

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Matematiksel Modelleme Tekniği ile Altyapı Bakım ve
Onarım Tesisi Yerleşimi: Yerel Su Yönetim İdareleri İçin Bir
Uygulama

Serdar YAZBAHAR

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

**Matematiksel Modelleme Tekniği ile Altyapı Bakım ve Onarım
Tesisleri Yerleşimi: Yerel Su Yönetim İdareleri İçin Bir
Uygulama**

Serdar YAZBAHAR

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi 20/11/2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çoğunluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Cenk ŞAHİN (Danışman)
: Doç. Dr. Yusuf KUVVETLİ
: Doç. Dr. Cansu DAĞSUYU

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VI
1. GİRİŞ	1
1.1. P-medyan problemi	5
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	6
1.3. Çalışmanın Organizasyonu	7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	9
2.1. P-medyan Tesis Yeri Seçim Problemi ile İlgili Çalışmalar	10
2.2. Literatür Genel Değerlendirmesi	15
3. MATERYAL VE METOT	17
3.1. Materyal	17
3.2. Metot.....	20
3.2.1. Bulanık FUCOM.....	20
3.2.2. Adım 1: Karar kriterlerinin belirlenmesi.....	20
3.2.3. Adım 2: Kriterlerin Sıralanması ve Üçgensel Bulanık Sayılar Kullanılarak Kriterlerin Karşılaştırılması	20
3.2.4. Adım 3: Optimum bulanık ağırlıkların hesaplanması.....	21
3.3. Klasik P- Medyan Matematiksel Modeli	22
3.4. Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli.....	24
4. BULGULAR.....	27
4.1. Bulanık FUCOM' a İlişkin Bulgular	27
4.2. Matematiksel Modellere İlişkin Bulgular	35
4.3. Duyarlılık Analizleri	36
4.3.1. Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli için Duyarlılık Analizi	36
4.3.2. Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli Duyarlılık Analizi.....	43
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	59

**Matematiksel Modelleme Tekniği ile Altyapı Bakım
ve Onarım Tesisi Yerleşimi: Yerel Su Yönetim İdareleri
İçin Bir Uygulama**

Serdar YAZBAHAR

Danışman: Prof. Dr. Cenk ŞAHİN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

Tesis yeri seçimi, tedarik zincirinin genel performansını belirleyen kritik unsurlardan biridir ve lojistik maliyetler üzerinde doğrudan etkili bir rol oynar. Bu süreç, işletmelerin kârlılığını uzun vadede şekillendiren karmaşık ve stratejik bir karar mekanizmasını ifade eder. Tesis yeri seçimi problemi, yalnızca depolar, lojistik merkezleri ve mağazalar gibi özel sektör tesislerini değil, aynı zamanda okullar, hastaneler ve itfaiye istasyonları gibi kamu hizmet noktalarını da kapsar. Büyükşehir belediyeleri, tesis yeri seçiminin önem taşıdığı kurumlardan biridir. Büyükşehir yasasının yürürlüğe girmesiyle birlikte, merkez dışındaki ilçelere de altyapı hizmeti sunmaya başlayan belediyeler, ilçe belediyelerinin ihtiyaçlarını etkin şekilde karşılayabilmek için kapsamlı bir yeniden yapılanma sürecine girmek zorundadır. Bu bağlamda, çalışmada büyükşehir ölçeğinde altyapı bakım ve onarım tesisleri için tesis yeri seçimi, matematiksel modelleme teknikleri kullanılarak ele alınmıştır. Araştırmada klasik ve Bulanık FUCOM tabanlı p-medyan tesis yerleşimi modelleri önerilmiştir. Bu modelde amaç fonksiyonunda kullanılan karar değişkenlerinin ağırlıkları Bulanık FUCOM yöntemiyle belirlenmiştir. Bu yöntemle dört temel kriterin ağırlıkları tespit edilmiştir. Ardından, Adana ili için 15 aday tesis yeri üzerinde klasik p-medyan modeli ve Bulanık FUCOM tabanlı p medyan modeli çözülmüştür. Sonuçlar duyarlılık analizi yapılarak tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tesis Yeri Seçimi, P Medyan Problemi, Bulanık FUCOM, Matematiksel Model, Alt Yapı Bakım-Onarım Tesisi.

**Facility Location of Infrastructure Maintenance and Repair
Facilities Using Mathematical Modeling Techniques: A Case
Study for Local Water Management Authorities**

Serdar YAZBAHAR

Advisor: Prof. Dr. Cenk SAHİN

Department of Industrial Engineering

ABSTRACT

Facility location selection is one of the critical factors that determine the overall performance of the supply chain and plays a direct role in logistics costs. This process represents a complex and strategic decision-making mechanism that shapes the profitability of businesses in the long term. The facility location selection problem encompasses not only private sector facilities such as warehouses, logistics centers, and stores but also public service points like schools, hospitals, and fire stations. Metropolitan municipalities are one of the institutions where facility location selection is of great importance. With the enactment of the Metropolitan Law, municipalities began providing infrastructure services to districts outside the city center. To effectively meet the needs of district municipalities, they are required to enter into a comprehensive restructuring process. In this context, the study addresses facility location selection for infrastructure maintenance and repair facilities at the metropolitan scale using mathematical modeling techniques. The research proposes classic and a fuzzy FUCOM-based p-median facility location models. In this model, the weights of the decision variables used in the objective function were determined using the Fuzzy FUCOM method. Using this method, the weights of four main criteria were identified. Then, for the province of Adana, the classic p-median model and the fuzzy FUCOM-based p-median model were applied to 15 candidate facility locations. The results were discussed through sensitivity analysis.

Keywords: Facility Location Selection, P-Median Problem, Fuzzy FUCOM, Mathematical Model, Infrastructure Maintenance and Repair Facility

TEŞEKKÜR

Danışmanım olmayı kabul eden, tez seçiminde bana yardımcı olan ve engin bilgileriyle bana yol gösteren değerli Prof. Dr. Cenk ŞAHİN' e, tezimde fikirleriyle bana ışık tutan değerli akademisyen Doç Dr. Yusuf KUVVETLİ' ye, kıymetli jüri üyelerimden Doç. Dr. Cansu DAĞSUYU' na ve her anımda yanımda olup desteğini esirgemeyen sevgili eşim Seda YAZBAHAR' a, hayatımızı renklendiren oğlum Kerem ve kızım Defne' ye teşekkür ederim.

Serdar YAZBAHAR



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 İlçelerin nüfus sayıları(d_i)(kişi).....	17
Çizelge3.2 İlçelerin Birbirine Olan Uzaklıkları Ve Ulaşım Süreleri Çarpımı Matrisi(m_{ij})matrisi	18
Çizelge 3.3 İlçelerde tesis arazisi satın alma maliyetleri(f_j)(TL).....	19
Çizelge 3.4 Kriter Seçim Tablosu	19
Çizelge 3.5 Kriter değerlendirme için dilsel ifadelerin bulanık sayı değerleri	20
Çizelge 3.6 Klasik P-Medyan Matematiksel Modelinde Kullanılan Değişkenler Ve Açıklamaları	23
Çizelge 3.7 Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modelde Kullanılan Değişkenler Ve Açıklamaları	25
Çizelge 4.1 Kriter Belirleme Tablosu	27
Çizelge 4.2 KV' lerin bulanık sayı değerleri ile değerlendirmeleri	28
Çizelge 4.3 KV 1 için karşılaştırmalı önem değerleri.....	28
Çizelge 4.4 KV 2 için karşılaştırmalı önem değerleri.....	29
Çizelge 4.5 KV 3 için karşılaştırmalı önem değerleri.....	29
Çizelge 4.6 KV 1 İçin Bulanık lineer modelin ikinci koşuluşunun oluşturulması.....	30
Çizelge 4.7 KV 2 İçin Bulanık lineer modelin ikinci koşuluşunun oluşturulması.....	32
Çizelge 4.8 KV 3 İçin Bulanık lineer modelin ikinci koşuluşunun oluşturulması.....	33
Çizelge 4.9 Her bir kriterin geometrik ortalaması ve sıralaması.....	35
Çizelge 4.10 Aday Tesis Yerlerinin Kriterlere İlişkin Bulanık FUCOM Puanları	35
Çizelge 4.11 Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli Duyarlılık analizi	36
Çizelge 4.12 Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli Duyarlılık Analizi Sonucu Seçilen Tesis Yerleri Dağılım Çizelgesi.	39
Çizelge 4.13 Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli En Düşük Amaç Fonksiyonu Sonuçlarına Göre Oluşan Hizmet Planı.	40
Çizelge 4.14 Sabit Maliyetlerin ($f(j) + A$) Duyarlılık Analizi için Deneysel Tasarım.	42
Çizelge 4.15 ($f(j) + A$) değişimlerinin Matematiksel Modele etkisi.	43
Çizelge 4.16 Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli duyarlılık analizi sonuçları.....	43
Çizelge 4.17 Duyarlılık analizi sonucu seçilen tesis yerleri dağılım çizelgesi (Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli)	45
Çizelge 4.18 Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli Hizmet Planı.....	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Altyapı bakım onarım tesisi (URL-1)	5
Şekil 1.2. Tipik Bir P-medyan Probleminin Çözümü (Li ve ark., 2011)	6
Şekil 4.1. Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli Duyarlılık Analizinin Amaç Fonksiyonu Değerleri Değişim Grafiği.	38
Şekil 4.2. Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli Atama Planı Görseli.....	41
Şekil 4.4 .Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Duyarlılık Analizi Amaç Fonksiyon Değerleri Değişim Grafiği.	45
Şekil 4.5. Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Hizmet Planı Görseli.	47



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Prefabrik Bina İnşaat Maliyeti(TL)
C	: Fucom Kriteri
$c1_j$: Aday Tesis j ' nin C1 Kriterine İlişkin Bulanık FUCOM Puanı
$c2_j$: Aday Tesis j ' nin C2 Kriterine İlişkin Bulanık FUCOM Puanı
$c3_j$: Aday Tesis j ' nin C3 Kriterine İlişkin Bulanık FUCOM Puanı
$c4_j$: Aday Tesis j ' nin C4 Kriterine İlişkin Bulanık FUCOM Puanı x_{ij} : Talep Noktası i Tesis j ' ye Atanmasına İlişkin Binary Değişken
$C_j(k)$: k . Karar Verici Tarafından Belirlenen j . Bulanık FUCOM Kriter Puanı
d_i	: Talep Noktası i ' nin Toplam Nüfusu (Kişi)
f_j	: j Noktasında Tesis Arazisi Satın Alma Maliyeti (TL)
i	: Talep Noktası
j	: Aday Tesis Noktası
j	: Sayı Seti
K	: İzin Verilen Maksimum Ulaştırma Maliyeti (TL/Kişi)
k	: Karar Verici Numarası
L	: Tesis Atanan Şehirlerin Hizmet Vereceği Maksimum Nüfus Değeri (Kişi)
m_{ij}	: Talep Noktası i İle Tesis j ' ye Ulaşmanın Maliyeti (TL/Kişi)
n	: Aday Tesis Sayısı
p	: Açılacak Tesis Sayısı
P	: Talep Noktaları Seti
T	: Tesis Yerleşim Yerleri
w	: Karar Kriteri Ortalama Ağırlığı
w_1	: Enerji Kaynaklarına Yakınlık (C1) Kriterinin Bulanık FUCOM Ağırlığı
w_2	: Hammadde Ve Yardımcı Malzeme Kaynaklarına Yakınlık (C2) Kriterinin Bulanık FUCOM Ağırlığı
w_3	: İşgücü Olanakları (C3) Kriterinin Bulanık FUCOM Ağırlığı
w_4	: Ulaşım İmkanları (C4) Kriterinin Bulanık FUCOM Ağırlığı
y_j	: j Noktasına Tesis Açılmasına İlişkin Binary Değişken
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
AYBOT	: Alt Yapı Bakım Onarım Tesisi
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DMC	: Maksimum Tutarlılıktan Sapma
FUCOM	: Tam Tutarlılık Yöntemi
GA	: Genetik Algoritmalar
GAMS	: Genel Cebirsel Modelleme Sistemi

GRASP: Açgözlü Rastgele Adaptif Arama Algoritmaları
HS : Hibrit Uyum Arama Algoritması
KKO : Karınca Kolonisi Algoritması
KV : Karar Verici
MIP : Karma Tam Sayılı Programlama
SKHM : İl Özel İdareleri Su Ve Kanal Hizmetleri Müdürlüğü
SKİM : Su Ve Kanalizasyon İşleri Müdürlükleri
SS : Dağınık Arama
SUKİ : Su Ve Kanalizasyon İdareleri
TA : Tabu Arama Algoritmaları
TB : Tavlama Benzetimi
TZAT : Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı
VNS : Değişken Komşuluk Araması
YAK : Yapay Arı Kolonisi Algoritması
YSYİ : Yerel Su Yönetim İdareleri

1. GİRİŞ

“Tesis” terimi, iş faaliyetlerinin gerçekleştiği fiziksel konumu ifade etmektedir. Bu, bir iş merkezi, fabrika, makine atölyesi, departman, kamu idaresi veya depo gibi çeşitli alanları kapsayabilmektedir (Drira ve ark., 2007). "Tesis yeri" terimi, bir şirketin birincil faaliyetlerini yürüttüğü coğrafi bölgeyi ifade etmektedir (Demirdöğen ve Küçük, 2018).

Tesis yeri seçimi, tedarik zinciri genel performansının önemli belirleyicilerindedir ve lojistik maliyetleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tesis yeri seçimi, işletmelerin kârlılığı üzerinde kalıcı bir etkiye sahip olan karmaşık ve önemli bir karardır. Dolayısıyla, tedarik zinciri giderlerinin operasyonel maliyetler içindeki payının arttığı günümüzde, tesis yer seçimi kararı büyük önem kazanmıştır.

Tesis yeri seçimi problemi, yeni tesisler kurmak isteyen hem yeni hem de faaliyetini sürdüren işletmeler için aynı öneme sahiptir (Chithambarathan ve ark., 2022). Bu nedenle karar vericiler için sistematik karar desteğini vazgeçilmez bir gereklilik haline getirmektedir (Kik ve ark., 2022). Tesis yeri seçimi kritik öneme sahiptir ve birincil amaç faydayı maksimize etmektir (Biswas ve Pamucar, 2020). Buna ek olarak, tesis yeri problemine uygun veya optimal bir çözümün seçilmesi, bir üretim sisteminin etkinliği için önem arz etmektedir (Altuntaş ve Dereli, 2017). Ayrıca, optimal tesis yeri seçimi genel operasyonel verimliliğin artırmakta ve toplam firma maliyetlerinde %50' ye varan bir azalma sağlayabilmektedir (Zadeh ve ark., 2013).

Bir tesisin ya da fabrikanın kuruluş yeri seçmek iki kriterli bir süreçtir. Birinci kriter tesisin kurulacağı yeri seçmektir. İkinci kriter, bir tesisin hedeflenen amacını yerine getirmesiyle ilgilidir. Bu bağlamda, bir tesisin ideal konumunun, uzun vadede kârlılığını etkin bir şekilde optimize edebilecek bir yer olması gerekmektedir. Belirli bir yer seçme kararı, toplam maliyetleri en aza indirme veya toplam gelirleri en üst düzeye çıkarma hedefine dayalı olarak verilmektedir. Maksimum karlılığa ulaşmak için, bir tesis yeri seçiminde kullanılan birincil kriter genellikle gelir maksimizasyonundan ziyade maliyet minimizasyonudur (Kaveh ve Esfahani, 2012).

Yer seçimi, ideal konumun belirlenmesine yönelik karar verme sürecinin en karmaşık aşamasıdır. Kararı etkileyen çok sayıda faktör vardır ve bunların değerlendirilmesi genellikle zordur. Kuruluş için yer belirlendikten sonra, tesisin inşa edileceği araziye belirleme süreci nispeten daha kolay hale gelmektedir. Demir çelik fabrikaları, kömür tesisleri, alüminyum ve çimento fabrikaları gibi hammadde tedarik tesisleri genellikle bu grupta sınıflandırılmaktadır. Önemli miktarda hammadde tüketmeleri nedeniyle, bu tesisler nakliye masraflarını en aza indirmek için hammadde kaynağına yakınlık gerektirmektedir. Makarna fabrikası, deterjan fabrikası ve rafineri gibi tüketici veya pazar odaklı tesisler, nakliye masraflarını en aza indirmek için genellikle tüketicilere yakın yerlerde konumlandırılmaktadır. Kamu hizmet binaları hizmet edilecek bölgedeki nüfus, sosyo-ekonomik yapı, hizmete ulaşım ve kar amacı gütmeyen maliyetleri minimize edecek konumları tercih ederler.

Belirli bir seçeneğin seçilmesi söz konusu olduğunda bölgesel düzeyde karar alma sürecini etkileyebilecek başka faktörler de bulunmaktadır. Bu faktörler arasında kaynakların ve finansmanın mevcudiyeti, bölgenin siyasi iklimi, yerel paydaşların tercihleri ve kararın bir bütün olarak toplum üzerindeki potansiyel etkisi gibi hususlar yer alabilmektedir. Karar vericilerin, uzun vadede bölgeye fayda sağlayacak bilinçli ve sorumlu bir seçim yapmak için tüm bu faktörleri dikkatle değerlendirmeleri önemlidir (Krömer ve Platos, 2014).

Yer seçimi analizinin son iki aşaması, yani bölge ve yer seçimi, birlikte veya ayrı ayrı gerçekleştirilebilmektedir. Bölge seçiminden sonra, kuruluş yerinin seçimini belirlemek için birkaç adım atılmalıdır. İlk olarak, kuruluş yerini etkileyen faktörler belirlenmeli. Sonra, bölgedeki farklı yöreler için kuruluş yerini seçme kararını etkileyen faktörlerin sayısal veya karşılaştırmalı değerleri saptanmalıdır. Bu faktörlerin değerlendirilmesi yoluyla, bölgedeki yöreler etkinlik sırasına sokulmalıdır. En etkin yöreler aday kuruluş yerleri olarak seçilmeli ve kuruluş yerini belirleme yöntemleri kullanılarak, toplam maliyeti minimum kılan bir yöre en iyi veya optimum kuruluş yer olarak seçilmelidir. En uygun kuruluş yerine karar verme yetkisi, üst düzey yöneticilere aittir (Mazinan ve ark., 2014).

Tesis yeri seçimini etkileyen ekonomik faktör göz önüne alındığında hammadde ve yardımcı maddelere, pazara, işgücü kaynaklarına, enerji kaynaklarına yakınlık, ulaşım maliyetleri ve nakliye giderleri şeklinde sıralanabilir.

Madencilik tesisleri, ağır sanayi tesisleri, atık işleme tesisleri, termik santraller ve sebze, meyve ve balık konserve fabrikaları gibi sektörler öncelikle hammadde mevcudiyetine odaklanmaktadır. Hammadde maliyetinin düşük olduğu ancak nihai ürünün yüksek bir fiyat getirdiği durumlarda veya üretim sürecinde önemli bir hacim ve ağırlık kaybı varsa, tesisin hammadde kaynağına yakın bir yerde kurulması tavsiye edilmektedir. Üretim sürecinde hammaddede herhangi bir ağırlık kaybı olmaması ve diğer faktörlerin ihmal edilebilir bir etkiye sahip olması durumunda, işletme hammadde kaynağının yakınında, pazarın yakınında veya bunların arasında bir yerde bulunabilmektedir. Ayrıca, tüketim bölgesinde kolayca erişilebilen hammaddelere sahip ürünlerin üretilmesi tavsiye edilmektedir (Montaya ve ark., 2019).

Pazara yakınlık, üretim biriminin veya tesisin yeri, üretim sürecini büyük ölçüde etkileyen bir diğer önemli belirleyicidir. Bunun nedeni, her üretim faaliyetinin belirli bir pazarın taleplerini karşılamaya yönelik olmasıdır. Özellikle ulaşım altyapısı yetersizse veya ulaşım maliyetleri çok yüksekse, tesisin pazara yakın bir yerde konumlandırılması zorunlu hale gelmektedir. Ürünün niteliğine bağlı olarak, tesisin tüketici yoğunluğunun yüksek olduğu bir bölgede kurulması tavsiye edilmektedir. Pazara yakınlık, özellikle üretilen ürün hacimli ise veya nakliye maliyetleri toplam maliyetlerin önemli bir bölümünü oluşturuyorsa, nakliye maliyetlerinde bir azalmaya yol açabilmektedir (Özçakar ve Bastı, 2012).

