

**ESKİŞEHİR TEPEBAŞI BÖLGESİNDEN AKILLI TESLİMAT DOLAPLARINA
ERİŞİLEBİLİRLİĞİN İYİLEŞTİRİLEREK YERLEŞTİRİLMESİ PROBLEMİ**

Lisans Tezi

Zeynep Tuana Erkul

Erhan Şimşek

Selin Oğuzman

Haziran, 2025

**ESKİŞEHİR TEPEBAŞI BÖLGESİNDE AKILLI TESLİMAT DOLAPLARINA
ERİŞİLEBİLİRLİĞİN İYİLEŞTİRİLEREK YERLEŞTİRİLMESİ PROBLEMİ**

Zeynep Tuana ERKUL

Selin OĞUZMAN

Erhan ŞİMŞEKER

LİSANS TEZİ

Danışman: Doç. Dr. Gülçin DİNÇ YALÇIN

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

Endüstri Mühendisliği Bölümü

06, 2025

JÜRİ ONAYI

Zeynep Tuana ERKUL, Selin OĞUZMAN ve Erhan ŞİMŞEKER'in "Eskişehir Tepebaşı Bölgesinde Akıllı Teslimat Dolaplarının Stratejik Yerleştirilmesi" başlıklı tezi 13/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Unvanı-Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Doç.Dr. Gülçin DİNÇ YALÇIN
.....

Üye: Öğr.Gör.Dr. Banu GÜNER
.....

Üye : Öğr.Gör.Dr. Orkun BAŞKAN
.....

ÖZET

ESKİŞEHİR TEPEBAŞI BÖLGESİNDE AKILLI TESLİMAT DOLAPLARINA ERİŞİLEBİLİRLİĞİN İYİLEŞTİRİLEREK YERLEŞTİRİLMESİ PROBLEMİ

Zeynep Tuana Erkul

Erhan Şimşek

Selin Oğuzman

Endüstri Mühendisliği

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Haziran, 2025

Danışman: Doç. Dr. Gülçin Dinç Yalçın

Artan kentsel nüfus yoğunluğu ve hızlı e-ticaret büyümesi, teslimat hizmetlerinin verimliliği ve erişilebilirliği üzerinde baskı oluşturmaktır, bu durum özellikle şehir içi teslimat dolaplarının stratejik konumlandırmasını önemli bir mühendislik problemi haline getirmektedir.

Bu çalışma, Eskişehir'in Tepebaşı ilçesinde yaşayan bireylerin ihtiyaçlarına yönelik olarak, akıllı teslimat dolaplarının erişilebilirliğini artırmayı ve optimum yerleşimlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında, bölge altigen hücre yapılarına ayrılarak yaya veya bisikletle 30 dakikalık erişim mesafesi çerçevesinde analiz edilmiştir. Karar verme sürecine rehberlik etmesi amacıyla yaşı grupları, eğitim düzeyi ve mahalle bazında aylık ortalama kargo trafiği gibi demografik ve lojistik veriler toplanmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda çeşitli kümeleme algoritmaları ve kapsama temelli optimizasyon yöntemleri uygulanarak erişim potansiyeli yüksek bölgeler belirlenmiştir. Bu çalışmanın çıktılarının, şehir planlaması ve sürdürülebilir lojistik politikaları kapsamında yerel yönetim ve özel sektör karar vericilerine yol gösterici olması beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Akıllı teslimat dolapları, stratejik yer seçimi, erişilebilirlik, kapsama optimizasyonu, kentsel lojistik

ABSTRACT

**THE PROBLEM OF ENHANCING ACCESSIBILITY AND OPTIMAL
PLACEMENT OF SMART PARCEL LOCKERS IN THE TEPEBAŞI DISTRICT
OF ESKİŞEHİR**

Zeynep Tuana Erkul

Erhan Şimşeker

Selin Oğuzman

Department of Industrial Engineering

Eskisehir Technical University, Faculty of Engineering, June 2025

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Gülçin Dinç Yalçın

The increasing urban population density and the rapid growth of e-commerce have placed significant pressure on the efficiency and accessibility of delivery services, making the strategic placement of parcel lockers a complex engineering problem. This study aims to enhance the accessibility of smart parcel lockers and determine their optimal locations in the Tepebaşı district of Eskişehir, addressing local needs. The region was divided into hexagonal units, and analysis was conducted within a round-trip walking or cycling distance of 30 minutes. Demographic and logistical data—such as age distribution, education level, and average monthly parcel traffic per neighborhood—were collected to support the decision-making process. Various clustering algorithms and coverage-based optimization methods were applied to identify areas with high access potential. The findings of this study are expected to serve as a decision-support tool for local authorities and private sector stakeholders within the framework of urban planning and sustainable logistics policies.

Keywords: Smart parcel lockers, strategic location selection, accessibility, coverage optimization, urban logistics

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması.....	2
1.2. Problemin Kısaca Tarifi.....	12
1.3. Projenin girişimcilik ve yenilikçilik açısından katkısı.....	12
1.4. Projenin BM Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları kapsamında, toplum, sağlık ve güvenliğe, ekonomiye, sürdürülebilirlik ve çevreye etkileri	13
2. YÖNTEMLER.....	14
2.1. Set Covering Yöntemi.....	14
2.2. TOPSIS Yöntemi (Çok Kriterli Karar Verme).....	15
2.3. Uzaklık Matrisi ve Threshold Belirleme.....	15
2.4. Harita Tabanlı Görselleştirme: Folium ile Sunum	16
3. SET COVERING UYGULANMASI.....	16
3.1. Sistem ve Problem Hakkında Genel Bilgiler.....	17
3.2. Yöntemlerin Uygulanması	19
3.2.1. Uygulama Arayüzü ve Seçim Süreci	20
3.2.2. Set Covering Kapsama Haritaları.....	21
3.2.3. Düşük Öncelikli Nokta Analizi	23
3.2.4. TOPSIS Yöntemi ile Mahalle Önceliklendirme.....	24
3.2.5. Mahalleler Arası Uzaklık Matrisi.....	25
3.2.6. Kümeler Arası Uzaklık Analizi	26
3.2.7. Street View ile Saha Gözlemi	28
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	45
KAYNAKÇA	46
EKLER.....	49
EK-1 PROJE PLANI	49
EK-2: Kullanılan Python Kütüphaneleri	50
EK-3: Mahalle Verilerinin Hazırlanması ve Koordinat Çıkartımı	51
EK-4: TOPSIS İçin Verilerin Normalize Edilmesi ve Ağırlıklandırılması	52
EK-5: TOPSIS Puanlarının Hesaplanması ve Öncelik Sınıflandırması	53
EK-6: Mahalleler Arası Mesafe Matrisinin Oluşturulması	54
EK-7: Set Covering Modelinin Tanımlanması ve Optimum Çözümün Elde Edilmesi	55

EK-8: Harita Üzerinde Kapsama Alanlarının ve Merkezlerin Gösterimi	56
EK-9: Düşük Öncelikli Noktaların Haritada Vurgulanması.....	57
EK-10: Her Kümenin Kapsadığı Mahallelerin Belirlenmesi.....	58
EK-11: Küme Merkezlerinin Excel'e Aktarılması ve Görselleştirme Hazırlığı... 	59
EK-12: Küme Merkezleri Arası Uzaklık Matrisi ve HTML Raporlama	60
EK-13: TOPSIS Skorlarının Görsel Olarak HTML'e Aktarılması.....	61
EK-14: HTML Arayüz Tasarımı için CSS Kodları – Genel Yapı	62
EK-15: HTML Arayüz Tasarımı için CSS Kodları – Etkileşimli Elemanlar	63
EK-16: TOPSIS Açıklama Paneli ve HTML Sonuç Raporu	64
EK-17: Sayfa Düzeni ve Görsel Stil Tasarımı.....	65
EK-18: Form Elemanları ve Sekme Arayüzü	66
EK-19: CSS Tabanlı Geçiş ve Animasyon Efektleri	67
EK-20: Sayfa Yükleme Ekranı Tasarımı.....	68
EK-21: Kullanıcı Giriş Paneli Arayüzü	69
EK-22: JavaScript ile Dosya Kaydı ve Sayfa Yönlendirmeleri	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.2.1.1. Proje Arayüz Giriş Ekranı	20
Şekil 3.2.1.2. Kapsama Yarıçapı Seçim Arayüzü	21
Şekil 3.2.2.1. 0,8 km Set Covering Problem kapsama haritası.....	21
Şekil 3.2.2.2. 1,0 km Set Covering Problem kapsama haritası.....	22
Şekil 3.2.2.3. 1,2 km Set Covering Problem kapsama haritası.....	22
Şekil 3.2.2.4. 1,5 km Set Covering Problem kapsama haritası.....	22
Şekil 3.2.3.1. 0,8 km düşük öncelikli merkezler	23
Şekil 3.2.3.2. 1,0 km düşük öncelikli merkezler.....	23
Şekil 3.2.3.3. 1,2 km düşük öncelikli merkezler.....	24
Şekil 3.2.3.4. 1,5 km düşük öncelikli merkezler.....	24
Şekil 3.2.4.1. TOPSIS mahalle öncelik puanları.....	25
Şekil 3.2.4.2. TOPSIS yöntemi kriter bilgileri	25
Şekil 3.2.5.1. Mahalleler arası uzaklık matrisi	26
Şekil 3.2.6.1. 0,8 km eşik için kümeler arası uzaklık matrisi	26
Şekil 3.2.6.2. 1,0 km eşik için kümeler arası uzaklık matrisi	27
Şekil 3.2.6.3. 1,2 km eşik için kümeler arası uzaklık matrisi	27
Şekil 3.2.6.4. 1,5 km eşik için kümeler arası uzaklık matrisi	27
Şekil 3.2.7.1. Gündoğ Sokak, No:12, Ertuğrulgazi.....	28
Şekil 3.2.7.2. Dizginler Sokak, No:93, Kumlubel.....	28
Şekil 3.2.7.3. Bademlibahçe Çıkmazı Sokak, No:11, Sarhöyük.....	29
Şekil 3.2.7.4. İhlamur Ağacı Sokak, Şeker	29
Şekil 3.2.7.5. Namık Kemal Sokak, No:14, Bahçelievler.....	30
Şekil 3.2.7.6. Doktorlar Caddesi. Nayman Sokak, Selka apt. Uzm. Dt. İşil (Kırgız) Karahasanoğlu, Hoşnudiye	30
Şekil 3.2.7.7. Yarım Sokak, No:21, Güllük	31
Şekil 3.2.7.8. Rauf Orbay Caddesi, No:28, Uluönder.....	31

Şekil 3.2.7.9. Bilgeç Caddesi, No:50, Yeşiltepe.....	32
Şekil 3.2.7.10. Nur Sokak, Batıkent	32
Şekil 3.2.7.11. Cihangül Sokak, No:8, Çamlıca.....	33
Şekil 3.2.7.12. Gündes Sokak, No:12, Ertuğrulgazi.....	33
Şekil 3.2.7.13. İhlamur Ağacı Sokak, Şeker	34
Şekil 3.2.7.14. Yenilik Sokak, No:13, Eskibağlar	34
Şekil 3.2.7.15. Rauf Orbay Caddesi, No:28, Uluönder.....	35
Şekil 3.2.7.16. Bilgeç Caddesi, No:50, Yeşiltepe.....	35
Şekil 3.2.7.17. Egenur Sokak, No:51, Esentepe.....	36
Şekil 3.2.7.18. Nur Sokak, Batıkent	36
Şekil 3.2.7.19. Cihangül Sokak, No:8, Çamlıca.....	37
Şekil 3.2.7.20. Gündes Sokak, No:12, Ertuğrulgazi.....	37
Şekil 3.2.7.21. Bademlibahçe Çıkmazı Sokak, No:11, Şarhöyük.....	38
Şekil 3.2.7.22. Doktorlar Caddesi. Nayman Sokak, Selka apt. Uzm. Dt. İşıl (Kırgız) Karahasanoğlu, Hoşnudiye	38
Şekil 3.2.7.23. Rauf Orbay Caddesi, No:28, Uluönder.....	39
Şekil 3.2.7.24. Bilgeç Caddesi, No:50, Yeşiltepe.....	39
Şekil 3.2.7.25. Nur Sokak, Batıkent	40
Şekil 3.2.7.26. Cihangül Sokak, No:8, Çamlıca.....	40
Şekil 3.2.7.27. Derman Caddesi, No:77, Esentepe	41
Şekil 3.2.7.28. Gündes Sokak, No:12, Ertuğrulgazi.....	41
Şekil 3.2.7.29. İmren Sokak, No:37, Tunali.....	42
Şekil 3.2.7.30. Yenilik Sokak, No:13, Eskibağlar	42
Şekil 3.2.7.31. Rauf Orbay Caddesi, No:28, Uluönder.....	43
Şekil 3.2.7.32. Cihangül Sokak, No:8, Çamlıca.....	43

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişim ve dijitalleşmenin hız kazandığı modern çağda, şehirlerdeki yaşam tarzı ve ekonomik aktiviteler derin bir değişime uğramıştır. Özellikle e-ticaretin hızla büyüyen hacmi, tüketici davranışlarında köklü değişiklikler yaratmış ve lojistik ile dağıtım ağlarının yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır. Artan nüfus yoğunluğu ve buna bağlı olarak lojistik talepler, kentsel alanlarda teslimat sistemlerinin daha verimli ve erişilebilir hale getirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmaktadır.

Bu bağlamda, Eskişehir Tepebaşı Bölgesi'nde yapılacak çalışma, bölgesel gereksinimlere yanıt verirken aynı zamanda modern şehir yaşamının lojistik taleplerine uygun çözümler geliştirmek adına önem taşımaktadır. Bu tez, akıllı teslimat dolaplarının stratejik konumlandırılması yoluyla, kentsel teslimat altyapısını iyileştirmeyi ve erişilebilirliği artırmayı hedeflemektedir. Çalışma, Tepebaşı bölgesinin belirli semtlerini kümelere ayırarak, bu birimlerde yaya veya bisikletle gidiş-dönüş mesafesine uygun teslimat noktalarının belirlenmesini amaçlamaktadır.

Veri toplama sürecinde, mahallelerde yaşayan bireylerin demografik özellikleri dikkate alınacaktır. Bu parametreler, algoritmik yöntemlerle analiz edilerek, akıllı teslimat dolaplarının en uygun konumlara yerleştirilmesi için kullanılacaktır. Böylece, Tepebaşı Bölgesi'nde yerel ihtiyaçlara yanıt veren ve ulaşım ağını optimize eden bir teslimat altyapısı geliştirilmesi hedeflenmektedir.

1.1. Literatür Taraması

Ömer Melik Gökalp (2022) tarafından yapılan çalışma, yapay zekâının önemli bir alt dalı olan makine öğrenmesini detaylı bir şekilde ele almaktadır. Çalışma; makine öğrenmesinin temel kavramlarını açıklayarak bu teknolojinin denetimli, denetimsiz ve yarı denetimli öğrenme türleri arasındaki farkları ayrıntılı bir şekilde ortaya koymaktadır. Denetimli öğrenmede etiketli veri kullanılarak modellerin eğitildiği, denetimsiz öğrenmede ise veriler arasındaki ilişkilerin keşfedilmesine odaklanıldığı ifade edilmektedir. Yarı denetimli öğrenmenin, her iki yöntemin bir kombinasyonu olduğu ve az miktarda etiketli veri ile daha fazla etiketsiz veri üzerinde öğrenme sürecini gerçekleştirdiği belirtilmiştir. Çalışma, makine öğrenmesinin pratikteki kullanım alanlarına da geniş bir perspektifle yaklaşmaktadır. Bankacılık ve finans sektöründe kredi risk analizleri, dolandırıcılık tespiti ve müşteri segmentasyonu gibi alanlarda kullanımına dikkat çekilmiş; sağlık ve biyoteknoloji sektörlerinde hastalık tanısı, gen analizi ve ilaç geliştirme süreçlerindeki uygulamaları vurgulanmıştır. Ayrıca; eğitimde öğrenci performansını tahmin etme, kişiselleştirilmiş eğitim içerikleri oluşturma ve pazarlama alanında müşteri davranışlarını analiz etme gibi örnekler üzerinden makine öğrenmesinin kapsamlı etkileri ortaya konmuştur. Çalışma, bu alanda kullanılan temel algoritmalar ve yazılımlar hakkında da bilgi sunmaktadır. Karar ağaçları, destek vektör makineleri, k-en yakın komşuluk ve derin öğrenme algoritmaları gibi yöntemlerin avantajları ve kullanım alanları tartışılmıştır. Bunun yanı sıra Python, R, TensorFlow ve scikit-learn gibi popüler yazılım araçlarının bu alandaki önemine değinilmiştir. Sonuç olarak, makine öğrenmesinin günümüz teknolojisinin şekillenmesinde kritik bir rol oynadığı vurgulanmakta ve bu alanda çalışmak isteyen profesyoneller ile araştırmacılar için önemli bilgiler sunulmaktadır. Bu çalışma, makine öğrenmesinin teorik temellerini ve pratik uygulamalarını anlamak isteyenler için değerli bir kaynak niteliği taşımaktadır.

Thomas G. Dietterich (1994) "Machine Learning" başlıklı çalışmasında, makine öğrenmesinin felsefi temellerini, teorik sonuçlarını ve pratik uygulamalarını kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Çalışma, makine öğrenmesinin tanımını ve bilgi kavramıyla ilişkisini tartışarak, öğrenmenin bilgi artışı olarak nasıl değerlendirilebileceğini ele almaktadır. Teorik bölümde, örneklerden öğrenme sürecinde karşılaşılan sınırlamalar, tercih yanlılıklarını, gürültülü veriler ve hesaplama karmaşıklığı gibi konular detaylandırmaktadır. Pratik uygulamalar kısmında ise karar ağaçları, geri yayılım

algoritması ve hibrit algoritmalar gibi yöntemlerin gelişmeleri ve performansları analiz edilmektedir. Ayrıca, açıklamaya dayalı öğrenme (EBL) yöntemleri ve bunların problem çözme süreçlerine entegrasyonu da incelenmektedir. Makale, makine öğrenmesinin teorik ve pratik yönlerini derinlemesine ele alarak, bu alandaki araştırmacılar ve uygulayıcılar için değerli bir kaynak sunmaktadır.

Ugo Lachapelle, Matthew Burke, Aiden Brotherton ve Abraham Leung (2018) tarafından yapılan çalışmada, otomatik paket teslimat sistemlerinin (Parcel Locker) otomobil ağırlıklı şehirlerdeki konumlarını ve bu sistemlerin şehir planlaması ile tüketici seyahat erişimi üzerindeki potansiyel etkilerini incelemektedir. Araştırma, Avustralya'nın Güneydoğu Queensland bölgesindeki beş şehirdeki 45 paket dolabı lokasyonunun mikro düzeydeki özelliklerini analiz ederek, bu lokasyonların kategorilerini belirlemek için hiyerarşik kümeleme analizi kullanmıştır. Çalışmada, mahalle düzeyindeki demografik ve arazi kullanımı verileri ile ulaşım altyapısına yakınlık gibi faktörler de detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, paket dolaplarının büyük ölçüde otomobil erişimine uygun yerlerde konumlandığını ve alternatif ulaşım yöntemlerine erişimin sınırlı olduğunu göstermiştir. Paket dolaplarının genellikle alışveriş merkezleri, süpermarketler ve benzin istasyonları gibi yüksek trafik yoğunluğuna sahip bölgelerde yer aldığı, ancak yaya veya toplu taşıma ile erişimin düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, otomobil bağımlılığını artırabilirken, toplu taşıma ve çevre dostu ulaşım seçeneklerinin kullanımını sınırlayabilir. Sonuç olarak, paket dolabı sistemlerinin doğru bir şekilde planlanması durumunda, şehirlerin ulaşım altyapısı ve tüketici davranışları üzerinde olumlu etkiler yaratabileceği, ancak otomobil odaklı yaklaşımların eşitsizlikleri ve çevresel sorunları artırabilecegi ifade edilmiştir. Çalışma, bu sistemlerin şehir planlama hedefleriyle entegre edilmesi gerektiğini ve sürdürülebilir ulaşım hedeflerine katkıda bulunacak şekilde optimize edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Ömer Köroğlu ve Hamdi Tolga Kahraman (2020) tarafından yapılan çalışmada, k-ortalamalar algoritması ile meta-sezgisel arama tekniklerinin birleştirilmesi sonucu geliştirilmiş meta-sezgisel kümeleme algoritmaları incelenmektedir. Çalışma kapsamında bu algoritmaların performansını artırmak amacıyla on farklı meta-sezgisel yöntem yapılandırılmış ve bu yöntemler, beş çeşit kümeleme veri seti üzerinde kapsamlı testlere tabi tutulmuştur. Özellikle, geliştirilen algoritmaların yakınsama hızları ve küresel optimuma yakınsama yetenekleri analiz edilmiştir. Başarımı diğer tekniklerle kıyaslandığında, AGDE (Adaptif Gradyan İnişi Evrimi) tabanlı yöntemin üstün

performans sergilediği görülmüştür. Çalışma, aynı zamanda, meta-sezgisel yöntemlerin k-ortalama sonuçlarındaki iyileştirme potansiyelini vurgulamakta, bu sayede geleneksel yaklaşımların ötesinde daha etkili çözüm yolları sunulmaktadır. Ek olarak, hipotez testi süreçlerinde Tip I ve Tip II hata tanımları yapılmış, karar verme süreçlerindeki etkileşimler ölçülmüştür. Ayrıca %99 güven seviyesinde raf ömrü analiz edilerek bu bağlamda yeterli kanıtın olup olmadığı tartışılmıştır.

Kutay Akdoğan ve Eren Özceylan (2023) tarafından yapılan bu çalışma, k-ortalama tabanlı en etkili meta-sezgisel kümeleme algoritmasının araştırılmasına odaklanmaktadır. Araştırmada, güncel ve güçlü meta-sezgisel arama (MSA) teknikleri kullanılarak, k-ortalama yöntemini melezleyen 10 farklı meta-sezgisel kümeleme (MSK) algoritması geliştirilmiştir. Algoritmaların performansları, 5 farklı kümeleme veri seti ile test edilmiştir. Deneyel veriler, istatistiksel test yöntemleri ile analiz edilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen MSK algoritmaları arasında AGDE tabanlı yöntemin hem yakınsama hızı hem de küresel optimum çözüme yakınsama açısından üstün bir performans sergilediğini göstermektedir.

Iyer ve Padhy (2002) tarafından yazılan çalışma, kümeleme analizinde kullanılan global k-means algoritmasını tanıtarak, bu algoritmanın geleneksel k-means yöntemine göre avantajlarını ele almaktadır. K-means algoritması, basitliği nedeniyle yaygın olarak kullanılsa da yerel minimumlara takılma ve başlangıç merkezlerinin seçimine duyarlılık gibi sorunları bulunmaktadır. Global k-means algoritması, her adımda yeni bir merkez ekleyerek başlangıç merkezlerinin etkisini azaltır ve daha güvenilir sonuçlar elde eder. Algoritma, yerel minimumlara takılma olasılığını azaltırken, otomatik merkez seçimi sağlar ve kümeleme performansını artırır. Ancak, tüm veri noktalarını değerlendirme gerekliliği, hesaplama maliyetini artırarak büyük veri setlerinde uygulanabilirliği sınırlamaktadır. Sonuç olarak, global k-means algoritması, başlangıç noktalarına duyarlılığı azaltarak daha güvenilir ve istikrarlı kümeleme sonuçları sunarken, yüksek hesaplama maliyeti nedeniyle büyük veri setlerinde zorluk yaratmaktadır.

Arkin ve Hsu (2002) tarafından yapılan çalışmada, k-median problemi için sabit faktörlü bir yaklaşım algoritmasını ele almaktadır. K-median problemi, veri noktalarını belirli sayıda (k) küme merkezine atayarak toplam mesafe maliyetini en aza indirmeyi amaçlayan ve NP-zor olarak bilinen bir optimizasyon problemdir. Bu çalışma, özellikle büyük ölçekli veri kümelerinde bu problemin çözümüne yönelik etkin bir algoritma geliştirilmesini hedeflemektedir. Çalışma, sabit faktörlü bir algoritma önererek, optimal

çözüme belirli bir oranla yakın sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir. Algoritma, toplam mesafe maliyetini düşürürken hesaplama süresini önemli ölçüde azaltmaktadır. Özellikle, yüksek boyutlu veri setlerinde dahi etkili bir şekilde çalışarak lojistik optimizasyon, müşteri segmentasyonu ve büyük veri analitiği gibi uygulamalarda kullanılabilirliği artırmaktadır. Araştırma, önceki yöntemlerin yüksek hesaplama maliyeti ve optimal çözüme ulaşma zorluklarını azaltarak önemli bir katkı sunmaktadır. Bu algoritma, k-median probleminin çözümünde hem teorik hem de pratik açıdan güçlü bir araç olarak değerlendirilmektedir ve gelecekteki çalışmalar için bir temel oluşturmaktadır.

