

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜME KAPSAMA MODELLERİNDE
BELİRSİZLİKLERİN ELE ALINMASI İÇİN
OTONOM BULANIK OPTİMİZASYON MODELİ GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Selcen Gülsüm ASLAN ÖZŞAHİN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

- 1. Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU**
- 2. Tez Danışmanı: Doç. Dr. Babek ERDEBİLLİ**

AĞUSTOS 2022

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Selcen Gülsüm ASLAN ÖZŞAHİN

ÖZET

Doktora Tezi

KÜME KAPSAMA MODELLERİNDE BELİRSİZLİKLERİN ELE ALINMASI İÇİN OTONOM BULANIK OPTİMİZASYON MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

Selcen Gülsüm ASLAN ÖZŞAHİN

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

1. Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU
2. Tez Danışmanı: Doç. Dr. Babek ERDEBİLLİ

Tarih: Ağustos 2022

Tesis yerleşim modelleri, literatürde onlarca yıldır tedarik zinciri planlamasının öne çıkan bir dalı olarak incelenmiştir. Küme Kapsama Yerleşke Modelleri de bu minvalde belirli bir coğrafi bölgede tüm bölgeyi kapsamak için bir dağıtım ağı kurulmasını ve işletilmesini amaçlayan aynı zamanda sıklıkla kullanılan modellerden biridir. Ancak bu modellerde çözümün bulunmasında hayati öneme sahip veriler gerçek hayatta kâğıt üzerinde olduğu kadar kesin olmayıp, hesaplama dahil edildiklerinde modele bazı belirsizlik ve değişkenlikleri beraberinde getirmektedir. Bu çalışmanın başlıca yenilikçi yönleri şu şekilde sıralanmaktadır: i) Küme Kapsama Yerleşke Belirleme Modelleri nin otonom belirsizlik yönetimi yeteneği ile donatılması, ii) dik yamuk bulanık küme kapsamının modelde belirsizliklerin gerçekçi bir şekilde yönetimi için mükemmel bir uyum oluşturması ve iii) ilgili bulanıklaştırma herhangi bir insan/uzman müdahalesi/denetim olmaksızın otonom/veriden öğrenir bir şekilde gerçekleştirilmesidir. Önerilen yeni yöntemin sonuçları optimizasyon disiplininde yaygın olarak kullanılan Türkiye Şehirler Ağı Veri Seti kullanılarak gösterilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen modelin optimizasyon modellerinde otonom bulanık yaklaşım kullanımının genel teorik çerçevesine katkıda bulunduğunu ve sayısal deneylerde klasik versiyondan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: bulanık optimizasyon, veriden öğrenen bulanık optimizasyon, makine öğrenmesi temelli bulanıklaştırma

ABSTRACT

Doctor of Philosophy

GENERATION OF AUTONOMOUS APPROACH TO FUZZY SET-COVERING MODELS FOR UNCERTAINTY MANAGEMENT

Selcen Gülsüm Aslan Özşahin

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Industrial Engineering Science Programme

1. Supervisor: Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU
2. Supervisor: Assoc. Dr. Babek ERDEBİLLİ

Date: August 2022

Facility location models have been studied in the literature for decades as an outstanding branch of supply chain planning. Set-covering facility location models are among the most commonly used approaches to establishing and running a distribution network. However, real-life brings uncertain and imprecise parameters that need to be reflected in the model systematically and computably to achieve more efficient and precise solutions. That's why fuzzy set covering models have been introduced in the literature from various perspectives. This work aimed to handle real-life uncertainties in an unbiased and autonomous way and provide more precise solutions to fuzzy set-covering facility location models in real-life contexts. Therefore, we propose a novel approach, adopting the autonomous fuzzy methodology consisting of fuzzy trapezoidal set coverage to minimize the cost of establishing new facilities. This work's main innovative achievements are that i) the set-covering facility location models were equipped with autonomous uncertainty management ability, ii) the trapezoidal fuzzy set coverage constituted a perfect fit for the management of uncertainties in a realistic way in the model, and iii) the relevant fuzzification was executed without any human/expert intervention/supervision. The well-known Turkish Network Data demonstrated the proposed model's efficacy. Furthermore, the results show that the developed model contributed to the overall theoretical framework of fuzzy approach employment in optimization models and outperformed classical version in numerical experiments.

Keywords: autonomous fuzzy optimization; data-driven set covering; autonomous fuzzy set covering; trapezoidal fuzzy set covering; trapezoidal fuzzy coverage

TEŞEKKÜR

Sadece bu doktora çalışmasında değil TOBB ETÜ’de geçen tüm öğrencilik yıllarım süresince bizi soru sormaya, araştırmaya, öğrenmeye ve öğrendiklerimi kullanmaya teşvik eden; dünyada en zor disiplinlerden biri kabul edilen Stokastik Süreçler gibi karmaşık ve derin metodolijerin baskın olduğu bir disiplini dahi ortalama yetenekli öğrencilere kolaylıkla, keyifle öğretebilen; doktora çalışmalarım kapsamında araştırmamın eksiklerini şiddetle ortaya koymayı bilirken ürkek bir doktora öğrencisinin şevkini, motivasyonu ve emeğini takdir etmekten hiç geri durmayan, dolayısıyla devam etme isteğini canlı tutmayı da en iyi şekilde bilen; sadece öğrencilerinin nezdinde değil hem ulusal hem de uluslararası mecralarda herkesin hürmet duyduğu, ilimini takdir ettiği; ve ilminden nasiplenmenin şahsıma da nasip olduğu kıymetli Hocam **Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU**’na;

Akademik çalışmalarımın iskeletini oluşturan ve ihtiyaç duyduğum her zaman tecrübelerini önüme sermekten kaçınmayan; sadece akademik danışmanlığımı yapmakla kalmayıp, araştırma çalışmalarım sırasında ne zaman umutsuzluğa kapılsam araştırma heyecanı ve ümit aşılamayı da akademik bir görev bilen; birlikte yazdığımız akademik makalelere makalenin kendisini hazırlamaya harcadığımdan daha fazla emek verip bana araştırma yapmayı, ve bu yolda verilen emeğin arkasında durmayı öğreten; eğer bir gün araştırmacı olabilirim kendisinin bana inancı ve bu doktora çalışmasına yaptığı katkılardan mütevellit olacağı aşikar kıymetli Hocam **Doç. Dr. Babek ERDEBİLLİ**’ye;

Uzun yıllardır tecrübelerinden ve akıl hocalıklarından istifade ettiğim TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Hocalarımdan **Dr. Salih TEKİN**, **Doç. Dr. Ayşegül ALTIN KAYHAN** ve tüm Hocalarım ve Araştırma Görevlisi Arkadaşlarıma;

Doktora programına başvurduğumda kendisine 9 aylık hamile olmam hasebi ile ilk günden bu yana benimle birlikte olan, belki biraz da ona iyi örnek olabilmek için

başladığım doktora çalışmalarında ara sıra kantininde benimle birlikte öğle yemekleri yiyerek katkı sağlayan, sevgili kızım **Ayşe Yağmur ÖZŞAHİN'e**;

Sadece doktora çalışmalarım kapsamında değil on yılı aşkın birlikteliğim boyunca her zaman destek, anlayış, motivasyon, ve yüreklendirmesi ile benimle olan; bir şeyler başarmadan da değerli olduğumu hissettiren; başarısız olduğum zamanlarda bana dinlenmeyi, ara vermeyi öğreten; yeniden denemek için güç toplayıncaya dek hayatta sahip olduğu güzellikleri benimle paylaşan; onları fark etmemi ve onlara sevinmemi bana öğreten; her ricami emir kabul edip doktora çalışmam başta olmak üzere kendimi ve küçük ailimezi içine soktuğum zor yollarda yoğun emek ve çabalarıyla bizi en iyi şekilde idare etmesini bilen biricik hayat arkadaşım **Arif ÖZŞAHİN'e**;

Doğduğum günden beri hayatıma kattığı insani değerlerle, emek edip sonrasında elde edilen küçük bir mükafatın dahi eşsiz lezzetini bana öğreten; zorluklarla mücadelenin ve çalışkanlığın zorlu ama bir o kadar da keyifli yolculuğunu defalarca tecrübe etmeme olanak sağlayan ve teşvik eden; akla ve bilime gösterdiği saygı ve ehemmiyetle bana çalışmalarında eşsiz bir iç motivasyon sağlayan sevgili ailem; babam **Sadık ASLAN**, annem **Kurtuluş ASLAN**, kardeşim **Ali Yavuzalp ASLAN'a**;

Öğretmen bir anne ve babanın iki çocuğundan biri olarak olarak dünya geldiğim, 16 yaşından bu yana çeşitli (ÖSYM, TOBB ETÜ Araştırma, AB Jean Monnet gibi) burslar ile sürdürdüğüm yüksek öğrenimimi (bir lisans, iki y. lisans ve bir doktora çalışmama) gerçekleştirebilme imkanı veren; çok nitelikli Hocaları üniversitelerimiz aracılığı ile hizmetimize sunan; ortalama bir vatandaşın emek ederek rekabetçi de olsa istediği kadar ilerlemesine, kendini geliştirmesine, eğitimle donatmasına imkan sağlayan ve gelecekte de daha nice gençlere en az bu kadar imkanlar sunmasını tüm kalbimle dilediğim **güzel Ülkem Türkiye'ye**;

Günümüzde en gelişmiş ülkelerde dahi kadınların mühendislik ve teknik bilimlerde erkek mevkidaşlarına kıyasla eksik, yetersiz bellendiği bir eğitim, öğretim ve iş dünyası söz konusu iken, çoğunluğu TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'nde geçen öğretimim süresince hiçbir zaman kadın bir mühendis ve lisans üstü öğrencisi olarak eksik algılanmadığım; aksine çalışmalarımın otürü en az erkek mevkidaşlarım kadar teşvik ve takdir edildiğim bir ortam sunulduğu için; bu ortamı oluşturan **kıymetli Hocalarıma, üniversitemiz yönetimine**, ve bu ortamı benimle birliktepaylaşan ve hakkımı veren **tüm kadın hoca- araştırmacı- öğrenci- arkadaşlarıma**;

En içten ve samimi teşekkürlerimi iletmek isterim...

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
1.1. Motivasyon.....	1
1.2. Küme Kapsama Yerleşke Modeli- KKYM	2
1.3. Belirsizliklerin Ele Alınması	4
1.4. Bulanık Mantık	6
1.5. Literatür Taraması	7
1.6. Araştırma İhtiyacı ve Boşluğu.....	9
1.7. Araştırmanın Amacı.....	13
1.8. Araştırmanın Yenilikçi ve Orijinal Yönleri.....	13
2. TEORİK GERİ PLAN	15
2.1. Küme Kapsama Yerleşke Modelleri -KKYM.....	15
2.1.1. Modeldeki Parametreler ve Tanımları.....	17
2.2. Bulanık Mantık, Fonksiyon ve Sayılar	18
2.2.1. Yamuk Bulanık Fonksiyon ve Sayılar.....	18
2.3. Dik Yamuk Bulanık Sayılar ve Fonksiyon.....	20
2.4. Veri Odaklı Optimizasyon ve Makine Öğrenmesi	21
2.5. Makine Öğrenmesi Temelli Bulanık Fonksiyon	22
3. METODOLOJİ.....	25
3.1. Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM’de Bulanık Mantık.....	25
3.2. Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Problemleri-BKKYM’de Değişken Belirsizlik	28
3.3. Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Problemleri-BKKYM’de Otonom Bulanıklaştırma	30
3.4. Önerilen Metodolojinin Adımları	35
3.4.1. Adım 1: Değişken Belirsizlik Miktarının Belirlenmesi	35
3.4.2. Adım 2: Otonom Bulanık Fonksiyonun İnşa Edilmesi	36

3.4.3. Adım 3: Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modelinin Çalıştırılması.....	37
3.4.4. Yeni Geliştirilen Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli: O-BKKYM 39	
4. NÜMERİK DENEYLER VE SONUÇLAR.....	42
4.1. Problem Ortamının Tanımı.....	42
4.2. Veri Setinin Tanımı.....	42
4.3. Çözüm Yöntemi	43
4.4. Klasik Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli Sonuçları.....	44
4.5. Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli Sonuçları	52
4.6. Sonuçların Karşılaştırılması.....	58
5. ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER	62
5.1. Küme Kapsama Modeli ve Güncelliği	63
5.2. Belirsizlikler ve Yönetimi: Bulanık Sayılar	64
5.3. Dörtgenel Bulanık Sayılar ve Modele Getirileri	65
5.4. Optimizasyon Modellerinde Otonom Bulanıklaştırma: Makine Öğrenmesi	66
6. SONUÇLAR.....	67
6.1. Nümerik Sonuçları	68
6.2. Teorik Sonuçlar.....	68
6.3. Araştırmanın Yenilikçi Yanları.....	69
6.4. Kısıtlar ve Yöntemsel Eleştiriler.....	70
6.5. Gelecek Çalışma Önerileri.....	70
7. KAYNAKLAR	72
8. ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kavramsal çerçevenin gösterimi.....	2
Şekil 1.2 : Araştırma Sorusu ve Disiplinler Arası Etkileşimi Gösterimi	12
Şekil 2.1 : Dörtgensel bulanıklık fonksiyonu gösterimi	19
Şekil 2.2 : Dik yamuk bulanıklık fonksiyonu gösterimi.....	20
Şekil 2.3 : Optimizasyon Modeli ve Makine Öğrenmesi Modeli Benzerliği Grafikselsel Gösterim [53]	21
Şekil 2.4 : Şekil x: Makine Öğrenmesi Temelli Dörtgensel Bulanıklık Fonksiyonu Gösterimi.....	23
Şekil 3.1 : Dik Yamuk Bulanık Fonksiyon ve Belirsiz Değişken Parametresi Gösterimi.....	32
Şekil 3.2 : İzlenen araştırma metodolojisinin özet gösterimi.....	35

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

No table of figures entries found.

Çizelge 1.1 : Çözümün sayısal ağ yapısından bağımsızlığının araştırılması.....	2
Çizelge 3.1 : Yatay sayfada birden fazla satırlı çizelge isimlendirme : önemli nokta satırların aynı hizadan başlamasıdır	11
Çizelge 5.1 : Beşinci bölümde örnek çizelge	16
Çizelge Ek.1: Ekler bölümünde çizelge örneği	24

KISALTMALAR

ADÜK	: Ana Dağıtım Üssü Kapsama
BKKM	: Bulanık Küme Kapsama Modellerini
BKKYM	: Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli
dk	: Dakika
KKYM	: Küme Kapsama Yerleşke Modeli
km	: Kilometre
MTKYM	: Maksimum Talep Kapsama Yerleşke Modeli-
O-B KKYM	: Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modelleri
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü
OWA	: Sıralamalı Ağırlıklı Ortalama Operatörü (ordered weighted average)
sa	: Saat
SEoM	: Ortalamaların Standart Hatası
TL	: Türk lirası

SEMBOLLER

		<i>Karar değişkenleri</i>
x_j	Tesisi j konumuna kurmak için karar değişkeni	
a_{ij}	i ile j konumunun kapsamı için karar değişkeni	
\tilde{a}_j	i ile j konumunun kapsamı için bulanık karar değişkeni	
		<i>İndisler</i>
i	Menşei konumu (k ile indekslenir)	
j	Variş yeri konumu (k ile endekslenir)	
		<i>Parametreler</i>
c_j	j j konumunda bir merkez kurmanın maliyeti.	
t_{ij}	i konumundan j konumuna seyahat süresi	
t	Belirli bir deneme için izin verilen seyahat süresinin maksimum değeri	
\tilde{t}_{ij}	i konumundan j konumuna bulanık seyahat süreleri	
$\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x)$	i konumundan j konumuna seyahat süresinin bulanık üyelik değeri	
\tilde{A}_{ij}	Kapsamın trapez bulanık fonksiyonu	
(l, m, n, u)	Bulanık fonksiyonun özellikleri	
ϵ_{ij}	Değişken belirsizliği	
ϵ	Çok küçük bir sayı	
$\tilde{\epsilon}_y$	Değişken belirsizliğin bulanık formu	



1. GİRİŞ

1.1. Motivasyon

Günümüzde ürünler, malzemeler, yiyecekler ve hizmetler üretildikleri bölgeden tüketildikleri başka coğrafi bölgelere taşınmaktadır. Bu taşıma sırasında bazen doğrudan kaynak noktasından nihai hedefe taşınabilirken bazen de ara duraklamalarda bekleyerek, depolanarak ve/veya işlem görerek yolcuğuna devam etmektedir.

Bir ham maddenin tedarigi, üretimi, ürün haline dönüştükten sonra müşteri ile buluşması ve hatta o üründen arda kalan atıkların geri dönüştürülmesine kadar geçen uzun bir döngüsü vardır.

Bu süreçte çeşitli dönüşümler geçirerek farklı formlarda döngüyü tamamlar ve sonrasında başka döngülere dahil olabilmektedir. İşte tüm bu uzun, karmaşık, etkileşimli döngü bize tedarik zinciri kavramını işaret etmektedir. Tedarik zinciri olgusu içerisinde lojistik ve taşıma işlemlerinin planlaması, koordinasyonu ve maliyeti de tahmin edileceği üzere önemli ve üzerinde çalışılmasını, iyileştirilmesini gerektirecek ölçüde büyüktür ve operasyonların başarısını belirleyici niteliktedir.

Tüm tedarik zinciri operasyonları kapsamında lojistik maliyetlerinin %50'sini ulaştırma maliyetlerinin oluşturduğu tespit edilmiştir. Lojistik maliyetleri ise gelişmiş ülkelerde %10 civarında iken gelişmekte olan ülkelerde bu oranın %18'e kadar yükseldiği ifade edilmektedir. [1]

Ürün, malzeme ve hizmetlerin bir noktadan bir başka noktaya taşınarak yüksek maliyetler oluşturduğu bu şekilde bütünleşik bir dünyada tedarikçilerin dağıtım ağı tasarımı ve iyileştirmesi stratejileri de tedarik zinciri operasyonlarının önemli bir parçası olmaktadır. Bu planlama sırasında sürecin başlıca belirleyici parametreleri arasında talep miktarı, arz ve talep noktaları arasındaki mesafe, taşıma masrafı, aciliyet/önem sırası, ulaştırma modu, kurulum ve işletme masrafları ve hatta ulaştırma operasyonunun karbon salımın miktarı sayılabilmektedir.

Tedarik zinciri disiplininde öne çıkan alt alanlarından biri olan yerleşke planlama modelleri literatürde çok yıllardır çalışılmaktadır. Literatürdeki bu modeller gerçek hayatta karşılaşılan problemlere tedarik zinciri dağıtım ağı yerleşkelerinin coğrafi lokasyonlarının belirlenmesi; dağıtım ağı kurulması, kurulum ve dağıtım maliyetlerinin maliyetinin en küçüklenmesi; karlılık ve karşılanan talep miktarının en büyüklenmesi gibi hususlarda cevap aramaktadır.

Bu araştırma çalışmasında bahsi geçen başlıca kavramlar ve birbirleri ile etkileşimleri kavramsal çerçevenin gözler önüne serilmesi amacı ile Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Kavramsal çerçevenin gösterimi

1.2. Küme Kapsama Yerleşke Modeli- KKYM

Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli belirli bir coğrafi bölgede yer alan tüm talep noktalarına belirli bir seyahat süresi içinde hizmet sağlayabilen bir dağıtım/erişim ağı tesis edilmesi için gerekli dağıtım ağı yerleşkelerinin coğrafi konumunun belirlenmesini amaçlamaktadır.

Bu model literatürde bir şehre ya da ülkeye hizmet eden itfaiye merkezlerinin planlanması için ya da aynı bölgeye hizmet veren telekomünikasyon sinyal vericilerinin yerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Aynı şekilde bir ülke ya da şehir için kargo dağıtım ağı şebekesinin kurulumu için de kullanılmıştır. Bir başka yaygın kullanım örneği ise havayollu şirketlerinin ya da üretim tesislerinin belirli alt görevlerde uzmanlaşmış personelin ilgili görevlere atanması uygulamasıdır. [2–5].

Küme kapsama problemlerine cevap veren çok çeşitli matematiksel model ve yaklaşım geliştirilmiştir. Bu modellerin başında Toregas vd. tarafından geliştirilen Küme

Kapsama Yerleşke Modeli- KKYM (Set Covering Facility Location Model – SCFLM) gelmektedir. [6]

Küme Kapsama Yerleşke Modeli- KKYM'nin amacı en az maliyetle belirli bir coğrafi bölgede var olan tüm talebi karşılayabilecek; belirli erişim süresi içinde ulaşabilecek ve tüm talep bölgelerine belirli seyahat süresinde ulaşabilecek tedarik yerleşkelerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu modelde Church ve Reville [7] farklı bir bakış açısı ile sınırlı sayıda yerleşke kurulumu kriterini tanımlamış; böylelikle de tüm talebin karşılanması yerine belirli sayıda yerleşke kurulumu ile karşılanan talep miktarının en büyüklenmesinin hedeflediği Maksimum Talep Kapsama Yerleşke Modeli- MTKYM (Maximal Covering Facility Location Models- MCFLM) isimli benzer ancak farklı bir model ortaya koymuşlardır.

Hogan ve Reville Küme Kapsama Yerleşke Modeli- KKYM ve Maksimum Talep Kapsama Yerleşke Modeli- MTKYM modellerinde çoklu yerleşke kurulumu ve yedek talep noktası kapsama opsiyonlu tüm talep noktalarının tamamının ve bir bölümünün kapsandığı başka bir model ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada temel model Küme Kapsama Yerleşke Modeli- KKYM üzerine inşa edilmiştir. [4,5]

Küme Kapsama Yerleşke Modeli- KKYM belirli bir coğrafi bölgede önceden belli olan tüm talepleri karşılamayı amaçlamakta olup bu amaç doğrultusunda her bir talebe belirli bir erişim süresi kapsamında ulaşılması; arz noktalarının talep noktalarına kurulması ve o talebin arzının böylelikle karşılanması; her bir aday lokasyonun farklı bir yerleşke kurulum maliyeti olması ihtimaline karşılık bu maliyetlerin en küçüklenerek yerleşke kurulumu yapılacak bölgenin seçimi kriterlerini göz önünde bulundurmaktadır.

Bahse konu modelde model iki bölge arasındaki seyahat süresi, talep miktarı ve belirli bir bölgeye yerleşke kurulum maliyeti gibi girdilere bağımlı olarak problemi çözmektedir. Kuşkusuzdur ki bu girdi verileri problem ortamına çeşitli belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir. Bahse konu girdi verileri az miktarda değişken, belirsiz, muğlak ve bulanık olarak nitelendirebilmektedir. Dolayısı ile modelin ana belirleyici girdileri kesin değerlerden oluşmadığından modelin çözümü de arzu edildiği kadar kesin ve doğru olarak elde edilememektedir.

1.3. Belirsizliklerin Ele Alınması

Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM'nin temelini oluşturan talep miktarı, mesafe, seyahat süresi, ve tesis kurulum maliyeti gibi veriler gerçek hayatta kesin değerler almak yerine belirli oranda belirsizlik içeren, değişken, kesin olmayan girdiler şeklindedir.

Lojistik alanında Xiang Li tarafından yapılan bir araştırmada ortaya konulduğu üzere bu belirsizlikler detaylı olarak belirlenmiş, kaynaklarına değinilmiş; i) envanter ve ulaşım, ii) satın alma ve pazarlama, iii) çevreci lojistik uygulamaları; ve iv) davranışsal operasyonlar olmak üzere dört ana başlık altında gruplandırılmıştır. Li'nin bu popüler ve betimleyici makalesinde belirsizlik temelli zorluklar kapsayıcı şekilde ve geniş bir bakış açısıyla ele alınmaktadır. [6]

Ayrıca, OECD 2050 yılına kadar ulaşım ve ağ tasarımında var olan belirsizliklerin artan bir ivme göstermesini öngörmektedir. OECD tarafından yayınlanan raporda bahse konu belirsizlik artışına ulaşım modlarının birbiri ile bütünleşmiş şekilde kullanılması, maliyet en küçüklenmesi hedefinden karbon dioksit salınımı en küçüklenmesi hedeflerine geçiş döneminde olunması, yeni ve gelişmekte olan ulaşım modlarının ağ tasarımlarında yer alması gibi sebepler ifade edilmektedir. Dolayısıyla ağ tasarımı, ulaşım, yerleşke planlaması gibi alanlarda temel ve belirleyici unsurların giderek daha belirsiz olması beklenmektedir. [10] Buradan hareketle klasik ve geleneksel modellerin belirsizlik yönetimi yeteneği olmaması hasebi ile daha az güvenilir olmasına sebep olmaktadır.

İki şehir arasındaki mesafe de iki nokta arasındaki Öklid cinsi uzunluk olarak tanımlanan ve Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM kapsamında sonucun belirlenmesinde önemli bir girdi verisidir. Ancak bu kesin mesafe dahi seyahat süresi açısından bakıldığında seyahat edilen aracın cinsi, trafik, hava, yol durumu, aracın yüklülük miktarı gibi bir takım belirsizlikleri ve dolayısıyla da rakamsal değerdeki değişiklikleri/belirsizlikleri beraberinde getirmektedir. [8–10] Örneğin; iki talep merkezi arasındaki mesafe/seyahat süresi ve buna bağlı olan kapsama çapı aşağıda sıralanan sebeplerden ötürü problem modeli ve çözümüne yansıtılması elzem belirsizlikler içermektedir:

- **İki talep merkezi arasındaki yolun durumu/müsaitliği:** İki talep merkezi arasında bir ya da birden fazla güzergah bulunabilir, her güzergah arasında ölçülebilir ve sabit olan bir fiziksel mesafe bulunmakla birlikte bu yollardan

biri ya da birkaçı fiziksel olarak daha iyi olabileceği gibi durumda, kışın buzlanma, ücretli otoban oluşu, virajlı güzergah oluşu, afetlerde kapanma riski yüksek oluşu vb. sebeplerden ötürü diğerlerine kıyasla daha avantajlı olarak kabul edilebilir ve dolayısıyla da diğerlerine kıyasla tercih edilebilir. Sonuç olarak yolun mesafesi aynı ya da daha kıza olmasına karşılık o yol seyahat için daha müsait olabilmektedir.