Bir iş kurmak için yer seçerken, hem nitelik hem de nicelik açısından yeterli işgücü kaynağı olup olmadığını göz önünde bulundurmak önemlidir. Üretim yöntemleriniz büyük ölçüde el emeğine

dayanıyorsa, tesislerinizi iş gücünün kolayca bulunabileceği alanlarda kurulması tavsiye edilmektedir. Uzmanlaşmış veya vasıflı işgücü gerektiren sektörler, bu tür işgücünün kolayca bulunabileceği yerlere yakın konumlandırılmalıdır. Oyuncak imalatı, porselen üretimi, müzik aleti yapımı, cam eşya imalatı ve halı dokumacılığı gibi sektörler uzmanlaşmış işgücü gerektiren sektörlerdir. Vasıflı işgücünün yoğun olduğu bölgelere çekilmektedirler (Yaghini ve ark., 2013).

Kuruluş yerinin seçimi, su, kömür ve elektrik enerjisi kaynaklarının mevcudiyeti de dahil olmak üzere birçok önemli faktörden etkilenmektedir. Çimento, şeker, kağıt hamuru ve kağıt üretimi ve kereste fabrikaları gibi önemli miktarda enerji gerektiren tesisler, ekonomik su ve elektriğin temin edilebileceği nehirlerin yakınında yer almaktadır. Ağırlıklı olarak kömür enerjisine dayanan santraller genellikle kömür madenlerine yakın konumdadır (Drira ve ark., 2007).

Ulaşım giderleri, ulaşım altyapısı ve ulaşım şekilleri, konum belirleyicileri arasında en temel hususlardır. Bununla birlikte, bu belirleyicinin münhasıran dikkate alınmasını gerektiren olanaklar da bulunmaktadır. Ulaşım olanaklarının erişilebilirliğinin bir sonucu olarak, çok sayıda tesis deniz kıyılarında, nehir kenarlarında, demiryolu kavşaklarında ve otoyolların yakınında yer almaktadır. Örneğin, rafineriler ve petrol dağıtım merkezleri sıklıkla liman bölgelerinde kurulmaktadır (Demirdöğen ve Küçük, 2018). Nakliye giderlerindeki önemli artış, hammadde ve yardımcı maddeleri ağırlıklı olarak doğal kaynaklardan temin eden fabrikaların, ulaşım altyapısının elverişli olduğu bölgelerde kurulmasını zorunlu kılmıştır. Diğer tüm değişkenler sabit tutulduğunda, toplam ulaşım giderlerinin en az olduğu yer, mali açıdan en sürdürülebilir yerdir. Öncelikli olarak son kullanıcı pazarına hitap eden kuruluşlar, bu tür tüketicilerin yoğun olarak yaşadığı bölgelerde, tercihen illerin içinde veya yakınında yer almalıdır (Laporte ve ark., 2015).

Bununla birlikte, tesis yeri seçimi yalnızca özel sektör işletmeleri için değil, kamu sektöründeki kuruluşlar için de büyük önem taşımaktadır. Kamu sektöründe tesis yeri seçimi genellikle farklı bir dizi faktöre dayanır. Kamu kurumları, devletin kaynaklarını en verimli şekilde kullanmak amacıyla genellikle sosyal faydayı ve hizmete erişimi ön planda tutar. Bu nedenle, kamu sektörü tesis yerlerinin belirlenmesinde, sadece maliyetler ve lojistik verimlilik değil, aynı zamanda toplumun ihtiyaçları, çevresel etki ve bölgesel kalkınma hedefleri gibi faktörler de göz önünde bulundurulur.

Özellikle kamu hizmetleri sunan tesisler için, yer seçimi kararları genellikle yerel halkın erişimini kolaylaştırmak ve hizmetlerin daha etkili bir şekilde sunulmasını sağlamak amacıyla yapılır. Örneğin, altyapı hizmet sağlayıcıları (elektrik, su, kanalizasyon ve doğalgaz) eğitim kurumları veya kamu güvenliği gibi kritik hizmetlerin sağlanacağı tesislerin yer seçimi, coğrafi eşitsizlikleri azaltmak, kırsal ve uzak bölgelerdeki vatandaşlara erişimi artırmak amacıyla dikkatle yapılmalıdır. Ayrıca, kamu sektörü tesislerinin yer seçiminde, devletin mali kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması, uzun vadeli sürdürülebilirlik ve çevresel etki de önemli faktörlerdir.

Yerel yönetimler, insan topluluklarının ortak ve yerel nitelikteki ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla oluşturulan yönetsel kurumlardır. Devlet sınırları içinde belli bir hukuk düzeninde anayasal kuruluşlar olarak tanımlanan yerel yönetimler 1864'den sonra Türkiye'nin yönetsel yapısı içerisinde yer almaya başlamıştır (Bilgisay, 2010). 6360 sayılı kanunun uygulanmasından önce, ülkenin toplam nüfusunun yalnızca %84'ü belediye sınırları içinde yer alırken, bu oran şimdi %92'ye yükselmiştir. Bu genişleme coğrafi alanın %50'sini aşmıştır. Belediye sınırlarının genişletilmesinin temel amacı, hizmet sunumunun kalitesini ve standartlarını yükseltmek, köy-ilçe-il belediyesi arasındaki hiyerarşik yapıyı ortadan kaldırmak ve verimliliği sağlamaktır (Güngör, 2012).

6360 sayılı kanun bu kapsamda ele alındığında yalnızca büyükşehirlerde değil diğer tüm yerel idarelerde hizmet sınırlarını yeniden çizmiştir. Büyükşehir belediyeleri hizmet sınırlarında hizmet veren Su ve Kanalizasyon İdareleri (SUKİ)'nin hizmet sınırları tüm il sınırlarını kapsayacak şekilde, köy statüsünden mahalle statüsüne geçen yerleşim yerlerinin il özel idarelerine bağlı Su ve Kanalizasyon İşleri Müdürlükleri (SKHM)'nin hizmet alanından çıkararak il belediyesi hizmet sınırları içerisine girmesi sebebiyle de veren Su ve Kanalizasyon İşleri Müdürlükleri (SKİM)'nin hizmet sınırları ciddi manada genişlemiştir.

Ülkemiz yerel yönetim yapısı incelendiğinde su ve kanalizasyon hizmetlerinin lokasyonun nüfusuna bağlı olarak üç ayrı idari birim tarafından yürütüldüğü görülmektedir. Bunlar;

1. Nüfusu 750.000' den fazla yerleşimlerde büyükşehir belediyesi kurulmuş olan lokasyonlarda büyükşehir belediyesi hizmet sınırları içerisinde hizmet veren Su ve Kanalizasyon İdareleri (SUKİ),

2. Nüfusu 5000' den fazla yerleşimlerde il belediyesi kurulmuş olan yerlerde lokasyonlarda il belediyesi hizmet sınırları içerisinde hizmet veren Su ve Kanalizasyon İşleri Müdürlükleri (SKİM),

3. İl belediyesi sınırları dışında kalan yerlerde hizmet veren İl Özel İdareleri Su ve Kanal Hizmetleri Müdürlüğü' dür (SKHM).

6360 sayılı Kanun ile birlikte, Büyükşehirlerin SUKİ birimlerinin hizmet sınırları genişletilmiş ve her aboneye etkin bir şekilde hizmet sunabilmek için merkezi yapı yerine farklı lokasyonlarda hizmet verme ihtiyacı zorunlu hale gelmiştir. Ancak, birçok büyükşehir belediyesi SUKİ altyapı hizmetlerini hâlâ il merkezinden yürütmeye devam etmektedir. Bu bağlamda içme suyu, atık su arıtma tesisleri, kanalizasyon, barajlar ve göletler, sulama ve drenaj tesisleri, elektrik üretim tesisleri (hidroelektrik, jeotermal, nükleer, rüzgâr santralleri, biyoenerji tesisleri), elektrik iletim ve dağıtım hatları, yeraltı kablolu işleri, demiryolu, raylı sistem, karayolu gibi her türlü ulaşım ve haberleşme gibi alanlarda yapılan yatırımlar bir bütün olarak kamusal nitelikli teknik altyapı yatırımları olarak tanımlanır (Genç ve Ertuğrul, 2007: 2; Görür, 2005: 423; Doğan, 2017: 275) ve Şekil 1.1' de de örnek bir altyapı bakım onarım tesisi görülmektedir..



Şekil 1.1. Altyapı bakım onarım tesisi (URL-1)

1.1. P-medyan problemi

P-medyan problemi, p adet tesisin n adet talep noktasının ihtiyaçlarını minimum maliyetle karşılanmasını sağlayacak şekilde yerlerinin belirlenmesi ve hizmet alacak olan talep noktalarının bu tesislere atanması olarak tanımlanabilir.

P-medyan problemi, çözüm bulunabilmesi amacıyla çok sayıda çalışmanın odak noktası olmuştur. Tesis yeri seçimi problemleri literatüründe de görülmektedir (Alp ve ark., 2003). P-medyan problemi, minimum tesis yeri seçimi problemleri altında sınıflandırılmaktadır. Bu problem türü ilk olarak Kuehn ve Hamburger (1963), Hakimi (1964), Manne (1964) ve Balinski (1965) tarafından tanıtılmıştır. P-medyan problemi ilk olarak 1964 yılında Hakimi tarafından detaylı bir şekilde formüle edilmiştir. Hakimi, problemi formüle etmenin yanı sıra, üçgen eşitsizliği olan bir ağda optimum yerleşimin düğümler üzerinde gerçekleştiğine dair kanıt da sunmuştur (Marianov ve Serra, 2004).

P-medyan problemi Cornuejols ve ark. (1977) ve Kariv ve Hakimi (1979) tarafından kombinatoriyal NP-zor optimizasyon problemi olarak belirlenmiştir. Kombinatoriyal optimizasyon, ayrı bir çözüm uzayına sahip problemler için en uygun çözümü belirlemeyi amaçlayan bir teknik kategorisidir. Bu yaklaşımın amacı, amaç fonksiyonunu maksimize eden kesikli karar değişkenlerinin optimal değerlerini belirlemektir. Gezgin satıcı problemi, en kısa yol problemi,

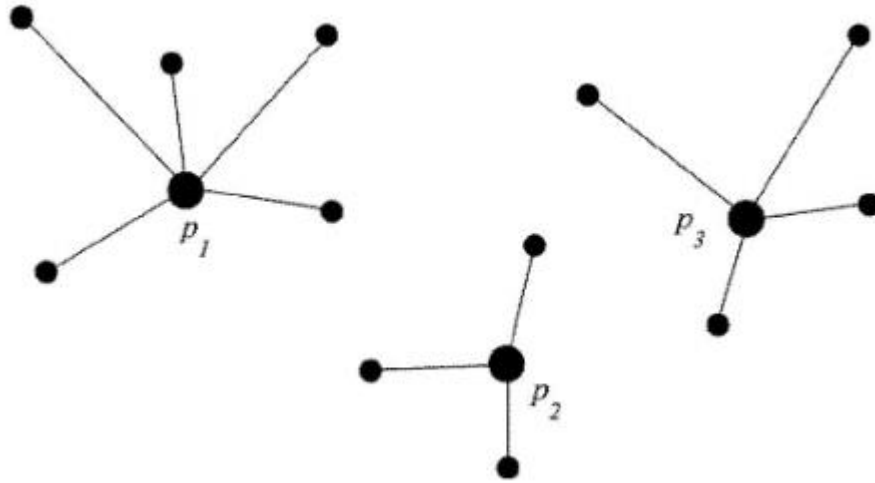
atama problemleri, araç rotalama problemleri ve diğer benzer problemler bu kategoriye girer (Johrami ve Zarei, 2015).

Kombinatoriyal problemler, karmaşıklık seviyelerine göre iki farklı kategoride sınıflandırılabilir: çözülmesi nispeten kolay olanlar ve önemli ölçüde daha zor olan ve NP-Zor sınıfına girenler. P sınıfına ait olan problemlerin kolay olduğu ve ulaşılabilir bir optimal çözüme sahip olduğu kabul edilmektedir (Cook, 2011).

NP-Zor tipi problemlerin çözümünün polinom zaman algoritmalarıyla gerçekleştirilemeyeceği bilinen bir gerçektir. Bu problemlerin belirleyici özelliği, problem boyutu arttıkça çözüm süresinin üstel olarak artmasıdır. (Jamshidi, 2009).

P-medyan probleminin varsayımları, maliyet ve mesafe arasında doğrusal bir ilişki olduğu, açılacak tesis sayısının bilindiği, zaman sınırının olmadığı, hizmet veren tesislerin kapasite sınırının olmadığı, sabit müşteri talebinin var olduğu, bütün tesislerin eşit özellikte olduğu, problem yapısının ayrı olduğunu ve tesislerin açılacağı noktaların belirlendiğidir (Kaveh ve Esfahani, 2012).

Şekil 1.2' deki diyagram, p noktalarının kendilerine bağlı talep düğümlerine hizmet veren medyan tesisleri temsil ettiği çözülmüş bir p-medyan problemini göstermektedir (Li ve ark., 2011).



Şekil 1.2. Tipik Bir P-medyan Probleminin Çözümü (Li ve ark., 2011)

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma, büyükşehir ölçeğinde altyapı bakım ve onarım tesisleri için uygun tesis yeri seçimlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, matematiksel modelleme teknikleri kullanılarak tesis yerleşimlerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Çalışmada amaçlanan, klasik ve Bulanık FUCOM tabanlı p-medyan tesis yerleşimi modeli ile uygun tesis yerlerinin tespit edilmesine yönelik bir yaklaşım geliştirilmesidir.

Bu çalışma, büyükşehir belediyelerinin altyapı hizmetleri ve tesis yeri seçimiyle ilgili karar alma sürecini kapsamaktadır. Adana ili örneği üzerinden, 15 aday tesis yeri üzerinde önerilen

modeller uygulanarak tesis yerleri belirlenmiştir. Ayrıca, bu tesis yerlerinin belirlenmesinde kullanılan karar değişkenlerinin ağırlıkları da Bulanık FUCOM yöntemiyle hesaplanmıştır.

1.3. Çalışmanın Organizasyonu

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde, Önceki Çalışmalar başlığı altında literatür çalışmaları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, Materyal ve Metot başlığı altında bu çalışmada kullanılan Bulanık FUCOM ve matematiksel modeller tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde, Bulgular başlığı altında uygulanan tekniklerin aşamaları örnek uygulama (Adana ili ölçeği) girdileri kullanılarak detaylı olarak anlatılmış, örnek çalışmaya dair varsayımlar ve farklı senaryolar uygulanarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Beşinci bölümde ise bulgulara dayalı sonuçlar tartışılmış ve önerilere yer verilmiştir.





2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tesis yeri seçimi problemi literatürde kapsamlı araştırmalara konu olmuş ve çözümünü için farklı yöntemler önerilmiştir (Laporte ve ark., 2015). Tesis yeri seçimi, doğası gereği yinelemeli olmayan, fonksiyonlar arası bir karar verme problemidir (Kumar ve Kumanan, 2011). Tesis yeri problemi ilk olarak 1963 yılında Cooper tarafından incelenmiş ve 60 yıldır köklü bir araştırma konusu haline gelmiştir. Pratik önemi konuya olan ilginin devam etmesini sağlamıştır (Kodali ve Routroy, 2006).

Bir tesisin kurulması sırasında üç temel faktöre azami dikkat gösterilmelidir. Bu faktörler, en uygun tesis büyüklüğünün ve üretim kapasitesinin seçilmesi, en uygun üretim teknolojisinin ve yönteminin seçilmesi ve en uygun tesis yerinin seçilmesidir. Bu üç konudan en önemlisi tesisin kurulacağı yerin belirlenmesidir. Bunun nedeni, temel üretim kararları olan üretim yöntemi ve kapasite büyüklüğünün bir kez belirlendikten sonra, gerektiğinde belirli parametreler dahilinde değiştirilebilmesidir. Bununla birlikte, zaten elverişsiz bir yerde kök salmış olan bir tesisin taşınması önemli maliyetlere neden olabilmekte ve bir tesisin böyle bir yerde tutulması, ömrü boyunca gereksiz masraflara ve kayıplara yol açabilmektedir. Bir tesisin yanlış yerleştirilmesi, ulusal kaynakların aşırı kullanımına ve gelecekte üretim ve nakliye masraflarının artmasına neden olabilmektedir.

Tesis yeri seçimi sorunları genellikle, belirli bir modele dayalı olarak bir işletme için en uygun yeri belirlemek üzere tesis yeri seçimi modelleri aracılığıyla değerlendirilmektedir. Çeşitli akademik çalışmalarda tesis yer seçimi modellerine ilişkin çok sayıda kategori yapılmıştır. Daskin (1995) tarafından yapılmış sınıflandırmaya göre, tesis yerleri seçim problemleri sürekli (düzlem), kesikli (ayrık) veya ağ modellerine göre; mesafe ölçüsüne göre; yerleştirilecek tesis sayısına göre (çoklu veya tekli); statik veya dinamik; deterministik veya olasılıksal; tek veya çoklu ürün modellerine göre; özel sektör veya kamu sektörüne göre; tek amaçlı veya çok amaçlı; esnek veya esnek olmayan talep durumuna göre; kapasite kısıtlı veya kapasite kısıtsız; talebin en yakın tesisten veya dağıtılarak karşılanmasına göre; hiyerarşik veya tek aşamalı; istenen veya istenmeyen tesisler olmasına göre sınıflandırılmaktadır.

Sule' ye (2001) göre, tesis yeri seçimi modelleri p-medyan problemi, p-merkez problemi, kapasite kısıtlı tesis yeri seçimi modeli, kapasite kısıtsız tesis yeri seçimi modeli ve karesel atama modeli olmak üzere beş temel türe ayrılabilir. Drezner ve Hamacher (2003), sekiz ana gruba ayrılabilir temel tesis yeri seçimi modellerinin bir sınıflandırmasını yapmıştır: küme bindirme, maksimum bindirme, p-merkez, p-dağıtım, p-medyan, sabit maliyetli tesis yeri seçimi modeli, ana dağıtım tabanlı tesis yeri seçimi modeli ve maksimum toplam tesis yeri seçimi modeli. Arabani ve Farahani (2012), statik ve dinamik yer seçimi problemleri olarak iki kategoriye ayırdıkları tesis yer seçimi problemlerini kategorize etmek için bir çalışma yürütmüştür. Statik yerleşim problemlerini sürekli, ayrık ve ağ yerleşim problemleri olarak alt kategorilere ayırırken, dinamik yerleşim problemlerini dinamik deterministik, atama, çoklu/tek periyotlu, zamana bağlı ve stokastik/bulanık

yerleşim problemleri olarak ayırmışlardır. P-medyan tesis konumlandırma problemi, statik konumlandırma problemlerinin bir alt kümesi olan ağ konumlandırma problemleri kategorisine girmektedir.

Statik modellerde girdiler sabit kalır ve zaman içinde değişime tabi değildir. Tesis yeri seçimi problemi için, alan problemi dikkate alınmıyorsa, Revelle ve ark. (2008), belirli bir alandaki müşteriler ve amaç fonksiyonuna dayalı olarak aday konumlara sahip tesisler belirlenerek statik bir model oluşturulması gerektiğini ifade etmişlerdir (Koopmans ve Beckmann, 1957). Dinamik tesis yeri seçimi problemleri çok dönemli planlarla ilgilidir ve belirli bir dönemde yer değiştirmeden kaynaklanan taşıma maliyetleri ile yeniden yerleşim maliyetlerinin toplamını en aza indirmeyi amaçlamaktadır (Ulutaş, 2008).

Kapasite kısıtlı veya kapasite kısıtsız tesis yeri seçim modelinin amacı, her bir müşteri sınıfına uygun tesis sınıfıyla hizmet verebilmek için tesisler için uygun konumları belirlemektir. Çok kaynaklı kapasite kısıtlı tesis yeri modelleri, birden fazla tesise hizmet verilen kapasite kısıtlı tesis yeri modellerinin bir diğer türüdür. Çok kaynaklı model, müşterilere birden fazla tesis tarafından hizmet verilmesine olanak tanıdığı için tek kaynaklı modelden ayırt edilebilmektedir. Tek kaynaklı modelde ortaya çıkan maliyetlerin yanı sıra, bu modelin amaç fonksiyonu, belirli bir müşteri profilinin belirli bir sınıftaki bir tesise atanmasıyla ilişkili sabit maliyeti de içermektedir (Janosikova ve ark., 2017). Kapasite kısıtsız tesis yeri seçimi modelleri, her bir tesisle ilişkili sabit maliyetlerin ve nakliye maliyetlerinin dikkate alınmasını içermektedir. Kapasite kısıtsız yaklaşımının amacı, toplam maliyeti en aza indiren en uygun tesis konumunu ve taşıma rotalarını belirlemektir (Güner, 2006).

