0,215082	0,215082	0,088413	0,090904	0,108224	0,089925	0,089925
27	0,142922	0,142857	0,003389	0,005471	0,005471	0,007549	0,007874	0,001601	0,001555	0,001555
28	0,169942	0,142857	0,001937	0,018507	0,018507	0,008976	0,007874	0,000915	0,005260	0,005260
29	0,142890	0,142857	0,001065	0,003247	0,003247	0,007547	0,007874	0,000503	0,000923	0,000923
30	0,142878	0,142857	0,000581	0,002522	0,002522	0,007547	0,007874	0,000274	0,000717	0,000717
31	0,142905	0,142857	0,001549	0,003994	0,003994	0,007548	0,007874	0,000732	0,001135	0,001135
32	0,143237	0,142857	0,002155	0,010650	0,010650	0,007566	0,007874	0,001018	0,003027	0,003027
33	0,142989	0,142857	0,001792	0,006391	0,006391	0,007552	0,007874	0,000846	0,001816	0,001816
34	0,142905	0,142857	0,003631	0,005171	0,005171	0,007548	0,007874	0,001715	0,001470	0,001470
35	0,142922	0,142857	0,002566	0,005003	0,005003	0,007549	0,007874	0,001212	0,001422	0,001422
36	0,142941	0,142857	0,001501	0,005132	0,005132	0,007550	0,007874	0,000709	0,001459	0,001459
37	0,142922	0,142857	0,001598	0,004582	0,004582	0,007549	0,007874	0,000755	0,001302	0,001302
38	0,142941	0,142857	0,001525	0,005140	0,005140	0,007550	0,007874	0,000720	0,001461	0,001461
39	0,162050	0,142857	0,002857	0,010223	0,010223	0,008559	0,007874	0,001349	0,002906	0,002906
40	0,142878	0,142857	0,001719	0,002996	0,002996	0,007547	0,007874	0,000812	0,000852	0,000852
41	0,142878	0,142857	0,001549	0,002902	0,002902	0,007547	0,007874	0,000732	0,000825	0,000825
42	0,143047	0,142857	0,002929	0,007923	0,007923	0,007556	0,007874	0,001384	0,002252	0,002252
43	0,142964	0,142857	0,000484	0,005543	0,005543	0,007551	0,007874	0,000229	0,001575	0,001575
44	0,142890	0,142857	0,000654	0,003136	0,003136	0,007547	0,007874	0,000309	0,000891	0,000891
45	0,143194	0,142857	0,005229	0,011122	0,011122	0,007563	0,007874	0,002470	0,003161	0,003161
46	0,147371	0,142857	0,030674	0,047445	0,047445	0,007784	0,007874	0,014488	0,013485	0,013485
47	0,142905	0,142857	0,003704	0,005222	0,005222	0,007548	0,007874	0,001750	0,001484	0,001484
48	0,145385	0,142857	0,009805	0,028719	0,028719	0,007679	0,007874	0,004631	0,008162	0,008162
49	0,142941	0,142857	0,059652	0,059854	0,059854	0,007550	0,007874	0,028176	0,017011	0,017011
50	0,320583	0,285714	0,144991	0,205353	0,205353	0,061458	0,061982	0,038175	0,035026	0,035026
51	0,286612	0,285714	0,143902	0,154309	0,154309	0,054946	0,061982	0,037888	0,026319	0,026319
52	0,148485	0,142857	0,165037	0,526882	0,526882	0,028466	0,030991	0,043453	0,089867	0,089867
53	0,143332	0,142857	0,063284	0,064348	0,064348	0,007571	0,007874	0,029891	0,018289	0,018289
54	0,152018	0,142857	0,010265	0,054997	0,054997	0,008029	0,007874	0,004848	0,015631	0,015631
55	0,143961	0,142857	0,013315	0,022222	0,022222	0,007604	0,007874	0,006289	0,006316	0,006316
56	0,143283	0,142857	0,035201	0,036892	0,036892	0,007568	0,007874	0,016626	0,010485	0,010485
57	0,470380	0,428571	0,015809	0,194509	0,194509	0,096670	0,090904	0,008517	0,081324	0,081324
58	0,148348	0,142857	0,210889	0,214647	0,214647	0,028439	0,030991	0,055526	0,036611	0,036611
59	0,617446	0,142857	0,178158	0,626673	0,626673	0,063081	0,027027	0,029725	0,071253	0,071253
60	0,143047	0,142857	0,089987	0,109081	0,109081	0,007556	0,007874	0,042504	0,031002	0,031002
61	1,014680	1,000000	0,639326	0,662165	0,662165	0,103664	0,189187	0,106670	0,075289	0,075289
62	0,157849	0,142857	0,135937	0,151614	0,151614	0,008337	0,007874	0,064207	0,043091	0,043091
63	0,149867	0,142857	0,222825	0,227859	0,227859	0,028731	0,030991	0,058668	0,038864	0,038864
64	0,287969	0,285714	0,199463	0,202697	0,202697	0,055206	0,061982	0,052517	0,034573	0,034573
65	0,315983	0,285714	0,292694	0,322797	0,322797	0,060576	0,061982	0,077064	0,055057	0,055057
66	0,142941	0,142857	0,032368	0,038876	0,038876	0,007550	0,007874	0,015289	0,011049	0,011049
67	0,345968	0,285714	0,271292	0,335272	0,335272	0,066325	0,061982	0,071429	0,057185	0,057185
68	0,571659	0,428571	1,000000	1,090526	1,090526	0,058403	0,081080	0,166847	0,123994	0,123994
69	0,147627	0,142857	0,006416	0,135429	0,135429	0,007797	0,007874	0,003030	0,038491	0,038491

Çizelge 4.21. TAB'ların grup içi uzaklık hesapları ve çekim olasılıkları (devam)

TAB No	Uzaklık Hesapları (D_{TAB})					Çekim Olasılıkları (P_{TAB})				
	EI	EO	EH	ED	D	EI	EO	EH	ED	D
70	0,290076	0,285714	0,300973	0,337250	0,337250	0,055610	0,061982	0,079244	0,057523	0,057523
71	0,288656	0,285714	0,060354	0,073039	0,073039	0,015246	0,015748	0,028507	0,020759	0,020759
72	0,522678	0,142857	0,547128	0,266227	0,266227	0,049387	0,019952	0,070999	0,049035	0,049035
73	0,326236	0,285714	0,221251	1,032721	1,032721	0,062542	0,061982	0,058254	0,176144	0,176144
74	0,290109	0,285714	0,294655	0,298951	0,298951	0,055616	0,061982	0,077581	0,050990	0,050990
75	0,434565	0,428571	0,248947	0,260578	0,260578	0,089309	0,090904	0,134113	0,108947	0,108947
76	0,142862	0,142857	0,000944	0,001548	0,001548	0,007546	0,007874	0,000446	0,000440	0,000440
77	0,142905	0,142857	0,001525	0,003984	0,003984	0,007548	0,007874	0,000720	0,001132	0,001132
78	0,142905	0,142857	0,001670	0,004042	0,004042	0,007548	0,007874	0,000789	0,001149	0,001149
79	0,143047	0,142857	0,001864	0,007594	0,007594	0,007556	0,007874	0,000880	0,002158	0,002158
80	0,142862	0,142857	0,003220	0,003446	0,003446	0,007546	0,007874	0,001521	0,000979	0,000979
81	0,146243	0,142857	0,020893	0,039935	0,039935	0,007724	0,007874	0,009868	0,011350	0,011350
82	0,142941	0,142857	0,003680	0,006134	0,006134	0,007550	0,007874	0,001738	0,001743	0,001743
83	0,142890	0,142857	0,003583	0,004717	0,004717	0,007547	0,007874	0,001692	0,001341	0,001341
84	0,143552	0,142857	0,001283	0,014169	0,014169	0,007582	0,007874	0,000606	0,004027	0,004027
85	0,143016	0,142857	0,003147	0,007446	0,007446	0,007554	0,007874	0,001487	0,002116	0,002116
86	0,142862	0,142857	0,001186	0,001707	0,001707	0,007546	0,007874	0,000560	0,000485	0,000485
87	0,143332	0,142857	0,004818	0,012613	0,012613	0,007571	0,007874	0,002276	0,003585	0,003585
88	0,144649	0,142857	0,001792	0,022770	0,022770	0,007640	0,007874	0,000846	0,006472	0,006472
89	0,145738	0,142857	0,005302	0,029318	0,029318	0,007698	0,007874	0,002504	0,008333	0,008333
90	0,142922	0,142857	0,003656	0,005640	0,005640	0,007549	0,007874	0,001727	0,001603	0,001603
91	0,158035	0,142857	0,002058	0,007055	0,007055	0,008347	0,007874	0,000972	0,002005	0,002005
92	0,190709	0,169963	0,181378	0,304575	0,304575	0,036560	0,036871	0,047756	0,051949	0,051949
93	0,143080	0,142857	0,016801	0,018598	0,018598	0,007557	0,007874	0,007936	0,005286	0,005286
94	0,143886	0,142857	0,044860	0,048037	0,048037	0,007600	0,007874	0,021189	0,013653	0,013653
95	0,143678	0,142857	0,173413	0,174090	0,174090	0,007589	0,007874	0,081909	0,049479	0,049479
96	0,462855	0,428571	0,251077	0,308798	0,308798	0,095123	0,090904	0,135261	0,129107	0,129107
97	1,538465	1,040016	1,177938	0,830729	0,830729	0,145367	0,145254	0,152857	0,153008	0,153008
98	1,022396	0,571429	0,530258	0,707072	0,707072	0,096604	0,079809	0,068810	0,130233	0,130233
99	0,995169	0,857143	0,571523	0,289010	0,289010	0,094032	0,119713	0,074165	0,053232	0,053232
100	0,142964	0,142857	0,039462	0,039846	0,039846	0,007551	0,007874	0,018639	0,011325	0,011325
101	0,143016	0,142857	0,016144	0,017747	0,017747	0,007554	0,007874	0,007753	0,005044	0,005044
102	1,144304	1,000000	0,740062	0,598933	0,598933	0,116907	0,189187	0,123477	0,068099	0,068099
103	0,456300	0,428571	0,339999	0,383054	0,383054	0,093776	0,090904	0,183165	0,160154	0,160154
104	0,487977	0,428571	0,646395	0,714975	0,714975	0,049854	0,081080	0,107849	0,081293	0,081293
105	0,579096	0,571429	0,154699	0,201463	0,201463	0,119012	0,121205	0,083340	0,084231	0,084231
106	0,159941	0,142857	0,166973	0,204265	0,204265	0,030662	0,030991	0,043963	0,034840	0,034840
107	0,144847	0,142857	0,237641	0,239595	0,239595	0,027768	0,030991	0,062569	0,040866	0,040866
108	0,575116	0,571429	0,194354	0,218573	0,218573	0,118195	0,121205	0,104703	0,091385	0,091385
109	1,160288	0,571429	1,108681	0,501273	0,501273	0,109633	0,079809	0,143870	0,092327	0,092327
110	1,112696	0,977116	0,606273	0,415974	0,415974	0,105137	0,136469	0,078674	0,076616	0,076616
111	0,579084	0,571429	0,747712	0,764885	0,764885	0,059162	0,108107	0,124754	0,086968	0,086968
112	0,143115	0,142857	0,004793	0,009836	0,009836	0,007559	0,007874	0,002264	0,002796	0,002796
113	0,147075	0,142857	0,001695	0,035010	0,035010	0,007768	0,007874	0,000800	0,009950	0,009950
114	0,144847	0,142857	0,136155	0,138241	0,138241	0,007651	0,007874	0,064310	0,039290	0,039290
115	0,143047	0,142857	0,004551	0,008655	0,008655	0,007556	0,007874	0,002150	0,002460	0,002460
116	0,179300	0,142857	0,193047	0,324697	0,324697	0,034373	0,030991	0,050828	0,055381	0,055381
117	1,567783	1,000000	1,082110	0,791267	0,791267	0,148137	0,139665	0,140422	0,145740	0,145740
118	0,163018	0,142857	0,005592	0,270252	0,270252	0,008610	0,007874	0,002641	0,076809	0,076809
119	0,436494	0,428571	0,110057	0,212443	0,212443	0,089706	0,090904	0,059290	0,088822	0,088822
120	0,304722	0,285714	0,196654	0,224315	0,224315	0,058417	0,061982	0,051778	0,038260	0,038260
121	0,143437	0,142857	0,125865	0,126523	0,126523	0,007576	0,007874	0,059450	0,035960	0,035960
122	0,585715	0,142857	0,687237	0,547165	0,547165	0,059839	0,027027	0,114664	0,062213	0,062213
123	0,183983	0,142857	0,062098	0,131628	0,131628	0,009718	0,007874	0,029331	0,037410	0,037410
124	0,145861	0,142857	0,098242	0,102561	0,102561	0,007704	0,007874	0,046403	0,029149	0,029149
125	0,148348	0,142857	0,060475	0,072500	0,072500	0,007836	0,007874	0,028565	0,020605	0,020605
126	0,142922	0,142857	0,082651	0,082763	0,082763	0,007549	0,007874	0,039039	0,023522	0,023522
127	0,437958	0,428571	0,113373	0,144868	0,144868	0,090007	0,090904	0,061077	0,060569	0,060569
128	0,144118	0,142857	0,039026	0,043413	0,043413	0,007612	0,007874	0,018433	0,012339	0,012339
129	0,960689	0,714286	0,724708	0,694864	0,694864	0,090774	0,099761	0,094043	0,127984	0,127984
130	0,581948	0,285714	0,674276	0,459523	0,459523	0,054987	0,039904	0,087498	0,084637	0,084637
131	0,632578	0,582522	0,035249	0,097932	0,097932	0,121270	0,126371	0,009281	0,016704	0,016704
132	1,121233	1,000000	0,683247	0,473365	0,473365	0,105943	0,139665	0,088663	0,087187	0,087187
133	0,582878	0,571714	0,227037	0,252419	0,252419	0,119790	0,121265	0,122310	0,105536	0,105536
134	0,708616	0,428571	0,522632	0,304392	0,304392	0,072395	0,081080	0,087200	0,034610	0,034610
135	0,311302	0,285714	0,176391	0,226335	0,226335	0,059679	0,061982	0,046443	0,038604	0,038604
136	0,454699	0,285714	0,150947	0,384583	0,384583	0,046454	0,054053	0,025185	0,043727	0,043727
137	0,382648	0,142857	0,142740	0,382471	0,382471	0,073356	0,030991	0,037582	0,065236	0,065236
138	1,160109	0,428571	0,279233	1,010524	1,010524	0,118522	0,081080	0,046589	0,114898	0,114898

