T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

TOPLU TAŞIMA PLANLAMASINDA TAŞIT DOLULUĞUNUN YOLCU DAVRANIŞINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR TAHMİN MODELİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ

Sami Cankat TANRIVERDİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ

II. DANIŞMAN
Doç. Dr. Hüseyin Onur TEZCAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Aralık, 2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Sami Cankat TANRIVERDİ tarafından **Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ** danışmanlığında hazırlanan "**Toplu Taşıma Planlamasında Taşıt Doluluğunun Yolcu Davranışına Etkisinin Belirlenmesi İçin Bir Tahmin Modeli: İstanbul Örneği"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **27/07/2023** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Savaş ERDEM İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK İstanbul Teknik Üniversitesi Ulaştırma Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Niyazi Özgür BEZGİN İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Sami Cankat TANRIVERDİ

Ömrü yollarda geçen bütün emekçilere ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

Toplu Taşıma Planlamada Taşıt Doluluğunun Yolcu Davranışına Etkisinin Belirlenmesi İçin Bir Tahmin Modeli: İstanbul Örneği

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Akademik çalışma yöntemini örnek aldığım ve çalışmalarım sürecinde elinden gelen her türlü desteği sağlayan saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Gebrail Bekdaş'a, çalışmalarımda bir sorunu çözmekte zorlandığımı hissettiğim an içten yardımseverliğiyle yol gösteren eş-danışmanım Doç. Dr. Hüseyin Onur Tezcan'a, lisans eğitimimden bu yana gerek akademik, gerek şahsi paylaşımlarımızda değerli katkılarıyla yanımda olan Doç. Dr. Mustafa Gürsoy'a, veri toplama aşamasındaki kıymetli katkıları için İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Planlama Müdürlüğü çalışma arkadaşlarıma, hem tez çalışmasının toplumsal boyutları açısından önemli katkılar sunan, hem de süreçteki tüm zorluklarda gönülden yanımda olan Gülda Demir, Barış Mansuroğlu, Sezen Çilengir, Aziz Can Tanrıverdi'ye, yaşam boyu hep yapıcı desteğiyle yanımda olan sevgili kardeşlerim Gülşah ve Çağın'a, ürettiklerimde sevgiyle emeği olan anne ve babama candan minnettarım.

Aralık 2023 Sami Cankat TANRIVERDİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **iii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **x**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xii**
ABSTRACT ..... **xiii**
1. GİRİŞ **1**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **7**
3. YÖNTEM **23**
3.1. YÖNTEM AŞAMA SIRASI 24
3.2. DÖRT AŞAMALI ULAŞIM MODELİ 28
3.2.1. Veri Kaynakları 28
3.2.2. Ulaşım Modeli Bölgeleri 28
3.2.3. Yolculuk Üretim – Çekimi 29
3.2.4. Yolculuk Dağılımı 32
3.2.5. Türel Dağılım 33
3.2.6. Yolculuk Ataması 38
3.3. İHMAL EDİLENİN TEMSİLİ 42
3.3.1. Anket Yapısı 43
3.3.2. Binmemeyi Seçmek ya da Binmeyi Seçememek 44
4. BULGULAR **49**
4.1. TOPLU TAŞIMADA DOLULUK ETKİSİ 49
4.2. MATRİS GÜNCELLEMESİ 53
4.3. YÖNTEM DEĞERLENDİRMESİ 54

4.3.1. Doluluk Bilgilendirmesi ve Anket Çıktıları 55
5. TARTIŞMA 63
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 66
7. KAYNAKLAR 69
EKLER 83
EK 1. TOPLULAŞTIRILMIŞ İKİLİ LOGİT MODEL ÇALIŞMA SAYFASI ve KATSAYI ÇIKTILARI 83
EK 2. AYRIŞTIRILMIŞ İKİLİ LOGİT MODEL ÇALIŞMA SAYFASI ve KATSAYI ÇIKTILARI 84
EK 3. ÇAlışmada kullanılan anket 85
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 88
ETİK KURUL İZİN YAZISI 89
KURUM İZNİ YAZILARI 90
ÖZGEÇMİŞ 91

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Ulaşım planlamada model adımları 2

Şekil 1.2: İstanbul ulaşım modeli bölgeleri görseli. 5

Şekil 1.3: Kavram haritası. 6

Şekil 2.1: BPR eğrisi 10

Şekil 3.1: Çalışma akış diyagramı. 27

Şekil 4.1: Gelir ile Doluluk İlişkisi 56

Şekil 4.2: İstanbul İlçeleri Yolculuk Süresi ile Gelir İlişkisi. 57

Şekil 4.3: Yolculuk Süresi ile Gelir İlişkisi 57

Şekil 4.4: İstanbul İlçeleri ile Raylı Sistem Durak Sayısı - Gelir İlişkisi 58

Şekil 4.5: Raylı Sistem Durak Sayısı ile Gelir İlişkisi 58

Şekil 4.6: Son kullandığınız toplu taşıma aracı ne kadar doluydu? *(zirve saat için)* 59

Şekil 4.7: DBA öncesi ve sonrası için bekleme ve yürüme sürelerindeki değişim. 61

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1 Trafik ataması için yöntem seçimi.....38

Tablo 4.1: Binmek ya da binmemek: toplulaştırılmış logit model katsayıları. 49

Tablo 4.2: Toplulaştırılmış davranış modeli çizelge örneği 49

Tablo 4.3: Binmek ya da binmemek: ayrıştırılmış logit model katsayıları. 51

Tablo 4.4: Ayrıştırılmış davranış modeli çizelge kesiti.....51

Tablo 4.5: İET, İUM ve gerçek biniş sayılarının karşılaştırması. 54

Tablo 4.6: Ulaşım planlama çalışmaları için ortalama hata oranları. 54

Tablo 4.7: DBA Öncesi ve sonrası durumda yolcu davranışları. 60

Tablo 4.8: Mevcut durum için durakta bekleme ve durağa erişim süreleri. 62

Tablo 4.9: DBA sonrası durum için bekleme ve yürüme süreleri 62

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
dk	: Zaman birimi (dakika)
m	: Mesafe ölçüsü (metre)
m^2	: Alan ölçüsü (metre kare)
₺	: Türk Lirası

Kısaltmalar	Açıklama
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İETT	: İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
İUAP	: İstanbul Ulaşım Ana Planı
DAUM	: Dört Aşamalı Ulaşım Modeli
B-V	: Başlangıç – Varış
İET	: İhmal Edilenin Temsili yaklaşımı
İUM	: İsatanbul Ulaşım Modeli
TTD	: Toplu Taşımada Doluluk
DBA	: Doluluk Bilgilendirme Altyapısı
ASM	: Ayrık Seçim Modeli
ÇTL	: Çok Terimli Logit
HRS	: Hafif Raylı Sistem
OKD	: Olasılıksal Kullanıcı Dengesi
EO	: En Çok Olabilirlik
GZDB	: Gerçek Zamanlı Doluluk Bilgisi
EUİ	: Ev-uçlu İş
EUO	: Ev-uçlu Okul
EUD	: Ev-uçlu Diğer
DU	: Diğer-uçlu

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TOPLU TAŞIMA PLANLAMASINDA TAŞIT DOLULUĞUNUN YOLCU DAVRANIŞINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR TAHMİN MODELİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ

Sami Cankat TANRIVERDİ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Danışman : Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ

II. Danışman : Doç. Dr. Hüseyin Onur TEZCAN

Tez çalışmasında amaç, toplu taşımada doluluk nedeniyle araçlara binemeyen yolcu davranışının, ulaşım talep tahmin modellerine dahil edilmesidir. Bu kapsamda, İstanbul'da toplu taşıma kullanıcılarını kapsayan bir anket çalışması ile toplanan veriler kullanılarak, toplu taşımada doluluk nedeniyle araçlara binemeyen yolcu sayısının tahmini amacıyla logit davranış modeli oluşturulmuştur. Davranış modeli çıktılarının, Dört Aşamalı Ulaşım Modeli (DAUM)'nin son adımı olan toplu taşıma ataması sürecinde kullanım yöntemi önerilmiştir. Mevcut durumda DAUM kapsamında ihmal edilen bu yolcu davranışının, ulaşım modeli süreciyle bütünleşmesi sağlanarak, talep tahmininde doğruluk payının; konforda iyileşme sağlanması yoluyla da ulaşım hizmetlerinde niteliğin artırılması hedeflenmektedir.

Aralık, 2023, 105 pages.

Anahtar kelimeler: Dört aşamalı ulaşım modeli, Toplu taşıma ataması, Toplu taşımada doluluk.

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

An ESTIMATION MODEL to DETERMINE the EFFECT of VEHICLE OCCUPANCY on PASSENGER BEHAVIOR in PUBLIC TRANSPORT PLANNING: ISTANBUL CASE

Sami Cankat TANRIVERDİ

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Civil Engineering Program

Supervisor : Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Onur TEZCAN

The main purpose of this thesis is to incorporate the behavior of passengers, who fail to board public transportation vehicles due to overcrowding, into transportation demand forecasting models. In this context, a logit behavior model is developed to estimate the number of passengers who cannot board the vehicles due to overcrowding in public transportation by using the data collected through a survey of public transportation users in Istanbul. A methodology is proposed to use the outputs of the behavior model in the public transportation assignment process, which is the last step of the Four Step Transportation Model (FSTM). By integrating this passenger behavior, which is currently neglected in FSTM, into the transportation model process, it is aimed to increase the accuracy of demand forecasting and the quality of transportation services by improving comfort.

December 2023, 105 pages.

Keywords: Four-step transport modelling, Transit assignment, Occupancy of public transport.

1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasında, toplu taşıma araçlarındaki doluluk nedeniyle araçlara binemeyen yolcuların toplu taşıma kullanımı davranışının model sonuçlarına olan etkisi araştırılmıştır. Mevcut ulaşım modelleme sürecinde ihmal edilen bu davranışın, model sürecine katılmasıyla ulaşımda tahmin ve modelleme çalışmaları ile toplu taşıma hizmetlerinin iyileştirilmesi hedeflenmiş, bu yönde kuram ve uygulama için öneriler sunulmuştur. Ulaşım planlaması çalışmalarında, mevcut yolcu davranışı ne kadar doğru biçimde anlaşılırsa geleceğe dair öngörüler ve dolayısıyla ulaşım mühendisliği tasarımları da o kadar doğru yapılabilir. Bu tasarımlar yapılırken tek ölçüt mevcut yolcu davranışını anlamak değildir. Halihazırdaki yolcu davranışının da "iyi yönde" şekillendirilmesi gerekir. Bunun için de yolcu davranışını etkileyen en önemli değişken olan yolcuların seçim yapmak üzere içinde bulunduğu koşullar, yani hizmet niteliği değiştirilmeli, iyileştirilmelidir.

Ulaşım planlamada teknik bir öngörü yapmak oldukça zordur. Çünkü tahmin öznesi insan, bağımlı değişkense onun seçimleridir. Bu nedenle, insan davranışını matematiksel olarak öngörme çalışmaları kıymetlidir fakat bu yöntemlerin sadece birer araç olduğu ve son karar sürecinin tek değişkeni olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Ulaşım planlama alanında bu öngörü araçları modellerdir. Model, gerçeğin belirli bir kapsamda tasviridir. Modelleri fiziksel *(physical)* ve soyut *(abstract)* modeller olarak ikiye ayırmak mümkündür. Soyut, yani fiziksel bir obje ile değil de yalnızca matematiksel yoldan temsil edilen modeller ise aşağıdaki başlıklarda incelenebilir:

- **Doğrusal *(linear)* & Doğrusal Olmayan *(nonlinear)*:** Eğer bir matematik modeldeki tüm işlem adımları, doğrusallık sergiliyorsa model doğrusal, aksi durumda doğrusal olmayan bir modeldir.

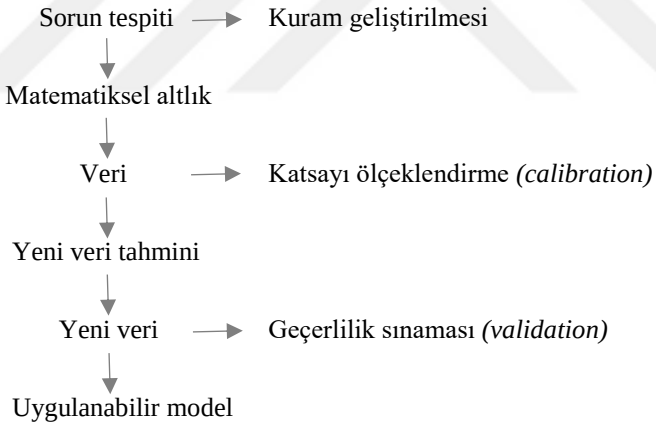
- **Belirlenirci – Rastgele olmayan *(deterministic)* ve Olasılıksal *(stochastic):*** Değişkenlerin, belirli etkenlerden ve önceki değişken kümelerinden elde edildiği, dolayısıyla belirli başlangıç koşulları için aynı davranışın elde edileceği modeller belirlenirci, rastgeleliğin söz konusu olduğu ve değişkenlerin eşsiz bir durumu belirtmediği, olasılıksal olarak belirlendikleri modeller ise olasılıksal modellerdir.

- **Zamanla sabit *(static)* & Zamanla değişen *(dynamic):*** Zamansal değişimin incelenmediği modeller statik, zamanın da etkenler arasına katıldığı modeller ise dinamik modellerdir.

- **Ayrık - kesikli- *(discrete)* & Sürekli *(continuous):*** Seçim kümesinin sonlu sayıda seçenek içerdiği ve değişimlerin anlık belirlendiği modeller ayrık modellerdir. Seçim kümesinin sonsuz sayıda seçenek içerebildiği ve anlık değişimlerin toplamı üzerinden, zamansal değişimin de göz önünde bulundurulabildiği modeller ise sürekli modellerdir.

- **Tümden gelim *(deductive)* & Tüme varım *(inductive):*** Tümden gelim modelleri mantıksal bir yapının başlangıcı olarak bütünü; sonu olarak ise tekil sorunu almaya dayanan düşünsel modellerdir. Tüme varım modellerinde ise tekil bulgulardan bütüne ulaşılmaya çalışılır.

Belirlenirci ve zamanla sabit model altyapısına sahip geleneksel ulaştırma modellemesi aşamaları **Şekil 1.1**'de gösterilen işlem süreci ile gösterilebilir:



Şekil 1.1: Ulaşım planlamada model adımları [1].

İşlem sürecinde gösterilen katsayı ölçeklendirme ya da diğer bir deyişle değişken ağırlıklarının düzenlenmesi aşamasında model değişkenlerine ait etki ağırlığı katsayıları bulunur. Ölçeklendirmede kullanılmayan başkaca verilerle modelin doğruluğunun belirlenmesi ise geçerlilik sınaması aşamasında yapılır. Çalışma kapsamında kullanılan İstanbul Ulaşım Modeli (İUM), 2020 yılı ulaşım verileri[1] ve sosyo-demografik verileri[2] için düzenlenmiş ve

[1] İUM verileri İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Açık Veri Portalı'ndan alınmıştır [175] ve [114].
[2] Sosyo-demografik veriler Türkiye İstatistik Kurumu'ndan [176], sosyo-ekonomik veriler İstanbul Valiliği Sosyo-Ekonomik Analizi raporundan alınmıştır [177].

ilgili sayım ve anket verileriyle geçerlilik sınaması tamamlanmış bir ulaşım talep tahmin modelidir.

Ulaşım planlamada matematiksel modellerle öngörü yapılmasını sağlayan yöntemler arasında "Dört Aşamalı Ulaşım Modeli (DAUM)" yer almaktadır. Bu yöntem, ulaşım davranışı modellenen tüm yolcuların, toplu taşıma düzenindeki bilgilere kusursuz biçimde sahip olduğu varsayımına dayanmaktadır. Gerçekte insanlar, herhangi bir ulaşım sistemi hakkında kusursuz bilgi sahibi değildir. Bu nedenle büyük ölçekli *(macro)* modellerin belirli bir hata oranı mevcuttur. Bu çalışmayla, toplu taşıma araçlarında doluluk bilgisinin, ulaşım davranışına etkisi ve mevcut modellerdeki kabul edilebilir hata dışındaki kısmi hata incelenmiştir. Buradan hareketle, somut mühendislik önerileri geliştirilmesinin yanında, ulaşım modelleme yaklaşımında planlamacı ile hizmeti alan yolcular arasında müşterek bir sürecin mümkünlüğü araştırılmıştır.

Dört aşamalı ulaşım modelinin son aşaması olan trafik ataması, gelecekteki veya halihazırdaki başlangıç-varış (B-V, *origin-destination*) yolculuk taleplerinin, belirli bir ağ üzerinde belirlenmesidir. Birçok yol planlama çalışması bu trafik ataması tahminlerine dayanarak yapılır. Tez çalışması kapsamında dört aşamalı ulaşım modelinin, trafik atamasında elde edilen araç hızlarının toplu taşıma ağına aktarılması sonrası yolculukların toplu taşıma araçlarına atandığı aşama olan, toplu taşıma atamasının geliştirilmesiyle ilgili veri toplanmış ve bu aşamayı kapsayan incelemelerle, ulaşım planlama ve modelleme uygulamalarında kullanılmak üzere bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Bilgisayar tabanlı trafik ataması modelleri beş bileşenden oluşur:

1) Ağın hazırlanması,
2) B-V matrislerinin hazırlanması,
3) Bir trafik ataması yönteminin belirlenmesi,
4) Değişken katsayılarının ölçeklendirilmesi ve gerçek verilerle modelin geçerlilik sınamasının yapılması,
5) Tahmin [2].

Ulaşım planlama çalışmalarında kişi sayısı *(population)* denilince yalnızca nüfus anlaşılmamalıdır. "İncelenen topluluğun birey sayısı" daha doğru bir kullanım olacaktır. Bu kişi sayısının ve her bireyin davranışının, yıllar geçtikçe değişim (kent merkezlerinde genellikle

artış) göstermesi ve toplu ulaşım kapasite durumunda modellerin gerçeğe yakınlığının araştırılması da önemli bir sorun olarak ulaşım planlamacıların karşısına çıkmaktadır.

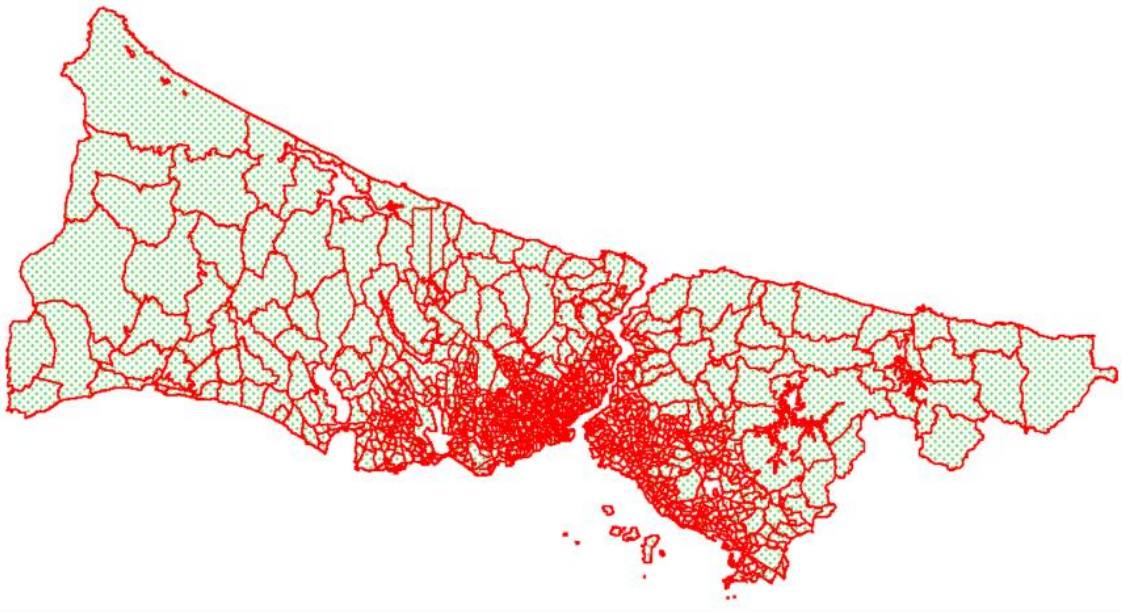
Bu çalışma ile duraklardaki bilgisayarlı bilgilendirme ekranlarında ve ilgili cep telefonu uygulamalarında, gelen taşıt ve yakın aktarma noktalarındaki diğer taşıtlar hakkında doluluk bilgilendirmesi yapılmasının, yolcu davranışını etkileyeceği ve dolayısıyla toplu taşıma atama modeli çıktılarının değişeceği öngörülmüştür. "Çünkü toplumların beklentileri onlara sunulanla ilişkilidir. Bunlar birlikte evirilir ve beklentilerin aslında o kadar da öznel olmadığı söylenebilir. Kitlesel medya araçları sayesinde bilgi toplumlara eş zamanlı ulaştırılabilmekte, hatta toplumsal eğilimleri biçimlendirebilmektedir" [3]. Ulaşım modellemede de, bireysel seçimlerin aslında belirli öncül koşullarla şekillendirilebildiği veya en azından yönlendirilebildiği söylenebilir. Toplu ulaşımda doluluk konusunda oluşturulacak bir bilgilendirme sistemi de, yolcuların dolu araçlara binme tercihleri noktasında yönlendirici bir etkiye sahip olabilir. Bu yönlendirici etkinin oluşabilmesi ve doluluk nedeniyle konforsuzluk algısının tahmin hesap çalışmalarına eksiksiz dahil edilebilmesi için; toplu taşıma kullanıcısının, ulaşım planlamacılara görüş ve öneri paylaşımı yoluyla ulaşım modelleme ön hazırlık sürecine katılımı gerekmektedir. Bunun kişisel yollarla yapılması mümkün olmadığından, yerel yönetimler eliyle bu süreçlerin altyapısının hazırlanması büyük önem taşımaktadır. Hanehalkı anketlerinde, kullanıcının, konfor gereksiniminin dikkate alınması yoluyla toplu taşımanın daha nitelikli koşullarda kullanımı için gerekli en uygun altyapının geliştirebileceği görülmüştür. Bu noktada ulaşım modelleme sürecinin kendisi de sürekli güncellemelerle yaşayan, gelişen bir hal aldığı gibi; kullanıcının katkısıyla da müşterek hale gelmiş olur. Oysaki, halihazırda kullanılan modelleme anlayışı, mevcut talebin hesaplanması ve bu talebin niceliksel yapısından hareketle tasarım çalışmaları yapılması eksenlidir. Oysa bu tez çalışmasıyla talep odaklı modelleme yerine, gereksinim odaklı modelleme anlayışının geliştirilmesi ve yolcu davranışının da yönlendirilmesiyle hizmetlerin daha nitelikli hale getirilmesi hedeflenmiştir. Toplu taşıma kullanıcısı için durakta beklediği araç çok dolu olarak geldiğinde, bu yolcunun bu araca binmemesi esasında bir zorunluluktan ibarettir fakat matematiksel olarak bu duruma bir seçim yapıldığı kabulüyle yaklaşılabilir ve bu seçime göre B-V matrisleri şekillendirilerek mevcut hata tespit edilebilir. Özellikle yerel yönetim politikaları açısından önemli olan nokta, bu model ile, yolcuların toplu taşıma araçlarındaki doluluklar hakkında bilgilendirilmesini, dolu araca binmek yerine yeni seçeneklere yönelebilmesini sağlamak; bunun için de, gereksinimlerini

doğrudan belirtebilecekleri biçimde, belirli mevcut veya öneri hatlarda daha boş araçlar talep edebilmesini ve planlama sürecini takip edebilmesini sağlayacak bir altyapının geliştirilmesidir.

Ulaşım modellerinde, kullanıcı bilgilendirmesinin ve bu bilgilendirme ile yapılan seçimlerin kusursuz olduğu (en kısa yolun seçilebildiği) kabulü yapılmaktadır [4]. Gerçekte ise insanlar kusursuz bilgi sahibi değildir. Duraklarda bilgilendirme altyapısına doluluk bilgisinin eklenmesi durak bilgilendirme ekranları ve cep telefonu uygulamaları ile tüm ikame seçeneklere dair taşıt doluluk bilgilerinin sunulması ve ayrıca seçimin farklı ekonomik altyapıdaki bölgelerde *(zone),* farklı zorunluluk seviyeleriyle, farklı biçimde yapılabildiği niteliğinin de eklenmesiyle, modelleme kabulündeki "kusursuz seçim"e biraz daha yaklaşılmış olacaktır.

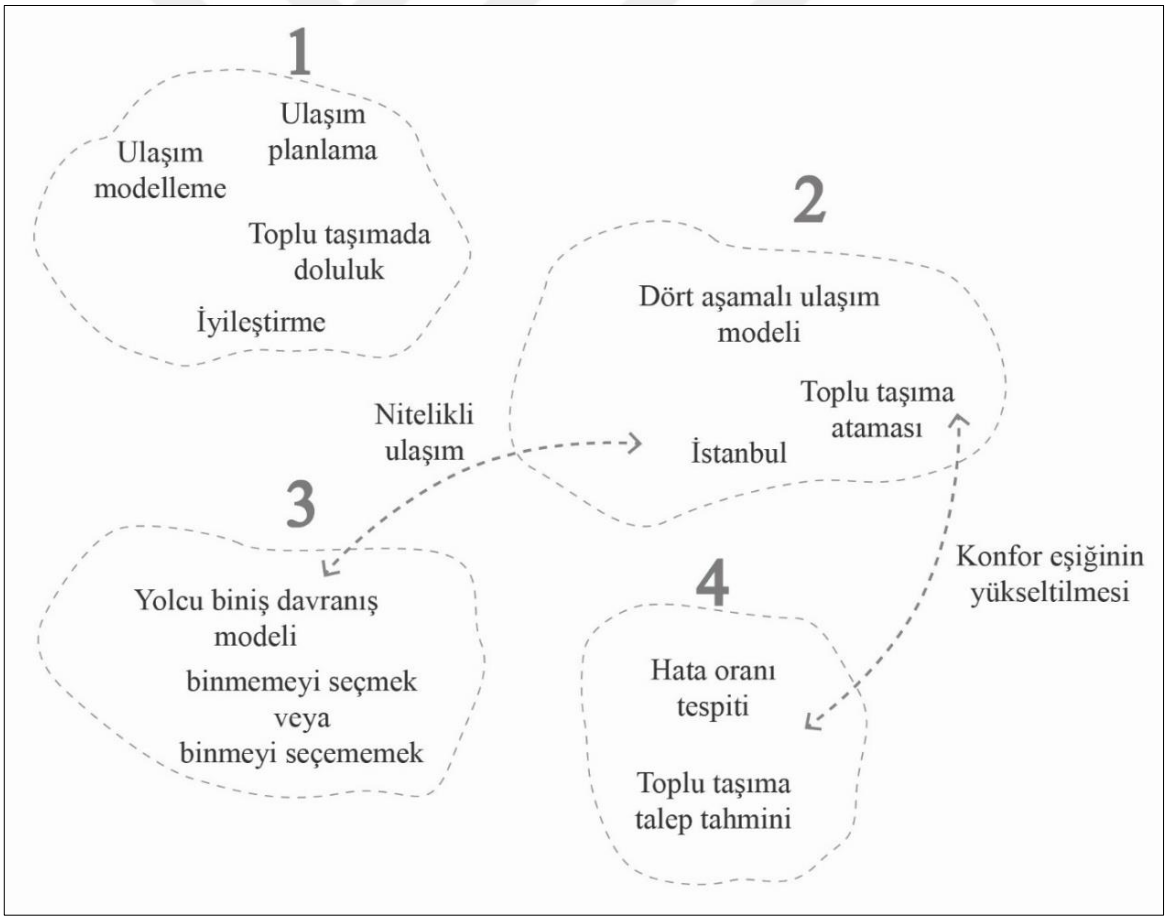
İUM trafik analiz bölgelerinin oluşturulmasında sınırlayıcı alan olarak, en küçük idari birim olan mahalle sınırları ele alınmıştır. Okul, alışveriş ve sanayi bölgeleri gibi bulunduğu çevreden farklı ulaşım cazibesine sahip bölgeler, mahalleler dışında özel bölgeler olarak ele alınarak bölge içi ulaşım davranışında düzgün dağılım ilkesinin korunması sağlanmıştır. İUM'da, araç ile yapılan her türlü hareketlilik ve yaya olarak 15 dakika içinde başladığı yere dönmeyen hareketlilikler tüm yolculuk olarak kabul edilmiştir.

İstanbul il sınırları içindeki 39 ilçe için toplam 540 bölge ağ altyapısı ile model çalışmaları yapılmıştır. Bu bölgelere ait görsel **Şekil 1.2**'de paylaşılmıştır.



Şekil 1.2: İstanbul ulaşım modeli bölgeleri görseli.

Toplu taşımada araç içi kameralar yardımıyla görüntü verileri toplanmaktadır. Bu veri, kişisel verinin korunumu kapsamında kimliği gizlenmiş veriler haline getirilerek taşıtlarda kişi sayısının belirlenmesi amacıyla kullanılabilir. Görüntü işleme teknolojisi yardımıyla herhangi bir taşıtta kaç kişi bulunduğu verisi tespit edilebilir. Cep telefonu uygulamaları ve durak bilgilendirme panoları aracılığıyla bu veriler, toplu taşıma kullanıcılarıyla paylaşılabilir. Tez kapsamında bu bilgilendirme altyapısı, Doluluk Bilgilendirme Altyapısı (DBA) olarak tanımlanmıştır. İstanbul'da gelen araçlar için bekleme süresi bilgisi kullanıcıya mevcut sistemde zaten sunulmaktadır. Bu çalışmada, bekleme süresi bilgisinin yanı sıra bir de bu araçların doluluğunu bilen kullanıcının davranışının değişeceği, açıklanmış tercihler *(stated preference)* anket yöntemi kullanılarak ortaya konmuş ve dört aşamalı ulaşım modeli döngü işlem sürecinin *(iteration)* son aşaması olan toplu taşıma ataması için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. **Şekil 1.3**'te, tez sürecinde geliştirilen kavram haritasına yer verilmiştir.



Şekil 1.3: Kavram haritası.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Çalışma kapsamında, ulaşım planlama genel başlığı altında, ulaşım modelleme alanında bir çalışma yapılmıştır. Model çalışmaları kapsamında, genel olarak toplu taşımada doluluk, toplu taşımada sıklık düzenlemeleri ile doluluğun konfor açısından etkileri, doluluk bilgilendirme sistemleri, doluluğun bireysel ve/veya toplu biçimde kullanıcılar tarafından algılanma biçimleri ve buradan hareketle doluluğun ulaşım seçimleri ve yolculuk davranışları üzerindeki etkileri çerçevesinde geçmiş çalışmalar incelenmiştir. Dört Aşamalı Ulaşım Modeli'nin son aşaması yolculuk atama aşamasıdır. Bu aşamada kullanılmak üzere temel bir yöntem Florian ve Spiess [5] tarafından önerilmiştir. Güzergâh kapasite ve doluluğu yanında taşıt kapasitesinin göz önünde bulundurulduğu ilk model çalışması Last ve Leak tarafından 1976'da [6] yapılmıştır fakat bu model yalnızca merkez-çevre doğrultulu *(radial)* ulaşım ağları için geçerli bir yapıdadır. Çalışmada, B-V talepleri, yolculuk maliyetleri, yol akımları ve yol kesimi maliyetleri ele alınarak en-uygunlama çözümü yapılmış; karayolu trafiği ve toplu ulaşım yolculuk atamasına dair ulaşım ağı denge modeli sunulmuştur. Sunulan denge modelinden hareketle yazarlar, sonraki bir çalışmalarında [7], yolcuların "genelleştirilmiş yolculuk maliyeti" olarak yolculuk sürelerini en-azlayan *(minimization)* yol kesimlerini daha yüksek olasılıkla seçtiğini göstermiştir. Çalışmada doğrusal programlama yöntemi kullanılmış ve bir yol kesiminin talep miktarının, o yolun maliyetiyle ters orantılı olacağı varsayımı kısıt olarak alınmıştır. De Cea ve Fernandez [8], Florian ve Spiess'in yaklaşımından [5] ilhamla ve toplu taşıma ağını, "duraklar ve düğüm noktaları arasındaki ortak ya da çekici yollardan oluşan hat kesimleri" şeklinde tanımlanmasından yola çıkarak, toplu taşıma için bir doğrusal en-uygunlama *(optimization)* modeli önermiştir. Herbon ve Hadas [9], belirlenen bir planlama süreci için en-uygun sefer sıklığı ve kapasitenin bulunması amacıyla, işletme maliyetinin en-azlanması üzerine bir çalışma yapmıştır.

