

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARININ ÇİZGE TEORİSİ TEMELLİ YÖNTEM İLE
KONUMLANDIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cemalettin SONAKALAN

Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Furkan Öztemiz

AĞUSTOS 2025

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARININ ÇİZGE TEORİSİ TEMELLİ YÖNTEM İLE
KONUMLANDIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cemalettin SONAKALAN
(36223632004)

Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Furkan ÖZTEMİZ

AĞUSTOS 2025

**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**

**KABLOSUZ SENSÖR AĞLARININ ÇİZGE TEORİSİ TEMELLİ YÖNTEM
İLE KONUMLANDIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan: Cemalettin SONAKALAN
Yüksek Lisans Tezi**

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedi beni her konuda yönlendiren danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Furkan ÖZTEMİZ'e,

Çalışmalarımda tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmalarım süresince de benden her türlü desteklerini esirgemeyen aileme

Teşekkür Ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “KABLOSUZ SENSÖR AĞLARININ ÇİZGE TEORİSİ TEMELLİ YÖNTEM İLE KONUMLANDIRILMASI” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Cemalettin SONAKALAN



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çizge Teorisi: Tarihsel Gelişimi, Uygulamaları ve Bilgisayar Bilimlerindeki Yeri	1
1.2 Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP)'nin Tanımı ve Önemi	3
1.3 Çalışmanın Amacı ve Katkıları.....	4
1.4 Tez Yapısı	5
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	7
2.1 MVCP'nin Tanımı ve NP-Tam Doğası.....	7
2.1.1. MVCP'nin diğer np-tam problemlerle ilişkisi.....	7
2.2 MVCP İçin Geliştirilen Algoritmalar ve Yaklaşımlar	9
2.2.1. İstatistiksel ve olasılıksal yöntemler	9
2.2.2. Meta-sezgisel yaklaşımlar	9
2.2.3. Yerel arama stratejileri	11
2.2.4. Açgözlü (greedy) algoritmalar	12
2.2.5. Oyun teorisi tabanlı çözümler.....	13
2.2.6. Katmanlı ve ayrıştırma tabanlı yaklaşımlar	14
2.3 Merkezilik Algoritmaları ve Ağ Analizindeki Rollerini.....	15
2.3.1. Derece merkeziliği	15
2.3.2. Closeness merkeziliği	15
2.3.3. Betweenness merkeziliği	16
2.3.4. Pagerank algoritması	16
2.3.5. Malatya merkezilik algoritması	18
2.3.6. Malatya vertex cover algoritması	19
2.4 Literatürdeki Diğer Yöntemlerle Karşılaştırmalar ve Bilgiler.....	20
2.4.1. MVCA ve açgözlü (greedy) algoritmalar	20
2.4.2. MVCA ve meta-sezgisel algoritmalar	20
2.4.3. MVCA ve oyun teorisi / katmanlı yaklaşımlar.....	22
2.4.4. MVCA 'nın özgünlüğü ve avantajları	23
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	25
3.1 Kullanılan Veri Setleri ve Modelleme Süreçleri	25
3.1.1 Barselona ulaşım ağı veri seti ve modellemesi.....	26
3.1.2 İnönü üniversitesi kampüs ağı veri seti ve modellemesi.	29
3.2 Kullanılan Teknolojiler ve Programlama Ortamı	29
3.3 Malatya Vertex Cover Algoritması'nın Detaylı Açıklaması.....	31
3.3.1 Düğüm merkezilik değeri hesaplanması	32
3.3.2 Örtü düğümleri seçimi mekanizması	32
4. DENEYSEL SONUÇLAR.....	34
4.1 Barselona Ulaşım Ağı Uygulama Sonuçları.....	34
4.1.1 MVCA performansı ve karşılaştırmalı analiz.....	38
4.1.2 Maliyet ve enerji tasarrufu analizi.	40
4.2 İnönü Üniversitesi Kampüs Ağı Uygulama Sonuçları	41
4.2.1 MVCA performansı ve kapsama alanı analizi.....	44

4.2.2 Router konumlandırma stratejisi ve pratik faydaları...	46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	48
5.1 Çalışmanın Temel Sonuçları.....	48
5.2 Çalışmanın Katkıları ve Rehberlik Potansiyeli.....	49
5.3 Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler	50
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ	56



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 : Örnek çizgede algoritma tarafından seçilen düğümler	39
Çizelge 4.2 : Kampüs network’de seçilen lokasyonlar	47



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 : Barcelona Şehir Merkezi Süreci Grafiği.....	28
Şekil 4.1 : Barcelona Şehir Merkezi	36
Şekil 4.2 : Çalışma konusu yerin kuşbakışı görünümü.....	36
Şekil 4.3 : Barcelona Çizgesinde Dğümlerin Belirlenmesi.....	37
Şekil 4.4 : R dilinde çizge modeli.	38
Şekil 4.5 : Barcelona Çizgesi için Algoritmanın Seçtiği Dğümler	40
Şekil 4.6 : İnönü Kampüsü için Google Earth üzerinde oluşturulan model.....	43
Şekil 4.7 : Kampüsdeki binaların çizgesel hali.	44
Şekil 4.8 : Algoritma sonrası filtrelenmiş çizge.....	45



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

BFS	: Best-First Search
CRO	: Chemical Reaction Optimization
GA	: Genetik Algoritma
IoT	: Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
KSA	: Kablosuz Sensör Ağları
MEAMVC	: Membran Evrimsel Algoritmalar (Membrane Evolutionary Algorithms for Minimum Vertex Cover)
MC	: Malatya Centrality
MVCA	: Malatya Vertex Cover Algoritması
MVCP	: Minimum Vertex Cover Problem
MVP	: Most Valuable Player
NP-Tam	: NP-complete (Problem sınıfı için kullanılmıştır)
NuMWVC	: Minimum Ağırlıklı Vertex Cover için Yeni Yerel Arama (New Local Search for Minimum Weighted Vertex Cover)
QAOA	: Kuantum Yaklaşıklık Optimizasyon Algoritması (Quantum Approximate Optimization Algorithm)
G	: Çizge
E	: Kenarlar kümesi
V	: Dğümler kümesi
V'	: Tepe örtüsü kümesi
u, v	: Dğüm (veya yer değıştirme vektörü bileşenleri)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARININ ÇİZGE TEORİSİ TEMELLİ YÖNTEM İLE KONUMLANDIRILMASI

CEMALETTİN SONAKALAN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı

56+IX sayfa

2025

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Furkan ÖZTEMİZ

Bu tez çalışması, Minimum Vertex Cover Problemi (MVCP) üzerine odaklanarak, çizge teorisinin optimizasyon yetkinliklerini iki farklı uygulama alanında ele almakta ve yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. MVCP, bir çizgenin tüm kenarlarını kapsayan en az sayıda düğümden oluşan bir düğüm kümesi bulmayı hedefleyen NP-zor bir problemdir. Çeşitli alanlarda geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan MVCP, ağ tasarımı, iletişim ağları ve sosyal ağlar gibi sistemlerin enerji verimliliğini artırma ve kaynak kullanımını optimize etme noktasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, Malatya Vertex Cover algoritması temel alınarak maliyet etkin ve uygulanabilir çözümler geliştirilmiştir. Birinci uygulamada, Barcelona şehrindeki bir mahalle modeli üzerinde, bölgeyi en az sayıda güvenlik kamerası ile kapsayacak bir çözüm önerilmiştir. Çalışmada, mahalledeki kavşaklar birer düğüm olarak modellenmiş, Google Earth ile elde edilen veri seti R programlama dilinde bir çizgeye dönüştürülmüştür. Malatya Vertex Cover algoritması kullanılarak düğümlerin merkezilik değerleri hesaplanmış, en yüksek merkezilik değerine sahip düğümler iteratif olarak seçilerek çözüm kümesine dahil edilmiştir. Bu yöntem, bölgenin tümünü kapsarken güvenlik maliyetlerini minimumda tutmayı başarmıştır. İkinci uygulamada, İnönü Üniversitesi kampüsünde kablosuz erişim noktalarının optimal konumlandırılması hedeflenmiştir. Üniversite yerleşkesindeki binalar, Google Earth aracılığıyla çizge modeli olarak işaretlenmiş ve her bina bir düğüm olarak tanımlanmıştır. Malatya Vertex Cover algoritması ile düğüm seçimleri yapılmış ve en az sayıda erişim noktası ile kampüsün tamamını kapsayan bir ağ tasarlanmıştır. Bu analiz, maliyet tasarrufu ve enerji verimliliği açısından olumlu sonuçlar sağlamıştır. Çalışmanın her iki uygulama alanında da Malatya Vertex Cover yönteminin etkinliği ve uygulanabilirliği gösterilmiştir. Elde edilen bulgular, çizge teorisi temelli optimizasyon yöntemlerinin gerçek dünya problemlerine çözüm sunma potansiyelini ortaya koyarak literatüre değerli bir katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Minimum Vertex Cover, Malatya Vertex Cover Algoritması, Optimizasyon, Güvenlik ve Ağ Tasarımı

ABSTRACT

Master Thesis

LOCATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS BASED ON GRAPH THEORY METHOD

CEMALETTİN SONAKALAN

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Software Engineering

56+ IX page

2025

Supervisor: Asist. Prof. Dr. Furkan ÖZTEMİZ

This thesis focuses on the Minimum Vertex Cover Problem (MVCP) and explores the optimization capabilities of graph theory through two distinct application areas, presenting an innovative approach. MVCP is an NP-hard problem that aims to find a set of vertices covering all edges of a graph with the minimum number of vertices. With a wide range of applications in areas such as network design, communication networks, and social networks, MVCP plays a critical role in improving energy efficiency and optimizing resource usage. In this study, cost-effective and applicable solutions have been developed using the Malatya Vertex Cover algorithm. The first application proposes a solution to cover a neighborhood in Barcelona with the minimum number of security cameras. Intersections within the neighborhood were modeled as vertices, and the dataset obtained via Google Earth was transformed into a graph using the R programming language. The Malatya Vertex Cover algorithm calculated the centrality values of vertices, iteratively selecting those with the highest centrality values to include in the solution set. This method effectively minimized security costs while covering the entire area. The second application focuses on the optimal placement of wireless access points within the campus of Inonu University. The university buildings were marked as vertices in a graph model created using Google Earth. The Malatya Vertex Cover algorithm determined the selection of vertices, resulting in a network design that covered the entire campus with the minimum number of access points. This analysis achieved cost savings and energy efficiency. In both application areas, the effectiveness and applicability of the Malatya Vertex Cover method were demonstrated. The findings highlight the potential of graph theory-based optimization methods to provide practical solutions to real-world problems, contributing significantly to the existing literature.

Keywords: Minimum Vertex Cover, Malatya Vertex Cover Algorithm, Optimization, Security and Network Design

1.GİRİŞ

Günümüzün hızla dijitalleşen ve birbirine bağlı dünyasında, karmaşık sistemlerin yapısını anlamak, bu sistemlerdeki ilişkileri modellemek ve kaynakları en verimli şekilde kullanmak giderek hayati bir önem taşımaktadır. Bilgisayar ağlarından sosyal medya platformlarına, ulaşım altyapılarından biyolojik sistemlere kadar pek çok alanda karşılaştığımız bu karmaşık yapılar, soyut matematiksel araçlar kullanılarak çözümlenebilir ve optimize edilebilir. İşte bu noktada çizge teorisi, düğümler ve kenarlar arasındaki ilişkileri inceleyen güçlü bir çerçeve sunarak, bu zorlu problemlerin üstesinden gelmemize olanak tanır. Bu tez çalışması da çizge teorisinin temel prensiplerinden yola çıkarak, özellikle kaynak yönetimi ve optimizasyon alanında büyük önem taşıyan Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP) için yenilikçi bir çözüm yaklaşımı sunmayı hedeflemektedir. Geliştirilen Malatya Vertex Cover Algoritması (MVCA), hem teorik derinliği hem de gerçek dünya uygulamalarındaki pratik faydalarıyla, bu alandaki bilgi birikimine değerli katkılar sağlamayı amaçlamaktadır. Bu giriş bölümü, çizge teorisinin tarihsel gelişiminden günümüzdeki yerine, MVCP'nin tanımından uygulama alanlarına ve nihayetinde bu çalışmanın amacına ve katkılarına kadar uzanan geniş bir perspektif sunmaktadır.

1.1. Çizge Teorisi: Tarihsel Gelişimi, Uygulamaları ve Bilgisayar Bilimlerindeki Yeri

Çizge teorisi, düğümler (vertices) ve bu düğümleri birbirine bağlayan kenarlar (edges) arasındaki ilişkileri inceleyen, temelleri matematiksel kuramlara dayanan ancak uygulamaları birçok disiplini kapsayan kapsamlı bir alandır. Bu teorik çerçevenin tarihsel kökeni, 18. yüzyılda Leonhard Euler'in meşhur "Königsberg'in Yedi Köprüsü" problemi üzerine gerçekleştirdiği analizlere dayanmaktadır. Euler, şehirdeki köprülerin her birinden yalnızca bir kez geçilerek bir yürüyüş yapılabilir mi sorusunu araştırırken, bu sorunun çözümüne yönelik olarak düğüm ve kenar temsilleriyle ilk çizgesel modellemeyi ortaya koymuştur. Böylece çizge teorisi, sistemsal ilişkilerin soyut düzlemde modellenmesine olanak tanıyan matematiksel bir araç olarak literatürdeki yerini almıştır.

19. yüzyılda Gustav Kirchhoff'un elektrik devreleri üzerindeki çalışmaları, çizge teorisinin mühendislik disiplinine girişine öncülük etmiştir. Kirchhoff, devre analizinde çizge tabanlı yöntemleri kullanarak, devre elemanları arasındaki bağlantıları matematiksel olarak modellemiştir. Aynı yüzyılda Arthur Cayley, kimyasal bileşiklerin yapısını anlamada çizge modellemesini kullanarak molekülleri düğüm ve kenarlarla temsil etmiş, bu sayede teorisinin kimya alanında da kullanılabileceğini göstermiştir. Bu gelişmeler, çizge teorisinin yalnızca kuramsal matematiğin bir dalı değil, aynı zamanda disiplinler arası problemlerin çözümünde kullanılabilen güçlü bir analitik çerçeve olduğunu ortaya koymuştur.

20. ve 21. yüzyıllarda bilgi teknolojilerinin hızlı gelişimiyle birlikte çizge teorisi, özellikle bilgisayar bilimleri içerisinde merkezi bir konuma ulaşmıştır. Veri yapıları, algoritma tasarımı, yapay zekâ, makine öğrenimi ve optimizasyon problemleri gibi birçok alanda çizge temelli modellemelere başvurulmaktadır. Örneğin, trafik yoğunluğu yüksek şehirlerde – İstanbul gibi metropollerde – en kısa yolun bulunmasına yönelik algoritmalar (örneğin Dijkstra ya da Bellman-Ford algoritmaları), ulaşım planlamasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır [1]. Sosyal medya platformlarında kullanıcılar arasındaki etkileşimlerin modellenmesi, etkili kişilerin (influencer) belirlenmesi gibi işlemler, düğüm merkezilik ölçütleriyle gerçekleştirilmektedir. Lojistik sektöründe faaliyet gösteren Amazon ve UPS gibi kuruluşlar, teslimat rotalarını optimize etmek amacıyla çizge tabanlı algoritmalarla planlamalar yapmaktadır. Aynı şekilde, biyoinformatik alanında genetik dizilimlerin modellenmesi ve protein-protein etkileşimlerinin analizinde çizge temelli yaklaşımlara başvurulmaktadır [2].

Çizge teorisinin bu denli yaygın kullanım alanına sahip olması, beraberinde çeşitli yazılım ve programlama araçlarının geliştirilmesini de getirmiştir. Python diliyle uyumlu çalışan NetworkX, igraph ve Graph-tool gibi kütüphaneler; R dili ile yapılan istatistiksel analizler, yüksek performans gerektiren durumlar için C++ ve Java; mühendislik hesaplamaları için MATLAB, sosyal ağ görselleştirmeleri için Gephi; biyolojik veri analizleri için Cytoscape ve çizge veri tabanları için Neo4j gibi araçlar, çizge teorisinin dijital dünyada ne denli yaygınlaştığını göstermektedir. Bu doğrultuda, çizge teorisi günümüzde yalnızca soyutlamaya dayalı bir matematiksel yöntem değil, aynı zamanda karmaşık sistemleri çözümleyebilmek için vazgeçilmez bir analiz aracı haline gelmiştir. Özellikle büyük veri (big data), yapay zekâ ve nesnelerin interneti (IoT) gibi güncel teknolojik alanlarda çizge teorisinin kullanımı kritik önem taşımaktadır.

1.2. Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP)'nin Tanımı ve Önemi

Bu çerçevede tezimizin merkezinde yer alan Minimum Tepe Örtüsü Problemi (Minimum Vertex Cover Problem- MVCP), çizge teorisinin en temel ve çözümü zor olan NP-tam (NP-complete) optimizasyon problemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. MVCP, bir çizge $G=(V, E)$ verildiğinde, yani V düğümler kümesini ve E kenarlar kümesini temsil ederken, çizgenin tüm kenarlarını kapsayan ve en küçük kardinaliteye sahip bir düğüm alt kümesi $C \subseteq V$ bulmayı amaçlar. Başka bir deyişle, çizgedeki her bir kenarın ($e \in E$) en az bir ucunun seçilen C kümesine dahil olması gerekmektedir. Problemin bu niteliği, onu kombinatorial optimizasyon alanının merkezine yerleştirmekte ve teorik bilgisayar bilimlerinde NP-tam sınıfına ait olduğu kanıtlanmıştır [3]. Bu durum, MVCP'nin büyük ölçekli ve karmaşık çizgeler için kesin çözümlerinin pratik olarak hesaplanmasının mevcut algoritmalarla mümkün olmadığını, dolayısıyla yaklaşık veya sezgisel yöntemlere ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

MVCP'nin önemi, sadece teorik bir problem olmaktan öte, geniş bir uygulama yelpazesine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Günlük hayatımızdaki pek çok optimizasyon ve kaynak yönetimi senaryosunun temelinde MVCP yatmaktadır. Örneğin, şehir içi ulaşım ağlarında güvenlik kameralarının veya trafik sensörlerinin stratejik olarak yerleştirilmesi, tüm yolların veya kritik kavşakların minimum sayıda cihazla izlenmesini hedefler. Bu hem maliyetleri düşürmek hem de kapsama alanını maksimize etmek için MVCP prensiplerini kullanır.

Kablosuz Sensör Ağları'nda (KSA) enerji verimliliği ve ağ ömrü kritik öneme sahiptir. Sensör düğümlerinin minimum sayıda seçilerek tüm iletişim bağlarının veya gözlemlenecek alanların kapsanması, donanım maliyetini ve enerji tüketimini en aza indirir. Sosyal medya platformlarında veya diğer iletişim ağlarında, bilgi akışını en etkin şekilde yönlendirmek veya kritik kullanıcıları belirlemek için MVCP yaklaşımları kullanılabilir; bu da sınırlı kaynaklarla maksimum etki yaratacak kullanıcı gruplarının seçilmesini sağlar. Biyolojik sistemler ve genetik analizlerde, protein-protein etkileşim ağları veya genetik analizlerde, sistemin işleyişinde kritik rol oynayan bileşenlerin (genler, proteinler) belirlenmesi amacıyla MVCP'den faydalanılır. [4] Son olarak, bilgisayar ağlarında kritik noktaların (sunucular, yönlendiriciler) güvenlik açısından korunması veya siber saldırıların tespiti için minimum sayıda denetim noktasının belirlenmesi de MVCP ile ilişkilendirilebilir. MVCP'nin bu çok yönlü uygulama alanları, problemin sadece akademik bir ilgi alanı olmaktan çıkıp, gerçek dünya sistemlerinin

verimliliğini artırmak, maliyetleri düşürmek ve kaynakları optimize etmek için vazgeçilmez bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Katkıları

Bu tezde, literatüre katkı sunmak amacıyla geliştirilen Malatya Vertex Cover Algoritması (MVCA) detaylı olarak ele alınmaktadır. Bu algoritma, düğümlerin merkezilik düzeylerini dikkate alarak, çizge üzerinde en stratejik düğümleri yinelemeli olarak seçmekte ve bu yolla optimuma yakın çözümler üretmektedir. Polinom zamanlı çalışan yapısı sayesinde büyük ölçekli ve gerçek zamanlı sistemlerde uygulanabilirlik göstermektedir. Özellikle karmaşık yapıdaki ağlarda düşük hesaplama maliyeti ile yüksek verimlilik sağlaması, algoritmanın en önemli avantajlarından biridir.

