

ACİL TIBBİ YARDIM İSTASYONLARININ YER SEÇİMİ VE  
PLANLAMASI

ECEM KONAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2014

ANKARA

Fen Bilimleri Enstitü onayı

---

Prof. Dr. Osman EROĞUL  
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

---

Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU  
Anabilim Dalı Başkanı

ECEM KONAK tarafından hazırlanan ACİL TIBBİ YARDIM İSTASYONLARININ YER SEÇİMİ VE PLANLAMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

---

Yrd. Doç. Dr. Berrin AYTAÇ GÖÇMEN  
Tez Danışmanı

---

Yrd. Doç. Dr. Sibel ALUMUR ALEV  
Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Ayşegül ALTIN KAYHAN \_\_\_\_\_

Üye : Yrd. Doç. Dr. Berrin AYTAÇ GÖÇMEN \_\_\_\_\_

Üye : Yrd. Doç. Dr. Melike METERELLİYOZ KUYUZU \_\_\_\_\_

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ecem KONAK

Üniversitesi : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Enstitüsü : Fen Bilimleri  
Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği  
Tez Danışmanları : Yrd. Doç. Dr. Berrin AYTAÇ GÖÇMEN  
Yrd. Doç. Dr. Sibel ALUMUR ALEV  
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Temmuz 2014

Ecem KONAK

## ACİL TIBBİ YARDIM İSTASYONLARININ YER SEÇİMİ VE PLANLAMASI

### ÖZET

Bu çalışmada, acil tıbbi yardım istasyonlarının yer seçimi ve planlanması problemi ele alınmaktadır. Bu problem, talebin bölünebilir olduğu kapasiteli tesis yer seçimi problemi olarak modellenmiştir ve talebi en düşük maliyetle karşılarken talep noktaları ile acil servis yerleşimleri arasında maksimum bir servis süresini de garantilemektedir. Acil tıbbi yardım istasyonları yerlerine ve bu yerleşimlere atanan talebin büyüklüğüne göre belirlenen acil servis aracı sayılarına (istasyon kapasitelerine) karar verilmesini içeren deterministik bir optimizasyon modeli ile talebin belirsiz olduğu ve hizmet seviyesi kısıtının yer aldığı iki aşamalı bir stokastik optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Her iki optimizasyon modeli JAVA programlama dilinde kodlanmış, CPLEX ile çözülmüştür. Deterministik model için iki aşamadan oluşan sezgisel bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Geliştirilen sezgisel yöntem, farklı örnek problemler kullanılarak denenmiş ve performansı çözüm kalitesi ve çözüm süresi açısından değerlendirilmiştir. Problem parametrelerindeki değişimin önerilen çözüm yöntemi üzerindeki etkisi analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Acil servis yer seçimi problemi, deterministik model, sezgisel yöntemler, iki aşamalı stokastik programlama.

**University** : TOBB University of Economics and Technology  
**Institute** : Institute of Natural and Applied Sciences  
**Science Programme** : Industrial Engineering  
**Supervisors** : Assist. Prof. Berrin AYTAÇ GÖÇMEN  
: Assist. Prof. Sibel ALUMUR ALEV  
**Degree Awarded and Date** : M.Sc. – JULY 2014

**Ecem KONAK**

**DETERMINING THE LOCATIONS OF EMERGENCY MEDICAL  
SERVICE FACILITIES**

**ABSTRACT**

This study deals with the problem of optimally locating and designing emergency medical service systems. The problem is formulated as a multi-source capacitated fixed charge facility location model. The model minimizes the total cost of meeting demand while guaranteeing a maximum service response time. In order to determine the locations and capacities of emergency medical service locations, defined in terms of the number of emergency service vehicles, service requests are first assumed deterministic. The uncertainty in service requests is then introduced using a scenario-based two-stage stochastic programming approach together with the concept of service levels that allows a maximum number of service requests being not responded. Both optimization models are coded in JAVA programming language and solved using the optimization solver CPLEX. For the deterministic model, a two-stage constructive heuristic is proposed; the performance of the proposed heuristic is evaluated in terms of the solution quality and solution time using a large set of problem instances. The impact of the changes in the problem parameters on the performance of the heuristic is also investigated.

**Keywords:** Emergency service location problem, deterministic model, heuristic methods, two-stage stochastic programming.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana bilgi ve özverisiyle yol gösteren tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Berrin AYTAÇ GÖÇMEN'e, yönlendirmeleri ile bana destek olan tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Sibel ALUMUR ALEV'e, tez jürisinde yer alarak tezimi okuyan ve değerlendirmeleri ile katkıda bulunan hocalarım Yrd. Doç. Dr. Ayşegül ALTIN KAYHAN ve Yrd. Doç. Dr. Melike METERELLİYOZ KUYUZU'ya teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca yüksek lisansım boyunca her konuda bilgi ve birikimlerinden yararlandığım başta bölüm başkanımız Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU olmak üzere tüm bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunuyorum. Ben olmamı sağlayan, her konuda bana sonsuz destekleri ile yanımda olan annem Birsen KONAK ve babam Nedim KONAK'a, ablam İrem KONAK ÖZCAN ve eniştem Ahmet ÖZCAN'a, bu süreçte her daim yanımda hissettiğim, desteği ve özverisini hayatımın hiç bir döneminde benden asla esirgemeyen Şükran KONAK ve Orhan KONAK başta olmak üzere tüm aileme ve dostluğu ile yanımda olan Dilara GÜNGÖR ile başta Başak GEVER olmak üzere tüm asistan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