Verbaş ve diğ. [10], ulaşım ağındaki muhtemel yolların maliyet ve kullanıcı sayısı değişkenleri alınıp en-uygunlamasıyla çözüme ulaşılan bir yöntem olarak fark tabanlı *(gap-based)* atama yöntemini, araç kapasite kısıtlarını dikkate alarak sunmaktadır. Sonuçta, kullanıcı en-uygunu *(user optimum)* açısından farkları en-azlama yaklaşımının, yakınsama oranı ve sonuçların niteliği açısından Ardışık Ortalamalar Yöntemi'nden *(Method of Successive*

Averages)[3] daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Wardrop'un [11] çalışmasına göre, bilgisayar tabanlı trafik ataması yöntemleri, kullanıcı-dengesi varsayımıyla: kullanıcının, yolculuk süresi ve maliyetini en-azlayan seçeneği seçtiği kabulüyle geliştirilmektedir. Bu tez çalışmasında, bahsi geçen araştırmalardan farklı olarak, toplu taşıma araçlarında doluluk durumunda yolcu davranışları ve seçimlerini içeren bir model yöntemi önerilmektedir.

Trafik atamasının uygulamasına dair çalışmasında Easa [2], ulaşım modellemenin bu aşaması için temel bileşenleri paylaşmıştır. Araştırmada, talep matrisinin oluşturulması, ağın modellenmesi, yolculuk süresi tahminleri, trafik atama işlem süreci seçimi ve sonuçların değerlendirilmesi gibi adımlar ele alınmıştır. Çalışmada trafik atama yöntemlerinin doğru bir şekilde kullanılmasının, ulaşım sistemlerinin etkili ve verimli şekilde yönetilmesinde önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir.

Lam ve diğ. [12] kapasite kısıtı bulunan durum için, zamanla değişken sefer aralığı *(dynamic headway)* ilkesine dayalı bir trafik ataması modeli sunmuştur. Sabit sefer tarife işletme sisteminde, toplu taşıma araçları belirli sabit bir süre veya mesafe aralıklarla işletilir (örneğin, her 5 dakikada bir). Çalışmada kullanılan değişken sefer aralığı uygulamasındaysa, trafik yoğunluğu ve yolcu talebi etkenleri hesaba katılarak, araçlar gerçek zamanlı olarak farklı zaman aralıklarıyla işletilir ve seferler buna göre yeniden düzenlenir. Böylece, toplu taşıma hizmetinin daha verimli ve düzenli olması hedeflenir. Benzer kapsamda Zou ve diğ. [13], B-V matrislerinin, dinamik verilere göre belirlenmesinin gelecek toplu taşıma atamaları için daha gerçekçi fakat aynı zamanda daha maliyetli olacağını belirtmiştir; Yan ve diğ. [14], otobüslerde doluluğa bağlı olarak sefer sıklığı belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Çin'in Şian şehrinde alan çalışmasıyla bir otobüs çizelgelemesi yapılmış ve taşıt doluluklarının artmasıyla, sefer sıklığının artırıldığı bir yöntem sunulmuştur.

Toplu taşıma araçlarında kapasite kısıtı göz önünde bulundurularak büyük ölçekte, hat-tabanlı bir trafik ataması modeli de Gentile ve diğ. [15] tarafından yapılmıştır. Bu modelin bir genellemesi olarak, herhangi bir temel çizelgenin kullanılmasına izin veren araştırmada dinamik trafik ataması yapılmıştır.

[3] Ardışık ortalamalar yöntemi (MSA), benzetim tabanlı dinamik trafik ataması (DTA) alanında uygulanabilecek en kolay ve etkili sezgisel çözümlerden biridir. Ardışık ortalamalar yöntemi, yinelemeli bir en-uygunlama yöntemidir ve genellikle denge çözümlerini bulmak için kullanılır [172].

Konuya ilişkin yazındaki bir başka yöntem, Singapur'da bir otobüs hattı üzerinde çalışan Gkiotsalitis [16] tarafından ortaya konmuş; araştırmacı, tek değişkenli en-uygunlama yaklaşımları kullanarak, otobüslerin duraklarda ne kadar süre bekleyeceğini analitik olarak belirlemeye yönelik bir yöntem geliştirmiştir. Sonuçlar, araç kapasitesi kısıtları göz önünde bulundurularak yapılan bu analitik çözümün, otobüs işletme verimliliğini artırabileceğini göstermektedir. Wiecek ve diğ. [17], Polonya'da Krakow Teknoloji Üniversitesi'nde gerçekleştirdikleri çalışmada, Markov Zinciri[4] kavramını kullanarak otobüs konfor seviyesi tahminleri için bir çerçeve sunmuş; yolcu biniş ve iniş verileriyle oluşturulan tahminlerin verimliliği ve doğruluğunu değerlendirmiştir. Sunulan yöntemin, toplu taşıma sisteminde işletme, maliyet ve enerji tüketimi en-uygunlanmasında önemli katkılar sağlayabileceği belirtilmiştir.

Delgado ve diğ. [18], otobüsler için gerçek zamanlı bir matematiksel programlama modeli sunmaktadırlar. Model, yolcuların toplam bekleme süresini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Araçlara biniş sınırı koyularak gerçek zamanlı denetimlerinin yapılması önerilen modelin, tasarlanan yüksek talep senaryosunda, amaç bağıntısında %22'den fazla azalma (sürede azalma sağladığından kazanım olarak yorumlanmalıdır) sağladığını göstermektedir. Roncoli ve diğ. [19]'nin çalışmalarında, otomatik araç konum verileri ve otomatik yolcu sayma verilerinin birlikte kullanılmasıyla bir araç içi doluluk tahmin yöntemi önermiştir. Öneri modelin doğruluğu ve güvenilirliği, Fransa'da, Nantes tramvay ağına uygulanarak değerlendirilmiştir. Bajaj ve diğ. [20], çalışmalarında, yolculara en uygun kişiselleştirilmiş güzergâhları sağlama sorununa odaklanmış ve çok aşamalı bir yolculuk sırasında doluluk kaynaklı konforsuzluğun matematiksel modelini içeren bir yazılım altyapısı geliştirmiştir.

De Cea ve Fernández [21], 1993'te yürüttükleri çalışmada, bekleme süresinin, yolcu sayısı arttıkça düzenli bir şekilde arttığını gözlemlemiştir. Bu bağlamda, yolcu hacmine bağlı bekleme süresinin, tıkanıklık maliyet bağıntısı ile açıklanabileceğini belirtmiş ve BPR *(Bureau of Public Roads)* tipi (bkz. Denklem 2.2) bekleme süresi bağıntısı kullanmışlardır. BPR bağıntısı karayolu ataması aşamasında tıkanıklığın dikkate alındığı bir yolculuk süresi hesabı yöntemidir. Buna göre, yol kesimi için "hacim/kapasite" oranı arttıkça, yol kesimi yolculuk

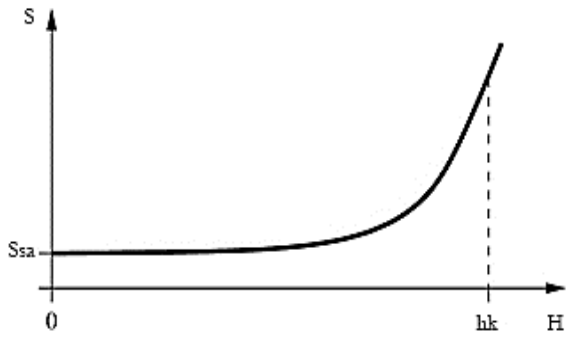
[4] Markov süreci işletilerek uygulanan çözüm yoludur. Markov süreci, problemin gelecekteki durum olasılığının, koşullu olarak sürecin geçmiş durumlarına değil de, yalnızca halihazırdaki durumuna bağlı biçimde olasılıksal hesaplandığı süreçtir [165].

süresi de BPR eğrisine göre artar. Bahsi geçen BPR bağıntısı Denklem 2.1'deki gibidir [22] ve [23]:

$$t_i = t_{0i}(1 + \alpha(\frac{V_i}{C_i})^{\beta}) \quad (2.1)$$

Burada,

V_i: i yol kesimi için trafik hacmi,
C_i: i yol kesimi için kapasite,
t_i= i yol kesimi için tıkanıklık durumu yolculuk süresi,
t_{0i}: i yol kesimi için serbest akım yolculuk süresi,
α: BPR eğrisinde hacim/kapasite katsayısı,
β: BPR eğrisinde hacim/kapasite üs değeridir.



Şekil 2.1: BPR eğrisi.

Şekil 2.1Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.'de S_{sa} serbest akım *(free flow)* durumunda yol kesimi yolculuk süresini gösterirken, S ise, hacmin (H), serbest akım yolculuk süresinden, yol kesiminin kapasitesine ulaştığı andaki (h_k) tıkanıklık noktasına kadar farklı yolculuk süresi değerleridir. Zorn ve diğ. [23] San Francisco'nun aktivite tabanlı yolculuk modeli çalışmasında, doluluk etkisinin modele dahil edilmesi amacıyla iki aşamalı bir çözüm önerilmiştir: Başlangıçta, ilk toplu taşıma seviyesini belirlemek için mevcut yolculuk çizelgeleri kullanılarak bir ilk toplu taşıma ataması yapılır; ikinci adım olarak, toplu taşıma doluluğunu yansıtabilmesi için bu atama bütün model çalışma döngüsüne taşınır. Çalışma ile bu işlemin, modelin doğruluğunu nasıl artırdığı açıklanmaktadır. Aynı çalışmada toplu taşıma araçlarının kalabalık olmasının yolcular üzerinde üç farklı etkisi olduğu belirtilmektedir: araç içi rahatsızlık, hizmet düzensizliği (veya güvenilirlik eksikliği), son olarak da dolu araca binememek. Bu kapsamda çalışmada Maier ve diğ. [24]'nden alıntıyla, toplu taşıma araçlarında doluluk etkisi, bekleme süresinde ve sefer aralığında kuramsal bir değişimle ifade edilmiştir. Bunun için Denklem 2.2'deki gibi BPR tipi bir bağıntı önerilmiştir.

$$T_w = \frac{H}{1 - (\frac{B}{R_c})^{\beta}} \tag{2.2}$$

Burada, "T_w", bekleme süresini;

"H", sefer aralığını;

"B", araca binen yolcu sayısını;

"R_c", artan doluluğu, "β" ise artış etkisini gösteren bir ağırlığı ifade etmektedir.

Tez çalışması kapsamında bu çalışmalarda bahsedilen "dolu araca binememek" olasılığının gerçekleştiği durum üzerine analizler yapılmıştır. Yine sefer aralığı varsayımsal değişimi üzerine çalışılmış fakat BPR tipi bir bağıntı yerine, uygulama kolaylığı açısından toplu taşıma atamasında, taşıtlara binebilen ve binemeyen yolcu kümelerinin, binme ve binememe oranlarında, ayrı ayrı ele alındığı bir yöntem önerilmiştir. Cominetti & Correa [25] ise BPR tipi bağıntı yerine kuyruk kuramı modellerini kullanmıştır. Kuyruk Kuramı[5], bir hizmetin verimliliğinin en-uygunlaması, tıkanıklığın yönetilmesi, bekleme sürelerinin, tıkanıklığın ve gecikmelerin incelenmesi amacıyla, ulaşım planlama çalışmaları dahil olmak üzere, çeşitli alanlarda kullanılan matematiksel bir yaklaşımdır [26].

Davidson ve diğ. [27], Los Angeles ve Sydney'deki toplu taşıma sistemlerinin kullanımını etkileyen değişkenleri incelemektedir. Araştırmada, kapasite, doluluk ve güvenilirlik (hataların vaktinde ve beyan edilen sıklıkta işlemesi gibi) gibi değişkenlerin modellenmesi ile bu değişkenlerin toplu taşıma planlaması üzerinde önemli etkileri olduğu gösterilmiştir. Jara-Díaz ve diğ. [28]'in yaptıkları araştırmada en-uygun sıklık ataması yapılırken, zirve saat ve zirve-dışı saatlerin ayrı ayrı incelenmesi gerektiği, çünkü örneğin en-uygun otobüs kapasitesinin, zirve ve zirve-dışı süreçler için ayrı ayrı hesaplanan değerler olduğu belirtilmiştir. Bu kapsamda tez çalışmasında model döngü işlem süreci sabah zirve saat (07:00-08:00 saatleri arası) için ayrı bir veri kümesi olarak ele alınmaktadır. Hadas ve Shnaiderman [29] tarafından, yolculuk talebinin istatistiksel dağılımının, otomatik yolcu sayma sistemleri kullanılarak toplanan verilerle yapıldığı çalışmada, boş koltuklar, aşırı doluluk ve olasılıksal talep gibi değişkenlere bağlı maliyetlerin gözetildiği en-uygun toplu taşıma işletme sıklığının belirlenmesi üzerine model geliştirilmiştir. Sefer aralığının yeniden düzenlendiği tez

[5] Matematiksel olarak da bu kuram, bir kuyruktaki ortalama öğe sayısının, öğelerin sisteme ulaşma ortalama hızının ve sistemde geçirdikleri ortalama sürenin çarpılmasıyla hesaplanabileceğini belirtir [164].

çalışması, toplu taşıma yolcu ataması aşamasından önce yolcu davranışının da modellenmesi yönüyle bu çalışmalardan ayrılmaktadır.

Delgado ve diğ. [30], toplu taşıma etkinliğini artırmak için araç bekletme ve/veya yolcu binişini sınırlama yöntemlerinin verimliliğini matematiksel programlama modeli kullanarak değerlendirmiştir. Araştırma sonuçları, bu yöntemin verimli sonuçlar gösterdiğini ve olası bekleme süresi değerlerinde %77'ye kadar kazanım sağladığını göstermiştir.

Mo ve diğ. [31], yolcuların akıllı kart verileri ve tren konum verilerini kullanarak metro sistemleri için tren kapasitesinin ve güzergâh seçim modeli değişkenlerinin aynı anda katsayı ölçeklendirmesini yapabilmek amacıyla bir model çerçevesi önermiş ve paylaşılan yöntemin farklı benzetim modelleriyle karşılaştırmasını yapmıştır. Sadrani ve diğ. [32], zamana bağlı talep hacimleri altında ortalama yolcu bekleme süresini en aza indirmek amacıyla en-uygun araç işletim sıralamasının belirlenmesine dair yöntem önermiştir. Araçların dolu işletildiği yerel en büyük değerlerin de yorumlandığı çalışmada işletme süreci en-uygunlaması ile arzın talebe göre daha doğru bir şekilde dengelenmesinin, dolayısıyla yolcu bekleme sürelerinin mümkün olan en az düzeylere düşmesinin mümkün olduğu belirtilmiştir.

Bir toplu taşıma aracının dolu olması durumu, yazılı eserlerde çok az dikkat edilmiş bir sorundur. Yolcunun, toplu taşıma aracına binemeyerek bekleme olasılığının artması, taşıt sıklığı gibi bir değişkeni doğrudan etkilemelidir. Bu durumda, duraklarda taşıta biniş ve iniş olasılığının değişimi yolculuk ataması için de bir yöntem önermeyi gerektirmektedir. Shimamoto [33], bu kapsamda taşıt kapasite etkisini de göz önünde bulundurarak denge kısıtlı matematiksel en-uygunlama modeli önermektedir. Kurauchi de [34], kapasite aşımı nedeniyle bazı kullanıcıların toplu taşıma araçlarına binemediği durum üzerine yoğunlaşmıştır. Burada toplu kapasite kısıtlı taşıma ağı yolcu yükleme problemi çözümü için Markov zinciri yöntemi benimsenmiştir. Tez çalışmasında, toplu taşımada doluluk nedeniyle araçlara binemeyen yolcu sayısı, özgün bir modelle tahmin edilmiş ve DAUM sürecine dahil edilmiştir.

Toplu taşımada doluluk, araçlar, erişim yolları ve duraklarda yüksek yolcu yoğunluğu ile ilişkilidir. Bu konunun araştırılmasında kolaylık, tek bir yöntemi olmasa da yoğunluğun nicel olarak ölçülebilmesidir. Nicel değerlendirmede kullanılan en yaygın ölçü, mevcut yolcu sayısı ile araçtaki koltuk sayısı arasındaki oran olarak tanımlanan doluluk oranıdır [35].

Palma ve diğ. [36], raylı ulaşımda doluluğun ekonomik etkilerini incelemiştir. Çalışmada, doluluğun yolcu konforu ve ulaşım talebi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla Ayrık Seçim Modeli[6] kullanılmıştır. Chandakas ve diğ. [37], CapTA adını verdikleri, bir ulaşım ağına yolcu atamasında kapasite etkeninin dikkate alındığı bir model geliştirmiştir. Yolcu trafiği ve taşıt trafiği arasındaki ilişkiye uygun olarak modelde, taşıt koltuk sayısı, taşıt toplam kapasitesi, araç içi konfor, bekleme, binme, inme süreleri ve taşıt sıklığı değişkenlerinin büyük öneme sahip olduğu belirtilmiştir.

Talep modellerinde, doluluk olgusu, doluluğun fiziksel yapılarından herhangi birine duyarlı yarar bağıntıları belirlenerek modellere dâhil edilmiştir [38], [35], [39], [40]. Böylece, ulaşım planlamacılar, duraklarda ve araçlarda bulunan kişi sayısının bir bağıntısı olarak, hem bekleme hem de araç içi yolculuk süresi kazanımı değerinin artabileceğini, dolayısıyla bir doluluk dışsallığı veya doluluk maliyeti kavramının üretilebileceğini göstermiştir. Kullanıcılar doluluktan rahatsız olduğundan ve bu da onların ulaşım davranışını etkilediğinden, doluluk maliyetinin modellere dâhil edilmesi veya ihmal edilmesi, sefer sıklığı, araç büyüklüğü ve ücret seviyesi gibi ulaşım politikaları açısından hesaplanabilecek en uygun değerleri etkilemektedir [41], [42], [43], [44]. Guerra ve Bocarejo [45] ile Haywood ve Koning [46] sırasıyla Bogota otobüs sistemi ve Paris metro sistemindeki aşırı doluluğu azaltmak üzere, ödemeye razılığın tespiti çalışması kapsamında doluluğun maliyetlerini tahmin etmek için bir yöntem geliştirmiştir. Douglas ve Karpouzis [47], duraklardaki (bekleme süresiyle ilgili) ve duraklara erişim yolunda/girişteki yürüme süresiyle ilgili doluluk maliyetlerini tahmin etmişlerdir.

Taşıt dolulukları üzerine çalışılırken ele alınabilecek bir diğer başlık da doluluğun tahminidir. Sarango ve diğ. [48], taşıt biniş ve iniş sayım aletleri ve uydu verileri yardımıyla taşıt doluluğu tahmin modeli geliştirmiştir. Bir zaman serisinin ortalamasını gözden geçirme ve buradan bir tahmin olarak çıkarım yapma tekniği olan Üssel Düzgünleştirme Modeli *(Exponential Smoothing Model)*[7] kullanılan çalışmada Moskova'da bir metro hattı üzerinde alan çalışması yapılmıştır. Özgün ve diğ. [49] çalışmalarında ters yönde biniş yöntemini kullanarak toplu taşıma araçlarının doluluk seviyeleri için inme sayılarının tahminini araştırmıştır. Araştırmacılar, bu yöntemin toplu taşıma işletmeleri için önemli bir araç olduğunu

[6] Ayrık Seçim Modelleri bölümünde detaylandırılmıştır.
[7] Bu yöntemde, Y değişkeninin i döneminde alacağı tahmini değer, geçmiş verilerin büyütülerek birbirine eklenmesi yoluyla hesaplanır. Bu yöntem, geçmiş verilerin gelecekteki tahminler üzerindeki etkisini azaltmak için kullanılır. Hızlı değişen veri kümelerinde özellikle yararlıdır [180].

ve doluluk seviyelerini tahmin etmek üzere biniş sayılarının tahmini amacıyla kullanılabileceğini vurgulamıştır.

Doluluk da, yolculuk seçimleri üzerine, yolculuğun diğer tüm değişkenleri gibi, yolcu tarafından algılandığı kadar ve o biçimiyle etkiye sahiptir. Bu açıdan yolcu memnuniyeti, ulaşım hizmetlerinin temel ilkesi olmalıdır. Börjesson [50], on beş yıl boyunca toplu taşıma yolcuları arasında yapılan müşteri memnuniyeti anketleri yoluyla toplanan verilerle toplu taşıma yolcuları arasında doluluk ve diğer özelliklerle ilgili memnuniyeti incelemiştir. Toplu taşıma işletme verimliliği ve taşıt doluluğu ile güvenilirlik arasında güçlü bir ilişkinin varlığına işaret eden çalışma, farklı memnuniyet değişkenlerinin tümünde zaman içinde artış gözlenirken, doluluk konusunda bu artışın gözlenmediği belirtilmiştir. Çalışma, teknolojik olanakların artışına rağmen toplu taşımada doluluk üzerine, olması gerekenin gelişmenin yaşanmadığını, konunun bilimsel araştırmalara açık bir alan olduğunu gösterir niteliktedir.

Tirachini ve diğ. [51] , Santiago metro sistemini kullanan yolcuların açıklanmış tercih anket çalışmasına dayalı verileri kullanarak tren doluluğu, konfor ve algılanan güvenlik arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir. Çalışmada, doluluğun yolculuk süresi memnuniyetsizliği üzerindeki etkisini ölçmek için doluluk çarpanları tahmin edilmiştir. Benzer şekilde, New York City metrosu üzerine yapılan bir diğer çalışmada [52], yolcuların ulaşım tercihlerini belirlemek için yapılan bir anket çalışmasıyla, yolculuk süresi ve ayakta yolcu yoğunluğu arasındaki dengenin matematiksel olarak modellendiği doluluk çarpanları tahmini yapılmıştır.

Tarife-tabanlı trafik atama denklemlerinin kullanıldığı, Hamdouch ve diğ. [53] tarafından yapılan çalışmada ise, oturan ve ayakta kalan yolcular arasındaki konfor farklılaşması modellenmiştir. Bir taşıt dolu olduğunda yolcuların bu taşıta binemeyerek sonraki aracı beklemek durumunda kalması durumu, matematiksel olarak ifade edilmeye çalışılmıştır. Tez çalışması kapsamında bahsi geçen çalışmadan farklı olarak, oturarak veya ayakta yolculuk durumlarında doluluk nedeniyle toplu taşıma araçlarına binemeyen yolcuların davranışlarının modellenmesi yapılmaktadır. Benzer kapsamda oturma olanaklarının göz önünde bulundurulduğu bir toplu taşıma ataması modeli geliştiren Leurent [54] ise, ağ seviyesinde, ardışık ortalamalar yöntemiyle, arz-talep denge bağıntısı geliştirmiştir. Önerilen yöntem, oturan ve ayakta duran yolcuların toplu taşımada doluluk kaynaklı rahatsızlık seviyelerini ayırt edebilen analitik program tabanlı bir modeldir. Çalışmada kullanılan yöntemin kullanıcı denge

çözümüne dönüştüğü ve önerilen koltuk seçim modelinin yolcuların karar verme süreci üzerindeki etkilerini gösterdiği deneysel olarak kanıtlanmıştır.

Yap ve Cats [55]'in Washington'da yaptığı çalışmada, dolu araca binemeyen yolcular için algılanan sürenin, araçlara binebilen yolcularınkine göre %68 daha fazla olduğu ortaya konmuştur. Bireysel yolculuk verileri yanında taşıt doluluklarına dair bilgilerin de toplandığı çalışmada, toplu taşıma araçlarını bekleme süresinin, araç içi sürenin 1,62 katı; dolu araçlara binemeyip bekleme süresininse 2,72 katı olarak algılandığı belirtilmiştir. Bu da toplu taşımada doluluğun etkisinin gereğinden düşük bir biçimde dikkate alınıyor olabileceğini gösterir. Whelan ve Crockett [56]′in İngiltere′de gerçekleştirdikleri çalışmada, toplu taşıma araç içi dolulukları nedeniyle algılanan yolculuk süresindeki artış etkisi incelenmiştir. Peftitsi ve diğ. 2022'de [57] Stocholm'de yaptıkları çalışmada, gerçek zamanlı doluluk bilgilendirmesi yapılmasının yolcu davranışına etkilerini araştırmıştır. Çalışmaya göre, telefon veya duraklarda doluluk bilgilendirmesi yapılan durumda, yolcular toplu taşıma araçlarına daha dengeli dağıldığından, toplu taşımada araç içi dolulukların düştüğü görülmüştür.

Demiryolu yolcu doluluğunun ölçülmesine ilişkin olarak ölçek geliştirme ve psikolojik özellikler üzerine yapılan araştırma [58], ulaşım araçlarında doluluk ölçümüne genellikle fiziksel koşullar ve mekan sınırlamalarını içeren yoğunluk temelinde yaklaşıldığını ve psikolojik faktörlerin bu yapıyı ölçmede oynayabileceği olası rolün nadiren dikkate alındığını belirtmektedir. Yöntem olarak anket çalışması öneren araştırma, demiryolu araç doluluğunun yolcuların duyguları üzerinden etki eden bir değişken olduğunu göstermektedir. Tüm alt ölçeklerle, çalışmanın, değişkenler ve çıktılar açısından iç tutarlılık ve yapısal eşitlik modeline göre geçerlilik gösterdiği belirtilmiştir. Girgin ve diğ. [59] de benzer bir noktada, toplu ulaşımın sosyolojik boyutlarına dair yazın taraması yapmıştır. Araştırmada, yolcuların psikolojisine, yolcular arası ilişkilere, sosyal denetime, araç içi etkinliklere, ulaşım aracının yapısının insanlar üzerindeki etkisine, ulaşım deneyimlerinin gündelik yaşamdaki yansımalarına, toplu taşımanın eşitsizlik ve yoksullukla bağına, ulaşımın toplumsal cinsiyetli yapısına dair yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Cheng, [60], tren yolculuğuyla ilişkili yolcu kaygısını araştırdığı çalışmasında, 412 adet yolcu ile anket çalışması gerçekleştirmiştir. Analitik sonuçlar, tren yolculuğu sırasında "doluluk", "gecikmeler", "tren durağına erişim", "durakta doğru treni bulma" ve "tren değişimi" hizmet unsurlarının yolcu endişesine neden olduğunu ortaya koymaktadır. Buna göre

çalışma ile elde edilen deneysel bulgular, tren yolcularının endişesini azaltmak yönünde bir yol haritası geliştirmek amacıyla kullanılabilir. Benzer kapsamlı yazın taramasında, yüksek yolcu yoğunluğunun yol açtığı bir dizi duyusal, psikolojik ve sosyal sorun üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bunlar arasında kişisel güvenlik ve emniyet algısındaki riskler [61], [62], artan anksiyete [60], stres ve yorgunluk hissi [63], [58], [64], mahremiyetin ihlal edilme duygusu [65], olası sağlık sorunları [61], [64], işe geç kalma eğilimi [58], [64] ve tren içinde oturarak çalışan yolcuların üretkenliklerinde olası bir kayıp [66], [67] bulunmaktadır. Ayrıca [68], [69] ve [70] eserlerine göre güvenilirlik, hız ve konforun, bu kapsamda en önemli değişkenler olduğu belirtilmiştir.

Mahudin ve diğ. [64], raylı sistem yolcu taşımacılığında yaşanan doluluğun bireysel ve toplumsal davranış üzerindeki etkilerini, değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri tahmin etmeye yarayan istatiksel bir yöntem olan yapısal eşitlik modelleme yöntemini kullanarak incelemiştir. Anket verileri, yolcuların doluluk durumlarına duygusal tepkilerinin ve bu durumun somatik sağlık sorunları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesini sağlamıştır. Araştırma sonucunda, yolcu yoğunluğunun stres, tükenmişlik hissi ve işe geç kalma eğilimi gibi olumsuz etkiler yarattığı ortaya konmaktadır.

Lam ve diğ. [71], Hong Kong'daki Hafif Raylı Sistem (HRS) duraklarında doluluk kaynaklı etkileri araştırmaktadır. İki seçili HRS durağında toplanan veriler kullanılarak, trenlerin bekleme süreleri ile HRS duraklarındaki doluluk düzeyleri arasındaki ilişkiler belirlenmiş ve trenlerin bekleme gecikmeleri için regresyon modelleri oluşturulmuştur. Son olarak, dolu araçlardaki ve yoğun duraklardaki yoğunluk kaynaklı rahatsızlık nedeniyle yolcuların tepkileri incelenmiş ve bu rahatsızlığın etkilerini incelemek için açıklanmış tercih anketleri yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarının, HRS duraklarının bekleme alanı tasarımı için bir temel olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Toplu taşımada doluluğa bağlı konforun ölçülmesini konu alan Çelebi ve İmre, [72] dört farklı doluluk seviyesi için ayrı ayrı olmak üzere taşıt doluluğunun ortalama maliyetini hesaplamıştır. İstanbul alan çalışmasına dayanarak, toplu taşımada, özellikle şehir içi raylı sistemlerde taşıt içi doluluğun tahmini ve bunun algılanan konfor üzerindeki etkisine odaklanılmıştır. Çalışmada, yolcuların daha boş bir araçla yolculuk yapabilmek için mevcut bilet fiyatının iki katına kadar ödemeye razı olabileceği belirtilmiştir. Konforun değerlendirilmesinde, "açıklanmış tercihler" anketleri kullanışlı bir yöntemdir. Bu kapsamda

paylaşılan çalışmalar arasında Lu, Fowkes ve Wardman [73], Eboli ve Mazzulla [74], Cantwell, Caulfield ve OMAhony [75] , Kroes ve diğ. [76], Batarce, Munoz ve de Dios Ortuzar [77], Li, Gao ve Tu [78] çalışmaları yer alır. Bu tür çalışmalarda, yolcuların göreli konfor algısını ölçmek için farklı kalabalık düzeylerini temsil eden görseller kullanılır ve taşıt doluluğu, metrekare başına ortalama ayakta yolcu sayısı ile hesaplanır. Bu tez çalışmasında, doluluğun araç içi etkileri değil, toplu taşıma aracına binmek ya da taşıt içi doluluk nedeniyle araca binememek arası ikili seçim davranışı modellenmiştir. Wardman ve Whelan [79] ile Li ve Hensher [80] doluluğun maliyeti ile ilgili çalışmalara genel bir bakış sunarlar. Çalışmaya göre, doluluk ile ilgili konforsuzluk tahmin edildikten sonra, sonuçlar, "doluluk dışsal maliyetlerini" tahmin etmek için kullanılır. Bu amaçla geliştirilen konfor ve doluluk maliyet bağıntıları (veya ödemeye razılığın anlaşılması [81]), hizmet niteliği maliyetinin belirlenmesi [82], [83] ve farklı ücret düzenlemeleri altında en-uygun seçimin belirlenmesi [84] amacıyla kullanılır.

Toplu taşımada doluluk kavramı, diğer tüm konforsuzluk türleri gibi yolcular tarafından yolculuk boyunca istenmeyen bir özelliktir. Doluluk üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu konforsuzluğun aslında ölçülebilir ve önlenebilir bir niteliği olduğu da anlaşılmaktadır. Ölçülen doluluğun, kullanıcısı olan toplu taşıma yolcularına bildirilmesi, uygun yollarla bu bilgilerin paylaşılması, hem yolcular açısından, hem de tüm toplu taşıma sistemi açısından önemlidir. Bu kapsamda, Fonzone ve Schmöcker [85], yolculuk öncesi gerçek zamanlı veri paylaşmanın yolcu davranışı üzerinde etkilerini incelemiştir. Sonuçta beklendiği gibi, gerçek zamanlı bilgilendirme olmayan yolcuların yolculuk sürelerinin daha uzun olduğu görülmüştür. Gerçek zamanlı bilgilendirme sisteminin taşıt doluluk bilgisini de kapsadığı durumda, ulaşım sistemlerinde iyileşmenin daha büyük oranda sağlandığı görülmüştür. Zhang ve diğ. [86], Stockholm metrosu durağında gerçekleştirilen bir alan çalışmasına dayanarak gerçek zamanlı doluluk bilgisi (GZDB) sağlamanın yolcu davranışı üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Altı günlük bir deney süresi boyunca, bir sonraki trenin her vagonu için GZDB, görsel bir ekran ve hoparlörler aracılığıyla sağlanmış ve yolcu dikkati video analizi, yolcu anketleri ve yolcu eylemi verileri ile üç boyutta değerlendirilmiştir. Drabicki ve diğ. [87], gerçek zamanlı doluluk bilgisi kullanılmasını ve bu bilginin otobüs sürücülerinin ve yolcuların davranışları üzerindeki etkilerini benzetim modeli ile incelemiştir. Sonuçlar, yolcularla doluluk bilgisi paylaşımının otobüs sıkışıklığını azaltmada etkili olduğunu ve yolcu dağılımını iyileştirdiğini göstermiştir. Noursalehi ve diğ. [88]'nin yaptığı çalışmada, yolculara taşıt doluluk bilgisi sağlamanın, yolcuları verilen bilgilere daha duyarlı hale getireceğinden, yolcuların ilk gelen araca binmeyi

reddetme olasılıklarını artırdığı ve ayrıca tüm yolcu dağılımları üzerinden, bu durumun da tren kapasitesinin daha iyi kullanılmasına yol açtığı aktarılmıştır. Benzer kapsamda, Kim ve diğ. [89] Seoul metropolitan alanında yaptıkları araştırmada, ikili lojistik model kullanarak, GZDB'nin yolcu otobüs seçimine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, otobüsün doluluk durumunun, yolcuların bir sonraki otobüsü bekleme davranışını, genellikle en büyük ağırlıkta olması beklenen değişken olan yolculuk süresi değişkeninden daha büyük bir ağırlıkta etkilediğini göstermektedir. Yine tren doluluk bilgilerinin yolcuların davranış değişikliği üzerindeki etkisini konu alan çalışmada [90], cep telefonu uygulamasıyla doluluk bilgilendirmesi yapılmasının, yolcuların metro duraklarında vagon seçimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Londra metrosu alan çalışmasıyla, 119 adet anket yapılmıştır. Metro durağı yolcu yoğunluğu, vagonlara olan mesafe, oturma olanağı, durak platform genişliği gibi değişkenlerin ele alındığı çalışmada, katılımcıların %93'ü, doluluk bilgilendirmesiyle, daha boş vagonlara yönelebileceğini belirtmiştir. Yolculara GZDB sağlayarak yoğun işletilen toplu taşıma hatlarında verimliliğin artırılmasını amaçlayan Wang ve diğ. [91], yolcu biniş seçimini içeren otobüs işletme modellerini oluşturmuş ve benzetim çalışmalarıyla önerilen modeli değerlendirmiştir. Sonuçlar, belirlenen yöntemin uygulanacağı politikaların, işletme istikrarsızlığını %20 oranında ve hat yolculuk süresine göre değişkenlik göstermekle birlikte, araç içi doluluğu %25'e kadar azalttığını göstermektedir. Trozzi [92], gerçek zamanlı bilgilendirme yapılan, toplu taşıma ağında zamana bağlı bir güzergâh seçim modeli sunmuştur. Çalışmayla, yolculara gerçek zamanlı bir bilgilendirme yapılması durumunda, yolcularda tasarlanmış davranış oluşacağı için toplam yolculuk süresinin azaldığı savunulmuştur.