Bu tez çalışmasının temel amacı, Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP) için Malatya Merkezilik Değeri'ne dayalı, yeni ve etkin bir algoritma olan Malatya Vertex Cover Algoritması'nı (MVCA) uygulamak ve gerçek dünya veri setleri üzerinde performansını değerlendirmektir. Bu doğrultuda, çalışmanın sunduğu başlıca katkılar arasında MVCP için literatüre yeni bir merkezilik ölçütü olan "Malatya Merkezilik Değeri" ve bu değere dayalı başarılı sonuçlar üreten MVCA'nın gerçek dünya problemlerinin çözümü için kullanılıyor. Ve elde edilen sonuçlar analiz edilmektedir. Bu algoritma, düğüm seçiminde hem yerel dereceleri hem de komşu düğümlerin derecelerini dikkate alarak kendine özgü bir karar mekanizması sunmaktadır. MVCA'nın polinom zamanda çalışabilen ve aynı girdiler için her zaman aynı çıktıyı veren deterministik bir yapıya sahip olması, algoritmanın büyük ölçekli ve kritik uygulamalarda güvenilirliğini ve pratik uygulanabilirliğini artırmaktadır.

Algoritmanın etkinliği, iki farklı ve özgün gerçek dünya problemine uygulanarak test edilmiştir. İlk senaryoda, Barcelona kentinin ulaşım altyapısı üzerinde yapılan bir analizle, güvenlik kameralarının minimum maliyetle en uygun noktalara yerleştirilmesi hedeflenmiştir. İkinci senaryoda ise, İnönü Üniversitesi kampüs alanındaki kablosuz sensör ağları temel alınarak, enerji verimliliği ve kapsama alanı gibi kriterler gözetilerek yerleşim düzenlemeleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında, Barcelona ulaşım ağı ve İnönü Üniversitesi kampüs ağına ait çizge modelleri, daha önce literatürde yer almayan özgün veri setleri olarak oluşturulmuştur. Bu veri setleri, gelecekteki MVCP ve ağ optimizasyonu çalışmalarına referans ve test ortamı sağlayacaktır. Son olarak, MVCA'nın temel prensipleri ve elde ettiği başarılar, yapay zekâ,

makine öğrenimi, şehir planlaması, siber güvenlik, eğitim teknolojileri ve sosyal ağ analizleri gibi farklı disiplinlerdeki benzer optimizasyon problemlerine çözüm sunma potansiyeli taşımaktadır.

Bu araştırmanın temel amacı, geliştirilen Malatya Vertex Cover Algoritması'nın farklı disiplinlerdeki uygulanabilirliğini ortaya koymak ve çizge temelli optimizasyon yaklaşımlarının pratik faydalarını akademik bir çerçevede irdelemektir. Tezde elde edilen bulguların hem teorik literatüre katkı sağlayacağı hem de ileride yapılacak mühendislik uygulamaları ve akademik araştırmalara referans olacağı değerlendirilmektedir.

1.4. Tez Yapısı

Bu tez çalışması, sunulan özgün katkıları ve elde edilen kapsamlı bulguları okuyucuya sistematik ve anlaşılır bir akışla aktarmak amacıyla dikkatle tasarlanmış beş ana bölümden oluşmaktadır. Bu yapı, karmaşık kavramların adım adım inşa edilmesini sağlayarak, araştırmanın derinliğini ve tutarlılığını vurgulamaktadır. Tezin başlangıcını oluşturan "1. Giriş" bölümü, çizge teorisinin temel prensiplerine, bu disiplinin tarihsel evrimine ve günümüzdeki geniş uygulama alanlarına kapsamlı bir bakış sunmaktadır. Bu kısımda aynı zamanda, çalışmanın merkezinde yer alan Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP) detaylı bir şekilde tanımlanarak, problemin hem teorik önemi hem de gerçek dünya senaryolarındaki pratik yeri vurgulanmaktadır. Çalışmanın genel kapsamı, belirlenen ana amacı ve literatüre sunulan özgün katkılar da yine bu başlangıç bölümünde net bir biçimde özetlenmiştir.

Ardından gelen "2. Literatür Özeti" başlığı altında, MVCP üzerine yapılan önceki çalışmalar derinlemesine incelenmektedir. Bu kapsamlı inceleme, problem için geliştirilen açgözlü (greedy), meta-sezgisel ve oyun teorisi tabanlı yaklaşımlar gibi farklı algoritmik stratejileri detaylandırmaktadır. Ek olarak, ağ analizinde kritik rol oynayan çeşitli merkezilik algoritmaları (Derece, Closeness, Betweenness, PageRank ve bu tezin özgün katkılarından biri olan Malatya Merkeziliği) teorik ve pratik açılardan ayrıntılarıyla ele alınmıştır. Tezin metodolojik omurgasını oluşturan

"3. Materyal ve Yöntemler" bölümü, geliştirilen Malatya Vertex Cover Algoritması (MVCA)'nın temel prensiplerini, Malatya Merkezilik Değeri'nin hesaplanma yöntemini ve algoritmanın adım adım işleyişini matematiksel ifadelerle açıklığa kavuşturmaktadır. Bu bölümde ayrıca, çalışmada kullanılan veri modelleme ve simülasyon araçları (Google Earth, R

programlama dili ve ilgili kütüphaneler) hakkında detaylı teknik bilgiler sunularak, araştırmanın deneysel zemini sağlamlaştırılmıştır.

Çalışmanın deneysel bulgularını içeren "4. Deneysel Sonuçlar" kısmında, MVCA'nın gerçek dünya uygulamalarındaki etkinliğini göstermek amacıyla gerçekleştirilen iki ana senaryo – Barselona ulaşım ağı ve İnönü Üniversitesi kampüs ağı – tüm detaylarıyla sunulmuştur. Her bir uygulama için ağ modelinin nasıl oluşturulduğu, MVCA'nın bu modeller üzerinde nasıl uygulandığı ve elde edilen nicel sonuçlar, destekleyici çizgeler ve tablolarla zenginleştirilerek açıklanmıştır. Ayrıca, MVCA'nın performansı, literatürdeki diğer önemli yöntemlerle (örneğin, GMin algoritması) karşılaştırmalı olarak analiz edilerek algoritmanın üstünlükleri ortaya konulmuştur.

Nihai olarak, "5. Sonuç ve Öneriler" bölümünde, tüm tez çalışmasından elde edilen önemli çıkarımlar ve literatüre sunulan temel katkılar kapsamlı bir biçimde özetlenmiştir. Bu kısımda MVCA'nın genel değerlendirmesi yapılarak algoritmanın güçlü yönleri ve potansiyeli vurgulanmış; Minimum Tepe Örtüsü Problemi ve ilgili alanlarda gelecekte yapılabilecek çalışmalara yönelik somut öneriler sunulmuştur. Bu sistematik ve bütüncül yapı, okuyucunun konuyu derinlemesine anlamasına, çalışmanın uyguladığı yöntemleri kavramasına ve elde edilen sonuçların bilimsel önemini etkin bir şekilde değerlendirmesine yardımcı olacak şekilde titizlikle tasarlanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP), kombinatorial optimizasyon ve çizge teorisinin en derin ve en zorlayıcı problemlerinden biri olarak matematiksel literatürde önemli bir yer tutar. Problemin doğası, çizge yapısını anlamak ve kaynakları en verimli şekilde tahsis etmek için güçlü bir çerçeve sunar.

2.1. MVCP'nin Tanımı ve NP-Tam Doğası

Bir çizge $G = (V, E)$ verildiğinde, burada V düğümler kümesini ve E kenarlar kümesini temsil eder, Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP) tüm kenarları kapsayan en küçük düğüm kümesini bulmayı amaçlar. Bir düğüm kümesi $C \subseteq V$, eğer E 'deki her kenar (u, v) için $u \in C$ veya $v \in C$ (veya her ikisi) ise, G 'nin bir tepe örtüsü (vertex cover) olarak adlandırılır. MVCP'nin amacı, böyle bir C kümesini bulmak ve $|C|$ değerini minimize etmektir [5].

MVCP, bilgisayar bilimleri alanında NP-tam (NP-complete) sınıfına dahil edilmiştir. Bu, problemin çözümünün doğrulanmasının polinom zamanda gerçekleştirilebildiğini (yani, verilen bir kümenin tepe örtüsü olup olmadığını ve boyutunu hızlıca kontrol edebildiğimizi), ancak genel bir çözüm algoritmasının polinom zamanda üretilemediğini göstermektedir. Bu karmaşıklık sınıflandırması, büyük ölçekli çizgelerde kesin (optimal) çözümlerin bulunmasının hesaplama gücü açısından genellikle pratik olmadığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, bu tür problemler için genellikle yaklaşık (heuristic) veya meta-sezgisel (meta-heuristic) algoritmalar geliştirilmektedir.

2.1.1. MVCP'nin diğer np-tam problemlerle ilişkisi

Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP), bilgisayar bilimleri ve çizge teorisinin temelini oluşturan diğer önemli NP-tam problemlerle derin ve çok yönlü ilişkilere sahiptir. Bu matematiksel bağlar, problemin sadece kendi başına değil, aynı zamanda diğer karmaşık hesaplama sorunları bağlamında da teorik önemini artırmaktadır. Bu tür ilişkiler, bir problemi çözmek için diğer bir problemin çözümünden yararlanma potansiyelini sunarak, algoritmik stratejilerin geliştirilmesinde değerli perspektifler sağlar.

Bu problemler arasındaki en belirgin ilişkilerden biri Maksimum Bağımsız Küme Problemi (MIS) ile olan ikili (dual) ilişkidir. Bir $G = (V, E)$ çizgesi için, $C \subseteq V$ bir tepe örtüsü ise, bu ancak ve ancak $V \setminus C$ kümesi bir bağımsız küme olduğunda geçerlidir. Yani, $V \setminus C$ 'deki

hiçbir iki düğüm arasında kenar bulunmamaktadır. Bu matematiksel eşdeğerlik, bir çizgenin minimum tepe örtüsünün, maksimum bağımsız kümesinin tümleyeni olduğunu ve tam tersi olduğunu ifade eder. Dolayısıyla, bu iki problemten birinin optimum çözümü bulunduğunda, diğerinin çözümü de doğrudan elde edilebilir. MVCP genellikle kenar kapsama üzerine yoğunlaşırken, MIS ise ağlarda veya sosyal yapılarda bağımsız grupların, yani birbiriyle bağlantısı olmayan en büyük düğüm kümelerinin tespit edilmesi gibi farklı uygulama alanlarında kullanılır.

MVCP, doğrudan bir rehberlik sağlamasa da Çizge Renklendirme Problemleri ile de dolaylı bağlantılar kurabilmektedir. Çizge renklendirme problemleri, düğümlerin belirli özelliklere göre ayrılmasını hedeflerken, MVCP kenarların kapsanmasını odaklanır. Ancak, düğüm özellikleri ve bağımlılıklarını analiz etme biçimleri aracılığıyla bu problemler arasında kavramsal düzeyde bir bağlantı kurulabilir; örneğin, bir çizgenin renklendirilebilirliği, onun yapısal özellikleri hakkında bilgi verirken, bu bilgiler bazen tepe örtüsü için olası yapıları anlamada yardımcı olabilir.

Bir başka önemli ilişki, Klik Problemi (Clique Problem) ile kurulabilir. Tıklama problemi, bir çizgedeki en yoğun bağlantıya sahip alt kümeyi, yani tamamı birbirine bağlı düğümlerden oluşan bir kümenin bulunmasını hedefler. MVCP ise, belirtildiği üzere, tüm kenarların kapsanması üzerine odaklanır. Bir çizgenin maksimum tıklaması ile onun tümleyen çizgenin (complement graph) minimum tepe örtüsü arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki, bir problemten diğerine dönüşüm yaparak çözüm bulma potansiyelini işaret eder.

Son olarak, Minimum Baskın Küme Problemi (MDS) ile MVCP arasında benzer bir çözüm mantığına sahip olmasına rağmen kapsam farkı bulunan bir ilişki mevcuttur. MDS, bir çizgenin tüm düğümlerinin doğrudan veya dolaylı olarak kapsanmasını sağlayan minimum sayıda düğüm kümesi bulmayı amaçlarken, MVCP yalnızca kenar kapsama üzerine odaklanır. MDS daha geniş bir kapsama tanımı sunar; bir düğümün kendisi veya komşuları tarafından kapsanması yeterlidir. MVCP'de ise her kenarın en az bir uç düğümü tarafından örtülmesi gereklidir. Bu farklı kapsama tanımları, problemleri birbirinden ayırsa da her ikisi de ağlarda kaynakların minimum sayıda noktaya yerleştirilmesini hedefleyen optimizasyon sorunlarıdır.

Bu problemler arasındaki karmaşık matematiksel bağlar, MVCP'nin teorik araştırmalarda ve yeni algoritma geliştirme süreçlerinde merkezi bir konumda yer almasını sağlamaktadır. Problemin NP-tam doğası, polinom zamanda optimum çözüm bulunamaması,

literatürü sürekli olarak daha etkili yaklaşık algoritmaların ve sezgisel yaklaşımların geliştirilmesine teşvik etmektedir. Bu bağlamda, MVCA gibi yeni algoritmalar, bu teorik boşluğu doldurarak gerçek dünya uygulamaları için pratik çözümler sunma potansiyeli taşımaktadır.

2.2. MVCP İçin Geliştirilen Algoritmalar ve Yaklaşımlar

Minimum Tepe Örtüsü Problemi'nin (MVCP) NP-tam doğası, araştırmacıları uzun yıllardır bu problem için çeşitli yaklaşık ve sezgisel algoritmalar geliştirmeye itmiştir. Bu algoritmalar, hesaplama süresini kabul edilebilir seviyelerde tutarken, optimal veya ona yakın çözümler üretmeyi amaçlar.

2.2.1. İstatistiksel ve olasılıksal yöntemler

Bu yaklaşımlar, düğüm seçimini veya çözüm uzayını keşfetmeyi olasılık teorisi ve istatistiksel prensipler kullanarak gerçekleştirir. Genellikle tekrarlayan süreçlerle ve rastgele seçimlerle çalışarak farklı ve potansiyel olarak iyi çözümler üretme yeteneğine sahiptirler. Örneğin, bir düğümün tepe örtüsüne dahil edilme olasılığını, düğümün derecesi veya ağdaki konumu gibi istatistiksel özelliklerine dayandırabilirler. Bu tür yöntemler, özellikle büyük ve karmaşık çizgelerde deterministik algoritmaların tıkanabileceği durumlar için alternatif bir keşif stratejisi sunar.

2.2.2. Meta-Sezgisel yaklaşımlar

Minimum Tepe Örtüsü Problemi'nin (MVCP) NP-tam doğası, optimum çözümlere polinom zamanda ulaşmayı zorlaştırdığından, çözüm arayışları genellikle meta-sezgisel algoritmalar aracılığıyla gerçekleştirilir. Meta-sezgisel algoritmalar, karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için genel çerçeveler sunan ve çoğu zaman doğadan veya fiziksel süreçlerden ilham alan yöntemlerdir. MVCP için kullanılan başlıca meta-sezgisel yaklaşımlar, farklı arama stratejileri ve adaptif mekanizmalar sunarak etkili yakınsamalar sağlamayı hedefler.

Bu yaklaşımlardan biri, doğal seçim ve genetik evrim prensiplerini taklit eden Evrimsel Algoritmalar (Genetik Algoritmalar, Evrim Stratejileri). Bu algoritmalar, potansiyel çözümlerden oluşan bir popülasyon oluşturur. Her çözüm, belirli bir uygunluk

fonksiyonuna (örneğin, tepe örtüsünün boyutu veya kapsama etkinliği) göre değerlendirilir. En uygun çözümler seçilerek, genetik operatörler (çaprazlama ve mutasyon gibi) uygulanır ve bu sayede yeni nesiller üretilir. Bu süreç, tatmin edici bir çözüm bulunana veya belirli bir iterasyon sayısına ulaşılan kadar devam eder [6]. Örneğin geliştirilen Membran Evrimsel Algoritması, özellikle büyük ölçekli çizgelerde yüksek doğrulukla çalışan yeni nesil yaklaşımlardan biri olarak öne çıkmaktadır [7].

Diğer bir meta-sezgisel yaklaşım, Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) olarak bilinir ve karıncaların yiyecek arama davranışından esinlenerek geliştirilmiştir. ACO, sanal karıncaların çözüm uzayında gezinerek feromon izleri bırakması prensibine dayanır. Daha iyi çözümlerle ilişkili yollar üzerinde daha fazla feromon birikir ve bu da diğer karıncaların o yolları takip etme olasılığını artırır. MVCP için uygulandığında, her karınca potansiyel bir tepe örtüsü oluşturur ve en iyi çözümlerle ilişkili feromon izleri güçlendirilerek algoritmanın optimuma yakın çözümlere yakınsaması sağlanır [8].

Metallerin tavlama sürecini taklit eden Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing - SA) de önemli bir meta-sezgisel yöntemdir. Bu algoritma, başlangıçta yüksek bir "sıcaklıkla" başlar ve zamanla kontrollü bir şekilde soğur. Bu mekanizma, algoritmanın başlangıçta çözüm uzayında daha geniş bir keşif yapmasına, yerel optimumlara takılmadan kaçınmasına ve sıcaklık azaldıkça daha ince ayarlı bir arama yaparak global optimuma yakınsama yeteneğini artırmasına olanak tanır. [9]

Son olarak, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), kuş sürülerinin veya balık okullarının toplu hareketlerinden ilham alan bir optimizasyon algoritmasıdır. Her "parçacık", çözüm uzayında potansiyel bir çözümü temsil eder. Parçacıklar, hem kendi en iyi deneyimlerine (pbest) hem de tüm sürünün bulduğu en iyi deneyime (gbest) dayanarak çözüm uzayında hareketlerini günceller. Bu toplu zeka yaklaşımı, çözüm uzayının etkili bir şekilde keşfedilmesini ve optimuma yakın çözümlerin bulunmasını sağlar. [10]

Bu meta-sezgisel algoritmalar, MVCP gibi NP-tam problemler için genellikle kesin (exact) çözümler bulamasa da, kabul edilebilir bir sürede yüksek kaliteli, optimuma yakın çözümler üretme yetenekleri sayesinde geniş uygulama alanları bulmuşlardır. Her bir yaklaşım, problemin doğasına ve arama uzayının özelliklerine göre farklı avantajlar sunar, bu da araştırmacıların belirli bir MVCP örneği için en uygun stratejiyi seçmesine olanak tanır.