Çizelge 4.21. TAB'ların grup içi uzaklık hesapları ve çekim olasılıkları (devam)

TAB No	Uzaklık Hesapları (D_{TAB})					Çekim Olasılıkları (P_{TAB})				
	EI	EO	EH	ED	D	EI	EO	EH	ED	D
139	0,142941	0,142857	0,003365	0,005951	0,005951	0,007550	0,007874	0,001589	0,001691	0,001691
140	0,143016	0,142857	0,003171	0,007457	0,007457	0,007554	0,007874	0,001498	0,002119	0,002119
141	0,145272	0,142857	0,014380	0,038259	0,038259	0,007673	0,007874	0,006792	0,010874	0,010874
142	0,156962	0,142857	0,046434	0,079907	0,079907	0,008291	0,007874	0,021932	0,022711	0,022711
143	0,145861	0,142857	0,015252	0,033163	0,033163	0,007704	0,007874	0,007204	0,009425	0,009425
144	0,142989	0,142857	0,003244	0,006940	0,006940	0,007552	0,007874	0,001532	0,001972	0,001972
145	0,142989	0,142857	0,011645	0,013162	0,013162	0,007552	0,007874	0,005500	0,003741	0,003741
146	0,152056	0,142857	0,020917	0,021979	0,021979	0,008031	0,007874	0,009880	0,006247	0,006247
147	0,142857	0,142857	0,004430	0,004430	0,004430	0,007546	0,007874	0,002093	0,001259	0,001259
148	0,144554	0,142857	0,050501	0,055119	0,055119	0,007635	0,007874	0,023853	0,015666	0,015666
149	0,142941	0,142857	0,003486	0,006020	0,006020	0,007550	0,007874	0,001647	0,001711	0,001711
150	0,290237	0,285714	0,017746	0,070527	0,070527	0,015330	0,015748	0,008382	0,020045	0,020045
151	0,169722	0,142857	0,041640	0,100449	0,100449	0,008965	0,007874	0,019668	0,028549	0,028549
152	0,144118	0,142857	0,017721	0,025995	0,025995	0,007612	0,007874	0,008370	0,007388	0,007388
153	0,147140	0,142857	0,010749	0,015856	0,015856	0,007772	0,007874	0,005077	0,004507	0,004507
154	0,143745	0,142857	0,038057	0,041265	0,041265	0,007592	0,007874	0,017976	0,011728	0,011728
155	0,149350	0,142857	0,017867	0,047834	0,047834	0,007888	0,007874	0,008439	0,013595	0,013595
156	0,143016	0,142857	0,005157	0,008493	0,008493	0,007554	0,007874	0,002436	0,002414	0,002414
157	0,147065	0,142857	0,005253	0,035320	0,035320	0,007768	0,007874	0,002481	0,010038	0,010038
158	0,142941	0,142857	0,004261	0,006499	0,006499	0,007550	0,007874	0,002013	0,001847	0,001847
159	0,147065	0,142857	0,010362	0,036431	0,036431	0,007768	0,007874	0,004894	0,010354	0,010354
160	0,142905	0,142857	0,000750	0,003757	0,003757	0,007548	0,007874	0,000354	0,001068	0,001068
161	0,142878	0,142857	0,002687	0,003639	0,003639	0,007547	0,007874	0,001269	0,001034	0,001034
162	0,142878	0,142857	0,002639	0,003604	0,003604	0,007547	0,007874	0,001246	0,001024	0,001024
163	0,142905	0,142857	0,003196	0,004875	0,004875	0,007548	0,007874	0,001509	0,001385	0,001385
164	0,142890	0,142857	0,001138	0,003272	0,003272	0,007547	0,007874	0,000537	0,000930	0,000930
165	0,143153	0,142857	0,003559	0,009867	0,009867	0,007561	0,007874	0,001681	0,002804	0,002804
166	0,142905	0,142857	0,002711	0,004572	0,004572	0,007548	0,007874	0,001281	0,001299	0,001299
167	0,142922	0,142857	0,001501	0,004549	0,004549	0,007549	0,007874	0,000709	0,001293	0,001293
168	0,143047	0,142857	0,000944	0,007422	0,007422	0,007556	0,007874	0,000446	0,002110	0,002110
169	0,142862	0,142857	0,003583	0,003787	0,003787	0,007546	0,007874	0,001692	0,001076	0,001076
170	0,143153	0,142857	0,003728	0,009929	0,009929	0,007561	0,007874	0,001761	0,002822	0,002822
171	0,142905	0,142857	0,003849	0,005326	0,005326	0,007548	0,007874	0,001818	0,001514	0,001514
172	0,147494	0,142857	0,009660	0,037943	0,037943	0,007790	0,007874	0,004563	0,010784	0,010784
173	0,143080	0,142857	0,010265	0,012999	0,012999	0,007557	0,007874	0,004848	0,003695	0,003695
174	0,142869	0,142857	0,001210	0,002203	0,002203	0,007546	0,007874	0,000572	0,000626	0,000626
175	1,042459	0,285756	0,401806	1,080218	1,080218	0,106502	0,054061	0,067040	0,122822	0,122822
201	1,421412	0,142873	0,000000	1,009959	1,009959	0,145218	0,027030	0,000000	0,114833	0,114833
202	0,482644	0,000000	0,000000	0,036810	0,036810	0,025493	0,000000	0,000000	0,010462	0,010462

Nüfus ölçeğinde üretilen yolculukların hangi TAB'lar tarafından çekileceği her bir yolculuk amacı için Hibrit RFM-RPM model ile payları hesaplanan grupların yolculuğu çekme olasılıkları (P_{GRUP}) (Bkz. Çizelge 4.20), grup içindeki TAB'ların yolculuk çekme olasılıkları (P_{TAB}) (Bkz. Çizelge 4.21) ve üretim modeline göre ilgili yolculuk amacı için TAB'lardan üretilen büyütülmüş toplam yolculuk sayıları (Bkz. Çizelge 4.8) çarpılarak hesaplanmıştır. Her bir TAB'dan nüfus ölçeğinde çekilecek yolculuk sayısının hesabı Denklem 4.50'de verilmiştir.

$$Y_{CEKIM}(i)_j = \left(\sum Y_{URETIM}(i)_j \right) \cdot P_{GRUP}(i)_j \cdot P_{TAB}(i)_j \quad (4.50)$$

Burada;

$i = \{TAB \text{ numaraları}\}$,

$Y_{URETIM}(i)_j$: j amacı için i TAB'ından üretilen büyütülmüş toplam yolculuk sayısı,

$Y_{CEKIM}(i)_j$: j amacı için i TAB'ından çekilen büyütülmüş toplam yolculuk sayısı.