Zolfaghari ve diğ. [93], belirli bir güzergâh boyunca otobüslerin konum verilerini kullanmıştır. Geliştirilen modelin amacı, o güzergâh üzerindeki tüm duraklarda yolcuların bekleme sürelerini en aza indirmektir. Ayrıca, geliştirilen model, otobüs doluluğunun yüksek ya da düşük olabileceği durumlarda ayrı ayrı sonuçlar verecek biçimde tasarlanmıştır.

Drabicki ve diğ. [94] tarafından 2023 yılında yapılan ve açıklanmış tercihler anket yöntemi uygulanan çalışmada, değerlendirme yöntemi olarak Rastgele Yarar En-çoklama (*Random Utility Maximisation*) kullanılmıştır. Kullanıcılara, doluluk bilgilendirmesi yapılabilecek bir tasarımla, olası durum olarak "şimdi binebilecekleri dolu bir araç" ve "belirli bir süre (5 veya 10 dakikalık ayrı seçeneklerle) bekledikten sonra yolculuk yapabilecekleri daha boş araçlar" gibi farklı seçenekler sunulmuştur. Yolculuk aciliyetinin (ya da zorunluluğunun) da dikkate alındığı çalışmaya göre, aşırı dolu araçlarla yolculuk olası durumunda kullanıcıların

%70'i, sonraki daha boş bir araçla yolculuk yapabilmek için 5 dakika daha bekleyebileceğini; %45'i ise 10 dakikaya kadar daha fazla beklemeyi göze alabileceğini belirtmiştir. Ortalama dolu araçlarda ise bu oranlar sırasıyla %30 ve %12 olarak belirtilmiştir.

Toplu taşımada araç doluluğunun, yolcu bekleme süreleri üzerindeki etkisi, yolcu sayısı arttıkça daha belirgin hale gelmektedir ve bu etki de yolcu davranışlarını şekillendirmektedir. Fletcher ve El-Geneidy [95] tarafından yapılan çalışmada, ödeme türleri ve doluluğun toplu taşıma araçlarının yolcu iniş biniş süreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma, Vancouver, British Columbia, Kanada'daki TransLink otobüs sistemini kullanan üç yoğun otobüs güzergâhında gerçekleştirilmiştir. Sonuçta otobüs kapasitesinin %30'dan %90'a ulaşmasıyla yolcuların bekleme süresinde %20'lik bir artış olduğu ortaya konmuştur.

Londra metrosu üzerine yapılan araştırmada [96], yolcuların oturma olasılıklarını ve bunun güzergâh seçimlerine etkisini değerlendiren, toplu taşıma işletme sıklığına göre yolcunun belirli bir dizi olası hat arasından ilk gelen araca bindiği varsayımıyla sıklık tabanlı atama modeli önerilmektedir. Modelde, yolcuların araçta "oturamama" ihtimali ve yolculuk maliyetleri, oturarak veya ayakta yolculuk yapma olasılıklarına göreli olarak hesaplanmıştır. Hörcher ve diğ. [97]'nin, toplu taşıma yolculuklarında doluluk konforsuzluğunun dışsal maliyetini, eşdeğer yolculuk süresi kaybı cinsinden tahmin etmek amacıyla yaptıkları araştırmada, otomatik talep ve tren konumu verileri kullanılarak, metro yolculuğunun tamamı boyunca doluluk koşullarındaki değişim denetlenmiş ve ayakta kalma süre ilavesinin, araçların dolu olmadığı durumdaki değerinin %26,5'i olduğu tespit edilmiştir.

Agachai ve diğ. [98], genel bir ulaşım ağında uygulanabilir bir olasılıksal dinamik toplu taşıma atama modeli önermektedirler. Bu bağlamda bir durakta veya araçta bekleyen bir yolcunun boş koltuk bulma olasılığını tahmin etmek için bir koltuk atama modeli geliştirilmiştir. Yapılan sayısal incelemeler, koltuk atama modelinin yolcuların yolculuk başlangıç saati ve güzergâh seçimleri üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Benzer kapsamda Leurent [99], toplu taşıma atamalarında koltuk doluluğunu modellemiştir. Çalışma, koltuk kapasitesi, yolculuk davranışı ve öncelik kuralları üzerine varsayımlardan yola çıkarak bir koltuk atama sürecini tanımlamakta ve bu süreç sonucunda bir toplu ulaşım hattı için hizmet türleri kavramını ortaya koymaktadır. Bu kavram, hat maliyetini rastgele bir değişken haline getirmektedir. Ayrıca, çalışmada, yolcu atamasında kapasite değişkenini ele almak üzere yapısal bir model sunulmaktadır. Hensher ve diğ. [100], Sydney için önerilen yeni Metro ile

mevcut ulaşım türleri arasında bir karşılaştırma sunarak, özellikle doluluk koşullarının yolcu tercihleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çerçevede, açıklanmış tercih anketi ve hata bileşeni seçim modeli kullanılarak, yolculuk süresi bileşenleri, hizmet sıklığı ve doluluk için türe özgü ödemeye razılığın tahminleri sunulmuştur.

Hem otobüse binerken, hem de yolculuğun başlangıcında yolcunun ayakta durmak zorunda kalması durumunda trene bindikten sonra, koltuk bulma olasılıkları, Sumalee ve diğ. [101], Leurent ve Liu [102], Hamdouch ve diğ. [53] ile Schmöcker ve diğ. [103] gibi çalışmalarda toplu taşıma atama modellerine dahil edilmiştir. Çalışmaya göre yolcular, boş koltuk bulma olasılığını içeren güzergâhı ve yine algılanan yolculuk ölçütlerine göre uygun kalkış saatini seçerler. Raveau ve diğ. [104], trenlerin doluluk oranının, Şili'de Santiago metro ağında güzergâh seçimini açıklamada önemli olduğunu ve etkinin doğrusal olmadığını göstermektedir; çok yüksek doluluk oranlarında, doluluğun rahatsız edici etkisinden farklı olarak, kullanıcıların ilk trene binememe ihtimalinin artacağı belirtilmiştir. Qin ve diğ. [105] tarafından yapılan çalışmada araştırmacılar, taşıt doluluk seviyesi ve yolculuk maliyeti arasındaki ilişkiyi inceleyerek, farklı toplu taşıma türlerinde doluluğun yolculuk maliyetine nasıl etki ettiğini değerlendirmiştir. Çalışmada ayakta yolculuk yapan yolcular için Zamanın Parasal Değeri hesabında, oturan yolcularınkine göre fazladan bir maliyet eklenmesine dair yöntem önerilmiştir.

Schmöcker ve diğ. [103], yolcuların güzergâh maliyeti algılarında ve dolayısıyla güzergâh seçimlerinde, o yolculuklarında boş bir koltuk bulma olasılığının dikkate alındığı işletme sıklığına dayalı bir atama modeli önermektedir. Bu modelde, biniş noktalarında yolculuk maliyetlerine bağlı olarak toplu taşıma aracında "oturamama" olasılığı araştırılmıştır. Tian ve diğ. [106], araçlarda doluluk etkisinin dikkate alındığı, çizelge tabanlı bir ulaşım modeli ortaya koymuştur. Koltuk sayılarına göre bir denge modeli oluşturulan çalışmaya göre, bir denge durumunda, bir kısım uzun mesafe yolcularının yolculuklarını, zirve saatten önce ve bir kesiminin de zirve saatten sonra bir zaman dilimine kaydıracağı belirtilmiştir.

Cheng ve diğ. [107], taşıt dolulukları kaynaklı olarak, yolcuların yolculuk başlangıç saati değişimi seçeneği üzerinde yoğunlaşmıştır. On üç farklı seçeneğin sunulduğu araştırmada, kullanıcıların halihazırdaki yolculuk başlangıç saatlerini (5 dakikalık aralıklarla, toplamda 5-30 dakika arasında) değiştirmeleri olası durumlar modellenmiştir.

Çalışma kapsamında davranışı modellenen araç içi doluluk nedeniyle toplu taşıma araçlarına binemeyen kesimin, pandemi vb. koşullar sonrası dönemlerde daha büyük oransal değerlerde olacağı noktasında Flügel ve diğ. [108] bir altlık sunmaktadır. Çalışmada dört farklı anket dönemi için katılımcıların taşıt içi doluluk nedeniyle hissettikleri rahatsızlık konusunda hemfikir olma oranları incelenmiş ve pandemi öncesine kıyasla, pandemi sırasında ve sonrasında katılımcıların diğer kişilere yakın durmaktan duydukları rahatsızlık hissinde bir artış gözlendiği belirtilmiştir.

Toplu taşıma ağı ve sistemlerine dair gelecek planlamasını yapan ulaşım planlamacılar, herhangi bir ulaşım yatırımı yapılması gündeme geldiğinde, kentsel alanlarda tasarım ve planlama amacıyla üretilen yöntemlerin derlemesine gereksinim duyarlar. Pedersen ve Samdahl'a [109] göre bu yöntemler; geçmiş trafik verilerindeki eğilimler, arazi kullanımı verileri, demografik veriler ve hedef yıl trafik tahminlerini içermelidir.

Trafik atamasının son aşaması geçerliliği gösterilmiş bir model oluşturmaktır. Bunun için, Meyer ve diğ. [110] geliştirdiği modelde gelecek B-V matrislerinin tahmini için, büyütme çarpanı kullanılması önerilmektedir. Lieberherr ve Pritscher de [111], 2012 yılında yaptıkları çalışmada, kapasite kısıtlaması ile trafik ataması yöntemi geliştirmiştir.

Bilimsel çalışmalar içinde, hata paylarının en yüksek olduğu, dolayısıyla matematiksel altyapısını kurmanın en zor olduğu alanın, insan davranışları üzerine yapılan çalışmaları kapsadığı görülecektir. Ulaşım modelleme çalışmaları da, odağı insandır ve onun davranışının en doğru biçimde tahmin edilebilmesi üzerine gelişim göstermektedir. Yolcu davranışlarının anlaşılması gereksinimi söz konusu olduğunda, doğrusal modeller son derece yetersiz kalmaktadır. Özellikle de bireylerin veya toplumların kümeler halinde ve belirli kısıtlar altında seçimler yapması gerektiğinde, kapsamlı matematiksel altyapıya sahip, bilimsel olarak kabul görmüş yaklaşımlara gereksinim duyulmaktadır. Bu yaklaşımlardan önemli bir tanesi Logit Model yöntemidir. Bu yöntem temel olarak, Reggiani ve Nijkamp'ın belirttiği gibi [112], karar vericinin seçenekler kümesi içinde kendisine en yüksek yararı sağlayan seçeneği seçtiği varsayımına dayanır.[8]

Yazın taraması incelendiğinde, özellikle logit model araştırmalarının, gündelik ulaşım modelleme çalışmalarında sorunlara yaklaşım açıları geliştirilmesi ve dolayısıyla etkin

[8] Ayrık Seçim Modeli başlığı altında detaylandırılmıştır.

çözümler üretilmesi noktasında ufuk açıcı olduğu görülmektedir. İstanbul'da fiili araç kullanımına dair gerçekleştirilen bir anket çalışmasından elde edilen verilere dayanarak, Tezcan ve diğ. [113] hanede ikinci bir aracın bulunması durumunun, ulaşım davranışına etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, tabakalı çok terimli logit model *(stratified multinomial logit model)* kullanılmıştır. Çalışmada hanede ikinci araç varlığının etkisi; cinsiyet, yaş, konut sahipliği, eğitim seviyesi, maaşlı çalışma durumu, kişisel gelir (hanehalkı gelirinin hanedeki kişi sayısına oranıyla) değişkenleriyle ilişkili olarak incelenmiştir. Ekonomik açıdan bir genelleme yapılmak istense, gelir arttıkça hanedeki araç kullanım seviyelerinin yükseleceğine ve tam tersi durumda düşeceğine yönelik bir eğilim beklenebilir fakat çalışma benzetim sonuçları, tersi bir sonucu göstermektedir. Yazarlar, bu sonucun arkasındaki en muhtemel dürtünün, gelir arttığında ikinci bir araç satın alma fırsatının ortaya çıkması olduğuna inanmaktadır. Bu durumda, yeni edinilen aracın kullanılabilir olması, ilk aracın kullanım seviyesini daha muhtemel bir şekilde azaltmaktadır. Tez çalışmasında araç sahipliliği (veya ikinci bir araç sahipliliği) değişkenleri ihmal edilmiş fakat benzer ekonomik kapsamın bir ölçüsü olması açısından gelir ve ulaşım altyapısına erişim olanakları üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Benzer kapsamdaki yazın taramasının daha detaylı bir incelemesi olarak Li ve Hensher'ın [80], çalışması incelenmelidir. Çalışmada toplu taşıma doluluğunun değerlendirmesine dair yazın taraması özeti sunulmuştur. Mevcut yazın taraması, doluluğun kullanıcılar için önemli olduğuna dair açık işaretler sağlamaktadır; ancak, bu çalışmaların hiçbiri, doluluk hoşnutsuzluğunun tahmini ardından, doluluk nedeniyle toplu taşıma araçlarına binemeyen kesimi model hesaplarında göz ardı etmenin talep tahmini üzerindeki etkisini incelememiştir.

Tez çalışması kapsamında yaş, cinsiyet, gelir gibi kişisel ve sosyo-ekonomik değişkenler; mevcut hat dolulukları, yolculuk süreleri, hat durak sayıları, sıklık, konfor, raylı sistemlere ve otobüs durağına erişim olanağı gibi toplu taşıma sistemine dair değişkenler; yük ve çocuk ile yolculuk yapma gibi bazı özel etmenler incelenmiştir. Bunlar içinden modellerde yer alması uygun görülen değişkenlerin etkisine göre yolcu davranışlarındaki değişimlerle, toplu taşıma ataması aşaması öncesinde uygulanmak üzere bir tahmin yöntemi önerilmiştir. Yoğun nüfus ve toplu taşıma kullanıcısına sahip bir kent olan İstanbul için sayım, gözlem ve anket verilerine göre, hizmet düzeyi beklentileri belirlenmiş ve mevcut toplu taşıma kullanım verileriyle, bulunan katsayı ağırlıklarının geçerliliği sınanmıştır.

3. YÖNTEM

Büyük kentlerde en temel sorunlardan biri, toplu taşıma araçlarının, özellikle konfor bakımından, yeterince nitelikli ulaşım hizmeti sağlayamamasıdır. Toplu taşıma araçlarındaki aşırı doluluk nedeniyle araçlara binemeyen (ve binmemeyi tercih eden) toplu taşıma kullanıcıları, halihazırda uygulanan ulaşım modelleme çalışmalarında ihmal edilmektedir. Bu soruna yönelik çözüm olarak, DAUM yönteminin son aşaması olan toplu taşıma atamasının,, durakta bekleyen toplu taşıma kullanıcıları için, bekledikleri araca binebilen ve o anda doluluk nedeniyle beklediği araca binemeyenler için iki küme olarak uygulanması önerilmektedir. Bu varsayımsal yeni aşamada DAUM toplu taşıma ataması öncesi (karayolu ataması tamamlandıktan ve toplu taşıma atama matrisi bulunduktan sonra) toplu taşıma atama matrislerinde ve sefer-tarife çizelgesinde bir düzenleme yapılması önerilmektedir. Bu düzenleme, toplu taşıma atama matrisinin ikiyi bölünmesi ve her bir parça ile ayrı bir toplu taşıma ataması süreci işletilerek, en sonunda –eşzamanlı olarak yapılabilen- bu iki toplu taşıma ataması sonucunun eklenik *(cumulative)* biçimde toplanması ve son toplu taşıma atama sonuçlarının elde edilmesi şeklindedir. Bu iki toplu taşıma atamasından biri durakta beklediği toplu taşıma aracına binebilenler için, diğeri de binemeyenler için yapılır. Beklediği taşıtlara binebilen kümesi için yapılan atamada, mevcut model döngü işlem sürecine göre değişen tek şey toplu taşıma atama matrisinin boyutudur. Bu kümedeki yolcuların, ilgili matristen, araç içi doluluğa rağmen araçlara binebilen kişi sayısının, toplam içindeki oransal değerine denk bir oranda pay aldığı varsayılır. Kalan paysa araç içi doluluk nedeniyle toplu taşıma araçlarına binemeyen küme için yapılacak toplu taşıma atamasında kullanılacak matristir. Doğrudan anket verilerinden veya ikinci bir yol olarak İhmal Edilenin Temsili (İET) bölümünde anlatılan tahmin modelleriyle "toplu taşımada doluluk nedeniyle" araçlara binemeyen küme oranı bulunur (veya hesaplanır). Beklediği araçlara binebilen yolcu kesimi için toplu taşıma atama süreci mevcut durumla aynı biçimiyle işletilir. Doluluk nedeniyle araçlara binemeyen yolcular içinse gerçekte bekledikleri araca değil, sonraki bir araca binmek zorunluluklarını temsilen, yalnızca bu kümeye ait toplu taşıma atamasında sefer aralıkları iki katına çıkarılmıştır (dolayısıyla kapasite yarıya düşürülmüştür).

Bunun için öncelikle gerekli verilerin elde edilmesi amacıyla açıklanmış tercihler anketi uygulanmıştır. Doluluk nedeniyle taşıtlara binemeyen yolcuların oranı belirlenerek, bu küme için toplu taşıma ataması matrisinde ve sefer sıklığı ile buna bağlı olarak kapasite azaltılması yoluyla atama değişkenlerinde değişiklikler yapılması önerilmiştir. Ayrıca anket katılımcılarının yanıtları ışığında en küçük ve en büyük bekleme süreleri değişkenleri için de, sefer – tarife çizelgesinde değişikliğe gidilmiştir.

3.1. YÖNTEM AŞAMA SIRASI

Çalışmada temel olarak yedi aşamalı bir çözüm yolu izlenmiştir. Bu adımlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

1) *İstanbul Ulaşım Modeli çalışması ile dört aşamalı ulaşım modelinin kurulması:*

Bu aşamada, İstanbul Ulaşım Ana Planı (İUAP) kapsamında saptanan temel ulaşım yatırımlarının karar ve politikalarının etkilerinin belirlenebilmesi için, 2012 yılı hanehalkı anketleriyle toplanan verilere dayanarak oluşturulan model, katsayı ölçeklendirme ve geçerlilik sınaması işlemleri 2020 yılı için düzenlenmiştir (2020 İstanbul Ulaşım Modeli [114]). İUM talep tahminleri; 2022 ve 2023'te yapılan toplu taşımada doluluk anketleriyle birlikte, çalışmaya esas veri altlığını oluşturmuştur.

2) *Toplu taşımada doluluk (TTD) anketlerinin yapılması:*

Belirlenen örneklem büyüklüğüne göre yeterli sayıda anketin, çalışma bölgesi olan İstanbul'un farklı özellikteki ilçelerinde, farklı özellikteki duraklarda ve Mümkün olduğunca farklı kullanıcı tipinde yolcular için yapılmıştır. Yaş, cinsiyet gibi kişisel özelliklerin ve durağın bulunduğu ilçenin sosyo-ekonomik altyapısı gibi toplumsal özelliklerin dengeli dağıldığı bir anket verisi oluşturulması esas alınmıştır.

3) *Anketlerden elde edilen verilerle, toplu taşıma sistemlerinde aşırı doluluk nedeniyle taşıtlara binemeyen ve binmemeyi tercih eden yolcu kesimlerinin tahmini için gerekli bağıntıların elde edilmesi:*

Genellikle istatistiksel modelleme ve ekonometri alanlarında kullanılan ve toplu verilerin veya bireysel verilerin incelenmesiyle ilgili modeller, ulaşım tahmin modellerine daha doğru ve gerçekçi bir yapı kavuşturacak bir adım olarak kullanılabilir. Toplulaştırılmış

modeller, genel eğilimleri ve topluluk düzeyindeki ilişkileri incelemek için kullanılırken, ayrıştırılmış modeller birey veya öğe düzeyindeki detaylı veriler üzerinden analiz yapar. Bu kapsamda,

I. *Ayrıştırılmış (disaggregate) Model:* Yolcu davranışının anlaşılması ve toplulaştırılmış model ile tutarlılığın sınanması amacıyla (dinamik ulaşım tahmin modelleri, karar ağacı modelleri gibi ayrıştırılmış ulaşım modellerinin kullanılabileceği yöntemlerde yararlanılması olasılığı da göz önünde bulundurularak) her bir yolcu için detaylı biniş tahmin modelinin kurulması aşamasıdır. Burada değişken olarak "kişisel gelir", "yolculuk süresi", kullanılan "hattın çok dolu olma durumu", "raylı sistem durağına erişim olanağı", yolculuk esnasında kişinin yanında "çocuk olup olmaması" ve "yük olup olmaması"dır.

II. *Toplulaştırılmış (aggregate) Model:* Dört aşamalı ulaşım modeli uygulama *(application)* aşamasına bir ilave adım olarak ele alınmak üzere, yine DAUM süreci mantığıyla uyumlu olarak toplulaştırılmış altyapılı biniş tahmin modelinin kurulması aşaması şeklinde iki ayrı tahmin modeli çalışması yapılmıştır. Burada değişken olarak "nüfus", "gelir" ve bölge ulaşım altyapısının ölçüsü olarak "raylı sistem duraklarına erişim olanağı" ve "otobüs durak sayısı" alınmıştır.

4) *Toplu taşıma matrislerinin, paylaşılan bağıntılardan elde edilen yüzdelik oranlarla (binebilenler ve binemeyenler oranlarında) ikiye bölünmesi:*

Bu aşamada, anketlerden sağlanan verilerle oluşturulmuş, "binemeyen yolcu sayısı" tahmin modelinden elde edilen orana göre, toplu taşıma atama matrisi iki ayrı matrise ayrılır. Toplam küme içinde binebilen yolcu sayısını ifade eden yüzdelik oranda ve yine toplam küme içinde doluluk nedeniyle binemeyen yolcu sayısını ifade eden yüzdelik oranda iki ayrı toplu taşıma atama matrisi elde edilir.

5) *Durakta bekleyen yolculardan, ilk gelen toplu taşıma aracına binebilen kesim için toplu taşıma atama ayarlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan toplu taşıma atamasının yapılması:*

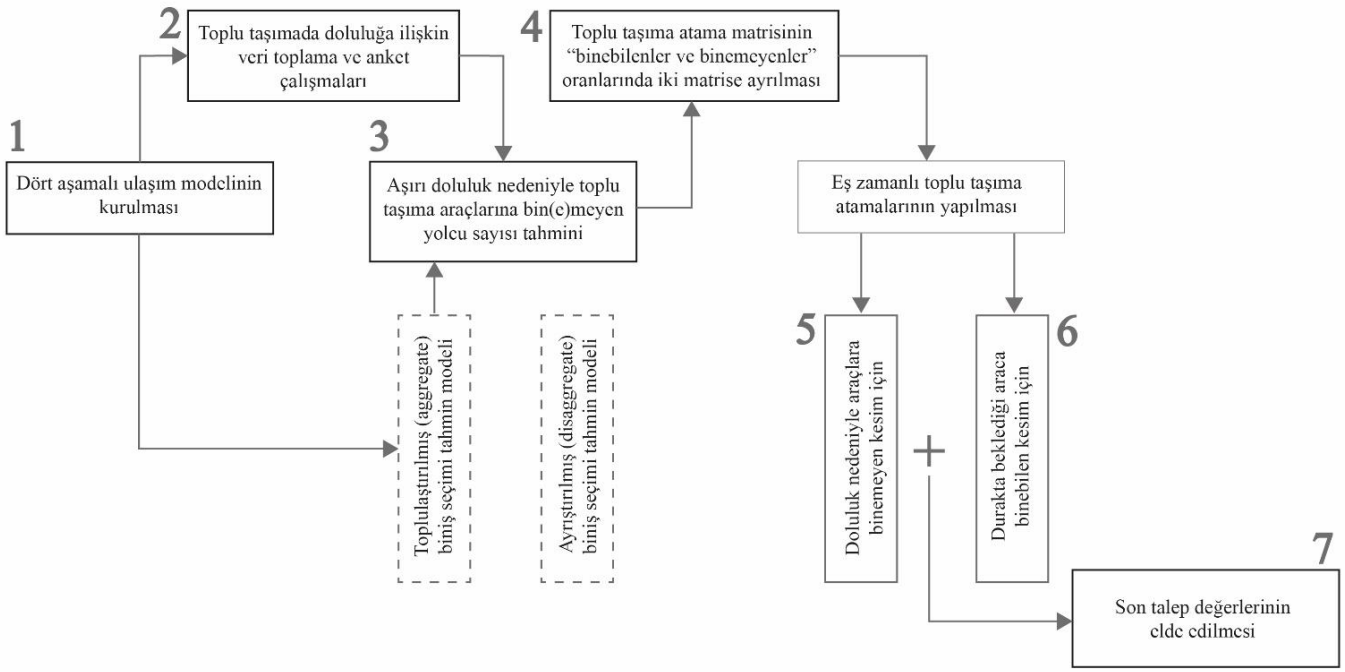
Durakta ilk gelen toplu taşıma aracına binebilen yolcu kümesi için, toplu taşıma atama ayarlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan, atama gerçekleştirilir.

6) *Doluluk nedeniyle araçlara binemeyen kesim için mevcut toplu taşıma ayarları değiştirilerek (bu yolcular için mevcut DAUM sürecinde ihmal edilen, fiili olarak yaşanan olumsuz durumun temsili olması amacıyla toplu taşıma arzının kötüleştirildiği varsayımıyla) toplu taşıma atamasının yapılması:*

Durakta ilk gelen toplu taşıma aracına araçların doluluğu nedeniyle binemeyen yolcu kümesi için, toplu taşıma ataması ayarlarında, sefer aralığının artması nedeniyle kapasitenin yarıya düştüğü varsayımıyla yeni bir atama yapılır. Bu kuramsal temsiliyetle yoğun toplu taşıma araçlarına binemeyen yolcular için hizmet kalitesi eksikliğinin modelleme sürecine dahil edilmesi amaçlanmaktadır. Nitekim, hesap ve incelemeler sonucu, bulgular bölümünde paylaşıldığı üzere, dolu araçlara binemeyen kesim için bu varsayımsal kapasite azaltımı yöntemiyle, toplu taşıma ataması model sonuçlarında, gerçek biniş sayılarına daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.

7) *Bu iki küme için toplu taşıma atamaları sonucu elde edilen biniş sayılarının toplanması yoluyla, son talep değerlerinin elde edilmesi:*

Son olarak, toplulaştırılmış logit tahmin modelinden elde edilen yüzdelik oranlarla, durakta toplu taşıma aracı bekleyen yolculardan, ilk gelen araca binebilenler ve binemeyenler için iki ayrı kümeye ayrılmış atama matrisleriyle yapılan toplu taşıma atama sonuçlarının eklenik toplamı yapılır ve yoğun toplu taşıma hatlarında araca binemeyen bireylerin ulaşım davranışlarının da model sürecine dahil edildiği son toplu taşıma atama çıktıları elde edilmiş olur.



Şekil 3.1: Çalışma akış diyagramı.

3.2. DÖRT AŞAMALI ULAŞIM MODELİ

Dört Aşamalı Ulaşım Modeli, ulaşımda yolcu davranışının temsil edildiği, her aşamasında matematiksel temellere dayanan ulaşım modelidir. Model aşamalarının tamamlanabilmesi için belirli veri altyapısının tamamlanmış olması gerekmektedir. DAUM sürecinin tamamlanması, yeter sayıda döngü işlem sürecinin tamamlanmasıyla mümkündür. Veri toplamanın çok büyük maliyetlere sahip olduğu DAUM süreci, insanlara gelecek yıllar içinde nasıl bir ulaşım hizmeti verileceği yönünde politikaların teknik anlamda belirlendiği aşamadır.

3.2.1. Veri Kaynakları

Ulaşım modelinde, modelin uygulaması aşamasında kullanılan temel veri kümeleri, özetle aşağıdaki gibi listelenebilir:

i. *Kişisel Veriler: Yaş, cinsiyet, kişisel gelir, meslek vb.*
ii. *Hanehalkı Verileri: Aile büyüklüğü, otomobil sahipliği, evdeki öğrenci sayısı, aile geliri vb.*
iii. *Bölgeyle İlgili Veriler: Arazi kullanımı, konut yoğunluğu, erişilebilirlik vb.*
iv. *Ulaşım Ağıyla İlgili Veriler: Hizmet kalitesi, mevcut ulaşım ağı, toplu taşıma sefer ve tarifeleri vb. verilerdir.*

3.2.2. Ulaşım Modeli Bölgeleri

"Bölge" *(Trafik Analiz Bölgesi - Trafik Area Zone)*, ulaşım modelleme çalışmalarında bir kentin belirli bir örneklemle temsil edildiği en küçük birimi temsil eder. Tez çalışması kapsamında "bölge" ile bu en küçük ulaşım planlama birimleri ifade edilmektedir. Her bir bölge; sosyo-ekonomik, coğrafi ve arazi kullanım nitelikleri açısından kendi içinde en fazla benzerlik gösterecek biçimde belirlenir. Dolayısıyla bölgelerin kendi içinde düzgün dağılımlı bir ulaşım davranışı sergilediği varsayılır. Bunun yanında nüfus, sosyo-ekonomik yapı, arazi kullanım özellikleri ve bölge çevresi karayolu bağlantılarının erişilebilirliği de bölgelerin şekillendirilmesinde rol oynamıştır.

Gerekli veriler hanehalkı anketler, sayım ve gözlem çalışmaları sonucu elde edildikten sonra karayolu ve toplu taşıma ağları oluşturulur. Her bir ağın, talep tahmini yapılmasına olanak sağlayacak tüm veriyi, yol kesimlerine ve gerekli matrislere işlenmiş biçimde içermesi sağlanır.

Harita temelli ağ altyapısı ve ilgili yol kesimlerine dair tüm teknik veriler elde edildikten sonra DAUM süreci başlatılır. Model aşamaları aşağıdaki gibidir:

1) Yolculuk Üretim – Çekimi *(Trip Production – Attraction)*
2) Yolculuk Dağılımı *(Trip Distribution)*
3) Türel Seçim *(Mode Choice)*
4) Yolculuk Ataması *(Trip Assignment)*

Bu adımların tamamlanması bir döngü işlem süreci olarak tanımlanır. "Döngü yakınsaması konusunda önemli bir nokta hesaplama sürecinin uzunluğudur. Denge döngüsü, tam bir atama modelinin tam bir talep modeliyle birleştirilerek çalıştırılmasını gerektirdiğinden iç döngüye kıyasla daha maliyetlidir. Bu, basitlik adına uygulamada sadece 3 ila 8 döngü işlem mümkün olabileceğinden, bu model işlem süreçlerinin doğru biçimde tasarlanması önemlidir [115]." DAUM son aşamasının ilk adımı olarak karayolu ataması çıktıları, sonraki döngü işlem sürecinin karayolu ilk ataması olarak alınır. Karayolu için atanmış ağdan ve toplu taşıma için yine kendi ağından en kısa yol matrisleri oluşturulur. Bu aşamada yeni üretim çekim değerleri eklenen özel durumlar hariç, yolculuk dağılımı aşamasından başlanarak model adımları tekrarlanır. Tez çalışmasında, yazılı eserde paylaşılan alt sınır ele alınmış ve üç döngü işlem süreci işletilerek bir öneri yöntem altyapısında kullanılmak üzere DAUM altyapısı kurulmuştur.