# İçindekiler

<b>1 GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1 Motivasyon . . . . .	1
1.2 Problem Tanımı . . . . .	3
1.3 Tez Planı . . . . .	4
<b>2 LİTERATÜR TARAMASI</b>	<b>6</b>
2.1 Küme Kapsama Yer Seçimi Modelleri . . . . .	6
2.2 Maliyet Odaklı Yer Seçimi Modelleri . . . . .	15
<b>3 ACİL YARDIM İSTASYONU YER SEÇİMİ PROBLEMİ</b>	<b>24</b>
3.1 Problem Kapsamı . . . . .	24
3.2 Matematiksel Model . . . . .	26
3.3 Sezgisel Yaklaşım . . . . .	31
3.3.1 Çözüm Kurucu Sezgisel . . . . .	32
3.3.2 İyileştirme Sezgiseli . . . . .	37
3.4 Stokastik Model . . . . .	44

<b>4 DENEYSEL ÇALIŞMA</b>	<b>51</b>
4.1 Veri Analizi . . . . .	51
4.2 Temel Sonuçlar . . . . .	54
4.3 Duyarlılık Analizi . . . . .	56
4.3.1 Kapasitedeki Değişkenlik . . . . .	56
4.3.2 Ortalama Kapasite Değeri . . . . .	58
4.3.3 Müdahale Süresi . . . . .	60
4.4 Stokastik Model Temel Sonuçlar . . . . .	62
<b>5 SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR</b>	<b>65</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>68</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>74</b>



# Şekil Listesi

3.1 Ağ Gösterimi . . . . .	30
3.2 Kapsama İndisleri . . . . .	33
4.1 Servis Seviyesi Kısıtlı Durum ile Talebin Tamamen Karşılıandığı Durumun Toplam Maliyetleri Arasındaki Fark (%) . . . . .	63
4.2 Beklenen Karşılanamayan Talep Miktarları . . . . .	63

# Tablo Listesi

3.1	Parametreler . . . . .	26
3.2	İyileştirme Sezgiselinde Kullanılan Girdiler . . . . .	38
3.3	Formülasyonların değişken türü ve sayısı . . . . .	50
3.4	Formülasyonların kısıt türü ve sayısı . . . . .	50
4.1	Temel Durum için Yüzde Uzaklıklar (%) (Ortalama $\mp$ Standart Sapma) . . . . .	55
4.2	Temel Durum için Çözüm Süreleri (sn) (Ortalama $\mp$ Standart Sapma) . . . . .	55
4.3	Kapasite [5,7] ve Kapasite 6 için Yüzde Uzaklıklar (%) . . . . .	56
4.4	Kapasite [5,7] ve Kapasite 6 için Çözüm Süreleri (sn) . . . . .	57
4.5	Kapasite [3,9] ve Kapasite [2,10] için Yüzde Uzaklıklar (%) . . . . .	57
4.6	Kapasite [3,9] ve Kapasite [2,10] için Çözüm Süreleri (sn) . . . . .	58
4.7	Kapasite [2,6] ve Kapasite [6,10] için Yüzde Uzaklıklar (%) . . . . .	59
4.8	Kapasite [2,6] ve Kapasite [6,10] için Çözüm Süreleri (sn) . . . . .	59
4.9	Mesafe Eşik Değeri 1,5T ve 2T için Yüzde Uzaklıklar (%) . . . . .	60
4.10	Mesafe Eşik Değeri 1,5T ve 2T için Çözüm Süreleri (sn) . . . . .	61

4.11 Problem Büyüklüğü . . . . . 64

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Motivasyon

Acil durum, insan hayatı ve kamu düzenini olumsuz olarak etkileyen ve kısa süre içerisinde etkin müdahale edilmediği takdirde can, mal ve diğer zararlara neden olabilecek her türlü olayı ifade eder. Acil durumlara müdahale eden birimler polis, itfaiye ve ambulans gibi hizmet sağlayıcılarını içermektedir. Bu birimler, sorumluluk alanlarındaki nüfusun tamamına hizmet vermekle yükümlü olup birtakım sosyal, ekonomik ve politik amaçları karşılamak zorundadırlar. Taşıdıkları önem açısından ilgili amaçların en başında bu hizmetlerle ilgili bir acil çağrı gelmesi durumunda gelen çağrıya en kısa sürede cevap verilmesi gerekmektedir.

Acil servis birimlerinin uygulamaları arasında çeşitli farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin, polis arabaları belirli aralıklarla devriye gezerek görev yaparken, ambulanslar çağrılar arasında böyle bir görev yapmamaktadır. İtfaiye sistemlerinde bir çağrıya birden fazla servis birimi atanabilir ve ambulanslardan farklı olarak olay yerindeki görev süreleri saatleri bulabilmektedir. Ambulans sistemlerinde ise, hastanın uygun hastaneye en kısa zamanda ulaştırılması sonucu ambulans tekrar çağrılara cevap verebilecek duruma gelir. Bütün bu farklılıklar da göz önüne alınarak, bu çalışmada problem, acil tıbbi servis birimleri yani ambulanslar özelinde ele alınmıştır. İtfaiye ve polis birimlerinin yerleşimi ve planlanması hakkında daha fazla bilgiye Hogg (1968), Larson (1972), Plane ve Hendrick (1977), Walker vd. (1979), Swersey (1994) ve Adams (1997)'dan ulaşılabilir.

Acil tıbbi servis sistemlerinde performans ve hizmet kalitesi ölçümü yapmak oldukça zor olup, birçok farklı performans ölçütü bulunmaktadır. Acil tıbbi

yardımın amacı hastalık ve ölüm oranının azaltılmasıdır. Ancak hastalık ve ölüm oranlarında olan değişiklikleri acil servis sistemlerindeki değişikliklere bağlı olarak yorumlamak güçtür. Bu nedenle, birçok farklı performans ölçüm kriteri ile bu ilişki belirlenmeye çalışılmaktadır. Ortalama cevap verme süresi, maksimum cevap verme süresi, tesis dolulukları ve belirli bir cevap verme süresi için sabit sayıda acil servis aracı ile kapsanabilecek talep noktası sayısı bunlardan bazılarıdır (Daskin, 1982).

