

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



İSTASYONSUZ PAYLAŞIMLI ULAŞIM SİSTEMLERİ İÇİN
KULLANICI YÜRÜME DAVRANIŞI TABANLI
KONUMLANDIRMA STRATEJİSİ GELİŞTİRİLMESİ

Gürkan ÇELİK

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

AĞUSTOS 2025

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**İSTASYONSUZ PAYLAŞIMLI ULAŞIM SİSTEMLERİ İÇİN
KULLANICI YÜRÜME DAVRANIŞI TABANLI
KONUMLANDIRMA STRATEJİSİ GELİŞTİRİLMESİ**

Gürkan ÇELİK

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

AĞUSTOS 2025

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTASYONSUZ PAYLAŞIMLI ULAŞIM SİSTEMLERİ İÇİN
KULLANICI YÜRÜME DAVRANIŞI TABANLI
KONUMLANDIRMA STRATEJİSİ GELİŞTİRİLMESİ**

**Gürkan ÇELİK
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

Bu tez TÜBİTAK tarafından 124E543 nolu proje ile desteklenmiştir.

AĞUSTOS 2025

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTASYONSUZ PAYLAŞIMLI ULAŞIM SİSTEMLERİ İÇİN
KULLANICI YÜRÜME DAVRANIŞI TABANLI
KONUMLANDIRMA STRATEJİSİ GELİŞTİRİLMESİ

Gürkan ÇELİK
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 21/08/2025 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ümit Deniz ULUŞAR (Danışman)
Prof. Dr. Ömer Halil ÇOLAK
Prof. Dr. Murat Alper BAŞARAN
Prof. Dr. Alper BİLGE
Doç. Dr. Volkan TUNALI

ÖZET

İSTASYONSUZ PAYLAŞIMLI ULAŞIM SİSTEMLERİ İÇİN KULLANICI YÜRÜME DAVRANIŞI TABANLI KONUMLANDIRMA STRATEJİSİ GELİŞTİRİLMESİ

Gürkan ÇELİK

Doktora Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ümit Deniz ULUŞAR

Ağustos 2025; 79 sayfa

Paylaşımlı ulaşım sistemleri, özellikle büyükşehirlerde yaşanan ulaşım ve park sorunlarına yenilikçi çözümler sunmaktadır. Bu sistemlerin önemli bir bileşeni olan mikromobilité çözümleri, şehir içindeki trafik sıkışıklığı, park yeri bulma güçlükleri ve toplu taşımaya erişimde yaşanan zorluklar nedeniyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu sistemler, kullanılan taşıt türünden bağımsız olarak (e-skuter, bisiklet, motosiklet, otomobil vb.) istasyonlu ve istasyonsuz olmak üzere iki temel kategoriye ayrılmaktadır. İstasyonsuz modeller, kullanıcıların araçları istedikleri zaman ve yerde alıp bırakabilmelerine olanak tanıyarak kullanıcılara benzersiz bir esneklik sunmaktadır. Ancak, bu esneklik operatör firmalar açısından bir dizi operasyonel zorluğu da beraberinde getirmektedir. Bu sorunların başında, yüksek talep gören bölgelerde talep edilen sayıda araç bulunamazken, düşük talep gören bölgelerde araçların atıl durumda beklemesi olarak özetlenebilecek arz-talep dengesizliği gelmektedir.

Yapılan bilimsel ve akademik çalışmalarda, öncelikle kullanıcı taleplerinin başarılı şekilde tahmin edilmesi, sonrasında araçların az talep olan bölgeden çok talep olan bölgeye taşınması yani yeniden dengelenmesi (rebalancing) amaçlanmaktadır. Yeniden dengeleme adımımda hizmet alanındaki aktif araç durumunu da göz önünde bulundurarak bölgelere yerleştirilmesi gereken araç sayısı ve bu araçların nereden karşılanacağı belirlenmektedir. Bu adımda önemli bir diğer bileşen olan konuşlandırma/yerleştirme/konumlandırma (placement/positioning) stratejisi bulunmaktadır. Bu strateji, kullanıcı taleplerini göz önünde bulundurarak, talepleri karşılayacak araç yerleşim aday noktalarının mekânsal optimizasyonu olarak tanımlanabilir. Literatürde bu çalışmalar için Maksimal Kapsama Yeri Problemi (Maximal Covering Location Problem-MCLP), Konum Tahsisi Problemi, Tesis Yerleşim Problemi gibi çeşitli modeller kullanılmaktadır. MCLP'nin temel amacı belirli bir hizmet mesafesinin içinde, mümkün olan en yüksek sayıda talebi kapsayacak hizmet noktalarının tespit edilmesidir.

Paylaşımlı ulaşım sistemlerinde bu kapsama, kullanıcıların o araçlara ulaşmak için yürümeyi kabul ettikleri mesafe veya zaman olarak ifade edilebilir. Literatürdeki çalışmalarda, kullanıcıların yürüme toleransının ve istekliliğinin doğru şekilde modellenmesi ve bir diğer etmen olan eğim parametresinin modele entegre edilmesi göz ardı edilmiştir. Bu çalışma, kullanıcıların sürüş öncesi yürüme sürelerini tespit ve analiz etmeyi amaçlamıştır. Bu analiz doğrultusunda hem mesafeye hem de eğime bağlı yürüme davranışları modellenmiş ve literatürdeki çalışmalardan daha başarılı yerleşim modeli

geliştirilmiştir. Talep noktalarını kapsayacak şekilde ve gelecek taleplerin en az yürüme süreleri ile araçlara ulaşabilmesini sağlayan yürüme davranışı tabanlı MCLP (Walking-Behaviour Based MCLP – WB-MCLP) modeli önerilmiştir.

Geliştirilen WB-MCLP modeli, literatürdeki DT-MCLP modeli (Distance Tolerance MCLP) ve bu modelin (bu tezde geliştirilmiş) eğim parametresi eklenen versiyonu olan DT-MCLP+S (Distance and Slope Tolerance MCLP) modellerinin yanında rastgele yerleşim ve genetik algoritma stratejileri ile karşılaştırılmıştır. Geçmiş sürüş verilerinden elde edilen talep noktaları ve bu noktaları kullanarak filtrelenmiş ızgara şeklindeki farklı boyutlardaki (250, 500, 750 ve 1000 m) aday noktaları bulunmuştur. Aday noktaları oluştururken ve modelleri test ederken tekrarlanan k-katlı çapraz doğrulama (repeated k-fold cross validation) yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin birçok şehir ve bölgede eğimi ve yürüme davranışını başarılı şekilde temsil ederek diğer modellerden daha başarılı sonuçlar elde ettiğini göstermiştir.

Özetle bu çalışma, kullanıcı davranışları, çevresel faktörler ve operasyonel stratejiler arasındaki etkileşimi kapsamlı bir şekilde analiz ederek, paylaşımlı ulaşım sistemlerinin verimliliğini artırmaya yönelik yenilikçi yaklaşım geliştirmiştir. Elde edilen bulgular, önerilen modelin mesafe ve eğim faktörlerinin birlikte ele alınması ile kullanıcı davranışını daha gerçekçi yansıtarak istasyonsuz paylaşımlı skuter sistemlerinin optimizasyonunda anlamlı iyileştirmeler sağladığını kanıtlamıştır. Bu çalışma, paylaşımlı istasyonsuz ulaşım sistemlerinin optimizasyonunu hedefleyen mobilite hizmeti sağlayıcılarına, şehir planlamacılarına ve bu alanda çalışmak isteyen araştırmacılara değerli bilgiler sunmaktadır.

ANAHTAR KELİMELE: Paylaşımlı ulaşım sistemleri, İstasyonsuz e-skuter konumlandırma stratejisi, maksimum kapsama yeri problemi, mikromobilite optimizasyonu.

JÜRİ: Prof. Dr. Ümit Deniz ULUŞAR

Prof. Dr. Ömer Halil ÇOLAK

Prof. Dr. Murat Alper BAŞARAN

Prof. Dr. Alper BİLGE

Doç. Dr. Volkan TUNALI

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A USER WALKING BEHAVIOR-BASED POSITIONING STRATEGY FOR DOCKLESS SHARED TRANSPORTATION SYSTEMS

Gürkan ÇELİK

PhD Thesis in Electrical-Electronic Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. Ümit Deniz ULUŞAR

August 2025; 79 pages

Shared transportation systems offer innovative solutions to transportation and parking problems, especially in metropolitan areas. Micromobility solutions, which are an important component of these systems, are becoming increasingly important due to urban traffic congestion, difficulties in finding parking spaces, and challenges in accessing public transport. These systems are categorised into two main types—docked and dockless—regardless of the type of vehicle used (e-scooter, bicycle, motorcycle, car, etc.). Dockless (stationless or free-floating) models offer users unique flexibility by allowing them to pick up and drop off vehicles at any time and place. However, this flexibility also brings a number of operational challenges for operators. Chief among these is the supply-demand imbalance, which can be summarised as the inability to find the required number of vehicles in high-demand areas, while vehicles remain idle in low-demand areas.

In scientific and academic studies, the primary aim is to accurately predict user demand, followed by transferring vehicles from low-demand to high-demand areas. In this rebalancing step, the number of vehicles to be placed in different areas and where these vehicles will come from are determined, taking into account the current active vehicle status in the service area. An important additional component at this stage is the placement/positioning strategy. This strategy can be defined as the spatial optimisation of candidate vehicle placement points to meet user demands. Various models are used in the literature for these studies, such as the Maximal Covering Location Problem (MCLP), Location Allocation Problem, and Facility Location Problem. The main purpose of MCLP is to identify service points that will cover the maximum possible demand within a specified service distance.

In shared transportation systems, this coverage can be expressed as the distance or time users are willing to walk to access those vehicles. Studies in the literature have overlooked accurately modelling users' walking tolerance and willingness, as well as integrating another factor—slope—into the model. This study aims to determine and analyse users' walking durations before rides. Based on this analysis, walking behaviours depending on both distance and slope were modelled, and a placement model more successful than those in the literature was developed. A Walking Behaviour Based MCLP (WB-MCLP) model is proposed to cover demand points and ensure that future demands can access vehicles with minimal walking times.

The developed WB-MCLP model was compared with the DT-MCLP (Distance Tolerance MCLP) model in the literature, the improved version of this model (developed

in this thesis) with an added slope parameter—DT-MCLP+S (Distance and Slope Tolerance MCLP)—as well as random placement and genetic algorithm strategies. Demand points obtained from historical trip data were used to generate filtered candidate points in grid form with different sizes (250, 500, 750, and 1000 m). During candidate point generation and model testing, the repeated k-fold cross-validation method was used. The results showed that the proposed method achieved more successful outcomes than other models in many cities and regions by effectively representing slope and walking behaviour.

In summary, this study developed an innovative approach to improving the efficiency of shared transportation systems by comprehensively analysing the interaction between user behaviours, environmental factors, and operational strategies. The findings proved that incorporating both distance and slope factors into the model more realistically reflects user walking behaviour, providing significant improvements in the optimisation of stationless shared e-scooter systems. This study offers valuable insights to mobility service providers, urban planners, and researchers seeking to optimise free-floating shared transportation systems.

KEYWORDS: Shared transportation systems, Stationless e-scooter placement strategy, maximal covering location problem, micromobility optimization.

COMMITTEE: Prof. Dr. Ümit Deniz ULUŞAR
Prof. Dr. Ömer Halil ÇOLAK
Prof. Dr. Murat Alper BAŞARAN
Prof. Dr. Alper BİLGE
Assoc. Prof. Dr. Volkan TUNALI

ÖNSÖZ

Bu tez, TÜBİTAK tarafından 124E543 numaralı proje ile desteklenmiştir. Çalışmanın tüm aşamalarında değerli bilgileri, yapıcı yorumları ve yönlendirmeleriyle bana rehberlik eden tez danışmanım Prof. Dr. Ümit Deniz ULUŞAR'a (Akdeniz Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü), tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Ömer Halil ÇOLAK'a (Akdeniz Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü) ve Doç. Dr. Volkan TUNALI'ya (University of the West of Scotland, School of Computing, Engineering and Physical Sciences) en içten şükranlarımı sunarım.

İstatistiksel veri analizine katkılarından dolayı Prof. Dr. Murat Alper BAŞARAN'a (Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü), makine öğrenmesi ve yapay zekâ konularındaki değerli yönlendirmeleri için Dr. Öğr. Üyesi Özge Öztimur KARADAĞ'a (Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü), veri ön işleme sürecindeki destekleri için Arş. Gör. Taha Yiğit ALKAN'a (Akdeniz Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü) ve model oluşturma aşamasındaki rehberliği için Dr. Öğr. Üyesi Atıl KURT (Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü) tezime yaptıkları değerli katkılar için minnettarım.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde önemli rol oynayan GEZ Mobility firmasına, istasyonsuz paylaşımlı e-skuter kullanım verilerini sağladığı ve bilimsel araştırmalara olan katkısı için teşekkür ederim. Ayrıca bu tez çalışmasını 1002-B Acil Destek Modülü ile destekleyen TÜBİTAK'a şükranlarımı sunarım.

Son olarak, bu uzun ve yorucu süreçte her daim yanımda olan değerli eşime, oğluma, aileme ve arkadaşlarıma, akademik çalışmalarım süresince gösterdikleri sarsılmaz destek ve teşvik için teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının temel motivasyonu, araç türünden bağımsız olarak istasyonsuz paylaşımlı ulaşım sistemlerinde araçların konumlandırma operasyonlarının başarısını artırmada kritik öneme sahip kullanıcı davranışlarının analizini gerçekleştirmek ve bu analizler doğrultusunda, sürüş öncesi yürüme sürelerini dikkate alan yenilikçi bir yerleştirme tekniği geliştirmektir. Bu yaklaşım sayesinde hem bu alanda çalışan araştırmacılara hem de ticari firmalara önemli katkılar sağlayacak bulgular elde edilmesi hedeflenmiştir.

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “İSTASYONSUZ PAYLAŞIMLI ULAŞIM SİSTEMLERİ İÇİN KULLANICI YÜRÜME DAVRANIŞI TABANLI KONUMLANDIRMA STRATEJİSİ GELİŞTİRİLMESİ” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

21/08/2025

Gürkan ÇELİK

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ	vi
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	4
2.1. Paylaşımlı Ulaşım ve Mikromobilité	4
2.2. Kullanım Örüntüleri ve Sürüş Davranışları	5
2.2.1. Talep tahmini.....	8
2.2.2. Yeniden dengeleme	11
2.3. Yürüme Davranışları	14
2.3.1. Genel yürüme davranışları	14
2.3.2. Sürüş öncesi yürüme davranışları	18
2.4. Konuşlandırma Stratejisi	22
2.4.1. Rastgele yerleştirme stratejisi.....	25
2.4.2. Genetik algoritma	25
2.4.3. Tesis yerleşim problemi	26
2.4.4. Konum tahsis problemi	28
2.4.5. Konum kümesi kapsama problemi.....	29
2.4.6. Maksimum kapsama yerleşim problemi	30
3. MATERYAL VE METOT.....	36
3.1. DT-MCLP+S.....	36
3.2. Veri Seti.....	37
3.3. Sürüş Öncesi Yürüme Davranışının Modellenmesi	38
3.4. Talep Noktası Tespiti	39
3.5. Aday Noktası Belirlenmesi	41
3.6. Problem Tanımı ve WB-MCLP Algoritması	42
3.7. Deneyler	45

3.7.1. Rastgele yerleştirme	46
3.7.2. Genetik algoritma	46
3.7.3. Mesafe toleransı tabanlı MCLP (DT-MCLP)	46
3.7.4. Eğitim dahil edilmiş mesafe toleransı tabanlı MCLP (DT-MCLP+S).....	47
3.7.5. Yürüme davranışı tabanlı MCLP (WB-MCLP).....	47
3.8. Değerlendirme metrikleri	47
4. BULGULAR	48
4.1. Bölgelere Ait Bulgular	56
4.1.1. Antalya	56
4.1.2. Kemer	57
4.1.3. Manavgat	58
4.1.4. Elazığ	60
4.1.5. Şanlıurfa	61
5. TARTIŞMA.....	63
6. SONUÇLAR	65
7. KAYNAKLAR.....	67
8. EKLER	77
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- d_{ij} : Talep noktası i ile aday noktası j arasındaki yürüme mesafesi
 e_{ij} : Talep noktası i ile aday noktası j noktalarının eğimi
 I : Paylaşımlı e-skuterler için talep noktaları kümesi
 i : Paylaşımlı e-skuterler için bir talep noktası
 J : Paylaşımlı e-skuterlerin konuşlandırılabilceği aday noktalar kümesi
 j : Paylaşımlı e-skuterlerin yerleştirilebileceği bir aday noktası
 r_{ij} : Talep noktası i ile aday noktası j arasındaki rakım farkı

Kisaltmalar

- AN: Aday noktası (Candidate point - CP)
DT-MCLP: Mesafe Toleranslı MCLP (Distance Tolerance MCLP)
DT-MCLP+S: Mesafe ve Eğim Toleranslı MCLP (Distance and Slope Tolerance MCLP)
FLP: Tesis Yerleştirme Problemi (Facility Location Problem)
GA: Genetik Algoritma
ILP: Tamsayı Doğrusal Programlama (Integer Linear Programming)
IoT: Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
KKT: Kullanıcı Konum Telemetrileri
LAP: Konum Tahsisi Problemi (Location Allocation Problem)
MCLP: Maksimal Kapsama Konumlandırma Problemi (Maximal Covering Location Problem)
Ort.: Ortalama (Mean)
RY: Rastgele Yerleştirme
Std.: Standart Sapma (Standard Deviation)
Sig.: Güçlülük (Significance)
TN: Talep noktası (Demand point - DP)
YSA: Yapay sinir ağı (Artificial neural network - ANN)
WB-MCLP: Yürüme Davranışı Tabanlı MCLP (Walking Behaviour Based MCLP)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çalışmaya dahil edilen ve edilmeyen bölgeler	38
Şekil 3.2. Çeşitli modellerinin yürüme davranışını temsil etme performansları	39
Şekil 3.3. Antalya'daki filtrelenmemiş aday noktası haritası	41
Şekil 3.4. Antalya'daki filtrelenmiş aday noktası haritası	42
Şekil 4.1. Akdeniz Üniversitesi'ndeki talep noktalarının gösterimi	50
Şekil 4.2. Elazığ'da RY modeli ile yerleştirme sonucu	53
Şekil 4.3. Elazığ'da GA modeli ile yerleştirme sonucu.....	53
Şekil 4.4. Elazığ'da DT-MCLP modeli ile yerleştirme sonucu	54
Şekil 4.5. Elazığ'da DT-MCLP+S modeli ile yerleştirme sonucu	55
Şekil 4.6. Elazığ'da WB-MCLP modeli ile yerleştirme sonucu.....	55
Şekil 4.7. Modellerin Antalya'daki kapsama oranları performansları.....	56
Şekil 4.8. Modellerin Antalya'daki ortalama yürüme performansları.....	57
Şekil 4.9. Modellerin Kemer'deki kapsama oranları performansları	57
Şekil 4.10. Modellerin Kemer'deki ortalama yürüme performansları.....	58
Şekil 4.11. Modellerin Manavgat'taki kapsama oranları performansları	59
Şekil 4.12. Modellerin Manavgat'taki ortalama yürüme performansları	59
Şekil 4.13. Modellerin Elazığ'daki kapsama oranları performansları	60
Şekil 4.14. Modellerin Elazığ'daki ortalama yürüme performansları	60
Şekil 4.15. Modellerin Şanlıurfa'daki kapsama oranları performansları.....	61
Şekil 4.16. Modellerin Şanlıurfa'daki ortalama yürüme performansları.....	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Veri setindeki sürüş tablosunun detayı	37
Çizelge 3.2. Veri setindeki kullanıcı konum telemetri tablosunun detayı	37
Çizelge 3.3. Hizmet bölgelerindeki sürüş sayılarının bölgeler bazında dağılımı	38
Çizelge 3.4. Talep noktası hesaplaması adımıında oluşturulan örnek kayıtlar	40
Çizelge 3.5. Örnek talep noktası verisi	40
Çizelge 3.6. Şehirlere göre farklı talep noktası sayıları	41
Çizelge 3.7. Hizmet verilen bölgelerin coğrafi sınırları	41
Çizelge 3.8. Hizmet verilen bölgelerin aday noktası sayıları	42
Çizelge 4.1. Sürüş öncesi yürüme süresi istatistikleri.....	48
Çizelge 4.2. Bölgelerin farklı ızgara boyutlarındaki ortalama kapsama oranları	51
Çizelge 4.3. Bölgelerin farklı ızgara boyutlarındaki ortalama yürüme mesafeleri.....	52



1. GİRİŞ

Dünya genelinde yaşanan hızlı kentleşme süreci, modern toplumların karşılaştığı en kritik zorluklardan biri olarak öne çıkmaktadır. Birleşmiş Milletlerin yayımladığı rapora göre, 2015 yılı itibariyle dünyadaki toplam nüfusun %55'i şehirlerde yaşarken, bu oranın 2050 yılına kadar %68 seviyelerine çıkması beklenmektedir (UN-Habitat, 2022). Kırsal bölgelerde yaşayan kişilerin hızla büyük şehirlere göç etmesinden kaynaklanan bu demografik dönüşüm, kentsel alanlarda yoğunluğun artmasına ve beraberinde çok boyutlu sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Hızlı kentleşme sürecinin en belirgin etkilerinden biri, kentsel ulaşım sistemleri üzerinde yaratılan yoğun baskıdır. Şehir merkezlerinde yaşanan nüfus artışı, özellikle ulaşım sistemleri üzerinde ciddi baskılar oluştururken, park yeri eksikliği ve çevresel kirlilik gibi problemleri de beraberinde getirmektedir. Geleneksel ulaşım altyapısının bu artan talebe yanıt vermekte yetersiz kalması, günlük yaşamda ciddi aksaklıklara yol açmaktadır (Çelik vd., 2023). Özellikle toplu taşıma altyapısının önceden belirlenmiş sabit güzergahlarda, belirli zamanlarda olması birçok kişi için toplu taşımaya erişimi zorlaştırmaktadır. Özellikle ilk ve son kilometre probleminin çözülmemesi, toplu taşıma sistemlerinin etkinliğini azaltmakta ve bireysel motorlu taşıt kullanımını artırmaktadır. Bu nedenle, modern şehirlerin karşı karşıya olduğu ulaşım problemlerine teknolojinin getirdiği imkanlardan yararlanarak yenilikçi çözümler geliştirilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir.

Ulaşım sorunlarına yönelik önerilen çözümler arasında, özellikle mobilité alanında yapılan dijital dönüşüm ve teknolojik gelişmeler önemli rol oynamaktadır. Bu teknolojik yenilikler ile hayatımıza mikromobilité ve paylaşımlı ulaşım sistemleri kavramı dahil olmuştur. Mikro-mobilité, kullanıcıların özellikle farklı ulaşım araçları arasında alternatif olarak kullanabileceği, yürümek için uzak ancak geleneksel ulaşım araçlarını (kişisel araba, motosiklet veya toplu taşıma araçları) kullanmak için kısa mesafelerde gerçekleşen ulaşım olarak tanımlanmaktadır. Kullanıcılar açısından mikromobilité, ilk ve son kilometre olarak isimlendirilen yolculuğun ilk başladığı konumdan asıl ulaşım aracına (örn. evden metro istasyonuna) veya ulaşım aracından indikten sonra hedef noktasına (örn. metro istasyonundan iş yerine) ulaşmasına imkan verebilmektedir. Bu yaklaşım, birden fazla türden ulaşım çeşidinin birbirleriyle entegrasyonunu sağlayarak, toplu taşıma sistemlerinin etkinliğini artırmaktadır. Paylaşımlı ulaşım sistemleri ise kullanıcıların bireysel araç kullanımı yerine, ortak kullanılacak ulaşım araçlarını istedikleri zamanda kiralayıp bırakabilecekleri esnekliği sunan bir model olarak tanımlanabilir. Bu sistemler, kaynak kullanımını optimize ederek çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmakta ve kentsel alanda park yeri ihtiyacını azaltmaktadır.

Paylaşımlı mikromobilité ulaşım modeli e-skuter başta olmak üzere bisiklet, e-bisiklet, motosiklet gibi farklı taşıtlarla uygulanabilmektedir ve operasyonel olarak istasyonlu ve istasyonsuz olarak ikiye ayrılmaktadır. İstasyon tabanlı sistemler sabit başlangıç ve bitiş noktalarıyla karakterize edilirken, istasyonsuz sistemler, kullanıcıların araçları hizmet alanı içinde istedikleri noktalardan araçları kiralayıp bırakabilecekleri, zamansal ve mekânsal kısıtlamalara bağlı kalmadan, ihtiyaç anında erişim sağlamalarına olanak tanınması nedeniyle önemli bir yenilik olarak değerlendirilmektedir. İstasyonsuz sistemler, pahalı sabitleme istasyonları ve kiosk makineleri inşası gerektirmediği için geleneksel istasyon tabanlı sistemlere kıyasla daha düşük başlangıç maliyetine sahiptir.

(Pal & Zhang, 2017). Ancak, istasyonlu sistemlerde sürüşlerin başlatılıp bitirildiği noktaların sınırlı sayıda olması, operatör firmalar açısından büyük bir kolaylık iken, bu durum kullanıcılar açısından memnuniyeti önemli ölçüde azaltan bir durumdur. Zhu vd., istasyonlu paylaşımlı bisiklet sisteminin kullanımının, istasyonsuz bisiklet paylaşım sisteminin ortaya çıkmasından nasıl etkilendiğini incelemiştir. Xi'an/Çin'de yapılan araştırmada, istasyonsuz sistemin başlatılması sonrasında istasyonlu sistem kullanımında önemli bir düşüş gözlemlenmiştir. Özellikle geçiş aşamasında, istasyonlu bisiklet paylaşımının haftalık kullanım oranı %41.4'e kadar azalmıştır (Zhu vd., 2024).

Dünyada paylaşımlı ve istasyonsuz e-skuter hizmetlerine ilk adım, 2016'da Singapur'da Telepod tarafından deneme amaçlı başlatılmıştır. Ancak bu konseptin geniş çapta yaygınlaşması ve ölçeklenebilir hale gelmesi, 2017'de Kaliforniya'da Bird firmasının faaliyete geçmesiyle gerçekleşmiştir. Kullanıcılara sağladığı kolaylıkların da etkisi ile bu tarihten sadece 1 yıl sonra 2 milyondan fazla sürücü ve 10 milyondan fazla sürüş sayılarına ulaşarak 100'ü aşkın şehirde faaliyet göstermiştir. Bu hızlı büyüme trendi devam ederek, sadece 2 yıl içinde 2019'da paylaşımlı istasyonsuz e-skuter sürüş sayısı katlanarak 86 milyon seviyelerine ulaşmıştır. Ve bu trend çok kısa süre içinde dünya çapında metropollerde kullanılmaya başlanmıştır (Saum, 2023).

İstasyonsuz sistemlerin kullanıcılara sunduğu esneklik, operatör firmalar açısından bir dizi zorluğu da beraberinde getirmektedir. Yüksek talep gören bölgelerde araç sayısının yetersizliği, düşük talep alan bölgelerde ise araçların uzun süre atıl kalması gibi arz-talep dengesizlikleri, bu sistemlerin verimli işletilmesini zorlaştırmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelinmesi durumunda sistemdeki araç kullanımı artırılarak operatör firma karlılıkları maksimize edilebilecektir.

Literatürde bu problemleri çözmek için sıklıkla iki aşamalı model önerilmektedir (X. Zhang vd., 2019). Birinci aşama, gelecekteki kullanıcı taleplerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi (demand prediction); ikinci aşama, mevcut araç dağılımı göz önüne alınarak dengeleme (rebalancing) ve bu sürecin kritik bir alt bileşeni olan yerleştirme stratejisinin (placement/positioning strategy) belirlenmesidir. Özellikle yerleştirme stratejisi, operatörlerin hangi bölgede kaç araç bulundurması gerektiğini optimize ederek, sistemin verimliliğini ve kullanıcı memnuniyetini doğrudan etkilemektedir (Swessi & EL Khalfi, 2024). Bu yerleştirme stratejisi istasyonlu sistemler için istasyonların nereye yerleştirilmesine karşılık gelirken, istasyonsuz sistemler için hizmet alanının hangi bölgelerine araç yerleştirilmesini optimize etmeye çalışmaktadır. Çünkü teoride, istasyonsuz sistemlerde, hizmet alanının tamamı sürekli uzayda sanal istasyon noktası olarak değerlendirilebilir. Bu durum, konumlandırma problemini son derece karmaşık hale getirmektedir. Geleneksel tesis yerleştirme problemlerinden farklı olarak, dinamik değişen talep yapıları, talebin gerçekleştiği şartlara bağlı değişen kullanıcı yürüme davranışları, optimizasyon sürecini zorlaştırmaktadır.

Yapılan çalışmalarda hem talep tahmini hem de talebi karşılamak için araçların yeniden konumlandırılmasının önemi vurgulansa da kullanıcı davranışlarının analizi ve bu davranışların nasıl değiştiği göz ardı edilmektedir. Paylaşımlı ulaşım sistemlerinde araçların hizmet verebileceği mesafe veya alan, doğrudan kullanıcıların o araçları kullanmak için ne kadarlık süre veya mesafe yürümeyi tercih edebileceklerine bağlıdır. Bu tercihlerin doğru anlaşılması ve modellenmesi, sistemin kullanım miktarını doğrudan etkilemektedir. Geleneksel konum optimizasyonu yaklaşımları mesafeyi ikili bir değişken olarak ele alarak, belirli bir yarıçap içindeki talebi tamamen kapsanan, dışındaki

talebi ise hiç karşılanmayan şekilde basitleştirmektedir. Ancak gerçek kullanıcı davranışları, mesafe artışı ile birlikte hizmet kullanım isteğinin kademeli olarak azaldığını göstermektedir. Bu durum, optimal sistem performansı için kullanıcıların mesafe toleransının matematiksel fonksiyonlarla modellenmesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır (Yue vd., 2024).

Bu çalışmanın iki ana amacı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi kullanıcıların sürüş öncesindeki mesafeye bağlı yürüme davranışlarının doğru bir şekilde modellenebilmesidir. İkincisi ise bu yürüme davranışına etki eden bir diğer etmen olan eğimin (Broach & Dill, 2015; Meeder vd., 2017) modele dahil edilmesidir. Bu amaçlar doğrultusunda yapılacak konuşlandırma stratejisinin diğer modellerden daha başarılı olacağı savunulmaktadır. Bu sayede literatürdeki dinamik konumlandırma optimizasyonu teorisine katkı sunulmasının yanında pratik hayattaki sistem verimliliğinin artırılması, kullanıcı memnuniyetinin iyileştirilmesi ve sürdürülebilir kentsel mobilité çözümlerinin geliştirilmesi sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasının diğer bölümleri aşağıdaki şekilde yapılandırılmıştır. 2. bölümde paylaşımlı ulaşım sistemleri, bu sistemlerin karşılaştığı zorluklar, bu zorluklara yönelik geliştirilen çözümler konusundaki mevcut çalışmalar kapsamlı olarak incelenmiştir. Konumlandırma optimizasyonu teorisi, kullanıcı davranış modelleri ve performans değerlendirme metrikleri detaylı olarak ele alınmıştır. 3. bölümde veri seti hakkında teknik detaylar, konum telemetrikleri ile yolculukların eşleştirmesi, zamansal verilerin kümelenmesi, uygulanan istatistiksel yöntemler, talep noktalarının ve aday yerleşim noktalarının belirlenmesi metodolojik şekilde açıklanmıştır. 4. bölümde çalışmadan elde edilen ortalama yürüme süreleri ve kapsanan talep yüzdeleri ile ilgili bulgular analiz edilmiştir. 5. bölümde ise elde edilen bulguların literatür ile uyumluluğu karşılaştırılmış tezdeki bulgular tartışılmıştır. 6. bölümde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar pratik uygulamalar açısından değerlendirilmiş, gelişmeye açık konular ve gelecekteki çalışmalar için araştırma önerilerine yer verilmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

Bu bölümde, paylaşımlı ulaşım ve mikromobilité alanındaki temel kavramları, tarihsel gelişimi, kullanıcı davranışları, operasyonel zorlukları, talep tahmini, yeniden dengeleme ve yerleştirme stratejileri gibi ana başlıklar üzerinden literatürde yer alan yaklaşımlar detaylandırılmıştır. Ayrıca, paylaşımlı ulaşım sistemlerinde sürüş öncesi yürüme süresinin analizi, gündelik hayattaki yürüme davranışından farkı ve yürüme sürenin yerleştirme stratejileri açısından önemi de değerlendirilmiştir.

2.1. Paylaşımlı Ulaşım ve Mikromobilité

Şehir içi ulaşımın verimli, sürdürülebilir ve erişilebilir hale getirilmesi amacıyla geçmiş yıllarda çeşitli paylaşımlı ulaşım girişimleri bulunmaktadır. Bu, toplu bisiklet kullanımından modern elektrikli skuterlere kadar uzanan girişimler yıllar içinde önemli bir değişim geçirmiştir. 1965 yılında, Hollandalı sosyal mucit Luud Schimmelpennink öncülüğünde "Beyaz Bisiklet" projesi şehir genelinde kilitsiz şekilde halkın kullanımına sunulmuştur. Bu öncü girişim, paylaşımlı mobilité felsefesinin temellerini atmış, ancak, hırsızlık ve vandalizm gibi sorunlar nedeniyle kısa sürede sona ermiştir. 1974 yılında, yine Schimmelpennink tarafından Amsterdam'da geliştirilen "Witkar" projesi, dönemin Ulaştırma Bakanı Irene Vorrink tarafından açılan Amstelveld istasyonu ile hizmete başlamıştır. İki kişilik küçük elektrikli araçlar, şehir genelindeki istasyonlarda kayıtlı kullanıcıların hizmetine sunulan bu sistem finansal zorluklar ve büyüme sorunları nedeniyle 1986'da sonlandırılmıştır. Bu sistem, bilgisayar kontrolü ve otomatik rehberlik sistemleri ile donatılmış olması açısından zamanının çok ilerisinde bir teknolojik başarı örneği olarak değerlendirilmektedir. Bu girişimler ilerleyen yıllarda Avrupa'da ve Amerika'da hayata geçirilen paylaşımlı ulaşım sistemlerinin önemli bir ayağını oluşturan paylaşımlı bisiklet sistemi için ilham kaynağı ve model olmuştur (Ploeger & Oldenziel, 2020).

Modern bisiklet paylaşım sistemlerinin gelişimi teknolojik ilerlemelerle paralel ilerlemiştir. 1995 yılında, Kopenhag'da "Bycyklen" programı ile madeni para ile çalışan kilit sistemleri tanıtılmıştır. Bu sistem, bisikletlerin belirli istasyonlarda kilitlenip açılmasını, böylece sistemin güvenilirliği artırarak uygulanabilirliğini kanıtlamada önemli bir adım atılmasını sağlamıştır. 1998 yılında Fransa'nın Rennes şehrinde akıllı kart ve izleme teknolojileri kullanan "Vélo à la Carte" isimli bilişim tabanlı sistem devreye alınmıştır. Bu yeniliklerle, operatör firmalar açısından kullanıcı yönetimi kolaylaşmış ve operasyonel verimlilik artmıştır (Tao & Pender, 2021). Avrupa dışında ise, Çin'deki Ofo ve Mobike firmaları paylaşımlı bisiklet sistemini geliştirmek için önemli adımlar atmıştır. Bu firmalar, özellikle istasyonsuz sistemlerin geliştirilmesinde öncü rol oynamış ve GPS teknolojisi ile akıllı kilitleme sistemlerini birleştirmiştir (Ploeger & Oldenziel, 2020).

E-skuter paylaşım sistemlerinin gelişimi ise mikro mobilitenin en son aşamasını temsil etmektedir. İstasyonsuz e-skuter hizmetlerinin ilk denemeleri Telepod tarafından 2017 yılında Singapur'da başlanmıştır. Ancak Singapur'daki bu erken girişimler, yasal düzenlemeler, sınırlı kullanım alanları ve diğer operasyonel zorluklar nedeniyle geniş çapta popülerlik kazanamamıştır. Gerçek anlamda sektörel dönüşüm ise Amerika Birleşik Devletleri'nde Telepod ile aynı yıl içinde Bird firmasının Kaliforniya'da istasyonsuz e-skuter hizmetlerini faaliyete geçirmesi ve bu konseptin geniş kitlelere ulaşabilmesi ile mümkün olmuştur (Pande & Taeihagh, 2021). Lime, Spin, Jump, Razors ve Neuron gibi

önde gelen firmalar, kısa sürede faaliyete geçip hizmet alanlarını genişleterek ABD, Avrupa ve Asya pazarlarında yerlerini almıştır.

E-skuterlerin kullanıcı adaptasyonu, önceki paylaşımlı ulaşım sistemlerine kıyasla çok daha hızlı gerçekleşmiştir. E-skuterlerin sağladığı kolaylık ve hız, geleneksel paylaşımlı bisiklet sistemlerine kıyasla toplum tarafından hızlı bir şekilde benimsenmiştir. Bird ve Lime'in istasyonsuz modelleri sayesinde, büyük ABD şehirlerinde e-skuterlerin benimsenme hızı daha da artmıştır. Devamında, e-skuterlerin yaygınlaşması Fransa, Almanya, İspanya, Tayland ve Singapur gibi ülkelerle sürmüştür (Saum, 2023).

Türkiye'deki gelişim süreci de küresel trendleri takip etmiştir ve 2019 yılında faaliyete başlayan Martı firması ile paylaşımlı e-skuter hizmeti ülkemizde sunulmaya başlanmıştır. Bu firmaya ek olarak Beam, BinBin, Hop, Tazı, Tornet ve Gez gibi yerli ve yabancı birçok firmanın artmasıyla sektörün çeşitliliği ve e-skuter mobilite çözümlerine olan ilgi gün geçtikçe artarak devam etmektedir (Fil & Dirsehan, 2024).

Günümüzde paylaşımlı mikromobilite, dijital dönüşümün en başarılı örneklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle farklı ulaşım türlerini tek bir dijital platform üzerinden entegre ederek kullanıcılara kesintisiz bir ulaşım deneyimi sunulması, bu dönüşümün en önemli çıktılarından birisi olarak değerlendirilebilir. Nesnelerin interneti (IoT) ve akıllı şehir paradigmasının sonucu gelişen teknolojik altyapı, mobil uygulama entegrasyonu ve veri analitiği gibi alanlarda yapılan sürekli iyileştirmelerle desteklenmiştir. Şirketler, kullanıcı deneyimini artırmak amacıyla konum bazlı veri analizi, gerçek zamanlı takip sistemleri ve dinamik fiyatlandırma stratejileri geliştirmiştir. Bu yenilikçi çözümler, hem kullanıcıların ulaşım ihtiyaçlarını daha etkin bir şekilde karşılamasına, hem de şehir içi ulaşımın sürdürülebilirliğine ve erişilebilirliğine katkıda bulunmuştur. Buna ek olarak son zamanlarda oldukça popülerleşen 15-dakikalık şehir (15-min city) konsepti açısından mikromobilite kentsel planlama açısından vazgeçilmez bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Arslan & Laporte, 2025).

Sonuç olarak, paylaşımlı e-skuter hizmetleri, diğer ulaşım modellerinden farklı olarak, teknolojik yenilikler ve dijital dönüşüm sayesinde kısa sürede küresel ölçekte benimsenen ve şehir içi ulaşımı yeniden tanımlayan bir örnek teşkil etmektedir. Bu sistemlerin gelişimi, sadece araç paylaşımının ötesine geçip, şehir planlaması, çevresel sürdürülebilirlik ve kullanıcı davranışlarının analizine dayalı yeni stratejilerin geliştirilmesine de zemin hazırlamıştır. Böylece, paylaşımlı ulaşım sistemleri ve mikro mobilite çözümleri, modern şehirlerin karşılaştığı ulaşım sorunlarına dinamik ve entegre yaklaşımlar sunarak geleceğin mobilite trendlerini şekillendirmektedir.

2.2. Kullanım Örüntüleri ve Sürüş Davranışları

Mikromobilite sistemlerinin ve özellikle paylaşımlı e-skuter hizmetlerinin yaygınlaşması, yalnızca altyapı ve operasyonel stratejiler açısından değil, aynı zamanda kullanıcıların sürüş davranışlarının (sürüş sayısı, süresi ve mesafesi) analiz edilmesi açısından da önemli bir araştırma alanı oluşturmıştır. Kullanıcı davranışlarının doğru anlaşılması, sistem tasarımı ve operasyonel stratejilerin başarıya ulaşmasında temel bir gereksinim olarak değerlendirilmektedir. Literatürdeki birçok çalışma, paylaşımlı araçların kullanım istatistiklerini incelemiş ve farklı koşullar altında sergiledikleri örüntüleri analiz etmiştir (Celik vd., 2023).