2.2.3. Yerel arama stratejileri

Meta-sezgisel yaklaşımların yanı sıra, Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP) gibi optimizasyon sorunlarının çözümünde yerel arama algoritmaları da önemli bir yer tutar. Yerel arama algoritmaları, mevcut bir çözümden başlayarak, çözüm uzayındaki "komşu" çözümler arasında sistematik veya rastgele bir şekilde arama yaparak daha iyi bir çözüm bulmaya çalışır. Bu algoritmalar genellikle, çözüm uzayındaki "tepeleri" veya "vadileri" tırmanarak/inerek optimuma yaklaşmayı hedeflerler. Bu yöntemler, karmaşık problemler için kabul edilebilir sürede kaliteli yakınsamalar sunar. [11]

Bu tür algoritmaların en basit formlarından biri, Tırmanma (Hill Climbing) yaklaşımıdır. Her adımda mevcut çözümün komşuları arasından en iyi olanına geçiş yaparak ilerler. Ancak, bu basit strateji, algoritmanın yerel optimumlara kolayca takılmasına ve global optimumu kaçırmaya neden olabilir. Bu durum, arama uzayının karmaşıklığına bağlı olarak ciddi bir sınırlama teşkil edebilir. [12]

Yerel optimumlara takılmaktan kaçınmak ve daha geniş bir arama alanı keşfetmek amacıyla geliştirilen stratejilerden biri de Tabu Arama (Tabu Search) yöntemidir. Bu algoritma, yakın zamanda ziyaret edilen veya belirli kriterlere göre "tabu" ilan edilen çözümlerin belirli bir süre boyunca tekrar ziyaret edilmesini engelleyen bir "tabu listesi" kullanır. Bu sayede, algoritma sürekli olarak yeni bölgeleri keşfetmeye zorlanır ve yerel optimumlardan sıçrama yeteneği kazanır. [13]

Değişken Komşuluk Araması (Variable Neighborhood Search - VNS), yerel arama algoritmalarının bir başka gelişmiş formudur. VNS, yerel optimumlardan çıkmak ve daha iyi çözümler bulmak için farklı komşuluk yapılarını sistematik olarak keşfeder. Bu yaklaşım, tek bir komşuluk yapısına bağımlı kalmanın getirdiği sınırlamaları aşarak, arama uzayında daha esnek ve kapsamlı bir keşif yapılmasına olanak tanır. [14]

MVCP özelinde geliştirilen ve literatürde yerini bulan özgün yaklaşımlardan biri de Kenar Ağırlıklandırma Yerel Araması (Edge Weighting Local Search - EWLS) algoritmasıdır. Cai, Su ve Chen [15] tarafından tanıtılan EWLS, minimum köşe örtüsünün boyutu üzerinde sıkı bir üst sınır sağlayan bir köşe kümesi bulmaya odaklanır. EWLS'nin temel mekanizması, yerel optimumlarda takılıp kalındığında kenar ağırlıklarını güncelleyen yinelemeli bir yerel arama prosedürü kullanmasıdır. Bu ağırlıklandırma şeması, algoritmanın arama sürecini dinamik olarak yönlendirmesine ve daha etkili çözümlere ulaşmasına yardımcı olur. Bu sayede, EWLS

[15] gibi algoritmalar, MVCP gibi NP-tam problemlere pratik ve yüksek kaliteli yaklaşımlar sunarak, teorik zorluklara rağmen gerçek dünya uygulamalarında kullanılabilir çözümler üretilmesine katkıda bulunur.

2.2.4. Açgözlü (Greedy) algoritmalar

Meta-sezgisel ve yerel arama yaklaşımlarının yanı sıra, Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP) için açgözlü algoritmalar da yaygın olarak kullanılmaktadır. Açgözlü algoritmalar, adından da anlaşılacağı gibi, her adımda o anki durum için en iyi görünen seçimi yaparak bir çözüm oluşturur. Bu yaklaşım, genellikle hızlı ve kolay uygulanabilir çözümler sunar, ancak global optimumu garanti etmeyebilir.

MVCP için uygulanan tipik açgözlü yaklaşımlardan biri, En Yüksek Dereceli Düğümü Seçme prensibine dayanır. Bu yöntemde, her adımda, hala açıkta kalan (yani hiçbir tepe örtüsü düğümü tarafından kapsanmayan) kenarlara sahip düğümler arasından en yüksek dereceye sahip olan düğüm seçilir. Seçilen bu düğüm, tepe örtüsü kümesine eklenir ve ardından bu düğümle ilişkili tüm kenarlar çizgelerden kaldırılır. Bu işlem, çizgelerde kapsanmayan hiçbir kenar kalmayana kadar tekrar edilir. Bu strateji, her adımda en çok kenarı kapsayarak problemi hızlıca küçültmeyi hedefler. [11]

Bir diğer önemli açgözlü yaklaşım ise M. Goldberg ve meslektaşları tarafından geliştirilen GMin Algoritmasıdır [16]. GMin, her iterasyonda en düşük merkeziliğe sahip köşeyi bağımsız kümenin bir üyesi olarak seçmek için derece merkezilik değerini kullanır. Seçilen köşe ve komşuları daha sonra çizgelerden kaldırılır. Bu algoritma, Bağımsız Küme ve Köşe Örtüsü arasındaki matematiksel ilişkiyi, yani bir çizgenin bağımsız kümesinin boyutu ile köşe örtüsünün boyutunun toplamının çizgenin toplam düğüm sayısına eşit olduğu prensibini ($|MIS| + |MVC| = |V|$) kullanarak MVCP çözümüne ulaşır. Bu tez çalışması, Barselona ulaşım ağı uygulamasında geliştirilen Malatya Tepe Örtüsü Algoritması (MVCA) ile GMin algoritmasını karşılaştırmalı olarak inceleyerek, MVCA'nın performans üstünlüğünü ortaya koymuştur.

Açgözlü algoritmalar genel olarak hızlı çalışma süreleri sunmalarıyla avantaj sağlarlar, bu da onları büyük ölçekli problemler için pratik bir seçenek haline getirir. Ancak, bu hızın bedeli genellikle çözümün optimal olmamasıdır. Açgözlü seçimler, yerel optimumlara yol açabilir ve global optimumu gözden kaçırabilir. Bu nedenle, kritik uygulamalarda açgözlü algoritmaların sonuçları, daha sağlam meta-sezgisel veya kesin algoritmalarla elde edilen

sonuçlarla karşılaştırılarak değerlendirilmelidir. Yine de açgözlü yaklaşımlar, karmaşık optimizasyon problemlerine ilk ve hızlı bir yaklaştırma sağlamak için değerli araçlardır.

2.2.5. Oyun teorisi tabanlı çözümler

Son yıllarda, oyun teorisi, Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP) gibi karmaşık optimizasyon problemlerine yeni ve dinamik bir bakış açısı getirmiştir. Bu yaklaşımda, bir çizgedeki her bir düğümün tepe örtüsü kümesine dahil edilip edilmeme kararı, diğer düğümlerin stratejik kararlarından etkilendiği bir "oyun" olarak modellenenabilir. Bu perspektif, problemin çözümü için iş birliğine dayalı veya rekabetçi mekanizmaları araştırmaya olanak tanır.

Bu alandaki önemli çalışmalardan biri Gusev [17] tarafından yapılmıştır. Bu çalışma, Shapley-Shubik endeksi gibi oyun teorisi ölçütlerini kullanarak düğüm önceliklerini daha analitik bir biçimde belirlemeyi önermiştir. Shapley-Shubik endeksi, bir oyundaki her oyuncunun (burada düğümün) koalisyonun (tepe örtüsü kümesinin) toplam çıktısına ne kadar katkıda bulunduğunu nicel olarak ölçer. Bu sayede, bir düğümün ağdaki "etkisini" veya "gücünü" sayısal olarak ifade ederek, klasik derece tabanlı açgözlü yaklaşımların ötesinde daha rafine bir seçim stratejisi sunar ve çözüm kümesinin doğruluğunun arttığını göstermiştir. Bu, düğümlerin sadece yerel bağlantılarına değil, ağı genel yapısındaki stratejik önemlerine göre değerlendirilmesini sağlar.

Bir başka gelişme ise dağıtık potansiyel oyunlar yaklaşımıdır. [18] Bu çalışma, dağıtık potansiyel oyunları kullanarak karmaşık ağların minimum tepe örtüsüne ulaşmayı ele almıştır. Bu yaklaşım, düğümlerin sadece kendi yerel bilgilerine dayanarak kendi kararlarını optimize ettiği ve kolektif olarak bir tepe örtüsü oluşturduğu bir senaryoyu içerir. Bu dağıtık yapı, büyük ve dinamik ağlarda merkezi bir kontrol mekanizmasına ihtiyaç duymadan etkin çözümler bulunabilmesine olanak tanır.

Ayrıca, Sun ve diğerleri [19], ağırlıklı çizgelerde MVCP için oyun teorik öğrenme yaklaşımlarını kullanarak daha iyi yaklaşıklık sonuçları elde edilebileceğini göstermiştir. Bu öğrenme yaklaşımları, düğümlerin ağdaki diğer düğümlerin durumlarına ve stratejilerine göre kendi kararlarını adaptif olarak ayarlamalarını içerir. Bu, özellikle büyük ve dağıtık ağlarda MVCP'nin çözümünde alternatif ve esnek stratejiler sunar, çünkü sistem zamanla en iyi tepe örtüsü yapılarına yakınlaşmak için kendi kendini düzenleyebilir.

Oyun teorisi yaklaşımları, MVCP'ye sadece bir optimizasyon problemi olarak değil, aynı zamanda etkileşimli karar verme süreçlerinin bir sonucu olarak bakma imkânı sunar. Bu,

özellikle dinamik ve kendi kendini organize eden ağlarda, güvenlik veya sensör konumlandırma gibi uygulamalarda, düğümlerin akıllı ajanlar gibi davranarak optimum veya optimuma yakın bir tepe örtüsü oluşturduğu senaryolar için büyük potansiyel barındırmaktadır. Bu alandaki araştırmalar, MVCP'nin çözüm yöntemlerini daha da zenginleştirmekte ve gerçek dünya problemlerine daha adaptif ve dirençli çözümler sunmaktadır.

2.2.6. Katmanlı ve ayrıştırma tabanlı yaklaşımlar

Karmaşık ağların ve özellikle büyük ölçekli çizgelerin Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP) çözümü, genellikle problemi daha küçük, daha yönetilebilir alt problemlere ayırmayı gerektirir. Bu strateji, hesaplama karmaşıklığını azaltmak ve çözüm sürecini daha verimli hale getirmek amacıyla katmanlı (çok aşamalı) vertex cover ve çizge ayrıştırma yaklaşımlarını ön plana çıkarmaktadır. Bu yöntemler, çizge yapısını farklı açılardan analiz ederek veya mantıksal/fiziksel parçalara ayırarak çözüm sürecini daha yönetilebilir kılmayı amaçlar.

Çok Aşamalı Vertex Cover Yaklaşımları, çizgelerin yapısal özelliklerinden faydalanmayı ve elde edilen çözümün kalitesini artırmayı hedefler.[20] Fluschnik ve diğerleri [37] tarafından yapılan çalışmalar, bu tür yaklaşımların etkinliğini göstermektedir. Bu yöntemler, çizgeyi mantıksal veya fiziksel katmanlara ayırarak her katmanda yerel çözümler üretir. Daha sonra, bu yerel çözümler bütünleştirilerek genel çözüm kümesi elde edilir. Bu katmanlı strateji, özellikle dinamik veya zamanla değişen çizgeler için uygun bir yaklaşım sunar, çünkü her katman bağımsız olarak güncellenebilir ve çözüme entegre edilebilir.

Bir diğer önemli yaklaşım olan Çizge Ayrıştırma Yaklaşımı, özellikle çok büyük çizgelerde MVCP'nin karmaşıklığını azaltmada etkili bir yöntemdir. Bu yaklaşım, büyük bir çizgeyi daha küçük, bağımsız veya yarı bağımsız alt çizgelere bölerek problemin çözümünü basitleştirir. Ayrıştırılan alt problemlerin paralel olarak çözülebilmesi, daha hızlı çözümler elde etmeyi mümkün kılar ve bu da hesaplama kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlar.[22]

Ayrıca, büyük ve seyrek çizgeler için geliştirilen Çözücüler de MVCP alanında kritik bir rol oynamaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar, özellikle sosyal ağlar veya internet topolojileri gibi büyük ve seyrek çizgelerde küçük boyutlu köşe örtmelerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilen algoritma çerçevelerinin, karmaşık ağ analizi ve büyük ölçekli problemler için de uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Bu tür algoritmalar, pratik uygulamalarda karşılaşılan devasa boyutlu çizgelerin yönetilmesinde ve MVCP gibi NP-tam problemlerin bu ölçeklerde çözülmesinde vazgeçilmez bir rol oynamaktadır. Bu yaklaşımlar, sadece teorik bir

ilgi alanı olmakla kalmayıp, aynı zamanda modern ağların ve sistemlerin güvenliği, verimliliği ve kaynak yönetimi gibi alanlarda pratik çözümler sunma potansiyeli taşımaktadır.[23]

2.3. Merkezilik Algoritmaları ve Ağ Analizindeki Roller

Ağ kuramı çerçevesinde, düğümlerin yapısal önemini belirleyebilmek adına geliştirilen merkezilik algoritmaları, karmaşık sistemlerin analizinde son derece kritik rol oynayan yöntemler arasında yer alır. Bu algoritmalar, bir ağ içerisindeki her bir noktanın diğerlerine kıyasla ne ölçüde merkezi bir konuma sahip olduğunu değerlendirmek amacıyla kullanılır. Merkezilik kavramı, özellikle düğümlerin bilgi yayılımı, etkileşim yoğunluğu ya da stratejik konumları bakımından sahip oldukları potansiyeli ortaya koymak açısından büyük önem taşımaktadır. Trafik yönlendirmesinden sosyal medya etkileşimlerine, iletişim altyapılarının modellenmesinden biyolojik ağların analizine kadar pek çok alanda bu yöntemlerden etkin biçimde faydalanılmaktadır.

2.3.1. Derece merkeziliği

Derece merkeziliği, bir düğümün ağdaki yerel önemini ölçen en temel merkezilik ölçütlerinden biridir. Bir düğümün derecesi, kendisine doğrudan bağlı olan komşu düğümlerin sayısıdır. Yüksek dereceli düğümler, ağ içinde daha fazla doğrudan bağlantıya sahip oldukları için genellikle daha aktif ve etkileşimli kabul edilirler. Bilgi yayılımında veya yerel kaynaklara erişimde önemli rol oynayabilirler.

2.3.2. Closeness merkeziliği

Closeness merkeziliği, düğümlerin ağa olan genel erişim hızını analiz etme amacıyla geliştirilen bir ölçüm yöntemidir. Bu yaklaşım, ağ üzerindeki her bir düğümün diğer tüm düğümlere ulaşmak için kat etmesi gereken ortalama mesafeye dayanır. Dolayısıyla, diğerlerine daha kısa yollarla ulaşabilen düğümler, daha merkezi ve stratejik konumda kabul edilirler. Özellikle bilgi yayılımı, kaynaklara hızlı erişim veya hizmet dağıtımı gibi süreçlerin etkinliğinin artırılması gereken durumlarda closeness merkezilik büyük fayda sağlar [9].

İlgili formül aşağıdaki gibidir: [24]

$$C(u) = \frac{1}{\sum_{v \neq u} d(u, v)} \quad (2.3)$$

Burada $C(u)$ düğüm u 'nun closeness değerini, $d(u,v)$ ise u ile v düğümleri arasındaki en kısa mesafeyi temsil eder. N ise toplam düğüm sayısıdır. Düğümün diğer düğümlere olan toplam mesafesinin azalması, closeness değerini artırır ve bu da düğümün diğerlerine kıyasla daha hızlı etkileşim kurabileceğini gösterir.

2.3.3. Betweenness merkeziliği

Betweenness merkeziliği, bir düğümün ağdaki en kısa yollar üzerinde kaç kez yer aldığını belirler. Bu merkezilik ölçütü, bir düğümün diğer düğümler arasındaki bilgi akışındaki rolünü ve önemini gösterir. Yüksek Betweenness değerine sahip düğümler, ağda kritik bir geçiş noktası olarak işlev görür ve bilgi akışını kontrol edebilir [25].

Matematiksel olarak betweenness merkezilik değeri şu şekilde hesaplanır: [25]

$$g(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}} \quad (2.3)$$

Betweenness merkezilik ölçümünde, $CB(v)$, bir v düğümünün betweenness merkezilik değeri olarak adlandırılır. σ_{st} , düğüm s ve düğüm t arasındaki toplam en kısa yol sayısını ifade eder. $\sigma_{st}(v)$ ise v düğümünün bu en kısa yollar üzerinde kaç kez yer aldığını gösterir. Bir düğüm, iki farklı düğüm arasındaki en kısa yolların çoğunda yer alıyorsa, betweenness merkezilik değeri yüksek olur ve bu, söz konusu düğümün ağ içindeki akışın yönlendirilmesinde önemli bir rol oynadığını gösterir.

2.3.4. PageRank algoritması

İlk olarak Google tarafından, internet üzerindeki sayfaların değerini ölçmek ve sıralamak üzere geliştirilen PageRank algoritması, zamanla çok daha geniş bir uygulama alanına kavuşmuş, ağ analizlerinin vazgeçilmez bir bileşeni haline gelmiştir. Bu yaklaşım, bir düğümün ağı içerisindeki göreceli önemini, kendisine yöneltilen bağlantıların sayısı ve bu bağlantıların geldiği kaynakların itibarı üzerinden değerlendirmektedir. Yani yalnızca bağlantı sayısı değil, bağlantının geldiği yerin etkisi de hesaba katılmaktadır. Bu yönüyle PageRank, düğümün doğrudan bağlantılarının ötesinde, ağın geneline olan etkisini dolaylı biçimde de analiz edebilmektedir [26].

Bu algoritmanın temelini oluşturan prensip, "rastlantısal gezinme" kuramına dayanmaktadır. Buna göre, bir kullanıcı ağ üzerinde bağlantılar aracılığıyla dolaşırken, belirli bir olasılıkla rastgele başka bir düğüme geçiş yapabilir. Bu geçiş olasılığı, genellikle 0,85 olarak kabul edilen bir sönümlenme katsayısı (damping factor) ile tanımlanır. Geriye kalan 0.15'lik

kısım, kullanıcının rastgele herhangi bir noktaya sıçrama ihtimalini temsil eder. Böylece ağı tüm düğümleri dolaylı olarak değerlendirilmeye dahil edilir ve hiçbir düğüm PageRank açısından sıfır öneme sahip sayılmaz.

Matematiksel ifadesiyle: [26]

$$PR(A) = \frac{1 - d}{N} + dx \sum_{i=1}^N \frac{PR(B_i)}{L(B_i)} \quad (2.3)$$

Bu denklemde, $PR(A)$ düğüm A'nın PageRank değerini, N toplam düğüm sayısını, $PR(B_i)$ A'ya bağlantı veren B düğümlerinin PageRank değerlerini, $L(B_i)$ ise bu düğümlerden çıkan bağlantı sayısını ifade eder. Her iterasyonda bu değerler güncellenir ve algoritma, PageRank değerleri sabitlenene kadar çalışmaya devam eder.

Sonuç olarak, yüksek PageRank puanına sahip olan düğümler, ağı yapısı içerisinde daha merkezi ve etkili pozisyonlarda yer alırlar. Sosyal ağlar bağlamında değerlendirildiğinde, bu düğümler geniş erişim ağına sahip olan, çoğu zaman anahtar bağlantı noktaları üzerinden etkileşim sağlayan bireylerdir. Benzer biçimde, şehir içi ulaşım ağlarında bu değerler, yüksek trafik geçişine sahip kavşakları tanımlamakta kullanılır.