3.2.3. Yolculuk Üretim – Çekimi

Dört Aşamalı Ulaşım Model süreci, "üretim-çekim" hesaplarıyla başlar. Burada yolculuk amaçları için üretim çekim değerlerini hesaplamak üzere hangi değişkenlerin ne ağırlıkla hesaba dahil edildiği, diğer tüm adımları etkilemektedir. Üretim – çekim modeli, her bir bölgenin, kendi yapısına göre trafik ürettiği veya çektiği temeline dayanır. Yolculuk üretim ve çekim modellerinde amaç, hangi bölgede ne miktarda yolculuk üretildiği ve ne miktarda yolculuk çekildiğinin tespit edilmesidir.

Üretim-çekim hesaplarında, öncelikle yolculukların amaçlarına göre ayrımı (iş, eğitim, diğer) yapılır: Ev-uçlu iş *(EUİ, home-based work)*, ev-uçlu okul *(EUO, home-based school)*, ev-uçlu diğer *(EUD, home-based other)* ve ev-uçlu olmayan *(DU, non home-based)* yolculuk oranları belirlenir. Burada bahsi geçen ev uçlu yolculuklar, yolculuğun başlangıç ya da varış noktasının ev olduğu yolculuklardır. Ev uçlu olmayan yolculuklar ise yolculuğun herhangi bir ucunda ev bulunmayan yolculuklardır. Ev uçlu yolculukların ev uçları üretim, diğer uçları

çekim olarak; ev uçlu olmayan yolculuklarda ise yolculuk üretimleri yolculuğun başladığı, çekimleri ise yolculuğun bittiği noktalar olarak ele alınmaktadır. Burada EUİ veya EUO yolculukları gibi, her gün birbirine büyük oranda benzerlik gösteren yolculuklar için değişkenlerin seçimi noktasında çok büyük zorluk yaşanmayabilir fakat diğer yolculuk amaçlarında farklı değişkenler alınabilir ve bu değişkenlerin tespiti kapsamında regresyon veya logit modeller kullanılmaktadır.

Yolculuk üretim – çekim miktarları; yolculuk yapması muhtemel kişi sayısı, net hareketlilik oranı ve yolculuk yapma olasılığının çarpılmasıyla hesaplanır. Yolculuk yapması muhtemel kişi sayısı olarak, ev-iş yolculukları üretim hesabında "hanedeki çalışan sayısı"; ev-iş yolculukları çekim hesabında "istihdam (işyerlerinde çalışan sayısı)"; ev-okul yolculukları üretim hesabında "hanedeki öğrenci sayısı"; ev-okul yolculukları çekim hesabında "okullardaki öğrenci sayısı" alınır. Benzer mantıkla, ev-diğer yolculukları üretim hesabında "nüfus", "ortalama gelir" ve "hanedeki çalışan sayısı"; çekim hesaplarında "nüfus", "ortalama gelir", "okuldaki öğrenci sayısı" ve "işyerlerinde çalışan sayısı" dikkate alınır. Bu kapsamda bağıntı değişkenleri olarak farklılık içeren ev uçlu olmayan diğer yolculukların üretim hesabında "okullardaki öğrenci sayısı" ve "işyerlerinde çalışan sayısı"; çekim hesabındaysa "nüfus", "okullardaki öğrenci sayısı" ve "işyerlerinde çalışan sayısı", yolculuk yapması muhtemel kişi sayısı olarak alınır.

Üretim – Çekim hesaplarında kullanılan temel yöntem Denklem 3.1'deki şekildedir [116]:

$$\text{Yolculuk Üretimi (veya Çekimi)} = A \times B \times C \tag{3.1}$$

A: Yolculuk yapması beklenen kişi sayısı

B: Yolculuk yapma oranı

C: Kişi başına yolculuk sayısı

Buna göre yolculuk üretim ve çekim hesaplarında,

b_i: Anketlerde, çalıştım diyen bireylerin o gün içinde *"i"* amacıyla yolculuk yaptığını bildirenlerin oranı,

c_i: Net hareketlilik oranıdır ve *"i"* amacıyla yapılan toplam yolculuğun o amaçla yolculuk yapan insan sayısına oranıyla hesaplanmak üzere, yolculuk üretim ve çekim miktarları aşağıdaki bağıntılarla (Denklem 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8) hesaplanmaktadır [116]:

Ev Uçlu İş (EUİ) Yolculuk Üretimi

$$= \text{Hanedeki Çalışan Sayısı} \times b_{EUİ_üretim} \times c_{EUi_üretim} \quad (3.2)$$

Ev Uçlu Okul (EUO) Yolculuk Üretimi

$$= \text{Hanedeki Öğrenci Sayısı} \times b_{EUO_üretim} \times c_{EUO_üretim} \quad (3.3)$$

Ev Uçlu Diğer (EUD) Yolculuk Üretimi

$$= x_{1\,EUD_üretim} \times \text{Nüfus} + x_{2\,EUD_üretim} \times \text{Hanehalkı Geliri} + x_{3\,EUD_üretim} \times \text{Hanedeki Çalışan Sayısı} \quad (3.4)$$

Yolculuk çekimleri ise aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır:

Ev Uçlu İş (EUİ) Yolculuk Çekimi

$$= \text{İstihdam Sayısı} \times b_{EUİ_çekim} \times c_{EUi_çekim} \quad (3.5)$$

Ev Uçlu Okul (EUO) Yolculuk Çekimi

$$= \text{Okuldaki Öğrenci Sayısı} \times b_{EUO_çekim} \times c_{EUO_çekim} \quad (3.6)$$

Ev Uçlu Diğer (EUD) Yolculuk Çekimi

$$= x_{1\,EUD_çekim} \times \text{Nüfus} + x_{2\,EUD_çekim} \times \text{Hanehalkı Geliri} + x_{3\,EUD_çekim} \times \text{İstihdam Sayısı} + x_{4\,EUD_çekim} \times \text{Okuldaki Öğrenci Sayısı} \quad (3.7)$$

Ev Uçlu Olmayan (DU)Yolculuk Çekimi

$$= x_{1\,EUO_{üretim}} + x_{2\,EUO_{çekim}} \times \text{Nüfus} + x_{3\,EUO_çekim} \times \text{İstihdam Sayısı} + x_{4\,EUO_çekim} \times \text{Okuldaki Öğrenci Sayısı} \quad (3.8)$$

Yolculuk üretim, çekim hesaplarında regresyon hesapları dışında, Çapraz Sınıflandırma[9] ya da Ayrık Seçim Modelleri[10] gibi farklı modeller kullanılabilmektedir. Bir bölgede üretilen ve çekilen yolculuk sayıları farklılık gösterir. Bu farkı giderip aynı bölge için üretim ve çekimleri eşitlemek üzere, yolculuk dengelemesi yapılır. Dengeleme için üretimler sabit, çekimler sabit, üretim ve çekimlerin ağırlıklı toplamında sabitleme ve toplamların kullanıcı tanımlı bir değere eşitlenmesi yöntemleri uygulanabilir. İUM üretim çekim yolculuk dengeleme hesaplarında üretim çekim dengeleme işlemi yapılmıştır. Üretim çekim aşamasında bölge olarak nitelendirilen her bir ulaşım modeli biriminde üretilen ve çekilen yolculuk sayıları belirlenmiş olur. Sonraki aşamada bu yolculukların B-V bölge çiftleri arası yolculuk miktarı dağılımı yapılmalıdır.

3.2.4. Yolculuk Dağılımı

Her bölgenin ürettiği ve gelecekte üreteceği veya çekeceği yolculuklar ve dolayısıyla çalışma alanındaki toplam yolculukların, planlama yılında bölgeler arasında nasıl dağılacağı "yolculuk dağılımı" aşamasında belirlenir. Yolculuk dağılımı için, "Fratar Modeli", "Furness Modeli" "Detroit Modeli" gibi büyütme çarpanlı modelleri kullanılabilmektedir. Tez çalışması kapsamında kurulan DAUM için, "Birbirine Etki Modeli", "Elektrostatik Model", "Çoklu Regresyon Modeli", "Ara Alanlar Olasılığı Modeli" gibi sentetik modeller kapsamında ele alınabilecek, Çekim Kuvveti Modeli *(Gravity Model)* kullanılmıştır [117]. Fizik kanunlarından uyarlanan bu modele göre, iki bölge arasındaki yolculuk dağılımı, bu bölgelerin çekim kuvvetleriyle doğru orantılı, aralarındaki uzaklığın üstel biçimiyle ters orantılı olarak dağıtılır. Yolculukların hangi yollardan dağılacağı ise "en kısa yol" en-uygunlama yöntemiyle belirlenir. Buna göre her bir yolun süre, maliyet vb. direnimleri *(impedence)* olduğu kabul edilir. Maliyeti en az olan yollardan gidildiği kabulüyle dağılım aşaması tamamlanır [4]:

$$T_{ij} = \frac{\alpha \cdot P_i \cdot P_j}{d_{ij}^2} \tag{3.9}$$

Denklem 3.9'da P_i ve P_j, i başlangıcı ve j varış noktalarının nüfuslarını,

d_{ij} ise "*i*" ve "*j*" arasındaki mesafeyi temsil eder,

[9] Veri kümesinde kayıtlı olan öznitelikler ile ölçülebilen özniteliklerin farklı olduğu durumlarda örüntü tanıma işlem döngülerinde kullanılan bir yöntemdir [163].
[10] Ayrık Seçim Modelleri bölümünde detaylandırılmıştır.

"α" bir orantı katsayısıdır *(birimi yolculuk·mesafe²/nüfus²'dir).* Bu aşama, yerçekimi kanunuyla basit benzetim bağıntısında iyileştirmelerle, toplam nüfus yerine toplam yolculuk üretim "O_i" ve çekimleri "D_j" kullanılan Denklem 3.10 ile B-V matrislerinin elde edildiği aşamadır [4].

$$T_{ij} = \alpha \cdot O_i \cdot D_j \cdot f(c_{ij}) \tag{3.10}$$

T_{ij}, "i" ve "j" arasındaki yolculuk sayısını ifade ederken, $f(c_{ij})$, katsayı ölçeklendirme için bir veya daha fazla değişkeni olan yolculuk maliyetlerinin genelleştirilmiş bir ifadesidir. Bu bağıntı genellikle "direnim" veya "cayma bağıntısı *(deterrence function)*[11]" adını alır çünkü mesafe ya da süre (daha genel anlamıyla maliyet) arttıkça, ilgili yol kesimini seçmekten cayma olasılığı artar; o güzergâhın seçilme olasılığı azalır. Bu bağıntı için sık kullanılan matematiksel yapılar Denklem 3.11, 3.12 ve 3.13'te paylaşılmıştır [4].

Eksponansiyel bağıntı: $f(c_{ij}) = \exp(-\beta c_{ij})$ (3.11)

Üstel bağıntı: $f(c_{ij}) = c_{ij}^{-n}$ (3.12)

Birleştirilmiş bağıntı: $f(c_{ij}) = c_{ij}^{n}\exp(-\beta c_{ij})$ (3.13)

Cayma bağıntısı; yolun kullanıcısına maliyetini ifade eden terim "c_{ij}" ile doğrudan büyütme katsayısı "β" ve/veya üstel kuvvet katsayısı "n" gibi seçilen bağıntıya uygun katsayılarla işleme sokularak, Denklem 3.10'da kullanılmak üzere hesaplanır.

Yolculuk dağılımı aşamasından sonra her bir başlangıç noktasından her bir varış noktasına yolculuk sayıları belirlenmiş olur. Sonraki aşamada bölge çiftleri arasında sayısı belli yolculukların türel dağılım detayları oluşturulmalıdır ki DAUM döngü işlem sürecinde dördüncü ve son aşama olan karayolu ve toplu taşıma atamalarının yapılabilmesi için tür özelinde ayrıma gidilebilsin.

3.2.5. Türel Dağılım

Dağılım aşamasında bölgeler arasında hangi miktarda araç gideceği belli olduktan sonra, bu yolculuklarda hangi türlerin *(mode)* seçileceğinin belirlendiği aşama, türel dağılım aşamasıdır. Çalışmada ele alınan ulaşım türleri "yaya", "toplu taşıma", "servis" ve "özel otomobil"dir.

[11] Ortuzar ve Willumsen'in ifadesiyle [4].

Türel dağılım hesaplarında, ele alınan logit modele göre yolculuk süresi, yolculuk maliyeti, güvenlik, güvenilirlik ve konfor gibi değişkenler dikkate alınabilir. Türel dağılım aşamasında yoğun olarak Çok Terimli Logit Model *(ÇTL, Multinomial Logit Model)* kullanılmaktadır. Değişken olarak ise her tür için süre ve maliyet etkisi dikkate alınmaktadır. Direnim matrisinde daha fazla değişkenin (konfor, güvenilirlik gibi) dikkate alınmasıyla türel dağılımda daha kapsamlı modeller kurulabilir. Türel dağılım hesapları, ekonomi hesaplarında da yoğun olarak başvurulan bir yöntem olan Ayrık Seçim Modeli kullanılarak yapılmıştır.

3.2.5.1. Ayrık Seçim Modeli (Discrete Choice Model)

Seçim, kişinin, olası seçenekler arasından en uygun olanı belirlemesidir. İnsan seçimleri, her alanda politikaların şekillendirilmesinde önemli bir rol oynar. Bu bağlamda, bireylerin sunulan ürün ve hizmetler arasından tercihlerini öngörebilmek, üreticiler için büyük önem taşır. İki ya da daha fazla ayrık seçenek arasından tercih yapılacağında, seçim davranışının tahmin edilmesi amacıyla geliştirilen regresyon tekniği, "Ayrık Seçim Modeli (ASM)" olarak adlandırılır [118]. "Ayrık *(discrete)*" sözcüğü, çıktı seçeneklerinden yalnız birinin seçilebilmesi, aynı anda birden çok seçimin gerçekleşememesinden gelmektedir. Seçenekler arasında seçim yapılırken yararların en-çoklanması söz konusudur. Seçim konusunda tahmin yapmak üzere, kullanılan bir yöntem olarak "lojistik regresyon", bağımlı değişkenler ile bir veya birkaç bağımsız değişken arasındaki ilişkinin, olasılıksal ağırlık değerlerinin ve bağımlı değişkenin tahmin edildiği bir istatistik analiz yöntemidir. Yöntem, ikili veya çoklu şekilde uygulanabilir. Gözlenen çıktının yalnız iki olası tipte olduğu ikili lojistik regresyon türüdür [119]. Genellikle, hedeflenen koşulları sağlayan seçim kümesi matematiksel olarak "1" ve hedeflenen dışındaki koşulları sağlayan küme ise "0" olarak ifade edilir. Araştırmalarda genellikle, hedeflenen koşulları sağlayan seçim grubu "1", hedeflenen dışındaki koşulları sağlayan grup ise "0" olarak ifade edilir. Tez çalışması kapsamında durakta bekleyen toplu taşıma kullanıcısı için "ilk gelen araca binmek" durumu "1", "doluluk nedeniyle ilk gelen araca binememek" durumu ise "0" ile kodlanmıştır.

Aşağıdaki kabuller, ASM oluşturmak için en yaygın kuramsal çerçeve olan rastgele yarar kuramını [120] ve [121] temel alarak açıklamaktadır [4]:

1. Bireyler, belirli birbirine benzeyen bir Q topluluğuna ait olup, akılcı davranır ve kusursuz bilgiye sahiptirler; yani, yasal, toplumsal, fiziksel ve/veya bütçesel (zaman ve

para anlamında) sınırlamalara bağlı kalarak, kişisel yararlarını en üst düzeye çıkaran seçeneği her zaman seçerler (bu tür, 'Ekonomik İnsan' olarak da tanımlanmıştır).

2. X içindeki belirli nitelikler kümesi x ile donatılmış belirli bir q bireyi, $A_{(q)} \in A$ olacak şekilde bir $A = \{A_1, \ldots, A_j, \ldots, A_N\}$kümesi içinden seçimini yapar.

3. A içindeki her A_j seçeneği, q bireyi için bir U_{jq} yararı ile ilişkilendirilmiştir. Sistemi gözlemleyen modelci, bireyin bir seçiminde tüm unsurlar hakkında tam bilgiye sahip değildir; bu nedenle, düzenleyici U_{jq}'nun iki bileşenle temsil edilebileceğini varsayar: ölçülen nitelikler x'in bir işlevi olan ölçülebilir, düzenli veya temsili bir kısım V_{jq}; ve modelcinin yaptığı herhangi bir ölçüm veya gözlem hatasıyla birlikte, her bireyin kendine özgü niteliklerini ve özel zevklerini yansıtan rastgele bir kısım ε_{jq}. Böylece, modelci Denklem 3.14'ü öne sürer [4], [112], [113]:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \tag{3.14}$$

Burada,

U_{jq}, q bireyinin A_j seçeneğinden aldığı net yararı temsil eder.

V_{jq}, q bireyinin özellikleri x'e bağlı olarak ölçülebilir ve sistematik bir yarar kısmını ifade ederken;

ε_{jq}, bireyin kişisel zevklerini, özgünlüklerini ve ulaşım modelcisinin ölçüm veya gözlem hatalarını yansıtan rastgele bir yarar kısmını temsil eder.

Bu bağıntı, bireyin tercihinin yalnızca gözlemlenebilir niteliklere dayalı olmadığını, aynı zamanda kişisel eğilimler ve tesadüfi etkenler gibi çeşitli etmenlere de dayandığını ortaya koymaktadır. Sonuçta modelci, bireyin davranışlarını tam anlamıyla öngörme çabası yerine, genel bir olasılık dağılımını kullanarak bu seçim modelini biçimlendirmeye çalışmaktadır. Birey q, en çok yarar sağlayan seçeneği seçer, yani sadece ve sadece Denklem 3.15'teki durumda A_j'yi seçer [4], [118]:

$$U_{jq} \geq U_{iq}, \forall A_i \in A_{(q)} \tag{3.15}$$

yani Denklem 3.16'daki açılım yapılabilir:

$$V_{jq} - V_{iq} \geq \varepsilon_{iq} - \varepsilon_{Jq} \tag{3.16}$$

Yalnızca belirlenir terimlerle değil, olasılıksal[12] hata terimleriyle birlikte ifade edilen bir yöntem olarak ASM'de, bir *"A"* seçenekler grubu içerisinden herhangi bir "*j"* seçeneğinin tercih edilme olasılığı *"P_{jq}"* Denklem 3.17'deki gibidir [4], [122]:

$$P_{jq} = \text{Prob}\{\varepsilon_{iq} \leq \varepsilon_{jq} + (V_{jq} - V_{iq}), \forall A_i \in A_{(q)}\} \tag{3.17}$$

Seçim kümesinin tam olarak iki seçenek içerdiği özel durumlarda geçerli model, İkili Logit Modeldir *(Binary Logit Model)*. Örneğin seçenek *i* "binmek", seçenek *j* ise "binmemek" olsun. Bu durumda, n kişisinin i'yi seçme olasılığı Denklem 3.18'teki gibidir [4], [122]:

$$P_n(i) = \Pr(U_{in} > U_{jn}) \tag{3.18}$$

ve seçenek j' yi seçmesi olasılığı Denklem 3.19'da verilmiştir:

$$P_n(j) = 1 - P_n(i) \tag{3.19}$$

Burada logit modelin seçim olasılığı ifadesiyse Denklem 3.20 ile bulunur [4], [122]:

$$P_i = \frac{e^{\mu.V_i}}{e^{\mu.V_i} + e^{\mu.V_j}} \tag{3.20}$$

Tez çalışmasında, yarar değerleri hesaplandıktan sonra Denklem 3.20 aracılığıyla "binmek" ve "binmemek" seçenekleri için seçim olasılıkları hesaplanmıştır. Yarar bağıntısı katsayılarının en-uygun değer tahmini ise En Çok Olabilirlik yöntemiyle yapılmıştır.

3.2.5.2. Katsayıların Tahmini

Olasılık oranı, bir olayın gerçekleşme olasılığı ile gerçekleşmeme olasılıklarının karşılaştırılmasıyla; regresyon analizinin değerlendirilmesi ise olasılık oranının doğal logaritmasının alınması yoluyla hesaplanır. Logit model değişken katsayılarının hesabında genellikle En Çok Olabilirlik (EO, Maximum Likelihood) yöntemi kullanılır [123] ve [124]. En Çok Olabilirlik yöntemi, bağımlı değişkenlerin seçim olasılığı için bağımsız değişkenlerin ağırlıklarının, (modelde katsayılarının) ve hata değerlerinin hesabında kullanılır [125].

[12] ASM'de olasılıksal hataların istatistiksel dağılımı önemlidir. Olasılıksal hata terimi Gumbel dağılım gösterdiğinde logit, normal dağılım gösterdiğinde probit model seçilmelidir [4].

Çalışma kapsamında kurulan modeldeki değişkenlere ait ağırlıkların/katsayıların belirlenmesi amacıyla kullanılan, EO tahmin yöntemi, Denklem 3.21'de, *"T"* örneklemi ve *"J"* seçenekler kümesi için EO bağıntısı verilmiştir [4] ve [126]:

$$L(\beta) = \prod_{\forall t \in T} \prod_{\forall j \in J} (P_{jt}(\beta))^{\delta_{jt}} \tag{3.21}$$

δ_{jt}'nin seçim göstergesini (*t* kişisi, *j* seçeneğini seçerse "1"; seçmezse "0"); P_{jt}'nin de kişisinin *j* seçeneğini seçme olasılığını gösterdiği bağıntıda, gerçek olasılık değerlerine en büyük benzetimi veren "*β"* katsayıları, EO bağıntısını en büyük yapan (eşitlikte iki tarafın logaritması alınmış bağıntının birinci türevini sıfır, ikinci türevini negatif yapan) katsayı değerleridir. Bağıntının en büyük değerini bulmakla, türev alımını sağlamak üzere, logaritmasının en büyük değerini bulmak aynı sonucu vereceğinden, EO bağıntısı yerine log-EO (*log(L[β])*) bağıntısı en-çoklanır ve bu nedenle yöntem, Denklem 3.21'de gösterildiği üzere, log-olabilirlik *(log- likelihood)* şeklinde Denklem 3.22'deki gibi ifade edilir [126]:

$$\log L = \sum_{i=1}^{n} (y_i \log \hat{y}_i + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)) \tag{3.22}$$

İkili sınıflandırma için verilen logaritmik olabilirlik bağıntısında;,

L : Log-olabilirlik değeri,

n : Veri kümesindeki örnek sayısı,

y_i *: i'nci örneğin gerçek değeri,*

y^i *: i'nci örneğin tahmin edilen değeri (modelin çıktısı)*

Tez çalışması kapsamında TTD nedeniyle toplu taşıma araçlarına binemeyen yolcu sayısı tahmini Denklem 3.27'deki değerin en-çoklanması (EO) yöntemiyle yapılmıştır[13]. DAUM döngü işlem sürecinde üçüncü aşama olan türel dağılım aşamasında, sayıları yolculuk dağılımı aşamasında belirlenmiş olan, bölge çiftleri arasındaki yolculukların, hangi türler seçilerek yapıldığı detayı da belirlenmiş olur. Sonraki aşama karayolunda araç sayılarının, hız ve sürelerinin belirleneceği karayolu ataması aşamasıdır. Bu aşamadan elde edilen lastik tekerlekli toplu taşıma araç hızlarının toplu taşıma ağında tüm ilgili yol kesimlerine aktarılmasının ardından, toplu taşıma talep tahminlerinin ve toplu taşıma ana türleri, hatları ve

[13] Çalışma kapsamındaki uygulama, İhmal Edilenin Temsili bölümünde yapılmıştır.

her bir durak özelinde binen, inen yolcu sayılarının belirlendiği toplu taşıma ataması adımına geçilir.

3.2.6. Yolculuk Ataması

Yolculukların, bölgelere dağılımı ve türel ayrımı yapıldıktan sonra, karayolu ağında her bir yol kesimine ilgili trafiği temsilen araç yüklemesi ve toplu taşıma ağında her bir toplu taşıma hattına yolculuk ataması yapılır. Bu kapsamda yüklemelerin yapılabilmesi için karayolu ve toplu taşıma için ayrı ayrı olmak üzere B-V matrisleri ele alınır. Bu yolculuklar, ilgili ağdaki (karayolu ve toplu taşıma) en kısa yollar ve göreli direnimi (veya maliyeti) en düşük olan bağlantılar ve yine genelleştirilmiş maliyeti en düşük olan toplu taşıma hatları belirlenerek, gerekli kapasite ve hız kısıtları da göz önünde bulundurularak yol ağına ve toplu taşıma hatlarına yüklenir. Karayolu trafik ataması sürecinin temel amacı, toplam yol hacimlerinin ve belirli talep seviyelerine uygun biçimde bölge-bölge yolculuk maliyetlerinin (yolculuk sürelerinin) tahmin edilmesi; yol kesimleri arası bağlantı akışlarının elde edilmesi ve aşırı yoğun bağlantıların belirlemesidir [4]. **Tablo 3.1**'de trafik ataması yöntem seçimi rehberi verilmektedir.

Tablo 3.1 Trafik ataması için yöntem seçimi [4].

Olasılıksal Etkiler Dahil mi?	**Kapasite Kısıtlaması Yok**	**Kapasite Kısıtlaması Var**
Hayır		
Tek Kullanıcı Sınıfı	Hepsi ya da Hiç	Wardrop Dengesi
Çoklu Kullanıcı Sınıfları	Çoklu Kullanıcı Sınıflarıyla Hepsi ya da Hiç	Çoklu Kullanıcı Sınıflarıyla Wardrop Dengesi
Evet		
Tek Kullanıcı Sınıfı	Dial's, Burrell's	Olasılıksa Kullanıcı Dengesi (OKD)
Çoklu Kullanıcı Sınıfları	Dial's, Burrell's	Çoklu Kullanıcı Sınıflarıyla Stokastik Kullanıcı Dengesi

Toplu taşıma yolculuk atamasında yöntem olarak Olasılıksal Kullanıcı Dengesi *(Stochastic User Equilibrium)* yaklaşımı kullanılmıştır. Buna göre, yol ağındaki tüm yol kesimlerine belirli olasılıkla araç ataması yapılır. Bu olasılıklar ise yolun fiziksel işlerlik niteliklerinin yanında hangi B-V noktalarını birbirine bağladığıyla ilişkili olarak belirlenir. Toplu taşıma atamasında da benzer yaklaşımla, yolculuk süresi, maliyeti, aktarma sayısı gibi herhangi bir hattın kullanıcıya maliyetini belirleyen değişkenlere göre belirli olasılıklarla her hattın yolculuk yüklemelerinin yapılması sağlanır. Araç kapasitesi, sefer sıklıkları ve aktarmalar burada ele alınan temel değişkenlerdendir. Toplu taşıma ataması yöntemleri aşağıdaki gibidir:

i. Hepsi ya da hiç ataması
ii. Çoklu yol ataması *(multipath)* yaklaşımı
iii. Olasılıksal kullanıcı dengesi *(stochastic user equilibrium)* ataması [4].

Hepsi Ya da Hiç toplu taşıma ataması, bir ulaşım ağındaki tüm taleplerin en düşük maliyetli yolu kullanarak aynı anda atanmasını ifade eder. Bu, genellikle bir ağdaki en kısa yolların belirlenmesi ve ardından tüm talebin bu yollar üzerinden yönlendirilmesi şeklinde gerçekleşir. Bu yöntemde, ulaşım ağındaki her yolculuk için en kısa veya en hızlı güzergâh belirlenmez [7]. Bunun yerine, her yolculukta aynı güzergâhın seçildiği ve tüm yolculuklarda aynı yolu kullandığı kabul edilir. Atama süreci oldukça hızlı biçimde sonuç verdiğinden, ulaşım planlama süreçlerinde özellikle belirli öngörüler elde etmek amacıyla yoğun biçimde kullanılan bir yöntemdir. Çoklu Yol Ataması Yöntemi'nde tüm yolculuklar tek bir en uygun güzergâh ve araçlara atanmaz; algılanan hizmet sıklığına bağlı olarak yolculukların farklı yollar arasında en-uygunlama ile dağılımı gerçekleşir ve yöntem, matematiksel olarak belirlenir yöntemlerdendir. Çoklu Yol Atama işlem süreçleri, genellikle haritalama ilkeleriyle çözüm bulmaya dayanır. Düğümler *(node)* haritadaki noktaları veya konumları temsil eder. Yol arama işlem sürecine göre, bu harita altyapısı kullanılarak başlangıç noktasından hedef noktasına giden en uygun yol bulunur. Çoğu çoklu yol atama tekniği iki yaklaşımdan birine dayanır: yol numaralandırma veya yol saptırma. Yol numaralandırma modeli öncelikle değişken bağlantı direnim matrisi girdileri ile atama sürecini tekrarlanmasına dayanır [127]. Belirlenir modeller dışında olasılıksal modellerin kullanıldığı ve toplam maliyet açısından en-uygun olan yollar dışındaki bağlantılara da atamalar yapılan modeller ise bu tez çalışmasında da toplu taşıma atama yöntemi olarak kullanılan Olasılıksal Kullanıcı Dengesi Atama modelleridir.

3.2.6.1. Olasılıksal Kullanıcı Dengesi Ataması

Bu atama biçiminde sadece en-uygun yollara değil, yol ağındaki tüm yollara atama yapılır. Kullanıcıların tercihleri olasılıksal olarak ele alınır ve toplu taşıma seçiminin rastgele etkilere bağlı olarak değişebileceği dikkate alınır. Bu varsayım gerçeğe uygun bir varsayımdır. Kapasite aşımları dikkate alınır ve şebekede yükleme bu sınırla kısıtlanır. Olasılıksal Kullanıcı Dengesi (OKD) işlem sürecinde, her yol kesiminin "genelleştirilmiş maliyeti" oranında seçilme olasılığının değiştiği varsayılır. Genelleştirilmiş maliyet denklemi Denklem 3.23'teki gibidir [4] ve [128]:

$$M_y = \sum_{h\epsilon H}[\gamma_m m_h + ZPD\ (\gamma_b b_h + \gamma_a a_h)] + \sum_{i\epsilon I}\left[ZPD\ \left(\gamma_d\, d_i + \gamma_s s_i\left(1 + \alpha_i (h_i/k_i)^{\beta_i}\right)\right)\right] + \sum_{j\epsilon J}\left[ZPD\ \left(\gamma_{sy} sy_j\right)\right] \quad (3.23)$$

M_y: Genelleştirilmiş toplam yolculuk maliyeti

h : y yolunda kullanılan bir toplu taşıma hattı

H: y yolunda kullanılan tüm hatlar

i: y yolundaki bir yol kesimi

I: y yolundaki tüm yol kesimleri

j: y yolundaki bir yürüme yolu

J: y yolundaki tüm yürüme yolları

ZPD: Zamanın parasal değeri (value of time)[14]

m_h: h hattının kullanıcıya maliyeti

b_h: h hattı için bekleme süresi

a_h: h hattına aktarma ek süresi

d_i: i yol kesimindeki durak kayıp süresi

h_i: i yol kesimindeki yolcu hacmi (volume)

k_i: i yol parçasının kapasitesi (capacity)

α_i: BPR tipi gecikme bağıntısındaki alfa katsayısı

β_i: BPR tipi gecikme bağıntısındaki beta katsayısı

s_i: i yol kesimindeki yolculuk süresi

sy_j : j yürüme yol kesiminin yürüme süresi

γ_m: maliyetin ağırlığı

[14] Yolculuk süresinin (araç içi, yürüme veya bekleme) bir birim azaltılması için ödemeye razı olunan miktarın ifadesidir [4]. Ulaşım planlama çalışmalarında yolculuk süresi temel değişkeninin, yarar bağıntıları ve genelleştirilmiş maliyet hesaplarında dikkate alınması amacıyla kullanılmaktadır.

γ_b*: bekleme süresi ağırlığı*

γ_a*: aktarma ek süresi ağırlığı*

γ_d*: durak kayıp süresi ağırlığı*

γ_s*: araçta geçen sürenin ağırlığı*

γ_{sy}*: yürüme süresi ağırlığı*

Genelleştirilmiş maliyet bağıntısının ilk döngüde serbest akım koşullarında uygulamasıyla bulunan maliyet değerine, döngü sürecinde seçilecek yeni yol akımlarının eklenmesiyle ve her kullanıcının, algıladığı yolculuk maliyetleri içinden kendisine en az maliyetli olan güzergâh ve hattı seçeceği kabulüyle OKD döngüsü Denklem 3.24 ile başlatılmış olur [4].

$$Ca = Ca(Va) \tag{3.24}$$

Ca*: Yol kesimleri için herhangi bir maliyet değeri (ilk atamada serbest akım koşulları dikkate alınır),*

Va*: Ağ altyapısı ve sefer-tarife kısıtlarına göre belirli kurallar dahilinde oluşturulan atama matrislerinin yüklenmesiyle üretilen yeni yol kesimi akımları.*

Uygulama anlamında bir döngüsel yükleme yöntemi olan OKD için [4], [128];

1. Mevcut maliyetler $Ca = Ca$ (0), yani serbest akım yolculuk maliyetleri olarak belirlenir, her "a" için Va = 0 olarak başlanır, n = 0 alınır.