Muhammad Atiullah Saif, Mohammad Maghrour Zefreh ve Adam Torok (2019) yürüttükleri çalışmada, toplu taşıma erişilebilirliğinin önemine ve bunun sosyal kalite üzerindeki etkilerine değinmiştir. Toplu taşımnanın daha cazip hale gelmesi için "Kapıdan kapıya mobilite" sağlamaının önemli olduğunu ve bu bağlamda toplu taşıma hizmetlerinin geliştirilmesinin sosyal kaliteyi artıracağını vurgulanmıştır. Ayrıca çalışmada, toplu taşıma erişilebilirliğinin diğer sosyal yönler ve çevresel etkileri, iş imkanları ile ilişkisi ve sosyal katılım üzerindeki etkileri incelenmiştir. Toplu taşıma performansının yanı sıra diğer sosyal etkilerin de toplu taşıma tesisleri planlanırken dikkate alınması gereği belirtilmiştir.

Kasapoğlu ve İnceoğlu (2022), Eskişehir'in Hamamyolu bölgesindeki 2018 tarihli park ve meydan düzenleme projesini erişilebilirlik açısından değerlendirmiştir. Çalışmada, TS 9111 standarı temel alınarak rampalar, merdivenler, yürüyüş yolları, zemin kaplamaları, halka açık tuvaletler, oturma birimleri, oyun alanları ve yönlendirme işaretleri analiz edilmiştir. Gözlemler sonucunda, erişilebilirlik standartlarının tam anlamıyla karşılanamadığı ve projenin bu nedenle düşük bir erişilebilirlik değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Rampalar genel olarak standartlara uygun olsa da yatay hareketliliğin sürekliliğini sağlayamamaktadır. Merdivenlerde korkuluk ve küpeste eksikliği bulunmuş ve riht yüksekliklerinin standart dışı olduğu gözlemlenmiştir. Zemin kaplama malzemeleri dayanıklılık açısından yetersizdir ve kısa sürede deformasyon göstermiştir. Oyun alanları ve oturma birimleri, engelli kullanıcılar için uygun olmayıp sadece ortalama kullanıcıyı baz alacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, yönlendirme ve bilgilendirme işaretlerinin eksikliği, görme engelli bireylerin bağımsız hareketini kısıtlamaktadır. Sonuç olarak, açık mekanlarda erişilebilirlik zincirindeki eksikliklerin,

kullanıcıların toplumsal hayatı katılımını olumsuz etkilediği ve herkes için kapsayıcı mekanların oluşturulması gerektiği vurgulanmıştır.

Sariman (2011), veri madenciliği alanında K-Means ve K-Medoids bölümlemeli kümeleme algoritmalarını karşılaştırarak performanslarını incelemiştir. Çalışmada, UCI Machine Learning Repository'den alınan "Flags" veri seti kullanılarak ülkelerin özelliklerine göre kümelere ayrılması hedeflenmiştir. K-Means algoritması, kümeler arasında net sınırlar belirlerken hızlı ve büyük veri setleri için uygun bir yöntem olarak tanımlanmıştır. Ancak, gürültülü ve küresel olmayan veri kümelerinde performansı düşüktür. K-Medoids algoritması ise daha hassas sonuçlar verir ancak çalışma süresi daha uzundur ve yalnızca küçük veri setleri için uygun kabul edilir. Kümeleme algoritmalarının performansları karşılaştırılırken her iki algoritma da başlangıçta küme sayısı $k=5$ olacak şekilde test edilmiştir. K-Medoids algoritmasının, K-Means algoritmasına göre daha doğru sonuçlar verdiği ancak işlem süresinin daha uzun olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma, web tabanlı bir uygulama ile gerçekleştirilmiş ve algoritmaların sonuçları kullanıcıların erişimine sunulmuştur. Her iki algoritma da defalarca çalıştırılarak optimum sonuçlara ulaşılabileceği belirtilmiştir.

Hüseyin Zahit Selvi ve Burak Çağlar (2016), çok değişkenli haritalamanın kullanımını ele almıştır. Çok değişkenli haritalama, birden fazla özelliğin ve bunlara ait çok değişkenli özniteliklerin harita ya da veri azaltma teknikleri kullanılarak görsel olarak incelenmesini sağlar. Bu, özellikler arasındaki çapraz korelasyonun derecesinin tahmin edilmesine olanak tanır. Araştırma, k-means ve k-medoids gibi hiyerarşik olmayan kümeleme analiz yöntemlerinin bu bağlamda başarılı olup olmadığını incelemektedir. Çalışmada, Türkiye'deki iki farklı yıla ait trafik kazası verileri kullanılarak, söz konusu yöntemlerle oluşturulan sınıflar ve çok değişkenli haritalar incelenmiştir. Çalışmanın bir diğer önemli noktası ise bu tür haritaların risk yönetimi ve planlamadaki kullanılabilirliğinin değerlendirilmesidir. Çalışma, çoklu özelliklerin aynı anda görselleştirilebilmesine ve sembolize edilebilmesine olanak tanıyan çeşitli istatistiksel sınıflandırma sistemleri veya veri azaltma tekniklerinin rolüne de vurgu yapmaktadır.

Sığnak S. ve Kuvvetli Y. (2020) çalışmasında, Çukurova Üniversitesi kampüsündeki bisiklet paylaşım noktalarının en uygun şekilde konumlandırılması amacıyla bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu çalışma, sürdürülebilir ulaşımın önemine dikkat çekmekte ve bisiklet paylaşım sistemlerinin planlama süreçlerinde gerekliliğini tartısmaktadır. Bu bağlamda, kampüsteki 54 bina arasında en etkin bisiklet

paylaşım noktalarını belirlemek için set-covering (küme örtüleme) algoritması kullanılmıştır. Oluşturulan model, iki farklı senaryo altında 9 ve 23 bisiklet paylaşım noktası ataması gerçekleştirmiştir. Farklı kapsama kısıtları kullanılarak, bisiklet paylaşım noktalarının etkin bir şekilde tespit edilmesi sağlanmış ve kampüs içi mesafeler ile bina yoğunlukları göz önünde bulundurularak çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Araştırma, gelecekteki planlamalar için kapasite ve bisiklet yollarının entegrasyonunun önemini vurgulamaktadır.

Orhan Alp Karabulut, Metehan Kerem Seyret ve Mualla Gonca Avcı (2023) çalışmasında, e-ticaretin büyümesi ve artan rekabet nedeniyle son kilometre lojistik faaliyetlerinin karmaşıklaması ve maliyetlerinin artmasına odaklanmıştır. Bu bağlamda, alternatif teslimat yöntemlerinden biri olan kargo otomatlarının yer seçimi problemini ele almaktadır. Kargo otomatları, teslimat maliyetlerini düşürürken teslimat zamanı açısından esneklik sağlamakta, ancak merkezi alanlarda yüksek kira maliyetleri oluşturduğu için kısıtlı sayıda kurulabilmektedir. Çalışmada, İzmir ili Buca ilçesinde kurulacak beş kargo otomatının yerlerini belirlemek için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Model, müşteri ile kargo otomati arasındaki mesafeye bağlı olarak bir indirim sistemi kullanarak toplam karşılanan talebi maksimize etmeyi amaçlamaktadır. İndirim sistemi, mesafeye dayalı üç katmanlı bir yapıya sahiptir; müşterinin bulunduğu katmana göre indirim oranları değişmektedir. Modelin matematiksel yapısı, karşılanan toplam talebi maksimize eden bir amaç fonksiyonu ile kısıtlı kargo otomati sayısı, kapasite sınırları ve toplam indirim bütçesi gibi kısıtları içermektedir. Çalışmada, beş kargo otomati ile talebin %43,4'ünün karşılandığı ve yeni bir kargo otomati eklenerek bu oranın %49,8'e çıkarıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kapasitenin artırılması ve indirim katmanlarının genişletilmesi stratejileri test edilmiş ve her iki stratejinin birlikte uygulanması durumunda talep karşılama oranının %63,3'e yükseldiği görülmüştür. Sonuçlar, doğru yer seçimi, kapasite planlaması ve etkili bir indirim sisteminin kargo otomati ağının performansını önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir. Gelecekte, kargo otomatlarının müşteri tarafından kargo teslim alma işlemleri için kullanılmasının veya kargo otomatlarına dağıtımın entegrasyonuyla ortaya çıkacak daha karmaşık yer seçimi ve rotalama problemlerinin incelenileceği belirtilmiştir.

Hyun Sang An, Arim Park, Ju Myung Song ve Christina Chung (2022) çalışmalarında, tüketicilerin kargo otomati hizmetlerini benimsemesini etkileyen faktörleri Protection Motivation Theory (Koruma Motivasyonu Teorisi) çerçevesinde

incelemiştir. Çalışma, tüketicilerin gizlilik kaygıları, algılanan riskler, teknolojinin algılanan kolaylığı ve faydalarının, bu hizmetlere yönelik tercihlerini nasıl etkilediğini araştırmıştır. Sonuçlara göre, tüketicilerin kargo otomati hizmetlerini benimseme oranı, büyük ölçüde gizlilik kaygılarının yönetilmesi ve hizmetin kullanışılığını artırmaya yönelik algıların iyileştirilmesiyle ilişkilidir. Yazarlar, hizmet sağlayıcıların tüketici gizliliği ile ilgili endişelere proaktif çözümler getirmesi ve teknolojinin faydalarını açıkça vurgulaması gerektiğini vurgulamıştır. Bu çalışma, hizmet sağlayıcılar için tüketici benimseme oranlarını artırmaya yönelik stratejiler geliştirilmesi konusunda değerli öneriler sunmaktadır.

J.H.R. van Duin, B.W. Wiegmans, B. van Arem ve Y. van Amstel (2020) çalışmalarında, e-ticaretin hızla büyümeye birlikte kargo teslimatında yenilikçi çözümlerin gerekliliğini ele almış ve "son mil" teslimat süreçlerinin yüksek maliyetlerini azaltmak için kargo dolaplarının potansiyelini incelemiştir. Çalışmada, Amsterdam'ın De Pijp bölgesinde bir pilot uygulama gerçekleştirilmiş ve mevcut ev teslimat modeliyle kargo dolaplarının kullanımını karşılaştırılan üç alternatif tasarım senaryosu değerlendirilmiştir. Kargo dolaplarının teslimat noktalarını ve araç kilometrelerini azalttığı, yakıt tüketimi ile CO₂ emisyonlarını düşürdüğü ve yıllık 121.356 Euro'ya varan maliyet tasarrufu sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca, kargo dolaplarının müşteri memnuniyetini artırdığı, özellikle yoğun bölgelerde operasyonel verimliliği yükselttiği ve sürdürülebilir bir teslimat modeli sunduğu vurgulanmıştır. Araştırma, tasarım alternatiflerini maliyet-etkinlik analizi, çok kriterli analiz ve simülasyon modellemesiyle değerlendirmiştir ve en uygun çözüm olarak "orta boy" kargo dolaplarının kullanımını önermiştir. Bununla birlikte, kargo dolaplarının konumlandırmasının ve boyutlarının, operasyonel verimlilik açısından daha iyi optimize edilmesi gerekiği ifade edilmiştir.

Caprara, Fischetti ve Toth (2000) tarafından kaleme alınan bu çalışma, Küme Kapsama Problemi (Set Covering Problem – SCP) için geliştirilen en etkili algoritmaların kapsamlı bir değerlendirmesini sunmaktadır. SCP; demiryolu ve toplu taşıma şirketlerinde mürettebat planlamasından, kamu hizmetlerinin dağıtımına kadar birçok alanda kullanılan temel bir kombinatoriyel optimizasyon problemidir. Problem, her satırın (talep) en az bir sütun (hizmet) tarafından kapsandığı minimum maliyetli sütun kümesinin seçilmesini amaçlar. Bu yapı, doğrusal programlama çerçevesinde 0-1 tamsayılı programlama modeliyle ifade edilir. Makale; SCP'nin NP-zor doğasına rağmen, çeşitli algoritmalarla büyük ölçekli örneklerde bile yakın optimal çözümlerin elde

edilebildiğini ortaya koymaktadır. Çalışmada hem doğrusal programlama temelli gevşetmeler (LP relaxation, Lagrange gevşetme) hem de altgradyan optimizasyon teknikleri detaylı biçimde incelenmiştir. Yazarlar ayrıca, Beasley'nin OR-Library veri setleri üzerinde yapılan karşılaştırmalı deneysel analizlere dayalı olarak, çeşitli sezgisel (heuristic) ve tam (exact) algoritmaların başarımını değerlendirmiştir. En başarılı yöntemler arasında dinamik altgradyan algoritmaları, çekirdek problem tanımlama, değişken fiyatlandırma (pricing) ve primal-dual yöntemlerin birleşimi gibi yaklaşımalar yer almaktadır. Ayrıca bazı çalışmalar genetik algoritma, benzetilmiş tavlama (simulated annealing) ve morfolojik iyileştirme gibi meta-sezgisel yöntemlerle çözümler geliştirmiştir. Sonuç olarak, çalışma, SCP'ye yönelik çözüm yaklaşımlarının hem teorik hem de pratik yönlerini detaylandırarak, bu alandaki araştırmalar için kapsamlı bir başvuru kaynağı sunmaktadır.

Adamo, Ghiani, Guerriero ve Pareo (2023) tarafından sunulan bu çalışmada, kümeye kapsama probleminin (Set Covering Problem – SCP) çözümüne yönelik klasik yaklaşılardan biri olan Chvatal'ın açgözlü algoritması iyileştirilerek, "surprisal-based" açgözlü sezgisel yöntem (SBH) önerilmiştir. Önerilen yöntem, bilgi teorisinden alınan "self-information" (sürprizlilik) kavramını kullanarak çözüm sütunlarının seçiminde klasik maliyet/yeterlilik oranını yeniden değerlendirmektedir. SBH algoritması, her sütunun kapsadığı satırlar üzerinden, o satırların başka sütunlar tarafından ne kadar kapsadığını dikkate alarak seçim sırasını daha bilgiye dayalı bir şekilde belirlemektedir. Bu sayede, sadece düşük maliyetli değil, aynı zamanda "kritik" kapsamalara sahip sütunların erken seçilmesi sağlanarak daha etkin çözümler elde edilmiştir. Yazarlar, önerilen yöntemi Beasley'nin OR-Library örnekleri üzerinde test etmiş ve SBH algoritmasının klasik Chvatal algoritmasına göre ortalama %2.5 oranında daha iyi sonuçlar verdiği ve işlem süresi açısından benzer seviyede olduğunu raporlamışlardır. Ayrıca Kordalewski ve Grossmann-Wool gibi diğer literatürdeki yaklaşımalarla karşılaştırmalarda da SBH'nin, özellikle gerçek zamanlı uygulamalarda daha verimli çalıştığı gösterilmiştir. Çalışmanın özgün katkısı, SCP gibi NP-zor bir problemi çözmek için bilgi teorisine dayalı bir değerlendirme kriteri geliştirmesi ve bu kriterin klasik sezgisel algoritmalarla birleştirilerek optimize edilmesidir. Bu yaklaşım, özellikle kısıtlı süre içinde yüksek kaliteli çözümler gerektiren operasyonel karar sistemleri için uygundur.

Pinho (2024) tarafından yürütülen çalışmada ise SCP için geliştirilen üç farklı yapıçı sezgisel (CH1, CH2, CH3) ile birlikte, Redundancy Elimination, Best Improvement (BI) ve First Improvement (FI) yerel arama algoritmaları test edilmiştir. CH2 algoritması, %16.11 ortalama sapma değeri ile en başarılı yapıçı sezgisel olurken, BI algoritması %7.25'e kadar düşen sapma oranıyla yerel aramada en etkili yöntem olarak öne çıkmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında iki meta-sezgisel yöntem olan GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) ve VNS (Variable Neighborhood Search) karşılaştırılmış; GRASP %2.26 ortalama sapma ile en yüksek çözüm kalitesini sunarken, VNS daha kısa sürede ancak %11.46 gibi daha yüksek sapma ile çalışmıştır. GRASP algoritmasının yapılandırma ihtiyacının düşük olması ve geniş uygulama alanlarına sahip olması, pratik çözümler sunan yapısını öne çıkarmıştır. Öte yandan, VNS algoritması geniş komşuluk araması sayesinde yerel minimumlardan kaçabilmiş ancak çözüm kalitesi açısından GRASP'ın gerisinde kalmıştır. Sonuç olarak, literatürde SCP'nin çözümüne yönelik geliştirilen algoritmaların kapsamı oldukça genişştir. Klasik yöntemlerin yanı sıra, bilgi kuramı tabanlı yaklaşımalar ve hibrit meta-sezgisel teknikler de son yıllarda dikkat çekmektedir. Bu çalışmalar, özellikle büyük ölçekli ve zaman kısıtlı lojistik planlamalarda, SCP'nin çözümünde yüksek performanslı ve uygulanabilir yöntemlerin geliştirilebileceğini göstermektedir.

Makansi ve Savla (2024) tarafından yapılan bu çalışma, zaman pencereleri ve uyum kısıtları altında çalışan talep-robust filo büyülüğu araç rotalama problemini (Demand-Robust Fleet Size Vehicle Routing Problem - DR-FS VRP) ele almakta ve çözümünü küme kapsama problemine dayalı üç aşamalı sezgisel bir algoritmayla (Set Cover Mapping - SCM) gerçekleştirmektedir. Bu problem, özellikle uzun vadeli filo planlaması bağlamında belirsizlik koşulları altında araç sayısını ve tiplerini en az maliyetle belirlemeyi hedeflemektedir. Yazarlar, problemin çözümünü üç aşamada ele almıştır: (i) her senaryo için zaman pencere kısıtlarına uygun rotaların oluşturulması, (ii) bu rotaların kümeler halinde gruplanarak route-set yapılarının oluşturulması, ve (iii) oluşturulan kümelerin demand-robust weighted set cover problemi (DRWSC) olarak çözülmesi. Bu üç aşamalı yaklaşım, klasik karma tamsayılı programlama (MIP) yöntemlerine göre daha düşük hesaplama maliyeti ile çalışmaktadır. Çalışmada, önerilen SCM algoritması Solomon benchmark örnekleri üzerinde test edilmiş ve Gurobi çözümüsü ile karşılaştırılmıştır. SCM, birçok senaryoda Gurobi'den daha hızlı sonuçlar üretmiş ve çözüm kalitesinde yaklaşık 2.0 oranından daha iyi yakınsama sağlamıştır. Zaman

karmaşıklığı analizi sonucunda, SCM'nin hesaplama süresinin Gurobi'nin branch-and-bound algoritmasına göre problem boyutuyla birlikte üstel düzeyde avantaj sağladığı da teorik olarak gösterilmiştir. Araştırmancı katkısı, robust optimizasyonun daha önce uygulanmadığı ölçümlü, pratik bir optimizasyon problemi üzerinde başarılı bir şekilde uygulanmış olmasıdır. Yazarlar ayrıca önerdikleri yaklaşımın, zaman penceresi, müşteri-araç uyumluluğu gibi gerçek dünya kısıtları içeren büyük ölçümlü lojistik problemler için kümeye kapsama temelli modelleme ile etkili çözümler üretilebileceğini göstermiştir.

Akgöl, Demir ve Aydoğdu (2024) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, ulaşırma ağlarında yol optimizasyonuna yönelik Küme Yolu Kaplama (Cluster Path Covering - CPC) adı verilen yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Araştırmada, klasik kısa yol problemlerinin ötesine geçilerek, ağ üzerindeki düğümlerin yalnızca birbirlerine olan mesafeleri değil, bu düğümlerin çevresindeki noktaların erişilebilirlikleri de dikkate alınarak "Komşu Muhiti Kaplayan En Kısa Yol Problemi" (SCNPP) adı verilen özgün bir problem tipi ele alınmıştır. CPC yöntemi, K-means kümeleme algoritması yardımıyla bir ağ üzerindeki düğüm noktalarını kümelere ayırmakta ve her kümeyi temsil edecek bir merkez nokta belirlemektedir. Bu merkez noktalar arasında en kısa bağlantılar oluşturularak rota çıkarılmakta, aynı zamanda kümeler içindeki diğer noktaların bu merkez noktalara olan erişim mesafeleri de optimize edilmektedir. Çözüm modeli, hem araçla gidilen mesafeyi (C-dist) hem de yaya erişimini (P-dist) içeren bir amaç fonksiyonuna sahiptir. Bu yapı sayesinde, toplu taşıma rotaları gibi hizmet odaklı güzergâhların hem işletme maliyetleri hem de yolcu memnuniyeti açısından optimize edilmesi hedeflenmektedir. Çalışmada geliştirilen yöntem, iki farklı ağ örneği (20 ve 55 düğümlü) üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar, CPC yönteminin klasik SCP modeline kıyasla daha kısa yaya erişim mesafeleri sağladığını, özellikle büyük ölçümlü ağlarda daha verimli çalıştığını ortaya koymuştur. Ayrıca, yöntem üzerinde farklı ağırlık katsayıları (η ve θ) uygulanarak hem araç güzergâhı hem de yaya erişimi arasında denge kurmak çeşitli senaryolar analiz edilmiştir. Sonuç olarak bu çalışma, kümeleme temelli yol çıkarımı yaklaşımı ile SCP'nin gelişmiş bir varyantını önermeye ve şehir içi ulaşım planlamasında erişilebilirliği merkezine alan yeni bir model sunmaktadır. Yöntemin özellikle toplu taşıma durak konumlandırması ve erişim planlaması gibi alanlarda uygulama potansiyeli taşıdığı ifade edilmiştir.

1.2. Problemin Kısaca Tarifi

Modern şehirlerde hızla artan nüfus ve kentleşme, mal ve hizmetlerin etkin bir şekilde dağıtımında önemli lojistik zorluklar yaratmaktadır. Bu durum, şehir içi trafik yoğunluğunun artmasına, nakliye maliyetlerinin yükselmesine ve çevresel sorunların büyümesine neden olmaktadır. Özellikle büyük şehirlerde, trafik sıkışıklığı günlük yaşamı zorlaştırırken, taşımacılıkla ilgili gecikmeler ve maliyetler işletmeler için önemli verimlilik kayıplarına yol açmaktadır.

Bu problemler, hava kirliliğinin artmasına da katkıda bulunarak çevresel sürdürülebilirlik çabalarını olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca, zamanında teslimat yapılamaması, insanların ihtiyaç duyduğu ürün ve hizmetlere erişimini zorlaştırarak toplulukların günlük yaşam kalitesini düşürebilir.

Ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları olan bu karmaşık sorunların çözümü için inovatif ve sürdürülebilir yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yenilikçi dağıtım sistemleri, bu sorunların üstesinden gelmek için önemli bir potansiyel taşıımaktadır. Örneğin, akıllı teslimat dolapları gibi çözümler, şehir içi dağıtımlı iyileştirmekte, trafik yoğunluğunu azaltmakta ve karbon emisyonlarını düşürmektedir. Ancak bu çözümlerin başarılı olabilmesi için uygun yönetim stratejileri geliştirilmesi ve stratejik konumlandırmalar yapılması gerekmektedir.

Bu bağlamda, lojistik sistemlerin yeniden yapılandırılması, şehirlerin gelecekteki yaşam kalitesini belirlemeye kritik bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla bu çalışma bu zorlukları ele alarak daha yaşanabilir, ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir şehirler hedeflemektedir.

1.3. Projenin girişimcilik ve yenilikçilik açısından katkısı

Bu çalışma, akıllı teslimat dolaplarının stratejik yerleştirilmesi yoluyla kentsel lojistiğe yenilikçi bir yaklaşım sunarak çeşitli faydalara sağlamaktadır. Erişilebilirliği artırma konusunda, dolapların doğru lokasyonlarda konumlandırılması sayesinde şehir sakinlerinin günlük yaşamlarını kolaylaştırıcı çözümler ortaya koymakacaktır. Bu, zaman tasarrufu sağlayarak bireylerin gün içindeki diğer faaliyetlerine daha fazla odaklanabilmesine olanak tanır.

