

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KOCAELİ İLİNDE OLASI BİR DOĞAL AFET SONRASI
DOĞALGAZ KRİZ MASASI YERLEŞİM OPTİMİZASYONU**

MEHMET GÖKÇE NİGİZ

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOCAELİ İLİNDE OLASI BİR DOĞAL AFET SONRASI
DOĞALGAZ KRİZ MASASI YERLEŞİM OPTİMİZASYONU

MEHMET GÖKÇE NİGİZ

Dr.Öğ.Üyesi Yıldız ŞAHİN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Dr.Öğ.Üyesi Ümit TERZİ
Jüri Üyesi, Beykent Üniversitesi
Dr.Öğ.Üyesi Burcu ÖZCAN TÜRKKAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 06.07.2018



ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yeni bir tesisin nereye yerleştirileceği, o tesisin uzun süreli olarak kullanılacağı da dikkate alındığında, maliyet, zaman ve müşteri memnuniyeti açısından karar vericiler için hassas bir projedir. Karar verilmeden önce aday olabilecek en iyi mevkiiler tespit edilmeli, tesisin kapasitesine ilişkin uygun özellikler belirlenmeli ve bunlara bağlı olarak hatırı sayılır bir sermaye ayrılmalıdır. Tüm bu nedenlerle tesis yeri seçimi, hem kamu sektörü hem de özel sektör için alınacak kararlar itibarıyla bir stratejik planlama konusudur. Bu çalışmada, Kocaeli’de doğalgaz dağıtım şirketi tarafından olası bir doğal afet sonrasında hayatın normalleştirilmesi sürecine katkı sağlamak amacıyla doğalgaz şebekesinde meydana gelebilecek arıza, yıkım, sızıntı, vb. istenmeyen olaylara süratle müdahale edebilmek ve sahada çalışan acil ekiplerine destek olabilmek üzere il genelinde tesis edilmesi kararlaştırılan kriz masalarının nerelere konuşlandırılacağı belirlenmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada kullanılan verilerin sınıflandırılması ve yorumlanması aşamasında yoğun iş temposuna rağmen her türlü desteği sağlamaktan kaçınmayan İZGAZ Genel Md. Sayın M.Gökalep ÖZKÖK’e, İZGAZ Ticari Genel Müdür Yardımcısı Sayın Paul Van de HEIJNING’e ve İZGAZ Harita ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Şefi Sayın Alparslan KARAKUZU’ya, çalışmanın her aşamasında deneyimini, bilgisini, yardım ve desteklerini esirgemeyen Sayın Doç.Dr.Mümtaz KARATAŞ’a, yaşanan tüm olumsuzluklara rağmen şahsıma olan güvenini ve desteklerini her zaman hissettiğim danışmanım Sayın Dr.Öğr.Üyesi Yıldız ŞAHİN’e şükranlarımı sunarım.

Hayatımın her anında varlıklarıyla bana güç veren anne ve babama; hayatımın tüm iniş çıkışlarını beraber yaşadığım, benim pes etme aşamasına geldiğim zamanlarda dahi bana güç vererek mücadeleye devam etmemi sağlayan can yoldaşım sevgili eşim Gözde’ye, annesi gibi yaşadığımız tüm zorluklara ortak olan, yapmış olduğum bu çalışma ile bir nebze olsun ona örnek olmayı hedeflediğim yaşama sevincim biricik kızım İdil’e tüm destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz - 2018

Mehmet Gökçe NİGİZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
GİRİŞ	1
1. KAPSAMAYA DÖNÜK TESİS YERLEŞİMİ PROBLEMİ.....	4
1.1. Tesis Yeri Seçim Problemlerinin Sınıflandırılması	8
1.1.1. Owen ve Daskin'e göre tesis yeri seçim problemlerinin sınıflandırılması.....	8
1.1.1.1. Statik ve deterministik modeller	8
1.1.1.2. Dinamik ve stokastik modeller	11
1.1.2. Klose ve Drexl (2005)'e göre tesis yeri seçim problemlerinin sınıflandırılması.....	14
1.1.3. Arabani ve Farahani (2012)'ye göre tesis yeri seçim problemlerinin sınıflandırılması.....	14
1.2. K-Means Kümeleme	16
2. MAKSİMUM KAPSAMA PROBLEMLERİ.....	20
3. KOCAELİ İLİNDE OLASI BİR DOĞAL AFET SONRASI DOĞALGAZ KRİZ MASASI YERLEŞİM OPTİMİZASYONU PROBLEMİ.....	24
3.1. Problem Formülasyonu.....	24
3.1.1. Varsayımlar ve problem verisi	24
3.1.2. Matematik modeli	28
3.1.3. Sayısal sonuçlar.....	29
3.1.4. Duyarlılık analizi.....	34
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	41
KAYNAKLAR	44
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	48
ÖZGEÇMİŞ	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Alfred Weber'in yerleşim teorisi problemi	6
Şekil 1.2.	Kapsama Problemlerinin Şematik Gösterimi.....	10
Şekil 1.3.	Merkez Problemlerinin Şematik Gösterimi.....	10
Şekil 1.4.	Daskin tarafından sunulan kesikli yer seçimi modelleri	13
Şekil 1.5.	K-means algoritması uygulanacak gelişigüzel oluşturulan veri.....	17
Şekil 1.6.	K-means ile belirlenen 3'lü küme (k=3) ve ağırlık merkezleri.....	18
Şekil 3.1.	Gerçek Talep Yerleri	27
Şekil 3.2.	Ağırlık merkezleri ve aday kriz masası mevkileri	27
Şekil 3.3.	Müşteri tiplerine göre kapsanan talep sayısı	32
Şekil 3.4.	Müşteri tiplerine göre açılacak her bir kriz masası için ulaşılabilir kapsama yüzdesi	32
Şekil 3.5.	MCLP amaç fonksiyonunun $m = 1,2,\dots,15$ için aldığı değerler.....	33
Şekil 3.6.	MCLP amaç fonksiyonunun $m = 1,2,\dots,15$ için marjinal artışları.....	33
Şekil 3.7.	10 adet kriz masası için optimum mevkiler ile talep tiplerine göre küme merkezleri.....	34
Şekil 3.8.	Duyarlılık analizi kapsamında oluşturulan senaryolar sonucunda açılacak kriz masalarının seçilme sıklığı (frekansı).....	40

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Arabani ve Farahani tarafından sınıflandırılan tesis yeri seçim problemleri.....	15
Tablo 1.2. Literatürde yer alan farklı sınıflandırma çeşitleri.....	15
Tablo 3.1. Anahtar parametreler ve müşteri tipleri için aldıkları değerler.....	27
Tablo 3.2. Açılacak kriz masası sayısına göre çözümler	30
Tablo 3.3. Ulaşılan sonuçlara göre marjinal artış yüzdesi	31
Tablo 3.4. Duyarlılık analizi sonuçları (Tüm ağırlık kombinasyonları için elde edilen kaplanan talep noktası sayıları ve amaç fonksiyonu değerleri)	35
Tablo 3.5. Duyarlılık analizi kapsamında yapılan her deneme için açılan tesisler	37
Tablo 3.6. Duyarlılık analizi kapsamında oluşturulan senaryolar sonucunda açılan kriz masalarının seçilme sıklığı (frekansı)	39
Tablo 4.1. Açılacak kriz masaları ile ulaşılacak kapsama yüzdesi	42

KOCAELİ İLİNDE OLASI BİR DOĞAL AFET SONRASI DOĞALGAZ KRİZ MASASI YERLEŞİM OPTİMİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmada, Kocaeli’de doğalgaz dağıtım şirketi tarafından olası bir doğal afet sonrasında tesis edilmesi kararlaştırılan kriz masalarının mevkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Kriz masalarının işlevi, olası bir doğal afet sonrasında doğalgaz şebekesinde oluşabilecek arıza, yıkım, sızıntı, vb. olaylara müdahale etmek ve sahada çalışan acil ekiplerine destek olmaktır.

Şirket yetkilileri ve alan uzmanlarıyla yapılan toplantılarla 310.000 doğalgaz kullanıcılarına; ulaşımı kolay olan, acil durumları ekiplere süratle iletebilme imkanı sağlayan ve doğal afetten etkilenme ihtimali düşük aday mevkiler belirlenmiştir.

Kriz masası mevkilerinin seçiminde üç adımlı bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. İlk adımda, doğalgaz kullanıcıları tiplerine (sanayi, ticari, ev) göre ayrılmış ve kümeleme analizi yapılarak bu kullanıcıların mevkilerini temsil eden küme merkezleri belirlenmiştir. Problemden personel sayısı ve ulaşım zamanı kısıtları dikkate alınarak maksimum sayıda kullanıcıya ulaşmak hedeflenmiştir. İkinci adımda, tespit edilen küme merkezleri için maksimum kaplama yerleşim problemi matematiksel modeli geliştirilmiştir. Bu modelde, her müşteri tipi için farklı bir ağırlık kullanılmıştır. Kriz masası sayısının kesin olmaması nedeniyle, üçüncü adımda, oluşturulan matematiksel model farklı sayıdaki tesis sayısı için çözülmüş, tesis sayısındaki artışın amaç fonksiyonuna olan etkisi analiz edilmiştir. Son olarak, yapılan duyarlılık analizi ile ağırlık değerlerinin amaç fonksiyonuna olan etkisi incelenmiştir.

Elde edilen sonuçların, Kocaeli’de olası bir doğal afet sonrası doğal gaz sistemlerinde yaşanacak olumsuzlukların azaltılmasında ve olaylara süratle müdahale edilmesinde etkili olacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Afet, Kriz Masaları, Kümeleme Analizi, Maksimum Kapsama Problemi.

NATURAL GAS CRISIS DESK LOCATION OPTIMIZATION AFTER A POSSIBLE NATURAL DISASTER IN KOCAELI PROVINCE

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the positions of the crisis desks that agreed by the natural gas distribution company in Kocaeli after a possible natural disaster. The functions of the crisis tables after a possible natural disaster, are to intervene quickly in incidents like breakdowns, destructions, leaks, etc. that may occur in the natural gas network and to support emergency teams on the field.

By the meetings held with company officials and domain experts, candidate points, which are easy to access, capable of promptly delivering incidents to the emergency teams and not affected by possible natural disasters, selected for 310,000 natural gas users in the province.

A three-step solution has been developed in selecting the positions of crisis desks. In the first step, all the gas users are classified by user types (industrial, commercial, residential) and cluster analysis applied for each type. It is aimed to reach the maximum number of users due to the personnel and transportation time constraints in the problem. In the second step, we set the model of maximum coverage location problem. In this model, different weights are used for each customer type. In the third step, we solved the problem for different number of crisis desks. Finally, we applied sensitivity analysis to examine the effects of different weights on the objective function.

It is evaluated that the results were beneficial in reducing the negativity in the natural gas systems and for promptly respond after a possible natural disaster in Kocaeli province,

Keywords: Natural Disaster, Crisis Desks, Clustering Analysis, Maximum Covering Problem.

GİRİŞ

Alfred Weber'in 1909 yılında yapmış olduğu depo yeri seçimi ile başlayan ve günümüze kadar gelişerek devam eden tesis yeri seçimi problemleri, gerek kamu sektöründe gerekse özel sektörde karşımıza çıkan önemli bir yöneylem araştırması sahasıdır. Tesis yeri seçimi problemleri amaçları bakımından incelendiğinde; kamu sektöründe, insanlara hizmet sunmak ve tüm vatandaşlara ulaşmak hedeflenirken, özel sektörde karı maksimize etmek ya da maliyetleri minimize etmek hedeflenmektedir.

Yeni bir tesisin nereye yerleştirileceği, o tesisin uzun süreli olarak kullanılacağı da dikkate alındığında, maliyet, zaman ve müşteri memnuniyeti açısından karar vericiler için hassas bir projedir. Karar verilmeden önce en iyi konum tespit edilmeli, tesisin kapasitesine ilişkin uygun özellikler belirlenmeli ve büyük miktarda sermaye ayrılmalıdır. Tesis yeri seçiminin uzun vadeli bir yatırım olacağı da dikkate alındığında, hem kamu hem de özel sektör için tesis yeri seçimi bir stratejik planlama konusudur.

Kurulacak tesislerin özelliklerine ve üretilecek ürün ya da verilecek hizmete göre tesis yerlerinin seçiminde çok çeşitli kriterler karara etki etmektedir. Tesis yeri seçimini etkileyen kriterler ekonomik, doğal, sosyal, psikolojik veya politik olabilir. Örneğin bir fabrika için hammaddeye yakınlık önemli iken itfaiye ya da hastane gibi kurumlar için hizmetin en iyi şekilde sunulabileceği yere konuşlanmak birinci önceliklidir.

Tesis yeri seçimi problemleri, basit bir şekilde n adet tesisin m adet konuma ($n < m$) taşıma maliyetlerinin minimize edilecek şekilde yerleştirilmesi olarak tanımlanabilir [1]. Daha açık bir şekilde tanımlamak gerekirse; tesis yeri seçimi problemleri, hizmet veren tesislerin, bazı kısıtlar dikkate alınarak, müşteri (talep noktası) taleplerini karşılamak üzere oluşacak maliyetlerin en aza indirecek şekilde uygun konumlara yerleştirilmesini ve her bir müşterinin hizmet veren tesislere tahsis edilmesini kapsayan problemlerdir [2].

Tesis yeri seçimi problemlerinin, literatürde farklı açılardan birçok sınıflandırmaya tabi tutulduğu görülmektedir. Bu sınıflandırmalardan bir tanesi Current ve arkadaşları tarafından yapılan ve tesis yer seçim problemlerini 8 ana başlık halinde inceleyen sınıflandırmadır. Bu sekiz ana başlık; küme kapsama, maksimum kapsama, p-merkez, p-dağılım, p-medyan, sabit maliyetli tesis yeri seçim, maksimum toplam ve ana dağıtım üssü yer seçim problemleri olarak ifade edilebilir [3].

Bu çalışmada yukarıda yer alan sekiz ana başlıktan biri olan maksimum kapsama problemi kullanılarak, Kocaeli ilinde doğal gaz dağıtımını sağlayan bir şirketin doğal afet gibi acil bir durumda müşterilere en seri şekilde ulaşarak normal hayata dönene kadar ortaya çıkacak ihtiyaçları süratle karşılamak üzere kurulması öngörülen kriz masaları için uygun coğrafi yerlerin tespiti konusu ele alınmıştır.

Kocaeli ilinde Kocaeli Büyükşehir Belediyesi tarafından sağlanan doğalgaz dağıtım hizmetleri, 2005 yılından itibaren özelleştirilerek özel bir şirkete devredilmiştir. İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamında yer alan şirketin; yeni dağıtım hatlarının inşası, bakım faaliyetleri, faturalandırma ve acil durumlara müdahale gibi sorumlulukları bulunmaktadır.

Şirket verilerine göre il genelinde toplam 310.000 gaz kullanıcılarına hizmet verilmekte ve bu sayı halen devam eden yapılaşma neticesinde her geçen gün artmaktadır.

Şirket tarafından böylesine yüksek sayıdaki doğalgaz kullanıcılarına sağlanan hizmetin sürdürülebilirliğinin sağlanması, yaşanabilecek olumsuzlukların en kısa sürede çözüme ulaştırılması ve şirket itibarının üst seviyede idame edilmesi amacıyla 24 saat esasına göre işleyen etkili bir sistem hedeflenmiştir.

Şirket faaliyetleri, Ticari, Teknik, Finans ve İdari departmanlarından oluşan teşkilat yapısı ile yıllara sari yapılan çalışmalar, araştırma-geliştirme faaliyetleri neticesinde her bir departman için oluşturulan süreçler ile yürütülmektedir. Şirket hedefleri ve faaliyetlerin sürdürülebilirliği kapsamında teknik ve ticari departman süreçleri kilit role sahip süreçler olarak belirlenmiştir.