- **Ulaşımında kullanılan aracın tipi/ortalama hızı:** Ulaşımında kullanılan aracın tipi ağır bir vasıta ya da daha hızlı gidebilecek ticari bir araç oluşu da ortalama hızına etki ederek toplam seyahat süresini mevsimlere, hava durumuna vb. başka etkenlerle bağıl şekilde etkileyen bir başka değişkenlik sebebi olarak karşımıza çıkmaktadır.
- **Hava durumu:** Hava durumu yağış, buzlanma, yol kayganlığının artışı gibi faktörler hem seyahat süresin hem de yolun müsaitliği ile doğrudan ilişkili bir başka önemli etmendir.
- **Taşımayı yapan aracın kapasite/doluluk oranı:** Tam dolu bir ağır vasıta ile tam dolu ya da yarı dolu küçük ticari araç aynı ortalama hız ve manevra kabiliyetine sahip olamayacağından bu da seyahat süresi üzerinde belirsizliğe sebep olan başka bir etmen olarak karşımıza çıkmaktadır.
- **İki mesafe arası seyahat süresine yönelik kesin bilgi eksikliği:** İki mesafe arasındaki fiziksel mesafe her ne kadar sabit ve belirli olsa da hem yukarıda belirtilen bazı faktörler hem de yolun yokuşlu, virajlı oluşu, kaliteli otoban olmayışı vb. faktörlerin tümü göz önüne alındığında seyahat süresinde karar değişkenine etkisi olan az da olsa sapmalar/değişkenlikler olması muhtemeldir.

İşte bu belirsizlikler uygun şekilde ele alınmadığında talep noktalarındaki talep miktarının karşılanamaması, yüksek operasyon maliyetleri, kısa dönem odaklı kurulum maliyeti odaklı yaklaşımdan ötürü verimsiz şekilde tasarlanmış dağıtım ağlarının tasarlanması/oluşturulması/önerilmesi/hayata geçirilmesi ile sonuçlanmaktadır.

Buradan hareketle bir bölgede var olan talep miktarı asla kesin bir değer olarak ifade edilemez. Bu talep genellikle geçmiş tüketim miktarlarının esas alan belirli bir hata payı içeren tahmin modelleri ile belirlenmiş bir miktar olabilir. Kaldı ki bu değer şans eseri kesin olarak tahmin edilmiş olsa dahi, o bölgenin belirli bir tarih için talebi son dakikaya kadar da değişiklik gösterebilir, bir müşteri son anda satın almaktan

vazgeçebilir ya da yeni bir müşteri çok sayıda alım yaparak talepte dalgalanmalara sebep olabilmektedir. Küme Kapsama Yerleşke Modeli- KKYM kapsamında talep değeri sadece kesin olarak kabul edilebilir ancak gerçekte kesin bir değer alması gerçekçi değildir.

İşte bu nedenledir ki, bahse konu bu belirsizlik Küme Kapsama Yerleşke Modeli- KKYM'nin belirlediği sonucu saptırmakta, geçerliliğine zeval getirmekte; teori ve metot açısından optimum sonuç verse dahi gerçek hayatta uygulandığında en iyi sonucu vermesi mümkün olmamaktadır.

Ayrıca belirsizlerin tespiti ve yönetimi de son 10 yılda hem literatürde hem de gerçek hayatta daha belirgin olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısı ile de özellikle optimizasyon alanında hali hazırda iyileştirilmiş, sıklıkla kullanılan matematiksel modeller bu belirsizlikleri daha iyi ele almak üzere yenilenmekte, güncellenmekte ve iyileştirilmektedir.

1.4. Bulanık Mantık

Belirsizlikleri ele almakta sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri gerçek hayatta var olan yaklaşık değerleri ifade edip işleyebilen 'Bulanık Mantık' yaklaşımıdır. Bulanık Mantık kavramının temelini oluşturan 'Bulanık Küme Teorisi' ilk kez kesin küme teorisinin bir uzantısı, tamamlayıcısı olarak Zadeh tarafından literatüre kazandırılmıştır. [14] Bu teorik yaklaşımda bir nesnenin ya da sayının nitelik ve nicelik itibarı ile sadece bir kümeye aitliğinin ötesinden birden fazla kümeye belirli derecelerde aitliği tanımlanmıştır. Dolayısı ile bir elmayı kırmızı, sarı ya da yeşil olarak nitelendirmek yerine belirli derecede kırmızı, sarı ve yeşil olarak nitelendirebilmek mümkün olmuştur. Sonrasında Kaufman tarafından bu teori bir adım daha ileriye taşınmış ve bulanık değişkenlerin tanımı ortaya konulmuştur. [15] Zadeh yine aynı teoriye ölçülebilir olasılık parametreleri eklemiştir. [16,17] Tüm bunların ardından Dubois bulanık mantık için olasılık teorisini tanımlamış [18] Liu and Li [19,20] de bu teoriye kredibilite ölçütleri ekleyerek tamamlamış ve günümüzekadar uzanan bir çok uygulamanın önünü açmıştır.

Geleneksel bulanık mantık kapsamında sayılar, ki bulanık sayılar olarak tanımlanmaktadır, çeşitli şekillerde olabilmektedir. Bunlardan bazıları: üçgensel bulanık sayılar, dörtgensel bulanık sayılar, yamuk bulanık sayılar, dairesel bulanık sayılar, gibi.

1.5. Literatür Taraması

Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM özelinde hali hazırda var olan belirsizliklerin Bulanık Mantık ile ne şekilde ele alındığını literatürde bugüne dek yapılan çalışmalar eşliğinde bu bölümde özetlenmektedir.

Bu niş araştırma alanında Davari ve arkadaşları Ana Dağıtım Üssü Kapsama (ADÜK) Problemlerini bulanık mesafe [21], bulanık talep miktarı[22], ve bulanık güvenilirlik arki [23] parametreleri ile çalışmıştır. Bu iki model de bulanık doğrusal programlama (FLP, Fuzzy linear programming) yöntemi temel alınmıştır.

Ayrıca Mirackhorli tek başına bulanık mesafe çapı ile bulanık seyahat süresi/mesafesi kullanarak geliştirdiği Ana Dağıtım Üssü Kapsama (ADÜK) modellerini geliştirmiştir. [24],[25] Bahse konu modellerden ilki Bulanık Olasılık Kısıtlı Programlama (FCCP, Fuzzy chance-constrained programming) ile oluşturulurken, diğeri bulanık doğrusal programlama (FLP, Fuzzy linear programming) ile geliştirilmiştir. [24],[25]

Bu çalışmalara ek olarak Ghodratnama ve arkadaşları seyahat mesafesi/süresi, kapsama çapı, kurulum maliyeti ve altyapı kapasitesinin tamamını bulanık olarak kullandıkları Bulanık Hedef Programlama (FGP, Fuzzy goal programming) yöntemi ile oluşturdukları başka bir modele imza atmışlardır. [26]

Son olarak Davari ve arkadaşları iki farklı çalışmada [22], [23], Ana Dağıtım Üssü Kapsama (ADÜK) probleminin bulanık doğrusal programlama (FLP, Fuzzy linear programming) yöntemi kullanarak; talep miktarını ile arkların güvenilirliğini bulanıklaştırmak sureti ile iki farklı model olarak literatüre kazandırmıştır. [22], [23] Hwang vd. Küme Kapsama Yerleşke Modelini bulanık parametreler ile çalışma fikrini öne sürmüş ve bazı uygulamalar geliştirmiştir. Bu uygulamalar kapsamında kapsama ölçüsünü bulanık kümeler ile yapabilen bir alternatif yöntem önermişlerdir. İlgili yöntem ile bulanık küme teorisini temel almakta ve problemi bulanıklaştırmadan ayrıştırma katsayısı olarak da bilinen ve bu çalışmada memnuniyet seviyesi olarak belirtilen belirli bir derecede (alpha-cut) çözüm sağlanabilmektedir. Bu metot ile gerçek hayatta var olan belirsizlik modele dahil edilmiş ve problemin çözüm sürecine etki eder halde kapsanabilmiştir ancak geliştirilen model var olan problemi belirli bir derecede (memnuniyet seviyesinde) çözebilmekte olduğundan belirsizliği belli bir noktaya ya da başka bir deyişle belli bir miktara kadar yönetebilmektedir. [23]

Darzentaş Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM kapsamında bulanık erişim kriterli kesikli lokasyon problemine küme ayrıştırma tipi tam sayılı programlama

formülasyonu geliştirmiştir. [27] Dolayısı ile bu model ilgili probleme kısmi bir çözüm sunabilmektedir şeklinde değerlendirilmektedir.

Zimemman Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeline BKKYM (Fuzzy Set Covering Location Models- FSCLM) ilk kez max ve min operatörü tanımlayarak üyelik derecesini ve bulanık kapsama miktarını tespit etmiştir. [28]

Sonrasında Chiang vd. bulanık küme kapsama problemlerinde Hwang tarafından önerilen eşitliksiz kısıtlarının logaritmasının alındığı alternatif bir formülasyon önermiştir. [29] Bu çalışmada [30] ayrıca bulanık küme kapsama modelleri için Boolean değişkenlerinin kullanılarak basitleştirildiği yeni bir model de geliştirilmiştir. Shavandi ve Mahlooji kuyruk teoremini temel alan bir bulanık mantık çerçevesinde hiyerarşik yerleşke dağılımı modellenmesi ortaya koymuştur. Bu çalışmada her bir modelin parametreleri yaklaşık olarak bir bulanık sayı olarak hesaplanmış ve ifade edilmiştir.[31]

Davaria öyle bir küme kapsama modeli öne sürmüştür ki bu modelde değişken yarıçaplı bir kapsama esas alınmıştır. Dolayısıyla Davaria'nın modelinde yerleşke kurmanın maliyeti o yerleşke tarafından kapsanan en uzak noktaya kadar katedilen mesafenin monoton olarak artan fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. [32]

Sahraeian vd. iyi bilinen k-ortalaması bulanık öbekleme algoritmasını talep sınıflandırma için kullanan bir bulanık küme kapsama modeli geliştirmiş ve bu modelin sonuçlarını simülasyon model ile göstermiştir. [33]

Zarandi de küme kapsama problemlerine hem değişken komşu arama (variable neighbourhood search-VNS) hem de bulanık simülasyon yöntemlerini birlikte kullanarak çözüm geliştirmiştir. [34]

Saxena da doğrusal kesitli bulanık küme kapsama tipi problemlere yönelik bir enumerasyon tekniği geliştirerek bu alanda çalışmalar ortaya koymuştur. [35]

Güncel Çalışmalar Listesi

Hosseinezhad vd. kademeli kapsama lokasyon modelinin sürekli uzaya bir uzantısı olan ve bulanık kapsama yarıçaplarını içeren çok amaçlı yerleşke kapsama problemlerinin modellenmesini önermiştir. [36]

Drakulić v.d. en bilinen küme kapsama modellerinde bulanık kümelere farklı eşlenik conorm şeklinde yer verdikleri bir çalışma yayınlamıştır. Bu çalışmada hem üçgensel hem de dörtgensel bulanık sayılar ilgili değişkenlerin çeşitli sebeplerden ötürü beraberinde getirdikleri belirsizlikleri ele almak için kullanılmıştır. [37]

Zhang v.d. yerleşke küme kapsama modellerinde belirsizlik teoremini kullanarak acil durum merkezlerinin yerleşke planlaması için bir matematiksel model geliştirmiştir. [38]

Lutter vd. belirsiz ve rastgele küme kapsama problemlerine; rastgele ve probabilistik optimizasyon kavramlarını birleştirmek suretiyle ve Γ - rastgele (robust) & α -kapsama (covering)' kısıtını tanımlayarak yeni bir model geliştirmiştir. [39]

Shavarani vd. yerleşke yeri belirleme modellerindeki parametrelerin deterministik değer almayan doğasını ele almak amacı ile bulanık değişkenler kullandıkları çok seviyeli yerleşke yeri belirleme modeli öne sürmüştür. Matematiksel modellerine yoğun (congested) bulanık kapasiteli çok seviyeli yerleşke yeri belirleme modeli adını vermiş ve possibilistik yaklaşım ile çözüm sunmuşlardır. [40]

Drakulić vd. daha yeni bir çalışmalarında küme kapsama yerleşke modellerinin belirsizliklerinin modellenmesi amacı ile bulanık mantığın kombinasyonel problemlerin modellenmesinde ne şekilde kullanılabileceğini göstermiştir ki bu çaba modelin kalitesinin ve etkinliğinin artırılmasına doğrudan etki göstermiştir. [41]

Son olarak Mahmoodirad bulanıklığın modeli zor ve kompleks hale getirdiği, çözümün etkinliğini olumsuz etkilediği, bulanık doğrusal kademeli küme kapsama problemine; bu zorlukları bulanık teori ve komponent odaklı optimizasyon aracılığı ile aştığı bir çözüm yöntemi sunmuştur. [42]

1.6. Araştırma İhtiyacı ve Boşluğu

Literatür taramasında da görüleceği üzere hem bulanık hem de geleneksel yapıdaki küme kapsama yerleşke planlama modelleri çeşitli açılardan geliştirilerek çalışılmakta olan aktif bir araştırma alanıdır. Bu çalışmalarda bahse konu modellerin etkinliği, işe yararlığı, yeni ve iyileşmiş yönleri geniş ve farklı açılardan geliştirilmiş ve mevcut araştırma alanına katkı sağlar nitelikte sonuçlar vermiştir.

Ancak bu çalışmaların hiçbirinde bulanık küme kapsama yerleşke yeri belirleme modelleri bu alan ile ilişkili olan bir diğer araştırma alanı olan makine öğrenmesi ile ilişkilendirilmemiş, iş birliği içine sokulmamıştır.

Hem makine öğrenmesinin hem de bulanık optimizasyon modellerinin ortak bir noktası vardır ki; o da veri tarafından şekillendirilen bir problem ve model yapılanmasına sahip olmasıdır. Veri tarafından matematiksel modelin oluşturulması, yönlendirilmesi, işletilmesi bizi makine öğrenmesi araştırma alanına götürmektedir.

Aynı şekilde bu durum bulanık optimizasyon modellerine bakıldığında problemi tanımlar iken uzmanlar tarafından modelde bazı parametrelerin/kısıtların belirlenmesi ya da problemi çözen kişi tarafından bazı ucu açık hususların kesin değerlere sabitlenmesi şeklinde tezahür etmektedir.

Bu durum da doğal olarak bulanık optimizasyon modellerinde modelin başka problem ve verilere adaptasyonunu, kredibilitesini olumsuz etkileyerek sonucu ve sonucun kalitesini; insan muhakemesi ve uzman görüşünün o parametre özelindeki değerlendirme kalitesine bağımlı hale getirmektedir.

Araştırma Boşluğu

Sonuç olarak, bulanık optimizasyon modellerinde ve bu literatür taramasında bulanık küme kapsama yerleşke yeri belirleme modelleri özelinde görüldüğü üzere; küme kapsama yerleşke yeri belirleme modelleri bulanıklaştırılmış ve her seferinde kesin modelden daha iyi sonuç vermiştir ancak bu bulanıklaştırma hiçbir zaman girdi verileri tarafından uzman görüşünden bağımsız şekilde gerçekleştirilmemiştir.

İşte bu çalışmada tespit edilen araştırma boşluğu: bulanık küme kapsama yerleşke yeri belirleme modellerinin otonom şekilde girdi verileri ile ne ölçüde bulanıklaştırılacağına kendi kendine karar verebildiği bir modelin bulunmayışıdır.

Araştırma Sorusu: Bulanık Mantık Makine Öğrenmesine İhtiyaç Duyar mı?

Günümüzde veri bilimi, verilerin toplanması, kayıt altına alınması, işlenmesi ve bu verilerden anlamlı bilgilerin elde edilmesi süreçlerini kapsayan disiplinler arası bir bilim olarak karşımıza çıkmaktadır. Veri bilimi, veri işleme, veri madenciliği alanlarında son elli yılda çok çeşitli gelişmeler gözlemlenmiş ve bu alanda elde edilen gelişim birçok başka disipline uyarlanarak ve uygulanarak disiplinler arası etkileşime ve gelişime de sahne olmuştur. Bu hususta özellikle veri bilimi, makine öğrenmesi bulanık mantık kavramlarını klasik istatistiksel ve matematiksel yöntemlerden hareketle gözden geçiren Hallemeier, haklı bir şekilde şu soruyu yönlendirmiştir:

“Makine öğrenmesi bulanık mantığa ihtiyaç duyar mı?”. [43]

Bu araştırma çalışması kapsamında son derece güncel ve yerinde bir şekilde çeşitli tartışmalara konu olan bu soru; tespit edilen araştırma boşluğundan hareketle tam ters şekilde sorulmaktadır:

“Bulanık mantığın makine öğrenmesine ihtiyacı var mı?”

Eğer cevap evet ise, ki bu araştırma çalışmasında öyle olduğu değerlendirilmektedir:

“Makine öğrenmesi yöntemiyle bulanık bir fonksiyon nasıl oluşturulabilir? “

veya daha basit bir şekilde:

“Girdi verisi bulanık fonksiyonun özellikleri nasıl belirleyebilir?”

Bu soru bulanık optimizasyon araştırma alanına yansıtıldığında şu şekilde tezahür etmektedir:

“Optimizasyon modelleri bulanıklaştırılırken makine öğrenmesine ihtiyaç duyulmu mu?”

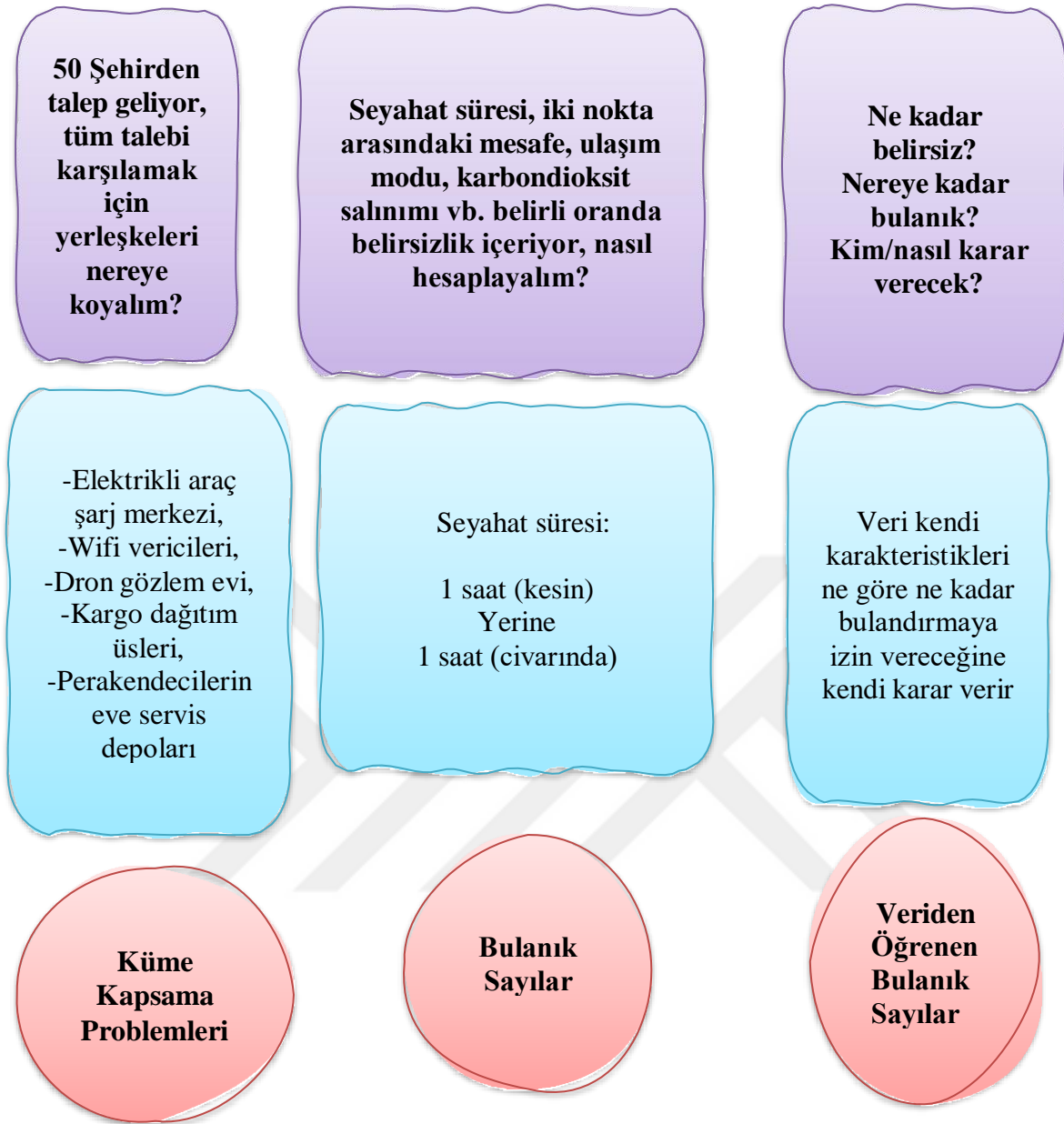
Bu soru özellikle optimizasyon modelleri ve bulanık küme kapsama yerleşke yeri belirleme modelleri özelinde ele alındığında daha kesin bir anlam kazanmaktadır; o da şudur ki “Bir optimizasyon modelinin bulanıklaştırma aracılığı ile belirsizlik yönetimi yeteneği kazanması ihtiyacı aşikâr ve elzemdir. Ancak bu bulanıklaştırmanın ne şekilde ve ölçüde yapılacağına kim nasıl karar verecektir?

Bu soru birebir bulanık küme kapsama yerleşke yeri belirleme modelleri için sorulduğunda ise şu şekilde olur “küme kapsama yerleşke yeri belirleme modelleri bulanıklaştırılırken iki nokta arasındaki seyahat süresi belirsizdir, kesin değildir, peki bu belirsizlik iki coğrafi nokta için ne miktarda olursa bu iki nokta birbirinin kapsama kümesinde yer alabilir; hangi haddi aşar ise bu iki nokta birbirini kapsamaz duruma düşer?

Bu sorular literatürde yer alan modellerde şimdiye ek hep uzman görüşü ya da problemi oluşturan/çözen kişinin inisiyatifinde değerlendirilmiş ve belirsizlik adı altında yine belirli bir nümerik değer olarak çözüme ilerlenmiştir.

Bu araştırma çalışması kapsamında burada bahsi geçen belirsizlik miktarının; modelin girdisi olan seyahat süresi mesafesine bağımlı olacak şekilde modelin girdi verileri tarafından her bir coğrafi nokta için farklı olacak şekilde uzman görüşü ve insan muhakemesinden bağımsız şekilde belirlenmesine yönelik bir metodoloji önerilmektedir.

Bu araştırma çalışması kapsamında ele alınan problem, bu problemi oluşturan araştırma sorusu; tüm bunların disiplinler arası etkileşimi ve ne şekilde birbirini tamamladığını Şekil 1.2’de temel bazı sorular ve problem canlandırması aracılığı ile gösterilmektedir.



Şekil 1.2 : Araştırma Sorusu ve Disiplinler Arası Etkileşimi Gösterimi

1.7. Araştırmanın Amacı

Bu araştırma, gerçek hayattaki belirsizlikleri veri odaklı bir bulanıklaştırma yaklaşımı ile ele alarak küme kaplama modellerine daha gerçeğe uygun ve doğru çözümler sunmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışma çalışmada Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM için bulanık fonksiyonun özelliklerinin problem verileri temel alınarak belirlendiği “otonom bulanıklaştırma yöntemi” kullanılarak bir otonom bulanık optimizasyon modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu minvalde, aday tesis lokasyonlarının bulanık kapsama kümesini belirlemek için bulanık mantık kullanılmış olup; girdi verilerinin bulanık fonksiyon özelliklerini tanımlamasına olanak sağlayan bir yaklaşım benimsenmiştir.

Başka bir deyişle, problem ortamında elde edilen girdi verileri, bulanık fonksiyonun özelliklerini tanımlamak için modeli eğiterek hangi durumda ne kadar belirsizlik kabul edilebilir sınırlarda yer almaktadır bunu belirlemiştir.

Bu nedenle, bu araştırma, pratik ve nesnel bir öğrenme uygulaması oluşturarak Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM modellerini veri odaklı ve makine öğrenimi tabanlı bulanık optimizasyon olarak nitelendirilebilecek disiplinler arası bir araştırma alanına genişletmiştir.

Sonuç olarak, i) Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM'nin otonom belirsizlik yönetimi yeteneği ile donatıldığı, ii) yamuk bulanık küme kapsamının modeldeki belirsizliklerin yalın ve kolay uygulanabilir şekilde yönettiği ve iii) ilgili bulanıklaştırma herhangi bir insan/uzman müdahalesi/denetim olmaksızın gerçekleştirildiği bir araştırma çalışması ortaya konulmaktadır.

1.8. Araştırmanın Yenilikçi ve Orijinal Yönleri

Bu makalede, bulanık kapsama kavramı, herhangi bir insan/uzman müdahalesi veya denetimi olmaksızın, belirsiz seyahat süreleri için set kapsamının bulanıklaştırılmasıyla yeniden ifade edilmiştir, ancak bu uzantı, bu yeni tanıtılan süreci tamamen özerk hale getirmiştir.

Bu araştırmanın yenilikçi yönleriyle ilgili olarak, önerilen metodoloji, karar vericilerin bilgi tabanlarını genişletmelerini ve çok önemli, yüksek maliyetli ve uzun vadeli yatırımlar söz konusu olduğunda daha gerçekçi, kesin ve gerçek hayata yönelik kararlar almalarını sağlar.

Bulanık fonksiyonlar ve sayılar şimdiye kadar her zaman kesin sayılarla değiştirilmiştir ve optimizasyon modeli bu şekilde modelde inşa edilmiş ve kullanılmıştır. Bu araştırmada, bu konuyu ele alıyoruz ve girdi verilerine ve bulanık mantığa dayalı olarak optimizasyon modelini oluşturan bir metodoloji önererek bir yanıt sunuyoruz.

Bu araştırmada elde edilen ana katkı, girdi değişkenlerinin bulanık kapsama alanı kümesindeki bulanık fonksiyon özelliklerini tanımlamasını sağlayarak, konum modellerini kapsayan bulanık kümede otomatik ve makine öğrenimi tabanlı bulanıklaştırma araştırma ihtiyacını gerektiği gibi karşılamaktadır.

Bu araştırmada tanıtılan önerilen metodoloji, mevcut bilgi tabanlı bulanık modellemeden veriye dayalı bulanık modellemeye geçiş eğilimine yeni bir katkı oluşturmaktadır. Bu metodoloji, maksimal kapsama modeli, merkezi kapsayan lokasyon modelleri, p-ortalama ve p-medyan tesis lokasyon modelleri gibi diğer ilgili bulanık kapsama lokasyon modellerine uygulanabilir.