Girişimcilik açısından çalışma, yeni iş alanları yaratma potansiyeline sahiptir. Teslimat dolaplarının yönetimi ve bakımı gibi hizmetler, yerel girişimciler için iş fırsatları sunabilir. Ayrıca, bu dolapların kullanımına yönelik akıllı uygulama ve sistem geliştirme imkânı, teknoloji odaklı girişimler için yenilikçi platformlar oluşturabilir.

Verimlilik açısından ise dolapların yaygınlaştırılması, dağıtım süreçlerini optimize ederek lojistik maliyetlerini azaltmaya yardımcı olabilir. Bu, hem dağıtım şirketleri için ekonomik faydalar sağlarken hem de kullanıcılar için daha uygun maliyetli ve hızlı çözümler sunar.

Ayrıca bu çalışma, karbon ayak izini azaltma potansiyeli sunarak çevresel sürdürülebilirlik hedefine de katkıda bulunmaktadır. Doğru bir stratejik yerleştirme ile taşıma araçlarının şehir içindeki ihtiyaçları azalabilir ve bu da trafik yoğunluğunu hafifletir.

Dolayısıyla, proje sadece girişimcilik ve yenilikçilik açısından değil, aynı zamanda şehir yaşamı üzerine çeşitli sosyo-ekonomik etkileri ile de ön plana çıkmaktadır.

Proje, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarından özellikle "SKA 11: Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar" ve "SKA 13: İklim Eylemi" hedeflerine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Teslimat dolaplarının erişilebilirliğinin artırılması, çevreci ulaşım alışkanlıklarını teşvik edecek, araç kullanımını azaltarak karbon salımının düşmesine katkı sunacaktır.

1.4. Projenin BM Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları kapsamında, toplum, sağlık ve güvenlige, ekonomiye, sürdürülebilirlik ve çevreye etkileri

Proje, BM Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları doğrultusunda birçok alanda olumlu etkiler sağlayabilir. Toplum ve sağlık açısından, akıllı teslimat dolaplarının stratejik yerlesimi bireylerin mal ve hizmetlere erişimini kolaylaştırarak yaşam kalitesini artırır. Ayrıca, trafik yoğunluğunu azalttığı için hava kalitesini iyileştirir ve daha güvenli bir çevre sağlar. Ekonomik olarak, lojistik süreçlerin optimizasyonu yoluyla işletmelerin maliyet verimliliğini artırarak ekonomik büyümeye katkıda bulunur. Dolapların yönetimi ve bakımı gibi yeni iş fırsatları ise bölgesel ekonomiyi canlandırır ve istihdamı artırır.

Çevresel sürdürülebilirlik bağlamında, proje, şehir içi dağıtımda araç kullanımını azaltarak karbon ayak izini küçültür ve trafik sıkışıklığını giderir. Bu etkiler, özellikle

İklim Eylemi (Hedef 13) ve Sürdürülebilir Şehir ve Topluluklar (Hedef 11) gibi sürdürülebilir kalkınma hedeflerine önemli katkılar sağlar. Projenin sunduğu yenilikçi dağıtım çözümleri, daha sürdürülebilir bir kentsel yaşamın temellerini atarak toplumların refahını ve çevresel istikrarını pekiştirir.

2. YÖNTEMLER

Bu çalışma kapsamında, şehir içi akıllı teslimat dolaplarının optimum yerleşimini sağlamak için birden fazla yöntem ve analiz tekniği kullanılmıştır. Seçilen yöntemler, problemin doğası gereği kapsama optimizasyonu, önceliklendirme, mesafe temelli erişilebilirlik ve karar vericiye yönelik görsel destek sağlama kriterleri doğrultusunda belirlenmiştir. Her bir yöntem, literatürdeki geçmişi, bu çalışmaya uyarlanma gerekçesi, uygulama adımları ve katkı sağladığı yönler açısından ayrı ayrı tanıtılmıştır.

2.1. Set Covering Yöntemi

Bu çalışmada ele alınan problem, sınırlı sayıda akıllı teslimat dolabı ile kent içerisinde maksimum kullanıcı kapsaması sağlamayı amaçlayan bir yer seçimi optimizasyon problemidir. Eskişehir'in Tepebaşı ilçesi özelinde, her kullanıcının yaya veya bisikletle belirli bir erişim süresi içerisinde en az bir teslimat dolabına ulaşabilmesi hedeflenmektedir. Bu tür kapsama temelli karar problemleri, Set Covering Problem (SCP) olarak adlandırılan klasik deterministik optimizasyon modelleriyle örtüşmektedir.

SCP, ilk kez 1957 yılında ortaya atılmış; problemi sistematik biçimde ele alan en önemli kaynak ise Garey ve Johnson'ın 1979 yılında yayımladığı *Computers and Intractability* adlı çalışmadır. Bu kaynakta SCP'nin NP-zor bir problem olduğu ispatlanmıştır (Garey & Johnson, 1979). Sezgisel çözüm tekniklerinin ilki Chvátal (1979) tarafından geliştirilmiş, ardından Karp, Hochbaum, Nemhauser ve Wolsey gibi isimler yaklaşık algoritmalar, Lagrange gevşetmeleri ve greedy yaklaşımlar üzerine çalışmıştır. 2000'li yillardan itibaren genetik algoritmalar, tabu arama, simulated annealing gibi meta-sezgisel yöntemler uygulanmaya başlamıştır.

Bu projede SCP, Python programlama dili üzerinde PuLP çözümleyicisi ile modellenmiştir. Mahalleler talep noktaları, potansiyel dolap alanları ise hizmet noktaları olarak tanımlanmıştır. Erişim eşiği ile oluşturulan kapsama matrisleri temelinde, tüm mahalleleri kapsayan minimum sayıda hizmet noktası seçilmiştir. Model sonucu seçilen noktaların kapsama alanlarında bölgelerin düşük öncelikli olup olmadıkları değerlendirilmiştir. 0,8 km eşik degeriyle 11, 1 km eşik degeriyle 8, 1,2 km eşik degeriyle 8 ve 1,5 km eşik degeri ile 5 nokta belirlenmiştir. SCP'nin sunduğu sade matematiksel yapı, tam kapsama garantisi ve çözümün GIS ile görselleştirilebilirliği çalışmaya önemli katkı sunmuştur.

2.2. TOPSIS Yöntemi (Çok Kriterli Karar Verme)

TOPSIS, Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilen birçok kriterli karar verme (MCDA) yöntemidir. Amaç, her alternatifin ideal çözüme olan benzerliği ve negatif ideale olan uzaklığını üzerinden tercih sıralaması oluşturmaktır (Hwang & Yoon, 1981). Bu yöntemin temel avantajı, karar vericiye sayısal temelli, objektif bir sıralama sunabilmesidir.

Bu çalışmada SCP modeli sonucunda kapsanan mahallelerin ne ölçüde öncelikli bölgeler olduğunu değerlendirmek için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Mahallelerin yaş dağılımı, eğitim seviyesi, yoğunluk ve kargo talebi gibi kriterleri normalize edilerek karar matrisine dönüştürülmüş, ağırlıklı normalize edilmiş matris üzerinden ideal ve negatif ideal çözümler tanımlanmıştır. Her mahallenin bu noktalara olan uzaklığını kullanılarak göreli yakınlık endeksi hesaplanmış ve mahalleler 0 ile 1 arasında sıralanmıştır. Bu sıralama, SCP sonucu seçilen merkezlerin stratejik anlamda doğru yerlerde konumlanıp konumlanmadığını ölçmek için kullanılmıştır. Yöntem, SCP'nin eksik bıraktığı önceliklendirme boyutunu tamamlayarak daha bütüncül bir karar süreci sağlamıştır.

2.3. Uzaklık Matrisi ve Threshold Belirleme

Yer seçimi problemlerinde erişim mesafesi, modelin başarısını doğrudan etkileyen bir parametredir. Bu bağlamda çalışmada mahalleler arası uzaklıklar, koordinat

bilgileri kullanılarak geopy kütüphanesi ile jeodezik (kuş uçuşu) mesafe olarak hesaplanmıştır. Her bir mahalle çifti için mesafeler kilometre cinsinden ölçülmüş ve çift yönlü bir uzaklık matrisi oluşturulmuştur.

Threshold (eşik) değeri olarak 0,8, 1, 1,2, 1,5 km seçenekleri sunulmuştur. Bu değerler, yaya veya bisikletle sırasıyla yaklaşık 10, 15, 20 ve 30 dakikalık erişimleri temsil eder. Eşik değerin belirlenmesinde Lachapelle vd. (2018) tarafından yapılan çalışmalardan ve benzer lojistik erişim analizlerinden faydalانılmıştır. SCP modelinde bu eşik, kapsama matrisinin oluşturulmasında filtreleme aracı olarak kullanılmıştır. Böylece erişim alanında olan hizmet noktaları, ilgili talep noktalarını kapsayabilir kabul edilmiştir. Bu yaklaşım, modelin hem gerçekçiliğini hem uygulanabilirliğini artırmıştır.

2.4. Harita Tabanlı Görselleştirme: Folium ile Sunum

Çözümün uygulanabilirliği kadar karar vericiye sunulabilirliği de kritik önemdedir. Bu nedenle çalışmada folium kütüphanesi ile interaktif harita çıktıları üretilmiştir. Folium, Python tabanlı açık kaynak bir kütüphane olup, harita üzerine nokta, çizgi ve alan işaretlemeleri yapmaya olanak tanır.

SCP modeli ile belirlenen teslimat dolabı merkezleri, interaktif harita üzerinde işaretlenmiş ve her biri kapsadığı mahallelerle birlikte görselleştirilmiştir. Aynı zamanda TOPSIS değerlendirmelerine göre düşük öncelikli alanlar farklı renklerde belirtilmiş, Google Street View bağlantıları da haritaya entegre edilmiştir. Bu sunum biçimini, model çıktılarının yalnızca teknik değil, aynı zamanda saha kullanımı açısından da değerlendirilebilmesini sağlamıştır. Karar vericiler harita üzerinden hem kapsama hem de stratejik uyumu hızlıca inceleyebilmiştir.

3. SET COVERING UYGULANMASI

Bu çalışma doğrudan bir işletme ile iş birliği içinde yürütülmemekle birlikte, kentsel lojistik hizmetlerinin bir parçası olarak değerlendirilebilecek akıllı teslimat dolaplarının erişilebilirliğini artırmaya yönelik stratejik yer seçimi problemini ele almaktadır. Problem, belediyeler, kargo firmaları ve özel dağıtım şirketleri gibi hizmet sağlayıcılarının karar destek süreçlerine katkı sunacak şekilde yapılandırılmıştır.

Bu kapsamda Eskişehir'in Tepebaşı ilçesi pilot bölge olarak seçilmiş; Bahçelievler, Batıkent, Cumhuriye, Çamlıca, Ertuğrulgazi, Esentepe, Eskibağlar, Fatih, Güllük, Hoşnudiye, Kumlubel, Ömerağa, Sütlüce, Sarhöyük, Şeker, Şirintepe, Tunalı, Uluönder, Yenibağlar, Yeşiltepe ve Zafer mahalleleri üzerinde çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu mahalleler, nüfus yoğunluğu, demografik yapı, eğitim düzeyi ve kargo trafiği gibi parametreler bakımından çeşitlilik göstermekte olup bu durum modeli daha esnek ve uygulanabilir hale getirmiştir.

Problemin temelinde, mevcut kargo teslim noktalarının bazı kullanıcılar için erişilemez olması ve dolayısıyla teslimat verimliliğinin azalması yer almaktadır. Kullanıcıların yaya veya bisiklet ile 10/15/20/30 dakikalık gidiş + 10/15/20/30 dakikalık dönüş süresi içinde, yani toplamda 20/30/40/60 dakikalık erişim mesafesi dahilinde en az bir akıllı teslimat dolabına ulaşabilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, problemin çözümü için mahalleler bazında toplanan veriler analiz edilmiş, kapsama bazlı optimizasyon modeli kurulmuş ve Set Covering yaklaşımı uygulanmıştır.

Ayrıca bu model, yalnızca kamu yönetimleri değil, kargo firmaları, e-ticaret şirketleri ve lojistik hizmet sağlayıcıları için de önemli bir karar destek aracı olarak değerlendirilebilir. Teslimat dolaplarının stratejik yerleştirilmesi sayesinde son kilometre teslimat süreleri kısalabilir, operasyonel maliyetler düşürülebilir ve kullanıcı memnuniyeti artırılabilir. Özellikle yoğun talep alanlarının doğru analiz edilmesi, firmaların kaynaklarını daha verimli kullanmalarını ve rekabet avantajı elde etmelerini sağlar. Bu yönyle çalışma hem kullanıcı odaklı hem de işletme verimliliğini artıran çift yönlü bir fayda üretmektedir.

Bu uygulama, gerçek bir işletme yerine şehir genelinde yaygınlaştırılması hedeflenen kamu hizmeti temelli bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Model, kentsel hizmet tasarımine yönelik karar süreçlerinde kullanılabilecek bir örnek teşkil etmektedir.

3.1. Sistem ve Problem Hakkında Genel Bilgiler

Günümüz kentleri, dijitalleşme, kentleşme ve tüketici alışkanlıklarındaki hızlı dönüşümle birlikte, lojistik sistemlerini yeniden yapılandırma ihtiyacıyla karşı karşıyadır. Özellikle e-ticaret hacminin küresel ölçekte artması ve çevrimiçi siparişlerin günlük yaşamın olağan bir parçası haline gelmesi, lojistik hizmet sağlayıcılarının son kilometre teslimatlarını daha etkin ve verimli hâle getirmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, teslimat dolapları gibi yenilikçi dağıtım çözümleri; hem son kullanıcı memnuniyetini

artırmakta hem de kentsel trafik ve karbon emisyonları üzerinde azaltıcı etki yaratmaktadır.

Eskişehir'in Tepebaşı ilçesi, artan nüfus yoğunluğu, yapılışma oranı ve demografik çeşitliliği ile birlikte teslimat altyapısı üzerinde artan bir baskı oluşturmaktadır. Özellikle çok katlı apartmanların yoğun olduğu mahallelerde, geleneksel kargo teslimat yöntemleri zaman zaman aksamakta; kargo teslimatları sırasında yaşanan gecikmeler, tekrar gönderimler ve müşteri şikayetleri gibi sorunlar artmaktadır. Ayrıca günün yoğun saatlerinde yaşanan teslimat trafiği, hem şehir içi ulaşımı zorlaştırmakta hem de teslimat sürelerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında, akıllı teslimat dolaplarının Eskişehir ili Tepebaşı ilçesinde en uygun noktalara yerleştirilerek hem kullanıcı erişimin maksimize etmek hem de operasyonel verimliliği artırmak amaçlanmıştır. Bu doğrultuda önerilen yerleşim stratejisi, sadece teslimat süreçlerini iyileştirmekle kalmayıp; aynı zamanda enerji tüketimi, karbon emisyonu ve trafik yoğunluğu gibi çevresel ve sosyal faktörler üzerinde de olumlu etki yaratmayı hedeflemektedir.

Veri toplama sürecinde, doğrudan saha verilerine erişimin mümkün olmaması nedeniyle, alternatif veri kaynaklarına başvurulmuştur. Endeksa tarafından sağlanan mahalle bazlı nüfus verileri ile OpenStreetMap (OSM) üzerinden elde edilen coğrafi koordinatlar birleştirilerek analiz birimleri oluşturulmuştur. Ayrıca, Kişisel Verileri Koruma Kanunu (KVKK) gereği özel kargo firmalarından veri temin edilemediğinden, kullanıcı eğilimlerini anlamaya yönelik anket çalışması yapılması ve simülasyon destekli veri türetimi planlanmıştır.

Çalışmada analiz birimi olarak Tepebaşı ilçesine bağlı Bahçelievler, Batıkent, Cumhuriye, Çamlıca, Ertuğrulgazi, Esentepe, Eskibağlar, Fatih, Güllük, Hoşnudiye, Kumlubel, Ömerağa, Sütlüce, Sarhöyük, Şeker, Şirintepe, Tunalı, Uluönder, Yenibağlar, Yeşiltepe ve Zafer olmak üzere toplam 21 mahalle seçilmiştir. Her bir mahalle merkezi potansiyel teslimat dolabı konumu olarak değerlendirilmiş ve mahalleler arası etkileşimler coğrafi mesafeye dayalı olarak analiz edilmiştir. Bu kapsamda karar vericiden arayüzde sunulan küme yarıçapları seçeneklerinden yapacağı seçimler esas alınarak kapsama ilişkileri belirlenmiş ve matematiksel modellemeye esas veri seti oluşturulmuştur.

3.2. Yöntemlerin Uygulanması

Bu çalışmada ele alınan problem, klasik kapsama problemlerinden biri olan Set Covering Problem (SCP) kapsamında modellenmiş ve çözülmüştür. SCP, belirli bir coğrafi veya yapısal ağ üzerindeki tüm talep noktalarının en az bir hizmet noktasından kapsanmasını sağlayacak biçimde minimum sayıda hizmet noktasını seçmesini amaçlayan bir optimizasyon problemidir. Bu tür problemler, sağlık hizmetlerinden acil durum yönetimine, kamu hizmetlerinden lojistik ve perakende dağıtıma kadar birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır.

Set Covering yöntemi genel Set Covering adımlarla uygulanır:

1. Talep noktalarının (i) ve aday hizmet noktalarının (j) belirlenmesi,
2. Her talep noktasının hangi aday hizmet noktaları tarafından kapsandığının belirlenmesi,
3. Bu kapsam ilişkilerini tanımlayan kapsama matrisinin (a_{ij}) oluşturulması,
4. Amaç fonksiyonu ve kapsama kısıtları tanımlanarak matematiksel modelin kurulması,
5. Modelin uygun bir çözümleyici ile (örneğin Python–PuLP, OR-Tools, Excel-Solver) çözümlemesi,
6. Elde edilen çözümün yorumlanması ve harita üzerinde görselleştirilmesi.

Set Covering probleminin temel matematiksel modeli aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\min \sum_{j \in J} r_j$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} r_j \geq 1, \forall i \in I$$

$$r_j \in \{0,1\}, \forall j \in J$$

Model, Python programlama dili ile PuLP kütüphanesi kullanılarak çözülmüştür. Çözüm sonucunda, en az sayıda dolapla maksimum mahalle kapsaması sağlayan bir yerleşim planı elde edilmiştir. Bu plan, Folium kütüphanesi yardımıyla harita üzerinde görselleştirilmiş ve her dolabın kapsadığı mahalleler işaretlenerek analiz kolaylaştırılmıştır. Ayrıca, düşük öncelikli mahalleleri kapsayan dolaplar özel simgelerle vurgulanmıştır.

Cök kriterli karar verme yaklaşımı olarak TOPSIS yöntemi, mahallelerin demografik özelliklerini dikkate alarak her birine bir öncelik skoru atamıştır. Nüfus yoğunluğu, öğrenci sayısı, genç ve yaşlı nüfus oranı gibi ölçütler kullanılarak oluşturulan bu skorlar, Set Covering çözümünün kalite kontrolü amacıyla ikincil bir analiz olarak değerlendirilmiştir. Böylece yalnızca matematiksel olarak değil, sosyal ve lojistik bağlamda da doğrulanmış bir öneri sunulmuştur.

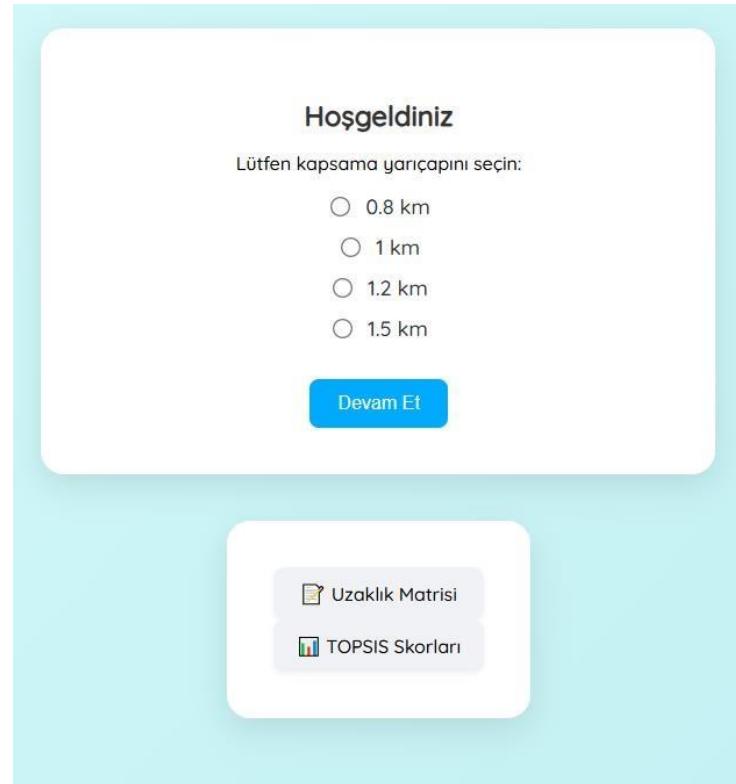
Sonuç olarak, geliştirilen model yalnızca bir kapsama analizi değil; aynı zamanda sürdürülebilirlik, erişilebilirlik ve hizmet adaleti gibi ilkelere katkı sunan çok boyutlu bir karar destek sistemidir. Teslimat dolaplarının stratejik konumlandırılması, hem şehir içi ulaşımı rahatlatmakta hem de kullanıcıların hizmete erişimini kolaylaştırmaktadır. Bu yönyle proje, BM'nin 9. ve 11. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına doğrudan katkı sağlamaktadır.

3.2.1. Uygulama Arayüzü ve Seçim Süreci

Kullanıcılar arayüz üzerinden 0,8, 1,0, 1,2 ve 1,5 kilometrelük kapsama yarıçaplarından birini seçebilmektedir. Seçim sonrası, algoritma seçilen yarıçapa göre mahalleleri kapsayan en uygun teslimat dolabı noktalarını belirlemektedir.