Şirket üst yönetimi tarafından yapılan çalışmalar neticesinde, Teknik Departman Süreçlerinden “Acil Ekipler Süreci”nin, meydana gelebilecek gaz kaçağı, bağlantı problemleri, yanlış kazı gibi sebeplerle hatlarda yaşanabilecek sorunlar gibi münferit olaylara müdahale edebilecek kabiliyette olduğu, ancak doğal afet gibi büyük çaplı bir durumla karşılaşıldığında acil ekiplerinin yetersiz kalacağı ve Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığının “İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmeliği”ne paralel olarak topyekün bir acil durum planına ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmıştır.

Acil durum planı kapsamında; organizasyonun oluşturulmasına, faaliyetlerin etkinlikle yürütülmesinde kritik öneme sahip süreçlerin tespit edilmesine, kritik süreçlere yöneticilerin atanmasına, kritik süreçlerin etkinlikle işletilebilmesi için her bir departman tarafından alınacak önlemlerin belirlenmesine, süreçlerin işletimi için departmanların lojistik ihtiyaçlarının karşılanmasına karar verilmiştir.

İl genelinde kurulması öngörülen kriz masaları için uygun coğrafi yerlerin tespitini ele alan bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde kapsamaya dönük tesis yerleşimi ile ilgili literatür araştırması yer almaktadır. İkinci bölümde, maksimum kapsama problemleri incelenmiş, üçüncü bölümde ise çalışmaya konu olan problem detaylı olarak açıklanmış ve maksimum kapsama problemi yaklaşımıyla çözüm aranmıştır. Çalışmanın son bölümünde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve müteakip çalışmalar için teklifler sunulmuştur.

1. KAPSAMAYA DÖNÜK TESİS YERLEŞİMİ PROBLEMİ

Doğal afetler büyük kayıplara neden olabilen doğa olaylarıdır. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi, sonuçları itibarı ile kayıpların ne kadar fazla olabileceğini ortaya koymuştur. Bu depremin ardından gelecekte yaşanabilecek bir depremde nasıl hazırlık yapılması gerektiği, kayıpların azaltılması için ne gibi önlemler alınabileceği ve deprem sonrası hayatın normalleştirilme sürecinin nasıl hızlandırılabilceği yoğun bir şekilde tartışılmaya başlanmıştır [4].

Bir afet sonrasında afetten etkilenen bölgedeki yaşamı en kısa sürede yeniden tesis etmek kamu kuruluşlarının görevi iken, özellikle hizmet sektöründeki özel sektör kuruluşları için sorumluluk alanına göre hem görev hem de prestij sebebidir.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından 18 Haziran 2013 tarihinde yayımlanan “İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik”, İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamında yer alan işyerleri tarafından acil durum planlarının hazırlanması, önleme, koruma, tahliye, yangınla mücadele, ilk yardım ve benzeri konularda yapılması gereken çalışmalar ile bu durumların güvenli olarak yönetilmesi ve bu konularda görevlendirilecek çalışanların belirlenmesi hususlarını içermektedir.

Kocaeli; nüfus, ticaret ve sanayi alanları bakımından Türkiye'nin en yoğun illerinden biri olup endüstriyel yatırımlar ile ticari yatırımları çeken bir bölge olmuştur. Bugün Kocaeli, sınırları içinde 13 organize sanayi bölgesi ile Türkiye'nin en sanayileşmiş şehridir [5].

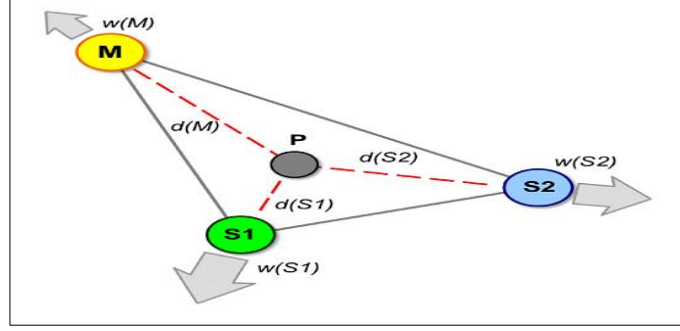
Bununla birlikte Kocaeli ili aktif fay hatları üzerine konumlu olması nedeniyle tarihte büyük çaplı depremleri yaşamak zorunda kalmıştır. 2000 yılında uluslararası bir şirket tarafından yayımlanan rapora göre 1999 yılında yaşanan Gölcük depremi neticesinde 17000 insan yaşamını kaybetmiş, 44000 kişi yaralanmıştır. Türkiye Deprem Vakfı tarafından hazırlanan rapora göre 2000 bina yıkılmış, 90000 bina az hasar, 77000 bina orta hasar ve 78000 bina ağır hasar görmüştür. Doğalgaz, akaryakıt ve elektrik sistemlerinin aldığı hasarlar nedeniyle yıkılan birçok bina ve işletmede

yangınlar çıkmıştır. Bunların en tehlikelisi ise TÜPRAŞ rafinerisinde meydana gelen yangındır. Oluşan yangınlar nedeniyle ortaya çıkan hasar 350 milyon dolar seviyesindedir. Tüm bunların yanı sıra uzmanlar, aynı fay hattının yakın gelecekte tekrar büyük yıkımlı bir depreme neden olacağını beyan etmektedir [6].

Kocaeli ilinde böylesi bir doğal afetin gelecekte tekrar yaşanması olasılığının varlığı dikkate alındığında; yaşanabilecek olası yıkımlar nedeniyle doğalgaz hatlarında meydana gelebilecek hasarlardan dolayı oluşacak tehlide en kısa sürede müdahale edebilmek için gaz kullanıcılarıyla süratle iletişime geçmek hayati önemi haizdir. Kocaeli ilinde doğalgaz dağıtım şirketi tarafından halihazırda kullanılan iletişim kanallarının da doğal afet nedeniyle olumsuz etkileneceği göz önünde bulundurulduğunda en süratli çözümün gaz kullanıcılarıyla yüzyüze görüşmek olduğu ve bu kapsamda il genelinde kriz masası olarak kullanılacak tesislerin kurulması en doğru hal tarzı olacağı düşünülmüştür. Kurulacak bu tesislerin nerelere konuşlandırılacağı da mevcut kısıtlar dikkate alındığında stratejik bir karar olduğu görülmektedir.

Tesislerin nerelere yerleştirileceği sorusuna cevap arayan ve yüzyılı geçkin bir süredir hareket analizcilerin ilgi odağı olan tesis yeri seçimi problemleri geniş spektrumlu çok sayıda çalışma ile literatürde önemli bir yere sahiptir.

Bazı bilim insanlarına göre tesis yeri seçim problemleri ilk olarak 17. yy.da Pierre Fermat, Evarista Toricelli (Galileo'nun öğrencisi) ve Battista Cavalieri tarafından ortaya konan "Temel Öklit Uzayı Ortanca Problemi" [7] ile ortaya çıktığı değerlendirilse de Alfred Weber'in 1909'da tek bir deponun birkaç müşteri ile arasındaki toplam mesafeyi minimize ettiği, Şekil 1.1'de şematik olarak gösterilen problem, resmi literatürdeki tesis yeri seçim problemlerinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir [8].



Şekil 1.1. Alfred Weber'in yerleşim teorisi problemi

Tesis yeri seçimi problemlerinde ilk çalışmalar genellikle tek tesisi belirlenen alana yerleştirme konusu ile ilgilenirken ilerleyen zamanda p adet ($p > 1$) tesisi belirlenen alana yerleştiren veya kısıtlar ve amaç fonksiyonuna bağlı olarak tesis sayısını kendi belirleyen modellerin sunulduğu çalışmalar yapılmıştır.

Tesis yeri seçim problemleri, 1964'te Hakimi'nin bir iletişim ağı ile bir karayolunda polis noktalarının değişken konumlarının tespitine ilişkin yayımladığı makale ile yeni bir boyut kazandı. Çalışmasında müşteriler ile en yakın tesis arasındaki toplam mesafeyi minimize etmek veya maksimum mesafeyi minimize etmek üzere bir ağ üzerinde bir ya da daha çok tesisin yerleşim problemini ele aldı [9].

1960'ların ortalarından itibaren tesis yeri yerleşimine ilişkin çalışmalar zenginleşmeye başladı. En temel tesis yeri seçim problemlerinde, sabit (mesafe, miktar, süre, vb.) verilerle tek bir çözüm üretilirken, tesis yeri seçimine ilgi gösteren matematik, ekonomi, mühendislik, coğrafya, lojistik, yönetim bilimi/ hareket analizi ve pazarlama alanlarında çalışan araştırmacıların hazırladıkları 2000'in üzerindeki çalışmayla çok amaçlı ve çok kısıtlı problemler literatürde yerini aldı.

Francis 1967'de yayımladığı makalesinde yer seçimi problemlerini; sürekli düzlemsel (continuous planar), kesikli düzlemsel (discrete planar), karışık düzlemsel (mixed planar) ve kesikli ağ problemleri (discrete network problems) olarak sınıflandırdı [10]. Mirchandani tarafından 1990 yılında p -medyan problemleri ve çözüm yaklaşımları ile ilgili bir çalışmayı içeren makale yayımlandı [11]. 1995 yılında Daskin tarafından ağ ve kesikli yer seçimi, model algoritmaları ve uygulamaları ile ilgili bir çalışma hazırlandı [12]. Tedarik zincirinde medyan,

merkez, kapsama ve diğer dinamik problemlerin formülleri 1998 yılında Owen ve Daskin tarafından hazırlanan çalışma ile literatürde yerini aldı [13].

Tesis yeri seçim modellerinin amaçlarına göre sınıflandırılmasına ilişkin çeşitli amaçlar ileri sürülmüştür. Eiselt ve Laporte [14] tesis yeri seçim problemlerindeki amaçları;

- Toplam kuruluş maliyetlerinin minimizasyonu,
- Tesisler arasındaki en uzak mesafenin minimizasyonu,
- Sabit maliyetlerin minimizasyonu,
- Toplam yıllık işletme maliyetlerinin minimizasyonu,
- Hizmetin maksimizasyonu,
- Ortalama süre ve/veya kat edilen mesafenin minimizasyonu,
- Maksimum süre ve/veya kat edilen mesafenin minimizasyonu,
- Tesis sayısının minimizasyonu,
- Duyarlılığın maksimizasyonu,

olarak sınıflandırılmıştır.

Tesis yeri seçimi problemlerinin üç temel elemanı tesis, yer ve müşteridir. Bu elemanlar arasındaki ilişki uygulamalardaki çeşitliliği artırmaktadır [15].

Tesislerin, konuşlandırılacağı yerler ile ilişkisi, belirlenen yatırım maliyetleri ve kapasite kısıtları ile ilgilidir. Yönetimin alacağı kararlar veya tercih edilecek yerlerin özellikleri nedeniyle kurulacak tesisin maliyeti artabilir ya da tesisin büyüklüğü ve kapasitesi sınırlanabilir [16].

Müşteriler ve tesisler arasındaki ilişki, talebin nasıl karşılanacağı ile ilgilidir. Bazı durumlarda her müşteri tek bir tesisle ilişkilendirilirken, bazı durumlarda müşteri birkaç tesisle ilişkilendirilebilir [16].

Tesis yeri seçim problemlerinin formüle edilmesindeki en önemli kriter, müşteriler ile tesisler arasındaki mesafenin ölçülmesidir. En bilinen ve en yaygın olarak kullanılan mesafe ölçüsü, iki nokta arasındaki doğrusal uzaklığı yani kuş uçuşu mesafeyi veren düz çizgi (straight line) ya da Öklidyen ölçüsüdür. İkinci önemli mesafe ölçüsü ise Manhattan uzaklığı olarak da adlandırılan mesafe ölçüsüdür.

Manhattan uzaklığı n boyutlu iki nokta olan müşteriler ile tesisler arasındaki mutlak uzaklıkların toplamıdır. Diğer bir mesafe ölçüsü ise Minkowski uzaklığıdır. Minkowski uzaklığı, öklid uzayında tanımlı bir dizidir. Sınıflandırma, kümeleme gibi veri madenciliği uygulamalarında sıklıkla kullanılan Öklid uzaklığı, Manhattan uzaklığı gibi uzaklık ölçütlerinin genelleştirilmiş halidir. Daha çok robotik hareketlerle ilgili yer seçimi uygulamalarında Chebychev ölçüsü kullanılmaktadır [17]. Chebyshev uzaklığı (maksimum değer uzaklığı), Minkowski uzaklığının, $n \rightarrow \infty$ olduğu özel durum olup, iki nokta arasındaki farkların mutlak değerlerinin maksimumu olarak tanımlanmaktadır [18]. Diğer uzaklık ölçüleri $1-\alpha$ ağırlığını, blok uzunluğunu (block norm), yuvarlak uzunluğunu (round norm), karışık uzunluğunu (mixed norm), Jaccard, beklenen, merkez ve karışık uzunluklarını içerir [19].

1.1. Tesis Yeri Seçim Problemlerinin Sınıflandırılması:

Tesis yeri seçim problemlerine yönelik literatür incelendiğinde; amaç fonksiyonları, kısıtlar, müşteri özellikleri ve tesis tipine göre çok çeşitli sınıflandırmaları içeren çalışmalar olduğu görülmektedir. Bu çalışmaların en kapsamlıları 1998 yılında Owen ve Daskin tarafından [20], 2005 yılında Klose ve Drexl tarafından [21], 2012 yılında Arabani ve Farahani tarafından [22] yapılan çalışmalardır.

1.1.1. Owen ve Daskin'e göre tesis yeri seçim problemlerinin sınıflandırılması

Owen ve Daskin'in 1998 yılındaki çalışmasında tesis yeri seçim problemleri;

- "Statik ve deterministik modeller",
- "Dinamik ve stokastik modeller" olarak iki ana başlıkta sınıflandırılmıştır.

1.1.1.1. Statik ve deterministik modeller

Medyan problemleri

Bir tesise ulaşmak için müşteriler tarafından kat edilen ortalama mesafe, tesis yerinin verimliliğini etkileyen önemli bir kriterdir. Ortalama mesafe arttıkça tesisin erişilebilirliği azalmakta, bu nedenle tesis yerinin verimliliği azalmaktadır. Bu kriter, özellikle okul, hastane, acil servis noktaları gibi mesafenin en küçüklenmesinin arzu edildiği problemler için önem arz etmektedir. Buna mukabil, çöp istasyonları, nükleer santraller gibi şehir merkezlerinden uzakta kurulması gereken tesisler için bu

yaklaşımın tam tersi aranır. Ortalama mesafe arttıkça tesisin erişilebilirliği azalmakta, bu nedenle bu tarz tesislerin yerlerinin verimliliği artmaktadır [23].

Talebin hizmet kalitesinden ziyade miktara hassas olduğu durumlarda, talep noktaları miktara göre ağırlıklandırılarak talep noktaları ile tesisler arasındaki ağırlıklandırılmış mesafe ölçülerek tesis yerinin verimliliği belirlenir [24].