Yolculuk çekim modeline göre TAB bazındaki yolculuk çekim tahminlerinin nüfus ölçeğinde büyütülmüş değerleri, TAB numaraları ve adları, Kümeleme Analizine göre TAB'ların ait oldukları grup (küme no) bilgileri Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4.22. TAB bilgileri ve TAB'lara çekilen büyütülmüş yolculuk tahminleri

TAB No	TAB Adı	Küme No	Amaçlarına göre yolculuk çekimleri					Toplam Yolculuk Çekimi
			EI	EO	EH	ED	D	
1	AYVACIK	2	99,8	100,8	0,4	24,5	1,4	226,8
2	YUKARIKALABAK	2	99,8	100,8	0,8	49,9	2,9	254,2
3	KARAMUSTAFA	2	99,8	100,8	0,2	12,3	0,7	213,7
4	KARATEPE	2	99,8	100,8	0,7	25,1	1,5	227,8
5	HARMANDALI	2	99,8	100,8	0,8	40,0	2,3	243,7
6	KAYACIK	2	99,8	100,8	0,4	24,7	1,4	227,0
7	MUSALAR	2	99,8	100,8	0,2	23,0	1,3	225,1
8	KARAÇAY	2	100,3	100,8	0,7	128,9	7,5	338,1
9	YUKARIILICA	2	99,8	100,8	0,4	15,3	0,9	217,1
10	KUYUCAK	2	99,8	100,8	1,3	42,4	2,5	246,7
11	ÇAMLICAKÖY	2	99,8	100,8	0,3	34,2	2,0	237,1
12	LÜTFİYE	2	99,8	100,8	0,2	7,6	0,4	208,8
13	AŞAĞILICA	2	99,8	100,8	0,8	40,8	2,4	244,6
14	SEKLİCE	2	99,8	100,8	0,4	40,4	2,3	243,7
15	DEMİRLİ	2	99,8	100,8	0,3	28,9	1,7	231,4
16	KARGIN	2	99,9	100,8	0,6	57,6	3,4	262,2
17	AKKAYA	2	99,8	100,8	0,4	25,2	1,5	227,6
18	YAHNİKAPAN	2	101,1	100,8	2,3	220,5	12,8	437,5
19	TÜRKMENTOKAT	2	100,6	100,8	2,7	182,3	10,6	396,9
20	KİREÇ	2	100,0	100,8	5,3	174,6	10,2	390,9
21	KARAHÖYÜK	2	100,0	100,8	2,1	110,5	6,4	319,9
22	GÜLPINAR	2	100,0	100,8	3,0	123,1	7,2	334,0
23	SEVİNÇ	2	100,4	100,8	10,2	317,6	18,5	547,4
24	KALKANLI	2	99,8	100,8	0,8	25,3	1,5	228,2
25	AKPINAR	2	110,8	100,8	16,2	610,3	35,5	873,6
26	VADİŞEHİR	1	1099,2	3633,6	189,1	2761,9	197,5	7881,3
27	YÖRÜKKARACAÖREN	2	99,8	100,8	1,1	49,5	2,9	254,1
28	İMİŞEHİR	2	118,7	100,8	0,6	167,4	9,7	397,3
29	KARAALAN	2	99,8	100,8	0,3	29,4	1,7	232,0
30	GÖKÇEKISIK	2	99,8	100,8	0,2	22,8	1,3	224,9
31	İNCESU	2	99,8	100,8	0,5	36,1	2,1	239,3
32	TAKMAK	2	100,0	100,8	0,7	96,3	5,6	303,5
33	MUSAÖZÜ	2	99,9	100,8	0,6	57,8	3,4	262,4
34	TURGUTLAR	2	99,8	100,8	1,2	46,8	2,7	251,3
35	TURGUTLAR	2	99,8	100,8	0,8	45,3	2,6	249,3
36	AŞAĞIKARTAL	2	99,8	100,8	0,5	46,4	2,7	250,2
37	YÖRÜKAKÇAYIR	2	99,8	100,8	0,5	41,5	2,4	245,0
38	YUKARIKARTAL	2	99,8	100,8	0,5	46,5	2,7	250,3
39	SÜPÜREN	2	113,2	100,8	0,9	92,5	5,4	312,7
40	BEHÇETİYE	2	99,8	100,8	0,6	27,1	1,6	229,8
41	ATALAN	2	99,8	100,8	0,5	26,3	1,5	228,8
42	NEMLİ	2	99,9	100,8	1,0	71,7	4,2	277,5
43	ÇANAKKIRAN	2	99,8	100,8	0,2	50,1	2,9	253,8
44	TAYCILAR	2	99,8	100,8	0,2	28,4	1,7	230,8
45	YAKAKAYI	2	100,0	100,8	1,7	100,6	5,9	308,9
46	GÜNDÜZLER	2	102,9	100,8	10,0	429,2	25,0	667,9
47	KOZLUBEL	2	99,8	100,8	1,2	47,2	2,7	251,8
48	BEYAZALTIN	2	101,5	100,8	3,2	259,8	15,1	480,4
49	AKÇAĞLAN	2	99,8	100,8	19,4	541,5	31,5	793,0
50	ALANÖNÜ	3	1693,3	2286,4	63,2	2286,8	191,7	6521,4
51	KUMLUBEL	3	1513,9	2286,4	62,7	1718,4	144,1	5725,5
52	ŞARHÖYÜK	3	784,3	1143,2	71,9	5867,3	492,0	8358,7
53	KARAPINAR	2	100,1	100,8	20,6	582,1	33,9	837,4
54	PAŞA	2	106,2	100,8	3,3	497,5	28,9	736,8

Çizelge 4.22. TAB bilgileri ve TAB'lara çekilen büyütülmüş yolculuk tahminleri (devam)

TAB No	TAB Adı	Küme No	Amaçlarına göre yolculuk çekimleri					Toplam Yolculuk Çekimi
			EI	EO	EH	ED	D	
55	ŞARKİYE	2	100,5	100,8	4,3	201,0	11,7	418,4
56	ORTA	2	100,1	100,8	11,4	333,8	19,4	565,4
57	AKCAMI	1	1201,9	3633,6	14,9	2497,7	178,6	7526,7
58	ÖMERAĞA	3	783,6	1143,2	91,9	2390,3	200,4	4609,4
59	ESKİBAĞLAR	5	7379,5	2109,5	210,4	17383,6	1637,7	28720,7
60	GÖZTEPE	2	99,9	100,8	29,3	986,8	57,4	1274,1
61	GÖKMEYDAN	5	12127,1	14766,6	754,9	18368,1	1730,5	47747,2
62	GÜLLÜK	2	110,2	100,8	44,2	1371,6	79,8	1706,6
63	TUNALI	3	791,6	1143,2	97,1	2537,4	212,8	4782,1
64	FATİH	3	1521,0	2286,4	86,9	2257,2	189,3	6340,9
65	BAHÇELİEVLER	3	1669,0	2286,4	127,6	3594,6	301,4	7979,0
66	CUNUDİYE	2	99,8	100,8	10,5	351,7	20,5	583,3
67	GÜNDOĞDU	3	1827,4	2286,4	118,2	3733,6	313,1	8278,6
68	EMEK	5	6832,3	6328,6	1180,8	30250,7	2849,9	47442,2
69	KARACAŞEHİR	2	103,1	100,8	2,1	1225,2	71,3	1502,4
70	GÜLTEPE	3	1532,2	2286,4	131,2	3755,6	314,9	8020,2
71	ZİNCİRLİKUYU	2	201,6	201,5	19,6	660,8	38,4	1122,0
72	FEVZİ ÇAKMAK	4	2428,6	2780,7	2827,5	4340,8	657,1	13034,7
73	ŞEKER	3	1723,2	2286,4	96,4	11500,3	964,3	16570,6
74	ERENKÖY	3	1532,4	2286,4	128,4	3329,1	279,1	7555,4
75	YILDIZTEPE	1	1110,4	3633,6	234,4	3346,1	239,3	8563,7
76	BULDUKPINARI	2	99,8	100,8	0,3	14,0	0,8	215,7
77	TANDIR	2	99,8	100,8	0,5	36,0	2,1	239,2
78	YARIMCA	2	99,8	100,8	0,5	36,6	2,1	239,8
79	KARADERE	2	99,9	100,8	0,6	68,7	4,0	274,0
80	BOZDAĞ	2	99,8	100,8	1,0	31,2	1,8	234,6
81	SATILMIŞOĞLU	2	102,1	100,8	6,8	361,3	21,0	592,0
82	AŞAĞIÇAĞLAN	2	99,8	100,8	1,2	55,5	3,2	260,5
83	YUKARIÇAĞLAN	2	99,8	100,8	1,2	42,7	2,5	246,9
84	DOĞANKAYA	2	100,3	100,8	0,4	128,2	7,5	337,1
85	KIRAVDAN	2	99,9	100,8	1,0	67,4	3,9	273,0
86	KAYAPINAR	2	99,8	100,8	0,4	15,4	0,9	217,3
87	KIZILINLER	2	100,1	100,8	1,6	114,1	6,6	323,2
88	YENİAKÇAYIR	2	101,0	100,8	0,6	206,0	12,0	420,4
89	KARAGÖZLER	2	101,8	100,8	1,7	265,2	15,4	484,9
90	YUSUFLAR	2	99,8	100,8	1,2	51,0	3,0	255,8
91	SARISUNGUR	2	110,4	100,8	0,7	63,8	3,7	279,4
92	ORHANGAZİ	3	1007,3	1360,1	79,0	3391,7	284,4	6122,6
93	SULTANDERE	2	99,9	100,8	5,5	168,3	9,8	384,2
94	DEDE	2	100,5	100,8	14,6	434,6	25,3	675,7
95	HUZUR	2	100,3	100,8	56,4	1574,9	91,6	1924,0
96	ÇANKAYA	1	1182,7	3633,6	236,4	3965,2	283,6	9301,5
97	BÜYÜKDERE	4	7148,4	20243,8	6087,5	13544,9	2050,5	49075,0
98	YENİDOĞAN	4	4750,5	11122,8	2740,3	11528,7	1745,3	31887,6
99	YENİKENT	4	4624,0	16684,2	2953,6	4712,3	713,4	29687,4
100	HAYRİYE	2	99,8	100,8	12,8	360,5	21,0	594,9
101	BOYACIOĞLU	2	99,9	100,8	5,3	160,6	9,3	375,9
102	BATIKENT	5	13676,3	14766,6	873,9	16614,1	1565,2	47496,1
103	ERTUĞRULGAZİ	1	1165,9	3633,6	320,1	4918,8	351,8	10390,1
104	ÇAMLICA	5	5832,1	6328,6	763,3	19833,1	1868,5	34625,5
105	AŞAĞISÖĞÜTÖNÜ	1	1479,7	4844,8	145,6	2587,0	185,0	9242,1
106	IHLAMURKENT	3	844,8	1143,2	72,8	2274,7	190,7	4526,2
107	ZAFER	3	765,1	1143,2	103,6	2668,1	223,7	4903,7
108	ESENTEPE	1	1469,5	4844,8	183,0	2806,7	200,7	9504,7
109	71EVLER	4	5391,2	11122,8	5729,6	8173,2	1237,3	31654,0
110	YEŞİLTEPE	4	5170,1	19019,4	3133,2	6782,4	1026,8	35131,8
111	ŞİRİNTEPE	5	6921,0	8438,1	882,9	21217,6	1998,9	39458,4
112	HASANBEY	2	100,0	100,8	1,6	89,0	5,2	296,4
113	KARACAHÖYÜK	2	102,7	100,8	0,6	316,7	18,4	539,2
114	YENİ	2	101,2	100,8	44,3	1250,6	72,7	1569,6
115	YASSIHÖYÜK	2	99,9	100,8	1,5	78,3	4,6	285,0
116	SÜMER	3	947,1	1143,2	84,1	3615,8	303,2	6093,4
117	ULUÖNDER	4	7284,6	19464,9	5592,2	12901,4	1953,1	47196,3
118	KANLIPINAR	2	113,9	100,8	1,8	2444,9	142,2	2803,5
119	SAZOVA	1	1115,3	3633,6	103,6	2728,0	195,1	7775,6
120	SÜTLÜCE	3	1609,5	2286,4	85,7	2497,9	209,4	6689,0
121	IŞIKLAR	2	100,2	100,8	40,9	1144,6	66,6	1453,1
122	KURTULUŞ	5	7000,2	2109,5	811,5	15178,1	1429,9	26529,3
123	MUSTAFAKEMALPAŞA	2	128,5	100,8	20,2	1190,8	69,3	1509,5
124	MAMURE	2	101,9	100,8	31,9	927,8	54,0	1216,4