Tesis yerleşimi problemleri, genellikle birden fazla kriterin değerlendirilmesini gerektirdiğinden, çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanabilirliğini de ön plana çıkarmıştır. Yang ve Lee tarafından 1997’de yapılan bir çalışmada ÇKKV yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılarak 4 ana kriter ve bunlara bağlı olan 12 alt kriter belirleyerek ve 3 alternatif bölge arasında seçim yapmıştır (Yang ve Lee, 1997). Kahraman ve diğerleri tarafından 2003 yılında bir çalışmada ÇKKV yöntemleri ile bulanık mantık hibrit edilerek 4 farklı bulanık ÇKKV yaklaşımı üzerinde çalışılmış ve en iyi tesis yer seçiminin daha objektif olarak yapılabilmesi sağlanmıştır (Kahraman ve diğerleri, 2003). Partovi tarafından 2006 yılında yapılan bir çalışmada kalite fonksiyon dağıtımı, AHP ve analitik ağ süreci kullanılarak iç ve dış faktörlerin birlikte ele alındığı stratejik bir tesis yer seçimi problemi üzerinde çalışılmıştır (Partovi, 2006).

2.1. P-medyan Tesis Yeri Seçim Problemi ile İlgili Çalışmalar

Bu problem türü ilk olarak Kuehn ve Hamburger (1963), Hakimi (1964), Manne (1964) ve Balinski (1965) tarafından tanıtılmıştır. P-medyan problemi ilk olarak 1964 yılında Hakimi tarafından detaylı bir şekilde formüle edilmiştir. P-medyan problemi, çözüm bulunabilmesi amacıyla çok sayıda çalışmanın odak noktası olmuştur. Tesis yeri seçimi problemleri literatüründe de

görülmektedir (Alp ve ark., 2003). P-medyan problemi, minimum tesis yeri seçimi problemleri altında sınıflandırılmaktadır. Hakimi, problemi formüle etmenin yanı sıra, üçgen eşitsizliği olan bir ağda optimum yerleşimin düğümler üzerinde gerçekleştiğine dair kanıt da sunmuştur (Marianov ve Serra, 2004).

Perez ve Garcia (1994) çalışmalarında, ayırık p-medyan tesis yeri seçimi problemini ele almak için paralel bir genetik algoritma kullanmışlardır. Algoritmaları, popülasyonun paralelleştirmeye olanak tanıyan kolonilere bölünmesini içermektedir. Standart genetik algoritma operatörlerinin yanı sıra, koloniler arası iletişim için göç operatörü kullanılmıştır.

Rolland ve ark. (1996) p-medyan tesis yeri seçimi problemini çözmek için tabu arama algoritması prensiplerine dayanan yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Yazarlar tarafından ortaya konan algoritma, stratejik salınım ve rastgele tabu listesi boyutlarına ek olarak hem kısa hem de uzun dönemli hafızayı kullanmaktadır. Algoritmanın performansı 500'e kadar düğümden oluşan test problemleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Maniezzo ve ark. (1998) kapasite kısıtlı p-medyan problemi için evrime dayalı bir biyonomik (BA) metasezgisel ortaya koymuşlardır. Biyonomik algoritmalar ve etkili yerel arama algoritmalarının kombinasyonu, kombinatoriyal problemlerin çözümü için etkili çözümler sağlayabilmektedir.

Chiyoshi ve Galvao (2000), p-medyan tesis yeri seçimi problemine uygulanan benzetimli tavlama algoritmasının istatistiksel bir analizini yapmıştır. Algoritma, Teitz ve Bart'ın köşe ikamesi yöntemi ile tavlama benzetimi metodolojisinin bir kombinasyonunu kullanmıştır. Uygulanan soğutma programı, sıcaklık düşürme yerine sıcaklık ayarlama prensibini kullanmaktadır. Algoritmanın etkinliği, yerleşik literatürden alınan OR-Library test problemlerinin uygulanmasıyla değerlendirilmiştir.

Correa ve ark. (2001) kapasite kısıtlı p-medyan tesis yeri seçimi problemini genetik algoritma kullanarak pratik bir problemi ele alacak şekilde değiştirmiştir. Yaklaşım, standart genetik algoritma operatörlerini kapsamakta ve hipermutasyon sezgiseli olarak adlandırılan yeni bir sezgisel algoritma getirmektedir. Algoritmanın etkinliği, bir tabu arama algoritması ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Garcia-Lopez ve ark. (2002), popülasyona dayalı dağıtık bir arama algoritmasını paralelleştirmek için birden fazla teknik geliştirmişlerdir. Amaç, algoritmanın çözüm uzayını keşfetmedeki etkinliğini artırmaktır. Ekip üç paralelleştirme yöntemi kullanmış ve bunların etkinliğini test problemleri kullanarak değerlendirmiştir.

Dominguez ve Perez (2002), p-medyan probleminin çözümünde etkili olan bir sinir ağı algoritması ortaya koymuştur. Algoritmanın çeşitli problem boyutlarını ele almadaki yeterliliği geleneksel sezgisel yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Algoritma, küçük boyutlu problemler için yüksek verimlilik gösterirken, daha büyük boyutlu problemler için tatmin edici sonuçlar üretmektedir.

Alp ve Erkut (2003), p-medyan tesis yeri problemini çözmeyi amaçlayan yeni bir genetik algoritma sunmuştur. Algoritmanın kodlama yapısı, çapraz küme içindeki genlerin, seçilen medyan tesislerin mesafe matrisi içindeki indekslere karşılık gelmesini sağlayacak şekilde oluşturulmuştur. Geleneksel çaprazlama tekniklerini kullanmak yerine, açgözlü arama sezgisellerinin uygulanmasından yararlanılmaktadır. Yeni yaklaşım, mevcut literatürden alınan bir dizi kıyaslama problemine uygulanarak değerlendirilmiştir.

Dominguez ve ark. (2003) farklı teknikler kullanarak üç tip tekrarlayan yapay sinir ağı metodolojisi geliştirmişlerdir: tekrarlayan, kümelenmiş ve basamaklı sinir ağı medyan problemleri. Bu yöntemlerin etkinliği ve verimliliği değerlendirilmiştir.

Yiğit ve Türkbey (2003) araştırmalarında, sınırsız kapasiteli tesis yeri seçimi probleminin çözümü için tepe tırmanma yöntemi ve tavlama benzetimi algoritmasının etkinliğini analiz etmişlerdir. Sonuçlar, tavlama benzetimi algoritmasının optimum sonuca yaklaşımda tepe tırmanma yönteminden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Crainic ve ark. (2004), değişken komşuluk arama yöntemi için, paylaşılan merkezi bellek mekanizmasını kullanan kombinatoriyal problemler için kullanılabilir bir çoklu arama tekniği sunmuşlardır. Değişken komşuluk arama yöntemi ile karşılaştırıldığında, önerilen tekniğin çözüm kalitesinde herhangi bir düşüşe yol açmadığı ve hesaplama süresinde önemli iyileşmeler sağladığı görülmektedir.

Diaz ve Fernandez (2006) kapasite kısıtlı p-medyan problemini ele almak için sezgisel algoritmalar sunmuşlardır. İlk çalışmada çözüm elde etmek için Scatter Search algoritması kullanılırken, sonraki çalışmada Path Relinking algoritması kullanılmıştır. İki algoritmayı birleştiren ek bir algoritma kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Her iki algoritma da referans kümesini oluşturmak için GRASP metodolojisini kullanmıştır. Araştırma, dağıtık arama algoritmasının genellikle daha üstün sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Bununla birlikte, dağıtık arama yaklaşımından önce yol yeniden ilişkilendirme algoritmasının dahil edilmesi, başlangıç referans kümesini geliştirdiği için hesaplama süresini artırmaktadır. Geliştirilen yöntemler, literatürde daha önce yayınlanmış olan diğer yöntemlerle karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. Söz konusu yöntemlerin hem optimum sonuçları bulma hem de hesaplama süreleri açısından üstün performans sergilediği sonucuna varılmıştır.

Fathali (2006) pozitif ve negatif ağırlıklı p-medyan problemini ele almak için yeni bir genetik algoritma tanıtmıştır. Çalışmada genetik algoritma ve değişken komşuluk arama yönteminin sonuçları karşılaştırılmıştır. Önerilen yaklaşımın sonuçlarının optimal sonuca daha yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Fleszar ve Hindi (2006) kapasite kısıtlı p-medyan problemini ele almak için bir değişken komşuluk arama algoritması önermiştir. Algoritmanın etkinliği yerleşik kıyaslama problemlerine göre değerlendirilmiş ve optimal çözümlere ulaşmada anlamlı bir performans göstermiştir.

Resende ve Werneck (2006) kapasite kısıtlı p-medyan problemini ele almak için hibrit bir çok-başlangıçlı sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma, tabu arama algoritması, dağıtık arama algoritması ve genetik algoritma olmak üzere üç farklı algoritmanın özelliklerini bir araya getirmektedir. Literatürde belgelenen test problemlerine karşı yapılan incelemede, algoritmanın optimum sonuçlara ulaşmada olağanüstü bir performans sergilediği tespit edilmiştir.

Maniruzzaman ve Ohgai (2008) sürekli p-medyan tesis yeri seçimi problemi için tasarlanmış yeni bir genetik algoritma üzerine bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada, her biri benzersiz seçim prosedürleri kullanan iki farklı genetik algoritma geliştirilmiştir. Algoritma performansını artırmak için, genetik algoritma ve geleneksel yerel arama yöntemleri birleştirilerek hibrit bir algoritma oluşturulmuştur. Algoritmanın verimliliği daha sonra test edilerek değerlendirilmektedir.

Otto ve Kokai (2008), p-medyan tesis yeri seçimi problemini çözmek için ajan odaklı serbest bırakılmış evrimsel bir yaklaşım kullanan dağıtık bir evrimsel algoritma sunmuştur. Bu yöntem, üreme ve mutasyon dahil olmak üzere çeşitli evrimsel algoritma operatörlerini kullanmaktadır. Önerilen yaklaşım sadece kapasitesiz p-medyan probleminde değil, kablosuz sensör ağları gibi diğer alanlarda da uygulanabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Pullan (2008), p-medyan probleminin üstesinden gelmek için popülasyon tabanlı hibrit bir metasezgisel algoritma geliştirmiştir. Algoritma, genetik algoritma yapısı üzerine modellenmiştir ve yeni başlangıç noktaları oluşturmak için çaprazlama operatörünü kullanan hibrit bir yerel arama tekniği içermektedir. Hibrit algoritmanın optimum sonuçlara ulaşmadaki etkinliği, önemli büyüklükteki pmedyan problemlerinin çözümünde gösterilmiş ve performansı literatürdeki önceki örneklerle karşılaştırılmıştır.

Xua ve ark. (2010) kapasite kısıtlı p-medyan tesis yeri seçimi problemini ele almak için geliştirilmiş bir dağıtık arama algoritması sunmuşlardır. Önerilen algoritma, talep noktalarının tahsisini ve hizmet verilecek tesislerin tanımlanmasını içeren yeni bir yaklaşım kullanarak ilk çözümleri üretmektedir. Komşuluktaki çözümü belirlemek için yerel aramayı kullanan bir algoritma kullanılmaktadır. Çözümün kalitesi ve komşuluğun yapısı, yeniden rota ilişkilendirme yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir. Önerilen algoritmanın etkinliği deneysel veri setleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Li ve ark. (2011), hibrit bir genetik algoritma kullandıkları çalışmalarında, rastgele başlangıç popülasyonu oluşturma stratejilerine odaklanarak algoritmanın performansını artırmayı amaçlamışlardır. Yüksek kaliteli bir başlangıç popülasyonu oluşturmak için açgözlü arama tekniğini kullanmışlardır.

Alcaraz ve ark. (2012) güvenilirlik p-medyan problemini ele almak için hibrit algoritmalar geliştirmiştir. P-medyan problemi, gerçek koşullarda bazı tesislerin kapatılması gerekmesine rağmen, tesislerin kurulduktan sonra çalışır durumda kaldığını varsaymaktadır. Güvenilirlik p-medyan problemi, belirli dönemlerde aktif olmayan tesislerle karşılaşabilmektedir. Bu problemi ele almak için araştırmacılar, yerel arama algoritması içeren hibrit bir genetik algoritma tasarlamışlardır.

Bu, yerel optimumun oluşmasını önlemeye yardımcı olmaktadır. Dağıtık arama algoritmasının hibritleştirilmesi, optimum sonuçlara ulaşmada daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

Kaveh ve Esfahani (2012), koşullu p-medyan tesis yeri seçimi problemini ele almak için bir hibrit uyum arama algoritması (HS) tanıtmıştır. Bu problem, hizmet verilmesi gereken önceden var olan tesisler olduğunda ortaya çıkmaktadır. Böyle durumlarda p-medyan problemi koşullu p-medyan problemine dönüşür. Bir bölgede p-medyan tesislerin konumlandırılması problemi bir p-medyan problemi olarak sınıflandırılabilir. Öte yandan, bölgede halihazırda q depo varsa ve görev yeni depolar eklemekse, problem koşullu p-medyan problemi olarak tanımlanabilmektedir. Armoni arama algoritması bu problemi çözmek için kullanılan müzikten esinlenen bir tekniktir. Araştırmacılar, açgözlü uyum algoritmasını geliştirmek için uyum arama algoritmasını yerel açgözlü sezgisel ile birleştirdikleri bir çalışma yürütmüşlerdir. Ayrıca literatürde bahsedilen uygulamalarla karşılaştırarak etkinliğini değerlendirmişlerdir. Algoritma özellikle medyan sayının yüksek olmadığı durumlarda etkilidir.

Özçakar ve Bastı (2012) çalışmalarında, sürü zekası tabanlı bir yöntem olan parçacık sürüsü algoritmasının p-medyan tesis yeri seçimi probleminin çözümündeki etkinliğini araştırmışlardır. Algoritmanın etkinliği, mevcut literatürden iyi bilinen OR-Library ve Galvao test problemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Algoritmanın verimliliğini değerlendirmek için, genetik algoritma, benzetilmiş tavlama algoritması ve tabu arama algoritması da dahil olmak üzere diğer meta sezgisellerle karşılaştırmaya tabi tutulmuştur.

Yaghini ve ark. (2013) kapasite kısıtlı p-medyan probleminin çözümü üzerine yaptıkları çalışmada, tabu arama algoritması ile birlikte düzlemsel bir komşuluk yapısını kullanan hibrit bir meta-sezgisel algoritma kullanmışlardır. Önerilen komşuluk konfigürasyonu, mevcut çözümden komşu çözüme geçiş için daha sonra kapatılacak olan bir açık medyan seçimini içermektedir. Bunu takiben, ikili kısıtlamalar gevşetilmekte ve doğrusal bir programlama yapısı oluşturmak için yeni kısıtlamalar dahil edilmektedir. Doğrusal programlama çözümü, düzlemsel eşitsizliklerin tanımlanması ve ilgili komşuluk yapısının tabu arama algoritmasına dahil edilerek hibrit bir yapı üretilmesiyle geliştirilebilmektedir. Elde edilen hibrit algoritmanın etkinliğini değerlendirmek için, yayınlanmış literatürden çeşitli test problemleri kullanılmıştır. Bulgular, sonuçların etkinlik açısından başarılı olduğunu göstermektedir.

Hassan ve ark. (2014) sürekli p-medyan tesis yeri seçimi problemini çözebilen bir parçacık sürüsü algoritması geliştirmişlerdir. Algoritma, önceki parçacık sürüsü algoritmasına göre bir gelişmedir. Önerilen algoritmanın etkinliği, test problemlerine başarılı bir şekilde uygulanmasıyla kanıtlandığı gibi, basitliği ve sorunsuz uygulaması ile sergilenmektedir.

Krömer ve Platos (2014) p-medyan tesis yeri seçimi problemini çözmek için bir diferansiyel evrim algoritması sunmuştur. Diferansiyel evrim algoritması, gerçek parametreler kullanan stokastik bir evrimsel optimizasyon yöntemidir ve çeşitli alanlarda başarıyla uygulanmıştır. Önerilen yaklaşım, aday çözümleri temsil etmek için gerçek değerli vektörlerin kullanılmasını ve çaprazlama

ve mutasyon operatörleri de dahil olmak üzere popülasyon tabanlı tekniklerin kullanılmasını içermektedir. Etkinliği, literatürdeki OR-Library problem setinden çeşitli problemler üzerinde yapılan deneylerle değerlendirilmiştir.

Mazinan ve ark. (2014) kapasite kısıtlı p-medyan problemini ele almak için guduk algoritması ve k-ortalamar algoritmasını birleştiren hibrit bir meta-sezgisel algoritma kullanmışlardır. Bu hibrit algoritmanın etkinliğini değerlendirmek için Osman ve Hristofides'in her biri 10 problemden oluşan ve daha önce literatürde yer alan test problem setlerini kullanmışlardır. Önerilen algoritma ilk problem setinde üstün performans göstermekte ve ikinci problem setindeki optimal sonuçları sürekli iyileştirme yoluyla daha da geliştirilebilmektedir.

Johrami ve Zarei (2015), farklı başlangıç stratejilerinin ateşböceği algoritmasının belirli bir problem için optimum çözüme ulaşma yeteneği üzerindeki etkisini incelemek için bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada ayrıca ateş böceği algoritması ve parçacık sürüsü algoritmalarının pmedyan problemi için çözüm yaklaşımları karşılaştırılmış ve bu algoritmaların etkinliği değerlendirilmiştir.

Colmenar ve ark. (2016) açgözlü rastgele uyarlanabilir arama prosedürü yaklaşımını kullanarak p-medyan problemi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Yöntemin verimliliğini artırmak için yerel bir arama prosedürü entegre edilmiş ve daha sonra mevcut literatürden elde edilen test problemleri ile karşılaştırılmıştır.

Janosikova ve ark. (2017) çalışmalarında, kapasite kısıtlı p-medyan problemini ele almak için hem tamsayı programlama hem de genetik algoritma yöntemlerini içeren hibrit bir yaklaşım kullanmışlardır. Ayrıca, sonraki nesillerde aday çözümlerin kalitesini artıracak yeni bir çaprazlama operatörü getirerek algoritmanın etkinliğini artırmayı amaçlamışlardır.