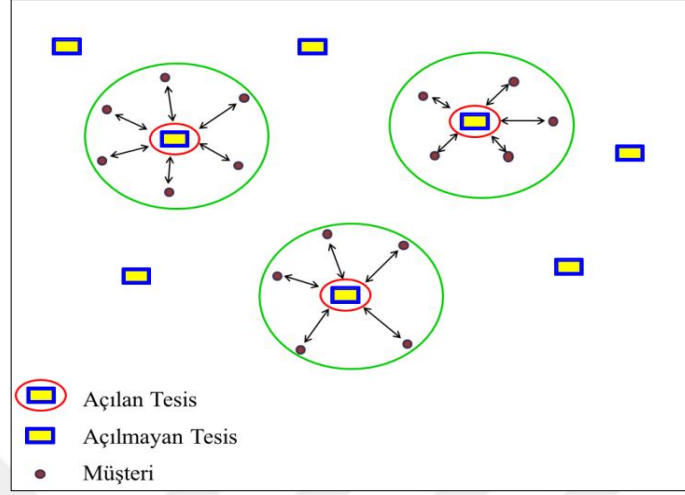
Hakimi tarafından ortaya konan ağırlıklandırılmış mesafe ölçütünün kullanıldığı P-medyan problemleri [25] şu şekilde tanımlanmıştır: “Talep noktaları ile tesis yerleri arasındaki toplam talep ağırlıklı mesafeyi minimize edecek şekilde P tesisinin yerini tespit et.”

P-medyan problemlerinin gelişmiş bir versiyonu ReVelle [26] tarafından sunuldu. Probleme rekabet ortamında perakende tesislerinin yerleşimi ele alındı. Perakende sektörüne ilişkin bu problemde amaç, tesisleri müşteri sayısını maksimize edecek veya perakendecinin pazar payını artıracak şekilde yerleştirmektir. Yazar, problemin çözümünde tüm firmaların aynı ürünü ürettiğini ve müşterilerin en yakın firmayı tercih ettiğini varsaydı. ReVelle'nin bu çalışmasıyla P-medyan probleminin stratejik karar verme ortamlarında nasıl kullanıldığı görülmektedir.

Kapsama problemleri

Yukarıda açıklanan P-medyan problemleri özel sektör ve kamuya ait tesislerin yerleşiminde kullanılabilir. Ancak, bazı tesisler için yer seçiminde ortalama toplam mesafenin minimizasyonu doğru sonuç vermeyebilir. Örneğin, itfaiye, ambulans gibi acil hizmetlerinin yerleşiminde, maksimum kabul edilebilir mesafeye ulaşılması gerekebilir. Bu tarz tesislerin yerleşiminde önemli olan belirlenen alandaki kapsamanın sağlanmasıdır. Konuya ilişkin olarak literatürde iki önemli husus dikkat çekmektedir. Bunlardan biri kapsamanın sağlanması, diğeri ise kapsamanın eniyilenmesidir. Bu nedenle kapsama problemleri, küme kapsama problemi ve maksimum kapsama problemi olmak üzere iki ayrı konu olarak ele alınmıştır. Küme kapsama probleminde amaç, belirlenen alanda arzu edilen kapsama seviyesini sağlayan yerleşim maliyetini minimize etmektir. Maksimum kapsama problemlerinde ise amaç, kısıtlı sayıda tesisin uygun konumlara yerleştirilerek

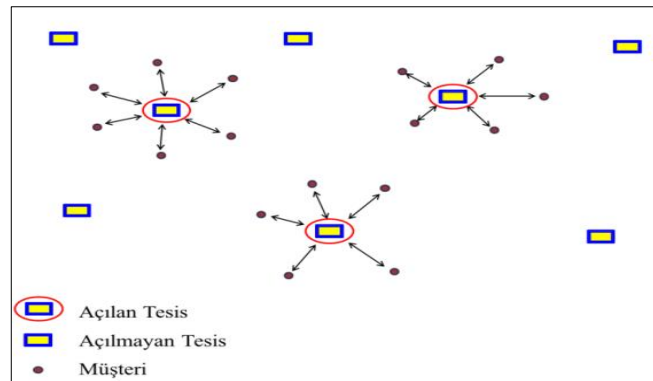
belirlenen hizmet mesafesi ve/veya süresi içinde kapsanan talep miktarını maksimize etmektir. Kapsama problemlerinin şematik gösterimi Şekil 1.2’de olduğu gibidir.



Şekil 1.2. Kapsama problemlerinin şematik gösterimi

Merkez problemleri

Küme kapsama problemlerinin uygun çözüme ulaşamaması durumunda devreye giren bir diğer model P-merkez problemleridir. P-merkez problemleri minimaks problemler olarak da bilinmektedir. P-merkez problemlerinde amaç, herhangi talep noktası ile en yakın tesis arasındaki maksimum mesafeyi minimize etmektir. P-merkez problemlerinde eğer tesis yerleri, belirlenen alan içerisindeki düğüm noktalarına konumlandırılırsa problem vertex (düğüm noktası) merkez problemi olarak tanımlanır. Tesis yerleri, belirlenen alan içerisinde herhangi bir noktaya konumlandırılırsa bu problem tam merkez problemi olarak tanımlanır.



Şekil 1.3. Merkez problemlerinin şematik gösterimi

Yukarıda anlatılan tesis yeri problemlerinde genel amaç tesislerin müşterilerin kolayca ulaşabileceği konumlara yerleştirmektir. Bununla birlikte gerçek hayata ilişkin bazı önemli çalışmalarda; havaalanı, çöp istasyonu, atık su çevrim istasyonları gibi insan sağlığı için zararlı tesislerin nüfusun yoğun olduğu bölgelerden uzak yerlere konumlandırılması ile ilgilenilmiştir. Çalışmalarda, tesis ile talep noktası arasındaki mesafeyi maksimize etmeyi amaçlayan anti-medyan modeli, tesis ile talep noktaları arasındaki minimum mesafeyi maksimize etmeyi amaçlayan anti-merkez modeli, yerleştirilen tesisler arasındaki mesafeyi maksimize eden p-dağılım modeli kullanılmıştır. Çalışmalar incelendiğinde, istenmeyen tesislerin yerleşiminde belirtilen modellerin kullanımı yeterli olsa da siyasi bir takım girdilerle bahse konu tesislerin yerleşiminde çok amaçlı modellerin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır [27-30].

1.1.1.2. Dinamik ve stokastik modeller

Dinamik yer seçimi problemleri

Yukarıda açıklanan statik ve deterministik problemler, çözümü zor problemler olsa da karar vericiyi çoğu zaman mutlak doğruya yönlendirmektedir. Ancak, yer seçimi problemleri tesis maliyetleri, kurulacak tesisin uzun süreli hizmet verecek olması, beklenen faydanın elde edilememesi durumunda tesisi yerinin değiştirilmesinde ortaya çıkacak ilave maliyetler gibi nedenlerle doğası gereği stratejik karar destek araçlarıdır. Bu nedenle geleceğe yönelik belirsizliklerin de dikkate alınması büyük önem arz etmektedir. Konuya ilişkin ilk çalışma Ballou tarafından 1968 yılında sunulmuştur [31]. Çalışmada, kar maksimizasyonu kapsamında bir deponun belirlenen bir alan içinde yerleştirilmesi üzerine çalıştı. Çözüm yaklaşımı olarak bir seri statik ve deterministik modeli uygulayarak ortaya çıkan sonuçlardan bir potansiyel “iyi yerler” kümesi oluşturdu. Sonrasında karar vericilere planlama esnasında optimum yerleri seçebilmeleri için bu kümedeki yerleri kullanarak dinamik programlama metotlarıyla bir çizelge sunmuştur. Bu çalışma, Sweeney ve Tatham’ın [32] çözüm yaklaşımıyla “iyi yerler” kümesinin genişletilmesi suretiyle geliştirilmiştir.

Son olarak Drezner ve Wesolowsky [33], öngörülebilir nüfus artışlarıyla genişleyen bir şehirde tesis yeri seçimi problemi üzerinde durmuştur. Problemde amaç, beklenen

maliyetin minimize edildiği tek bir tesisin yerleştirilmesi olarak belirlenmiştir. Yazarlar aynı zamanda tesis yerinin birkaç defa değiştirilme olasılığını da değerlendirmiştir. Bu durumda alternatif tesis yerlerinin belirlenmesinin yanı sıra değişikliğin ne zaman yapılacağı da değerlendirilmiştir.

Yukarıda açıklanan dinamik problemler tek bir amaç fonksiyonu için optimum veya optimuma en yakın sonuçları bulmaya çalışmıştır. Schilling [34] yapmış olduğu çalışmada kamu sektöründe acil sağlık servislerinin yerleştirilmesi kapsamında tesis yeri seçim problemlerine yeni bir yaklaşım getirmiştir. Yazar, çok amaçlı maksimum kapsama problemi yaklaşımıyla karar vericinin uygulama esnasında içinden seçim yapabileceği, bir iyi sonuçlar kümesi teklif etmiştir.

Bir diğer tesis yeri seçimi yaklaşımı Daskin, Hopp ve Medina [35] tarafından sunulmuştur. Yazarlar, gelecekle ilgili belirsizliklerin dinamik tesis yeri seçim problemlerini zorlaştırdığını öne sürmüştür. Çalışmalarında, belirsizlikle mücadelenin en iyi yolunun karar verme sürecini olabildiğince ertelemek ve bu süre içinde bilgi toplamaya devam ederek veri havuzunu geliştirmek olarak öngörmüşlerdir. Yazarlar çalışmada dinamik tesis yeri seçim problemlerinde amacın tesis yerini belirlemek optimum tesis yerlerini belirlemek olduğunu iddia etmiştir.

Stokastik yer seçimi problemleri

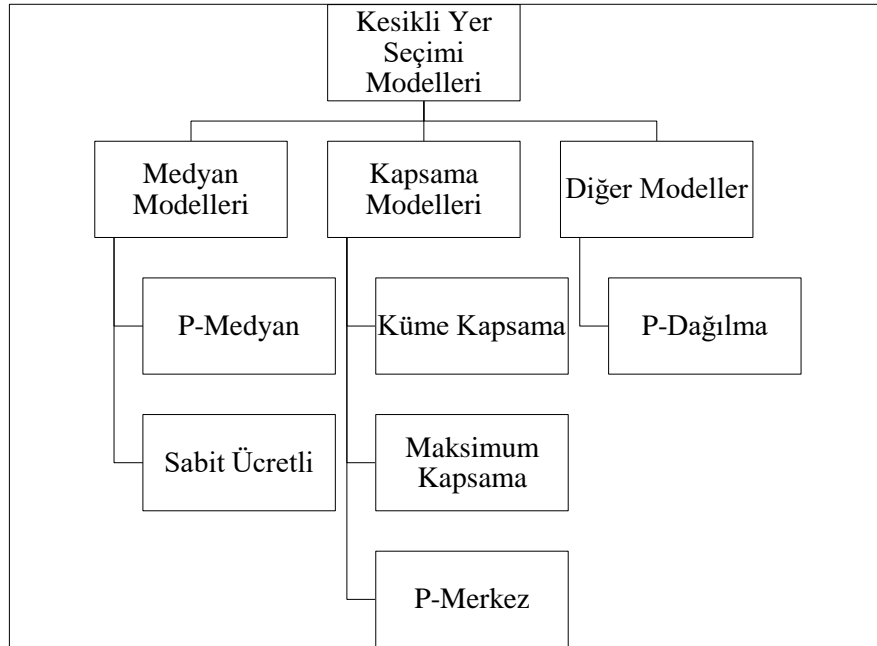
Yukarıda açıklanan dinamik modeller belirlenmiş bir zaman diliminde belirleyici verilerle en uygun veya en uyguna yakın tesis yerleşimi sunmaya çalışmaktadır. Gerçek hayata dair geleceğe yönelik olasılıksal yaklaşımları ele alan tesis yeri seçim problemleri stokastik yer seçimi problemleri olarak adlandırılmaktadır. Stokastik yer seçimi problemleri literatürde, olasılık yaklaşımı ve senaryo planlama yaklaşımı olmak üzere iki temel yaklaşımla tanımlanmıştır. Her iki yaklaşımda da ulaşım süreleri, kurulum maliyetleri, talep yerleri ve talep miktarları gibi parametreler belirsiz olarak alınabilir. Stokastik yer seçimi problemlerinde amaç gerçekleşmesi muhtemel birçok parametre altında en dirençli ve en iyi performansı sağlayacak tesis yerini belirlemektir. Olasılıksal modellerde değişkenler olasılıksal olarak modellenirken, senaryo planlama modellerinde iş çevresindeki eğilimler ve potansiyel değişiklikler dikkate alınarak oluşturulan olası değişkenler kümesi kullanılır [36].

Owen ve Daskin'in 1998 yılındaki çalışmasına ilave olarak Daskin, 2008 yılındaki çalışmasında tesis yer seçimi problemlerini buldukları uzaya göre analitik modeller, sürekli modeller, ağ modelleri ve kesikli modeller olmak üzere dört grup altında sınıflandırmıştır [37].

Analitik modeller; tesislerin belirlenen alan içinde herhangi bir yere kurulabileceği varsayılan, tesisin belirlenen alan içerisinde konumlandırılacağı yerin önemli olmaması nedeniyle basit teknikler kullanılarak çözüme ulaşılabilen modellerdir.

Ağ modelleri; sadece düğümlerden ve ayrıtlardan oluşan bir ağ üzerinde, talep noktalarının genellikle ağın düğümlerinde, kurulacak tesislerin ise hem ağın düğümlerinde hem de ayrıtlarında yer alabileceğini varsayar [37].

Daskin'in sınıflandırmasına göre yer seçimi modellerinin sonucusu kesikli yer seçimi modelleridir. Kesikli yer seçimi modellerinde talep noktaları kümesi ve tesislerin yerleştirileceği aday yerlerin kümesi bulunmaktadır. Bu tür problemler tamsayı ya da karma tamsayı programlama problemleri olarak formüle edilen NP-Zor problemlerdir. Kesikli yer seçimi modelleri, Daskin tarafından Şekil 1.4'te görüldüğü gibi özetlenmiştir.



Şekil 1.4. Daskin tarafından sunulan kesikli yer seçimi modelleri

1.1.2. Klose ve Drexl (2005)'e göre tesis yeri seçim problemlerinin sınıflandırılması

Klose ve Drexl, 2005 yılında sundukları çalışmada tesis yeri seçim problemlerini;

- Tesislerin özellikleri ve belirlenen saha üzerindeki yerleştirilmesine göre; şebeke yerleşim modeli, kesikli yerleşim modeli veya karışık tam sayılı programlama modelleri,
- Amaç fonksiyonlarına göre; toplam mesafenin minimizasyonu veya maksimum uzaklığın minimizasyonu,
- Kapasite kısıtına bağlı tek tesis ya da çok tesisli olmasına göre; sınırlı talep atamalı modeller veya sınırsız talep atamalı modeller,
- Hiyerarşik modeller (Tek aşamalı veya çok aşamalı),
- Tek ürünlü veya çok ürünlü modeller,
- Esnek talepli modeller veya sabit talepli modeller,
- Statik veya dinamik modeller,
- Olasılıksal ve deterministik modeller,
- Klasik yer seçimi veya birleşik yer seçimi/rotalama problemi modelleri olarak sınıflandırmıştır [21].

1.1.3. Arabani ve Farahani (2012)'ye göre tesis yeri seçim problemlerinin sınıflandırılması

Arabani ve Farahani 2012 yılında sundukları çalışmalarında tesis yeri seçim problemlerini Tablo 1.1'de görüldüğü gibi sınıflandırmıştır [22].

Tablo 1.1. Arabani ve Farahani tarafından sınıflandırılan tesis yeri seçim problemleri

Statik Yer Seçimi Problemleri	Sürekli Yer Seçimi Problemleri	- Tek Tesisli - Çok Tesisli
	Kesikli Yer Seçimi Problemleri	- Karesel Atma - Kuruluş
	Şebeke Yer Seçimi Problemleri	- Medyan - Kaplama - Merkez - Ana Dağıtım Üssü - Hiyerarsik
Dinamik Yer Seçimi Problemleri	- Dinamik Deterministik - Atama Problemleri - Çok Periyotlu/Tek Periyotlu - Zamana Bağımlı - Stokastik, Olasılıklı ve Bulanık	

Selahattin KARABAY, 2013 yılındaki çalışmasında literatürde yer alan farklı sınıflandırma çeşitlerine ilişkin özet bilgileri Tablo 1.2'deki gibi sunmuştur [38].