Christoforou ve diğerleri çalışmalarında, yaş, cinsiyet, gelir seviyesi, eğitim düzeyi, çevresel etmenler ve teknik parametreler gibi çok boyutlu faktörlerin, sürüş davranışlarını etkilediğini ortaya koymuştur. Paris'te gerçekleştirilen bu kapsamlı araştırmada 459 e-skuter kullanıcısı ile yüz yüze görüşmeler yapılmıştır. Kullanıcıların %68'inin erkek, %46'sı 24 veya daha küçük yaştadır. Araştırma sonuçlarında, kullanıcıların %75'i seyahat süresini "çok önemli" olarak belirtmiş, %52'si eğlence ve %48'i maliyet faktörünü önemsendiğini göstermiştir. Kullanıcıların %72'sinin e-skuteri yürüme ve toplu taşıma yerine kullandıklarını, yani mevcut seyahatlerinde farklı bir ulaşım modu tercih ettiklerini göstermiştir. Buna karşılık, e-skuter kullanımının sadece %6 oranında tamamen yeni seyahatler yaratarak toplam mobilitayı artırdığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kullanıcıların gerçek zamanlı verilerinin daha kapsamlı analizleri ve davranışsal modellerin sürekli güncellenmesi, gelecekte sürüş deneyiminin iyileştirilmesi açısından önemli fırsatlar sunduğu vurgulanmıştır. Operatörlerin, bu dinamik yapıyı göz önünde bulundurarak, adaptif sistemler ve kişiselleştirilmiş sürüş önerileri geliştirmeleri, hem kullanıcı memnuniyetini hem de operasyonel verimliliği artıracağı önerisinde bulunulmuştur (Christoforou vd., 2021).

Kullanıcıların sürüş davranışları, sadece bireysel tercih ve demografik özelliklerle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda çevresel ve mekânsal etmenlerden de önemli ölçüde etkilenmektedir. Noland, Teksas'ta farklı modlara sahip (istasyonsuz e-skuter, istasyonsuz e-bisikletler ve istasyonlu bisikletler) paylaşımlı ulaşım araçlarına ilişkin bir yıllık verileri analiz etmiştir. Austin şehrinde elde edilen veriler, 5.441.174 e-skuter seyahati, 316.527 e-bisiklet seyahati ve 149.273 istasyonlu bisiklet seyahatini kapsayarak mikromobilité kullanımının kapsamlı bir analizini sunmuştur. Çalışma, kullanım özelliklerini çeşitli hava durumu parametreleriyle (rüzgar hızı, sıcaklık, yağış ve bağıl nem) ilişkilendirmiştir. Bu çalışmada analiz edilen hava durumu parametrelerinin her üç ulaşım türünü de etkilediği görülmüştür. Özellikle e-bisikletler için hem sürüş mesafesi hem de sürüş süresi düşük sıcaklıklarda, rüzgarlı veya yağmurlu havalarda azalmıştır. Bununla birlikte, bazı durumlarda, kötü hava koşulları, kullanım ile pozitif bir korelasyon göstermiştir ve bunun nedeninin trafik sıkışıklığı olma olasılığı olduğu belirtilmiştir (Noland, 2021).

Campbell ve diğerleri, daha önce incelenmemiş olan hava kalitesi gibi çevresel etkilerin yanı sıra paylaşımlı bisiklet ve e-bisiklet sistemlerini kullanma tercihinin ilişkin anketler gibi çeşitli karakterize veri türlerini de dahil ederek çalışmalarını geliştirmişlerdir. Pekin'de 623 kişi üzerinde gerçekleştirilen tercih anketi, çoklu seçenek analizi yöntemi kullanılarak bisiklet ile e-bisiklet paylaşımının farklı faktörlerden etkilendiğini ortaya koymuştur. Kullanıcıların Çin'e özgü örüntülerini analiz ederek, sosyo-demografik özelliklerin önemli faktörler olmadığını, hava kalitesinin ise sistemin kullanımı ile ters bir ilişki sergilediğini bulmuşlardır. Sıcaklık ve hava kalitesi değişkenlerinin mesafe ile etkileşimli olarak modellenmesi, kullanıcıların bu koşullara toplam maruz kalma sürelerini dikkate aldıklarını ortaya koymuştur. Çalışma ayrıca e-bisiklet paylaşımının otobüs hatlarından kullanıcı çekme konusunda özellikle etkili olduğunu ve böylece toplu taşıma ile rekabet edebileceğini de göstermiştir (Campbell vd., 2016).

Abouelela ve diğerleri beş şehirde (Minneapolis, Austin, Chicago, Calgary, Louisville) mekânsal-zamansal saatlik ve konum telemetrisi kullanım modellerini araştırmış ve talep modellerinin şehirler arasında tutarlı olma eğiliminde olduğunu gözlemlemiştir. Araştırmada yaklaşık 9 milyon e-skuter seyahati verisi analiz edilerek,

günlük ve saatlik kullanım örnekleri ile mekânsal dağılım kalıpları incelenmiştir. Hız, süre ve mesafe gibi sürüş özelliklerini analiz ederek, bu özelliklerin her bir şehir içinde zamansal olarak değişmesine rağmen, beş şehir arasında ampirik tutarlılık tespit etmişlerdir. Çalışma bulgularına göre, hafta içi e-skuter saatlik talebi tüm incelenen şehirlerde benzer model sergilerken, hafta sonu talep modeli hafta içinden farklı bir profil çizdiği tespit edilmiştir. Bu değişkenlik sıcaklık, rüzgar hızı, yağış ve kar gibi dışsal hava faktörlerine, bisiklet şeritleri, kaldırımlar ve ortak bisiklet istasyonları gibi altyapı unsurlarına ve cinsiyet, yaş ve gelir gibi sosyodemografik değişkenlere bağlanmıştır (Abouelela, Chaniotakis, vd., 2023). Bu bulgular, özellikle kullanıcı kategorize edilmesi ve buna göre kullanıcılara özel kişiselleştirilmiş fiyat ve hizmet stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemli ipuçları sunmaktadır.

Gebhart ve Noland, hava durumunun Washington DC’de bisiklet paylaşım sisteminin kullanım şekilleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Makalelerinde yaklaşık 15 aylık, 1.361.074 seyahat verisi kullanılarak, saatlik hava durumu gözlemleri ile seyahat kalıpları arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Saatlik kullanım istatistikleri ile kar, yağmur, sıcaklık, nem, sis ve rüzgar gibi hava durumu değişkenleri arasında korelasyonlar tespit etmişlerdir. Düşük sıcaklıklar, yağmurlu havalar ve yüksek nem oranlarının hem bisiklet paylaşım sistemini kullanma olasılığını hem de seyahat sürelerini azalttığı saptanmıştır. İstatistiksel modellerle elde edilen bulgular, kullanıcı sayısı ve kullanım süresinin karşılıklı etkilerini ortaya koymuştur. Özellikle sıcaklığın 32 °C (90 °F) dereceye kadar artışı ile bisiklet kullanımının arttığı, ancak bunun üzerindeki sıcaklıklarda azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, metronun, metro istasyonlarına yürüme mesafesindeki yerlerde, olumsuz hava koşullarında, bisiklete alternatif olup olmadığını araştırmışlardır. Metro istasyonlarına yakın bisiklet paylaşım noktalarından yapılan seyahatlerin, metro istasyonlarından uzak noktalara kıyasla yağmurlu havalardan daha fazla etkilendiği ve karanlık hava koşullarında ise daha az tercih edildiği tespit edilmiştir (Gebhart & Noland, 2014).

Reck ve diğerleri, dört farklı paylaşımlı ulaşım modunda araç şarj durumu, araç yoğunluğu, günün saati, fiyat, kat edilen mesafe ve sürüşler arasındaki rakım farklılıkları gibi parametreleri analiz etmiştir. Elde ettikleri bulgular, Zürih'teki kullanıcıların günün saatlerine (özellikle işe gidiş geliş saatlerinde) ve kat edilen mesafeye bağlı olarak ulaşım şekillerini ayarladıklarını göstermiştir. Araştırma sonuçları, mesafe arttıkça e-bisiklet tercih olasılığının keskin bir şekilde yükseldiği, buna karşın e-skuter seçiminin düştüğü gözlemlenmiştir. İstasyonlu sistemlere bağlı araçların sabah ve akşam yoğun saatlerinde tercih edilirken, istasyonsuz e-skuterlerin gece saatlerinde daha fazla kullanıldığını ortaya koymuştur. Ayrıca, filo yoğunluğu ile kullanım arasında temel bir ilişki gözlemlenmiştir ancak yoğunluk belirli bir eşiği aştığında bir plato etkisi ortaya çıkmıştır ve bu eşik değeri istasyonsuz e-skuterler için 2 dakikalık yürüyüş mesafesi içinde 10-15 araç olarak belirlemişlerdir (Reck vd., 2021).

Mathew ve diğerleri, Indianapolis/ABD’de e-skuter kullanımı üzerine altı aylık bir çalışma gerçekleştirerek hava durumunun etkisini araştırmıştır. Çalışmada, günde ortalama 1.285 e-skuterden 2.030’a çıkmasına rağmen, Eylül ayında günlük kullanım süresinin Ekim ayına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Hava sıcaklığı, yağış, kar ve rüzgar hızını analiz eden araştırmacılar, kış aylarında sürüş sayısının %80’in üzerinde azalmasına rağmen, ortalama yolculuk mesafesi ve süresinin beklentilerin aksine minimum düzeyde azaldığını keşfetmiştir. Araştırmacılar donma noktasının altındaki sıcaklıklarda beklenen sürüş sayısının 1,32 kat daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Ayrıca bulgular, kullanıcı sürüş davranışının donma noktasının altındaki sıcaklıklardan ve kar yağışından daha fazla etkilendiğini ortaya koymuştur ve kar yağışındaki 1 mm'lik artışın beklenen sürüş sayısını %1,39 oranında azalttığını göstermiştir (Mathew vd., 2019).

Hasan ve Sisiopiku, Birmingham'daki paylaşımlı e-skuter kullanıcılarının seyahat modellerini incelemiştir. Araştırmacılar, 2021-2022 döneminde toplam 97.997 e-skuter yolculuğu analiz etmiş ve ortalama yolculuk süresinin 15,29 dakika, mesafesinin 3,4 km ve hızının 14 km/sa olduğunu tespit etmişlerdir. Mevsimsel dağılım açısından, sonbaharda 29,024 yolculukla en yüksek kullanım oranı gözlemlenmiş, kış aylarında ise kullanım belirgin şekilde düşmüştür. Analizleri, yolculukların en yoğun 21:00 ile 22:00 saatleri arasında gerçekleştiğini ve cumartesi günleri zirve yaptığını ortaya koymuştur. Ayrıca bulgular, en yüksek kullanım oranlarının eğitimli ve yüksek gelirli sakinlerin bulunduğu yoğun nüfuslu bölgelerde gözlemlendiğini göstermiştir ve yolculukların %77,47'sinin 4,8 km'den kısa mesafede gerçekleştiğini ortaya koymuştur (Hasan & Sisiopiku, 2024).

Younes ve diğerleri istasyonsuz e-skuter ve istasyonlu bisiklet paylaşım sistemlerini analiz ederek hava durumu parametrelerinin yanı sıra benzin fiyatları, yerel olaylar, haftanın günü ve günün saati gibi çevresel ve ekonomik değişkenleri incelemiştir. Altı ay boyunca ABD'deki altı farklı şirketten alınan verileri inceleyen araştırmacılar, kullanıcıları üç gruba ayırarak çalışmalar yürütmüştür. Araştırma, istasyonsuz e-skuter kullanıcılarının istasyonlu bisiklet kullanıcılarına kıyasla hava koşullarından daha az etkilendiğini, ancak yakıt fiyatı (benzin, mazot vb.) değişikliklerine karşı daha duyarlı olduğunu göstermiştir. Çalışmada, sıcaklık ve görüş mesafesinin yolculuk sayısını artırdığı, nem, rüzgar ve yağışın ise olumsuz etki gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle benzin fiyatlarındaki %1'lik artışın e-skuter kullanımında %3,13, aboneli bisiklet kullanımında %0,92 ve günlük bisiklet kullanımında %2,70'lik artışa neden olduğu belirlenmiştir. Bulgular, akaryakıt fiyatlarındaki dalgalanmaların tüm kullanıcı gruplarının sürüş davranışını etkilediğini göstermiştir ve istasyonsuz e-skuter kullanıcıları ile istasyonlu bisiklet sisteminin günlük kullanıcıları arasında potansiyel bir rekabet, üye kullanıcılar arasında ise tamamlayıcı bir ilişki bulunduğunu ortaya koymuştur (Younes vd., 2020).

Literatürde yer alan bu çalışmalar, kullanıcıların sürüş karakteristiklerinin detaylı analizinin, paylaşımlı e-skuter hizmetlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında temel bir unsur olduğunu göstermektedir. Gelecekte, veri toplama yöntemlerinin ve modelleme yaklaşımlarının gelişmesiyle birlikte, kullanıcı davranışlarının daha kapsamlı ve gerçek zamanlı analizleri yapılabileceği böylece operatörlerin ve şehir planlamacılarının daha etkin stratejiler geliştirebileceği değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, sürüş karakteristiklerinin analizi, modern şehirlerin mobilite ihtiyaçlarına entegre çözümler sunma yönündeki çalışmaların merkezinde yer almaya devam etmektedir.

2.2.1. Talep tahmini

Mikromobilite sistemleri, modern şehirlerin ulaşım sorunlarına yenilikçi ve çevreci çözümler sunarken, aynı zamanda pek çok operasyonel zorlukla da mücadele etmek durumundadır. Bu zorluklar araçların düzensiz dağılımı, araçların bakım süreçlerinin takibi, kullanım ömrü dolan bataryaların değişimi, bataryaların şarj edilmesi

hem araçtaki IoT cihazdan hem de mobil uygulama üzerinden alınan verilerin detaylı analizler gerektirmesi gibi çok boyutlu unsurları kapsamaktadır. Bu operasyonel zorluklar, sistemin sürdürülebilirliği ve karlılığı açısından kritik öneme sahiptir ve detaylı olarak ele alınmalıdır. Yaşanan zorlukların sistemik analizi, paylaşımlı ulaşım ekosistemin bütüncül bir şekilde anlaşılmasını gerektirir. Böylece, paylaşımlı ulaşım sistemlerinin operasyonel verimliliğini etkileyen zorluklarının detaylı analizi hizmet kalitesini artırabilecektir. Bunun sonunda, gelecekte daha entegre, güvenli ve verimli mikro mobilite sistemleri oluşturulması sağlanabilir.

Literatürdeki çalışmalar talep başarısını artırmak için geçmiş sürüş bilgilerini hava durumu, günün saati, haftanın günü gibi çeşitli parametrelerin entegrasyonu ile daha yüksek doğruluk oranlarına ulaşmayı hedeflemektedir (M. Xu vd., 2020). Özellikle büyük veri analitiği ve gerçek zamanlı veri akışı, talep tahmininde önemli bir rol oynayarak, operatörlerin dinamik ve esnek stratejiler geliştirmelerine olanak tanımaktadır. Mikromobilite sistemlerinden elde edilen gelirleri ve verimliliğini artırmak için sistemdeki kullanıcı taleplerinin doğru bir şekilde öngörülmesi adımı talep tahmini olarak adlandırılmaktadır (S. Kim vd., 2022). Talep tahmini sürecinin temel bileşenleri;

- Geçmiş kullanım verileri toplanması ve ön işleme tabi tutulması,
- Zamansal (günlük, haftalık, mevsimsel) ve mekânsal (bölgesel, konumsal) örüntülerin analiz edilmesi,
- Çevresel etmenlerin (hava durumu, özel etkinlikler) modele entegre edilmesi,
- Mevsimsel değişkenlik ve döngüsel kullanıcı davranışlarının modellenmesi,
- Gerçek zamanlı veri akışının işlenmesi ve modelin bu verilere göre dinamik olarak güncellenmesi şeklindedir (Saum, 2023).

Talep öngörüsü, geçmiş veriler kullanılarak istatistiksel yöntemler, zaman serisi modelleri (ARIMA, SARIMA), makine öğrenmesi algoritmaları (yapay sinir ağları, rastgele ormanlar, destek vektör makineleri) ve meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri (genetik algoritma, parçacık sürü optimizasyonu, karınca kolonisi algoritması) ile gerçekleştirilmektedir. Bu metodolojik çeşitlilik, farklı veri yapıları ve sistem karakteristikleri için optimal çözümlerin geliştirilmesine olanak tanır (Abouelela, Lyu, vd., 2023).

Talep tahmini sürecinde, verilerin ön işleme aşaması büyük önem taşımaktadır. Eksik verilerin uygun değerler ile doldurulması, aykırı değerlerin tespiti ve bu verilerin temizlenmesi, modelin başarısını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, mevsimsellik, bölgesel farklılıklar ve olay/zaman temelli ani değişiklikler gibi faktörler, modelleme sürecine dahil edilerek, tahmin hatalarının minimize edilmesi sağlanmaktadır (Camilieri & Debattista, 2020). Bu faktörlerin modellenmesinde özellikle verinin içerdiği mevsimsel değişikliklerin bozucu etkisinden arındırılması gibi yöntemler etkili sonuçlar vermektedir. Örneğin, kullanıcıların sürüş karakteristikleri günün saatlerine ya da sene içinde aylara bağlı olarak belirli bir dalgalanmaya sahip olmaktadır. Bunun yanında hava koşullarındaki ani değişiklikler ve ilgili bölgede düzenlenen etkinlikler, kullanıcı taleplerinde belirgin değişimlere neden olabilmektedir. Bu tür durumların doğru analiz edilebilmesi, sistemin öngörü performansını artırmada kritik öneme sahiptir (X. Zhang vd., 2019).

Yu ve diğerleri kentsel raylı ulaşım istasyonları çevresinde bulunan paylaşımlı bisiklet sistemine olan talebini tahmin etmek için hibrit bir model önermişlerdir. Araştırmacılar, mevsimsel otoregresif entegre hareketli ortalama (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average - SARIMA) ve uzun kısa süreli bellek (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average - LSTM) modellerini birleştiren SARIMA-LSTM modeli ile, zaman serisi verilerinin hem doğrusal hem de doğrusal olmayan özelliklerini etkili şekilde yakalayabilecek bir yaklaşım sunmuşlardır. SARIMA modeli zaman serisi verilerinin doğrusal kısmını ele alırken, LSTM modeli doğrusal olmayan bileşenleri işleyerek hibrit yapının üstünlüğünü ortaya koymaktadır. Pekin'de Mobike'ın 3 aylık verilerini kullanarak gerçekleştirilen analizde, belirlenen bir metro istasyonu çevresinde 35 geçerli veri seti ile model performansı test edilmiştir. Hibrit model, ortalama mutlak hata (Mean Absolute Error - MAE), ortalama hata kareleri kökü (Root Mean Square Error - RMSE) ve ortalama mutlak yüzdesel hata (Mean Absolute Percentage Error - MAPE) metrikleri kullanılarak karşılaştırıldığında hem SARIMA hem de LSTM modellerinden üstün performans sergilemiştir. Hibrit modelin %10'un altındaki MAPE değeri, bisiklet paylaşım zaman serisi verilerini tahmin edilebilirliğini göstermektedir. Model, özellikle yoğun kullanımın olduğu saatlerde gerçek verilerle yüksek uyum göstererek, LSTM'in tek başına diğer dönemlerde tutarsız tahminde bulunduğu durumlarda bile tutarlı tahminler üretebilmiştir. Araştırma sonuçları, hibrit yaklaşımın geleneksel zaman serisi modelleri ve derin öğrenme yöntemlerinin avantajlarını birleştirerek paylaşımlı bisiklet talep tahmininde daha etkili çözümler sunabileceğini ortaya koymaktadır (Yu vd., 2023).

Kim ve diğerleri Güney Kore'de istasyonsuz paylaşımlı e-skuterler için talep tahminini analiz etmiştir. Çalışma, Seul'de 2020 yılı Ekim ayında toplanan 224,096 e-skuter seyahat verisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, hizmet verilen alanı 200 metrelik ızgaralara bölmüş ve toplam 1164 kare ızgara analiz birimi olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar, analiz verimliliği için topluluk yapısı metodolojisini uygulayarak 1164 ızgarayı beş farklı topluluğa kümelemiştir. Sıcaklık ve rüzgar hızı gibi hava durumu parametrelerinin yanı sıra hafta içi/hafta sonu ve günün saati gibi zaman değişkenleri de tahmin modeline dahil edilmiştir. LSTM modelleri ve derin öğrenme teknikleri kullanılmış, araştırmacılar 24 saatlik talep verilerini kullanarak bir sonraki saatte gerçekleşmesi beklenen talebi tahmin etmek için model geliştirmişlerdir. Saatlik talep tahminini sigmoid, ReLU, ELU ve tanh dahil olmak üzere dört farklı aktivasyon fonksiyonunun performansını değerlendirmiştir. Sonuçlar, ELU aktivasyon fonksiyonunun yoğun saatlerdeki talep tahmininde, tanh fonksiyonunun ise düşük yoğunluklu saatlerdeki talep tahmininde daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada ilgili hücrede bulunan e-skuter sayısının (arzin) sanal hücrelerdeki talep sayısı ile eşleşmesi durumunda talebin karşılandığı varsayılmıştır (S. Kim vd., 2022).

Xu ve diğerleri, istasyonsuz bisiklet paylaşım sistemlerinde arz-talep dengesini tahmin etmek için çok kaynaklı veri kümelerinden gelen uzamsal-zamansal verileri entegre eden hibrit bir model geliştirmiştir. Çalışma, Çin'in Nanjing şehrinde 14 gün boyunca toplanan büyük ölçekli istasyonsuz bisiklet paylaşım verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model, yolculuk dağılımlarını analiz etmek için konut, ofis ve alışveriş alanı özellikleri gibi hava durumu ve sosyal faktörleri içermektedir. Hava durumu verileri sıcaklık, nem, rüzgar hızı ve basınç gibi parametreleri içerirken, hava kalitesi verileri PM 2.5 yoğunluğu ve hava kalitesi indeksini kapsamaktadır. Bisiklet

paylaşım sistemlerindeki uzamsal-zamansal bağımlılıkları öğrenmek için LSTM kullanılmış ve farklı zaman aralıkları için modeller geliştirilmiştir. Araştırmacılar, en yakın beş trafik analiz bölgesinden gelen geçmiş gözlemleri uzamsal korelasyonu hesaba katmak için girdi değişkenleri olarak dahil etmişlerdir. Model performansı değerlendirmesinde, LSTM sinir ağlarının geleneksel istatistiksel yöntemler ve makine öğrenmesi algoritmalarından önemli ölçüde daha iyi tahmin doğruluğu sağladığı görülmüştür (C. Xu vd., 2018).

Ham ve diğerleri, Güney Kore faaliyet gösteren Deer Corporation'a ait bir ay süreyle toplanan 32.000 e-skuter sürüş verisi ve 6.000 kullanıcı verisi kullanılarak çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Çalışma, seyrek veri problemi nedeniyle yürüme mesafesi seviyesindeki küçük ölçekli uzamsal birimlerde talep tahmininin zorluğuna odaklanmıştır. Araştırmacılar, hizmet bölgesini kapsayan şekilde 250m boyutunda toplam 252 hücreli (14 satır x 18 sütun) kare ızgara sistemi oluşturmuş ve saatlik bazda talep tahminleri yapmışlardır. Verinin %84,5'inin sıfır değerlerle dolu olması nedeniyle, geleneksel modellerin çoğu hücrede sıfıra yakın değerler ürettiği seyrek veri temsil problemi ile karşılaşmışlardır. Bu sorunu çözmek için konvolüsyonel otokodlayıcı kullanarak gizli özellik çıkarımı yapılmış ve geçmiş beş saatlik talep verilerinden bir sonraki saatin talep tahminini gerçekleştirilmiştir. Model, ReLU aktivasyon fonksiyonu, LSTM RNN hücresi ile en iyi performansı göstermiştir (Ham vd., 2021).

2.2.2. Yeniden dengeleme

Talep tahmini adımını sonucunda araçların optimum dağılımının sağlanması ve verimliliğin artırılması için yeniden dengeleme (rebalancing/repositioning) adımlarının gerçekleştirildiği çalışmalar bulunmaktadır (Boonjubut & Hasegawa, 2022). Yeniden konumlandırma operasyonu, sistem arz-talep dengesizliklerini gidermek için dinamik ve kısa vadeli (saatlik veya günlük) karar verme, hangi personelin hangi aracı nereden ve ne zaman alacağını, nereye ve ne zaman bırakacağını sürecini ifade etmektedir (Regue & Recker, 2014).

Yeniden dengeleme stratejileri operatör tabanlı (manuel şekilde taşıyıcı araçlarla) ve kullanıcı tabanlı olmak üzere iki çeşittir. Operatör tabanlı yaklaşımlar, statik ve dinamik olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Statik yeniden dengeleme genellikle gece saatlerinde kullanıcıların en az sürüş gerçekleştirdiği zamanda yapılırken, dinamik yeniden dengeleme gün içinde gerçekleştirilir (Pal & Zhang, 2017). Kullanıcı tabanlı stratejiler ise gerekli yeniden dengeleme işlemi kullanıcıya önerip onları teşvik ederek veya seyahat seçimi adı verilen yöntemlerle yapılmaktadır. Operatör firmalar, geçmiş verilerden elde edilen istatistiksel modeller ile gerçek zamanlı verileri harmanlayarak, adaptif yeniden dengeleme stratejileri geliştirmektedir (Jiao vd., 2020). Bu sayede, hem talep artışlarına anında cevap verilebilmekte hem de araçların gereksiz yere boşta kalması önlenmektedir. Manuel yeniden dengeleme sürecinin temel bileşenleri;

- Kullanıcı talebinin yüksek olduğu ancak araç bulunmayan (veya tam tersi) bölgelerin tespiti ile arz-talep dengesizliklerinin belirlenmesi,
- Günün saatine, haftanın gününe veya mevsime bağlı olarak değişen yeniden dengeleme ihtiyacının analiz edilmesi,

- Bu düzensizliğin önlenmesi için araçların bırakılabileceği noktaların mekânsal optimizasyon yapılması
- Operasyonu gerçekleştirecek personelin (kısıtları göz önünde bulundurarak) neredeki aracı ne zaman alarak nereye ve ne zaman bırakacağını planlaması, rota optimizasyonu,
- Talep öngörüsüne dayalı statik planlamaların ötesine geçilerek, anlık veri akışı (GPS, IoT, mobil uygulamalar vb.) ile yeniden dengeleme kararlarının adaptif hale getirilmesi şeklindedir (Schuijbroek vd., 2017).

Pal ve Zhang, istasyonsuz bisiklet sistemi için büyük ölçekli statik yeniden dengeleme problemlerine odaklanan kapsamlı bir araştırma sunmuştur. Önerilen algoritma üç temel aşamadan oluşmaktadır: ilk olarak sisteme başlangıç çözümü oluşturulur, ardından yerel arama teknikleriyle çözüm iyileştirilir, son olarak da büyük ölçekli aramalarla alternatif çözüm alanları keşfedilir. Önerilen matematiksel model hem tek araçlı hem de çok araçlı senaryolarda çalışabilmekte ve aynı aracın aynı noktayı birden fazla ziyaret etmesine izin vermektedir. Oluşturulan algoritma mevcut literatürdeki yöntemlerden daha iyi hesaplama hızı ve çözüm kalitesi performansı göstermiştir, farklı ölçeklerdeki bisiklet paylaşım sistemlerine uygulanabilirliğini kanıtlamıştır. Sonuçlar, dinamik yeniden dengeleme işlemlerinin sistem performansını önemli ölçüde artırabileceğini ve kullanıcı memnuniyetini yükseltebileceğini göstermektedir (Pal & Zhang, 2017).

Yu ve diğerleri paylaşımlı bisiklet sistemlerindeki arz-talep dengesizliğini gidermek için maliyet minimizasyonu temelli optimal dağıtım stratejisi geliştirmişlerdir. Optimizasyon modeli, işgücü ve ulaştırma maliyetlerini içeren toplam dağıtım maliyetini minimize ederken, üretim-satış dengesi teorisine dayalı kısıtlar altında çalışmaktadır. Dağıtım maliyeti hesaplamasında Baidu Haritalar API'si kullanılarak en kısa yol mesafeleri maliyet fonksiyonunda kullanılmıştır. Bir saatteki öngörülen talebin istasyonun araç kapasitesinin yarısından az olduğu durumda, ilgili bölgede dağıtım yapılmayarak yeniden dengeleme maliyetinin azaltılması sağlanmıştır. Sürüş başlangıç ve bitiş noktalarını k-ortalamlar kümeleme algoritması kullanılarak 932 noktada gruplanmıştır. Dağıtım alanları, istasyonlar arası doğrusal mesafenin 3 km'yi geçmeyecek şekilde tasarlanmış ve istasyon çevresindeki 2 km yarıçapındaki bölgeler bisiklet kullanım yoğun noktaları olarak tanımlanmıştır. Elde edilen bulgulara göre hibrit model kullanımı ile geliştirilen dağıtım stratejisi, kentsel raylı ulaşım istasyonları çevresindeki bisiklet paylaşım dengesizliğini etkin bir şekilde çözebilmektedir (Yu vd., 2023).

Caggiani ve diğerleri, istasyonsuz paylaşımlı bisiklet sistemleri için dinamik bisiklet yeniden dağıtım metodolojisi önermektedir. Önerilen metodoloji, sistem üzerindeki bisikletlerin sayısı ve konumlarının tahmin edilmesinden başlayarak, yeniden konumlandırma karar destek sistemi ile sonuçlanan kapsamlı bir dinamik bisiklet yeniden dağıtım yaklaşımı sunmaktadır. Yeniden konumlandırma süreci, yüksek kullanıcı memnuniyeti sağlamak ve araç yeniden konumlandırma maliyetlerini mümkün olduğunca düşük tutmak amacıyla sabit zaman aralıklarında dinamik bisiklet yeniden dağıtımını gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Sistem, öncelikle mekânsal-zamansal kümeleme metodolojisi kullanarak bisiklet paylaşım talebinin tarihsel kullanım kayıtları üzerinde korelasyon örüntüsünü araştırmaktadır. Elde edilen her mekânsal-zamansal küme için, bisiklet ihtiyacının sayısını belirlemek amacıyla doğrusal olmayan otoregresif

sinir ağı talep tahmin modeli uygulanmaktadır. Karar Destek Sistemi toplam kayıp kullanıcı sayısını minimize etmeyi ve yeniden konumlandırma hizmetini sağlayan kamyonlar için seyahat süresini minimize etmeyi amaçlayan iki adımlı optimizasyon modeline dayanmaktadır. Sayısal uygulama sonuçları, önerilen dinamik yeniden konumlandırma metodolojisinin sistemin gerçek zamanlı yönetimi için etkili olduğunu göstermektedir. Yapılan hassasiyet analizlerinde, dinamik yeniden konumlandırma işlemi sayesinde bisiklet paylaşım sisteminin geliştirilebileceği ve farklı gerçekliklere uygulanabilecek iyi çözümler bulunabileceği gözlemlenmiştir (Caggiani vd., 2018).

Wang ve diğerleri, tek yönlü araç paylaşım sistemlerinde filo dengesizlik problemini çözmek için teşvik tabanlı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Araştırmacılar bu çalışmada araç ödüllendirme politikası ve istasyon ödüllendirme politikası olmak üzere iki adet teşvik mekanizması önermiştir. Araç ödüllendirme politikası, boşta kalan araçların kiralanmasını teşvik etmek için kullanıcılara indirim veya geri ödeme gibi seçenekler sunarak araç kullanım süresini artırmayı hedeflemektedir. İstasyon ödüllendirme politikası ise yüksek alma talebi olan ancak düşük bırakma talebi bulunan istasyonlara araç bırakılmasını teşvik ederek istasyonların araçsız kalma sürelerini azaltmayı amaçlamaktadır. Çalışmada, araçlar için boşta kalma süresi, alma talepleri, yakındaki alma talepleri, bırakma talepleri ve yakındaki bırakma talepleri olmak üzere beş etmenli sıralama yöntemi geliştirilmiştir. İstasyonlar için ise bırakma talepleri, yakındaki bırakma talepleri, alma talepleri ve yakındaki alma talepleri olmak üzere dört etmenli sıralama yöntemi belirlenmiştir. İki aşamalı gerçekleştirilen saha testleri sonucunda, teşvik tabanlı yaklaşımın araç boşta kalma süresini önemli ölçüde kısalttığını ve istasyon başına işlem sayısını artırdığını göstermiştir. Önerilen sıralama yöntemi, deneysel uygulamaya kıyasla araç başına işlem sayısını ortalama 1,5 kat artırmış ve kârlılık açısından olumlu sonuçlar elde etmiştir. Çalışma, kullanıcı tabanlı yeniden konumlandırmanın operatör tabanlı yeniden konumlandırmaya göre işgücü maliyetlerini azalttığını ve sistem verimliliğini artırdığını ortaya koymuştur. Çalışmada, paylaşımlı ulaşım sistemlerinde arz-talep dengesizliklerini ele almak için kullanıcı davranışlarını etkileyen dinamik teşvik stratejilerinin önemi vurgulanmıştır (L. Wang vd., 2019).

Jiao ve diğerleri, müşterilerin sistemi benimsemesini artırmak için geçmiş sürüş verilerinden yararlanan bütünleşik bir strateji önererek araba paylaşım sistemlerindeki dağıtım dengesizliklerini ele almıştır. Strateji, belirsiz seyahat talebini modelleyerek fiyat teşviklerini bir yolculuk seçim politikası ile birleştirmiştir. Amsterdam'daki car2go operasyonlarının hesaplamalı analizleri, daha yüksek operatör karları ve gelişmiş tüketici memnuniyeti dahil olmak üzere önemli ekonomik ve çevresel faydalar ortaya koymuştur. Çalışma, özellikle şirketleri zorlayan konum telemetrisi yeniden konumlandırma işlemlerinin sıklığına ilişkin karşılaştırmalı sonuçlar ortaya koymaktadır. Yeniden dengeleme operasyonları, personel maliyetleri ve ulaşım giderlerini minimize edecek şekilde optimize edilmiş ve günlük olarak 24 saatlik zaman diliminde her saat, her iki saat ve her sekiz saatte bir olmak üzere farklı senaryolarda test edilmiştir. Araştırmada, yeniden dengeleme sıklığının artmasının daha fazla hizmet verilen yolculuk sayısına ve daha yüksek karlılığa katkıda bulunduğu gösterilmiştir. Müşteri memnuniyetini artırmak ve araç kullanılabilirliğini optimize etmek için yeniden dengeleme operasyonlarını mümkün olduğunca 09:00-17:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Bütünleşik yaklaşım, geleneksel sabit fiyatlı stratejilere kıyasla hem çevresel faydalar hem de operasyonel karlılık açısından üstün performans sergilemiştir (Jiao vd., 2020).

Chen ve diğerleri, istasyonsuz paylaşımlı bisiklet sistemleri için yeniden dengeleme operasyonunu yürüten personelleri ve kullandıkları kamyonetleri entegre eden dinamik bir bisiklet dengeleme stratejisi önermiştir. Strateji, personellerin bölgelerdeki belirlenmiş park alanlarının dışından bisikletleri toplamasını, kamyonetlerin ise atıl durumda bekleyen bisiklet sayısını en aza indirmek ve bekleme sürelerini azaltmak için bisikletleri bölgeler arasında taşımasını içermektedir. Strateji, geçmiş sürüş verilerinden elde edilen tahminlerdeki talep belirsizliğini ele almak için gelişmiş bir dağılımsal optimizasyon yaklaşımı kullanmaktadır. Araştırma kapsamında, bozuk bisiklet tespiti ve kullanıcı dinamikleri gibi ek faktörler de modele dahil edilerek sistemin gerçek hayat koşullarına uygunluğu artırılmaya çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan lineer karar kuralı, uyarlanabilir değişkenlerin rastgele değişkenlerin lineer forma döndürülmesini ve modelin hesaplanabilir hale getirilmesini mümkün kılmıştır (Chen vd., 2024).

Liao ve diğerleri, istasyonsuz bisiklet paylaşım sistemlerinde dağıtımı optimize etmek için dinamik bir yeniden dengeleme sistemi önermiştir. Sistem, yoğun zamanlı sürüş başlangıç ve bitiş konumlarını belirlemek ve sanal şebekelerdeki aşırı yükleri değerlendirmek için gürültülü uygulamaların hiyerarşik yoğunluk tabanlı uzamsal kümelenmesini (HDBSCAN) kullanmaktadır. Değerlendirme çerçevesi, bisiklet akışları ve park talebi yoğunluğu gibi faktörleri göz önünde bulundurarak kullanıcıları en uygun hedef park alanlarına yönlendiren dinamik bir rehberlik sistemini entegre etmektedir. Oluşturulan sistem, kullanıcılara, bisiklet akış yoğunluğu, aktivite seviyeleri ve Dijkstra algoritması kullanılarak hesaplanan mesafeler de dahil olmak üzere önerilen park yerleri hakkında ayrıntılı bilgi sağlamıştır. Gerçek dünya verileri üzerinde yapılan kapsamlı deneyler, sistemin kullanım modellerini dengelemedeki etkinliğini ve doğruluğunu göstermiştir (Liao vd., 2023).

2.3. Yürüme Davranışları

İnsanların yürüme davranışları, kentsel ulaşım planlamasından sağlık bilimlerine kadar geniş bir yelpazede araştırılan temel konulardan biridir. Yürüme, en temel ulaşım türü olarak, özellikle ulaşım türlerini birbirine bağlayan sürdürülebilir mobilite çözümlerinin merkezinde yer almaktadır. Bireylerin yürüme tercihleri, demografik özellikleri, hava durumu gibi çevresel koşullar, şehirdeki fiziki altyapı, sosyoekonomik durumlar ve psikolojik faktörler gibi çok boyutlu etmenlerden etkilenmektedir (J. Lee vd., 2019). Kentsel mobilite bağlamında, kullanıcıların farklı ulaşım türleri arasında geçiş yaparken sergiledikleri yürüme tercihleri hem bireysel seyahat kararlarını hem de toplu taşıma sistemlerinin etkinliğini doğrudan etkilemektedir (Hansson vd., 2019). Bu bölümde, literatürde hem genel yürüme davranışları hem de paylaşımlı ulaşım sistemlerindeki sürüş öncesi yürüme tercihleri sistem tasarımı ve operasyonel stratejiler açısından incelenmiştir.

2.3.1. Genel yürüme davranışları

İnsanların gündelik hayatlarındaki yürüme davranışı, hava koşulları, rakım ve günün saati gibi çevresel, mekânsal ve zamansal faktörlerden etkilenmektedir (Vanky vd., 2017). Çeşitli çalışmalarda, bu faktörlerin kentsel çevrelerde insanların yürüme tercihlerini nasıl şekillendirdiğini incelemiştir. Ayrıca, mesafelerin insanların o mesafeyi yürüme toleransı veya istekliliğini modellemek için farklı matematiksel yaklaşımlar

geliştirilmiş ve bu fonksiyonların sistem verimliliği üzerindeki etkileri ampirik çalışmalarla desteklenmiştir.

Wang ve diğerlerinin çalışmasında, insanların farklı türlerdeki yürüme davranışları ile meteorolojik şartlar arasındaki ilişki anket yöntemi kullanılarak detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmada, yağış miktarının artması hafta içi ve hafta sonu serbest zamanlarındaki yürümeleri olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Günlük ortalama sıcaklık ile gündelik yürüme davranışı arasında negatif bir ilişki bulunmuş ve artan sıcaklıkların insanları daha az aktif hale getirebileceği değerlendirilmiştir. Rüzgar hızının hafta içi yürüme davranışını etkilemediği, ancak hafta sonları ulaşım amaçlı yürümeyi olumsuz etkilediği tespit edilmiş, bunun nedeni olarak insanların hafta sonları alternatif ulaşım seçeneklerini (araba veya toplu taşıma) tercih etmeleri olabileceği vurgulanmıştır. Rekreatif yürüme için meteorolojik koşulların etkisi daha belirginken, ulaşım amaçlı yürüme genellikle hava koşullarından bağımsız olarak gerçekleştiği çünkü bu tür yürüme zorunlu aktivitelerle (işe gitme, alışveriş) ilişkili olduğu belirtilmiştir (Z. Wang vd., 2021).