2.2. Literatür Genel Değerlendirmesi

Yapılan literatür taramasında p-medyan problemine dair oldukça fazla çalışma ile karşılaşmıştır. Problemin farklı versiyonları olduğu, farklı çözüm yaklaşımlarının uygulandığı görülmektedir. Klasik, sezgisel ve meta sezgisel yöntemler ve harmanlanmış hibrit yöntemlerin çözüme ulaşmada sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Yapılan araştırmada kamu kurum ve kuruluşları için birçok çalışma olsa da büyükşehir belediyeleri ve alt yapı bakım-onarım tesisleri için tesis yeri seçimine dair çalışmaya rastlanılmamıştır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışmada çözüm aranan problem bir p-medyan problemidir. Aday tesis konumlarının diğer noktadaki talepleri karşılaması beklenmektedir. Problem Adana ili ölçeğinde uygulanmıştır. Adana ili bir büyükşehir olduğu için SUKİ tarafından altyapı hizmetleri sağlanmaktadır. Yasal gerekliliklerden dolayı il genelinde tüm ilçelere ve bu ilçelerde yaşayan nüfusa hizmet vermesi gerekmektedir. Aday tesis konumları Adana ili ilçeleri olarak ele alınmıştır. Talepler her ilçenin nüfusu olarak değerlendirilmiştir. Nüfus verisi Adana ili valiliği web sayfasından temin edilmiştir (URL-2). İlçelerin nüfus sayıları Çizelge 3.1’ de dir. İlçeler arası mesafeler ise Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü’ne ait web sayfasından temin edilmiştir (URL-3). Fakat uzaklık matrisinde birim taşıma maliyeti tüm ilçeler arasında farklı ele alınmıştır. Mesafesi az olan fakat ulaşımın zor olduğu yerlerde birim taşıma maliyeti daha yüksek olacağı için ulaşım matrisinde ilçelerin birbirine olan uzaklıkları ulaşım süreleri ile çarpılmıştır. İlçelerin birbirine olan ulaşım süreleri google.maps üzerinden elde edilmiştir. (URL-4) Çizelge 3.2’de gösterilen değerler, ilçelerin birbirine olan uzaklıklarının, birbirlerine ulaşma süreleri ve bir kişiye ulaşım maliyeti ile çarpılması ile oluşturulmuştur. Oluşturulan çizelgede kullanılan bir kişiye ulaşım maliyeti hesaplanırken bir saatte 100 kilometre (km) mesafede 6 lt (litre) yakıt tüketen bir araç örnek alınmış olup yakıt birim fiyatı 45 TL olarak ele alınmıştır. Bir aracın 100 km mesafede ortalama 2.7 kişiye hizmet verdiği temel alınarak maliyet 1 (TL / (kişi*km*saat)) olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucu ortaya çıkan çizelgenin birimi “TL/kişi” dir. Bunun yanında aday tesislerde tesis yeri satın alma maliyeti sabit alınmamıştır. Her bir aday bölgenin farklı tesis arazisi satın alma maliyeti 1000 metrekare üzerinden hesaplanmış (URL 5) ve Çizelge 3.3’ de verilmiştir. Tesis binası inşaat maliyeti 2 katlı prefabrik toplam 500m² bina inşaatı olarak varsayılmıştır. Prefabrik bina inşaat maliyeti tüm ilçelerde 5.000.000 TL =(A) alınmıştır.

Çizelge 3.1 İlçelerin nüfus sayıları(d_i)(kişi).

Aladağ	15.998
Ceyhan	161.159
Çukurova	386.634
Feke	16.536
İmamoğlu	27.784
Karaisalı	22.065
Karataş	23.667
Kozan	132.974
Pozantı	19.930
Saimbeyli	14.560
Sarıçam	194.019
Seyhan	796.131
Tufanbeyli	16.966
Yumurtalık	18.203
Yüreğir	412.092

Çizelge 3.2 İlçeler Arası Ulaşım Maliyeti Matrisi ($m(ij)$ matrisi)

	Aladağ	Ceyhan	Çukurova	Feke	İmamoğlu	Karaisalı	Karataş	Kozan	Pozantı	Saimbeyli	Sarıçam	Seyhan	Tufanbeyli	Yumurtalık	Yüreğir
Aladağ	1	97	141	250	23	157	295	78	424	374	48	130	582	164	140
Ceyhan	97	1	64	172	14	115	118	31	222	330	19	27	453	9	26
Çukurova	141	64	1	309	62	17	77	113	138	507	4	2	670	114	3
Feke	250	172	309	1	93	426	425	49	743	37	159	270	94	314	283
İmamoğlu	23	14	62	93	1	117	120	7	235	218	7	28	325	70	50
Karaisalı	157	115	17	426	117	1	137	173	91	651	67	24	816	172	58
Karataş	295	118	77	425	120	137	1	179	333	659	67	29	828	71	17
Kozan	78	31	113	49	7	173	179	1	397	115	26	90	240	108	93
Pozantı	424	222	138	743	235	91	333	397	1	912	159	125	1007	299	162
Saimbeyli	374	330	507	37	218	651	659	115	912	1	320	467	38	414	484
Sarıçam	48	19	4	159	7	67	67	26	159	320	1	6	434	41	6
Seyhan	130	27	2	270	28	24	29	90	125	467	6	1	614	92	2
Tufanbeyli	582	453	670	94	325	816	828	240	1007	38	434	614	1	671	631
Yumurtalık	164	9	114	314	70	172	71	108	299	414	41	92	671	1	43
Yüreğir	140	26	3	283	50	58	17	93	162	484	6	2	631	43	1

Çizelge 3.3 İlçelerde tesis arazisi satın alma maliyetleri(f_j)(TL)

Aladağ	2.379.000
Ceyhan	3.948.000
Çukurova	7.165.000
Feke	1.245.000
İmamoğlu	1.891.000
Karaisalı	1.658.000
Karataş	2.648.000
Kozan	2.775.000
Pozantı	2.616.000
Saimbeyli	875.000
Sarıçam	5.328.000
Seyhan	6.750.000
Tufanbeyli	1.243.000
Yumurtalık	6.296.000
Yüreğir	4.542.000

Probleme uygulanan çözüm yaklaşımlarından biri olan olarak Bulanık FUCOM yönteminde yer seçimi kriterlerini belirlemek için bir literatür araştırması yapılmıştır. Kriterler, Dickson (1966) tarafından belirtildiği gibi Yerel Su Yönetim İdareleri'nin çalışma koşulları ve yönetim politikaları temel alınarak seçilmiştir. Belirlenen kriterler alt yapı alanında YSYİ' lerde çalışan 8 yıl deneyimli bir inşaat mühendisi, 12 yıl deneyimli bir çevre mühendisi ve 12 yıl deneyimli bir endüstri mühendisi tarafından değerlendirilmiştir. Kriterler daha sonra KV' ler tarafından gözden geçirilmiş ve onaylanmıştır. Çizelge 3.4' de seçilen kriterler ve bunlara karşılık gelen tanımlar sunulmaktadır.

Çizelge 3.4 Kriter Seçim Tablosu

Kriterler	Kriter Açıklamaları	Temel Alınan Çalışma
Enerji Kaynaklarına Yakınlık(C1)	Tesis yerinin Enerji Kaynaklarına Yakınlığı	Yaşlıoğlu ve Önder (2016)
Hammadde ve Yardımcı Malzeme Kaynaklarına Yakınlık (C2)	Tesis inşasında kullanılacak hammadde ve Yardımcı Malzeme Kaynaklarına Yakınlığı	Yaşlıoğlu ve Önder (2016); Cedolin vd., (2018); Yücenur vd., (2019)
İşgücü Olanakları (C3)	Alternatifin işgücü olanakları	Simic vd., (2021)
Ulaşım imkânları (C4)	Tesise istenildiğinde ulaşma ve bakım onarım süreçlerinin takibinin sağlanması	Sennaroglu ve Celebi (2018); Durak vd., (2021)

Karar vericiler ilk olarak kriterlerin önem derecelerine göre bir sıralama oluşturmuştur. Kriterlerin önceliklendirilmesi Çizelge 3.5'de özetlenen ölçek kullanılarak yapılmıştır (Chou ve ark., 2012).

Çizelge 3.5 Kriter değerlendirme için dilsel ifadelerin bulanık sayı değerleri

Dilsel İfadeler	Bulanık Sayı Değerleri
Eşit Derecede Önemli (OZ)	(1, 1, 1)
Çok Zayıf Önemli (ÇZ)	(1, 2, 3)
Zayıf Önemli (Z)	(2, 3, 4)
Orta Zayıf Önemli (RZ)	(3, 4, 5)
Orta Önemli (O)	(4, 5, 6)
Daha Önemli (Rİ)	(5, 6, 7)
Oldukça Önemli (İ)	(6, 7, 8)
Çok Önemli (Çİ)	(7, 8, 9)
Mükemmel önemli (Oİ)	(8, 9, 9)

3.2. Metot

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan yöntemler anlatılmaktadır. Öncelikle Bulanık FUCOM Metodu tanıtılmaktadır. Sonrasında Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli ve çalışma kapsamında geliştirilmiş Bulanık FUCOM Tabanlı P-Medyan Matematiksel Modeli tanıtılmaktadır.

3.2.1. Bulanık FUCOM

Pamuçar ve ark. (2018), FUCOM yöntemi olarak bilinen yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur. Bu yöntem, karar vericinin tercihlerine göre hem nicel hem de nitel verileri değerlendirme kabiliyetiyle diğer ağırlıklandırma yöntemlerinden ayrılmaktadır. Bulanık FUCOM tekniği ilk olarak Pamučar ve ark. (2020) tarafından kullanılmıştır (Pamuçar ve ark., 2020).

Bulanık FUCOM tekniğinin süreçleri; karar kriterlerinin belirlenmesi, kriterlerin sıralanması ve üçgensel bulanık sayılar kullanılarak kriterlerin karşılaştırılması ve optimum bulanık ağırlıkların sıralanmasıdır.

3.2.2. Adım 1: Karar kriterlerinin belirlenmesi

İlk adım karar kriterlerini belirlemektir. Kriter sayısı j ile gösterilir ve 1 ile n arasında değişmektedir ($j = \{1, 2, 3, \dots, n\}$) ve her bir kritere $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$ değerleri atanmaktadır.

3.2.3. Adım 2: Kriterlerin Sıralanması ve Üçgensel Bulanık Sayılar Kullanılarak Kriterlerin Karşılaştırılması

Belirlenen karar kriterleri karar vericiler tarafından önemlerine göre sıralanacaktır. Sıralama, en yüksek ağırlık katsayısına sahip olması beklenen kriterden başlayarak ve en düşük ağırlık katsayısına sahip olması beklenen kriterle sona erecek şekilde azalan sırada yapılacaktır. Bu süreç, değerlendirmenin yapılandırılmış ve sistematik bir şekilde yürütülmesini sağlayacaktır.

$$C_{j(1)} > C_{j(2)} > \dots > C_{j(k)} \quad (1)$$

$C_{j(k)}$ gösterimi j . kriteri ifade eder, burada j 1 ile n arasında değişir ve k karar verici tarafından belirlenen C_j kriter sırasını temsil etmektedir. Kriterler arasında eşitlik olması durumunda (=) gösterimi geçerlidir.

Bu kriterlerin ele alınmasında üçgen bulanık sayı operatörleri kullanılmıştır. Sıralanan kriterlerin kapsamlı bir analizi yapılarak karşılaştırmalı öncelik vektörleri $\varphi_{(k/k+1)}$ geliştirilmiştir. Burada $\varphi_{(k/k+1)}$, k . sıradaki kriterin $(k+1)$. sıradaki kritere göre sahip olduğu üstünlük derecesini temsil etmektedir.

$$\Phi = (\varphi_{(1/2)}, \varphi_{(2/3)}, \dots, \varphi_{(k/k+1)}) \quad (2)$$

$$\varphi_{(k/k+1)} = \frac{\varpi_{C_j(k)}}{\varpi_{C_j(k+1)}} = \frac{\varpi_{C_j(k+1)}^l + \varpi_{C_j(k+1)}^m + \varpi_{C_j(k+1)}^u}{\varpi_{C_j(k)}^l + \varpi_{C_j(k)}^m + \varpi_{C_j(k)}^u} \quad (3)$$

Burada, $\varpi_{C_j(k)}$ k . sıralamadaki j . olarak belirlenen kriterin önem derecesini göstermektedir.

l : Mümkün olan en küçük değer

m : En çok beklenen değer

u : Mümkün olan en yüksek değer olarak tanımlanır.

3.2.4. Adım 3: Optimum bulanık ağırlıkların hesaplanması.

Kriterlerin nihai ağırlığını elde etmek için iki koşulun yerine getirilmesi gerekmektedir. Bu koşullar aşağıdaki gibidir:

Kriterlerin önem katsayılarının $\left(\frac{w^{(k)}}{w^{(k+1)}}\right)$ ve Adım 2'de kriterler için tanımlanan karşılaştırmalı öncelik vektörü $\varphi_{(k/k+1)}$ oranının eşitliği, herhangi bir karar vermek için eşitlik (4) ile ifade edilen gerekli bir koşuldur.

$$\frac{w^{(k)}}{w^{(k+1)}} = \varphi_{(k/k+1)} \quad (4)$$

Ağırlık katsayılarının geçerliliğini sağlamak için geçişlilik koşulunu sağlamaları önem arz etmektedir. Bu koşul eşitlik (4) kullanılarak matematiksel olarak ifade edilebilir. Ayrıca, eşitlik (5) ve eşitlik (6), eşitlik (7)' nin oluşturulmasına yol açan diğer gerekli koşulları sağlamaktadır. Tüm bu koşulların yerine getirildiğinden emin olmak, hesaplamaların bütünlüğünü korumak için gerekmektedir.

$$\frac{w^{(k)}}{w^{(k+2)}} = \frac{w^{(k)}}{w^{(k+1)}} \otimes \frac{w^{(k+1)}}{w^{(k+2)}} \quad (5)$$

$$\frac{\varphi_{(k)}}{\varphi_{(k+2)}} = \frac{\varphi_{(k)}}{\varphi_{(k+1)}} \otimes \frac{\varphi_{(k+1)}}{\varphi_{(k+2)}} \quad (6)$$

$$\frac{w_{(k)}}{w_{(k+2)}} = \frac{\varphi_{(k)}}{\varphi_{(k+1)}} \otimes \frac{\varphi_{(k+1)}}{\varphi_{(k+2)}} \quad (7)$$

Maksimum tutarlılığın elde edilmesi, yukarıda özetlendiği gibi eşitlik (4) ve eşitlik (5)'te belirtilen koşulların sağlanmasıyla gerçekleşmektedir. Bu şekilde, DMC (Deviation from maximum Consistency) olarak ifade edilen maksimum tutarlılıktan sapma katsayısı minimum değerine indirilmektedir. Her bir kriter için kesin ağırlıklar ($w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$) ve DMC değeri ve χ değeri elde edilmektedir. Bu ağırlıklar daha sonra atanan kriterlere göre atanmaktadır.

$$\begin{aligned} & \min \chi \\ \text{s.t.} & \left| w_{j(k)} - w_{j(k+1)} \otimes \frac{\varphi_{(k)}}{\varphi_{(k+1)}} \right| \leq \chi \quad \forall j \\ & \left| w_{j(k)} - w_{j(k+2)} \otimes \frac{\varphi_{(k)}}{\varphi_{(k+1)}} \otimes \frac{\varphi_{(k+1)}}{\varphi_{(k+2)}} \right| \leq \chi \quad \forall j \\ & \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad \forall j \\ & w_j = (w_j^l, w_j^m, w_j^u) \\ & w_j^l \geq 0 \quad \forall j \\ & j = 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned}$$

$$w_j = (w_j^l, w_j^m, w_j^u),$$

$$\varphi_{(k/k+1)} = \left(\varphi_{(k/k+1)}^l, \varphi_{(k/k+1)}^m, \varphi_{(k/k+1)}^u \right) \text{ ve } \varphi_{(k+1/k+2)} = \left(\varphi_{(k+1/k+2)}^l, \varphi_{(k+1/k+2)}^m, \varphi_{(k+1/k+2)}^u \right) \text{ ile temsil}$$

edilmiştir.

3.3. Klasik P- Medyan Matematiksel Modeli

Tesis yeri seçimi probleminin literatürde çok farklı uygulama alanlarında kullanıldığı görülmektedir. Bu durumlar arasında; dağıtım sistemi dizaynı (Klose ve Drexl, 2003), kablosuz sensör ağları (Frank ve Romer, 2007), hesaplamalı biyoloji (Dueck ve ark., 2008) ve bilgisayar görüntüleme (Li, 2007; Lazic ve ark., 2009) gibi konular yer almaktadır.

Kamu kurum ve kuruluşlarının işleyişlerine dair birçok farklı alanda uygulama mevcuttur. Modelde kullanılan değişkenler ve açıklamaları Çizelge 3.6.'da verilmektedir.

Çizelge 3.6. Klasik P-Medyan Matematiksel Modelinde Kullanılan Değişkenler Ve Açıklamaları

Gösterim	Açıklama
İndis	
T	Tesis Yerleşim Yerleri
i	Talep Noktası
j	Aday Tesis Noktası
P	Talep Noktaları Seti
Parametreler	
K	İzin Verilen Verilen Maksimum Ulaştırma Maliyeti (TL/Kişi)
L	Tesis Atanan Şehirlerin Hizmet Vereceği Maksimum Nüfus Değeri (Kişi)
m_{ij}	Talep Noktası i İle Tesis j ' ye Ulaşmanın Maliyeti (TL/Kişi)
A	Prefabrik Tesis Binası İnşaat Maliyeti (TL)
f_j	j Noktasında Tesis Arazisi Satın Alma Maliyeti (TL)
d_i	Talep Noktası i ' nin Toplam Nüfusu (Kişi)
Karar Değişkenleri	
x_{ij}	Talep Noktası i Tesis j ' ye Atanmasına İlişkin Binary Değişken
y_j	j Noktasına Tesis Açılmasına İlişkin Binary Değişken

Bu çalışmada p-medyan tesis yeri seçim problemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli eşitlik (8)' deki gibidir.

$$\min \sum_i \sum_j d_i m_{ij} x_{ij} + \sum_j f_j y_j + \sum_j A y_j \quad (8)$$

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i \in P \quad (9)$$

$$y_j \geq x_{ij} \quad \forall i \in P, j \in T \quad (10)$$

$$\sum_j m_{ij} y_j \leq K \quad \forall i \in P \quad (11)$$

$$\sum_j d_i x_{ij} \leq L \quad \forall j \in P \quad (12)$$

$$y_j, x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in P, j \in T \quad (13)$$

Talep noktaları seti P , tesis yerleşim yerleri T , her bir $j \in T$ tesisinin açılacağı yerde arazi satın alma maliyeti f_j , talep noktası i ile tesis j 'ye ulaşmanın maliyeti ise m_{ij} ile temsil edilmekte ve her bir talep noktasını sadece bir tesise minimum maliyetle bağlamak suretiyle bir dizi tesis yerleşim yeri seçimi konu edilmektedir.

Klasik P-Medyan Matematiksel Modelinde amaç fonksiyonu (8) açılan tüm tesislerle bu tesislerden taleplerini karşılayan ilçeler arası toplam taşıma maliyeti ile toplam tesis açma maliyetinin minimizasyonunu temsil etmektedir.

Klasik P-Medyan Matematiksel Modelindeki (9) numaralı eşitlik, her bir ilçenin talebinin yalnızca tek bir tesis tarafından karşılanabileceği bir koşul oluşturmaktadır. Buna ek olarak, eşitlik (10), şehirlerin talebinin yalnızca bir tesisin kurulmuş olduğu şehirler tarafından karşılanabileceğini belirtmektedir.

Klasik P-Medyan Matematiksel Modelindeki kısıt (11) açılan tesisin hizmet vereceği şehirlere olan ulaştırma maliyeti toplamının K değerinden az olmasını garanti eder.

Klasik P-Medyan Matematiksel Modelindeki kısıt (12) açılan tesisin hizmet vereceği şehirlerin nüfusunun toplamının L değerinden az olmasını garanti eder.

Klasik P-Medyan Matematiksel Modelindeki kısıt (13), karar değişkenlerinin ikili olduğunu ve 0 ya da 1 değerlerini aldığını belirtmektedir.

3.4. Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli

Çalışma kapsamında geliştirilen diğer model, Klasik P-Medyan Matematiksel Modelinde kullanılan amaç fonksiyonundaki karar değişkenlerinin Bulanık FUCOM ile belirlenen ağırlıkları ve aday konumların kriter puanları kullanılarak oluşturulmuş matematiksel modeldir. Çalışmada Bulanık FUCOM' da belirlenen 4 kriter ve bu kriterler temelinde aday tesisler KV'ler tarafından değerlendirilmiş ve ilçelerin kriter puanları belirlenmiştir. Modelde kullanılan değişkenler ve açıklamaları Çizelge 3.7.'de verilmektedir.