Teorik açıdan, bu çalışmanın araştırma sonuçları, bulanık optimizasyon topluluğunun, makine öğrenimi ve yapay zekâ alanlarındaki son gelişmeleri göz önünde bulundurarak, optimizasyon modellerinin otonom, girdi ve veri odaklı bulanıklaştırmaya yönelik araştırmalarını genişletmesini sağlayacaktır.

2. TEORİK GERİ PLAN

Bu çalışma belirli bir coğrafi bölgede yer alan tüm talep noktalarına önceden belirlenen bir seyahat süresi içinde hizmet sağlayabilen bir dağıtım/erişim ağı tesis edilmesi için gerekli dağıtım ağı yerleşkelerinin coğrafi konumunun belirlenmesi ve toplam kurulum maliyetinin en küçüklenmesini sağlayan veri odaklı bulanıklaştırma ihtiva eden bir optimizasyon modeli geliştirilmesini amaçlamaktadır. Bu amaca yönelik olarak istifade edilen teorik altyapı bu bölümde açıklanmıştır.

2.1. Küme Kapsama Yerleşke Modelleri -KKYM

Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM belirli bir coğrafi bölgede yer alan tüm talep noktalarına belirli bir seyahat süresi içinde hizmet sağlayabilen bir dağıtım/erişim ağı tesis edilmesi için gerekli dağıtım ağı yerleşkelerinin coğrafi konumunun belirlenmesini amaçlamaktadır.

Bu model literatürde bir şehre ya da ülkeye hizmet eden itfaiye merkezlerinin planlanması için ya da aynı bölgeye hizmet veren telekomünikasyon sinyal vericilerinin yerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Aynı şekilde bir ülke ya da şehir için kargo dağıtım ağı şebekesinin kurulumu için de kullanılmıştır. Bir başka yaygın kullanım örneği ise havayolu şirketlerinin ya da üretim tesislerinin belirli alt görevlerde uzmanlaşmış personelin ilgili görevlere atanması uygulamasıdır. [2–5].

Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli son on yılda literatürde teorik olarak geliştirilmiş, farklı sektörlerde uygulanmıştır. İnsansız hava aracı temelli kablosuz ağ kapsama alanı oluşturulması [44]; biner optimizasyon yönteminin çözümü iyileştirmedeki etkisi [45] ; meta optimizasyon yöntemi ile çözüm yapılması [46]; ve yerel arama yaklaşımı ile birim maliyetli problem çözümü [47] bunlardan bazı güncel çalışmalar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Temel olarak Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM'nin amacı talep noktalarına belirli bir süre zarfında ya da mesafede erişmek koşulu ile kapsayacak en az sayıda ya da kurulum maliyetinde tesisinin yerinin ve toplam kurulum maliyetlerinin belirlenmesidir. Bu minvalde ilgili model şu kriterleri sağlamaktadır:

- i) Yeni kurulacak her bir tesis hali hazırda var olan talep noktalarından birinde yer almalıdır;
- ii) Yeni kurulan tesis üzerine kurulmuş olduğu bölgeye hizmet verecektir;
- iii) Yeni kurulan tesis kurulduğu bölgeye izin verilen seyahat süresi ya da erişim uzaklığındaki tüm diğer bölgelere hizmet verecektir;

- iv) Her talep noktası mutlaka hizmet alacaktır;
- v) Her talep noktasına sadece ve bir hizmet noktası hizmet verecektir.

Burada tanımlanan amaç fonksiyonu ve sağlanması gerekli kısıtların matematiksel modeli aşağıdaki denklemlerde (Denkl. 1-6) yer aldığı üzere bir kombinasyonel optimizasyon problemidir. [30]

Amaç Fonksiyonu

$$\text{En Küçük } \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$a_{ij} \in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ and } j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Öyle ki

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x_j \text{ yerleşke kurulumu için seçilir ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (5)$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ şehri } j \text{ şehrinin kapsama alanı içinde ise (} t_{ij} \leq t_{\text{predefined}} \text{)} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (6)$$

Bu problemin çözümü kapsamında üç temel küme tanımlanmaktadır.

Bunlardan ilki **tanım kümesi** olup, bu kümede yerleşke kurulması için aday olan tüm şehirler listelenmektedir.

Tanım Kümesi (P): Tanım kümesindeki her bir şehir bir diğer şehri öngörülen karayolu seyahat süresi kriterine göre kapsar ya da kapsamaz, dolayısı ile kapsamaması durumunda 1, kapsamaması durumunda 0 değeri olarak temsil edilir. İlgili ifade Denklem 7’de gösterilmektedir.

Tanım Kümesi (P):

$$P: \{a_{ij}\} \in \{0, 1\} \text{ veya } P = \{a_{ij} : \{0, 1\}\} \quad (7)$$

Bunlardan ikincisi **kapsama kümesi** olup her bir şehir için önceden ifade edilen t, seyahat süresi menziline olan yani kapsama alanında olan şehirler listelenmektedir. İlgili ifade Denklem 8’de gösterilmektedir.

Kapsama Kümesi (I):

$$I : a_{ij} = 1, I = \{a_{ij} : a_{ij} \in P \wedge a_{ij} = 1\}, \text{öyle ki } I \subset P \quad (8)$$

Kapsama kümesinde yer alan her bir talep noktası, aynı zamanda tesis kurulumu için adaydır.

Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM burada bahsedilen kapsama kümesini girdi olarak kabul eder ve aşağıda listelenen iki kısıt temel alınarak çözüm belirlenmektedir:

- i) Ülkedeki tüm şehirlerin önceden belirlenen t saat karayolu seyahat süresi kapsama alanında olması
- ii) Seçilen şehirlere yerleşke kurma birim maliyetleri esas alınarak toplam tesis kurma maliyetinin en küçüklenmesi

Kapsama kümesi içinde yer alan şehirler esas alınarak tüm şehirlere önceden belirlenen t seyahat süresi içinde ulaşılacak, tüm şehirler kapsanacak ve her bir şehre yerleşke kurulmasının toplam maliyeti en küçüklenecek şekilde seçim yapılır.

Bu seçim çözüm kümesinde aşağıdaki şekilde Denklem 9'da listelenmektedir.

Çözüm kümesi (S):

$$S: \{x_j\} = [1], S = \{x_j : x_j \in P \wedge x_j = 1\}, \text{öyle ki } S \subset I \quad (9)$$

2.1.1. Modeldeki Parametreler ve Tanımları

Bu modelde yer alan karar değişkenleri şu şekildedir:

x_j : j lokasyonuna yerleşke kurulmasına yönelik karar değişkeni olup $x_j \in \{0,1\}$ değerlerini almaktadır.

a_{ij} : i lokasyonunun lokasyonunu kapsamasına yönelik karar değişkeni olup $a_{ij} \in \{0,1\}$ değerlerini almaktadır.

Bu modelde yer alan indisler şu şekildedir:

i: Orijin lokasyonu olup k ile endekslenmektedir.

j: Hedef lokasyonu olup k ile endekslenmektedir.

Bu modelde yer alan parametre ve semboller şu şekildedir:

t : Problemden izin verilen ya da arzu edilen seyahat süresi ya da mesafe menzildir.

ϵ : çok küçük bir sayıyı ifade etmektedir.

2.2. Bulanık Mantık, Fonksiyon ve Sayılar

Bulanık Kime Teorisi ilk kez kesin küme teorisinin bir uzantısı olarak Zadeh tarafından literatüre kazandırılmıştır. [14] Bu teorik yaklaşımda bir nesnenin ya da sayının nitelik ve nicelik itibarı ile sadece bir kümeye aitliğinin ötesinden birden fazla kümeye belirli derecelerde aitliği tanımlanmıştır. Dolayısı ile bir elmayı kırmızı, sarı ya da yeşil olarak nitelendirmek yerine belirli derecede kırmızı, sarı ve yeşil olarak nitelendirebilmek mümkün olmuştur. Sonrasında Kaufman tarafından bu teori bir adım daha ileriye taşınmış ve bulanık değişkenlerin tanımı ortaya konulmuştur. [15] Zadeh yine aynı teoriye ölçülebilir olasılık parametreleri eklemiştir. [16,17]

Tüm bunların ardından Dubois bulanık mantık için olasılık teorisini tanımlamış [18] Liu ve Li [19,20] de bu teoriye kredibilite ölçütleri ekleyerek tamamlamış ve günümüze kadar uzanan bir çok uygulamanın önünü açmıştır.

Geleneksel bulanık mantık kapsamında sayılar ki bulanık sayılar olarak tanımlanmaktadır çeşitli şekillerde olabilmektedir. Bunlardan bazıları: üçgensel bulanık sayılar, dörtgenler bulanık sayılar, dairesel bulanık sayılar, gibi. Üçgensel bulanık sayılar literatürde günümüze dek en çok yer verilen bulanık sayı tipidir.

2.2.1. Yamuk Bulanık Fonksiyon ve Sayılar

Bu çalışma kapsamında takip edilen yöntem özelinde dörtgensel bulanık sayılar istihdam edilmiştir. Bu kararın arkasında yenilikçi ve pratik bir sebep yatmaktadır. Dörtgensel bulanık sayılar Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli başta olmak üzere birçok başka optimizasyon modelinde de yer alan ‘küçük eşittir’ veya ‘küçüktür2 tipi kısıtlara sahip parametrelerdeki belirsizliği modele yansıtmakta matematiksel tanımı ve yapısı sebebi ile mükemmel bir uyum ve pratiklik sağlamaktadır. Bu sebeple bizim çalışmamızda kullanılan dörtgensel bulanık sayıların bir alt çeşidi olan yamuk bulanık sayılar bu çalışmanın literatürdeki birçok başka çalışmaya kıyasla farklı ve yenilikçi yönlerinden bir tanesini teşkil etmektedir.

Dörtgensel Bulanık Sayı (\tilde{A}): $\tilde{A} = (l, m, n, u)$ olmak üzere, öyle ki $l, m, n, u \in R$ olarak tanımlanmaktadır. Burada yer alan l, m, n, u parametreleri bulanık sayıya ait bulanık

fonksiyonun tanımlayıcı unsurları olup; çekirdek, destek, sağ ve sol sınırlar olarak nitelendirilmektedir. [48]

Bahse konu bir dörtgensel bulanık fonksiyon Denklem 10'da gösterildiği gibi ifade edilip, Şekil 2.1'de yer aldığı gibi gösterilmektedir. [49]

$$\mu_{\bar{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < P, \\ \frac{x-l}{m-p}, & P \leq x \leq m, \\ 1, & m \leq x \leq n, \\ \frac{n-u}{x-u}, & n \leq x \leq u, \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (10)$$

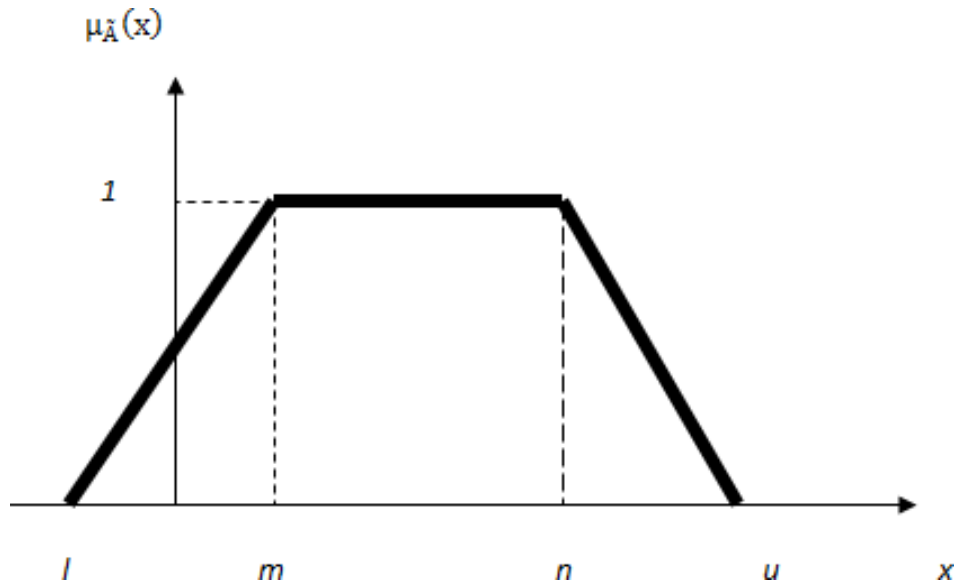
Önerme 1: $m=n$ olduğunda dörtgensel bulanık sayılar ve fonksiyonu 'üçgensel' bulanık sayıya ve fonksiyonuna dönüşür. [49]

Dörtgensel şekil ve notasyon, ilgili Şekil 2.1'de de tespit edilebileceği üzere bulanık sayıların kesin değerlerine karşılık aldığı üyelik değerlerinin birden fazla noktada ve/veya durumda 1'e eşit olmasından kaynaklanmaktadır.

Önerme 2: Benzer şekilde $l=m$ veya $n=u$ olduğunda dörtgensel bulanık sayılar ve fonksiyonu 'dik yamuk' bulanık sayıya ve fonksiyonuna dönüşür.

Bu durum aşağıdaki Denklem 11'de not edilmektedir:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 \quad (11)$$



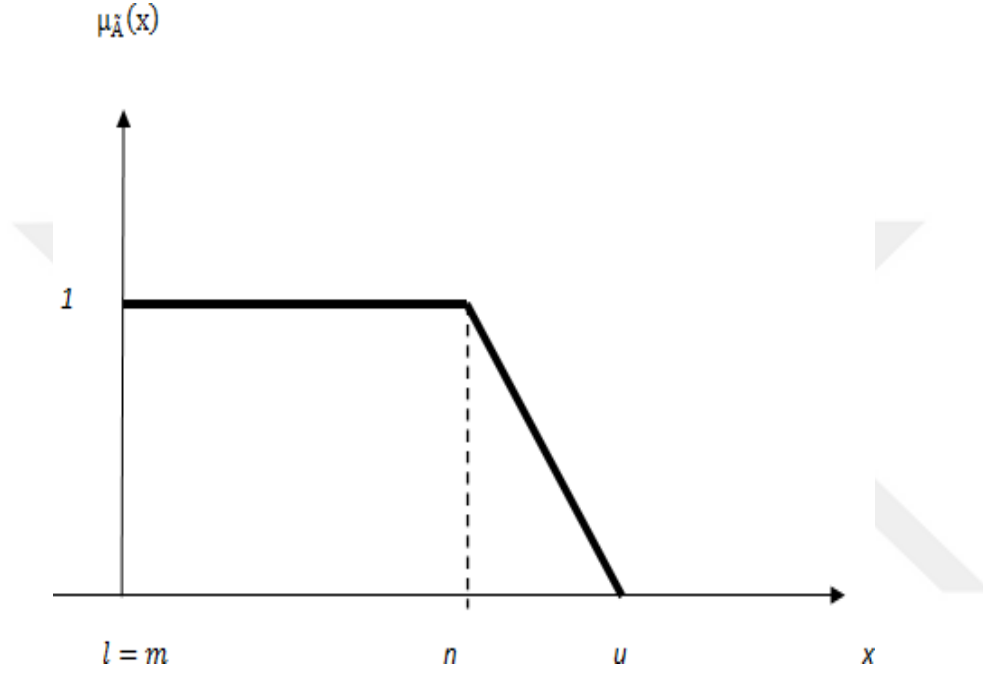
Şekil 2.1 : Dörtgensel bulanıklık fonksiyonu gösterimi

2.3. Dik Yamuk Bulanık Sayılar ve Fonksiyon

Dik Yamuk Bulanık Sayı (\tilde{A}): $\tilde{A} = (l, m, n, u)$ olmak üzere, öyle ki:

$l = m \wedge l, m, n, u \in \mathbb{R}$ olarak tanımlanmaktadır.

Burada yer alan l, m, n, u parametreleri bulanık sayıya ait bulanık fonksiyonun tanımlayıcı unsurları olup; çekirdek destek, sağ ve sol sınırlar olarak nitelendirilmektedir. [48]



Şekil 2.2 : Dik yamuk bulanıklık fonksiyonu gösterimi

Dik Yamuk Bulanık Sayı Fonksiyonu Şekil 2.2’de ve ilgili notasyonu da Denklem 12’de gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x) = \begin{cases} 0, & x < l \\ 1, & x = l = m \\ 1, & m \leq x \leq n \\ \frac{u-x}{u}, & n \leq x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases} \quad \text{for } \forall i, j = 1 \dots n, \quad (12)$$

Dik yamuk bulanık sayılar ve fonksiyonlar literatürde Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modelinin seyahat süresindeki belirsizliği bulanık sayılar ile yönetmek için henüz bu araştırma çalışmasındakine yakın ya da benzer bir şekilde kullanılmamıştır. Ancak son yıllarda farklı minval ve optimizasyon problemlerinde yeni ve daha sık gündeme alınmaya başlanmıştır.

Chia-Nan Wang ve diğeri ulaşım problemleri için karışık tam sayılı doğrusal programlamada dđđüm kapasitesindeki belirsizliği temsil etmek için yamuk bulanık sayıları kullanan bir makale yayınlamıştır. [50]

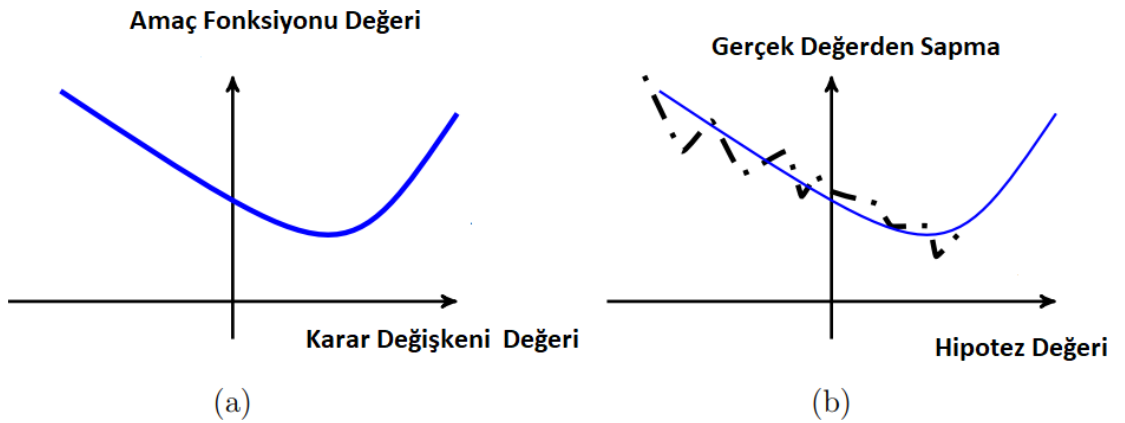
Benzer şekilde Sun ve diğeri doğrusal olmayan bulanık karışık tamsayı modellerindeki talep miktarı [51] ve hizmet kapasitesi miktarındaki [52] belirsizliği temsil etmek için yamuk bulanık sayılar kullanmıştır.

Buradan hareketle, yakın gelecekte dđrtgensel bulanık sayıların ve fonksiyonların optimizasyon disiplinindeki matematiksel model/kısıtları yansıtmadaki uyumu sebebi ile literatürde daha çok teveccüh görmesini beklemek yerinde olacaktır.

2.4. Veri Odaklı Optimizasyon ve Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi bir problemi, problem ortamından toplanan veriler ile matematiksel ya da sistematik olarak modelleyen ve böylelikle tahmin edebilen ya da çözüm sunabilen algoritmaların oluşturduğu yeni ve gelişmekte olan bir araştırma ve teknoloji alanıdır. Makine öğrenmesi kapsamında yer alan yöntemler ile hem optimizasyon hem de bulanık mantık disiplinlerinin keşiştiği, örtüştüğu ve birbirilerini tamamlayarak etkileşime girdiği bazı durumlar mevcuttur.

Örneğin hava durumu tahmin eden bir makine öğrenmesi modeli; bu tahminlerde hata payının en küçüklenmesi amacı ve prensibine sahip bir optimizasyon modeli olarak inşa edilebilmektedir. [53]



Şekil 2.3 : Optimizasyon Modeli ve Makine Öğrenmesi Modeli Benzerliği Grafıksel Gösterim [53]

- a) Bir optimizasyon modeli minimum amaç fonksiyonu değerini bulmak için karar değişkenin çeşitli değerlerini deneyerek arzu ettiği değeri veren karar değişkenini seçer.
- b) Bir Makine Öğrenmesi modeli gerçek değerden en az sapmayı miktarın bulmak için hipotez değerlerini deneyerek arzu ettiği değeri veren hipotez değişkenini esas alarak bir model oluşturur.

Şekil 2.3'te optimizasyon modeli ve makine öğrenmesi modeli benzerliği grafiksel olarak ifade edilmektedir.

Teorik olarak Makine Öğrenmesi modeli, hipotez $h(x)$ olması halinde, $h(x)$ hipotezini öğrenmekte, bu öğrenme kapsamında girdi verilerinden bazı değerleri okumakta, onlara bağlı bir fonksiyon oluşturmakta/çıkarımı yapmakta ve sonuçta bir tahmin/çıktı değeri hesaplayabilmektedir. Bu durum Denklem 13'te gösterilmiştir.

$$y = h(x) \quad (13)$$

Varsayalım ki $h(x)$ hipotezi Denklem 14'te ifade edildiği şekilde olsun:

$$h(x): y = w_1 \cdot x + w_0, \quad w_1 \in R^+, w_0 \in R \quad (14)$$

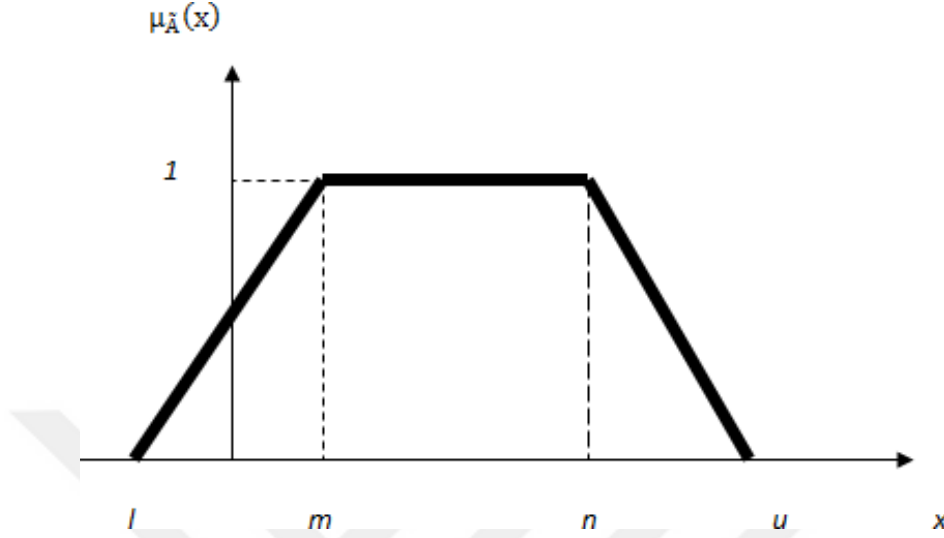
Her Makine Öğrenmesi modeli belirli bir hipotez kümesi alanı kullanmakta, dolayısıyla bu kümede yer alan bir $h(x)$ hipotezini seçmektedir. Bahse konu hipotez kümesi çözümün etkinliğinde belirleyici önem ve ağırlığa sahiptir, alan özelinde kullanılan ve etkinliğini ispatlamış yöntemler kümesi, problem ortamının uzmanlarında önerilen huşular bu hipotez kümesinin oluşturulmasında belirleyici bir etken teşkil etmektedir. [53]

2.5. Makine Öğrenmesi Temelli Bulanık Fonksiyon

Makine Öğrenmesi Temelli Dörtgensel Bulanık Sayı (\tilde{A}): $\tilde{A} = (l, m, n, u)$; $l, m, n, u \in R$ olarak tanımlanmaktadır. Burada yer alan l, m, n, u parametreleri bulanık sayıya ait bulanık fonksiyonun tanımlayıcı unsurları olup; çekirdek, destek, sağ ve sol sınırlar olarak nitelendirilmektedir. [49]

Bu araştırma çalışmasında ortaya konduğu ve ileri sürüldüğü üzere Makine Öğrenmesi Temelli Bulanık Sayılar; Bulanık Sayılardan farklı olarak l, m, n, u değerlerinin girdi

verilerini esas alınarak oluşturulan ve hesaplanan birer hipotezden oluşması ile farklılaşmaktadır. Öyle ki Makine Öğrenmesi Temelli Bulanık Sayılar dörtgensel bulanık sayılar formu özelinde, Şekil 2.4'te yer aldığı gibi gösterilebilmektedir.



Şekil 2.4 : Makine Öğrenmesi Temelli Dörtgensel Bulanıklık Fonksiyonu Gösterimi

Makine Öğrenmesi Temelli Dörtgensel Bulanık Sayı (\tilde{A}): $\tilde{A} = (l, m, n, u)$ olmak üzere, öyle ki:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < l, \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x < m, \\ 1, & m \leq x \leq n, \\ \frac{n-x}{n-u}, & n < x < u, \\ 0, & x \geq u \end{cases} \quad (15)$$

$$d(x): l = p_1 \cdot x + p_0, \quad p_1 \in \mathbb{R}^+, p_0 \in \mathbb{R} \quad (16)$$

$$f(x): m = q_1 \cdot x + q_0, \quad q_1 \in \mathbb{R}^+, q_0 \in \mathbb{R} \quad (17)$$

$$g(x): n = r_1 \cdot x + r_0, \quad r_1 \in \mathbb{R}^+, r_0 \in \mathbb{R} \quad (18)$$

$$h(x): u = w_1 \cdot x + w_0, \quad w_1 \in \mathbb{R}^+, w_0 \in \mathbb{R} \quad (19)$$

Ayrıca Makine Öğrenmesi Temelli Dörtgensel Bulanık Sayılar da Normal Bulanık Sayılarda olduğu gibi:

Önerme 3: $m=n$ olduğunda dörtgensel bulanık sayılar ve fonksiyonu ‘Makine Öğrenmesi Temelli Üçgensel’ bulanık sayıya ve fonksiyonuna dönüşmektedir.

Önerme 4: Benzer şekilde $l=m$ veya $n=u$ olduğunda Makine Öğrenmesi Temelli dörtgensel bulanık sayılar ve fonksiyonu ‘Makine Öğrenmesi Temelli Dik Yamuk’ bulanık sayıya ve fonksiyonuna dönüşmektedir.



3. METODOLOJİ

Bu çalışma, Küme Kapsama Yerleşke Modellerinin gerçek hayattaki belirsizlikleri özerk ve daha hassas bir şekilde ele almalarını sağlayan otonom ve bulanık bir model geliştirmeyi amaçlamaktadır.