Lee ve diğerleri, ulaşım güvenliği planlaması üzerine yaptıkları çalışmada yürüme süresini etkileyen faktörleri incelemiştir. Sıcaklığın 32°C'yi (90°F) aştığı günlerde yürüme aktivitesi negatif etkilenmiş olup, bu durum sıcak günlerin fazla olduğu bölgelerdeki insanların daha az yürüme eğiliminde olduklarını göstermiştir. Havanın bulutsuz olması ise yürüme süresiyle pozitif ilişki sergilemiş, bu da güneş ışığının ve açık havanın yürüme aktivitelerini teşvik ettiğini ortaya koymuştur (J. Lee vd., 2019).

Durand vd., Kaliforniya'da 65.905 kişiden elde edilen anket verilerini kullanarak, hava durumu değişkenleri ile varış yerlerine yönelik ulaşım amaçlı yürüme arasındaki korelasyonu incelemiştir. Bu çalışma, geniş veri seti ve coğrafik-zamansal eşleştirme yöntemiyle literatürdeki en kapsamlı analizlerden birini sunmaktadır. Makalede hava durumu koşulları ile ulaşım amaçlı yürüme arasındaki ilişki hedef noktaları açısından detaylı olarak incelenmiştir. Araştırma sonuçları, hava durumu değişkenlerinin genel olarak ulaşım amaçlı yürüme ile istatistiksel veya pratik açıdan önemsiz korelasyonlar sergilediğini ortaya koymuştur. En güçlü korelasyonun yağış ile okula yürüme arasında olduğu, diğer hava durumu değişkenleri olan bağıl nem, sıcaklık ve rüzgar hızının tüm varış noktaları için marjinal etkilerinin çok zayıf veya istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bulunmuştur. Çalışma, ulaşım amaçlı yürümenin hava koşullarından büyük ölçüde bağımsız gerçekleştiğine dair literatürdeki en güçlü kanıtı sunmaktadır. Analiz sonuçları, farklı varış türleri (sosyal, iş, alışveriş, yemek, transit, okul, diğer kişisel nedenler) arasında hava durumu-yürüme korelasyonlarının tutarlı bir şekilde zayıf olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, hava durumunun ulaşım amaçlı fiziksel aktivite için önemli bir engel teşkil etmediğini ve aktif ulaşımı teşvik eden programların iklim koşullarına bakılmaksızın geniş coğrafi alanlarda uygulanabileceğini işaret etmektedir (Durand vd., 2017).

Böcker ve diğerleri, hava durumu koşullarının, farklı ulaşım türlerini (yürüme, bisiklet sürme, toplu taşıma ve kişisel araç) tercih eden kişilerin yol boyunca değerlendirmeleri üzerinden etkilerini incelemiştir. 945 kişiden oluşan anket çalışmasına göre rüzgarlı, bulutlu, soğuk (<15°C) veya çok sıcak (≥25°C) hava koşullarının ulaşımı olumsuz etkilediği bulunmuştur. Yürüyüş yapan kişiler genel olarak çevrelerini motorlu taşıt kullanıcılarından daha pozitif değerlendirmekte, ancak hava koşullarından da daha fazla etkilenmektedir. Çalışmada, sıcaklığın 20-25°C arasında olduğu zamanlar

kullanıcıların termal konfor açısından en pozitif aralık olarak belirlenmiştir. Yağış, bulutlu hava ve havanın karanlık olması koşulları mekan değerlendirmelerini negatif yönde etkilemiş, rüzgar hızının ise kontrol değişkenleri dahil edildiğinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Yürüyüş yapan kişiler hava koşullarına daha açık oldukları için, termal koşulları motorlu taşıt kullanıcılarından daha soğuk olarak deneyimlemişlerdir. İnsanlar boş zamanlarında yaptıkları ulaşım amaçlı olmayan yürüyüşlerde, çevrelerini ulaşım amaçlı seyahatlerinden daha olumlu değerlendirmekte, yanlarında başkaları varken de tek başlarına yürüdüklerinden daha pozitif deneyimler yaşamaktadırlar. Gece saatlerinde (00:00-06:00) mekan değerlendirmeleri daha olumsuz olmaktadır (Böcker vd., 2015).

Yurtcan ve Kurdoğlu 597 katılımcı ile kentsel Trabzon ilinde yürüme davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada "Yürüme Tercih Anketi" geliştirilmiş ve standardizasyon için geçerlik ve güvenirlik testleri uygulanmıştır. Faktör analizi sonucunda 8 temel yürünebilirlik ölçütü belirlenen çalışmada erkeklerin kötü hava koşullarında kadınlara göre daha fazla yürümeye istekli olduğu, eğitilmiş ve yüksek gelir elde eden kullanıcıların estetik açıdan daha güzel yerleri tercih ettiği bulgularına varılmıştır. Eğitim etmenine ilişkin bulgularda, spor amaçlı yürüyen katılımcılar ve günlük rutinlerinde en az 90 dk düzenli olarak yürüyen kişiler için eğimin tolere edilebilir olduğu diğer katılımcılar için olumsuz etkisinin daha fazla olduğu saptanmıştır (Yurtcan & Kurdoğlu, 2023).

Meeder ve diğerleri, İsviçre’de arazi eğiminin yürüme aktivitesi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Araştırmacılar, Zürih şehir merkezinde ana istasyon ile şehrin iki üniversitesinin kampüsleri arasındaki yaklaşık %10 eğimli güzergahta yaya sayım verileri ile tramvay yolcu verilerini karşılaştırarak eğimin yürüme tercihindeki rolünü analiz etmişlerdir. Çalışma alanı, 400 m kuş uçuşu mesafede bulunan ancak gerçek yürüme mesafesi 800 m olan ve sürekli eğime sahip bir rotadan oluşmaktadır. Araştırma bulguları, eğimin yürüme çekiciliği üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Yokuş yukarı yönde (ana istasyondan kampüse) günlük yolcuların sadece %10'u yürümeyi tercih ederken, yokuş aşağı yönde (kampüsten ana istasyona) bu oran %25'e çıkmaktadır. Bu sonuç, eğimin yaya ulaşımındaki belirleyici rolünü net şekilde ortaya koymaktadır. Çalışmadaki analiz sonuçlarına göre, %1'lik eğim artışı yürüme olasılığını yaklaşık %10 oranında azaltmaktadır. Araştırmacılar, eğimin yürüme üzerindeki olumsuz etkisinin sadece artan enerji harcaması değil, aynı zamanda artan yürüme süresi ile de ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Analizden, zaman faktörü çıkarıldığında bile eğimin hala anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir ve bu durum, eğimin yürüme tercihinin sadece fiziksel zorluk açısından değil, aynı zamanda psikolojik algı açısından da olumsuz etkilediğini göstermektedir. Çalışma, mevsimsel değişikliklerin de eğim etkisini etkileyebileceğini ortaya koymuştur. Haziran ve Eylül aylarında yokuş yukarı yürüyen kişi sayısının yokuş aşağı yürüyen kişi sayısına oranının önemli ölçüde arttığı (0.41'den 0.55'e) gözlenmiştir. Bu durum, kötü yüzey koşullarının (kar veya sulu kar) yüksek sıcaklıkların etkisinden daha ağır bastığını göstermektedir. İlgili çalışmadaki denklem (2.1)'de gösterilmiştir.

$$P_F = \frac{e^{V_F}}{1 + e^{V_F}} \quad (2.1)$$

$$V_F = \beta_0 + \beta_1 * s_F \quad (2.2)$$

Formüllerde kullanılan parametrelerden P_F yürüyerek gitme olasılığını ifade eder ve bu olasılık, yürüyüşün genel faydasına (veya tersinden maliyetine) bağlı olarak hesaplanır. V_F , yürüyerek gitmenin çekiciliğini gösteren fayda fonksiyonudur. Bu fonksiyon, eğim gibi çevresel faktörleri içerir ve denklem (2.2)'de tanımlanmıştır. β_0 yürümeye başlama durumundaki sabit temel maliyeti (ya da faydayı) ifade etmektedir. β_1 eğimin yürüyüş üzerindeki etkisini gösteren katsayıdır ve %1'lik eğim için yürüyüş maliyetine etkisini belirtir. S_F yürünecek yolun pozitif eğimini (yokuş yukarı) yüzde cinsinden göstermektedir. Negatif eğimler (yokuş aşağı) için β_1 değeri sıfır kabul edilmiştir (Meeder vd., 2017).

Bir diğer çalışmada, Broach ve Dill, Portland, Oregon'da 2010-2013 yılları arasında topladıkları GPS verilerini kullanarak bir yaya rota seçimi modeli geliştirmişlerdir. Araştırmacılar 283 bireyden 1,167 yürüyüş seyahati aşamasını analiz ederek, geleneksel seyahat talep modellemesi yöntemlerinin yürüyüş seyahatine de uygulanabileceğini göstermişlerdir. Bu çalışmada eğim konusunda %10'luk dik yokuşlar, daha az dik zeminde seyahatin iki katı maliyetli olarak algılanması gibi önemli bulgular elde edilmiştir. Katılımcılar arazi sadece yokuş yukarı çok dik olduğunda engel olarak algılamışlardır, buna karşın düşük eğim eşikleri veya yokuş aşağı ortamları için anlamlı bulgular tespit edilmemiştir. Bu çalışma, yaya seyahatinin fayda maksimizasyonu davranışı olarak ele alınmasının gerçekçi olduğunu göstermektedir (Broach & Dill, 2015).

Yang ve Diez-Roux insanların yürüme mesafesi ve süresinin amaç ve nüfus alt gruplarına göre dağılımını incelemişlerdir. Genelleştirilmiş olarak verilen fonksiyona göre insanların yürüme davranışını modellemede üstel azalış fonksiyonu ve bu fonksiyonun değişken beta parametresi ile kullanıcıların demografik grubu ya da yürüme amacına göre yürüme davranışının değiştiğini göstermişlerdir (Yang & Diez-Roux, 2012).

Lee ve diğerlerinin Seul'de toplu taşımanın mekânsal erişilebilirliği ölçmek için mobil telefon verilerini kullandıkları çalışmada, insanların otobüs durağına olan yürüme süresinin 6 dk olmasını yakın, 15 dk olmasını uzak olarak algıladığı bilgisini kullanmışlardır. Saniyedeki yürüme hızını 1,2 olarak kullandıklarında ise bu yürüme sürelerinin mesafe karşılıkları 435 m ve 1.073 m olarak ölçülmüştür. İlgili çalışmada mesafeye bağlı azalış fonksiyonu üstel azalış modeli kullanılmıştır (W. K. Lee vd., 2018).

Martínez ve Viegas çalışmalarında Lizbon/Portekiz'de 1283 katılımcı ile gerçekleştirilen anket çalışması ile farklı arazi kullanım türleri için yakın ve uzak mesafe algılarına ilişkin veriler toplanmıştır. Çalışmada geliştirilen mesafe azalış fonksiyonu, psikolojik değer ölçümü teorisine dayanmaktadır. Bir aktiviteye olan "gitme istekliliği" olasılık olarak ölçeklendirilmiş ve mesafe ile etkileşim gücü arasındaki ilişki sürekli, monoton azalan bir eğri olarak modellenmiştir. Çalışmada geleneksel üstel ve güç fonksiyonları yerine, denklem (2.3)'te gösterildiği şekilde Richards fonksiyonu temelli uyarlanmış yeni azalış fonksiyonu önerilmiştir. Bu formülde C en düşük etkileşim değerini (0), K en yüksek etkileşim değerini, x iki nokta arasında uzaklık ölçüsünü (seyahat süresi üstünden hesaplanan), M değeri insanların yakından uzak algısını hissettikleri değeri, v büyümenin hangi asimptota yakın gerçekleştiğini göstermektedir. Bu fonksiyon ile yakın mesafeler için kullanıcılar için önemli bir sorun olmadığı için yavaş azalış, orta mesafeler için hızlı azalış, uzak mesafeler için ise oldukça düşük sayıda kişi tercih edeceği için yavaş azalış elde edilmektedir (Martínez & Viegas, 2013).

$$f(x) = C + \frac{K - C}{(1 + Qe^{-B(x-M)})^{1/v}} = \frac{1}{(1 + Qe^{-B(x-M)})^{1/v}} \quad (2.3)$$

Simoyama ve diğerleri jeostatistikte kullanılan semivariogram tabanlı mesafe fonksiyonlarını temel alan altı farklı azalış fonksiyonunu test etmiştir. Semivariogram modeli, mekânsal bir rasgele değişkenin mekânsal bağımlılık derecesini tanımlayan ve belirli bir mesafe ile ayrılmış noktalar arasındaki ortalama kare farkının yarısını gösteren bir fonksiyondur. Bu yaklaşım, çalışma alanının gerçek verilerine dayalı olarak mesafe fonksiyonunun belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Birbirinden farklı davranış gösteren bu fonksiyonlar küresel, üstel, gauss, lineer, kübik ve stabil tabanlı modellerden oluşmaktadır. Aynı mesafeler için üstel ve Gauss modelleri hızlı azalış gösterirken, stabil ve lineer tabanlı modeller daha kademeli bir azalış sergilemektedir (Simoyama vd., 2025).

KC ve diğerleri, yangın istasyonlarına mekânsal erişilebilirlik ölçümü yaptıkları çalışmalarında geleneksel erişilebilirlik ölçümlerinin sınırlılıklarını aşmak için mesafe azalış parametrelerini içeren gelişmiş bir yaklaşım önermiştir. İlgili çalışmada, azalışın olmadığı, doğrusal azalış ve Butterworth filtre azalışı olmak üzere 3 farklı azalış fonksiyonu test edilmiştir (Kc vd., 2020).

Literatürdeki bu bulgular, yürüme davranışının özellikle eğim faktöründen ciddi miktarda etkilendiğini göstermektedir. Hava koşulları, zamansal parametreler ve bireysel tercihler gibi birçok etmenlerin etki faktörleri çalışmalar arasında farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmalar, paylaşımlı ulaşım sistemlerinde sürüş öncesi yürüme davranışlarının anlaşılması için önemli bir teorik temel oluşturmaktadır.

2.3.2. Sürüş öncesi yürüme davranışları

İstasyonsuz sistemler başta olmak üzere paylaşımlı ulaşım sistemlerinde kullanıcıların araçlara erişim süresi çeşitli çalışmalarda incelenmiştir. Çalışmalar başarıyı genel olarak araçların bulunduğu yerle talep noktası arasında mesafeye yada ulaşım süresine göre değerlendirmiştir.

Wang vd., araç paylaşım sistemlerinde gerçek zamanlı talep tahmini için geçmiş sürüş, kullanıcı konum telemetrisi verileri, istasyon doluluk bilgileri gibi çok kaynaklı verileri kullanmıştır. Çalışmada, Şangay'daki EVCARD elektrikli araç paylaşım sisteminden 4 aylık 750.000 sürüş verisi ve 15 günlük 1.447.759 sisteme ait mobil uygulamadan alınan log kaydı içeren kapsamlı bir veri seti kullanmıştır. Çalışma, gerçek talep tahmin modeli ve talep zamanı tahmin modeli olmak üzere iki model geliştirmiş ve bu modelleri 10 istasyondan alınan bir haftalık saha veri seti üzerinde test etmiştir. Araştırmacılar, kullanıcıların kabul edilebilir yürüme mesafesi için tüm sürüşlerin %85'lik dilimini (1,67 km) referans değerler olarak belirlemiştir. Araştırmanın en dikkat çekici yönü, mobil uygulamadan alınan konum telemetrisi kayıtları ile gerçek yolculuklar arasındaki ilişkiyi analiz ederek, yeni bir konum telemetrisi kaydının gerçek bir yolculuk talebini temsil edip etmediğini modellemesidir. Bunun için, geçmişte alınan konum telemetrisi kayıtları yakınlarda araç olan ve olmayan şeklinde iki gruba ayrılmış ve kullanıcıların neden yakınlarda araç olmasına rağmen kiralamadıklarına dair çıkarımlarda bulunulmuştur. Buna göre, bir kullanıcının konum telemetrisi bilgilerinden üretilen geçmiş sürüşlerin oranı ne kadar yüksekse, mevcut konum telemetrisi bilgilerinin gerçek alma talebini temsil etme olasılığının o kadar yüksek olduğu gösterilmiştir. Elde edilen

bulgulara göre log verilerinin sadece %24,2'sinin geçmiş sürüş verileriyle eşleştiği ve potansiyel talep içeren 611.978 EAPP log kaydının %57,2'sinin sürüş verisiyle uyduğu tespit edilmiştir. Çalışma bulgularına göre, kullanıcıların uygulamaya aşinalığı konum telemetri verilerinin gerçek talebi temsil etme olasılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca, log konumu ile en yakın istasyon arasındaki mesafe azaldıkça gerçek talep olma olasılığının arttığı tespit edilmiştir. Talep süresi tahmin modeli, ardışık konum telemetrisi sayısının sistem kullanımının aciliyetini gösterdiğini ve konum telemetrisi sayısı arttıkça kullanıcıların daha hızlı araç kiraladığını ortaya koymuştur (L. Wang vd., 2020).

Yun ve diğerleri, kiralama noktalarını ve fiyat teşviklerini optimize etmek için derin öğrenme algoritması kullanarak e-skuter paylaşım sistemlerindeki arz-talep dengesizliklerini ele almıştır. Güney Koreli bir e-skuter şirketinden alınan 4 aylık verilere dayanarak, karşılanmamış talebin etkin bütçe tahsisi yoluyla %56'ya kadar azaltıldığı görülmüştür. Bu çalışmada farklı olarak yalnızca talepleri kapsama değil, sürüş öncesi yürüme mesafelerinin de istasyon yerleşim modeline dahil edilmesidir. Makalede, kullanıcıların uygulama başlatma konumları ile gerçek başlangıç noktaları arasındaki mesafeler analiz edilerek, kullanıcıların hizmet erişimi için kabul edilebilir yürüme mesafesi belirlenmiş ve bu mesafenin 95 yüzdelik dilimi 350 m olarak hesaplanmıştır. Çalışma, bir kullanıcının uygulamayı ilk başlattığı konumdan en yakın e-skutere olan kuş uçuşu mesafesini hesaplamış ve fiyat teşvikleri ile ilişkisini analiz etmiştir. Veri setinde, uygulamanın başlatıldığı konum ve skuterin binildiği konum arasındaki mesafenin 90. yüzdelik dilimini aşan kullanıcıların analizi, arz-talep dengesizliği nedeniyle bazı bölgelerde kullanıcıların daha uzak mesafelere yürümek zorunda kaldığını göstermiştir. Ancak kullanıcıların uygulamayı başlattığı konumların sistematik tespitinin nasıl yapıldığı açıklanmamıştır. Arz-talep dengesizliği nedeniyle kullanıcıların belirli bölgelerde hizmet kullanmak için yürümek zorunda kaldığı ve bu durumun özellikle hizmet alanının çevre bölgelerinde daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Skuter ve uygulamanın başlatıldığı konumun aynı hücrede bulunması durumunda 0 olan ve diğer durumlarda ise mesafenin karesiyle orantılı olan bir “yürüme maliyeti” parametresini modele eklemişlerdir. Çalışmada, 350 metreden daha uzun yürüme mesafelerinin kullanıcılara sağlanacak fiyat teşvikleri ile çözülemeyeceğini ve bu durumda operatör firmanın mutlaka buna yönelik aksiyon almasının gerekli olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, toplanan operasyonel veriler arasında uygulamayı başlatmış ancak hizmeti kullanmamış kullanıcı kayıtları da bulunduğu, bu durumun yürüme mesafesinin uzaklığı nedeniyle hizmetten vazgeçen talebi karşılanmamış potansiyel kullanıcıları temsil ettiği belirtilmiştir (Yun vd., 2022). Bu çalışmadaki önemli eksiklik ise, bazı durumlarda kullanıcıların e-skuterler ile aynı sanal hücre içinde olsa bile komşu hücrelerde olması durumundan daha uzak mesafelerde bulunabilmesi durumunu göz ardı etmesidir.

Ham ve diğerleri, e-skuter paylaşım sistemlerinde sürüş öncesi yürüme süresinin talep tahminindeki kritik rolünü vurgulayarak, kullanıcıların erişim davranışlarını sistematik bir metodoloji ile analiz etmişlerdir. Araştırmacılar, mobil uygulamanın ilk çalıştırılması ile e-skuter kullanımının başlangıcı arasındaki zaman farkını hesaplayarak erişim süresinin medyanını belirlemişlerdir. Çalışmada, sadece yürüyerek erişim sağlanan verilerin elde edilmesi amacıyla iki filtreleme kriteri uygulanmıştır. Bu kapsamda, 15 dakikadan fazla süren hareketler aykırı değer olarak çıkarılmış ve ortalama yer değiştirme hızının 5 m/s'den fazla olduğu durumlar metro veya otobüs kullanımı varsayımıyla elenmiştir. Kullanıcıların ortalama yürüme hızı 1,47 m/s olarak kullanılmış ve medyan yürüme süresi 166 saniye olarak hesaplanmıştır. Bu sistematik yaklaşım

sonucunda, yürüme mesafesi yaklaşık 244 m olarak tespit edilmiş ve yuvarlanarak 250m'lik kare ızgara sistemi oluşturulmuştur. Çalışmada sürüş öncesindeki mobil uygulama kullanımının nasıl tespit edildiği detaylarıyla açıklanmasa da bu metodolojik yaklaşım, literatürdeki çalışmalarda eksik olan sistematik yürüme süresi hesaplama stratejisine önemli bir katkı sağlamış ve kullanıcı davranışlarına dayalı objektif ölçüm yöntemleri geliştirmiştir (Ham vd., 2021).

Reck ve diğerleri, 500'den fazla katılımcıdan GPS takibi, rezervasyon kayıtları ve anket verilerini entegre eden bir veri kümesi üzerinde çalışmıştır. Çalışma, İsviçre'nin Zürih şehrinde 3 ay boyunca akıllı telefon uygulaması "MyWay" kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve toplamda 540 katılımcıdan 65.716 seyahat verisi toplanmıştır. İlk adımda, bir mobil uygulama doğrulanmamış bir seyahat günlüğü oluşturmak için GPS kayıtlarını ve sensör verilerini pasif olarak toplamış ve kullanıcılar daha sonra ayrıntılı ulaşım modları elde etmek için geriye dönük hangi zamanda hangi ulaşım yöntemini tercih ettiğini seçme yoluyla doğrulamıştır. Uygulamanın, ulaşım modlarını doğru bir şekilde tespit etme performansı %92 olarak ölçülmüştür ve her gün kullanıcılara gerçekleştirdikleri seyahatlerin özeti sunularak geriye dönük düzenleme imkanı sağlanmıştır. Doğrulanmış seyahat kayıtları daha sonra mikro mobilite yolculuklarını ayırt etmek için sürüş kayıtlarıyla eşleştirilmiştir. Bu eşleştirme işlemi, İsviçre Federal Demiryolları tarafından başlatılan "yumuv" isimli mobil uygulama aracılığıyla elde edilen rezervasyon verileri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve katılımcıların gerçekleştirdikleri tüm paylaşımlı mikro mobilite seyahatleri için rezervasyon kayıtları toplanmıştır. Böylece, seyahat mesafesi, yağış ve yolculuk öncesi yürüme mesafeleri (erişim mesafeleri) gibi mikro mobilite modu seçimlerini temelden etkileyen temel faktörleri analiz etmelerine olanak sağlamıştır. Çalışma sonuçlarına göre, paylaşımlı e-skuter kullanıcılarının ortalama 60 m ve en fazla 210 m, paylaşımlı e-bisiklet kullanıcılarının ise ortalama 200 m ve en fazla 490 m yürümeye istekli oldukları tespit edilmiştir (Reck vd., 2022).

Singla ve diğerleri, paylaşımlı bisiklet sistemlerindeki dengesizlik sorunlarını ele almak için kullanıcı tabanlı çözümleri araştırmıştır. Araştırmacılar, Almanya Mainz'deki ElectricFeel Mobility Systems bisiklet paylaşım sisteminde kapsamlı bir teşvik mekanizması geliştirmiş ve test etmişlerdir. Kullanıcıların istekliliği ve mesafe dahil olmak üzere yürüme tercihlerini değerlendirmek için kiralama davranışları, seyahat amaçları ve süreleri hakkında genel sorular mobil uygulamaya gömülü bir anket aracılığıyla sorulmuştur. Ankette kullanıcıların en fazla yürümeyi tercih edebilecekleri mesafeler (kişisel maliyetler) ile ilgili sorular yöneltilmiştir. Çalışmada elde edilen kümülatif dağılım grafiği, kullanıcıların mesafe toleransının logaritmik bir azalış trendi gösterdiğini açık şekilde ortaya koymaktadır. Bu çalışmadaki bir diğer bulgu, katılımcıların yaklaşık %20'sinin herhangi bir mesafeyi yürümek veya herhangi bir koşulda sisteme katılmak istemediğini ortaya koyarak, paylaşılan bisiklet operasyonlarını optimize etmenin önündeki önemli bir engeli vurgulamasıdır. Anket sonuçlarına göre, kullanıcıların yaklaşık %90'ı 250 m ve daha az yürümeyi kabul ederken 1000 m ve üzeri mesafeler için kullanıcı istekliliği neredeyse sıfıra yaklaşmakta ve grafikteki logaritmik trend çizgisi bu azalışın sistematik doğasını vurgulamaktadır. Araştırmacılar kullanıcıların en fazla yürümeyi kabul edecekleri mesafelerin dağılımının log trendi ile azaldığını belirtmişlerdir. Çalışmada ayrıca, kullanıcıların yürümesi gereken mesafesi arttıkça kendilerine sağlanan teşvik tekliflerini kabul etme olasılığının gittikçe azaldığı

ve bu durumun anket verilerindeki bulgularla örtüştüğü tespit edilmiştir (Singla vd., 2015).

Wincent ve diğerleri, Stockholm/İsveç'teki paylaşımlı e-skuter kullanıcılarının sürüş öncesi yürüme mesafelerini inceledikleri çalışmalarında, kullanıcıların ulaşım alışkanlıklarını belirleyen önemli bir unsur olan erişim mesafesinin, seyahat tercihleri ve hizmet kapsam alanlarını belirlemede kritik bir faktör olduğunu vurgulamaktadır. Sürüş öncesi veri toplama sürecinde kullanıcıların uygulamayı aktif olarak araç aramak için açtıklarını varsaymıştır. Bunun için 30 dakikadan fazla açık kalan ve ardışık iki veya daha fazla seyahat başlatan durumlar elenmiştir. Çalışmada Google haritalar tabanlı yürüme mesafesi hesaplamalarıyla kullanıcıların ortalama 185 m (ortalamada 4,3 dk olan sürenin aktif yürüme süresi 2,3 dk) yürüdükleri ancak zaman dilimi ve haftanın gününe göre bu mesafelerin değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Sürüş öncesi erişim zamanları sabah saatlerinde 2 dk, öğle saatlerinde 2,6 dk ve öğleden sonra 2,9 dk olarak ölçülmüştür. Sürüş öncesi yürüme davranışının hafta içi ve hafta sonu karşılaştırması yapılmış, hafta sonları hafta içine göre 7 m daha uzun mesafe yürünmesine rağmen istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Kullanıcıların sürüş öncesi yürüme hızları ortalama 1,3 m/s olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, toplu taşıma istasyonlarına yakın bölgelerde daha kısa olduğu ve en uygun erişim mesafelerinin 75. yüzdelik değeri 128 ile 203 m arasında olduğu belirlenmiştir. Kullanıcıların, toplu taşıma ile bağlantılı geçişlerde daha kısa mesafelerde yürüdüğü ve böylece çoklu taşıma seçeneklerini teşvik etmek açısından park alanlarının toplu taşıma istasyonlarına yakın yerleştirilmesinin önemli olduğu vurgulanmaktadır (Berg Wincent vd., 2023).

Christoforou ve diğerleri, Paris'te e-skuter kullanıcılarından elde ettikleri çalışmalarında, araçlara erişim süresinin kullanım sıklığı ve seyahat davranışları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 2019 yılında 459 e-skuter kullanıcısıyla yüz yüze yapılan anketlerde, katılımcılardan son e-skuter seyahatlerinde cihaza ulaşmak için ne kadar süre yürüdüklerini beyan etmeleri istenmiştir. Araştırmacılar yürüme süresinin nasıl ölçüldüğüne dair detaylı metodolojik açıklama yapmamıştır. Bulgulara göre katılımcıların %93'ünün 6 dakikadan az yürüyerek e-skutere ulaştığı bulunmuştur. Yapılan analizlerinde, e-skutere ulaşmak için gereken yürüme süresinin arttıkça kullanım sıklığının azaldığı, kullanıcıların uzun süreli seyahat (15+ dakika) gerçekleştireceği durumda ise daha fazla yürümeye istekli oldukları gözlemlenmiştir (Christoforou vd., 2021).

Carroll, Şubat 2021'de Dublin/İrlanda'daki çalışmasında, 431 kişilik anketle katılımcıların e-skutere erişmek için ne kadar süre yürümeye hazır olduklarını araştırmıştır. Çalışma kapsamında, katılımcıların ortalama 4 dk yürümeye istekli oldukları tespit edilmiştir. Detaylı bulgulara göre, 5 dk ve üzerinde yürümeyi kabul eden kullanıcılar 18-24 yaş aralığında %26, 25-39 yaş aralığında %40 ve 40+ yaş gruplarındaki için %49 olarak bulunmuştur. Kadınların ve erkeklerin arasında e-skuter hizmetine erişmek için farklı yürüme tercihleri olduğu bulunmuştur. Bu bulgular, e-skuter hizmetlerinin konumlandırılmasında erişilebilirlik mesafesinin önemini vurgulamakta ve farklı yaş grupları ile cinsiyetler arasında erişim toleransı konusunda farklılıklar olduğunu göstermektedir (Carroll, 2022).

Yürüme istatistiklerinin yanında kullanıcıların yürüme istekliliklerini gösteren ve buna bağlı tolerans fonksiyonları öneren çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan, Yue ve diğerlerinin çalışmasında, kullanıcıların paylaşımlı e-skuter istasyonlarına yürüme

mesafesi toleransı denklem (2.9)'da gösterildiği üzere matematiksel olarak modellenmiştir. Bu modelde ilgili $F(d_{ij})$ fonksiyonu, kullanıcıların istasyonlara olan mesafesi d_a metre içinde olduğunda 1, d_a metreyi aştığında ancak d_b metreden az olduğunda özelleştirilmiş kosinüs fonksiyonu çıktısı ve d_b metreyi aştığında ise 0 olmaktadır. (Yue vd., 2024).

Karataş, literatürdeki geleneksel MCLP yaklaşımlarının aksine, tesislerin kapsama performansının ayrı ayrı değerlendirilmesinden ziyade kümülatif olarak değerlendirilmesi gerektiğini savunmuştur. Fermi fonksiyonunu tabanlı geliştirilen hibrit çözüm, farklı konum optimizasyonu problemlerinde kullanılabileceği vurgulanmıştır. Denklem (2.4)'te verilen mesafeye bağlı azalış fonksiyonunda d_1 en düşük kritik mesafeyi, d_2 en yüksek kritik mesafeyi, d_{ij} i ve j konumları arasındaki mesafeyi, ρ , kapsama olasılığının ($\rho > d_1$) 0,5'e eşit olduğu eşdeğer deterministik yarıçapı, b grafiğin kuyruğunu tanımlayan hassasiyet parametresini ifade etmektedir (Karatas, 2017).

$$F(d_{ij}) = \begin{cases} 1, & d_{i,j} \leq d_1 \\ \frac{1}{1 + 10^{[(d_{i,j}-d_1)/(\rho-d_1)]/b}}, & d_1 < d_{i,j} \leq d_2 \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.4)$$

Sonuç olarak, çalışmalarda sürüş öncesi yürüme süresi, paylaşımlı ulaşım sistemlerinde hem kullanıcı memnuniyetini artırmak hem de operasyonel verimliliği optimize etmek için göz önünde bulundurulması gereken temel bir parametre olarak belirtilmiştir. Ancak literatürdeki çalışmalarda, elde edilen yürüme sürelerinin hesaplanmasında bir yöntem birliği bulunmamaktadır. Kullanıcı geri bildirimine dayalı ya da sistematik olmayan çalışmalarda, bu sürenin kullanıcı davranışları, çevresel etmenler ve zamansal farklılıklarla yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

2.4. Konuşlandırma Stratejisi

Konuşlandırma stratejisi (deployment strategy), bir paylaşımlı ulaşım sisteminin fiziksel altyapı bileşenlerinin (istasyonlu sistemler için istasyonların nereye kurulacağı, istasyonsuz sistemler için ise araçların yerleştirilebileceği konumların dağılımı) coğrafi olarak nasıl ve nerede konumlandırılacağına belirlenmesini ifade eden stratejik düzeyde bir karar olarak değerlendirilmektedir. Paylaşımlı sistemlerde operasyonel başarının istasyon veya araçların kullanıcıların taleplerine göre mekânsal dağılımına örtüşmesinden etkilendiği belirtilmektedir. Bu tez çalışmasının odak noktası, literatürde görece az çalışılmış olan dağıtım stratejisi optimizasyonudur.

Paylaşımlı skuter gibi araçlara ulaşmak için en yaygın yöntem yürüme olduğu için kullanıcıların yürüme eforunu en aza indirecek şekilde belirlenmesi yani erişim kolaylığının sağlanması konusunda çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Erişim kolaylığı sistemin kullanım miktarını doğrudan etkileme potansiyeline sahiptir (Conrow vd., 2018). Bu doğrultuda kullanıcı taleplerinin alındığı yerlerin (talep noktası/konumu) tespiti ve araçların hangi noktalara bırakabileceği (aday noktası/konumu) incelenen temel unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Konuşlandırma stratejisinin uygulanmasında temel bileşenlerden birincisi talep noktalarının tespit edilmesidir. Bu noktalar çeşitli çalışmalarda farklı yöntemlerle belirlenmiştir. Ebrahimi vd. talep noktaları olarak Washington D.C.'de yapılan nüfus

sayımına ait verileri kullanmıştır. Talep noktası konumlandırma metodolojisi kapsamında her sayım bloğunun merkez noktası (centroid) konum-tahsis modelinin talep ağırlığını yansıtan nokta olarak belirlenmiştir. Talep yoğunluğu hesaplama sürecinde konut yoğunluğu, istihdam yoğunluğu ve toplu taşıma istasyonlarının konumu sayım bloğu seviyesinde dikkate alınmıştır. Talep noktası kapsama analizi sonucunda şehir merkezinden uzak birçok konut mahallesinin bisiklet paylaşım ağına erişimi olmadığı ve bu alanların hizmet kapsamı dışında kaldığı ortaya çıkmıştır (Dehdari Ebrahimi vd., 2022).

Banerjee vd. Baltimore şehrinin bisiklet paylaşım sisteminde talep noktalarının belirlenmesi için nüfus blok gruplarını kullanmışlardır. ABD Nüfus Sayım Bürosu 2010 verilerinden elde edilen her nüfus blok grubunun merkez noktası konum-tahsis modelinin talep ağırlığını temsil eden nokta olarak belirlenmiştir. Bu talep noktaları bloğunun nüfus sayısı ise ilgili talep noktasının ağırlığını oluşturduğu kabul edilmiştir. Ancak bu çalışmada, ilgili şehirdeki her kişinin talep oluşturacağı varsayımı yapılmıştır (Banerjee vd., 2020).

Choi ve diğerleri mobil uygulama tarafından alınan konum telemetrileri aracılığıyla saatlik bazda toplamıştır. Toplanan veriler 100x100 metrelik grid sistemine göre bölümlere ayrılarak, her hücredeki günlük ortalama gezgin yoğunluğu hesaplanmış ve potansiyel talep noktaları belirlenmiştir. Potansiyel talep noktalarının dağılımının, ana nüfus çeken tesisler ve konut alanları çevresinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Araştırmacılar bu yaklaşımın, geleneksel nüfus sayımı verilerine dayalı talep tahmin yöntemlerine kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığını savunmaktadır (Choi vd., 2021).

Park ve Sohn çalışmalarında literatürde yaygın olarak kullanıldığı üzere, insanların ilgi noktası (point of interest) olarak kabul edilen metro istasyonları, alışveriş merkezleri, parklar ve konutların bulunduğu yerler kullanılmıştır. Bunun için Şanghay Planlama Bürosu'nun planlama kriterlerini referans alan, metro istasyonları ve alışveriş merkezlerinin çevresinde 100 m, konutların çevresinde 200 m ve parkların çevresinde 300 m yarıçaplı tampon bölgeler oluşturularak potansiyel talep konumları oluşturmuşlardır (Park & Sohn, 2017).

Konuşlandırma stratejisinin uygulanmasında temel bileşenlerden ikincisi ise aday noktası olarak isimlendirilen yerleşimlerin yapılabileceği noktaların kümesinin tespit edilmesidir. Bu noktalar çeşitli çalışmalarda farklı yöntemlerle belirlenmiştir. İstasyonsuz paylaşımlı ulaşım sistemleri özelinde hizmet alanı içindeki her nokta teknik olarak sanal bir istasyon gibi düşünülebilir. Müşteri memnuniyetini önemli ölçüde artıran bu durum operatör firmalar için çok önemli zorlukları beraberinde getirmektedir. Bu sistemlerde kullanıcı taleplerinin zamansal ve mekânsal dağılımı oldukça değişkendir. Literatürde aday noktaların oluşturulması için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bunlardan en yaygın olanı hizmet alanını daha yönetilebilir şekilde ele almak için ızgaralar şeklinde bölünmesidir. Yapılan çalışmalarda 100 metreden 4000 metreye kadar değişen boyutlarda ve kare veya altıgen gibi şekillerde çeşitli ızgara türleri kullanılmıştır (Caspı vd., 2020; Ham vd., 2021; Ke vd., 2019; Yang vd., 2020).

Ayrıca, talep noktalarından oluşturulan çemberler ve bu çemberlerin kesişim noktalarını veya talep noktalarını farklı gruplama yöntemleriyle (k-means, DBSCAN, k-median vb.) gruplayarak ağırlık merkezi noktalarını aday noktalar olarak belirleme gibi çeşitli yöntemler de bulunmaktadır (Gehrlein & Pasic, 2009; Murray & Tong, 2007). Bazı çalışmalarda ise aday yerleşim konumları mevcut bisiklet paylaşım noktaları veya

yerel otorite tarafından önceden tanımlanmış bisikletlerin park edilebilecek alanlar olarak belirlenmiştir (Muren vd., 2020).

İstasyonlu ulaşım sistemlerinde ise genellikle hali hazırda kurulmuş olan istasyonların etkinliklerinin ölçülmesi üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Ebrahimi ve diğerleri Washington D.C.'de hizmet veren Capital firmasına ait paylaşımlı bisiklet sistemi verilerini kullandıkları çalışmalarında istasyonlarının konumları aday tesis noktaları olarak değerlendirilmiştir. Bu noktaların filtreleme sürecinde ise bu noktaların toplu taşıma ağıyla entegrasyonu değerlendirilmiştir (Dehdari Ebrahimi vd., 2022).

Park ve Sohn çalışmalarında bisiklet paylaşım istasyonlarının yerleşimi probleminde taksi verilerinden yararlanmışlardır. Çalışmada, bisiklet sürüş davranışlarına benzer sürüş desenlerine sahip taksi yörüngelerini belirlemek için 2016 Şubat ayına ait Seul'da bulunan taksilerin müşteri alış ve bırakış noktalarının konumlarını kullanılmıştır. Bu veri seti, her taksi yörüngesinin koordinatlarını zamanını ve hava koşullarını içermektedir. Bu verilerin içinden bisiklet sürüş kullanımına benzer (yani bisikletle ulaşımına uygun sürüşlerin) verilerini filtrelemişlerdir. Bu filtreleme süreci sürüşlerin mesafesi, gerçekleşme zamanı bisikletli sürüşe uygun hava durumu şartları gibi kriterleri içermektedir. Bu filtrelenen verilerin taksi binişlerinin konumları aday noktaları olarak değerlendirilmiştir (Park & Sohn, 2017)

Literatürde çalışılan konumlandırma problemlerini çözmek için çeşitli optimizasyon yöntemleri ve matematiksel modelleme yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu modellemeler, problemdeki en uygun çözümlerin bulunmasını sağlayan çözücü (solver) isimli özel yazılımlar ile analiz edilmektedir. Bu çözücüler, probleme ait amaç fonksiyonunun, karar değişkenlerinin ve kısıtların belirlenmesi ile belirlenen tolerans dahilinde iyi çözümleri (tolerans değerleri kaldırılırsa en iyi çözümü) bulmaktadır. Karar değişkenleri, problemin çözümünü temsil eden ikili, tamsayı veya sürekli değerler alabilen parametrelerdir. Amaç fonksiyonu, optimize (maksimize veya minimize) edilmek istenen kriteri ifade eden karar değişkenlerinin matematiksel fonksiyonudur. Kısıtlar ise karar değişkenlerinin alabilecekleri değerleri sınırlayan matematiksel eşitlik veya eşitsizlikler olarak tanımlanmaktadır. Optimizasyon problemi karar değişkenlerinin veya amaç fonksiyonunun türüne göre lineer programlama (LP), tam sayı lineer programlama (ILP), karma tam sayı lineer programlama (MILP), kuadratik programlama (QP) gibi türlere ayrılabilir. Günümüzde hem akademik hem ticari problemlerde Gurobi, CPLEX ve Xpress gibi çeşitli çözücü çeşitleri bulunmaktadır (FICO® Xpress Optimization, 2025; Gurobi Optimizer, 2025; IBM ILOG CPLEX Optimization Studio, 2025). Yüksek performansı ile tanınan Gurobi, büyük ölçekli MIP problemlerinde üstün performans göstermesinin yanında LP, QP, MIP ve MIQP problemlerini çözebilmektedir ve akademik araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. IBM tarafından geliştirilen CPLEX, endüstride en çok kullanılan çözücülerden biridir. Öte yandan Xpress özellikle finansal optimizasyon uygulamalarında tercih edilmektedir (Anand vd., 2017). Mekânsal konuşlandırma problemleri çözücü de dahil olacak şekilde çeşitli yöntemlerle veya optimizasyon teknikleriyle çözülebilmektedir. Bu bölümde sistematik olarak bu yöntemler ve literatürdeki uygulamaları detaylandırılmıştır.