Acil servis sistemleri için başka bir önemli kavram da halkın hizmete ulaşmasında eşitliğin sağlanabilmesidir. Eşitlik (*equity*) kavramı, temel olarak bir olayın etkisinin iki ya da daha çok birey ya da grup için karşılaştırılması ile değerlendirilir. Tesis yer seçimi bağlamında, *olay* tesislerin yer seçimi kararı ve *etki* ise tesise olan konumdan dolayı oluşan negatif ya da pozitif etkidir (Marsh ve Schilling, 1994). Eşitliğin ölçümü için de literatürde çok fazla sayıda ölçüt bulunmaktadır, ancak uluslararası kabul görmüş tek bir ölçüt mevcut değildir. Sağlanan hizmetin eşitliğinin farklı bölgeler için karşılaştırılması, bunlardan biridir. Acil servis istasyonlarının yerlerinin, cevap verme sürelerinin dağılımını yani etkiyi her bir bölgenin eşit olarak deneyimleyeceği şekilde olması karar vericilerin sağlamak istediği durumdur. Bu amaçla, farklı talep bölgeleri için eşit hizmet kalitesini sağlamaya yönelik şekilde, bu çalışmada kırsal ya da kentsel bölge ayrımı olmaksızın tek bir maksimum müdahale süresi kullanılmıştır.

Gendreau vd. (1997), ambulans hizmetleri ile ilgili kararları, (a) *Stratejik kararlar*: acil servis istasyonlarının yerlerinin seçimi, ilgili ekipmanların alınması, uzman personelin işe alınması ve eğitimlerinin verilmesi, (b) *Taktiksel kararlar*: çalışanların iş çizelgelerinin belirlenmesi, acil servis araçlarının herhangi bir andaki yerlerinin belirlenmesi, acil çağrı gelmesi durumunda acil servis araçlarının yönlendirilmesi, (c) *Operasyonel kararlar*: tıbbi personelin ihtiyaç duyulan acil servis hizmetinin gereklerini yerine getirmesi olarak sınıflandırmıştır. Bu çalışmada acil servis istasyonlarının yerlerinin seçilmesi yönü ile stratejik, acil servis araçlarının yer seçimi kararları yönü ile taktiksel kararlar yer almaktadır.

Ambulanslara ihtiyaç olan durumların gelişimi genel anlamda dört adımda özetlenebilir: 1. Vaka tespiti ve bildirilmesi 2. Çağrı tarama 3. Ambulans ataması 4. Sağlık ekibinin ulaşması ve müdahalesi (Brotcorne vd., 2003). Çağrı

tarama süreci ile durumun ciddiyeti saptanarak hangi tipte kaç tane ambulans gönderileceğine karar verilir. Ankara’da atamalar, Ankara İl Sağlık Müdürlüğü, Acil Sağlık Hizmetleri Şubesi 112 İl Ambulans Servisi Başhekimliği birimi tarafından yapılmaktadır. Gelen bir acil çağrı, Komuta Kontrol Merkezi (KKM) tarafından değerlendirilir. Çağrılar, ambulans talebi ve tıbbi danışmanlık gibi diğer talepler olmak üzere sınıflandırılır. Ambulans talepleri, ambulans hareket memurlarına iletilir. Ambulans hareket memurları, çağrıya ilişkin ayrıntılı bilgieri sisteme geçirerek olay yerine gönderilecek ekibi belirler. Çağrı - ambulans atamaları yapılırken ambulans meşguliyet durumu, ambulansların anlık yer bilgisi ve hastane kapasite bilgilerinin olduğu ARMAKOM adlı bir yazılımdan faydalanılmaktadır.

Çalışma konusu olarak acil servis yer seçimi probleminin seçilmesinin başlıca nedenlerinden biri, acil servis taleplerinin belirsizliği ve acil servis araçlarının ulaşılabilir olmaması gibi nedenlerle ortaya çıkan karşılanamayan talebin önem arz etmesidir, karşılanamayan talepler can kaybı gibi çok ciddi sonuçlar doğurabilmektedir. Acil servis sistemleri için karşılanamayan talebin neden olabileceği ciddi sonuçlar oluşan her talebin kısa bir cevap verme süresi içinde kapsanmasını önemli kılmaktadır.

## 1.2 Problem Tanımı

Bu çalışmada, acil tıbbi çağrılara cevap verebilecek iş gücü ve ekipman altyapısına sahip acil tıbbi servis istasyonlarının yerlerinin ve bu istasyonlara atanacak acil servis aracı sayılarının toplam hizmet sağlama maliyetini eniyileyecek şekilde planlanması problemi ele alınmıştır. Acil tıbbi çağrı gelebilecek her bir talep noktasının talep miktarı, belli bir sürede o noktadan gelen acil servis isteklerinin toplamı şeklinde ifade edilmiştir. Bu süre, yaklaşık olarak bir talebin karşılanması için gerekli süre yani bir acil servis aracının talebi karşıladıktan sonra tekrar başka talepleri karşılayabilecek duruma gelmesine kadar geçen süre olarak tanımlanmıştır. Acil servis araçlarının istasyonlardan ayrılmaları için gerekli hazırlık süreleri de cevap verme sürelerine dahil edilmiş ve birbirinden bağımsız oldukları kabul edilmiştir.

Bir talebi karşılamak üzere ataması yapılan aracın güvenliği göz önüne alınmamıştır, olay yerine güvenli bir şekilde ulaşarak talebi karşıladığı, tekrar talep karşılayabilecek duruma güvenli bir şekilde geldiği kabul edilmiştir. Toplam talebinin karşılanması koşuluyla, her bir talep noktasının talebinin farklı acil yardım istasyonları tarafından karşılanabilmesine izin verilmektedir. Dolayısıyla, talebin bölünebilir olduğu kapasiteli tesis yer seçimi problemi olarak ele alınan modelde amaç, talep noktaları ile acil servis yerleşimleri arasında maksimum bir servis süresini garantileyerek toplam talebi en düşük maliyetle karşılamaktır.