Çizelge 4.22. TAB bilgileri ve TAB'lara çekilen büyütülmüş yolculuk tahminleri (devam)

TAB No	TAB Adı	Küme No	Amaçlarına göre yolculuk çekimleri					Toplam Yolculuk Çekimi
			EI	EO	EH	ED	D	
125	HACIALİBEY	2	103,6	100,8	19,7	655,9	38,1	918,1
126	HACİSEYİT	2	99,8	100,8	26,9	748,7	43,5	1019,7
127	CUMHURİYE	1	1119,1	3633,6	106,7	1860,2	133,0	6852,7
128	İHSANİYE	2	100,7	100,8	12,7	392,7	22,8	629,7
129	VİŞNELİK	4	4463,8	13903,5	3745,2	11329,6	1715,1	35157,2
130	KIRMIZITOPRAK	4	2704,0	5561,4	3484,6	7492,4	1134,2	20376,6
131	GAZİPAŞA	3	3341,3	4661,6	15,4	1090,6	91,4	9200,2
132	AKARBAŞI	4	5209,7	19464,9	3531,0	7718,1	1168,4	37092,1
133	OSMANGAZİ	1	1489,4	4847,2	213,7	3241,3	231,8	10023,4
134	HOŞNUDİYE	5	8469,1	6328,6	617,1	8443,7	795,5	24654,0
135	DELİKLİTAŞ	3	1644,3	2286,4	76,9	2520,4	211,3	6739,4
136	ARİFİYE	5	5434,4	4219,0	178,2	10668,1	1005,0	21504,9
137	İSTİKLAL	3	2021,1	1143,2	62,2	4259,2	357,1	7842,8
138	75.YIL	5	13865,2	6328,6	329,7	28031,5	2640,8	51195,8
139	GÖKDERE	2	99,8	100,8	1,1	53,8	3,1	258,7
140	ÇAVLUM	2	99,9	100,8	1,0	67,5	3,9	273,1
141	ORTA KÖYÜ	2	101,5	100,8	4,7	346,1	20,1	573,2
142	EMİRLER	2	109,6	100,8	15,1	722,9	42,0	990,4
143	AĞAPINAR	2	101,9	100,8	5,0	300,0	17,4	525,1
144	DANIŞMENT	2	99,9	100,8	1,1	62,8	3,7	268,1
145	KIZILCAÖREN	2	99,9	100,8	3,8	119,1	6,9	330,4
146	CUMHURİYET	2	106,2	100,8	6,8	198,8	11,6	424,2
147	AHİLER	2	99,8	100,8	1,4	40,1	2,3	244,4
148	ÇUKURHİSAR YENİ	2	101,0	100,8	16,4	498,7	29,0	745,8
149	ALINCA	2	99,8	100,8	1,1	54,5	3,2	259,4
150	YUKARISÖĞÜTÖNÜ	2	202,7	201,5	5,8	638,0	37,1	1085,2
151	HİSAR	2	118,5	100,8	13,5	908,7	52,9	1194,4
152	KESKİN	2	100,7	100,8	5,8	235,2	13,7	456,0
153	KOZKAYI	2	102,8	100,8	3,5	143,4	8,3	358,8
154	KOYUNLAR	2	100,4	100,8	12,4	373,3	21,7	608,6
155	SAKİNTEPE	2	104,3	100,8	5,8	432,7	25,2	668,8
156	EMİRCEOĞLU	2	99,9	100,8	1,7	76,8	4,5	283,6
157	EĞRİÖZ	2	102,7	100,8	1,7	319,5	18,6	543,3
158	AVLAMIŞ	2	99,8	100,8	1,4	58,8	3,4	264,2
159	ULUDERE	2	102,7	100,8	3,4	329,6	19,2	555,6
160	KARAÇOBANPINARI	2	99,8	100,8	0,2	34,0	2,0	236,8
161	TEKECİLER	2	99,8	100,8	0,9	32,9	1,9	236,3
162	ATALANTEKKE	2	99,8	100,8	0,9	32,6	1,9	235,9
163	SULUKARAAĞAÇ	2	99,8	100,8	1,0	44,1	2,6	248,3
164	BEKTAŞPINARI	2	99,8	100,8	0,4	29,6	1,7	232,3
165	KAVACIK	2	100,0	100,8	1,2	89,3	5,2	296,4
166	GÜMELE	2	99,8	100,8	0,9	41,4	2,4	245,2
167	EŞENKARA	2	99,8	100,8	0,5	41,2	2,4	244,6
168	ULUÇAYIR	2	99,9	100,8	0,3	67,1	3,9	272,0
169	AVDAN	2	99,8	100,8	1,2	34,3	2,0	238,0
170	YENİSOFÇA	2	100,0	100,8	1,2	89,8	5,2	297,0
171	YÖRÜKKIRKA	2	99,8	100,8	1,3	48,2	2,8	252,8
172	KARAPAZAR	2	103,0	100,8	3,1	343,3	20,0	570,1
173	HEKİMDAĞ	2	99,9	100,8	3,3	117,6	6,8	328,5
174	AKÇAKAYA	2	99,8	100,8	0,4	19,9	1,2	222,0
175	YENİBAĞLAR	5	12459,1	4219,7	474,5	29964,7	2823,0	49940,9
201	EOSB	5	16988,2	2109,8	0,0	28015,8	2639,4	49753,1
202	İ.ÜS	2	337,1	0,0	0,0	333,0	19,4	689,5
Toplam			219367,2	307080,0	50992,6	460325,2	45907,6	1083672,6

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelişen teknoloji ve büyüyen ekonomi ile birlikte artan nüfus ve hareketlilik, kaynakların kısıtlı olduğu dikkate alındığında sürdürülebilir ve etkin ulaştırma planlamasına olan ihtiyacı beraberinde getirmektedir. Bu durumda, iyi bir planlama yapabilmek için, şehrin ve ulaştırma sisteminin mevcut yapısı ile yapılan yolculuklar değerlendirilerek gelecekte yaşanacak kent yapısındaki değişikliğin veya alternatif politikaların ulaştırma sisteminde ve bireylerin tercihlerinde meydana getireceği sonuçların kestirimi için tahmin modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla tez çalışması kapsamında, KTM yöntemlerinden RFM ÇTL ve K-RPM modelleri kullanılarak yolculuk üretim ve çekim modelleri geliştirilmiştir.

Yolculuk üretim modelinde, 2015 yılında EUAP kapsamında yapılan hane halkı anketinden alınan, bireylerin gerçek tercihlerine ait veri seti kullanılarak ev tabanlı iş, ev tabanlı okul, ev tabanlı hastane, ev tabanlı diğer ve ev tabanlı olmayan diğer yolculuk amaçları ile yolculuk yapmama durumunun seçenek kümesini oluşturduğu RFM ÇTL model kullanılmıştır. Burada bireysel düzeydeki tercihlerden ziyade birikimli paylara bakılarak TAB bazında yolculuk amaçlarına göre üretilen yolculuk sayılarının bulunması amaçlanmıştır. Veri ve nüfus bulunan TAB'lardan yolculuk amaçlarına göre üretilen yolculuklar, TAB nüfusunun TAB'ın örnekleme oranlanmasıyla her bir TAB için hesaplanan büyütme faktörleriyle çarpılarak veri bulunan TAB'ların nüfus ölçeğinde amaçlarına göre ürettikleri toplam yolculuk tahminleri yapılmıştır. Veri bulunmayan TAB'lardan üretilen yolculukların tahmin edilebilmesi için TAB'lar arazi kullanımı ve nüfus verilerine göre Kümeleme Analizi kullanılarak üretim potansiyellerine göre gruplandırılmıştır. Buna göre veri bulunmayan TAB'ların nüfusları, aynı grupta veri bulunan TAB'lar için hesaplanan yolculuk amaçlarına göre bulunan ortalama hareketlilik değerleri ile çarpılarak veri bulunmayan TAB'ların nüfus ölçeğinde amaçlarına göre ürettikleri toplam yolculuk tahminleri yapılmıştır. Anket verisi bulunan ancak nüfus bulunmayan TAB'lardan üretilen büyütülmüş yolculuklar ise veri bulunan TAB'lardan nüfus ölçeğinde amaçlarına göre üretilen yolculukların ortalama büyütme faktörleri ile nüfus bulunmayan TAB'lardan üretilen yolculuk sayısı çarpılarak hesaplanmıştır.

Yolculuk üretim modelinde, veri bulunmayan TAB'lardan üretilcek yolculukların tespit edilebilmesi için üretim potansiyellerine göre yapılan Kümeleme Analizi sonucunda; aynı grupta veri bulunan TAB'lardan elde edilen ortalama hareketliliğin veri bulunmayan TAB'lardaki hareketlilik ile aynı olduğu varsayılmıştır. Burada Doğrusal Regresyon Analizi ile nüfusa göre yolculuk sayılarının modellenenebilmesi mümkündür. Ancak sabit terim kullanılarak oluşturulacak Doğrusal Regresyon Modeli ile yapılan tahminlerde, nüfusun görece küçük olması durumunda bazı TAB'larda negatif yolculuk sayıları gözlemlenebilmektedir. Bu durumun önüne geçilmesi amacıyla, sabit terimin kaldırılması durumunda ise ortalama hareketliliğe göre yapılan tahminlerin, Doğrusal Regresyon Analiz sonuçları ile kıyaslandığında daha tutarlı olduğu görülmüştür.

Yolculuk çekim modelinde, hane halkı anket verisindeki bireylerin yaptıkları yolculuklara ait mesafe ve yolculuğun çekildiği ilgili TAB'ın nüfus ve arazi kullanımı değişkenleri kullanılarak yolculuğun çekildiği TAB'ların seçim kümesini oluşturması yerine çekim potansiyellerine göre Kümeleme Analizi ile oluşturulan beş TAB grubunun seçenek kümesini oluşturduğu Hibrit RFM-RPM model geliştirilmiştir. Bunun nedeni hem gelecekte oluşturulabilecek yeni bir TAB'a çekilecek yolculukların tahminlerinde hem de çok fazla sayıdaki TAB için ayrı ayrı fayda ve pişmanlık fonksiyonlarının oluşturulması ve model parametrelerinin hesaplanması sırasında yaşanacak sorunların önüne geçmektir. Hibrit modelin fayda bileşenini RFM ÇTL model, pişmanlık bileşenini K-RPM model oluşturmaktadır. Burada bağımsız değişken olarak kullanılan yolculuk mesafesi, aynı grupta herhangi bir noktaya hem yakın hem de uzak olabilecek TAB'ların bulunması ve seçeneklere özgü değişkenlerin birbirlerine göre kıyaslanamaması nedeniyle modele fayda olarak katılmıştır. Ancak arazi kullanımı verilerinden oluşan diğer bağımsız değişkenler, yolculuk yapılan gruplar arasında kıyaslanabileceği için modelin pişmanlık bileşenine dahil edilmiştir. Üretim modelinden farklı olarak herhangi bir TAB veya TAB'ın ait olduğu grup, herhangi bir amaç için fazla miktarda yolculuk çekebilecekken, başka bir yolculuk amacı için daha az tercih edilebileceği dikkate alınarak her bir yolculuk amacı için farklı bir çekim modeli geliştirilmiştir. Yolculuk amaçlarına göre TAB gruplarına çekilme olasılıklarının bulunduğu çekim modelinde, her bir TAB'a çekilen yolculuklar tespit edilememektedir. Bunun için TAB'lara ait özelliklere göre grup içi uzaklık hesapları yapılarak TAB'lar çekim potansiyellerine göre olasılıklandırılmıştır. Amaçlarına göre üretilen toplam yolculuk sayıları ile modelden hesaplanan gruplara çekilme olasılıkları ve grup içi çekim olasılıkları

çarpılarak toplam yolculuk çekimleri hesaplanmıştır. Böylece, yolculuk üretim ve çekim sayıları birbirine eşit olacak şekilde elde edileceği için ilave dengeleme süreçlerine ihtiyaç bulunmamaktadır.