2.4.1. Rastgele yerleştirme stratejisi

Rastgele yerleştirme stratejisi, çeşitli optimizasyon yöntemlerinde algoritma performanslarını karşılaştırmada temel bir referans noktası oluşturmak amacıyla kullanılan bir yaklaşımdır. Rastgele yerleştirme yönteminin temel amacı, en kötü senaryo koşullarında elde edilebilecek performans metriklerinin karakteristiklerini belirlemek ve geliştirilmiş optimizasyon algoritmalarının başarısını objektif bir şekilde değerlendirmek için literatürde yaygın olarak kabul görmüş bir karşılaştırma standardı sunmaktır. Bu strateji ile aday noktası kümesinden belirlenen sayıda nokta rastgele şekilde seçilerek yerleştirilmesi prensibine dayanmaktadır. Drezner ve Drezner, tesis yerleştirme problemlerine yönelik yaptıkları çalışmalarında optimal konumuna yerleştirme ve rastgele yerleştirme stratejilerini kullanmışlardır. Çalışma toplamının minimumu (minisum), maksimumun minimumu (minimax) ve rekabetçi (competitive) olmak üzere üç farklı amaç fonksiyonu kullanarak, üç farklı ortamda test edilmiştir. Bu yöntem sayesinde, geliştirilen sofistike optimizasyon algoritmalarının rastgele seçime kıyasla ne ölçüde iyileştirme sağladığı nicel olarak ölçülebilmektedir (Drezner & Drezner, 2016). Geliştirilen bir algoritmanın performans metrikleri rastgele seçim sonuçlarına yakın değerler gösterirse, bu durum algoritmanın verimsiz olduğunu ve harcanan hesaplama kaynağının anlamlı bir iyileştirme sağlamadığını göstermektedir.

2.4.2. Genetik algoritma

Genetik algoritma, karmaşık optimizasyon problemlerinde literatürde yaygın olarak kullanılan meta-sezgisel bir optimizasyon yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu algoritma, doğal seçim ve genetik evrim prensiplerini taklit ederek, seçim noktaları arasından en uygun çözümlerin bulunmasını amaçlamaktadır (S. Kim vd., 2023). Algoritmanın performansını etkileyen çeşitli parametreler bulunmaktadır ve bu parametrelerin probleme uygun olarak ayarlanması gerekmektedir. Genetik algoritma parametreleri şu şekilde tanımlanmaktadır:

- **Popülasyon Boyutu:** Her nesilde değerlendirilen farklı yerleşim kombinasyonu sayısını ifade etmekte olup, her birey p sayıda yerleşim noktasının farklı bir kombinasyonunu temsil etmektedir. Büyük popülasyon daha fazla sayıda çözüm uzayının araştırılmasını sağlarken hesaplama maliyetini artırmaktadır.
- **İterasyon Sayısı:** Nesil olarak da tanımlanan bu parametre, algoritmanın kaç aşama boyunca evrim sürecini devam ettireceğini belirlemekte olup, daha fazla iterasyon çözümün iyileşme potansiyelini, çalışma süresini artırmaktadır.
- **Çaprazlama Olasılığı:** Seçilen her yerleşim kombinasyonu çiftinin çaprazlama işlemine tabi tutulup tutulmayacağını belirlemektedir. Tek nokta, iki nokta, çok nokta, düzgün çaprazlama gibi çeşitli yöntemleri bulunmaktadır. Bu işlem sonunda iki yerleşim kombinasyonu tamamen karıştırılarak yeni ve daha önce hiç gerçekleşmemiş yerleşim kombinasyonuna sahip kümeler üretilmektedir.
- **Mutasyon Olasılığı:** Üretilen her yeni yerleşim kombinasyonun mutasyon işleminin gerçekleştirilme olasılığını tanımlamakta olup, listeden rastgele seçilen elemanın mevcut seçimde bulunmayan başka bir aday nokta ile değiştirilmesini

ifade etmektedir. Bu parametre, algoritmanın yerel optimumlardan kaçınarak çözüm uzayında daha geniş arama yapmasını sağlamaktadır.

- **Uyum (Fitness) Fonksiyonu:** Seçilen yerleşim noktalarının performansını değerlendirmek için belirlenen performans metriklerini minimize veya maksimize etmeyi hedeflemektedir. Ayrıca, algoritmanın hesaplama verimliliğini artırmak için belirli sayıda nesil boyunca uyum fonksiyonun aldığı değerde anlamlı iyileşme olmaması durumunda hesaplamayı hızlandırmak için iterasyon sürecinin erken sonlandırılması mümkündür.

Genetik algoritmaların başarısında bir sonraki nesle geçmesi sağlanacak bireylerin seçilme yöntemi kritik bir rol oynamaktadır. Literatürde yaygın olarak kullanılan seçim yöntemleri arasında turnuva seçimi (tournament selection), rulet tekerleği seçimi (roulette wheel selection) ve sıralama tabanlı seçim (rank-based selection) gibi yöntemler bulunmaktadır. Turnuva seçimi yaklaşımı popülasyondan rastgele seçilen belirli sayıda birey arasından en yüksek uyum değerine sahip olan ebeveyn olarak belirlenmektedir; bu yöntem, iyi bireylerin daha sık seçilmesini sağlarken çeşitliliğin korunması için zayıf bireylere de seçilme şansı tanımaktadır. Rulet tekerleği seçimi yönteminde, her bireyin seçilme olasılığı uyum değeri ile doğru orantılı olarak belirlenmektedir. Sıralama tabanlı seçimde ise yüksek uyum değerine sahip bireyler daha yüksek seçilme şansına sahip olmaktadır (Shukla vd., 2015). Seçim yöntemine ek olarak hali hazırda oluşturulan bireylerin en iyi birey olması durumunda o bireylerin korunması elitizm stratejisi olarak isimlendirilmektedir. Bu stratejide her nesilde yalnızca en iyi bireyin bir sonraki nesle olduğu gibi aktarılmasını sağlayan basit elitizm, popülasyonun belirli bir yüzdesi kadar en iyi bireyi aktaran çoklu elitizm ve algoritmanın performansına göre bu sayının güncellenebileceği uyarlanabilir elitizm yöntemleri bulunmaktadır (Atta vd., 2018; J. O. Kim vd., 2002).

2.4.3. Tesis yerleşim problemi

Tesis yerleşim problemi (Facility Location Problem - FLP), operasyonel araştırma ve coğrafi optimizasyon literatüründe en köklü ve yaygın çalışılan problemlerden biridir. Bu problem, sınırlı sayıda hizmet verecek tesisin noktasının coğrafi bir alanda en uygun konumlara nasıl yerleştirilmesi gerektiğinin tespiti amacıyla geliştirilen matematiksel modelleme yaklaşımlarını kapsamaktadır (Wu vd., 2006). Modelin temel amacı, talep noktalarına olan uzaklık, ulaşım maliyetleri, hizmet kapasitesi ve erişilebilirlik gibi kriterleri optimize ederek, sistemin genel performansını iyileştirmektir. Bu problem türü, hastane ve itfaiye istasyonu konumlandırmasından perakende mağaza yerleşimine, lojistik merkezlerinden acil durum hizmetlerine kadar geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir (Jia vd., 2007). Bu modelde kurulacak tesis sayısı sistem maliyeti ve performansı göz önüne alınarak optimize edilebilmektedir. Denklem (2.5)'te gösterilen amaç fonksiyonunda c_{ij} tesis kurulumun sabit maliyetini, x_j tesis j 'nin kurulup kurulmadığını, d_{ij} talep noktası i 'den tesis j 'ye olan mesafeyi, t_{ij} talep noktası i 'den tesis j 'ye olan ulaşım maliyetini, y_{ij} ise talep noktası i 'nin ihtiyacının tesis j tarafından karşılanıp karşılanmadığını ifade etmektedir.

$$\text{Min} \sum_{j \in J} f_j x_j + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} t_{ij} y_{ij} \quad (2.5)$$

Resende ve Werneck, çalışmalarında tesis yerleşim problemi için çoklu başlangıç stratejisi, yerel arama ve yol-bağlama tekniklerini birleştiren hibrit bir yaklaşım geliştirerek, literatürdeki mevcut yöntemlere alternatif bir çözüm sunmuşlardır. Kapsamlı deneysel çalışmalar sonucunda geliştirilen algoritmanın, literatürdeki farklı testlerde başarılı performans sergilediği görülmüştür. Standart test problemlerinin büyük çoğunluğunda optimal çözümler bulunmuş, zorlu test örneklerinde de mevcut en iyi yöntemlerden önemli ölçüde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Algoritmanın özellikle zor problemlerde artan hesaplama süresiyle birlikte çözüm kalitesini dramatik şekilde iyileştirme kabiliyeti, tesis yerleştirme problemlerinin çözümünde güçlü ve güvenilir bir araç olduğunu kanıtlamıştır. Bu çalışma, hibrit meta sezgisel yaklaşımların tesis konumlandırma kararlarında pratik ve etkili çözümler sunabileceğini ortaya koymuştur (Resende & Werneck, 2006).

Li ve Lu çalışmalarında geleneksel tesis yeri belirleme probleminin yeni bir varyasyonu olan maksimum mesafe kısıtlı tesis yeri belirleme problemi (FLP-MD) modelini sunmuşlardır. Klasik tesis yeri belirleme problemlerinde sadece toplam maliyet minimize edilirken, bu yeni yaklaşımda müşteri memnuniyeti ve hizmet kalitesi de dikkate alınmaktadır. Problem formülasyonunda, her müşterinin en yakın açık tesise olan mesafesinin önceden belirlenen bir eşik değeri aşmaması zorunlu kılınmış ve bu kısıt altında toplam tesis açma maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu yaklaşım, özellikle acil sağlık hizmetleri, itfaiye istasyonları ve COVID-19 test merkezleri gibi kritik hizmetlerin planlanmasında büyük önem taşıdığı belirtilmiştir. Çözüm yöntemi olarak, müşterileri kümelerle ayıran ve her küme için en düşük maliyetli tesis seçimini yapan bir yaklaşım algoritması geliştirilmiştir (Li & Lu, 2024).

Herrmann ve Kunze, geleneksel tesis yeri belirleme problemlerinin şehir içi kitle lojistiği uygulamalarına adaptasyonunu ele alan yenilikçi bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırma, fiziksel internet konseptine dayanan şehir içi kitle lojistiği sistemlerinde ara nokta konumları için en uygun sayı ve dağılımın belirlenmesi problemini incelemektedir. İnternette verilerin yönlendiriciler (router) arasında zıplayarak hedefe ulaşması gibi, paketlerin de ara noktalar üzerinden çok aşamalı olarak taşınması prensibinden ilham alınarak geliştirilmiş bir lojistik yaklaşımıdır. Çalışmada, Münih şehri örneği üzerinden sekiz farklı yapısal senaryo modellenmiş ve maliyet yapıları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Metodolojik yaklaşım olarak, konum kümesi kapsama problemi, kapasiteli çok seviyeli tesis yeri belirleme problemi, çok depolu araç rotalama problemi ve konum-rotalama problemi gibi klasik optimizasyon tekniklerinin hibrit kullanımı benimsenmiştir. Talep modeli, nüfus yoğunluğuna dayalı lineer bir fonksiyon olarak tasarlanmıştır. Çalışmanın temel bulguları, son km teslimatında kitle kaynaklarının etkin kullanımının hem maliyet avantajı hem de sürdürülebilirlik açısından önemli potansiyel sunduğunu göstermektedir (Herrmann & Kunze, 2019).

2.4.4. Konum tahsis problemi

Konum tahsis problemi (Location Allocation Problem-LAP), tesislerden müşterilere olan ulaşım maliyetinin en aza indirilmesi ve müşteri talebini karşılamak için en uygun sayıda tesisin yerleştirilmesi amacıyla bir dizi yeni tesisin konumunun belirlenmesini çözmeyi amaçlamaktadır. Bu model gerçek uygulamalarda, üretim veya depolama noktalarının, dağıtım veya iletişim merkezlerinin konumlandırılması gibi birçok pratik uygulamada kullanılmaktadır (Azarmand & Neishabouri, 2009). Denklem (2.6)'da gösterilen amaç fonksiyonunda ϕ ürün veya hizmetin tesislerden müşterilere taşınmasının toplam maliyetini, w_{ij} müşteri i 'ye tesis j 'den taşınan ürün adedini göstermektedir ve diğer parametreler denklem (2.5)'te olduğu gibi kullanılmıştır.

$$\text{Min } \phi = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_{ij} d_{ij} y_{ij} \quad (2.6)$$

Konum tahsisi problemi modelinin p-median ve p-center olmak üzere iki temel yaklaşımı bulunmaktadır. p-median yaklaşımı, p sayıda hizmet verecek tesisin yerleştirilmesi ile tüm talep noktalarından en yakın tesislere olan toplam ağırlıklı mesafeyi en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşımda, her talep noktası en yakın tesise atanmakta ve sistemin genel verimliliği toplam ulaşım maliyetinin minimizasyonu ile değerlendirilmektedir. p-center yaklaşımı ise, talep noktalarının tesislere olan uzaklıklarının arasındaki farkı azaltarak eşitlikçi prensipleri ön planda tutan alternatif bir yaklaşımdır. Bu model, p sayıda tesisin yerleştirilmesi ile herhangi talep noktalarının en yakın tesise olan uzaklıklarının en büyük olduğu seçimleri azaltmayı amaçlamaktadır. Sistemin performansı "en kötü durumdaki hizmet kalitesi" ile değerlendirilmekte olup, hiçbir kullanıcının kabul edilemez düzeyde uzak mesafede kalmaması amaçlanmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle acil durum hizmetleri (ambulans, polis vb.) ve kritik altyapı yerleşiminde, minimum hizmet garantisi sağlanması gereken durumlarda kullanılmaktadır. Matematiksel formülasyonunda, amaç fonksiyonu maksimum mesafenin minimizasyonu şeklinde tanımlanmaktadır.

Bolouri vd., kentsel sürdürülebilir kalkınma için şehir tesislerinin optimal konumlandırılması üzerine yaptıkları çalışmada p-median ve kapsama temelli modeli birleştiren bir modeli kullanmışlardır. Çalışmanın temel amacı, sosyal adaleti sağlamak ve çevresel sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek için itfaiye istasyonlarının optimal konumlarını belirlemektir. Araştırmacılar Tahran'ın farklı bölgelerinde yangın istasyonlarının 5 dk müdahale süresi standardını karşılayacak şekilde optimal konumlandırılmasını iki farklı senaryoda değerlendirmiştir. 44 aday istasyondan 10, 70 aday istasyondan 24 seçim senaryolarında yapılan uygulamalar, p-center tabanlı modelin kentsel hizmet dağılımında eşitlik sağlamada etkili olduğunu ortaya koymuştur (Bolouri vd., 2020).

Ankrah ve diğerleri, geleneksel tesis yeri tahsis problemine dinamik bir boyut kazandıran dinamik müşteri tesis yeri tahsis problemi adlı yeni bir stokastik optimizasyon problemini önermişlerdir. Bu yenilikçi yaklaşım, müşterilerin zaman içinde farklı lokasyonlar arasında hareket ettiği varsayımına dayanmaktadır ve bu hareketlerin tesis kurma kararlarında dikkate alınması gerektiğini savunmaktadır. Araştırmacılar, özellikle telekomünikasyon endüstrisi gibi büyük sermaye yatırımları gerektiren sektörlerde, müşteri hareketliliğinin uzun vadeli stratejik tesis konumlandırma kararlarına etkisini matematiksel olarak modellemişlerdir. Problem formülasyonu, klasik LAP

modellerindeki statik yaklaşımının aksine, müşteri çekicilik oranları ve hareket frekansları gibi dinamik parametreleri içermektedir. Çalışmada, 1440 farklı problem örneği üzerinde test edilen popülasyon tabanlı artımlı öğrenme algoritması kullanılarak dinamik ve statik değerlendirme yöntemleri karşılaştırılmıştır (Ankrah vd., 2019).

Wang ve diğerleri, salgınlar gibi halk sağlığını tehdit eden durumlarında geçici kurulan acil tıbbi tesislerin (sahra hastaneleri) yer seçimi ve tahsis problemini ele alan çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, Covid-19 vaka sayılarının acil tıbbi tesis talebine etkisini dikkate alarak, gri tahmin modeli kullanıp hastalık vakalarını öngörmüş ve acil tıbbi tesis talebini hesaplamışlardır. Gri teori, az miktarda veri ile belirsizlik içeren sistemleri analiz etmek için geliştirilmiş matematiksel bir yöntemdir. Gri tahmin modelinin doğruluk testleri (adım oranı testi, ortalama bağıl hata, ortalama kare hata oranı ve küçük hata olasılığı) modelin yüksek doğruluğa sahip olduğunu ve acil tıbbi tesis talebi hesaplamasında uygun olduğunu göstermiştir. Çalışmada, geleneksel genetik algoritmanın kodlama şemasındaki eksiklikleri gidermek için iyileştirilmiş yeni bir genetik algoritma modeli önerilmiştir. MATLAB kullanılarak programlanan algoritma ile Wuhan örneği üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar, önerilen model tabanlı acil tıbbi tesis yer tahsis planının geleneksel genetik algoritmaya kıyasla %8.34 daha az zaman tükettiğini göstermiştir (S. Wang vd., 2022).

2.4.5. Konum kümesi kapsama problemi

Konum kümesi kapsama problemi (Location Set Covering Problem-LSCP) tüm talep noktalarını kapsayacak en az sayıda tesisin en uygun konumlarını belirleme problemidir. Problem ilk kez Toregas ve diğerleri tarafından acil servis tesislerinin optimal konumlandırılması için geliştirilmiştir (Toregas vd., 1971). Sonrasında bu alana ek olarak okul, hastane gibi kamusal hizmetleri, mağaza, depo gibi ticari uygulamalar üzerine yapılan çalışmalar da bulunmaktadır. Bu modelin gerekli kıldığı hiçbir talep noktasının hizmet kapsama alanının dışında bırakılmaması şartı diğer modellere kıyasla daha fazla sayıda tesis yerleşimini gerektirebilmektedir. Sonuç olarak LSCP, kapsama tabanlı konum yerleşimi problemleri literatürünün temel taşlarından biri olarak kabul edilmektedir. Basit yapısı ve etkili çözüm yöntemleri sayesinde hem teorik araştırmalarda hem de pratik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Tam kapsama garantisi kritik hizmetler için değerli olmakla birlikte, yüksek maliyetler ve bazı gerçeklik varsayımlarının eksikliği nedeniyle daha esnek modellerin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır (Daskin & Dean, 2004).

Aktaş ve diğerleri İstanbul'da yangın istasyonlarının optimal konumlarını belirlemek için yaptıkları çalışmalarında LSCP'in de dahil olduğu iki optimizasyon modelini kullanmışlardır. Çalışmanın temel amacı, konutların ve tarihi yerlerin yangın istasyonundan hizmet talebi aldıktan sonra en fazla 5 dk içerisinde ulaşılabilir olmasını sağlamaktır. Araştırmacılar geçmiş yangın vakası kayıtlarından elde edilen verileri kullanarak matematiksel model geliştirmiş ve bu modeli yol ağı üzerinde coğrafi bilgi sistemi ile uygulamışlardır. İlgili belediye tarafından hayata geçirilen senaryo, şehrin yangın istasyonu kapsama oranını 5 dk müdahale süresine dayalı olarak %58,6'dan %85,9'a çıkarmıştır. Bu uygulama 3 yıla yayılan bir uygulama planı ile 790 alt bölgeyi kapsayan pratik bir çözüm sunmuş ve gerçek dünya verilerinin konum optimizasyonunda nasıl kullanılabileceğini göstermiştir (Aktaş vd., 2013).

Ye ve Kim, sağlık tesisi konumlandırma problemine yenilikçi bir yaklaşım getiren ağ tabanlı kapsama konum problemi isimli hibrit bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışma, geleneksel konum problemlerinde yaygın olarak kullanılan Öklid mesafesi yerine gerçek ulaşım ağlarına dayalı mesafe hesaplaması yaparak daha gerçekçi hizmet kapsama alanları oluşturmayı amaçlamıştır. Net-CLP modeli, ağ tabanlı konum seti kapsama problemi ve ağ tabanlı maksimal kapsama konum problemi olmak üzere iki alt modelden oluşmaktadır. Araştırmacılar, çalışma alanının temsil edilmesinde toplama hatalarını azaltmak için düzenli altıgen ızgara yaklaşımını benimsemiş ve alansal interpolasyon teknikleri kullanarak nüfus verilerini yeniden dağıtmışlardır. Model, mevcut sağlık tesislerinin varlığını dikkate alarak yeni tesis sayısını optimize etmekte ve tıbbi hizmet kapasitesi kısıtlarını entegre etmektedir. Florida örneğinde 10, 20 ve 30 dakikalık seyahat süresi eşikleri ile test edilen model, CPLEX optimizasyon yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Sonuçlar, ağ tabanlı yaklaşımın Öklid mesafesine kıyasla daha küçük ve düzensiz şekilli hizmet alanları oluşturduğunu ve optimal tesis konumlarının büyük otoyollar yakınında belirlendiğini göstermiştir (H. Ye & Kim, 2016).

Ye ve diğerleri, Tayvan'da atık geri dönüşüm merkezlerinin yer seçimi problemini ele alan 2-aşamalı LSCP p-medyan entegre modelini geliştirmişlerdir. Araştırmacılar, mevcut geri dönüşüm sisteminin düşük verimliliğini tespit ederek, mevcut 80 geri dönüşüm merkezinden daha az sayıda merkez seçerek arazi kaynaklarının kullanımını azaltmayı ve toplama depolarının bu merkezlere atanmasında toplam ulaşım mesafesini minimize etmeyi amaçlamışlardır. LSCP modeli, tüm toplama deposunun kapsanması için gereken minimum geri dönüşüm merkezi sayısını belirlemede kullanılırken, p-median modeli ise belirlenen sayıdaki merkeze en kısa mesafeli atamaları gerçekleştirmektedir. Çalışmada, geleneksel LSCP'nin tam kapsama garantisi sağlamasına rağmen en kısa seyahat mesafesini garanti edememe sorunu ile p-median probleminin tesis sayısının önceden belirlenmesi gerekliliği sorunu birleştirilerek çözülmüştür. Model, yoğun nüfuslu batı Tayvan için iki büyük bölgesel geri dönüşüm merkezi kurulmasını önermiştir (L. Ye vd., 2011).

2.4.6. Maksimum kapsama yerleşim problemi

Maksimum kapsama yerleşim problemi (Maximum Covering Location Problem - MCLP), önceden belirlenmiş sayıdaki hizmet noktası ile tanımlı bir hizmet alanı içinde kapsanabilecek talebin maksimizasyonunu amaçlayan bir konumlandırma modelidir. Church ve ReVelle tarafından yapılan çalışma özellikle kamu hizmetlerinin planlanması başta olmak üzere birçok yerleştirme sistemlerinin tasarlanmasında kritik öneme sahiptir. Denklem (2.7)'de gösterildiği üzere kapsama alanından daha yakın mesafede olan taleplerin sayısının artırılması amacını denklem (2.8)'de gösterilen önceden belirlenmiş p sayısı kadar tesis noktası yerleşimi ile sağlamaktadır (Church & Velle, 1974).

$$Maks \sum_{i \in I} w_i y_i \quad (2.7)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (2.8)$$

MCLP modeli, problemin polinom zamanda çözülebileceğinin garanti edilemediği NP-hard problem olarak tanımlanmaktadır ve veri setindeki boyut

büyüdükçe, gereken hesaplama miktarı hesaplanabilme sınırlarının dışına çıkmaktadır (Spieker vd., 2017). Bu nedenle, MCLP modellerini çözmek için kesin çözümlü yöntemlerden (exact methods) hariç, yaklaşım (approximation) ve sezgisel yöntemler de bulunmaktadır. Yaklaşım yöntemleri, çözüm kümesindeki en iyi çözüme yakın sonuçlar üreten ve hesaplama süresini önemli ölçüde kısaltan teknikler olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemlerin bazıları açgözlü algoritma (greedy algorithm) ve lagrange gevşetmesi (lagrangean relaxations) olarak sıralanabilir (Galvão vd., 2000; Y. Zhang vd., 2024). Sezgisel veya meta-sezgisel yöntemler (heuristics or metaheuristics) ise, büyük ölçekli problemlerde çok daha makul sürelerde iyi çözümler üreten algoritmalar olarak tanımlanmaktadır. Bu kategoride değişim algoritması (interchange algorithm), genetik algoritma (GA), benzetimli tavlama (simulated annealing), parçacık sürü optimizasyonu (particle swarm optimization) ve tabu arama (tabu search) algoritmaları bulunmaktadır. Her çözüm yöntemi, sonuçların doğruluğu ve hesaplama verimliliği açısından farklı artı ve eksilere sahiptir (Zhong, 2025).

MCLP konusundaki çalışmalar modelin bileşenlerine göre incelendiğinde; talep noktası için farklı talep türleri, çoklu talep seviyeleri, dinamik talep birimleri, ayırık talep noktaları ve ağ düğümleri olmak üzere çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Tesislerin konumlandırılmasında sürekli bölgede yerleştirme, hiyerarşik tesisler, tesis yerleştirme maliyeti, tesis hizmet kapasitesi ve bağlantılı tesisler gibi farklı özellikler dikkate alınabilmektedir. Kapsama açısından ise bulanık kapsama/mesafe, dinamik kapsama, ikili kapsama, yüzde/kısmi kapsama, ikincil kapsama ve daire/elips şekilli kapsama seçenekleri mevcuttur. Amaç fonksiyonu bakımından tek amaçlı veya çok amaçlı optimizasyon yaklaşımları benimsenebilirken, kısıtlar açısından toplam tesis sayısı, toplam tesis bütçesi veya kapasiteli tesisler üzerinde sınırlamalar getirilebilmektedir (Zhong, 2025).

Batta ve Mannur, acil durum hizmetlerinde birden fazla müdahale birimi gerektiren durumlar için MCLP modelini de içeren iki kapsama tabanlı konum modellerini önermiştir. Geleneksel kapsama modellerinin her talebin yalnızca tek bir birimle karşılanabileceği varsayımının gerçek hayatta yetersiz kaldığını belirtmişlerdir. Çalışmada, özellikle yangınlar, büyük trafik kazaları veya kimyasal tesislerdeki kazalar gibi olayların birden fazla müdahale biriminin koordineli çalışmasını gerektirdiği vurgulanmıştır. Ancak birden fazla görev planlaması yapılırken, acil durum birimlerinin hali hazırda başka görevlerde olması veya bu hizmeti herhangi bir nedenden dolayı sağlayamaması durumunda, talep noktalarının kapsama gereksinimlerinin yeniden düzenlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Araştırmacılar, New York ve Massachusetts eyaletlerindeki 30 şehirden oluşan test verisi kullanarak modellerinin etkinliğini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, test problemlerinde MCLP modeli kısa çözüm süresi içinde %94'ün üzerinde kapsama oranlarına ulaşabildiği gözlemlenmiştir (Batta & Mannur, 1990).

Bir başka çalışmada, Karataş, tesis noktalarının mesafeye bağlı olarak değişken kademeli kapsama performansının farklı tesislerle bir arada değerlendirilmesi gerektiğini çalışmada hali hazırdaki literatürdeki çalışmaların bu konuda eksik kaldığını vurgulamıştır. Klasik modellerde gerçek hayata pek de uygun olmayan şekilde kullanılan ikili kapsama uygulamalarının (0-1) bir talebin belirli bir bölge içinde tamamen kapsandığını, yarıçap dışında ise hiç kapsanmadığını varsaymaktadır. Çalışmada, perakende mağaza konumlandırma, acil durum hizmetleri ve kablosuz ağ tasarımı gibi alanlarda kapsama performansının mesafe ile kademeli olarak azaldığı ve birden fazla

tesisin iş birliği yaparak tek bir talebi karşılayabildiği durumlar örneklendirilmiştir. Çok amaçlı tamsayılı doğrusal olmayan program (INLP) olarak formüle edilen çalışmanın talep kapsama seviyesi gereksinimlerini karşılamak, bütçeyi aşmamak ve tesis kapasitelerini aşmamak olmak üzere üç amacı bulunmaktadır. Çalışmada ayrıca hesaplama süresini optimize etmek ve yüksek kaliteli çözümler elde etmek amacıyla hibrit INLP-ILP çözüm prosedürü önerilmiştir. Bu yaklaşım önce INLP modelini çözerek başlangıç çözümü elde etmekte, ardından bu çözümü ILP modelinin başlangıç noktası olarak kullanmaktadır (Karatat vd., 2017).

Frade ve Ribeiro, Portekiz'in Coimbra şehrindeki istasyonlu bisiklet paylaşım sistemlerinde MCL yaklaşımıyla istasyon yerleşiminin, sistemin talep kapsama başarısı ve operasyonel sürdürülebilirliği açısından kritik olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada, sistemin başlangıç yatırım maliyeti ile bakım ve işletme maliyetleri arasındaki dengeyi gözetmenin, sistemin uzun vadeli başarısını garanti altına almak için şart olduğu vurgulanmaktadır. Araştırmacılar, geleneksel tesis konumu modellerinden farklı olarak, bütçe kısıtları altında kapsanan talebi maksimize eden bir optimizasyon modeli önermiştir. Bu modelde, belirli bir bütçe ve kaynak sınırları içerisinde filo büyüklüğünü, istasyon kapasitelerini ve her istasyondaki bisiklet sayısını eş zamanlı olarak dikkate alan bir yaklaşım uygulanmıştır. Önerilen modelin önemli bir ayırt edici özelliği, her müşterinin en yakın istasyona doğrudan hizmet atanması yerine, belirli bir hizmet mesafesi içindeki tüm müşterilerin "kapsanmış" olarak kabul edilmesidir. Ayrıca, modelin bölge düzeyinde istasyon yerleşim kararlarını belirlerken, daha hassas konumlandırma için ek modellemelerle kullanıcı ile istasyon arasındaki mesafenin minimize edilebileceğini belirtmeleri, yerleştirme stratejisinde dinamik bileşenlerin önemini gözler önüne sermiştir (Frade & Ribeiro, 2015).

Ebrahimi ve diğerleri Vaşington/ABD'deki bisiklet paylaşım sisteminin optimal istasyon konumlarını belirlemek için coğrafi bilgi sistemi tabanlı mekânsal yaklaşım kullanılmıştır. Bisiklet istasyonların diğer ulaşım araçlarına yakın konumlandırılmasının sürdürülebilir çok modlu ulaşımı desteklediği ve otomobil bağımlılığını azalttığı vurgulanmıştır. Maksimum kapsama minimum tesis problemi (Maximum Coverage Minimum Facilities - MCMF) modelinde sürüş öncesi yürüme sürelerini optimize etmek için kullanılmıştır. Çalışmada, sürüş öncesi yürüme mesafelerini konforlu yürüme mesafesi olarak en fazla 300 m olması varsayılmıştır. Kullanıcıların sürüş öncesi yürüme istekliliğinin ise en fazla 1000 m olacağı kabul edilmiştir. MCMF modelinin optimizasyon süreci iki aşamadan oluşmaktadır: Minimize Facilities (MF) aşamasında sürüş öncesi tüm talep noktalarının karşılanması için en az sayıda olması gereken istasyon belirlenip, Maximized Capacitated (MC) aşamasında ise sürüş öncesi maksimum yürüme mesafesi gözetilerek mümkün olduğunca çok talep noktasının seçilen istasyonlara atanması amaçlanmaktadır. Araştırmacılar, düşük yoğunluklu yerleşim bölgelerindeki sürüş öncesi yürüme mesafelerinin artırılması için yeni bisiklet istasyonları kurulmasının bisiklet paylaşım kullanımını ve toplu taşıma entegrasyonunu teşvik edeceği belirtmiştir (Dehdari Ebrahimi vd., 2022).

Muren ve diğerleri, Çin'deki paylaşımlı bisiklet sistemleri için MCLP modelini geliştirerek dengelenmiş maksimum kapsama yerleşim problemi (BMCLP) modelini önermişlerdir. Literatürdeki geleneksel MCLP modellerinin yalnızca tesislerin hizmet verme üst sınırlarına ait kısıtları kullandığını ve tesisler arasında dengeli iş yükü dağılımını dikkate almadığını belirtmişlerdir. Çalışmada BMCLP modelinin, her bir merkez için alt sınır (lower bound) eklenerek, tesislerin sağladığı hizmet seviyelerindeki

dengelesizlikleri ortadan kaldırdığı ve maksimum talep kapsama performansını daha iyi dengelediğini göstermişlerdir. Geliştirilen model, ilk aşamada çok amaçlı tamsayılı doğrusal olmayan programlama problemi olarak modellenmiş, sonrasında hesaplama zorluklarını aşmak için karma tamsayılı doğrusal programlama modeline dönüştürülmüştür. Modelin başarı metrikleri için farklı sayılarda (200, 500, 1000 ve 2000) ve farklı yarıçaplarda (1, 2, 3 km) kümeleme yapmışlardır. Model, sabah ve akşam olmak üzere günlük iki yoğun talep aralığını dikkate alınarak bisiklet dağıtım optimizasyonu sağlamıştır. Araştırmacılar, önerilen BMCLP modelinin klasik MCLP'ye göre kapsama oranında daha dengeli sonuçlar verdiğini (%75) ve 2000*2000 boyutundaki büyük ölçekli problemleri tam çözümle çözebildiğini rapor etmişlerdir (Muren vd., 2020).

Yue ve diğerleri, ABD'nin Şikago şehrindeki paylaşımlı e-skuter istasyonlarının konumlarının optimal şekilde belirlenmesi konusunda, geleneksel MCLP modeline, kullanıcıların istasyonlara olan yürüme mesafelerini dikkate alan yenilikçi mesafe toleransı fonksiyonu eklemişlerdir. Bu sayede yalnızca talep kapsamının maksimize edilmesi değil, aynı zamanda toplam yürüme mesafesinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Mesafe toleranslı MCLP (Distance Tolerance MCLP - DT MCLP) adı verilen modelde, şehir merkezinde yüksek talep gösteren bölgelerde daha yakın konumlarda istasyonlar kurulması ve şehrin dış bölgelerinde ise istasyonların eşit daha dağınık şekilde dağıtılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışma, derin pekiştirmeli öğrenme (deep reinforcement learning - DRL) algoritması, Gurobi tabanlı deterministik çözüm ve genetik algoritma ile performansları cinsinden karşılaştırılmıştır (Yue vd., 2024). İlgili çalışmada geliştirilen model detaylı incelendiğinde kullanıcı taleplerinin alınabileceği noktalar (I), istasyonların koyulabileceği aday noktaları (J) ve ilgili talep noktalarını kapsayan aday noktaları (N_i) olmak üzere üç veri kümesi tanımlanmıştır. Modelde kullanılan 9 parametre ise aşağıdaki şekilde detaylandırılmıştır.

- **i**: Paylaşımlı e-skuterler için bir talep noktası (TN).
- **j**: Paylaşımlı e-skuter istasyonları için bir aday yerleşim noktası (AN).
- **d_{ij}** : Talep noktası i ile aday nokta j arasındaki yürüme mesafesi.
- **D_{maks}** : Herhangi bir talep noktasından yerleşim istasyonuna olan en fazla mesafe.
- **$F(d_{ij})$** : Yürüme mesafesine bağlı tolerans (mesafe azalış) fonksiyonu.
- **p**: Aday noktaların içinden seçilen istasyon yerleşim noktası sayısı.
- **S_j** : Aday nokta j için en fazla kapsadığı mesafe.
- **w_i** : Talep noktası i'nin yoğunluğu (ağırlığı).
- **Y_{ij}** : Talep noktası i'nin aday nokta j tarafından kapsanıp kapsanmama durumu.

Çalışmada talep noktalarının belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi Sürecinde (AHP) kullanan 13 kritere sahip çok aşamalı bir metodoloji geliştirmişlerdir. Bu kriterler ulaşım erişilebilirliği (tren, metro, otobüs durakları, bisiklet istasyonları, kaldırımlar), nüfus yoğunluğu ve ilgi noktaları (alışveriş merkezleri, parklar, hastaneler, okullar vb.) gibi detayları içermektedir. Her kritere özel mesafe sınırları belirlenmiş ve bu kriterler için mesafe tabanlı doğrusal bulanık üyelik fonksiyonları kullanılarak standardizasyon yapılmıştır. Beş uzman tarafından değerlendirilen AHP yargı matrisi ile her faktörün göreceli önemini gösteren ağırlıklar hesaplanmış ve tutarlılık kontrolleri kontrol edilmiştir. Nihai aşamada, tüm faktörlerin mekânsal üyelik ızgaraları AHP ağırlıklarıyla çakıştırılarak uygunluk haritası oluşturulmuş, her çalışma biriminin merkez noktası talep noktası olarak belirlenmiş ve toplam 2.370 talep noktasının talep yoğunlukları uygunluk

indeksi değerlerine göre atanmıştır. Aday nokta belirleme sürecinde e-skuter verilerindeki gizlilik önlemleri nedeniyle benzeri seyahat kalıpları gösteren paylaşımlı bisiklet verilerini kullanmışlardır. Araştırmacılar, Divvy şirketi tarafından sağlanan ve kullanıcıların başlangıç ve varış noktalarının coğrafi koordinatlarını içeren paylaşımlı bisiklet seyahat verilerinden yararlanmışlardır. Çalışma kapsamında Eylül 2020'ye ait tüm paylaşımlı bisiklet seyahatleri veri seti olarak seçilmiş ve anomaliler için veri temizleme işlemleri yapıldıktan sonra her istasyon için seyahat sıklığı hesaplanmıştır. Aday nokta seçim kriterlerini belirlemek için sıklığı 10'u aşan istasyonlar elektrikli skuterler için aday noktalar olarak seçilmiş ve bu süreç sonucunda toplam 313 aday nokta elde edilmiştir. Çalışmada geleneksel MCLP modellerinin ikili kapsama yaklaşımının (tamamen kapsandı veya hiç kapsamadı) gerçek hayat uygulamalarında yetersiz kaldığı vurgulanmıştır.