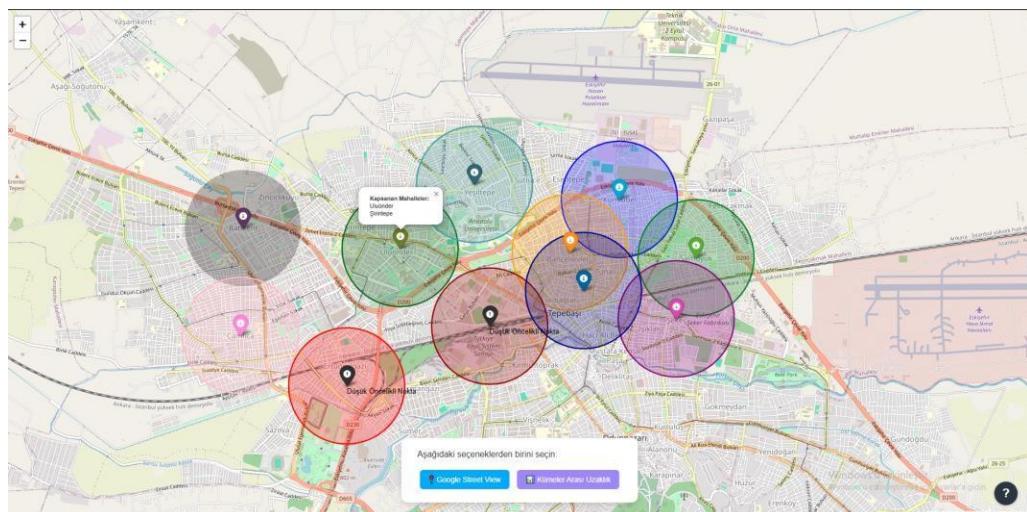
Şekil 3.2.1.1. Proje Arayüz Giriş Ekranı



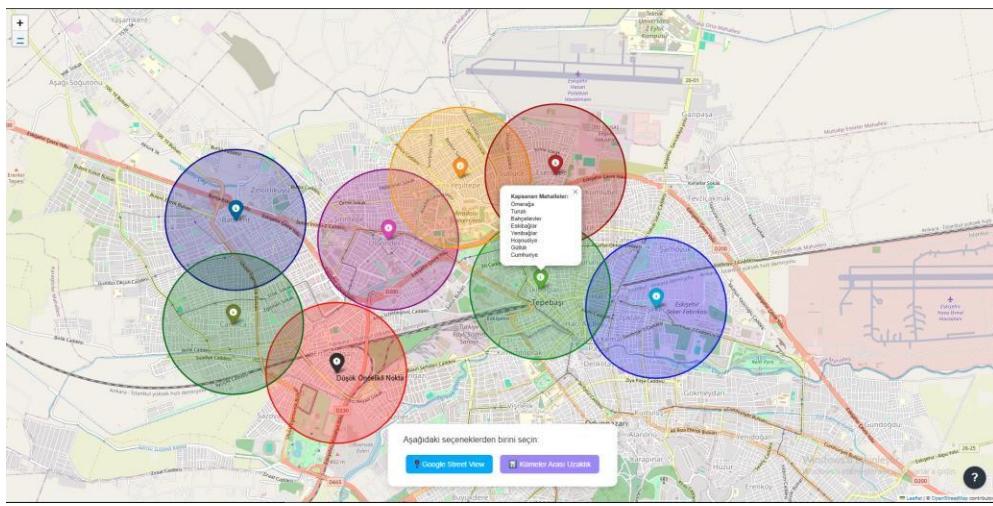
Şekil 3.2.1.2. Kapsama Yarıçapı Seçim Arayüzü

3.2.2. Set Covering Kapsama Haritaları

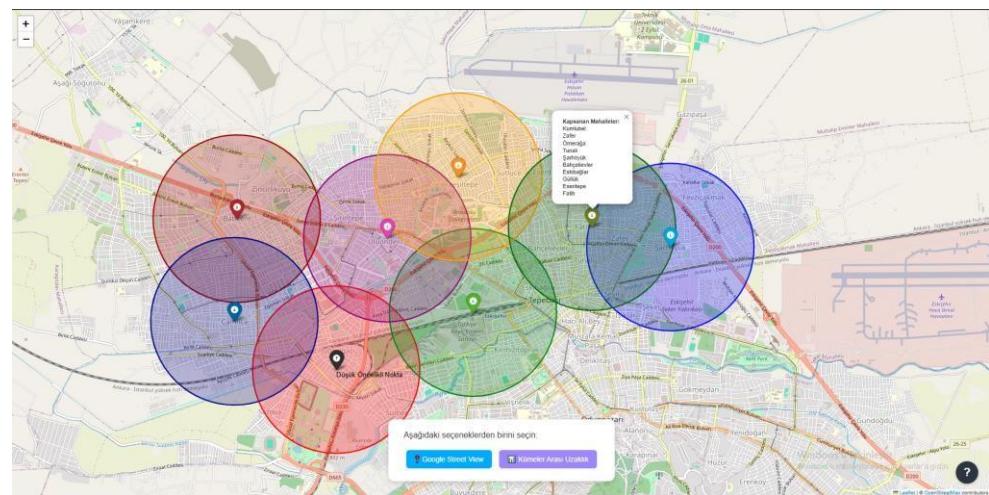
Seçilen yarıçaplara göre modelin önerdiği teslimat dolabı merkezlerinin mahalleleri ne ölçüde kapsadığı aşağıdaki haritalarda gösterilmiştir. Her bir harita, farklı eşik değerlerine göre modelin önerdiği dolap yerleşimlerini ve kapsadığı mahalle alanlarını yansıtmaktadır.



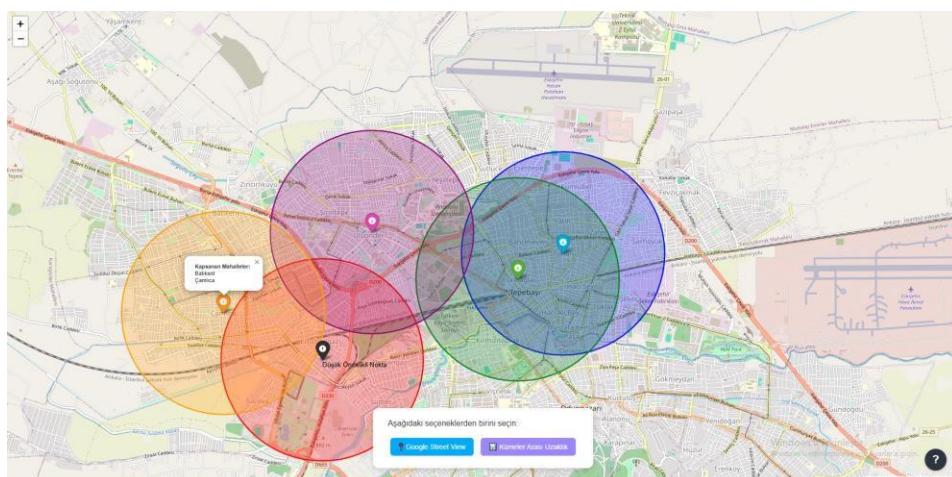
Şekil 3.2.2.4. 1,5 km Set Covering Problem kapsama haritası



Şekil 3.2.2.2. 1,0 km Set Covering Problem kapsama haritası



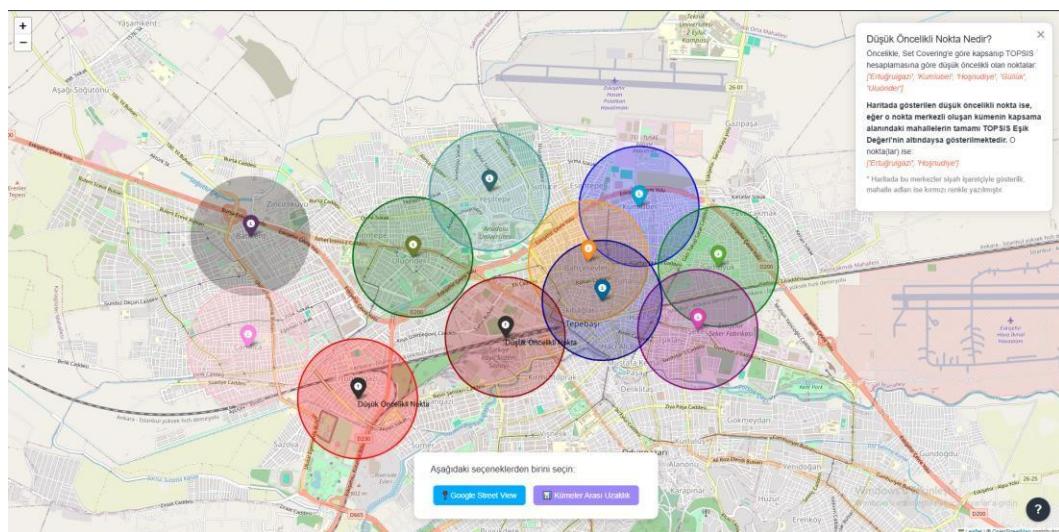
Şekil 3.2.2.3. 1,2 km Set Covering Problem kapsama haritası



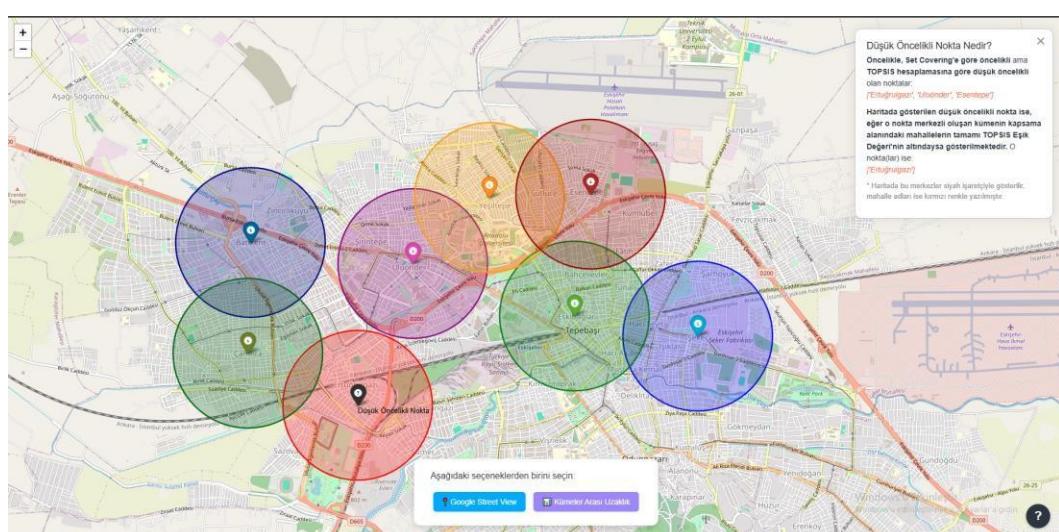
Şekil 3.2.2.4. 2,5 km Set Covering Problem kapsama haritası

3.2.3. Düşük Öncelikli Nokta Analizi

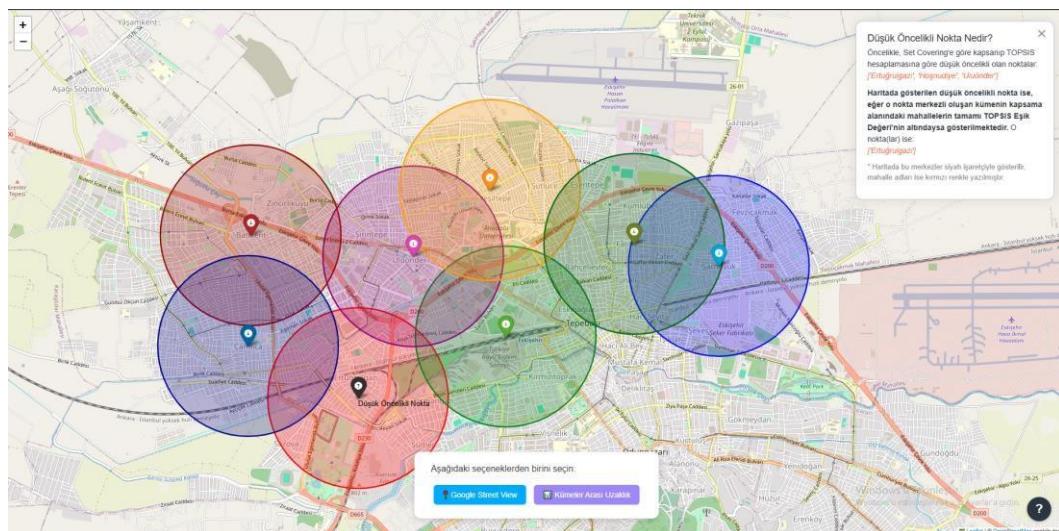
Model tarafından seçilen merkezlerin demografik ve lojistik uygunluk açısından TOPSIS skorlarıyla uyuşmayanları aşağıdaki haritalarda gösterilmiştir, yani seçilen merkezlerin kapsama alanındaki tüm mahallelerin TOPSIS skorları hesaplanan eşik değerinden aşağıda ise haritada “Düşük Öncelikli Nokta” diye gösterilerek stratejik açıdan zayıf bölgeler olarak değerlendirilmiştir. Arayüzde bu noktaların bilgilendirmeleri, harita sekmesindeki sağ alt kısımda yer alan soru işaretçi butonunda muhafaza edilmiş ve kullanıcının tıklayarak bu bilgilendirmelere erişim sağlayabilmeleri sağlanmıştır.



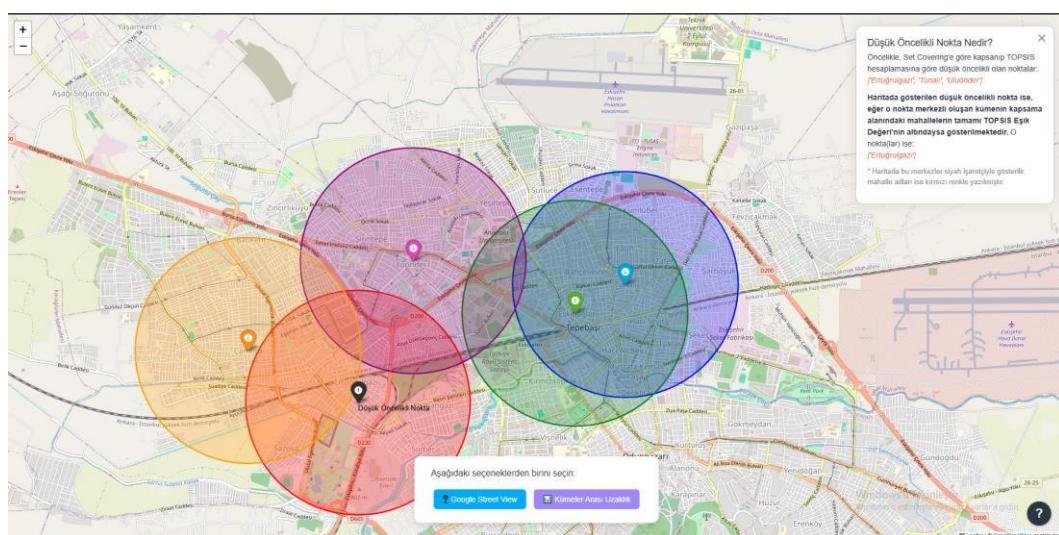
Şekil 3.2.3.1. 0,8 km düşük öncelikli merkezler



Şekil 3.2.3.2. 1,0 km düşük öncelikli merkezler



Şekil 3.2.3.3. 1,2 km düşük öncelikli merkezler



Şekil 3.2.3.4. 1,5 km düşük öncelikli merkezler

3.2.4. TOPSIS Yöntemi ile Mahalle Önceliklendirme

Çok Kriterli Karar Verme yöntemi olan TOPSIS kullanılarak mahallelerin yaş dağılımı, eğitim seviyesi, nüfus yoğunluğu ve kargo talebi gibi kriterler göz önüne alınmış ve normalize edilmiş karar matrisi üzerinden mahallelerin göreli öncelik skorları hesaplanmıştır. Amaç, yalnızca kapsama sağlayan değil, aynı zamanda yüksek öncelikli ve etkili bölgeleri belirlemektir.

TOPSIS Skorları		
Mahalle	TOPSIS Skoru	Öncelikli
Yenibağlar	0.683005	EVET
Çamlıca	0.635911	EVET
Batıkent	0.612196	EVET
Fatih	0.608509	EVET
Sırıntepe	0.562082	EVET
Şeker	0.548795	EVET
Yeşiltepe	0.540447	EVET
Sarıhöyük	0.530204	EVET
Eskişehirler	0.512458	EVET
Sütlüce	0.505632	EVET
Bağcılerevler	0.497998	EVET
Kumluabel	0.431954	HAYIR
Güllük	0.420314	HAYIR
Zafer	0.395216	HAYIR
Ömeroğa	0.394444	HAYIR
Ertuğrulgazi	0.393370	HAYIR
Hosnudile	0.360768	HAYIR
Cumhuriye	0.351795	HAYIR
Tunali	0.346240	HAYIR
Esentepe	0.345456	HAYIR
Uluönder	0.300696	HAYIR

Şekil 3.2.4.1. TOPSIS mahalle öncelik puanları

TOPSIS Skorları		
Mahalle	TOPSIS Skoru	Öncelikli
Yenibağlar	0.683005	EVET
Çamlıca	0.635911	EVET
Batıkent	0.612196	EVET
Fatih	0.608509	EVET
Sırıntepe	0.562082	EVET
Şeker	0.548795	EVET
Yeşiltepe	0.540447	EVET
Sarıhöyük	0.530204	EVET
Eskişehirler	0.512458	EVET
Sütlüce	0.505632	EVET
Bağcılerevler	0.497998	EVET
Kumluabel	0.431954	HAYIR
Güllük	0.420314	HAYIR
Zafer	0.395216	HAYIR
Ömeroğa	0.394444	HAYIR
Ertuğrulgazi	0.393370	HAYIR
Hosnudile	0.360768	HAYIR
Cumhuriye	0.351795	HAYIR
Tunali	0.346240	HAYIR
Esentepe	0.345456	HAYIR
Uluönder	0.300696	HAYIR

TOPSIS Yöntemi Nedir?

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Amacı, en iyi alternatif ideal çözüme en yakın ve negatif idealden en uzak olarak bulunmak.

Hesaplama Adımları:

- Normalize Etme: Kriterler farklı ölçütlerde olabilir. Bu yüzden her biri 0-1 aralığında getirilir (Min-Max normalizasyon).
- Ağırlıklendirme: Her kriter önem derecesine göre ağırlıklarıdır. Bu hesaplamaların toplamı 1 olmalıdır.
- Ideal Çözümüne Uzaklık: Her kriter için en iyi (ideal) ve en kötü (negatif ideal) değerleri tespit edilir.
- Uzaklıkların Hesaplanması: Her otomatik olarak en yakın ideal çözüme olan uzaklığı hesaplanır (Uzaklık mesafe).
- TOPSIS Skoru:

 - Negatif Uzaklık: $\frac{\text{Ideal Uzaklığı} - \text{Hesaplanan Uzaklığı}}{\text{Ideal Uzaklığı}}$
 - Negatif Uzaklık: $\frac{\text{Negatif Ideal Uzaklığı} - \text{Hesaplanan Uzaklığı}}{\text{Negatif Ideal Uzaklığı}}$

5. Toplam Skor: Negatif Uzaklık ve Negatif Uzaklık toplamı ile elde edilen skor.

6. Epik Bellirleme: Skorlar sıralanır, en büyük sıradan (elbow) noktası epik noktası olarak belirlenir. Uzaklık mesafesi en azdır.

Bağlıca mahallelerin, nüfus, eğitim oran, yaş profili gibi kriterler üzerinden dengeli bir şekilde sıralanması sağlanır.

Windows'u Etkinleştir

Windows'u etkinleştirmek için Ayarlar'a gidin.

Şekil 3.2.4.2. TOPSIS yöntemi kriter bilgileri

3.2.5. Mahalleler Arası Uzaklık Matrisi

Yer seçiminde kullanılmak üzere mahalleler arası kuş uçuşu mesafeler geopy kütüphanesi ile hesaplanarak uzaklık matrisi oluşturulmuştur. Bu veri, kapsama

matrisinin temeli olarak kullanılmıştır ve yalnızca erişim eşiği dahilindeki ilişkiler modele dahil edilmiştir.

Uzaklık Matrisi																					
	Ertuğrulgazi	Kumlubel	Zafer	Ömerağa	Tunçlu	Şarhöyük	Seker	Bahçelievler	Eskişehir	Yenibölgür	Hosnudije	Güllük	Cumhuriyet	Uluönder	Şirinçepe	Yeşiltepe	Sütçice	Esentepe	Batıkkent	Çamlıca	Feth
Ertuğrulgazi	0.00	4.55	4.05	5.68	3.90	5.15	4.64	3.59	3.15	2.83	2.14	3.52	5.41	2.03	2.27	3.28	3.76	4.20	2.60	1.62	4.22
Kumlubel	4.55	0.00	0.63	1.38	1.01	1.33	1.82	0.99	1.62	1.72	2.50	1.34	1.76	3.10	3.70	2.01	1.30	0.69	5.21	5.55	0.52
Zafer	4.55	0.63	0.00	1.01	0.68	0.78	1.19	1.02	1.44	1.79	2.42	1.08	1.39	3.35	4.02	2.44	1.79	1.25	5.52	5.71	0.40
Ömerağa	3.68	1.38	1.01	0.00	0.37	1.45	1.10	0.74	0.58	1.20	1.56	0.24	0.39	2.83	3.57	2.32	1.89	1.64	5.01	4.97	0.87
Tunçlu	3.90	1.01	0.68	0.37	0.00	1.26	1.17	0.55	0.77	1.23	1.77	0.40	0.76	2.85	3.57	2.17	1.65	1.32	5.04	5.11	0.49
Şarhöyük	5.13	1.33	0.78	1.45	1.20	0.00	0.88	1.74	2.00	2.48	5.00	1.62	1.77	4.05	4.78	3.22	2.5	2.00	6.26	6.38	1.17
Seker	4.64	1.82	1.19	1.30	1.17	0.88	0.00	1.73	1.67	2.30	2.58	1.34	1.25	3.95	4.67	3.54	2.8	2.37	6.11	6.02	1.42
Bahçelievler	3.59	0.99	1.02	0.74	0.55	1.74	1.75	0.00	0.67	0.78	1.50	0.56	0.99	2.35	3.04	1.62	1.15	0.98	4.53	4.69	0.64
Eskişehir	5.13	1.62	1.44	0.58	0.77	2.00	1.67	0.67	0.00	0.69	1.00	0.39	0.51	2.27	3.05	1.94	1.68	1.64	4.44	4.39	1.17
Yenibölgür	2.85	1.72	1.79	1.20	1.23	2.48	2.30	0.78	0.69	0.00	0.86	0.97	1.20	1.63	2.37	1.31	1.28	1.44	3.82	3.92	1.42
Hosnudije	2.14	2.50	2.42	1.56	1.77	3.00	2.58	1.50	1.00	0.86	0.00	1.38	1.32	1.63	2.39	1.96	2.07	2.29	3.66	3.44	2.11
Güllük	3.52	1.54	1.08	0.24	0.40	1.62	1.34	0.56	0.39	0.97	1.58	0.00	0.44	2.60	3.34	2.09	1.70	1.51	4.78	4.78	0.85
Cumhuriyet	3.41	1.76	1.39	0.39	0.76	1.77	1.25	0.99	0.51	1.20	1.32	0.44	0.00	2.76	3.52	2.44	2.12	1.95	4.90	4.77	1.25
Uluönder	2.03	3.10	3.35	2.83	2.85	4.08	3.93	2.35	2.27	1.63	1.63	2.60	2.76	0.00	0.77	1.35	1.99	2.55	2.39	2.51	2.96
Şirinçepe	3.27	3.70	4.02	3.57	3.57	4.78	4.67	3.04	3.03	2.37	2.39	3.34	3.52	0.77	0.00	1.76	2.48	3.09	1.31	2.20	3.62
Yeşiltepe	3.28	2.01	2.44	2.32	2.17	3.22	3.34	1.62	1.94	1.31	1.96	2.09	2.44	1.35	1.76	0.00	0.75	1.35	3.25	3.84	2.06
Sütçice	3.76	1.30	1.79	1.89	1.61	2.56	2.80	1.15	1.68	1.24	2.07	1.70	2.13	1.99	2.48	0.75	0.00	0.65	5.98	4.49	1.43
Esentepe	4.20	0.69	1.25	1.64	1.32	2.00	2.37	0.98	1.64	1.44	2.29	1.31	1.95	2.55	3.09	1.35	0.63	0.00	4.59	5.05	0.95
Batıkkent	2.60	5.21	5.52	5.01	5.04	6.26	6.11	4.53	4.44	3.82	5.66	4.78	4.90	2.19	1.51	3.25	3.98	4.59	0.00	1.47	5.12
Çamlıca	1.62	5.55	5.71	4.97	5.11	6.38	6.02	4.69	4.39	3.92	5.44	4.78	4.77	2.51	2.20	3.84	4.49	5.05	1.47	0.00	5.33
Feth	4.22	0.52	0.40	0.87	0.49	1.17	1.42	0.64	1.17	1.42	2.11	0.85	1.25	2.96	3.62	2.06	1.43	0.95	5.12	5.33	0.00

Şekil 3.2.5.1. Mahalleler arası uzaklık matrisi

3.2.6. Kümeler Arası Uzaklık Analizi

Seçilen her teslimat dolabı merkezinin birbirine olan uzaklıkları analiz edilmiş, kümeler arası mesafeleri arayüzün harita sekmesinde ulaşılabilen şekilde her seçim değeri sonrası tıklanabilen bir buton aracılığıyla görüntülenebilmesi sağlanmıştır. Aşağıda farklı eşik değerlerine göre hesaplanan kümeler arası uzaklık matrisi görselleri verilmiştir.