Çizelge 3.7. Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modelde Kullanılan Değişkenler Ve Açıklamaları

Gösterim	Açıklama
İndis	
T	Tesis Yerleşim Yerleri
i	Talep Noktası
j	Aday Tesis Noktası
P	Talep Noktaları Seti
Parametreler	
K	İzin Verilen Verilen Maksimum Ulaştırma Maliyeti (TL/Kişi)
L	Tesis Atanan Şehirlerin Hizmet Vereceği Maksimum Nüfus Değeri (Kişi)
m_{ij}	Talep Noktası i İle Tesis j ' ye Ulaşmanın Maliyeti (TL/Kişi)
A	Prefabrik Tesis Binası İnşaat Maliyeti (TL)
f_j	j Noktasında Tesis Arazisi Satın Alma Maliyeti (TL)
d_i	Talep Noktası i ' nin Toplam Nüfusu (Kişi)
w_1	Enerji Kaynaklarına Yakınlık (C1) Kriterinin Bulanık FUCOM Ağırlığı
w_2	Hammadde Ve Yardımcı Malzeme Kaynaklarına Yakınlık (C2) Kriterinin Bulanık FUCOM Ağırlığı
w_3	İşgücü Olanakları (C3) Kriterinin Bulanık FUCOM Ağırlığı
w_4	Ulaşım İmkânları (C4) Kriterinin Bulanık FUCOM Ağırlığı
$c1_j$	Aday Tesis j ' nin C1 Kriterine İlişkin Bulanık FUCOM Puanı
$c2_j$	Aday Tesis j ' nin C2 Kriterine İlişkin Bulanık FUCOM Puanı
$c3_j$	Aday Tesis j ' nin C3 Kriterine İlişkin Bulanık FUCOM Puanı
$c4_j$	Aday Tesis j ' nin C4 Kriterine İlişkin Bulanık FUCOM Puanı
Karar Değişkenleri	
x_{ij}	Talep Noktası i Tesis j ' ye Atanmasına İlişkin Binary Değişken
y_j	j Noktasına Tesis Açılmasına İlişkin Binary Değişken

Bulanık Fucom Tabanlı P- Medyan modelinin amaç fonksiyonu eşitlik (13) ifade edilmiştir.

$$\text{maks } \sum_i \sum_j w_1 c1_j y_j + \sum_j w_2 c2_j y_j + \sum_j w_3 c3_j y_j + \sum_j w_4 c4_j y_j \quad (13)$$

Matematiksel modelde yer alan parametrelerden olan her bir $j \in T$ tesisi için 4 kriter belirlenmiştir. Enerji Kaynaklarına Yakınlık (C1), Hammadde ve Yardımcı Malzeme Kaynaklarına Yakınlık (C2), İşgücü Olanakları (C3) ve Ulaşım imkânları (C4) kriterleri kullanılmaktadır. Her bir

kriterin ağırlık puanı olan w_1, w_2, w_3, w_4 kriter ağırlık puanları Bulanık FUCOM yöntemi ile belirlenmektedir. $c1_j, c2_j, c3_j$ ve $c4_j$ değişkenleri 4 kriter için her bir aday tesisin puanlarını içermektedir. Bu değerlerin hesaplanması için karşılaştırma matrisleri KV tarafından doldurulmuştur. Ardından normalize edilmiştir. Değişkenler için elde edilen puanlar matematiksel modele parametre olarak girilmiştir. Amaç fonksiyonu (13) aday tesislerin Bulanık FUCOM kriter puanları ve kriterlerin ağırlık değerlerine göre maksimize edilmesini amaçlamaktadır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen matematiksel modellerin uygulanmasında GAMS programı kullanılarak çözülmüştür.



4. BULGULAR

4.1. Bulanık FUCOM' a İlişkin Bulgular

Uygulama kapsamında yerel su yönetim idareleri bakım – onarım tesis yeri seçimi için Bulanık FUCOM ve Bulanık FUCOM tabanlı p-medyan matematiksel modelinin aşamalarında kullanılacak kriterler, karar vericiler (KV), aday tesislerin karar vericiler tarafından belirlenmiş kriterler bazında ağırlıkları ve belirlenen kriterlerin puanları belirlenmiştir.

Adım 1: Karar kriterlerinin belirlenmesi

Yer seçimi kriterlerini belirlemek için bir literatür taraması yapılmıştır. Kriterler, Dickson (1966) tarafından belirtildiği gibi Yerel Su Yönetim İdareleri'nin çalışma koşulları ve yönetim politikaları temel alınarak seçilmiştir. Kriterler daha sonra KV' ler tarafından gözden geçirilmiş ve onaylanmıştır. Çizelge 4.1' de seçilen kriterler ve bunlara karşılık gelen tanımlar sunulmaktadır.

Çizelge 4.1 Kriter Belirleme Tablosu

Seçilen Kriterler	Kriter Açıklamaları
Enerji Kaynaklarına Yakınlık(C1)	Tesis yerinin Enerji Kaynaklarına Yakınlığı
Hammadde ve Yardımcı Malzeme Kaynaklarına Yakınlık (C2)	Tesis inşasında kullanılacak hammadde ve Yardımcı Malzeme Kaynaklarına Yakınlığı
İşgücü Olanakları (C3)	Alternatifin işgücü olanakları
Ulaşım imkânları (C4)	Tesise istenildiğinde ulaşma ve bakım onarım süreçlerinin takibinin sağlanması

Adım 2: Değerlendirme sürecine devam etmek için, kriterlerin bir sıralamasını oluşturmak ve bunları üçgen bulanık sayılar kullanarak karşılaştırmak gerekmektedir.

Karar vericiler Çizelge 3.5' deki üçgen bulanık sayıları kullanarak kriterleri önem derecelerine göre sıralamışlardır. Sıralama süreci, en yüksek önem katsayısına sahip olması beklenen kriterden başlayarak ve en düşük önem katsayısına sahip kriterle sonuçlanarak eşitlik (1) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Eşitlik 14-16' da KV' lerin kriterler için önem sıralaması verilmiştir.

$$KV1:C2=C3=C1>C4 \quad (14)$$

$$KV2:C3=C4=C2>C1 \quad (15)$$

$$KV3:C1=C3>C2=C4 \quad (16)$$

Karar vericiler, önem sıralamasındaki ilk kriterin sonraki kriterlere göre önem düzeyini belirlemek için Çizelge 4.2’ de gösterilen bulanık değerlendirme ölçeğini kullanmışlardır. Dilsel değerlendirmeler bulanık sayı değerlerine dönüştürülmüş ve Çizelge 4.3’ de sunulmuştur.

Çizelge 4.2 KV’ lerin bulanık sayı değerleri ile değerlendirmeleri

	KV1	KV2	KV3
C1	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)
C2	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)
C3	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
C4	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)

Kriterlerin her bir KV için karşılaştırmalı önemi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

KV 1 için Eşitlik 17-19’da oluşturulmuştur;

$$\varphi_{C1/C2} = (1, 1, 1) / (1, 1, 1) = (1, 1, 1) \quad (17)$$

$$\varphi_{C2/C3} = (1, 1, 1) / (1, 1, 1) = (1, 1, 1) \quad (18)$$

$$\varphi_{C3/C4} = (1, 1, 1) / (1, 2, 3) = (0.33, 0.5, 1) \quad (19)$$

Çizelge 4.3 KV 1 için karşılaştırmalı önem değerleri

C1	C2	$\varphi_{C1/C2}$
(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
C2	C3	$\varphi_{C2/C3}$
(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
C3	C4	$\varphi_{C3/C4}$
(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(0.33, 0.5, 1)

KV 2 için Eşitlik 20-22’de oluşturulmuştur;

$$\varphi_{C2/C3} = (1, 1, 1) / (1, 1, 1) = (1, 1, 1) \quad (20)$$

$$\varphi_{C3/C4} = (1, 1, 1) / (1, 1, 1) = (1, 1, 1) \quad (21)$$

$$\varphi_{C4/C1} = (1, 1, 1) / (1, 2, 3) = (0.33, 0.5, 1) \quad (22)$$

Çizelge 4.4 KV 2 için karşılaştırmalı önem değerleri

C2	C3	$\varphi_{C2/C3}$
(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
C3	C4	$\varphi_{C3/C4}$
(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
C4	C1	$\varphi_{C4/C1}$
(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(0.33, 0.5, 1)

KV 3 için Eşitlik 23-25'de oluşturulmuştur;

$$\varphi_{C1/C3} = (1, 1, 1) / (1, 1, 1) = (1, 1, 1) \quad (23)$$

$$\varphi_{C3/C4} = (1, 1, 1) / (1, 2, 3) = (0.33, 0.5, 1) \quad (24)$$

$$\varphi_{C4/C2} = (1, 2, 3) / (1, 2, 3) = (0.33, 1, 3) \quad (25)$$

Çizelge 4.5 KV 3 için karşılaştırmalı önem değerleri

C1	C3	$\varphi_{C1/C3}$
(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
C3	C4	$\varphi_{C3/C4}$
(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(0.33, 0.5, 1)
C4	C2	$\varphi_{C4/C2}$
(1, 2, 3)	(1, 2, 3)	(0.33, 1, 3)

Her bir KV için kriterlerin karşılaştırmalı önemine dayalı olarak, karşılaştırmalı anlamlılık vektörü şu şekilde oluşturulur.

KV 1 için

$\Phi = ((1, 1, 1), (1, 1, 1), (0.33, 0.5, 1))$ ve Eşitlik (3) uygulanarak, bulanık lineer modelin birinci koşuluğu Eşitlik 26-28'de oluşturulmuştur.

$$w_{C1}/w_{C2} = (1, 1, 1) \quad (26)$$

$$w_{C2}/w_{C3} = (1, 1, 1) \quad (27)$$

$$w_{C3}/w_{C4} = (0.33, 0.5, 1) \quad (28)$$

Daha sonra Eşitlik (4) uygulayarak, bulanık lineer modelin ikinci koşuluğu Eşitlik 29-30'da oluşturulmuştur:

$$w_{c1}/w_{c3} = (1, 1, 1) \otimes (1, 1, 1) = (1, 1, 1) \quad (29)$$

$$w_{c2}/w_{c4} = (1, 1, 1) \otimes (0.33, 0.5, 1) = (0.33, 0.5, 1) \quad (30)$$

Çizelge 4.6 KV 1 İçin Bulanık lineer modelin ikinci koşulunun oluşturulması

w_{c1}		w_{c3}	w_{c1}/w_{c3}
(1, 1, 1)	⊗	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
w_{c2}		w_{c4}	w_{c2}/w_{c4}
(1, 1, 1)	⊗	(0.33, 0.5, 1)	(0.33, 0.5, 1)

Tanımlanan kısıtlamalara dayalı olarak ağırlık katsayılarının bulanık optimal değerini belirlemek için aşağıdaki model (Eşitlik 32 - 46) oluşturulmuştur.

$$\text{Min } \chi \quad (31)$$

Kısıtlayıcılar:

$$w_1^l - 1 w_2^u \leq \chi \quad w_2^l - 1 w_3^u \leq \chi \quad w_3^l - 0.33 w_4^u \leq \chi \quad (32)$$

$$w_1^l - 1 w_2^u \geq -\chi \quad w_2^l - 1 w_3^u \geq -\chi \quad w_3^l - 0.33 w_4^u \geq -\chi \quad (33)$$

$$w_1^m - 1 w_2^m \leq \chi \quad w_2^m - 1 w_3^m \leq \chi \quad w_3^m - 0.5 w_4^m \leq \chi \quad (34)$$

$$w_1^m - 1 w_2^m \geq -\chi \quad w_2^m - 1 w_3^m \geq -\chi \quad w_3^m - 0.5 w_4^m \geq -\chi \quad (35)$$

$$w_1^u - 1 w_2^l \leq \chi \quad w_2^u - 1 w_3^l \leq \chi \quad w_3^u - 1 w_4^l \leq \chi \quad (36)$$

$$w_1^u - 1 w_2^l \geq -\chi \quad w_2^u - 1 w_3^l \geq -\chi \quad w_3^u - 1 w_4^l \geq -\chi \quad (37)$$

$$w_1^l - 1 w_3^u \leq \chi \quad w_2^l - 0.33 w_4^u \leq \chi \quad (38)$$

$$w_1^l - 1 w_3^u \geq -\chi \quad w_2^l - 0.33 w_4^u \geq -\chi \quad (39)$$

$$w_1^m - 1 w_3^m \leq \chi \quad w_2^m - 0.5 w_4^m \leq \chi \quad (40)$$

$$w_1^m - 1 w_3^m \geq -\chi \quad w_2^m - 0.5 w_4^m \geq -\chi \quad (41)$$

$$w_1^u - 1 w_3^l \leq \chi \quad w_2^u - 1 w_4^l \leq \chi \quad (42)$$

$$w_1^u - 1 w_3^l \geq -\chi \quad w_2^u - 1 w_4^l \geq -\chi \quad (43)$$

$$\frac{w_1^l+4 w_1^m+w_1^u}{6} + \frac{w_2^l+4 w_2^m+w_2^u}{6} + \frac{w_3^l+4 w_3^m+w_3^u}{6} + \frac{w_4^l+4 w_4^m+w_4^u}{6} = 1 \quad (44)$$

$$w_1^l \leq w_1^m \leq w_1^u ; w_2^l \leq w_2^m \leq w_2^u ; w_3^l \leq w_3^m \leq w_3^u ; w_4^l \leq w_4^m \leq w_4^u \quad (45)$$

$$w_1^l, w_2^l, w_3^l, w_4^l \geq 0 \quad (46)$$

Bulanık doğrusal model, GAMS ile çözümlenerek maksimum tutarlılık $\chi = 0.00$ 'dan sapma ile KV 1 için kriterlerin optimum değerleri elde edilmiştir. Bulanık ağırlık katsayıları (\check{w}_j) Eşitlik 47'de verilmiştir.

$$\check{w}_j = \begin{pmatrix} 0.19979 & 0.19979 & 0.19979 \\ 0.19979 & 0.19979 & 0.19979 \\ 0.19979 & 0.19979 & 0.19979 \\ 0.19979 & 0.39959 & 0.60544 \end{pmatrix} \quad (47)$$

Bulanık ağırlık katsayılarına durulaştırma uygulanarak net ağırlıklar $w = (0.19979, 0.19979, 0.19979, 0.4005)$ elde edilmiştir.

KV 2 için

$\Phi = ((1, 1, 1), (1, 1, 1), (0.33, 0.5, 1))$ ve Eşitlik (3) uygulanarak, bulanık lineer modelin birinci koşulu Eşitlik 48-50'de oluşturulmuştur.

$$w_{c2}/w_{c3} = (1, 1, 1) \quad (48)$$

$$w_{c3}/w_{c4} = (1, 1, 1) \quad (49)$$

$$w_{c4}/w_{c1} = (0.33, 0.5, 1) \quad (50)$$

Daha sonra Eşitlik (4) uygulayarak, bulanık lineer modelin ikinci koşulu şekilde Eşitlik 51-52'de oluşturulmuştur.

$$w_{c2}/w_{c4} = (1, 1, 1) \otimes (1, 1, 1) = (1, 1, 1) \quad (51)$$

$$w_{c3}/w_{c1} = (1, 1, 1) \otimes (0.33, 0.5, 1) = (0.33, 0.5, 1) \quad (52)$$

Çizelge 4.7 KV 2 İçin Bulanık lineer modelin ikinci koşulunun oluşturulması

w_{c2}		w_{c4}	w_{c2}/w_{c4}
(1, 1, 1)	⊗	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
w_{c3}		w_{c1}	w_{c3}/w_{c1}
(1, 1, 1)	⊗	(0.33, 0.5, 1)	(0.33, 0.5, 1)

Tanımlanan kısıtlamalara dayalı olarak ağırlık katsayılarının bulanık optimal değerini belirlemek için aşağıdaki model (Eşitlik 53-68) oluşturulmuştur.

$$\text{Min } \chi \quad (53)$$

Kısıtlayıcılar:

$$w_2^l - 1 w_3^u \leq \chi \quad w_3^l - 1 w_4^u \leq \chi \quad w_4^l - 0.33 w_1^u \leq \chi \quad (54)$$

$$w_2^l - 1 w_3^u \geq -\chi \quad w_3^l - 1 w_4^u \geq -\chi \quad w_4^l - 0.33 w_1^u \geq -\chi \quad (55)$$

$$w_2^m - 1 w_3^m \leq \chi \quad w_3^m - 1 w_4^m \leq \chi \quad w_4^m - 0.5 w_1^m \leq \chi \quad (56)$$

$$w_2^m - 1 w_3^m \geq -\chi \quad w_3^m - 1 w_4^m \geq -\chi \quad w_4^m - 0.5 w_1^m \geq -\chi \quad (57)$$

$$w_2^u - 1 w_3^l \leq \chi \quad w_3^u - 1 w_4^l \leq \chi \quad w_4^u - 1 w_1^l \leq \chi \quad (58)$$

$$w_2^u - 1 w_3^l \geq -\chi \quad w_3^u - 1 w_4^l \geq -\chi \quad w_4^u - 1 w_1^l \geq -\chi \quad (59)$$

$$w_2^l - 1 w_4^u \leq \chi \quad w_3^l - 0.33 w_1^u \leq \chi \quad (60)$$

$$w_2^l - 1 w_4^u \geq -\chi \quad w_3^l - 0.33 w_1^u \geq -\chi \quad (61)$$

$$w_2^m - 1 w_4^m \leq \chi \quad w_3^m - 0.5 w_1^m \leq \chi \quad (62)$$

$$w_2^m - 1 w_4^m \geq -\chi \quad w_3^m - 0.5 w_1^m \geq -\chi \quad (63)$$

$$w_2^u - 1 w_4^l \leq \chi \quad w_3^u - 1 w_1^l \leq \chi \quad (64)$$

$$w_2^u - 1 w_4^l \geq -\chi \quad w_3^u - 1 w_1^l \geq -\chi \quad (65)$$

$$\frac{w_1^l + 4 w_1^m + w_1^u}{6} + \frac{w_2^l + 4 w_2^m + w_2^u}{6} + \frac{w_3^l + 4 w_3^m + w_3^u}{6} + \frac{w_4^l + 4 w_4^m + w_4^u}{6} = 1 \quad (66)$$

$$w_1^l \leq w_1^m \leq w_1^u ; w_2^l \leq w_2^m \leq w_2^u ; w_3^l \leq w_3^m \leq w_3^u ; w_4^l \leq w_4^m \leq w_4^u \quad (67)$$

$$w_1^l, w_2^l, w_3^l, w_4^l \geq 0 \quad (68)$$

Bulanık doğrusal model, GAMS ile çözülerek maksimum tutarlılık $\chi = 0.00$ 'dan sapma ile KV 3 için kriterlerin optimum değerleri elde edilmiştir. Bulanık ağırlık katsayıları (\check{w}_j) Eşitlik 69'da verilmiştir.

$$\check{w}_j = \begin{pmatrix} 0.19979 & 0.39959 & 0.60544 \\ 0.19979 & 0.19979 & 0.19979 \\ 0.19979 & 0.19979 & 0.19979 \\ 0.19979 & 0.19979 & 0.19979 \end{pmatrix} \quad (69)$$

Bulanık ağırlık katsayılarına durulaştırma uygulanarak net ağırlıklar $w = (0.4005, 0.19979, 0.19979, 0.19979)$ elde edilmiştir.