2. n = n + 1 seçilerek yol kesimleri içinde mevcut maliyetlerle bir dizi en az maliyet ağacı oluşturulur.

3. Mevcut en az maliyet ağaçları ve uygun bir olasılıksal yöntem kullanılarak yolculuk matrisi ağa atanır; ilk akışlara ilave bir dizi "Fa" yardımcı akışı elde edilir.

4. Güncel akımlar Denklem 3.25'le hesaplanır:

$$V_a^n = (1 - \phi)V_a^{n-1} + \phi F_a \tag{3.25}$$

ϕ = 1/n alınarak

5. "V_a^n" akışlarına dayalı olarak yeni bir mevcut "a" bağlantı maliyetleri kümesi hesaplanır; eğer akışlar (veya mevcut bağlantı maliyetleri) iki ardışık yinelemede önemli ölçüde değişmediyse, döngü tamamlanır; aksi takdirde 2. adıma geçilir.

Tez çalışmasında sunulan yaklaşımda, toplu taşıma atamalarında OKD yöntemi kullanılmıştır. Döngü işlem süreçleri toplu taşıma atamalarıyla sonlandırılmıştır. Bu olasılıksal yöntem, toplu taşıma kullanıcısı yolculuk davranışlarının iyi bir temsilinin elde edilmesini sağlasa da "hiçbir yolcunun gelen araca binmek konusunda başarısız olmayacağı" kabulüne dayandığından [8], [4], gerçekte belli bir kesimin bu model sürecinin dışında bırakıldığı görülmektedir. Bu noktadan hareketle tez çalışmasının temel amacı olarak, mevcut modelleme sürecinde ihmal edilen bu yolcu kesiminin temsili için sonraki bölümde detayı paylaşılan bir yaklaşım geliştirerek, ulaşım modellerinin geliştirilmesine katkı sağlanması hedeflenmektedir.

3.3. İHMAL EDİLENİN TEMSİLİ

Toplu taşıma araçlarındaki doluluk nedeniyle araçlara binemeyen kümenin oranı belirlendikten sonra, toplu taşıma atama matrisi, bu kümeler oranında ikiye bölünmüştür. Yolculuk miktarları, araçlara binemeyen küme oranında azaltılan kesim (yani ilk binmek istediği araca binebilenler) için mevcut toplu taşıma atama işlemi yapılmıştır. Çünkü bu kesim için toplu taşıma kullanımında bir değişiklik olmadığı varsayılabilir. Bu küme için tek değişen, mevcut model verisine göre, matris boyutunda bir azalma bulunmasıdır. İkinci aşamada, binemeyen küme için toplu atama matrisi, ilk binmek istediği araca binemeyenler oranı kadar bir boyuta küçültülmüş ve ayrıca bu küme için taşıtların sefer sıklığı ile kapasite değeri değiştirilmiştir. Katılımcılardan ilk gelen araca binemeyenlerin %85'i aynı durakta sonraki aracı beklediğini belirtmiştir. Bu nedenle, doluluk nedeniyle toplu taşıma kullanımı davranışı modellenirken, bu durumun, toplu taşıma ataması aşamasında sonucu etkileyeceği görülmektedir. Doluluk nedeniyle araçlara binemeyenler olması durumunun, DAUM için üretim-çekim aşamasından itibaren dört aşamayı da etkileyeceği varsayımıyla da model denemeleri yapılmış fakat toplu taşıma ataması aşamasında bu etkinin uygulanmasıyla en doğru (gerçek verilere en yakın) sonuçlar elde edilmiştir. Şöyle ki, doluluk nedeniyle araçlara binemeyenler için, binmeye çalıştıkları aracın sefer aralığının *(headway)* temsili olarak iki

katına çıktığı, yani sefer sıklığının yarıya düştüğü yaklaşımı benimsenmiştir. Böylece binemeyenler için toplu taşıma altyapısının fiili olarak "daha verimsiz" çalışıyor olması durumu, varsayımsal olarak atama sürecine dahil edilmiş olur.

Anketlerden elde edilen B-V matrisleri incelendiğinde İstanbul'un tüm ilçelerini kapsayan bir örneklem oluştuğu görülmektedir. Bu veri, sunulan yaklaşımın sınanmasında daha doğru veri altlığı elde edilmesini sağlamıştır. Yolculuklar için tarih ve saat bilgisi alındığından, bu veri içinden sabah zirve saatte (07:00-08:00) yapılan yolculuklar çekilebilmiştir. Çalışmada kullanılan ulaşım modeli de zirve saat için geçerli olduğundan, incelemelerde bu zirve saat verileriyle çalışılmıştır.

3.3.1. Anket Yapısı

Açıklanmış tercihler anketlerinde, kullanıcılara sosyo-demografik soruların yanında, koşulları oluşturulmak istenen bir tasarı durumla ilgili sorular sorulmaktadır. Böylece herhangi bir planlama çalışmasında, öngörü modeller tasarlamak açısından verimli bir altlık sağlanmaktadır. Anket, İstanbul'da yaşayan ve toplu taşıma kullanan herkese uygulanabilir biçimde hazırlanmıştır. Genellikle anket katılımcıları bireysel gelir bilgisini paylaşmak istemez. Bu nedenle sosyo-ekonomik bir veri altlığı olarak ikamet edilen mahalle bilgisi talep edilmiştir. Sosyo-demografik verilerin de toplandığı anket çalışması okulların açık olduğu (yaz tatili ve bir resmi tatile denk gelen tarihli verilerin elenebilmesi açısından) geniş bir tarih aralığı boyunca (Mayıs 2022 – Mayıs 2023 tarih aralığında) yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılmak üzere Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık ayları hafta içi sabah zirve saat verileri seçilmiştir. Üç ay süreyle çevrim içi paylaşılan anket (816 adet), sonrasında duraklarda yüz yüze görüşme şeklinde (300 adet) yapılmıştır. Zengin veri altlığı sağlayabilen açıklanmış tercihler yöntemi kullanılması yoluyla tez kapsamında, çevreci ulaşım politikalarının geliştirilmesinde kullanılabilecek çıkarımlar da yapılmıştır. Anket katılımcılarının değişkenler açısından dengeli nitel dağılıma sahip olması için rasgele örneklem seçimi yapılmasına özen gösterilmiştir. Tez çalışmasının ulaşım modelleme alanındaki teknik veri gereksinimi yanında, toplumsal çıkarımlar yapılmasını sağlayacak çoktan seçmeli ve açık uçlu sorular da sorulmuştur (toplu taşımada doluluk anketini incelemek için bkz. Ek 3). Anketin son kısmında öneriler için yorumların da alındığı çalışmada toplu taşıma araçlarında doluluk nedeniyle araçlara binemeyen kişilerin, ulaşım modeli sürecine dahil edilebileceği soru yapıları kullanılmıştır.

3.3.1.1. Örneklem Büyüklüğü

Modelin kurulduğu 2020 yılı için zirve saatte toplam toplu taşıma yolculuk sayısı 697,817 kişidir. Yalnızca toplu taşıma kullanıcılarıyla yapılan anketler için örneklem büyüklüğü hesabı için Denklem 3.26 [129] kullanılmıştır:

$$n = \frac{N}{1 + N * e^2} \tag{3.26}$$

n: Örneklem büyüklüğü

N: Araştırmaya konu olan küme büyüklüğü (anakütle)

e: Kabul edilebilir hata oranı

Burada %7 hata payı kabulüyle ve %90 güven aralığı için örnek büyüklüğü 752 adet olarak belirlenir. Bu tez çalışmasında 1116 adet anket yapılmıştır. Bunlardan zirve saatte ve geçerli olan 837 tanesi, model incelemelerinde altlık olarak kullanılmıştır. Ankette gelir durumu, yaş ve cinsiyet gibi kişisel verilerin yanında bölge, durak ve yolculuk niteliklerine dair veriler de toplanmıştır.

Anket soruları yolcunun algıladığı durum üzerinden hazırlanmıştır. Bunun nedeni, yolcuların gerçekte kendi algıladıkları, "hatalı" çıkarımlar, yani algısı üzerinden kararlar almasıdır. Li ve Hensher [130], toplu taşıma araçlarında yaşanan doluluğun hem nesnel hem de öznel ölçümlerini incelemiş ve kullanıcılar için seçim aşamasında öznel ölçümlerin önemi vurgulamıştır.

Anket sorularıyla ilgili temel bir diğer yaklaşım da soruların tümünün, katılımcının en son yaptığı yolculukla ilgili olmasıdır. Bu yaklaşım ile rastgele dağılım olasılığı artırılmaktadır. İstanbul'da yaşayan ve toplu taşıma kullanan herkesin hedef kitle olarak alındığı yapılan sorular, katılımcının son yaptığı yolculukla ilgili sorularak, anketin kapsayıcılığının en yüksek seviyede olması sağlanmıştır.

3.3.2. Binmemeyi Seçmek ya da Binmeyi Seçememek

Mevcut ulaşım modellerinde, durakta bekleyen bir toplu taşıma kullanıcısının, ilk gelen araca bineceği varsayılır. Gerçekteyse durum farklı olabilmektedir. Gelen araç çok dolu olduğu zaman yolcu, binmemeyi tercih edebilir ya da istese de araca binemeyebilir ve bu durum matematiksel olarak modellenebilir. Matematiksel modellemenin ön adımıysa gerekli değişkenlerin belirlenmesidir. Bu kapsamda yazın taramasında modellerde ele alınan

değişkenlere değinilen çalışmalar (Lam ve diğ. [12], [131], Nguyen ve diğ. [132], Yin ve diğ. [133], Teklu [134], Hamdouch ve diğ. [135], [136]) incelenerek, üretilen matematiksel bağıntılarda kullanılan değişkenler belirlenmiştir. Çalışmanın bu kısmı, durakta toplu taşıma aracını bekleyen yolcu için, ilk gelen araca "binmek" ve "binememek" seçimleri arasındaki logit modeli kapsamaktadır ve bunun için "binmek" kümesi "1", "binememek" kümesi "0" olarak değerlendirilmiştir. Her bireyin "biniş seçimleri" bağımlı değişken olarak ele alınan modellerde, ulaşım planlayıcılar açısından veri edinme maliyetlerinin mümkün olduğunca en azda tutulacağı temel bağımsız değişkenlerle bağıntı oluşturulmasına özen gösterilmiştir.

3.3.2.1. Modellerde Kullanılan Bağımsız Değişkenler

Çalışmada yolculukla ilgili, sosyo-demografik ve sosyo-ekonomik koşullarla ilgili değişkenler ele alınarak bu değişkenlerin yolcu davranışına etkileri araştırılmıştır. Bunun için ayrıştırılmış modelde ve toplulaştırılmış modelde farklı değişken altyapıları kurulmuştur.

- *Ayrıştırılmış Model Değişkenleri*

  Ayrıştırılmış modelde katılımcı her bir birey için bağımsız olarak veri toplanmıştır. Buna göre toplu taşıma kullanıcısı bireyin;

  - "Kişisel aylık geliri"
  - "Toplam yolculuk süresi (son yaptığı yolculukta duraklara erişim, araç içi yolculuk süresi ve aktarma süreleri dahil olmak üzere)",
  - "Raylı sistem erişim imkânının varlığı" değişkenleri ele alınmıştır. Raylı sistem erişim imkanı yolcunun beklediği durağa yakında (yaklaşık 800 m çapında) metro veya tramvay hattı varlığını ifade eder (*"0"*: Raylı sistem durağına erişim imkanı yok, *"1"*: Raylı sistem durağına erişim imkanı var). Son yaptığı yolculuk için, yine kukla değişken olarak;
  - "Kullanılan hattın çok dolu olup olmadığı (doluluk nedeniyle araçlara "binemeyen" yolcuların ve "ayakta fakat rahatsız" hissederek yolculuk yaptığını beyan eden kullanıcıların, hakkında tercihlerini belirttiği araçların "çok dolu" olduğu kabul edilmiştir)",
  - "Yanında bavul vb. yük olup olmadığı" ve
  - "Yanında çocuk olup olmadığı"

  değişkenleri kullanılmıştır.

- *Toplulaştırılmış Model Değişkenleri*

  Toplulaştırılmış modelde ise katılımcının ikamet ettiği ilçe için benzer bölgede yaşayan tüm kullanıcılar için toplam ve ortalama değerler üzerinden hesaplar yapılmıştır. Buna göre,

  - İlçe nüfusu
  - İlçe ortalama aylık geliri,
  - İlçe sınırlarında raylı sistem erişim imkânının varlığı
  - İlçe sınırlarında İETT otobüs durağı sayısı değişkenleri dikkate alınmıştır.

Sonuçta, taşıtlara binebilen ve binemeyenler için bulunan tüm toplu taşıma atama değerleri, eklenik *(birikimli toplam)* olarak toplanarak, model sonuçları elde edilmiş olur. Bu değerlerin, toplu taşımada doluluk nedeniyle taşıtlara binemeyenlerin model sürecinde dikkate alınmadığı mevcut DAUM model sonuçları ve mevcut biniş sayıları ile kıyaslanmasıyla, hata oranları belirlenmiştir. Burada toplu taşımada doluluk nedeniyle araçlara binemeyenlerin oranı Logit Model kurularak tahmin edilmiştir. Tez çalışmasında durakta bekleyen yolculardan, ilk gelen toplu taşıma aracına binen küme oranının belirlenmesi için yolcu davranışının anlaşılması amacıyla (ikili logit model ile "binemeyen küme yararı" bağıntısına göreli olarak) ayrıştırılmış ve DAUM sürecine dahil edilmek amacıyla toplulaştırılmış davranış modelleri için ayrı ayrı yarar bağıntıları oluşturulmuştur.

3.3.2.2. Ayrıştırılmış Davranış Modeli

Ayrıştırılmış tahmin modeli Denklem 3.27'deki gibidir:

$$U_{a,b} = \beta_{0,b} + \beta_{1,b} * S_b + \beta_{2,b} * g_b + \beta_{3,b} * dÇok_b + \beta_{4,b} * rVar_b + \beta_{5,b} * YVar_b + \beta_{1,b} * çVar_b \quad (3.27)$$

Burada,

b: "Binmek" ifadesi için gösterge,

a: "Ayrıştırılmış" ifadesi için gösterge,

β_{ib}: Binebilenler için değişken ağırlıkları (i: değişken sayısı),

S: Toplam yolculuk süresi,

G: Kişisel aylık gelir,

dÇok: Doluluğa dair kukla değişken (çok dolu araçlar için "1", çok dolu olmayan araçlar için "0"),

rVar: Raylı sisteme erişim imkanının ifadesi olarak kukla değişken (kullanıcının başlangıç noktası etrafında 800 metre çeper içinde raylı sistem durağı varsa "1", yoksa "0"),

yVar:Yolcunun yanında yük varlığını ifade eden kukla değişken (yük varsa "1", yoksa "0"),

çVar:Yolcunun yanında çocuk varlığını ifade eden kukla değişken (çocuk varsa "1", yoksa "0").

DAUM, toplulaştırılmış verilerle uygulanan bir model sürecidir. Tez çalışması kapsamında, DAUM son aşaması olan toplu taşıma ataması aşaması için, toplu taşımada doluluk karşısında yolcu davranışını içeren bir yaklaşım önerildiğinden, ayrıştırılmış model yalnızca yolcu davranışının anlaşılması ve yorumlanması amacıyla kurulmuştur.

3.3.2.3. Toplulaştırılmış Davranış Modeli

Toplu taşımada doluluk nedeniyle araçlara binemeyen yolcuların da dahil edildiği eklenik atama yöntemi altlığı olarak toplulaştırılmış model çıktıları kullanılmıştır. Toplulaştırılmış davranış modeli Denklem 3.28'deki gibidir:

$$U_{t,b} = \beta_{0,b} + \beta_{1,b} * N_b + \beta_{2,b} * G_b + \beta_{3,b} * RVar_b + \beta_{4,b} * DSay_b \qquad (3.28)$$

b: "Binmek" ifadesi için gösterge,

t: "Toplulaştırılmış" ifadesi için gösterge olmak üzere,

N: Kullanıcının ikamet ettiği ilçe nüfusu

G: Kullanıcının ikamet ettiği ilçenin aylık ortalama kişisel gelir,

RVar: Kullanıcının ikamet ettiği ilçede raylı sisteme erişim olanağının ifadesi olarak kukla değişken (kullanıcının başlangıç noktası etrafında 800 metre çeper içinde raylı sistem durağı varsa "1", yoksa "0"),

DSay: Kullanıcının ikamet ettiği ilçedeki İETT otobüs durağı sayısı.

Model denemelerinde doluluk nedeniyle araçlara binmeme durumunu etkileyebileceği öngörülen diğer bazı değişkenler ("hava durumu", "yolcuya eşlik eden bir yetişkinin bulunması durumu", "yaş" ve "cinsiyet" gibi) için de farklı model denemeleri yapılmış fakat en-uygunlama sonucu bulunan logit model katsayılarının yorumu ile bu değişkenler modele dahil edilmemiştir.

Çalışmada gerçek değerlerle (hesaplarda anket biniş verileri), model değerleri (model sonucu biniş tahmin verileri) arasındaki farklar toplamının ifadesi Denklem 3.22'de gösterildiği gibidir. "*-2LL"* değeri olarak ayrıştırılmış modelde 465,52; toplulaştırılmış modelde 614,86 bulunmuştur. Bu değerler, "*β"* katsayılarının değiştirilmesiyle bulunan en-küçük (*EO* değerini en-çoklayan) değerlerdir.

Ayrıştırılmış model için Serbestlik Derecesi (SD)[15]: 6 ve %95 güven aralığı için kritik Ki-Kare değerleri, ilgili tablodan [137] okunur; $\chi^2_{kritik,A}$=12,592 alınır ve *465,22* değeri kritik değerden büyük olduğundan kurulan ayrıştırılmış model, temel modele göre "gelişmiş bir modeldir" denir. Toplulaştırılmış model için SD[16]: 4 ve %95 güven aralığı için; $\chi^2_{kritik,T}$=9,488 alınır ve *614,86* değeri kritik değerden büyük olduğundan kurulan toplulaştırılmış model, temel modele göre "gelişmiş bir modeldir" denir.

Logit model çalışmalarında, çeşitli değişkenler dikkate alınarak kurulan modelin, sabit dışında herhangi bir değişken dikkate alınmadan (sadece sabit terimi bulunan) temel bir modele göre durumu incelenmelidir. Ayrıştırılmış model için temel model EO değeri olarak -1694,65; toplulaştırılmış model için -322,09 değerleri bulunmuştur. Dolayısıyla:

$$\rho^2 = 1 - \left(\frac{EO_{model}}{EO_{temel\ model}}\right) \tag{3.29}$$

Denklem 3.29 ile, ayrıştırılmış model için %86,27; toplulaştırılmış model için %4,55 oranında, temel modellere göre daha gelişmiş modeller üretildiği söylenebilir.

Başlangıçta değeri bilinmeyen "*β"* katsayılarının, en-uygunlama (toplam LL değerinin en-çoklanması) sonucunda, ilk gelen araca "binmek" ve "binmemek" seçeneklerine dair yarar bağıntıları ve buradan da bu seçeneklerin seçilme olasılıkları hesaplanmıştır. Buradan hareketle, herhangi bir *"k"* kişisi için ayrıştırılmış model ile veya herhangi bir *"b"* bölgesi için toplulaştırılmış model ile yolculuk tahminleri yapılırken, yolcuların bireysel ve toplulaştırılmış olarak, kalabalık bir toplu taşıma aracına binmek veya binmemek arasında yapacağı seçim davranışı da olasılıksal olarak öngörülebilir hale getirilmiştir.

[15] Değişken sayısı:7 ise SD=7-1=6
[16] Değişken sayısı:5 ise SD=5-1=4

4. BULGULAR

Toplu taşımada doluluk nedeniyle araçlara binemeyenlerin, toplu taşıma matrisinde hangi oranla ayrı bir küme olarak alınacağının belirlenmesi için toplu taşıma araçlarına binmek ve binmemek seçeneklerinin seçim olasılıklarının belirlenmesi; bunun için de yarar bağıntısında değişken katsayılarının hesaplanması gerekmektedir.

4.1. TOPLU TAŞIMADA DOLULUK ETKİSİ

Anketlerle elde edilen verilerle, ASM bölümünde kuramsal çerçevesi çizilen logit model yöntemiyle bulunan değişken ağırlıkları **Tablo 4.1**'de paylaşılmıştır (detaylı çalışma sayfası örneği için bkz. Ek 1 ve Ek 2).

Tablo 4.1: Binmek ya da binmemek: toplulaştırılmış logit model katsayıları.

	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4
	Sabit	***N***	***G***	***RVar***	***DSay***
Katsayı	**1,60**	**-1.53**	**1,11**	**0,16**	**0,93**
Standart Hata	0,51	0,67	0,67	0,58	0.21
p-Değeri	0,002	0,023	0.099	0.779	0.001

Tablo 4.1'de "*β"* katsayıları, sırasıyla "sabit", "nüfus", "gelir durumu", "raylı sistem durağına erişim olanağı" ve "İETT durak sayısı" değişkenlerine ait ağırlıklardır. Toplulaştırılmış davranış modeline ait bir veri kesiti **Tablo 4.2'**de paylaşılmıştır.

Tablo 4.2: Toplulaştırılmış davranış modeli çizelge örneği

Katılımcı	Biniş	Sabit	Nüfus	G	RVar	DSay
1	**1.00**	1.00	0.82	0.34	0.00	0.67
2	**1.00**	1.00	0.50	0.39	1.00	0.67
3	**0.00**	1.00	1.00	0.29	0.00	0.52

Burada, "N" nüfusu, "G" geliri , "RVar" raylı sistem duraklarına erişim olanağını, "DSay" ise otobüs durağı sayısını ifade etmektedir. Gelir ve İETT durak sayısı değişkenleri, *"0"* ile *"1"* arasına indirgenmiş biçimde düzenlenmiştir. Raylı sistem duraklarına erişim

olanağı değişkeni bir kukla değişken olduğundan ve biniş durumu, ayrık seçim bağımlı değişkeni olduğundan, bu iki değişken de sadece *"0"* ya da *"1"* değeri alabilmektedir.

Sayısal olarak *"1"* değeri, bağımlı değişkendeki tasarı olayın gerçekleşmesini ve *"0"* değeri, olayın gerçekleşmemesini temsil ediyorken, pozitif katsayı; ilgili bağımsız değişkendeki artışın, bağımlı değişkende *"0"* ile belirtilen seçeneğin seçilme olasılığına göre, *"1"* ile belirtilmiş seçeneğin seçilme olasılığında, artışa neden olacağını; negatif katsayı ise tersi bir etkiyi göstermektedir. Katsayının mutlak değerce büyük olması ise, ilgili bağımsız değişkenin, bağımlı değişken üzerinde, diğer bağımsız değişkenlere göre daha büyük bir etkiye sahip olduğunun kanıtıdır. Logit model, seçeneklerin birbirine göre seçim olasılıklarının belirlenmesi temeline dayandığından bu noktada yapılan tüm yorumların, göreli yorumlar olduğu bilinmelidir. Özetle bir seçeneğe dair değişkenler ve katsayıları yorumlanırken, aslında ilgili seçeneğin seçilmediği duruma göre belirlenen olasılıklar üzerinden yorum yapıldığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışma kapsamında ele alınan bağımlı değişken, durakta bekleyen yolcunun, gelen toplu taşıma aracına binebilmesi durumunda *"1",* doluluk nedeniyle araca binememesi durumunda *"0"* değeri almaktadır.

Tablo 4.1'de görüleceği üzere, toplulaştırılmış modelde bulunan katsayılardan nüfus değişkeni katsayısı hariç, diğer katsayılar pozitif değer almıştır. Dolayısıyla, nüfus arttıkça toplu taşımada doluluk nedeniyle araçlara binememek olasılığının arttığı; ele alınan bölge ortalama geliri ve o bölgedeki İETT otobüs durağı sayısı arttıkça, toplu taşıma aracına biniş olasılığının arttığı; doluluk nedeniyle toplu taşıma aracına binememek olasılığının azaldığı görülmektedir. Bölge sınırlarında raylı sistem durağının bulunması durumunda da aynı doğrultuda çıkarımlar geçerlidir. Dolayısıyla, toplu taşıma kullanıcısının yaşadığı bölgedeki ekonomik durumunun iyileşmesi durumunda ve yaşadığı bölgedeki ulaşım altyapısının niteliği iyileştikçe, "aşırı doluluk nedeniyle toplu taşıma aracına binememek" olasılığının azaldığı görülmektedir. İşaretlerin ardından katsayıların mutlak değerce büyüklük durumu incelendiğinde, toplu taşımada doluluk nedeniyle araçlara binememek davranışı üzerinde en etkili toplulaştırılmış model değişkeni "gelir" değişkenidir. Onu sırasıyla "nüfus", "otobüs durağı sayısı" ve "raylı sistem durağına erişim olanağı" değişkenleri takip etmektedir.

Tablo 4.3: Binmek ya da binmemek: ayrıştırılmış logit model katsayıları.

	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
	Sabit	***s***	***g***	***dçok***	***rvar***	***yvar***	***çvar***
Katsayı	**16.14**	**-0.152**	**0.40**	**-14.99**	**0.19**	**-0.41**	**-2.26**
Standart Hata	143.24	0.73	0.61	143.24	0.24	0.24	0.70
p-Değeri	0.910	0.835	0.515	0.917	0.433	0.091	0.001

Tablo 4.3'te β katsayıları, sırasıyla "sabit", "yolculuk süresi", "gelir durumu", "toplu taşıma aracının çok dolu olması durumu", "raylı sistem durağına erişim olanağı", "yolcunun yanında bavul vb. yük varlığı" ve "yolcunun yanında çocuk varlığı" değişkenlerine ait ağırlıklardır.

Tablo 4.4: Ayrıştırılmış davranış modeli çizelge kesiti

Katılımcı	***Biniş***	***Sabit***	***s***	***g***	***dÇok***	***rVar***	***yVar***	***çVar***
1	**1.00**	1.00	0.65	0.31	1.00	0.00	1.00	0.00
2	**1.00**	1.00	0.10	0.39	0.00	1.00	0.00	0.00
3	**0.00**	1.00	0.26	0.28	1.00	0.00	0.00	1.00

Sonuçları **Tablo 4.4'**te paylaşılan ayrıştırılmış davranış modeline ait veri kesiti tablosunda, "s" katılımcının toplam yolculuk süresini (duraklara erişim, araç içi, bekleme ve aktarma süreleri toplamı), "g" kişisel aylık gelir değerini, "dÇok" kullanıcının son yaptığı yolculuktaki toplu taşıma aracının çok dolu olup olmadığını ("1": çok dolu, "0": çok dolu değil), "rVar" raylı sistem durağına erişim olanağını, "yVar" yolcunun son yaptığı yolculukta yanında bavul vb. bir yük olup olmadığını ("1": yük var, "0": yük yok) ve son olarak "çVar" ise yolcunun son yaptığı yolculukta yanında çocuk olup olmadığını ("1": çocuk var, "0": çocuk yok) ifade etmektedir. İstatistiksel olarak, toplulaştırılmış modelde "sabit", "N" ve DSay" değişkenleri anlamlı ($p<0,05$, değişkenin anlamlı bir fark yarattığı durum olarak sıfır hipotezi reddedilir) çıkmıştır. Ayrıştırılmış modeldeyse "çVar" değişkeni dışında hiçbir değişkenin anlamlı bir fark yaratmadığı görülüyor. İstatistik olarak anlamlı değişkenlerle model kurulmak isteniyorsa tüm değişkenleri istatistiksel olarak anlamlı çıkan bir model oluşturulmalıdır. Bu çalışmada, ulaşım modelindeki temsiliyetleri dolayısıyla tüm değişkenler modele dahil edilmiştir.

Bireysel yolcu davranışının incelendiği ayrıştırılmış modelde, **Tablo 4.4**'te de görüleceği üzere, sabit dışındaki değişkenler için katsayılar incelenirse, "gelir" ve "rVar" değişkenleri pozitif katsayılıyken, diğer değişkenler negatif katsayıya sahiptir. Model sonuçlarına göre, "gelir" ve "raylı sistem duraklarına erişim olanağı" arttıkça, ilk gelen toplu

taşıma aracına binme olasılığının da artacağı görülmektedir. Aylık kişisel geliri yüksek kişilerin, doluluk nedeniyle binmeme olasılığında azalma

"Yolculuk süresi" ve toplu taşıma araç içi doluluğun bir temsili olarak ele alınabilecek toplu taşıma aracının "çok dolu olma durumu" değişkenlerinin katsayısı negatiftir. Dolayısıyla yolculuk süresi, taşıtların çok dolu olma olasılığı, yolcunun yanında yük olma olasılığı ve yolcunun yanında çocuk olma olasılığı arttığı zaman ilk gelen toplu taşıma aracına binme olasılığı azalmaktadır. Bu durumda "araç içi doluluk nedeniyle toplu taşıma araçlarına binememek" olasılığının artacağı çıkarılmaktadır. Çalışmada yolculuk süresi olarak, duraklara erişim, duraklarda bekleme, araç içi süre ve aktarma sürelerinin toplamı alınmıştır. Buna göre, toplu taşıma yolcuları için, uzun yolculuklarda, doluluk nedeniyle toplu taşıma araçlarına binmemek eğilimi, kısa yolculuklardakinden daha yüksektir. Başka bir deyişle, kısa mesafe yolculuklarda, uzun mesafe yolculuklara göre doluluğun, daha az önemsendiği söylenebilir. "Çok dolu olma" kukla değişkenin yorumu oldukça açıktır. Yolcunun beklediği toplu taşıma aracı çok dolu olduğunda, yolcunun doluluk nedeniyle araçlara binmeme olasılığı artmaktadır. Yetişkin bir yolcunun yanında çocuk bulunması durumunda, bu yolcu kendisini bu çocuğun konfor gereksiniminden de sorumlu gördüğünden, bu yolcuların, doluluk seviyesi yüksek olan toplu taşıma araçlarına, doluluk nedeniyle binmeme olasılığı artmaktadır. Benzer bir durum yük ve eşya taşıyan yolcular için de geçerlidir. Bu nesnelerin de taşıt içinde konumlandırılması ve korunması gibi ayrıca sorunlarla uğraşması gereken bu yolcuların, doluluk seviyesi yüksek olan toplu taşıma araçlarına, doluluk nedeniyle binmeme olasılığı artmaktadır.

Değişken katsayılarına dair mutlak değerce büyüklük değerlendirmesi yapmak gerekirse, kullanılacak hattın "çok dolu olması durumu" açık biçimde en büyük ağırlığa sahiptir. Onu yolcu yanında çocuk varlığı değişkeni takip etmektedir. Çocukla yolculuk yapmak, şahsi bir yolculuktan farklı tutum sergilemeyi gerektirebileceğinden, bu değişkenin dolu araca binme olasılığı üzerindeki etkisi gelir değişkeninden bile fazladır. Yine yolcu yanında yük varlığının, yolculuk seçimleri açısından bir kısıt olarak görüldüğü anlaşılmaktadır. Niceliksel sıralamada sonraki en büyük katsayı gelir değişkenine aitken, ayrıştırılmış model için toplu taşımada doluluk nedeniyle taşıtlara binememek seçimi üzerindeki göreli en düşük etki raylı sistem duraklarına erişim olanağı değişkenindedir.