PageRank, iteratif bir süreçle çalışır ve her iterasyonda düğümlerin PageRank değerleri güncellenir. Yüksek PageRank değerine sahip düğümler, ağda daha merkezi bir konuma sahiptir ve diğer düğümler üzerinde daha fazla etkiye sahiptir.[27]

PageRank algoritması hesaplama sürecinde, başlangıçta her düğüme eşit bir PageRank değeri atanır. Örneğin, N düğümlü bir ağda her düğüm için başlangıç değeri $1/N$ olarak alınabilir. Daha sonra PageRank formülüne göre her düğümün yeni PageRank değeri hesaplanır. Bu süreç, ağdaki düğüm sayısına ve bağlantı yoğunluğuna göre birkaç veya birçok iterasyon boyunca devam eder. PageRank değerleri belirli bir hata payı altında stabil hale geldiğinde, algoritma durur. Bu noktada her düğümün PageRank değeri, ağdaki merkeziyet derecesini temsil eder.

PageRank değeri yüksek olan düğümler, ağda daha merkezi bir konuma sahiptir ve bu düğümler, bilgi veya etki yayılımında daha büyük rol oynarlar. Örneğin, sosyal ağlarda yüksek PageRank değerine sahip kişiler, bağlantı yoğunluğu yüksek ve diğer önemli kişilerle ilişkili olan bireylerdir. Ulaşım ağlarında, yüksek PageRank değerine sahip kavşak noktaları, trafik

yoğunluğunun fazla olduğu ve diğer kavşaklar üzerinden yüksek oranda geçiş yapılan noktalardır [27].

PageRank algoritması, çizge tabanlı veri yapılarında merkezîyet ölçümünün güçlü bir yöntemi olarak kabul edilmekte ve büyük ölçekli ağlarda düğümlerin önemini belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3.5. Malatya merkezîlik algoritması

Malatya Merkezîlik Algoritması, bir ulaşım ağı üzerindeki noktaların (kavşaklar veya yollar) trafik yoğunluğu ve erişilebilirlik açısından önem derecesini belirlemek için özel olarak geliştirilmiş bir algoritmadır. Bu algoritma, özellikle Malatya şehri gibi belirli bir bölgenin trafik koşulları ve yol ağı yapısını dikkate alacak şekilde uyarlanmıştır. [28].

Genel olarak merkezîlik analizlerinde kullanılan betweenness (ara bağlantı merkezîyeti), closeness (yakınlık merkezîyeti) ve PageRank gibi ölçütler, bir ağ üzerindeki düğümlerin ulaşılabilirlik düzeyi veya diğer düğümler üzerindeki yapısal etkisini temel alır. Malatya Merkezîlik Algoritması ise, bu geleneksel ölçütlerin ötesine geçerek, analiz edilen ağın bağlamsal özelliklerini de modele entegre edebilen parametrik bir yapıya sahiptir. Örneğin, ulaşım ağları gibi uygulamalarda, trafik yoğunluğu ve yönlü akış verileri gibi dinamik unsurlar hesaba katılarak daha gerçekçi ve bağlama duyarlı merkezîlik değerleri hesaplanabilir. Bu yönüyle algoritma, yalnızca ulaşım ağlarıyla sınırlı olmayan, çizge teorisiyle modellenen çeşitli sistemlerde düğüm önemini değerlendirmede kullanılabilecek esnek ve genelleştirilebilir bir yöntem sunmaktadır. Matematiksel olarak şu şekilde formüle edilmiştir: [28]

$$\Psi(v_i) = \sum_{\forall v_j \in N(v_i)} \frac{d(v_i)}{d(v_j)} \quad (3.4)$$

Malatya merkezîlik analizinde, $\Psi(v_i)$, bir v_i düğümünün Malatya merkezîlik değeri olarak adlandırılır ve bu düğümün ağ içindeki önemini belirlemek için kullanılır. $N(v_i)$, düğüm v_i 'nin komşu düğümlerini ifade eder, yani doğrudan bağlantılı olduğu düğümlerin kümesidir. $d(v_i)$ ise düğüm v_i 'nin derece değeri, yani sahip olduğu bağlantı sayısını gösterir. Bu ölçüm, düğümün yerel ve genel ağ yapısı içindeki etkisini değerlendirmeye yardımcı olur.

Bu algoritmanın uygulanması sırasında her düğüm için komşularının derecesiyle kendi derecesi oranlanır ve sonuçlar toplanır. Hesaplama hem düğümün kendi önemini hem de komşu düğümlerinin etkisini dikkate alır. Yüksek Malatya merkezîlik değerine sahip düğümler, ağın

diğer bölgelerine olan bağlantıları güçlendirir ve trafiğin etkili bir şekilde yönlendirilmesinde kritik bir rol oynar. Malatya Merkezlilik Algoritması, yerel trafik akışı analizinde ve kavşakların önem derecesini belirlemede güçlü bir araç olarak, ulaşım planlamasına katkı sağlayabilecek yenilikçi bir yöntem sunmaktadır.

2.3.6. Malatya vertex cover algoritması

Vertex Cover, bir çizgedeki kenarların en az bir uç noktasını kapsayan minimum sayıda düğümün seçilmesi problemidir. Bu problem, çizgelerdeki kritik noktaların tespit edilmesinde etkili bir yöntem olarak kullanılır. Vertex Cover, özellikle trafik ağları gibi karmaşık sistemlerde, kaynakların optimize edilerek etkin bir şekilde kullanılması için güçlü bir çözüm sunar.[29]

Bir çizgede $G=(V, E)$, V düğümler kümesi ve E kenarlar kümesini temsil eder. Vertex Cover, $C \subseteq V$ olacak şekilde, çizgedeki tüm kenarları kapsayan minimum büyüklükte bir C kümesi bulmayı amaçlar.[11]

Vertex Cover probleminin amacı, $|C|$ değerini minimize etmektir. Yani, çizgedeki tüm kenarları kapsayan en az sayıda düğüm seçilmeye çalışılır.

Algoritma 1. Malatya Vertex Cover algoritmasının matematiksel gösterimi [11]

Minimum Vertex Cover Algoritması

Input: Adjacency matrix of G is A and $G = (V, E)$ // G graph

Output: $V_c \subseteq V$, V_c bir düğüm kümesidir ve tepe noktası örtme problemi için bir çözümdür

1. $V_c \leftarrow \emptyset$
 2. While $E \neq \emptyset$ do
 3. $i \leftarrow 1, \dots, |V|$
 4. $\psi(v_i) = \sum_{v_j \in N(v_i)} d(v_j)$
 5. $V_c = V_c \cup \{\max(\psi(v_i))\}$
 6. $V = V - \{v_i\}$, and $E = E - \{(v_i, v_j) \in E\}$
 7. Output= V_c
-

2.4. Literatürdeki Diğer Yöntemlerle Karşılaştırmalar ve Bilgiler

Minimum Vertex Cover Problemi (MVCP) için literatürde çok sayıda farklı çözüm yaklaşımı bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar, problemin NP-tam doğası nedeniyle genellikle yaklaşık çözümler sunar ve her birinin kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır. Bu bölümde, Malatya Vertex Cover Algoritması (MVCA) bağlamında diğer bazı önemli yöntemlerle karşılaştırmalar yapılacaktır.

2.4.1. MVCA ve açgözlü (greedy) algoritmalar:

Geleneksel açgözlü algoritmalar, genellikle en yüksek dereceli düğümü seçme gibi basit sezgisel kurallara dayanır. Bu algoritmalar hızlıdır ve kolayca uygulanabilirler. Ancak, yerel optimumlara takılma eğiliminde olabilirler ve her zaman en iyi yaklaşık çözümü garanti etmezler.

Barcelona ulaşım ağı uygulamasında, MVCA'nın performansı GMin algoritması ile karşılaştırılmıştır. GMin, her adımda en düşük merkeziliğe sahip köşeyi bağımsız kümenin bir üyesi olarak seçer ve ilgili düğüm ile komşularını çizgeden kaldırır. Bağımsız küme ve tepe örtüsü arasındaki dual ilişki kullanılarak MVCP çözümü elde edilir. Deneysel sonuçlar, MVCA'nın (88 düğüm) GMin'den (92 düğüm) daha az sayıda düğümle tam kapsama sağlayarak daha iyi bir çözüm ürettiğini göstermiştir. Bu, MVCA'nın sadece yerel dereceye dayalı açgözlü yaklaşımlara göre daha rafine bir düğüm seçim mekanizması sunduğunu göstermektedir. Malatya Merkezilik Değeri, bir düğümün komşu düğümlerinin derecelerine göre oranını dikkate alarak, sadece kendi doğrudan bağlantı sayısını değil, aynı zamanda komşularının "gücünü" de göz önünde bulundurur. Bu da daha stratejik bir düğüm seçimi sağlar.

2.4.2. MVCA ve meta-sezgisel algoritmalar:

Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP) gibi NP-tam problemlerin çözümünde sıkça başvurulan meta-sezgisel algoritmalar, Genetik Algoritmalar, Karınca Kolonisi Optimizasyonu ve Tavlama Benzetimi gibi çeşitli yöntemleri kapsar. Bu algoritmalar, genellikle açgözlü algoritmalara kıyasla daha kaliteli çözümler üretebilirler, çünkü yerel optimumlara takılmaktan kaçınmak için daha sofistike arama stratejileri kullanırlar. Ancak, bu algoritmalar genellikle daha yüksek hesaplama maliyetine sahiptir ve doğaları gereği deterministik değildirler; yani, her çalıştırmada başlangıç koşulları aynı olsa bile farklı sonuçlar üretebilirler. Bu durum,

özellikle uygulamaların güvenilirliği ve tekrarlanabilirliğinin kritik olduğu senaryolarda bir dezavantaj oluşturabilir.

Bu bağlamda, bu tez çalışmasında geliştirilen Malatya Tepe Örtüsü Algoritması (MVCA), önemli avantajlar sunmaktadır. MVCA'nın en önemli avantajlarından biri, deterministik bir yapıya sahip olmasıdır. Bu, aynı giriş verileriyle her zaman aynı sonuçları üretmesi anlamına gelir. Bu özellik, algoritmaların güvenilirliği ve tekrarlanabilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir ve özellikle bilimsel araştırmalarda ve mühendislik uygulamalarında büyük bir avantajdır. Meta-sezgisel algoritmaların aksine, MVCA'nın çıktısı tahmin edilebilir ve sabittir, bu da sistem davranışının daha kolay anlaşılmasını ve doğrulanmasını sağlar.

MVCA'nın bir diğer önemli üstünlüğü ise polinom zamanda çalışabilmesidir. Polinom zamanlı çalışma yeteneği, onu büyük ölçekli problemlere uygulanabilirlik açısından birçok meta-sezgisel algoritmaya göre daha avantajlı kılar. Özellikle gerçek zamanlı veya kaynak kısıtlı sistemlerde hızlı çözümler sunma yeteneği, meta-sezgisel yöntemlerin genellikle karşılaştığı uzun çalışma süreleri dezavantajını aşar. Bu, MVCA'yı sadece teorik olarak güçlü kılmakla kalmaz, aynı zamanda pratik uygulamalar için de oldukça cazip bir seçenek haline getirir.

Literatürde küçük çizgelerde dahi optimal sonuçlar veremeyen geleneksel algoritmaların aksine, bu çalışmada önerilen yöntemlerin daha kararlı ve tutarlı çıktılar üretildiği vurgulanmıştır.[30] MVCA'nın bu kararlılığı, rastgelelik içeren meta-sezgisel yöntemlere göre önemli bir üstünlüktür. Bu durum, algoritmanın farklı problem örneklerinde ve tekrarlayan çalışmalarda tutarlı performans sergilediğini göstermektedir.

Günümüzde, Chen ve arkadaşlarının Membran Evrimsel Algoritması [7] ya da Zhang ve ekibinin TIVC algoritması gibi yeni nesil meta-sezgisel yaklaşımlar, özellikle büyük çizgelerde yüksek doğrulukla çalışma yetenekleri ile dikkat çekmektedir.[31] MVCA da özgün merkezilik ölçütü ve algoritmik yapısıyla, bu modern yöntemlere alternatif oluşturabilecek, rekabetçi bir nitelik taşımaktadır. Deterministik yapısı ve polinom zamanlı çalışma yeteneği ile MVCA, karmaşık MVCP problemlerinin çözümünde hem güvenilir hem de verimli bir araç olarak öne çıkmaktadır.

2.4.3. MVCA ve oyun teorisi / katmanlı yaklaşımlar:

Minimum Tepe Örtüsü Problemi'ne (MVCP) daha karmaşık ve analitik bakış açıları sunan oyun teorisi ve katmanlı yaklaşımlar, düğümler arası etkileşimleri veya ağın hiyerarşik yapısını derinlemesine inceleyerek çözüm kalitesini iyileştirmeyi hedefler. Bu yöntemler, MVCP'nin statik bir optimizasyon problemi olmanın ötesinde, dinamik ve etkileşimli bir süreç olarak ele alınabileceği potansiyelini ortaya koymaktadır.

Oyun Teorisi ile Entegrasyon Potansiyeli, MVCA gibi algoritmaların düğüm seçim stratejilerini daha rafine hale getirebilir. Özellikle, MVCA'nın temelini oluşturan Malatya Merkezilik Değeri, bir düğümün ağdaki "gücünü" veya "etkisini" nicelleştirmek için oyun teorisi prensipleriyle, örneğin Shapley-Shubik endeksi gibi ölçütlerle entegre edilebilir. Bu entegrasyon, düğüm önceliklerini klasik derece tabanlı açgözlü yaklaşımların ötesinde daha analitik bir biçimde belirleyebilir. Böylece, bir düğümün tepe örtüsü kümesine dahil edilip edilmeme kararının, ağdaki diğer düğümlerin stratejik davranışları bağlamında daha bilinçli bir şekilde verilmesi mümkün olur. Bu yaklaşım, çözüm kümesinin doğruluğunun artmasına katkıda bulunabilir.

Katmanlı Yapılarla Uyumluluk ise, özellikle büyük ve karmaşık çizgeler için MVCP çözümünde önemli bir avantaj sunar. MVCA, bu tür katmanlı bir yapıda da uygulanabilir bir algoritma olarak öne çıkar. Bu stratejide, büyük bir çizgenin mantıksal veya fiziksel olarak alt katmanlara ayrılması ve her katmanda MVCA'nın uygulanarak yerel çözümlerin üretilmesi mümkündür. Daha sonra bu yerel çözümler birleştirilerek genel bir MVCP çözümü elde edilebilir. Bu katmanlı yaklaşım, problemin hesaplama karmaşıklığını önemli ölçüde azaltırken, aynı zamanda alt problemlerin paralel olarak çözülebilmesi potansiyeli sunarak çözüm süresini kısaltabilir. Bu tür yapısal ayrıştırmalar, dinamik ağlar veya zamanla değişen sistemler için de uygun stratejiler geliştirilmesine olanak tanır, zira her katman bağımsız olarak güncellenebilir ve genel çözüme entegre edilebilir.

Bu oyun teorik ve katmanlı yaklaşımlar, MVCP'nin teorik zenginliğini artırmanın yanı sıra, özellikle büyük ölçekli ve dinamik gerçek dünya ağlarında uygulanabilir, esnek ve yüksek kaliteli çözümler üretme potansiyelini güçlendirmektedir. Bu bütünleşmiş yaklaşımlar, ağ güvenliği, sensör ağı konumlandırması ve genel ağ kaynak yönetimi gibi alanlarda yeni ufuklar açmaktadır.

2.4.4. MVCA'nın özgünlüğü ve avantajları:

Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP) gibi NP-tam problemlerin çözümünde başvurulmuş çeşitli algoritmalar arasında, Malatya Tepe Örtüsü Algoritması (MVCA) sahip olduğu özgün özellikler ve sunduğu avantajlarla dikkat çekmektedir. Meta-sezgisel algoritmalar (Genetik Algoritmalar, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Tavlama Benzetimi vb.) genellikle açgözlü algoritmalarla kıyasla daha performanslı çözümler üretebilirler. Zira yerel optimumlara takılmaktan kaçınmak için daha sofistike arama stratejileri kullanırlar. Ancak, bu algoritmalar çoğu zaman daha yüksek hesaplama maliyetine sahiptir ve deterministik olmayan yapıları nedeniyle her çalıştırmada farklı sonuçlar üretebilirler.

MVCA'nın en önemli avantajlarından biri, deterministik bir yapıya sahip olmasıdır. Bu, algoritmanın aynı giriş verileriyle her zaman aynı sonuçları üretmesini sağlar, bu da algoritmaların güvenilirliği ve tekrarlanabilirliği açısından kritik bir özelliktir. Meta-sezgisel algoritmaların aksine, MVCA'nın çıktısı tahmin edilebilir ve sabittir, bu da pratik uygulamalarda sistem davranışının tutarlılığını garanti eder.

Algoritmanın bir diğer dikkate değer özelliği, polinom zamanda çalışabilmesidir. Bu yetenek, MVCA'yı büyük ölçekli problemlere uygulanabilirlik açısından birçok meta-sezgisel algoritmaya göre daha avantajlı kılar. Özellikle gerçek zamanlı veya kaynak kısıtlı sistemlerde hızlı çözümler sunma yeteneği, meta-sezgisel yöntemlerin genellikle karşılaştığı uzun çalışma sürelerini aşarak pratik kullanım alanlarını genişletir.

MVCA'nın özgünlüğü, temelini oluşturan Malatya Merkezilik Değeri'nden kaynaklanmaktadır. Bu merkezilik ölçütü, literatürdeki diğer merkezilik ölçütlerinden farklı olarak, bir düğümün kendi derecesi ile komşu düğümlerinin dereceleri arasındaki oranı dikkate alarak daha kapsamlı bir önem değeri sunar. Bu yaklaşım, özellikle heterojen ağ yapılarında (örneğin, merkezi düğümlerin yoğun olduğu, ancak komşularının az bağlantılı olduğu durumlar) daha doğru bir düğüm önceliği sağlayabilir. Bu sayede, ağdaki gerçek "etki" veya "önem" daha isabetli bir şekilde belirlenerek daha etkin tepe örtüsü çözümleri elde edilir.

Algoritmanın pratik faydaları, düşük maliyet ve yüksek verimlilik sunmasıyla da belirginleşmektedir. Barselona ulaşım ağı ve İnönü Üniversitesi kampüs ağı gibi gerçek dünya senaryolarındaki uygulamalar, MVCA'nın önemli maliyet ve enerji tasarrufları sağladığını açıkça göstermiştir. Daha az sayıda güvenlik kamerası veya kablosuz erişim noktasıyla tam

kapsama sağlanması, kaynak optimizasyonu açısından büyük bir avantajdır. Bu, teorik bir model olmaktan çıkıp, iki farklı somut gerçek dünya problemi üzerinde başarılı bir şekilde test edildiğini göstermektedir. Bu gerçek dünya uygulanabilirliği, algoritmanın pratik değerini ve geniş çapta adapte edilebilirliğini kanıtlamaktadır.

Son olarak, bu çalışmada kullanılan Barselona ulaşım ağı ve İnönü niversitesi kampüs ağına ait çizge modelleri, daha önce literatürde incelenmemiş özgün veri setleri olarak sunulmuştur. Bu durum, gelecekteki araştırmalar için değerli birer referans ve test ortamı sağlayarak, yeni algoritmaların ve yaklaşımların karřılařtırılmalđ olarak değerlendirilmesine zemin hazırlamaktadır.

Tüm bu özellikler bir araya geldiğinde, MVCA, MVCP'ye özgün bir merkezilik ölçütü ve deterministik, polinom zamanlı yapısıyla yeni bir perspektif getirmektedir. Diğer agzl algoritmalarına göre daha iyi performans gösterirken, meta-sezgisel algoritmaların hesaplama maliyetlerini ve deterministik olmayan doğasını aşma potansiyeline sahiptir. Bu zellikleriyle MVCA, MVCP'nin üzümünde hem teorik olarak güçlü hem de pratik uygulamalar için verimli ve güvenilir bir alternatif sunmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu bölümde, tez çalışmasının metodolojik çerçevesi kapsamlı bir şekilde sunulmaktadır. Ele alınan problemleri çözmek için hangi veri setlerinin kullanıldığı, bu verilerin nasıl modellendiği, geliştirilen Malatya Vertex Cover Algoritması'nın (MVCA) detaylı işleyişi ve tüm bu süreçlerde faydalanılan teknolojik altyapı ayrıntılarıyla açıklanır.