KV 3 için

$\Phi = ((1, 1, 1), (0.33, 0.5, 1), (0.33, 1, 3))$ ve Eşitlik (3) uygulanarak, bulanık lineer modelin birinci koşulu Eşitlik 70-72'de oluşturulmuştur.

$$w_{c1}/w_{c3} = (1, 1, 1) \quad (70)$$

$$w_{c3}/w_{c4} = (0.33, 0.5, 1) \quad (71)$$

$$w_{c4}/w_{c2} = (0.33, 1, 3) \quad (72)$$

Daha sonra Eşitlik (4) uygulayarak, bulanık lineer modelin ikinci koşulu şekilde Eşitlik 73-74'de oluşturulmuştur.

$$w_{c1}/w_{c4} = (1, 1, 1) \otimes (0.33, 0.5, 1) = (0.33, 0.5, 1) \quad (73)$$

$$w_{c3}/w_{c2} = (0.33, 0.5, 1) \otimes (0.33, 1, 3) = (0.1089, 0.5, 3) \quad (74)$$

Çizelge 4.8 KV 3 İçin Bulanık lineer modelin ikinci koşulunun oluşturulması

w_{c1}		w_{c4}	w_{c1}/w_{c4}
(1, 1, 1)	\otimes	(0.33, 0.5, 1)	(0.33, 0.5, 1)
w_{c3}		w_{c2}	w_{c3}/w_{c2}
(0.33, 0.5, 1)	\otimes	(0.33, 1, 3)	(0.1089, 0.5, 3)

Tanımlanan kısıtlamalara dayalı olarak ağırlık katsayılarının bulanık optimal değerini belirlemek için aşağıdaki model (Eşitlik 75-90) oluşturulmuştur.

$$\text{Min } \chi \quad (75)$$

Kısıtlayıcılar:

$$w_1^l - 1 w_3^u \leq \chi \quad w_4^l - 0.33 w_2^u \leq \chi \quad w_3^l - 0.33 w_4^u \leq \chi \quad (76)$$

$$w_1^l - 1 w_3^u \geq -\chi \quad w_4^l - 0.33 w_2^u \geq -\chi \quad w_3^l - 0.33 w_4^u \geq -\chi \quad (77)$$

$$w_1^m - 1 w_3^m \leq \chi \quad w_4^m - 1 w_2^m \leq \chi \quad w_3^m - 0.5 w_4^m \leq \chi \quad (78)$$

$$w_1^m - 1 w_3^m \geq -\chi \quad w_4^m - 1 w_2^m \geq -\chi \quad w_3^m - 0.5 w_4^m \geq -\chi \quad (79)$$

$$w_1^u - 1 w_3^l \leq \chi \quad w_4^u - 3 w_2^l \leq \chi \quad w_3^u - 1 w_4^l \leq \chi \quad (80)$$

$$w_1^u - 1 w_3^l \geq -\chi \quad w_4^u - 3 w_2^l \geq -\chi \quad w_3^u - 1 w_4^l \geq -\chi \quad (81)$$

$$w_1^l - 0.33 w_4^u \leq \chi \quad w_3^l - 0.1089 w_2^u \leq \chi \quad (82)$$

$$w_1^l - 0.33 w_4^u \geq -\chi \quad w_3^l - 0.1089 w_2^u \geq -\chi \quad (83)$$

$$w_1^m - 0.5 w_4^m \leq \chi \quad w_3^m - 0.5 w_2^m \leq \chi \quad (84)$$

$$w_1^m - 0.5 w_4^m \geq -\chi \quad w_3^m - 0.5 w_2^m \geq -\chi \quad (85)$$

$$w_1^u - 1 w_4^l \leq \chi \quad w_3^u - 3 w_2^l \leq \chi \quad (86)$$

$$w_1^u - 1 w_4^l \geq -\chi \quad w_3^u - 3 w_2^l \geq -\chi \quad (87)$$

$$\frac{w_1^l + 4 w_1^m + w_1^u}{6} + \frac{w_2^l + 4 w_2^m + w_2^u}{6} + \frac{w_3^l + 4 w_3^m + w_3^u}{6} + \frac{w_4^l + 4 w_4^m + w_4^u}{6} = 1 \quad (88)$$

$$w_1^l \leq w_1^m \leq w_1^u ; w_2^l \leq w_2^m \leq w_2^u ; w_3^l \leq w_3^m \leq w_3^u ; w_4^l \leq w_4^m \leq w_4^u \quad (89)$$

$$w_1^l, w_2^l, w_3^l, w_4^l \geq 0 \quad (90)$$

Bulanık doğrusal model, GAMS ile çözülerek maksimum tutarlılık $\chi = 0.000$ 'dan sapma ile KV 3 için kriterlerin optimum değerleri elde edilmiştir. Bulanık ağırlık katsayıları (\check{w}_j) Eşitlik 91' de verilmiştir.

$$\tilde{w}_j = \begin{pmatrix} 0.1391264 & 0.1859680 & 0.1859680 \\ 0.0776031 & 0.3264927 & 0.8474277 \\ 0.1391264 & 0.1859680 & 0.1859680 \\ 0.2328096 & 0.2796511 & 0.2796511 \end{pmatrix} \quad (91)$$

Bulanık ağırlık katsayılarına durulaştırma uygulanarak net ağırlıklar $w = (0.178161, 0.371833, 0.178161, 0.271844)$ elde edilmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda her karar verici için kriterlerin nihai ağırlıkları hesaplanmıştır. Karar vericilerin görüşlerini bütünleştirmek amacıyla bu ağırlıkların geometrik ortalaması alınmıştır (Fazlollahtabar vd., 2019; Baki, 2022). Her bir kriter kendi aralarında sıralanmış ve Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9 Her bir kriterin geometrik ortalaması ve sıralaması

	KV1	KV2	KV3	Geometrik Ort.	Matematiksel Model Gösterim	Sıralama
C1	0.19979	0.4005	0.178161	0,252472	w_1	3
C2	0.19979	0.19979	0.371833	0,255752	w_2	2
C3	0.19979	0.19979	0.178161	0,202303	w_3	4
C4	0.4005	0.19979	0.271844	0,289146	w_4	1

4.2. Matematiksel Modellere İlişkin Bulgular

Bulanık Fucom Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modelinin uygulanması için Bulanık FUCOM tarafından ağırlıkları belirlenen kriterler ve örnek uygulama ölçeği olan Adana ilinde yerleşim yeri adayı 15 ilçenin üç KV tarafından karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Karşılaştırma matrislerinin normalizasyonu sonucunda 4 kriter temelinde 15 aday ilçe için elde edilen kriter puanları Çizelge 4.10’da verilmektedir. Çizelge 4.10’daki kriter puanları matematiksel Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli’ ne girilmiştir.

Çizelge 4.10 Aday Tesis Yerlerinin Kriterlere İlişkin Bulanık FUCOM Puanları

	Enerji Kaynaklarına Yakınlık($c1_j$)	Hammadde ve Yardımcı Malzeme Kaynaklarına Yakınlık ($c2_j$)	İşgücü Olanakları ($c3_j$)	Ulaşım imkânları ($c4_j$)
Aladağ	0,100690	0,106195	0,108182	0,038889
Ceyhan	0,109310	0,105044	0,109091	0,093333
Çukurova	0,065862	0,046549	0,027273	0,067778
Feke	0,094828	0,097345	0,100000	0,111115
İmamoğlu	0,090690	0,102743	0,107273	0,010370
Karaisalı	0,034483	0,045398	0,036364	0,047037
Karataş	0,068966	0,070796	0,072727	0,084074
Kozan	0,077586	0,070796	0,063636	0,065556
Pozantı	0,060345	0,061947	0,063636	0,074815

Çizelge 4.10 devamı

Saimbeyli	0,077586	0,079646	0,081818	0,093334
Sarıçam	0,063103	0,044248	0,045455	0,056296
Seyhan	0,018621	0,008850	0,019091	0,049259
Tufanbeyli	0,051724	0,053097	0,054545	0,065556
Yumurtalık	0,068966	0,079646	0,072727	0,084074
Yüreğir	0,017241	0,027699	0,038182	0,058519

Çizelge 4.10' da 3 KV tarafından kriterler bazında 15 aday yerleşim için verilen puanların aritmetik ortalaması alınarak ortaya çıkan son kriter puanları verilmektedir. Bu puanlar incelendiğinde enerji kaynaklarına yakınlık (C1) kriteri açısından en önemli aday yerleşim Ceyhan'dır ve ardından Aladağ, İmamoğlu, Feke gelmektedir. Hammadde ve yardımcı malzeme kaynaklarına yakınlık (C2) kriteri açısından en önemli aday yerleşim İmamoğlu' dur ve ardından Ceyhan, Aladağ, Feke gelmektedir. İşgücü olanakları (C3) kriteri açısından en önemli aday yerleşim İmamoğlu' dur ve ardından Aladağ, Ceyhan, Feke gelmektedir. Ulaşım imkânları (C4) kriteri açısından en önemli aday yerleşim Aladağ'dır ve ardından İmamoğlu, Feke, İmamoğlu, Ceyhan, Saimbeyli gelmektedir.

4.3. Duyarlılık Analizleri

Çalışma kapsamında geliştirilen Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli ve Bulanık Fucom Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli için duyarlılık analizleri yapılmaktadır. Senaryolar her iki matematiksel modeldeki p , K ve L parametrelerinin değiştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Duyarlılık analizinde p parametresi 3, 4, ve 5, K parametresi 500, 600, 700 ve L parametresi 1.200.000, 1.750.000 ve 2.260.000 olarak seçilmiş ve amaç fonksiyonu değerleri değişimleri değerlendirilmiştir.

4.3.1. Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli için Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi sonuçları çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

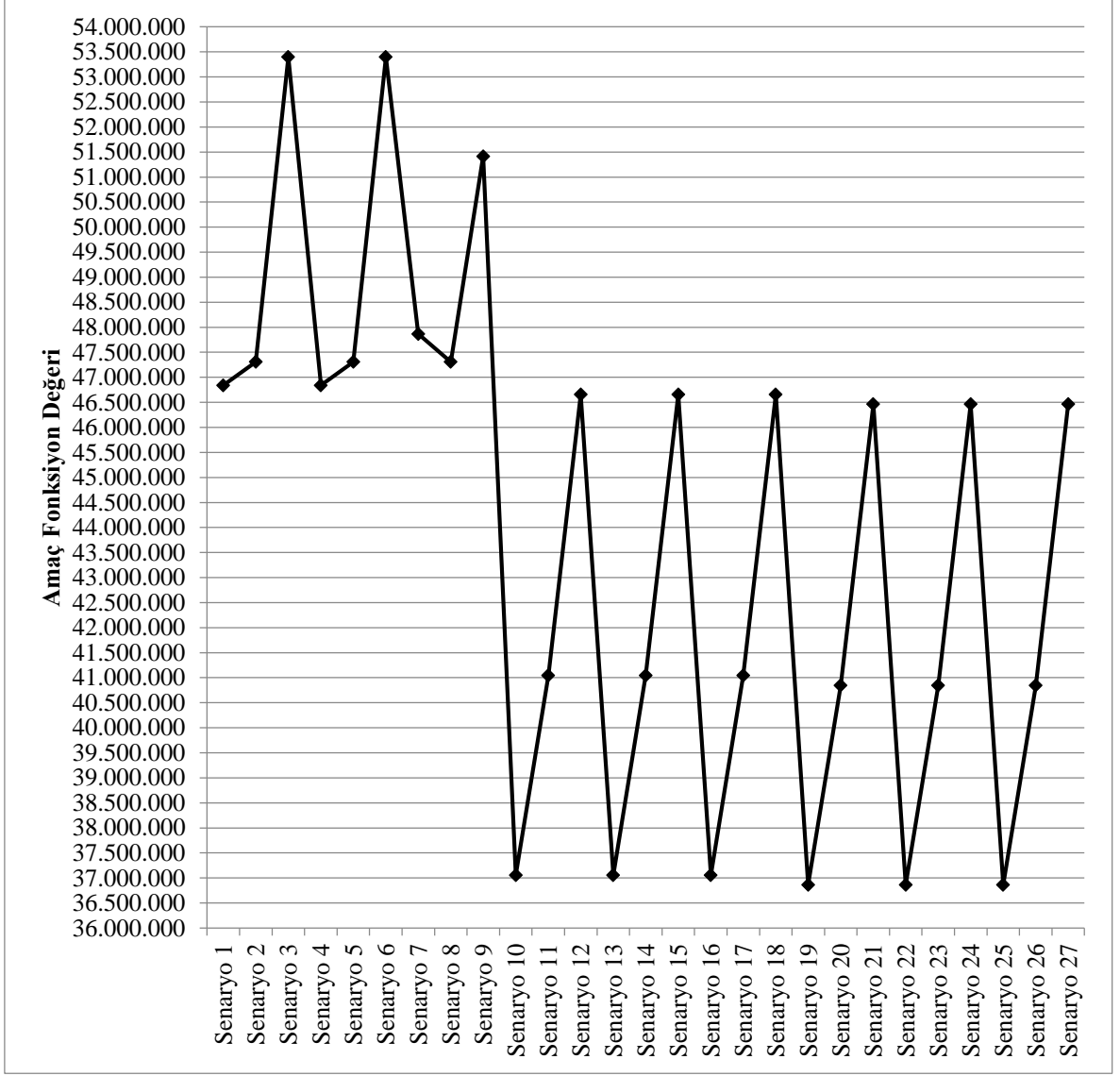
Çizelge 4.11. Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli Duyarlılık analizi

Senaryolar	p	K	L	<i>Amaç Fonksiyonu Değerleri</i>	Açılan Tesis Yerleri
Senaryo 1	3	500	1200000	46.841.200	Saimbeyli, Sarıçam, Yüreğir
Senaryo 2	4	500	1200000	47.308.086	Çukurova, İmamoğlu, Saimbeyli, Yüreğir
Senaryo 3	5	500	1200000	53.398.670	Çukurova, İmamoğlu, Pozantı, Tufanbeyli, Yüreğir
Senaryo 4	3	600	1200000	46.841.200	Saimbeyli, Sarıçam, Yüreğir
Senaryo 5	4	600	1200000	47.308.086	Çukurova, İmamoğlu, Saimbeyli, Yüreğir

Çizelge 4.11 devamı

Senaryo 6	5	600	1200000	53.398.670	Çukurova, İmamoğlu, Pozantı, Tufanbeyli, Yüreğir
Senaryo 7	3	700	1200000	47.866.435	Saimbeyli, Sarıçam, Seyhan
Senaryo 8	4	700	1200000	47.308.086	Çukurova, İmamoğlu, Saimbeyli, Yüreğir
Senaryo 9	5	700	1200000	51.415.693	İmamoğlu, Karaisalı, Saimbeyli, Seyhan, Yüreğir
Senaryo 10	3	500	1750000	37.057.212	İmamoğlu, Saimbeyli, Yüreğir
Senaryo 11	4	500	1750000	41.042.477	İmamoğlu, Karaisalı, Saimbeyli, Yüreğir,
Senaryo 12	5	500	1750000	46.657.735	İmamoğlu, Karaisalı, Saimbeyli, Tufanbeyli, Yüreğir
Senaryo 13	3	600	1750000	37.057.212	İmamoğlu, Saimbeyli, Yüreğir
Senaryo 14	4	600	1750000	41.042.477	İmamoğlu, Karaisalı, Saimbeyli, Yüreğir,
Senaryo 15	5	600	1750000	46.657.735	İmamoğlu, Karaisalı, Saimbeyli, Tufanbeyli, Yüreğir
Senaryo 16	3	700	1750000	37.057.212	İmamoğlu, Saimbeyli, Yüreğir
Senaryo 17	4	700	1750000	41.042.477	İmamoğlu, Karaisalı, Saimbeyli, Yüreğir,
Senaryo 18	5	700	1750000	46.657.735	İmamoğlu, Karaisalı, Saimbeyli, Tufanbeyli, Yüreğir
Senaryo 19	3	500	2260000	36.863.193	İmamoğlu, Saimbeyli, Yüreğir
Senaryo 20	4	500	2260000	40.848.458	İmamoğlu, Karaisalı, Saimbeyli, Yüreğir
Senaryo 21	5	500	2260000	46.463.716	İmamoğlu, Karaisalı, Saimbeyli, Tufanbeyli, Yüreğir
Senaryo 22	3	600	2260000	36.863.193	İmamoğlu, Saimbeyli, Yüreğir
Senaryo 23	4	600	2260000	40.848.458	İmamoğlu, Karaisalı, Saimbeyli, Yüreğir
Senaryo 24	5	600	2260000	46.463.716	İmamoğlu, Karaisalı, Saimbeyli, Tufanbeyli, Yüreğir
Senaryo 25	3	700	2260000	36.863.193	İmamoğlu, Saimbeyli, Yüreğir
Senaryo 26	4	700	2260000	40.848.458	İmamoğlu, Karaisalı, Saimbeyli, Yüreğir
Senaryo 27	5	700	2260000	46.463.716	İmamoğlu, Karaisalı, Saimbeyli, Tufanbeyli, Yüreğir

Yapılan analiz neticesinde Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli'nin p , K ve L değerlerine duyarlı olduğu, gözlemlenmiştir. En düşük amaç fonksiyonu değeri parametre girdileri $p=3$, $K=500, K=600, K=700$ ve $L =2260000$ değerlerinde 36.863.193 TL olarak elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde L değeri 1.750.000 ve üstüne çıktığı durumlarda K değeri değişimlerinin sonucu etkilemediği bulunmuştur. Böylelikle L değerinin dar boğaz parametre olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Analiz sonucu tesis yeri seçimine dair dağılım çizelge 4.12'de ve amaç fonksiyonu değerleri değişim grafiği Şekil 4.1' de sunulmuştur.



Şekil 4.1 Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli Duyarlılık Analizinin Amaç Fonksiyonu Değerleri Değişim Grafiği.

Çizelge 4.12 Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli Duyarlılık Analizi Sonucu Seçilen Tesis Yerleri Dağılım Çizelgesi.

Senaryolar	Aladağ	Ceyhan	Çukurova	Feke	İmamoğlu	Karaisalı	Karataş	Kozan	Pozantı	Saimbeyli	Sarıçam	Seyhan	Tufanbeyli	Yumurtalık	Yüreğir
Senaryo 1										X	X				X
Senaryo 2			X		X					X					X
Senaryo 3			X		X				X				X		X
Senaryo 4										X	X				X
Senaryo 5			X		X					X					X
Senaryo 6			X		X				X				X		X
Senaryo 7										X	X				X
Senaryo 8			X		X					X					X
Senaryo 9					X	X				X		X			X
Senaryo 10					X					X					X
Senaryo 11					X	X				X					X
Senaryo 12					X	X				X			X		X
Senaryo 13					X					X					X
Senaryo 14					X	X				X					X
Senaryo 15					X	X				X			X		X
Senaryo 16					X					X					X
Senaryo 17					X	X				X					X
Senaryo 18					X	X				X			X		X
Senaryo 19					X					X					X
Senaryo 20					X	X				X					X
Senaryo 21					X	X				X			X		X
Senaryo 22					X					X					X
Senaryo 23					X	X				X					X
Senaryo 24					X	X				X			X		X
Senaryo 25					X					X					X
Senaryo 26					X	X				X					X
Senaryo 27					X	X				X			X		X

Analiz sonucu en düşük amaç fonksiyonu değerleri senaryo 19, 22 ve 25’de hesaplanmıştır. Klasik P-Medyan Matematiksel Modelinde hesaplanan en düşük amaç fonksiyonu sonuçlarına göre oluşan atama planı izelge 4.13’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli En Düşük Amaç Fonksiyonu Sonuçlarına Göre Oluşan Hizmet Planı.

Talep Noktaları	Arz Noktaları		
	İmamoğlu	Saimbeyli	Yüreğir
Aladağ	X		
Ceyhan	X		
ukurova			X
Feke		X	
İmamoğlu	X		
Karaisalı			X
Karataş			X
Kozan	X		
Pozantı			X
Saimbeyli		X	
Sarıçam			X
Seyhan			X
Tufanbeyli		X	
Yumurtalık			X
Yüreğir			X

Kurulan tesislere yapılan atamalar neticesinde oluşan atama planlarının harita görseli Şekil 4.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli Atama Planı Görşeli.

Bu modelde kullanılan ilçelerde tesis arazisi satın alma maliyeti (f_j) ve prefabrik bina inşaat maliyeti (A) sabit maliyetler olup, birbirleriyle doğal olarak bağlantılı maliyetlerdir. Arazi fiyatlarının artmasıyla/azalmasıyla inşaat maliyetlerinin artması/azalması kaçınılmazdır. Bu sebeple tesis yeri olarak seçilen bir ilçede arazi satın alma maliyeti ile prefabrik tesis binası inşaatı

maliyeti toplamı sabit olarak tanımlanmıştır. Sabit maliyet değerleri $\pm\%25$, $\pm\%50$ ve $\pm\%75$ oranlarında olarak değiştirilerek Çizelge 4.14 ($f(j) + A$) oluşturulmuştur. Her iki modele uygulanan duyarlılık analizleri sonucunda en düşük amaç fonksiyon değerlerine ulaşılan senaryolar temel durum olarak kabul edilmiştir. Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli için p değeri 3, K değeri 700 ve L değeri 2260000 olan senaryo kullanılmıştır. Sabit maliyet parametresi üzerinde yapılan değer değişimlerinin Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli'nin üzerindeki etkisi çizelge 4.15 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. Sabit Maliyetlerin ($f(j) + A$) Duyarlılık Analizi için Deneysel Tasarım.