Geleneksel modellerde, talep noktaları ile hizmet tesisleri arasındaki mesafe kapsama yarıçapından küçükse tamamen kapsadığı, büyükse hiç kapsamadığı kabul edilmektedir. Ancak, bu yaklaşım, kullanıcıların tesise olan mesafelerine göre yürüme istekliliklerini yansıtmamaktadır. Bu nedenle önerilen modelin en yenilikçi özelliklerinden biri, kullanıcıların yürüme toleransını mesafeye bağlı azalış fonksiyonu olarak ifade etmesidir. Çalışmada önerilen matematiksel formülasyon, yürüme mesafesi ile kullanıcı memnuniyeti arasındaki karmaşık doğrusal olmayan ilişkiyi kosinüs fonksiyonu ile modellemiştir. Denklem (2.9)'da gösterilen fonksiyonda d_a AN'den TN'ye olan en düşük kapsama mesafesini, d_b AN'den TN'ye olan en yüksek kapsama mesafesini, d_{ij} ise talep noktası i 'den aday noktası j 'ye olan mesafeyi göstermektedir. Fonksiyonda üç farklı mesafe aralığı tanımlamıştır: (1) d_a metre içindeki mesafelerde bulunan taleplerin tümü ($F(d_{ij}) = 1$) ilgili istasyon tarafından karşılanabilmektedir, (2) d_a ile d_b metre arasındaki mesafelerde kullanıcı kabulü artan mesafe (kosinüs azalış fonksiyonu) ile azalmaktadır, (3) d_b metreyi aşan mesafelerde kullanıcıların hiçbiri ($F(d_{ij}) = 0$) ilgili istasyonu kabul etmemektedir.

$$F(d_{ij}) = \begin{cases} 1, & d_{ij} \leq d_a \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{\pi}{d_b - d_a} \left(d_{ij} - \frac{d_a + d_b}{2}\right) + \frac{\pi}{2}\right) & d_a < d_{ij} \leq d_b \\ 0, & d_{ij} > d_b \end{cases} \quad (2.9)$$

Çalışma iki tane amaç fonksiyonuna sahiptir. Bu amaçlardan birincisi denklem (2.10)'da gösterildiği şekilde talebinin ağırlıklı toplamını maksimize ederek talep noktalarının kapsamını maksimize etmektedir. İkinci amaç denklem (2.11)'de gösterilen kullanıcılar ile istasyonlar arasındaki mesafeleri minimize ederek erişilebilirliği artırmayı hedeflemektedir.

$$Maks \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_i F(d_{ij}) Y_{ij} \quad (2.10)$$

$$Min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} Y_{ij} \quad (2.11)$$

Çalışmada önerilen model, iki amaç fonksiyonunu tek bir amaç fonksiyonuna dönüştürmek için ağırlıklı toplam yaklaşımını kullanmıştır. Denklem (2.12)'de gösterilen denklemde w_1 en fazla talebin kapsanmasını hedefleyen birinci amaç fonksiyonun ağırlığını, w_2 ise en az toplam yürümeyi hedefleyen ikinci amaç fonksiyonun ağırlığını

ifade etmektedir. Çalışmada kapsama amacını yürüme mesafesine göre daha önceliklendiren şekilde $w_1=0.6$ ve $w_2=0.4$ değerleri seçilmiştir. İlk amaç fonksiyonu ağırlığının ve ikinci amaç fonksiyonun ağırlığından fazla seçilmesi ile kullanıcı talebinin karşılanmasına öncelik verildiği ifade edilmiştir.

$$Maks \quad w_1 \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_i F_{(d_{ij}, d_{ij})} Y_{ij} - w_2 \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} Y_{ij} \quad (2.12)$$

Modelin oluşturulmasında birincisi (2.13)'te gösterilen ve aday istasyon noktasının seçilip seçilmediğini belirten, ikincisi ise (2.14)'te gösterilen aday noktası j 'nin talep noktası i 'yi kapsayıp kapsamadığını belirten iki adet karar değişkeni kullanılmıştır. (2.15)'te ise bu değişkenlerin veri tiplerini göstermektedir. (2.16) ise talep noktası i 'yi kapsayabilen tüm aday noktaları j 'nin kümesini ifade etmektedir.

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{eğer aday nokta } j \text{ seçilirse} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (2.13)$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer aday nokta } j, \text{ talep noktası } i \text{'yi kapsanıyorsa} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (2.14)$$

$$X_j, Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (2.15)$$

$$N_i = \{j \in J \mid d_{ij} \leq S\} \quad (2.16)$$

Çalışmada, dört adet kısıt belirlenmiştir. Bunlardan birincisi (2.17)'te gösterilen kapsama kısıtı bir talep noktasının ancak kapsama mesafesi içindeki kurulmuş bir aday noktası tarafından hizmet alabileceğini garanti etmektedir. Yani eğer talep noktası i 'nin kapsama alanında (N_i kümesinde) hiçbir tesis kurulu değilse ($\sum X_j = 0$) $Y_{ij} = 0$ olmak zorundadır, sadece kapsama alanında en az bir tesis varsa ($\sum X_j \geq 1$), $Y_{ij} = 1$ olabilir şeklinde tanımlanabilir. (2.18)'deki ikinci kısıt seçilecek aday noktası sayısı olarak tanımlanan kurulacak tesis sayısını p ile sınırlamaktadır. (2.19) ve (2.20) her talep noktası i için mutlaka bir tesis j tarafından kapsanmalı ve bu kapsanan talep noktasının aday noktası ile arasındaki mesafe en fazla kapsama mesafesinden fazla olmaması gerektiğini belirtmektedir.

$$Y_{ij} \leq \sum_{j \in N_i} X_j \quad \forall i \in I \quad (2.17)$$

$$\sum_{j \in J} X_j = p \quad (2.18)$$

$$\sum_{j \in J} d_{ij} Y_{ij} - D_{maks} \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (2.19)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} = 1 \quad (2.20)$$

3. MATERYAL VE METOT

Kaynak taramasında detaylandırılan MCLP ve mesafe toleranslı MCLP (DT-MCLP) modellerinin literatüre kattığı yeniliklerin yanında kullanıcıların yürüme davranışlarının modellenmesinde operasyonel başarısını ve gerçek koşullardaki uygulanabilirliğini etkileyen önemli metodolojik eksiklikleri bulunmaktadır. Özellikle, çalışmalarda bulunan mesafeye bağlı azalış fonksiyonunun kullanıcıların gerçek yürüme karakteristiğini ne ölçüde temsil ettiği konusunda yeterli bulgu veya doğrulama çalışması yapılmamıştır. Ayrıca genel yürüme davranışını doğrudan ve ölçülebilir şekilde etkilediği tespit edilen (Broach & Dill, 2015; Meeder vd., 2017) eğimi dahil eden çalışmalar bulunmamaktadır. Bu durum, özellikle topografik farklılıkların görece yüksek olduğu şehirlerde ve bölgelerde önemli bir eksikliğe neden olmaktadır. Bunun yanında kullanıcıların sürüş öncesi yürüme mesafelerinin modellenmesinde kullanılan yürüme toleransı veya istekliliği fonksiyonlarını, kullanıcıların gerçek yürüme davranışlarını yansıtmamaktadır. Ayrıca, sürüş öncesi yürüme sürelerinin veya mesafelerinin sistematik olarak nasıl tespit edileceği konusunda metodolojik eksiklikler bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, istasyonsuz paylaşımlı ulaşım sistemleri için sürüş öncesi yürüme davranışlarına dayalı WB-MCLP adında yeni bir yerleştirme algoritması geliştirilmiştir. Algoritmanın oluşturulması süreçlerine yönelik veri toplama, ön işleme ve analiz, yerleştirme stratejisinin geliştirilmesi, modellerin test edilmesi aşamalarından oluşan bir metodoloji gerçekleştirilmiştir. Ayrıca literatürde mevcut DT-MCLP modeline ek olarak eğim parametresinin değerlendirildiği bir versiyonu hazırlanmıştır.

3.1. DT-MCLP+S

Mesafeye dayalı yürüme davranışını modelleyen orijinal DT-MCLP modeline eğim faktörünün entegre edilmesiyle geliştirilen mesafe ve eğim toleranslı MCLP (DT-MCLP+S) modeli, mevcut modelin güçlü yönlerini korurken coğrafi gerçekçilik düzeyini artırmıştır. Bu sayede, kullanıcıların yalnızca mesafeye değil, aynı zamanda yürüme rotasının eğim özelliklerine bağlı olarak da farklı tolerans seviyeleri sergileyebileceği gerçeği modele yansıtılmıştır. Bu geliştirme kapsamında, literatürde önerilen azalış fonksiyonu olan $F(d_{ij})$ formatı, eğim etkisini de dikkate alacak şekilde $F(d_{ij}, e_{ij})$ formatına dönüştürülmüştür. Burada d_{ij} mesafeyi, e_{ij} ise iki nokta arasındaki eğimi ifade etmektedir.

Geliştirilen model hem mesafe hem de eğim faktörlerini birlikte değerlendiren hibrit bir tolerans fonksiyonu kullanmaktadır. Bu fonksiyon, dik yokuşlarda kullanıcı kabul düzeyinin azaldığını, düz veya hafif eğimli yollarda ise daha yüksek tolerans gösterildiğini modellemektedir. Fonksiyon çıktısının negatif değerlere ulaşmaması için, alınabilecek en düşük değerin 0 olması koşulu getirilmiştir. Bu yapı sayesinde, model gerçek hayattaki yürüme davranışını daha gerçekçi bir şekilde yansıtmakta ve eğim faktörünü dikkate alarak optimizasyon sürecinde daha isabetli yerleşim kararları alınmasını sağlamaktadır. Bu kapsamda, fonksiyon $F(d_{ij}, e_{ij})$ denklem (3.1)'de tanımlandığı şekilde, pozitif eğim (yokuş yukarı) durumunda kapsama değerini eğim oranında azaltmakta; negatif eğim (yokuş aşağı) durumunda ise herhangi bir ceza uygulamayarak gerçekçi yürüme davranışını modellemektedir (Meeder vd., 2017). Böylece, kullanıcıların eğim karşısındaki farklı tolerans seviyeleri kapsama hesaplamalarına dâhil edilmiştir.

$$F_{(d_{ij}, e_{ij})} = \begin{cases} maks \{0, F_{(d_{ij})}(1 - 0.1 * e_{ij})\} & e_{ij} > 0 \\ F_{(d_{ij})} & e_{ij} \leq 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

3.2. Veri Seti

Çalışmada, Ağustos 2022 ile Aralık 2023 tarihleri arasında Türkiye'nin Antalya (Merkez ilçeleri, Kemer, Manavgat, Kumluca), Batman, Elazığ, İzmir, Şanlıurfa ve Yalova'da gerçekleştirilen sürüş verileri incelenmiştir. Verileri paylaşımlı bir e-skuter hizmeti sağlayıcısı GEZ firmasından kişisel verilerden arındırılmış şekilde elde edilmiştir (GEZ, 2025). İki farklı cihazdan veriler elde edilmiştir. Bunlardan birincisi sürüş ile ilgili detayların alındığı, aracın üzerinde bulunan, konum (GPS koordinatları), hız, mesafe ve süre gibi bilgileri toplayan IoT cihazıdır. İkincisi ise sistemin kullanılmasına olanak sağlayan mobil uygulama aracılığıyla akıllı telefonda elde edilen konum ve zaman damgası gibi bilgilerdir. Çizelge 3.1, her bir sürüş parametrelerini ve yolculukların başlangıç tarihi ve saatleri için zamansal türetilmiş değişkenleri detaylandırmaktadır. Çizelge 3.2, mobil uygulama aktifken toplanan konum telemetri verilerini içeren konum telemetrisi kayıtlarının parametrik ayrıntılarını sunmaktadır.

Çizelge 3.1. Veri setindeki sürüş tablosunun detayı

Parametreler	Açıklama (Karakteristik)
Kullanıcı No	Sürüşü gerçekleştiren kullanıcı numarası (eşsiz)
Sürüş No	Sürüşün numarası (eşsiz)
Skuter No	Sürüşte kullanılan e-skuterin numarası (eşsiz)
Mesafe	Sürüşün km cinsinden mesafesi
Süre	Sürüşün dk cinsinden süresi
Telemetri	Sürüş sırasında belirli aralıklarla alınan telemetri verisi
Koordinatlar	Sürüş başlangıç ve bitişindeki koordinatlar (enlem, boylam)
Sürüş Zamanları	Sürüş başlangıç ve bitişindeki zaman damgaları (YYYY-MM-DD hh:mm)
*Şehir	Sürüşün gerçekleştiği şehir ya da ilçe
*Rakım	Sürüş başlangıcındaki metre cinsinden rakım
*Yürüme Süresi	Sürüş ile konum telemetrisinin ilk değeri arasındaki dakika cinsinden zaman farkı

* Orijinal veri setinde yer almayan sonradan hesaplanan değişkenler. Rakım bilgisi "open-elevation.com" platformundan elde edilmiştir (Open-Elevation API, 2025).

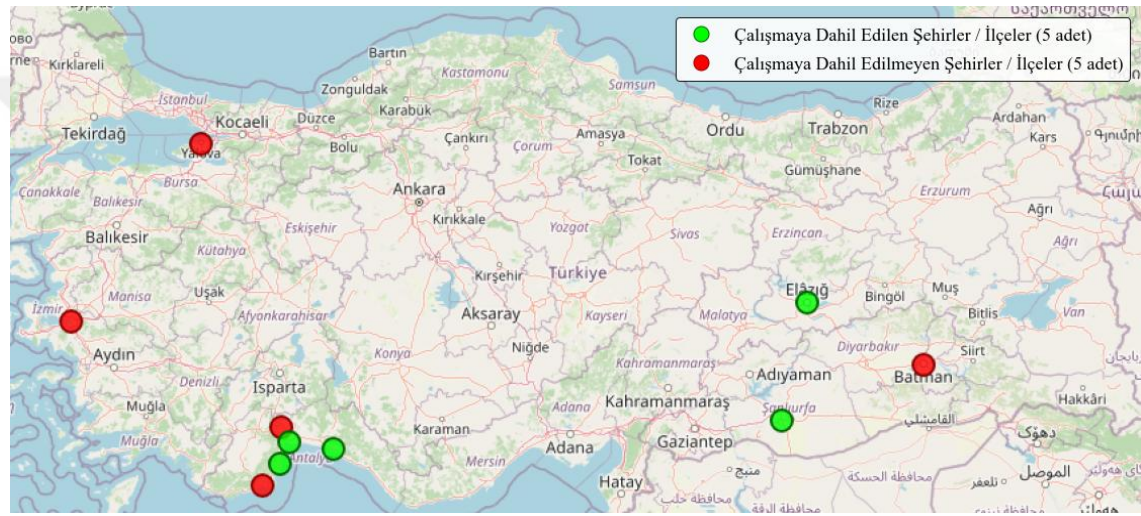
Çizelge 3.2. Veri setindeki kullanıcı konum telemetri tablosunun detayı

Parametreler	Açıklama (Karakteristik)
Log No	Konum telemetrisi kaydının numarası (benzersiz)
Kullanıcı No	Konum telemetrisinin alındığı kullanıcı numarası (benzersiz)
Koordinatlar	Konum kaydının alındığı koordinatlar (enlem, boylam)
Log Zamanı	Konum telemetrisi zaman damgası (YYYY-MM-DD hh:mm)
*Rakım	Konum telemetrisi koordinatındaki metre cinsinden rakım

Sürüş süresi 1 dakikanın altında olan sürüş kayıtlar elenmiştir. Çalışmaya, sürüş sayısı 75.000 ve üzerinde olan ve en az 12 ay verisi bulunan bölgeler dahil edilmiştir. Çizelge 3.3'te veride bulunan ve dahil edilen yerleri ve sürüş sayılarını göstermektedir. Şekil 3.1 ise çalışmaya dahil edilen ve edilmeyen şehir ve ilçeler haritada gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Hizmet bölgelerindeki sürüş sayılarının bölgeler bazında dağılımı

Bölge	Sürüş Sayısı (adet)	Tarihler (Veri süresi-ay)	Dahil
Manavgat	229.013	08.2022 – 12.2023 (17)	✓
Kemer	146.216	08.2022 – 12.2023 (17)	✓
Şanlıurfa	139.133	10.2022 – 12.2023 (15)	✓
Elazığ	82.646	11.2022 – 12.2023 (14)	✓
Antalya	77.577	08.2022 – 12.2023 (17)	✓
Yalova	30.790	08.2023 – 12.2023 (5)	
Batman	27.635	09.2023 – 12.2023 (4)	
Döşemealtı	9.454	08.2022 – 12.2023 (17)	
İzmir	7.748	08.2022 – 12.2023 (17)	
Kumluca	5.863	05.2022 – 07.2022 (3)	

**Şekil 3.1.** Çalışmaya dahil edilen ve edilmeyen bölgeler

3.3. Sürüş Öncesi Yürüme Davranışının Modellenmesi

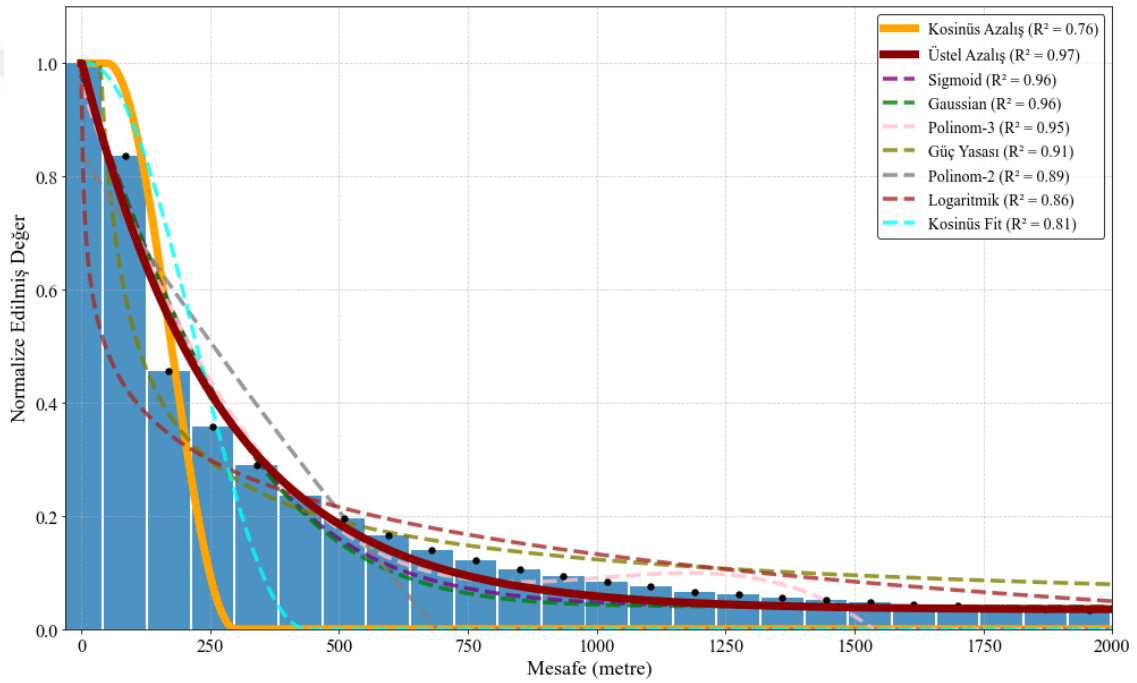
Sürüş öncesi yürüme davranışının, şehirler arasındaki dengeyi koruyan, verideki yanlışlığı ve sızıntıyı önleyen şekilde matematiksel olarak modellenmesi amacıyla, çok aşamalı işlem adımları gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, deneylerin tekrar edilebilirliği ve zamansal yanlışlığı önlemek adına her bölgenin verisi kendi içinde hash tabanlı olarak deterministik şekilde karıştırılmıştır. Karıştırılan verinin ilk %70'lik kısmı modelin eğri yakıştırması (curve fitting) amacıyla ayrılmıştır. Bu veri, literatürde raporlanan 85 m/dk ortalama yürüme hızıyla çarpılarak mesafeye dönüştürülmüştür (Baroudi vd., 2022).

$$\bar{y} = \frac{y_i}{\max_j y_j} \quad (3.2)$$

Daha sonra mesafeler eşit genişlikte sınıflara ayrılarak (sınıf merkezleri x_i) bir histogram elde edildi ve fit (yakıştırma) işleminin sayısal kararlılığını artırmak için maksimuma bölerek normalize edildi. İlgili işlem denklem (3.2)'te matematiksel olarak gösterilmiştir. Hesaplama için Python ortamında curve_fit fonksiyonu kullanılarak 8 farklı model test edilmiştir. Analiz edilen modeller; Şekil 3.2'de gösterilen üstel azalış

fonksiyonu, Yue ve diğerlerinin çalışmasında kullanılan parçalı kosinüs, sigmoid, Gaussian, güç yasası, logaritmik, ikinci ve üçüncü derece polinom fonksiyonlarıdır. Değerlendirme ölçütü olarak modelin bağımlı değişkendeki toplam varyansın ne kadarını açıkladığını gösteren determinasyon katsayısı R^2 kullanıldı. Model performansları belirlilik katsayısı (R^2) kullanılarak karşılaştırılmıştır. Yue ve diğerleri tarafından kullanılan parçalı kosinüs tolerans fonksiyonunun (Yue vd., 2024) yürüme davranışını kısmen temsil edebildiği ($R^2=0,761$) görülmüştür. Diğer modellerde ise, sigmoid ve Gaussian $R^2 = 0.96$, üçüncü derece polinom $R^2 = 0.95$, güç yasası $R^2 = 0.91$, ikinci derece polinom $R^2 = 0,89$, ve logaritmik $R^2=0.86$ değerleri elde edilmiştir. Üstel azalış fonksiyonu (denklem (3.3)) $\alpha=0.972002$, $\beta=0.003723$, $\theta=0.034596$ parametreleri için $R^2 = 0.97$ değeriyle en yüksek açıklama gücüne sahip olmuştur.

$$F_{(d)} = \alpha * e^{(\beta*d)} + \theta \quad (3.3)$$



Şekil 3.2. Çeşitli modellerinin yürüme davranışını temsil etme performansları

3.4. Talep Noktası Tespiti

Talep noktası (TN), kullanıcıların mobil uygulamayı açarak skuter kiralama sürecine başladıkları konumdur. TN belirlenmesi adımı yürüme davranışının modellenmesi için kullanılan %70'lik kısmının dışında kalan %30'luk kısmı kullanılmıştır. Böylece hem model parametrelerinin bağımsız bir veri diliminde öğrenilmesi hem de algoritmanın farklı veri alt kümeleri üzerindeki genelleme başarısının güvenilir şekilde değerlendirilmesi sağlanmıştır. TN tespitinde, kullanıcının sürüş başlangıç zamanı referans alınarak geriye doğru en fazla bir saatlik zaman dilimi içerisinde yer alan ilk (en eski) kullanıcı konum telemetrileri (KKT), TN olarak işaretlenmiştir. Aynı kullanıcının bir saatlik zaman dilimi içerisinde aynı TN ile ilişkilendirilmiş birden fazla sürüş gerçekleştirilmesi durumunda ise yalnızca ilk sürüş dikkate alınmıştır. Bir saatlik zaman penceresinin belirlenmesi, literatürdeki çalışmalarda

elde edilen sonuçların sürüş öncesi yürüme sürelerinin 15 dakikanın altında olduğu bulgularına dayanmaktadır. Sürüş öncesi geçen süre (GS), sürüş başlangıcı ile ilk konum telemetrisine ait zaman damgaları arasındaki fark üzerinden hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4'te elde edilen TN verisi belirleme adımına ait bulgular gösterilmektedir. Bu tabloda ilgili kaydın alındığı kullanıcı numarası, ilk log kaydının alındığı zaman damgası, sürüşün başladığı zaman damgası, iki kayıt arasındaki saniye cinsinden zaman farkı, ilgili sürede alınan log kaydı sayısı ve ilk log kaydından önceki kayıt ile arasındaki zaman farkı gösterilmektedir. Zaman farkını gösteren sütun uygulamanın bir önceki açılma zamanını gösteren değişkendir. Bu değişken değerinin büyük olması talebin başladığı zamana ait ayrımın doğru bir şekilde yapıldığını göstermektedir.

Çizelge 3.4. Talep noktası hesaplaması adımında oluşturulan örnek kayıtlar

Kullanıcı No	TN Log Kaydı Zamanı	Sürüş Başlangıç Zamanı	Geçen Süre (GS) (sn)	Log Sayısı (adet)	TN Log Kaydından Önceki Log ile Zaman Farkı (sn)
27479721	2023-10-29 16:37:28	2023-10-29 16:38:36	68	7	31666
1882336	2023-06-21 20:19:45	2023-06-21 20:22:40	175	11	15729
15987625	2023-08-31 18:16:14	2023-08-31 18:19:18	184	9	15712
4940739	2023-07-07 19:39:03	2023-07-07 19:48:45	582	34	4308
131070	2023-06-14 15:00:30	2023-06-14 15:06:28	358	25	3290

Talep noktalarının koordinat bilgileri, hesaplama kolaylığı açısından virgülden sonra dört basamak (ortalama enlemde 11 m, boylamda ise 9 m) hassasiyete sahip olacak şekilde sınırlandırılarak gruplanmıştır. Her gruplanan talep noktası için gerçekleşen sürüş sayısı hesaplanarak, TN'nin ağırlık değeri (w_i), her şehirdeki toplam ağırlığın 1 olmasını sağlayacak şekilde, şehirde/ilçede gerçekleşen toplam sürüş sayısına bölünerek normalize edilmiştir. Çizelge 3.5'te elde edilen TN veri setinden alınmış örnek kayıtları göstermektedir. Her talep noktası için no sütununda benzersiz tanımlayıcı, enlem ve boylam sütunlarında coğrafi konum bilgisi, sürüş sayısı sütununda o noktadaki toplam tekil talep sayısı, şehir sütununda noktanın bulunduğu şehir ve ağırlık sütununda ise o noktadaki talep sayısının ilgili şehirdeki toplam talep sayısına oranı ile bulunan ağırlığı verilmiştir. Çizelge 3.6'da 5 şehirdeki TN sayıları gösterilmektedir.

Çizelge 3.5. Örnek talep noktası verisi

No	Enlem	Boylam	Talep Sayısı	Şehir	Ağırlık
138061	36.8928	30.6417	362	Antalya	0.00467
79425	36.7869	31.4470	284	Manavgat	0.04213
34129	36.6106	30.5552	256	Kemer	0.00175
234972	38.6746	39.1906	122	Elazığ	0.00148
158510	37.1655	38.7954	82	Şanlıurfa	0.00059

Çizelge 3.6. Şehirlere göre farklı talep noktası sayıları

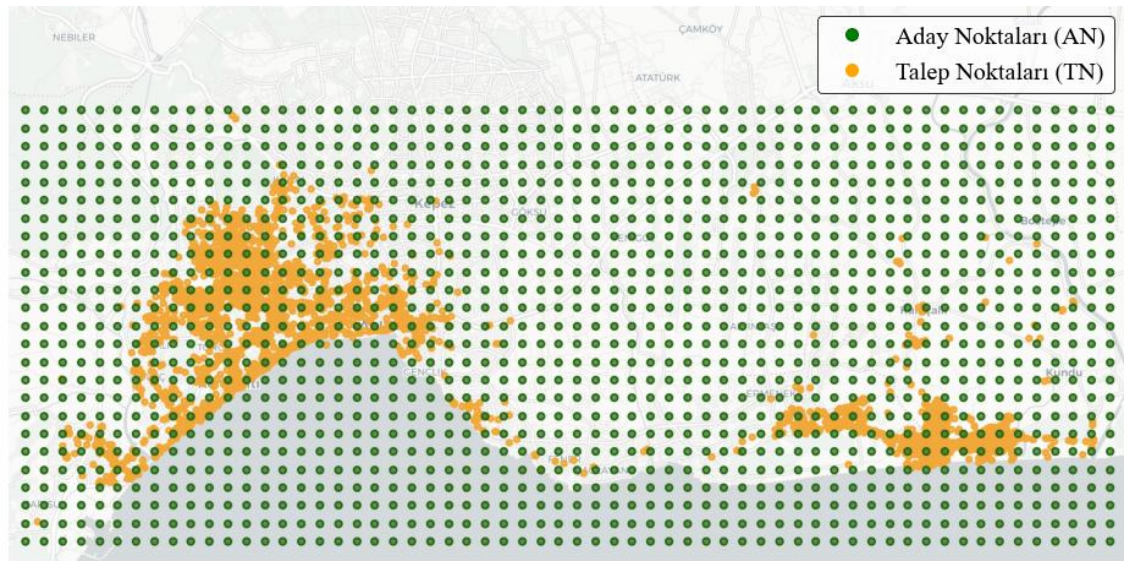
Şehir	Toplam TN Sayısı
Manavgat	36.847
Şanlıurfa	27.735
Kemer	20.714
Elazığ	16.128
Antalya	13.467
TOPLAM	114.891

3.5. Aday Noktası Belirlenmesi

Konumlandırma stratejisinin uygulanabilmesi için skuterlerin yerleştirilebileceği aday noktalarının (AN) belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, hizmet verilen şehir ve ilçenin sınırları referans alınarak kare ızgara yapısında potansiyel yerleşim noktaları oluşturulmuştur. Oluşturulan ızgara hücrelerinin içerisinde herhangi bir TN bulunmayanlar, boş hücrelerin atlanması (skip empty cells) yöntemiyle filtrelenmiştir. Çalışmada, operasyonel gereksinimleri ve yerleştirme hassasiyetini değerlendirmek amacıyla farklı boyutta (250, 500, 750 ve 1000 m'lik) kare şeklinde ızgaralar karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.7'de hizmet verilen şehir ve bölge sınırlarının koordinatları verilmiştir.

Çizelge 3.7. Hizmet verilen bölgelerin coğrafi sınırları

Hizmet Verilen Bölge	Coğrafi Alt Sınır	Coğrafi Üst Sınır
Manavgat	36.70500, 31.25576	36.86500, 31.57677
Şanlıurfa	37.07709, 38.60115	37.28170, 39.06463
Kemer	36.52453, 30.48500	36.70760, 30.62301
Elazığ	38.60120, 39.08010	38.73102, 39.30103
Antalya	36.82500, 30.58030	36.94519, 30.95040

**Şekil 3.3.** Antalya'daki filtrelenmemiş aday noktası haritası

- **Parametreler:**

- i : Paylaşımlı e-skuterler için bir talep noktası (TN).
- j : Paylaşımlı e-skuterler için bir aday noktası (AN).
- b : Hizmet verilen bir bölge.
- t_i : Talep noktası i 'deki toplam talep sayısı (kişi).
- T_b : Bölge b 'deki toplam talep sayısı (kişi).
- d_{ij} : TN i ile AN j arasındaki mesafe (m).
- r_{ij} : TN i ile AN j arasındaki (pozitifse AN yukarıda) (m).
- e_{ij} : TN i ile AN j noktalarının eğimi (pozitifse AN yukarıda) (%).
- D_{maks} : TN ile AN arasında kabul edilen maksimum kapsama mesafesi (m).
- $F(d_{ij})$: Mesafe değişkenli yürüme tolerans fonksiyonu.
- $F(d_{ij}, e_{ij})$: Mesafe ve eğim değişkenli yürüme tolerans fonksiyonu.
- p : AN kümesi içinden seçilecek yerleşim noktası sayısı.
- w_i : Talep noktası i 'nin bulunduğu bölge içindeki normalize ağırlığı.
- α : Genelleştirilmiş amaç fonksiyonundaki ilk fonksiyonun ağırlığı.
- β : Genelleştirilmiş amaç fonksiyonundaki ikinci fonksiyonun ağırlığı.

- **Karar Değişkenleri:**

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{eğer aday nokta } j \text{ seçilirse} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (3.4)$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{TN } i, \text{ AN } j \text{ tarafından kapsanıyorsa} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (3.5)$$

Denklem (3.4)'te X_j değişkeni, AN j 'nin seçilip seçilmediğini gösteren karar değişkendir. Denklem (3.5)'te Y_{ij} değişkeni, TN i 'nin AN j tarafından hizmet alıp almadığını gösteren karar değişkendir.

Denklem (3.6)'da her şehirdeki toplam talep, o şehre ait tüm talep noktalarındaki talep sayılarının toplamı olarak tanımlanır. Talep noktası i 'deki ağırlık, ilgili noktadaki toplam talebin, ilgili şehirdeki toplam talebe oranıdır ve değerlerin tanımlı olması için $T_b > 0$ olmalıdır (denklem (3.7)). Her şehirdeki talep noktalarının ağırlıkları toplamı 1 olmaktadır (denklem (3.8)).

$$T_b = \sum_{i \in I_b} t_i \quad \forall b \in B \quad (3.6)$$

$$w_i = \frac{t_i}{T_b} \quad \forall i \in I_b \quad (3.7)$$

$$\sum_{i \in I_b} w_i = 1 \quad \forall b \in B \quad (3.8)$$

Denklem (3.9)'da gösterilen e_{ij} , TN i 'den AN j 'ye olan yüzdelik eğim değerini ifade etmektedir. Bu değer, r_{ij} (AN j ile TN i 'nin arasındaki yükseklik farkı) ile d_{ij} (TN i ve AN j 'nin arasındaki mesafe) oranının 100 ile çarpılmasıyla elde edilir.

$$e_{ij} = \frac{r_{ij}}{d_{ij}} \times 100 \quad (3.9)$$

Mesafeye bağlı azalış veya yürüme tolerans fonksiyonu denklem (3.10)'daki şekilde üstel azalış fonksiyonu tanımlanmıştır. Eğim faktörü dahil edilerek hem mesafeye hem de eğime bağlı azalış fonksiyonu denklem (3.11)'de belirtildiği şekilde elde edilmiştir. Literatürdeki bulgulara paralel şekilde aşağı yönlü eğimin ($e_{ij} \leq 0$) yürüme toleransı üzerinde etkisinin olmadığı değerlendirilmiştir (Meeder vd., 2017).

$$F_{(d_{ij})} = 0,972002 \times e^{(-0,003723 \times d_{ij})} + 0,034596 \quad (3.10)$$

$$F_{(d_{ij}, e_{ij})} = \begin{cases} maks \{0, \min \{1, F_{(d_{ij})}(1 - 0.1 \times e_{ij})\}\} & e_{ij} > 0 \\ F_{(d_{ij})} & e_{ij} \leq 0 \end{cases} \quad (3.11)$$

Çalışmada önerilen model iki amaç fonksiyonundan oluşmaktadır. Denklem (3.12)'de gösterilen birinci amaç fonksiyonu kısmi kapsanan TN ağırlıklarının toplamının maksimize edilmesini hedeflemektedir. Denklem (3.13)'te gösterilen ikinci amaç fonksiyonu ise kapsanan TN ağırlıklarının mesafesini minimize etmeyi hedeflemektedir.

$$Maks \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_i F_{(d_{ij}, e_{ij})} Y_{ij} \quad (3.12)$$

$$Min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_i d_{ij} Y_{ij} \quad (3.13)$$

Genelleştirilmiş amaç fonksiyonu iki amaç fonksiyonunun doğrusal olarak birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Burada, α ve β amaç fonksiyonlarının ağırlık katsayılarıdır ve $\alpha + \beta = 1$ koşulunu sağlamaktadır. Böylece genelleştirilmiş amaç fonksiyonu denklem (3.14)'te gösterildiği üzere en fazla sayıda talebin, en kısa yürüme mesafesine sahip şekilde karşılanmasını hedeflemektedir.

$$Maks \quad \alpha \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_i F_{(d_{ij}, e_{ij})} Y_{ij} - \beta \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_i d_{ij} Y_{ij} \quad (3.14)$$

Denklem (3.15)'te gösterilen kısıt, TN i'nin AN j'den hizmet alabilmesi için j aday noktasının mutlaka seçilmiş olması gerektiğini ifade etmektedir. Eğer bir AN seçilmemişse ($X_j = 0$), o AN'den hiçbir TN'nin hizmet alamadığını belirtir. ($Y_{ij} = 0$). Bu kısıt, mantıksal tutarlılığı sağlar ve var olmayan noktalardan hizmet alınmasını engellemektedir. Denklem (3.16)'da gösterilen kısıt, seçilecek AN sayısının önceden belirlenen p değerine eşit olmasını sağlamaktadır. Bu kısıt, bütçe veya kaynak sınırlılığını yansıtan temel kısıttır. Denklem (3.17)'de verilen kısıt TN i ile AN j arasındaki mesafenin en fazla hizmet verilebilen hizmet mesafesinden (d_{maks}) büyük olduğu durumlarda, TN i, AN j'den hizmet alamadığını belirtmektedir. Denklem (3.18)'de belirtilen kısıt ise, her TN'nin en fazla bir AN'den hizmet alabileceğini belirtmektedir. Ayrıca bu kısıt, bazı

talep noktalarının hiç hizmet alamama durumuna da izin vermektedir. Denklem (3.19)'da modelde kullanılan karar değişkenlerinin ikili (binary) değişken olduğunu belirtmektedir.

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.15)$$

$$\sum_{j \in J} X_j = p \quad (3.16)$$

$$d_{ij} Y_{ij} \leq d_{maks} X_j \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.17)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (3.18)$$

$$X_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J, \quad Y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.19)$$

3.7. Deneyler

Yerleştirme aşamasında RY, GA, DT-MCLP, DT-MCLP+S ve önerilen WB-MCLP modelleri test edilmiştir. Dört farklı ızgara boyutu (250, 500, 750 ve 1000 m) kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde, her algoritmanın performansı tekrarlı k-katlı çapraz doğrulama (repeated k-fold cross validation) yöntemi (k=5, tekrar=6) ile ölçülmüştür. Her iterasyon için ortalama yürüme süresi ve kapsama oranı hesaplanmış; 30 iterasyondan elde edilen bu metriklerin aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları belirlenerek algoritmaların başarıları karşılaştırılmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalarla (Yue vd., 2024) sonuçları karşılaştırmak için yerleşim istasyonu sayısı tüm bölgelerde ve tüm ızgara boyutlarında 50 olarak seçilmiştir.

Konuşlandırma modellerine ilişkin tüm hesaplama ve analizler, MacBook Pro M2 donanımına sahip (3.49 GHz, 16 GB RAM) bir bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada veri depolama ve yönetimi için PostgreSQL veri tabanı kullanılmış, veri erişimi ise pgAdmin 4 arayüzü üzerinden sağlanmıştır. Optimizasyon modelinin geliştirilmesinde Python 3.10.9 programlama dili tercih edilmiş ve kodlama süreci Spyder IDE ortamında yürütülmüştür. Sonuçların değerlendirilmesi ve performans optimizasyonu için NumPy, Pandas ve SciPy kütüphanelerinden yararlanılmıştır.

Modellerin çözümünde Gurobi Optimizer 12.0.3 çözücü yazılımı kullanılmıştır (Gurobi Optimizer, 2025). Gurobi çözücüsü, deterministik çözüm parametreleri ile çalıştırılmış, optimizasyon boşluğu toleransı (MIP Gap) 0 olarak ayarlanmış ve herhangi bir zaman sınırı uygulanmamıştır. Gurobi çözücü parametreleri, deterministik sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla özel olarak yapılandırılmıştır. Bu kapsamda Gurobi seed değeri 42 olarak atanmış, iş parçacığı (thread) sayısı 1'e sabitlenmiştir. Çözüm yöntemi olarak Barrier yöntemi (Method = 2) seçilmiş, ön işleme (Presolve) parametresi 1 değerine ayarlanarak standart ön işleme etkinleştirilmiş, ayrıca kesim düzlemleri devre dışı bırakılmıştır (Cuts = 0).

3.7.1. Rastgele yerleştirme

Geliştirilen optimizasyon algoritmalarının performansını değerlendirmek için bir karşılaştırma referansı olarak RY seçim yöntemi uygulanmıştır. Rastgele seçim algoritması, AN kümesi içinden belirlenen sayıda (p) istasyonu seçmektedir. Python programlama dilinde `random.sample()` fonksiyonu kullanılarak, aday nokta numaralarından p tanesi tekrarsız örnekleme prensibine dayalı şekilde seçilmiştir. Bunun için ilk olarak, ızgara şeklinde oluşturulan tüm aday noktalarının numaraları liste formatına dönüştürülmüştür. `random.sample()` fonksiyonu Fisher-Yates karıştırma algoritması kullanarak listenin elemanlarını karıştırıp, ilk p elemanı seçmektedir.

3.7.2. Genetik algoritma

Zhong'un çalışmasında kullanıldığı şekilde (Zhong, 2025) popülasyon büyüklüğü 100, nesil sayısı (iterasyon sayısı) 200, çaprazlama olasılığı 0,4 ve mutasyon olasılığı 0,1 olarak belirlenmiştir. Algoritmanın uyum fonksiyonu hem kapsama oranını hem de ortalama yürüme mesafesini dikkate alacak şekilde tanımlanmıştır. Buna göre denklem (3.20)'de gösterildiği şekilde kapsanan talepler (c) %60, km cinsinden toplam yürüme mesafeler (d_i) ise %40 ağırlığa sahiptir. Kapsanan talepler $d_b=300$ m için hesaplanmıştır ve denklemdeki w_i TN'lerin ağırlığını göstermektedir.

$$Fitness = 0,6 * \sum_i w_i * c - 0,4 * \sum_i w_i * d_i \quad (3.20)$$

Çaprazlama (crossover) aşamasında “uniform crossover” yöntemi kullanılmış, mutasyon aşamasında ise `mutate_individual` fonksiyonu ile rastgele seçilen bir AN başka bir AN ile değiştirilmiştir. Ebeveyn seçimi için Tournament Selection yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde, her ebeveyn seçimi sırasında popülasyondan rastgele üç birey seçilmekte, bu bireyler arasından en yüksek uyum değerine sahip olan birey ebeveyn olarak belirlenmektedir. Her nesilde, en yüksek uyum değerine sahip olan birey doğrudan bir sonraki nesle aktarılmış (elitizm) ve böylece iyi çözümlerin korunması sağlanmıştır. Ayrıca, algoritmanın hesaplama verimliliğini artırmak amacıyla, on nesil boyunca uyum değerinde anlamlı bir iyileşme gözlemlenmemesi ($e < 10^{-6}$) durumunda iterasyon süreci erken sonlandırılmıştır.