Çalışmanın bilimsel sağlamlığını ve tekrarlanabilirliğini göstermesi açısından kritik öneme sahip olan bu kısım, okuyucuya "Nasıl yapıldı?" sorusunun yanıtlarını sunar. Verilerin toplanmasından, analitik yaklaşımların seçimine ve algoritmaların uygulanmasına kadar her adım titizlikle ele alınmıştır. Özellikle, gerçek dünya karmaşıklıklarını yansıtan veri setlerinin nasıl soyut çizge modellerine dönüştürüldüğü, bu dönüşümün arkasındaki mantık ve kullanılan araçlar burada detaylandırılacaktır. Ayrıca, MVCA'nın özgün yapısı, merkezilik hesaplama mekanizmasından düğüm seçim stratejisine kadar tüm süreçleriyle adım adım açıklanarak okuyucuya sunulur. Kullanılan her bir yazılım aracı ve kütüphane de iş akışındaki rolleri bağlamında açıklanarak, tezin teknik altyapısı şeffaf bir şekilde ortaya konulur. Bu bölüm, okuyucunun tezin deneysel kısmına geçmeden önce tüm arka planı anlamasını ve metodolojik yaklaşımı kavramasını sağlar.

3.1 Kullanılan Veri Setleri ve Modelleme Süreçleri

Bu tez çalışması, teorik algoritmik yaklaşımların gerçek dünya problemlerine uygulanabilirliğini ve etkinliklerini somutlaştırmak amacıyla iki farklı veri seti üzerinde titiz bir inceleme sunmaktadır. Bu bölümde, ele alınan her bir problemin doğasına uygun olarak seçilen veri setlerinin temin edilme metodolojileri ve bunların çizge teorisinin güçlü modelleme paradigmaları çerçevesinde soyutlanma süreçleri ayrıntılı bir biçimde ele alınacaktır. Ham, dağınık veya karmaşık yapıdaki gerçek dünya verilerini, düğümler (örneğin, kentsel kavşaklar, üniversite binaları) ve kenarlar (bu düğümler arasındaki yollar, iletişim hatları) olarak sistematik bir şekilde soyutlamak, bu araştırmanın temelini oluşturan kritik adımlardan biridir. Bu detaylı modelleme aşaması, seçilen problemlerin matematiksel olarak formüle edilmesine ve geliştirilen algoritmaların bu yapılar üzerinde etkin bir biçimde uygulanmasına olanak tanımıştır.

Veri setlerinin seçimi ve çizge yapısına dönüştürülmesi sürecindeki her bir karar, elde edilecek deneysel sonuçların geçerliliğini ve güvenilirliğini doğrudan etkileyen bir faktör olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle, her iki veri seti için de, verilerin nereden ve hangi yöntemlerle elde edildiği, belirli kriterlere göre nasıl filtreleneceği ve nihayetinde soyut bir çizge modeline dönüştürülürken hangi spesifik kuralların uygulandığı şeffaf ve detaylı bir biçimde açıklanacaktır. Bu şeffaflık, sunulan çözümün dayandığı temelin sağlamlığını vurgulamakla kalmaz, aynı zamanda çalışmanın tekrarlanabilirliğini ve gelecekteki araştırmalar için bir referans noktası olmasını da güvence altına alır. Bu titiz modelleme süreci, karmaşık gerçekliklerin basitleştirilmiş ancak temsili bir matematiksel çerçeveye aktarılmasıyla, algoritmaların pratik potansiyelini maksimize etmeyi hedeflemektedir.

3.1.1 Barcelona ulaşım ağı veri seti ve modellemesi

Barcelona şehir merkezinin ulaşım ağı, bu çalışmada incelenen ilk gerçek dünya veri seti olup, kentsel güvenlik ve trafik yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu veri setinin oluşturulması süreci, Barcelona'nın kendine özgü ve karmaşık sokak ve cadde yapısının Google Earth platformu aracılığıyla detaylı bir şekilde gözlemlenmesiyle başlamıştır. Şehrin ana arterleri, kritik kavşak noktaları ve yoğun bağlantı yolları, bu platform üzerinden titizlikle belirlenmiştir.

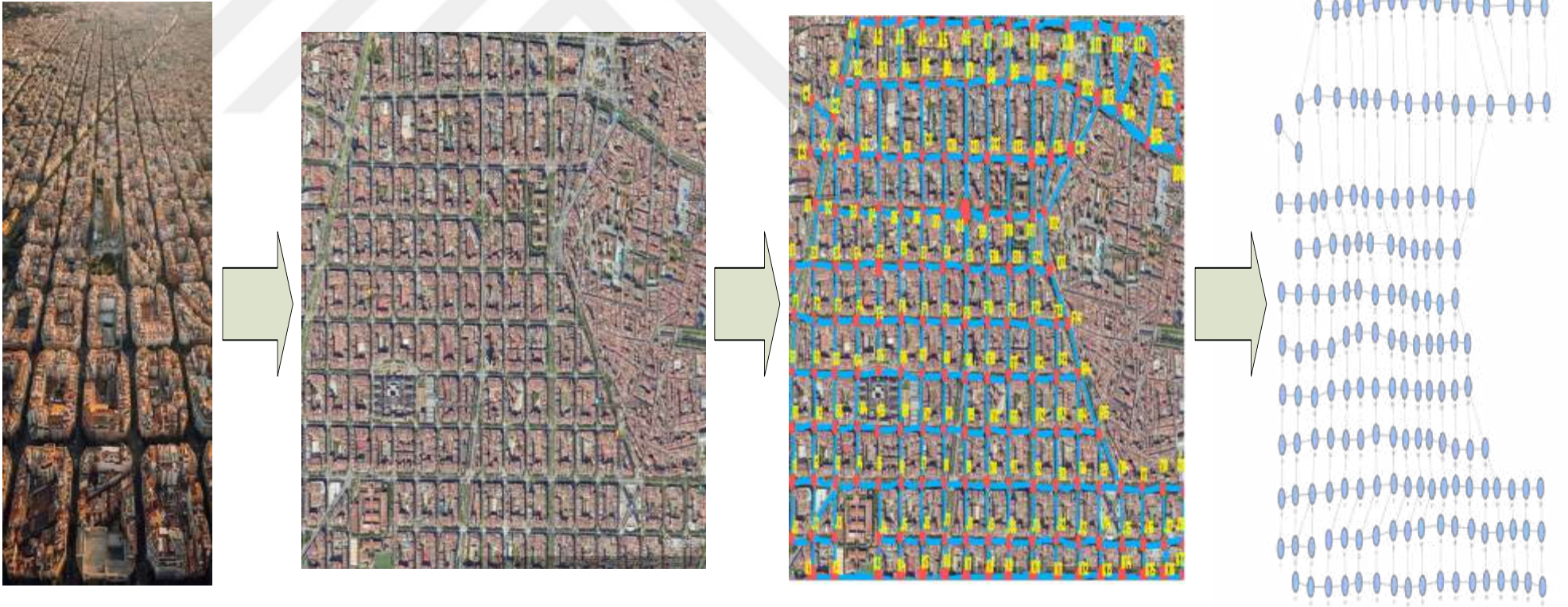
Bu gözlemler sonucunda, belirlenen her bir kavşak noktası, çizge modelimizde soyut bir düğümü temsil ederken; bu kavşakları birbirine bağlayan fiziksel yollar ise çizgenin kenarlarını oluşturmuştur. Ağ, ağırlıksız ve yönsüz bir çizge olarak tasarlanmıştır. Bu tasarım kararı, herhangi bir yöne olan geçişin eşdeğer kabul edildiği ve yolların belirli bir trafik yükü veya maliyet taşımadığı varsayımına dayanmaktadır. Bu modelleme yaklaşımı, özellikle güvenlik kameralarının veya trafik sensörlerinin konumlandırılması gibi problemlerde, tüm yolların veya geçiş noktalarının eşit derecede gözetlenmesi gereken senaryolar için uygun ve genellenebilir bir soyutlama sunmuştur.

Elde edilen bu Barcelona ulaşım ağı çizgesi, toplam 169 düğüm ve belirli sayıda kenardan oluşmaktadır. Bu özgün ve somut veri seti, geliştirilen Malatya Vertex Cover Algoritması'nın (MVCA) kentsel ölçekteki performansını ve gerçek dünya problemlerine uygulanabilirliğini değerlendirmek için ideal bir zemin sağlamıştır. Verilerin Google Earth üzerinden görsel olarak işaretlenmesi ve ardından R programlama dilinde igraph kütüphanesi

kullanılarak sayısal bir çizge yapısına aktarılması, çalışmanın temel ve kritik adımlarından birini oluşturmuştur. Bu süreç, karmaşık coğrafi konumların soyut bir matematiksel modele dönüştürülmesini sağlayarak, algoritmik analizler için uygun bir yapı kazandırmıştır. Şekil 1'de bu modelleme sürecinin görsel bir temsili sunulmaktadır. Bu şekil, Barcelona şehir merkezinin belirlenen düğümler ve kenarlar aracılığıyla bir çizge olarak nasıl soyutlandığını net bir biçimde gözler önüne sermektedir.



Graph Modeling Process



Şekil 1. Barcelona Şehir Merkezi Süreci Grafiği

3.1.2 İnönü üniversitesi kampüs ağı veri seti ve modellemesi

İnönü Üniversitesi yerleşkesi, tez çalışmasının ikinci ve oldukça özgün uygulama alanını temsil etmektedir. Kampüsün dinamik yapısı ve yoğun öğrenci/personel kullanımı, kablosuz ağ altyapısının verimli planlanmasını hayati kılmaktadır. Bu veri setinin oluşturulması sürecinde, kampüs içindeki tüm bina ve tesisler Google Earth aracılığıyla detaylı bir şekilde işaretlenmiştir. İşaretlenen her bir bina veya tesis, çizgenin bir düğümünü ifade etmektedir. Binalar arasındaki ilişkiler ve potansiyel kablosuz bağlantılar ise kenar olarak ele alınmıştır. Bu modellemede, kablosuz erişim noktalarının kapsama alanı göz önünde bulundurulmuştur. Her bir bina için 75 metrelik bir yarıçapta dairesel bir kapsama alanı varsayılmıştır. Bu mesafe, kampüse konumlandırılacak kablosuz cihazların optimum kapsama alanını temsil etmektedir. Çizgenin oluşturulması esnasında, birbirine teğet olan veya kapsama alanları kesişen daireler, bu binalar arasında bir düğüm-kenar ilişkisini temsil edecek şekilde düzenlenmiştir. Bu yaklaşım, belirli bir mesafe içindeki düğümlerin birbirine bağlı olduğunu varsayan bir çizge türü olan Unit Disk çizgelerden esinlenilmiştir. Kampüsteki toplam 53 bina düğüm olarak tanımlanmış ve bu düğümler arasında 77 adet kenar belirlenerek kampüsün bağlantı yapısı modellenmiştir. Bu modelleme, R programlama dili ve igraph kütüphanesi kullanılarak sayısal bir çizge yapısına dönüştürülmüştür. Bu özgün veri seti, Malatya Vertex Cover Algoritması'nın (MVCA) kablosuz sensör ağları gibi spesifik altyapı dağıtım problemlerindeki etkinliğini test etmek için benzersiz bir zemin sağlamıştır.

3.2 Kullanılan Teknolojiler ve Programlama Ortamı

Tez çalışması boyunca, veri toplama, çizge modelleme, algoritma geliştirme, analiz ve görselleştirme gibi her aşamada çeşitli teknolojik araçlar ve programlama ortamları titizlikle kullanılmıştır. Modern araştırma projelerinde, doğru araçların seçimi ve etkin kullanımı, çalışmanın başarısı ve elde edilen sonuçların güvenilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, tezde faydalanan her bir yazılım ve kütüphanenin, araştırmanın spesifik gereksinimlerini nasıl karşıladığı ve neden tercih edildiği aşağıda detaylı bir biçimde açıklanmaktadır.

Coğrafi veri toplama ve görselleştirme süreçlerinde Google Earth'ten yoğun biçimde faydalanılmıştır. Barselona ve İnönü Üniversitesi kampüslerinin gerçek dünya coğrafi yapıları bu araç sayesinde detaylıca analiz edilmiş, kritik noktalar (kavşaklar, binalar) hassas bir şekilde

işaretlenmiştir. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve hassas ölçüm araçları, ağ modellerinin gerçeğe uygun bir biçimde oluşturulması için temel bir zemin sağlamıştır. Gerçek dünya konumlarını dijital bir harita üzerinde kolayca işaretleme ve bu işaretleri koordinat bazında kaydetme yeteneği, çizge düğümlerini tanımlama sürecini büyük ölçüde kolaylaştırmıştır.

Algoritma geliştirme, veri analizi, çizge modelleme ve istatistiksel işlemler için ise R programlama dili tercih edilmiştir. R, özellikle istatistiksel hesaplama ve çizgesel görselleştirme yetenekleriyle bilimsel araştırmalar için güçlü bir ortam sunmaktadır. Açık kaynak kodlu olması, geniş bir topluluğa sahip olması ve çok sayıda kütüphane desteği sağlaması, Malatya Vertex Cover Algoritması gibi karmaşık algoritmaların uygulanması ve büyük veri setlerinin işlenmesi için ideal bir platform haline getirmiştir. Algoritmanın tüm kodlaması R dilinde gerçekleştirilmiştir.

R ekosisteminin en güçlü çizge teorisi kütüphanelerinden biri olan igraph, tez çalışmasında çizge yapılarını oluşturmak, düğüm ve kenar manipülasyonlarını gerçekleştirmek, temel çizge özelliklerini (derece, merkezilik ölçümleri) hesaplamak ve çizge algoritmalarını uygulamak amacıyla kullanılmıştır. Hem Barselona hem de İnönü Üniversitesi kampüs ağlarının matematiksel çizge modelleri igraph kütüphanesi aracılığıyla tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Bu kütüphane, büyük ölçekli çizgeler üzerinde bile yüksek performans sunarak karmaşık ağ analizlerinin verimli bir şekilde yapılmasını sağlamıştır.

Çizge modellerinin ve algoritma sonuçlarının interaktif bir şekilde görselleştirilmesi ihtiyacı, visNetwork kütüphanesinin kullanımını zorunlu kılmıştır. Bu kütüphane, oluşturulan çizge ağlarını dinamik olarak yakınlaştırma, kaydırma ve düğümlerle etkileşime geçme imkanı sunmuştur. Özellikle algoritma sonrası filtrelenmiş çizgenin (tezdeki Şekil 9'da turuncu düğümlerle gösterildiği gibi) görselleştirilmesi, elde edilen sonuçların daha anlaşılır ve etkileyici bir biçimde sunulmasına olanak tanımıştır. Karmaşık ağ yapılarını kullanıcı dostu bir arayüzle göstermek, analizin yorumlanmasını büyük ölçüde kolaylaştırmıştır.

Son olarak, tez kapsamında elde edilen sonuçların, özellikle router konumlandırma stratejisinin, interaktif bir web uygulaması üzerinden sunulabilmesi için shiny kütüphanesine başvurulmuştur. Shiny, R dilinde yazılan kodların kolayca web tabanlı arayüzlere dönüştürülmesini sağlamıştır. Bu, belirlenen optimal konumların gerçek harita üzerinde

gösterilmesi ve kullanıcıların bu verilere interaktif bir şekilde erişebilmesi için değerli bir araç olmuştur. Gelecekteki potansiyel pratik uygulamalar için bir prototip oluşturma açısından da önemli bir rol oynamıştır. Belirtilen bu teknolojilerin entegre ve uyumlu kullanımı, tez çalışmasının hem metodolojik sağlamlığını pekiştirmiş hem de elde edilen sonuçların pratik uygulanabilirliğini artırmıştır.

3.3 Malatya Vertex Cover Algoritması'nın Detaylı Açıklaması

Bu bölümde, tez çalışmamızın özünü oluşturan Malatya Vertex Cover Algoritması (MVCA)'nın teorik temelini, işleyiş mantığını ve uygulama adımlarını ayrıntılı bir şekilde ele alıyoruz. MVCA, Bilgisayar Bilimleri'nin temel zorluklarından biri olan Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP) için özel olarak geliştirilmiş, Malatya Merkezilik (Malatya Centrality - MC) ölçütünü esas alan yenilikçi bir sezgisel algoritmadır. Bilindiği üzere, MVCP NP-tam bir problem olup, bu tür problemler için büyük ve karmaşık gerçek dünya ağlarında kesin optimal çözümü polinom zamanda bulmak pratik olarak imkansızdır. İşte tam da bu noktada, MVCA bir yaklaşık çözüm sunarak, büyük ölçekli ağlarda dahi pratik ve uygulanabilir bir optimizasyon aracı olarak öne çıkmaktadır.

MVCA, iteratif bir süreçle çalışır ve her adımda, ağın o anki durumu içindeki en kritik düğümü belirleyerek bunu çözüm kümesine ekler. Bu iteratif seçim mekanizması, tepe örtüsünün boyutunu minimize etmeyi hedeflerken, aynı zamanda çizgenin genel bağlantı yapısının etkin bir şekilde kapsanmasını sağlar. Algoritmanın temel özgünlüğü, klasik açgözlü yaklaşımların genellikle yalnızca düğümlerin derece merkeziliğine, yani doğrudan bağlantı sayılarına odaklanmasının aksine, düğüm seçiminde daha derinlemesine bir merkezilik ölçütü kullanmasından kaynaklanmaktadır. MVCA, sadece en çok kenarı olan düğümleri değil, aynı zamanda bu düğümlerin bağlı olduğu komşu düğümlerin ağdaki genel önemini de dikkate alarak daha stratejik kararlar almasına olanak tanır. Bu sayede, daha küçük bir tepe örtüsü boyutu elde etme potansiyeli sunar, ki bu da kaynak optimizasyonu gerektiren gerçek dünya problemlerinde hayati bir avantajdır. Algoritmanın bu seçici yaklaşımı, kaynakların daha akılcı ve verimli bir biçimde tahsis edilmesine imkan tanır.

3.3.1 Düğüm merkezilik değeri hesaplanması

Malatya Vertex Cover Algoritması'nın ilk ve en kritik aşaması, çizgedeki her bir düğüm için Malatya Merkezilik (MC) değerinin hesaplanmasıdır. Malatya Merkezilik, geleneksel merkezilik ölçümlerinden ayrışarak, bir düğümün yalnızca kendi bağlantı sayısını (derecesini) değil, aynı zamanda bu düğüme doğrudan bağlı olan komşu düğümlerin derecelerini de ağırlıklı olarak değerlendirir. Bu yaklaşım, bir düğümün ağdaki "etki alanını" ve "bağlantı kalitesini" daha kapsamlı bir şekilde yansıtan nüanslı bir ölçüt sunar. Matematiksel olarak, bir düğüm (u) için Malatya Merkezilik değeri ($MC(u)$), o düğümün her bir komşu düğümü (v) için, komşu düğümün derecesinin ($derece(v)$) kendi derecesine ($derece(u)$) oranlarının toplamından oluşur. Bu, aşağıdaki formülasyonla ifade edilebilir: [29]

$$\Psi(v_i) = \sum_{\forall v_j \in N(v_i)} \frac{d(v_i)}{d(v_j)} \quad (3.4)$$

Burada, $N(u)$, u düğümünün komşular kümesini ifade eder. Bu formül, bir düğümün g   li komşulara sahip olmasının (yani yüksek dereceli komşulara sahip olmasının) onun Malatya Merkezilik değerini artırdığını gösterir. Örneğin, bir düğümün kendisi yüksek dereceli olmasa bile, çok yüksek dereceli komşulara sahip olması, onun ağdaki stratejik önemini artırabilir. Bu tür düğümler, bilgi akışında veya kaynak dağıtımında kritik rol oynayabilir. Malatya Merkezilik değeri hesaplaması, algoritmanın bir sonraki adımımda hangi düğümlerin tepe örtüsü için en uygun aday olduğunu belirlemede temel teşkil eder. Bu detaylı merkezilik analizi, sadece yerel bağlantı sayısına odaklanan basit a g  zl  yaklaşımların ötesine geçerek, daha nüanslı ve optimize edilmiş çözümler üretilmesine olanak tanır. Her iterasyonda, mevcut çizgedeki düğümlerin MC değerleri yeniden hesaplanır, bu da algoritmanın dinamik ağ yapılarına adaptasyonunu sağlar.