4.2. MATRİS GÜNCELLEMESİ

Katsayıları EO en-uygunlama yöntemiyle çözümlenmiş toplulaştırılmış logit davranış modeli yarar bağıntıları kullanılarak her kullanıcı için seçeneklerin sağladığı yarar değerleri bulunur. Daha sonra Denklem 3.20 ile her kullanıcının taşıtlara "binmek" ve "binmemek" seçeneklerini seçim olasılıkları hesaplanır. Bunun için bir örnek olarak anketteki ilk katılımcının (aslında herhangi bir toplulaştırılmış bölge değerleriyle bir temsilci örneğin, *(1)*) verilerini ele alırsak (bkz. Ek1) "binmek (b)" seçeneğinin kullanıcıya yarar değeri, Denklem 4.1'deki hesaplamayla (katsayılar için bkz. **Tablo 4.1**) bulunabilir ($U_{t,1}$):

$$U_{b,1} = 1{,}60 + \big((-1{,}53) \times 0{,}82\big) \times 0{,}82 + (1{,}11 \times 0{,}34) + (0{,}16 \times 0) + (0{,}93 \times 0{,}67) \quad = 1{,}33 \tag{4.1}$$

Binmek seçeneğinin yararı, binememek seçeneğine göre tanımlandığı için, binememek seçeneğinin kullanıcıya yararı "0" olarak alınır. Bu durumda kullanıcının "binmek" seçeneğini seçme olasılığı Denklem 4.2'deki gibidir (P_b):

$$P_{b,1} = \frac{e^{1,33}}{e^{1,33} + e^{0}} = 0{,}79 \tag{4.2}$$

Tüm kullanıcılar için seçim olasılıkları hesabından sonra "binmek (b)" ve "binmemek (bm)" seçeneklerinin toplam seçim olasılıkları Denklem 4.3 ile bulunur:

$$\sum P_b = 732; \quad \sum P_{bm} = 105 \tag{4.3}$$

Her seçeneğe ait toplam olasılıkların, tüm olasılık toplamları içinde göreli oranıyla, binen ve binmeyen yolcu oranları (sırasıyla "YO_b" ve "YO_{bm}") belirlenmiş olur:

$$Y_b = \frac{\sum P_b}{\sum P_b + \sum P_{bm}} = \frac{732}{732 + 105} = \%\,87{,}46 \quad \Rightarrow \quad Y_{bm} = \%12{,}54 \tag{4.4}$$

DAUM döngü işlem süreci sonucu, elde edilen toplu taşıma atama matrisi [B-V], Denklem 4.4'te bulunan değer olan %87,46 oranında (binenler) ve %12,54 oranında (binemeyenler) iki parçaya ayrılır. Binemeyenler ve binebilenler için yapılacak atamada kullanılacak matrisler sırasıyla Denklem 4.5'teki şekilde elde edilir:

$$[B-V]_{b,bm} = [B-V]_{b,bm} \times YO_{b,bm} \tag{4.5}$$

Matrisler elde edildikten sonra **Şekil 3.1** akış diyagramı "5" ve "6" adımları ile çözüme devam edilir. Toplu taşıma atama sonuçları, yöntem değerlendirmesi bölümünde paylaşılmıştır.

4.3. YÖNTEM DEĞERLENDİRMESİ

Toplu taşımada doluluk nedeniyle araçlara binemeyen kişilerin modellerde ihmal edilmesi nedeniyle toplu taşıma atama sonuçlarının toplam ortalamasında %1 oranında, ana türler bazındaysa; en büyük oransal değer otobüste olmak üzere; otobüste %4, metrobüste %3 ve raylı sistemde %2 oranlarında fazla yolculuk tahmini yapıldığı görülmüştür (**Tablo 4.5**).

Tablo 4.5: İET *(İhmal Edilenin Temsili)*, İUM ve gerçek biniş sayılarının karşılaştırması.

				Model/Gerçek	
Tür Adı	**İUM**	**İET**	**Gerçek Veri**	**İUM**	**İET**
Deniz	10,976	10,847	9,890	%111	%110
Metrobüs	8,815	83,739	81,513	%106	%103
Minibüs	86,264	223,894	220,000	%95	%102
Otobüs	388,984	373,822	338,161	%115	%111
Raylı	265,911	262,526	244,534	%109	%107
Toplam	**994,988**	**987,823**	**894,099**	**%111**	**%110**

Tablo 4.6'da farklı yıllarda yapılmış ulaşım talep tahmin çalışmaları için ortalama hata oranları ve bu hata oranlarının elde edildiği gözlem sayıları paylaşılmıştır.

Tablo 4.6: Ulaşım planlama çalışmaları için ortalama hata oranları.

	Örnek Sayısı	**Ortalama**	**Ağırlıklı Ortalama**
Ulusal Denetim Ofisi (National Audit Office,* [138]*)	128	%8	%10.24
***Flyvbjerg ve diğ.* [139]**	183	%10	%18.3
***Bain* [140]**	104	%23	%23.92
***Button ve diğ.* [141]**	44	%21	%9.24
***Parthasarathi ve Levinson* [142]**	108	%6	%6.48
***Karayolları Ajansı (Highways Agency)* [143]**	62	%3	%1.86
***Nicolaisen* [144]**	146	%11	%16.06
	Genel Ağırlıklı Ortalama:		**%12.30**

Tablo 4.6'ya göre gözlem sayısı ve ortalama hatalar üzerinden ağırlıklı bir genel ortalama hesabı yapılırsa, yaklaşık olarak %12,30 değeri elde edilmektedir. Benzer kapsamda derleme yapılan bir diğer çalışmada (Mackinder & Evans, [145]; Welde & Odeck, [146]) sonuçların, genel olarak %3-11 oranları aralığında hatalı değerler aldığı belirtilmiştir. Ulaşım planlama gibi büyük ölçekli çalışmalarda, insan davranışı söz konusu olduğundan kabul edilebilir hata oranlarının kesin olarak belirlenmesi oldukça zordur fakat paylaşılan iki araştırma, ve bunlar kapsamında araştırılmış diğer tüm çalışmalardan sağlanan veriler ışığında, modelleme çalışmaları için kabul edilebilir en büyük hata oranının yaklaşık olarak %11-12

dolaylarında bir değer olacağı çıkarılabilir. Çalışma kapsamında kurulan modelde de genel toplamda ve ana türler özelinde, bu hata sınırının aşılmadığı görülmüştür. Yeni ve daha gelişmiş matematiksel yaklaşımlar geliştirilmedikçe genellikle bu hata değerleri yaklaşık bu şekliyle var olacaktır. İhmal edilenin temsili yaklaşımıyla eklenik olarak ortaya konan hata ise, bahsi geçen büyük ölçekli model hatası dışında bir sapmadır. Özetle, saha çalışmalarında, hata oranının %10 civarı veya üzerinde olduğu durumlarda, yazın taramasında belirtilen ortalama hataların altında kalındığı düşünülerek hesaplar yapılır fakat gerçekte "TTD nedeniyle araçlara binemeyen yolcuların model sürecine dahil edilmemesi nedeniyle" geçmiş çalışmalarda belirtilen ağırlıklı genel ortalama oranın üzerinde bir hata yapılmış olur.

Doluluk nedeniyle toplu taşıma araçlarına binemeyen kişi sayısı belirlenebilirse, toplam yolcu sayısı içindeki binemeyen sayısı oranına göre toplu taşıma atama matrisleri düzenlenir, atamalar yapılır ve sonuçlar toplanır. Böylece ihmal edilen bu yolcu davranışı DAUM sürecine dahil edilmiş olur. Çalışmada önerilen model yaklaşımı sonucu, bu yolcu davranışının model işleyişine dahil edilmesiyle aslında gerçek biniş sayılarına daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. **Tablo 4.5**'te görüleceği üzere, toplam toplu taşıma bindi sayısı tahmini "model/gerçek" oranlarında toplam ortalamasında %1 iyileşme, ana türler ölçeğindeyse %1-4 değerlerde (deniz hatları için %1, metrobüs için %3, minibüsler için %3, otobüs hatları için %4, raylı sistem için %2) iyileşme sağlanmaktadır. Naess ve diğ. [147]'nden alıntıyla Nicolaisen ve Driscoll [148], ulaşım talep tahmininde sadece %5'lik hatanın, o projede beklenen yararların üçte birinden fazlasının kaybedilmesine neden olabileceğini bulmuştur. Bu çalışmadan yola çıkılırsa, İstanbul ulaşım modelleme çalışmalarında tekil olarak otobüs hatları için yaklaşık %27 oranında yarar kaybı yaşanırken tüm ulaşım hatlarında bu oranının yaklaşık %7 olduğu hesaplanabilir. Bu kapsamda yalnızca modelleme yaklaşımında bu tez çalışmasında önerilen düzenlemeyle tüm toplu taşıma sistemleri için yaklaşık %7, ana türler bazında yaklaşık %7-27 değer aralığında bir oranda yarar artımı sağlanabileceği görülmektedir.

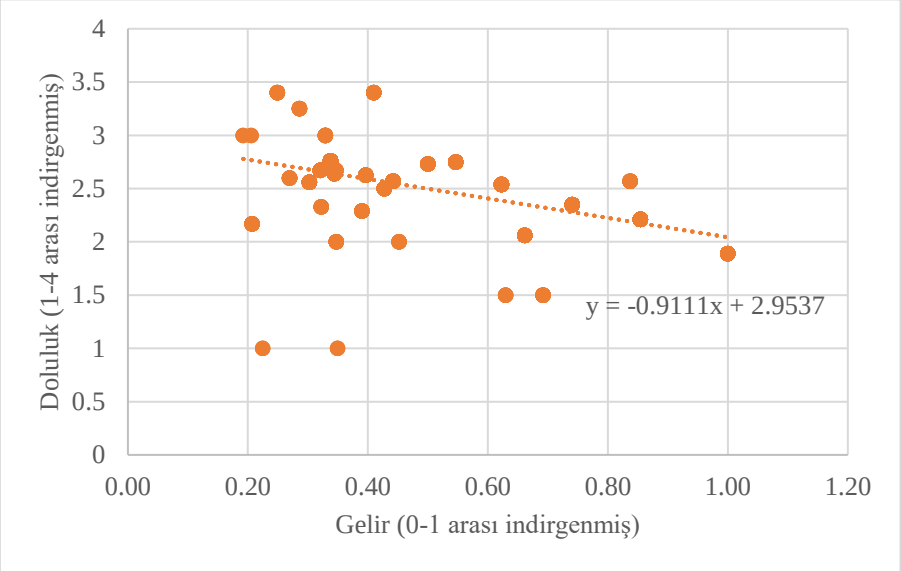
4.3.1. Doluluk Bilgilendirmesi ve Anket Çıktıları

Yapılan anket çalışmasına göre, kullanıcıların %60'ı toplu taşıma araçlarının doluluğundan memnun değildir. Katılımcıların %88'i, son kullandıkları aracı genel olarak da "çok dolu" şeklinde nitelendirebildiklerini belirtmiştir.

Yolculukların %46'sının başladığı duraklara yakın mesafede (en fazla 800 metre uzaklıkta), raylı sistem durağı bulunmamaktadır. Bir megakent olarak anılan İstanbul için,

yaklaşık olarak nüfusun yarısının raylı sistem duraklarına erişim olanağının olmaması büyük eksikliktir ve raylı sistem altyapısının iyileştirilmesine ağırlık verilmesi gerekliliğini göstermektedir. Bu noktada gelir durumu, ulaşım altyapısı ve hizmet kalitesi değişkenleri arası sayısal ilişkiler incelenmiştir.

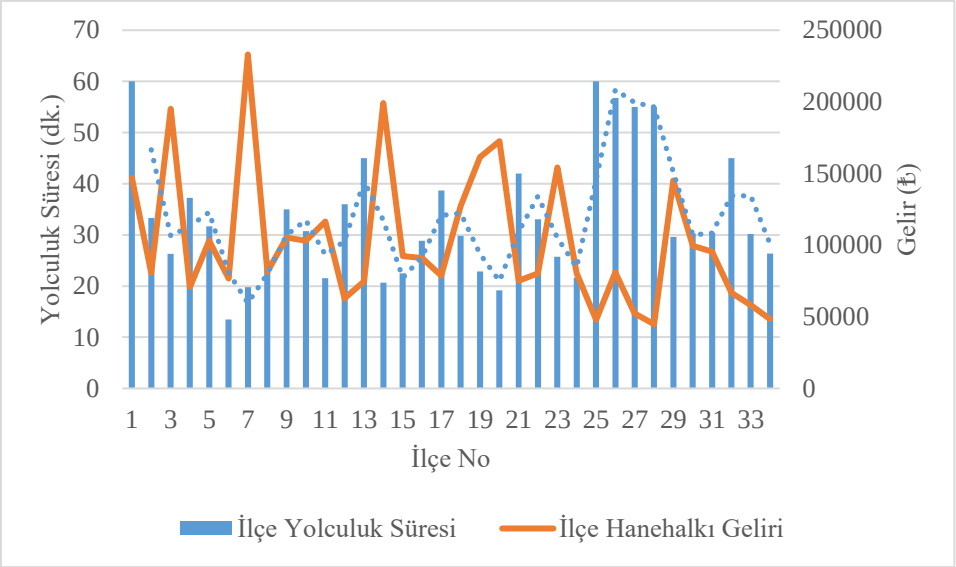
Şekil 4.1'te görüleceği üzere "gelir" ve "toplu taşıma araç doluluğu" arasında ters orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Aralarındaki korelasyon derecesi düşük[17] seviyede de olsa, gelir seviyesi arttıkça toplu taşıma araç doluluğunun azaldığı bir sonuç çıkarılabilmektedir.



Şekil 4.1: Gelir ile Doluluk İlişkisi

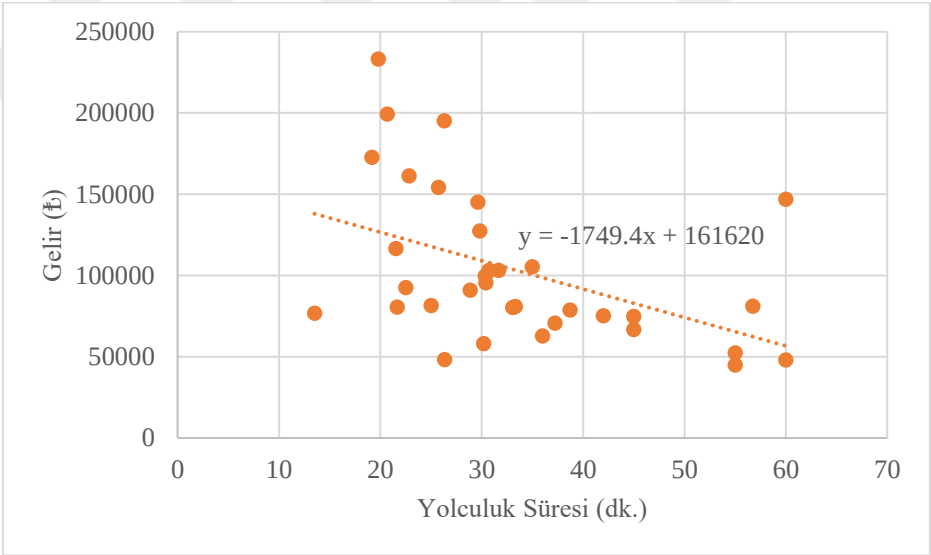
Anket yanıtlarından çıkarılmak üzere, **Şekil 4.2**'de paylaşılan yolculuk süresi ile gelir arasındaki ilişki incelendiğinde, ilçe ortalama yolculuk sürelerinin yüksek olduğu noktalarda ortalama gelir değerinin düşük, tersi durumda da gelir değerinin yüksek olduğu görülmektedir. Aradaki ilişkinin korelasyon değeri ise "-0.46"dır ki bu da "dikkate değer düzeyde" [149] ters orantılı bir ilişkinin ifadesidir.

[17] Korelasyon: -0.212. Yorumu için bkz. [149]



Şekil 4.2: İstanbul İlçeleri Yolculuk Süresi ile Gelir İlişkisi.

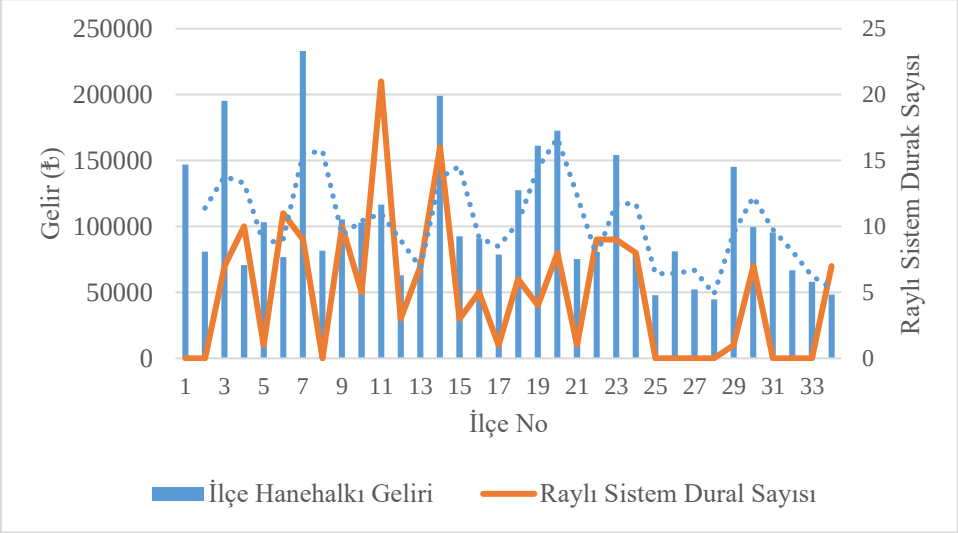
Veri kümesi için gelir arttıkça yolculuk süresi azalmaktadır. **Şekil 4.3**'te görüleceği üzere "gelir" ve "yolculuk süresi" arasındaki regresyon bağıntısının eğimi de negatiftir.



Şekil 4.3: Yolculuk Süresi ile Gelir İlişkisi

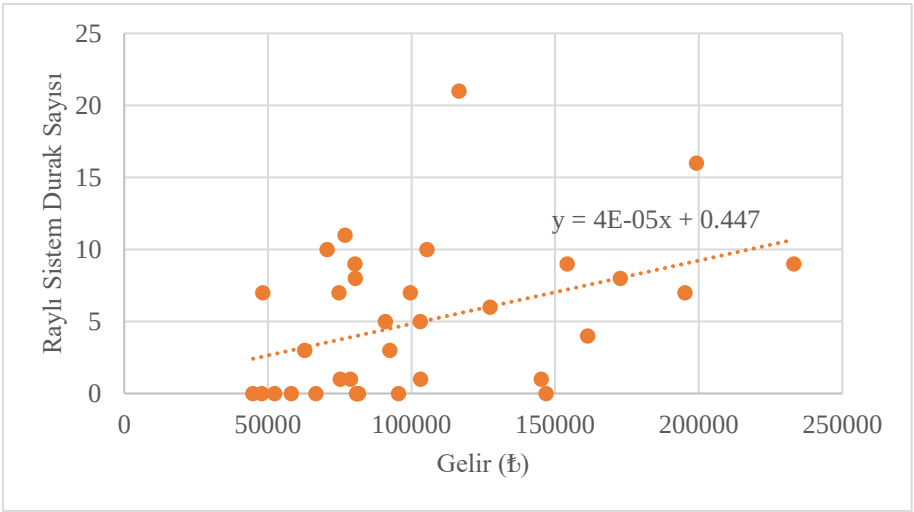
Bir ilçedeki raylı sistem durak sayısı ile gelir arasındaki ilişki incelendiğinde gelirle benzer bir eğilimle karşılaşılmaktadır. Ekonomik gelişmişliğin bir ölçüsü olarak gelir ile ulaşım

altyapısı gelişmişliğinin bir ölçüsü olarak raylı sistem durak sayısı değişkeni arasında "dikkate değer düzeyde[18]" pozitif bir ilişki vardır (bkz. **Şekil 4.4**).



Şekil 4.4: İstanbul İlçeleri ile Raylı Sistem Durak Sayısı - Gelir İlişkisi

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, iki değişken için regresyon eğimi de pozitiftir. Yani gelir durumu yüksek olan bölgeler aynı zamanda raylı sistem durak sayısının da fazla olduğu; gelir durumunun düşük olduğu bölgeler ise raylı sistem durak sayısının daha düşük olduğu ilçelerdir.



Şekil 4.5: Raylı Sistem Durak Sayısı ile Gelir İlişkisi

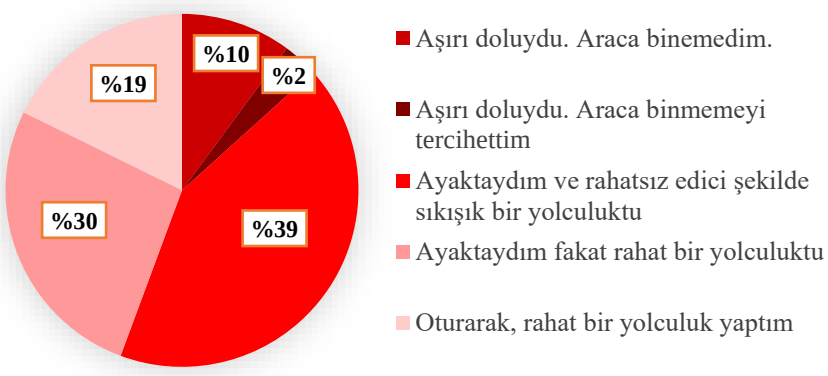
Tüm yolcuların, tam gün yolculukları içinde %8,12'si doluluk nedeniyle araçlara binemezken, %2,63'ü doluluk nedeniyle araçlara binmemeyi tercih etmiştir. Zirve saatte ise

[18] Korelasyon: 0.498. Yorumu için bkz. [149]

(07:00 – 08:00 saatleri arası), doluluk nedeniyle araçlara binemeyenlerin oranı %10,27'ye kadar çıkmaktadır, dolu araca binmemeyi tercih edenlerin oranının %2,27 ile yaklaşık olarak gün içi dağılım oranında sabit kaldığı görülmüştür. Katılımcıların %49'u kadın, %40'ı erkektir, %11 ise yanıtsız bırakanlar ve diğer cinsiyetlerden olduğunu belirtenlerin oranıdır. Yolcuların %25'inin yanında yük (bavul vb.) bulunduğu, %13'üne yetişkin birinin eşlik ettiği, %5'inin de yanında çocuk bulunduğu bilgisi alınmıştır. En küçük 15, en büyük 72 yaşında olan katılımcıların ortalama yaş değeri 35, ortalama geliri ise 3400 ₺[19] olarak belirlenmiştir. Yolculuk amaçlarına göre dağılım: %39 iş, %7 sağlık (toplamda %46'sı iş yolculuğu olarak ele alınmıştır), %20 eğitim, %34 diğer (ziyaret, alışveriş, gezi vd.) yolculuklar şeklindedir.

Ankete katılanların %23'ü çalışmamaktadır. Bunların içinden emekli ve öğrenciler çıkarıldığında yaklaşık %8'lik bir değer elde edilmiştir. Bu oran, tüm yolculuklar içinde işsiz yolculuğu oranı olarak alınabilir. Bu noktada dikkate değer bir sonuç da bu küme içinde dolu araçlara binememek oranının (%16,92), tüm yolcular içindeki ortalama orandan (%10,75) daha fazla olmasıdır. Yani işsiz olup yolculuk yapan kişiler için konforlu toplu taşıma olasılığı daha düşüktür. Dolayısıyla işsizler için toplu taşıma kullanımının özellikle mali anlamda kolaylaştırılması, bu konfor adaletsizliğinin önlenmesi için bir adım olacaktır.

Son yapılan yolculukta aracın ne kadar dolu olduğu sorusuna verilen yanıtların dağılımı **Şekil 4.6**'daki gibidir:



Şekil 4.6: Son kullandığınız toplu taşıma aracı ne kadar doluydu? *(zirve saat için)*

[19] 27.12.2019 tarih ve 30991 sayılı resmi gazeteye göre 2019 net asgari ücreti 2.324,71₺ [178].

"Doluluk nedeniyle araca binemediyseniz ne yaptınız?" ve "Bu doluluk bilgisine önceden sahip olsaydınız ne yapardınız?" sorularına verilen yanıtlar **Tablo 4.7**'de gösterilmiştir:

Tablo 4.7: DBA Öncesi ve sonrası durumda yolcu davranışları.

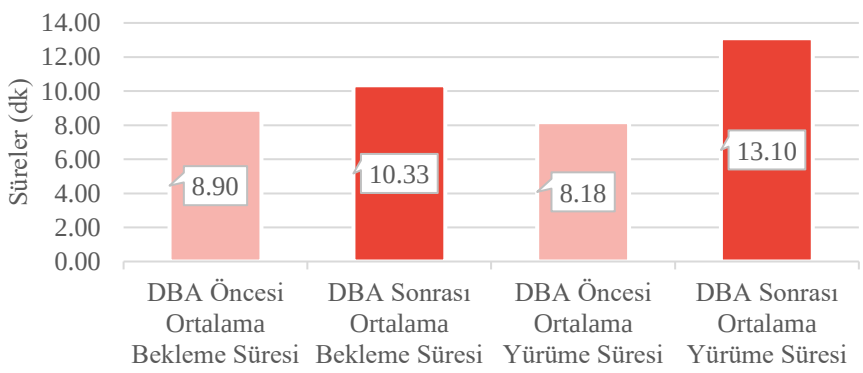
Mevcut Durum	
Aynı aracın önceki duraklarına gittim	1.24
Aynı durakta bir sonraki aracı bekledim	85.71
Minibüs veya dolmuş kullandım	6.21
Bisiklet kullandım	1.24
Taksi çağırdım	2.8
Yakındaki bir metro/tramvay durağına yürüdüm	1.24
Yakındaki bir otobüs durağına yürüdüm	1.24
Yolculuk başlangıç saatimi öne çektim	0.31
DBA Sonrası (yolcu, gelen aracın doluluk bilgisini almış olsaydı)	
Aynı aracın önceki duraklarına giderdim	8.60
Aynı durakta bir sonraki aracı beklerdim	61.02
Minibüs veya dolmuş kullanırdım	9.14
Bisiklet kullanırdım	0.27
Taksi çağırırdım	6.18
Yakındaki bir metro/tramvay durağına yürürdüm	4.03
Yakındaki bir otobüs durağına yürürdüm	1.61
Yolculuk başlangıç saatimi öne çekerdim	8.60
Yürüyerek giderdim	0.54

Dolu araca binemediğinde, katılımcıların %85 gibi büyük bir çoğunluğu, aynı durakta bir sonraki aracı beklediğini belirtmiştir. Tez çalışması kapsamında yolcu davranışına etkileri incelenen doluluk bilgilendirme altyapısı sonrası bu oranda düşüş olacağı görülmüştür. Şayet yolcu, son yaptığı yolculukta kullandığı aracın bu dolulukta olduğu bilgisini bu araca binmeden önce almış olsaydı (cep telefonu uygulamaları, duraklardaki dijital ekranlar vb. yolcu bilgilendirme sistemleri aracılığıyla), bu durumda aynı durakta sonraki aracı bekleyenlerin oranı yaklaşık %61'e düşecekti. Oturabileceği bir yolculuk yapabilme ihtimalinde bu oranın %49'a düşeceği görülmektedir. Bu oransal değişim, aynı durakta bekleyen %11,35 oranında bir kesim için yolculuğun yeniden planlanacağı anlamına gelir. Bu durum, henüz iyileştirme hizmetleri bile sunulmadan önce, yalnızca bilgilendirme sistemi hizmetiyle hareketliliğin artmasını sağlayacağı çıkarımını yapmamıza olanak tanıyacağı gibi, bir anlamda taşıtlarda daha

konforlu gidilmesi için bir başlangıç servisi anlamına da gelir. Aynı durakta sonraki aracı beklemek yerine yeni seçenekler arayan yaklaşık %11'lik bu kesimin dağılımı incelenecek olursa, yolcuların yeni seçimleri aşağıdaki gibi olacaktır:

i. %1,43'ü yakındaki bir raylı sistem durağına yürüyecek,
ii. %3,11'i yolculuk başlangıç saatini öne (daha erken bir ana) çekecek,
iii. %2,87'si aynı aracın önceki duraklarına yürüyecek,
iv. %1,91'i taksi kullanacak,
v. %1,91'i minibüs veya dolmuş kullanacak,
vi. %0,12'si ise tür değiştirerek yürüyerek gitmeyi seçecektir.

Çalışma çıktıları arasına hareketliliğin artırılması da konabilir. Yeniden yolculuk planlayanların %4,42'sinin, halihazırda aynı durakta beklemek gibi hareketsiz bir durum yerine yürümeyi ve özellikle de raylı sistem hatlarına yönelmeyi seçeceği öngörülmektedir. Bu da ulaşım planlama açısından, trafiği rahatlatıcı ve yaya hareketliliğini artıran, daha çevreci ulaşım politikalarına bir yönelim anlamına gelmektedir.



Şekil 4.7: DBA öncesi ve sonrası için bekleme ve yürüme sürelerindeki değişim.

Doluluk bilgilendirmesinin yolcu bekleme ve yürüme davranışına etkisi **Şekil 4.7**'de gösterilmiştir. Toplu taşıma kullanıcısına gelecek yolculuklarını planlama süreçlerinde toplu taşıma araçlarının doluluğu hakkında bilgi sağlandığında, açıklanmış tercihler anketlerine göre, yolcuların bir kısmının "harekete geçtiği" öngörülmektedir. Gelen aracın doluluğu hakkında bilgi sahibi olan kullanıcıların durakta bekleme eğiliminde azalma olacağı ve bu yolcuların yakındaki başka duraklarda yeni yolculuk taleplerinin öznesi olacağı düşünülerek planlama çalışmalarının yapılması daha doğru bir yöntem olacaktır.

Çalışma kapsamında yapılan açıklanmış tercihler anketi ile yolcu bekleme ve erişim süreleri üzerinden bazı tasarı durumlar için davranış bilgisi elde edilmiştir. Halihazırda durakta bekleme ve durağa erişim süreleri **Tablo 4.8** ve **Tablo 4.9**'daki gibidir.

Tablo 4.8: Mevcut durum için durakta bekleme ve durağa erişim süreleri.

Bindiğiniz araç için durakta kaç dakika beklediniz?	***Bu durağa erişmek için kaç dakika yürüdünüz?***
8,86	8,21

Açıklanmış tercih anketine göre, DBA için tasarı durum sorularına yolcuların verdiği yanıtların ortalamaları **Tablo 4.9**'daki gibidir:

Tablo 4.9: DBA sonrası durum için bekleme ve yürüme süreleri.

Sonraki bir araçta ayakta fakat daha rahat bir yolculuk yapabileceğiniz bilgisini alsaydınız, durakta en fazla kaç dakika beklerdiniz?	***Sonraki bir araçta oturarak bir yolculuk yapabileceğiniz bilgisini alsaydınız, durakta en fazla kaç dakika beklerdiniz?***	***Ayakta fakat daha rahat bir yolculuk yapabileceğiniz bilgisini alsaydınız, en fazla kaç dakika uzaktaki durağa yürürdünüz?***	***Oturarak yolculuk yapabileceğiniz bilgisini alsaydınız, en fazla kaç dakika uzaktaki durağa yürürdünüz?***
9,63	12,32	8,27	10,66

Tablo 4.8 ve **Tablo 4.9** sonuçları incelendiğinde, doluluk bilgilendirmesi yapılan durumda, kullanıcıların yolculuklarını iki seviyeli olarak daha konforlu hale getirme olanakları sunulsaydı bekleme ve yürüme davranışlarındaki değişim görülmektedir. Buna göre yolcular, halihazırdaki duruma göre;

- Ayakta fakat rahat bir yolculuk yapabilmek için, yaklaşık %9; oturarak yolculuk yapabilmek için yaklaşık %39 daha fazla süre bekleyebileceğini,

- Ayakta fakat rahat bir yolculuk yapabilmek için, yaklaşık %1; oturarak yolculuk yapabilmek için yaklaşık %30 daha fazla mesafe yürüyebileceğini belirtmiştir.

Özetle, doluluk bilgilendirmesi yapılmasının, özellikle araçlarda oturabilmek isteğiyle, yolcuların yürüme eğilimini artırarak, yakın duraklar arasından yapılan seçimi büyük oranda etkileyebileceği görülmektedir. Bu da toplu ulaşım altyapısı açısından daha dengeli bir dağılım anlamına geldiğinden, mevcut dolulukların düşme olasılığının artması anlamına gelmektedir.