Tablo 1.2. Literatürde yer alan farklı sınıflandırma çeşitleri

SINIFLANDIRMA KONUSU	SINIFLAR	AÇIKLAMALAR
PROBLEMİN BULUNDUĞU UZAY	Sürekli Uzay	Sürekli uzaydaki modellerde tesisler sistemin herhangi bir yerine yerleştirilebilir.
	Şebeke Uzayı	Sistem bir şebeke üzerinde kuruludur. Talepler ve tesisler düğümler ya da serimler üzerinde bulunabilir.
	Kesikli Uzay	Kesikli uzaydaki sistemlerde tesisler sadece aday düğümler üzerine yerleştirilebilir.
AMAÇ FONKSİYONU	Merkez	Amaç fonksiyonu toplam ya da ortalama mesafeyi minimize etmeye çalışır.
	Ortanca	Amaç fonksiyonu en büyük mesafeyi minimize etmeye çalışır.
ÇÖZÜM METODU	En İyi Sonucu Bulan Metotlar	En iyi sonucu bulmaya çalışan algoritmalarıdır. Örn: Dal-sınır, Kesme Algoritmaları
	Sezgisel Metotlar	En iyi sonuca yaklaşık sonuç bulmaya çalışan algoritmalarıdır.
TALEP TÜRÜ	Tek Ürün	Problemde tek tip ürün mevcuttur.
	Çok Ürün	Birkaç çeşit ürün dağıtımını modelleyen problemlerdir.

Tablo 1.2. (Devam) Literatürde yer alan farklı sınıflandırma çeşitleri

SINIFLANDIRMA KONUSU	SINIFLAR	AÇIKLAMALAR
TEDARİK ZİNCİR ÇEŞİDİ	Tek Aşamalı	Üreticiler ve müşteriler arasında bir birim bulunmaz.
	Çok Aşamalı	Önce depolara, toptancılara daha sonra müşteriye ulaşır.
ZAMAN ARALIĞI	Statik	Statik modellerde tüm değişkenler aynı anda düşünülür.
	Dinamik	Farklı zaman aralıkları ele alınırken çözümün bu periyotlar için verilen değişik verilere göre değişik çözümler üretmelidir.
GİRDİ PARAMETRELERİ	Deterministik	Bu modellerde girdi verileri belirlidir.
	Stokastik	Girdi verilerinin olasılık dağılımlar gösterdiği veya belirsiz olduğu modeller bu sınıfa girer.
TESİS SAYISI	Tek	Bir tesisin sisteme yerleştirilmesi problemleridir.
	Belirli	Belirli sayıda tesisin sisteme yerleştirilmesi problemleridir.
	Belirsiz	Yerleştirilecek tesis sayısını bulan problemlerdir.
KISIT TÜRÜ	Kapasite Kısıtlı	Yerleştirilecek tesislerin kapasiteleri sınırlıdır.
	Kapasite Kısıtsız	Tek bir tesis tüm taleplere cevap verebilir.
TESİS TİPİ	İstenilen	Müşterilerin tesislere yakın olmak istedikleri problem türleridir.
	İstenilmeyen	Talep noktalarının kurulacak tesislere uzak olmasının istendiği problemlerdir.
SEKTÖR TİPİ	Kamu Sektörü	Önceliğin vatandaşlara hizmet götürmek olduğu problem tipidir.
	Özel Sektör	Önceliğin kar maksimizasyonu ya da maliyet minimizasyonudur.

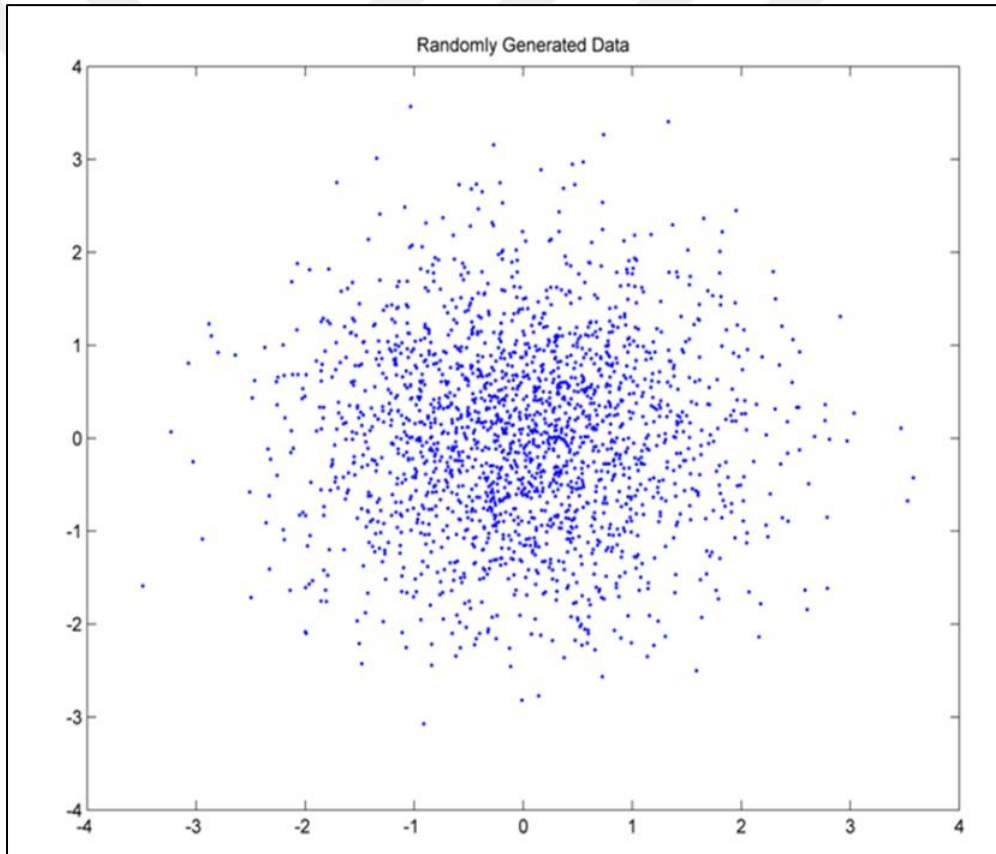
1.2. K-Means Kümeleme

Tesis yeri seçim problemlerinde, verilerin büyük çoğunluğunu mevkiler oluşturur. Ancak, problemdeki mevki sayısı arttıkça, optimizasyon modeli daha karmaşık hale geldiğinden çözüm süresi artmaktadır. Buna ilave olarak karar vericiler; büyük ölçekli veri kullanımı, veri toplama maliyeti, modelleme maliyeti, hesaplama maliyeti, gizlilik kaygıları ve istatistiksel veri belirsizliği gibi ortaya çıkan bir dizi meseleyle karşı karşıya kalmaktadır [39]. Belirtilen meselelerin üstesinden gelenebilmesi için en uygun yöntem, Fredrikson ve arkadaşları tarafından “veri gruplarını temsil eden veya özetleyen tek bir nokta” olarak ifade edilen verilerin kümelendirilmesidir [40].

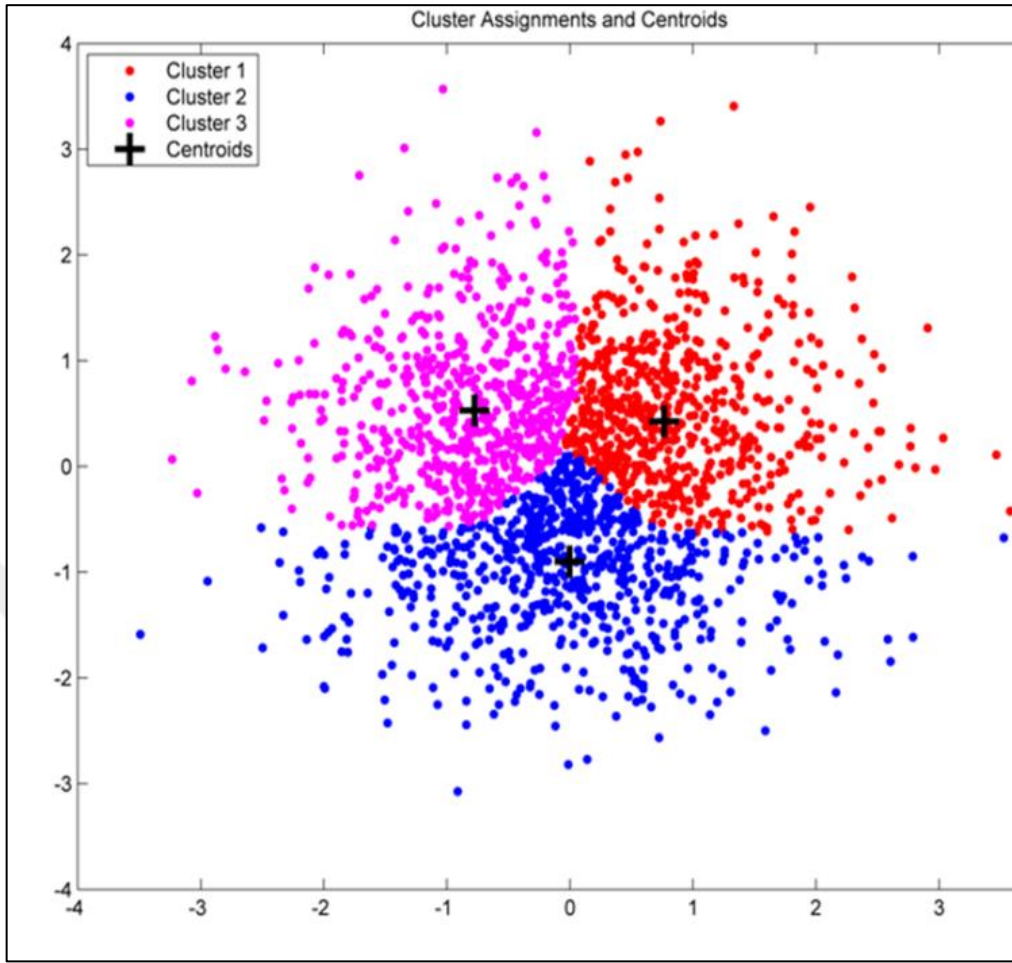
Konuya ilişkin literatür incelendiğinde, araştırmacılar tarafından birkaç kümeleme tekniği kullanıldığı görülmektedir. 50 yıldan fazla bir geçmişe sahip k-means kümeleme algoritması (k-MKA) sadeliği, verimliliği ve uygulama kolaylığı sayesinde veri kümelemede en yaygın kullanılan yöntemlerdendir [41].

Algoritma, n adet veri için küme merkezi (sentroit) olarak tanımlanan k adet merkez belirlemektedir. Algoritma aynı zamanda belirlenen küme merkezi ile o küme içindeki her nokta arasındaki karesel hatayı minimize etmektedir. Veri havuzu Şekil 1.5'te, belirlenen k adet küme ve merkezleri Şekil 1.6'da olduğu gibidir. Uygulama sürecinde k -MKA üç ana adımı izlemektedir [42]:

- İlk olarak k adet merkez tanımlanarak bu merkezlere atanacak verilerle ilk bölünme gerçekleştirilir.
- Her bir veriden küme merkezlerine alternatif yollar tespit edilerek merkezlerin mevkileri kümeler içinde yer değiştirir
- Sabit merkezler elde edilene kadar yukarıdaki adımlar tekrar uygulanır.



Şekil 1.5. K-means algoritması uygulanacak gelişigüzel oluşturulan veri



Şekil 1.6. K-means ile belirlenen 3'lü küme ($k=3$) ve ağırlık merkezleri

K-MKA'nın ana parametresi olan k adet küme farklı şekillerle tespit edilebilir. Tibshirani ve arkadaşları [43] küme sayısını tespit etmek için sezgisel bir yöntem geliştirirken, Kodinariya ve Makwana [44] araştırmalarında deney kuralı, dirsek kuralı, bilgi kriteri yaklaşımı, teorik bilgi yaklaşımı, silüet ve çapraz onayı adı verilen altı yaklaşım ile küme sayısını tespit etmiştir. Hangi metodla belirlenmiş olmasına bakılmaksızın algoritma her bir k değeri için ayrı ayrı koşturulmaktadır [41].

Kümelerin oluşturulmasında veri havuzundaki benzer özelliklere sahip verilerin gruplandırılması esas alınmaktadır. Nemes ve arkadaşları [45] sunmuş oldukları çalışmalarında Brezilya'daki AIDS kliniklerinin performansını değerlendirmiştir. İnceleme aşamasında kliniklerde verilen hizmet kalitesine ilişkin uyguladıkları 27 soruluk anket sonuçlarına göre k-means algoritması kullanarak klinikleri "Çok iyi", "İyi", "Kötü" ve "Çok kötü" olmak üzere dört grupta sınıflandırmışlardır. Liao ve

Guo [46] kapasite kısıtlı tesis yeri seçim problemi için kümeleme tabanlı bir metod geliştirmişlerdir. Çalışmada, ilk olarak minimum maliyetli yerleşim planı belirlenmiş sonrasında kendi arasında ağırlıklandırılan talepler ile bu taleplerin ilişkilendirildiği tesisler arasındaki mesafeyi minimize ederek açılacak tesislerin belirlendiği k-means kümeleme tabanlı iteratif bir optimizasyon modeli sunulmuştur. Ayrıca sunulan metod genetik algoritma ile karşılaştırılarak daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Li ve arkadaşları [47] araştırmalarında çoklu ürün akışını sağlayacak aktarma merkezlerinin mevkilerini belirlemek üzere kümeleme tabanlı dağılım arama yöntemi geliştirmişlerdir. Yöntemlerinde ilk sonuçları elde etmek üzere k-means algoritmasını kullanmışlardır.

Başka bir uygulamada Esnaf ve Küçükdeniz [48] çok tesisli yerleşim problemi için bulanık kümeleme tabanlı hibrid bir yaklaşım sunmuşlardır. Yöntemlerinde çoklu tesis yerleşimini tek tesis yerleşimine dönüştürebilmek amacıyla talep noktalarını kümeleme analizi uygulayarak gruplandırmışlardır.

2. MAKSİMUM KAPSAMA PROBLEMLERİ

Yer seçimi problemlerine ilişkin çalışmalarda kapsama problemlerinin önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni gerçek hayatta karşımıza çıkan özellikle hizmet sektörü ve acil yardım gibi konularda uygulanabilir olmasıdır.

Örneğin, itfaiye, ambulans veya doğalgaz acil araçları gibi acil hizmet araçlarının bir şehir içinde konumlandırılmasında, talebin en kısa sürede görülmesi hayati önemi haiz olduğundan, bir maksimum makul hareket mesafesinin ya da süresinin tespit edilmesi gerekir. Burada en önemli hedef, kapsamadır [13].

Kapsama problemlerinde müşterilerin taleplerinin karşılanabilmesi için en önemli kısıt süredir. Talebin karşılanma süresi vakanın içeriğine bağlı olarak belirlenecek kritik bir mesafeye göre değişir. Vakada talep noktası ile kurulacak tesis arasındaki mesafenin tespit edilen kritik mesafeye eşit ya da bu mesafeden küçük olması hedeflenir. Tespit edilen kritik mesafe, kapsama mesafesi ya da kapsama çapı olarak adlandırılır [49].