Kümeler Arası Uzaklık Matrisi (0.8 km)																		
	Ertuğrulgazi	Kumlubel	Şarhöyük	Seker	Bahçelievler	Hosnudije	Güllük	Uluönder	Yeşiltepe	Batıkkent	Çamlıca							
Ertuğrulgazi	0.00	4.55	5.13	4.64	3.59	2.14	3.52	2.03	3.28	2.60	1.62							
Kumlubel	4.55	0.00	1.33	1.82	0.99	2.50	1.34	3.10	2.01	5.21	5.55							
Şarhöyük	5.13	1.33	0.00	0.88	1.74	3.00	1.62	4.08	3.22	6.26	6.38							
Seker	4.64	1.82	0.88	0.00	1.73	2.58	1.34	3.93	3.34	6.11	6.02							
Bahçelievler	3.59	0.99	1.74	1.73	0.00	1.50	0.56	2.35	1.62	4.53	4.69							
Hosnudije	2.14	2.50	3.00	2.58	1.50	0.00	1.38	1.63	1.96	3.66	3.44							
Güllük	3.52	1.34	1.62	1.34	0.56	1.38	0.00	2.60	2.09	4.78	4.78							
Uluönder	2.03	3.10	4.08	3.93	2.35	1.63	2.60	0.00	1.35	2.19	2.51							
Yeşiltepe	3.28	2.01	3.22	3.34	1.62	1.96	2.09	1.35	0.00	3.25	3.84							
Batıkkent	2.60	5.21	6.26	6.11	4.53	3.66	4.78	2.19	3.25	0.00	1.47							
Çamlıca	1.62	5.55	6.38	6.02	4.69	3.44	4.78	2.51	3.84	4.49	5.05							

Şekil 3.2.6.1. 0,8 km eşik için kümeler arası uzaklık matrisi

Kümeler Arası Uzaklık Matrisi (1.0 km)

	Ertuğrulgazi	Şeker	Eskibağlar	Uluönder	Yeşiltepe	Esentepe	Batıkent	Çamlıca
Ertuğrulgazi	0.00	4.64	3.13	2.03	3.28	4.20	2.60	1.62
Şeker	4.64	0.00	1.67	3.93	3.34	2.37	6.11	6.02
Eskibağlar	3.13	1.67	0.00	2.27	1.94	1.64	4.44	4.39
Uluönder	2.03	3.93	2.27	0.00	1.35	2.55	2.19	2.51
Yeşiltepe	3.28	3.34	1.94	1.35	0.00	1.35	3.25	3.84
Esentepe	4.20	2.37	1.64	2.55	1.35	0.00	4.59	5.05
Batıkent	2.60	6.11	4.44	2.19	3.25	4.59	0.00	1.47
Çamlıca	1.62	6.02	4.39	2.51	3.84	5.05	1.47	0.00

Şekil 3.2.6.2. 1,0 km eşik için kümeler arası uzaklık matrisi

Kümeler Arası Uzaklık Matrisi (1.2 km)

	Ertuğrulgazi	Şarhöyük	HoşnudİYE	Uluönder	Yeşiltepe	Batıkent	Çamlıca	Fatih
Ertuğrulgazi	0.00	5.13	2.14	2.03	3.28	2.60	1.62	4.22
Şarhöyük	5.13	0.00	3.00	4.08	3.22	6.26	6.38	1.17
HoşnudİYE	2.14	3.00	0.00	1.63	1.96	3.66	3.44	2.11
Uluönder	2.03	4.08	1.63	0.00	1.35	2.19	2.51	2.96
Yeşiltepe	3.28	3.22	1.96	1.35	0.00	3.25	3.84	2.06
Batıkent	2.60	6.26	3.66	2.19	3.25	0.00	1.47	5.12
Çamlıca	1.62	6.38	3.44	2.51	3.84	1.47	0.00	5.33
Fatih	4.22	1.17	2.11	2.96	2.06	5.12	5.33	0.00

Şekil 3.2.6.3. 1,2 km eşik için kümeler arası uzaklık matrisi

Kümeler Arası Uzaklık Matrisi (1.5 km)

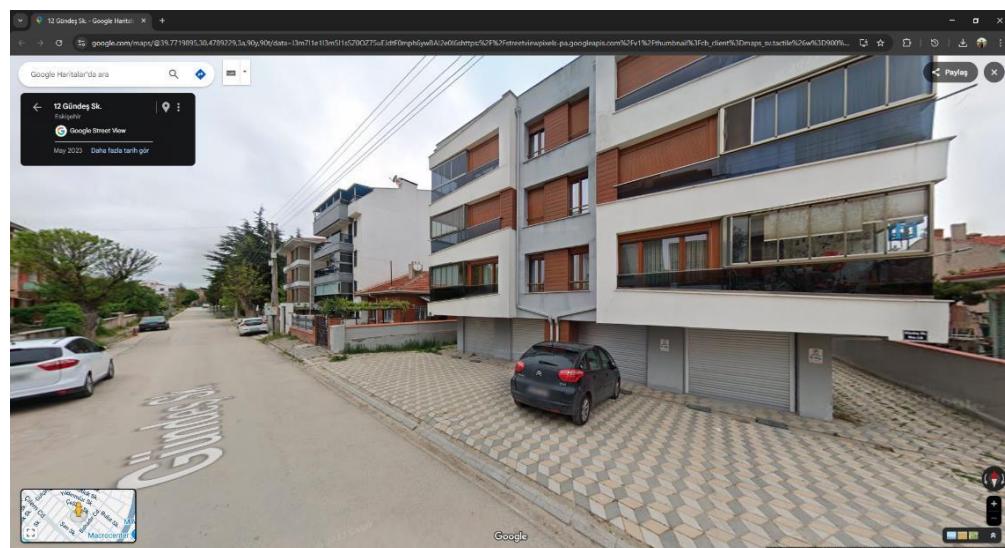
	Ertuğrulgazi	Tunalı	Eskibağlar	Uluönder	Çamlıca
Ertuğrulgazi	0.00	3.90	3.13	2.03	1.62
Tunalı	3.90	0.00	0.77	2.85	5.11
Eskibağlar	3.13	0.77	0.00	2.27	4.39
Uluönder	2.03	2.85	2.27	0.00	2.51
Çamlıca	1.62	5.11	4.39	2.51	0.00

Şekil 3.2.6.4. 1,5 km eşik için kümeler arası uzaklık matrisi

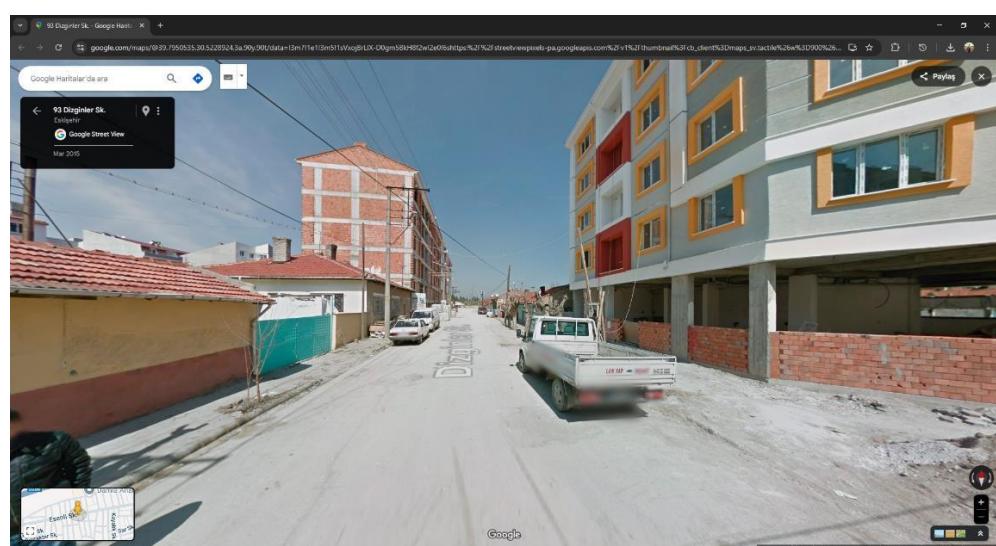
3.2.7. Street View ile Saha Gözleme

Harita üzerinde belirlenen teslimat noktalarının sokak düzeyinde uygunluğunu test etmek amacıyla Google Street View bağlantıları entegrasyonu yapılmıştır. Aşağıda, sahada fiziki olarak uygun olduğu tespit edilen dolap yerleşim noktaları yapılmış olan seçimler doğrultusunda gösterilmiştir.

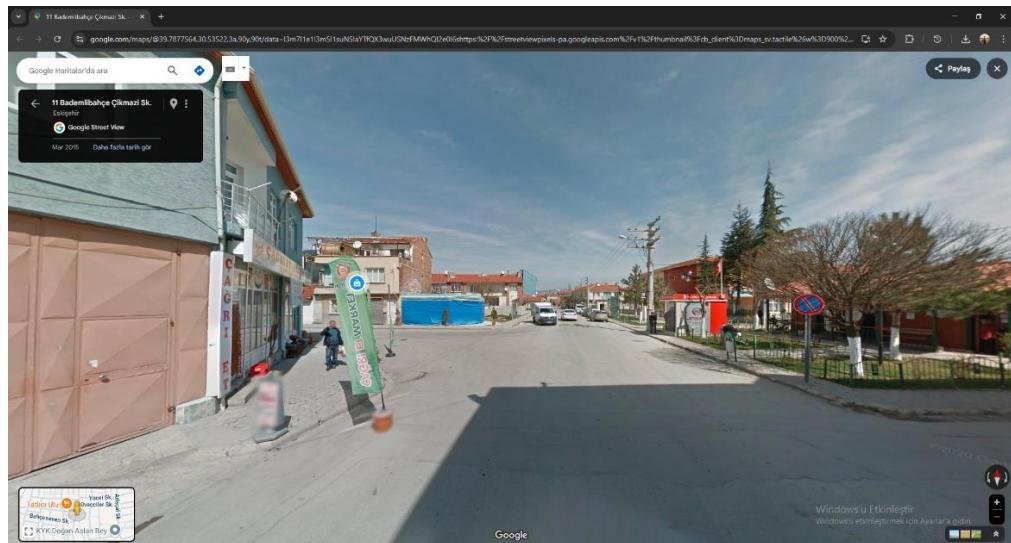
a) 0,8 Km Eşik Değeri İçin Tespit Edilen Dolap Yerleşim Noktaları:



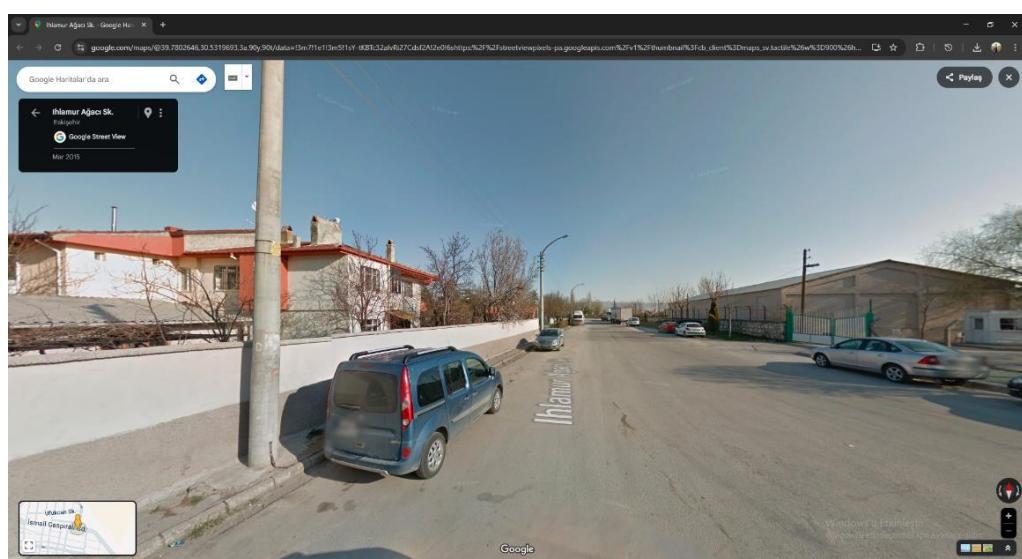
Şekil 3.2.7.1. Güneş Sokak, No:12, Ertuğrulgazi



Şekil 3.2.7.2. Dizginler Sokak, No:93, Kumlubel



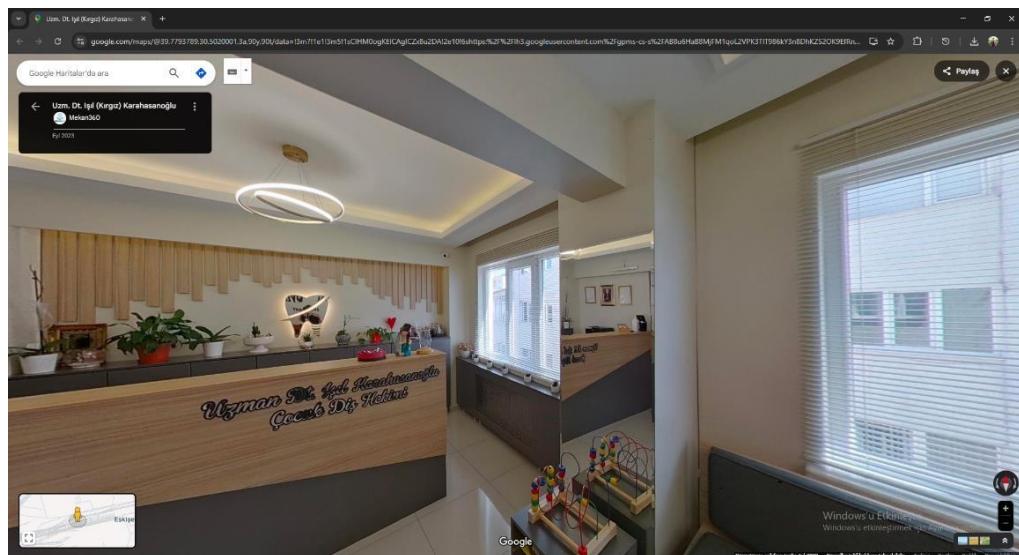
Şekil 3.2.7.3. Bademlibahçe Çıkmazı Sokak, No:11, Şarhöyük



Şekil 3.2.7.4. İhlamur Ağacı Sokak, Şeker



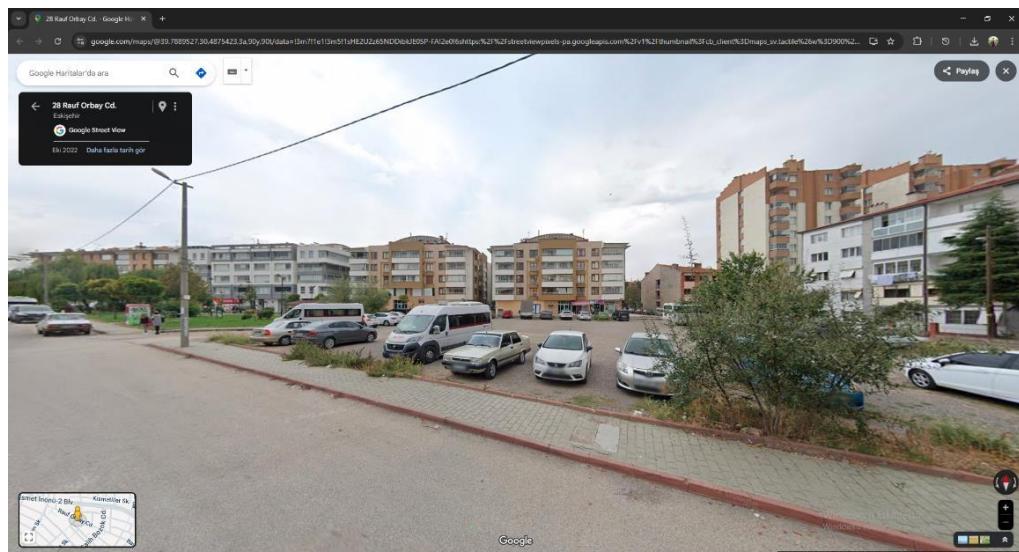
Şekil 3.2.7.5. Namik Kemal Sokak, No:14, Bahçelievler



Şekil 3.2.7.6. Doktorlar Caddesi. Nayman Sokak, Selka apt. Uzm. Dt. İşıl (Kırgız) Karahasanoğlu, Hoşnudiye



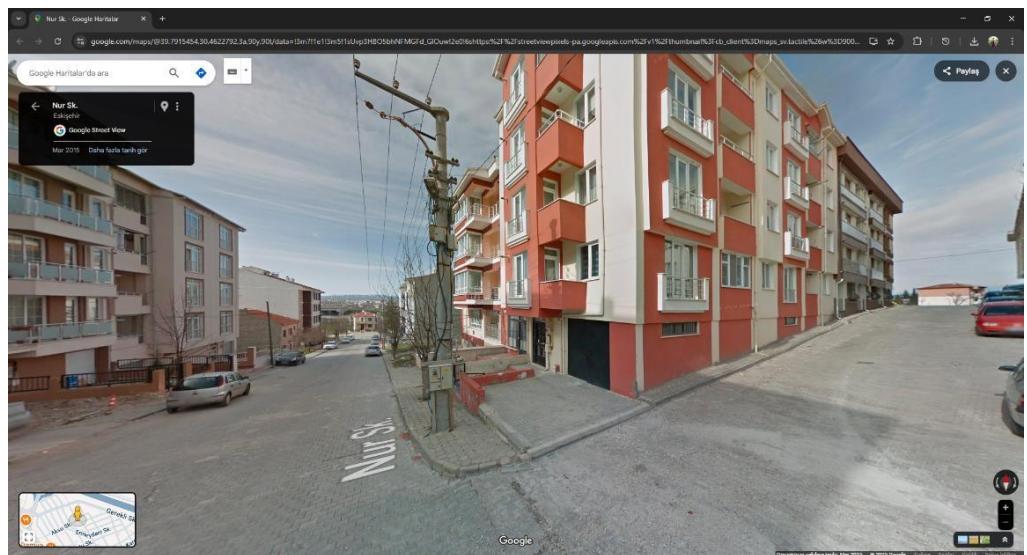
Şekil 3.2.7.7. Yarım Sokak, No:21, Güllük



Şekil 3.2.7.8. Rauf Orbay Caddesi, No:28, Uluönder



Şekil 3.2.7.9. Bilgeç Caddesi, No:50, Yeşiltepe

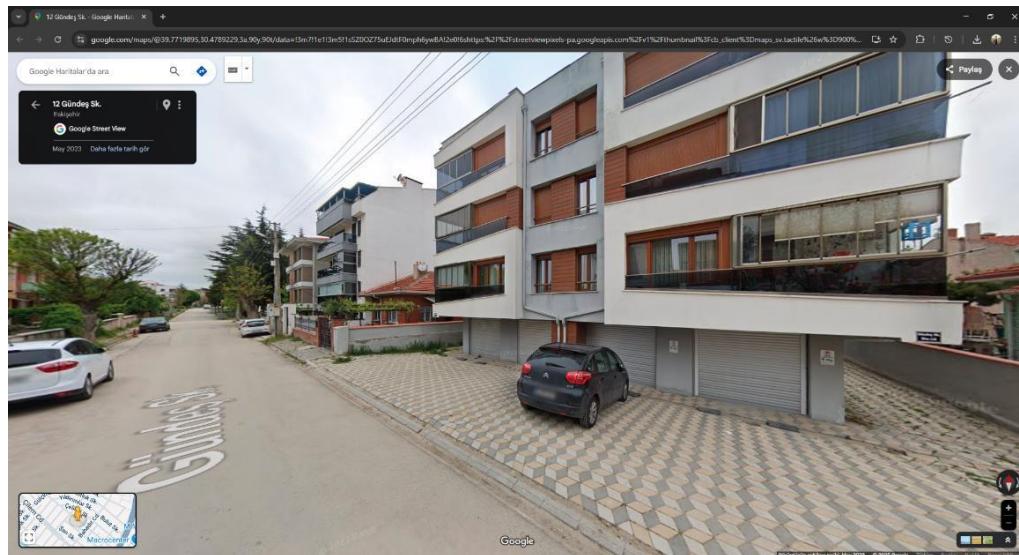


Şekil 3.2.7.10. Nur Sokak, Battkent

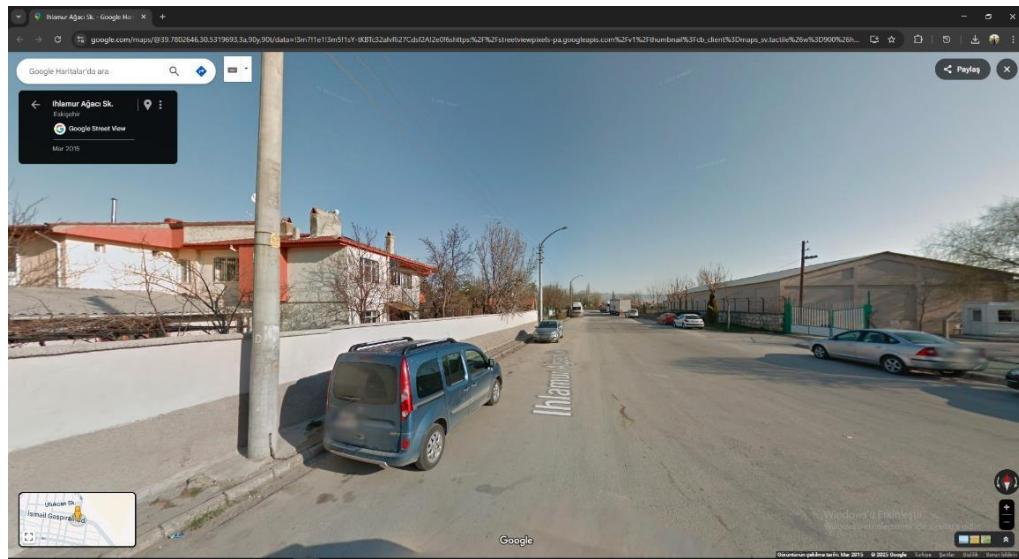


Şekil 3.2.7.11. Cihangül Sokak, No:8, Çamlıca

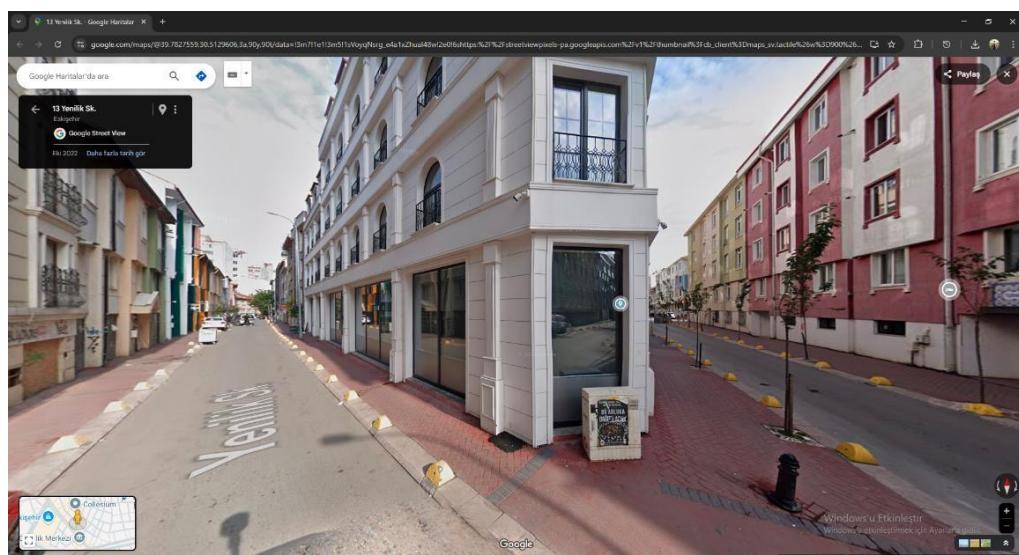
b) 1,0 Km Eşik Değeri İçin Tespit Edilen Dolap Yerleşim Noktaları:



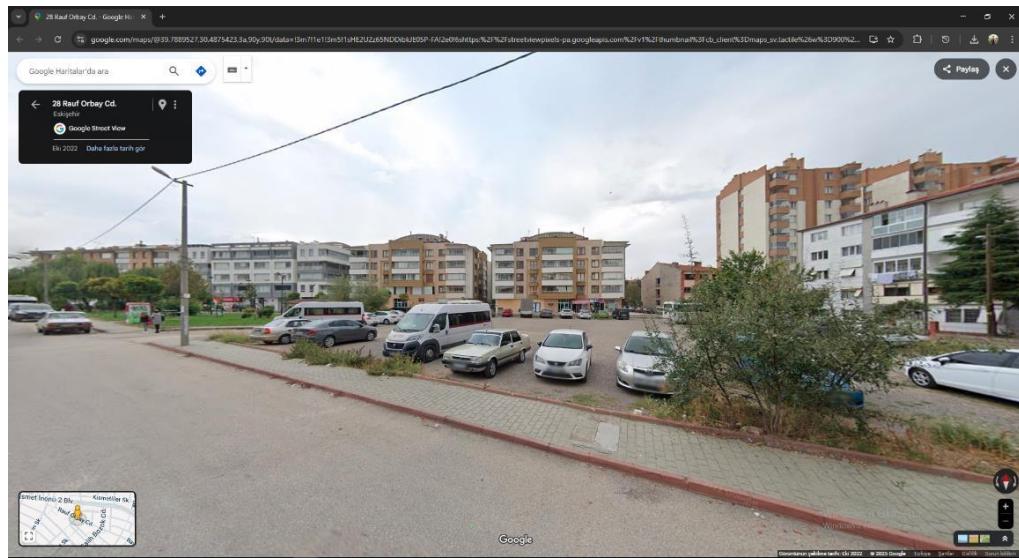
Şekil 3.2.7.12. Gündes Sokak, No:12, Ertuğrulgazi