3.1. Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM'de Bulanık Mantık

Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM bir coğrafi bölgenin (bölge i) diğer bir coğrafi bölgeyi (bölge j) kapsamayıp kapsamadığını belirlemek için i noktasından j noktasına olan ve d_{ij} olarak ifade edilen mesafeyi kullanmaktadır. Buna minvalde i noktasından j noktasına gidiş süresi sabit v hızına bağlı olarak t_{ij} olarak ifade edilmektedir. Tüm bu notasyon ve Klasik Kapsama Koşulu Tablo X'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 : Küme kapsama yerleşke problemleri parametreleri

Mesafe (i den j ye)	Seyahat Hızı	Seyahat Süresi	Klasik Kapsama Koşulu	
d_{ij}	V_c	$t_{ij}: d_{ij} \div V_c$	$a_i: \begin{cases} 1, \\ 0, \end{cases}$	$d_{ij} \leq d_{\text{istenilen}}$ diğer durumda

Önerme X: Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM'de **kapsama olması için** bir coğrafi bölgeden diğerine olan uzaklığın önceden belirlenen bir seyahat menzili mesafesine eşit ya da daha yakın olması ($d_{ij} \leq d_{\text{desired}}$) koşulu mevcuttur.

Bu araştırma çalışmasında çok kez ifade edildiği üzere; iki konumun birbirlerini kapsama durumunu belirleyen, aday yerleşke kurulum bölgelerinin seçilmesini dolayısı ile tanım kümesini belirleyen iki coğrafi bölge arasındaki seyahat süresi parametresi klasik Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM'de kabul edildiği üzere kesin ve sabit bir değer almamaktadır.

Ayrıca belirsizliklerin istatistiksel yöntemler, stokastik yaklaşımlar, bulanık mantık, makine öğrenimini, yapay zekâ gibi yeni ve gelişmekte olan metodolojiler ile daha etkin ve pratik şekilde yönetimi, modele ve problem çözümüne dahil edilmesi söz konusu olmuştur.

Tüm bu sebeplerden ötürü bu araştırma çalışması kapsamında Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM’de iki coğrafi bölge arasındaki seyahat süresi belirsizliğinin etkin bir şekilde ele alınması için bulanık seyahat süresi kavramını öne sürülmüştür.

Önerilen bulanık model, $\forall i, j = 1 \dots n$ için yamuk bulanık sayılar $\tilde{A}_{ij} = (l, m, n, u)$ ile seyahat sürelerini hesaplamaktadır. Yamuk bulanık sayılar, bir coğrafi bölgenin (bölge i) diğer bir coğrafi bölgeyi (bölge j) bulanık olarak kapsamayıp kapsamadığını belirlemek için i noktasından j noktasına olan ve $\tilde{A}_{ij} = (l, m, n, u)$ olarak ifade edilen bulanık mesafeyi kullanmaktadır.

Buna minvalde i noktasından j noktasına gidiş süresi sabit v hızına bağlı olarak $\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x)$ olarak ifade edilmektedir. Tüm bu notasyon ve Bulanık Kapsama Koşulu Tablo XX’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 : Bulanık küme kapsama yerleşke modeli parametreleri

Mesafe (i den j ye)	Bulanık Seyahat Süresi	Bulanık Kapsama Koşulu
\tilde{d}_{ij}	$\tilde{A}_{ij} = (l, m, n, u)$	$\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x) = \begin{cases} 1, & \tilde{d}_{ij} \leq d_{\text{istenilen}} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$

Bu çalışmada, i noktasından j noktasına olan bulanık uzaklık şu şekilde ifade edilmiştir: \tilde{d}_{ij}

Önerme X: Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli-BKKYM’de **kapsama olması için** klasik set kapsama modellerine benzer şekilde bir coğrafi bölgeden diğerine olan uzaklığın önceden belirlenen bir seyahat menzili mesafesine eşit ya da daha yakın olması ($\tilde{d}_{ij} \leq d_{\text{istenilen}}$) koşulu mevcuttur.

Çıkarım 1: Klasik Küme Kapsama Yerleşke Modeli- KKYM için:

- i) Küme Kapsama Yerleşke Modeli $d_{ij} > d_{\text{istenilen}}$, ($a_{ij}=0$ ve $P_j \notin S$) ise aday konumu hariç tutar.
- ii) Küme Kapsama Yerleşke Modeli $d_{ij} \leq d_{\text{istenilen}}$, $a_{ij}=1$ ve $P_j \in S$ ise aday konumu dahil eder.

Önerme 5: Gerçek hayatın seyahat süresine getirdiği belirsizlik ε olarak not edilmiştir, öyle ki:

$$\varepsilon=1/N, N \rightarrow \infty, \text{ ve } \varepsilon \ll 1, \forall i, j=1 \dots n.$$

Bu minvalde \tilde{d}_{ij} sınırları bulanık olan ve “ d_{ij} civarında” olarak kavramsallaştırılan bulanık sayılar olarak temsil edilen seyahat süreleri olacaktır.

Buna karşılık gelen değişken “ d_{ij} civarında” parametresi \tilde{d}_{ij} olarak tanımlanmış olup şu şekilde gösterilmektedir.

$$\tilde{d}_{ij} = \varepsilon_{ij} + d_{istenilen}$$

$$\text{Öyle ki } \varepsilon_{ij} = \frac{1}{N}, N \rightarrow \infty, \text{ bu nedenle: } d_{ij} \geq d_{istenilen}, \tilde{A}_{ij} \in S.$$

Şu şekilde özel bir durum vardır: $d_{ij} = \varepsilon + d_{istenilen}$

Çıkarım 2: Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli- BKKYM için:

- i) Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli $\tilde{d}_{ij} = d_{istenilen}$, ise $(\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x) = 0 \text{ ve } P_j \notin S)$ aday konumu hariç tutar.
- ii) Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli $\tilde{d}_{ij} = d_{istenilen}$, ise $(\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x) = 1 \text{ ve } P_j \in S)$ aday konumu dahil eder.

Sonuç ve Yorumlar:

Küme Kapsama Yerleşke Modeli- KKKYM özelinde bağlamında, mevcut model i konumundan j konumuna d_{ij} olarak not edilen Öklid mesafesini kullanır. Taşıma/seyahatte kullanılan taşıtın v olarak gösterilen ortalama hızını ve i konumundan t_{ij} olarak gösterilen j konumuna kesin seyahat süresini varsayar. Bu minvalde $t_{ij}, d_{ij} \div v$ ile hesaplanır.

Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli çözüm için belirli bir coğrafi bölgede var olan talep noktaların birbirine olan uzaklığını, bu noktalar arasındaki seyahat süresini temel alır.

Bu yaklaşım kapsamında i şehri ile j şehri arasında d_{ij} olarak tanımlanan belli bir mesafe uzaklık olduğunu var sayalım. Bu iki şehir arasında seyahat etmek için sabit ve/veya ortalama bir hız değerini (v) esas alarak iki şehir arasındaki seyahat süresini

(t_{ij}) hesaplayabiliriz.

Bu seyahat süresi Denklem 20’de yer aldığı şekilde hesaplanmaktadır.



$$t_{ij} = d_{ij} / v \quad (20)$$

Buradan hareketle Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli aday yerleşke lokasyonlarını belirlerken ve bir sonraki çözüm adımında da seçim yaparken sabit ve kesin bir seyahat süresi değerini kabul etmekte ve işleme almaktadır. Ancak gerçek hayatta sabit bir mesafeyi kat etme süresi hava durumu, yol durumu, tercih edilen araç tipi, yüklülük miktarı gibi sebeplerden ötürü çeşitli belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir.

Burada ϵ_{ij} , i konumu ile j konumu arasındaki seyahat süresi/mesafesindeki belirsizlik miktarını ifade etmektedir.

Önerme 6: Seyahat süresindeki/mesafesindeki bu değişken belirsizlik, her bir farklı i konumundan j konumu için bir diğerinden farklı değer almaktadır.

Önerme 7: Seyahat süresindeki/mesafesindeki bu değişken belirsizlik i konumundan j konumuna toplam seyahat süresine/mesafesine kıyasla çok küçük bir sayı oluşturmaktadır.

Dolayısı ile bu şekilde kesin bir değeri temel alan bir yöntemin verdiği sonuç da gerçek hayat belirsizliklerini göz ardı etmesi hasebi ile hatalı olacaktır. İşte bu belirsizliği sistematik olarak bulanık sayılar ile modele yansıtmak ve işleme almak ve çözüme etkisini elde etmek için yeni bir model geliştirilmiştir.

3.2. Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Problemleri- BKKYM'de Değişken Belirsizlik

Küme kapsayan konum modelleri için belirsizlik yönetiminde bazı temel sorunlar vardır. Belirsizlikteki ilk konu, klasik küme kapsayan tesis yerleşim modellerinde onu görmezden gelmektir. Giriş oturumunda belirlenen çeşitli nedenlerle, yeni tesis lokasyonlarının aday kümesinin belirlenmesi için hayati önem taşıyan seyahat süresinin, belirsizlik yönetimi tekniklerindeki son gelişmelerden sonra artık kesin ve sabit bir sayı olarak kabul edilememesi veya kesin ve sabit bir sayı olarak kabul edilmemesi, özellikle, bulanık küme kapsayan tesis yerleşim modelleri. i noktasından j noktasına seyahat süresinde bir belirsizlik vardır ve i konumundan j konumuna ϵ_{ij} olarak gösterilir, $\forall i, j = 1 \dots k$. Başka bir deyişle, bu belirsizliğe karşılık gelen seyahat süresi kadar 'seyahatin erken veya geç sonuçlanması' olarak ifade edilebilir.

Seyahat süresindeki bu belirsizlik, i konumundan j konumuna her yolculuk için benzersiz bir değer oluşturacaktır. Aynı şekilde, bu benzersiz belirsizlik de i konumundan j konumuna toplam seyahat süresine kıyasla çok küçük bir sayı oluşturmaktadır.

Bu miktar Denklem 21’de gösterildiği üzere aşağıdaki gibidir:

$$\varepsilon = \frac{1}{N}, N \rightarrow \infty (\varepsilon \ll 1), \forall i, j \quad (21)$$

Belirsizlik kavramındaki ikinci konu, bu belirsizliği yalnızca uzman girdisi ve/veya çözücülerin en iyi kararıyla ele almaktır. Bulanık KKYM’ler bu belirsizliği dikkate alır ve bunu çeşitli bulanık yaklaşımlarla formüle eder, ancak uygulanan metodolojilerin hiçbiri insan veya uzman müdahalesinden muaf değildir. Başka bir deyişle ya uzman grupları ya da problem çözücü, seyahat süresine özel olarak kabul edilebilir belirsizlik miktarına, gecikme miktarına ve dolayısıyla bulanık kapsamın belirlenmesine karar verir. Dolayısıyla, önceki metodolojilerin bu adımı, uzman bağımlılığına, modellemeye insan müdahalesine, bazen önyargıya neden olur ve modelin güvenilirliğine, özerkliğine ve diğer bağlamlara uyarlanabilirliğine zarar verir. Bu da bulanıklaştırma algısının, bulanık mantığın göreceli yönünü yansıtmaktan çok, kesin sayıların farklı numaralandırma ölçeklerine dönüştürülmesine veya “birim aralığında sayılarla oynamasına” [27] neden olmaktadır.

Örnek vermek gerekirse, uzun bir yolculuk için 1 dakikalık gecikme kabul edilebilir ancak yakın bir şehir için bulanık kapsama kapsamına girmemelidir. Bu koşullu kabul, yalnızca giriş değişkenlerine göre tanımlanabilir, farklılaştırılabilir ve küme kapsama bulanık işlevine dahil edilebilir. Burada onları, konum i ile j arasındaki Öklid mesafesine, ortalama ve standart ortalama hatalarına dayanarak sistematik ve özerk bir şekilde belirledik.

Özetlemek gerekirse, şimdiye kadar önerilen modelleme ve çözüm yollarında belirsizliğin önemi ve etkinliği yeterince önemsenmemiştir. Bahsedilen bu sorunları ele almak için, bu çalışmada i konumundan j konumuna değişken belirsizlik (ε_{ij}) olarak tanımlanan seyahat süresi için belirsizlik miktarı.

Literatürde kesişim noktalarının aritmetik ortalaması, bir yerin kısmi kapsama derecesini belirlemek için kullanılır, ancak OWA operatörleri gibi bazı diğer toplama operatörleri sınıfları da kullanılabilir” [21]

Burada, girdi değerlerinin istatistiksel özelliklerine daha duyarlı ve kesin olarak bulanık fonksiyon özelliklerini tanımlamak için özerk ve akıllı bir tane tanıttık. Bu nedenle, $\forall i, j = 1 \dots k$ için değişken belirsizliği (ϵ_{ij}) hesaplamak için seyahat mesafeleri aracılığıyla ortalamaların normalleştirilmiş biçimini kullandık, burada k toplam konum sayısıdır.

Burada, (ϵ_{ij}) değişken belirsizliği, belirli i'den tüm j konumlarına seyahat süresi değerleri için ortalamaların (SEoM) standart hatasına dayalı olarak hesaplanmıştır. Aynı popülasyondan tekrarlanan örnekler alınırsa elde edilen örnek ortalamaları arasındaki değişkenliği temsil eder. Ortalamanın standart hatası, aday konum noktaları arasındaki seyahat süresi değişkenliğini tahmin ettiğinden, standart sapmadan farklı olduğunu söylemeye gerek yok. Buna karşılık, standart sapma, tek bir talep yerinin diğerlerine değil, diğerlerine göre seyahat süresi değişkenliğini ölçer [49].

Belirli i konumundan tüm j konumuna seyahat süresine bağlı olarak değişkendir. i konumu merkezi yerdeyse, bu diğer konumlara yakın olduğu anlamına gelir ve bu durumda i konumundan j konumuna seyahat süresi aşağıdaki duruma göre önemli ölçüde daha kısadır. Diğer durumda, konum I, verilen coğrafi bölgenin sınırında olabilir, bu nedenle genellikle diğer konumların çoğundan uzakta bulunur. Bu, i konumundan j konumuna seyahat süresini önceki duruma göre daha uzun hale getirir. Belirsizdir çünkü i konumundan j konumuna seyahat süresi temel olarak Öklid mesafesinin kullanılan aracın ortalama hızına bölünmesiyle hesaplanır. Ancak bu basit denklemde; ulaşım modu, kullanılan araç türü, trafik yoğunluğu ve yol mevcudiyeti. [8–10]

3.3. Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Problemleri- BKKYM'de Otonom Bulanıklaştırma

Bu araştırma çalışması kapsamında Makine Öğrenmesi Temelli Otonom Dörtgensel Bulanık Sayı (\tilde{A}): $\tilde{A} = (l, m, n, u)$; $l, m, n, u \in \mathbb{R}$ olarak Denklem 22-26'de gösterildiği şekilde tanımlanmaktadır.

$$\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x) = \begin{cases} 0, & x < l \\ 1, & x = l = m \\ 1, & m \leq x \leq n \\ \frac{u-x}{u}, & n \leq x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (22)$$

$\forall i, j = 1 \dots n$, n tüm coğrafi bölgelerin sayısı olup; l, m, n, u da bir coğrafi bölgenin diğerine olan uzaklığının fonksiyonu olmak üzere şu şekilde tanımlanmıştır.

$$d(x): l = p_1 \cdot x + p_0, \quad p_1 \in R^+, p_0 \in R \quad (23)$$

$$f(x): m = q_1 \cdot x + q_0, \quad q_1 \in R^+, q_0 \in R \quad (24)$$

$$g(x): n = r_1 \cdot x + r_0, \quad r \in R^+, r_0 \in R \quad (25)$$

$$h(x): u = w_1 \cdot x + w_0, \quad w_1 \in R^+, w_0 \in R \quad (26)$$

Klasik Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM'de, bir coğrafi bölgenin (bölge i) diğer bir coğrafi bölgeyi (bölge j) kapsamayıp kapsamadığını belirlemek için kesin bir seyahat süresi değeri olan ve " t_{ij} " olarak gösterilen değer girdi olarak kullanılmaktadır. Buradan hareketle bir coğrafi bölgenin (bölge i) diğer bir coğrafi bölgeyi (bölge j) kapsayıp kapsamadığı Denklem 27'ye göre aşağıdaki gibi belirlenmektedir:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{(kapsar)} \\ 0, & \text{(kapsamaz)} \end{cases} \quad \begin{matrix} t_{ij} \leq t \\ \text{diğer durumda} \end{matrix} \quad (27)$$

Bu araştırma çalışması kapsamında geliştirilen yeni model, girdi olarak otonom olarak oluşturulmuş yamuk bulanık fonksiyonu ve sayıları kullanmaktadır.

Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli-BKKYM'de için her bir konum çifti için bulanık seyahat süresi, sınırları bulanık olan bir sayıl olarak ifade edilmektedir. Dolayısıyla coğrafi bölgeler i ile j arasındaki kapsama durumu bu iki coğrafi bölge arasındaki seyahat süresinin belirsizlik miktarını da ihtiva eden bir 'yamuk bulanık sayı' olarak temsil edilmiştir.

Bu gösterim, bir coğrafi bölge (bölge i) ile diğer bir coğrafi bölgeyi (bölge j) arasındaki seyahat süresinin " \tilde{t}_{ij} saat civarında" ifadesi ile kavramsallaştırılması ve aşağıda yer alan Denklem 28 ile tanımlanmıştır.

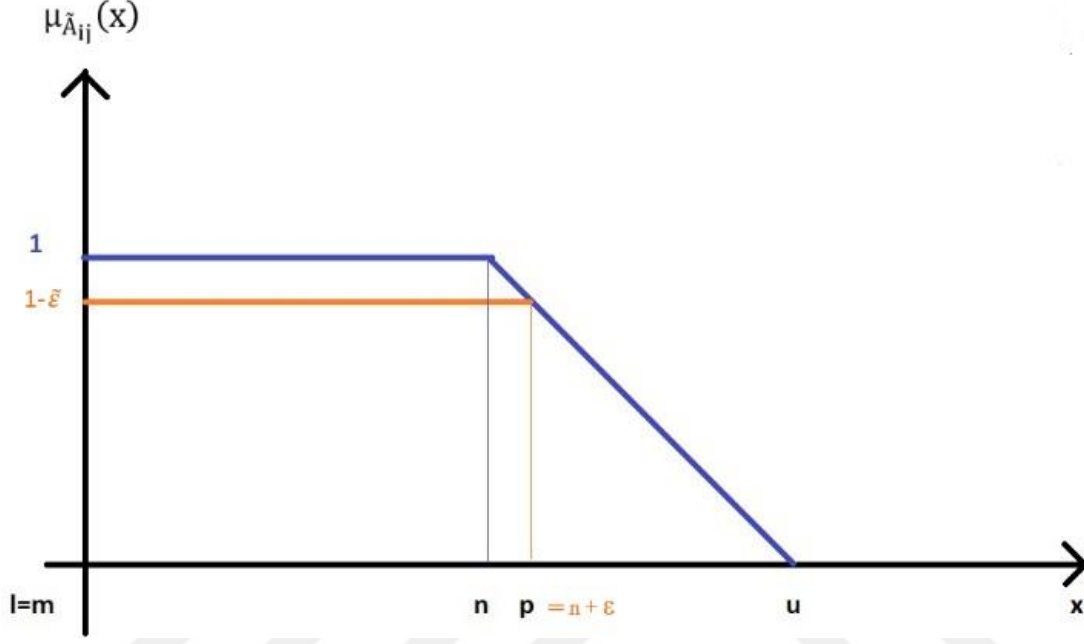
$$\tilde{t}_{ij} = t + \varepsilon_{ij} \quad (28)$$

Bu bulanık kapsama kavramı problem özelinde dik yamuk bulanık fonksiyonlarla temsil edilmiştir. Bilindiği üzere, herhangi bir bulanık yamuk üyelik fonksiyonu, l, m, n, u olarak gösterilen çekirdek, destek, sağ ve sol sınırlar adı verilen özelliklere sahiptir. [47]

Bu çalışmada, i 'den j 'ye tüm konumlar için konum kapsama kriterlerinin temeli olan 'kısıtlardan küçük ve/veya eşit' temsil etmek için yamuk bulanık sayılar ve

fonksiyonlar kullanılmıştır; bu yöntem, çalışmanın geri kalanı için 'dik yamuk bulanıklaştırma' olarak adlandırılacaktır.

Bir dik yamuk bulanık fonksiyona karakteristik özelliklerini veren l,m,n,u değerleri ve bu bölümde tanımlanan “belirsiz değişken: ϵ_{ij} ” parametresinin bulanık fonksiyon ile etkileşimi Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Dik Yamuk Bulanık Fonksiyon ve Belirsiz Değişken Parametresi Gösterimi

- l: En küçük seyahat süresi/mesafesi
- m: En küçük izin verilen seyahat süresi/mesafesi
- n: İzin verilen seyahat süresi/mesafesi (t_{ij})
- p: Bulanık izin verilen seyahat süresi/mesafesi (\tilde{t}_{ij})
- u: En büyük seyahat süresi/mesafesi

Set kapsayan konum modellerinin doğası gereği, modelde izin verilen minimum seyahat süresi ve izin verilen minimum seyahat süresi 'sıfır' değerlerini aldı ve bu nedenle kökenlerinde kesişiyor. Sonuç olarak, bu durum trapezoidal bulanık üyelik fonksiyonunu 'sağ trapezoidal bulanık üyelik fonksiyonuna' dönüştürür.

Burada ϵ_{ij} , i konumu ile j konumu arasındaki seyahat süresi/mesafesindeki belirsizlik miktarını ifade etmektedir. Aynı şekilde $\tilde{\epsilon}_y$ de , i konumu ile j konumu arasındaki

seyahat süresi/mesafesindeki belirsizlik miktarının ilgili bulanık fonksiyona göre hesaplanmış olan bulanık sayı karşılığını ifade etmektedir.

Küme kapsayan modeller için dik yamuk bulanık üyelik fonksiyonu Denklem 29'da aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x) = \begin{cases} 1, & x = l = m = 0 \\ 1, & m < x \leq n \\ \frac{x-u}{n-u}, & n < x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (29)$$

$\forall i, j = 1 \dots k$ için, burada k toplam konum sayısıdır.

Sağ yamuk bulanık fonksiyon ve üyelik değerleri $\tilde{A}_{ij} = 1 \dots k$ için sırasıyla $\tilde{A}_{ij} = (l, m, n, u)$ and $\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x)$ olarak gösterilir ki burada k toplam konum sayısı indeksidir.

Önerme 8: Bu araştırma çalışması kapsamında Makine Öğrenmesi Temelli Dörtgenel Bulanık Sayı (\tilde{A}): $\tilde{A} = (l, m, n, u)$; l, m, n, u 'nun her biri x değerinin aşağıda Denklemlerde (Denk. 30-33) belirtildiği şekilde birer fonksiyonu olacak şekilde tanımlanmaktadır.

$$d(x): l = p_1 \cdot x + p_0, \quad p_1 \in R^+, p_0 \in R \quad (30)$$

$$f(x): m = q_1 \cdot x + q_0, \quad q_1 \in R^+, q_0 \in R \quad (31)$$

$$g(x): n = r_1 \cdot x + r_0, \quad r \in R^+, r_0 \in R \quad (32)$$

$$h(x): u = w_1 \cdot x + w_0, \quad w_1 \in R^+, w_0 \in R \quad (33)$$

Bu fonksiyon Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modelleri ABKKYM için şu şekilde özelleştirilmektedir:

- l: Veri setindeki en küçük data (=0)
- m: İzin verilen en kısa seyahat süresi/mesafesi (=0)
- n: Klasik seyahat süresi/mesafesi kapsama değeri (d_{ij} ya da t_{ij})
- p: Bulanık izin verilen seyahat süresi/mesafesi (\tilde{d}_{ij} ya da \tilde{t}_{ij})
- u: En büyük seyahat süresi/mesafesi

Hatırlatma: ϵ_{ij} , i konumu ile j konumu arasındaki seyahat süresi/mesafesindeki belirsizlik miktarını ifade etmektedir. Aynı şekilde $\tilde{\epsilon}_y$ de, i konumu ile j konumu arasındaki seyahat süresi/mesafesindeki belirsizlik miktarının ilgili bulanık fonksiyona göre hesaplanmış olan bulanık sayı karşılığını ifade etmektedir.

Bulanık mesafe kapsama koşuluna temel oluşturan n ve p değerleri arasındaki ilişki aşağıdaki Denklem 34 ve 35'te ifade edildiği gibidir.

$$n = d_{istenilen} \quad (34)$$

$$p = d_{istenilen} + \epsilon_{ij} \quad (35)$$

Burada ϵ_{ij} aşağıdaki şekilde (Bakınız Denk. 36 ve 37) girdi veri seti esas alınarak tanımlanmakta ve hesaplanmaktadır:

$$\text{Menzil mesafesi } (d_{istenilen}) \times \frac{\text{Ortalamaların Standart Hatası (SEoM } d_{ij})}{\text{Ortalama (Mean of } d_{ij})} \quad (36)$$

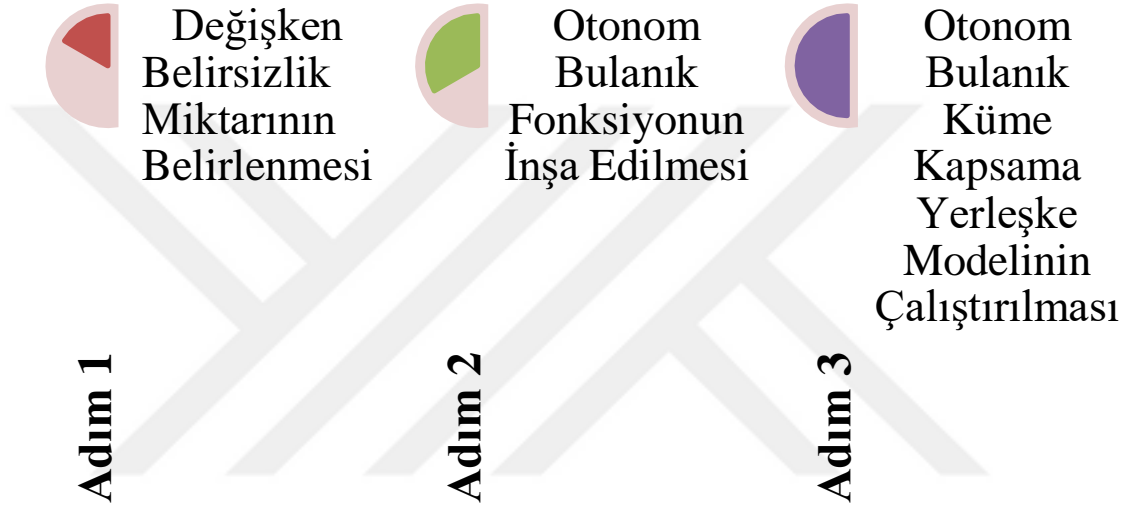
$$\text{Menzil süresi } (t_{istenilen}) \times \frac{\text{Ortalamaların Standart Hatası (SEoM } t_{ij})}{\text{Ortalama (Mean of } t_{ij})} \quad (37)$$

Burada, değişken belirsizlik (ϵ_{ij}), bir coğrafi bölgenin (bölge i) diğer bir coğrafi bölgeyi (bölge j) konumları arasındaki mesafe/seyahat süresi değerlerinin ortalamalarının standart hatasına ve ortalama değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Ortalamalarının standart hatası aynı popülasyondan tekrarlanan örnekler alınırsa elde edilen örnek ortalamaları arasındaki değişkenliği temsil eder. Standart sapmadan farklıdır, çünkü ortalamanın standart hatası talep noktaları arasındaki mesafe değişkenliğini tahmin eder. Buna karşılık, standart sapma, tek bir talep yerinin diğerlerine olan mesafe değişkenliğini ölçmektedir.[54]

3.4. Önerilen Metodolojinin Adımları

Bu bölümde, Otonom Bulanık Küme Kapsama Konum Modelleri olarak adlandırılan yeni önerilen modelin metodolojik adımları aşağıda sıralanmış olup, bu bölümde detaylı olarak ifade edilmekte ve Şekil 3.2’de aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

- Adım 1: Değişken Belirsizlik Miktarının Belirlenmesi
- Adım 2: Otonom Bulanık Fonksiyonun İnşa Edilmesi
- Adım 3: Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modelinin Çalıştırılması



Şekil 3.2 : İzlenen araştırma metodolojisinin özet gösterimi

3.4.1. Adım 1: Değişken Belirsizlik Miktarının Belirlenmesi

Küme Kapsama Yerleşke Modelleri-KKYM’de değişken belirsizlik miktarı ϵ_{ij} , i konumu ile j konumu arasındaki seyahat süresi/mesafesine bağlı olarak gerçekleştirilen seyahatin herhangi bir sebeple 'erken veya geç sonuçlanması' olarak ifade edilmektedir.