DAM'ın aşamalarında ÇTL dahil olmak üzere birçok tekniğin kullanıldığı görüldü de genellikle ÇTL tür tercihi ve güzergâh tercihi hesaplamaları için kullanılmaktadır. Buna karşılık, yolculuk üretim ve çekim modellerinde ÇTL'nin çıktı olarak doğrudan yolculuk sayıları yerine olasılık vermesi nedeniyle fazla tercih edilmediği görülmektedir. Ancak her bir satırdaki yolculuk verisine göre elde edilecek seçim kümesindeki elemanların payları toplanarak toplam yolculuk sayısı elde edilebilir. Ayrıca yolculuk üretim ve çekim modellerinin ayrık düzeylerde tahmin edilmesi sayesinde KTM'ler bireysel düzeydeki verilere göre kalibre edildiği için modellerin DAM'ın diğer aşamalarına aktarılabilmesini kolaylaştıracaktır. Böylece, geleneksel yöntemde olduğu gibi bütün aşamaların birbirinden bağımsız süreçler olarak değerlendirilmesinin yerine birbirini dinamik olarak etkileyen modeller şeklinde kurulabilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca, 2008 yılında temel yaklaşımı önerilen RPM modelleri ile hali hazırda çok sınırlı sayıda çalışma olması nedeniyle tez çalışmasında önerilen modellerin literatüre katkısı oldukça fazla olacaktır.

Literatürdeki sınırlı sayıdaki çalışmalarda, her bir yolculuk amacı için ayrı ayrı yolculuk sıklığına göre üretim ve çekim modeli tasarımı yapıldığı görülmüştür. Ancak hiçbir amaca ait veri setine dahil edilerek tahmin edilemeyeceği için TAB'larda ikamet eden ancak yolculuk yapmayanların payları mevcut modeller ile hesaplanamamaktadır. Tez çalışması kapsamında, eş zamanlı olarak yolculuk amaçlarına göre önerilen yolculuk üretim modeli sayesinde ilgili TAB'larda ikamet eden hane halkının sosyoekonomik özelliklerindeki değişimin yolculuk yapmama üzerindeki etkisi de gözlenebilmektedir. Zorunlu ve isteğe bağlı yolculukların birlikte değerlendirildiği yolculuk amaçlarına göre fayda fonksiyonu tasarımı uygulaması çok fazla görülme de tez çalışmasında önerilen yolculuk üretim modelinin performansı bu tasarımın matematiksel olarak yapılabilir olduğunu göstermektedir.

Yolculuk üretim modelindeki parametre tahmin sonuçlarına göre çıkarımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir. Buradaki amacın bireysel tercihlerden ziyade bütün bireylerin

yolculuk davranışlarından elde edilen birikimli sonuçlara göre yolculuk yapmayanların ve amaçlarına göre yapılan yolculukların paylarının hesaplanması olduğu unutulmamalıdır:

- Özel otomobil sahipliği arttıkça ev tabanlı iş (*EI*) ve hastane (*EH*) yolculuklarının (katsayıları sırasıyla 0,0576 ve 0,0256) paylarının arttığı; ev tabanlı okul (*EO*), ev tabanlı olan ve olmayan diğer (*ED* ve *D*) yolculukların (katsayıları sırasıyla -0,1328, -0,0651 ve -0,1264) paylarının ise azaldığı görülmüştür. Anket verisine göre *EO* yolculuklarının çoğunun henüz ehliyet sahibi olmayan öğrenciler, *ED* ve *D* yolculuklarının büyük bir kısmının da araç sahibi olmayan bireyler tarafından eğlence ve rekreasyon amaçlı yapıldığı düşünüldüğünde sonuçlar tutarlıdır.
- Ev sahipliği arttığında; *EI* yolculuklarının (katsayısı 0,1077) artacağı, *EO* ve *EH* yolculuklarının (katsayıları sırasıyla -0,1140 ve -0,1794) azalacağı görülmektedir. Çalışma bölgesinde, farklı şehirlerden öğrenci olarak gelen ve kiralık evlerde ve yurtlarda ikamet eden öğrencilerin oldukça fazla sayıda olması, ev sahibi olmayan düşük gelirli bireylerin hastaneye gitme olasılıklarının da daha fazla olması durumu model sonucunu desteklemektedir.
- Aylık gelirdeki artış, eğlence ve alışveriş amaçlı yolculukları içeren *ED* ve *D* yolculukları ile *EI* yolculuklarının (katsayıları sırasıyla 0,0227, 0,0790 ve 0,0577) paylarını artırırken genellikle düşük gelire sahip bireyler tarafından yapılan *EH* yolculuklarının (katsayısı -0,0222) paylarını azaltmaktadır. Gelir değişkeninin *EO* yolculukları (katsayısı 0,0072) üzerindeki etkisinin diğerlerine kıyasla daha az olduğu görülmüştür.
- Bireylerin yaşlarının artmasıyla *EH* yolculuklarının (katsayısı 0,0065) paylarının arttığı, diğer bütün amaçlar için yolculukların paylarının azaldığı görülmüştür. En büyük negatif etkinin *EO* yolculuklarında (katsayısı -0,1600) olması durumu, TAB bazında değerlendirildiğinde zorunlu eğitim yaşındaki birey sayısının artması ile okul yolculuğu paylarının azalması bekleneceğinden anlamlıdır.
- Kategorik değişken olarak tanımlanan çalışma durumu (*meslek*) değişkeni incelendiğinde, çalışanların en küçük değer (1) ile temsil edildiği dikkate alındığında,

değişken değeri azaldıkça, bölgesel olarak düşünüldüğünde istihdam arttıkça, *EI* yolculuğu yapma (katsayısı -2,6416) olasılığının arttığı görülmektedir. Yaşın artmasıyla çalışmayan bireylerin sayısının arttığı dikkate alındığında iş yerinden yapılabilen yolculukları da içeren *D* yolculuklarının (katsayısı -0,6295) payı azalmaktadır. Öğrenci olma durumunun değişkenin ortanca değeri (2) ile ifade edildiği göz önüne alındığında *EO* yolculuklarının (katsayısı -0,3749) *EI* yolculuklarına göre daha az ancak yine negatif yönde etkilendiği görülmüştür. *EH* ve *ED* yolculuklarının (katsayıları sırasıyla -0,0233 ve 0,0040) ise çalışma durumundan diğerlerine göre çok fazla etkilenmediği gözlemlenmiştir.

- Ehliyet sahipliği, diğer motorlu araç sayısı ve ailedeki kişi sayısı yalnızca yolculuk yapmama (*YOK*) seçeneğinin fayda fonksiyonlarında tanımlanmış ve ehliyet sahipliğinin (katsayısı -0,4939) azalmasıyla yolculuk yapmama olasılığının arttığı görülmüştür. Öte yandan, diğer motorlu araç sayısı ve ailedeki kişi sayısı (katsayıları sırasıyla 0,1654 ve 0,1020) arttıkça, yolculuk yapmama olasılığının arttığı gözlemlenmiştir. Anket çalışması sırasında, yalnızca rekreasyon ve spor amacıyla kullanılan bisiklet ve skuter gibi araçlar ile yolculuk sayıları az olan bedensel engelli bireylere ait elektrikli araçların da diğer motorlu araç olarak kaydedilmiş olma ihtimali göz önüne alındığında, diğer araç sahipliği arttıkça yolculuk yapmama paylarının artması anlamlıdır. Kişi sayısı fazla olan hanelerin gelir düzeyinin düşük olduğu ve yaşı küçük bireylere bakabilmek amacıyla hanedeki yaşı büyük olan bireylerin de yolculuk sayılarının azalabileceği dikkate alındığında, modele göre hanedeki birey sayısı arttıkça yolculuk yapmama olasılığının artış göstermesi tutarlıdır.

Yolculuk çekim modelindeki parametre tahmin sonuçlarına göre çıkarımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yolculuk amaçlarına göre oluşturulan modellere bakıldığında mesafenin artmasıyla yolculuğun çekilme olasılığının her zaman ters ilişkili olmadığı ortaya konulmuştur. Yani gelişmiş bir sanayi bölgesi, geniş olanaklara sahip bir hastane, iyi bir okul veya talep gören bir eğlence merkezine yapılacak yolculukların mesafeden bağımsız olabileceği hatta bireylerin herhangi bir amaç için bu bölgelere fazladan mesafe kat

etmeyi göze alarak gitmeyi tercih ettiği görülmüştür (Bkz. Çizelge 4.10, 4.12, 4.14, 4.16 ve 4.18).

- Bölgedeki iş yeri sayısı, endüstri alanı, eğlence merkezi sayısı veya okul sayısı (katsayıları sırasıyla 1,8490, 10,0399 ve 0,9084) arttıkça bölgenin *EI* yolculuklarını çekme olasılığının artacağı görülmüştür. Ancak, kampüs alanlarının olduğu bölgelere (katsayısı -0,4298) daha az iş yolculuğu yapıldığı sonucuna varılmıştır. Katsayıların büyüklüğü incelendiğinde *EI* yolculuklarının çekim olasılığı üzerindeki etkisi en büyük olan değişkenin eğlence merkezi sayısı olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, eğlence merkezlerinin yaygın olarak bulunduğu bölgenin aynı zamanda merkezi iş alanı içerisinde yer almasıdır.
- Bölgedeki kampüs alanlarının veya okul sayılarının (katsayıları sırasıyla 1,5654 ve 1,6567) artmasıyla *EO* yolculuklarının çekilme olasılığının da artacağı görülmüştür. Birçok okulun merkezden uzakta bulunması ve bunların zorunlu yolculuklar olması dikkate alındığında mesafe ile yolculuk çekiminin ters ilişkili olmadığı görülmüştür.
- Hastanelerin büyük çoğunluğunun merkezden uzakta yer aldığı dikkate alındığında hastane yolculuğunun çekilme olasılığı ile mesafe doğru orantılı çıkmıştır. Bunun nedeni, acil durumlar hariç olmak üzere *EH* yolculuklarında bireylerin hastaneye olan mesafeden ziyade alacakları hizmetin kalitesi ve hastanenin olanaklarını dikkate alarak tercih yapmaları olabilir. Bölgedeki nüfus (katsayısı 1,6169) arttıkça hastane yolculuğunun arttığı görülmüştür. Burada, aile sağlığı merkezlerine yapılan yolculukların da hastane yolculuğu olarak kaydedildiği ve bu sağlık merkezlerindeki personel sayıları ve olanakların genellikle bulundukları mahallenin nüfusu ile doğru orantılı olarak artması durumu dikkate alındığında nüfusu fazla olan bölgelerin *EH* yolculuğu çekme olasılığı daha fazladır. Katsayıların büyüklüğü ve işareti değerlendirildiğinde bölgenin *EH* yolculuklarını çekme olasılığı üzerindeki en büyük etkiyi hastane sayısı değişkeninin (katsayısı 28,7486) yarattığı söylenebilir.
- Diğer yolculuk amaçları (*ED* ve *D*) olarak nitelendirilen; spor merkezleri, rekreasyon alanları, şehrin dış bölgelerindeki mesire alanları ve parklara gitme amacıyla gerçekleştirilen yolculuklar için bazı bölgelerde yolculuk çekimi ile mesafenin ters

ilişkili olmadığı görülmüştür. *ED* ve *D* yolculukları için bölgedeki nüfus (katsayıları sırasıyla 1,6768 ve 0,2327), kamu/özel iş yeri sayısı (katsayıları sırasıyla 0,4593 ve 1,3987), park alanı (katsayıları sırasıyla 0,2808 ve 0,5369) veya eğlence merkezi sayısı (katsayıları sırasıyla 10,6290 ve 12,4491) arttıkça bölgeden çekilecek yolculukların artacağı görülmüştür. Pişmanlık bileşenindeki katsayıların büyüklüğü ve işareti değerlendirildiğinde bölgenin *ED* ve *D* yolculukları çekme olasılığı üzerindeki en büyük etkiyi eğlence merkezi sayısı değişkeninin yarattığı söylenebilir. Ev tabanlı olması nedeniyle *ED* yolculukları için nüfus değişkeninin etkisinin *D* yolculuklarına göre, iş yerinden yapılan yolculukları içeren *D* yolculukları için kamu/özel iş yeri sayısı değişkeninin etkisinin ise *ED* yolculuklarına göre daha fazla olduğu görülmüştür.