Literatürde yer alan kapasite kısıtlı yer seçimi problemlerinin bir çoğunda tek kaynaklı atama yapılabileceği kabul edilmiştir. Bu çalışma, çok kaynaklı atama yapılabilmesine olanak sağlaması açısından literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Ayrıca, incelenen kapasiteli tesis yer seçim problemleri arasında bu çalışmada olduğu gibi bir mesafe (ya da cevap verme süresi) eşik değerine dayalı atanabilirlik kısıtlarının yer almadığı görülmüştür. Tek kaynaklı ve atanabilirlik kısıtlarının yer almadığı modeller için önerilmiş sezgisel yöntemlerin çok kaynaklı ve atanabilirlik kısıtlarının yer aldığı bu probleme uygulanması bir çok ek kural gerektirmektedir.

### 1.3 Tez Planı

Hem tek kaynaklı kapasiteli tesis yer seçimi problemi hem de kapasiteli tesis yer seçimi problemi NP-Zor problemlerdir (Chyu ve Chang, 2009). Problemin NP-Zor yapıda olması, yani problem verilerinin boyutu büyüdükçe çözüm süresinin de verilerin boyutuna bağlı olarak üssel şekilde artması, çözüm yöntemi olarak bir sezgisel algoritma oluşturulması ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada iki aşamadan oluşan bir sezgisel yöntem önerilmiştir.

Sezgisel yöntemin ilk aşaması olan çözüm kurucu algoritmada olurlu başlangıç çözümü elde etmek için iki farklı alternatif kullanılmaktadır. Birinci alternatif, genel olarak her atama kararı verilirken o anda atanabilirliği en az olan talep noktasının, atanabileceği tesisler arasında atanabilirliği en fazla olana atanması yoluyla olurlu başlangıç çözümünü oluşturur. İkinci alternatifte ise her bir tesis

için kapasite, karşılayabileceği talep miktarı gibi faktörleri dikkate alan bir toplam maliyet değeri hesaplanır ve bu maliyetlere göre talep noktaları arasından en iyi ile en iyi ikinci atanma seçeneği arasındaki farkı maksimum olan seçilerek en iyi atanma seçeneğine atanır. Her iki çözüm kurucu alternatifte de, bir tesis bir kez açıldıktan sonra, karşılayabileceği pozitif talebe sahip talep noktası olduğu sürece ve kapasitesi dolana kadar yeni bir tesis açılmadan bu tesise atama yapılmaktadır.

Çözüm kurucu sezgiselden elde edilen olurlu başlangıç çözümüne uygulanan iyileştirme sezgiseli, algoritmanın ikinci aşamasını oluşturmaktadır. İkinci aşama için de iki ayrı alternatif sunulmuştur. Her bir alternatif için girdi, birinci aşama sonunda elde edilen çözümdür. İkinci aşamanın ilk alternatifinde, ilk aşamada bulunan çözümde bir tesisi açtırdıktan sonra kapasitesini doldururken ataması yapılan talep noktaları için bu kez tesis açtırılmasında öncelik verilerek çözümde iyileşme sağlanıp sağlanamayacağına bakılır. İkinci alternatifte ise, çözümde yer alan açık tesislerin sırayla tek tek kapatılarak bu tesislere atanmış talep noktalarının mevcut açık tesislerden kalan kapasitesi pozitif olan tesislere atanıp atanamayacağına bakılır ve tesisler tek tek kapatılırken mevcut açık tesisler arasında uygun bir tesisin bulunmaması durumunda tesis eklenmesine izin verilir. Tesis eklenirken tüm aday tesisler arasından toplam maliyet fonksiyonundan yararlanılarak seçim yapılır.

Bu çalışmada ayrıca, acil servis araçlarına olan talebin belirsizliğine ve acil servis araçlarının ulaşılabilir olmamasına bağlı olarak meydana gelen karşılanamayan taleplerin azaltılması ve önlenbilmesinin sağlanması amacıyla, hizmet seviyesi kısıtlı iki aşamalı bir rassal model önerilmiştir. Geliştirilen rassal model, standart bir servis seviyesini garantilemektedir. Modelde hizmet seviyesi kısıtları olarak önerilen bütünleşik şans kısıtları, servis seviyesinin karşılanamayan talebin miktarı üzerinden tanımlanmasına ve farklı servis seviyelerinin karşılanamayan talebin miktarı üzerindeki etkisinin karşılaştırılabilmesine olanak sağlar.

İkinci bölümde çalışma kapsamında yapılan literatür taraması yer almaktadır. Matematiksel modeller ve önerilen sezgisel yöntem üçüncü bölümde, farklı veri setleri için yapılan deneysel çalışmalar ve sonuçları dördüncü bölümde sunulmaktadır. Beşinci bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenmekte ve bu çalışmanın uzantısı olarak yapılabilecek gelecek çalışmalara yer verilmektedir.



## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Acil yardım istasyonlarının yer seçimi ve planlanması problemleri için geliştirilen optimizasyon modelleri, temel olarak literatürde sıklıkla çalışılan yer seçimi modellerine dayanmaktadır. Dolayısıyla, literatür taramamızda temel yer seçimi modellerine ve bu modelleri acil yardım istasyonlarının planlanmasında kullanan optimizasyon çalışmalarına yer verilmektedir. Bu çalışmalardan bahsederken, acil yardım hizmetine ihtiyaç duyulabilecek yerleşim alanlarının bölgelere ayrıldığı, her bölgenin bir talep noktasını oluşturduğu varsayılmaktadır. Bu çalışmaların hepsinde potansiyel istasyon yerlerinin belli olduğu varsayılmıştır. Literatürdeki çalışmalar, küme kapsama yer seçimi modelleri ve maliyet odaklı yer seçimi modelleri olarak iki ana grupta sınıflandırılmıştır.