3.3.2 Örtü düğümleri seçimi mekanizması

Malatya Vertex Cover Algoritması'nın (MVCA) ikinci ve sürekli tekrar eden aşaması, hesaplanan Malatya Merkezilik değerlerine dayanarak tepe örtüsü için düğüm seçim mekanizmasını içerir. Bu aşama, algoritmanın iteratif doğasını ve optimal bir çözüm kümesine ulaşma stratejisini ortaya koymaktadır. Süreç, sistematik bir şekilde ilerler: Her iterasyonun başında, çizgede hala en az bir kenara sahip olan düğümler arasından, o anki en yüksek Malatya

Merkeziyetlik değeriye sahip olan düğüm (d_{max}) tespit edilir. Bu düğüm, mevcut ağ yapısı içerisinde en stratejik veya en etkili kabul edilen noktayı temsil etmektedir. Seçim anındaki dinamik MC değeri, düğümün anlık önemini yansıtır.

Belirlenen d_{max} düğümü, nihai tepe örtüsü kümesine (çözüm kümesine) dahil edilir. Bu küme, tezimizin uygulama alanlarında, kablosuz erişim noktalarının veya güvenlik kameralarının yerleştirileceği optimal konumları temsil edecektir. Ardından, d_{max} düğümü, çizgeden geçici olarak kaldırılır. Ancak, bu adımdan daha da önemlisi, bu düğüme bağlı olan tüm kenarların da çizgeden silinmesidir. Bu kritik adım, seçilen düğümün kapsadığı tüm kenarların artık örtülmüş kabul edildiği anlamına gelir ve bu kenarların daha fazla değerlendirilmesine gerek kalmaz. Bu silme işlemi, problemin her adımda küçülmesini ve çözüme doğru kararlı bir şekilde ilerlemesini sağlar. Algoritmanın verimliliği açısından bu temizleme adımı hayati rol oynar.

Yukarıda açıklanan adımlar, çizgede hiçbir kenar kalmayana kadar iteratif olarak devam eder. Yani, her iterasyonda mevcut çizge durumu için yeni bir d_{max} düğümü seçilir, çözüm kümesine eklenir ve ilgili kenarlar çizgeden silinir. Çizge tamamen boşaldığında (yani tüm kenarlar başarıyla örtüldüğünde), iterasyon süreci durdurulur. İşlem tamamlandığında, çözüm kümesinde biriken düğümler, orijinal çizgenin tüm kenarlarını kapsayan minimum tepe örtüsü problemine bir yaklaşık çözüm sunar. Bu kümedeki düğümlerin sayısı, algoritmanın o çizge için bulduğu minimum sayıda kablosuz erişim noktası veya güvenlik kamerası konumunu ifade eder. Bu seçim mekanizması, Malatya Merkeziyetlik değerinin verdiği kapsamlı ve nüanslı bilgiyle birleşerek, geleneksel ağgözlü algoritmaların yalnızca yerel dereceye odaklanmasının ötesine geçer. Böylece, MVCA daha küçük ve daha optimize edilmiş tepe örtüsü kümesi boyutlarına ulaşma potansiyeli sunar, bu da kaynak verimliliği açısından kayda değer avantajlar sağlar.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölüm, tez çalışmasının en can alıcı kısımlarından birini oluşturmaktadır. Geliştirilen Malatya Vertex Cover Algoritması'nın (MVCA) gerçek dünya veri setleri üzerindeki pratik performansını ve elde edilen somut bulguları detaylıca sunar. Barselona ulaşım ağı ve İnönü Üniversitesi kampüs ağı olmak üzere iki farklı ve özgün senaryo üzerinde gerçekleştirilen uygulamaların sonuçları, kapsamlı analizler eşliğinde burada açıklanacaktır. Her bir uygulama için, MVCA'nın ne kadar etkili olduğu, mevcut durumla veya literatürdeki diğer algoritmalarla (özellikle GMin) karşılaştırıldığında nasıl bir üstünlük sağladığı ve bu bulguların pratik alana yansımaları (maliyet tasarrufu, enerji verimliliği, kapsama alanı optimizasyonu) sayısal verilerle desteklenerek gösterilecektir. Şekil ve çizelgelerle zenginleştirilecek olan bu bölüm, algoritmaların teorik yeteneklerinin gerçek dünya problemlerine nasıl dönüştüğünü somut bir şekilde gözler önüne serecektir. Bu analizler, MVCA'nın sadece akademik bir merak konusu olmadığını, aynı zamanda kentsel planlama, ağ yönetimi ve güvenlik gibi alanlarda gerçek ve ölçülebilir faydalar sunan güçlü bir araç olduğunu kanıtlayacaktır.

4.1 Barselona Ulaşım Ağı Uygulama Sonuçları

Malatya Vertex Cover Algoritması'nın (MVCA) Barselona şehir merkezinin ulaşım ağı veri seti üzerindeki deneysel uygulamalarından elde edilen bulgular bu alt bölümde ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Barselona, karmaşık ve yoğun bir kentsel altyapıya sahip olduğu için, güvenlik kameralarının veya trafik sensörlerinin optimum konumlandırılması gibi MVCP uygulamaları için ideal bir test ortamı sağlamaktadır. Bu bölümde, MVCA'nın ne kadar az düğümlle tüm ağı kapsayabildiği ve bu sonucun, mevcut yöntemlere kıyasla nasıl bir avantaj sağladığı vurgulanacaktır.

Barselona, İspanya'nın en canlı ve kültürel açıdan zengin şehirlerinden biri olarak, her yıl ortalama 10 milyondan fazla turisti ağırlamaktadır. Bu denli yoğun bir insan akını, şehri dinamik bir cazibe merkezi haline getirirken, beraberinde çeşitli kentsel yönetim ve güvenlik zorluklarını da getirmektedir. Özellikle La Rambla, Gotik Mahalle ve Sagrada Familia gibi popüler turistik bölgeler, yılın büyük bir bölümünde aşırı kalabalık olabilmekte, bu durum trafik sıkışıklığı, yankesicilik ve diğer küçük ölçekli suç olaylarının artışına zemin hazırlamaktadır. Örneğin, şehrin bazı bölgelerinde, özellikle turistik sezonlarda, yankesicilik olayları kayda değer oranlarda artış gösterebilmekte, bu da yerel halkın ve turistlerin güvenlik algısını olumsuz

etkilemektedir. Trafik yönetimi ise, dar sokaklar ve yoğun yaya trafiği nedeniyle sürekli bir meydan okuma teşkil etmekte, kazaların ve gecikmelerin önüne geçmek için sürekli izleme ve müdahale gerektirmektedir. Bu güvenlik ve trafik endişeleri, şehrin sivil otoritelerini ve güvenlik birimlerini, kentsel alanların daha etkin bir şekilde denetlenmesi ve yönetilmesi yönünde yeni stratejiler geliştirmeye itmektedir. Geleneksel güvenlik önlemleri ve manuel trafik kontrol yöntemleri, Barselona gibi büyük ve dinamik bir metropolün tüm ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalabilmektedir. Bu noktada, teknolojinin sunduğu imkanlardan yararlanmak hem maliyet etkinliği hem de operasyonel verimlilik açısından kaçınılmaz hale gelmektedir. Akıllı şehir uygulamaları ve yaygın kamera sistemleri, bu tür kentsel problemlerin çözümünde önemli bir potansiyel sunmaktadır. Ancak, böylesine geniş ve karmaşık bir alanda güvenlik kameralarının veya trafik sensörlerinin optimum sayıda ve doğru noktalara yerleştirilmesi hem başlangıç maliyetlerini düşürmek hem de işletme giderlerini minimize etmek açısından kritik bir öneme sahiptir. Aşırı sayıda kamera kullanmak, gereksiz altyapı maliyetleri, yüksek enerji tüketimi ve artan veri depolama gereksinimleri anlamına gelirken; yetersiz sayıda kamera ise kör noktalar oluşturarak güvenlik açıklarına yol açabilir. Bu karmaşık optimizasyon problemi, Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP) gibi matematiksel çerçevelerle ele alınabilir ve bu tür problemlerin çözümü, şehirlerin sınırlı kaynaklarını en verimli şekilde kullanmalarına olanak tanır.

Bu tez çalışması, Barselona gibi yüksek turizm potansiyeline sahip ve dolayısıyla güvenlik endişelerinin ön planda olduğu kentsel bir bölgeyi, gerçek bir ulaşım ağı modeli üzerinde ele alarak, Minimum Tepe Örtüsü Problemi'ne (MVCP) yenilikçi bir çözüm sunma hedefiyle kurgulanmıştır. Şekil 2'de de gösterilen çalışma konusu bölge, şehrin merkezi ve yoğun yaya trafiğine sahip turistik bir mahalledir. Bu analiz bölgesinin kuşbakışı görüntüsü, Şekil 3'te sunulmaktadır. Trafik sıkışıklığı, yankesicilik gibi suçlar ve genel asayişin sağlanması açısından sürekli izleme gereksinimi duymaktadır. Çalışmamızda geliştirilen Malatya Tepe Örtüsü Algoritması (MVCA), bu karmaşık kentsel ağ üzerinde güvenlik kameralarının veya sensörlerin en az sayıda kullanılarak tüm kritik noktaların izlenmesini sağlayacak bir model sunmaktadır.



Şekil 4.1. Barcelona Şehir Merkezi

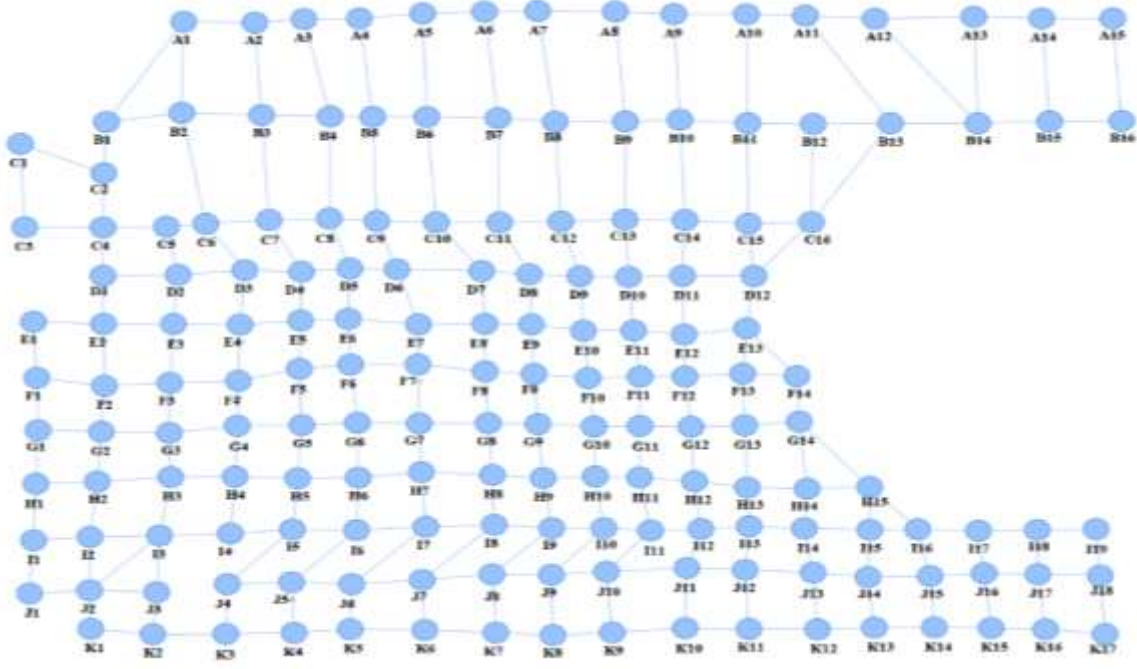


Şekil 4.2. Çalışma konusu yerin kuşbakışı görünümü

Ağın tasarlanması sürecinde, Barselona şehrinin popüler bölgesi ilk olarak Google Earth ile işaretlendi. Bu işaretleme sırasında, kavşakları ve sokakları daha doğru bir şekilde modellemek için kuşbakışı bir görünüm elde edildi. Görüntüdeki her kavşak, çizgenin bir düğümünü temsil eder ve her düğüm arasındaki çizgi, çizgenin kenarlarını temsil eder. Tüm bölge işaretlendikten sonra, her düğüme bir isim verildi. Bu aşamada, çizgenin görsel modeli tamamlandı (Bkz. Şekil 4). Ağın görsel modeli tamamlandıktan sonra, algoritmayı uygulamak için bu çizge R programlama dilinde yeniden modellenmiştir. Malatya Tepe Örtüsü algoritması bu çizgeye uygulandığında elde edilen başlangıç durumu Şekil 5'te gösterilmektedir; algoritma uygulanmadan önce çizgede toplam 169 düğüm bulunmaktadır. Elde ettiğimiz veri seti, igraph, visNetwork ve shiny gibi R kütüphaneleri kullanılarak gerçek harita üzerindeki görüntüye simüle edilmiş ve etkileşimli bir görüntü sağlanmıştır.



Şekil 4.3. Barcelona Çizgesinde Düğümlerin Belirlenmesi



Şekil 4.4. R dilinde çizge modeli

4.1.1 MVCA performansı ve karşılaştırmalı analiz

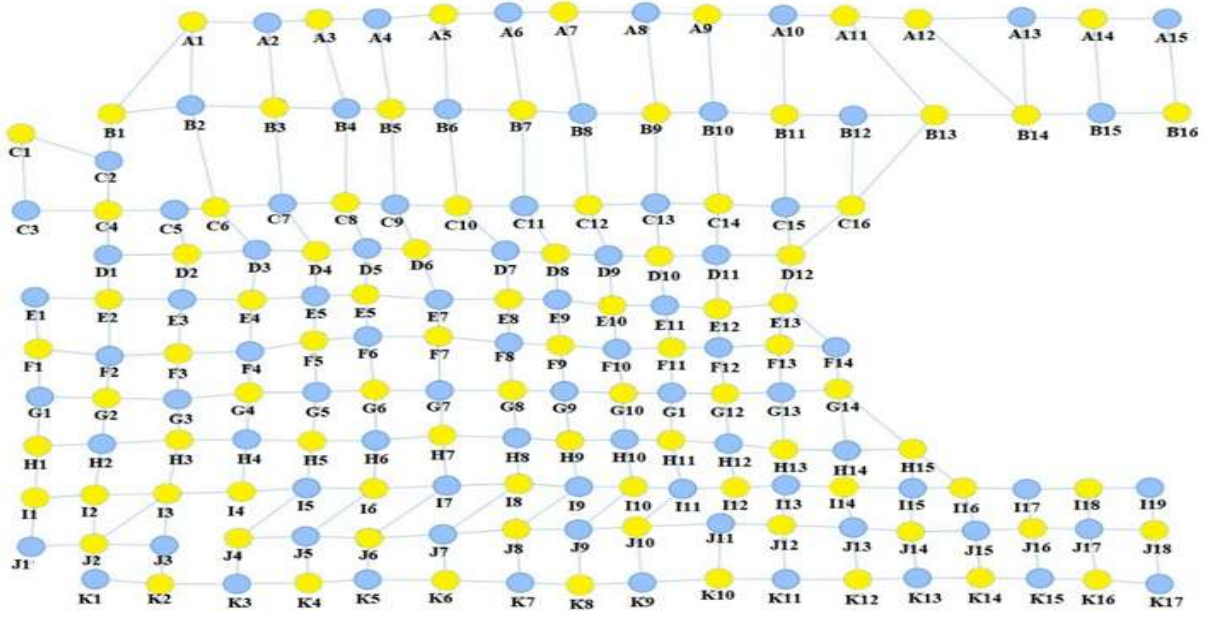
Barselona ulaşım ağı, toplam 169 düğüm ve bu düğümler arasındaki yolları temsil eden kenarlardan oluşmaktaydı. Bu karmaşık ağ üzerinde MVCA uygulandığında, algoritma şaşırtıcı derecede verimli bir sonuç ortaya koymuştur: tüm kenarları kapsayacak şekilde yalnızca 88 düğüm seçilmiştir. Bu 88 düğüm, şehir merkezi için önerilen optimal kamera veya sensör konumlarını temsil etmektedir. Bu bulgu, başlangıçtaki 169 düğüm göz önüne alındığında, yaklaşık %48'lik bir düğüm azaltma oranı anlamına gelmektedir. Bu sonuç, MVCA'nın kaynak optimizasyonundaki üstün potansiyelini açıkça göstermektedir. Elde edilen bu performansın değerlendirilmesi amacıyla, literatürde yaygın olarak kullanılan ve nispeten iyi performans gösteren bir açgözlü algoritma olan GMin ile karşılaştırma yapılmıştır. GMin algoritması, aynı Barselona veri seti üzerinde uygulandığında, tepe örtüsü için 92 düğüm seçmiştir. M. Goldberg ve meslektaşları tarafından geliştirilen GMin, her yinelemede en düşük merkezियete sahip köşeyi bağımsız kümenin bir üyesi olarak seçmek için derece merkezियet değerini kullanır. Seçilen köşe ve komşuları daha sonra çizgeden kaldırılır [25]. Bağımsız küme ve köşe örtüsü arasındaki matematiksel ilişkiyi kullanarak, Maksimum Bağımsız Küme Üyeleri + Minimum Köşe Örtüsü Üyeleri = Toplam Köşe Sayısı [26], Barselona şehrinin ulaşım ağındaki VC konumları belirlenmiştir.

Bu karşılaştırma, MVCA'nın GMin'den 4 düğüm daha az kullanarak daha verimli bir çözüm ürettiğini ortaya koymaktadır. Bu 4 düğümlük fark, büyük ölçekli altyapı projelerinde somut maliyet ve operasyonel faydalara dönüşebilir. Örneğin, her bir kamera veya sensörün kurulum ve bakım maliyetleri düşünüldüğünde, 4 adet daha az cihaz kullanmak önemli bir tasarruf anlamına gelir. Algoritma uygulanmadan önce çizgedeki 169 düğümün Malatya Tepe Örtüsü algoritması uygulanırken kriter olarak alınan merkezilik değerlerine göre seçilen düğümler Tablo 1'de özetlenmiştir. Bu analiz, MVCA'nın sadece bir çözüm üretmekle kalmayıp, aynı zamanda mevcut standartlara kıyasla daha optimal veya ideale yakın çözümler sunma yeteneğini de kanıtlamaktadır. Seçilen bu 88 düğüm, Şekil 4.5'te " Algoritmanın seçtiği düğümler " başlığı altında farklı sarı renklerle renklendirilerek vurgulanmıştır. Bu 88 seçilen düğüm, çizgenin tüm kenarlarını kapsayarak, güvenlik kameralarının sadece bu belirlenen sarı düğümlere konumlandırılmasıyla yaklaşık %50 oranında enerji ve maliyet tasarrufu potansiyeli sunmaktadır.

Çizelge 4.1. Malatya Vertex Cover algoritması uygulanırken kriter olarak alınan merkeziyet değerlerine göre seçilen düğümleri göstermektedir. Çizgeden toplam 89 düğüm elde edilmiştir.