Hatırlatma 1: Seyahat süresindeki/mesafesindeki bu değişken belirsizlik, her bir farklı i konumundan j konumu için bir diğerinden farklı değer almaktadır.

Hatırlatma 2: Seyahat süresindeki/mesafesindeki bu değişken belirsizlik i konumundan j konumuna toplam seyahat süresine/mesafesine kıyasla çok küçük bir sayı oluşturmaktadır.

Burada ε_{ij} aşağıdaki şekilde (Bakınız Denk. 38 ve 39) girdi veri seti esas alınarak tanımlanmakta ve hesaplanmaktadır:

$$\text{Menzil mesafesi } (d_{\text{istenilen}}) \times \frac{\text{Ortalamaların Standart Hatası (SEoM } d_{ij})}{\text{Ortalama (Mean of } d_{ij})} \quad (38)$$

$$\text{Menzil süresi } (t_{\text{istenilen}}) \times \frac{\text{Ortalamaların Standart Hatası (SEoM } t_{ij})}{\text{Ortalama (Mean of } t_{ij})} \quad (39)$$

3.4.2. Adım 2: Otonom Bulanık Fonksiyonun İnşa Edilmesi

Küme kapsayan modeller için dik yamuk bulanık üyelik fonksiyonu Denklem 40'ta aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x) = \begin{cases} 1, & x = l = m = 0 \\ 1, & m < x \leq n \\ \frac{x-u}{n-u}, & n < x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (40)$$

$\forall i, j = 1 \dots k$ için, burada k toplam konum sayısıdır.

Sağ yamuk bulanık fonksiyon ve üyelik değerleri $\tilde{A}_{ij} = (l, m, n, u)$ için sırasıyla

$\tilde{A}_{ij} = (l, m, n, u)$ and $\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x)$ olarak gösterilir ki burada k toplam konum sayısı indeksidir.

Bu araştırma çalışması kapsamında Makine Öğrenmesi Temelli Dörtgensel Bulanık Sayı (\tilde{A}): $\tilde{A} = (l, m, n, u)$; l, m, n, u 'nun her bir x değerinin aşağıda Denklemlerde (Denk 41-44) belirtildiği şekilde birer fonksiyonu olacak şekilde tanımlanmaktadır.

$$d(x): l = p_1 \cdot x + p_0, \quad p_1 \in R^+, p_0 \in R \quad (41)$$

$$f(x): m = q_1 \cdot x + q_0, \quad q_1 \in R^+, q_0 \in R \quad (42)$$

$$g(x): n = r_1 \cdot x + r_0, \quad r_1 \in R^+, r_0 \in R \quad (43)$$

$$h(x): u = w_1 \cdot x + w_0, \quad w_1 \in R^+, w_0 \in R \quad (44)$$

Bu fonksiyon Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modelleri: O-BKKYM için şu şekilde özelleştirilmektedir:

- l: Veri setindeki en küçük data (=0)
- m: İzin verilen en kısa seyahat süresi (=0)
- n: Klasik mesafe kapsama değeri (d_{ij} ya da t_{ij})
- p: Bulanık izin verilen seyahat süresi/mesafesi (\tilde{d}_{ij} ya da \tilde{t}_{ij})
- u: En büyük seyahat süresi/mesafesi

ϵ_{ij} , i konumu ile j konumu arasındaki seyahat süresi/mesafesindeki belirsizlik miktarını ifade etmektedir. Aynı şekilde $\tilde{\epsilon}_y$ de, i konumu ile j konumu arasındaki seyahat süresi/mesafesindeki belirsizlik miktarının ilgili bulanık fonksiyona göre hesaplanmış olan bulanık sayı karşılığını ifade etmektedir.

Bulanık mesafe kapsama koşuluna temel oluşturan n ve p değerleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$n = d_{istenilen} \quad (45)$$

$$p = d_{istenilen} + \epsilon_{ij} \quad (46)$$

3.4.3. Adım 3: Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modelinin Çalıştırılması

Bu adımda, Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modelini çalıştırmak için kapsama kümelerinin tanımı bir önceki adımda oluşturulan bulanık kapsama modeline göre inşa edilmektedir.

Küme Kapsama Yerleşke Modelini kapsamında aday yerleşkelerin tanım kümesi oluşturulur, her bir coğrafi lokasyon yerleşke kurulumu için adaydır.

Bu tanım kümesi içinde yer alan tüm coğrafi bölgelerin, diğer coğrafi bölgelere olan bulanık seyahat süresi/ mesafesi hesaplanır ve bulanık karar değişkeni \tilde{a}_j aracılığı ile aşağıdaki Denklem x de belirtildiği üzere göre her bir coğrafi lokasyonun diğer coğrafi lokasyonları kapsama durumu tayine edilir.

\tilde{a}_j i'den j'ye kadar olan konumun kapsamı için bulanık karar değişkenidir:

$$\tilde{a}_j = \begin{cases} 1, & \text{i) } (t_{ij} \leq t) \\ \{(1 - \tilde{\epsilon}_y), & \text{ii) } (t < t_{ij} \leq t + \epsilon_{ij}) \\ 0, & \text{iii) } (t + \epsilon_{ij} < t_{ij}) \end{cases} \quad (47)$$

\tilde{a}_j 'nin alabileceği her bir değer ve buna karşılık olan durumlar Denklem 47'de sırasıyla tanımlanmış olup; aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

- i. $(t_{ij} \leq t)$ i konumu j konumunu kapsar;
- ii. veya $(t < t_{ij} \leq t + \epsilon_{ij})$ i konumu, bulanık bir şekilde j konumunu kapsar;
- iii. aksi halde i konumu j konumunu kapsamaz.

Son olarak kapsama kümesi esas ve bir coğrafi lokasyona yerleşke kurma maliyetleri esas alınarak mevcut küme içerisinde tüm coğrafi bölgelere seyahat süresi/mesafesi menzili içerisinde hizmet verebilecek en az maliyetli yerleşke kurulum ağı tayin edilmektedir.

Bu minvalde seçilen coğrafi lokasyonlar \tilde{x} aracılığı ile aşağıda denklemle ifade edilir ve optimal sonucu oluşturan seçim kümesini vermektedir.

\tilde{x} , j konumuna tesis kurmak için karar değişkenidir, bu değişkenin alabileceği her bir değer ve buna karşılık olan durumlar Denklem 48'de sırasıyla tanımlanmış olup; aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\tilde{x} = \begin{cases} 1, & \tilde{x} \text{ yerleşke kurulumu için seçilirse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (48)$$

Bahse konu Bulanık Kapsama Kümesi ve Bulanık Çözüm Kümesi aşağıdaki şekilde tanımlanıp gösterilmektedir.

Bulanık Kapsama Kümesi I: $\tilde{a}_j \geq (1 - \tilde{\epsilon}_y)$

$$\tilde{I} = \{ \tilde{a}_j : \tilde{a}_j \in \tilde{R} \tilde{a}_j \geq (1 - \tilde{\epsilon}_y) \} \text{ where } \tilde{I} \subseteq \tilde{P} \quad (49)$$

Bulanık Çözüm Kümesi: $\tilde{S}\{x_j\} = [1]$

$$\tilde{S} = \{ \tilde{x} : \tilde{x} \in \tilde{A} \tilde{x} = 1 \}, \text{ where } \tilde{S} \subseteq \tilde{I} \quad (50)$$

3.4.4. Yeni Geliştirilen Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli: O-BKKYM

Yeni önerilen modelin amacı, belirli bir coğrafi alanı belirsiz bir şekilde kapsayacak şekilde minimum sayıda dağıtım tesisi sunmaktır. Bu modelin temel önermeleri i) yeni kurulan bir tesisin bulunduğu bölgeye yönelmesi; ii) yeni kurulan bir tesis, önceden belirlenmiş seyahat süresi (t) içinde kalan bölgeye yönelecektir; iii) yeni kurulan bir tesis, tam bulanık kapsama sağlamak için tüm bölgelere yönelmelidir; ve iv) her bölgeye katılan en fazla tesis sayısı 1'dir.

Problemin karar değişkenleri Tablo 1'de aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

Çizelge 4.1 : Çalışmada bahsedilen semboller, indeksler, karar değişkenleri ve parametreler

		<i>Karar değişkenleri</i>
x_j	Tesisi j konumuna kurmak için karar değişkeni	
a_{ij}	i ile j konumunun kapsamı için karar değişkeni	
\tilde{a}_j	i ile j konumunun kapsamı için bulanık karar değişkeni	
		<i>İndisler</i>
i	Menşei konumu (k ile indekslenir)	
j	Variş yeri konumu (k ile endekslenir)	
		<i>Parametreler ve Semboller</i>
c_j	j j konumunda bir merkez kurmanın maliyeti.	
t_{ij}	i konumundan j konumuna seyahat süresi	
t	Belirli bir deneme için izin verilen seyahat süresinin maksimum değeri	
\tilde{t}_{ij}	i konumundan j konumuna bulanık seyahat süreleri	
$\mu_{\tilde{A}_{ij}}(x)$	i konumundan j konumuna seyahat süresinin bulanık üyelik değeri	
\tilde{A}_{ij}	Kapsamın trapez bulanık fonksiyonu	
(l, m, n, u)	Bulanık fonksiyonun özellikleri	
ϵ_{ij}	Değişken belirsizliği	
ϵ	Çok küçük bir sayı	
$\tilde{\epsilon}_y$	Değişken belirsizliğin bulanık formu	

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{En Küçükleme } \sum_{j=1}^n \tilde{x}_j \quad (51)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^k \tilde{a}_j \tilde{x}_j \geq (1 - \mu_{ij}), \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (52)$$

$$\tilde{x}_j \in \{0, 1\} \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (53)$$

$$\tilde{a}_j \in (0, 1) \quad i = 1, 2, \dots, k \text{ ve } j = 1, 2, \dots, k \quad (54)$$

$$\tilde{x}_j = \begin{cases} 1, & \tilde{x}_j \text{ eğer yerleşke kurulumu için seçilirse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (55)$$

$$\tilde{a}_j = \begin{cases} 1, & \text{i) } (t_{ij} \leq t) \\ (1 - \tilde{\varepsilon}_y), & \text{ii) } (t < t_{ij} \leq t + \varepsilon_{ij}) \\ 0, & \text{iii) } (t + \varepsilon_{ij} < t_{ij}) \end{cases} \quad (56)$$

$$\varepsilon_{ij}: \text{Menzil süresi } (t_{istenilen}) \times \frac{\text{Ortalamaların Standart Hatası (SEoM } t_{ij})}{\text{Ortalama (Mean of } t_{ij})} \quad (57)$$

$\tilde{\varepsilon}_y$: Bir bulanık sayı olup; $\tilde{\varepsilon}_y \in (\tilde{A})$: $\tilde{A} = (l, m, n, u)$, ve $\tilde{\varepsilon}_y \in (0, 1)$ öyle ki:

$$d(x): l = p_1 \cdot x + p_0, \quad p_1 \in R^+, p_0 \in R \quad (58)$$

$$f(x): m = q_1 \cdot x + q_0, \quad q_1 \in R^+, q_0 \in R \quad (59)$$

$$g(x): n = r_1 \cdot x + r_0, \quad r \in R^+, r_0 \in R \quad (60)$$

$$h(x): u = w_1 \cdot x + w_0, \quad w_1 \in R^+, w_0 \in R \quad (61)$$

Bulanık Tanım Kümesi : $\tilde{P}\{\tilde{a}_j\} \in [0,1]$ olacak şekilde Denklem 62’de gösterilmiştir.

$$\tilde{P}=\{a_{ij}; a_{ij} \in [0,1]\} \quad (62)$$

Bulanık Kapsama Kümesi : $\tilde{I}: \tilde{a}_j \geq (1 - \tilde{\xi}_y)$ olacak şekilde Denklem 63’te gösterilmiştir.

$$\tilde{I}=\{\tilde{a}_j; \tilde{a}_j \in \tilde{R} \tilde{a}_j \geq (1 - \tilde{\xi}_y)\} \text{ where } \tilde{E} \tilde{P} \quad (63)$$

Bulanık Çözüm Kümesi: $\tilde{S}\{x_j\}=[1]$ olacak şekilde Denklem 64’te gösterilmiştir.

$$\tilde{S}=\{\tilde{x} : \tilde{x} \in \tilde{A} \tilde{x} = 1\}, \text{ where } \tilde{S} \subset \tilde{I} \quad (64)$$

4. NÜMERİK DENEYLER VE SONUÇLAR

Araştırmanın bu bölümünde klasik Küme Kapsama Yerleşke Modeli ile bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli kullanılarak gerçek hayatta karşılaşılabileceğimiz bir problem çözüme kavuşturulmuştur. Her iki modelde de Türkiye'deki tüm şehirlerin kapsandığı bir yerleşke planlaması yapılmış olup, optimal çözüme ulaşılmış ve bu çözüme dair toplam maliyet değeri analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. İlgili analiz ve karşılaştırma yapılırken aşağıda sıralanan parametre ve değerler esas alınmıştır:

- Belirlenen coğrafi lokasyona yerleşke açma maliyeti
- Tüm ülkeyi kapsamak için açılması gereken toplam yerleşke sayısı
- Uzun ve kısa vadeli yerleşke açma ve işletme maliyetleri

Bahse konu nümerik deneylere ait veri seti, problemin tanımı, çözüm yöntemi, ve deneysel sonuçlar detaylı olarak bu başlık altında ilerleyen bölümlerde açıklanmaktadır.

4.1. Problem Ortamının Tanımı

Bu araştırma çalışması kapsamında ele alınan Küme Kapsama Yerleşke Yeri Belirleme Modeli belirli bir coğrafi bölgede önceden belirlenen seyahat süresini aşmaksızın her bir noktaya erişilmesini sağlayacak bir erişim/dağıtım kapsama ağı kurulması için gerekli yerleşkelerin belirlenmesini amaçlamaktadır.

Ele alınan deneysel çalışma kapsamında da aynı şekilde tüm Türkiye'de önceden belirlenen seyahat süresini aşmaksızın ülkenin her bir bölgesine/noktasına bu süre zarfında kara yolu ile seyahat edilerek ulaşılmasını sağlayacak bir dağıtım ağı kurulması için gerekli olan yerleşkelerin hangi şehir merkezlerine kurulmasının belirlenmesi amaçlanmıştır.

4.2. Veri Setinin Tanımı

Bu çalışma kapsamında kullanılan veri seti daha önce literatürde benzeri çalışmalarda sıklıkla kullanılan, Tan ve Kara tarafından oluşturulup yayınlanmış [55–57] 'Türkiye Dağıtım Ağı Veri Seti' isimli gerçek bir veri setidir. Bu veri seti içinde Türkiye'nin 81 ili, bu illerin şehir merkezlerinin birbirine km cinsinden uzaklığı ve her bir şehir standart bir yerleşke kurulumunun birim maliyeti yer almaktadır. Küme Kapsama Yerleşke Yeri Belirleme Modeli'nde girdi olarak kabul edilen izin verilen en uzun seyahat süresi hesaplanırken ise Kara Yolları Genel Müdürlüğü'nce şehirlerarası yollarda mevcut hız limiti 90 km/sa esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Başka bir

deyişle iki şehir arasındaki seyahat süresi belirlenirken veri setinde yer alan iki şehir arasındaki mesafe 90 km/sa hız a bölünerek toplam seyahat süresi belirlenmiştir.

4.3. Çözüm Yöntemi

Bu çalışma kapsamında Türkiye’de önceden belirlenen seyahat süresini aşmaksızın ülkenin her bir bölgesine/noktasına bu süre zarfında kara yolu ile seyahat edilerek ulaşılmasını sağlayacak bir dağıtım ağı kurulması için gerekli olan yerleşkelerin hangi şehir merkezlerine kurulmasının belirlenmesi ve bu kurulumun toplam maliyetinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu araştırma çalışması kapsamında hem kesin hem de bulanık modeller CPLEX OPL Studio IDE 20.02 versiyonu kullanılarak çözülmüştür. Her iki model için de aynı ve bir önceki bölümde tanımlanan veri seti kullanılmıştır. Bu veri on farklı problem için on farklı seyahat süresi kapsama değeri belirlenerek elde edilen amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılmıştır. Her bir deney çalışması için problemin çözümü öncesinde belirlenen seyahat süresi değerleri aşağıdaki tablo da listelenmiştir.

Çizelge 4.2 : Deneylerin Menzil Mesafesi ve Süresi

Deney No	Kapsama Mesafesi (km)	Kapsama Seyahat Süresi (sa)
1	90	1
2	135	1,5
3	180	2
4	225	2,5
5	270	3
6	315	3,5
7	360	4
8	405	4,5
9	450	5
10	495	5,5

Bu tabloda da görüleceği üzere 1 Numaralı deneyde birbirine 90 km ve daha az mesafe uzaklıkta olan şehirler, 90 km/sa hız değerine bölünerek 1 saatlik karayolu ulaşım

süresine sahip olması hasebiyle '1 saat veya daha az seyahat süresi' kapsama alanında olarak birbirini kapsar şekilde tanımlanmıştır.

Aynı şekilde 10 Numaralı deneyde birbirine 495 km ve daha az mesafe uzaklıkta olan şehirler, 90 km/sa hız değerine bölünerek 5,5 saatlik karayolu ulaşım süresine sahip olması hasebiyle '5,5 saat veya daha az seyahat süresi' kapsama alanında olarak **birbirini kapsar** şekilde tanımlanmıştır.

Tüm nümerik deneyler Intel Core i7-2.6 GHz ve 8 GB RAM'e sahip bir bilgisayarda çözülmüş ve 15 saniyeden kısa sürelerde hesaplanmıştır. Bulunan tüm sonuçlar kesin ve optimal çözümdür.

4.4. Klasik Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli Sonuçları

Klasik Küme Kapsama Yerleşke Yeri Seçimi Modeli çeşitli büyüklükteki seyahat süresi kapsama değerleri için 10 farklı deney kapsamında 10 farklı problem olarak ele alınmıştır. Tüm deneyler 'Türkiye Dağıtım Ağı Veri Seti' kullanılarak çözülmüştür.

Problem genel tanımı: Tüm Türkiye'yi kapsamak üzere bir karayolu dağıtım ağı şebekesi kurulması için, şehirlerarası kapsama kriteri '**kesin bir karayolu seyahat süresini**' aşmamak kaydı ile Kapsama Yerleşke Yeri Seçimi Modeli kullanılarak elde edilen çözümün toplam kurulum maliyeti ne olur ve hangi şehirler yerleşke kurulması için seçilmelidir?

Şehirlerarası kapsama kriteri ilgili modelin farklı büyüklükteki kapsama kriterlerine verdiği sonucu gözlemleyebilmek adına 10 farklı deneyde çeşitlendirilmiştir. Daha önce de tanımlandığı üzere 1 Numaralı deneyde birbirine 90 km ve daha az mesafe uzaklıkta olan şehirler, 90 km/sa hız değerine bölünerek 1 saatlik karayolu ulaşım süresine sahip olması hasebiyle '1 saat veya daha az seyahat süresi' kapsama alanında olarak birbirini kapsar şekilde tanımlanmıştır. Bir sonraki deneyde bu seyahat süresi yarım saat uzatılarak 1.5 saat karayolu kapsama süresi ve 135 km mesafe olacak şekilde toplamda 10 farklı problem oluşturulup çözülmüştür.

Bu bölümde Deney 1 detaylı olarak açıklanmaktadır.

1 Numaralı Deney İçin Problemin Özel Tanımı

Problem Tanımı: Tüm Türkiye’yi kapsamak üzere bir karayolu dağıtım ağı şebekesi kurulması için, şehirlerarası kapsama kriteri 1 saat karayolu seyahat süresini aşmamak kaydı ile Kapsama Yerleşke Yeri Seçimi Modeli kullanılarak elde edilen çözümün toplam kurulum maliyeti ne olur ve hangi şehirler yerleşke kurulması için seçilmelidir?

Veri Seti: Kullanılan veri seti ‘Türkiye Dağıtım Ağı Veri Seti’ isimli gerçek bir veri seti olup bu veri seti içinde Türkiye’nin 81 ili, bu illerin şehir merkezlerinin birbirine km cinsinden uzaklığı ve her bir şehir standart bir yerleşke kurulumunun birimmaliyeti yer almaktadır.

Şehirlerarası kapsama kriteri: Birbiri arasındaki mesafe 90 km ve daha az olan şehirler, 90 km/sa hız değerine bölünerek 1 saatlik karayolu ulaşım süresine sahip olması hasebiyle ‘1 saat veya daha az seyahat süresi’ kapsama alanında olarak birbirini kapsar şekilde tanımlanmıştır.

Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli:

İlgili model aşağıda ifade edilen Denklemler (Denk 65-70) aracılığı ile tanımlanmaktadır.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{En küçük } \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (65)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (66)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (67)$$

$$a_{ij} \in \{0,1\} \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ and } j = 1, 2, \dots, n \quad (68)$$

Öyle ki

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x_j \text{ yerleşke kurulumu için seçilir ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (69)$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ şehri } j \text{ şehrinin kapsama alanı içinde ise (} t_{ij} \leq t_{\text{istenilen}} \text{)} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (70)$$

Bu problem tanımı kapsamında üç temel küme tanımlanmaktadır.

Bunlardan ilki **tanım kümesi** olup, bu kümede yerleşke kurulması için aday olan tüm şehirler listelenmektedir, bu kümede veri setinde de görüleceği üzere Türkiye'deki 81 şehir alfabetik sıraya dizilerek numaralandırılmıştır. (Örneğin; Adana için: x_1 : Adana, öyle ki $i=1$)

Tanım kümesindeki her bir şehir bir diğer şehri öngörülen karayolu seyahat süresi kriterine göre kapsar ya da kapsamaz, dolayısı ile kapsamaması durumunda 1, kapsamaması durumunda 0 değeri alarak temsil edilmekte olup Denklem 71'de gösterilmektedir.

$$P: \{a_{ij}\} \in \{0, 1\} \text{ veya } P = \{a_{ij} : \{0,1\}\} \quad (71)$$

Bunlardan ikincisi **kapsama kümesi** olup her bir şehir için önceden ifade edilen 1 saat karayolu seyahat süresi içinde olan yani kapsama alanında olan şehirler listelenmekte ve Denklem 72'de gösterilmektedir.

$$\mathbf{Kapsama Kümesi (I)}, I : a_{ij} = 1, I = \{a_{ij} : a_{ij} \in P \wedge a_{ij} = 1\}, \text{öyle ki } I \subset P \quad (72)$$

Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli kapsama kümesini girdi olarak kabul eder ve yukarıda listelenen iki kısıt temel alınarak çözüm belirlenmektedir:

- iii) Ülkedeki tüm şehirlerin önceden belirlenen 1 saat karayolu seyahat süresi kapsama alanında olması
- iv) Seçilen şehirlere yerleşke kurma birim maliyetleri esas alınarak toplam tesis kurma maliyetinin en küçüklenmesi

Kapsama kümesi içinde yer alan şehirler esas alınarak tüm şehirlere önceden

belirlenen 1 saat karayolu seyahat süresi içinde ulaşılacak, tüm şehirler kapsanacak ve



her bir şehre yerleşke kurulmasının toplam maliyeti en küçüklenecek şekilde seçim yapılır. Bu seçim çözüm kümesinde listelenmekte olup Denklem 73'te ifade edilmektedir.