5. TARTIŞMA

Çalışmada toplu taşımada araçlardaki doluluk nedeniyle araçlara binemeyen yolcu davranışının modellenebilmesi hedeflenmiştir. Anket, gözlem ve sayım verilerine ihtiyaç duyulan çalışmada aşağıdaki konularda tartışma ve araştırmalara gereksinim duyulmaktadır:

i. Çalışılan bölgelerde, toplu taşıma doluluk oranları nedeniyle araçlara binemeyen kişi sayısının belli olduğu (anket verisine sahip olunan) durumda, bu oran dikkate alınarak toplu taşıma matrisi iki ayrı kümeye ayrılmıştır. İlk gelen araca binebilenler ve binemeyenler şeklinde ele alınan bu yolcu kümeleri için eş zamanlı biçimde toplu taşıma ataması süreci işletilmiştir. İlk araca binebilenler için mevcut model ayarları kullanılırken, gelen araca doluluk nedeniyle binemeyen yolcular (ağırlıklı olarak sonraki aracı bekledikleri̇nden) için sefer sıklığı (dolayısıyla kapasite de) yarısı oranda azaltılmıştır. Bu kümedeki yolcular için sefer-tarife çizelgesinde de en küçük ve en büyük bekleme sürelerinde değişikliğe gidilmiştir. Hangi ana türde ne kadarlık bir değişiklik yapılacağı da anketlerden alınan yanıtlarla hesaplanır. İki eş-zamanlı toplu taşıma ataması süreci sonucunda araçlara binebilen ve binemeyen kişiler için biniş sayıları eklenik toplamı alınarak, tüm yolcular için atama sonuçları elde edilmiş ve bu değerlerin mevcut modele göre iyileşme oranları paylaşılmıştır.

ii. Çalışmada dolu toplu taşıma aracına binmek veya binememek davranışının matematiksel olarak modellemesi yapılmıştır. Bu kapsamda araca binme durumunu ifade eden bir bağımlı değişken için toplulaştırılmış ve ayrıştırılmış olmak üzere iki farklı yaklaşımla dolu araca binememek davranışının tahmin edilebilir hale getirilmesi sağlanmıştır. Bu kuramsal temsilin amacı, yoğun toplu taşıma araçlarına binemeyen yolcuların hizmet kalitesindeki eksilmenin, modelleme sürecine dahil edilmesidir. Yapılan hesaplamalar ve incelemeler sonucunda, dolu araçlara binemeyen bireyler için bu varsayımsal kapasite azaltma yöntemiyle (araca binemeyen küme için gerçekten de sefer aralığı iki katına çıkar, diğer bir söyleyişle sefer sıklığı yarıya düşer), toplu taşıma ataması

model sonuçlarının, gerçek biniş sayılarına daha yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Sonuçları, bulgular bölümünde paylaşılmıştır.

iii. Çalışmada paylaşılan model ve çıktılar, DBA uygulamasının hayata geçirilmesi durumunda, işletme iyileştirmelerine öncelikli olarak nerelerden başlanabileceği sorusuna da yanıt bulunması noktasında altlık olarak kullanılabilir. Hazırlanan anketle verisi toplanmış ve sınıflandırılmış olan, TTD nedeniyle araçlara binemeyenlerin oranının daha yüksek olacağı öngörülen durakların tespitiyle[20], toplu taşıma işletmelerinin depar hat[21] planlamasının daha doğru biçimde yapılabileceği söylenebilir. Toplu taşıma işletmesinde, saatlik kapasitenin artırılması için saatlik araç sayısının artırılması gerekmektedir. Bunun için de zirve saat sefer aralıklarının azaltılması gerekmektedir. Bazen de araç sayısını artırmadan kapasiteyi artırmak mümkündür. İstanbul özelinde, İETT hatları işletme bazlı ortalama yolculuk sayıları verileri sınıflandırıldığında, yoğun hatlarda özel işletmelerin hâkim olduğu görülmektedir[22]. Otobüs doluluklarının önemli bir nedeni de bu yaklaşımdır. Oysa yolcu doluluklarına göre, "en az sefer sıklığı" ve "en yüksek doluluk oranı" yönetmelikleri olmalı ve buna uygun bir işletmeyle önceliğin yolcu memnuniyeti olduğu göz önünde tutulmalıdır. Dolayısıyla, öncelikli ve temel olarak, doluluk nedeniyle araçlara binemeyen kimsenin kalmayacağı sefer sıklığı ve kapasiteyi elde edebilmek için, özel işletmelerin kârı odaklı değil; yolcuların yararını gözeten bir yaklaşımla, tüm toplu taşıma hatlarının kamu eliyle işletilmesi en doğru çözüm olacaktır. Hatların, bahsi geçen yönetmeliklerle belirlenmiş sefer sıklıklarını sağlayacak biçimde güzergâhlara dengeli dağılımı ile daha nitelikli bir toplu taşıma hizmeti sunulabilir. Bunun için hat yoğunluklarının incelenmesi ve bunlara uygun sefer sıklığı politikaları belirlenmesi yeterli olacaktır. Bu durumda bahsi geçen depar hatların planlaması da çok daha verimli bir hal alacakken, süreç içinde kapasite dolu olduğu için toplu taşıma araçlarına doluluk nedeniyle binemeyen kimse de kalmayacaktır. Doğrudan "bir sefer süresi" gecikmelere, yoğunlaşmalara neden olan bu durumun çözümünden sonra, taşıt içinde "ayakta fakat rahatsız bir

[20] Binemeyen oranlarının tahminine yönelik matematiksel altyapı İhmal Edilenin Temsili bölümünde detaylandırılmaktadır.
[21] Günlük İETT sefer listesinde yer almadığı halde talep fazlalığı nedeniyle yoğun duraklara yönlendirilen boş araçlara depar hat denmektedir [161].
[22] İlgili tablo için bkz. Ek 3

şekilde" yolculuk yapan yolcular için konfor artımı yöntemleri araştırılabilecektir.

iv. Hareketliliği artıran etkisiyle, toplu taşımada doluluk bilgilendirme sistemi, doğa dostu ulaşım politikaları geliştirilmesi yolunda altlık olarak sunulmuştur.

v. Ayrıştırılmış davranış modeli sonuçlarına göre, yanında çocuk veya yük olan yolcuların, toplu taşımada araç içi doluluk konusunda hassasiyetlerinin bu durumda olmayan diğer yolculara göre daha büyük olduğu görülmüştür. Buna göre, toplu taşıma araçlarında ergonomik bazı değişikliklere gidilmesinde yarar olacaktır. Yanında çocuk bulunan yetişkinlerin, çocuk için ayrılmış, güvenli alan bulması durumunda, toplu taşıma kullanımında artış yaşanma olasılığı üzerine çalışma yapılmalıdır. Yine araç içinde çanta ve yük bölmesi bulunması durumunda, yanında yük bulunan kişilerin toplu taşıma kullanımlarında artış yaşanma olasılığı üzerine de çalışma yapılmalıdır. Yine ayrıştırılmış modelden çıkan bir sonuç olarak, ulaşım planlama ve modelleme çalışmalarında başlıca amaçlardan biri olan yolculuk süresinin kısaltılmasının, doluluk nedeniyle toplu taşıma araçlarına binemeyen kişi sayısının azaltılmasın katkı sağlayabileceği çıkarımı yapılabilir.

vi. Toplulaştırılmış davranış modeli sonuçlarına göre, toplu taşıma kullanıcılarında, araç içi doluluk nedeniyle taşıtlara binemeyen kişi sayısının azaltılması için ulaşım altyapısının ve ekonomik seviyenin iyileştirilmesi gerektiği sonucu çıkarılmıştır.

vii. Tez kapsamında çalışılan konuyla benzer kapsamdaki yazın taraması incelendiğinde, doluluk nedeniyle araçlara binemeyenler için yolculuk süresinin daha yüksek algılanacağı [105], doluluk nedeniyle toplu taşıma araçlarına binemeyenlerin model sürecine ikinci döngü sürecinde BPR tipi süre uzatılması yoluyla katılması yöntemi [23] sefer sıklığı en-uygunlaması [29], toplu taşıma atamalarında model çalışmalarında değişkenlerin belirlenmesi [12], [132], [58], gibi konulara değinildiği görülmüştür. Bu tez çalışmasında toplu taşıma araçlarındaki doluluğun yolcu davranışına etkilerinin modellenmesi ve bu model çıktılarının ulaşım talep tahmin sürecine dahil edilmesi yöntemi kullanılarak ulaşım modelleme yazınına özgün bir katkı sağlanması hedeflenmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma, Dört Aşamalı Ulaşım Modeli işlem sürecinin, toplu taşıma araçlarına doluluk nedeniyle binemeyen yolcuların davranışının modellenmesi yoluyla, mevcut modellerde ortaya çıkan atama sonucu toplam biniş sayısı tahminlerine dair hata değerlerinde iyileşme olup olmayacağının araştırılması amacıyla yapılmıştır. Ulaşım modelleme çalışmaları kapsamında, toplu taşıma kullanıcısının çok dolu araçlarla karşılaşınca nasıl davranacağını anlamak ve bu davranışı, gelecek ulaşım tahminlerine dahil etmek, **Tablo 4.5**'te görüleceği üzere, model tahminlerinde doğruluğu artırmaktadır. Bunun için özetle, durakta beklediği toplu taşıma aracına "binebilen" ve "doluluk nedeniyle binemeyen" yolcu oranları toplulaştırılmış davranış modeli ile hesaplandıktan sonra, toplu taşıma atama matrisleri bu oranlarda ikiye ayrılmıştır. Araçlara binebilen küme oranındaki atama matrisi ilk kesimiyle, herhangi bir toplu taşıma sefer tarife değişikliği yapılmadan (çünkü bu yolcu kümesi için genel yolcu davranışı geçerlidir) toplu taşıma ataması yapılmıştır. İşlem sırası açısından bu ilk atamayla eş düzeyli olarak, toplu taşıma atama matrisinin kalan kesimi (binemeyen yolcular oranında ayrılmış küme) ile, sefer sıklığının (dolayısıyla kapasitenin) yarıya düşürülmesi ve gerekli yol kesimi gecikme katsayılarının değişikliğiyle ikinci bir toplu taşıma ataması yapılır. Bu iki toplu taşıma atama sonucu, her ana tür kendi atama sonuç değeriyle denk gelecek biçimde eklenik olarak toplanarak, model sonuçları elde edilmiş olur.

Çalışma ile taşıt içi doluluk nedeniyle toplu taşıma araçlarına binemeyen yolcuların model sürecinde ihmal edilmesiyle toplu taşıma talep tahmininde yaklaşık olarak %1-4 arasında değerlerde (toplamda %1, ana türler bazında en fazla %4) hata yapıldığı tespit edilmiştir. Buna göre toplu taşıma hizmetlerinde beklenen yararların bir kısmının kayba uğradığı söylenebilir. Doluluk nedeniyle araçlara binemeyen veya binmemeyi tercih eden kişilerin ulaşım davranışlarının, tahmin modellerinde dikkate alınmasıyla, bu hatanın giderilebileceği sonucu çıkarılabilir. Bu tez çalışmasında önerilen yaklaşımla tüm toplu taşıma sistemleri için yaklaşık **%7**, ana türler özelinde yaklaşık **%7-27** değer aralığında bir oranda yarar artımı sağlanabileceği görülmektedir.

Bu çalışmanın öncelikli çıkarımı biri hane halkı anketlerine, "doluluk nedeniyle araçlara binemeyen kişi sayısı"nın ve "kullanılan toplu taşıma aracı doluluğunun tespiti"ne yönelik sorular eklenmesi gerektiğidir. İkinci çıkarım ise, modelleme aşamasında, bu kesimi temsil eden oranın, başlangıç-varış matrislerinde varsayımsal etkisiyle dikkate alınabildiğidir. Üçüncü önemli çıkarım ise, bölgelerde doluluk nedeniyle binemeyen kişi sayısı veya oranı bilinmeyen durumlarda, bu oranın, çalışma bölgesi toplulaştırılmış verilerinden *"nüfus", "gelir", "ulaşım altyapısı"* gibi temel değişkenler üzerinden tahmin edilebilirliğidir.

Toplu taşımada doluluk verisinin elde edilmesi amacıyla araç içi kameralar kullanılabilir. Toplanan görüntüler, kişisel verinin korunumu kapsamında, kimliği gizlenmiş veriler haline getirilerek taşıtlarda kişi sayısının belirlenmesi amacıyla kullanılabilir. Yine kapı ağzı otomatik yolcu sayım, iniş ve binişleri algılayıcı cihazlar yardımıyla ya da taşıt ağırlıklarının düzenli ölçümünü yapacak bilgisayar tabanlı aletlerle toplu taşımada doluluk verisi elde edilebilir. Bu, aynı zamanda model geçerlilik sınaması çalışmaları için toplu taşıma araçlarının hat ve durak bazlı biniş – iniş sayım verilerinin de elde edilebileceği anlamına gelmektedir. Yolcular, toplu taşıma hizmetlerinde kullanılan cep telefonu uygulamaları ve araç/durak bilgilendirme panoları aracılığıyla, kullanmayı hedeflediği olası toplu taşıma hatlarının doluluğu hakkında bilgi sahibi olduğunda, hem kullanıcı hem de sistem en-uygun çözüm yönünde daha iyi seçimler yapabilecektir.

Çalışmanın odaklandığı temel noktalardan biri de yolcu davranışı modelleme sürecinin tamamında etkisi görülen ekonomik durum göstergeleridir. Toplu taşımada doluluk nedeniyle araçlara binemeyen kümenin ortalama geliri, bu sorunu yaşamayan kümenin ortalama gelirinden %16 daha düşüktür. Katılımcıların bölgeler ölçeğinde taşıt dolulukları incelendiğinde, toplu taşıma hatlarının "çok dolu" olarak nitelendirilmediği ilçelerin ortalama geliri, tüm katılımcıların gelir ortalamasından yaklaşık %12 oranında daha yüksektir. Aslında konforlu ulaşımın da sınıfsal bir yapıya sahip olduğu, farklı seçenek sunulmadan yapılan seçimin zorunluluk olduğu ilkesiyle ekonomik durumu iyileştirilmesi gereken bölgelerin, ulaşım altyapısının da öncelikli olarak iyileştirilmesi gerektiği görülmektedir. Buradan ekonomik açıdan düşük kesimlerin, toplu taşıma hizmetlerinden konforlu biçimde yararlanma şansının daha düşük olduğu çıkarılmaktadır. Dolayısıyla toplu taşıma hizmet iyileştirme işlerinde bir önceliklendirme yapılırken yatırım önceliği, düşük gelirli, yüksek nüfuslu ve raylı sistem durağına erişim olanağı olmayan bölgelerden yana olmalıdır.

Mevcut talebin doğru değerlendirilmesi hiç kuşkusuz önemlidir. Diğer yandan bu durum zaman içinde gereksinimlerin nitelikli ve ekonomik yönde karşılanabileceği doğrultusunda bir farkındalık da yaratır. Bu kapsamda, toplu ulaşımda konforlu hizmet sunuldukça, zamanla kullanıcılarda konfor bilincinin de yükseleceği öngörülebilir. Bu durumda gelecek planlamasında tam kapasite değeriyle atamalar yerine, bu değerin bir miktar[23] azaltımıyla modelleme yapılmalıdır. Yıllara göre ne kadar bir azaltılmış varsayımsal kapasite ile çalışılacağı farklı toplumlarda, farklı bölgelerde ve farklı dönemlerde değişebilir. Bu değişimin etkenlerinin belirlenmesi önemlidir. Büyük veri çalışmalarıyla çözümlenebilecek biçimde, yıllar boyunca "doluluk nedeniyle araçlara binememek" verisi toplanmalı, çok dolu araçlara dair insanların geri dönüşleri alınmalı ve mümkünse artan konfor bilinci eğrisi oluşturulmalıdır. Toplu taşıma hizmetlerinde gerekli iyileştirmeler yapılarak, bunun kullanıcıların doluluk kaynaklı davranışına etkisi incelenmelidir. Bu durumda toplu taşımada doluluk etkisiyle yolcu davranışı değişimi matematiksel olarak ortaya konabilir ve ileride yapılacak model çalışmalarına sayısal altyapı oluşturulmuş olur. Böylece ulaşımda tahmin çalışmalarında mühendislik hizmetleri, yolcuların konfor gereksinimleri mümkün olduğunca model sürecine dahil edilerek, daha az hata ile üretilebilir.

Sonuç olarak çalışma ile, mevcut ulaşım modellerinde ihmal edilen "aşırı doluluk nedeniyle toplu taşıma araçlarına binemeyen" yolcuların modelleme sürecine dahil edildiği model yaklaşımı geliştirilerek, bu alanda iyileşme sağlayacak sistemler geliştirilmesinin yolunun açılması hedeflenmiştir. Taşıtlarda yalnızca oturarak yolculuk yapma olanağı sağlayacak bazı önerilerle, mevcut taşıt dolulukları iyileştirileceği gibi, özel otomobil kullanıcılarını da toplu taşıma kullanımına teşvik edilmiş olur. Yine benzer akıllı ulaşım sistemleri yaklaşımıyla, toplu taşıma işletmeciliğinde sabit sefer tarife sistemleri yerine, taşıt dolulukları ve dolu araçlarla karşılaşan yolcuların davranışının modellenmesi ile güncellenen sefer tarife sistemi önerileri geliştirilebilir. Çalışmada sunulan yöntem ve altyapıları paylaşılan çalışmalarla, yerel yönetimlerin toplu taşıma hizmetlerinde yalnızca talep odaklı değil gereksinim odaklı iyileştirme politikaları geliştirmesi sağlanabilir. Bu tez çalışması ile nitelikli ulaşım gereksinimlerinin karşılanmasına ve bu gereksinimlerin de olumlu biçimde yönlendirilmesi odaklı modelleme anlayışının geliştirilmesine katkı sağlanması hedeflenmektedir.

[23] Yaklaşım detayları ihmal edilenin temsili bölümünde paylaşılmıştır.

7. KAYNAKLAR

[1] H. Gerçek, «"Transportation system analysis" ders notları,» 2013.

[2] S. Easa, «Traffic assignment in practice: overview and guidelines for users,» *Transportation engineering,* no. 6, pp. 1-17, 1991.

[3] Ç. Tanrıverdi ve Y. Dülgeroğlu Yüksel, «Tracing the hidden dimension of line in architectural representation,» *Data and Analysis,* cilt 17, no. 1, p. 115–128, 2020.

[4] J. d. D. Ortuzar ve L. Willumsen, Modelling Transport, 4 dü., West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2011.

[5] M. Florian ve H. Spiess, «On binary mode choice/assignment models,» *Transportation. Science,* cilt 17, no. 1, pp. 32-47, 1983.

[6] A. Last ve S. E. Leak, «Transept: a bus model,» *Traffic engineering and control,* 1976.

[7] M. Spiess ve M. Florian, «Optimal strategies: a new assignment model for transit networks,» *Ttansportation research part: b,* no. 23b, pp. 83-102, 1988.

[8] J. De Cea ve J. E. Fernandez, «Transit assignment to minimal routes: an efficient new algotihm,» *Traffic Engineering and Control,* no. 30, pp. 491-494, 1989.

[9] A. Herbon ve Y. Hadas, «Determining optimal frequency and vehicle capacity for public transit routes: a generalized newsvendor model,» *Transportation research part: b,* no. 71, pp. 85-99, 2015.

[10] Ö. Verbaş, H. S. Mahmassani ve M. F. Hyland, «Gap-based transit assignment algorithm with vehicle capacity constraints: simulation-based implementation and large-scale application,» *Transportation research part: b,* no. 93, pp. 1-16, 2016.

[11] J. G. Wardrop, «Some theoretical aspects of road traffic research,» *Proceedings of the institution of civil engineers: part II,* no. 41A, pp. 325-362, 1952.

[12] W. H. K. Lam, Z. Y. Gao, K. S. Chan ve H. Yang, «A stochastic user equilibrium assignment model for congested transit networks,» *Transportation research part: b,* no. 33, pp. 351-368, 1999.

[13] M. Zou, X. M. Chen, H. Yu, Y. Tong, Z. Huang, M. Li ve H. Zou, «Dynamic transportation planning and operations: concept, framework and applications in China,» *Procedia - social and behavioral sciences,* no. 96, p. 2332 – 2343, 2013.

[14] S. Yan, J. Zhou ve Z. Zhao, «Expression and validation of online Bus headways considering passenger crowding,» *Journal of Advanced Transportation,* pp. 1-10, 2021.

[15] G. Gentile, L. Meschini ve N. Papola, «Macroscopic arc performance models with capacity constraints for within-day dynamic traffic assignment,» *Transportation research part: b,* no. 39, pp. 319-338, 2005.

[16] K. Gkiotsalitis ve E. C. v. Berkum, «An analytic solution for real-time bus holding subject to vehicle capacity limits,» *Transportation Research Part C Emerging Technologies,* cilt 121, 2020.

[17] P. Więcek, D. Kubek, J. H. Aleksandrowicz ve A. Stróżek, «Framework for Onboard Bus Comfort Level Predictions Using the Markov Chain Concept,» *Symmetry,* cilt 11, no. 6, p. 755, 2019.

[18] F. Delgado, J. C. Muñoz, R. Giesen ve A. Cipriano, «Real-Time control of buses in a transit corridor based on vehicle holding and boarding limits,» *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board,* cilt 2090, no. 1, pp. 59-67, 2009.

[19] C. Roncoli ve E. Chandakas, «Estimating on-board passenger comfort in public transport vehicles using incomplete automatic passenger counting data,» *Transportation Research Part C Emerging Technologies,* cilt 146, 2023.

[20] G. Bajaj, G. Bouloukakis, A. Pathak ve P. Singh, «Toward Enabling Convenient Urban Transit through Mobile Crowdsensing,» *18th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 2015.

[21] J. De Cea ve E. Fernandez, «Transit assignment for congested public transport systems: an equilibrium model,» *Transportation science,* cilt 27, no. 2, pp. 133-147, 1993.

[22] U.S. Department of Commerce Bureau of Public Road, Traffic Assignment Manual, 1964.

[23] L. Zorn, E. Sall ve D. Wu, «Incorporating crowding into the San Francisco activity-based travel model,» *Transportation,* cilt 39, no. 4, 2012.

[24] H. Maier, «CAPTRAS and CONGTRAS: alternative ways of modeling crowding in RAILPLAN,» *UK EMME User's Conference*, Londra, 2011.

[25] R. Cominetti ve J. Correa, «Common lines and passenger assignment in congested transit networks,» *Transportation science,* no. 35, pp. 250-267, 2001.

[26] A. Willig, «A Short Introduction to Queueing Theory,» Berlin, 1999.

[27] B. Davidson, P. Vovsha, M. Abedini, C. Chu ve R. Garland, «Impact of Capacity, Crowding, and Vehicle Arrival Adherence on Public Transport Ridership: Los Angeles

and Sydney Experience and Forecasting Approach,» *Australasian Transport Research Forum Proceedings,* Adelaide, Australia, 2011.

[28] S. Jara-Diaz, A. Fielbaum ve A. Gschwender, «Optimal fleet size, frequencies and vehicle capacities considering peak and off-peak periods in public transport,» *Transportation research part: a,* no. 106, pp. 65-74, 2017.

[29] Y. Hadas ve M. Shnaiderman, «Public-transit frequency setting using minimum-cost approach with stochastic demand and travel time,» *Transportation research part: b,* no. 46, pp. 1068-1084, 2012.

[30] F. Delgado, J. C. Muñoz ve R. Giesen, «How much can holding and/or limiting boarding improve transit performance?,» *Transportation Research Part B Methodological,* cilt 46, no. 9, p. 1202–1217, 2012.

[31] B. Mo, Z. Ma, H. N. Koutsopoulosc ve . Z. Jinhua, «Calibrating Path choices and train capacities for urban rail transit simulation models using smart card and train movement data,» *Journal of Advanced Transportation,* pp. 1-15, 2021.

[32] M. Sadrani, A. Tirachini ve C. Antoniou, «Vehicle dispatching plan for minimizing passenger waiting time in a corridor with buses of different sizes: Model formulation and solution approaches,» *European Journal of Operational Research,* cilt 299, no. 1, pp. 263-282, 2022.

[33] H. Shimamoto, F. Kurauchi, Y. Lida, J. D. Schömecker ve M. G. H. Bell, «Evaluation of public transport congestion mitigation measures using a passenger assignment model,» *Journal of Eastern Asia transportation studies,* no. 6, pp. 2076-2091, 2005.

[34] F. Kurauchi, M. G. H. Bell ve J. D. Schmöcker, «Capacity constrained transit assignment with common lines,» *Journal of mathematical modelling and algorithms,* no. 2, pp. 309-327, 2003.

[35] G. Whelan ve J. Crockett, «An investigation of the willingness to pay to reduce rail overcrowding,» *Proceeding of the First International Conference on Choice Modelling,* Harrogate, England, 2009.

[36] A. d. Palma, R. Lindsey ve G. Monchambert, «The Economics of Crowding in Rail Transit,» *Journal of Urban Economics,* cilt 101, no. 9, 2017.

[37] E. Chandakas, F. Leurent ve A. Poulhes, «A transit assignment model with capacity constraints: a large-ccale implementation,» *13th world conference on transport research,* Rio de Janeiro, 2013.

[38] N. Douglas ve G. Karpouzis, «Estimating the Passenger Cost of Train Overcrowding,» *28th Australasian Transport Research Forum (ATRF),* Sydney, 2006.

[39] D. A. Hensher, J. M. Rose ve W. H. Greene, «Inferring attribute non-attendance from stated choice data: Implications for willingness to pay estimates and a warning for stated choice experiment design,» *Transportation,* cilt 39, no. 2, pp. 235-245, 2011.

[40] C. Frühbeis , D. Fröhlich ve E.-M. K. Albers, «Emerging Roles of Exosomes in Neuron–Glia Communication,» *Frontiers in Physiology,* cilt 3, 2012.

[41] R. Kraus, Recreation and Leisure in Modern Society, New York: Pearson Scott Foresman, 1998.

[42] S. R. Jara-Díaz ve A. Gschwender, «From the Single Line Model to the Spatial Structure of Transit Services: Corridors or Direct?,» *Journal of Transport Economics and Policy,* cilt 37, no. 2, pp. 261-277, 2003.

[43] A. Tirachini, D. A. Hensher ve S. R. Jara-Díaz, «Comparing operator and users costs of light rail, heavy rail and bus rapid transit over a radial public transport network,» *Research in Transportation Economics,* cilt 29, no. 1, pp. 231-242, 2010.

[44] A. Tirachini, D. A. Hensher ve S. R. Jara-Díaz, «Restating modal investment priority with an improved model for public transport analysis,» *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* cilt 46, no. 6, pp. 1148-1168, 2010.

[45] G. Guerra ve J. Bocarejo, «Congestion cost in mass transit systems; pricing and 1 investment policy implications – case study: Bogotá's BRT system,» *13th World Conference on Transportation Research,* Rio de Janeiro, 2013.

[46] L. Haywood ve M. G. Koning, «Estimating Crowding Costs in Public Transport,» 28th Australasian Transport Research Forum, Sidney, 2013.

[47] N. Douglas ve G. Karpouzis, «Estimating the cost to passengers of station crowding,» *28. Australasian Transport Research Forum*, Sidney, Eylül 2005.

[48] M. J. D. Sarango, V. N. Bogumil ve N. C. Minh, «Mathematical model for predicting the vehicle occupancy for urban passenger transport on the route,» *International Conference on Advanced Technologies for Communications,* 2019.

[49] K. Özgün, M. Günay, D. Başaran ve J. Ledet, «Estimation of alighting counts for public transportation vehicle occupancy,» *Journal of Public Transportation,* cilt 25, 2023.

[50] M. Börjesson ve I. Rubensson, «Satisfaction with crowding and other attributes in public transport,» *Transport Policy,* cilt 79, p. 213–222, 2019.

[51] A. Tirachini, R. Hurtubia, T. Dekker ve R. A. Daziano, «Estimation of crowding discomfort in public transport: Results from Santiago de Chile,» *Transportation Research Part A Policy and Practice,* cilt 103, 2017.

[52] P. Bansal, R. Hurtubia, A. Tirachini ve R. A. Daziano, «Flexible estimates of heterogeneity in crowding valuation in the New York City subway,» *Journal of Choice Modelling* , cilt 31, no. 2, 2019.

[53] Y. Hamdouch, H. W. Ho, A. Sumalee ve G. Wang, «Schedule-based transit assignment model with vehicle capacity and seat availability,» *Transportation research part: b,* no. 45, pp. 1805-1830, 2011.

[54] F. Leurent, «On seat capacity in traffic assignment to a transit network,» *Journal of advanced transportation,* cilt 46, no. 2, pp. 112-138, 2010.

[55] M. Yap ve O. Cats, «Taking the path less travelled: Valuation of denied boarding in crowded public transport systems,» *Transportation Research Part A,* no. 147, pp. 1-13, 2021.

[56] G. Whelan ve J. Crockett, «An investigation of the willingness to pay to reduce rail overcrowding,» *First International Conference on Choice Modelling,* Harrogate, England, Nisan 2009.

[57] S. Peftitsi, E. Jenelius ve O. Cats, «Modeling the effect of real-time crowding information (RTCI) on,» *Transportation Research Part A,* no. 166, p. 354–368, 2022.

[58] N. D. M. Mahudin, T. Cox ve A. Griffiths, «Measuring rail passenger crowding: Scale development and psychometric properties,» *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour,* cilt 15, no. 1, pp. 38-51, 2012.

[59] A. M. Girgin ve H. Hülür, «Toplu Ulaşım Sosyolojisinin Temel Boyutları: Literatür İncelemesi ve Alan Gözlemleri,» *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi,* cilt 18, no. 44, pp. 8389 - 8419, 2021.

[60] Y.-H. Cheng, «Exploring passenger anxiety associated with train travel,» *Transportation,* cilt 37, no. 6, p. 875–896, 2010.

[61] T. Cox, J. Houdmont ve A. Griffiths, «Rail passenger crowding, stress, health and safety in Britain,» *Transportation Research: Part A,* cilt 40, pp. 244-258, 2006.

[62] D. Katz ve M. M. Rahman, «Levels of Overcrowding in Bus System of Dhaka, Bangladesh,» *Transportation Research Record,* cilt 2143, no. 1, pp. 85-91, 2010.

[63] U. Lundberg, «Urban commuting: Crowdedness and catecholamine excretion,» *Journal of Human Stress,* cilt 2, pp. 26-32, 1976.

[64] N. D. M. Mahudin, T. Cox ve A. Griffiths, «Modelling the spillover effects of rail passenger crowding on individual well being and organisational behaviour,» *WIT Transactions on The Built Environment,* cilt 116, pp. 227-238, 2011.

[65] M. Wardman ve G. Whelan, «Twenty Years of Rail Crowding Valuation Studies: Evidence and Lessons from British Experience,» *Transport Reviews,* cilt 31, no. 3, pp. 379-398, 2011.

[66] R. Fickling, H. Gunn, H. R. Kirby, M. Bradley ve C. Heywood, «Productive Use of Rail Travel Time and the Valuation of Travel Time Savings for Rail Business Travellers,» *European Transport Conference Proceeding,* 2008.

[67] M. Gripsrud ve R. Hjorthol, «Working on the train: from 'dead time' to productive and vital time,» *Transportation,* cilt 39, no. 5, p. 941–956, 2012.

[68] J. Anable, «'Complacent Car Addicts' or 'Aspiring Environmentalists'? Identifying travel behaviour segments using attitude theory,» *Transport Policy,* cilt 12, no. 1, pp. 65-78, 2005.

[69] O. Hagman, «Mobilizing meanings of mobility: car users' constructions of the goods and bads of car use,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment,* cilt 8, no. 1, pp. 1-9, 2003.

[70] M. Jensen, «Passion and heart in transport — a sociological analysis on transport behaviour,» *Transport Policy,* cilt 6, no. 1, pp. 19-33, 1999.

[71] W. H. K. Lam, C.-Y. Cheung ve C. Lam, «A study of crowding effects at Hong Kong Light Rail Transit stations,» *Transportation Research Part A Policy and Practice,* cilt 33, no. 5, pp. 401-415, 1999.

[72] D. Çelebi ve Ş. İmre, «Measuring crowding-related comfort in public transport,» *Transportation Planning and Technology,* pp. 735-750, 2020.

[73] H. Lu, T. Fowkes ve M. Wardman, «Amending the Incentive for Strategic Bias in Stated Preference Studies: Case Study in Users Valuation of Rolling Stock,» *Transportation Research Record,* cilt 2049, no. 1, pp. 128-135, 2008.

[74] L. Eboli ve G. Mazzulla, «A Stated Preference Experiment for Measuring Service Quality in Public Transport,» *Transportation Planning and Technology,* cilt 31, no. 5, pp. 509-523, 2008.

[75] M. Cantwell, B. Caulfield ve M. O'Mahony, «Examining the Factors that Impact Public Transport Commuting Satisfaction,» *Journal of Public Transportation,* cilt 12, no. 2, pp. 1-21, 2009.

[76] E. Kroes, M. Kouwenhoven, L. Debrincat ve N. Pauget, «Value of Crowding on Public Transport in Ile-de-France,» *Transportation Research Record,* cilt 2417, no. 1, pp. 37-45, 2014.

[77] M. Batarce, J. C. Munoz ve J. Dios Ortuzar, «Valuing Crowding in Public Transport: Implications for Cost-Benefit Analysis,» *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* cilt 91, pp. 358-378, 2016.

[78] H. Li, K. Gao ve H. Tu, «Variations in Mode-Specific Valuations of Travel Time Reliability and in-Vehicle Crowding: Implications for Demand Estimation,» *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* cilt 103, pp. 250-263, 2017.

[79] M. Wardman ve G. Whelan, «Twenty Years of Rail Crowding Valuation Studies: Evidence and Lessons from British Experience,» *Transport Reviews,* cilt 31, no. 3, pp. 379-398, 2011.

[80] Z. Li ve D. A. Hensher, «Crowding and Public Transport: A Review of Willingness to Pay Evidence and its Relevance in Project Appraisal,» *Transport Policy,* cilt 18, no. 6, pp. 880-887, 2011.

[81] A. Tirachini, D. A. Hensher ve J. M. Rose, «Crowding in Public Transport Systems: Effects on Users, Operation and Implications for the Estimation of Demand,» *Transportation Research Part A: Policy and Practices,* cilt 53, pp. 36-52, 2013.

[82] T. Litman, «Valuing Transit Service Quality Improvements,» *Journal of Public Transportation,* cilt 11, no. 2, pp. 43-63, 2008.

[83] L. Haywood, M. Koning ve G. Monchambert, «Crowding in Public Transport: Who Cares and Why?,» *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* cilt 100, pp. 215-227, 2017.