A1	A3	A5	A7	A9	A11	A12	A14
B1	B3	B5	B7	B9	B11	B13	B14
C1	C4	C6	C8	C10	C12	C14	C16
D2	D4	D6	D8	D10	D12	E2	E4
E6	E8	E10	E12	E13	F1	F3	F5
F7	F9	F11	F13	G2	G4	G6	G8
G10	G12	G14	H1	H3	H5	H7	H9
H11	H13	H15	I1	I3	I4	I6	I8
I10	I12	I14	I16	I18	J2	J4	J6
J8	J10	J12	J14	J16	J18	K2	K4
K6	K8	K10	K12	K14	K16		

Çizelge 4.1. Örnek çizgede algoritma tarafından seçilen düğümler



Şekil 4.5. Barcelona Çizgesi için Algoritmanın Seçtiği Dğümler

4.1.2 Maliyet ve enerji tasarrufu analizi

Malatya Vertex Cover Algoritması (MVCA) tarafından Barselona ulaşım ağı için belirlenen 88 optimal konum, sadece algoritmik bir başarı olmaktan öte, pratik uygulamalar için önemli maliyet ve enerji tasarrufu potansiyeli taşımaktadır. Geleneksel yaklaşımlar veya daha az optimize edilmiş algoritmalar, tüm kentsel alanı kapsamak için çok daha fazla güvenlik kamerası veya trafik sensörü yerleştirmeyi gerektirecektir. Her bir kamera veya sensörün satın alma, kurulum, bakım ve operasyonel enerji tüketimi gibi önemli maliyetleri bulunmaktadır. MVCA'nın yaklaşık %50 oranında daha az düğümlerle tüm ağı kapsaması, bu donanım ve işletme maliyetlerinde benzer oranda bir düşüş anlamına gelmektedir. Örneğin, her bir kameranın ortalama maliyetinin X TL/dolar olduğu düşünüldüğünde, 92 düğüm yerine 88 düğüm kullanmak, $(92-88) * X = 4X$ tutarında doğrudan bir tasarruf sağlar. Uzun vadede ise bu cihazların elektrik tüketimi ve periyodik bakımları düşünüldüğünde, sağlanan enerji verimliliği çevresel ve ekonomik açıdan sürdürülebilirliğe büyük katkıda bulunur. Daha az cihazın devreye alınması, aynı zamanda daha az teknik personel ihtiyacı, daha basit bir ağ yönetimi ve daha düşük arıza potansiyeli gibi dolaylı faydaları da beraberinde getirir. Özellikle kentsel alanlarda, bütçe kısıtlamaları ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri göz önüne alındığında, MVCA'nın sunduğu bu maliyet-etkin çözüm, akıllı şehir uygulamaları ve kentsel güvenlik stratejileri için

somut ve ölçülebilir bir avantaj sunmaktadır. Bu analiz, MVCA'nın sadece teorik bir gelişme değil, aynı zamanda pratik dünya problemlerine uygulanabilir ve ekonomik olarak avantajlı bir çözüm sunduğunu net bir şekilde göstermektedir. Popüler turistik bölgelerde, turistlerin daha güvenli seyahat edebilmesi ve olası hırsızlık vb. olayların izlenebilmesi için her bölgede güvenlik kameralarının kurulması gerekmektedir. Bu kameraların bölgenin tüm kavşaklarına kurulması ve bölgenin izlenmesi oldukça maliyetli olacaktır. Ancak bu konu, bu çalışmada titizlikle ele alınmıştır. Malatya Vertex Cover algoritması sayesinde, sınırları belirlenen bölge için başlangıçta 169 kavşak noktası tespit edilmiş, ancak algoritmanın uygulanmasıyla bu sayı 88'e indirilmiştir. Bu sayede, bölge normalden çok daha az kamera ile izlenebilmektedir. Hem maliyet hem de enerji tasarrufu sağlanmıştır. Kullanılan ulaşım ağı Barselona şehrine aittir ve literatürde daha önce incelenmemiştir. Ayrıca, Malatya Vertex Cover algoritması kullanılarak bu bölgede ilk kez böyle bir analiz yapılmıştır. Dünyada bu tür turistik bölgelerin çok sayıda olduğu düşünüldüğünde, bu çalışma diğer bölgeler için de yol açmış ve çalışma farklı sektörler ve paydaşlarla başka amaçlar için genişletilebilir.

4.2 İnönü Üniversitesi Kampüs Ağı Uygulama Sonuçları

Bu bölümde, Malatya Vertex Cover Algoritması'nın (MVCA) İnönü Üniversitesi kampüs ağı üzerindeki deneysel uygulamalarından elde edilen bulgular ayrıntılı olarak ele alınacaktır. Geniş bir yerleşkeye sahip olan İnönü Üniversitesi, kesintisiz kablosuz internet (Wi-Fi) erişimi sağlama ve ağ altyapısını optimize etme konularında önemli zorluklarla karşılaşmaktadır. MVCA'nın bu özgün senaryoda kablosuz erişim noktalarının (router) konumlandırılmasına nasıl bir çözüm sunduğu ve bunun pratik faydaları bu kısımda tartışılacaktır. Bu çalışmada, İnönü Üniversitesi yerleşkesindeki tüm bina ve tesislerin birbiriyle haberleşmesi için gereken kablosuz erişim noktalarının en az sayıda kullanılması hedeflenmiştir. Kampüs içerisindeki kablosuz erişim noktalarının yerleştirilmesi için, bu alanda ve bu özgün kampüs ağında daha önce kullanılmamış olan Malatya Vertex Cover yöntemi benimsenmiştir. Literatürdeki araştırmalar, bu yöntemin birçok çizge türünde başarılı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Kablosuz Sensör Ağları (WSN), belirli bir coğrafi bölgede bir ağ içinde gruplanmış, küçük, kendi kendini organize edebilen, otonom çalışan ve genellikle telsizle haberleşen akıllı sensör

cihazlarıdır. Kullanım şekilleri ve amaçlarındaki farklılıklara rağmen, bu cihazların ortak özelliği sınırlı kaynaklara sahip olmalarıdır. Bu sınırlı özellikler temel olarak küçük fiziksel boyutlar, düşük güç kaynakları, kısa radyo menzili, küçük bellek kapasitesi, ağı diğer kısımları hakkında bilgi eksikliği ve basit iletişim yetenekleri olarak özetlenebilir [1]. Diğer yandan, çizgeler matematik ve bilgi sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir veri yapısı modelidir [2]. Birçok optimizasyon problemi çizgelerle modellenebilir. Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVC), çizge teorisinin anahtar sorunlarından biridir ve bir çizgenin tüm kenarlarının en az düğüm sayısı ile ne kadar iyi “örtülebileceğinin” belirlenmesi problemidir. Minimum Tepe Örtüsü Problemi bir optimizasyon problemi olduğundan, bu problemi çözmek için birçok algoritma ve yaklaşım önerilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, İnönü Üniversitesi yerleşkesindeki tüm binalar arasında bir ağ bağlantısı oluşturmak üzere minimum sayıda Kablosuz Sensör Ağı kullanılmasıyla cihaz kurulumlarının hangi binalarda olması gerektiği belirlenmeye çalışılmıştır. Tasarlanan kampüs ağı bir çizge olarak modellenmiş ve özgün bir veri seti oluşturulmuştur. Problemin çözümü için literatüre yeni eklenen Malatya Vertex Cover algoritması tercih edilmiştir. Malatya Vertex Cover algoritması iki önemli aşamadan oluşur: Düğüm merkezlik değerinin hesaplanması ve örtü düğümlerinin seçimi. Merkezlik değeri Malatya Merkezlik algoritması ile hesaplanmaktadır. Algoritma, çizgedeki her bir düğümün komşu düğümlerinin derecelerine oranlarının toplamından oluşur. İkinci adım ise tepe noktası örtüsü için bir düğüm seçimi problemidir. Çizgedeki düğümlerden Malatya Merkezlik Değeri en büyük olan düğüm seçilip çözüm kümesine eklenir. İlgili tepe noktası ve kenarlar çizge üzerinden kaldırılır. Bu aşamalar iteratif olarak devam eder. İşlem tamamlandığında Minimum Tepe Örtüsü Problemi için çözümü oluşturan gerekli düğüm kümesi belirlenmiş olur [10]. Yöntem daha önce özel ve küçük yapay çizgiler üzerinde test edilmişti. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, Kablosuz Sensör Ağlarının hangi konumlara kurulacağı bilgisi tespit edilmiştir. Bu sayede her binada Kablosuz Sensör Ağı kurmak yerine minimum sayıda bina için kurulum yapılarak kampüs içerisindeki tüm binalar arasında ağ oluşturulmuştur.

Çalışmada, İnönü Üniversitesi yerleşkesindeki tüm binaların bir çizge modeli oluşturulmuştur. Bu modelleme için görsel tarafta Google Earth programı kullanılırken, arka planda igragh kütüphanesi ile sayısal olarak ağ tasarlanmıştır. Modellenen çizge üzerinde Malatya Vertex Cover algoritması uygulanmıştır. Algoritma R programlama dili ile kodlanmıştır. Yöntemlerin uygulanması sonrasında elde edilen vertex cover üyeleri, binaların

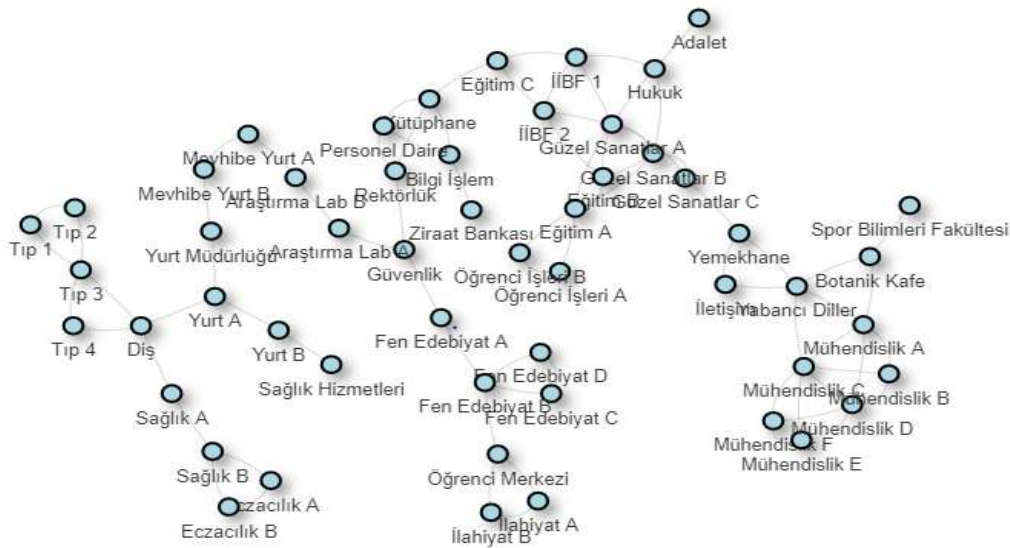
sensör ağı kurulumları için uygun lokasyonları ifade etmektedir. Sonuçlar kapsamlı bir şekilde analiz edilecek, ihtiyaç halinde yöntemlere ek geliştirmeler yapılacak veya çizge ağının modellenmesi yenilenecektir. Tasarlanan yerleşke çizgesi ve kullanılan algoritmaların gerçek saha verilerine ilk defa uygulanması çalışmayı özgün kılan iki önemli faktördür. Şekil 7'de, Google Earth ile elde edilen modelimiz görülmektedir. Bu modelde her bina için 75m yarıçapında daireler ile işaretlenmiştir. 75m'lik mesafe, binalara konumlandırılacak olan kablosuz cihazların kapsama alanını ifade etmektedir. Bu model oluşturulduktan sonra R programlama dili ile bu model, bir veri yapısı olan çizgeye aktarılmıştır.



Şekil 4.6. İnönü Kampüsü için Google Earth üzerinde oluşturulan model

Şekil 4.7'de ise kapsama alanı kesişen düğümlerin ve bağıntılarının oluşturulduğu çizge gösterilmiştir. Çizgenin oluşturulması esnasında her bir düğüm, üniversitede işaretlenen bir binayı temsil edecek şekilde düzenlenmiştir. Unit Disk çizgelerden esinlenilmiştir.

Böylece birbirine teğet olan her daire birer düğüm-kenar ilişkisini temsil edebilmiştir.



Şekil 4.7. Kampüsdeki binaların çizgesel hali

4.2.1 MVCA performansı ve kapsama alanı analizi

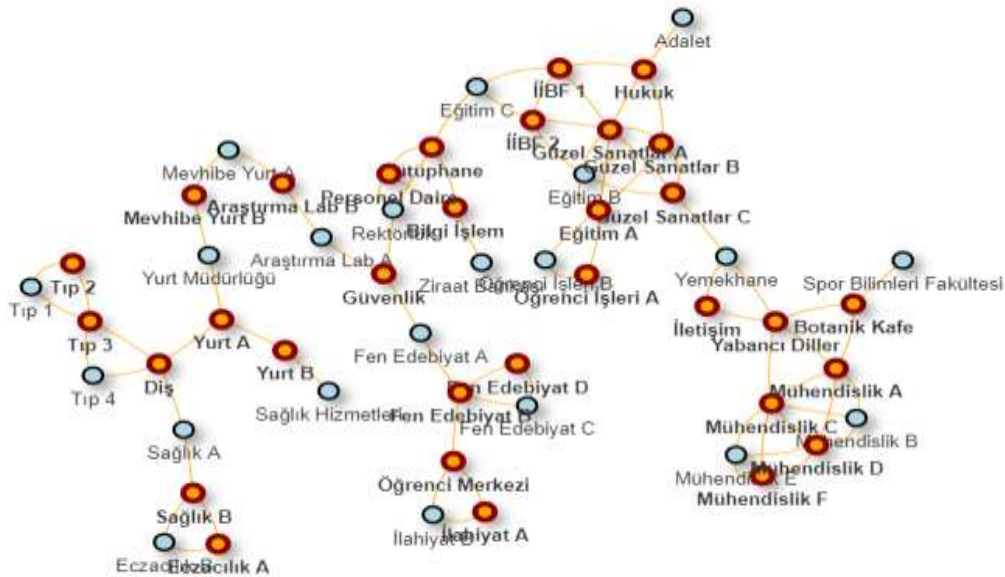
İnönü Üniversitesi kampüs ağı, bu tez çalışmasında ele alınan ikinci önemli gerçek dünya veri setini temsil etmektedir. Kampüsün karmaşık yapısal özelliklerini yansıtan bu ağ, toplam 53 bina ve bu binalar arasındaki potansiyel kablosuz iletişim kanallarını simgeleyen 77 kenardan oluşan özgün bir çizge modeli olarak tasvir edilmiştir. Her bir binanın yaklaşık 75 metre yarıçapında bir kablosuz kapsama alanına sahip olduğu varsayımıyla oluşturulan bu kapsamlı ağ üzerinde Malatya Vertex Cover Algoritması (MVCA) uygulandığında, algoritma, tüm kampüsün kesintisiz ve etkin bir şekilde kapsanmasını sağlayacak şekilde yalnızca 32 optimal düğüm belirlemiştir. Bu seçilen 32 düğüm, kampüs genelinde yüksek performanslı kablosuz erişim noktalarının (router'lar veya Wi-Fi antenleri) stratejik olarak yerleştirilmesi gereken en uygun konumları işaret etmektedir.

Başlangıçtaki 53 binanın yaklaşık %60'ına denk gelen bu sayı, MVCA'nın kaynak optimizasyonu konusunda sergilediği üstün başarıyı net bir şekilde ortaya koymaktadır. Algoritmanın temel hedefi, minimum sayıda kablosuz erişim noktası kullanarak (yani en az düğüm seçimiyle), kampüs alanının tamamının (yani tüm kenarların) güvenilir bir kablosuz sinyal ile kapsanmasını güvence altına almaktır. Bu optimizasyon süreci, geleneksel

yöntemlerle her binaya ayrı ayrı erişim noktası yerleştirilmesi gibi maliyetli ve kaynak israfına yol açabilecek yaklaşımlara kıyasla çok daha verimli ve akılcı bir çözüm sunar.

Algoritma, binalar arasındaki bağlantı yoğunluğunu ve mevcut kablosuz kapsama alanı kesişimlerini detaylı bir şekilde analiz ederek, her bir düğümün ağdaki kritik rolünü titizlikle belirlemektedir. Bu sayede, gereksiz donanım kurulumlarının önüne geçilmekle kalmaz, aynı zamanda ağ altyapısının genel verimliliği de artırılır. Şekil 9'da turuncu renkle işaretlenmiş olan bu 32 düğüm, algoritmanın belirlediği stratejik noktaları görsel olarak çarpıcı bir biçimde gözler önüne sermektedir. Bu görselleştirme, seçilen konumların ağın genel yapısına nasıl entegre olduğunu ve maksimum kapsama alanını en az maliyetle nasıl sağladığını anlamak için kritik bir referans noktasıdır.

MVCA'nın bu üstün performansı, özellikle kısıtlı bütçeli eğitim kurumları veya benzeri büyük alan projelerinde önemli maliyet ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Daha az sayıda cihazla geniş kapsama alanı sunulması, sadece ilk kurulum maliyetlerini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda uzun vadeli işletme ve bakım giderlerini de minimize eder. Bu durum, kampüs güvenliğini artırma (kamera yerleşim optimizasyonu), ağ altyapısını optimize etme (Wi-Fi kapsama) veya enerji verimliliğini iyileştirme gibi çeşitli alanlarda somut ve ölçülebilir faydalar sunarak, akıllı ve sürdürülebilir bir altyapı yönetiminin anahtarını sunar.



Şekil 4.8. Algoritma sonrası filtrelenmiş çizge

4.2.2 Router konumlandırma stratejisi ve pratik faydaları

Malatya Vertex Cover Algoritması (MVCA) tarafından İnönü Üniversitesi kampüs ağı için belirlenen 32 optimal düğüm, modern eğitim ortamlarının vazgeçilmez bir gerekliliği olan kesintisiz ve yüksek kaliteli bir kablosuz internet (Wi-Fi) hattı sağlamak adına kritik bir konumlandırma stratejisi sunmaktadır. Öğrencilerin ders çalışma süreçlerinden araştırmacıların veri aktarımına, tüm akademik ve idari personelin kesintisiz iletişimine kadar güçlü ve güvenilir bir ağ altyapısı hayati öneme sahiptir. MVCA'nın belirlediği bu düğümler, router'ların veya diğer kablosuz erişim noktalarının yerleştirileceği stratejik merkezleri temsil etmektedir. Bu bilimsel ve verimlilik odaklı stratejik yerleşim, geleneksel deneme-yanılma yöntemleriyle veya sezgisel yaklaşımlarla yapılan konumlandırmalara kıyasla çok daha üstündür.