Çözüm kümesi (S) : $S: \{x_j\} = [1]$, olup;

$$S = \{x_j; x_j \in P \wedge x_j = 1\}, \text{öyle ki } S \subset I \quad (73)$$

Problemın Çözümü:

Bu problem yukarıda tanımlanan veri seti için çözüldüğünde elde edilen sonuç şu şekildedir:

1 saatlik karayolu seyahat süresi kapsama kriterine göre Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli uygulanması ile yerleşke kurulması için seçilen şehirler listesi:

$S_1 : \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 44, 47, 48, 49, 50, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76\}$

Seçim Sonucu Belirlenen Toplam Yerleşke Sayısı: 58

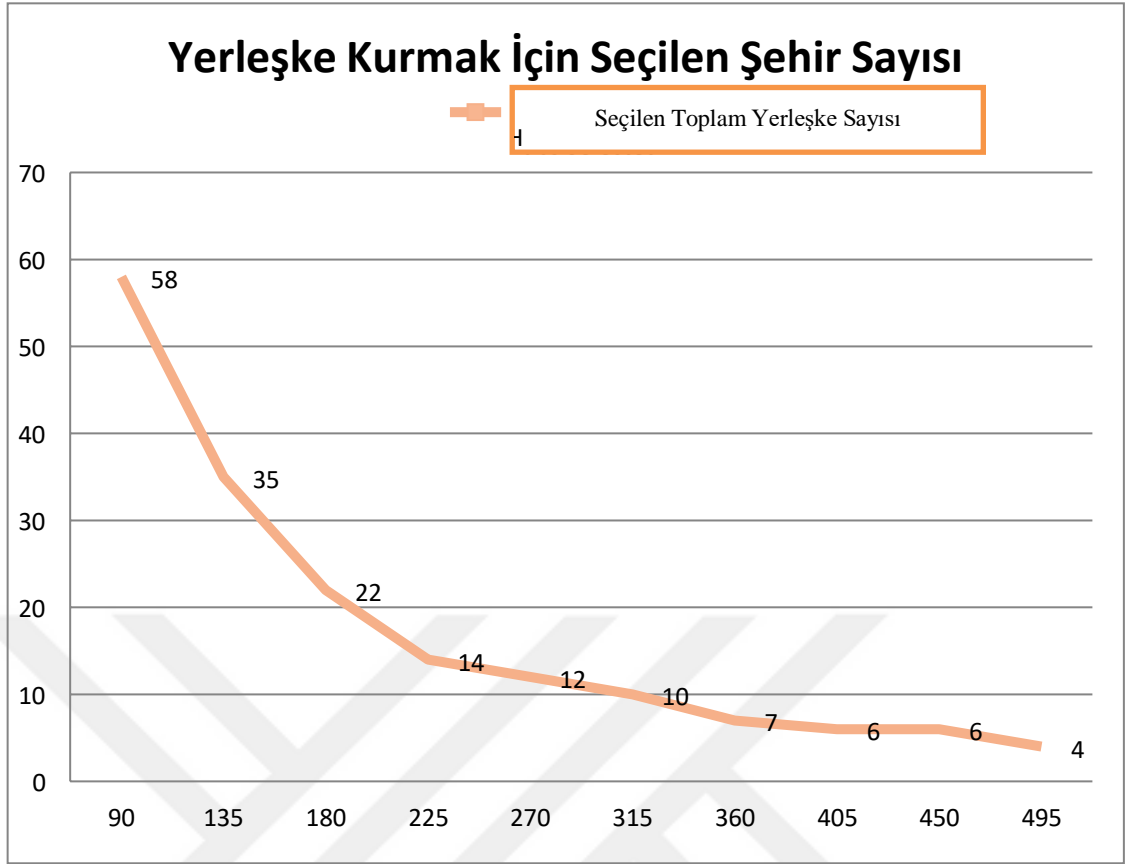
Bu Seçim Sonucu Oluşan Toplam Yerleşke Kurma Maliyeti: 31. 917 TL

Tüm bu adımlar 9 farklı deneyde seyahat kapsama süresi 30'ar dakika artırılarak tekrarlanmış ve aşağıdaki tabloda özetlenen sonuçlar elde edilmiştir.

Yapılan deneyler her bir alt problem ve çözümünü analiz etme, karşılaştırma ve dolayısı ile problemin yapısını detaylı olarak anlama imkânı sağlamış olup tam da bu amaçla gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.3 : Klasik model nümerik deneyler çözüm tablosu

Deney No	Kapsama Mesafesi (km)	Kapsama Seyahat Süresi (sa)	Seçilen Şehirler	Toplamda Yerleşke Kurmak İçin Seçilen Şehir Sayısı	Seçilen Şehirler için Yerleşke Kurma Maliyeti
1	90	1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 44, 47, 48, 49, 50, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76	58	31.917,00 TL
2	135	1,5	3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 17, 21, 24, 25, 27, 28, 30, 31, 33, 34, 35, 38, 39, 40, 42, 44, 49, 57, 60, 61, 63, 65, 67, 73, 75, 76, 78	35	18.622,00 TL
3	180	2	6, 8, 9, 13, 15, 16, 17, 21, 23, 30, 33, 38, 42, 46, 55, 59, 60, 61, 69, 73, 76, 78	22	12.045,00 TL
4	225	2,5	16, 20, 23, 27, 29, 33, 36, 42, 55, 59, 65, 66, 73, 78	14	7.320,00 TL
5	270	3	6, 10, 20, 25, 27, 28, 33, 34, 37, 38, 47, 65	12	5.220,00 TL
6	315	3,5	6, 16, 19, 20, 21, 25, 33, 34, 61, 65	10	4.169,00 TL
7	360	4	13, 20, 33, 34, 37, 44, 69	7	3.399,00 TL
8	405	4,5	1, 19, 20, 34, 49, 61	6	2.751,00 TL
9	450	5	6,25,33,34,35,47	6	2.235,00 TL
10	495	5,5	10, 33, 49, 55	4	1.959,00 TL



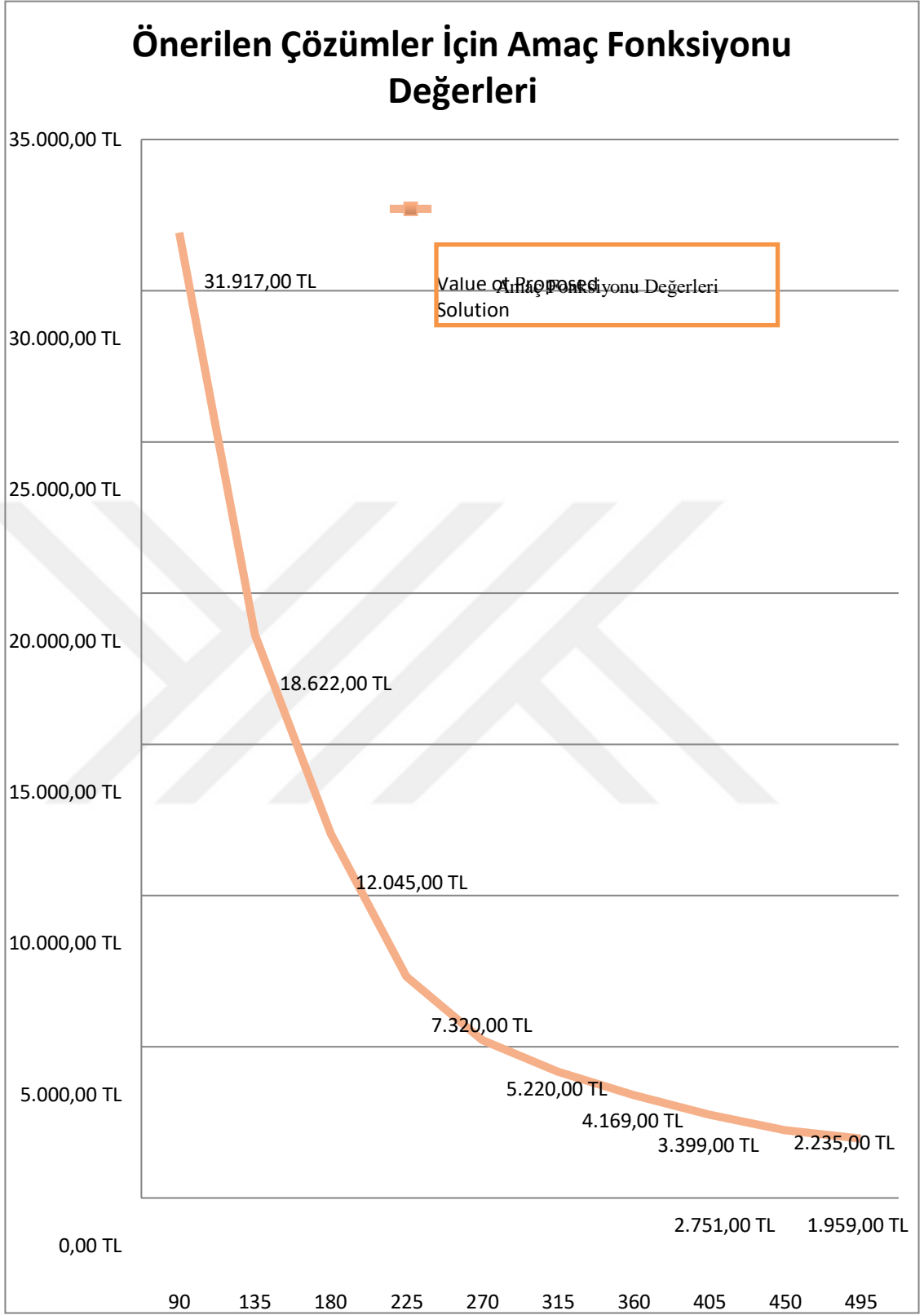
Şekil 4.1 : Yerleşke kurmak için seçilen şehir sayısı

Yukarıda yer alan Şekil 4.1’de görüldüğü üzere her bir deneyde model için izin verilen seyahat süresi 30 dk artırılmış dolayısı ile de beklendiği üzere, çözümde önerilen kurulması gereken toplam yerleşke sayısı da buna ters orantılı olarak azalmıştır. Bu grafikte görüldüğü üzere Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli’nin verdiği çözümde toplam gerekli yerleşke tüm Türkiye’yi kapsamak için seyahat süresi 1 saat (90 km) olarak izin verildiğinde 58 iken; bu seyahat süresi 5,5 saat (495 km) olarak izin verildiğinde 4 şehre kadar inmiştir.

Aynı şekilde bu problem özelinde her bir şehre yerleşke kurmanın o şehrin pahallığına bağlı olarak tayin edilmiş, girdi veri setinde yer alan bir birim maliyeti vardır. Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli hangi şehre yerleşke kuracağını tayin ederken hem tüm şehirlerin kapsanması hem de aynı zamanda yerleşke kurmanın daha az maliyetli olduğu şehri seçme esasına göre hareket etmektedir. Bununla birlikte genellikle çok sayıda yerleşke kurmak daha yüksek maliyet oluşturmaktadır. Aşağıdaki Şekil 4.2’de görüleceği üzere hem toplam gerekli olan yerleşke sayısı hem

de bu yerleşkelerin seçildiği şehirde kurulma birim maliyetine bağlı olarak amaç fonksiyonu değerleri sıralanmıştır. Bu grafikte görüldüğü üzere tüm Türkiye'yi kapsamak için Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli'nin verdiği çözüm toplam yerleşke kurma maliyeti için seyahat süresi 1 saat (90 km) olarak izin verildiğinde 31.917 iken; bu seyahat süresi 5,5 saat (495 km) olarak izin verildiğinde 1.959TL'ye kadar inmiştir.





Şekil 4.2 : Önerilen çözümler için amaç fonksiyonu değerleri

4.5. Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli Sonuçları

Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Yeri Seçimi Modeli klasik modele benzer şekilde çeşitli büyüklükteki seyahat süresi kapsama değerleri için 10 farklı deney kapsamında 10 farklı problem olarak ele alınmıştır. Tüm deneyler ‘Türkiye Dağıtım Ağı Veri Seti’ kullanılarak çözülmüştür.

Problemin genel tanımı:

Tüm Türkiye’yi kapsamak üzere bir karayolu dağıtım ağı şebekesi kurulması için, şehirlerarası kapsama kriteri ‘**bulanık bir karayolu seyahat süresini**’ aşmamak kaydı ile Kapsama Yerleşke Yeri Seçimi Modeli kullanılarak elde edilen çözümün toplam kurulum maliyeti ne olur ve hangi şehirler yerleşke kurulması için seçilmelidir? Şehirlerarası kapsama kriteri ilgili modelin farklı büyüklükteki kapsama kriterlerine verdiği sonucu gözlemleyebilmek adına ve klasik model ile birebir karşılaştırma yapabilmek adına 10 farklı deneyde çeşitlendirilmiştir.

Bu minvalde kapsama kriteri 1 Numaralı deneyde birbirine ‘**yaklaşık 90 km ve daha az mesafe uzaklıkta**’ olan şehirler, 90 km/sa hız değerine bölünerek ‘**yaklaşık 1 saatlik karayolu ulaşım süresine**’ sahip olması hasebiyle ‘**yaklaşık 1 saat veya daha az seyahat süresi**’ kapsama alanında olarak birbirini kapsar şekilde tanımlanmıştır. Bir sonraki deneyde bu seyahat süresi yarım saat uzatılarak ‘**yaklaşık 1.5 saat karayolu kapsama süresi**’ ve 135 km mesafe olacak şekilde toplamda 9 farklı problem daha oluşturulup, bu 10 problem çözülmüştür.

Bu bölümde Deney 1 detaylı olarak açıklanmaktadır.

1 Numaralı Deney İçin Problemin Özel Tanımı

Problem Tanımı:

Tüm Türkiye’yi kapsamak üzere bir karayolu dağıtım ağı şebekesi kurulması için, şehirlerarası kapsama kriteri ‘**yaklaşık 1 saat karayolu seyahat süresini**’ aşmamak kaydı ile Kapsama Yerleşke Yeri Seçimi Modeli kullanılarak elde edilen çözümün toplam kurulum maliyeti ne olur ve hangi şehirler yerleşke kurulması için seçilmelidir?

Veri Seti: Kullanılan veri seti ‘Türkiye Dağıtım Ağı Veri Seti’ isimli gerçek bir veri seti olup bu veri seti içinde Türkiye’nin 81 ili, bu illerin şehir merkezlerinin birbirine km cinsinden uzaklığı ve her bir şehir standart bir yerleşke kurulumunun birim maliyeti yer almaktadır.

Şehirlerarası kapsama kriteri:

Klasik modelde birbiri arasındaki mesafe 90 km ve daha az olan şehirler, 90 km/sa hız değerine bölünerek 1 saatlik karayolu ulaşım süresine sahip olması hasebiyle ‘**1 saat veya daha az seyahat süresi**’ kapsama alanında olarak birbirini kapsar şekilde tanımlanmıştır.

Bulanık modelde ise Küme Kapsama Yerleşke Yeri Seçimi Modeli’nin temel girdi kabul ettiği ve çözümü doğrudan etkileyen izin verilen seyahat süresi değerinin Giriş (ref) bölümünde detaylı olarak açıklanan sebeplerden ötürü kesin bir değer almasının doğru olması değerlendirilmiştir. Bunun yerine yolun trafik durumu, hava durumu, seçilen araç tipi, araç doluluk oranı gibi sebeplerden kaynaklı aynı mesafeyi kat etmedeki az da olsa belli miktar belirsizliğin sistematik olarak hesaba katılması gerekliliği doğmuştur. İşte bu belirsizlik bulanık yaklaşımla ele alınıp, klasik modeldeki 1 saatlik karayolu ulaşım süresi kavramsal olarak ‘**yaklaşık 1 saat veya daha az seyahat süresi**’ olarak ele alınmış ve bulanık sayılar ile modele yansıtılmıştır. Bu bölümdeki deneylerde metodoloji (ref) bölümünde detaylı olarak açıklanan yöntem ile geliştirilen Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Yeri Seçimi Modeli kullanılmıştır.

Bulanık Küme Kapsama Yerleşke

Planlama Modeli:

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{En Küçük } \sum_{j=1}^n c_j \tilde{x} \quad (72)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n \tilde{a}_j \tilde{x} \geq (1 - \mu_{ij}), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (73)$$

$$\tilde{x} \in \{0, 1\} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (74)$$

$$\tilde{a}_j \in (0,1) \quad i = 1,2, \dots, n \text{ ve } \quad j = 1,2, \dots, n \quad (75)$$

Öyle ki

$$\tilde{x} \begin{cases} 1, & \tilde{x} \text{ yerleşke kurulumu için seçilir ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (76)$$

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer lokasyon i lokasyon j yi kesin kapsıyor ise (} t_{ij} \leq t_{izin \text{ verilen}} \text{)} \\ (1 - \xi_{ij}), & \text{eğer lokasyon i lokasyon j yi bulanık olarak kapsıyor ise} \\ 0, & \text{(} t_{izin \text{ verilen}} < t_{ij} \leq t_{izin \text{ verilen}} + \epsilon_{ij} \text{)} \\ & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (77)$$

ξ_{ij} : i şehrinden j şehrine gerçekleştirilen seyahat süresindeki belirsizliğe karşılık gelen üyelik değeri, öyle olmalıdır ki $\xi_{ij} \in (0,1)$.

Bu problem çözümlürken üç temel küme tanımlanmaktadır.

Bunlardan ilki **bulanık tanım kümesi** olup, bu kümede yerleşke kurulması için aday olan tüm şehirler listelenmektedir, bu kümede veri setinde de görüleceği üzere Türkiye'deki 81 şehir alfabetik sıraya dizilerek numaralandırılmıştır. (Örneğin; Adana için: x_1 : Adana için $i= 1$)

Tanım kümesindeki her bir şehir bir diğer şehri öngörülen karayolu seyahat süresi kriterine göre kapsar ya da kapsamaz, dolayısı ile kapsamaması durumunda 1, kapsamaması durumunda 0 değeri olarak temsil edilir.

$$\tilde{P} = \{a_{ij} : a_{ij} \in [0,1]\} \quad (78)$$

Bunlardan ikincisi **kapsama kümesi** olup her bir şehir için önceden ifade edilen yaklaşık 1 saat karayolu seyahat süresi içinde olan yani kapsama alanında olan şehirler listelenmektedir.

Bulanık Kapsama Kümesi (\tilde{I}):

$$\tilde{I} = \{ \tilde{a}_j : \tilde{a}_j \in \tilde{P} \text{ } a_j \geq (1 - \xi_{ij}) \} \text{ öyle ki } \tilde{I} \in \tilde{P} \quad (79)$$

Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli kapsama kümesini girdi olarak kabul eder ve yukarıda listelenen iki kısıt temel alınarak çözüm belirlenmektedir:

- i) Ülkedeki tüm şehirlerin önceden belirlenen yaklaşık 1 saat karayolu seyahat süresi kapsama alanında olması
- ii) Seçilen şehirlere yerleşke kurma birim maliyetleri esas alınarak toplam tesis kurma maliyetinin en küçüklenmesi

Kapsama kümesi içinde yer alan şehirler esas alınarak tüm şehirlere önceden belirlenen yaklaşık 1 saat karayolu seyahat süresi içinde ulaşılacak, tüm şehirler kapsanacak ve her bir şehre yerleşke kurulmasının toplam maliyeti en küçüklenecek şekilde seçim yapılır. Bu seçim çözüm kümesinde listelenmektedir.

Bulanık Çözüm Kümesi ($\tilde{S} = \{ \tilde{x} : \tilde{x} \in \tilde{A} \tilde{x} = 1 \}$), öyle ki $\tilde{S} \subset \tilde{I}$ (80)

Problemın Çözümü:

Bu problem yukarıda tanımlanan veri seti için çözüldüğünde elde edilen sonuç şu şekildedir:

Yaklaşık 1 saatlik bulanık seyahat süresi kapsama kriterine göre Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli uygulanması ile yerleşke kurulması için seçilen şehirler listesi:

$\tilde{S}_1 : \{ 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 39, 41, 42, 44, 48, 49, 50, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 70, 72, 73, 74, 76 \}$

Seçim Sonucu Belirlenen Toplam Yerleşke Sayısı: 54

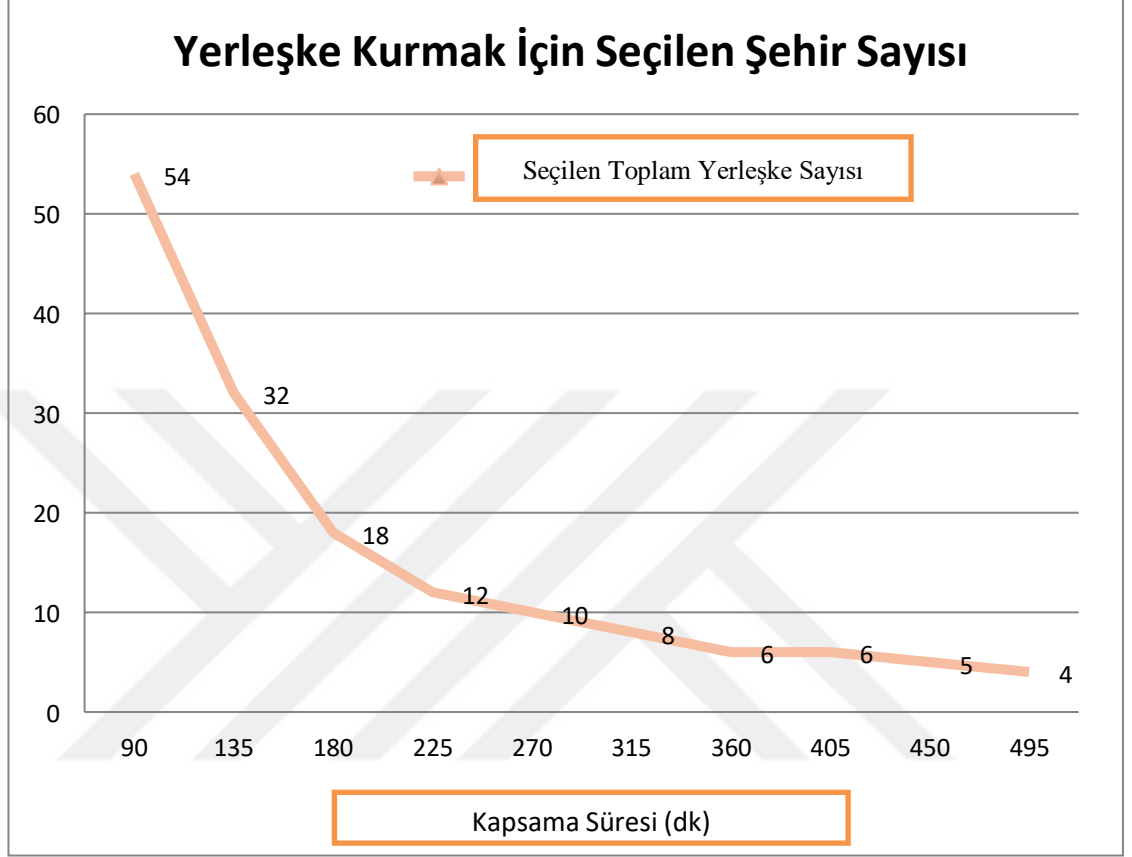
Bu Seçim Sonucu Oluşan Toplam Yerleşke Kurma Maliyeti: 29.320 TL

Tüm bu adımlar 9 farklı deneyde seyahat kapsama süresi 30'ar dakika artırılarak tekrarlanmış ve aşağıdaki tabloda özetlenen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.4 : Bulanık Model Nümerik Deneyler Çözüm Tablosu

Deney No	Kapsama Mesafesi (km)	Kapsama Seyahat Süresi (sa)	Seçilen Şehirler	Toplamda Yerleşke Kurmak İçin Seçilen Şehir Sayısı	Çözüm için Yerleşke Kurma Maliyeti
1	90	1	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 39, 41, 42, 44, 48, 49, 50, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 70, 72, 73, 74, 76	54	29.320 TL
2	135	1,5	4, 5, 7, 8, 9, 10, 17, 21, 24, 25, 27, 28, 30, 31, 33, 36, 39, 41, 42, 43, 44, 49, 50, 57, 60, 61, 63, 65, 67, 71, 73, 78	32	17.595 TL
3	180	2	4, 6, 9, 13, 15, 16, 23, 29, 38, 42, 55, 59, 60, 63, 73, 75, 78, 80	18	10.246 TL
4	225	2,5	17, 20, 25, 27, 28, 37, 44, 47, 54, 65, 66, 70	12	6.286 TL
5	270	3	1, 16, 20, 21, 25, 28, 34, 37, 50, 65	10	4.581 TL
6	315	3,5	6, 20, 21, 25, 33, 34, 52, 65	8	3.596 TL
7	360	4	19, 20, 25, 33, 34, 72	6	2.763 TL
8	405	4,5	6, 20, 28, 33, 34, 49	6	2.511 TL
9	450	5	28, 34, 35, 38, 49	5	2.134 TL
10	495	5,5	6, 10, 21, 25	4	1.699 TL

Yapılan deneyler her bir alt problem ve çözümünü analiz etme, karşılaştırma ve dolayısı ile problemin yapısını detaylı olarak anlama imkânı sağlamış olup tam da bu amaçla gerçekleştirilmiştir.

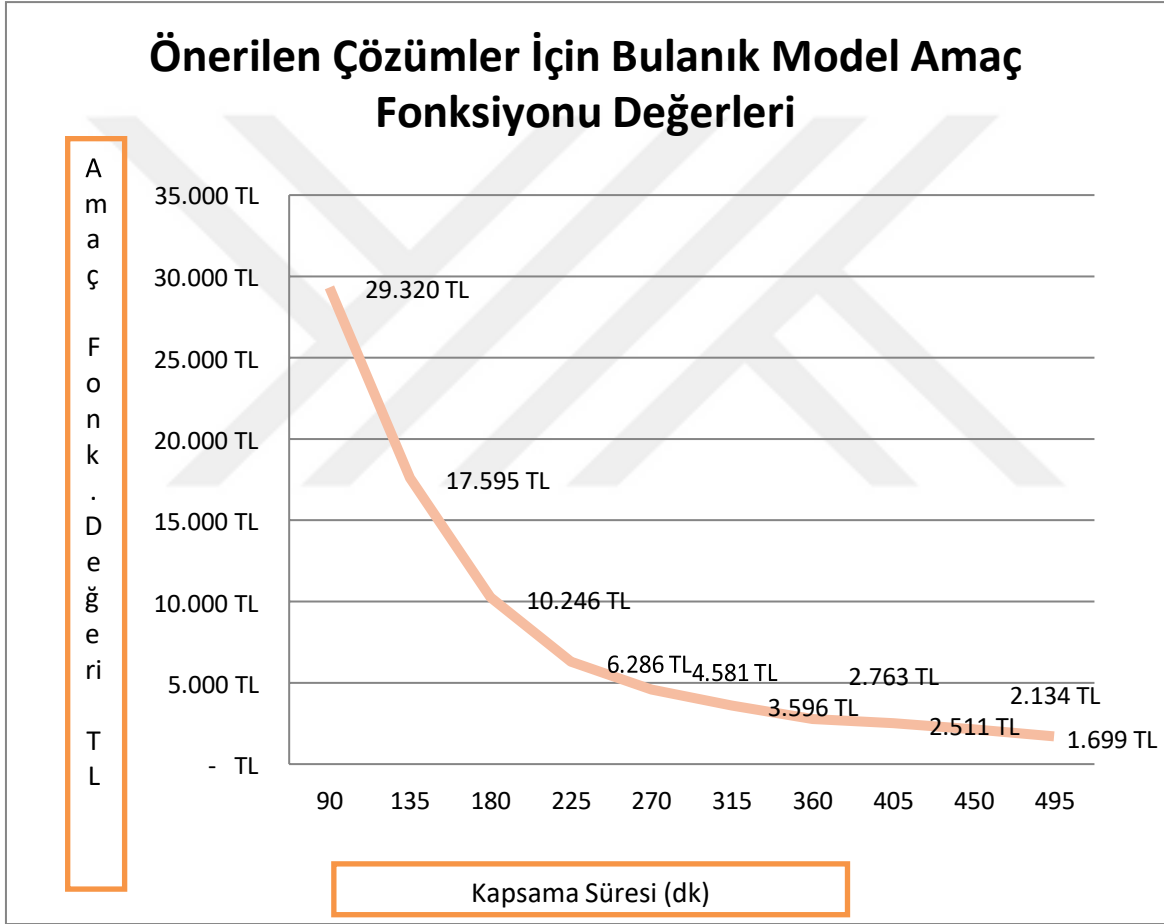


Şekil 4.3 : Yerleşke kurmak için seçilen şehir sayısı

Yukarıda yer alan Şekil x de görüldüğü üzere her bir deneyde model için izin verilen seyahat süresi 30 dk artırılmış dolayısı ile de beklendiği üzere, çözümde önerilen kurulması gereken toplam yerleşke sayısı da buna ters orantılı olarak azalmıştır. Bu grafikte görüldüğü üzere Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli'nin verdiği çözümde toplam gerekli yerleşke sayısı tüm Türkiye'yi kapsamak için seyahat süresi yaklaşık 1 saat (~90km) olarak izin verildiğinde 54 iken; bu seyahat süresi yaklaşık 5,5 saat (~495 km) olarak izin verildiğinde 4 şehre kadar inmiştir.