Kapsama problemleri iki ana amaç doğrultusunda sınıflandırılmaktadır. Birincisi, hedef olarak belirlenen alandaki tüm taleplerin karşılanabilmesi maksadıyla tesis sayısını tespit ederek bu tesislerin uygun konumlara yerleştirildiği küme kapsama problemleridir. İkincisi ise tesis sayısının kısıtlı olması durumunda belirlenen alandaki taleplerin maksimum seviyede karşılanmaya çalışıldığı maksimum kapsama problemleridir.

Taleplerin tamamının karşılanmaya çalışıldığı küme kapsama problemlerinde taleplerin belirlenen alandaki dağılımı açılması gereken tesis sayısını etkilemektedir. Taleplerin çok dağınık bir şekilde konumlanması belirlenen kritik mesafe dikkate alındığında kurulacak tesis sayısının artmasına neden olmaktadır. Tesis sayısındaki artış da özellikle bütçeyi olumsuz etkilemektedir. Ayrıca açılacak tesisler tarafından karşılanacak hizmet oranlarındaki farklılıklar tesis kapasitelerini etkilemektedir. Örneğin müşterilerin %80'ini 20 tesis ile kapsayabiliyorken %100'ünü

kapsayabilmek için 50 tesise ihtiyaç olabilmektedir. Açılan 20 tesisle müşterilerin %80'ine hizmet verilirken 30 tesisle müşterilerin sadece %20'sine hizmet verilerek kapasite açısından da orantısızlık ortaya çıkabilmektedir [17].

Gerçek hayatta karar vericiler, arzu edilen kapsama seviyesine ulaşabilmek maksadıyla ihtiyaç duyulan tesisleri kurabilmek için gerekli olan kaynakların yeterli olmaması ile karşı karşıya kalırlar. Bu gibi durumlarda belirlenen kapsama mesafesi içinde maksimum sayıda müşteriye ulaşmak hedefleneceğinden yer seçimi modelinde amaç değiştirilmelidir. Bu yeni amaçla kapsama problemi maksimum kapsama problemi olarak değerlendirilir. Maksimum kapsama modeli ilk olarak 1976 yılında R.L. Church ve C.S. ReVelle tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu modelde amaç, kısıtlı sayıda tesisle belirlenen hizmet mesafesi içinde hizmet sunulan müşteri sayısını maksimize etmektir [23]. Bu problemde, müşterilerin tamamına ulaşmak yerine, eldeki kısıtlı kaynaklarının maksimum seviyede kullanılarak tesislerin yerleşiminin sağlanmasını hedeflenmektedir [28].

Literatürde çalışılan birçok küme kapsama probleminde tesisler kapasitesiz olarak düşünülmüştür. Ancak gerçek yaşam problemlerinde tesislerin kapasiteleri mevcuttur [49]. Current ve Storbeck 1988 yılındaki çalışmalarında kapsama problemlerine tesis kapasite kısıtını da eklemiş ve kapasite kısıtlı küme kapsama tesis yeri seçim problemi ile kapasite kısıtlı maksimum kapsama problemini oluşturmuşlardır [50].

ReVelle ve Hogan 1989 yılındaki çalışmalarında maksimum kapsama problemlerini olasılıksal bir temele dayandırmış ve problemi maksimum uygun yer seçimi şeklinde tanımlamıştır. Bu çalışmada yazarlar α olasılığı ile maksimum kapsamayı sağlayacak şekilde p adet tesisi yerleştirmeyi amaçlamışlardır [51]. Maksimum kapsama problemlerindeki en önemli varsayımlardan biri kapsama mesafe içerisinde bir talep noktası varsa bu talep noktasının tamamıyla kapsanmasıdır. Ancak bazı gerçek yaşam uygulamalarında bu varsayım, kapsamanın tesis ile müşteri arasındaki mesafeye bağlı olarak azalan bir yapıda olacak şekilde gevşeyebilir. Bu durumda problem kısmi kapsama problemi olarak adlandırılır [50].

Jia ve arkadaşları 2007 yılındaki çalışmalarında, Los Angeles şehrinde gerçekleşebilecek deprem veya terörist saldırılar gibi büyük çaplı acil durumlar için bir model geliştirmişlerdir. Yazarlar bu problemin çözümü için farklı yer seçimi

modelleri kullanmışlardır. Kullandıkları modellerden bir tanesi de ortaya çıkan yardım ihtiyacını maksimum seviyede büyük oranda kapsayacak ve kapsamanın kalitesini eniyileyecek iki amaçlı maksimum kapsama problemi modelidir [52].

Berman ve arkadaşları 2013 yılında yaptıkları çalışmada kontrol edilemeyen olaylar nedeniyle tesis ve hizmet noktası arasındaki mesafenin kat edilme süresinin değişiklik gösterdiğini ve bu durumun problemlerde dikkate alınmasının gerekliliğini ifade etmişlerdir. Yazarlar bu çalışmada farklı çözümleri içeren, ulaşım zamanı belirsiz bir ağ üzerinde maksimum kapsama problemi çalışmışlardır. Yazarlar önerdikleri modeli Toronto şehrindeki yangın istasyonları için uygulamışlar ve mevcut yerleşimin ideal çözümden oldukça farklı olduğunu tespit etmişlerdir [53].

Küme kapsama problemlerinde, müşterilerin tamamını kapsayacak şekilde kaç tesise ihtiyaç olduğu incelenir. Gerçek hayatta karar vericiler çoğu zaman istenen kapsama düzeylerine ulaşabilmek üzere kurulması öngörülen tesisler için ayrılan kaynakların yetersizliği ile karşı karşıya kalırlar. Bu durumda, kurulabilecek maksimum sayıdaki tesis ile kapsama uzaklığındaki mümkün olan en çok müşteriye ulaşmak hedefleneceğinden, tesis yeri seçim probleminin amacı değişmektedir. Bu yeni amaç, maksimum kapsama probleminin amacıdır. Maksimum kapsama problemi ilk olarak Church ve ReVelle tarafından ortaya atılmıştır [23].

Maksimum kapsama problemi sabit sayıda tesis yerleştirerek, makul hizmet uzaklığı D_c içinde kapsanan talep miktarını en büyük yapmayı amaçlar. Bu problemin formülasyonu aşağıdaki ek karar değişkenlerine ihtiyaç duyar:

$$z_i = \begin{cases} 1, & i \text{ talebi kapsanıyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Küme kapsama probleminde tanımlanan gösterimler ile bu değişkenleri birleştirirsek maksimum kapsama probleminin formülasyonu,

$$\max \sum_{i \in I} h_i z_i \quad (2.1)$$

$$z_i \leq \sum_{j \in N_i} x_j \quad \forall i \in I \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in J} x_j \leq p \quad (2.3)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (2.4)$$

$$z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (2.5)$$

şeklinde elde edilir.

Burada, I talep düğümlerinin kümesi; J aday yerlerin kümesi, p yerleştirilecek tesislerin sayısı ve h_i , i . düğümdeki talep miktarıdır. N_i ise, i talep düğümünü kapsayabilen tüm aday yerlerin kümesidir. Denklem (2.1) amaç fonksiyonu, kapsanan talep miktarını en büyükmektedir. Denklem (2.2) kısıtı, makul hizmet uzaklığı içinde hangi talep noktalarının kapsanacağını belirler. Denklem (2.3) kısıtı, yerleştirilecek tesislerin sayısını p ile sınırlar. Denklem (2.4) ve Denklem (2.5) kısıtları bütünlük kısıtlarıdır.

Küme kapsama ve maksimum kapsama problemlerinin her ikisi de formülasyonlarında bir sonlu olası tesis yerleri kümesi varsayar. Tipik olarak, olası yerlerin kümesi, ağ üzerindeki talep düğümlerinin bazılarını içerir.

En iyiliği garantilemek için gerekli olası yerlerin sayısı genellikle talep düğümlerinin sayısından çok daha fazladır. Böyle problemlerin formüle edilmesinde çoğunlukla eklenmiş ağlar kullanılır [13].

Adenso-Diaz and Rodriguez 1997 yılında İspanya'da 500.000 kişinin yaşadığı 213 şehir için 25 ambulans yer seçimi uygulamasını bir maksimum kapsama problemi olarak modelleyip tabu arama yöntemi kullanarak çözmüşlerdir [54]. 25 dakika içinde nüfusun yaklaşık %99,5'ini kapsayan sonuçlar elde etmişlerdir.

Galvao ve arkadaşları 2000 yılında maksimum kapsama yer seçimi probleminin çözümü için bir Lagrange sezgiseli ile bir yedek (surrogate) gevşetmesini kullanarak elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır [55].

3. KOCAELİ İLİNDE OLASI BİR DOĞAL AFET SONRASI DOĞALGAZ KRİZ MASASI YERLEŞİM OPTİMİZASYONU PROBLEMİ

Kocaeli ilinde doğalgaz dağıtımından sorumlu şirket tarafından olası bir doğal afet durumunda acil duruma süratle müdahale etmek ve il genelinde yaşamın normalleştirilmesi sürecine katkı sağlamak üzere görevlendirilen doğalgaz acil ekiplerine yardımcı olmak ve müşterilerin problemlerine çözüm üretebilmek maksadıyla kriz masalarının oluşturulması ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Halihazırda Kocaeli genelinde 310.000 civarında gaz kullanıcısı bulunmaktadır. Doğal afetlerin doğası gereği şirketin yaşayabileceği olası personel zafiyeti de dikkate alınarak hassas bir planlamayla, müşterilerin büyük bir bölümüne ulaşabilecek şekilde optimum sayıda kriz masası oluşturulması hedeflenmektedir.

Şirket üst yönetimiyle yapılan toplantılar neticesinde her bir kriz masasında ortalama üç kişi görevlendirilerek toplamda 10-15 adet kriz masasının tesis edilebileceği değerlendirilmiştir. Kriz masalarının tesis edilebileceği yerlerin tespiti için en yüksek saha bilgisine sahip ve müşterilerle bire bir ilişkiye giren 40 kişilik sayaç okuma ekibiyle çalışılmıştır. Aday mevkiler belirlenirken müşterilerin bildiği ve kolayca ulaşabileceği, aynı zamanda doğal afetten etkilenmeyecek yerler dikkate alınmıştır. Kaplamanın maksimize edilebileceği coğrafi konuma göre mevki seçimi yerine gerçekçi bir yaklaşımla müşteriler tarafından bilinen gerçek yerler belirlenerek yapılan çalışmalar neticesinde 38 aday mevki tespit edilmiştir. Problemin amacı, belirlenen kısıtlara göre bu aday mevkiler arasından donatılabileceği şirket tarafından beyan edilen 10-15 kriz masasının en iyi mevkilere yerleştirilmesidir.

3.1. Problem Formülasyonu

3.1.1. Varsayımlar ve problem verisi

Doğalgaz dağıtım şirketi tarafından müşteriler; konut, ticari ve endüstriyel olmak üzere üç tipte sınıflandırılmıştır.

Konut tipi müşteriler- Ev, apartman daireleri ve yurtlar,

Ticari tip müşteriler- Tamirhaneler, depolar, fırınlar, AVM'ler, lokantalar, benzin istasyonları, oteller, dükkanlar, kongre merkezleri, vs.,

Endüstriyel tip müşteriler- Kendi elektriğini doğalgazla üreten fabrikalar ve petrol rafineri tesisleri olarak belirlenmiştir.

Müşteri tipleri kümesi $K = \{1: \text{konut}, 2: \text{ticari}, 3: \text{endüstriyel}\}$, $k \in K$ ve talep noktalarının sayısı tip k için n_k olarak tanımlanmıştır. Şirketin haritalandırma bölümüyle yapılan çalışmalar neticesinde aynı konumda bulunan apartman ve toplu konutlar dikkate alınarak 310.000 gaz kullanıcısı için 82.816 talep noktası belirlenmiştir. Talep noktalarının 76,355'i ($\approx 92\%$) konut, 4,526'i ($\approx 6\%$) ticari ve 1,935'i ($\approx 2\%$) endüstriyel müşterilerden oluşmaktadır.

Her bir talep noktası ile belirlenen aday mevkiler arasındaki mesafeler dikkate alındığında veri havuzunun oldukça genişleyeceği, bu nedenle matematiksel modelin yavaşlayacağı öngörüldüğünden talep noktalarına kümeleme uygulanması ve ortaya çıkacak kümelerin ağırlık merkezlerinin talep noktalarını temsil etmesine karar verilmiştir. Coğrafi mevkilere yönelik kümeleme için en çok kullanılan tekniklerden biri MacQueen tarafından 1967 yılında literatüre kazandırılan k -means kümeleme algoritmasıdır [56].

K -means kümeleme algoritması, her bir veri ile o verinin ağırlık merkezi arasındaki mesafeyi minimize edecek şekilde n adet verinin temsil edildiği k adet ağırlık merkezini tespit etmektedir. Ağırlık merkezi sayısı ise deney kuralıyla belirlenmektedir. Her türlü veri kümesi için uygun olan bu yöntemde n adet veri için ağırlık merkezlerinin sayısı $k \approx \sqrt{n / 2}$ formülüyle hesaplanmaktadır [44].

Problemimizde her müşteri tipi için ayrı ayrı K -means kümeleme algoritması uygulanmıştır. K tipi müşteri için ağırlık merkezleri kümesi $j \in J_k$ olarak ifade edilmektedir. Deney kuralı kullanılarak $|J_k| \approx \sqrt{n_k / 2}, \forall k \in K$ formülüyle konut tipi müşteriler için 195, ticari müşteriler için 48 ve endüstriyel müşteriler için 31 ağırlık merkezi tespit edilmiştir.

Doğal afet sonrası yaşanabilecek ekonomik, çevresel veya insani kayıplar nitelik bakımından müşteri tipleri arasında bir ağırlıklandırmayı gerekli kılmaktadır. Bu nedenle kriz masalarının tespitinde müşteri tipleri arasında bir önceliklendirme yapmak önem arz etmektedir.

Alan uzmanları ve şirket üst yönetimiyle yapılan değerlendirme toplantıları neticesinde k tipi müşteri için w_k ağırlığı $w_1 = 0,1$, $w_2 = 0,2$, $w_3 = 1,0$ olarak belirlenmiştir. Ağırlık merkezleri j, ağırlık merkezlerine atanan müşteri sayısı λ_j olarak sembolize edildiğinde j ağırlık merkezi için toplam ağırlığın formülasyonu $W_j = \lambda_j w_k, \forall j \in J_k, k \in K$ olarak ifade edilmektedir.

Şirket yetkilileri ile yapılan toplantılar neticesinde toplam 38 mevki kriz masalarının kurulabileceği aday mevkiler olarak tespit edilmiştir. Aday mevkiler belirlenirken müşterilerin bildiği ve kolayca ulaşabileceği, aynı zamanda doğal afetten etkilenmeyecek yerler dikkate alınmıştır. Aktive edilecek kriz masalarının sayısı şirket yetkilileri tarafından tam olarak beyan edilemese de doğal afet sonrası olası personel zafiyeti de dikkate alınarak 10-15 adet kriz masasının tesis edilebileceği değerlendirilmiştir. Çalışmamızın çözüm yaklaşımında tesis edilecek kriz masası sayısındaki belirsizliği netleştirebilmek amacıyla karar vericilere, ilave açılacak her bir kriz masasıyla elde edilecek marjinal ilerleme sunulmuştur.