Algoritmamız, ağ topolojisinin matematiksel yapısını derinlemesine analiz ederek, her bir düğümün ağdaki kritik rolünü ortaya koyar. Bu sayede, yalnızca en az sayıda cihazla maksimum kapsama alanı sağlanmakla kalmaz, aynı zamanda ağ trafiğinin etkin bir şekilde yönetilmesine ve sinyal kalitesinin optimize edilmesine de olanak tanır. Her bir router, kendisine en yakın olan ve algoritma tarafından kapsanması gereken tüm "kenarları"—yani binalar arası geçişleri, öğrenci yoğunluklu açık alanları veya önemli yaya yollarını—kapsayacak şekilde akıllıca konumlandırılır. Bu sayede, ağdaki sinyal kesintileri minimize edilir, veri aktarım hızları optimize edilir ve genel kullanıcı deneyimi önemli ölçüde iyileştirilir. Örneğin, yoğun derslik bölgeleri, kütüphane, yurtlar ve açık hava ortak kullanım alanları gibi kampüsün kilit noktaları, bu belirlenen düğümler sayesinde herhangi bir sinyal zayıflığına uğramadan yüksek kalitede bağlantı imkânı sunar. Tablo 2'de listelenen bu seçilmiş lokasyonlar, gereksiz donanım maliyetlerinin (daha az router alımı) önüne geçerek önemli tasarruf sağlarken, aynı zamanda enerji tüketimini de düşürerek sürdürülebilir bir ağ altyapısı kurulmasına katkıda bulunur. Kısacası, MVCA'nın belirlediği bu optimal konumlar, üniversite yerleşkesi genelinde modern ve kesintisiz bir iletişim ortamının temelini oluşturan akıllı bir ağ dağıtım planının anahtarıdır. Bu özgün kampüs çizgesi ve literatüre yeni kazandırılan MVCA'nın gerçek dünya problemine ilk kez uygulanması, çalışmayı bilimsel açıdan önemli kılmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar, MVCA'nın başka ağ problemlerine uygulanabilirliğinin de değerlendirilmesi için zemin hazırlamaktadır. İlerleyen süreçlerde çalışmanın genişletilerek algoritmanın ulaşım ağı gibi başka çizge problemlerine de uygulanabilirliği araştırılacaktır.

Çizelge 4.2. Kampüs network’de seçilen lokasyonlar

Güzel Sanatlar A	Mühendislik C	Fen Edebiyat B	Mühendislik D	Tıp 3
Yabancı Diller	Eğitim A	Güvenlik	Kütüphane	Diş
Sağlık B	Hukuk	Güzel Sanatlar C	İİBF 2	Mühendislik A
Bilgi İşlem	Araştırma Lab B	Mevhibe Yurt B	Yurt A	Öğrenci Merkezi
Mühendislik F	Botanik Kafe	İletişim	Güzel Sanatlar B	İİBF 1
Öğrenci İşleri A	Personel Daire	Fen Edebiyat D	Yurt B	Eczacılık A
Tıp 2	İlahiyat A			

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu son bölümde, tez çalışmasının genel bir özeti sunulmakta, elde edilen temel bulgular vurgulanmakta, çalışmanın literatüre ve pratik uygulamalara sağladığı önemli katkılar belirtilmekte ve gelecekteki araştırmalar için potansiyel yönler önerilmektedir. Bölüm, okuyucunun tezden edinmesi gereken ana mesajları pekiştirirken, çalışmanın akademik ve pratik dünyadaki etkisini de özetler. Yapılan çalışmanın güçlü yönleri ve olası kısıtlamaları da burada kısaca tartışılabilir. Gelecek öneriler ise, tezin potansiyel devam çalışmalarına ışık tutarak, araştırma alanına yeni kapılar açar. Bu sayede, yapılan çalışmanın sadece mevcut bir probleme çözüm sunmakla kalmayıp, aynı zamanda daha geniş bilimsel ve teknolojik ilerlemelere de zemin hazırladığı vurgulanır.

5.1 Çalışmanın Temel Sonuçları

Bu tez çalışması, Minimum Tepe Örtüsü Problemi'ne (MVCP) yönelik, literatüre yeni kazandırılmış Malatya Vertex Cover Algoritması (MVCA) ile gerçek dünya ağlarında kaynak optimizasyonu sağlamayı başarıyla hedeflemiştir. Geliştirilen algoritma, iki özgün ve karmaşık veri seti üzerinde (Barselona şehir merkezi ulaşım ağı ve İnönü Üniversitesi kampüs ağı) titizlikle test edilmiş ve her iki senaryoda da oldukça verimli ve maliyet-etkin sonuçlar elde edilmiştir. Barselona ulaşım ağında, MVCA'nın 169 düğümden yalnızca 88'ini seçerek tüm ağı kapsadığı ve bu sonucun, literatürdeki popüler GMin algoritmasından (92 düğüm) daha iyi olduğu gösterilmiştir. Bu bulgu, Barselona örneğinde yaklaşık %50'lik bir kaynak tasarrufu potansiyeli anlamına gelmektedir ki bu, büyük ölçekli altyapı projeleri için somut ekonomik avantajlar sunar. İnönü Üniversitesi kampüs ağında ise, 53 binanın yalnızca 32'sine yerleştirilecek kablosuz erişim noktaları ile tüm kampüsün kesintisiz Wi-Fi erişimiyle kapsanabileceği belirlenmiştir. Bu bulgu, kampüs ağ altyapısı için önemli ölçüde donanım maliyeti ve enerji tüketimi avantajı sağlamaktadır. MVCA'nın başarısı, özellikle düğüm seçim mekanizmasında kullandığı Malatya Merkezilik ölçütünden kaynaklanmaktadır. Bu özgün merkezilik metriği, düğümlerin ağdaki stratejik önemini daha kapsamlı bir şekilde değerlendirerek, geleneksel ağgözlü yaklaşımların ötesine geçen daha optimal tepe örtüsü çözümleri üretilmesini sağlamıştır. Sonuç olarak, bu çalışma MVCA'nın MVCP gibi NP-tam

problemler için pratik, uygulanabilir ve yüksek kaliteli yaklaşık çözümler sunma yeteneğini somut kanıtlarla ortaya koymuştur.

5.2 Çalışmanın Katkıları ve Rehberlik Potansiyeli

Bu tez çalışması, hem teorik bilgisayar bilimleri literatürüne hem de pratik uygulama alanlarına bir dizi önemli katkı sunmaktadır. Elde edilen bulgular ve geliştirilen metodoloji, çeşitli sektörlerdeki optimizasyon problemlerinin çözümüne yönelik potansiyel bir rehberlik sağlamaktadır.

Literatüre Malatya Vertex Cover Algoritması (MVCA) adında yeni bir sezgisel algoritma kazandırılmıştır. Bu algoritmanın, özellikle karmaşık gerçek dünya ağları üzerinde, mevcut bazı standart algoritmalarından (örneğin GMin) daha iyi veya rekabetçi sonuçlar verdiği deneysel olarak doğrulanmıştır. Çalışmanın özgünlüğü, daha önce MVCP çalışmaları için literatürde kullanılmamış iki farklı ve büyük ölçekli gerçek dünya veri setinin (Barselona ulaşım ağı ve İnönü Üniversitesi kampüs ağı) detaylı bir şekilde modellenmesi ve algoritmaların performansının değerlendirilmesi için kullanılmasıyla daha da pekişmiştir.

Bu çalışma, güvenlik kameraları, trafik sensörleri veya kablosuz erişim noktaları gibi pahalı altyapı bileşenlerinin yerleştirilmesinde ciddi maliyet ve enerji tasarrufu potansiyeli ortaya koymuştur. Bu, özellikle kısıtlı bütçelerle çalışan belediyeler, üniversiteler veya özel şirketler için somut ekonomik faydalar anlamına gelmektedir. Geliştirilen MVCA, sadece test edilen senaryolarla sınırlı kalmayıp, ulaşım ağları, kampüs ağları, lojistik dağıtım ağları, güvenlik sistemleri ve hatta bilişim ağları gibi çeşitli alanlardaki Minimum Tepe Örtüsü problemlerine genellenebilir ve uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır. Bu durum, algoritmanın geniş bir pratik kullanım alanına sahip olduğunu açıkça göstermektedir. Ayrıca, MVCA'nın düğüm seçiminde Malatya Merkezilik gibi daha gelişmiş bir merkezilik ölçütü kullanması, açgözlü yaklaşımların çözüm kalitesini artırma potansiyelini göstermiş ve MVCP literatürüne yeni bir araştırma yönü kazandırmıştır.

Bu çalışma, şehir yöneticileri için akıllı şehir projeleri kapsamında güvenlik veya sensör ağı planlamalarında, üniversite kampüsleri için modern ağ altyapısı tasarımında ve genel olarak herhangi bir ağ tabanlı kaynak konumlandırma probleminde önemli bir rehber niteliği taşımaktadır. Elde edilen verimli çözümler, daha bilinçli ve stratejik karar verme süreçlerini teşvik edecektir.

5.3 Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler

Bu tez çalışması, Malatya Vertex Cover Algoritmasının (MVCA) Minimum Tepe Örtüsü Problemi (MVCP) üzerindeki etkinliğini ve pratik uygulanabilirliğini başarıyla ortaya koymuştur. Ancak, her bilimsel çalışma gibi, bu araştırma da gelecekteki çalışmalar için yeni ufuklar açmaktadır. Bu tezin bulguları ışığında yapılabilecek potansiyel geliştirmeler ve yeni araştırma yönleri aşağıda detaylıca sunulmaktadır.

Öncelikle, MVCA, bu çalışmada yönsüz ve ağırlıksız çizgeler üzerinde test edilmiştir. Gelecekte, algoritmanın performansının ve adaptasyonunun ağırlıklı çizgeler (kenar maliyetleri veya öncelikleri olan ağlar), yönlü çizgeler (tek yönlü sokaklar veya veri akışı gibi) veya dinamik çizgeler (zamanla değişen bağlantılara sahip ağlar) üzerinde incelenmesi büyük fayda sağlayacaktır. Özellikle ulaşım ağlarında trafik yoğunluğu gibi dinamik ağırlıkların dahil edilmesi, problem tanımını daha da zenginleştirebilir ve gerçek dünya senaryolarına daha uygun çözümler üretilmesine olanak tanır.

MVCA'nın sezgisel doğası göz önüne alındığında, performansını daha da iyileştirmek için meta-sezgisel algoritmalarla (örneğin Genetik Algoritmalar, Tavlama Benzetimi) hibrit yaklaşımlar geliştirilebilir. MVCA'dan elde edilen ilk çözümlerin, bu tür meta-sezgisellerle daha da optimize edilmesi, global optimuma daha yakın sonuçlar elde etme potansiyeli sunacaktır. Ayrıca, çok daha büyük şehirler, ulusal düzeydeki ağlar veya sosyal medya gibi milyarlarca düğüme sahip yoğun ağlar üzerinde MVCA'nın ölçeklenebilirliği ve hesaplama verimliliği daha derinlemesine incelenmelidir. Bu bağlamda, paralel programlama teknikleri veya dağıtık sistemler kullanılarak algoritmanın performansı artırılabilir.

Malatya Merkezilik kavramının ve MVCA'nın temel prensiplerinin, Minimum Tepe Örtüsü dışındaki diğer NP-tam çizge problemlerine (örneğin Bağımsız Küme Problemi, Dominant Küme Problemi, Seyyar Satıcı Problemi gibi optimizasyon problemleri) uyarlanabilirliği araştırılabilir. Bu tür bir çalışma, algoritmanın genelliğini ve çok yönlülüğünü daha da gösterecektir. MVCA'nın çıktılarını (optimal konumlar gibi) gerçek haritalar üzerinde interaktif olarak gösteren ve kullanıcıların senaryo bazlı analizler yapmasına olanak tanıyan daha gelişmiş bir karar destek sistemi arayüzü (örneğin mevcut Shiny uygulamasını genişleterek) geliştirilmesi de önemli bir öneridir. Bu, algoritmanın pratik uygulamalara entegrasyonunu büyük ölçüde kolaylaştıracaktır.

Son olarak, tezin sonuçları, gerçek dünya uygulamalarında pilot projelerle test edilebilir. Örneğin, İnönü Üniversitesi kampüsünde MVCA'nın önerdiği konumlara kablosuz erişim noktaları kurularak, elde edilen kapsama alanı ve performans gerçek saha verileriyle doğrulanabilir. Bu, çalışmanın pratik faydalarını somutlaştıracaktır. Mevcut maliyet analizleri daha genel tutulduğu için, gelecekteki çalışmalarda her bir cihazın (kamera, sensör, router) spesifik marka/model maliyetleri, kurulum zorlukları, bakım giderleri ve beklenen ömürleri gibi daha detaylı ekonomik modeller entegre edilebilir. Bu, maliyet tasarrufu hesaplamalarını çok daha hassas hale getirecektir.



KAYNAKLAR

- [1] Özdemir, S., Sacar, Ö., & Özcan, E. (2021). Dijkstra algoritması kullanılarak ipek yolu koridorları arasında en kısa ulaştırma güzergâhının belirlenmesi. *Demiryolu Mühendisliği*, 13, 97–105.
- [2] Altuntaş, V., & Gök, M. (2020). Protein–protein etkileşimi tespit yöntemleri, veri tabanları ve veri güvenilirliği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, 722–733.
- [3] Öztemiz, F., & Karci, A. (2024). Topluluk Tespiti Yöntemi ile Ulaşım Ağında Verimli Yeşil Dalga Koridorlarının Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 27(1), 35–45. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1074962>
- [4] Brešar, B., et al. (2011). Minimum k-yolu tepe noktası kapsamı. *Ayrık Uygulamalı Matematik*, 159(12), 1189–1195.
- [5] Öztemiz, F., & Karci, A. (2021). Malatya İli ulaşım ağı kavşak noktalarının merkezlilik analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(1), 511–528. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.834255>
- [6] Marpaung, F., Arnita, A., & Sari, N. (2023). Maximal Flow of Transportation Network in Medan City Using Ford-Fulkerson Algorithm. *International Journal of Science, Technology & Management*, 4(1), 100–106.
- [7] Chen, W., et al. (2019). Rücktitelbild: Unidirectional Presentation of Membrane Proteins in Nanoparticle-Supported Liposomes. *Angewandte Chemie*, 131(29).
- [8] Jovanovic, R., & Tuba, M. (2011). Geliştirilmiş feromon içeren bir karınca kolonisi optimizasyon algoritması: Minimum ağırlıktaki tepe noktası örtüsü problemi için düzeltme stratejisi. *Uygulamalı Yumuşak Hesaplama*, 11(8), 5360–5366.
- [9] Xu, X., & Ma, J. (2006). An efficient simulated annealing algorithm for the minimum vertex cover problem. *Neurocomputing*, 69(7–9), 913–916.
- [10] Özsağlam, M. Y., & Çunkaş, M. (2008). Optimizasyon problemlerinin çözümü için parçaçık sürü optimizasyonu algoritması. *Politeknik Dergisi*, 11(4), 299–305.
- [11] Sonakalan, C., & Öztemiz, F. (2023). Kablosuz Sensör Ağlarının Malatya Minimum Vertex Cover Yöntemiyle Konumlandırılması. *Neurocomputing*, 534, 18–28.
- [12] Xi, B., et al. (2004). A smart hill-climbing algorithm for application server configuration. In *Proceedings of the 13th international conference on World Wide Web* (p. 6448).
- [13] Zhou, T., et al. (2016). Multi-start iterated tabu search for the minimum weight vertex cover problem. *Journal of Combinatorial Optimization*, 32(2), 368–384.

- [14] Hansen, P., et al. (2018). Variable neighborhood search. In *Handbook of metaheuristics* (pp. 57–97). Springer, Cham.
- [15] Cai, S., Su, K., & Chen, Q. (2010). EWLS: A new local search for minimum vertex cover. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 24(1).
- [16] Sonakalan, C., & Öztemiz, F. (2024). Positioning Security Cameras in The Central Transportation Networks of Barcelona With Minimum Cost via The Malatya Minimum Vertex Cover Algorithm. *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, 5(2), 77–85.
- [17] Gusev, V. V. (2020). The vertex cover game: Application to transport networks. *Omega*, 97, 102102.
- [18] Chen, J., & Li, X. (2023). Toward the minimum vertex cover of complex networks using distributed potential games. *Science China Information Sciences*, 66(1), 112205.
- [19] Martinez, S., Chatterji, G., Sun, D., & Bayen, A. (2007, August). A weighted-graph approach for dynamic airspace configuration. In *AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit* (p. 6448).
- [20] Rohm, V. (2018). Vertex cover under time constraints. *Bachelor Thesis*, TU Berlin, 2.
- [22] Didi Biha, M., et al. (2007). Graph decomposition approaches for terminology graphs. In *Mexican International Conference on Artificial Intelligence*. Springer Berlin Heidelberg.
- [23] Chen, X., Chen, Y., & Xiao, P. (2013). The impact of sampling and network topology on the estimation of social intercorrelations. *Journal of Marketing Research*, 50(1), 95–110.
- [24] Zhang, J., & Luo, Y. (2017, March). Degree centrality, betweenness centrality, and closeness centrality in social network. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Modelling, Simulation and Applied Mathematics (MSAM2017)* (pp. 300–303). Atlantis Press.
- [25] Piraveenan, M., & Saripada, N. B. (2023). Transportation Centrality: Quantifying the Relative Importance of Nodes in Transportation Networks Based on Traffic Modeling. *IEEE Access*, 11, 142214–142234. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3339121>
- [26] Xing, W., & Ghorbani, A. (2004). Weighted PageRank algorithm. In *Proceedings of the Second Annual Conference on Communication Networks and Services Research* (pp. 305–314). IEEE.
- [27] Page, L., Brin, S., Motwani, R., & Winograd, T. (1999). The PageRank citation ranking: Bringing order to the web. *Stanford InfoLab*.
- [28] Karci, A., Yakut, S., & Öztemiz, F. (2022). A New Approach Based on Centrality Value in Solving the Minimum Vertex Cover Problem: Malatya Centrality Algorithm. *Computer Science*, 7(2), 81–88. <https://doi.org/10.53070/bbd.1195501>

- [29] Yakut, S., Öztemiz, F., & Karci, A. (2023). A new robust approach to solve minimum vertex cover problem: Malatya vertex-cover algorithm. *The Journal of Supercomputing*, 79(17), 19746–19769.
- [30] Fayaz, M., et al. (2018). Approximate methods for minimum vertex cover fail to provide optimal results on small graph instances: A review. *International Journal of Control and Automation*, 11(2), 135–150.
- [31] Zhang, Y., et al. (2023). Tivc: An efficient local search algorithm for minimum vertex cover in large graphs. *Sensors*, 23(18), 7831.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Cemalettin SONAKALAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Müh.
- **Yüksek Lisans** : 2025, İnönü Üniversitesi, Yazılım Müh. Anabilim Dalı, Program

MESLEKİ DENEYİM:

- Garanti BBVA
İstanbul, Turkey
Expert Software Developer 02/2024 –
 - I work in the records management department in the loans department.
- LOGO Software
İstanbul, Turkey
Software Development Specialist 12/2023– 02/2024
 - I took part in the digital transformation of LOGO products. We converted desktop applications into web applications. I also dealt with requests from support.
- Eteration
İstanbul, Turkey
Software Development Specialist 02/2023– 12/2023
 - Eteration provides software and R&D solutions for various companies in several industries. In this company, I work in the insurance policy project for Aegon (Vienna Life) Insurance Company and Garanti BBVA Bank
- Aktif Bank (N Kolay Payment Inc)
İstanbul, Turkey
Junior Software Developer 06/2021– 12/2022
 - It is a subsidiary company of Aktif Bank. The bank's domain is Payment Systems. Here we make screen enhancements with JavaFX for the operation unit and kiosk users. We also do Web Service Integrations to include other companies that want to use our payment system in our customer pool.
- Lectus IT & Design
Bingöl, Turkey
Junior Software Developer 09/2020– 04/2021
 - I had many hats here, like web master, full stack developer.

YÜKSEK LİSANS VEYA DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

- **Sonakalan, C., & Öztemiz, F. (2024).** Positioning Security Cameras in The Central Transportation Networks of Barcelona With Minimum Cost via The Malatya Minimum Vertex Cover Algorithm. *Bilgisayar Bilimleri Ve Teknolojileri Dergisi*, 5(2), 77-85. <https://doi.org/10.54047/bibted.1545238>
- **Sonakalan, Cemalettin & Öztemiz, Furkan. (2023).** Kablosuz Sensör Ağlarının Malatya Minimum Vertex Cover Yöntemiyle Konumlandırılması Positioning of Wireless Sensor Networks with Malatya Minimum Vertex Cover Method.