RFM ve RPM modellerinin yolculuk üretim ve çekim modellerinde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu tez çalışması kapsamında, çalışma bölgesi olan Eskişehir için temin edilebilen arazi kullanımı ve hane halkı anketi verileri kullanılmıştır. Gelecek çalışmalarda mevcut verilere ek olarak hane halkı düzeyinde cinsiyet, yaşam tarzı, ulaştırma maliyetleri (toplu taşıma için bilet ücretleri veya bireysel araçlar için yakıt bedelleri) vb. değişkenler; bölgesel düzeyde otopark alanları, toplu taşıma olanakları, öğrenci sayıları, istihdam, hastane olanakları, öğretmen ve diğer personel sayıları vb. değişkenler kullanılarak modeller geliştirilebilir. Böylece veri setine farklı değişkenlerin dahil edilerek bağımsız değişkenlerin çeşitlendirilmesi ile ortaya çıkabilecek çoklu iç ilişki sorununa da çözüm aranabilir. Değişken sayısının artması ile fayda ve pişmanlık fonksiyonlarının tasarım aşamasında ve modelin açıklanması sırasında yaşanacak zorluğun önüne geçmek için makine öğrenmesi ve istatistiksel yöntemler kullanılıp, değişken seçimi (variable selection) işlemleri yapılarak modellerin daha kolay anlaşılması ve analiz edilebilmesi sağlanabilir. Böylece modelin gözlemlere göre örüntüye yeterince uymama durumu olarak nitelendirilen eksik öğrenme (underfitting) veya gereğinden fazla değişken kullanılmasıyla oluşabilecek örüntünün aşırı olarak yakalanmasını ifade eden aşırı öğrenme (overfitting) durumunun meydana gelmesi ve hatalı kestirimler yapılması engellenebilir. Gelecekte büyük veri ile yapılacak çalışmalar için nüfus bulunan ancak veri bulunmayan TAB'lerden üretilecek yolculukların, tasarımcının müdahalesinin gerektiği Kümeleme Analizi kullanılarak ortalama hareketliliğe göre tahmin edilmesi yerine gelişmiş regresyon ve makine öğrenmesi teknikleri ile tahmin edildiği bir model yapısı oluşturulabilir. Benzer şekilde, yolculuk çekim

modelinde kullanılan çekim grupları, tasarımcının müdahalesinin gerekmediği bir yöntemle belirlenebilir. Böylece üretilen ve çekilen yolculuklar, bütünleşik ve objektif yapıya sahip yaklaşımlarla hesaplanabilir.