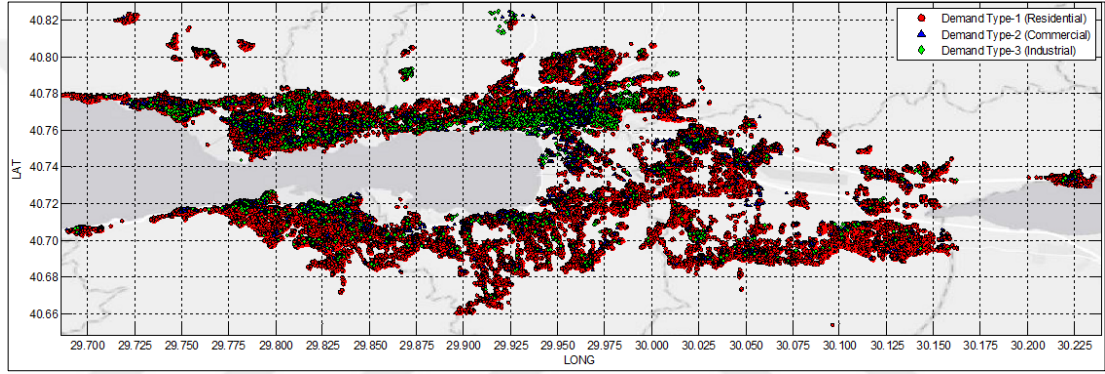
Çalışmamızda “kritik müdahale alanı” yaklaşımı benimsenmiştir. Kritik müdahale alanı, oluşturulacak kriz masaları merkezli belirlenecek k tipi müşteri için önceden belirlenmiş r_k yarıçaplı dairedir. Oluşturduğumuz modelin amaçlarından biri de kritik müdahale alanı içindeki ağırlık merkezi sayını maksimize etmektir. Burada amaçlanan istenmeyen büyük bir kaybın önüne geçmek üzere acil müdahale gerektiren talep noktalarına en kısa süre içerisinde müdahale etmektir. Müşteri tipine göre kritik müdahale yarıçapları $r_1=6$ km, $r_2=4$ km ve $r_3=2$ km olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.1’de kriz masalarının tesisi problemimizdeki anahtar parametreler olan müşteri (talep) sayıları, ağırlık merkezi sayıları, ağırlık merkezleri için belirlenen ağırlıklar ve kritik müdahale yarıçapları sunulmuştur.

Tablo 3.1. Anahtar parametreler ve müşteri tipleri için aldıkları değerler

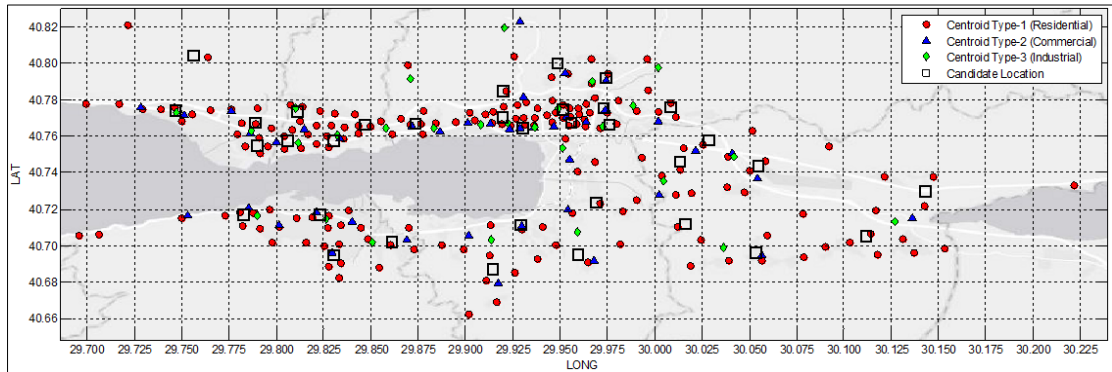
K	n_k	$ J_k $	W_k	r_k
1: Konut Tipi	76355	195	0,1	6
2: Ticari	4526	48	0,2	4
3: Endüstriyel	1935	31	1,0	2

Şekil 3.1’de talep noktası olarak Kocaeli ilinde bulunan doğalgaz kullanıcılarının mevkileri sunulmuştur. Müşteri Tipi 1, 2 ve 3 ‘●’, ‘▲’ ve ‘◆’ olarak sembolize edilmiştir.



Şekil 3.1. Gerçek talep yerleri

Şekil 3.2.’de kriz masaları için aday noktaları ve talep noktaları için belirlenen ağırlık merkezleri sunulmuştur. Ağırlık Merkezi 1, 2 ve 3 ‘●’, ‘▲’ ve ‘◆’ olarak, kriz masaları için aday noktaları ‘□’ olarak sembolize edilmiştir.



Şekil 3.2. Ağırlık merkezleri ve aday kriz masası mevkileri

3.1.2. Matematik modeli

Talep noktalarını ağırlıklandırarak gerçek talep noktalarını belirlenen ağırlık merkezlerine toplam suretiyle problemin amacı kapsanan toplam ağırlıklı ağırlık merkezlerinin sayısını maksimize etmek olarak tanımlanmıştır.

Kümeler ve indisler:

$i \in I$: Aday Kriz Masası mevkileri kümesi.

$k \in K$: Talep tipleri kümesi.

$j \in J$: Ağırlık merkezleri kümesi.

$J_k \subset J$: k tipi talep için ağırlık merkezleri kümesi.

Parametreler:

$|I|$ = Aday kriz masaları mevkilerinin sayısı.

$|J_k|$ = k tipi talep için ağırlık merkezlerinin sayısı.

m = Kurulacak tesis sayısı.

W_j = Ağırlık merkezi j için belirlenen ağırlık.

$d_{i,j}$ = i ve j mevkileri arasındaki mesafe.

r_k = k tipi ağırlık merkezi için kritik müdahale yarıçapı.

Karar Değişkenleri:

$$y_i = \begin{cases} 1, & i \text{ mevkine kriz masası yerleştirilirse} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$c_j = \begin{cases} 1, & j \text{ ağırlık merkezi bir kriz masasına atanırsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Amaç fonksiyonu ve kısıtlar aşağıda sunulmuştur. Yukarıda belirlenen karar değişkenlerine ilave olarak maksimum kapsama probleminin formülasyonu için

$N_j = \{i \in I \mid d_{ij} \leq r_k\}, \forall k \in K, j \in J_k$ ilave veri seti olarak belirlenmiştir.

$$\max z_{MCLP} = \sum_{j \in J} W_j c_j \quad (3.1)$$

$$\sum_{i \in I} y_i \leq m \quad (3.2)$$

$$\sum_{i \in N_j} y_i \geq c_j, \forall j \in J \quad (3.3)$$

$$c_j, y_i \in \{0,1\}, \forall i \in I, j \in J \quad (3.4)$$

Denklem (3.1) amaç fonksiyonu kapsanan toplam ağırlıklı ağırlık merkezlerinin sayısını maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Denklem (3.2) kısıtı kriz masası sayısının m adetten fazla olmamasını sağlar. Denklem (3.3) kısıtı k tipi ağırlık merkezinin r_k yarıçaplı kritik müdahale alanı içinde en az 1 kriz masası yer alması halinde kapsandığını ifade eder. Son olarak Denklem (3.4) kısıtı değişken uzayını belirler.

3.1.3. Sayısal sonuçlar

Bu bölümde Kocaeli ili genelinde yerleştirilecek kriz masalarının tespitine yönelik problemimizin sonuçları açıklanacaktır. Problemin çözümünde CPLEX 12.2.0.2 kullanılmıştır.

Şirket yetkilileri tarafından 10-15 kriz masasının kurulabileceği öngörüldüğünden problemimizde 1 kriz masasından 15 kriz masasına kadar tüm alternatifli çözümler ele alınmış ve ilave edilen her bir kriz masası için amaç fonksiyonu değerlerindeki marjinal ilerleme ölçülmüştür. Tablo 3.2.'de 1 kriz masasından 15 kriz masasına kadar açılacak kriz masası sayısına göre çözümler sunulmuş, çözümlere göre aday noktaların tercih edilme frekansı ayrıca belirtilmiştir.

Tablo 3.2. Açılacak kriz masası sayısına göre çözümler

Aday Yer	Açılacak Kriz Masası Adedi															Frekans
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	5
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
10	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
11	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	6
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3
13	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2
17	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
21	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
22	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2

Tablo 3.2. (Devam) Açılacak kriz masası sayısına göre çözümler

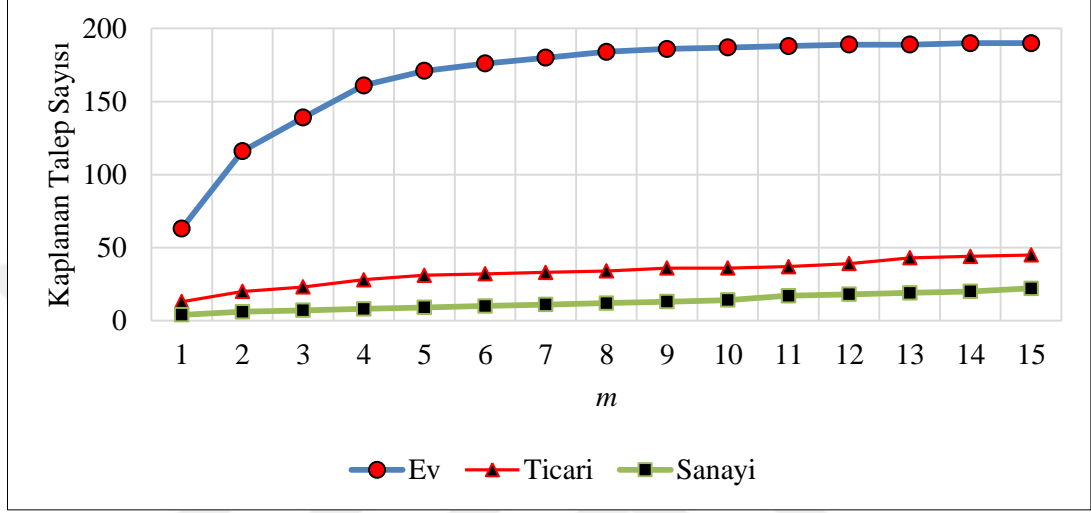
Aday Yer	Açılacak Kriz Masası Adedi															Frekans
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
29	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	6
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Açılacak kriz masası sayısına göre ulaşılan sonuçlar ve sonuçlara göre marjinal artış yüzdesi Tablo 3.3'te olduğu gibidir. Açılan ilk kriz masalarıyla çok ciddi bir marjinal artış gözlemlenirken özellikle 10'uncu kriz masasından itibaren ulaşılan marjinal artışın çok azalmaya başladığı görülmektedir.

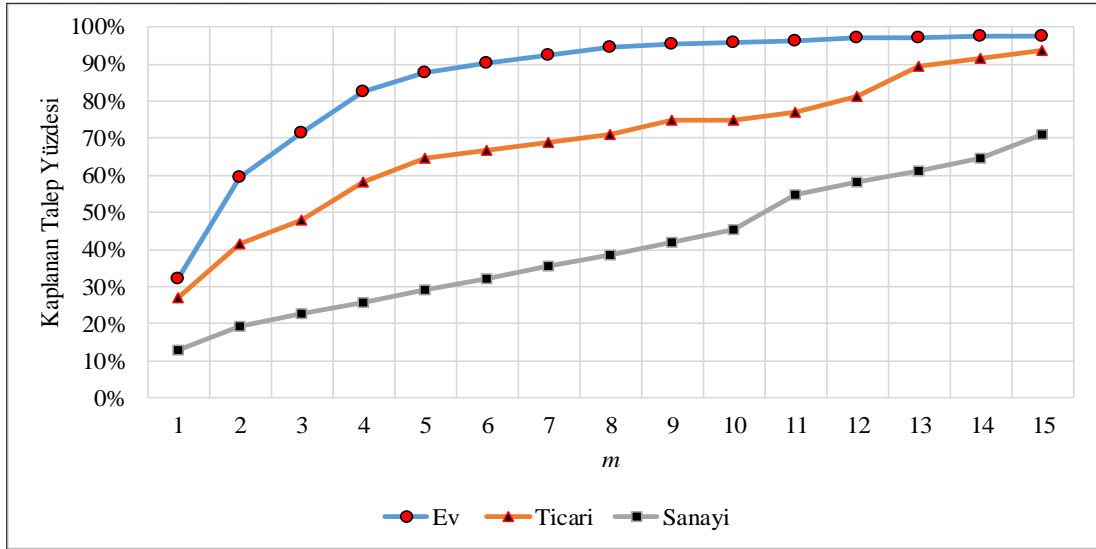
Tablo 3.3. Ulaşılan sonuçlara göre marjinal artış yüzdesi

Kriz Masası Sayısı	Kaplanan Talep Sayısı			Z _{MCLP}	Marjinal Artış (%)
	Konut Tipi	Ticari	Sanayi		
1	63	13	4	3063	-
2	116	20	6	5450	77.95
3	139	23	7	6630	21.65
4	161	28	8	7544	13.78
5	171	31	9	8143	7.94
6	176	32	10	8441	3.67
7	180	33	11	8710	3.19
8	184	34	12	8940	2.64
9	186	36	13	9154	2.39
10	187	36	14	9341	2.04
11	188	37	17	9516	1.87
12	189	39	18	9635	1.25
13	189	43	19	9749	1.18
14	190	44	20	9842	0.96
15	190	45	22	9932	0.92

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te, her tip müşteri için kaplanan talep sayısı ve kaplanan talep yüzdesi gösterilmiştir. Şekillerde de görüleceği üzere açılan kriz masası sayısı artmaya devam ettikçe kaplanan talep sayısının da artmaya devam ettiği görülmektedir. Ancak kriz masasında belli bir sayıya ulaşıldıktan sonra kaplanan talep sayısındaki artışın azaldığı görülmektedir.