3.7.3. Mesafe toleransı tabanlı MCLP (DT-MCLP)

Bu modelde, Yue vd. çalışmasında bulunan kapsama değerinin mesafeye göre değişimini tanımlamak amacıyla, denklem (2.9)'da verilen kosinüs azalış fonksiyonu ve çalışmadaki parametrelerin değerleri kullanılmıştır (Yue vd., 2024). Bu fonksiyon, kullanıcıların belirli bir mesafe aralığında hizmete olan ilgisinin yüksek olduğunu, ancak mesafe arttıkça bu ilginin kademeli olarak azaldığını modellemektedir. Modelde mesafe toleransını belirleyen iki eşik değeri $d_a=50$ m, $d_b=300$ m ve $d_{maks}=300$ m olarak kullanılmıştır. Fonksiyonun ağırlık katsayıları $\alpha=0,6$ ve $\beta=0,4$ 'tür. Bu katsayılar, fonksiyonun şeklinin kullanıcı davranışına uyumunu kontrol etmekte ve mesafeye bağlı azalışın hızını belirlemektedir. Denklem (2.20)'deki tüm TN'nin kapsanması ile ilgili kısıt çalışmamızda uygulanmamıştır.

3.7.4. Eğim dahil edilmiş mesafe toleransı tabanlı MCLP (DT-MCLP+S)

Bu modelde de DT-MCLP’de olduğu gibi kapsama değerinin mesafeye göre değişimini tanımlamak amacıyla, denklem (2.9)’da verilen kosinüs azalış fonksiyonu kullanılmıştır. DT-MCLP+S modelinin temel farkı, mesafeye dayalı azalış fonksiyonuna eğim parametresinin de entegre edilmesidir. Bu sayede, kullanıcıların yürüme davranışının yalnızca mesafeye değil, aynı zamanda rotadaki eğim koşullarına da bağlı olarak değişebileceği gerçeği modele yansıtılmıştır. Eğim faktörü, denklem (3.3)’te tanımlanan biçimde azalış fonksiyonuna eklenmiş ve böylece dik yokuşlarda kapsama değeri ceza olarak azaltılırken, düz veya yokuş aşağı rotalarda herhangi bir ceza uygulanmamıştır.

3.7.5. Yürüme davranışı tabanlı MCLP (WB-MCLP)

Önerilen modelde, kapsama değeri hesaplamasında, veri üzerinde en iyi uyumu sağlayan fonksiyon formu, denklem (3.3)’te gösterildiği şekilde kullanılmıştır. Böylece, kullanıcıların sürüş öncesi yürüme davranışını tanımlayan fonksiyon doğrudan saha verilerinden türetilmiş ve modelin temel bileşeni hâline getirilmiştir. WB-MCLP modelinin en önemli farkı, yalnızca mesafe bazlı bir azalış fonksiyonu kullanmak yerine, gerçek yürüme davranışı modeli ile topografik faktörlerin etkisini birlikte değerlendirmesidir. DT-MCLP modelinden farklı şekilde d_{maks} değeri sistemin hizmet alanındaki tüm TN-AN çiftlerini analiz edebilmesi için sınırsız olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, denklem (3.4)’te tanımlandığı üzere, eğim parametresi de modele entegre edilerek dik yokuşlarda kapsama değerinin ceza olarak azalması, düz veya yokuş aşağı rotalarda ise ceza uygulanmaması sağlanmıştır.

3.8. Değerlendirme metrikleri

Modellerin performansını karşılaştırmak amacıyla iki farklı değerlendirme metriği kullanılmıştır. Bunlardan birincisi tüm test TN için “Ortalama Yürüme” mesafeleridir. Bu metrik, yalnızca kapsanan TN’ler değil kapsanmayan TN’leri de dahil ederek kullanıcıların istasyona ulaşmak için kat ettikleri ortalama mesafeyi yansıtarak, yerleşim stratejilerinin kullanıcı konforu üzerindeki etkisini değerlendirme olanağı sağlamaktadır.

İkinci metrik ise kapsama performansının değerlendirilmesine yarayan “Kapsanan Toplam Talep” olarak seçilmiştir. Bu metrik belirlenen eşik değerin altında olanların tamamen kapsandığını, onun dışındakilerin ise kapsanmadığını değerlendiren ikili kapsama yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışmada bu değerlendirme metrikleri 300 m eşik mesafesi için yapılmıştır.

4. BULGULAR

Bu bölümde, istasyonsuz paylaşımlı e-skuter sistemlerine yönelik önerdiğimiz WB-MCLP konumlandırma stratejisinin bulgularına yer verilmiştir. Kullanıcıların %53,88'i e-skuter kullanımına başlamadan önce 5 dk veya daha kısa, %67,77'si ise 10 dk veya daha kısa yürüyerek e-skutere ulaşmaktadır. Tüm kullanıcılar için ortalama yürüme süresi 12,32 dk, medyan süre ise 4,14 dk, ortalama yürüme hızı 34,36 m/dk olarak hesaplanmıştır. Ortalama yürüme mesafesi ise 423,42 m olarak bulunmuş, bu da kullanıcıların genellikle kısa mesafeler kat ederek e-skutere ulaştığını göstermektedir.

Çizelge 4.1. Sürüş öncesi yürüme süresi istatistikleri

Şehir	Ortalama (dk)	Birinci Çeyrek (dk)	Medyan (dk)	Üçüncü Çeyreklik (dk)
Antalya	7,99	0,50	1,72	6,88
Elazığ	15,05	1,78	6,89	21,61
Kemer	10,65	0,56	2,93	11,33
Manavgat	12,89	1,12	4,78	16,30
Şanlıurfa	13,94	1,13	5,11	18,99

Çizelge 4.1 sürüş öncesi yürüme sürelerinin detaylı istatistiklerini göstermektedir. Buna göre, şehirler arasında kullanıcıların sürüş öncesi ortalama yürüme sürelerinde belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. En düşük ortalama süre 7,99 dk ile Antalya'da, en yüksek ortalama süre ise 15,05 dk ile Elazığ'da gerçekleşmiştir. Medyan değerlere bakıldığında da benzer bir sıralama gözlenmekte olup, Elazığ (6,89 dk) ve Şanlıurfa (5,11 dk) en uzun medyan sürelerle sahiptir. Birinci çeyreklik (Q1) ve üçüncü çeyreklik (Q3) değerleri şehirlerdeki yürüme sürelerinin dağılımı hakkında bilgi vermekte, Elazığ (Q3: 21,61 dk) ve Şanlıurfa'nın (Q3: 18,99 dk) daha geniş bir dağılıma sahip olduğu, buna karşılık Antalya'nın (Q3: 6,88 dk) en dar dağılıma sahip olduğu görülmektedir.

Antalya'nın aylara göre ortalama yürüme süreleri analiz edildiğinde, Ağustos 2022'de 9,20 dk seviyesinde olduğu, ancak yılın sonuna doğru kademeli olarak azalarak Aralık 2022'de 6,29 dk kadar düştüğü görülmektedir. 2023 yılı başında ortalama süre 5,92 dk ile en düşük seviyelerden birine ulaşırken, yaz aylarına doğru tekrar artış göstermiş ve özellikle Temmuz ayında 12,13 dk ile en yüksek değere ulaşmıştır. Medyan değerler de benzer bir eğilim sergilemiş, Temmuz ayında 3,56 dk ile belirgin bir artış göstermiştir. İlk çeyrek süreleri (Q1) genellikle 0,40–0,59 dk aralığında seyretmiş, üçüncü çeyrek (Q3) süreleri ise yaz aylarında belirgin şekilde yükselmiştir. Kullanıcıların 5 dk üzerinde yürüyerek skutere ulaşma oranı kış aylarında %22,81–29,13 aralığındaki düşük seviyelerde iken yaz aylarında, özellikle Temmuz'da, %43,84'e kadar yükselmiştir. Benzer şekilde 10 dk üzerinde ulaşma oranı kış aylarında %15,44'e kadar düşerken yaz aylarında %30,99 seviyelerine kadar yükselmiştir. Bu veriler, mevsimsel ve operasyonel faktörlerin kullanıcıların yürüme süreleri ve mesafeleri üzerinde belirgin etkiler yarattığını ortaya koymaktadır.

Elazığ'ın aylara ortalama yürüme sürelerinin Kasım 2022'de 21,82 dk ile en yüksek seviyesinde olduğu, Aralık ayında ise 16,80 dakikaya gerilediği görülmektedir. 2023 yılı boyunca ortalama süreler 11,86–16,53 dk aralığında seyretmiş, en düşük ortalama süre Kasım ayında 11,86 dk olarak kaydedilmiştir. Medyan süreler

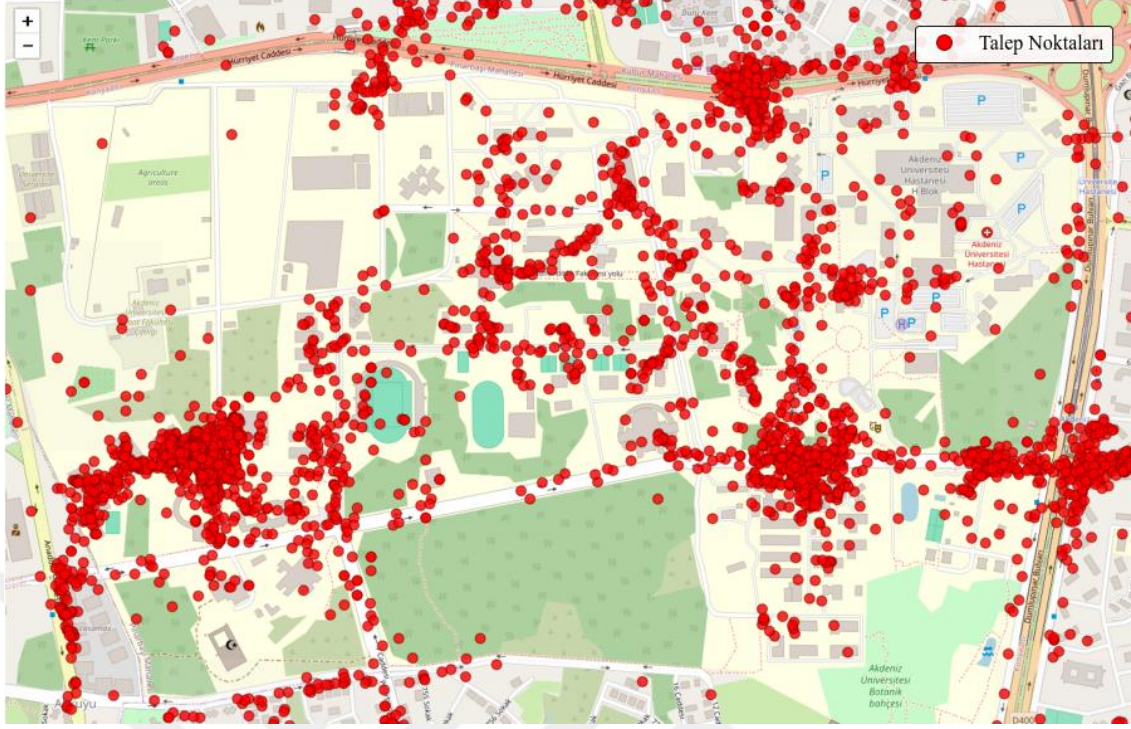
incelendiğinde, Kasım 2022’de 13,37 dk ile yüksek değer görülürken, 2023 yılı boyunca medyan değerler 5,06–7,96 dk aralığında kalmıştır. İlk çeyrek (Q1) süreleri genellikle 1,04–3,82 dk aralığında, üçüncü çeyrek (Q3) süreleri ise 14,85–38,96 dk arasında değişmiştir. Kullanıcıların 5 dk üzerinde yürüyerek skutere ulaşma oranı Kasım 2022’de %70,55 ile en yüksek seviyede iken, bu oran yıl içinde kademeli olarak azalarak Kasım 2023’te %50,35’e düşmüştür. Benzer şekilde 10 dakikanın üzerinde ulaşma oranı da 2022 Kasım ayında %57,15 iken, Ekim 2023’te %33,81’e düşmüştür.

Kemer’de aylara göre yürüme verileri incelendiğinde, ortalama yürüme sürelerinin Ağustos 2022’de 12,65 dk ile en yüksek seviyede olduğu, en düşük ortalama sürenin ise 2022 yılının Kasım ayında 9,80 dk olarak gerçekleştiği görülmektedir. 2023 yılı boyunca ortalama süreler 10,04–10,97 dk aralığında seyretmiştir. Medyan süreler, 2022 Ağustos’ta 4,99 dk ile yüksek bir değere ulaşmış, 2023 yılında ise genel olarak 2,06–3,02 dk aralığında kalmıştır. Q1 değerleri 0,43–1,28 dk, Q3 değerleri ise 9,55–15,70 dk arasında değişmiştir. Kullanıcıların 5 dk üzerinde yürüyerek skutere ulaşma oranı en yüksek 2022 Ağustos’ta %49,92, en düşük ise 2022 Nisan’da %34,58 olarak kaydedilmiştir. 10 dk üzerinde ulaşma oranları ise %24,13 ile %33,11 arasında değişmiş, en yüksek oran 2022 Ağustos’ta elde edilmiştir.

Manavgat’ta, en yüksek ortalama sürenin Ağustos 2022’de 20,22 dk olarak gerçekleştiği, en düşük ortalama sürenin ise Aralık 2023’te 9,46 dk olduğu görülmektedir. Medyan süreler, 2022 Ağustos’ta 12,67 dk ile en yüksek seviyeye ulaşmış, 2023 yılı boyunca ise 2,64–5,83 dk aralığında seyretmiştir. Q1 değerleri genellikle 0,65–3,97 dk, Q3 değerleri ise 9,30–33,76 dk arasında değişmiştir. Kullanıcıların 5 dk üzerinde yürüyerek skutere ulaşma oranı en yüksek Ağustos 2022’de %71,52, en düşük ise 2023 Aralık’ta %36,48 olarak kaydedilmiştir. 10 dk üzerinde ulaşma oranları ise %23,92 ile %56,01 arasında değişmiş, en düşük oran Aralık 2023’te elde edilmiştir.

Şanlıurfa’da aylık ortalama yürüme süreleri 2022 Eylül’de 16,20 dk, 2022 Ekim’de 21,89 dk ile en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. 2023 yılı içerisinde ise ortalama süreler 10,12–13,41 dk aralığında seyretmiştir. Medyan değerler 2022 Ekim’de 13,88 dk ile zirve yaparken, diğer aylarda genellikle 2,90–5,22 dk arasında değişmiştir. Q1 süreleri çoğunlukla 0,64–3,88 dk aralığında olup, kullanıcıların önemli bir kısmının kısa süreli yürüyüşlerle skutere ulaştığını göstermektedir. Q3 değerleri ise 2022 Ekim’de 39,20 dk ile en yüksek seviyeye ulaşmış, 2023 yılında ise 10,31–17,19 dk aralığında kalmıştır. Kullanıcıların 5 dk üzerinde skutere ulaşma oranı en yüksek 2022 Ekim’de %70,71, en düşük ise 2023 Şubat’ta %38,88 olarak hesaplanmıştır. 10 dk üzerinde ulaşma oranları %25,64 ile %57,07 arasında değişmiş, 2022 Ekim ayında en yüksek seviyeye ulaşmıştır.

Şekil 4.1’de Akdeniz Üniversitesi yerleşkesinden elde edilen TN’lerin mekânsal dağılımı gösterilmektedir. Özellikle yurt binalarının, kafelerin, yemekhanelerin olduğu bölgelerde ve yerleşke giriş kapılarında yüksek talep kümelenmesi gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1. Akdeniz Üniversitesi’ndeki talep noktalarının gösterimi

Çizelge 4.2 modellerin farklı senaryolarda elde ettiği ortalama kapsama oranları yüzdelik olarak gösterilmektedir. RY yönteminde 1000 m ızgara boyutunda en yüksek ortalama kapsama oranı %10,88 ile Elazığ’da, 750 m için %14,85, 500 m için %19,54 ve 250 m için %31,75 ile Kemer’de gerçekleşmiştir. GA modelinde en yüksek kapsama oranları 1000 m için %29,39 ile Şanlıurfa’da, 750 m için %54,81 ile Antalya’da, 500 m için %79,21 ve 250 m için %86,67 ile Elazığ’da görülmüştür. DT-MCLP modelinde en yüksek kapsama oranları 1000 m için %30,16 ile Şanlıurfa’da, 750 m için %58,08 ile Antalya’da, 500 m için %86,19 ve 250 m için %86,67 ile Elazığ’da elde edilmiştir. DT-MCLP+S modelinde en yüksek kapsama oranları 1000 m için %29,85 ile Şanlıurfa’da, 750 m için %57,81 ile Antalya’da, 500 m için %85,85 ve 250 m için %85,86 ile Elazığ’da gerçekleşmiştir. WB-MCLP modelinde ise en yüksek kapsama oranları 1000 m için %30,06 ile Şanlıurfa’da, 750 m için %58,71 ile Antalya’da, 500 m için %85,38 ve 250 m için %86,68 ile Elazığ’da görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar model türüne göre analiz edildiğinde ise RY yönteminin tüm senaryolarda en kötü (en düşük kapsama) sonuç verdiği, GA modelinin RY’ye göre önemli iyileşmeler elde ettiği, deterministik modellerin (DT-MCLP, DT-MCLP+S ve WB-MCLP) ise değerlerinin birbirine yakın olup GA’dan daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Modeller arasındaki farklar incelendiğinde, RY ile GA arasında ortalama fark 40,47 olup standart sapma 16,40’tır. En küçük fark 10,75, en büyük fark ise 61,43 olarak gerçekleşmiştir. DT-MCLP ile DT-MCLP+S karşılaştırıldığında, ortalama fark 0,58 ve standart sapma 0,95 olmakta, farklar 3,05 ile -0,55 arasında değişmektedir. DT-MCLP modeli DT-MCLP+S modelinden genellikle biraz daha yüksek değerler üretmiş olsa da iki model birbirine oldukça yakın sonuçlar vermektedir. DT-MCLP+S ile WB-MCLP karşılaştırılmasında, ortalama fark 0,72 olup standart sapma 1,47’dir. Farklar 0,55 ile -3,05 aralığında gerçekleşmiştir. DT-MCLP ile WB-MCLP karşılaştırılmasında ise ortalama fark

0,15, standart sapma 1,00'dır. Farklar 6,2 ile -0,47 arasında değişmektedir. WB-MCLP modeli ise, çoğu şehir ve ızgara boyutunda diğer tüm modellerden daha başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Çizelge 4.2. Bölgelerin farklı ızgara boyutlarındaki ortalama kapsama oranları

Şehir	Izgara Boyutu	RY	GA	DT-MCLP	DT-MCLP+S	WB-MCLP
Manavgat	1000	8,46	28,54	29,54	29,54	29,64
	750	9,86	48,03	51,90	51,80	51,78
	500	12,03	60,80	73,33	73,10	72,80
	250	15,85	65,13	79,53	76,86	83,06
Şanlıurfa	1000	6,27	29,39	30,16	29,85	30,06
	750	8,56	44,06	48,65	47,95	48,13
	500	11,20	63,49	75,06	72,01	73,40
	250	17,63	67,85	75,08	73,13	75,84
Kemer	1000	10,00	20,75	20,84	20,56	20,77
	750	14,85	44,46	45,80	45,53	45,51
	500	19,54	78,66	84,73	83,50	84,36
	250	31,75	82,23	85,13	85,68	85,85
Elazığ	1000	10,88	28,17	28,23	28,20	28,24
	750	13,13	51,37	52,39	52,27	52,51
	500	17,78	79,21	86,19	85,85	85,38
	250	27,29	81,78	86,67	85,86	86,68
Antalya	1000	3,59	15,80	16,63	16,67	16,82
	750	9,71	54,81	58,08	57,81	58,27
	500	8,65	67,88	78,49	78,64	79,05
	250	16,96	71,06	78,65	78,74	79,84

Çizelge 4.3'te modellerin farklı senaryolarda elde ettiği ortalama yürüme mesafeleri gösterilmektedir. RY yönteminde 1000 m ızgara boyutunda en düşük ortalama yürüme mesafesi 652,89 m, 750 m için 619,23 m, 500 m için 557,21 m ve 250 m için 452,12 m ile Kemer'de gerçekleşmiştir. GA modelinde en düşük ortalama yürüme mesafeleri 1000 m için 381,93 m, 750 m için 296,2 m ile Elazığ'da, 500 m için 240,10 m ve 250 m için 225,87 m ile Kemer'de elde edilmiştir. DT-MCLP modelinde en düşük değerler 1000 m için 381,86 m, 750 m için 293,13 m ile Elazığ'da, 500 m için 228,16 m ve 250 m için 221,94 m ile Kemer'de görülmüştür. DT-MCLP+S modelinde en düşük mesafeler 1000 m için 381,98 m, 750 m için 293,18 m ile Elazığ'da, 500 m için 232,83 m ve 250 m için 228,31 m ile Kemer'de gerçekleşmiştir. WB-MCLP modelinde ise en düşük ortalama yürüme mesafeleri 1000 m için 380,53 m ile Elazığ'da, 750 m için 292,73 m ile Elazığ'da, 500 m için 227,02 m ve 250 m için 210,91 m ile Kemer'de elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar model türüne göre analiz edildiğinde, RY yönteminin tüm senaryolarda en kötü (en yüksek) yürüme mesafelerini verdiği, GA modelinin RY'ye göre belirgin iyileştirmeler sağladığı, deterministik modellerin (DT-MCLP, DT-MCLP+S ve WB-MCLP) ise birbirine oldukça yakın değerler ürettiği ve GA'dan daha düşük yürüme mesafeleri sağladığı görülmektedir. Modeller arasındaki farklar incelendiğinde, RY ile GA arasında ortalama fark 405,61 m olup standart sapma 125,28 m'dir. En büyük fark 642,52 m, en küçük fark ise 226,25 m olarak gerçekleşmiştir. DT-MCLP ile DT-MCLP+S

karşılaştırıldığında ortalama fark 3,53 m, standart sapma 4,85 m olup farklar -1,49 m ile 16,48 m arasında değişmektedir. DT-MCLP+S ile WB-MCLP karşılaştırmasında ortalama fark 4,64 m, standart sapma 7,05 m'dir; farklar 21,21 m ile -7,05 m arasında gerçekleşmiştir. DT-MCLP ile WB-MCLP karşılaştırmasında ise ortalama fark 1,11 m, standart sapma 4,04 m olup farklar 11,19 m ile -7,33 m arasında değişmektedir. WB-MCLP modeli ise çoğu şehir ve ızgara boyutunda en düşük yürüme mesafelerini elde ederek en başarılı sonuçları üretmiştir.

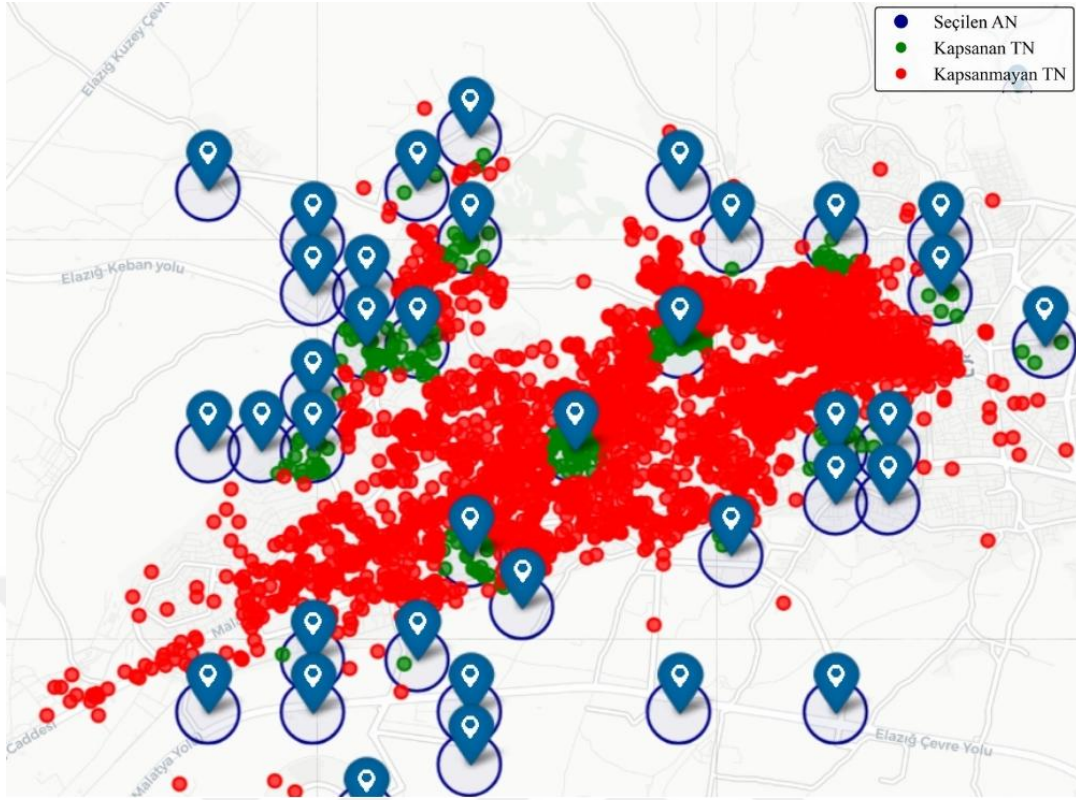
Çizelge 4.3. Bölgelerin farklı ızgara boyutlarındaki ortalama yürüme mesafeleri

Şehir	Izgara Boyutu	RY	GA	DT-MCLP	DT-MCLP+S	WB-MCLP
Manavgat	1000	886,51	394,47	386,27	386,04	384,33
	750	834,13	378,28	352,95	363,97	353,96
	500	748,08	363,07	314,43	313,85	321,76
	250	648,96	310,94	272,23	288,71	271,50
Şanlıurfa	1000	1036,75	394,23	389,13	394,13	390,84
	750	896,02	333,70	315,14	318,93	317,92
	500	748,85	303,32	285,99	286,95	285,35
	250	608,62	289,46	283,61	285,27	283,53
Kemer	1000	652,89	415,86	415,04	424,00	414,62
	750	619,23	315,89	312,19	310,70	309,09
	500	557,21	240,10	228,16	232,83	227,02
	250	452,12	225,87	221,94	228,31	210,91
Elazığ	1000	731,39	381,93	381,86	381,98	380,53
	750	701,48	296,20	293,13	293,18	292,73
	500	608,47	244,80	238,21	237,33	236,51
	250	480,18	231,30	230,33	231,79	229,49
Antalya	1000	1066,73	476,39	476,79	475,62	476,10
	750	930,12	348,58	348,45	358,47	337,26
	500	854,04	331,30	315,52	316,93	315,90
	250	648,89	322,72	311,66	314,66	311,45

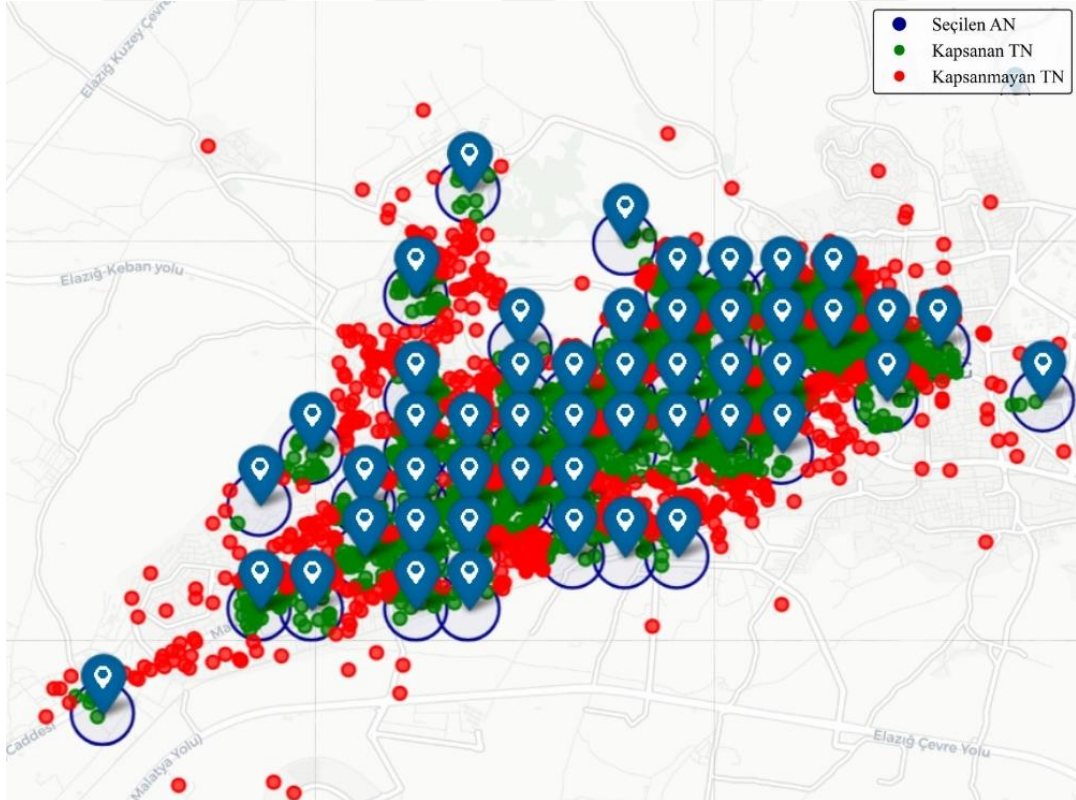
Elde edilen bulgular örnek bir şehir üzerinde harita ile gösterilmiştir. Bunun için Elazığ şehrindeki 500 m ızgara boyutunda konuşlandırma modellerinin sonuçları seçilmiştir. Bu şekillerde konum şekilleri seçilen AN'leri, yeşil noktalar kapsanan, kırmızı noktalar kapsanmayan TN'leri göstermektedir. Haritalar, modellerin kapsama oranı ve ortalama yürüme mesafesi performanslarındaki farkları mekânsal dağılım üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirmeye imkân tanımaktadır.

Şekil 4.2'de rastgele yerleştirme yöntemi ile elde edilen sonuç gösterilmektedir. Bu seçimdeki seçilen AN'ler şehirdeki farklı bölgelere düzensiz biçimde dağılmıştır. Bu durum kapsama oranının düşük bir seviyede kalmasına yol açmıştır.

Şekil 4.3'te genetik algoritma tabanlı yerleştirme yöntemi ile elde edilen sonuç gösterilmektedir. GA yaklaşımı, rastgele yerleşime kıyasla daha dengeli bir dağılım sağlamıştır. Kapsanan TN'lerin sayısı belirgin şekilde artarken, kapsanmayan noktalar yoğun bölgelerde azalmıştır.

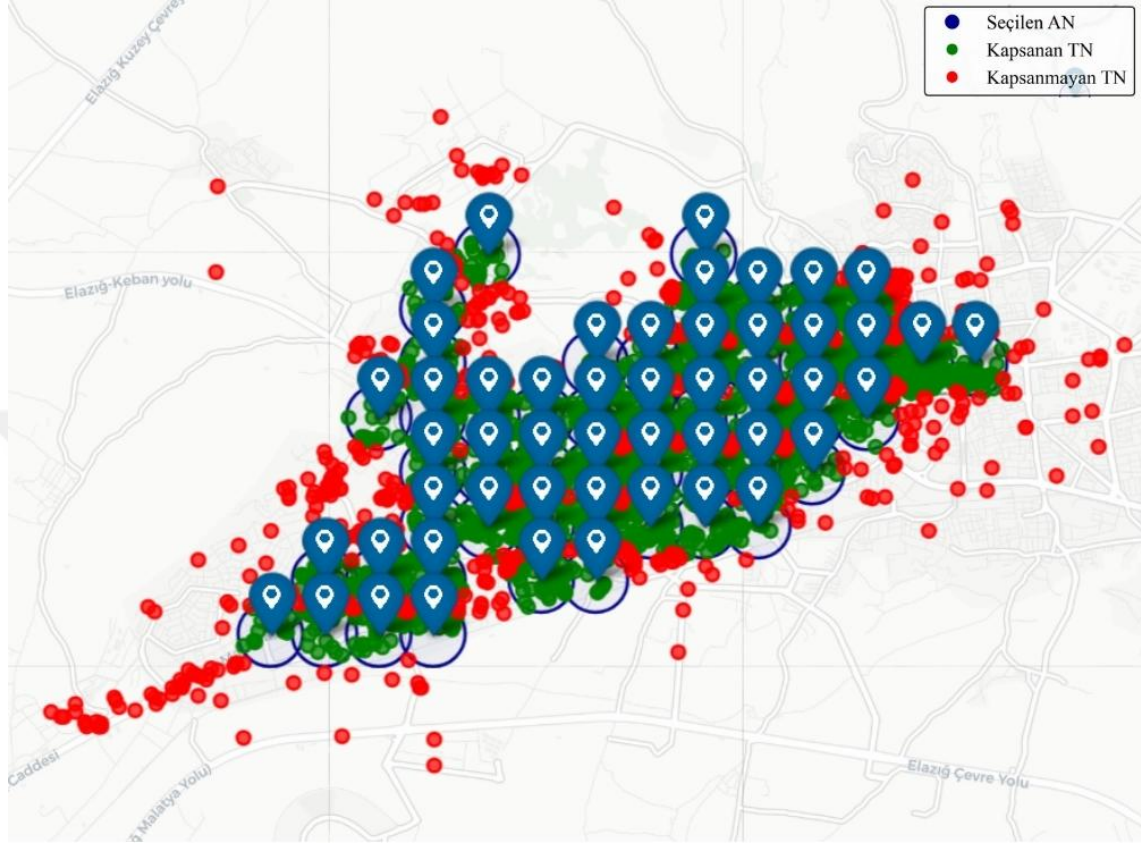


Şekil 4.2. Elazığ'da RY modeli ile yerleştirme sonucu



Şekil 4.3. Elazığ'da GA modeli ile yerleştirme sonucu

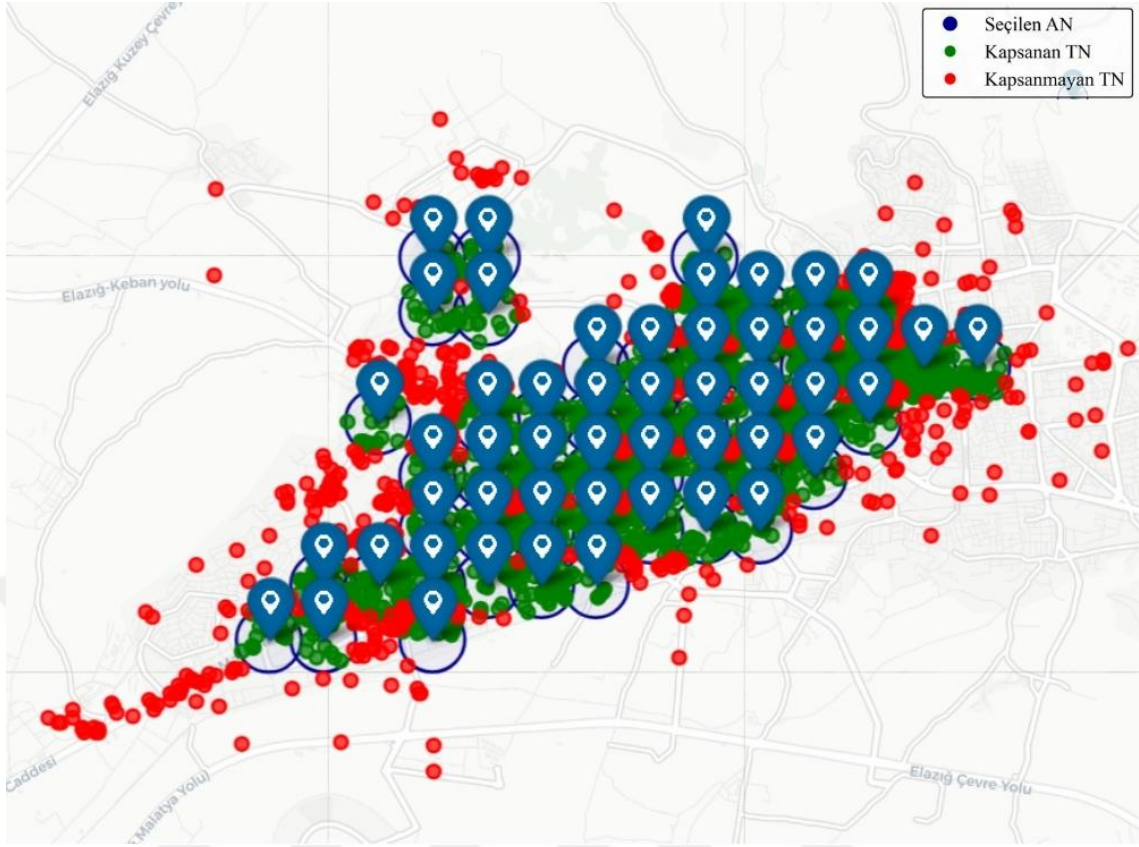
Şekil 4.4'te DT-MCLP deterministik modeli ile elde edilen yerleştirme sonucu gösterilmektedir. DT-MCLP modeli hem GA hem RY modellerine kıyasla çok daha yüksek sayıda TN kapsanmasını sağlamıştır. Seçilen AN'ler yoğun talep bölgelerinde kümelenmiş, böylece kırmızı kapsanmayan TN'ler yalnızca kent çeperlerinde kalmıştır.



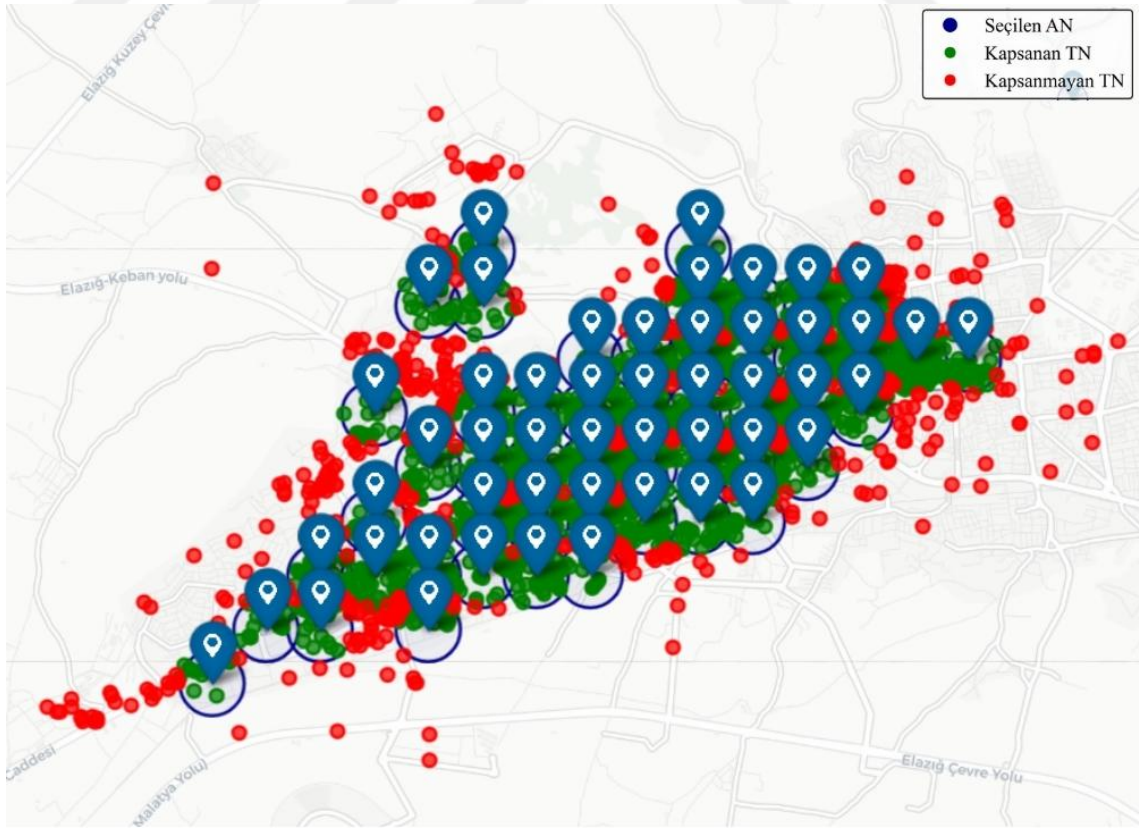
Şekil 4.4. Elazığ'da DT-MCLP modeli ile yerleştirme sonucu

Şekil 4.5'te eğim dahil edilerek daha gerçek hayata uygun modellemenin yapıldığı DT-MCLP+S ile elde edilen yerleştirme sonucu gösterilmektedir. Bu yerleştirme sonucunda DT-MCLP ile büyük çoğunluğu aynı olan seçimler ortaya çıkmıştır. Ancak eğim parametresinin eklenmesinden kaynaklanan eğimli bölgelerde kapsama toleransını azaltmış olmasından kaynaklı olarak az sayıda farklı seçim yapılmıştır.