### 2.1 Küme Kapsama Yer Seçimi Modelleri

*Yer Seçimi Küme Kapsama Modeli (Location Set Covering Model)*, deterministik yer seçimi modellerine temel oluşturur. Toregas vd. (1971) tarafından geliştirilen bu model, aday istasyonlar ve talep noktaları arasındaki mesafelerin (ya da cevap verme sürelerinin) bilindiği durumda, en az sayıda istasyon açarak tüm talep noktalarının hizmete açılan acil yardım istasyonları tarafından kapsanmasını hedefler. Her bir talep noktası eşit derecede önemlidir ve her bir talep noktası için tek bir kapsama eşik değeri (mesafe ya da cevap verme süresi) kullanılmaktadır. Ancak, modelin gerçek hayattaki problemleri karşılamak konusunda zayıflıkları söz konusudur. Talep noktalarının acil yardım istasyonlarına atamaları istasyonların kapasiteleri göz ardı edilerek sadece en az bir istasyonun konumsal bulunurluğunu

(*spatial availability*) garantileyen bir yaklaşım ile bulunur. Brotcorne vd. (2003)'te değinildiği üzere, bir acil servis aracının bir başka çağrıya atanması nedeniyle ulaşılabilir olmaması bazı talep noktalarının taleplerinin kapsanamaması anlamına gelebilmektedir. Bu durumda, bu modelden elde edilecek değer, tüm talebin karşılanması için gerekli en küçük araç sayısı için bir alt sınır olarak düşünülebilir.

Gerçek hayatta, bütçenin sınırlı olması gibi sebeplerden dolayı açılacak tesis sayısının sınırlı olabileceği durumlar oluşabilmektedir. Ayrıca, yer seçimi küme kapsama modeli talep noktaları arasındaki farklılıkları (ör., toplam nüfus) göz önünde bulundurmaz. Bu durumları ele almak amacı ile Church ve ReVelle (1974) tarafından kapsanan toplam nüfusu en büyükleyecek şekilde kısıtlı sayıda acil servis istasyonunun yerlerini belirleyen *En Büyük Küme Kapsama Yer Seçimi Modeli (Maximal Covering Location Model)* önerilmiştir. Modelde herhangi bir acil servis istasyonu tarafından kapsanmayan yerleşim alanları kalabilmektedir. Acil servis istasyonları ve ambulans sayısının sabit olması, maliyetlerin de sabit olması anlamındadır. Ambulans sayısının farklı değerlerinin denenmesi ile ise kapsamadaki artışa karşılık maliyetlerdeki artışın analizi yapılabilir.

Yukarıda yer alan modeller, bir talep noktası eğer bir acil servis istasyonu tarafından kapsanıyorsa en az bir defa kapsanması gerektiği prensibine dayanmaktadır. Ancak, bir çağrıya cevap vermek üzere yola çıkan bir acil servis aracı kapsama alanı içerisindeki başka bir noktadan çağrı gelmesi ya da aynı noktadan başka bir çağrının gelmesi durumunda yeni çağrıya cevap verememektedir. Gerek duyulan hizmetin önemi gereği, böyle bir durumun oluşma olasılığını azaltmaya yönelik tesis planlamasının yapılabilmesi amacı ile talep noktalarının en az bir defa kapsanması gerektiğine alternatif olarak *çoklu kapsama (multiple coverage)* sağlayacak şekilde kurulan yer seçimi modelleri önerilmiştir.

Bir talep noktasının belirli bir uzaklığında (mesafe ya da cevap verme süresi) olması gereken minimum istasyon sayısının talep noktalarına göre farklılık gösterdiği bir model *Çok Seviyeli Yer Seçimi Küme Kapsama Modeli (Multi-level Location Set Covering Problem)* olarak Toregas (1970; 1971) tarafından sunulmuştur. Bu modele göre nüfuslarının büyüklüğüne bağlı olarak bazı talep noktaları en az bir defa kapsanırken bazıları en az iki ya da üç istasyon tarafından kapsanabilmektedir. Modelin optimal çözümü çoklu kapsama kısıtlarını en az

sayıda istasyon ile sağlar. Çok seviyeli yer seçimi küme kapsama modeli yer seçimi küme kapsama modelinin özel bir durumudur. Yer seçimi küme kapsama modeli ise en küçük kardinalite küme kapsama problemine indirgenebilmektedir. En küçük kardinalite küme kapsama problemi NP-Zor olduğundan, çok seviyeli yer seçimi küme kapsama problemi de NP-Zordur (Church ve Gerrard, 2003). Toregas ve ReVelle (1973), yer seçimi küme kapsama modeli iēin Church ve Gerrard (2003) ise çok seviyeli yer seçimi küme kapsama modeli iēin czm kümesini azaltmaya yönelik farklı baskınlık ve eliminasyon kurallarına dayalı czm yöntemi geliştirmiştir.

Bahsedilen tüm ēalıřmalarda sadece atanabilirlik önemsenmiş ve kapasite göz ardı edilmiştir. Diğer bir ifade ile, acil yardım istasyonlarının bir acil yardım aracı ile hizmet verdiği ve bu aracın gelen bir acil yardım ēađrısına her zaman cevap verebileceği varsayılmıştır. Bir talep noktasının birden fazla istasyon tarafından kapsanmasını mümkün kılan bir hizmet tasarımımda bile acil bir ēađrı gelmesi durumunda bu ēađrıya yönlendirilebilecek kapsama alanı dahilindeki bütün araēların meşgul olmaları ve bu nedenle gelen ēađrının yanıtız kalması kaēınılmazdır. Daskin (1982), en büyük kapsama modelini araēların meşgul olma olasılıklarını dahil edecek şekilde genişleterek bu durumu dolaylı olarak dikkate alır. Bu amaēla, rasgele seēilen bir aracın bir talep noktasına yönlendirilme ve meşgul olma olasılık değer tanımlanmış; bu değerin bütün araēlar iēin aynı ve araēların meşgul olma durumlarının birbirinden bağımsız olduğu varsayılmıştır. Önerilen model, *En Büyük Beklenen Kapsama Yer Seēimi Modeli (Maximum Expected Covering Location Model)*, en büyük kapsama modelinden farklı olarak acil yardım ēađrısı oluşan her bir talep noktasını kapsayan istasyonlardan en az birinin ēađrıya cevap verme olasılığını kullanarak beklenen toplam kapsanan talep değerini enbykler. Bu değer, kapsama alanında bulunan her bir acil yardım aracının beklenen toplam kapsanan talep değerine marjinal katkısının toplamı şeklinde ifade edilir.