Şekil 3.2.7.13. İhlamur Ağacı Sokak, Şeker



Şekil 3.2.7.14. Yenilik Sokak, No:13, Eskibağlar



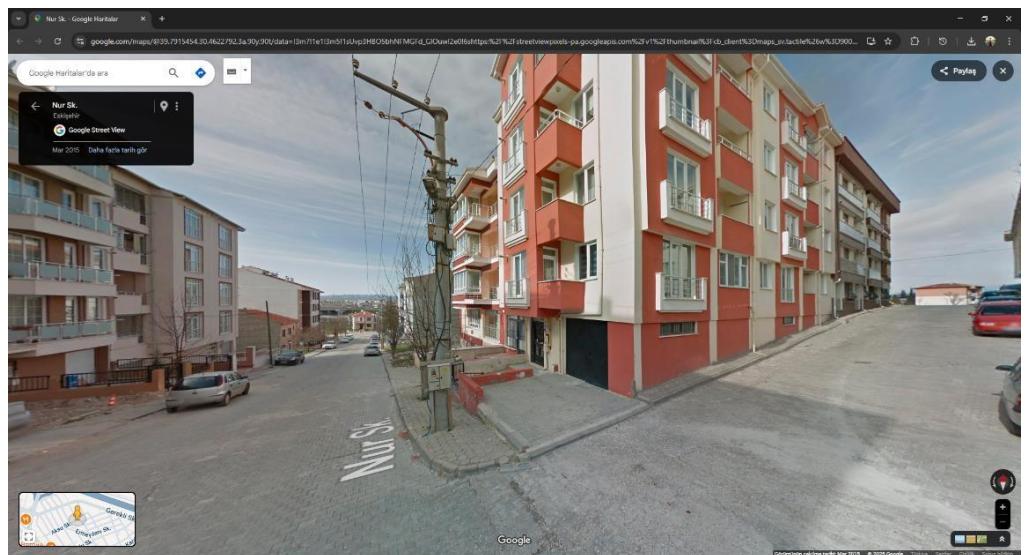
Şekil 3.2.7.15. Rauf Orbay Caddesi, No:28, Uluönder



Şekil 3.2.7.16. Bilgeç Caddesi, No:50, Yeşiltepe



Şekil 3.2.7.17. Egenur Sokak, No:51, Esentepe



Şekil 3.2.7.18. Nur Sokak, Battkent

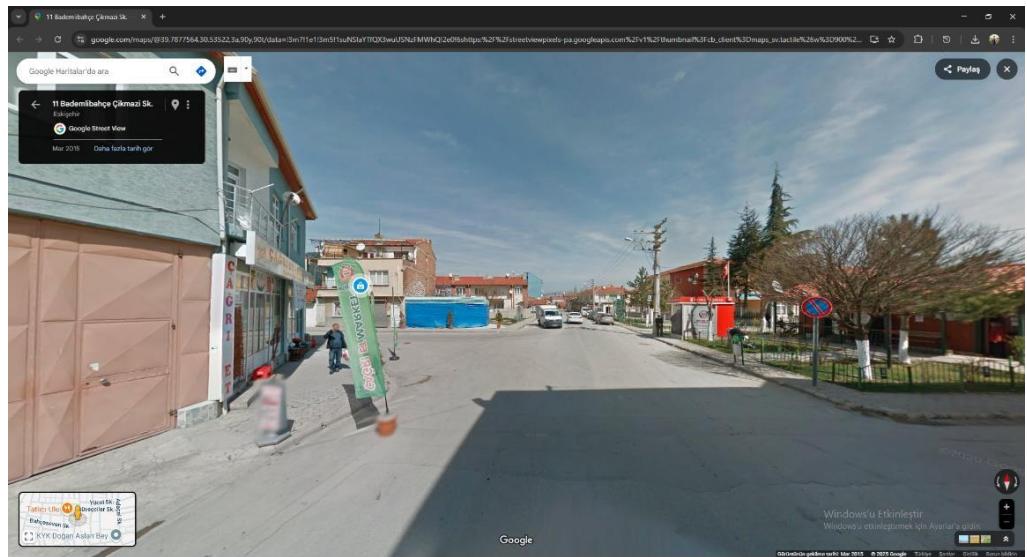


Şekil 3.2.7.19. Cihangül Sokak, No:8, Çamlıca

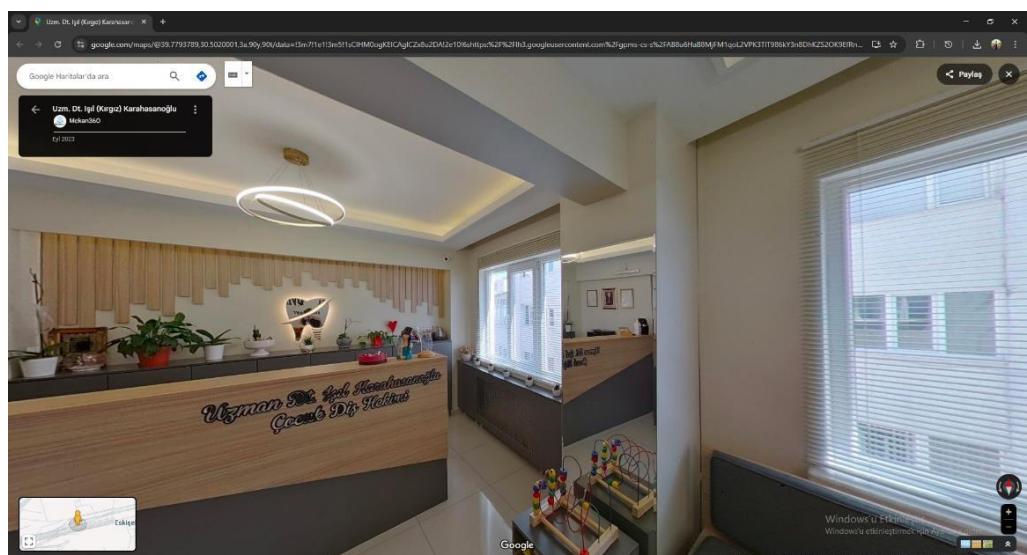
c) 1,2 Km Eşik Değeri İçin Tespit Edilen Dolap Yerleşim Noktaları:



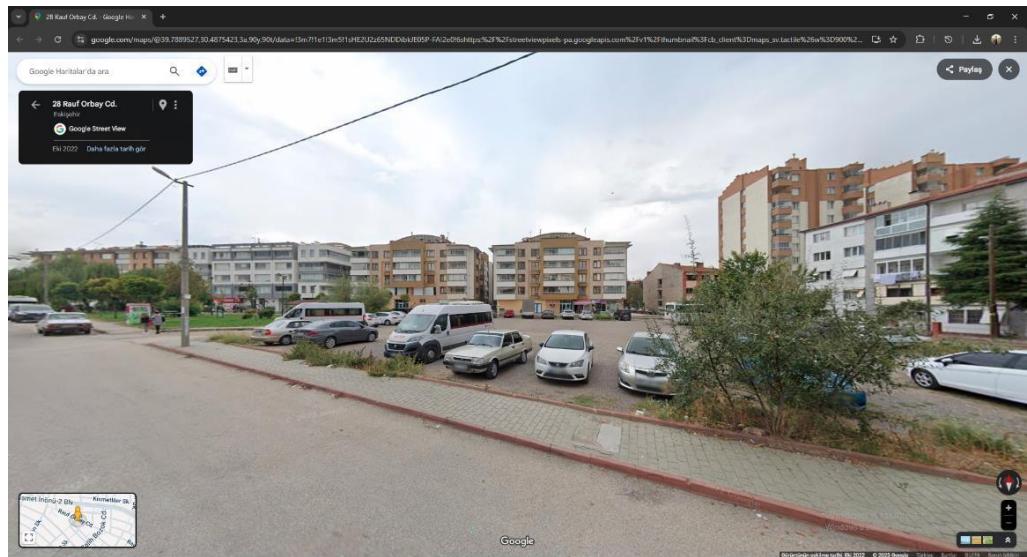
Şekil 3.2.7.20. Gündes Sokak, No:12, Ertuğrulgazi



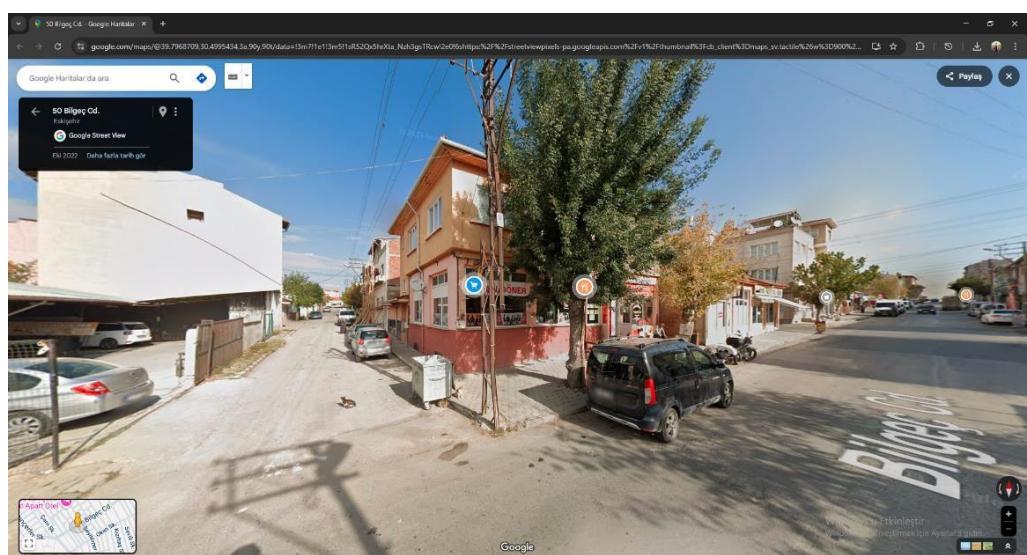
Şekil 3.2.7.21. Bademlibahçe Çıkmazı Sokak, No:11, Şarhöyük



Şekil 3.2.7.22. Doktorlar Caddesi. Nayman Sokak, Selka apt. Uzm. Dt. İşıl (Kırgız) Karahasanoğlu, Hoşnudiye



Şekil 3.2.7.23. Rauf Orbay Caddesi, No:28, Uluönder



Şekil 3.2.7.24. Bilgeç Caddesi, No:50, Yeşiltepe



Şekil 3.2.7.25. Nur Sokak, Batikent



Şekil 3.2.7.26. Cihangül Sokak, No:8, Çamlıca

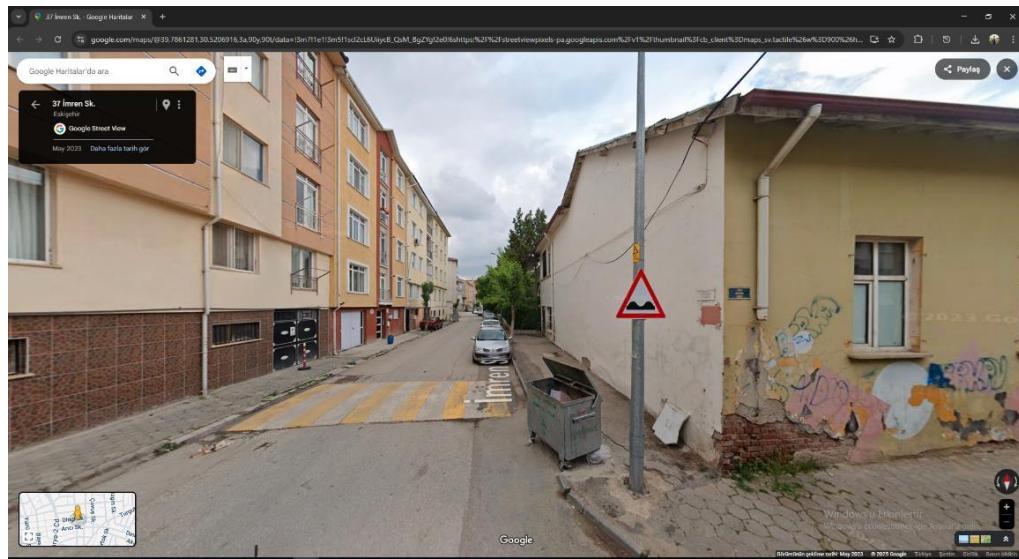


Şekil 3.2.7.27. Derman Caddesi, No:77, Esentepe

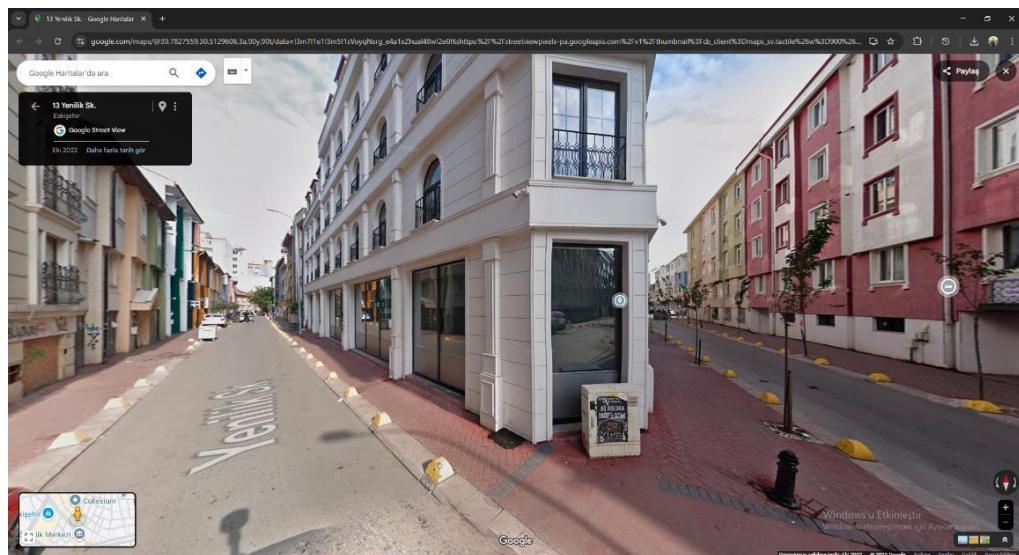
d) 1,5 Km Eşik Değeri İçin Tespit Edilen Dolap Yerleşim Noktaları:



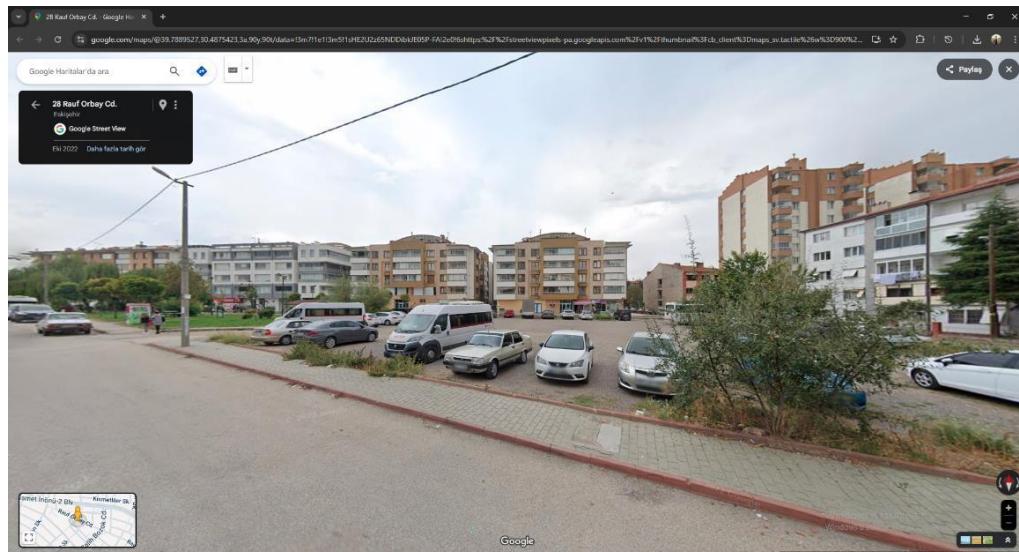
Şekil 3.2.7.28. Gündes Sokak, No:12, Ertuğrulgazi



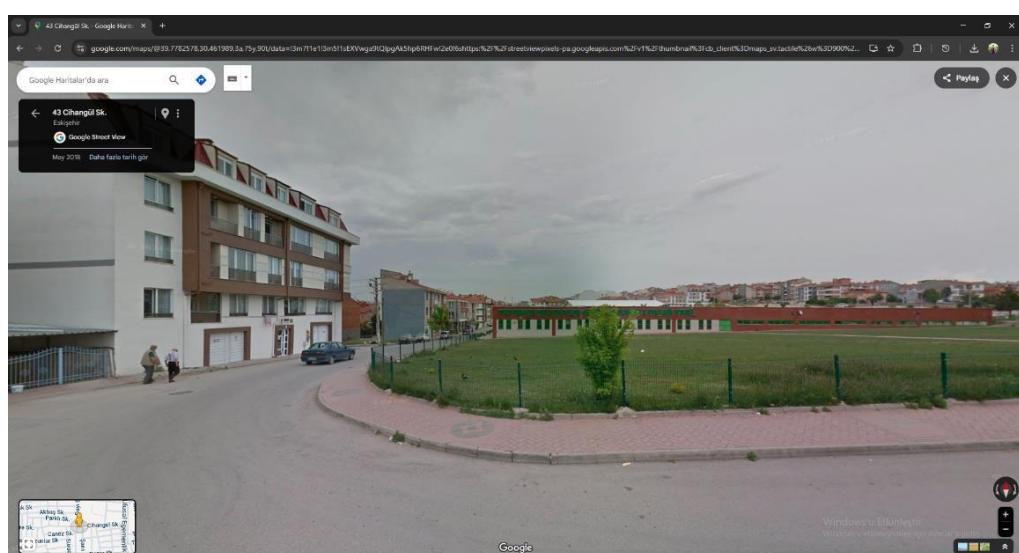
Şekil 3.2.7.29. İmren Sokak, No:37, Tunali



Şekil 3.2.7.30. Yenilik Sokak, No:13, Eskibağlar



Şekil 3.2.7.31. Rauf Orbay Caddesi, No:28, Uluönder



Şekil 3.2.7.32. Cihangül Sokak, No:8, Çamlıca

Yer seçimi probleminin çözüm süreci, dört farklı kapsama eşiği (0,8, 1,0, 1,2, 1,5 km) için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve her bir durumda minimum sayıda dolapla tam kapsama sağlanması hedeflenmiştir.

Bu merkezlerin stratejik anlamda uygunluğunu değerlendirmek amacıyla TOPSIS yöntemi ile mahallelerin çok kriterli puanlamaları yapılmış ve seçilen merkezlerin bu skorlarla örtüşüp örtüşmediği analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, yalnızca Ertuğrulgazi mahallesindeki bir merkezin, kapsadığı mahallelerin TOPSIS skorlarının düşük olması

nedeniyle öncelik açısından daha zayıf olduğu tespit edilmiştir. Bu analiz, yalnızca matematiksel kapsamanın yeterli olmadığını; aynı zamanda demografik, lojistik ve operasyonel faktörlerin de göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymuştur.

Bu bulgular ışığında, gelecekte kapsama optimizasyonuna ek olarak merkezlerarası mesafe kısıtı, maliyet analizleri ve dinamik talep yoğunluğu gibi faktörlerin dahil edilmesi önerilmektedir. Böylece modelin saha uygulamalarına daha uyumlu hale getirilmesi mümkün olacaktır.

Bu kapsamda dört temel aşama yürütülmüştür:

- (i) Mahalleler arası uzaklıkların hesaplanması,
- (ii) Set Covering modeli ile minimum merkez belirlenmesi,
- (iii) TOPSIS yöntemiyle önceliklendirme,
- (iv) Street View ile saha uygunluk analizi.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Eskişehir'in Tepebaşı ilçesi özelinde, sınırlı sayıda akıllı teslimat dolabı ile maksimum kullanıcı kapsamasını sağlamaya yönelik çok kriterli bir yer seçimi problemi ele alınmıştır. Problemin çözümünde Set Covering yöntemi, mahalle bazlı erişilebilirliği optimize etmek amacıyla kullanılmış; mahallelerin önceliklendirilmesi ise TOPSIS yöntemiyle gerçekleştirılmıştır. Bu iki yöntem birlikte kullanılarak hem erişim mesafesi hem de mahallelerin demografik, sosyoekonomik ve lojistik özellikleri dikkate alınarak çok boyutlu bir analiz yapılmıştır.

Uygulanan yöntem sonucunda, belirlenen kapsama yarıçapı içinde en az sayıda dolap ile en fazla sayıda mahallenin kapsanması hedeflenmiş ve bu hedef büyük ölçüde gerçekleştirılmıştır. Özellikle yüksek nüfus yoğunluğuna ve yaya erişimine sahip mahallelerin kapsandığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, düşük öncelikli mahallelerin belirlenmesiyle bu bölgelere yönelik ilerleyen dönemlerde yapılacak genişleme planları için de stratejik bir temel oluşturulmuştur. Google Street View entegrasyonu ile saha uygunluk kontrolü de yapılarak önerilen noktaların fiziksel koşulları görsel olarak doğrulanmıştır.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, aşağıdaki iyileştirme önerileri sunulmaktadır:

- a) Mevcut yerleşim planı, ilerde kullanıcı taleplerine ve kullanım verilerine göre dinamik olarak güncellenebilir yapıda olmalıdır. Bu amaçla karar destek sisteme veri entegrasyonu sağlanarak gerçek zamanlı optimizasyon yapılabilir.
- b) Düşük öncelikli ancak gelişime açık mahallelerde, kullanıcı davranışları takip edilerek dolap yerleşimine yönelik pilot uygulamalar yapılabilir.
- c) Kapsama merkezlerinin sadece erişim mesafesine değil, çevresel güvenlik, kamera altyapısı, aydınlatma ve sosyokültürel yapıya göre de değerlendirilmesi ilerde kullanıcı memnuniyetini artıracaktır.
- d) Sisteme karbon emisyonu, trafik yoğunluğu ve teslimat süreleri gibi çevresel ve operasyonel kriterlerin eklenmesiyle model daha sürdürülebilir ve bütüncül hale getirilebilir.

Sonuç olarak, bu tez çalışması, akıllı teslimat dolaplarının stratejik yerleşimi için sistematik, veri temelli ve çok kriterli bir karar destek mekanizması sunmakta; benzer şehir içi lojistik planlamalarında uygulanabilirliği olan bir yöntem önerisi getirmektedir.