Şekil 4.6'da önerdiğimiz yürüme davranışını modelleyen WB-MCLP yaklaşımı ile elde edilen sonucu göstermektedir. WB-MCLP modeli hem DT-MCLP hem de DT-MCLP+S modelinin seçimlerine oldukça benzer AN yerleşimi yapmıştır.



Şekil 4.5. Elazığ’da DT-MCLP+S modeli ile yerleştirme sonucu



Şekil 4.6. Elazığ’da WB-MCLP modeli ile yerleştirme sonucu

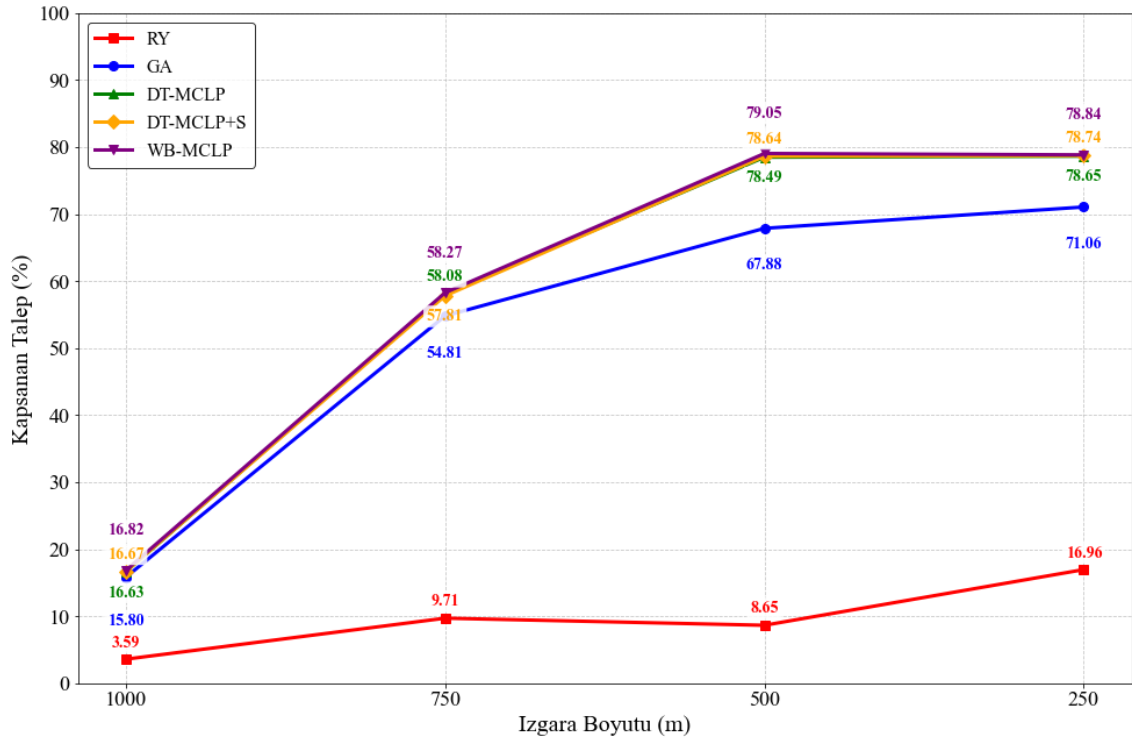
4.1. Bölgelere Ait Bulgular

Bu bölümde hizmet verilen şehir ve ilçelere ait bulgular hem ortalama yürüme mesafesi hem de kapsanan talep oranını gösteren grafiklerle detaylandırılmıştır. Bu grafiklerde yatay eksen farklı ızgara boyutlarını, farklı renkli grafik çizgileri ise farklı modelleri göstermektedir. Tüm bölgelerde ızgara boyutunun 1000 m'den 250 m'ye küçülmesi, kapsama oranlarında belirgin bir artışa ve ortalama yürüme mesafelerinde anlamlı bir azalmaya yol açmıştır. Rastgele yerleştirme modeli, tüm senaryolarda en düşük kapsama oranı ve en yüksek yürüme mesafesi değerlerini üretmiştir.

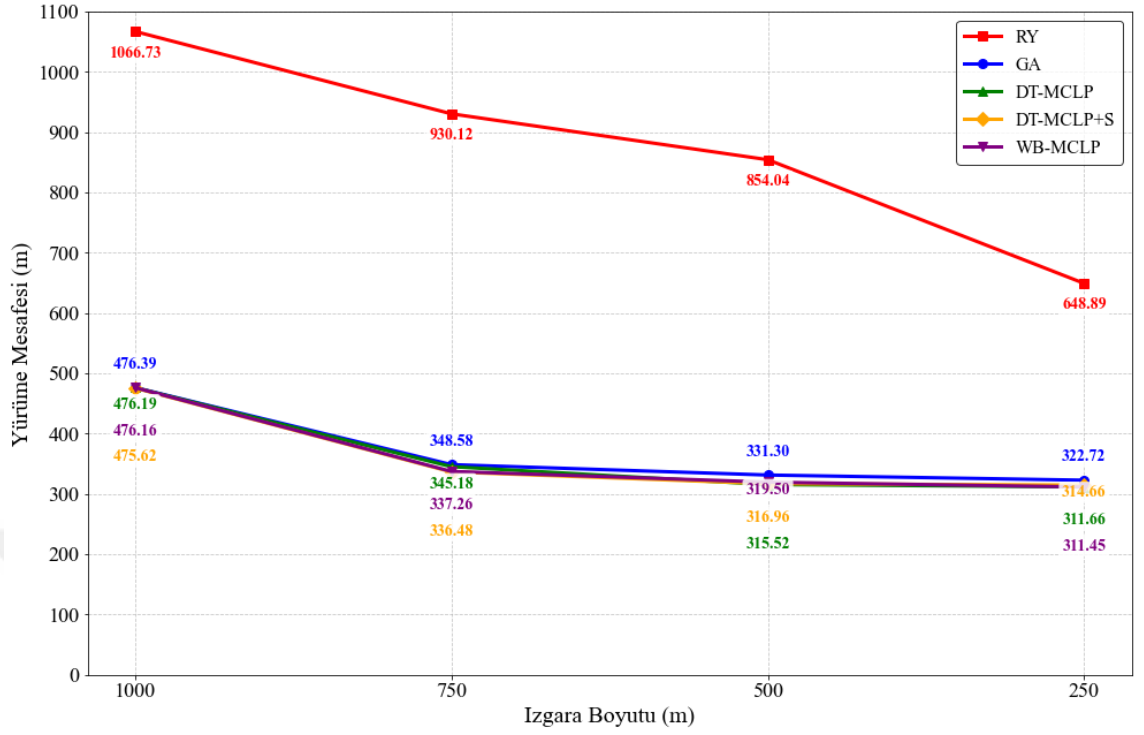
Genetik Algoritma modeli, rastgeleye kıyasla iyileşme sağlasa da optimizasyon tabanlı modellerin (DT-MCLP, DT-MCLP+S, WB-MCLP) gerisinde kalmıştır. Eğim parametresinin eklendiği DT-MCLP+S modeli ise eğimin dahil edilmediği DT-MCLP modeline kıyasla (coğrafi etkileri daha iyi temsil ettiği için) çoğu durumda ortalama yürümede daha yüksek ve kapsama oranında daha düşük sonuçlar elde ederek daha kötü bir performans göstermiştir.

4.1.1. Antalya

Şekil 4.7'de Antalya'daki konuşlandırma modellerinin kapsanan talep oranları cinsinden karşılaştırması gösterilmektedir. WB-MCLP modeli 250, 500, 750 ve 1000 metrede tüm modellerden daha fazla oranda TN kapsamayı başarmıştır. Şekil 4.8'de Antalya'daki konuşlandırma modellerinin ortalama yürüme performansları cinsinden karşılaştırması gösterilmektedir. Bu grafiğe göre GA modelinin deterministik modellere oldukça yakın sonuçlar ürettiğini 250 m ızgara boyutunda WB-MCLP modelinin en düşük ortalama yürüme mesafesini sağladığını göstermektedir.

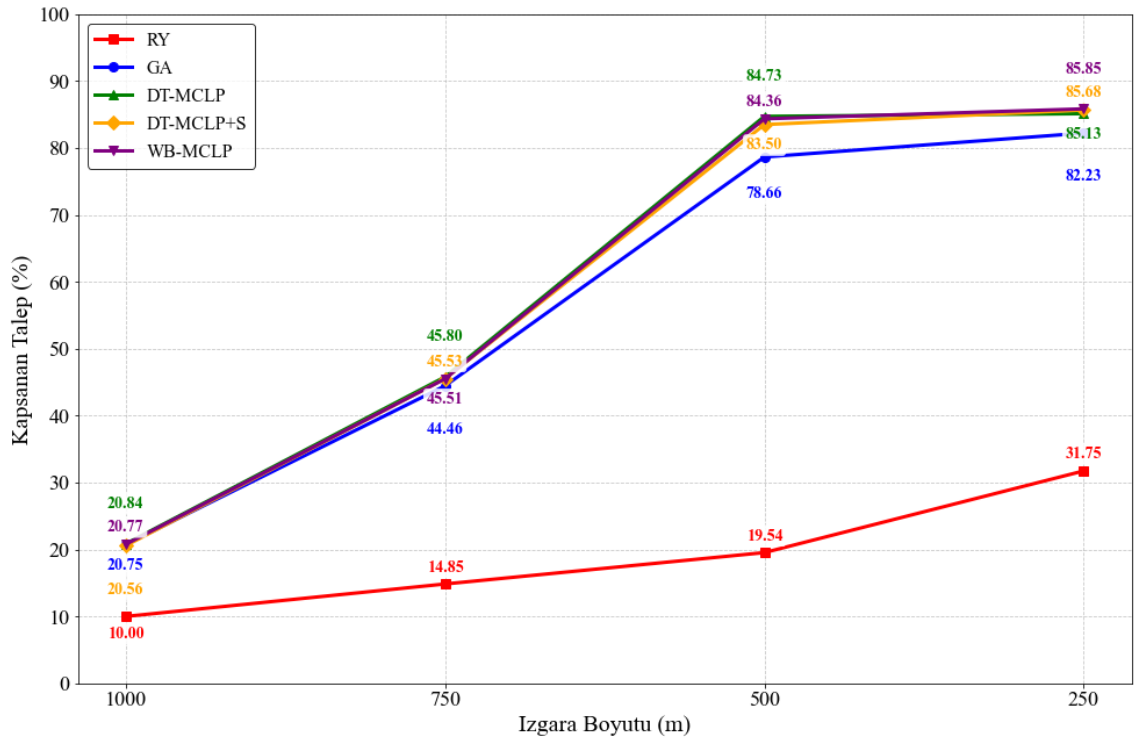


Şekil 4.7. Modellerin Antalya'daki kapsama oranları performansları



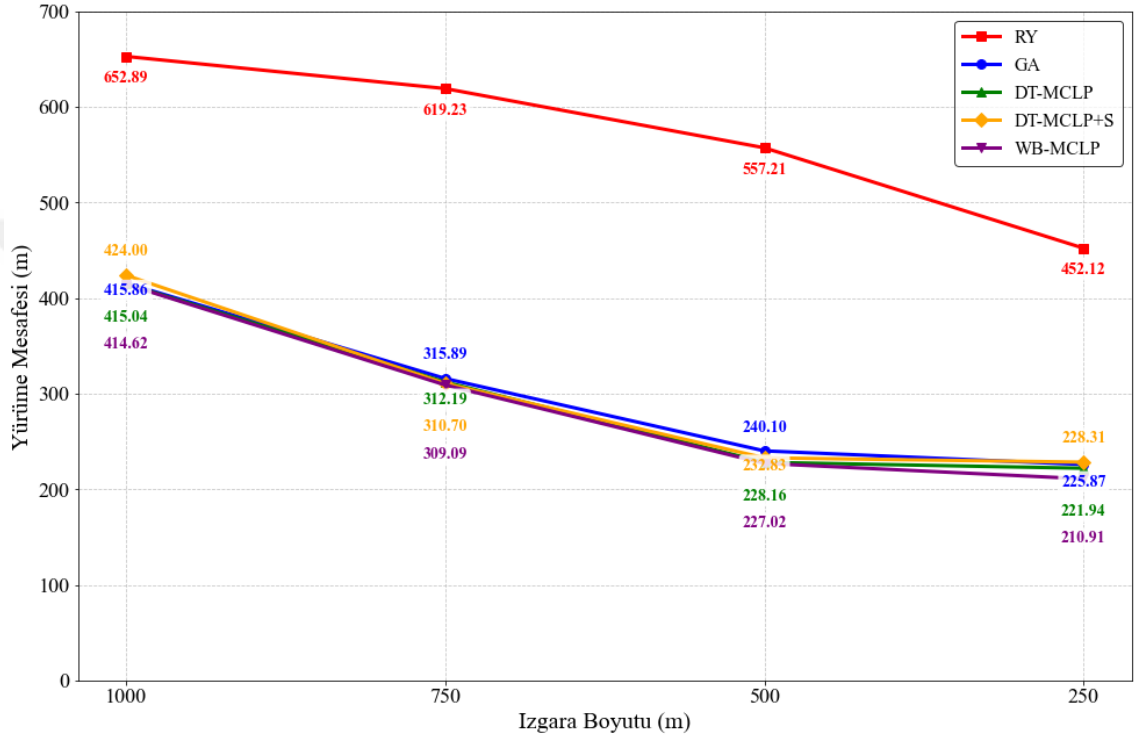
Şekil 4.8. Modellerin Antalya'daki ortalama yürüme performansları

4.1.2. Kemer



Şekil 4.9. Modellerin Kemer'deki kapsama oranları performansları

Şekil 4.9’da Kemer’deki kapsanan talep oranları cinsinden karşılaştırması gösterilmektedir. DT-MCLP, DT-MCLP+S ve WB-MCLP modelleri arasındaki farklar tüm ızgara boyutlarında oldukça sınırlı kalmıştır ve 250 m boyutunda WB-MCLP modeli daha fazla oranda talepleri kapsamayı sağlayan başarılı sonuçlar elde etmiştir. Şekil 4.10’da Kemer için ortalama yürüme mesafesi sonuçları görülmektedir. Kapsama oranı sonuçlarında olduğu gibi ortalama yürüme mesafeleri sonuçları da birbirine çok yakın çıkmıştır. WB-MCLP modeli en büyük farka yaklaşık 11 m, 15 m ve 18 m olacak şekilde 250 m ızgara boyutunda sahip olsa da tüm ızgara boyutlarında daha başarılı sonuçlar üretmiştir.

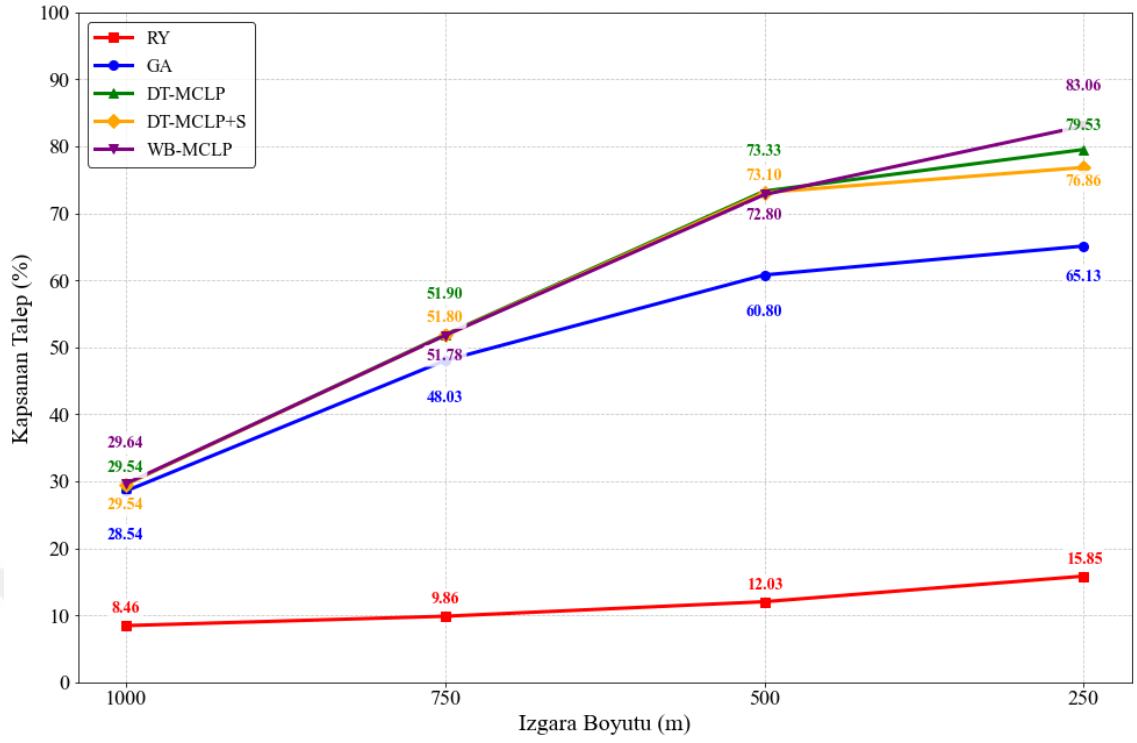


Şekil 4.10. Modellerin Kemer’deki ortalama yürüme performansları

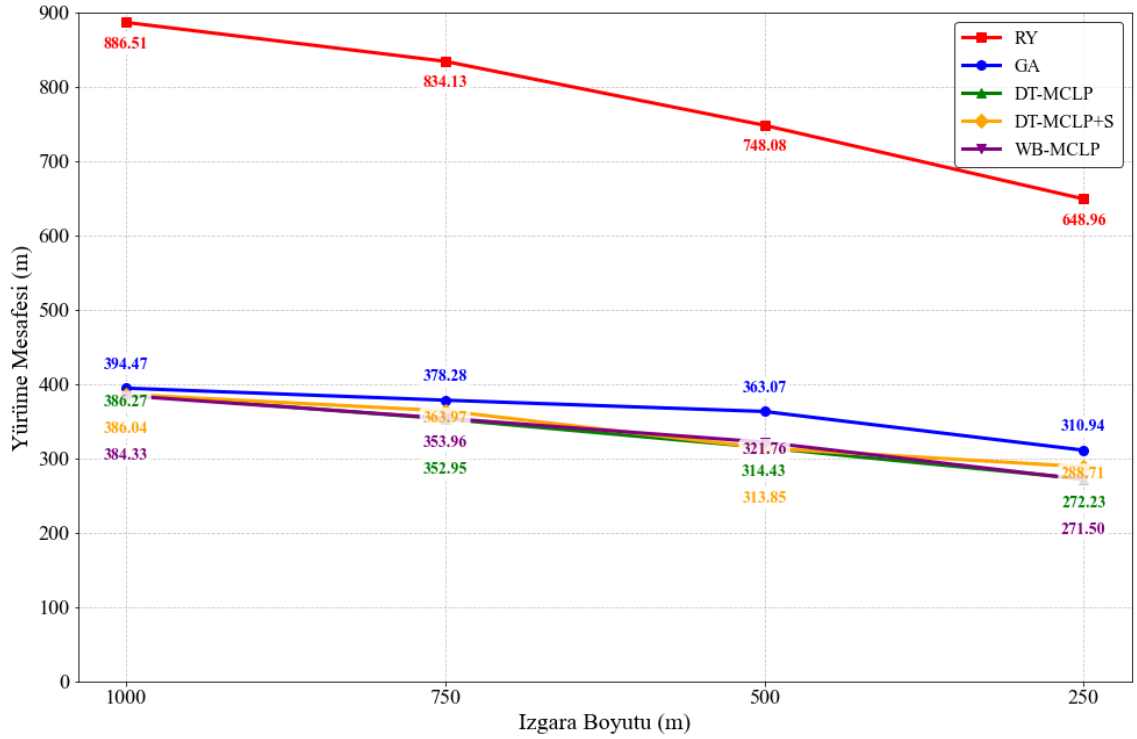
4.1.3. Manavgat

Şekil 4.11’de Manavgat için kapsanan talep oranları karşılaştırılmaktadır. 1000, 750 ve 500 m boyutlarında modellerin birbirine oldukça yakın sonuç elde ettikleri ancak 250 m boyutunda ise WB-MCLP modelinin DT-MCLP’den %3,53 ve DT-MCLP+S’ten ise %6,20 daha yüksek kapsamaya sahip olduğu görülmüştür.

Şekil 4.12’de Manavgat için ortalama yürüme mesafesi performansları gösterilmektedir. WB-MCLP modelini 1000 ve 250 m boyutunda en başarılı sonuçları elde etse de 750 ve 500 m ızgara boyutlarında sırasıyla DT-MCLP ve DT-MCLP+S modellerinin daha başarılı olduğu görülmüştür.

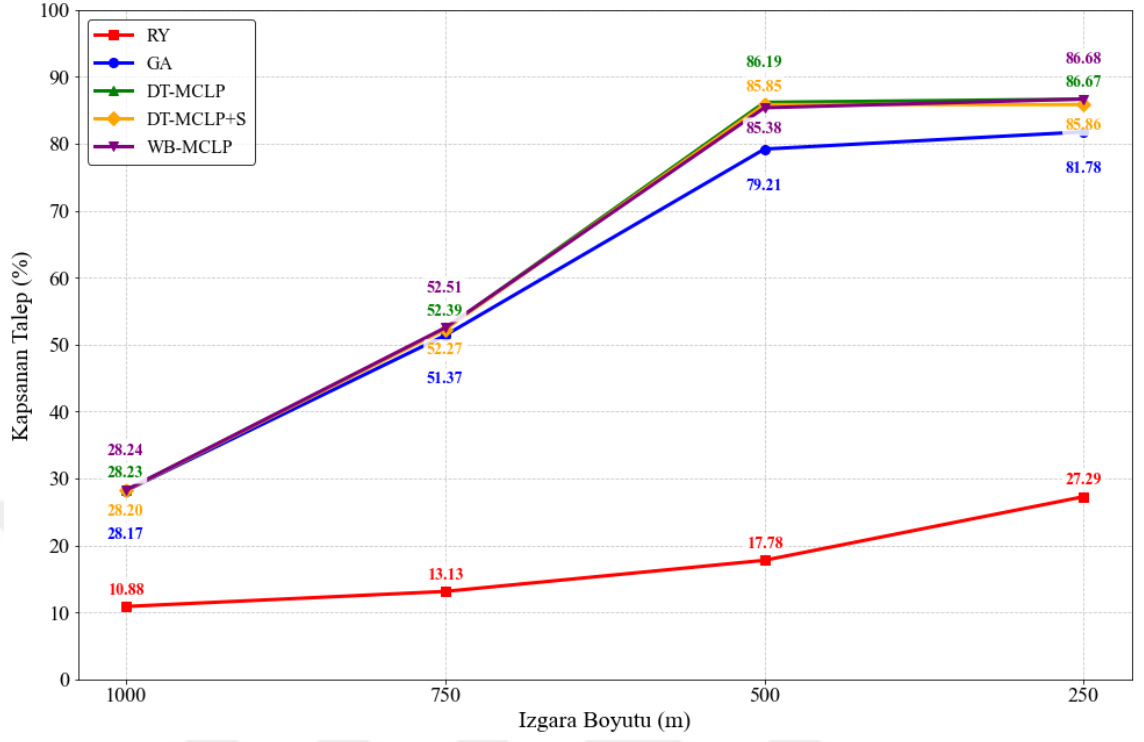


Şekil 4.11. Modellerin Manavgat'taki kapsama oranları performansları

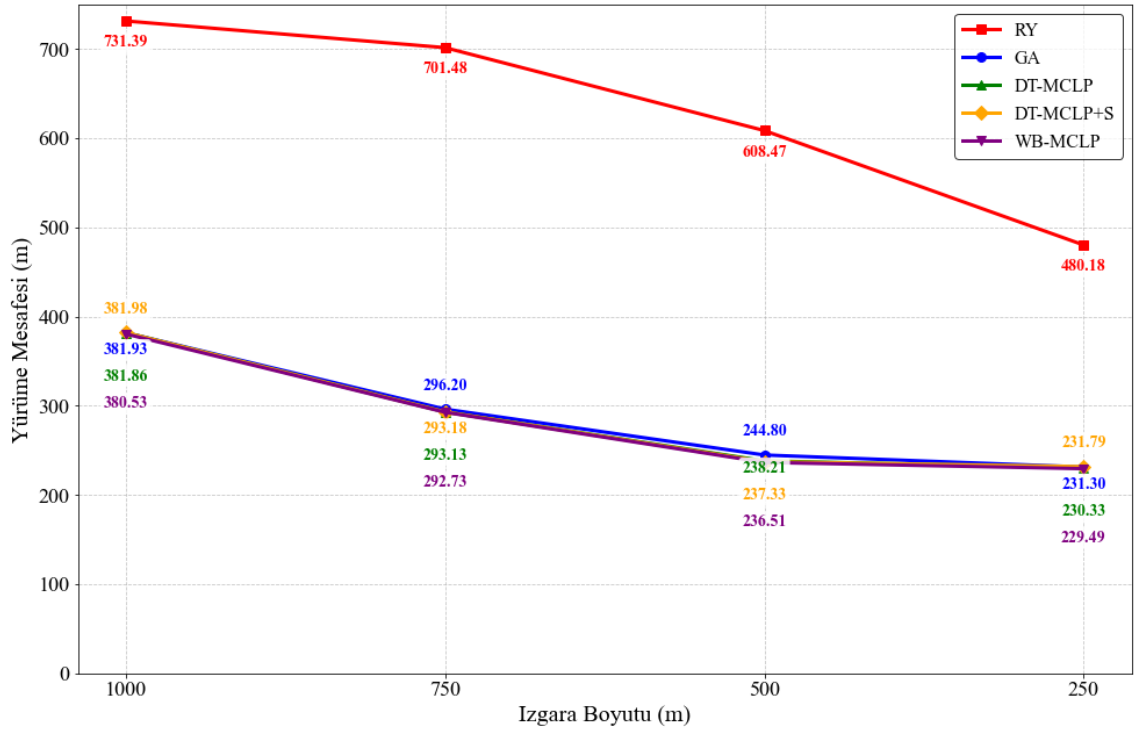


Şekil 4.12. Modellerin Manavgat'taki ortalama yürüme performansları

4.1.4. Elazığ



Şekil 4.13. Modellerin Elazığ'daki kapsama oranları performansları



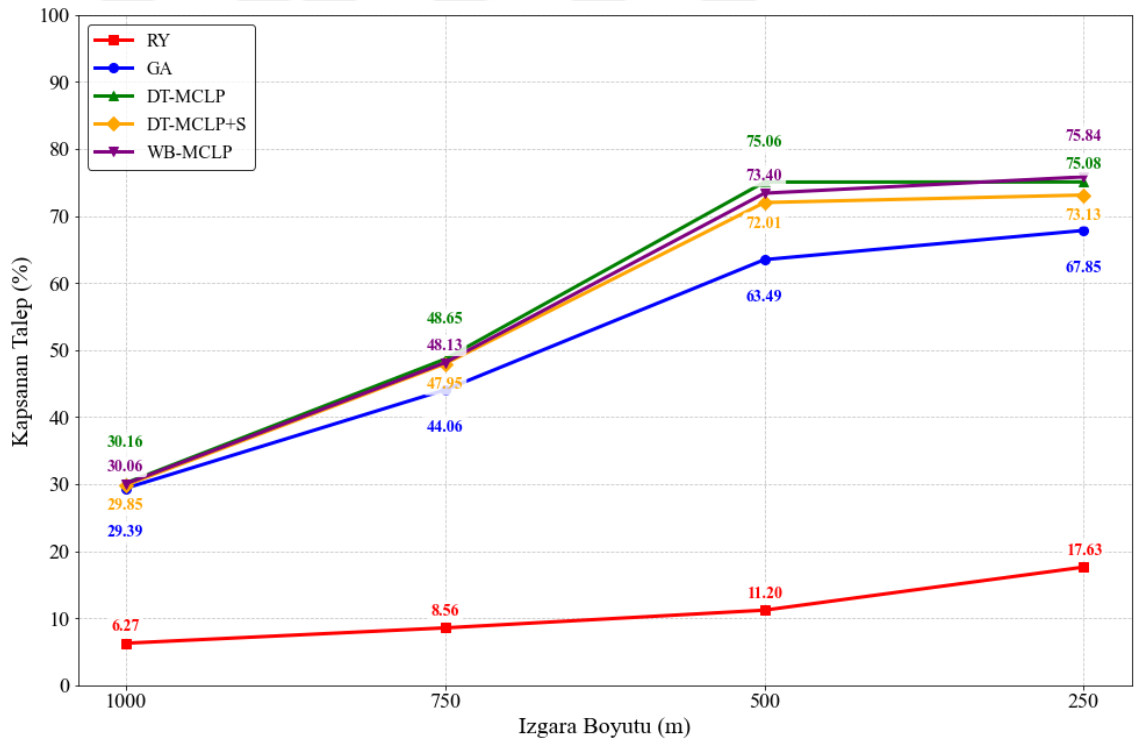
Şekil 4.14. Modellerin Elazığ'daki ortalama yürüme performansları

Şekil 4.13'te Elazığ'daki konumlandırma modellerinin kapsanan talep oranları karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Her ne kadar WB-MCLP modelinin 1000, 750 ve 250 m boyutlarında daha başarılı olduğu görülse de aradaki farklar son derece sınırlı kalmıştır. 750 m ızgara boyutunda ise DT-MCLP modelinin en başarılı olduğu görülmüştür. Şekil 4.14'de Elazığ'daki ortalama yürüme mesafeleri karşılaştırılmaktadır. WB-MCLP modeli tüm ızgara boyutlarında başarılı olsa da tıpkı kapsama oranlarında olduğu gibi fark oldukça sınırlı kalmıştır.

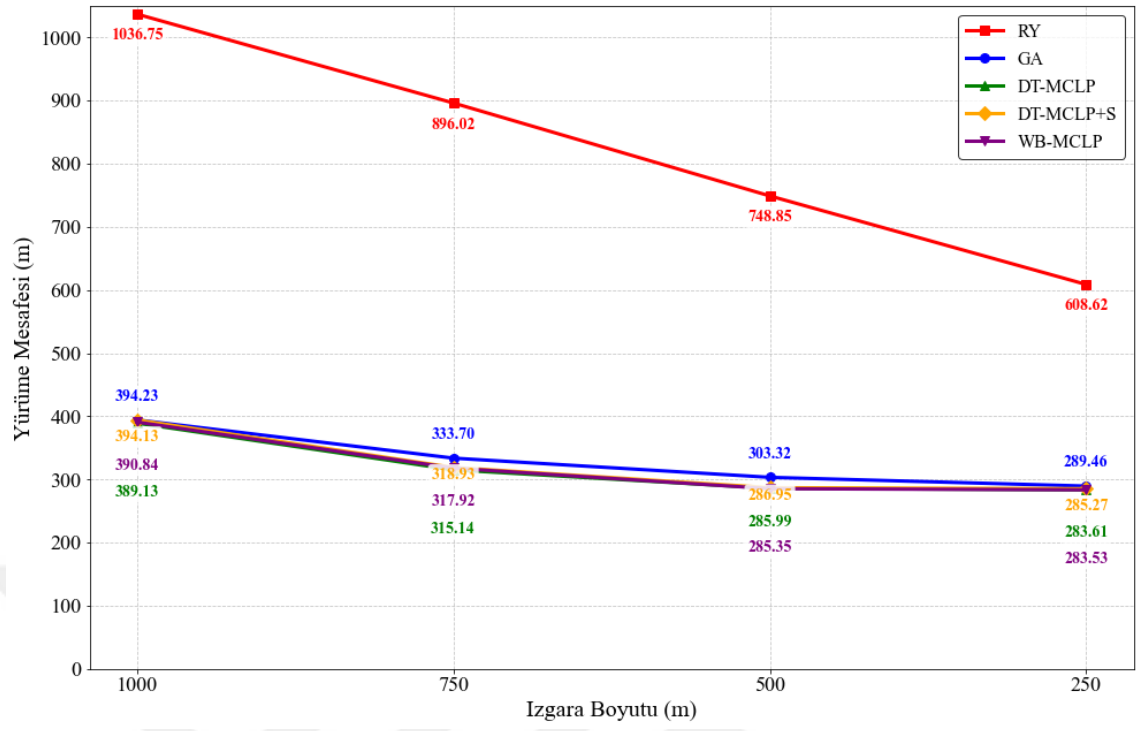
4.1.5. Şanlıurfa

Şekil 4.15'te Şanlıurfa'daki kapsanan talep oranları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Diğer tüm boyutlarda DT-MCLP modeli en başarılı sonuçları elde ederken, 250 m ızgara boyutunda en başarılı sonucu WB-MCLP modeli almıştır.

Şekil 4.16'da Şanlıurfa'daki ortalama yürüme mesafeleri karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. 1000 ve 750 m boyutlarında DT-MCLP modelinin, 500 ve 250 m boyutlarında ise WB-MCLP modeli diğer modellerden daha başarılı sonuçlar ürettiği görülmüştür.



Şekil 4.15. Modellerin Şanlıurfa'daki kapsama oranları performansları



Şekil 4.16. Modellerin Şanlıurfa'daki ortalama yürüme performansları

5. TARTIŞMA

Deterministik modeller (DT-MCLP, DT-MCLP+S, WB-MCLP) matematiksel optimizasyon temelli oldukları için rastgelelik içeren RY ve GA modellerine kıyasla her durumda daha düşük ortalama yürüme mesafeleri sağlamış, bu da matematiksel optimizasyonun güçlü yönünü ortaya koymuştur. Buna karşılık çalışmada ele alınan MCLP tabanlı konumlandırma problemleri NP-hard sınıfına girmesi nedeniyle veri boyutu büyüdükçe kesin çözümün bulma süresi çok hızlı şekilde artmaktadır. Bu nedenle, talep noktası ve aday nokta arttığı büyük ölçekli senaryolarda sezgisel algoritmaların kullanılması gerekebilir.

DT-MCLP ve DT-MCLP+S modelleri arasındaki farklar oldukça düşük seviyelerde olup, eğim parametresinin eklenmesiyle küçük ama gerçekçi değişimler elde edilmiştir. Bu fark, eğim parametresinin modele dahil edilmesiyle eğimin fazla olduğu bölgelerde kapsama toleransının azalması ve kullanıcıların daha uzak mesafelerdeki ancak eğimi daha az noktalarda bulunan araçlara yönlendirilmesi ile açıklanabilir. Her ne kadar bu durum mesafede artış, kapsama oranında azalış yaratsa da bu durum modelin coğrafi gerçekçiliği daha fazla yansıtmamasından kaynaklanmaktadır. Ancak, çapraz doğrulama yapısında farklı alt kümeler üzerinde yapılan testlerde bu etkinin her zaman aynı yönde yansımaması mümkündür. Bazı fold'larda eğim etkisi nedeniyle yapılan tercihler test verisinde daha kısa ortalama yürüme mesafeleri veya daha yüksek kapsama oranları ile sonuçlanabilmektedir. Dolayısıyla, eğim parametresi genel olarak kapsama alanını kısıtlayıcı ve mesafeyi artırıcı bir unsur olarak tasarlanmış olsa da veri alt kümelerindeki dağılım farklılıkları bu etkinin pratikte farklı şekillerde ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. WB-MCLP modeli ise birçok senaryoda en yüksek kapsama oranını ve en düşük yürüme mesafesini sağlayarak kullanıcı davranışını daha gerçekçi şekilde yansıtmıştır. Bu durum, modelin mesafe ve eğim faktörlerini birlikte ele almasına rağmen kapsama başarısını artırdığını ortaya koymaktadır.

Çalışmadaki (Manavgat'taki rastgele modeldeki bir istisna dışında) tüm modellerde, ızgara boyutunun küçülmesiyle birlikte ortalama yürüme mesafesinin azaldığı görülmüştür. Bu durum, daha küçük ızgara boyutlarının kullanıcıya daha yakın aday noktaların oluşmasına imkân tanıdığını ve kapsama performansını artırdığını göstermektedir. Ancak ızgara boyutunu çok küçültmek deterministik modellerde çözülmesi gereken problemin boyutunu çok artırdığı için her zaman kullanışlı olmayabilmektedir. Izgara türleri açısından ise, literatürde kare, üçgen ya da altıgen gibi farklı şekiller kullanılmaktadır. Ancak çalışmada, literatürdeki en yaygın olarak tercih edilen şekil olması ve uygulama kolaylığı sağlaması nedeniyle kare ızgara sistemi tercih edilmiştir.

Oluşturulan aday noktaların bazılarının orman, deniz veya hizmet verilmeyen yerleşim dışı alanlara denk gelmiştir ancak bu noktalar deterministik modellerde hiçbir zaman seçilmediği için filtrelenmemiştir. Dolayısıyla bu tür noktaların modele dahil edilmesi çözüm sonuçlarını bozmasa da gereksiz aday noktaların temizlenmesi işlem yükünü azaltabilir ve algoritmaların çalışma süresini kısaltarak performansı artırabilir. Özellikle problem boyutunun hızla büyüdüğü durumlarda, bu tür önileme adımları çözüm verimliliğini artıran kritik unsurlar olarak değerlendirilebilir.

Talep noktalarının coğrafi koordinatlarının virgülden sonra 4 basamaklı hassasiyetle oluşturulması, veri kümesinin mekânsal kümelenmesini sağlayarak hesaplama karmaşıklığını azaltırken, konumsal dağılımın karakteristiğini korunmasını

sağlamaktadır. Bu hassasiyet düzeyinin belirlenmesinde, alternatif yaklaşımların karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. 3 basamaklı koordinat yuvarlaması durumunda, yaklaşık 110 metrelik konumsal hassasiyet elde edilmekte olup, bu durum özellikle yüksek talep yoğunluğuna sahip bölgelerde farklı talep noktalarının tek bir coğrafi hücre içerisinde birleşmesine neden olarak modelin mekânsal ayırt etme kapasitesini olumsuz etkilemesine neden olmaktadır. 5 basamaklı hassasiyet düzeyinin uygulanması ise konumsal hassasiyetini artırmakla birlikte, veri boyutunda anlamlı bir küçülme sağlamadığından hesaplama yükünün azaltılması hedefine yönelik beklenen optimizasyon katkısını sunmamaktadır.

Çalışmada kullanılan eğim etkisi, doğrudan literatürdeki çalışmadan alınmıştır ve bu çalışma kapsamında kontrollü deney ile doğrulanmamıştır. Ayrıca eğim, iki nokta arasındaki rakım farkı ve kuş uçuşu uzaklığı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yaklaşım, yürüme güzergâhındaki genel eğimi tespit etse de gerçek coğrafi koşullarda karşılaşılabilecek sıklıkla değişen iniş-çıkışları yansıtmada yeterli değildir.

TN'lerin şehirlerde ne kadarlık bir alanda yoğunlaştığı Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.6'daki değerlerin birlikte değerlendirilmesiyle çıkarılabilmektedir. Örneğin, Kemer'de toplam sürüş sayısı (146.216) Şanlıurfa'dan (139.133) daha yüksek olmasına rağmen, Kemer'in toplam TN sayısı (20.714), Şanlıurfa'daki TN (27.735) sayısından daha düşüktür. Bu durum, Kemer'de talebin daha dar bir coğrafi alanda yoğunlaştığını, dolayısıyla talep noktalarının mekânsal olarak daha odaklanmış şekilde yerleştiğini göstermektedir.

Verinin toplandığı tarih aralığında GEZ firmasından başka paylaşımlı ulaşım sunan operatör firmanın olmadığı Elazığ ve Şanlıurfa'da kullanıcıların ortalama yürüme sürelerinin rekabetin olduğu diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir ve bu durum, pazar yapısının kullanıcı yürüme davranışları üzerindeki etkisini göstermektedir. Rekabetin bulunduğu bölgelerde medyan yürüme süresi 3,14 dk, rekabetin bulunmadığı bölgelerde ise 6,00 dk'dır.