Daskin (1982) tarafından önerilen model de sadece atanabilirliği dikkate alarak istasyonların kapasiteleri ve bu istasyonlara atanan toplam talep miktarları arasında bir ilişki kurmaz. En büyük kapsama modelinden farklı olarak bir istasyonda birden fazla acil yardım aracı olmasına izin verir ve bir talep noktasının

talebi temsil ettiği bölgenin nüfusu olarak değil o bölgede belirlenen bir zaman dilimi içerisinde oluşan ortalama acil yardım çağrısı olarak tanımlanır. Temel olarak, bir talep noktasını kapsayan bütün araçların meşgul olması durumunda bu talep noktasının kapsanamayacağı durumu elimine eder. Bir aracın meşgul olma olasılığının kestirimi, bir saatlik zaman dilimi içerisinde gözleme dayalı olarak belirlenen ortalama acil çağrı sayısı, bir çağrı için harcanan ortalama toplam hizmet süresi ile elde bulunan toplam araç sayısı kullanılarak kuyruk teorisinde temel oluşturan *yararlanma oranı (utilization rate)* olarak alınır. Önerilen model, maksimum 10 dakikalık çağrıya cevap verme süresi kullanılarak 55 düğümlü bir veri seti ile 33 nüfus sayım bölgesi ile temsil ettikleri Austin, Texas şehri için uygulanmıştır. Beklenildiği üzere, araçların meşgul olma olasılıklarını dikkate alan bir hizmet tasarımı daha fazla sayıda araca ihtiyaç duyar. Daskin (1983), aynı model için sezgisel bir çözüm yöntemi önermiştir. Ayrıca, optimal çözümün özelliklerini karakterize ederek amaç fonksiyonunun olasılık değerleri kullanılarak ağırlıklandırılması ile çok amaçlı optimizasyon modelleri arasında bir analogi kurmuştur.

Acil yardım istasyonları ve talep noktalarından oluşan sistemin acil bir hizmet çağrısına cevap verebilirliğini arttırmak ve sistem boyunca tekdüze bir hizmet seviyesine ulaşmak amacı ile uygulanan bir diğer yöntem de yer seçimi küme kapsama ve en büyük kapsama modellerini çok amaçlı ve hiyerarşik yapıda modellere uzatmak olmuştur. Bu çalışmalar, ikinci bir amaç olarak talep noktalarının birden fazla kapsanabildiği durumları eniyileştiren tesis planlarını oluştururlar. Bu kapsamda literatürde sıklıkla atıfta bulunulan bir çalışma Daskin ve Stern (1981)'e aittir. Bu çalışmada, yer seçimi küme kapsama modeli ile bütün talep noktalarının belirlenen kısıtlı sürede en az sayıda araç kullanılarak kapsanması sağlanırken aynı zamanda tüm talep noktalarının toplam kapsanma miktarları enbüyüklenmeye çalışılmıştır. Amaçlar arasında belli bir hiyerarşi bulunmaktadır, birincil amaç tüm bölgeleri kapsayacak araç sayısının enküçüklenmesi, ikincil amaç ise bölgelerin birden fazla kapsanma miktarının enbüyüklenmesidir. *Hiyerarşik Amaçlı Küme Kapsama Problemi (Hierarchical Objective Set Covering Problem)* olarak adlandırılan modelde, her bir talep noktasının her bir ek kapsanması eşit ağırlıklandırılmış ve ek kapsanmaların ağırlıklandırılmasında o talep noktasının talebi göz önüne alınmamıştır. Yazarlar, pratikte daha

anlamli olabilecegini dusundukleri aynı talep noktası için ikinci kapsamanın üçüncüden, üçüncü kapsamanın dördüncüden vb. daha çok ağırlıklandırılması yaklaşımını hesapsal nedenlerle uygulamamıştır. 33 talep bölgesinden oluşan Austin, Texas örneği üzerinde acil servis araçlarının konumları 3 ve 20 dakika arasında cevap verebilecekleri şekilde tasarlanmış veri seti için önerilen model ile klasik küme kapsama modeli karşılaştırılmıştır. Hiyerarşik amaçlı küme kapsama modelinin verdiği tüm talebin kapsanması için gereken en küçük araç sayısı değerinin, tüm durumlar için, geleneksel küme kapsama modeli ile aynı olduğu görülmüştür, bu durum amaç fonksiyonundaki ağırlıkların uygun şekilde seçimi ile sağlanabilmektedir. Önerilen yaklaşım, çok sayıda optimal çözüme sahip olabilecek klasik modelin çoklu seviyede kapsamayı eniyileyen aday çözümünün seçilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda, optimal çözüm kümeleri incelendiğinde, maksimum çağrıya cevap süresi arttıkça ihtiyaç duyulan toplam araç sayısının azaldığı ve 15 dakika ve yukarısı bir cevap verme süresi için gerekli araç sayısının bir olduğu gözlemlenmiştir.