İlçeler	Sabit Maliyet ($f(j) + A$)	% Değişimler					
		+%25	+%50	+%75	-%25	-%50	-%75
Aladağ	7.379.000	9.223.750	11.068.500	12.913.250	5.534.250	3.689.500	1.844.750
Ceyhan	8.948.000	11.185.000	13.422.000	15.659.000	6.711.000	4.474.000	2.237.000
Çukurova	12.165.000	15.206.250	18.247.500	21.288.750	9.123.750	6.082.500	3.041.250
Feke	6.245.000	7.806.250	9.367.500	10.928.750	4.683.750	3.122.500	1.561.250
İmamoğlu	6.891.000	8.613.750	10.336.500	12.059.250	5.168.250	3.445.500	1.722.750
Karaisalı	6.658.000	8.322.500	9.987.000	11.651.500	4.993.500	3.329.000	1.664.500
Karataş	7.648.000	9.560.000	11.472.000	13.384.000	5.736.000	3.824.000	1.912.000
Kozan	7.775.000	9.718.750	11.662.500	13.606.250	5.831.250	3.887.500	1.943.750
Pozantı	7.616.000	9.520.000	11.424.000	13.328.000	5.712.000	3.808.000	1.904.000
Saimbeyli	5.875.000	7.343.750	8.812.500	10.281.250	4.406.250	2.937.500	1.468.750
Sarıçam	10.328.000	12.910.000	15.492.000	18.074.000	7.746.000	5.164.000	2.582.000
Seyhan	11.750.000	14.687.500	17.625.000	20.562.500	8.812.500	5.875.000	2.937.500
Tufanbeyli	6.243.000	7.803.750	9.364.500	10.925.250	4.682.250	3.121.500	1.560.750
Yumurtalık	11.296.000	14.120.000	16.944.000	19.768.000	8.472.000	5.648.000	2.824.000
Yüreğir	9.542.000	11.927.500	14.313.000	16.698.500	7.156.500	4.771.000	2.385.500

Çizelge 4.15. $(f(j) + A)$ değişimlerinin Matematiksel Modele etkisi.

	Sabit Maliyet Değişimi						
	0%	25%	50%	75%	-25%	-50%	-75%
Amaç Fonksiyon Değeri	36.863.19 3	42.440.19 3	48.017.19 3	53.594.19 3	31.286.19 3	25.579.01 3	19.450.01 3
Tesis Açılan İlçeler	İmamoğlu Saimbeyli Yüreğir	İmamoğlu Saimbeyli Yüreğir	İmamoğlu Saimbeyli Yüreğir	İmamoğlu Saimbeyli Yüreğir	İmamoğlu Saimbeyli Yüreğir	İmamoğlu Saimbeyli Seyhan	İmamoğlu Saimbeyli Seyhan

Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli amaç fonksiyon değerleri sabit maliyet değişimlerine duyarlı çıkmıştır. Değişim arttıkça artan azaldıkça azalan bir durum ortaya çıkmıştır. Buna bağlı olarak seçilen tesis yerlerinin değiştiği görülmüştür.

4.3.2. Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli Duyarlılık Analizi

Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli için yapılan duyarlılık analizi Bulanık Fucom Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli içinde uygulanmış olup çıkan sonuçlar çizelge 4.16'da gösterilmiştir.

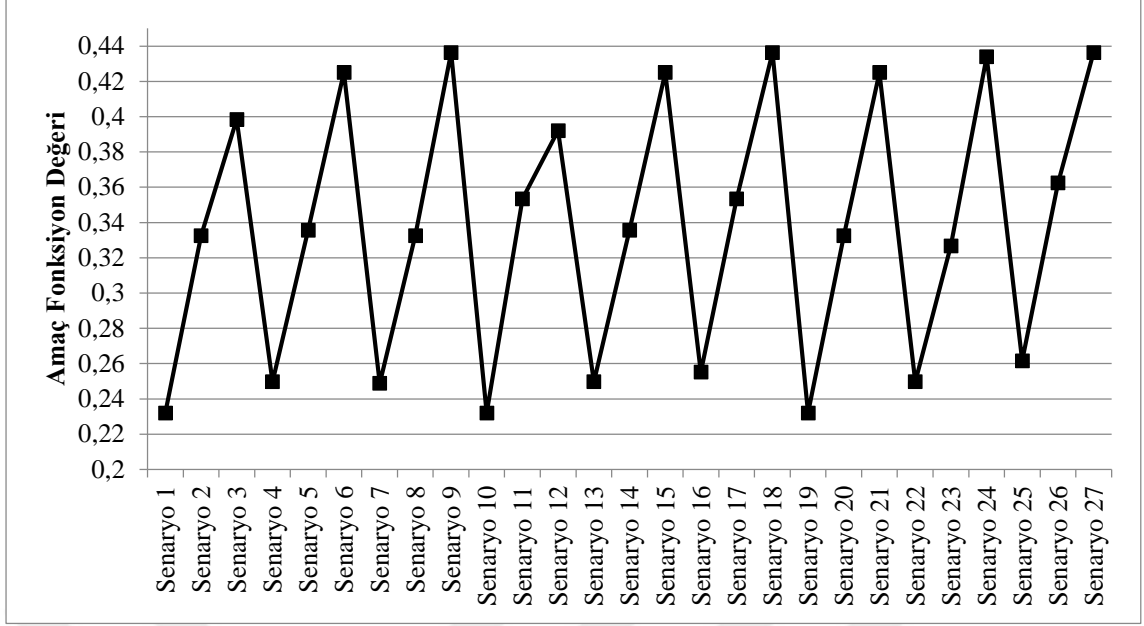
Çizelge 4.16 Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli duyarlılık analizi sonuçları.

Senaryolar	p	K	L	Amaç Fonksiyonu Değerleri	Açılan Tesis Yerleri
Senaryo 1	3	500	1200000	0.2320	Ceyhan, Çukurova, Saimbeyli
Senaryo 2	4	500	1200000	0.3325	Aladağ, Ceyhan, Çukurova, Feke
Senaryo 3	5	500	1200000	0.3984	Aladağ, Ceyhan, Karataş, Pozantı, Saimbeyli
Senaryo 4	3	600	1200000	0.2497	Ceyhan, Çukurova, Feke,
Senaryo 5	4	600	1200000	0.3355	Ceyhan, Feke, İmamoğlu, Pozantı
Senaryo 6	5	600	1200000	0.4251	Ceyhan, Feke, İmamoğlu, Karataş, Saimbeyli
Senaryo 7	3	700	1200000	0.2488	Ceyhan, Feke, Sarıçam
Senaryo 8	4	700	1200000	0.3325	Aladağ, Ceyhan, Çukurova, Feke
Senaryo 9	5	700	1200000	0.4363	Aladağ, Ceyhan, Feke, Saimbeyli, Yumurtalık
Senaryo 10	3	500	1750000	0.2320	Ceyhan, Çukurova, Saimbeyli
Senaryo 11	4	500	1750000	0.3534	Aladağ, Ceyhan, Çukurova, Feke
Senaryo 12	5	500	1750000	0.3921	Ceyhan, Feke, Pozantı, Saimbeyli, Sarıçam
Senaryo 13	3	600	1750000	0.2497	Ceyhan, Çukurova, Feke

Çizelge 4.16 devamı

Senaryo 14	4	600	1750000	0.3355	Ceyhan, Feke, İmamoğlu, Pozantı
Senaryo 15	5	600	1750000	0.4250	Aladağ, Ceyhan, Feke, Pozantı, Saimbeyli
Senaryo 16	3	700	1750000	0.2551	İmamoğlu, Saimbeyli, Yüreğir
Senaryo 17	4	700	1750000	0.3534	Aladağ, Ceyhan, Feke, Karataş
Senaryo 18	5	700	1750000	0.4363	Aladağ, Ceyhan, Feke, Saimbeyli, Yumurtalık
Senaryo 19	3	500	2260000	0.2320	Ceyhan, Çukurova, Saimbeyli
Senaryo 20	4	500	2260000	0.3325	Aladağ, Ceyhan, Çukurova, Feke
Senaryo 21	5	500	2260000	0.4250	Aladağ, Ceyhan, Feke, Pozantı, Saimbeyli
Senaryo 22	3	600	2260000	0.2497	İmamoğlu, Saimbeyli, Yüreğir
Senaryo 23	4	600	2260000	0.3267	Aladağ, Ceyhan, Pozantı, Saimbeyli
Senaryo 24	5	600	2260000	0.4340	Aladağ, Ceyhan, Feke, Karataş, Saimbeyli
Senaryo 25	3	700	2260000	0.2616	Ceyhan, Feke, Pozantı
Senaryo 26	4	700	2260000	0.3624	Aladağ, Ceyhan, Feke, Saimbeyli
Senaryo 27	5	700	2260000	0.4363	Aladağ, Ceyhan, Feke, Saimbeyli, Yumurtalık

Çizelge 4.16 ve Şekil 4.4 incelendiğinde model sonuçlarının p değerlerindeki değişime göre önemli değişikliklere uğradığı görülmektedir. Buna göre p parametresine duyarlı olduğu söylenebilir. K ve L değerleri incelendiğinde, değerlerdeki değişimin amaç fonksiyonu üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Buna göre modelin bu parametrelere daha az duyarlı olduğu sonucuna ulaşılabilir. Bunun en önemli sebebi Bulanık FUCOM Tabanlı Matematiksel Modelin maksimum yönlü olmasıdır. En yüksek amaç fonksiyonu değeri 0,4363 olarak hesaplanmıştır. Duyarlılık analizi sonucu seçilen tesis yerleri dağılım çizelgesi Çizelge 4.17’de, en yüksek amaç fonksiyon değerine göre oluşan hizmet planı Çizelge 4.18’de ve Çizelge 4.18’e göre oluşan harita görseli Şekil 4.5’de sunulmuştur.



Şekil 4.3 Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Duyarlılık Analizi Amaç Fonksiyon Değerleri Değişim Grafiği.

Çizelge 4.17 .Duyarlılık analizi sonucu seçilen tesis yerleri dağılım çizelgesi (Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli)

Senaryolar	Aladağ	Ceyhan	Çukurova	Fekre	İnamoğlu	Karaisalı	Karataş	Kozan	Pozantı	Saimbeyli	Sarıçam	Seyhan	Tufanbeyli	Yumurtalık	Yüreğir
Senaryo 1		X	X							X					
Senaryo 2	X	X	X	X											
Senaryo 3	X	X					X		X	X					
Senaryo 4		X	X	X											
Senaryo 5		X		X	X				X						
Senaryo 6		X		X	X		X			X					
Senaryo 7		X		X							X				
Senaryo 8	X	X	X	X											
Senaryo 10	X	X		X						X				X	
Senaryo 10		X	X							X					
Senaryo 11	X	X	X	X											
Senaryo 12	X	X		X					X	X					
Senaryo 13		X	X	X											
Senaryo 14		X		X	X				X						
Senaryo 15	X	X		X					X	X					

Çizelge 4.17 devamı

Senaryo 16				X					X					X
Senaryo 17	X	X		X			X							
Senaryo 18	X	X		X					X				X	
Senaryo 19		X	X						X					
Senaryo 20	X	X	X	X										
Senaryo 21	X	X		X					X	X				
Senaryo 22					X					X				X
Senaryo 23	X	X							X	X				
Senaryo 24	X	X		X			X			X				
Senaryo 25		X		X					X					
Senaryo 26	X	X		X						X				
Senaryo 27	X	X		X						X			X	

Çizelge 4.18 Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli Hizmet Planı.

Talep Noktaları	Arz Noktaları				
	Aladağ	Ceyhan	Feke	Saimbeyli	Yumurtalık
Aladağ	X				
Ceyhan		X			
Çukurova		X			
Feke			X		
İmamoğlu		X			
Karaisalı		X			
Karataş		X			
Kozan		X			
Pozantı		X			
Saimbeyli				X	
Sarıçam		X			
Seyhan		X			
Tufanbeyli				X	
Yumurtalık					X
Yüreğir		X			



Şekil 4.4 Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Hizmet Planı Görseli.

Yapılan duyarlılık analizi neticesinde Bulanık FUCOM Tabanlı Matematiksel Modeli' nin p parametresine duyarlı olduğu, K ve L parametresi değişimlerine amaç fonksiyonu değerlerinin düşük oranda tepki verdiği gözlemlenmiştir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tesis yeri seçimi, yalnızca depolar, lojistik merkezler ve mağazalar gibi özel sektör odaklı tesisleri değil, aynı zamanda kamu hizmeti sağlayan okullar, hastaneler ve itfaiye istasyonları gibi noktaları da içermektedir. Büyükşehir belediyeleri, bu tür yer seçimlerinin kritik olduğu kurumlardan biridir. Büyükşehir yasasının uygulanmaya başlamasıyla, merkez dışındaki ilçelere altyapı hizmetleri götürmekle yükümlü hale gelen belediyeler, ilçe belediyelerinin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kapsamlı bir yeniden yapılandırma sürecine girmiştir. Bu çerçevede, çalışmada büyükşehir düzeyinde altyapı bakım ve onarım tesislerinin yer seçim problemi, matematiksel modelleme yöntemleriyle incelenmiştir. Araştırma kapsamında klasik ve Bulanık FUCOM destekli p-medyan modelleri geliştirilmiştir. Önerilen modellerde, karar değişkenlerine ait ağırlıklar Bulanık FUCOM yöntemiyle hesaplanmış ve bu sayede dört temel kriterin öncelikleri belirlenmiştir. Uygulama olarak, Adana ilindeki 15 aday tesis yeri üzerinde klasik p-medyan ve Bulanık FUCOM destekli p-medyan modelleri çözülmüş, sonuçlar ise duyarlılık analizleri ile değerlendirilmiştir.

Bulanık FUCOM metodu ile başlayan çalışma Bulanık FUCOM için gerekli kriterlerin belirlenmesiyle devam etmiştir. Sonrasında kriterler alanında uzman ve deneyimli karar vericiler tarafından değerlendirilerek puanlanmıştır. Puanlama sonucunda her bir kriterin ağırlığı (w_j) hesaplanmıştır. Sonrasında aday tesis konumları belirlenen KV' ler tarafından belirlenen kriterler göz önünde bulundurularak puanlanmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde ortaya çıkan kriter ağırlıkları sıralanmıştır. Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli tesis yeri kurma maliyetlerini minimuma getirmeyi amaçlayan bir model olarak çalışırken, geliştirilen Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli tesis yeri atamalarının kriter ağırlıkları ve kriter puanları bazında maksimum faydayı sağlayacağı şekilde tasarlanmıştır. Her iki model için duyarlılık analizleri yapılmıştır. Duyarlılık analizleri p , K , L parametreleri değişimleri ile yapılmıştır.

Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli' ne uygulanan duyarlılık analizi sonuçlarına göre en düşük amaç fonksiyonu değeri 36.863.193 TL olarak senaryo 19, 22 ve 25' de hesaplanmıştır. Buna göre İmamoğlu, Saimbeyli ve Yüreğir ilçelerine tesisler kurulmuştur. Aladağ, Ceyhan, İmamoğlu ve Kozan ilçeleri İmamoğlu' na kurulan tesisten, Feke, Saimbeyli ve Tufanbeyli ilçeleri Saimbeyli' ye kurulan tesisten ve Çukurova, Karaisalı, Karataş, Pozantı, Sarıçam, Seyhan, Yumurtalık ve Yüreğir ilçeleri Yüreğir' e kurulan tesisten hizmet almaktadır.

Bulanık FUCOM Tabanlı P- Medyan Matematiksel Modeli ile yapılan duyarlılık analizi sonucunda model p değeri değişimlerine duyarlı çıkmıştır. K ve L değeri değişimlerinin amaç fonksiyonu üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. En yüksek amaç fonksiyonu değeri en yüksek olarak senaryo 9,18, ve 27' de 0,4363 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, Aladağ, Ceyhan, Feke, Sarıçam ve Yumurtalık ilçelerine tesisler kurulmuştur. Hizmet planı, Aladağ; Aladağ'a açılan tesisten, Ceyhan, Çukurova, İmamoğlu, Karaisalı, Karataş, Kozan, Pozantı, Sarıçam, Seyhan ve

Yüreğir; Ceyhan' a açılan tesisten, Feke; Feke' ye açılan tesisten, Saimbeyli ve Tufanbeyli; Saimbeyli'ye açılan tesisten, Yumurtalık; Yumurtalık' a açılan tesisten hizmet alacak şekilde oluşmuştur. Analiz sonuçları incelendiğinde açılacak tesis sayısı olan p parametresinin değerinin artırıldıkça amaç fonksiyon değerinin ciddi oranda yükseldiği gözlemlenmiştir.

Klasik P-Medyan Matematiksel Modelinde kullanılan maliyetlerden ilçelerde tesis arazisi satın alma maliyeti (f_j) ve prefabrik bina inşaat maliyeti (A) değerleri birbirleriyle doğal olarak bağlantılı maliyetler olduğundan arazi fiyatlarının artmasıyla inşaat maliyetlerinin artması kaçınılmazdır. Bu sebeple tesis yeri olarak seçilen bir ilçede arazi satın alma maliyeti ile prefabrik tesis binası inşaatı maliyeti birleştirilmiştir. ($f(j) + A$) değerleri $\pm\%25$, $\pm\%50$ ve $\pm\%75$ oranlarında olarak değiştirilerek modelin fonksiyonu değerlerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli için p değeri 3, K değeri 700 ve L değeri 2260000 olan senaryo kullanılmıştır. Maliyetler üzerinde yapılan analiz sonucunda modelin hesaplanan amaç fonksiyon değerleri ve yaptığı hizmet planları değişmiştir. Buna göre; $\pm\%25$, $+\%50$, $+\%75$ değerlerinde yalnızca amaç fonksiyon değeri artmış hizmet planları değişmemiştir. Ancak $\%50$ ve $\%75$ maliyet azaldığında hizmet planları değişmiştir. Model sabit maliyetlerde oluşacak değişimlere duyarlı çıkmıştır.

Bulanık FUCOM Tabanlı P-Medyan Matematiksel Modeli ile Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli arasındaki farklılıklar, yalnızca amaç fonksiyonlarının maliyet ya da fayda odaklı olmasından değil, aynı zamanda oluşturdukları hizmet planlarının niteliğinden de kaynaklanmaktadır. Klasik P-Medyan Matematiksel Modeli, toplam maliyetlerin minimum seviyede tutulmasını hedeflemiş ve bu doğrultuda 3 tesis açmanın yeterli olduğunu öngörmüştür. Bu yaklaşım, lojistik maliyetlerin düşürülmesi açısından etkili bir çözüm sunarken, hizmet erişim kapsamını ve kaliteyi göz ardı etme riskini taşır. Öte yandan, Bulanık FUCOM Tabanlı P-Medyan Matematiksel Modeli, fayda odaklı bir yaklaşım benimseyerek hizmet kalitesini artırmayı hedeflemiştir. Model, enerji kaynaklarına yakınlık, ulaşım imkanları ve iş gücü gibi çeşitli kriterlerin ağırlıklarını dikkate alarak, 5 tesis açmanın daha faydalı olacağı sonucuna varmıştır. Ancak Bulanık FUCOM Tabanlı P-Medyan Matematiksel Modeli tüm bu çözümleri sunarken maliyeti göz ardı etmiştir. Aynı zamanda karar vericiler, Bulanık FUCOM Tabanlı Matematiksel modelin hem giriş hem de çözüm süreçlerinde belirleyici bir rol oynamıştır. Bu süreçte yapılan öznel değerlendirmelerin, modelin gerçek dünyadaki sorunlara daha uyumlu ve uygulanabilir sonuçlar üretmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir. Ancak, bu etkilerin doğruluğu ve geçerliliği, karar vericilerin bilgi, deneyim ve iş birliği düzeyine bağlıdır. Bu nedenle, karar vericilerin katılımı, Bulanık FUCOM Tabanlı P-Medyan Matematiksel Modelinin başarısında kritik bir faktör olarak öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alp, O., Erkut, E. & Drezner Z. (2003). “An Efficient Genetic Algorithm for the p-Median Problem”, *Annals of Operations Research*, Vol.122, No:1-4
- Altuntaş, S. ve Dereli, T. (2017). Application of an aggregation technique to facility layout design selection. *Journal of Thermal Engineering*, 3(1)
- Arabani, B. A., & Farahani, R. Z. (2012). Facility location dynamics: An overview of classifications and applications. *Computers & Industrial Engineering*, 62
- Asgharizadeh E, Torabi SA, Mohaghar A, Zare-Shourijeh MA (2019) Sustainable supply chain network design: a review on quantitative models using content analysis. *Environ Energy Econ Res* 3(2):143–176.
- Aouam, T., Chang, S. I., & Lee, E. (2003). Fuzzy MADM: An Outranking Method. *European Journal of Operational Research*, 145(2), 317-328.
- Baki, R. (2022). Evaluation of the five busiest airports in Turkey through fuzzy FUCOM and MAIRCA. *European Journal of Applied Business Management*, 8(3), 15-31.
- Balinski, M. (1965). “Integer programming, methods, uses and computatiofn”, *Manage Science*, Vol.12, No:3
- Başkaya, Z. (2005). Tamsayılı programlama algoritmaları ve bilgisayar uygulamalı problem çözümleri. Bursa: Ekin Kitabevi
- Bilgisay, H., 2010. “Yerel Yönetim Reformu Ve İl Özel İdareleri: Bursa Perspektifinde Bir Analiz”, *Yerel Yönetimler Yerel Siyaset Ve Kentsel Politikalar*, Ed.: Bekir Parlak, Dora Yayınları, Bursa, 279294ss.
- Biswas, S. ve Pamucar, D. (2020). Facility location selection for b-schools in Indian context: A multi-criteria group decision based analysis. *Axioms*, 9(3)
- Böyükaslan, A. ve Ecer, F. (2021). Determination of drivers for investing in cryptocurrencies through a fuzzy full consistency method-Bonferroni (FUCOM-F'B) framework. *Technology in Society*, 67, 101745.
- Cedolin, M., Göker, N., Dogu, E. ve Albayrak, Y. E. (2018). Facility location selection employing fuzzy DEA and fuzzy goal programming techniques. *Proceedings of the Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology 2017 içinde* (ss. 466-476). Springer.
- Chithambaranathan, P., Rajkumar, A., Prithiviraj, D. ve Palpandi, M. (2022). A multi criteria decision based approach for facility location selection with flexible criteria weights. *Materials Today: Proceedings*, 62
- Chiyoishi, Fernando Galvao, Roberto D. : “A Statistical Analysis Of Simulated Annealing Applied To The P-Median Problem”, *Annals of Operations Research*, C: XCVI, No: 1-4, 2000