KAYNAKÇA

- Gökalp, Ö. M. (2022). Makine Öğrenmesi- Machine Learning. Gazi Üniversitesi.
- Dietterich, T. G. (1994). Machine Learning. Department of Computer Science, Oregon State University. To appear in Annual Review of Computer Science, Volume 4, Spring 1990.
- Kahraman, H, Koroglu, O (2020). K-Ortalamalar Tabanlı En Etkili Meta-Sezgisel Kümeleme Algoritmasının Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(5), 173-184.
- Akdoğan, K., & Özceylan, E. (2023). Parcel Locker Applications in Turkey. *İstanbul Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 43-54.
- Zhang, J., & Tan, Y. (2018). Parcel locker systems in a car dominant city: Location characterization and potential impacts on city planning and consumer travel access. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 113, 130-145.
- Iyer, S., & Padhy, N. P. (2002). A new method for clustering based on global k-means algorithm. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 11(2), 457-474
- Arkin, E., & Hsu, F. (2002). A constant-factor approximation algorithm for the k-median problem. *ACM Transactions on Algorithms*, 2(2), 130-143.
- Saif, M. A., Zefreh, M. M., & Torok, A. (2019). Public Transport Accessibility: A Literature Review. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 47(1), 36-43. <https://doi.org/10.3311/PPtr.12072>
- Kasapoğlu, K., & İnceoğlu, M. (2022). *Eskişehir Hamamyolu Park ve Meydan Düzenlemesinin Erişilebilirlik Üzerinden Okunması*. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 14(3), 145-153. DOI: [10.29137/umagd.1198643](https://doi.org/10.29137/umagd.1198643).
- Sarıman, G. (2011). Veri Madenciliğinde Kümeleme Teknikleri Üzerine Bir Çalışma: K- Means ve K-Medoids Kümeleme Algoritmalarının Karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(3), 192-202.
- Selvi, H. Z., & Çağlar, B. (2016). Using K-Means and K-Medoids Methods for Multivariate Mapping. *Special Issue* (2016), 342-345. <https://doi.org/10.18100/ijamec.274494>
- Sığnak S. ve Kuvvetli Y. (2020), Küme örtüleme yaklaşımıyla bisiklet paylaşım noktası atama problemi ve bir uygulama, Nicel Bilimler Dergisi, 2(2), 60-70

Orhan Alp Karabulut , Metehan Kerem Seyret , Mualla Gonca Avcı , (2023), Kargo Otomati Yer Seçimi Problemi İçin Bir Matematiksel Model Endüstri Mühendisliği, Cilt 34, Sayı 1, 2023, 26 - 41, [10.46465/endustrimuhendisligi.1130216](https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1130216)

An, H. S., Park, A., Song, J. M., & Chung, C. (2022). Consumers' adoption of parcel locker service: Protection and technology perspectives. *Cogent Business & Management*, 9(1), 2144096. <https://doi.org/10.1080/23311975.2022.2144096>

van Duin, J. H. R., Wiegmans, B. W., Van Arem, B., & Van Amstel, Y. (2020). From home delivery to parcel lockers: A case study in Amsterdam. *Transportation Research Procedia*, 46, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.161>

Akgöl, K., Demir, E., & Aydoğdu, İ. (2024). Küme yolu kaplama yöntemi uygulaması ile yol çıkarımı. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(1), 53–62. <https://doi.org/10.5505/pajes.2023.09522>

Caprara, A., Fischetti, M., & Toth, P. (2000). Algorithms for the set covering problem. *Annals of Operations Research*, 98(1-4), 353–371. <https://doi.org/10.1023/A:1019201016564>

Adamo, T., Ghiani, G., Guerriero, E., & Pareo, D. (2023). A surprisal-based greedy heuristic for the set covering problem. *Algorithms*, 16(7), 321. <https://doi.org/10.3390/a16070321>

Pinho, L. S. de. (2024). Utilizing heuristics and metaheuristics for solving the set covering problem. *U.Porto Journal of Engineering*, 10(3), 1–22. https://doi.org/10.24840/2183-6493_0010-003_002474

Makansi, J., & Savla, K. (2024). A set cover mapping heuristic for demand-robust fleet size vehicle routing problem with time windows and compatibility constraints (arXiv preprint arXiv:2406.07719). arXiv. <https://arxiv.org/abs/2406.07719>

Caprara, A., Fischetti, M., & Toth, P. (2000). *Algorithms for the set covering problem*. *Annals of Operations Research*, 98(1–4), 353–371. <https://doi.org/10.1023/A:1019201016564>

Chvátal, V. (1979). A greedy heuristic for the set-covering problem. *Mathematics of Operations Research*, 4(3), 233–235. <https://doi.org/10.1287/moor.4.3.233>

Daskin, M. S. (2013). *Network and discrete location: Models, algorithms, and applications* (2nd ed.). Wiley.

Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1979). *Computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness*. W. H. Freeman.

Beasley, J. E. (1990). OR-Library: Distributing test problems by electronic mail. *Journal of the Operational Research Society*, 41(11), 1069–1072.
<https://doi.org/10.1057/jors.1990.166>

ReVelle, C. S., & Swain, R. W. (1970). Central facilities location. *Geographical Analysis*, 2(1), 30–42. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1970.tb00142.x>

EKLER

EK-1 PROJE PLANI

ENM 457 – Bitirme Projesi I sürecinde izlenmiş olan yol plana kaydedilmiş ve ENM 458 – Bitirme Projesi II için revize edilen proje planı ekteki gibidir.

Aylar	Faaliyetler	Sorumlular
1. Ay	Literatür araştırmasının tamamlanması, problem tanımı.	Tüm ekip
2. Ay	Probleme uygun firma, kurum, kuruluşlarla görüşülmesi ve probleme dair araştırmaların gerçekleştirilmesi.	Tüm ekip
3. Ay	Araştırmalar ve geri dönüşler neticesinde izlenicek yolu belirlenmesi, proje planlamasının yapılması.	Tüm ekip
4. Ay	Kullanılacak algoritmanın seçimi ve bu algoritmaya dair araştırmaların yapılması.	Tüm ekip
5. Ay	Model taslağı geliştirilmesi ve algoritma adımlarının belirlenmesi.	Tüm ekip
6. Ay	Gerçek verilerin sağlanması ve yönelik çalışmaların yapılması.	Tüm ekip
7. Ay	Verilerin oluşturulması ve simülasyon ortamının hazırlanması.	Tüm ekip
8. Ay	Modelin tamamlanması, nihai raporun hazırlanması ve sunum materyallerinin oluşturulması.	Tüm ekip
9. Ay	Sunumların gerçekleştirilmesi ve raporun teslim edilmesi.	Tüm ekip

Çalışmada analizler yalnızca yukarıda belirtilen 21 mahalle özelinde yapılacaktır. Mahalle bazlı modelleme kapsamında, her bir mahalle için potansiyel teslimat noktaları belirlenerek erişim mesafesi analizi yapılacak ve kapsama matrisleri oluşturulacaktır. Anket çalışması ve simülasyon senaryoları da yalnızca bu mahallelerle sınırlı tutulacaktır. Gerçek saha verilerine ulaşılaması durumunda alternatif bir plan olarak, benzer kent profillerinden elde edilmiş örnek veri setleri kullanılacak; kullanıcı eğilimlerini ölçmek amacıyla çevrim içi anket çalışmaları yürütülecek ve bu verilere dayanarak simülasyon destekli karar modelleri geliştirilecektir. Bu B planı, projenin veri temelli analiz yapısını koruyarak geçerli ve uygulanabilir sonuçlara ulaşmasını sağlayacaktır.

EK-2: Kullanılan Python Kütüphaneleri

```
1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3 import geopandas as gpd
4 from pulp import LpProblem, LpMinimize, LpVariable, lpSum, LpBinary
5 from geopy.distance import geodesic
6 import folium
7 import webbrowser
8 import os
9 import time
10 from unidecode import unidecode
11 import fiona
12 from collections import defaultdict
13 import random
14 from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
15 from folium.features import DivIcon
16 import glob
```

Proje için gerekli kütüphaneler (veri işleme, harita çizimi, optimizasyon, mesafe hesabı) içe aktarılıyor.

EK-3: Mahalle Verilerinin Hazırlanması ve Koordinat Çıkartımı

```
18  with fiona.Env():
19      gdf = gpd.read_file("C:/Users/erhan/Desktop/tez/mahalleler/mahalleler_point.shp", encoding='windows-1254')
20
21  isim_duzeltme = {
22      'Camlica': 'Camlica',
23      'Zafner': 'Zafer',
24      'Sarhoyuk': 'Sarhöyük',
25      'Seker': 'Şeker',
26      'Sirintepe': 'Şirintepe',
27      'Ertugrulgazi': 'Ertuğrulgazi',
28      'Eskibaclar': 'Eskibağlar',
29      'Hosnudiye': 'Hoşnudiye',
30      'Sutlucel': 'Sütlüce',
31      'Yenibaglar': 'Yenibağlar',
32      'Batikent': 'Batıkent',
33      'Yesiltepe': 'Yeşiltepe',
34      'Omeraga': 'Ömerağa',
35      'Tunalı': 'Tunali',
36  }
37  gdf["name"] = gdf["name"].replace(isim_duzeltme)
38  gdf["lat"] = gdf.geometry.y
39  gdf["lon"] = gdf.geometry.x
40
41  df_demog = pd.read_excel("C:/Users/erhan/Desktop/tez/mahalle_demog.xlsx")
42  criteria_weights = {
43      'Genç Yaş Nüfusu (0-24) (%)': 0.4,
44      'Üniversite Mezunu (%)': 0.25,
45      'Nüfus': 0.2,
46      'Nüfus Yoğunluğu (kİŞİ/km²)': 0.15,
47      'Orta Yaş (25-59) (%)': 0.1
48  }
```

Mahalle shapefile'ı okunuyor, karakter bozuklukları düzeltiliyor, coğrafi merkez koordinatları çıkarılıyor.

EK-4: TOPSIS İçin Verilerin Normalize Edilmesi ve Ağırlıklandırılması

```
50  scaler = MinMaxScaler()
51  normalized_data = scaler.fit_transform(df_demog[list(criteria_weights.keys())])
52  weighted_normalized = normalized_data * list(criteria_weights.values())
53  ideal_solution = np.max(weighted_normalized, axis=0)
54  negative_ideal_solution = np.min(weighted_normalized, axis=0)
55  dist_to_ideal = np.sqrt(((weighted_normalized - ideal_solution) ** 2).sum(axis=1))
56  dist_to_negative_ideal = np.sqrt(((weighted_normalized - negative_ideal_solution) ** 2).sum(axis=1))
57  df_demog['TOPSIS Skoru'] = dist_to_negative_ideal / (dist_to_ideal + dist_to_negative_ideal)
58  sorted_scores = np.sort(df_demog['TOPSIS Skoru'])
59  diffs = np.diff(sorted_scores)
60  optimal_index = np.argmax(diffs) + 1
61  optimal_threshold = sorted_scores[optimal_index]
62  df_demog['Öncelikli'] = df_demog['TOPSIS Skoru'] >= optimal_threshold
63
64 topsis_output_path = "C:/Users/erhan/Desktop/tez/sonuclar/topsis_skorlari.xlsx"
65 os.makedirs(os.path.dirname(topsis_output_path), exist_ok=True)
66
67 with pd.ExcelWriter(topsis_output_path, engine='xlsxwriter') as writer:
68     df_demog[['Mahalle', 'TOPSIS Skoru', 'Öncelikli']].\
69         .sort_values(by='TOPSIS Skoru', ascending=False)\.
70         .to_excel(writer, index=False, sheet_name='TOPSIS')
71     worksheet = writer.sheets['TOPSIS']
72     last_row = len(df_demog) + 2
73     worksheet.write(f'A{last_row}', 'TOPSIS Eşik Değeri:')
74     worksheet.write(f'B{last_row}', optimal_threshold)
75
76 mahalleler = gdf["name"].tolist()
77 dist_matrix = pd.DataFrame(index=mahalleler, columns=mahalleler, dtype=float)
78 for i, row_i in gdf.iterrows():
79     for j, row_j in gdf.iterrows():
80         coord_i = (row_i["lat"], row_i["lon"])
81         coord_j = (row_j["lat"], row_j["lon"])
82         dist_km = geodesic(coord_i, coord_j).kilometers
83         dist_matrix.at[row_i["name"], row_j["name"]] = round(dist_km, 4)
```

TOPSIS analizine hazırlık: kriterler normalize ediliyor, ağırlıklarla çarpılıp ideal çözümlerle karşılaştırılıyor.

EK-5: TOPSIS Puanlarının Hesaplanması ve Öncelik Sınıflandırması

```
85 os.makedirs("C:/Users/erhan/Desktop/tez/set covering", exist_ok=True)
86 matrix_path = "C:/Users/erhan/Desktop/tez/sonuclar/uzaklik_matriksi.xlsx"
87 dist_matrix.to_excel(matrix_path)
88 matrix_html_path = "C:/Users/erhan/Desktop/tez/sonuclar/uzaklik_matriksi.html"
89 html_uzaklik_content = f'''
90 <!DOCTYPE html>
91 <html lang="tr">
92 <head>
93     <meta charset="UTF-8">
94     <title>Uzaklık Matriksi</title>
95     <link href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=Quicksand:wght@500&display=swap" rel="stylesheet">
96 <style>
97     body {{
98         font-family: 'Quicksand', sans-serif;
99         background: linear-gradient(135deg, #dff9fb, #c7ecee);
100        display: flex;
101        flex-direction: column;
102        align-items: center;
103        justify-content: center;
104        min-height: 100vh;
105        margin: 0;
106    }}
107    .container {{
108        background: #fff;
109        padding: 40px;
110        border-radius: 20px;
111        box-shadow: 0 10px 30px rgba(0,0,0,0.1);
112        display: inline-block;
113        animation: fadeIn 0.6s ease;
114    }}
115    h2 {{
116        text-align: center;
117        margin-bottom: 20px;
118        color: #2f3640;
119    }}
120    table {{
121        border-collapse: collapse;
122        width: 100%;
123        max-width: 500px;
124        margin: 0 auto;
125    }}
126    th, td {{
127        border: 1px solid #7f8fa6;
128        padding: 10px;
129        text-align: center;
130    }}
131    th {{
132        background-color: #f5f6fa;
133    }}
134    @keyframes fadeIn {
135        from {{ opacity: 0; transform: translateY(-10px); }}
136        to {{ opacity: 1; transform: translateY(0); }}
137    }
138 </style>
139 </head>
140 <body>
141     <div class="container">
142         <h2>Uzaklık Matriksi</h2>
143         <{dist_matrix.to_html(index=True, float_format=".2f", border=0)}>
144     </div>
145 </body>
146 </html>
147 '''
148 with open(matrix_html_path, 'w', encoding="utf-8") as f:
149     f.write(html_uzaklik_content)
150 html_path = "C:/Users/erhan/Desktop/tez/set covering/final_threshold.html"
```

TOPSIS puanları hesaplanıyor ve mahalleler sıralanarak düşük öncelikliler belirleniyor.

EK-6: Mahalleler Arası Mesafe Matrisinin Oluşturulması

```
150 html_path = "C:/Users/erhan/Desktop/tez/set covering/final_threshold.html"
151
152 for file in glob.glob("C:/Users/erhan/Downloads/threshold_secimi*.txt"):
153     try:
154         os.remove(file)
155         print(f"{os.path.basename(file)} silindi.")
156     except Exception as e:
157         print(f"{os.path.basename(file)} silinemedi: {e}")
158     webbrowser.open(html_path)
159 print("Kullanıcının kapsama yarıçapı seçmesi bekleniyor...")
160 threshold_file = None
161 timeout_seconds = 30
162 start_time = time.time()
163 while time.time() - start_time < timeout_seconds:
164     txt_files = glob.glob("C:/Users/erhan/Downloads/threshold_secimi*.txt")
165     if txt_files:
166         latest_file = max(txt_files, key=os.path.getctime)
167         threshold_file = latest_file
168         break
169     time.sleep(1)
170 if threshold_file is None:
171     raise FileNotFoundError("threshold_secimi.txt dosyası bulunamadı veya zaman aşımına uğradı.")
172 with open(threshold_file, "r") as file:
173     threshold = float(file.read().strip())
174     threshold_str = str(threshold).replace('.', '_')
175
176 for file in glob.glob("C:/Users/erhan/Downloads/threshold_secimi*.txt"):
177     try:
178         os.remove(file)
179         print(f"{os.path.basename(file)} silindi.")
180     except Exception as e:
181         print(f"{os.path.basename(file)} silinemedi: {e}")
182 max_distance_constraint = threshold * 2
183 coverage_matrix = (dist_matrix <= threshold).astype(int)
184 model = LpProblem("Set_Covering", LpMinimize)
185 facility_vars = {loc: LpVariable(f"Open_{loc}", cat=LpBinary) for loc in dist_matrix.index}
186 for mahalle in dist_matrix.index:
187     model += lpSum(facility_vars[loc] for loc in dist_matrix.columns if coverage_matrix.loc[mahalle, loc]) >= 1
188 for i in dist_matrix.index:
189     for j in dist_matrix.index:
190         if i < j:
191             if abs(dist_matrix.at[i, j] - max_distance_constraint) > 0.0001:
192                 model += facility_vars[i] + facility_vars[j] <= 1, f"DistanceConstraint_{i}_{j}"
193 model += lpSum(facility_vars[loc] for loc in facility_vars)
194 model.solve()
195 selected_facilities = [loc for loc in facility_vars if facility_vars[loc].varValue >= 0.99]
```

Mesafe matrisi oluşturuluyor; her mahallenin diğerlerine uzaklığı km cinsinden hesaplanıyor.

EK-7: Set Covering Modelinin Tanımlanması ve Optimum Çözümün Elde Edilmesi

```
201 df_demog_indexed = df_demog.set_index('Mahalle')
202 low_priority_facilities = [loc for loc in selected_facilities if not df_demog_indexed.loc[loc, 'Öncelikli']]
203 covered_sets = []
204 for mahalle in dist_matrix.index:
205     kapsayanlar = [loc for loc in dist_matrix.columns if coverage_matrix.loc[mahalle, loc] and facility_vars[loc].varValue == 1]
206     if kapsayanlar:
207         covered_sets.append((mahalle, kapsayanlar))
208 clusters = defaultdict(list)
209 for mahalle, kapsayanlar in covered_sets:
210     for k in kapsayanlar:
211         clusters[k].append(mahalle)
212 df_demog_indexed = df_demog.set_index('Mahalle')
213 confirmed_low_priority = []
214 for cluster in selected_facilities:
215     covered_mahalleler = [mahalle for mahalle in dist_matrix.index if coverage_matrix.loc[mahalle, cluster]]
216     kapsananlar_topsis_oncelikli = any(df_demog_indexed.loc[mahalle, 'Öncelikli'] for mahalle in covered_mahalleler)
217     if not kapsananlar_topsis_oncelikli:
218         confirmed_low_priority.append(cluster)
219 cluster_centroids = []
220 for key in selected_facilities:
221     mahalle_listesi = [mahalle for mahalle in dist_matrix.index if coverage_matrix.loc[mahalle, key]]
222     if key in gdf["name"].values:
223         cluster_row = gdf[gdf["name"] == key].iloc[0]
224         centroid_lat = cluster_row["lat"]
225         centroid_lon = cluster_row["lon"]
226     else:
227         cluster_gdf = gdf[gdf["name"].isin(mahalle_listesi)]
228         centroid_lat = cluster_gdf.geometry.y.mean()
229         centroid_lon = cluster_gdf.geometry.x.mean()
230     cluster_centroids.append({
231         "cluster_name": key,
232         "lat": centroid_lat,
233         "lon": centroid_lon,
234         "covered_mahalleler": mahalle_listesi
235     })
236 }
```

Set Covering modeli tanımlanıyor ve çözüme ulaşılıyor; minimum sayıda dolap ile tüm mahallelerin kapsaması sağlanıyor.

EK-8: Harita Üzerinde Kapsama Alanlarının ve Merkezlerin Gösterimi

```
238 yasaklı_renkler = {'white', 'beige', 'lightgray', 'black', 'lightblue', 'lightgreen'}
239 colors = [
240     'red', 'blue', 'green', 'purple', 'orange', 'darkred',
241     'darkblue', 'darkgreen', 'cadetblue', 'darkpurple', 'pink', 'gray'
242 ]
243 colors = [c for c in colors if c not in yasaklı_renkler]
244 random.seed(42)
245 available_colors = colors.copy()
246 cluster_colors = {}
247 for cluster in cluster_centroids:
248     color = available_colors.pop(0) if available_colors else random.choice(colors)
249     cluster_colors[cluster["cluster_name"]] = color
250 center_lat = gdf.geometry.y.mean()
251 center_lon = gdf.geometry.x.mean()
252 m = folium.Map(location=[center_lat, center_lon], zoom_start=14)
253
254 for cluster in cluster_centroids:
255     name = cluster["cluster_name"]
256     color = cluster_colors.get(name, 'blue')
257     lat, lon = cluster["lat"], cluster["lon"]
258     covered_text = "<b>Kapsanan Mahalleler:</b><br>" + "<br>".join(cluster["covered_mahalleler"])
259     if name in confirmed_low_priority:
260         folium.Marker(
261             location=[lat, lon],
262             icon=folium.Icon(color='black', icon='exclamation-sign'),
263             popup=folium.Popup(covered_text, max_width=300)
264         ).add_to(m)
265     folium.map.Marker(
266         [lat, lon],
267         icon=DivIcon(
268             icon_size=(150,36),
269             icon_anchor=(0,0),
270             html=f"<div style='font-size: 10pt; color: black;'>Düşük Öncelikli Nokta</div>"
271         )
272     ).add_to(m)
273     else:
274         folium.Marker(
275             location=[lat, lon],
276             icon=folium.Icon(color=color, icon='info-sign'),
277             popup=folium.Popup(covered_text, max_width=300)
278         ).add_to(m)
279     folium.Circle(
280         location=[lat, lon],
281         radius=threshold * 1000,
282         color=color,
283         fill=True,
284         fill_color=color,
285         fill_opacity=0.25,
286         weight=2.5,
287         popup=f"Kapsama alanı: {name} ({threshold} km)"
288     ).add_to(m)
289
290 map_path = f"C:/Users/erhan/Desktop/tez/set covering/harita/set_covering_kume_merkezleri_{threshold_str}km.html"
291 os.makedirs(os.path.dirname(map_path), exist_ok=True)
292 m.save(map_path)
```

Folium ile harita oluşturuluyor, dolap merkezleri ve kapsama alanları harita üzerinde görselleştiriliyor.

EK-9: Düşük Öncelikli Noktaların Haritada Vurgulanması

Düşük öncelikli mahalleler haritada özel ikonlarla (siyah ünlem) işaretleniyor.

EK-10: Her Kümenin Kapsadığı Mahallelerin Belirlenmesi

```
341 <span class="close-btn" onclick="toggleLowPriorityPanel()" style="
342 position: absolute;
343 top: 10px;
344 right: 14px;
345 font-size: 18px;
346 color: #999999;
347 cursor: pointer;
348 ">X</span>
349 <h3 style="margin-top: 0;">Düşük Öncelikli Nokta Nedir?</h3>
350 <p style="font-size: 14px; line-height: 1.5; color: #2F3F4B;">
351 <b><b>Öncelikle, Set Covering'e göre kapsanıp TOPSIS hesaplamasına göre düşük öncelikli</b> olan noktalar:</b>
352 <br><i style="color:#E77055;">{low_priority_facilities #f low_priority_facilities else 'Yok'}</i></b>
353 </p>
354 <p style="font-size: 14px; line-height: 1.5; color: #2F3F4B;">
355 <b>Haritada gösterilen düşük öncelikli nokta ise, eğer o nokta merkezî olana kumenin kapsama alanındaki mahallelerin tamamı TOPSIS Eşik Değeri'nin altındaysa gösterilmektedir.</b> O nokta(lar) ise:</b>
356 <br><i style="color:#E77055;">{confirmed_low_priority #f confirmed_low_priority else 'Yok'}</i></b>
357 </p>
358 <p style="font-size: 13px; color: #888;">
359 Haritada bu merkezler siyan işaretçisiyle gösteriliyor, mahalle adları ise kırmızı renkle yazılmıştır.
360 </p>
361 </div>
362 <script>
363 const streetViewLinks = [
364   {is_links_array}
365 ];
366 function openStreetView() {
367   streetViewLinks.forEach(link => window.open(link, '_blank'));
368 }
369 function showClusterMatrix() {
370   window.open("file:///C:/Users/erhan/Desktop/tez/sonclar/[html_matrix_filename]", "_blank");
371 }
372 function toggleLowPriorityPanel() {
373   const panel = document.getElementById("lowPriorityPanel");
374   panel.style.display = (panel.style.display === "none" || panel.style.display === "") ? "block" : "none";
375 }
376 </script>
377 <style>
378 @keyframes fadeIn {
379   from ({ opacity: 0; transform: translateY(-10px); })
380   to ({ opacity: 1; transform: translateY(0); })
381 }
382 </style>
383 ...
384
385 with open(map_path, 'r', encoding='utf-8') as f:
386   html_content = f.read()
387   html_updated = html_content.replace("</body>", combined_panel_code + "<\n</body>")
388   with open(map_path, 'w', encoding='utf-8') as f:
389     f.write(html_updated)
390 output_excel = "C:/Users/erhan/Desktop/tez/sonclar/kume_merkezeler_streetview.xlsx"
391 os.makedirs(os.path.dirname(output_excel), exist_ok=True)
```

Kapsanan mahalle bilgileri toplanıyor ve her merkezin hangi mahalleleri kapsadığı analiz ediliyor.