Bir talep noktasının ikinci kez kapsanmasını ifade eden *yedek kapsama (backup coverage)*, ReVelle ve Hogan (1986)'da yer seçimi küme kapsama ve en büyük kapsama modellerine çok amaçlı bir yapıda uygulanmıştır. *En Büyük Yedek Kapsama Problemi (Maximal Backup Coverage Problem)* olarak adlandırılan bu modellerden yedek kapsama problemi 1'de, her bir talep noktasının bir kez kapsanması kesin olarak sağlanmaktadır. Yedek kapsamanın enbüyüklenmesi amacı, alternatif optimaller arasında seçim yapmada ikincil bir amaç olarak kullanılarak en az sayıda yerleşim ile yedek kapsama yapılan nüfusun enbüyüklenmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca bu en az sayıda yerleşim yeri değeri artırılarak yeni yerleşimler ile sağlanacak yedek kapsama enbüyüklenmektedir. Yedek kapsama problemi 2'de ise, yedek kapsama problemi 1'den farklı olarak her bir talep noktasının en az bir kez kapsanması zorunluluğu kaldırılmıştır. Bunun yerine ilk ve yedek kapsamanın eş zamanlı eniyilenmesi söz konusudur. ReVelle ve Hogan (1986), nüfusu çok büyük yerleşim modellerinin daha fazla sayıda kapsanmasını sağlamak amacı ile mevcut modellerinin üç kez kapsanan toplam nüfusun enbüyüklendiği üçüncü kapsama formülasyonlarına da yer vermiş, daha yüksek dereceden kapsama için de uyarlanabileceklerini belirtmiştir. Daskin ve Stern (1981)'den farklı olarak bu çalışmada hangi talep noktalarının birden fazla

kapsanmasının daha önemli olduğuna dair bir ayırım yapılmış olmaktadır. Ancak, her iki çalışmada da, bir talep noktasının ikinci kez ya da üçüncü kez kapsamıyor olması aynı öneme sahiptir. Alternatif olarak, artan kapsanma sayılarına amaç fonksiyonunda azalan ağırlıklar vererek daha çok sayıda tesisin birden fazla sayıda kapsanabileceği modellerin geliştirilebileceği öngörülmüştür.

Chanta vd. (2009), iki amaçlı bir kapsama modeli ile Hanover County, Virginia'da 30 talep noktası ve 16 tane acil servis istasyonu olan bir bölgede kısıtlı sayıda acil servis aracının istasyonlara atanması problemini çalışmıştır. Birinci amaç, yerleri belirlenen araçların 9 dakika (4 mil) içerisinde müdahale edebilecekleri acil yardım taleplerinin beklenen toplam sayısını arttırmaktır. İkinci amaç, herhangi bir istasyon tarafından verilen süre içerisinde müdahale edilemeyecek olan talep noktalarının açık bir istasyona olan uzaklıklarının maksimum değerinin en küçüklenmesidir. Çözüm prosedürü olarak ikinci amaç fonksiyonu eniyilenirken birinci amaç fonksiyonu  $\varepsilon$ -kısıtlı olarak optimizasyon modeline dahil edilmiştir. Farklı  $\varepsilon$  değerleri kullanılarak elde edilen etkin çözümler kümesi karar vericilere sunulmuştur. Önerilen model, diğer modellerden farklı olarak acil yardım istasyonlarının planlaması yapılan bölgenin iç kısımlarında kümeleşmesini önleyerek kenar kısımlarında da açılmasına imkan sağlar.

Chanta vd. (2011)'de ise, kentsel ile kırsal alanlar arasındaki ambulans servis hizmeti farklılıklarının dengelenmesini sağlamak amacıyla üç adet iki amaçlı kapsama modeli önerilmiştir. İlk amaç klasik kapsama problemlerindeki beklenen kapsamanın enbüyüklenmesidir. İkinci amaç olan kırsal alanlardaki servisin geliştirilmesi, acil servis sistemlerinin hizmetlerindeki eşitlik kavramı için uluslararası kabul gören tek bir performans ölçütü olmadığından, üç farklı alternatif önerilerek modellenmiştir. İkinci amaç olarak önerilen bu alternatifler, sırasıyla: herhangi bir açık istasyonun müdahale süresi içinde ulaşamayacağı bir alanda yer alan talep noktaları için o talep noktasına en yakın istasyon ile arasındaki maksimum mesafenin enküçüklenmesi, herhangi bir açık istasyonun müdahale süresi içinde ulaşamayacağı bir alanda yer alan (kapsanmayan) *kırsal* talep noktalarının sayısının enküçüklenmesi ve kapsanmayan talep noktaları sayısının enküçüklenmesidir. Üç model de tamsayılı program olarak modellenmiştir, çözüm prosedürü olarak  $\varepsilon$ -kısıtlı yöntem kullanılmıştır. Her bir model *verimlilik*, *kapsama*

(*efficiency, coverage*) ve *eşitlik (equity)* arasındaki ödünleşim açısından değerlendirilmiştir. Hanover County için yapılan uygulamada, üç modelin sonuçlarının karşılaştırılmasında kapsanmayan bir alandan en yakın istasyona olan ortalama ya da ağırlıklı ortalama mesafe performans ölçütü olarak alındığında, ikinci amaç için ilk alternatifin kullanıldığı modelin çözümlerinin diğer modelleri domine ettiği görülmüştür. Ayrıca, ikinci amaç olarak ikinci alternatifin kullanıldığı model daha geniş bir çözüm kümesi seti sağlamaktadır, karar vericiler tarafından daha fazla seçenek sağlaması açısından tercih edilebilir. Ancak, sonuçlar talep noktalarının kentsel ya da kırsal olarak tek bir sınıflandırması göz önüne alınarak elde edildiğinden, kırsal alan sınıflandırması için bir duyarlılık analizi yapılması gerekli görülmüş ve bu analiz sonucunda ikinci amaç olarak kapsanmayan kırsal talep noktaları sayısının enküçüklendiği ikinci modelin kırsal alan sınıflandırmasına duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Böylece, her bir amacın çözüm üzerine etkisi belirlenerek karar vericiler için ilgilenilen performans ölçütüne göre seçim yapabilecekleri çözüm setleri sağlanmıştır.