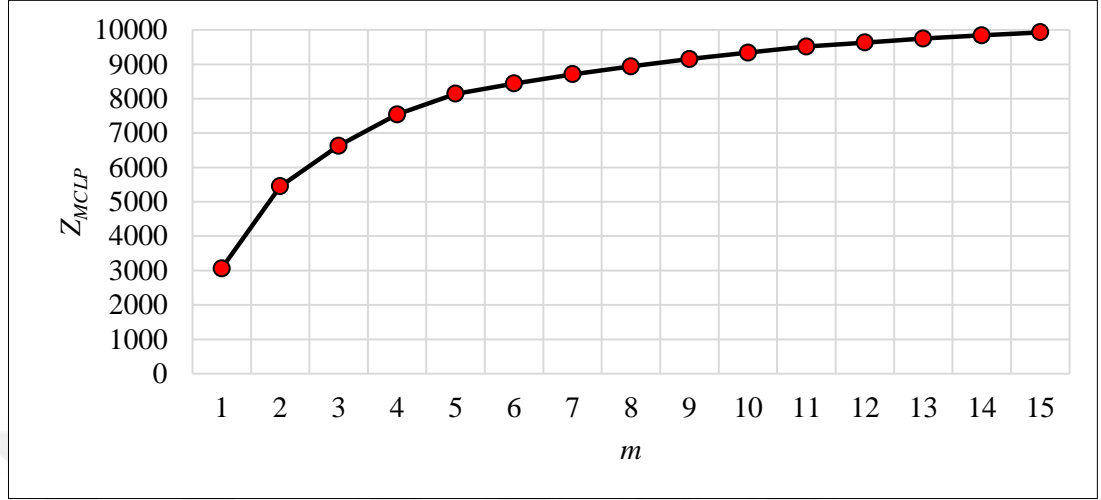
Şekil 3.3. Müşteri tiplerine göre kapsanan talep sayısı



Şekil 3.4. Müşteri tiplerine göre açılacak her bir kriz masası için ulaşılan kapsama yüzdesi

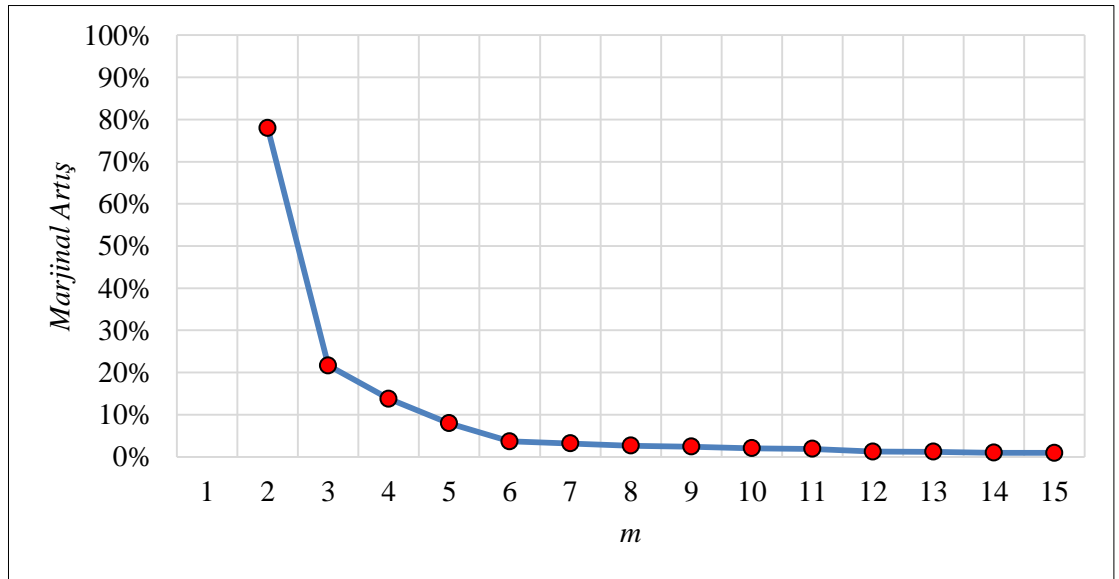
Şekil 3.5'te de açılan her ilave kriz masası için elde edilen amaç fonksiyonu değerleri görülmektedir. Yine bu şekilden de anlaşılacağı üzere özellikle 10'uncu kriz masasına kadar yüksek bir ivmeyle devam eden amaç fonksiyonundaki değer artışı,

bu sayıdan sonra artmaya devam etse de artıştaki ivemenin oldukça azaldığı görülmektedir.



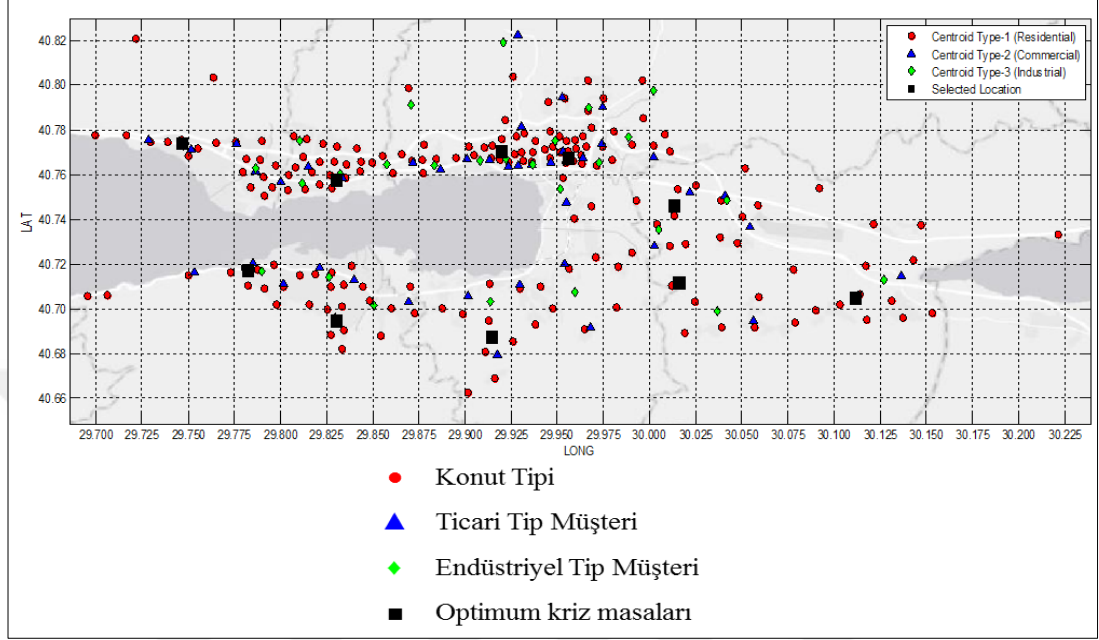
Şekil 3.5. MCLP amaç fonksiyonunun m = 1,2,...,15 için aldığı değerler

Şekil 3.6'da, açılan tesis sayısının artırılması ile amaç fonksiyonundaki majinal artış miktarı yüzde olarak gösterilmektedir. Bu artış $(z_{MCLP}^{m+1} - z_{MCLP}^m) / z_{MCLP}^m$ formülü ile hesaplanmaktadır. z_{MCLP}^m ve z_{MCLP}^{m+1} değerleri sırası ile m ve m+1 tesis için elde edilen amaç fonksiyonu değerlerini belirtmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde özellikle m > 10'dan itibaren amaç fonksiyonundaki majinal artışın oldukça azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.6. MCLP amaç fonksiyonunun m = 1,2,...,15 için marjinal artışları

Yapılan analizler neticesinde optimum sonuç olduğu değerlendirilen 10 adet kriz masasının tesis edileceği mevkiler ile kümeleme sonucuna göre elde edilen talep noktaları Şekil 3.7’de olduğu gibidir.



Şekil 3.7. 10 adet kriz masası için optimum mevkiler ile talep tiplerine göre küme merkezleri

3.1.4. Duyarlılık analizi

Bu bölümde açılacak 10 kriz masası için talep noktalarına atanacak ağırlık değerlerine yapılacak değişikliklerle kapsanacak talep noktaları ve amaç fonksiyonundaki değişikliklere ilişkin sonuçlar analiz edilmiştir. Oluşturulan tüm kombinasyonlar $w_1 \leq w_2 \leq w_3$ eşitliğini sağlayacak ve $w_1, w_2 \in \{0,1,0,2,\dots,1\}$, $w_3 = 1$ olacak şekilde tanımlanarak toplam 55 senaryo test edilmiştir. Her ağırlık kombinasyonu için kaplanan talep noktası sayısı ve elde edilen amaç fonksiyonu değeri Tablo 3.4’te özetlenmiştir. Sonrasında her bir kombinasyonda açılacak kriz masaları tekrar değerlendirilerek kriz masalarının açılış yoğunluğuna göre açılış frekansı belirlenecektir. Burada ağırlıklandırmanın talep noktalarına göre değişiklik arz etmesinin ve talep noktaları olarak belirlenen müşteri tipleri arasında bir önceliklendirme yapılmasının nedeni, olası bir doğal afet durumunda oluşabilecek patlama, yıkım, vb. olumsuz durumun yaratacağı etkidir.

Tablo 3.4. Duyarlılık analizi sonuçları (tüm ağırlık kombinasyonları için elde edilen kaplanan talep noktası sayıları ve amaç fonksiyonu değerleri)

Case #	w ₁	w ₂	w ₃	Kapsanan Küme Merkezleri Sayısı			Z _{MCLP}
				Konut Tipi	Ticari	Endüstriyel	
1	0,1	0,1	1	187	36	14	8971
2	0,1	0,2	1	187	36	14	9341
3	0,1	0,3	1	189	37	14	9717
4	0,1	0,4	1	188	41	14	10108
5	0,1	0,5	1	188	41	14	10518
6	0,1	0,6	1	188	41	14	10927
7	0,1	0,7	1	188	42	14	11342
8	0,1	0,8	1	188	42	14	11763
9	0,1	0,9	1	188	42	14	12183
10	0,1	1	1	188	42	14	12604
11	0,2	0,2	1	189	37	14	16815
12	0,2	0,3	1	189	37	14	17191
13	0,2	0,4	1	189	37	14	17568
14	0,2	0,5	1	189	37	14	17945
15	0,2	0,6	1	188	41	14	18351
16	0,2	0,7	1	188	42	14	18766
17	0,2	0,8	1	188	42	14	19187
18	0,2	0,9	1	188	42	14	19607
19	0,2	1	1	188	42	14	20028
20	0,3	0,3	1	189	37	14	24666
21	0,3	0,4	1	189	37	14	25043
22	0,3	0,5	1	189	37	14	25419
23	0,3	0,6	1	189	40	14	25823
24	0,3	0,7	1	189	40	14	26234

Tablo 3.4. (Devam) Duyarlılık analizi sonuçları (Tüm ağırlık kombinasyonları için elde edilen kaplanan talep noktası sayıları ve amaç fonksiyonu değerleri)

Case #	w ₁	w ₂	w ₃	Kapsanan Küme Merkezleri Sayısı			Z _{MCLP}
				Konut Tipi	Ticari	Endüstriyel	
25	0,3	0,8	1	189	40	14	26645
26	0,3	0,9	1	189	40	14	27056
27	0,3	1	1	189	40	14	27467
28	0,4	0,4	1	189	37	14	32517
29	0,4	0,5	1	189	37	14	32894
30	0,4	0,6	1	189	40	14	33297
31	0,4	0,7	1	189	40	14	33708
32	0,4	0,8	1	189	40	14	34119
33	0,4	0,9	1	189	40	14	34530
34	0,4	1	1	189	40	14	34941
35	0,5	0,5	1	189	37	14	40369
36	0,5	0,6	1	189	40	14	40772
37	0,5	0,7	1	189	40	14	41183
38	0,5	0,8	1	189	40	14	41594
39	0,5	0,9	1	189	40	14	42005
40	0,5	1	1	189	40	14	42416
41	0,6	0,6	1	189	40	14	48247
42	0,6	0,7	1	189	40	14	48658
43	0,6	0,8	1	189	40	14	49069
44	0,6	0,9	1	189	40	14	49480
45	0,6	1	1	189	40	14	49891
46	0,7	0,7	1	189	40	14	56132
47	0,7	0,8	1	189	40	14	56543
48	0,7	0,9	1	189	40	14	56954
49	0,7	1	1	189	40	14	57365

Tablo 3.4. (Devam) Duyarlılık analizi sonuçları (Tüm ağırlık kombinasyonları için elde edilen kaplanan talep noktası sayıları ve amaç fonksiyonu değerleri)

Case #	w ₁	w ₂	w ₃	Kapsanan Küme Merkezleri Sayısı			Z _{MCLP}
				Konut Tipi	Ticari	Endüstriyel	
50	0,8	0,8	1	189	40	14	64018
51	0,8	0,9	1	189	40	14	64429
52	0,8	1	1	189	40	14	64840
53	0,9	0,9	1	189	40	14	71903
54	0,9	1	1	189	40	14	72314
55	1	1	1	189	40	14	79789

Duyarlılık analizi kapsamında tespit edilen her kombinasyon için oluşturulan senaryolara göre elde edilen sonuçlar incelendiğinde her senaryo için aday noktalar arasında belirlenen kriz masası mevkileri Tablo 3.5'te olduğu gibidir.

Tablo 3.5. Duyarlılık analizi kapsamında yapılan her deneme için açılan tesisler

Senaryo No	Aday Tesis Yerleri																																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38					
1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0				
2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0			
3	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0			
4	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
5	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
6	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
7	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
8	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
9	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
11	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 3.5. (Devam) Duyarlılık analizi kapsamında yapılan her deneme için açılan tesisler

Senaryo No	Aday Tesis Yerleri																																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38									
14	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0								
15	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0							
16	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0						
17	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0						
18	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0						
19	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0						
20	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0						
21	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0						
22	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0						
23	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0					
24	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0					
25	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0				
26	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0				
27	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0			
28	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
29	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
30	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0			
31	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0		
32	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0		
33	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
34	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
35	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
36	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
37	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
38	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
39	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
40	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Tablo 3.5. (Devam) Duyarlılık analizi kapsamında yapılan her deneme için açılan tesisler

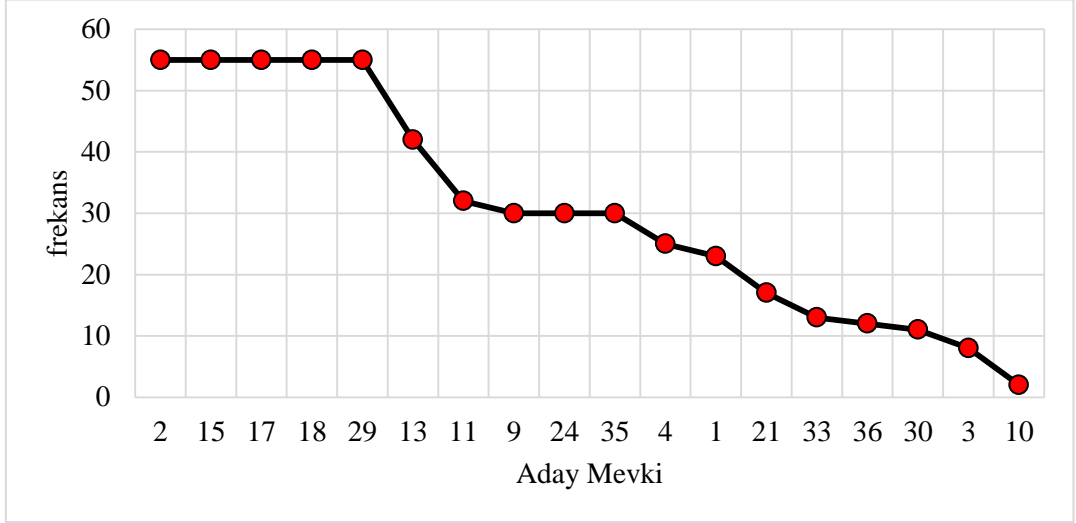
Senaryo No	Aday Tesis Yerleri																																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38		
41	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
42	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
43	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
44	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
45	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
46	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
47	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
48	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
49	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
50	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
51	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
52	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
53	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
54	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
55	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Frek.	23	55	8	25	0	0	0	30	2	32	0	42	0	55	0	55	55	0	0	17	0	0	30	0	0	0	0	55	11	0	0	13	0	30	12	0	0			

Oluşturulan toplam 55 senaryo sonucunda açılan kriz masalarının seçilme sıklığı (frekansı) Tablo 3.6.'da olduğu gibidir. Toplamda 20 aday nokta hiçbir senaryoda tercih edilmemiştir.

Tablo 3.6. Duyarlılık analizi kapsamında oluşturulan senaryolar sonucunda açılan kriz masalarının seçilme sıklığı (frekansı)

Aday Mevki	2	15	17	18	29	13	11	9	24	35	4	1	21	33	36	30	3	10
Frekans	55	55	55	55	55	42	32	30	30	30	25	23	17	13	12	11	8	2

Senaryo sonuçlarına ilişkin açılacak kriz masalarının seçilme sıklığı grafik olarak da Şekil 3.8.'de sunulmuştur.



Şekil 3.8. Duyarlılık analizi kapsamında oluşturulan senaryolar sonucunda açılan kriz masalarının seçilme sıklığı (frekansı)

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tesis yeri seçimi problemleri, yöneylem araştırması literatüründe büyük bir yere sahiptir. Bu çalışmada; tesis yeri seçim problemleri ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelenmiş, maksimum kapsama problemi ile ilgili detaylı araştırma yapılmış, problemi oluşturan temel elemanlar ile aralarındaki ilişki irdelenmiştir. Ayrıca literatürdeki tesis yeri seçimi problemlerinin sınıflandırılması ile problemde kullanılacak verilerin gruplandırılması için uygulanan k-menalar algoritmasına değinilmiştir.