Literatürde ve uygulamada yolculuk talep tahmin modelleri için genellikle toplulaştırılmış ve sürekli verilerin kullanıldığı, farklı özelliklerdeki değişkenlerin kullanımının kısıtlandığı ve çoğunluğu deterministik olan yöntemlerin tercih edildiği görülmektedir. Bu yaklaşımlarla bireylerin tercihlerinden biri olan “yolculuk yapmama” durumunun modellenmesi de oldukça güçtür. Ayrık verilerle bireysel ve toplulaştırılmış verilerle bölgesel düzeyde daha doğru tahminlerin yapılabilmesine olanak tanıyan, sürekli ve süreksiz verilerin bir arada kullanabildiği, hem günümüz koşullarında hem de gelecekte kullanılacak büyük verinin daha hızlı ve doğru analiz edilebilmesi için yapay zekâ ve makine öğrenmesi tekniklerinin de bu yöntemlerin bir parçası olduğu dikkate alındığında yolculuk tahminlerinde KTM yöntemlerinin tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Agustin, I. W., Waloea, B. S., 2017, Trip Attraction Model of Land Use for Industrial Area, IPTEK Journal of Proceedings Series, Regional Conference in Civil Engineering.
- Agyemang-Duah, K., Anderson, W. P., Hall, F. L., 1995, Trip generation for shopping travel, Transportation Research Record, 1493.
- Akalın, K. B., 2016, Tramvay kaza şiddetine etki eden faktörlerin çok terimli lojit model yöntemi ile araştırılması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Allaman, P. M., Tardiff, T. J., Dunbar, F. C., 1982, New approaches to understanding travel behavior, NCHRP Report (250).
- Amavi, A. A., Romero, J. P., Dominguez, A., 2014, Advanced trip generation / attraction models, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 160: 430-439.
- Apollo, 2017, Apollo Choice Models: Example Files and Data, <http://www.apollochoicemodelling.com/examples.html>, erişim tarihi: 10.12.2021.
- Arliansyah, J., Hartono, Y., 2015, Trip attraction model using radial basis function neural networks, Procedia Engineering, 125, 445-451.
- AÜ, 2021, Anadolu Üniversitesi 2020-2021 Öğretim Yılı Aralık Öğrenci Sayıları. <https://www.anadolu.edu.tr/universitemiz/sayilarla-universitemiz/ogrenci-sayilari/2020-2021/2020-aralik>, erişim tarihi: 10.12.2021.
- Bashir, S., Carter, E. M., 2010, Penalized multinomial mixture logit model, Computational Statistics, 25(1), 121-141.
- Batool, F., Hennig, C., 2021, Clustering with the Average Silhouette Width, Computational Statistics and Data Analysis, 158, 107-190.
- BEBKA, 2017, Eskişehir Yatırım Destek ve Tanıtım Stratejisi, Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı (BEBKA).
- Bekhor, S., Chorus, C., Toledo, T., 2012, Stochastic user equilibrium for route choice model based on random regret minimization, Transportation Research Record, 2284, 100-108.
- Belgiawan, P. F., Ilahi, A., Axhausen, K. W., 2019, Influence of pricing on mode choice decision in Jakarta: A random regret minimization model, Case Studies on Transport Policy, 7(1), 87-95.
- Bell, D. E., 1982, Regret in Decision Making Under Uncertainty, Operations Research, 30(5), 961-981.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ben-Akiva, M., 2008, Travel Demand Modeling (Lecture Notes), Transportation System Analysis: Demand & Economics, Massachusetts Institute of Technology (MIT) Press, s.1-39.
- Ben-Akiva, M., Bowman, J. L., Gopinath, D., 1996, Travel demand model system for the information era, *Transportation*, 23(3), 241-266.
- Ben-Akiva, M., Lerman, S. R., 1979, Disaggregate travel and mobility-choice models and measures of accessibility, *Behavioural travel modelling*, Routledge.
- Ben-Akiva, M., Lerman, S. R., 1985, Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand, Massachusetts Institute of Technology Press.
- Bierlaire, M., 2006, A theoretical analysis of the cross-nested logit model, *Annals of Operations Research*, 144(1), 287-300.
- Bilgiç, Ş., Karacasu, M., Filiz, Z., Altın Yavuz, A., Kara, Ç., Akalın, K. B., 2015, Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Ana Planı Revizyonu: Mevcut ve Yeni Bilgilerin Toplanması, Değerlendirilmesi ve Analizi Raporu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Borooah, V. K., 2002, Logit and probit: Ordered and multinomial models, 138, Sage.
- Bouman, C. A., Shapiro, M., Cook, G. W., Atkins, C. B., Cheng, H., 1997, Cluster: An unsupervised algorithm for modeling Gaussian mixtures, Purdue University.
- Bowman, J. L., Ben-Akiva, M. E., 2001, Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(1), 1-28.
- Brownstone, D., Bunch, D. S., Train, K., 2000, Joint mixed logit models of stated and revealed preferences for alternative-fuel vehicles, *Transportation Research Part B: Methodological*, 34(5), 315-338.
- Bruton, M. J., 1985, Introduction to transportation planning, Routledge.
- Bureau of Public Roads, 1964, Traffic assignment manual for application with a large, high speed computer, 37, U.S. Department of Commerce.
- Bwambale, A., Choudhury, C. F., Sanko, N., 2015, Modelling car trip generation in the developing world: The tale of two cities, *Transportation Research Board*.
- Campello, R. J. G. B., Kröger, P., Sander, J., Zimek, A., 2020, Density-based clustering, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 10(2).
- Carey, M., Revelli, R., 1986, Constrained estimation of direct demand functions and trip matrices, *Transportation Science*, 20(3), 143-152.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Casey, H. J., 1955, Applications to traffic engineering of the law of retail gravitation, *Traffic Quarterly* IX, 23-35.
- Castiglione, J., Bradley, M., Gliebe, J., 2014, Activity-Based Travel Demand Models: A Primer, *Transportation Research Board*.
- Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V., Niknafs, A., 2014, NbClust: an R package for determining the relevant number of clusters in a data set, *Journal of Statistical Software*, 61, 1-36.
- Chatterjee, D. R., 2019, Log Book — Guide to Distance Measuring Approaches for K-Means Clustering, *Towards Data Science*, <https://towardsdatascience.com/log-book-guide-to-distance-measuring-approaches-for-k-means-clustering-f137807e8e21>, erişim tarihi: 10.12.2021.
- Chicoine, J. E., Boyle, D. K., 1984, Life-Cycle Concept: A Practical Application to Transportation Planning, *Transportation Research Record*, 987, 1-7.
- Chorus, C. G., 2010, A New Model of Random Regret Minimization, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 10(2), 181-196.
- Chorus, C. G., 2012 a, Logsums for utility-maximizers and regret-minimizers, and their relation with desirability and satisfaction, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(7), 1003-1012.
- Chorus, C. G., 2012 b, Random Regret-based discrete choice modeling: A tutorial, *Springer*.
- Chorus, C. G., 2012 c, Random Regret Minimization: An Overview of Model Properties and Empirical Evidence, *Transport Reviews*, 32(1), 75-92.
- Chorus, C. G., 2014, A Generalized Random Regret Minimization Model, *Transportation Research Part B: Methodological*, 68, 224-238.
- Chorus, C. G., Arentze, T. A., Timmermans, H. J. P., 2008, A Random Regret-Minimization model of travel choice, *Transportation Research Part B: Methodological*, 42(1), 1-18.
- Chorus, C. G., Arentze, T. A., Timmermans, H. J. P., 2009, Spatial choice: A matter of utility or regret?, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(3), 538-551.
- Chorus, C. G., Cranenburgh, S. van, Dekker, T., 2014, Random regret minimization for consumer choice modeling: Assessment of empirical evidence, *Journal of Business Research*, 67(11), 2428-2436.
- Cleophas, C., Cottrill, C., Ehmke, J. F., Tierney, K., 2018, Collaborative urban transportation: Recent advances in theory and practice, *European Journal of Operational Research*, 273(3), 801-816.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Colston, M. B., Blunden, W. R., 1970, On the duality of desire line and land use models, Australian Road Research Board (ARRB) 5th Conference, Canberra, 5(2).
- Cotrus, A. V., Prashker, J. N., Shiftan, Y., 2005, Spatial and temporal transferability of trip generation demand models in Israel, *Journal of Transportation and Statistics*, 8(1), 37.
- Cranenburgh, S. van., 2015, The P-RRM model, Advanced Random Regret Minimization Models, <https://www.advancedrrmmmodels.com/p-rrm>, erişim tarihi: 10.12.2021.
- Cranenburgh, S. van, Guevara, C. A., Chorus, C. G., 2015, New insights on random regret minimization models, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 74, 91-109.
- Dafermos, S. C., Sparrow, F. T., 1969, Traffic assignment problem for a general network, *Journal of Research of The National Bureau of Standards Section B - Mathematical Sciences*, 2, 91.
- Daly, A., Zachary, S., 1978, Improved multiple choice models, Hensher and M.Q. Dalvi (Eds.), *Determinants of Travel Choice*.
- Dekker, T., 2014, Indifference based value of time measures for Random Regret Minimisation models, *Journal of Choice Modelling*, 12, 10-20.
- Deng, J., Lu, B. C., Liu, Q. F., ZHANG, K., MA, Q., 2014, Forecasting model of trip generation based on RBF neural network, *Journal of Wuhan University of Technology: Information& Management Engineering*, 36, 43-47.
- Dessau, R. B., Pipper, C. B., 2008, R project for statistical computing, *Ugeskrift for Laeger*, 170(5), 328-330.
- Dhingra, S. L., 2021, *Urban Transportation Systems Planning (Lecture Notes)*, Indian Institute of Technology Bombay.
- Di Donna, S. A., Cantelmo, G., Viti, F., 2015, A Markov chain dynamic model for trip generation and distribution based on CDR, 2015 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, MT-ITS 2015, 243-250.
- Domencich, T. A., McFadden, D., 1975, *Urban travel demand-a behavioral analysis*, Transportation Research Board.
- Douglas, A. A., Lewis, R. J., 1970, Trip generation techniques, *Traffic Engineering & Control*.
- Eash, R. W., Janson, B. N., Boyce, D. E., 1979, Equilibrium trip assignment: advantages and implications for practice, *Transportation Research Record*, 728.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ergin, M. E., 2015, İstanbul Toplu Taşıma Sistem Algısının Mevcut ve Sanal Tercihler Çerçevesinde Lojit Model ile İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Eskişehir İl Milli Eğitim Müdürlüğü, 2021, Eskişehir İl Milli Eğitim Müdürlüğü Web Sayfası, <https://eskisehir.meb.gov.tr/>, erişim tarihi: 10.12.2021.
- ESOGÜ, 2021, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Öğrenci Sayıları, <https://oidb.ogu.edu.tr/Sayfa/Index/175/ogrenci-sayilari>, erişim tarihi: 10.12.2021.
- ESTRAM, 2021, ESTRAM tramvay işletmesi tarihçesi, <http://www2.estram.com.tr/Cntnt/15>, erişim tarihi: 10.12.2021.
- ESTÜ, 2021, Eskişehir Teknik Üniversitesi 2020-2021 Öğretim yılı Aralık 2020 Öğrenci Sayıları, <https://www.eskisehir.edu.tr/universitemiz/sayilarla-universitemiz/ogrenci-sayilari/2020-2021/2020-2021-ogretim-yili-aralik-2020-ogrenci-sayilari/>, erişim tarihi: 10.12.2021.
- Farag, S., Dijst, M., Lanzendorf, M., 2003, Exploring the use of e-shopping and its impact on personal travel behavior in the Netherlands, Transportation Research Record, 1858(1), 47-54.
- Fishburn, P. C., 1982, The Foundations of Expected Utility, Springer, Netherlands.
- Florian, M., Gaudry, M., Lardinois, C., 1988, A Two-Dimensional Framework For The Understanding of Transportation Planning Models, Transportation Research Part B: Methodological, 22(6), 411-419.
- Florian, M., Nguyen, S., 1976, Recent experience with equilibrium methods for the study of a congested urban area, In Traffic Equilibrium Methods, Springer, s.382-395.
- George, P., Kattor, G. J., 2013, Forecasting Trip Attraction Based on Commercial Land Use Characteristics, International Journal of Research in Engineering and Technology, 2(9).
- Gerçek, H., 2015, Transportation System Analysis (Lecture Notes), İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Gerçek, H., Demir, O., Gedizlioğlu, E., İyınam, A. F., 2003, Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Ana Planı (EUAP), İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Goel, S., Sinha, A. K., 2008, Trip generation modeling using artificial neural network, 2nd National Conference, 495-498.
- Golob, T. F., 2000, A simultaneous model of household activity participation and trip chain generation, Transportation Research Part B: Methodological, 34(5), 355-376.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Goulias, K. G., Kitamura, R., 1991, Recursive model system for trip generation and trip chaining, Transportation Research Board.
- Greene, W. H., Hensher, D. A., 2003, A latent class model for discrete choice analysis: Contrasts with mixed logit, Transportation Research Part B: Methodological, 37(8), 681-698.
- Guevara, C. A., Thomas, A., 2007, Multiple classification analysis in trip production models, Transport Policy, 14(6), 514-522.
- Gulden, J., Goates, J. P., Ewing, R., 2013, Mixed-use development trip generation model, Transportation Research Record, 2344, 98-106.
- Gunn, S., 2018, The History of Transport Systems in the UK Future of Mobility: Evidence Review, U.K. Government Office for Science, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/761929/Historyoftransport.pdf, erişim tarihi: 10.12.2021.
- Hardin, J. W., Hilbe, J. M., 2007, Generalized linear models and extensions (4th ed.), Stata press.
- Henderson, D. K., Koenig, B. E., Mokhtarian, P. L., 1996, Using travel diary data to estimate the emissions impacts of transportation strategies: The Puget Sound Telecommuting Demonstration Project, Journal of the Air & Waste Management Association, 46(1), 47-57.
- Hensher, D. A., Greene, W. H., 2003, The mixed logit model: the state of practice, Transportation, 30(2), 133-176.
- Hensher, D. A., Greene, W. H., Chorus, C. G., 2013, Random regret minimization or random utility maximization: an exploratory analysis in the context of automobile fuel choice, Journal of Advanced Transportation, 47(7), 667-678.
- Hess, S., Beck, M. J., Chorus, C. G., 2014, Contrasts between utility maximisation and regret minimisation in the presence of opt out alternatives, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 66(1), 1-12.
- Hess, S., Palma, D., 2019, Apollo: a flexible, powerful and customisable freeware package for choice model estimation and application, Journal of Choice Modelling, 32.
- Hu, S., 2010, Modelling Trip Generation / Trip Accessibility Using Logit Models, Edinburgh Napier University.
- Hyman, G. M., 1969, The Calibration of Trip Distribution Models, Environment and Planning A: Economy and Space, 1(1), 105-112.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kalić, M., Teodorović, D., 2003, Trip distribution modelling using fuzzy logic and a genetic algorithm, *Transportation Planning and Technology*, 26(3), 213-238.