- Chou, Y.-C., Sun, C.-C., & Yen, H.-Y., 2012. Evaluating the criteria for human resource for science and technology (HRST) based on an integrated fuzzy AHP and fuzzy DEMATEL approach. *Applied Soft Computing*, 12(1).
- Cook, S. “The P versus NP Problem”, (Çevrimiçi),
http://www.claymath.org/millennium/P_vs_NP/Official_Problem_Description.pdf,
 7.02.2011
- Cornuejols, G., Fisher, M.L. & Nemhauser, G.L. (1977). “Location of Bank Accounts to Optimise Float: an Analytic Study of Exact and Approximate Algorithms” *Management Science*, Vol.23, No:8
- Correa, E.S. ; Steiner, M.T. A. ; Freitas, A.A. ; Carnieri, C. ; “A Genetic Algorithm For Solving A Capacitated P-Median Problem”, *Numerical Algorithms*, C: XXXV, 2004
- Crainic, TG. ; Gendreau, M. ; Hansen, P. ; Mladenovic, N. : “Cooperative Parallel Variable Neighborhood Search For The P-Median”, *Journal of Heuristic*, C: X, No:3, 2004
- D.Merino, E. ; Perez, J. Muñoz: “An Efficient Neural Network Algorithm For The P-Median Problem”, *Conference Paper in Lecture Notes in Computer Science* · November 2002
- Daskin, M. S. (1995). *Network and discrete location models, algorithms and applications*. New York: John Wiley & Sons, Inc
- Demir, G., Damjanović, M., Matović, B. ve Vujadinovic, R. (2022). Toward sustainable urban mobility by using fuzzy-FUCOM and fuzzy-CoCoSo methods: The case of the SUMP podgorica. *Sustainability*, 14, 4972.
- Demirdöğen, O. ve Küçük, O. (2018). *Üretim işlemler yönetimi (4. Baskı)*. Ankara: Detay Yayıncılık
- Diaz, J.A. & E. Fernandez (2006). “Hybrid scatter search and path relinking for the capacitated p-median problem”, *European Journal of Operational Research*, Vol.169, No:2
- Dickson, G. W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of purchasing*, 2(1)
- Doğan, Ş. (2017). *Kentsel Altyapı Tesisleri Planlama Projelendirme Uygulama İşletme Problemleri ve Çözüm Önerileri*. Erişim <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11748.pdf> (12.05.2021). ss.225-291.
- Domínguez, E. ; Pérez, J. Muñoz ; Jerez, J. Manuel : “Neural Network Algorithms For The P-Median Problem”, *ESANN'2003 proceedings - European Symposium on Artificial Neural Networks Bruges (Belgium), 23-25 April 2003, d-side publi. ISBN 2-930307-03-X*
- Drezner, Z., & Hamacher, H. W. (Eds.). (2003). *Discrete network location models*. (Rev. Ed.). New York: Springer – Verlag
- Drira, A., Pierreval, H. ve Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problems: A survey. *Annual Reviews in Control*, 36

- Durak, İ., Arslan, H. M. ve Özdemir, Y. (2021). Application of AHP–TOPSIS methods in technopark selection of technology companies: Turkish case. *Technology Analysis & Strategic Management*, 1-15.
- Fathali, Jafar: “A Genetic Algorithm For The P-Median Problem With Pos/Neg Weights”, *Applied Mathematics and Computation*, C: CLXXXIII, No:2, 2006
- Fazlollahtabar, H., Smailbašić, A. ve Stević, Ž. (2019). FUCOM method in group decision-making: Selection of forklift in a warehouse. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 49-65.
- Fleszar, K. & Hindi, K.S. (2008). “An effective VNS for the capacitated p-median problem”, *European Journal of Operational Research*, Vol.191, No:3
- Fragoso R, Figueira JR (2020) Sustainable supply chain network design: an application to the wine industry in Southern Portugal. *J Oper Res Soc* 72(6):1236–1251.
- Garcia-Lopez, F., Melian-Batista, B. Moreno-Perez & J.A. Moreno-Vega, J.M. (2002). “The parallel variable neighborhood search for the p-median problem”, *Journal of Heuristics*, Vol.8, No:3
- Genç, Ö.; Ertuğrul, E. (2007). Altyapı Yatırımlarının Finansmanı. Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü / Mart 2007 / Ankara.
- Görer, N. (2005). Kentsel Altyapı Hizmetlerinin Sağlanmasında Kamunun Değişen Sorumluluğu. Şehircilik Çalışmaları. Edi. Tahir Çalgüner. Ankara: Nobel Yayınları, ss. 423-429.
- Guo Y, Hu F, Allaoui H, Boulaksil Y (2018) A distributed approximation approach for solving the sustainable supply chain network design problem. *Int J Prod Res* 57(11):3695–3718.
- Gülsün B, Tuzkaya G, Bildik E (2008) Reverse logistics network design: a simulated annealing approach. *J Eng Nat Sci* 26(1):68–80
- Güner, A. R. (2006). A continuous and a discrete particle swarm optimization algorithm for uncapacitated facility location problem. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Fatih Üniversitesi, İstanbul
- Hahn GJ (2020) Industry 4.0: a supply chain innovation perspective. *Int J Prod Res* 58(5):1425–1441
- Hakimi, S.L. (1964). “Optimum Location of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph”, *Operations Research*, Vol.12, No:3
- Hayrettin Güngör. Yeni büyükşehir yönetimi ve geçiş nedenleri” *İller ve Belediyeler Dergisi*, Sayı: 774-775, 2012
- Hicran Çelikyay, Değişen Kent Yönetimi Ve 6360 Sayılı Büyükşehir Yasası, SETA Analiz, 2014, Sayı: 101
- Ivanov D, Dolgui A, Sokolov B (2019) The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *Int J Prod Res* 57(3):829–846.
- Jamshidi, M. (2009). “Median Location Problem”, *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*, Ed. by. R.Z. Farahani and M. Hekmatfar, Physica- Verlag Heidelberg

- Jánošíková, L'udmila; Herda, Miloš; Haviar, Michal: "Hybrid Genetic Algorithms With Selective Crossover For The Capacitated P-Median Problem", CEJOR, C: XXV, No:3, 2017
- Javier, Alcaraz; Mercedes, Landete; Juan F. Monge: "Design and analysis of hybrid metaheuristics for the Reliability p-Median Problem ", European Journal of Operational Research, C: CCXXII, No:1, 2012
- Jiao Z, Ran L, Zhang Y, Li Z, Zhang W (2018) Data-driven approaches to integrated closed-loop sustainable supply chain design under multi-uncertainties. J Clean Prod 185:105–127.
- Kahraman, C., Ruan, D. Ve Doğan, I. (2003), Fuzzy Group Decision-Making for Facility Location Selection, Information Sciences, 157, 135-153.
- Kalağan, G. (2018). Türkiye' de 6360 Sayılı Büyükşehir Yasası Kapsamında Büyükşehirler/ Bütünşehirler: Yönetmel Yapı, Mali/İktisadi Boyut Ve Gelecek Vizyonu Üzerine Bir Tartışma. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 10(25), 591-603.
- Karaboğa, Derviş: Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2004
- Kariv, O. & Hakimi, S. L. (1979). "An algorithmic approach to network location problems: Part 2. The p-medians", SIAM Journal on Applied Mathematics, Vol.37, No:3
- Kaveh, A. ; Esfahani, HN. ; "Hybrid Harmony Search For Conditional P-Median Problems", International Journal of Civil Engineering, C: X, No:1, 2012
- Kılınç, A. (2021). Kentsel Alanda Teknik Altyapı Hizmetlerinin Parçacıl Üretilme Politikasına Eleştirel Bir Yaklaşım. Memleket Siyaset Yönetim, 16(36), 305-328.
- Kik, D., Wichmann, M. G. ve Spengler, T. S. (2022). Decision support framework for the regional facility location and development planning problem. Journal of Business Economics, 92
- Koçel, T. (1999). İşletme Yöneticiliği. İstanbul: Beta Yayınları.
- Kodali, R. ve Routroy, S. (2006). Decision framework for selection of facilities location in competitive supply chain. Journal of Advanced Manufacturing Systems, 5(1)
- Koopmans, T. C., & Beckmann, M. (1957). Assignment problems and the location of economic activities. Econometrica, 25 (1)
- Krömer, P. ; Platos, J. : "Solving The P-Median Problem By A Simple Differential Evolution", 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics
- Kuby, M. (1989). A location-allocation model of Lösch's central place theory: Testing on a uniform lattice network. Geographical Analysis, 21 (4)
- Kuehn, A.A. & Hamburger, M.J. (1963). "A Heuristic Program for Locating Warehouses", Management Science, Vol.9, No:4
- Kulluk, S., & Türkbey, O. (2004). Tesis yerleşimi problemi için bir genetik algoritma. Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi, Adana, 14
- Kumar, K. ve Kumanan, S. (2011). An integrated fuzzy QFD and AHP approach for facility location selection. The IUP Journal of Supply Chain Management, 8(4)

- Laporte, G., Nickel, S. ve Saldanha da Gama, F. (2015). Introduction to location science. Location Science içinde (ss. 1-18). Springer
- Li Y, Yang J, Wang Y (2022) Optimization and system implementation of fuzzy integrated algorithm model for logistics supply chain under supply and demand uncertainty background. *Neural Comput Appl*.
- Li, Xiang; Xia, Ningchuan; Claramunt, Christophe; Lin, Hui: "Initialization Strategies To Enhancing The Performance Of Genetic Algorithms For The P-Median Problem", *Computers & Industrial Engineering*, C: LXI, No:4, 2011
- Love, R. F., Morris, J. G., & Wesolowsky, G. O. (1988). Facilities location models and methods. New York: Nort - Holland
- Lu Z, Bostel N (2007) A facility location model for logistics systems including reverse flows: the case of remanufacturing activities. *Comput Oper Res* 34(2):299–323.
- Maniezzo, V. ; Mingozzi, A. ; Baldacci, R. : "A Bionomic Approach To The Capacitated P-Median Problem", *Journal of Heuristic*, C: IV, No:3, 1998
- Maniruzzaman K.M. Ohgai, A. : "New Genetic Algorithms Based Approaches To Continuous P-Median Problem", *Networks and Spatial Economics*, C:XI, No:1, 2011
- Manuel, J. Colmenar; Peter, Greistorfer; Rafael, Martí; Abraham, Duarte: "Discrete Optimization: Advanced Greedy Randomized Adaptive Search Procedure For The Obnoxious P-Median Problem", *European Journal of Operational Research*, C: CCLII, No:2, 2016
- Manne, A. (1964). "Plant location under economies of scale - decentralization and computation", *Management Science*, Vol.11, No:2
- Mari S, Lee Y, Memon M (2014) Sustainable and resilient supply chain network design under disruption risks. *Sustainability* 6(10):6666–6686.
- Marianov, V. & Serra, D. (2004). "p-Median Models in Public Sector", *Facility Location: Applications and Theory*, Ed. by. Horst W. Hamacher, Zvi Drezner, Berlin, Springer
- Mazinan Hassan, Gholami ; Gholam Reza, Ahmadi; Khaji, E. : "An Efficient Hybrid CS And K-Means Algorithm For The Capacitated P Median Problem", arXiv:1406.7473 [math. OC]
- Mohammadi M, Ja"msa"-Jounela SL, Harjunkski I (2018) Sustainable supply chain network design for the optimal utilization of municipal solid waste. *AIChE J* 65(7):e16464
- Nobari A, Kheirkhah A (2018) Integrated and dynamic design of sustainable closed-loop supply chain network considering pricing. *Trans Ind Eng (E)* 25(1):410–430.
- Otto, S. ; Kokai, G. : "Decentralized Evolutionary Optimization Approach To The P-Median Problem", *EvoWorkshops 2008*, LNCS 4974, 2008
- Özçakar, Necdet; Bastı, Mehmet: "P-Medyan Kuruluş Yeri Seçim Probleminin Çözümünde Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması Yaklaşımı", *Istanbul University Journal of the School of Business Administration*, C: XLI, No:2, 2012

- Partovi, F. Y. (2006), An Analytic Model for Locating Facilities Strategically, *The International Journal of Management Science*, 34, 41-55.
- Peker, B. P. & Görener, A. (2022). Tesis yeri seçiminde kriterlerin önem ağırlıklarının bulanık FUCOM yöntemiyle belirlenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(45), 1512-1536.
- Perez, Moreno; Roda- Garcia, J.A. : “A Parallel Genetic Algorithm For The Discrete P-Median Problem”, *Studies in Locational Analysis*, No:7, 1994
- Pourjavad E, Mayorga RV (2019) A comparative study on fuzzy programming approaches to design a sustainable supply chain under uncertainty. *J Intell Fuzzy Syst* 36(3):2947–2961
- Pourrezaie-Khaligh, P., Bozorgi-Amiri, A., Yousefi-Babadi, A. ve Moon, I. (2022). Fix-and-optimize approach for a healthcare facility location/network design problem considering equity and accessibility: A case study. *Applied Mathematical Modelling*, 102
- Pullan, Wayne: “A Population Based Hybrid Metaheuristic For The P- Median Problem”, 2008, *IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE World Congress on Computational Intelligence)*
- Resende, M.G.C. & Werneck, R.F. (2003).“On the implementation of a swap-based local search procedure for the p-median problem”, *Proceedings of the Fifth Workshop on Algorithm Engineering and Experiments*, Ed. by. Richard E. Ladner, Society for Industrial Mathematics
- Resmi Gazete, Anayasa Mahkemesinin 12/09/2013 tarih ve E. 2013/19, K. 2013/100 sayılı kararı: 18.09.2014 tarih ve 29123 sayılı Resmi Gazete
- Revelle, C. S., Eiselt, H. A., & Daskin, M. S. (2008). A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. *European Journal of Operational Research*, 184, 817-848
- Rezaei S, Kheirkhah A (2017) A comprehensive approach in designing a sustainable closed-loop supply chain network using cross-docking operations. *Comput Math Organ Theory* 24(1):51–98.
- Rolland, E., Schilling, D. A., ve Current J. R. (1996). An efficient tabu search procedure for the p – median problem. *European Journal of Operational Research*, 96
- Ruşen Keleş. *Yerinden Yönetim ve Siyaset*, Cem Yayınevi, İstanbul, 2012
- Sennaroglu, B. ve Celebi, G. V. (2018). A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. *Transportation Research Part D*, 59, 160-173.
- Sezen, H. K. (2007). *Yöneylem araştırması. (Revizyon Baskı)*. Bursa: Ekin Kitabevi
- Sherafati M, Bashiri M, Tavakkoli-Moghaddam R, Pishvae MS (2019) Supply chain network design considering sustainable development paradigm: a case study in cable industry. *J Clean Prod* 234:366–380.

- Simic, V., Karagoz, S., Deveci, M. ve Aydin, N. (2021). Picture fuzzy extension of the CODAS method for multi-criteria vehicle shredding facility location. *Expert Systems with Applications*, 175, 114644.
- Su, B. A., & Aslan, D. (1990). Tesis planlama. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Yayınları
- Sule, D. R. (2001). Logistics of facility location and allocation. New York: Marcel Dekker Inc
- Tang, C., Xu, D. ve Chen, N. (2021). Sustainability prioritization of sewage sludge to energy scenarios with hybrid-data consideration: a fuzzy decision-making framework based on full consistency method and fusion ranking model. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 5548-5565.
- Taşkent, M. C. ve Delice, E. K. (2021). Bulanık FUCOM metodu ile tedarikçi değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28, 863-868
- Tekin, M. (2012). Üretim yönetimi cilt 1. (Revizyon Baskı). Konya: Günay Ofset
- Trappey AJ, Trappey CV, Fan C-Y, Hsu AP, Li X-K, Lee IJ (2017) IoT patent roadmap for smart logistic service provision in the context of Industry 4.0. *J Chin Inst Eng* 40(7):593–602.
- Ulutaş, B. (2008). Dinamik yerleşim probleminin çözümü için bir klonal seçim algoritması ve uygulamaları. Yayınlanmamış doktora tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir
- URL-1, www.google.com/earth. 15 Eylül 2024
- URL-2, www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Uzakliklar/ilcedenIlceyeMesafe.aspx.09.Mart.2024
- URL-3, www.google.com/maps. 10 Ekim 2024
- URL-4, www.adana.gov.tr/ilcelerimiz/nufus. 15 Ağustos 2024
- URL-5, www.endeksa.com/tr/analiz/turkiye/adana/endeks/satilik/arsa. 15 Eylül 2024
- Xua, Xianrui; Lia, Xiang; Lia, Xiaojie; Linb, Hui: “An Improved Scatter Search Algorithm For Capacitated P- Median Problem”,2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology, Chengdu, 2010
- Yaghini, Masoud; Karimi, Mohammad; Rahbar, Mohadeseh: “A Hybrid Metaheuristic Approach For The Capacitated P- Median Problem”, *Applied Soft Computing*, C: XIII, No:9, 2013
- Yang, J. Ve Lee, H. (1997), An AHP Decision Model for Facility Location Selection, *Facilities*, 15, 241-254.
- Yaşlıoğlu, M. M. ve Önder, E. (2016). Solving facility location problem for a plastic goods manufacturing company in Turkey using AHP and TOPSIS methods. *Journal of Administrative Sciences*, 14(28), 223-249.
- Yiğit, Vecihi; Türkbey, Orhan: “Tesis Yerleşim Problemlerine Sezgisel Metotlarla Yaklaşım”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, C: XVIII, No: 4, 2003

- Yücenur, G. N., Çaylak, Ş., Gönül, G. ve Postalciöğlu, M. (2019). An integrated solution with SWARA&COPRAS methods in renewable energy production: City selection for biogas facility. *Renewable Energy*, 145, 2587-2597.
- Zadeh, L. A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1)
- Zhalechian M, Tavakkoli-Moghaddam R, Zahiri B, Mohammadi M (2016) Sustainable design of a closed-loop location-routing- inventory supply chain network under mixed uncertainty. *Transp Res Part E Logist Transp Rev* 89:182–214.



ÖZGEÇMİŞ

Serdar YAZBAHAR. , ilkokul, ortaokul ve liseyi Adana’ da okudu. 2007 yılında Gaziantep Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümüne kayıt oldu. 2012 yılında mezun oldu. Sözleşmeli mühendis olarak Adana-ASKİ Su ve Kanalizasyon İdaresinde göreve başladı. 2014 yılında kadroya geçti. 2015 -2019 yılları arasında Sayaç Ayar ve Kontrol Şube Müdürü olarak görev aldı. Çalışma süresi boyunca çeşitli birimlerde birçok farklı konuda deneyim sahibi oldu. 2020 yılından itibaren Adana-ASKİ Plan Proje Dairesi Başkanlığında Kontrol Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