Uygulama bölümünde Kocaeli ilinde olası bir doğal afet sonrasında doğalgaz dağıtım şirketi tarafından il genelinde gaz kullanıcısı olan müşterilerle süratle iletişime geçerek acil durumlara süratle müdahale etmek ve sahada görev yapan acil ekiplerine destek olmak maksadıyla tesis edilecek kriz masalarının konuşlandırılacağı yerler, bir tesis yeri seçimi yaklaşımı olan maksimum kapsama modeli kullanılarak CPLEX 12.2.0.2 yazılımıyla tespit edilmiştir.

Talep noktası olarak değerlendirilen gaz kullanıcıları tüketim maksatlarına göre konut tipi müşteri, ticari müşteri ve endüstriyel müşteri olarak sınıflandırılmış ve olası bir hasar halinde yaratabileceği etki dikkate alınarak ağırlıklandırılmıştır. Alan uzmanlarıyla yapılan toplantılar neticesinde kriz masalarının konuşlandırılabilceği, müşteriler tarafından bilinen ve kolayca ulaşılabilen noktalar aday mevkiiler olarak belirlenmiş, alternatif kapsama uzaklıkları tespit edilmiştir.

İl genelinde doğalgaz kullanıcı sayısı 310,000 civarı olduğu ve buldukları mevkiiler itibarıyla kendi aralarında gruplandırılarak çözüm aranabileceği dikkate alınarak k-means kümeleme algoritması uygulanmış ve 310,000 adet doğalgaz kullanıcısı 274 kümeyle temsil edilmiştir. Şirket yetkililerince açılabilcek maksimum kriz masası sayısı 10-15 olarak beyan edilmiş, bu nedenle 1'den 15'e kadar açılan tüm kriz masaları için problem ayrı ayrı çözülmüş ve kapsanan müşteri sayısındaki artış dikkate alınarak uygulanan duyarlılık analiziyle amaç fonksiyonu

sonuçlarına göre elde edilen marjinal artışın sağlandığı maksimum kriz masası sayısı ve bu kriz masalarının kurulacağı mevkiler belirlenmiştir.

Şirket yetkilileri tarafından açılacak kriz masası sayısı 10 ila 15 olarak beyan edilmesi nedeniyle çalışmadan elde edilen sonuçlara göre 10'dan 15'e kadar açılacak kriz masaları için alternatifli çözümlere göre Kocaeli ilindeki tüm müşteriler için ulaşılabilecek kapsama yüzdeleri Tablo 4.1'de olduğu gibidir.

Tablo 4.1. Açılacak kriz masaları ile ulaşılabilecek kapsama yüzdesi

Açılacak Masa Sayısı	10	11	12	13	14	15
Kapsama Yüzdesi	86,5	88,3	89,78	91,6	92,7	93,8

Açılacak 10 kriz masasından itibaren kapsama yüzdesi artmaya devam etse de açılacak her bir kriz masası sonrasında amaç fonksiyonundaki marjinal artışın 10'uncu kriz masasından itibaren oldukça düştüğü görülmektedir. 15 adet kriz masası da şirket tarafından açılacak maksimum sayı olduğu dikkate alındığında şirket yetkililerine hareket serbestisi sağlamak ve olası ilave bir acil durumda ortaya çıkabilecek personel ihtiyacını karşılamaya yardımcı olabilmek üzere açılacak 10 adet kriz masasıyla il genelinde yeterli bir kapsamaya ulaşıldığı değerlendirilmiştir.

Bununla birlikte açılacak kriz masası sayısı ile ilgili nihai karar şirket yetkililerine bırakılmış, ayrıca 1 kriz masasından 15 kriz masasına kadar tüm çözümlerin mevcut olması sayesinde, olası doğal afetin etkileri dikkate alınarak personel sayısında yaşanabilecek zafiyet nedeniyle, açılacak kriz masalarının sayısı azaldığı takdirde kriz masalarının nerelere yerleştirileceği konusunda karar verici konumundaki şirket yetkililerine destek sağlanmıştır.

Çalışmada ortaya konan problem ve çözüm önerisinin, yapılabilecek küçük değişikliklerle birçok tesis yeri seçim problemine uyarlanabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, kesin sonuç aldığımız çözüm tekniği, problemdeki

veri sayısı daha da arttığı veya kümeleme analizi yapılmadan çözüm arandığı takdirde sezgisel yaklaşımlarla da birleştirilebilir.

Problemimizin çözüm yaklaşımında müşteriler, olası bir doğal afet sonrası uğrayabilecekleri yıkım sonuncundaki etkilere göre sınıflandırılarak ağırlıklandırılmıştır. Konuya ilişkin müteakip çalışmalarda, 1999 Kocaeli depremi öncesi inşa edilen binaların yeni binalara nazaran depreme daha hassas olacakları dikkate alındığında bahse konu binaların mevkileri hassas olarak belirlenerek müşteriler arasında yapılan ağırlıklandırmanın detaylandırılarak yıkımın daha fazla olabileceği düşünülen bölgelere sağlanan desteğin artırılabilceği değerlendirilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Tavakkoli-Moghaddain R., Shayan E., Facilities layout design by genetic algorithms, *Computers & Industrial Engineering*, 1998, **35**(3), 527-530.
- [2] Celle C., et al. Highly flexible transparent film heaters based on random networks of silver nanowires, *Nano Research*, 2012, **5**(6), 427-433.
- [3] Current J., Daskin M.S. and Schilling D., *Discrete Network Location Model, in Facility Location: Applications and Theory*, 2nd ed., Springer-Verlag, Chicago, 2001.
- [4] Gözaydın O., Can T. Deprem Yardım İstasyonları İçin Lojistik Merkezi Seçimi: Türkiye Örneği, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 2013, **6**(2), 17-31.
- [5] Mert Z.G., Akman G., The Profile of the Organized Industrial Zones in Kocaeli/TURKEY, *European Regional Science Association Papers*, 2011, **3**(3), 186-198.
- [6] Murru M., Akıncı A., Falcone G., Pucci S., Console R., Parsons T., $M \geq 7$ earthquake rupture forecast and time-dependent probability for the sea of Marmara region, Turkey, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2016, **121**(4), 2679-2707.
- [7] Domschke W., Drexl A., *Location and layout planning, lecture notes in economics and mathematical systems*, 3rd ed., Springer-Verlag, Berlin, 1985.
- [8] Current J., Min H., Schilling D., Multi objective analysis of facility decisions, *European Journal of Operational Research*, 2010, **9**(3), 295-307.
- [9] Hakimi S.L., Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph, *Operations research*, 1964, **12**(3), 450-459.
- [10] Francis R.L., Letter to the Editor-Some Aspects of a Minimax Location Problem, *Operations Research*, 1967, **15**(6), 1163-1169.
- [11] Mirchandani P.B., Francis R.L., *Discrete location theory*, 15th ed., Wiley-Interscience, Chicago, 1990.
- [12] Daskin M., *Network and Discrete Location Models and Algorithms, and Applications*, 1st ed., John Wiley and Sons, New York, 1995.
- [13] Owen S.H., Daskin M.S., Strategic Facility Location: A Review, *European Journal of Operational Research*, 1998, **111**(3), 423-447.
- [14] Eiselt H.A., Gendreau M., Laporte G., Arc routing problems, part II: The rural postman problem, *Operations research*, 1995, **43**(3), 399-414.

- [15] Scaparra M.P., Scutellà M.G., Facilities, Locations, Customers: Building Blocks of Location Models, A Survey, Technical Report del Dipartimento di Informatica, *Università di Pisa*, 2061, 1-126, 2001.
- [16] Darende B., Tesis yer seçimi ile deprem durumunda yaralı toplama noktalarının modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009, 244963.
- [17] Revelle C.S., Eiselt H.A., Location analysis: A synthesis and survey, *European journal of operational research*, 2005, **165**(1), 1-19.
- [18] Taşcı E., Onan A., K-en yakın komşu algoritması parametrelerinin sınıflandırma performansı üzerine etkisinin incelenmesi, *Akademik Bilişim*, 2016, **1**(1), 4-18.
- [19] Kotian S.R., Planar K-centra Single-facility Euclidean Location Problem, Doktora Tezi, Ohio University, Ohio, 2005.
- [20] Owen S.H., Daskin M.S., Strategic Facility Location: A Review, *European Journal of Operational Research*, 1998, **111**(3), 423-447.
- [21] Klose A., Drexl A., Facility Location Models for Distribution System Design, *European Journal of Operational Research*, 2005, **162**(1), 4-29.
- [22] Arabani A., Farahani R.Z., Facility Location Dynamics: An Overview of Classifications and Applications, *Computers & Industrial Engineering*, 2012, **62**(1), 408-420.
- [23] Church R.L., Revelle C.S., Theoretical and computational links between the p-median location set-covering and the maximal covering location problem, *Geographical Analysis*, 1976, **8**(1), 406-415.
- [24] Revelle C.S., Swain R.W., Central facilities location, *Geographical Analysis*, 1970, **2**(1), 30-42.
- [25] Hakimi S.L., Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph, *Operations Research*, 1964, **12**(1), 450-459.
- [26] Revelle C., The maximum capture or 'sphere of influence' location problem: Hotelling revisited on a network, *Journal of Regional Science*, 1986, **26** (2), 343-358.
- [27] Brandeau M.L., Chiu S.S., An overview of representative problems in location research, *Management Science*, 1989, **35**(6), 645-674.
- [28] Daskin M.S., *Network and Discrete Location: Models Algorithms and Applications*, 1st ed., Wiley, New York, 1995.
- [29] Erkut E., Neuman S., Analytical models for locating undesirable facilities, *European Journal of Operational Research*, 1989, **40**(2) 275-291.

- [30] Schilling D.A., Jayaraman V., Barkhi R., A review of covering problems in facility location, *Location Science*, 1993, **1**(1), 25–55.
- [31] Ballou R.H., Dynamic warehouse location analysis, *Journal of Marketing Research*, 1968, **5**(1) 271–276.
- [32] Sweeney D.J., Tatham R.L., An improved long-run model for multiple warehouse location, *Management Science*, 1976, **22**(7), 748–758.
- [33] Drezner Z., Wesolowsky G.O., Facility location when demand is time dependent, *Naval Research Logistics*, 1991, **38**(2), 763–777.
- [34] Schilling D.A., Dynamic location modeling for public-sector facilities: A multicriteria approach, *Decision Sciences*, 1980, **11**(1), 714–724.
- [35] Daskin M.S., Hopp W.J., Medina B., Forecast horizons and dynamic facility location planning, *Annals of Operations Research*, 1992, **40**(1) 125–151.
- [36] Ballı H., Bulanık doğrusal programlama modeli ile bir kamu kurumu için tesis yeri seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014, 358680.
- [37] Daskin M.S., What you should know about location modeling, *Naval Research Logistics (NRL)*, 2008, **55**(4), 283-294.
- [38] Karabay S., Matematiksel Model ve Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi İle Bir Kamu Kurumu İçin Tesis Yeri Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013, 358649.
- [39] Francis, R.L., Lowe T.J., Rayco M.B. and Tamir A., Aggregation Error for Location Models: Survey and Analysis, *Annals of Operations Research*, 2009, **167**(1), 171-208.
- [40] Fredrikson A., North C., Plaisant C. and Shneiderman B., Temporal, Geographical and Categorical Aggregations Viewed Through Coordinated Displays: A Case Study with Highway Incident Data, *Proceedings of the 1999 Workshop on New Paradigms in Information Visualization and Manipulation*, Kansas City, USA, 02-06 November 1999.
- [41] Jain A.K., Data clustering: 50 years beyond K-means, *Pattern Recognition Letters*, 2010, **31**(8), 651-666.
- [42] Jain A.K. and Dubes R.C., *Algorithms for Clustering Data*, 1st ed., Prentice-Hall, New Jersey , 1988.
- [43] Tibshirani R., Walther G. and Hastie T., Estimating the Number of Clusters in A Data Set Via the Gap Statistic, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 2001, **63**(2), 411-423.
- [44] Kodinariya T. M. and Makwana P.R., Review on Determining Number of Cluster in K-Means Clustering, *International Journal*, 2013, **1**(6), 90-95.

- [45] Nemes M.I., Carvalho H.B. and SOUZA M.F., Antiretroviral Therapy Adherence in Brazil, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2004, **18**(1), 15-20.
- [46] Liao K. and Guo D., A Clustering-Based Approach to the Capacitated Facility Location Problem, *Transactions in GIS*, 2008, **12**(3), 323-339.
- [47] Li J., Prins C. and Chu F., A Scatter Search for A Multi-Type Transshipment Point Location Problem with Multicommodity Flow, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2012, **23**(4), 1103-1117.
- [48] Esnaf Ş., Küçükdeniz T., A Fuzzy Clustering-Based Hybrid Method for A Multi-Facility Location Problem, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2009, **20**(2), 259-265.
- [49] Farahani R.Z., et al. Covering problems in facility location: A review, *Computers & Industrial Engineering*, 2012, **62**(1), 368-407.
- [50] Current J.R., Storbeck J.E., Capacitated covering models, *Environment and planning B: planning and Design*, 1988, **15**(2), 153-163.
- [51] Revelle C., Hogan K., The maximum reliability location problem and α -reliable-center problem: Derivatives of the probabilistic location set covering problem, *Annals of Operations Research*, 1989, **18**(1), 155-173.
- [52] Jia H., Ordóñez F., Dessouky M., A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies, *IIE Transactions*, 2007, **39**(1), 41-55.
- [53] Berman O., Hajizadeh I., Krass D., The maximum covering problem with travel time uncertainty, *IIE Transactions*, 2013, **45**(1), 81-96.
- [54] Adenso-Diaz B., Rodriguez F., A simple search heuristic for the MCLP: Application to the location of ambulance bases in a rural region, *Omega*, 1997, **25**(2), 181-187.
- [55] Galvão R.D., Espejo L.G.A., Boffey B., A comparison of Lagrangean and surrogate relaxations for the maximal covering location problem, *European Journal of Operational Research*, 2000, **124**(2), 377-389.
- [56] Macqueen J., et al., Some methods for classification and analysis of multivariate observations, *Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, California, USA, 21 June-18 July 1965.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Gülerođlu S., **Nigiz M.G.**, Fığlalı N., Şahin Y., Deniz Haydutluđu 2006-2015 Yılları Saldırı Analizleri, *Xth International Statistics Days Conference*, Giresun, 7-9 Ekim 2016.



ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Gökçe NİGİZ 1978 yılında Gölcük'te doğdu. İlkokul ve ortaokul öğrenimini Kocaeli'de, lise öğrenimini Deniz Lisesi/İstanbul'da tamamladı. Lisans eğitimini 1995 yılında girmiş olduğu Deniz Harp Okulunda Endüstri Mühendisliği A.B.D.'nda 1999 yılında tamamladı. 1999-2010 yılları arasında Donanma K.lığı bağlısı firkateyn, korvet, mayın avlama gemilerinde branş subayı ve bölüm amirliği görevlerinde bulundu. 2010-2012 yılları arasında Taktik Geliştirme, Doktrin ve Analiz Merkezi Komutanlığında Harekat Analiz Subaylığı görevinin ardından 2012-2013 yılları arasında TCG ULUBAT Komutanlığını yaptı. 2013-2015 yılları arasındaki Köprüüstü Simülatör Amirliği görevinden sonra 2015-2016 yılları arasında Deniz Kuvvetleri Harekat Başkanlığında proje subaylığı yaptı. 2016-2017 yılları arasında TCG FATİH 2'nci Komutanı görevi sonrasında halen Deniz Kuvvetleri Personel Başkanlığında proje subayı olarak görev yapmaktadır.