EK-11: Küme Merkezlerinin Excel'e Aktarılması ve Görselleştirme Hazırlığı

```
393 df_clusters = pd.DataFrame(cluster_centroids)
394 df_clusters["Google_Maps"] = df_clusters["lat"].round(6).astype(str) + ", " + df_clusters["lon"].round(6).astype(str)
395 df_clusters["Street_View_Link"] = df_clusters.apply(
396     lambda row: f"https://www.google.com/maps/@?api=1&map_action=pano&viewpoint=[row['lat']],[row['lon']]", axis=1)
397 with pd.ExcelWriter(output_excel, engine='xlsxwriter') as writer:
398     df_clusters.to_excel(writer, index=False, sheet_name="Merkezler")
399     worksheet = writer.sheets["Merkezler"]
400     for i, url in enumerate(df_clusters["Street_View_Link"], start=2):
401         worksheet.write_url(f'F{i}', url, string="Street View")
402     cluster_names = [c["cluster_name"] for c in cluster_centroids]
403     distance_matrix = pd.DataFrame(index=cluster_names, columns=cluster_names, dtype=float)
404     for i in range(len(cluster_centroids)):
405         for j in range(len(cluster_centroids)):
406             coord_i = (cluster_centroids[i]["lat"], cluster_centroids[i]["lon"])
407             coord_j = (cluster_centroids[j]["lat"], cluster_centroids[j]["lon"])
408             dist_km = geodesic(coord_i, coord_j).kilometers
409             distance_matrix.iloc[i, j] = round(dist_km, 4)
```

Sonuçlar Excel'e yazdırılıyor, her kümeye ait mahalleler ve merkez koordinatları kaydediliyor.

EK-12: Küme Merkezleri Arası Uzaklık Matrisi ve HTML Raporlama

```
410 matrix_path = "C:/Users/erhan/Desktop/tez/sonuclar/kume_merkezleri_arasi_uzaklik_{threshold_str}km.xlsx"
411 os.makedirs(os.path.dirname(matrix_path), exist_ok=True)
412 distance_matrix.to_excel(matrix_path)
413 html_matrix_path = "C:/Users/erhan/Desktop/tez/sonuclar/kume_merkezleri_arasi_uzaklik_{threshold_str}km.html"
414 distance_matrix.to_html(index=True, float_format=".2f", border=1)
415 html_distance_content = f'''
416 <!DOCTYPE html>
417 <html lang="tr">
418     <head>
419         <meta charset="UTF-8">
420         <title>Kümeler Arası Uzaklık Matrisi ({threshold}) km</title>
421         <link href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=Quicksand:wght@500&display=swap" rel="stylesheet">
422     <style>
423         body {{
424             font-family: 'Quicksand', sans-serif;
425             background: linear-gradient(135deg, #dff9fb, #c7ecee);
426             display: flex;
427             flex-direction: column;
428             align-items: center;
429             justify-content: center;
430             min-height: 100vh;
431             margin: 0;
432         }}
433         .container {{
434             background: #fff;
435             padding: 40px;
436             border-radius: 20px;
437             box-shadow: 0 10px 30px rgba(0,0,0,0.1);
438             display: inline-block;
439             animation: fadeIn 0.6s ease;
440         }}
441         h2 {{
442             text-align: center;
443             margin-bottom: 20px;
444             color: #2f3b4b;
445         }}
446         table {{
447             border-collapse: collapse;
448             width: 100%;
449             max-width: 500px;
450             margin: 0 auto;
451         }}
452         th, td {{
453             border: 1px solid #7f8fa6;
454             padding: 10px;
455             text-align: center;
456         }}
457         th {{
458             background-color: #f5f6fa;
459         }}
460         @keyframes fadeIn {
461             from { opacity: 0; transform: translateY(-10px); }
462             to { opacity: 1; transform: translateY(0); }
463         }
464     </style>
465 </head>
466 <body>
467     <div class="container">
468         <h2>Kümeler Arası Uzaklık Matrisi ({threshold}) km</h2>
469         {distance_matrix.to_html(index=True, float_format=".2f", border=0)}
470     </div>
471 </body>
472 </html>
473 '''
474 with open(html_matrix_path, "w", encoding="utf-8") as f:
475     f.write(html_distance_content)
```

Kümeler arası mesafe matrisi hem .xlsx hem de sık CSS ile HTML formatında dışa aktarılıyor.

EK-13: TOPSIS Skorlarının Görsel Olarak HTML’e Aktarılması

```
477 topsis_html_path = "C:/Users/erhan/Desktop/tez/sonuclar/topsis_skorlari.html"
478 topsis_df = df_demog[['Mahalle', 'TOPSIS Skoru', 'Öncelikli']].sort_values(by='TOPSIS Skoru', ascending=False)
479 topsis_df['Öncelikli'] = topsis_df['Öncelikli'].replace({True: "EVET", False: "HAYIR"})
480 rows_html = ""
481 for _, row in topsis_df.iterrows():
482     mahalle = row['Mahalle']
483     skor = f"{row['TOPSIS Skoru']:.6f}"
484     oncelik = row['Öncelikli']
485     renk = "rgba(0, 255, 0, 0.15)" if oncelik == "EVET" else "rgba(255, 0, 0, 0.15)"
486     rows_html += f"""
487         <tr>
488             <td>{mahalle}</td>
489             <td>{skor}</td>
490             <td style="background-color: {renk}; font-weight: bold;">{oncelik}</td>
491         </tr>
492     """
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
839
840
841
842
843
844
845
846
847
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
939
940
941
942
943
944
945
946
947
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1097
1098
1099
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1197
1198
1199
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1297
1298
1299
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1397
1398
1399
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1597
1598
1599
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1697
1698
1699
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1797
1798
1799
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1897
1898
1899
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1997
1998
1999
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2097
2098
2099
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2197
2198
2199
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2288
2289
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2297
2298
2299
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2388
2389
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2397
2398
2399
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2497
2498
2499
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
```

EK-14: HTML Arayüz Tasarımı için CSS Kodları – Genel Yapı

```
493 html_topsis_content = f"""
494 <!DOCTYPE html>
495 <html lang="tr">
496 <head>
497     <meta charset="UTF-8">
498     <title>TOPSIS Skorları</title>
499     <link href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=Quicksand:wght@500&display=swap" rel="stylesheet">
500 <style>
501     body {{
502         font-family: 'Quicksand', sans-serif;
503         background: linear-gradient(135deg, #dff9fb, #c7ecee);
504         margin: 0;
505     }}
506     .container {{
507         background: #fff;
508         padding: 40px;
509         margin: 60px auto;
510         border-radius: 20px;
511         box-shadow: 0 10px 30px rgba(0,0,0,0.1);
512         max-width: 600px;
513         animation: fadeIn 0.6s ease;
514         position: relative;
515     }}
516     h2 {{
517         text-align: center;
518         margin-bottom: 20px;
519         color: #2f3640;
520     }}
521     table {{
522         border-collapse: collapse;
523         width: 100%;
524     }}
525     th, td {{
526         border: 1px solid #7f8fa6;
527         padding: 10px;
528         text-align: center;
529     }}
530     th {{
531         background-color: #f5f6fa;
532     }}
533     .badge {{
534         position: absolute;
535         top: -30px;
536         right: 20px;
537         background: #f0932b;
538         color: white;
539         padding: 8px 14px;
540         border-radius: 10px;
541         font-size: 14px;
542     }}
```

TOPSIS skorlarının HTML sayfası için CSS stilleri tanımlanıyor; arayüz modern, okunabilir ve estetik şekilde yapılandırılıyor.

EK-15: HTML Arayüz Tasarımı için CSS Kodları – Etkileşimli Elemanlar

```
543     .tooltip-icon {{  
544         cursor: pointer;  
545         margin-left: 8px;  
546         font-size: 14px;  
547         color: white;  
548         background-color: #e17055;  
549         border-radius: 50%;  
550         padding: 2px 7px;  
551         font-weight: bold;  
552         transition: background-color 0.3s;  
553     }}  
554     .tooltip-icon:hover {{  
555         background-color: #d35400;  
556     }}  
557     .side-panel {{  
558         position: fixed;  
559         top: 20px;  
560         right: 20px;  
561         width: 320px;  
562         background-color: #ffffff;  
563         border: 1px solid #ccc;  
564         border-radius: 12px;  
565         padding: 20px;  
566         box-shadow: 0 0 20px rgba(0,0,0,0.1);  
567         z-index: 9999;  
568         display: none;  
569         animation: fadeIn 0.5s ease;  
570     }}  
571     .side-panel h3 {{  
572         margin-top: 0;  
573     }}  
574     .close-btn {{  
575         position: absolute;  
576         top: 10px;  
577         right: 14px;  
578         font-size: 18px;  
579         color: #9999;  
580         cursor: pointer;  
581     }}  
582     .close-btn:hover {{  
583         color: #3333;  
584     }}  
585     @keyframes fadeIn {{  
586         from {{ opacity: 0; transform: translateY(-10px); }}  
587         to {{ opacity: 1; transform: translateY(0); }}  
588     }}  
589     </style>  
590 </head>  
591 <body>
```

Tooltip, panel ve kapanma butonları gibi etkileşimli HTML elementleri için stiller tanımlanıyor; kullanıcı dostu arayüz oluşturuluyor.

EK-16: TOPSIS Açıklama Paneli ve HTML Sonuç Raporu

```
592     <div class="container">
593         <div class="badge">
594             TOPSIS Eşik Değeri: {optimal_threshold: 4F}
595             <span class="tooltip-icon" onclick="togglePanel()">>?</span>
596         </div>
597         <h2>TOPSIS Skorları</h2>
598         <table>
599             <thead>
600                 <tr>
601                     <th>Mahalle</th>
602                     <th>TOPSIS Skoru</th>
603                     <th>Öncelikli</th>
604                 </tr>
605             </thead>
606             <tbody>
607                 {rows_html}
608             </tbody>
609         </table>
610     </div>
611     <!-- SAG UST BİLGİ PANELİ -->
612     <div id="infoPanel" class="side-panel">
613         <span class="close-btn" onclick="togglePanel()">>X</span>
614         <h3>TOPSIS Yöntemi Nodır!</h3>
615         <p>
616             (b)TOPSIS / (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir.
617             Amaç, en iyi alternatifti ideal çözüme en yakın ve negatif idealden en uzak</strong> olan olarak belirlemektir.
618         </p>
619
620         <h4>■ Hesaplama Adımları:</h4>
621         <ol style="padding-left: 10px;">
622             <li>
623                 <b>Normalize Etme:</b> Kriterler farklı ölçekte olabilir. Bu yüzden hepsi 0-1 aralığına getirilir (Min-Max normalizasyon).
624             </li>
625             <li>
626                 <b>Ağırlıklandırma:</b> Her kriter öncelik derecesine göre ağırlıklandırılır. Bu hesaplamadaki ağırlıklar:
627                 <ul style="margin-top: 8px; margin-bottom: 8px;">
628                     <li><strong>Genç Yaş Nüfusu (0-24) (%)</strong> 0.4</li>
629                     <li><strong>Üniversite Mezunu (%)</strong> 0.25</li>
630                     <li><strong>Nüfus:</strong> 0.2</li>
631                     <li><strong>Nüfus Yıogunluğu (kisi/km2)</strong> 0.15</li>
632                     <li><strong>Orta Yaş (25-59) (%)</strong> 0.1</li>
633                 </ul>
634             </li>
635             <li>
636                 <b>ideal Çözümleri Belirleme:</b> Her kriter için en iyi (ideal) ve en kötü (negatif ideal) değerler seçilir.
637             </li>
638             <li>
639                 <b>Uzaklıklarları Hesaplama:</b> Her alternatifin ideal ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıği bulunur (öklididen mesafe).
640             </li>
641             <li>
642                 <b>TOPSIS Skoru:</b>
643                 <div style="text-align:center; margin: 10px 0;">
644                     <span style="display:inline-block;">
645                         <span style="border-bottom:1px solid #2F3640; padding: 0 6px;">Negatif Ideal Uzaklık</span><br>
646                         <span style="padding: 0 6px;">Ideal Uzaklık + Negatif Ideal Uzaklık</span>
647                     </span>
648                 </div>
649             </li>
650             <li>
651                 <b>Eşik Belirleme:</b> Skorlar sıralanır, en büyük sırası (elbow) noktası eşik kabul edilir. Üzerindekiler öncelikli sayılır.
652             </li>
653         </ol>
654         <p>
655             Böylece mahallelerin, nüfus, eğitim oranı, yaş profili gibi kriterler üzerinden dengeli bir şekilde sıralaması sağlanır.
656         </p>
657     </div>
658     <script>
659         function togglePanel() {
660             const panel = document.getElementById("infoPanel");
661             panel.style.display === "none" ? "block" : "none";
662         }
663     </script>
664   </body>
665   </html>
666   ...
667   with open(topsis_html_path, "w", encoding="utf-8") as f:
668       f.write(html_topsis_content)
```

TOPSIS sonuç tablosu ve açıklayıcı bilgi paneli HTML olarak hazırlanıyor; kullanıcıya yöntem adımları ve eşik değeri görsel olarak sunuluyor.

EK-17: Sayfa Düzeni ve Görsel Stil Tasarımı

```
1  <!DOCTYPE html>
2  <html lang="tr">
3  <head>
4    <meta charset="UTF-8">
5    <title>Kapsama Yarıçapı Seçimi</title>
6    <link href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=Quicksand:wght@500&display=swap" rel="stylesheet">
7  <style>
8    body {
9      font-family: 'Quicksand', sans-serif;
10     background: linear-gradient(135deg, #dff9fb, #c7ecee);
11     display: flex;
12     flex-direction: column;
13     align-items: center;
14     justify-content: flex-start;
15     min-height: 100vh;
16     padding-top: 50px;
17     margin: 0;
18   }
19
20   .flex-wrapper {
21     display: flex;
22     justify-content: center;
23     align-items: flex-start;
24     gap: 40px;
25     flex-wrap: wrap;
26   }
27
28   .container {
29     background: #fff;
30     padding: 40px;
31     border-radius: 20px;
32     box-shadow: 0 10px 30px rgba(0,0,0,0.1);
33     text-align: center;
34     animation: fadeIn 0.6s ease;
35   }
36
37   .container.left {
38     width: 90%;
39     max-width: 500px;
40   }
41
42   .container.right {
43     display: flex;
44     flex-direction: column;
45     justify-content: center;
46     align-items: center;
47   }
48
49   h2 {
50     margin-bottom: 15px;
51     color: #333;
52   }
53
54   label {
55     display: block;
56     font-size: 18px;
57     margin: 12px 0;
58     color: #2f3640;
59   }
```

Sayfa hizalaması, yazı tipi seçimi ve kutu yapılandırmaları ile temel kullanıcı arayüzü düzeni oluşturulmuştur.

EK-18: Form Elemanları ve Sekme Arayüzü

```
61  input[type="radio"] {  
62    transform: scale(1.3);  
63    margin-right: 10px;  
64    accent-color: #00a8ff;  
65  }  
66  
67  button {  
68    margin-top: 20px;  
69    padding: 12px 24px;  
70    font-size: 16px;  
71    background-color: #00a8ff;  
72    color: white;  
73    border: none;  
74    border-radius: 8px;  
75    cursor: pointer;  
76    transition: background-color 0.3s ease;  
77  }  
78  
79  button:hover {  
80    background-color: #0097e6;  
81  }  
82  
83  .panel {  
84    margin-top: 30px;  
85    display: none;  
86    animation: fadeIn 0.5s ease;  
87  }  
88  
89  .panel h3 {  
90    margin-bottom: 10px;  
91  }  
92  
93  .tabs {  
94    display: flex;  
95    justify-content: center;  
96    gap: 20px;  
97    margin-top: 15px;  
98  }  
99  
100 .tab {  
101   background-color: #f1f2f6;  
102   padding: 12px 20px;  
103   border-radius: 10px;  
104   cursor: pointer;  
105   transition: all 0.3s;  
106   box-shadow: 0 2px 5px rgba(0,0,0,0.05);  
107   font-size: 16px;  
108   text-align: center;  
109 }  
110  
111 .tab:hover {  
112   background-color: #dcddel;  
113 }
```

Radyo butonları, etkileşimli sekmeler ve eylem butonları CSS ile görsel olarak biçimlendirilmiştir.

EK-19: CSS Tabanlı Geçiş ve Animasyon Efektleri

```
115  @keyframes fadeIn {
116    from {opacity: 0; transform: translateY(-10px);}
117    to {opacity: 1; transform: translateY(0);}
118  }
119
120
121  @keyframes slideIn {
122    from {
123      transform: translateY(-40px);
124      opacity: 0;
125    }
126    to {
127      transform: translateY(0);
128      opacity: 1;
129    }
130  }
131
132  @keyframes zoomIn {
133    from {
134      transform: scale(0.8);
135      opacity: 0;
136    }
137    to {
138      transform: scale(1);
139      opacity: 1;
140    }
141  }
142
143  @keyframes fadeInShadow {
144    0% {
145      opacity: 0;
146      filter: drop-shadow(0 0 0 □rgba(0,0,0,0));
147    }
148    100% {
149      opacity: 1;
150      filter: drop-shadow(0 4px 20px □rgba(0,0,0,0.25));
151    }
152  }
153
154  @keyframes pulse {
155    0%, 100% {
156      transform: scale(1);
157      opacity: 0.9;
158    }
159    50% {
160      transform: scale(1.06);
161      opacity: 1;
162    }
163  }
164  </style>
165  </head>
166  <body>
```

Fade, slide ve zoom gibi animasyonlar tanımlanarak görsel bileşenlere dinamik geçiş efektleri eklenmiştir.

EK-20: Sayfa Yükleme Ekranı Tasarımı

```
167 <div id="loadingScreen" style="
168   position: fixed;
169   top: 0; left: 0;
170   width: 100%; height: 100%;
171   background: linear-gradient(135deg, #dff9fb, #c7ecee);
172   display: flex;
173   flex-direction: column;
174   justify-content: center;
175   align-items: center;
176   padding: 60px 20px;
177   box-sizing: border-box;
178   z-index: 9999;
179   animation: fadeIn 0.8s ease;
180   font-family: 'Quicksand', sans-serif;
181   ">
182   <div style="
183     display: flex;
184     justify-content: center;
185     align-items: center;
186     flex-wrap: wrap;
187     gap: 60px;
188     margin-bottom: 40px;
189     animation: zoomIn 1s ease;
190   ">
191   <div style="
192     background: #rgba(255, 255, 255, 0.4);
193     border: 2px solid #rgba(0, 0, 0, 0.1);
194     padding: 30px;
195     border-radius: 20px;
196     box-shadow: 0 8px 20px #rgba(0, 0, 0, 0.1);
197     max-width: 55w;
198     max-height: 400px;
199     display: flex;
200     justify-content: center;
201     align-items: center;
202     flex: 1;
203     min-width: 320px;
204     backdrop-filter: blur(6px);
205   ">
206   
212   </div>
213   <div style="
214     background: #rgba(255, 255, 255, 0.75);
215     padding: 28px 34px;
216     border-radius: 20px;
217     box-shadow: 0 12px 28px #rgba(0, 0, 0, 0.1);
218     border: 2px solid #rgba(0,0,0,0.05);
219     max-width: 480px;
220     min-width: 320px;
221     backdrop-filter: blur(8px);
222     animation: slideIn 1.2s ease;
223   ">
```

Sayfa yüklenme sürecinde kullanıcıya gösterilen animasyonlu ekran, odaklayıcı ve estetik biçimde yapılandırılmıştır.

EK-21: Kullanıcı Giriş Paneli Arayüzü

```
224 |     <h2 style="
225 |         font-size: 26px;
226 |         font-weight: 600;
227 |         color: #2f3640;
228 |         text-align: center;
229 |         line-height: 1.5;
230 |         margin: 0;
231 |     ">
232 |     Eskişehir Tepebaşı Bölgesinde Akıllı Teslimat Dolaplarına<br>
233 |     Erişilebilirliğin İyileştirilerek Yerleştirilmesi Problemi
234 |   </h2>
235 | </div>
236 | </div>
237 | 
243 | </div>
244 | <div class="flex-wrapper" id="mainContent" style="display: none;">
245 |   <div class="container left">
246 |     <h2>Hosgeldiniz</h2>
247 |     <p>Lütfen kapsama yarıçapını seçin:</p>
248 |     <form>
249 |       <label><input type="radio" name="radius" value="0.8"> 0.8 km</label>
250 |       <label><input type="radio" name="radius" value="1"> 1 km</label>
251 |       <label><input type="radio" name="radius" value="1.2"> 1.2 km</label>
252 |       <label><input type="radio" name="radius" value="1.5"> 1.5 km</label>
253 |       <button type="button" onclick="saveAndShowPanel()">Devam Et</button>
254 |     </form>
255 |     <div id="resultPanel" class="panel">
256 |       <h3>Seçilen Yarıçap: <span id="selectedValue"></span> km</h3>
257 |       <button onclick="openMap()">Harita Görünümü</button>
258 |     </div>
259 |   </div>
260 |   <div class="container right">
261 |     <div class="info-buttons">
262 |       <div class="tab" onclick="showMatrix()">Uzaklık Matrisi</div>
263 |       <div class="tab" onclick="showTOPSIS()">TOPSIS Skorları</div>
264 |     </div>
265 |   </div>
266 | </div>
267 | <script>
```

Kullanıcının kapsama yarıçapını seçip işlemi başlatabileceği giriş ekranı, HTML öğeleriyle yapılandırılmıştır.

EK-22: JavaScript ile Dosya Kaydı ve Sayfa Yönlendirmeleri

```
268     function saveAndShowPanel() {
269         const radius = document.querySelector('input[name="radius"]:checked').value;
270         console.log("Seçilen kapsama yarıçapı: " + radius + " km");
271         const textFile = new Blob([radius], { type: 'text/plain' });
272         const downloadLink = document.createElement('a');
273         downloadLink.href = URL.createObjectURL(textFile);
274         downloadLink.download = "threshold_secimi.txt";
275         downloadLink.click();
276         document.getElementById("selectedValue").textContent = radius;
277         document.getElementById("resultPanel").style.display = "block";
278     }
279     function openMap() {
280         const radius = document.querySelector('input[name="radius"]:checked').value;
281         let threshold_str;
282         if (radius.includes(".")) {
283             threshold_str = radius.replace(".", "_");
284         } else {
285             threshold_str = radius + "_0";
286         }
287         const fileName = `set_cozgur_kume_merkezleri_${threshold_str}km.html`;
288         const filePath = `file:///C:/Users/erhan/Desktop/tez/set_cozgur_kume_merkezleri_${threshold_str}km.html`.replace(/ /g, "%20");
289         window.open(filePath, "_blank");
290     }
291     function showMatrix() {
292         const path = "C:/Users/erhan/Desktop/tez/sonuclar/uzaklik_matrisi.html";
293         window.open("file://" + path.replace(/\\/g, "/"), "_blank");
294     }
295     function showTOPSIS() {
296         window.open("file:///C:/Users/erhan/Desktop/tez/sonuclar/topsis_skorlari.html", "_blank");
297     }
298     function showClusterMatrix() {
299         const radius = document.querySelector('input[name="radius"]:checked').value;
300         let threshold_str;
301         if (radius.includes(".")) {
302             threshold_str = radius.replace(".", "_");
303         } else {
304             threshold_str = radius + "_0";
305         }
306         const fileName = `kume_merkezleri_arası_uzaklik_${threshold_str}km.html`;
307         const filePath = `file:///C:/Users/erhan/Desktop/tez/sonuclar/${fileName}`.replace(/ /g, "%20");
308         window.open(filePath, "_blank");
309     }
310 </script>
311 <script>
312     window.addEventListener("load", function () {
313         const loading = document.getElementById("loadingScreen");
314         const mainContent = document.getElementById("mainContent");
315         setTimeout(() => {
316             loading.style.opacity = "0";
317             setTimeout(() => {
318                 loading.style.display = "none";
319                 mainContent.style.display = "flex";
320             }, 800);
321         }, 3500);
322     });
323 </script>
324 </body>
325 </html>
```

Kullanıcının seçimini .txt dosyasına kaydedip, dinamik olarak harita ve analiz sayfalarını açan fonksiyonlar tanımlanmıştır.