Aynı şekilde bu problem özelinde her bir şehre yerleşke kurmanın o şehrin pahallığına bağlı olarak tayin edilmiş, girdi veri setinde yer alan bir birim maliyeti vardır. Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli hangi şehre yerleşke kuracağını tayin ederken hem tüm şehirlerin kapsanması hem de yerleşke kurmanın daha az maliyetli olduğu

şehri seçme esasına göre hareket etmektedir. Bununla birlikte genellikle çok sayıda yerleşke kurmak daha yüksek maliyet oluşturmaktadır. Aşağıdaki Şekil x 'de görüleceği üzere hem toplam gerekli olan yerleşke sayısı hem de bu yerleşkelerin seçildiği şehirde kurulma birim maliyetine bağlı olarak amaç fonksiyonu değerleri sıralanmıştır. Bu grafikte görüldüğü üzere tüm Türkiye'yi kapsamak için Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli'nin verdiği çözüm toplam yerleşke kurma maliyeti için seyahat süresi yaklaşık 1 saat (~90 km) olarak izin verildiğinde 29.320 TL iken; bu seyahat süresi yaklaşık 5,5 saat (~495 km) olarak izin verildiğinde 1.699 TL'ye kadar inmiştir.



Şekil 4.4 : Önerilen çözümler için bulanık model amaç fonksiyonu değerleri

4.6. Sonuçların Karşılaştırılması

Aşağıdaki Tablo x de kesin ve bulanık modellerin numerik deneyleri amaç fonksiyonu değerleri listelenmektedir. Bu tabloda görüleceği üzere her bir numerik deney için bu çalışma kapsamında önerilen Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Yeri Seçimi Modeli klasik modele kıyasla daha iyi sonuç vermiştir. Bu durum da bu çalışma kapsamında

önerilen Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Yeri Seçimi Modeli'nin etkinliğini ispatlamıştır.

Çizelge 4.5 : Kesin ve Bulanık Modellerin Numerik Deneyleeri Amaç Fonksiyonu Değerleri

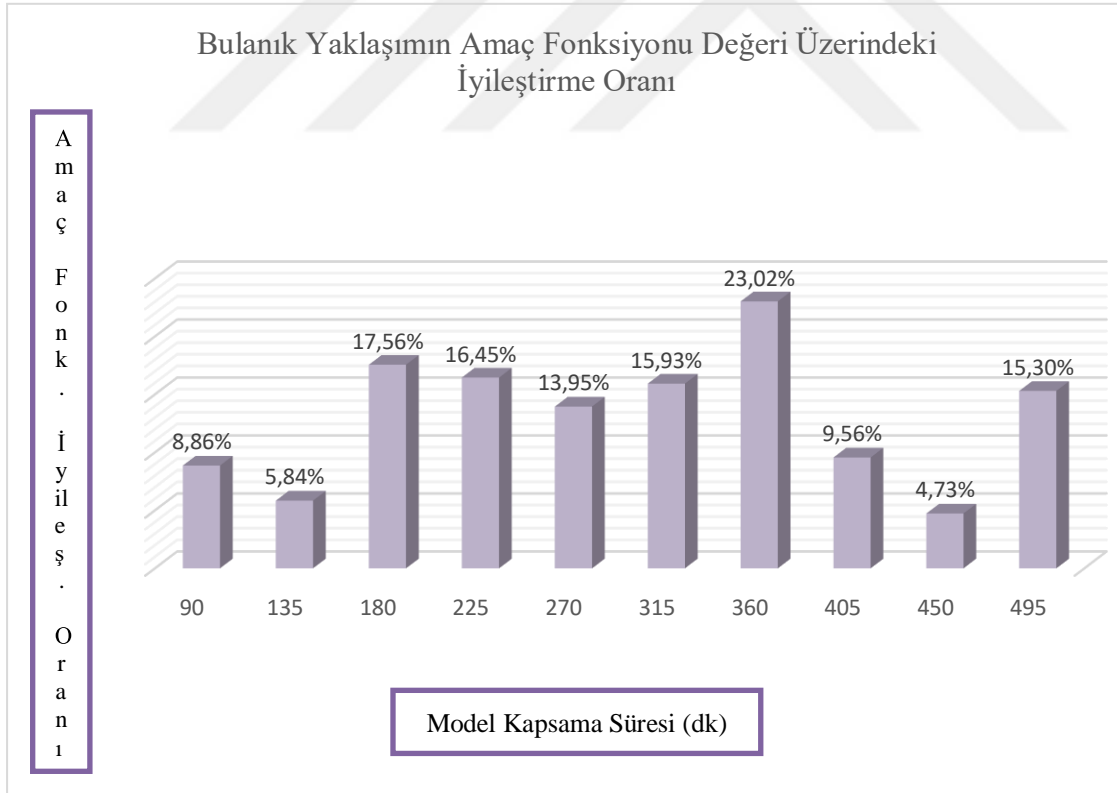
Deney No	Kapsama Mesafesi (km)	Kesin Model Amaç Fonksiyonu Değeri	Bulanık Model Amaç Fonksiyonu Değeri
1	90	31.917 TL	29.320 TL
2	135	18.622 TL	17.595 TL
3	180	12.045 TL	10.246 TL
4	225	7.320 TL	6.286 TL
5	270	5.220 TL	4.581 TL
6	315	4.169 TL	3.596 TL
7	360	3.399 TL	2.763 TL
8	405	2.751 TL	2.511 TL
9	450	2.235 TL	2.134 TL
10	495	1.959 TL	1.699 TL

Aşağıda yer alan Şekil 4.5'de görüldüğü üzere:

- Kesin Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modelinin tüm Türkiye'yi kapsamak için verdiği çözümde toplam yerleşke kurulum maliyeti seyahat süresi 1 saat (90 km) olarak izin verildiğinde 31.917 TL iken; bu maliyet Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli ile çözüm yapıldığında 29.320 TL'ye düşmüştür.
- Kesin Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modelinin tüm Türkiye'yi kapsamak için verdiği çözümde toplam yerleşke kurulum maliyeti seyahat süresi 5,5 saat (4950 km) olarak izin verildiğinde 1.959 TL iken; bu maliyet Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli ile çözüm yapıldığında 1.699 TL'ye düşmüştür.

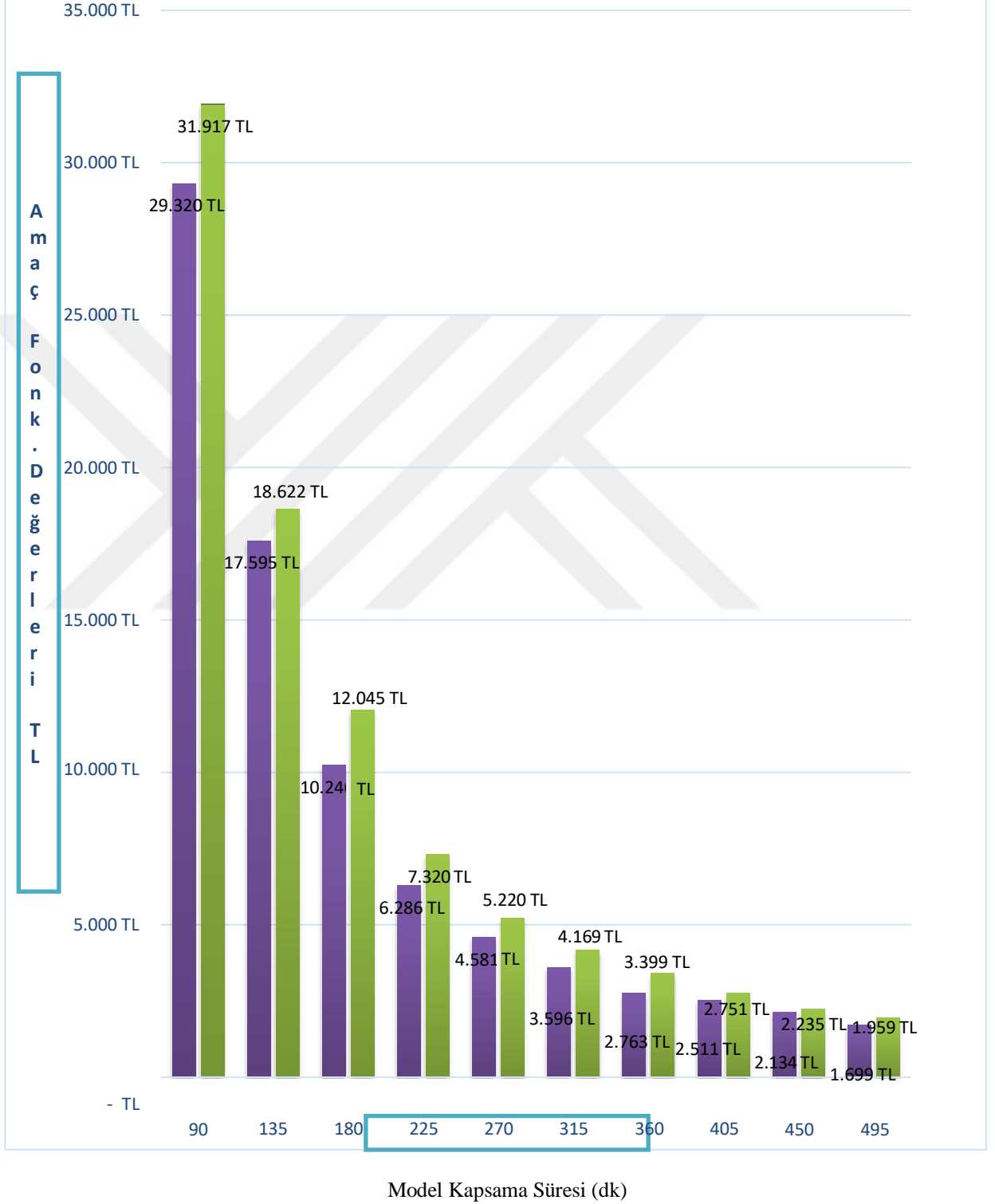
- Kesin Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modelinin tüm Türkiye'yi kapsamak için verdiği çözümde toplam yerleşke kurulum maliyeti seyahat süresi 3 saat (270 km) olarak izin verildiğinde 5.220 TL iken; bu maliyet Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli ile çözüm yapıldığında 4.581 TL'ye düşmüştür.
- Kesin Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modelinin tüm Türkiye'yi kapsamak için verdiği çözümde toplam yerleşke kurulum maliyeti seyahat süresi 5,5 saat (495 km) olarak izin verildiğinde 1.959 TL iken; bu maliyet Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Planlama Modeli ile çözüm yapıldığında 1.699 TL'ye düşmüştür.

Özetle, tüm deneylerde mutlaka amaç fonksiyonu değerinde iyileşme tespit edilmiş bu değerler Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Ayrıca bu iyileşmelerin aşağıda yer alan Şekil 4.5'de toplam amaç fonksiyonu değeri üzerinden yüzde kaç olarak gerçekleştirildiği gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Bulanık yaklaşımın amaç fonksiyonu değeri üzerindeki iyileştirme oranı

Kesin ve Bulanık Modellerin Nümerik Deneyleri Amaç Fonksiyonu Değerleri



Şekil 4.6 : Kesin ve bulanık modellerin nümerik deney amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılması

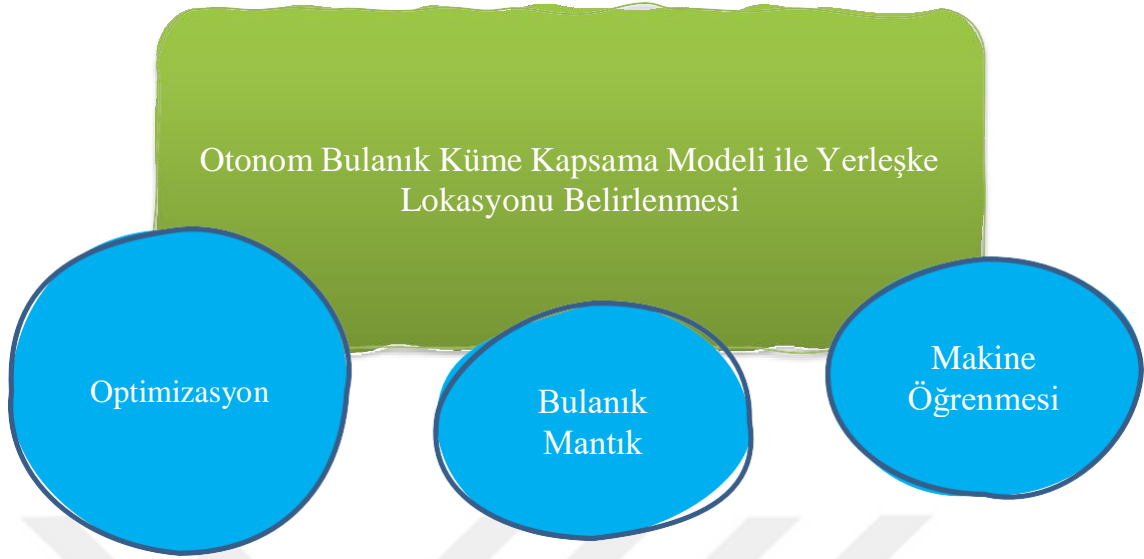
5. ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu araştırma çalışması kapsamında Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli (O- BKKYM) geliştirilmiştir. Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli (O- BKKYM) belirli bir coğrafi alan içinde bu bölgedeki her bir talep noktasına önceden belirlenen bulanık bir seyahat süresi içinde en az toplam kurulum maliyetini verecek şekilde kurulacak yerleşkelerin coğrafi yerlerinin seçilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında ortaya konulan Bulanık ve Otonom Model, Klasik Küme Kapsama Yerleşke Modelinden farklı olarak gerçek hayattaki belirsizlikleri ele almayı ve gerçek hayatın getirdiği çeşitli belirsizlikleri sistematik olarak modele ve dolayısıyla elde edilen nihai çözüme yansıtmayı amaçlamıştır. Geliştirilen model; girdi verisinin her bir aday lokasyon değerlendirmesinde ne derece bulanıklaştırma yapılacağına kendi kendine karar verdiği otonom bir bulanık fonksiyon ihtiva etmektedir.

Başka bir deyişle, girdi verileri, bulanık fonksiyonun özelliklerini tanımlamak için bulanık üyelik fonksiyonunu eğitmiştir. Bu nedenle, bu araştırma çalışmasında ortaya konulan model veri tabanlı bulanıklaştırma ve bu şekilde optimizasyon modelinin veriden öğrenerek oluşturulması hasebi ile, Bulanık Küme Kapsama Modellerini (BKKM) makine öğrenimi tabanlı bulanık optimizasyon olarak adlandırdığımız disiplinler arası bir bağlantı noktasına genişletmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında önerilen Bulanık ve Otonom Küme Kapsama Modeli (BKKM) gerçek hayatın getirdiği ihtiyaç ve gerekleri karşılamak için disiplinler arası bir metodoloji geliştirilmiştir. Bahse konu disiplinler arası metodoloji ve bu araştırma çalışması kapsamında bunların etkileşimi aşağıda yer alan Şekil 5.1'de gösterilmiş olup, bu bölüm özelinde detaylı olarak analiz edilecektir.



Şekil 5.1 : Önerilen modelin çok disiplinli oluşunun görseli

Sonuç olarak bu araştırma çalışması ile i) küme kapsayan tesis yerleşim modellerinin otonom belirsizlik yönetimi yeteneği ile donatıldığı, ii) yamuk bulanık fonksiyon ile modeldeki belirsizliklerin sistematik ve gerçeği yansıtır şekilde yönetildiği ve iii) ilgili bulanıklaştırmanın herhangi bir insan/uzman müdahalesi/denetim olmaksızın gerçekleştirildiği yeni ve orijinal bir yöntem ortaya konulmuştur. Böyle olunca Küme Kapsama Modelleri (KKM), günümüz dünyasındaki son gelişmeler ve belirsizlik yönetimi metodolojilerinin yaygın ve gelişkin olarak kullanıldığı günümüz dünyasına göre güncellenmiştir.

5.1. Küme Kapsama Modeli ve Güncelliği

Küme Kapsama Yerleşke Modeli- KKYM belirli bir coğrafi bölgede önceden belli olan tüm talepleri karşılamayı amaçlamakta olup bu amaç doğrultusunda her bir talebe belirli bir erişim süresi kapsamında ulaşılması; arz noktalarının talep noktalarına kurulması ve o talebin arzının böylelikle karşılanması; her bir aday lokasyonun farklı bir yerleşke kurulum maliyeti olması ihtimaline karşılık bu maliyetlerin en küçüklüklenerek yerleşke kurulumu yapılacak bölgenin seçimi kriterlerini göz önünde bulundurmaktadır.

Bu tez kapsamında yapılan ve birinci bölümde yer alan literatür taramasında görüleceği üzere hem bulanık hem de klasik yapıdaki küme kapsama yerleşke

planlama modelleri çeşitli açılardan geliştirilerek çalışılmakta olan aktif bir araştırma alanıdır. Bu araştırma alanının ana başlıkları şu şekilde sıralanabilmektedir:

- **Yeni Küme Kapsama Yerleşke Modelleri:** KKYM'nin farklı amaç fonksiyonu ve kısıtları ihtiva eden matematiksel formalizasyonun geliştirilmesi,
- **Küme Kapsama Yerleşke Modeline Yönelik Yeni Çözüm Yöntemleri:** KKYM'nin optimal, sezgisel çözüm yöntemleri geliştirilmesi.
- **Disiplinler Arası Küme Kapsama Yerleşke Modelleri:** KKYM'nin farklı girdileri ya da çözüm basamakları için istatistiksel, stokastik, bulanık, makine öğrenmesi temelli, girdi verisi odaklı, yapay zekâ odaklı yöntemleri ihtiva eden modeller geliştirilmesi.

Bu çalışmalarda bahse konu modellerin etkinliği, işe yararlığı, yeni ve iyileşmiş yönleri geniş ve farklı açılardan geliştirilmiş ve her biri geliştirildikleri bakış açısı özelinde katma değerli, yenilikçi sonuçlar vermiştir.

5.2. Belirsizlikler ve Yönetimi: Bulanık Sayılar

Küme Kapsama Yerleşke Modeli- KKYM aday yerleşke ile talep noktaları arasındaki uzaklık, seyahat süresi, talep miktarı ve belirli bir bölgeye yerleşke kurulum maliyeti gibi girdileri temel alarak problemi çözmektedir. Kuşkusuzdur ki bu girdi verileri problem ortamına çeşitli belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir. Gerçek hayatta bahse konu bu girdi verileri bazen az bazen de çok miktarda değişken, belirsiz, muğlak ve bulanık olarak nitelendirilmektedir. Dolayısı ile modelin ana ve belirleyici girdileri kesin değerlerden oluşmadığından, klasik modelin çözümü de arzu edildiği kadar kesin ve doğru olarak elde edilememektedir.

Örneğin, iki nokta arasındaki Öklid cinsi uzunluk olarak tanımlanan iki şehir arasındaki mesafe de ve Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM kapsamında sonucun belirlenmesinde önemli bir girdi verisidir. Ancak bu kesin mesafe dahi seyahat süresi açısından bakıldığında seyahat edilen aracın cinsi, trafik, hava, yol durumu, aracın yüklülük miktarı gibi birtakım belirsizlikleri ve dolayısıyla da rakamsal değerdeki değişiklikleri beraberinde getirmektedir. [10]

İşte bu noktada bu çeşit belirsiz, muğlak çoklukları sistematik olarak ifade edip işlem yapmamıza olanak sağlayan Bulanık Mantık devreye girmektedir. Bulanık Mantık aracılığı ile bir çokluk kesin bir değere sahip değil ise, belirli ya da belirsiz bir oranda

muğlaklık ihtiva ediyorsa bu sayılarla işlem yapabilme yeteneği hali hazırda literatüre kazandırılmış ve çok çeşitli disiplinlerde farklı uygulamalar ile etkinliği ispat edilmiştir. Bu araştırma çalışması kapsamında da iki nokta arasındaki seyahat süresinin belirsizliği bu belirsizliğin kaynağı niteliksel olarak ifade edilip niceliksel olarak belirlenmeksizin Bulanık Mantık aracılığı ile modelde sistematik olarak ihtiva edilmiştir.

5.3. Dörtgensel Bulanık Sayılar ve Modele Getirileri

Optimizasyon disiplini içinde çeşitli sebeplerle ortaya çıkan belirsizlikler bulanık mantık, bulanım fonksiyonlar ve bulanık sayılar ile temsil edilegelmektedir. Birinci ve ikinci bölümde detaylı olarak bahsedildiği üzere bulanık sayılar üçgensel, dörtgensel, dairesel ve daha bir çok başka şekilde olabilmektedir. Belirsizliğin doğasına göre bulanık sayıların bu doğa ile eşleşmesi yapılabilmektedir.

Örneğin bir insanın vücut ağırlığı 75 kg civarında ise bu belirsizliğin üçgensel bir bulanık fonksiyon ve sayı ile temsili yerinde olacaktır. Aynı şekilde şehirlerarası bir karayolunda izin verilen hız aralığı yaklaşık olarak 50 km/sa ile 90km/sa aralığında ise bu durumda da dörtgensel bulanık fonksiyon ve sayıların kullanımı pratik ve yerinde olacaktır.

Buradan hareketle Küme Kapsama Yerleşke Modeli- KKYM’de olduğu gibi birçok optimizasyon probleminde karşımıza çıkan belirli bir değere kadar ve civarında bir değer kümesi için değerlendirme yapalım. Örneğin, bir karayolu ağ tasarımı probleminde arzu edilen seyahat süresi yaklaşık 2 saate kadar olduğunda ne tip bulanık fonksiyon ve sayılar daha uygun olacaktır?

Başka bir deyişle aday bir yerleşke lokasyonu kendisine yaklaşık 2 saat uzaklıkta olan diğer coğrafi bölgeleri kapsayabilmektedir. İşte bu durumda dik yamuk bulanık fonksiyon ve sayıların kullanımı biçilmiş kaftan olarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, optimizasyon modellerinde yaygın olarak yer alan "küçüktür ve/veya küçük eşittir" tipi kısıtlara tam olarak karşılık gelmesi hasbiyle ‘dik yamuk bulanık sayılar’ kullanılmıştır.

Trapezoidal bulanık fonksiyonlar soldan dik sağdan yamuk olduğu durumda optimizasyon modelimizdeki ($t_{ij} \leq t$) kapsama koşulunu pratik ve kesin doğru bir şekilde ifade etmektedir.

5.4. Optimizasyon Modellerinde Otonom Bulanıklaştırma: Makine Öğrenmesi

Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM güncelliğini korumakta ve sürekli güncel çalışmalar ile beslenen bir araştırma alanıdır. Bu alanda ve daha başka birçok tip optimizasyon modelinde Bulanık Mantık belirsizlikleri ele almakta istifade edilen bir yöntemdir.

Ancak işte bu noktada karşımıza çıkan bir başka husus bu araştırma kapsamında etraflıca değerlendirilmiş; disiplinler arası bir yaklaşımla ele alınmıştır.

Örneğin i lokasyonundan j lokasyonuna v km/sa ortalama hız ile t saat civarında bir sürede seyahat edilebildiği varsayalım. Metodoloji bölümünde detaylı olarak açıklandığı üzere bu t saat süre zarfı çeşitli sebeplerden ötürü ξ_{ij} olarak ifade edilen çok küçük bir miktar kadar erken ya da geç sonuçlanabilmektedir. ξ_{ij} değeri hem her i ve j lokasyon çiftine göre, başta bu iki lokasyon arasındaki mesafe olmak üzere çeşitli sebeplerden değişkendir ve belirsizdir.