- Kar, R., Mazumder, S. K., 2011, Entropy and utility based trip distribution model, 4, 375-378.
- Kara, Ç., 2019, Kent içi ulaştırma planlamasında hastane yolculuklarının yanlı ve sağlam regresyon teknikleriyle tahmin modellerinin geliştirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Karacasu, M., Bilgiç, Ş., Kara, Ç., Akalın, K. B., 2021, Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Tepebaşı İlçesi, Kumlube Mahallesi, 16501 Parselin Ticari Tesis Olarak Değerlendirilmesi Trafik Ve Ulaşım Değerlendirme Raporu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Karami, Z., Kashef, R., 2020, Smart transportation planning: Data, models, and algorithms, *Transportation Engineering*, 2.
- Kassambara, A., 2017, Practical guide to cluster analysis in R: Unsupervised machine learning, 1, Sthda.
- Kassambara, A., 2019). Cluster Validation Essentials. Cluster Validation Essentials, <https://www.datanova.com/en/lessons/determining-the-optimal-number-of-clusters-3-must-know-methods/>, erişim tarihi: 10.12.2021.
- Kaufman, L., Rousseeuw, P. J., 1990, Finding groups in data: an introduction to cluster analysis, John Wiley and Sons Inc.
- Kendall, M. G., 1966, Discrimination and classification, *Multivariate Analysis*, 1, 165-185.
- Koenig, B. E., Henderson, D. K., Mokhtarian, P. L., 1996, The travel and emissions impacts of telecommuting for the State of California Telecommuting Pilot Project, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 4(1), 13-32.
- Koppelman, F. . S., Pas, E. I., 1984, Estimation of disaggregate regression models of person trip generation with multiday data, *The Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory*.
- Lancaster, K. J., 1966, A new approach to consumer theory, *Journal of Political Economy*, 74(2), 132-157.
- Lavasani, M., Hossan, M. S., Asgari, H., Jin, X., 2017, Examining methodological issues on combined RP and SP data, *Transportation Research Procedia*, 25, 2330-2343.
- Lenz, B., 2003, Will electronic commerce help to reduce traffic in agglomeration areas?, *Transportation Research Record*, 1858(1), 39-46.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Leong, W., Hensher, D., 2015, Contrasts of Relative Advantage Maximisation with Random Utility Maximisation and Regret Minimisation, *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 49(1), 167-186.
- Levinson, D. M., Kumar, A., 1994, Multi-modal trip distribution: structure and application, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1446, 124-131.
- Levinson, H. S., 1976, *Urban travel characteristics*, Transportation and Traffic Engineering Handbook. Prentice Hall, New Jersey.
- Li, D., Gao, Y., Li, R., Zhou, W., 2018, Hybrid Random Regret Minimization and Random Utility Maximization in the Context of Schedule-Based Urban Rail Transit Assignment, *Journal of Advanced Transportation*.
- Lloyd, S., 1982, Least squares quantization in PCM, *IEEE Transactions on Information Theory*, 28(2), 129-137.
- Loomes, G., Sugden, R., 1982, Regret theory: An alternative theory of rational choice under uncertainty, *The Economic Journal*, 92(368), 805-824.
- Loomes, G., Sugden, R., 1987, Some implications of a more general form of regret theory, *Journal of Economic Theory*, 41(2), 270-287.
- Luan, S., Yang, Q., Jiang, Z., Wang, W., 2021, Exploring the impact of COVID-19 on individual's travel mode choice in China, *Transport Policy*, 106, 271-280.
- Luce, R. D., 1959, *Individual Choice Behavior: A theoretical analysis*, John Wiley and Sons Inc.
- Machina, M. J., 2008, Non-expected utility theory, *The New Palgrave Dictionary of Economics*, 2.
- MacQueen, J., 1967, Some methods for classification and analysis of multivariate observations, *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1(14), 281-297.
- Mai, T., Bastin, F., Frejinger, E., 2017, On the similarities between random regret minimization and mother logit: The case of recursive route choice models, *Journal of Choice Modelling*, 23, 21-33.
- Mai, T., Frejinger, E., Bastin, F., 2015, Comparing regret minimization and utility maximization for route choice using the recursive logit model, 1-14.
- Manheim, M. L., 1979, *Fundamentals of Transportation System Analysis*, Massachusetts Institute of Technology.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Martin, W. A., McGuckin, N. A., 1998, Travel estimation techniques for urban planning, National Academy Press Washington, DC.
- Mathew, T. V., 2021, Introduction to Transportation Systems Analysis (Lecture Notes), Indian Institute of Technology. https://www.civil.iitb.ac.in/tvm/nptel/101_TptnIntro/web/web.html, erişim tarihi: 10.12.2021.
- Mayberry, J. P., 1973, Structural requirements for abstract-mode models of passenger transportation, R.E. Quandt (Ed.), The Demand for Travel: Theory and Measurement, D.C. Health and Co.
- McDonald, K. G., Stopher, P. R., 1983, Some contrary indications for the use of household structure in trip-generation analysis, Transportation Research Record, 92-100.
- McFadden, D., 1974 a, Conditional logit analysis of qualitative choice behavior, Zarembka P. (Ed.) Frontiers in econometrics, Academic Press.
- McFadden, D., 1974 b, The measurement of urban travel demand, Journal of Public Economics, 3(4), 303-328.
- McFadden, D., Train, K., 2000, Mixed MNL models for discrete response, Journal of Applied Econometrics, 15(5), 447-470.
- McGregor, M., 2020, 8 Clustering Algorithms in Machine Learning that All Data Scientists Should Know. Freecodecamp Machine Learning, <https://www.freecodecamp.org/news/8-clustering-algorithms-in-machine-learning-that-all-data-scientists-should-know/>, erişim tarihi: 10.12.2021.
- McNally, M. G., 2016, The Four-Step Model, In Handbook of Transport Modelling, s.5-53.
- Menard, S., 2002, Applied logistic regression analysis, 106, Sage.
- Meurs, H., 1990, Dynamic analysis of trip generation, Transportation Research Part A: General, 24(6), 427-442.
- Mitchell, R. B., Rapkin, C., 1954, Urban Traffic: A Function of Land Use, Columbia University Press.
- Monzon, J., Goulias, K., Kitamura, R., 1989, Trip generation models for infrequent trips, Transportation Research Record, 1220, 40-46.
- Morikawa, T., 1994, Correcting state dependence and serial correlation in the RP/SP combined estimation method, Transportation, 21(2), 153-165.
- Nelson, J. D., 2012, On K-Means Clustering Using Mahalanobis Distance, North Dakota State University.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Nielsen, F., 2016, Hierarchical clustering, Introduction to HPC with MPI for Data Science, Springer, s.195–211.
- Öğüt, K. S., Tezcan, H. O., Sarısoy, G., Terzi, F., Gerçek, H., Gedizlioğlu, E., 2017, Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Ana Planı'nın Revizyonu (EUAP 2035) Çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Ortúzar, J. de D., Willumsen, L. G., 2011, Modelling Transport Fourth Edition, John Wiley and Sons Inc.
- Overgaard, K. R., 1967, Urban transportation planning' traffic estimation, Traffic Quarterly, 21(2).
- Páez, A., Scott, D., Potoglou, D., Kanaroglou, P., Newbold, K. B., 2007, Elderly mobility: Demographic and spatial analysis of trip making in the Hamilton CMA, Canada, Urban Studies, 44(1), 123-146.
- Papola, A., 2004, Some developments on the cross-nested logit model, Transportation Research Part B: Methodological, 38(9), 833-851.
- Peng, Z., Dai, W., Xu, J., 2010, Research on Trip-generation Forecasting Model based on neural networks and genetic algorithms, International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, 2822-2825.
- QGIS, 2021, QGIS 3.16. A Free and Open Source Geographic Information System, QGIS Project, <https://www.qgis.org/en/site/>, erişim tarihi: 12.10.2021.
- Quiggin, J., 1994, Regret theory with general choice sets, Journal of Risk and Uncertainty, 8(2), 153-165.
- R Studio., 2021, R Studio Desktop, Free & open tools for R; enterprise software for R & Python data science teams, R Studio, R Consortium, R Project Team, <https://www.rstudio.com/>, erişim tarihi: 10.12.2021.
- Rasouli, S., Timmermans, H., 2012, Uncertainty in travel demand forecasting models: Literature review and research agenda, Transportation Letters, 4(1), 55-73.
- Ripley, B. D., 2001, The R project in statistical computing, The Newsletter of the LTSN Maths, 23,25.
- Rose, G., Koppelman, F. S., 1984, Transferability of disaggregate trip generation models, The Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory.
- Ryan, T. P., 1997, Modern Regression Method, John Wiley and Sons Inc.
- Safwat, K. N. A., Magnanti, T. L., 1988, A Combined Trip Generation, Trip Distribution, Modal Split, and Trip Assignment Model, Transportation Science, 18(1).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Şak, N., 2013, Hane Halklarının Konut Tercihinin Belirlenmesinde Logit Modelleri: Mixed Logit Modeli Yaklaşımı, Marmara Üniversitesi.
- Schmidt, P., Strauss, R. P., 1976, The effect of unions on earnings and earnings on unions: A mixed logit approach, *International Economic Review*, 204-212.
- Schmöcker, J. D., Quddus, M. A., Noland, R. B., Bell, M. G. H., 2005, Estimating trip generation of elderly and disabled people: Analysis of London data, *Transportation Research Record*, 1924, 9-18.
- Schneider, M., 1959, Gravity models and trip distribution theory, *Papers in Regional Science*, 5(1), 51-56.
- Shuldiner, P. W., 1962, Trip generation and the home, Northwestern University, Technological Institute.
- Smock, R., 1962, An iterative assignment approach to capacity restraint on arterial networks, *Highway Research Board Bulletin*, 347.
- Sossiau, A. B., Hassam, A. B., Carter, M. M., Wickstrom, G. V., 1978, Quick-response urban travel estimation techniques and transferable parameters: User's guide, Transportation Research Board.
- Starmer, C., 2011, Developments in nonexpected-utility theory: The hunt for a descriptive theory of choice under risk, *Advances in Behavioral Economics*, XXXVIII, 104-147.
- Stopher, P. R., McDonald, K. G., 1983, Trip Generation by Cross-Classification: An Alternative Methodology, *Transportation Research Board*, s.84-91.
- Stouffer, S. A., 1940, Intervening opportunities: a theory relating mobility and distance, *American Sociological Review*, 5(6), 845-867.
- T.C. Ulaştırma Bakanlığı, 2008, Ulaşımda Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik, T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmî Gazete.
- Takaoğlu, M., Takaoğlu, F., 2017, K-means ve hiyerarşik kümeleme algoritmanın weka ve matlab platformlarında karşılaştırılması, *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 3, 303-317.
- Takı, I. K., 1990, Trip generation analysis in a developing country context, *Transportation Research Record*, 1285, 9-21.
- Taplin, J. H. E., 1997, Car Trip Attraction and Route Choice in Australia, *Annals of Tourism Research*, 24(3), 624-637.
- Taylor, M. A., 1968, *Studies of travel in Gloucester, Northampton and Reading*.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- TBB, 2014, Ulaşım Planlama Çalışmaları ve Ulaşım Ana Planı Hazırlama Kılavuzu, Türkiye Belediyeler Birliği, 1-50.
- Tezcan, H. O., 2019, Introduction to Transportation Models (Lecture Notes), İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Tian, G., Ewing, R., 2017, A walk trip generation model for Portland, OR, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 52, 340-353.
- Tomazinis, A. R., 1962, A new method of trip distribution in an urban area, Highway Research Board, Bulletin, 347.
- Train, K., 2009, Discrete Choice Methods with Simulation, Cambridge University Press.
- Trimaille, E., 2021, QuickOSM, QGIS Project, <https://plugins.qgis.org/plugins/QuickOSM/>, erişim tarihi: 10.12.2021.
- TÜİK, 2021, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Veri Tabanı, <https://data.tuik.gov.tr/>, erişim tarihi: 10.12.2021.
- U.S. DOT, 2021, DOT History, United States Department of Transportation, <https://ntl.bts.gov/ntl/dot-history>, erişim tarihi: 10.12.2021.
- Uğurlu, E., 2010, Kesikli Seçim Modelleri (Ders Notu), İstanbul Aydın Üniversitesi.
- Van Dijk, J., Pellenbarg, P. H., 2000, Firm relocation decisions in The Netherlands: An ordered logit approach, Papers in Regional Science, 79(2), 191-219.
- Vargas, Á. A. G., Meulders, M., Vandebroek, M., 2020, randregret: A command for fitting random regret minimization models using Stata, KU Leuven Research Centre for Operations Research and Statistics.
- Von Neumann, J., Morgenstern, O., 2007, Theory of games and economic behavior, Princeton University Press.
- Vrtic, M., Fröhlich, P., Schüssler, N., Axhausen, K. W., Lohse, D., Schiller, C., Teichert, H., 2007, Two-dimensionally constrained disaggregate trip generation, distribution and mode choice model: Theory and application for a Swiss national model, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 41(9 SPEC. ISS.), 857-873.
- Wang, D. H., Yao, R. H., Jing, C., 2006, Entropy Models of Trip Distribution, Journal of Urban Planning and Development, 132(1), 29-35.
- Wang, R. M., 1996, An activity-based trip generation model, University of California, Irvine.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Wardrop, J. G., 1952, Some theoretical aspects of road traffic research, Proceedings of the Institution of Civil Engineers Part II, 1(5), 325-362.
- Weiner, E., 1997, Urban transportation planning in the United States: An historical overview, U.S. Department of Transportation.
- Wen, C.-H., Koppelman, F. S., 2001, The generalized nested logit model, Transportation Research Part B: Methodological, 35(7), 627-641.
- Wey, W. M., Huang, J. Y., 2018, Urban sustainable transportation planning strategies for livable City's quality of life, Habitat International, 82, 9-27.
- Williams, H. C. W. L., 1977, On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit, Environment and Planning A, 9(3), 285-344.
- Williams, H. C. W. L., Senior, M. L., 1977, Model-based Transport Policy Assessment, II. Removing Fundamental Inconsistencies From The Models, Traffic Engineering and Control, 18, 464-469.
- Williams, R., 2016, Understanding and interpreting generalized ordered logit models, The Journal of Mathematical Sociology, 40(1), 7-20.
- Williams, R., 2021, Ordered Logit Models – Basic & Intermediate Topics (Lecture Notes), Richard Williams, University of Notre Dame.
- Wilson, A. G., 1970, Entropy in Urban and Regional Modelling, Pion, London.
- Yang, S., Deng, W., Deng, Q., Fu, P., 2016, The research on prediction models for urban family member trip generation, KSCE Journal of Civil Engineering, 20(7), 2910-2919.