[84] A. De Palma, R. Lindsey ve G. Monchambert, «The Economics of Crowding in Rail Transit,» *Journal of Urban Economics,* cilt 101, pp. 106-122, 2017.

[85] A. Fonzone ve J.-D. Schmöcker, «Effects of Transit Real-Time Information Usage Strategies,» *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board,* cilt 2417, pp. 121-129, 2014.

[86] Y. Yizhou Zhang, E. Jenelius ve K. Kottenhoff, «Impact of real-time crowding information: a Stockholm metro pilot study,» *Public Transport,* cilt 9, no. 3, pp. 483-499, 2017.

[87] A. Drabicki, R. Kucharski ve O. Cats, «Mitigating bus bunching with real-time crowding information,» *Transportation,* cilt 2, no. 1, 2022.

[88] P. Noursalehi, H. N. Koutsopoulos ve J. Zhao, «Predictive decision support platform and its application in crowding prediction and passenger information generation,» *Transportation Research Part C Emerging Technologies,* cilt 129, no. 4, 2021.

[89] J.-K. Kim, B. Lee ve S. Oh, «Passenger Choice Models for Analysis of Impacts of Real-Time Bus Information on Crowdedness,» *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board,* cilt 2112, pp. 119-126, 2009.

[90] J. Kim, J. Preston ve K. Revell, «Exploring the effect of occupancy information on passengers' behaviour change to relieve train crowding,» *World Conference on Transport Research ,* Mumbai, 2019.

[91] P. Wang, X. Chen, Y. Zheng, L. Cheng, Y. Wang ve D. Lei, «Providing real-time bus crowding information for passengers: A novel policy to promote high-frequency transit performance,» *Transportation Research Part A,* no. 148, pp. 316-329, 2021.

[92] V. Trozzi, G. Gentile, I. Kaparias ve M. G. H. Bell, «Route choice model and algorithm for dynamic assignment in overcrowded,» *Transportation Research Board,* Washington, 2013.

[93] S. Zolfaghari, A. Nader ve M. Y. Jaber, «A model for holding strategy in public transit systems with real-time information,» *International Journal of Transport Management,* no. 2, pp. 99-110, 2004.

[94] A. Drabicki, O. Cats, R. Kucharski, A. Fonzone ve A. Szarata, «Should I stay or should I board? Willingness to wait with real-time crowding information in urban public transport,» *Research in Transportation Business and Management,* no. 47, 2023.

[95] G. Fletcher ve A. El-Geneidy, «Effects of Fare Payment Types and Crowding on Dwell Time: Fine-Grained Analysis,» *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,* cilt 2351, no. 1, pp. 124-132, 2013.

[96] J.-D. Schmöcker, A. Fonzone, H. Shimamoto, F. Kurauchi ve M. G. H. Bell, «Frequency-based transit assignment considering seat capacities,» *Transportation Research Part B Methodological,* cilt 45, no. 2, pp. 392-408, 2011.

[97] D. Hörcher, D. Graham ve R. J. Anderson, «Crowding cost estimation with large scale smart card and vehicle location data,» *Transportation Research Part B Methodological,* cilt 95, pp. 105-125, 2017.

[98] S. Agachai, T. Zhijia ve L. William H. K., «Dynamic stochastic transit assignment with explicit seat allocation model,» *Transportation Research Part B: Methodological,* cilt 43, no. 9, pp. 895-912, 2009.

[99] F. Leurent, «Modelling seat congestion in transit assignment,» HAL open science, 2008.

[100] D. A. Hensher, J. M. Rose ve A. T. Collins, «Identifying commuter preferences for existing modes and a proposed Metro in Sydney, Australia with special reference to crowding,» *Public Transport,* cilt 3, no. 2, pp. 109-147, 2011.

[101] A. Sumalee, Z. Tan ve W. H. K. Lam, «Dynamic stochastic transit assignment with explicit seat allocation model,» *Transportation Research Part B,* cilt 43, no. 8-9, pp. 895-912, 2009.

[102] F. Leurent ve K. Liu, «On seat congestion, passenger comfort and route choice in urban transit: a network equilibrium assignment model with application to Paris,» *88th Annual Transportation Research Board Meeting*, Washington, DC., Ocak 2009.

[103] J.-D. Schmöcker, A. Fonzone, H. Shimamoto, F. Kurauchi ve M. G. Bell, «Frequency-based transit assignment considering seat capacities,» *Transportation Research Part B,* p. 392–408, 2011.

[104] S. Raveau, J. C. Muñoz ve L. de Grange, «A topological route choice model for metro,» *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* cilt 45, no. 2, pp. 138-147, 2011.

[105] F. Qin, «Investigating the in-vehicle crowding cost functions for public transit modes,» *Mathematical problems in engineering,* 2014.

[106] T. Qiong ve H. Hai-Jun, «Commuting equilibria on a mass transit system with capacity constraints,» *Transportation and Traffic Theory,* pp. 361-383, 2007.

[107] Y. Cheng, X. Ye ve T. Fujiyama, «Identifying Crowding Impact on Departure Time Choice of Commuters in Urban Rail Transit,» *Hindawi Journal of Advanced Transportation,* pp. 1-16, 2020.

[108] S. Flügel ve N. Hulleberg, «Aversion to In-vehicle Crowding before, during and after the COVID-19 Pandemic,» *Findings,* no. Ağustos, 2022.

[109] N. J. Pedersen ve D. R. Samdahl, «Highway traffic data for urbanized area project planning and design,» *National cooperative highway research program NCHRP 255 report,* 1982.

[110] M. Meyer, T. F. Humphrey, C. M. Walton, K. Hooper, R. G. Stanley, C. K. Orski ve P. A. Peyser, «A toolbox for alleviating traffic congestion,» The Institute of Transportation Engineers, Washington, 1989.

[111] J. Lieberherr ve E. Pritscher, «Capacity-restraint railway transport assignment at SBB-Passenger,» *Transport research conference,* Monte Verita, 2012.

[112] A. Reggiani ve P. Nijkamp, «Spatial choice behaviour: logit models and neural network analysis,» *The annals of regional science,* pp. 411-429, 1997.

[113] H. O. Tezcan, K. S. Öğüt ve B. Çidimal, «A multinomial logit car use model for a megacity of the developing world: Istanbul,» *Transportation Planning and Technology,* cilt 34, no. 8, pp. 759-776, 2011.

[114] İstanbul Büyükşehir Belediyesi, «Ulaşım Talep Tahmin Model Verisi,» [Çevrimiçi]. Available: https://data.ibb.gov.tr/dataset/istanbul-ulasim-modeli. [Erişildi: 22 Kasım 2022].

[115] J. Rich, O. A. Nielsen ve G. E. Cantarella, «System Convergence in Transport Modelling,» *Proceedings of European Transport Conference 2010*, İngiltere, 2010.

[116] U. A. P. E. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Planlama Md., «İstanbul Ulaşım Model Kalibrasyonu,» İstanbul, 2014.

[117] İ. Gülgeç, Ulaşım Planlaması, 1998.

[118] M. Ben-Akiva ve S. R. Lerman, «Discrete choice analysis: theory and application to travel demand,» *MIT press,* 1985.

[119] D. McFadden, «Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour,» *Frontiers in econometrics,* pp. 105-142, 1974.

[120] T. Domencich ve D. McFadden, «Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis.,» Amsterdam, 1975.

[121] H. Williams ve M. Senior, Model based transport policy assessment: Removing fundamental, 1977.

[122] K. Train, «Discrete choice methods with simulation,» *Cambridge University Press,* 2009.

[123] R. Alpar, Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler, Ankara: Detay Yayıncılık, 2011.

[124] D. Kleinbaum ve M. Klein, Logistic Regression - A Self Learning Text, New York: Springer, 2002.

[125] M. D. Ward ve J. S. Ahlquist, Maximum likelihood for social science: Strategies for Analysis, Cambridge University Press, 2018.

[126] F. S. Koppelman ve C. Bhat, «A self instructing course in mode choice modeling: multinomial and nested logit models,» *U.S. Department of Transportation Federal Transit Administration,* 2006.

[127] C. T. Wang, V. G. Stover ve G. B. Dresser, «Multipath Traffic Assignment: A Review of Literature,» Texas Transportation Institute, Texas, 1990.

[128] Y. Sheffi, Urban Transportation Networks, New Jersey: Prentice-Hall, 1985.

[129] T. Yamane, Statistics: an introductory analysis, 2 dü., New York: Harper and Row, 1967.

[130] Z. Li ve D. A. Hensher, «Crowding in Public Transport: A Review of Objective and Subjective Measures,» *Journal of Public Transportation,* cilt 16, no. 2, pp. 107-134, 2013.

[131] W. H. K. Lam, j. Zhou ve Z. H. Sheng, «A capacity restraint transit assignment with elastic line frequency,» *Transportation research part: b* , no. 36, p. 919–938, 2002.

[132] S. Nguyen, S. Pallottino ve F. Malucelli, «A modeling framework for the passenger assignment on a transport network with timetables,» *Transportation science,* no. 35, pp. 238-49, 2001.

[133] Y. Yin, W. H. K. Lam ve M. A. Miller, «A simulation-based reliability assessment approach for congested transit network,» *Journal of advanced transportation,* no. 38, pp. 27-44, 2004.

[134] F. Teklu, «A stochastic process approach for frequency-based transit assignment with strict capacity constraints,» *Networks and spatial economics,* no. 8, pp. 225-240, 2008.

[135] Y. Hamdouch, P. Marcotte ve S. Nguyen, «Capacitated transit assignment with loading priorities,» *Mathematical programming,* no. 101, pp. 205-230, 2004.

[136] Y. Hamdouch ve S. Lawphongpanich, «Schedule-based transit assignment model with travel strategies and capacity constraints,» *Transportation research part: b,* no. 42, pp. 663-684, 2008.

[137] Y. Dodge, The concise encyclopedia of statistics, Springer, 2010.

[138] J. Bourn, «Department of transport, Scottish development department and welsh office: Road planning,» National Audit Office, 1988.

[139] B. Flyvbjerg, S. Buhl ve M. K. Skamris, «Inaccuracy in Traffic Forecasts,» *Transport Reviews,* cilt 26, no. 1, pp. 1-24, 2006.

[140] R. Bain, «Error and optimism bias in toll road traffic forecasts,» *Transportation,* cilt 36, no. 5, pp. 469-482, 2009.

[141] K. Button, S. Doh, M. Hardy, J. Yuan ve X. Zhou, «The accuracy of transit system ridership forecasts capital cost estimates,» *International Journal of Transport Economics,* cilt 37, no. 2, p. 155– 168, 2010.

[142] P. Parthasarathi, D. Levinson ve D. M. Levinson, «Post construction evaluation of traffic forecast accuracy,» *Transport Policy,* cilt 17, no. 6, pp. 428-443, 2010.

[143] «Post opening project evaluation of major schemes (2002 to 2009), Meta analysis,» 2011.

[144] M. S. Nicolaisen, *Forecasts: Fact or fiction? Uncertainty and inaccuracy in transport project evaluation,* Department of Development and Planning, Aalborg University, 2012.

[145] I. E. &. E. S. E. Mackinder, «The predictive accuracy of British transport studies in urban areas,» *Transport Research Laboratory,* 1981.

[146] M. Welde ve . J. Odeck, «Do planners get it right? The accuracy of travel demand forecasting in Norway,» *European Journal of Transport and Infrastructure Research,* pp. 80-95, 2011.

[147] P. Naess, M. S. Nicolaisen ve A. Strand, «Traffic Forecasts ignoring induced demand: A shaky Fundament for Cost-Benefit Analyses,» *European Journal of Transport and Infrastructure Research,* pp. 291-309, 2012.

[148] M. S. Nicolaisen ve P. A. Driscoll, «Ex-Post Evaluations of Demand Forecast Accuracy: A Literature Review,» *Transport Reviews,* cilt 34, no. 4, pp. 540-557, 2014.

[149] C. Kayahan, «İşletmelerde bir avantaj unsuru olarak kur korelasyonlarının kullanımı,» *Yönetim ve Ekonomi,* cilt 15, no. 1, 2008.

[150] S. Maerivoet ve B. De Moor, «Transportation Planning and Traffic Flow Models,» Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belçika, 2008.

[151] G. Bellei, G. Gentile ve N. Papola, «A within-day dynamic traffic assignment model for urban road networks,» *Transportation research part: b,* no. 39, pp. 1-29, 2005.

[152] G. E. Cantarella, «A general fixed-point approach to multimode multi-user equilibrium assignment with elastic demand,» *Transportation science,* no. 31, pp. 107-128, 1997.

[153] G. R. M. Jansen, F. Le Clerq ve P. H. L. Bovy, New developments in modelling travel demand and urban systems: some results of recent Dutch research, Westmead: Saxon house, 1979.

[154] F. Delgado, J. C. Muñoz, R. Giesen ve A. Cipriano, «Real-time control of buses in a transit corridor based on vehicle holding corridor based on vehicle holding,» *Transportation Research Record,* cilt , no. 1, pp. 100-106, 2009.

[155] A. Drabicki, R. Kucharski, O. Cats ve A. Szarata, «Modelling the effects of real-time crowding information in urban public transport systems,» *Transportmetrica A: Transport Science,* pp. 675-713 , 2020.

[156] A. Drabicki, O. Cats, R. Kucharski, A. Fonzone ve A. Szarata, «Modelling passengers' willingness to wait in the presence of real-time crowding information (RTCI),» *Symposium of the European Association for Research in Transportation*, Lyon, 2020.

[157] . G. Gentile ve K. Noekel, Modelling Public Transport Passenger Flows in the Era of Intelligent Transport Systems, Springer Tracts on Transportation and Traffic, 2016.

[158] J. K. Kim, B. Lee ve S. Oh, «Passenger Choice Models for Analysis of Impacts of Real-Time Bus Information on Crowdedness,» *Transportation Research Record,* cilt 2112, no. 1, pp. 119-126, 2009.

[159] A. Tirachini, R. Hurtubia, T. Dekker ve R. A. Daziano, «Estimation of Crowding Discomfort in Public Transport: Results from Santiago de Chile,» *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* cilt 103, p. 311–326, 2017.

[160] C. F. Manski ve D. McFadden, «lternative estimators and sample designs for discrete choice analysis,» *National Science Foundation,* 1981.

[161] İETT, «İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri,» İETT, . [Çevrimiçi]. Available: https://iett.istanbul/. [Erişildi: 21 Ekim 2023].

[162] W. H. Greene, Econometric Analysis, Prentice Hall, 1993.

[163] B. Şen, *Çapraz Sınıflandırma: Teorik Çerçeve ve Uygulamalar,* Ankara: Hacettepe Üniversitesi, 2016.

[164] J. E. Beasley, «OR -Notes Queuing theory,» [Çevrimiçi]. Available: http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/or/queue.html. [Erişildi: 15 Kasım 2023].

[165] İ. Çelik, *Markov zincirlerinin temel özellikleri ve çeşitli uygulamları,* Ordu: Ordu Üniversitesi, 2013.

[166] E. Jenelius, «Data-Driven Bus Crowding Prediction Based on Real-Time Passenger Counts and Vehicle Locations,» *6th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS2019),* Krakow, Poland, 2019.

[167] P. Wang, X. Chen, L. Cheng ve Y. Zheng, «Providing real-time bus crowding information for passengers: A novel policy to promote high-frequency transit performance,» *Transportation Research Part A Policy and Practice,* cilt 148, pp. 316-329, 2021.

[168] B. Çapalı, S. Terzi ve M. Saltan, «Toplu Taşıma Yolcularının Sosyo-Demografik Özelliklerinin Erişilebilirlik, Bekleme ve Seyahat Süresi Algısına Etkisi,» *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi,* cilt 10, no. 4, p. 1303 – 1314, 2022.

[169] F. Leurent ve K. Liu, «On Seat Congestion, Passenger Comfort and Route Choice in Urban Transit: a Network Equilibrium Assignment Model with Application to Paris,» *88th TRB Meeting*, Washington, 2009.

[170] E. Jenelius, «Personalized predictive public transport crowding information with automated data sources,» *Transportation Research Part C Emerging Technologies,* cilt 117, no. 2, 2020.

[171] B. Yu, L. Kong, T. Li ve K. Wang, «Passenger boarding choice prediction at a bus hub with real-time information,» *Transportmetrica B,* cilt 3, no. 3, pp. 1-30, 2015.

[172] H. Sbayti, C.-C. Lu ve H. S. Mahmassani, «Efficient implementation of method of successive averages in simulation-based dynamic traffic assignment models for large-scale network applications,» *Transportation Research Record*, pp. 22-30, 2009.

[173] S. Bandini, S. Manzoni ve G. Vizzari, Agent based modeling and simulation, Springer, 2009.

[174] L. Fahrmeir, T. Kneib, S. Lang ve B. Marx, Regression: models, methods and applications, Münih: Springer, 2013.

[175] İstanbul Büyükşehir Belediyesi, «İstanbul Büyükşehir Belediyesi Açık Veri Portalı,» [Çevrimiçi]. Available: https://data.ibb.gov.tr. [Erişildi: 22 Kasım 2022].

[176] Türkiye İstatistik Kurumu, «İlçe Nüfusu,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.tuik.gov.tr/. [Erişildi: 22 Kasım 2022].

[177] T.C. İstanbul Valiliği, «İstanbul'un Sosyo-Ekonomik Analizi,» İstanbul Valiliği Açık Kapı Şube Müdürlüğü, İstanbul, 2020.

[178] T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, «Yıllar itibariyle net ve brüt asgari ücretler,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.csgb.gov.tr/media/35787/yillar-itibariyle-net-brut-asgari-ucretler.pdf. [Erişildi: 6 Haziran 2022].

[179] A. Last ve S. E. Leak, «Transept: a bus model,» *Traffic engineering and control,* cilt 17, no. 14-17, 1976.

[180] R. J. Hyndman, A. Koehler, K. Ord ve R. Snyder, Forecasting with exponantial smoothing - the state space approach, Berlin: Springer, 2008.

EKLER

EK 1. TOPLULAŞTIRILMIŞ İKİLİ LOGİT MODEL ÇALIŞMA SAYFASI ve KATSAYI ÇIKTILARI

		β_0	β_1	β_2	β_3
	katsayı	0.85	1.67	0.16	0.33
	standard hata	0.31	0.44	0.53	0.21
	z-istatistiği	2.76	3.76	0.29	1.55
	p-değeri	0.006	0.000	0.768	0.121
		✓	✓	X	X

$$\hat{Y} = \frac{e^{bX}}{1 + e^{bX}} \qquad \log L = \sum_{i=1}^{n} (y_i \log \hat{y}_i + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i))$$

Model Gelişmişlik Oranı: 19.90%

max ∑LL: -310.01

LL temel: -387.02

ID	Biniş	Sabit	G	RVar	DSay	Logit	Olasılık_B	Olasılık_BM	Log-Likelihood	Olasılık_B	Olasılık_BM	Log-Likelihood
1	1.00	1.00	0.34	0.00	0.67	5.12	0.84	0.16	-0.18	2.34	0.70	-0.36
2	1.00	1.00	0.39	1.00	0.67	6.55	0.87	0.13	-0.14	2.34	0.70	-0.36
3	0.00	1.00	0.29	0.00	0.52	4.48	0.82	0.18	-1.70	2.34	0.70	-1.21
4	1.00	1.00	1.00	1.00	0.36	16.32	0.94	0.06	-0.06	2.34	0.70	-0.36
5	1.00	1.00	0.29	0.00	0.52	4.48	0.82	0.18	-0.20	2.34	0.70	-0.36
6	1.00	1.00	0.85	1.00	0.45	13.23	0.93	0.07	-0.07	2.34	0.70	-0.36
7	0.00	1.00	0.34	0.00	0.67	5.12	0.84	0.16	-1.81	2.34	0.70	-1.21
8	1.00	1.00	0.62	1.00	0.64	9.57	0.91	0.09	-0.10	2.34	0.70	-0.36
9	1.00	1.00	0.85	1.00	0.45	13.23	0.93	0.07	-0.07	2.34	0.70	-0.36
10	1.00	1.00	0.34	1.00	0.90	6.56	0.87	0.13	-0.14	2.34	0.70	-0.36
11	1.00	1.00	1.00	1.00	0.36	16.32	0.94	0.06	-0.06	2.34	0.70	-0.36
12	1.00	1.00	0.85	0.00	0.45	11.30	0.92	0.08	-0.08	2.34	0.70	-0.36

Kovaryans	β_0	β_1	β_2	β_3
β_0	0.10	-0.07	-0.01	0.00
β_1	-0.07	0.20	-0.12	-0.02
β_2	-0.01	-0.12	0.28	-0.02
β_3	0.00	-0.02	-0.02	0.05

$$V(\hat{b}) = (X^T W X)^{-1}$$

$$W = \text{diag}(\hat{y}_i(1 - \hat{y}_i))$$

W	1	2	3	4
1	0.14	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.11	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.15	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.05
5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00

EK 2. AYRIŞTIRILMIŞ İKİLİ LOGİT MODEL ÇALIŞMA SAYFASI ve KATSAYI ÇIKTILARI

		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_5
	katsayı	16.14	-0.152	0.40	-14.99	0.19	-0.41	-2.26
	st. hata	143.24	0.73	0.61	143.24	0.24	0.24	0.70
	z-ist	0.11	-0.21	0.65	-0.10	0.78	-1.69	-3.25
	p-değeri	0.910	0.835	0.515	0.917	0.433	0.091	0.001
		X	X	X	X	X	X	✓
ID	Biniş	Sabit	s	g	dÇok	rVar	yVar	çVar
1	1.00	1.00	0.65	0.31	1.00	0.00	1.00	0.00
2	1.00	1.00	0.10	0.39	0.00	1.00	0.00	0.00
3	0.00	1.00	0.26	0.28	1.00	0.00	0.00	0.00
4	1.00	1.00	0.07	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00
5	1.00	1.00	0.34	0.31	1.00	0.00	1.00	0.00
6	1.00	1.00	0.38	0.86	0.00	1.00	0.00	0.00
7	0.00	1.00	0.21	0.33	1.00	0.00	0.00	0.00
8	1.00	1.00	0.17	0.63	0.00	1.00	0.00	0.00
9	1.00	1.00	0.12	0.86	0.00	1.00	0.00	0.00
10	1.00	1.00	0.11	0.34	0.00	1.00	0.00	0.00
11	1.00	1.00	0.23	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
12	1.00	1.00	0.29	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00

$$\hat{Y} = \frac{e^{bX}}{1 + e^{bX}} \qquad \log L = \sum_{i=1}^{n} (y_i \log \hat{y}_i + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i))$$

Model Gelişmişlik Oranı: 86.27%

			max ∑LL		LL temel:
			-232.76		-1694.65

Logit	Olasılık_B	Olasılık_BM	LL	Logit	Olasılık_B	LL
2.1	0.68	0.32	-0.38	10216237.55	1.00	0.00
14223011.7	1.00	0.00	0.00	10216237.55	1.00	0.00
3.4	0.77	0.23	-1.48	10216237.55	1.00	-16.14
18210011.7	1.00	0.00	0.00	10216237.55	1.00	0.00
2.2	0.69	0.31	-0.37	10216237.55	1.00	0.00
16446010.5	1.00	0.00	0.00	10216237.55	1.00	0.00
3.5	0.78	0.22	-1.50	10216237.55	1.00	-16.14
15452738.8	1.00	0.00	0.00	10216237.55	1.00	0.00
17106600.8	1.00	0.00	0.00	10216237.55	1.00	0.00
13947157.0	1.00	0.00	0.00	10216237.55	1.00	0.00
1847923.2	1.00	0.00	0.00	10216237.55	1.00	0.00
13760276.1	1.00	0.00	0.00	10216237.55	1.00	0.00

Kovaryans β_0

Kovaryans	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_5
β_0	20518.30	-0.23	-0.25	-20518.10	-0.01	-0.01	-0.18
β_1	-0.23	0.53	0.13	0.00	0.02	-0.01	0.00
β_2	-0.25	0.13	0.37	0.04	-0.03	0.00	0.03
β_3	-20518.10	0.00	0.04	20518.30	-0.01	-0.01	0.18
β_4	-0.01	0.02	-0.03	-0.01	0.03	0.00	-0.03
β_5	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.01
β_5	-0.18	0.00	0.03	0.18	-0.03	-0.01	0.18

W	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

EK 3. ÇALIŞMADA KULLANILAN ANKET

Toplu Taşımada Doluluk Anketi

İstanbul'da toplu taşıma kullanıyorsanız ve bu beş dakikalık anketle yanıtlarınızı paylaşabilirseniz, "araç doluluklarının iyileştirilmesi"ne dair bu çalışmaya* katkı sağlamış olacaksınız.

1. En son yaptığınız toplu taşıma yolculuğunda, hangi hattı* kullandınız?

* İETT Otobüs Hatları - ***Örnek:*** *89C, 30M vb.*
Detay için: https://iett.istanbul/
* Raylı Sistem Hatları - ***Örnek:*** *M2 (veya Yenikapı-Hacıosman metrosu), T1 (veya Kabataş-Bağcılar tramvayı) vb.*
Detay için: https://www.metro.istanbul/Hatlarimiz/TumHatlarimiz

2. Bu aracın doluluğundan memnun oldunuz mu?
Evet
Hayır

3. Bu hat genel olarak "dolu" mudur?
Evet
Hayır
İlk kez kullandım, bilgim yok

4. Hangi "durak ve ilçe"den bindiniz?
Durak adı hatırlamıyorsanız mahalle ve ilçe adı yazmanız da yeterlidir.
Örnek: *Parseller İETT durağı - Küçükçekmece*
Örnek: *Cibali tramvay durağı - Fatih vb.*

5. Hangi "durak ve ilçe"de indiniz?
Durak adı hatırlamıyorsanız mahalle ve ilçe adı yazmanız da yeterlidir.

6. Aylık geliriniz ne kadardır?

7.Hangi "mahalle ve ilçe"de yaşıyorsunuz?

8. Bu yolculuğunuzu hangi tarihte yapmıştınız?
Örnek: 10 Ocak 2023

9. Bu yolculuğunuz saat kaçta başlamıştı?
* *Yaklaşık bir değer belirtebilirisiniz.*
Örnek: 08:30

10. Bu araçla yolculuğunuz kaç dakika sürdü?

11. Bindiğiniz araç için durakta kaç dakika **beklediniz?**

12. Bu durağa erişmek için kaç dakika **yürüdünüz?**

13. Bu hatta benzer güzergâhta gitmenizi sağlayan farklı otobüs hattı sayısı kaçtır *(tahmini bir değer seçebilirsiniz)*?

Bu hattan başka seçeneğim yoktu
Kullanabileceğim bir hat daha var
Kullanabileceğim iki hat daha var
Kullanabileceğim ikiden fazla sayıda hat daha var
Bilgim yok

14. Bu araç ne sıklıkla işletiliyor *(tahmini bir değer seçebilirsiniz)*?

5 dakikadan küçük bir aralık
5 dakikada bir
10 dakikada bir
15 dakikada bir
20 dakikada bir
20 dakikadan büyük bir aralık

15. Araca bindiğiniz durak ne kadar kalabalıktı?

En fazla üç kişi vardı
En az üç, en fazla yedi kişi vardı
En az yedi, en fazla yirmi kişi vardı
Yirmiden fazla sayıda bekleyen kişi vardı

16.Bindiğiniz durağa yakında *(en fazla 800 metre uzaklıkta)* metro veya tramvay durağı var mı?

Var
Yok

17.Durakta beklediğiniz sırada hava nasıldı?

Soğuk veya yağışlı değildi
Soğuk ve yağışlıydı
Soğuktu fakat yağışlı değildi
Yağışlıydı fakat soğuk değildi

18. Bu yolculuğunuzu ne amaçla gerçekleştirmiştiniz?

İş
Eğitim
Sağlık
Ziyaret, alışveriş, gezi, vd.

19. Eğitim durumunuz nedir?

İlköğretim mezunu
Lise öğrencisi
Lise mezunu
Üniversite öğrencisi
Üniversite mezunu
Lisansüstü öğretim mezunu

20. Fiziksel bir engeliniz var mı?

Var
Yok

21. Yaşınız kaçtır?

22. Cinsiyetiniz nedir?
Belirtmek istemiyorsanız bu soruyu yanıtlamadan geçebilirsiniz.

23. Bu yolculuğunuzda bavul vb. bir yükünüz var mıydı?

Vardı
Yoktu

24. Bu yolculuğunuza eşlik eden yetişkin kimse var mıydı?

Vardı
Yoktu

25. Bu yolculuğunuzda yanınızda çocuk var mıydı?

Vardı
Yoktu

26. Çalışıyor musunuz?

Evet
Hayır

27. Kişisel aylık geliriniz nedir?

28. Bu yolculuğunuzda geç kalmanız sizin için sorun olur muydu?

Evet, geç kalmamam gerekiyordu
Hayır, ciddi bir sorun yaşamazdım

29. Bu araç ne kadar doluydu?



Aşırı doluydu. Araca binemedim
Aşırı doluydu. Araca binmemeyi tercih ettim
Ayaktaydım ve rahatsız edici şekilde sıkışık bir yolculuktu
Ayaktaydım fakat rahat bir yolculuktu
Oturarak, rahat bir yolculuk yaptım

Toplu taşımada nefes almak istiyorum!
Sensörler vb. teknoloji sistemleri yardımıyla otobüs ve metrolarda kaç kişi bulunduğunu sizinle paylaşacağız. Bu bölümde, bu bilgilendirme sistemleri sonrasında ulaşım davranışınızın nasıl değişebileceğini araştırıyoruz. Yanıtlarınıza göre sefer sayısı ve araç kapasitesi düzenlemesi gibi iyileştirmeler yapılacaktır.

30. Doluluk nedeniyle araca binemediğinizde ne yaptınız?
Araca bindiyseniz bu soruyu yanıtlamadan geçebilirsiniz.

Aynı durakta bir sonraki aracı bekledim
Yolculuk başlangıç saatimi öne çektim
Minibüs veya dolmuş kullandım
Taksi çağırdım
Yakındaki bir otobüs durağına yürüdüm
Yakındaki bir metro/tramvay durağına yürüdüm
Bisiklet kullandım
Aynı aracın önceki duraklarına gittim
Yürüyerek gittim

31. **Gelen aracın bu dolulukta olduğu bilgisini almış olsaydınız* tercihiniz nasıl değişirdi?**

Lütfen "a" ve "b" seçenekleri için yanıtlayınız.

** Duraklardaki **bilgilendirme panoları**nda ve ilgili **mobil uygulama**larda gelen araçlar için bekleme süresi bilgisinin yanında **doluluk bilgisi**nin de paylaşılması yoluyla.*

31. a) **Ayakta fakat daha rahat** bir yolculuk yapabilmek için:



Aynı durakta bir sonraki aracı beklerdim
Yolculuk başlangıç saatimi öne çekerdim
Minibüs veya dolmuş kullanırdım
Taksi çağırırdım
Yakındaki bir otobüs durağına yürürdüm
Yakındaki bir metro/tramvay durağına yürürdüm
Aynı aracın önceki duraklarına giderdim
Scooter/bisiklet kullanırdım
Yürüyerek giderdim

Toplu taşıma konforlu olsun istiyorum.
Katkılarınızla, ulaşım planlama çalışmalarını birlikte yapmış olacağız.

31. b) **Oturabileceğim** bir yolculuk yapabilmek için:



Aynı durakta bir sonraki aracı beklerdim
Yolculuk başlangıç saatimi öne çekerdim
Minibüs veya dolmuş kullanırdım
Taksi çağırırdım
Yakındaki başka bir otobüs durağına yürürdüm
Yakındaki bir metro/tramvay durağına yürürdüm
Bisiklet kullanırdım
Yürüyerek giderdim
Aynı aracın önceki duraklarına giderdim

32. Sonraki bir araçta **ayakta fakat daha rahat** bir yolculuk yapabileceğiniz bilgisini alsaydınız, durakta **en fazla** kaç dakika **beklerdiniz?** *

33. Sonraki bir araçta **oturarak** bir yolculuk yapabileceğiniz bilgisini alsaydınız, durakta **en fazla** kaç dakika **beklerdiniz?** *

34. **Ayakta fakat daha rahat** bir yolculuk yapabileceğiniz bilgisini alsaydınız, **en fazla** kaç dakika uzaktaki durağa **yürürdünüz?** *

35. **Oturarak** yolculuk yapabileceğiniz bilgisini alsaydınız, **en fazla** kaç dakika uzaktaki durağa **yürürdünüz?**

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

2602140140-Sami Cankat Tanrıverdi

ORİJİNALLİK RAPORU

%6	%6	%1	%2
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%2
2	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%2
3	aves.istanbul.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
4	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<%1
5	fr.scribd.com İnternet Kaynağı	<%1
6	Submitted to Dhurakij Pundit University Öğrenci Ödevi	<%1
7	acikerisim.bahcesehir.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<%1
8	avesis.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
9	avesis.istanbulc.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

☐ **Etik Kurul izni gerekmektedir.**

☒ **Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

Sami Cankat TANRIVERDİ

KURUM İZNİ YAZILARI

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Sami Cankat TANRIVERDİ