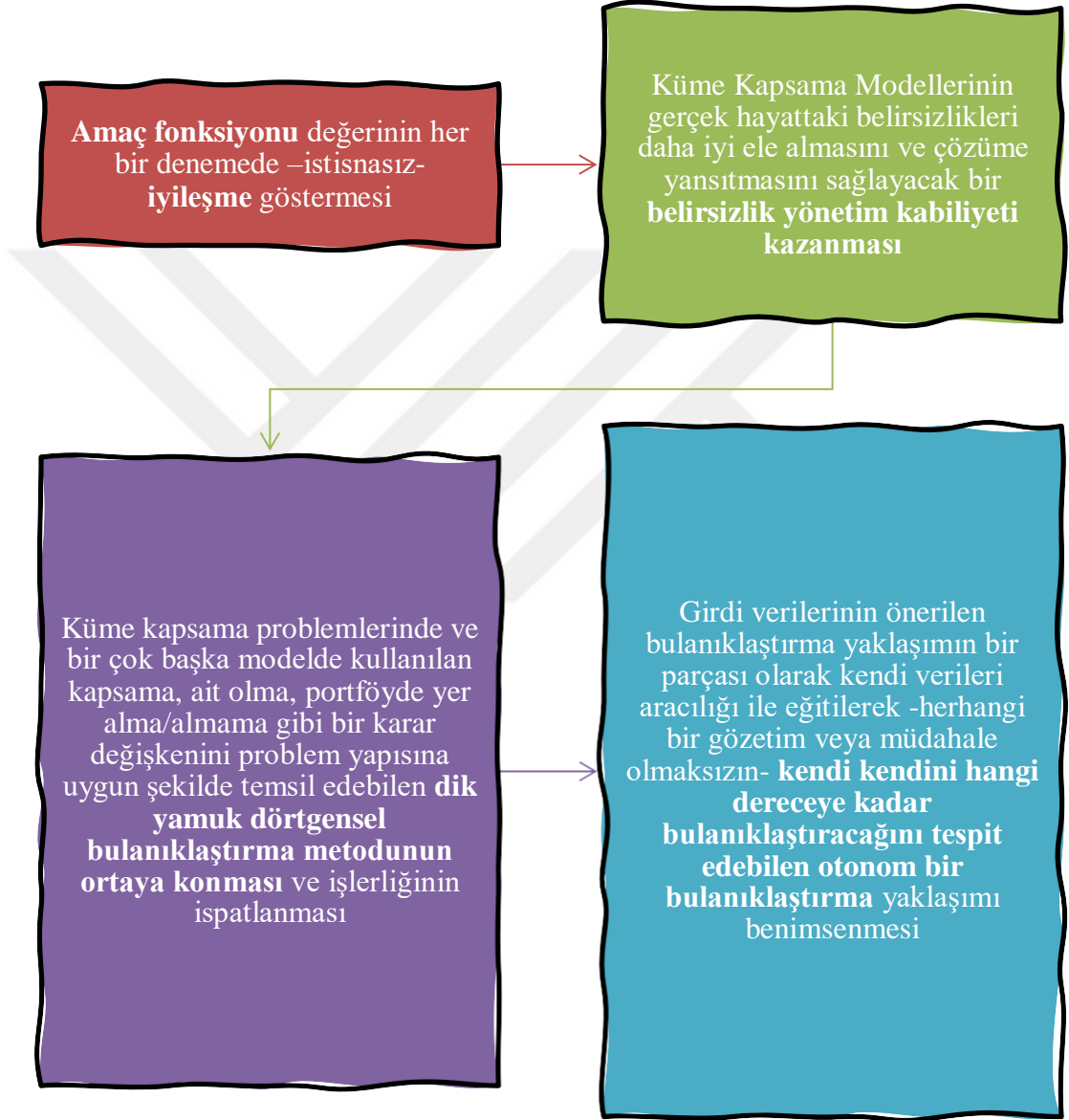
Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM özelinde ξ_{ij} değeri bir i lokasyonundan j lokasyonuna seyahat süresinin belirsizliğini ifade ettiğinden i lokasyonunun yerleşke kurulması halinde j lokasyonunun kapsayıp kapsamayacağını belirlemede etkendir. Dolayısı ile ξ_{ij} değerinin Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli-BKKYM formalize edilirken ne şekilde belirleneceği ve alacağı değer doğrudan matematiksel modelin olurlu alanının belirlenmesine tekabül etmektedir.

Peki bu derece mühim bir değer şimdiye dek Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modelleri-BKKYM’de yapıldığı gibi problemi çözen kişinin inisiyatifinde, uzmanların önerdiği şekilde ya da rastgele bir değer almak yerine girdi verilerince her bir i lokasyonu için bu lokasyonun diğer tüm diğer lokasyonlara uzak ya da yakın oluşuna bağlı olarak belirlense ve dolayısıyla da Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli-BKKYM olurlu alanı işte bu şekilde girdi verilerince her bir bulanık kapsama koşulu için buna göre belirlense nasıl olurdu?

İşte bu araştırma çalışmasında da Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli-BKKYM’nin Bulanık Fonksiyon özellikleri (l,m,n,p,u) tam da bu şekilde, i ve j şehirlerinin birbirine olan uzaklıklarının normalizasyonu temel alınarak girdi verilerince belirlenmiştir. Başka bir deyişle, bulanık fonksiyonun çekirdeğini, desteğini, sağ ve sol sınırlarını belirlemek için herhangi bir denetim, müdahale veya uzman girdisi gerektirmez.

6. SONUÇLAR

Bu araştırıma sonucunda elde edilen başlıca sonuçlar Şekil 6.1’de görsel olarak tasvir edilmiştir.



Şekil 6.1 : Araştırmanın başlıca sonuçları

6.1. Nümerik Sonuçları

Bu araştırma çalışması kapsamında Türkiye Karayolu Ağı verisi kullanılarak hem Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM hem de bu çalışma kapsamında geliştirilen Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli (O-BKKYM) kapsama süresi 1 saat ile 5,5 saat arasında yarım saat artmak suretiyle her bir model için 10 farklı problem olacak şekilde çözüm gerçekleştirilmiştir.

Her bir deney çalışmasında amaç fonksiyonu değeri olan toplam yerleşke kurulum maliyeti karşılaştırılmış ve görülmüştür ki bu çalışma kapsamında geliştirilen Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli (O-BKKYM) her denemede klasik moele kıyasla daha az maliyetli bir değer vererek iyileştirme sağlamıştır.

Bu durum Optimizasyon disiplinde güvenilir ve popüler bir veri seti olan Türkiye Karayolu Ağı verileriyle yapılan tüm nümerik deneylerde daha iyi sonuç veren bu yeni modelin, Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli (O-BKKYM), başarısını göstermektedir.

Ayrıca, bu araştırmanın sayısal sonuçları, uluslararası sivil toplum kuruluşlarına, hükümet kuruluşlarına, lojistik paydaşlara ve uluslararası yatırımcılara, ekonomik hedeflere ulaşmak, CO2 emisyonlarını azaltmak ve birçok başarıya ulaşmak için lojistik sistemlerini ve stratejilerini tasarlamak ve geliştirmek için bir rehber sağlayabilir.

6.2. Teorik Sonuçlar

Bu araştırma çalışması sonucunda önerilen Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli (O-BKKYM) sayesinde Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM, gerçek hayattaki belirsizlikleri otonom şekilde belirlenen bulanık fonksiyon özellikleri ile özerk bir şekilde ele alabilme kabiliyeti kazanmıştır.

Bu minvalde denilebilir ki, bu araştırma çalışması sonucunda geliştirilen Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli (O-BKKYM) belirsizliği ele alarak klasik küme kapsayan konum modellerini katı bir durumdan çok çeşitli ve farklı problem ortamlarına uyarlanabilir, uyum sağlayabilir bir duruma dönüştürmüştür.

Bu araştırma çalışmasında "Dik yamuk bulanıklaştırma" olarak önerilen bulanıklaştırma metodolojisi, Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM ve birçok başka optimizasyon modelinde yer alan bağlamında "küçüktür ve/veya küçük eşittir"

tipi kısıtlara tam olarak karşılık gelmesi ile de ön plana çıkmakta ve uygulanabilirliğini ispatlamaktadır.

Son olarak, bu araştırma çalışması kapsamında “Otonom Bulanıklaştırma” olarak bahsedilen girdi verilerinin herhangi bir gözetim veya insan/uzman müdahalesi olmaksızın bulanık fonksiyonu n özelliklerini belirlemesi ve buna dayanarak bulanıklaştırılması bulanık optimizasyon ile makine öğrenmesi disiplinleri arasında köprü oluşturmakta, somut bir uygulama örneği teşkil etmekte ve daha birçok başka uygulamaya da temel olma potansiyeli taşımaktadır.

Yine bu sebepte ötürü, yeni önerilen model yenilikçi ve etkili bir yaklaşım oluşturmakta; uzman müdahalesi/yanlış yönlendirmesi ve insan hatasından muaf olurken belirsizlik yönetimine olanak sağlayarak diğer birçok optimizasyon modelinde de bu şekilde nesnel ve objektif bulanık optimizasyon modellerinin geliştirilmesinin önünü açmaktadır.

6.3. Araştırmanın Yenilikçi Yanları

Literatürde yaygın olarak çalışılan bulanık optimizasyon modellerinde gerek girdi verilerinin gerek ise matematiksel modelin bulanıklaştırması yapılırken problemi çözen kişi ya da problem ortamında çalışan uzmanlar ne dereceye kadar bulanıklaştırma yapılacağını ya da başka bir deyişle bulanık fonksiyonun özelliklerini kendi belirledikleri sabit değerleri esas alarak bir değer olarak belirleyip bulanıklaştırma yapmaktadır.

Ancak bu çalışma kapsamında bulanık fonksiyonun özellikleri girdi verilerinin kendisi tarafından belirlenmiş olup, böylelikle bulanık optimizasyon modeli girdi verileri tarafından eğitilmekte ve veri setinden öğrenmektedir. Bulanık optimizasyon modelinin olurlu alanı girdi verileri tarafından her bir ikili lokasyon, i aday lokasyonu için farklı olacak şekilde belirlenmektedir. İlgili bulanık fonksiyonun özellikleri belirlenirken bahse konu lokasyonun tüm diğer lokasyonlar uzaklarına bağlı olacak şekilde dolayısı ile diğer lokasyonlar yakınlık/uzaklık ilişkisi esas alınarak problemin girdi verilerine uyumlu şekilde karar vermesine olanak sağlayacak şekilde veriden öğrenen bir yöntem ile bulanıklaştırma gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada tanıtılan önerilen metodoloji, mevcut bilgi tabanlı bulanık modellemeyen veriye dayalı bulanık modellemeye geçiş eğilimine yeni bir katkı oluşturmaktadır. Bu metodoloji, maksimal kapsama modeli, merkezi kapsayan

lokasyon modelleri, p-ortalama ve p-medyan tesis lokasyon modelleri gibi diğeri ilgili bulanık kapsama lokasyon modellerine uygulanabilir.

Teorik açıdan, bu çalışmanın araştırma sonuçları, bulanık optimizasyon topluluğunun, makine öğrenimi ve yapay zeka alanlarındaki son gelişmeleri göz önünde bulundurarak, optimizasyon modellerinin otonom, girdi ve veri odaklı bulanıklaştırmaya yönelik araştırmalarını genişletmesini sağlayacaktır.

6.4. Kısıtlar ve Yöntemsel Eleştiriler

Otonom Bulanık Küme Kapsama Yerleşke Modeli-OBKKYM'nin klasik olarak literatürde çözüle gelen Küme Kapsama Yerleşke Modeli-KKYM'ne kıyasla kapsama kümesinin tanımlanmasında az miktarda fazladan seyahat süresine izin vererek, bulanıklaştırma sürecinde orijinal küme kapsayan konum modelini çok küçük bir değer kadar esnettiğini belirtmek önemlidir.

Bu durumun gerçek hayattaki karşılığı şu şekilde açıklanabilir: i lokasyonundan j lokasyonuna girmek 2 saat 2 dk sürmektedir, ancak klasik model bu 2 dakikalık fazladan süre yüzünden i noktasını j lokasyonun kapsama kümesine eklememektedir. Halbuki gerçek hayatta seyahat süresindeki belirsizlik nedeniyle bahse konu i lokasyonundan j lokasyonuna yapılan seyahat 2 dakika erken sonuçlanabilmektedir. Dolayısı ile bu kadar küçük bir süre aşımı sebebi ile i noktasının j noktasının kapsama alanından çıkarılması yerinde bir karar değildir. İşte i ve j noktaları arasındaki seyahat sırasında oluşabilecek bu ekstra 2 dakikanın 2 saat civarında bir bulanık seyahat süresi kavramı tanımının modele entegrasyonu ile i ile j noktasının birbirini kapsamasına olanak verir şekilde modelde yer alması durumu arzu edilen ve gerçeği yansıtan bir esnetme gerekçesi olarak kabul edilmiştir.

6.5. Gelecek Çalışma Önerileri

Bu araştırma çalışması ortaya koyduğu sonuçlar itibari ile çeşitli araştırma alanlarında yeni bilgiler ortaya koymuştur. Her şeyden önce, bu çalışma optimizasyon disiplindeki problemlerde sıklıkla karşılaşılan belirsiz girdi verilerinin daha iyi yönetilmesi için bulanık mantık yaklaşımının etkinliğini bir kez daha farklı bir açıdan ortaya koymuştur. Bu çalışma otonom bir bulanıklaştırma metodolojisi ile bulanık küme kapsayan tesis lokasyon modelini incelemiştir. Sayısal deneyler, teorik ve pratik

perspektiflerden ayrı ayrı farklı boyutlardaki problemler için geliştirilen modelin etkinliği ve avantajları ortaya konulmuştur. Bulanık Mantık ile belirsizlik yönetiminin hem bulanık mantık metodolojilerin problem ortamına uygun ve anlamlı olacak şekilde çeşitlendirilmesi; hem de optimizasyon modellerinin araştırma ihtiyacı noktasında değerlendirilerek çeşitlendirilmesi anlamlı olacaktır.

İkinci olarak, bu çalışmada bulanık mantık veriden öğrendiği şekilde matematiksel modeli eğitmekte ve kurmakta olduğundan makine öğrenmesi ile bulanık mantığın birbirine entegre edilerek optimizasyon modeline hizmet ettiği çok boyutlu, birbirinin eksiklerini tamamlayan ve böylelikle çok güçlenen bir metodoloji ortaya çıkarmıştır. Bu çok yönlü var oluş önerilen modeli insan hatasından/değerlendirmesinden/uzmanlığından bağımsız, güvenilir, objektif ve pratik kılmaktadır. Buradan hareketle de bu araştırmanın makine öğrenmesi ve veri seti odaklı bulanıklaştırma metodolojilerin geliştirilmesine ve çeşitlendirilmesine ışık tutması muhtemeldir.

Finansman: Bu araştırma hiçbir dış finansman almamıştır.

Veri Kullanılabilirliği: Bu çalışmada halka açık veri kümeleri analiz edilmiştir. Bu veriler burada bulunabilir: [P. B. Y. Kara, 'Türkiye Ağ Veri Kümeleri'. <https://ie.bilkent.edu.tr/~bkara/dataset.php> (29 Mart 2021'de erişildi).]

7. KAYNAKLAR

- [1] T. Bektaş, and T.G. Crainic, Brief overview of intermodal transportation, *Logist. Eng. Handb.* **3** (2007) 28-1-28–16. doi:10.1201/9781420004588.ch28.
- [2] J.E. Beasley, An algorithm for set-covering problems, *Eur. J. Oper. Res.* **31** (1987) 85–93. doi:https://doi.org/10.1016/0377-2217(87)90141-X.
- [3] L.A. Wolsey, and G. Nemhauser, The Scope of Integer and Combinatorial Optimization, in: *Integer Comb. Optim.*, John Wiley & Sons, 1999. doi:https://doi.org/10.1002/9781118627372.ch1.
- [4] M.L.F. and P. Kedia, Optimal solution of the set-covering/partitioning problems using dual heuristics, *Manage. Sci.* **36** (1990) 674–688. doi:https://doi.org/10.1287/mnsc.36.6.674.
- [5] Y.H. Liu, A heuristic algorithm for the multi-criteria set-covering problems, *Appl. Math. Lett.* **6** (1993) 21–23. doi:https://doi.org/10.1016/0893-9659(93)90092-2.
- [6] C. Toregas, C., ReVelle, Optimal location under time or distance constraints, *Pap. Reg. Sci. Assoc.* **28** (1972) 131–143. doi:10.1111/J.1435-5597.1972.TB01521.X.
- [7] R. Church, and C. ReVelle, The Maximal Covering Location Problem, *Pap. Reg. Sci. Assoc.* **32** (1974) 101–118. doi:https://doi.org/10.1007/BF01942293.
- [8] C. ReVelle, and H. Kathleen, The maximum reliability location problem and α -reliable-center problem: Derivatives of the probabilistic location set covering problem, *Ann. Oper. Res. Vol.* **18** (1989) 155–173. doi:https://doi.org/10.1007/BF02097801.
- [9] C. ReVelle, and H. Kathleen, The Maximum Availability Location Problem, *Transp. Sci.* **23** (1989) 192–200. doi:https://doi.org/10.1287/trsc.23.3.192.
- [10] I.T. Forum, ITF Transport Outlook 2019, OECD, Paris, 2019. doi:10.1787/transp_outlook-en-2019-en.
- [11] J. Zhang, W.H.K. Lam, and B.Y. Chen, A Stochastic Vehicle Routing Problem with Travel Time Uncertainty: Trade-Off Between Cost and Customer Service, *Networks Spat. Econ.* **13** (2013) 471–496. doi:10.1007/s11067-013-9190-x.
- [12] B.Y. Chen, W.H.K. Lam, A. Sumalee, Q. Li, H. Shao, and Z. Fang, Finding Reliable Shortest Paths in Road Networks Under Uncertainty, *Networks Spat. Econ.* **13** (2013) 123–148. doi:10.1007/s11067-012-9175-1.

- [13] C. Wei, Y. Asaruka, and T. Iryo, A probability model and sampling algorithm for the inter-day stochastic traffic assignment problem, *J. Adv. Transp.* **46** (2012) 222–235. doi:10.1002/atr.214.
- [14] L. a. Zadeh, Fuzzy sets, *Inf. Control.* **8** (1965) 338–353. doi:10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- [15] K. A., and B. A.P, Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets-vol. 1: Fundamental Theoretical Elements, *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.* **7** (1977) 495–496. doi:10.1109/TSMC.1977.4309751.
- [16] L.A. Zadeh, Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, *Fuzzy Sets Syst.* **1** (1978) 3–28. doi:https://doi.org/10.1016/0165-0114(78)90029-5.
- [17] L.A. Zadeh, The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III, *Inf. Sci. (Ny).* **9** (1975) 43–80. doi:10.1016/0020-0255(75)90017-1.
- [18] D. Dubois, and H. Prade., Possibility Theory: Approach to computerized processing of uncertainty, (n.d.). 10.1007/978-94-017-1735-9_6.
- [19] L. Liu, and Y. Li, The fuzzy quadratic assignment problem with penalty: New models and genetic algorithm, *Appl. Math. Comput.* **174** (2006) 1229–1244. doi:10.1016/j.amc.2005.06.012.
- [20] B. Liu, and Y.K. Liu, Expected value of fuzzy variable and fuzzy expected value models, *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* **10** (2002) 445–450. doi:10.1109/TFUZZ.2002.800692.
- [21] S. Davari, M.H.F. Zarandi, and I.B. Turksen, The incomplete hub-covering location problem considering imprecise location of demands, *Sci. Iran.* **20** (2013) 983–991. doi:10.1016/j.scient.2013.04.010.
- [22] S. Davari, M. Hossein, and F. Zarandi, The single-allocation hierarchical hub median location problem with fuzzy demands, *African J. Bus. Manag.* **6** (2012) 347–360. doi:10.5897/AJBM11.2430.
- [23] S. Davari, M.H. Fazel Zarandi, and I.B. Turksen, The fuzzy reliable hub location problem, *2010 Annu. Meet. North Am. Fuzzy Inf. Process. Soc.* (2010) 1–6. doi:10.1109/NAFIPS.2010.5548271.
- [24] A. Mirakhorli, Application of chance-constrained programming to capacitated single-assignment hub covering location problem with fuzzy cover radius, in: *40th Int. Conf. Comput. Industrial Eng., The 40th International Conference on Computers & Industrial Engineering, Awaji, 2010: pp. 1–4.*

- [25] A. Mirakhorli, Capacitated Single-Assignment Hub Covering Location Problem under Fuzzy Environment, **II** (2010).
- [26] A. Eydi, and A. Mirakhorli, An extended model for the uncapacitated single allocation hub covering problem in a fuzzy environment, *Lect. Notes Eng. Comput. Sci.* **2196** (2012) 1346–1349.
- [27] J. Darzentas, A discrete location model with fuzzy accessibility measures, *Fuzzy Sets Syst.* **23** (1987) 149–154. doi:10.1016/0165-0114(87)90106-0.
- [28] K. Zimmermann, Fuzzy set-covering problem, *Int. J. Gen. Syst.* **20** (1991) 127–131. doi:https://doi.org/10.1080/03081079108945020.
- [29] C.I. Chiang, M.J. Hwang, and Y.H. Liu, An alternative formulation for certain fuzzy set-covering problems, *Math. Comput. Model.* **42** (2005) 363–365. doi:10.1016/j.mcm.2004.05.012.
- [30] M.J. Hwang, C.I. Chiang, and Y.H. Liu, Solving a fuzzy set-covering problem, *Math. Comput. Model.* **40** (2004) 861–865. doi:10.1016/j.mcm.2004.10.015.
- [31] H. Shavandi, and H. Mahlooji, Fuzzy Hierarchical Queueing Models for, *Sci. Iran.* **15** (2008) 378–388.
- [32] S. Davaria, M.H.F. Zarandia, A. Hemmatia, and I.B. Turksen, The variable radius covering problem with fuzzy travel times, in: *Int. Conf. Fuzzy Syst.*, 2010: pp. 1–6. doi:10.1109/FUZZY.2010.5584133.
- [33] R. Sahraeian, and M.S. Kazemi, A fuzzy set covering-clustering algorithm for facility location problem, *IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag.* (2011) 1098–1102. doi:10.1109/IEEM.2011.6118085.
- [34] M.H.F. Zarandi, S. Davari, and I.B. Turksen, A fuzzy simulation-embedded metaheuristic to solve a variable radius covering problem, in: *Annu. Conf. North Am. Fuzzy Inf. Process. Soc. - NAFIPS*, 2011. doi:10.1109/NAFIPS.2011.5751914.
- [35] R.G. Ratnesh Rajan Saxena, Enumeration Technique for Solving Linear Fractional Fuzzy Set Covering Problem, *Int. J. Pure Appl. Math.* **84** (2013) 477–496. doi:http://dx.doi.org/10.12732/ijpam.v84i5.3.
- [36] S.J. Hosseinezhad, and S. Jabalameli, A Multi-objective continuous covering location model, *J. Ind. Syst. Eng.* **Vol. 9, sp** (2016) 40–52. http://www.jise.ir/article_14003.html.
- [37] D. Drakulić, A. Takači, and M. Marić, Fuzzy covering location problems with

- different aggregation operators, *Filomat*. **31** (2017) 513–522.
doi:10.2298/FIL1702513D.
- [38] B. Zhang, J. Peng, and S. Li, Covering location problem of emergency service facilities in an uncertain environment, *Appl. Math. Model.* **51** (2017) 429–447.
doi:10.1016/j.apm.2017.06.043.
- [39] P. Lutter, D. Degel, C. Büsing, A.M.C.A. Koster, and B. Werners, Improved handling of uncertainty and robustness in set covering problems, *Eur. J. Oper. Res.* **263** (2017) 35–49. doi:10.1016/j.ejor.2017.04.044.
- [40] S.M. Shavarani, S. Mosallaeipour, M. Golabi, and G. İzbirak, A congested capacitated multi-level fuzzy facility location problem: An efficient drone delivery system, *Comput. Oper. Res.* **108** (2019) 57–68.
doi:10.1016/j.cor.2019.04.001.
- [41] M. Drakulić, Darko; Takači, Aleksandar; Marić, the Use of Fuzzy Logic in Various Combinatorial Optimization Problems, 2021. doi:10.1007/978-3-030-72711-6_8.
- [42] A. Mahmoodirad, H. Garg, and S. Niroomand, Solving Fuzzy Linear Fractional Set Covering Problem By a Goal Programming Based Solution Approach, *J. Ind. Manag. Optim.* **18** (2022) 439–456.
doi:10.3934/jimo.2020162.
- [43] E. Hüllermeier, Does machine learning need fuzzy logic?, *Fuzzy Sets Syst.* **281** (2015) 292–299. doi:10.1016/j.fss.2015.09.001.
- [44] Y. Park, P. Nielsen, and I. Moon, Unmanned aerial vehicle set covering problem considering fixed-radius coverage constraint, *Comput. Oper. Res.* **119** (2020) 104936. doi:10.1016/j.cor.2020.104936.
- [45] J.M. Lanza-Gutierrez, B. Crawford, R. Soto, N. Berrios, J.A. Gomez-Pulido, and F. Paredes, Analyzing the effects of binarization techniques when solving the set covering problem through swarm optimization, *Expert Syst. Appl.* **70** (2017) 67–82. doi:10.1016/j.eswa.2016.10.054.
- [46] G. Astorga, B. Crawford, R. Soto, E. Monfroy, J. García, and E. Cortes, A Meta-Optimization Approach to Solve the Set Covering Problem, *Ingeniería.* **23** (2018) 274–288. doi:10.14483/23448393.13247.
- [47] Y. Wang, D. Ouyang, L. Zhang, and M. Yin, A novel local search for unicost set covering problem using hyperedge configuration checking and weight diversity, *Sci. China Inf. Sci.* **60** (2017) 1–14. doi:10.1007/s11432-015-5377-

8.

- [48] W.A. Lodwick, and E.A. Untiedt, Fuzzy Optimization, *Dep. Of Mathematical Sci. Univ. Of Colorado Denver, Denver, USA*. (2002) 1211–1239.
doi:10.1007/978-3-7908-1805-5_4.
- [49] K.H. Lee, First course on fuzzy theory and applications, Springer, 2006.
doi:10.5860/choice.42-5917.
- [50] C.N. Wang, T.T. Dang, T.Q. Le, and P. Kewcharoenwong, Transportation optimization models for intermodal networks with fuzzy node capacity, detour factor, and vehicle utilization constraints, *Mathematics*. **8** (2020) 1–27.
doi:10.3390/math8122109.
- [51] Y. Sun, X. Liang, X. Li, and C. Zhang, A fuzzy programming method for modeling demand uncertainty in the capacitated road-rail multimodal routing problem with time windows, *Symmetry (Basel)*. **11** (2019).
doi:10.3390/sym11010091.
- [52] Y. Sun, G. Zhang, Z. Hong, and K. Dong, How uncertain information on service capacity influences the intermodal routing decision: A fuzzy programming perspective, *Inf.* **9** (2018). doi:10.3390/info9010024.
- [53] M. Fralick, and K.R. Campbell, The Basics of Machine Learning, 2022.
doi:10.1056/evide2200062.
- [54] D.K. Lee, J. In, and S. Lee, Standard deviation and standard error of the mean, *Korean J. Anesthesiol.* **68** (2015) 220–223. doi:10.4097/kjae.2015.68.3.220.
- [55] S.A. Alumur, B.Y. Kara, and O.E. Karasan, The design of single allocation incomplete hub networks, *Transp. Res. Part B Methodol.* **43** (2009) 936–951.
doi:10.1016/j.trb.2009.04.004.
- [56] P.B.Y. Kara, Turkish Network Data Sets, (n.d.).
- [57] P.Z. Tan, and B.Y. Kara, A hub covering model for cargo delivery systems, *Networks*. **49** (2007) 28–39. doi:10.1002/net.20139.