Ham vd. çalışmasında ortalama yürüyüş mesafesi 244 m olarak bulunmuş (Ham vd., 2021), Reck vd. kullanıcıların e-skuter için ortalama 60–210 m, e-bisiklet içinse 200–490 m yürümeye istekli olduklarını bulmuştur (Reck vd., 2022). Benzer şekilde, Singla vd. kullanıcıların %90'ının 250 m'den kısa mesafeleri tolere ettiğini (Singla vd., 2015), 1000 m için istekliliğin neredeyse sıfıra indiğini göstermiştir. Bu bulgular, tezde elde edilen 423 m'lik ortalamanın literatürde bildirilen değerlerden daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.

Yürüme hızı bulguları da literatürle kıyaslandığında dikkat çekicidir. Bu çalışmada elde edilen ortalama hız 34,36 m/dk (yaklaşık 0,57 m/s) olup, Wincent vd. tarafından bulunan (Berg Wincent vd., 2023) 1,3 m/s'nin altında kalmaktadır. Bunun en önemli nedeni, bu çalışmada süre ölçümünün yalnızca aktif yürüyüşü değil, aynı zamanda sürüş öncesindeki diğer süreçleri (örneğin ödeme için kredi kartının kaydedilmesi veya mobil uygulama üzerinden yapılan diğer etkileşimler gibi) de kapsamasıdır.

6. SONUÇLAR

Paylaşımlı ulaşım sistemleri, şehir içi ulaşımında görece yeni bir tür olmasına rağmen büyük bir ilgi görmektedir. Bu sistemler kentsel ulaşım altyapısındaki toplu taşıma araçların birbirine bağlanmasında önemli bir rol oynamaktadırlar. Kullanıcıların ihtiyaç duydukları anda, kısa veya orta mesafeli yolculuklarını gerçekleştirebilecekleri araçları istedikleri süre boyunca kiralayabilmelerine imkân tanıyan bu sistemler hem bireysel araç kullanımını azaltmakta hem de kentsel hareketliliği optimize etmektedir.

İstasyonsuz sistemlerin kullanıcılarına sağladığı esneklik, memnuniyetlerini artırırken, aynı zamanda araçların hizmet alanı içinde dengeli bir şekilde dağılmasını zorlaştırır. Hizmet alanı içindeki bazı bölgelerde araçlar boşta beklerken, bazı bölgelerde de kullanıcılar araç bulamamaktadır. Arz-talep dengesizliği olarak isimlendirilen bu durum, operatör firmalar açısından verimliliği düşüren ve operasyonel maliyetleri artıran temel sorunlardan biri haline gelmiştir. Dolayısıyla, istasyonsuz paylaşımlı ulaşım sistemlerinin başarısı, araçların optimum noktalara konumlandırılması ile doğrudan ilişkilidir. Konumlandırma stratejileri ise literatürde mekânsal optimizasyon olarak adlandırılmaktadır. Optimizasyon başarısı geliştirilen modelin gerçek veri ile tutarlılığına bağlıdır. Bu nedenle, sistemin verimliliğini artırmak için kapsamlı kullanıcı davranışları araştırılmalıdır. Kullanıcıların sürüşten önceki yürüme davranışları araçların erişilebilirliğini ifade etmektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, kullanıcıların yürüme sürelerinin nasıl tespit edileceği ile ilgili çalışmalar kısıtlıdır. Bu kısıtlı çalışmalarda yürüme davranışının modellenmesi konusunda da eksiklikler bulunmaktadır. Literatürdeki çalışmaların bir diğer eksiği ise yürüme istekliliğinin yalnızca mesafe ile ilişkilendirilmiş olmasıdır. Ancak eğim gibi çevresel etmenlerin yürüme davranışını etkilediği çeşitli çalışmalarda kanıtlanmıştır (Broach & Dill, 2015; Meeder vd., 2017).

Bu tez çalışmasında, istasyonsuz paylaşımlı ulaşım sistemlerinin verimliliğini artırmak amacıyla kullanıcı yürüme davranışlarını mesafe ve eğim parametrelerini dikkate alarak modelleyen WB-MCLP algoritması geliştirilmiştir. Bu bağlamda, çalışmanın ilk aşamasında, geçmiş sürüş verileri ile konum telemetrikleri sistematik şekilde eşleştirilerek kullanıcıların sürüş öncesi yürüme süreleri tespit edilmiştir. Bu sayede, kullanıcıların hizmete erişim konusundaki hem mesafe hem de eğimi göz önünde bulunduran yürüme davranışı modellenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, WB-MCLP modelinin hem mesafe hem de kapsama açısından üstün performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. WB-MCLP modeli, ortalama yürüme mesafesi açısından, 20 senaryonun 14'ünde, kapsama oranı açısından 20 senaryonun 11'sinde diğer modellerden daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. WB-MCLP'nin yüksek kapsama oranını ve düşük ortalama yürüme mesafelerini sağlaması, modelin kullanıcı memnuniyetini artırma ve sistemin kullanılabilirliğini iyileştirme potansiyelini desteklemektedir.

Kapsama oranı açısından değerlendirildiğinde, WB-MCLP modelinin birçok senaryoda %75 ve üzerinde kapsama sağladığı görülmektedir. Bu değerler, hizmet alanındaki TN'lerin büyük çoğunluğuna minimum erişim mesafesiyle ulaşılabildiğini göstermektedir. Ayrıca hem kapsama hem de mesafe kriterlerinde elde edilen sonuçların

tutarlı olması, modelin yalnızca belirli koşullarda değil, farklı şehir ve topografik yapılarda da etkili çalıştığını kanıtlamaktadır.

Gelecek çalışmalarda elde edilen bulguların hava durumu gibi farklı etmenlerden nasıl etkilendiği analiz edilerek dinamik bir model geliştirilebilir. Operatör firmalar araç dağıtım stratejilerini kullanıcıların dinamik davranışlarına göre optimize edebilirler. Özellikle, kısa süreli yolculukların yaygın olduğu bölgelerde daha dağınık bir araç dağıtım stratejisi benimsenebilirken, uzun süreli yolculukların yaygın olduğu bölgelerde daha geniş bir dağıtım stratejisi benimsenebilir. Operatör firmaya diğer kullanıcılardan daha fazla gelir getiren kullanıcılara özel stratejiler geliştirilebilir ve uygulanabilir. Sürüş gerçekleşmemiş taleplerin de analiz edilerek modelin iyileştirilmesi sağlanabilir. Çalışmadaki yürüme davranışını daha detaylı analiz etmek için, aktif yürüme süresi ile hazırlık süresini ayırtmada konum telemetrisi üzerinde daha detaylı analizler yapılması faydalı olabilir. Böyle bir ayırtma, kullanıcı yürüme davranışlarının daha gerçekçi modellenmesine ve literatürdeki yürüyüş hızı karşılaştırmalarının daha sağlıklı yapılmasına olanak sağlayacaktır. Literatürdeki gündelik yürüme davranışını etkilediği bilinen hava koşulları, yol altyapısı, güvenlik, demografik özellikler gibi diğer etmenler de modele dahil edilebilir. Aday noktalarının kapasitelerini göz önünde bulunduran ve talep noktasının birden fazla aday noktaları tarafından kapsanabilmesi gibi durumların dahil edilmesi modelin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca, geçmiş sürüş verileri üzerinden gerçekleştirilmenin yanında, gerçek zamanlı elde edilen verilerle modelin dinamik olarak güncellenebilmesi sağlanabilir. Ayrıca, dinamik konumlandırma stratejileri ve yapay zekâ tabanlı optimizasyon yöntemleri ile modelin daha esnek hale getirilmesi mümkündür.

7. KAYNAKLAR

- Abouelela, M., Chaniotakis, E., & Antoniou, C. (2023). Understanding the landscape of shared-e-scooters in North America; Spatiotemporal analysis and policy insights. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 169, 103602. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103602>
- Abouelela, M., Lyu, C., & Antoniou, C. (2023). Exploring the Potentials of Open-Source Big Data and Machine Learning in Shared Mobility Fleet Utilization Prediction. *Data Science for Transportation*, 5(2), 5. <https://doi.org/10.1007/s42421-023-00068-9>
- Aktaş, E., Özaydın, Ö., Bozkaya, B., Ülengin, F., & Önsel, Ş. (2013). Optimizing Fire Station Locations for the Istanbul Metropolitan Municipality. *Interfaces*, 43(3), 240-255. <https://doi.org/10.1287/inte.1120.0671>
- Anand, R., Aggarwal, D., & Kumar, V. (2017). A comparative analysis of optimization solvers. *Journal of Statistics and Management Systems*, 20(4), 623-635. <https://doi.org/10.1080/09720510.2017.1395182>
- Ankrah, R., Lacroix, B., McCall, J., Hardwick, A., & Conway, A. (2019). Introducing the Dynamic Customer Location-Allocation Problem. *2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 3157-3164. <https://doi.org/10.1109/CEC.2019.8790150>
- Arslan, O., & Laporte, G. (2025). The 15-minute city concept: An operations research perspective and a research agenda. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 202, 104287. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2025.104287>
- Atta, S., Sinha Mahapatra, P. R., & Mukhopadhyay, A. (2018). Solving maximal covering location problem using genetic algorithm with local refinement. *Soft Computing*, 22(12), 3891-3906. <https://doi.org/10.1007/s00500-017-2598-3>
- Azarmand, Z., & Neishabouri, E. (2009). Location Allocation Problem. İçinde R. Zanjirani Farahani & M. Hekmatfar (Ed.), *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies* (ss. 93-109). Physica-Verlag HD. https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2151-2_5
- Banerjee, S., Kabir, Md. M., Khadem, N. K., & Chavis, C. (2020). Optimal locations for bikeshare stations: A new GIS based spatial approach. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 4, 100101. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100101>
- Baroudi, L., Yan, X., Newman, M. W., Barton, K., Cain, S. M., & Shorter, K. A. (2022). Investigating walking speed variability of young adults in the real world. *Gait & Posture*, 98, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.08.012>
- Batta, R., & Mannur, N. R. (1990). Covering-Location Models for Emergency Situations That Require Multiple Response Units. *Management Science*, 36(1), 16-23. <https://doi.org/10.1287/mnsc.36.1.16>

- Berg Wincent, B., Jenelius, E., & Burghout, W. (2023). Access distance to e-scooters: Analysis of app use and trip data in Stockholm. *Journal of Cycling and Micromobility Research*, 1, 100004. <https://doi.org/10.1016/j.jcmr.2023.100004>
- Bolouri, S., Vafeainejad, A., Alesheikh, A., & Aghamohammadi, H. (2020). Environmental sustainable development optimizing the location of urban facilities using vector assignment ordered median problem-integrated GIS. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(5), 3033-3054. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02573-3>
- Boonjubut, K., & Hasegawa, H. (2022). Accuracy of Hourly Demand Forecasting of Micro Mobility for Effective Rebalancing Strategies. *Management Systems in Production Engineering*, 30(3), 246-252. <https://doi.org/10.2478/mspe-2022-0031>
- Böcker, L., Dijst, M., Faber, J., & Helbich, M. (2015). En-route weather and place valuations for different transport mode users. *Journal of Transport Geography*, 47, 128-138. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.06.003>
- Broach, J., & Dill, J. (2015). *Pedestrian Route Choice Model Estimated from Revealed Preference GPS Data* (15-3669). Article 15-3669. Transportation Research Board 94th Annual Meeting Transportation Research Board. <https://trid.trb.org/View/1338221>
- Caggiani, L., Camporeale, R., Ottomanelli, M., & Szeto, W. Y. (2018). A modeling framework for the dynamic management of free-floating bike-sharing systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 87, 159-182. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.01.001>
- Camilleri, R., & Debattista, J. (2020). *Demand prediction for shared mobility services using time series modelling* [University of Malta]. https://ceur-ws.org/Vol-2771/AICS2020_paper_38.pdf
- Campbell, A. A., Cherry, C. R., Ryerson, M. S., & Yang, X. (2016). Factors influencing the choice of shared bicycles and shared electric bikes in Beijing. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67, 399-414. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.03.004>
- Carroll, P. (2022). Perceptions of Electric Scooters Prior to Legalisation: A Case Study of Dublin, Ireland, the ‘Final Frontier’ of Adopted E-Scooter Use in Europe. *Sustainability*, 14(18), Article 18. <https://doi.org/10.3390/su141811376>
- Caspi, O., Smart, M. J., & Noland, R. B. (2020). Spatial associations of dockless shared e-scooter usage. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86, 102396. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102396>
- Celik, G., Ulusar, U. D., Sarsenbay, A., & Taleb-Ahmed, A. (2023). Innovative Parking Solutions in Smart Cities. *2023 8th International Conference on Computer*

- Science and Engineering (UBMK)*, 51-56.
<https://doi.org/10.1109/UBMK59864.2023.10286713>
- Chen, Q., Ma, S., Li, H., Zhu, N., & He, Q.-C. (2024). Optimizing bike rebalancing strategies in free-floating bike-sharing systems: An enhanced distributionally robust approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 184, 103477. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103477>
- Choi, M., Jung, H., & Lee, H. (2021). Determining the Optimum Service Area and Station Location for Personal Mobility Sharing Services. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(10), 3966-3976. <https://doi.org/10.1007/s12205-021-2060-z>
- Christoforou, Z., de Bortoli, A., Gioldasis, C., & Seidowsky, R. (2021). Who is using e-scooters and how? Evidence from Paris. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 92, 102708. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102708>
- Church, R., & Velle, C. R. (1974). THE MAXIMAL COVERING LOCATION PROBLEM. *Papers in Regional Science*, 32(1), 101-118. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5597.1974.tb00902.x>
- Conrow, L., Murray, A. T., & Fischer, H. A. (2018). An optimization approach for equitable bicycle share station siting. *Journal of Transport Geography*, 69, 163-170. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.04.023>
- Daskin, M. S., & Dean, L. K. (2004). Location of Health Care Facilities. İçinde M. L. Brandeau, F. Sainfort, & W. P. Pierskalla (Ed.), *Operations Research and Health Care: A Handbook of Methods and Applications* (ss. 43-76). Springer US. https://doi.org/10.1007/1-4020-8066-2_3
- Dehdari Ebrahimi, Z., Momenitabar, M., Nasri, A. A., & Mattson, J. (2022). Using a GIS-based spatial approach to determine the optimal locations of bikeshare stations: The case of Washington D.C. *Transport Policy*, 127, 48-60. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.08.008>
- Drezner, T., & Drezner, Z. (2016). Sequential location of two facilities: Comparing random to optimal location of the first facility. *Annals of Operations Research*, 246(1), 5-18. <https://doi.org/10.1007/s10479-014-1699-y>
- Durand, C. P., Zhang, K., & Salvo, D. (2017). Weather is not significantly correlated with destination-specific transport-related physical activity among adults: A large-scale temporally matched analysis. *Preventive Medicine*, 101, 133-136. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2017.05.028>
- FICO® Xpress Optimization. (2025, Ağustos 4). [Concept]. <https://www.fico.com/fico-xpress-optimization/docs/latest/overview.html>
- Fil, M. M., & Dirsehan, T. (2024). Eco? No, Ego-scooters: Steering towards time-saving trails in urban mobility. *Research in Transportation Business & Management*, 56, 101190. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2024.101190>

- Frade, I., & Ribeiro, A. (2015). Bike-sharing stations: A maximal covering location approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 82, 216-227. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.09.014>
- Galvão, R. D., Gonzalo Acosta Espejo, L., & Boffey, B. (2000). A comparison of Lagrangean and surrogate relaxations for the maximal covering location problem. *European Journal of Operational Research*, 124(2), 377-389. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00171-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00171-X)
- Gebhart, K., & Noland, R. B. (2014). The impact of weather conditions on bikeshare trips in Washington, DC. *Transportation*, 41(6), 1205-1225. <https://doi.org/10.1007/s11116-014-9540-7>
- Gehrlein, W., & Pasic, M. (2009). Centroid: A widely misunderstood concept in facility location. *International Journal of Industrial Engineering*, 16, 99-107.
- GEZ Mobility. (2025). [Available]. <https://gezmobility.com/EN>
- Gurobi Optimizer. (2025, Ağustos 4). Gurobi Optimization. <https://www.gurobi.com/solutions/gurobi-optimizer/>
- Ham, S. W., Cho, J.-H., Park, S., & Kim, D.-K. (2021). Spatiotemporal Demand Prediction Model for E-Scooter Sharing Services with Latent Feature and Deep Learning. *Transportation Research Record*, 2675(11), 34-43. <https://doi.org/10.1177/03611981211003896>
- Hansson, J., Pettersson, F., Svensson, H., & Wretstrand, A. (2019). Preferences in regional public transport: A literature review. *European Transport Research Review*, 11(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0374-4>
- Hasan, M., & Sisiopiku, V. P. (2024). Shared E-Scooter Practices in Birmingham, Alabama: Analyzing Usage, Patterns, and Determinants. *Future Transportation*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/futuretransp4010008>
- Herrmann, E., & Kunze, O. (2019). Facility Location Problems in City Crowd Logistics. *Transportation Research Procedia*, 41, 117-134. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.09.023>
- IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. (2025, Ağustos 4). <https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio>
- Jia, H., Ordóñez, F., & Dessouky, M. (2007). A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies. *IIE Transactions*, 39(1), 41-55. <https://doi.org/10.1080/07408170500539113>
- Jiao, Z., Ran, L., Liu, X., Zhang, Y., & Qiu, R. G. (2020). Integrating Price-Incentive and Trip-Selection Policies to Rebalance Shared Electric Vehicles. *Service Science*, 12(4), 148-173. <https://doi.org/10.1287/serv.2020.0266>

- Karatas, M. (2017). A multi-objective facility location problem in the presence of variable gradual coverage performance and cooperative cover. *European Journal of Operational Research*, 262(3), 1040-1051. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.001>
- Karatas, M., Razi, N., & Tozan, H. (2017). A multi-criteria assessment of the p-median, maximal coverage and p-center location models. *Tehnicki Vjesnik*, 24, 399-407. <https://doi.org/10.17559/TV-20160508131905>
- Kc, K., Corcoran, J., & Chhetri, P. (2020). Measuring the spatial accessibility to fire stations using enhanced floating catchment method. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69, 100673. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.11.010>
- Ke, J., Yang, H., Zheng, H., Chen, X., Jia, Y., Gong, P., & Ye, J. (2019). Hexagon-Based Convolutional Neural Network for Supply-Demand Forecasting of Ride-Sourcing Services. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(11), 4160-4173. <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2882861>
- Kim, J. O., Shin, D.-J., Park, J.-N., & Singh, C. (2002). Atavistic genetic algorithm for economic dispatch with valve point effect. *Electric Power Systems Research*, 62(3), 201-207. [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(02\)00036-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(02)00036-6)
- Kim, S., Choo, S., Lee, G., & Kim, S. (2022). Predicting Demand for Shared E-Scooter Using Community Structure and Deep Learning Method. *Sustainability*, 14(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/su14052564>
- Kim, S., Lee, G., & Choo, S. (2023). Optimal Rebalancing Strategy for Shared e-Scooter Using Genetic Algorithm. *Journal of Advanced Transportation*, 2023(1), 2696651. <https://doi.org/10.1155/2023/2696651>
- Lee, J., Abdel-Aty, M., Huang, H., & Cai, Q. (2019). Transportation Safety Planning Approach for Pedestrians: An Integrated Framework of Modeling Walking Duration and Pedestrian Fatalities. *Transportation Research Record*, 2673(4), 898-906. <https://doi.org/10.1177/0361198119837962>
- Lee, W. K., Sohn, S. Y., & Heo, J. (2018). Utilizing mobile phone-based floating population data to measure the spatial accessibility to public transit. *Applied Geography*, 92, 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.02.003>
- Li, X., & Lu, X. (2024). The facility location problem with maximum distance constraint. *Information Processing Letters*, 184, 106447. <https://doi.org/10.1016/j.ipl.2023.106447>
- Liao, L., Li, B., Huang, D., Xiao, Z., & Zheng, Q. (2023). An Intelligent Rebalance System for Tidal Phenomenon of Dockless Bicycle-Sharing. *IEEE Access*, 11, 12937-12948. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3241799>

- Martínez, L. M., & Viegas, J. M. (2013). A new approach to modelling distance-decay functions for accessibility assessment in transport studies. *Journal of Transport Geography*, 26, 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.08.018>
- Mathew, J. K., Liu, M., & Bullock, D. M. (2019). Impact of Weather on Shared Electric Scooter Utilization. *2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*, 4512-4516. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2019.8917121>
- Meeder, M., Aebi, T., & Weidmann, U. (2017). The influence of slope on walking activity and the pedestrian modal share. *Transportation Research Procedia*, 27, 141-147. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.095>
- Muren, Li, H., Mukhopadhyay, S. K., Wu, J., Zhou, L., & Du, Z. (2020). Balanced maximal covering location problem and its application in bike-sharing. *International Journal of Production Economics*, 223, 107513. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.09.034>
- Murray, A. T., & Tong, D. (2007). Coverage optimization in continuous space facility siting. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(7), 757-776. <https://doi.org/10.1080/13658810601169857>
- Noland, R. B. (2021). Scootin' in the rain: Does weather affect micromobility? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 149, 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.05.003>
- Open-Elevation API. (2024). <https://open-elevation.com/>
- Pal, A., & Zhang, Y. (2017). Free-floating bike sharing: Solving real-life large-scale static rebalancing problems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 80, 92-116. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.03.016>
- Pande, D., & Taeihagh, A. (2021). The Governance Conundrum of Powered Micromobility Devices: An In-Depth Case Study from Singapore. *Sustainability*, 13(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su13116202>
- Park, C., & Sohn, S. Y. (2017). An optimization approach for the placement of bicycle-sharing stations to reduce short car trips: An application to the city of Seoul. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 105, 154-166. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.08.019>
- Ploeger, J., & Oldenziel, R. (2020). The sociotechnical roots of smart mobility: Bike sharing since 1965. *The Journal of Transport History*, 41(2), 134-159. <https://doi.org/10.1177/0022526620908264>
- Reck, D. J., Haitao, H., Guidon, S., & Axhausen, K. W. (2021). Explaining shared micromobility usage, competition and mode choice by modelling empirical data from Zurich, Switzerland. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 124, 102947. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102947>

- Reck, D. J., Martin, H., & Axhausen, K. W. (2022). Mode choice, substitution patterns and environmental impacts of shared and personal micro-mobility. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102, 103134. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103134>
- Regue, R., & Recker, W. (2014). Proactive vehicle routing with inferred demand to solve the bikesharing rebalancing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 72, 192-209. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.10.005>
- Resende, M. G. C., & Werneck, R. F. (2006). A hybrid multistart heuristic for the uncapacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research*, 174(1), 54-68. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.02.046>
- Saum, N. (2023). *Integrating machine learning and optimization techniques for short-term management of shared e-scooters under demand uncertainty* (313862). Article 313862. https://digital.library.tu.ac.th/tu_dc/frontend/Info/item/dc:313862
- Schuijbroek, J., Hampshire, R. C., & van Hoes, W.-J. (2017). Inventory rebalancing and vehicle routing in bike sharing systems. *European Journal of Operational Research*, 257(3), 992-1004. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.08.029>
- Shukla, A., Pandey, H. M., & Mehrotra, D. (2015). Comparative review of selection techniques in genetic algorithm. *2015 International Conference on Futuristic Trends on Computational Analysis and Knowledge Management (ABLAZE)*, 515-519. <https://doi.org/10.1109/ABLAZE.2015.7154916>
- Simoyama, F. O., Curtin, K. M., Croope, S., de Salles Neto, L. L., & Santos, L. B. L. (2025). Semivariogram-based distance function for gradual coverage location models. *Expert Systems with Applications*, 267, 126167. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.126167>
- Singla, A., Santoni, M., Bartók, G., Mukerji, P., Meenen, M., & Krause, A. (2015). Incentivizing Users for Balancing Bike Sharing Systems. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 29(1), Article 1. <https://doi.org/10.1609/aaai.v29i1.9251>
- Spieker, H., Hagg, A., Gaier, A., Meilinger, S., & Asteroth, A. (2017). Multi-stage evolution of single- and multi-objective MCLP. *Soft Computing*, 21(17), 4859-4872. <https://doi.org/10.1007/s00500-016-2374-9>
- Swessi, R., & EL Khalfi, Z. (2024). Shared Micro-mobility: Technologies, Challenges and Prospects of Using Collected Data. İçinde I. Jemili, M. Mosbah, S. Mabrouk, & L. Mendiboure (Ed.), *Distributed Computing for Emerging Smart Networks* (ss. 41-55). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-52823-1_3

- Tao, S., & Pender, J. (2021). A STOCHASTIC ANALYSIS OF BIKE-SHARING SYSTEMS. *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, 35(4), 781-838. <https://doi.org/10.1017/S0269964820000297>
- Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., & Bergman, L. (1971). The Location of Emergency Service Facilities. *Operations Research*, 19(6), 1363-1373. <https://doi.org/10.1287/opre.19.6.1363>
- UN-Habitat. (2022). *World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities | UN-Habitat*. <https://unhabitat.org/world-cities-report-2022-envisaging-the-future-of-cities>
- Vanky, A. P., Verma, S. K., Courtney, T. K., Santi, P., & Ratti, C. (2017). Effect of weather on pedestrian trip count and duration: City-scale evaluations using mobile phone application data. *Preventive Medicine Reports*, 8, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2017.07.002>
- Wang, L., Jin, Y., Wang, L., Ma, W., & Li, T. (2019). Incentive-Based Approach to Control Demands for Operation of One-Way Carsharing System. *Transportation Research Record*, 2673(4), 427-438. <https://doi.org/10.1177/0361198119837497>
- Wang, L., Zhong, H., Ma, W., Zhong, Y., & Wang, L. (2020). Multi-source data-driven prediction for the dynamic pickup demand of one-way carsharing systems. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 8(1), 90-107. <https://doi.org/10.1080/21680566.2019.1695232>
- Wang, S., Wu, Y. J., & Li, R. (2022). An Improved Genetic Algorithm for Location Allocation Problem with Grey Theory in Public Health Emergencies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), 9752. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159752>
- Wang, Z., Ettema, D., & Helbich, M. (2021). Objective environmental exposures correlate differently with recreational and transportation walking: A cross-sectional national study in the Netherlands. *Environmental Research*, 194, 110591. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110591>
- Wu, L.-Y., Zhang, X.-S., & Zhang, J.-L. (2006). Capacitated facility location problem with general setup cost. *Computers & Operations Research*, 33(5), 1226-1241. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.09.012>
- Xu, C., Ji, J., & Liu, P. (2018). The station-free sharing bike demand forecasting with a deep learning approach and large-scale datasets. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 47-60. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.07.013>
- Xu, M., Liu, H., & Yang, H. (2020). A Deep Learning Based Multi-Block Hybrid Model for Bike-Sharing Supply-Demand Prediction. *IEEE Access*, 8, 85826-85838. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2987934>

- Yang, Y., & Diez-Roux, A. V. (2012). Walking Distance by Trip Purpose and Population Subgroups. *American Journal of Preventive Medicine*, 43(1), 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2012.03.015>
- Yang, Y., Wang, X., Xu, Y., & Huang, Q. (2020). Multiagent Reinforcement Learning-Based Taxi Predispaching Model to Balance Taxi Supply and Demand. *Journal of Advanced Transportation*, 2020(1), 8674512. <https://doi.org/10.1155/2020/8674512>
- Ye, H., & Kim, H. (2016). Locating healthcare facilities using a network-based covering location problem. *GeoJournal*, 81(6), 875-890. <https://doi.org/10.1007/s10708-016-9744-9>
- Ye, L., Ye, C., & Chuang, Y.-F. (2011). Location set covering for waste resource recycling centers in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 979-985. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.007>
- Younes, H., Zou, Z., Wu, J., & Baiocchi, G. (2020). Comparing the Temporal Determinants of Dockless Scooter-share and Station-based Bike-share in Washington, D.C. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 134, 308-320. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.02.021>
- Yu, L., Feng, T., Li, T., & Cheng, L. (2023). Demand Prediction and Optimal Allocation of Shared Bikes Around Urban Rail Transit Stations. *Urban Rail Transit*, 9(1), 57-71. <https://doi.org/10.1007/s40864-022-00183-w>
- Yue, J., Long, Y., Wang, S., & Liang, H. (2024). Optimization of Shared Electric Scooter Deployment Stations Based on Distance Tolerance. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/ijgi13050147>
- Yun, H., Kim, E.-J., Ham, S. W., & Kim, D.-K. (2022). Price incentive strategy for the E-scooter sharing service using deep reinforcement learning. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15472450.2022.2135437>
- Zhang, X., Yang, H., Zheng, R., Jin, Z., & Zhou, B. (2019). A Dynamic Shared Bikes Rebalancing Method Based on Demand Prediction. *2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*, 238-244. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2019.8917099>
- Zhang, Y., Wang, S., Liang, H., Li, X., Wang, Z., & Lu, H. (2024). Dual hybrid frameworks combining graph convolutional network with decoding for covering location problem. *iScience*, 27(5), 109803. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.109803>
- Zhong, Y. (2025). *DeepGridMCLP: A Deep Reinforcement Learning Approach to Solve the Maximal Covering Location Problem with Facilities in Continuous Regions* [Ph.D., The Claremont Graduate University].

<https://www.proquest.com/docview/3206737158/abstract/A6F25FDD3FB447E9PQ/1?%20Theses&sourcetype=Dissertations%20>

Zhu, C., Sun, X., Li, Y., Cui, M., & Gao, J. (2024). Assessing the effects of dockless bicycle-sharing on docked bicycle-sharing usage: Evidence from Xi'an, China. *Alexandria Engineering Journal*, 108, 952-960. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.09.075>



8. EKLER

EK-1. Tübitak 1002 Proje Sözleşmesi

HARCAMALARI PROJENİN YÜRÜTÜLDÜĞÜ KAMU KURUM veya ÜNİVERSİTE TARAFINDAN GERÇEKLEŞTİRİLECEK HIZLI DESTEK PROGRAMI KAPSAMINDA DESTEKLENEN ARAŞTIRMA PROJELERİNE AİT SÖZLEŞME

1. SÖZLEŞMENİN AMACI VE KAPSAMI

Bu sözleşme, TÜBİTAK tarafından desteklenmesi kabul edilen ve aşağıda bilgileri verilen projenin konusunu, amacını, çalışma programını, bütçe planı ile TÜBİTAK kaynağı kullanılarak yapılacak harcamaların yapılmasında uyulacak kuralları, sözleşmenin idari ve mali diğer hükümlerini ve proje yürütücüsü ile diğer tarafların hak ve sorumluluklarını belirler.

Proje Numarası : 124E543
 Proje Başlığı : Paylaşım Tabanlı Ulaşım Sistemlerindeki Kiralama Öncesi Kullanıcı Davranışlarının Analizi ve Araç Yerleşimlerinin Yürüme Mesafelerine Etkisi
 Program Kodu ve Adı : 1002 - HIZLI DESTEK PROGRAMI

2. SÖZLEŞMENİN TARAFLARI

Bu sözleşme, projenin yürütüldüğü kurum/kuruluş, projenin fiilen yürütüldüğü birim ve proje yürütücüsü ile projeyi destekleyen kurum olarak Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) arasında aşağıda belirtilen şartlar dahilinde akdedilmiştir.

3. TARAFLARA İLİŞKİN BİLGİLER

a) Projenin Yürütüldüğü Kurum/Kuruluş

Adı : ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT Ü.
 Adresi : ANTALYA

b) Projenin Yürütüldüğü Birim

Adı : ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT Ü. MÜHENDİSLİK F. BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ B.
 Adresi : ANTALYA

c) Proje Yürütücüsü

Adı Soyadı : Araştırma Görevlisi GÜRKAN ÇELİK
 Yazışma Adresi : ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ RAFET KAYIŞ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ ANTALYA
 TC Kimlik Numarası : Telefon :
 E-posta : Faks :
 GSM :

d) Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

Atatürk Bulvarı No:221 06100 Kavaklıdere / ANKARA

4. PROJENİN SÜRESİ VE TOPLAM BÜTÇESİ

Projenin Başlama Tarihi : t0 (*)
 Projenin Bitiş Tarihi : t0 + 6 ay
 Proje Süresi (ay) : 6
 Proje Bütçesi : 67.639,00
 (ALTMİSYEDİBİNALTIYÜZOTUZDOKUZ TLTL)

(*) Başlangıç ödeneği transfer tarihi proje başlama tarihi (t0) olarak belirlenecek olup, bu tarih akitanmla birlikte yürütücüye eposta yolu ile iletilecektir. Proje bütçesi, ödeme planı çerçevesinde " Esaslar " a uygun olarak Kurum tarafından açılarak TÜBİTAK'a bildirilen proje özel hesabına transfer edilir.

Bu belge, 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununa göre Güvenli Elektronik İmza ile imzalanmıştır.

EK-2. Etik Kurulu Onay Belgesi

Evrak Tarih ve Sayısı: 25.09.2024-207199



T.C.
ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Fen ve Mühendislik Bilimleri Alanı Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği
Kurulu



Sayı : E-70561447-050.04-207199
Konu : Fen ve Mühendislik Bilimleri Alanı
Kurul Kararı hk

25.09.2024

Sayın Arş. Gör. Gürkan ÇELİK

İlgi : 12.09.2024 tarihli, 35334373--E.7612 sayılı yazınız.

İlgide kayıtlı yazınız ile başvurusunu yaptığınız çalışmalarınızla ilgili değerlendirme sonucu verilen Üniversitemiz Fen ve Mühendislik Bilimleri Alanı Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu'nun 19.09.2024 tarih ve 03/01 numaralı kararı ekte sunulmuştur.

Bilgilerini ve gereğini rica ederim.

Prof. Dr. Kenan Ahmet TÜRKDOĞAN
Rektör

Ek: Arş. Gör. Gürkan ÇELİK 01 Nolu Karar (1 Sayfa)

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : BSD4EJLNE4 Pin Kodu : 24662

Belge Takip Adresi : <https://www.turkiye.gov.tr/alaadin-keykubat-uni-ebys>

Adres: Kestel Mahallesi Üniversite Caddesi No:179 Alanya/Antalya

Telefon: (0242) 510 60 60 Faks: (0242) 510 60 09

e-Posta: alku@alanya.edu.tr Web: www.alanya.edu.tr

Kep Adresi: alanyaalaaddinkykubat@hs01.kep.tr

Bilgi için: Mustafa Şahin

Unvanı: İşçi



Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır..

Evrak Tarih ve Sayısı: 24.09.2024-206224

T.C.

ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ

Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurul Kararı

TOPLANTI SAYISI	KARAR SAYISI	KARAR TARİHİ
03	02	19.09.2024

Karar Numarası: 2024/01

Arş. Gör. Gürkan ÇELİK'in Araştırmanın Yürütücülüğünü yaptığı Diğer Araştırmacılar Akdeniz Üniversitesinde görevli Prof. Dr. Ümit Deniz ULUŞAR'ın 12.09.2024 tarihli ve 7612 E. No'lu TÜBİTAK 1002 - B Acil Destek Modülü kapsamında kabul almış **"Paylaşım Tabanlı Ulaşım Sistemlerindeki Kiralama Öncesi Kullanıcı Davranışlarının Analizi ve Araç Yerleşimlerinin Yürüme Mesafelerine Etkisi"** başlıklı **"124E543"** numaralı proje başvurusu için **"Klinik Olmayan İnsan Araştırmaları Etik Kurul Onay Belgesi"** alması gerekmekte olup, yapacağı bilimsel araştırmasına ait etik kurul başvurusunun görüşülmesi istemi.

Arş. Gör. Gürkan ÇELİK'in Araştırmanın Yürütücülüğünü yaptığı Diğer Araştırmacılar Akdeniz Üniversitesinde görevli Prof. Dr. Ümit Deniz ULUŞAR'ın 12.09.2024 tarihli ve 7612 E. No'lu TÜBİTAK 1002 - B Acil Destek Modülü kapsamında kabul almış **"Paylaşım Tabanlı Ulaşım Sistemlerindeki Kiralama Öncesi Kullanıcı Davranışlarının Analizi ve Araç Yerleşimlerinin Yürüme Mesafelerine Etkisi"** başlıklı **"124E543"** numaralı proje başvurusu için **"Klinik Olmayan İnsan Araştırmaları Etik Kurul Onay Belgesi"** alması gerekmekte olup, yapacağı bilimsel araştırmasına ait etik kurul başvurusunun fikri, hukuki ve telif hakları bakımından metot ve ölçeğine ilişkin sorumluluğun başvurucaya ait olmak üzere araştırma süresince uygulanmasının **etik olarak uygun olduğuna** oybirliği ile karar verildi.**19.09.2024**

(e-imzalıdır)

Prof. Dr. Erhan CENGİZ
Kurul Başkanı

(e-imzalıdır)

Prof. Dr. Atılğan ATILGAN
(Kurul Başkan YRD)

(e-imzalıdır)

Prof. Dr. Murat Alper BAŞARAN
Üye

(e-imzalıdır)

Prof. Dr. Mustafa Ümit GÜMÜŞAY
Üye

(e-imzalıdır)

Prof. Dr. Özgür GÖLGE
Üye

(e-imzalıdır)

Prof. Dr. Alaattin KANOĞLU
Üye

(e-imzalıdır)

Prof. Dr. Fikri Serdar GÖKHAN
Üye

Bu belge,güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır..

ÖZGEÇMİŞ

Gürkan ÇELİK

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2019 - 2025	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Antalya
Yüksek Lisans 2017 - 2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Antalya
Lisans 2009 - 2015	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektronik Haberleşme Mühendisliği Bölümü Kocaeli

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi 2021 - Devam	Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
YÖK 100/2000 Bursiyeri 2020-2021	Akdeniz Üniversitesi / Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Yazılım Mühendisliği Çalışma Alanı

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- 1- U. D. Ulusar, **G. Celik**, and F. Al-Turjman, “Cognitive RF-based localization for mission-critical applications in smart cities: An overview,” Comput. Electr. Eng., vol. 87, p. 106780, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.compeleceng.2020. 106780. *(Yayımlandı)*
- 2- **G. Celik**, U. D. Ulusar and M. A. Basaran, “A Comprehensive Usage Pattern Analysis of Shared E-Scooters in Urban Mobility”, International Journal of Scientific Research in Engineering & Technology, Volume 04, Issue 06, November-December 2024, PP: 06-17. *(Yayımlandı)*

- 3- **G. Celik**, U. D. Ulusar, M. A. Basaran, O. O. Karadag and T. Y. Alkan, ‘Exploring Pre-Ride Walking Behaviours for Shared Transportation Vehicle Deployment’, Journal of Transport Geography (*Hakem değerlendirmesinde*)

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 4- **G. Celik**, M. Baimagambetova, and V. Abromavičius, ‘A Review of Fingerprinting Techniques for Smart Cities’, in 2022 IEEE Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream), Apr. 2022, pp. 1–4. doi: 10.1109/eStream56157.2022.9781754. (*Yayımlandı*)
- 5- **G. Celik**, U. D. Ulusar, A. Sarsenbay, and A. Taleb-Ahmed, ‘Innovative Parking Solutions in Smart Cities’, in 2023 8th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), Sep. 2023, pp. 51–56. doi: 10.1109/UBMK59864.2023.10286713. (*Yayımlandı*)

PROJELER

- 6- **G. Celik**, U. D. Ulusar, ‘Akıllı Ulaşım Sistemlerine Yönelik Araç Talep Öngörü ve Dağıtım Stratejisi Planlama Yazılımı’, Proje No: 2210806, **TÜBİTAK 1507** KOBİ Ar-Ge Başlangıç Destek Programı (*Yürütölüyor*)
- 7- **G. Celik**, U. D. Ulusar, ‘Paylaşım Tabanlı Ulaşım Sistemlerindeki Kiralama Öncesi Kullanıcı Davranışlarının Analizi ve Araç Yerleşimlerinin Yürüme Mesafelerine Etkisi’, Proje No: 124E543, **TÜBİTAK 1002-B** Acil Destek Modülü (*Tamamlandı*)
- 8- **G. Celik**, U. D. Ulusar, ‘Kitle Kaynak Kullanımı ve Esnek Çalışma Modeli Temelli Paket Teslimat Uygulaması’, Proje No: 2210806, **TÜBİTAK 1512** Teknoloji Sermayesi Desteęi Programı-BiGG (*Tamamlandı*)
- 9- M. Leszczuk, M. Grega, U. D. Ulusar, O. O. Karadag, **G. Celik**, T. Fernandes, F. Perdigoto, L. Lopes, G. Yaman, ‘Urban Mobility Boost: Sustainable Cities by Smart Monitoring of City Traffic and Encouraging Micro-Mobility’, Proje No: F-DUT-2024-0262, **Horizon Europe Driving Urban Transitions** (DUT 2024) (*İkinci aşama hakem değerlendirmesinde*)