İhtiyaç duyulan hizmetin önemi gereği hizmet seviyesini arttırmak amacı ile yukarıda belirtilen modellere alternatif olarak literatürde *yedek çift kapsama modelleri* önerilmiştir. Bu modeller, bir talep noktasının belirli bir çağrıya cevap verme süresi içerisinde en az bir defa kapsanması gerektiğine ilave olarak daha uzun bir cevap verme süresi içerisinde bir başka acil yardım istasyonu tarafından daha kapsıyor olmasını gerektirmektedir. Bu modellere örnek olarak, Gendreau vd. (1997)'de yer alan *Çift Kapsama Ambulans Yerleşimi Problemi (Double Coverage Ambulance Location Problem)* verilebilir. Çift kapsama,  $r_2 > r_1$  şeklinde iki birim zaman olmak üzere, tüm taleplerin bir ambulans tarafından en çok  $r_2$  birim zamanda ve ek olarak talebin  $\alpha$  kadarının ise bir ambulans tarafından en çok  $r_1$  birim zaman içinde karşılanması olarak tanımlanmıştır. Bir müşterinin talebini  $r_1$  birim zamanda karşılayan ambulansın bu müşterinin talebini  $r_2$  birim zamanda karşılayan ambulans ile aynı olmasına gerek yoktur. Her istasyona atanabilecek araç sayısı, bir üst sınır değeri ile kısıtlanmıştır. Geliştirilen modelde amaç; verilen bir ambulans sayısı için,  $r_1$  birim zamanda en az iki kez karşılanan toplam talebin en büyüklüğüdür. Modelin bir özelliği de 1973 Amerika Birleşik Devletleri Acil Tıbbi Servis Hizmetleri Kanunu ile ortaya konan gereklilikleri karşılamasıdır. Ancak, modelde sadece yer seçimi yapılmakta; atanan ambulansların toplam

talebi karşılayabilip karşılayamadığına bakılmamaktadır. Çözüm yöntemi olarak bir tabu arama sezgiseli geliştirilmiştir. Önerilen yöntemin performansı, hem rassal veri üretilerek hem de gerçek hayat verileri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Çatay vd. (2008) tarafından önerilen yedek çift kapsama modeli, belirli istasyon sayısı kısıtı altında,  $r_1$  birim zamanda en az bir istasyon tarafından  $r_2$  ( $r_2 > r_1$ ) birim zamanda da alternatif farklı bir istasyon tarafından hizmet verilecek toplam nüfusu en büyükler. Acil yardım istasyonlarının yerlerinin planlanması, stratejik bir öneme sahip olduğu için bu çalışmada araştırmacılar, tek dönemli yedek çift kapsama modeline ek olarak çok dönemli yedek çift kapsama modeli önermişlerdir. Çok dönemli model, her bir dönem için birbirinden bağımsız olarak geçerli olan tek dönemli iki modelin, birinci dönemde açılmasına karar verilen istasyonların ikinci dönemde kapanamayacağı kısıtı ile birbirine bağımlı hale getirilmesi sonucu elde edilir. Önerilen model, İstanbul'da acil yardım cankurtarma istasyonlarının yerlerinin planlanması amacı ile geliştirilmiştir. Çözüm yöntemi olarak, hızlı sonuç verebileceği düşünülen üç farklı sezgisel yöntem önerilmiştir: miyop sezgisel yöntem, kombinasyonlu sezgisel yöntem, doğrusal programlama gevşetme (*Linear Programming Relaxation*) temelli sezgisel yöntem. Çözüm süresi uzun olmasına rağmen çözüm kalitesi açısından üstünlük sağlamayan kombinasyonlu sezgisel yöntem, iki dönemli modelin çözümü için kullanılmamıştır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Acil Yardım ve Cankurtarma Müdürlüğü ile yapılan bu ortak çalışmada acil bir çağrıya cevap verme  $r_1$  ve  $r_2$  sürelerinin sırası ile beş ve sekiz dakika olarak alınması uygun görülmüştür. İstanbul'daki trafik yoğunluğunun belirsizliği, müdahale sürelerinin uluslararası standartlara göre daha kısa olarak belirlenmesine neden olmuştur.

Başar vd. (2011)'de ise, çok dönemli yedek çift kapsama modeli için bir tabu-arama algoritması önerilmiş ve bu yaklaşımın İstanbul için uygulaması yapılmıştır. Çok dönemli yedek çift kapsama modelinde bütün dönemlerde, belirli istasyon sayısı kısıtı altında, çift ( $r_1$  birim zamanda en az bir istasyon tarafından  $r_2$  ( $r_2 > r_1$ ) birim zamanda da alternatif farklı bir istasyon tarafından) kapsanan toplam nüfusun en büyüklenmesi amaçlanmaktadır. Ancak, modelde Gendreau vd. (1997)'de olduğu gibi, tüm nüfusun uzun olan zaman dilimi içinde bir kez kapsanması garantilenmediğinden, bazı bölgelerin hiç kapsanmadan kalabilmesi



ihtimal dahilindedir. Gendreau vd. (1997)'de ilk kapsama gerekliliği kısıtlarına yer verilirken kapsama parametrelerinin fazla kısıtlayıcı, sıkı olduğu durumlar için olurlu çözüm bulmanın mümkün olmayabileceği belirtilmiş, bu durumda ya ambulans sayısı artırılarak ya da kapsama kısıtları gevşetilerek çözüm bulunabileceği vurgulanmıştır. Başar vd. (2011)'de de İstanbul Büyükşehir Belediyesi Acil Yardım ve Cankurtarma Müdürlüğü tarafından herhangi bir ilk kapsama kısıtı gerekliliği belirlenmediği, ancak böyle bir ilk kapsama gerekliliği eklenmesi durumunda İstanbul'daki uygulama için hedeflenen maksimum servis süresi parametrelerinin fazla sıkı olması nedeniyle olursuzluk oluşabileceği belirtilmiştir. Modelde amaç fonksiyonu kapsamaların toplamı şeklinde ifade edilmiştir, ancak uygun ağırlıkların belirlenmesi ile ağırlıklandırılmış toplam şeklinde de formüle edilebilir ve önerilen tabu-arama algoritması da herhangi bir değişikliğe gerek olmaksızın kullanılabilir. Problemin çözümü için önerilen tabu-arama sezgiselinin performansı hem rassal hem de İstanbul uygulaması için toplanan veriler ile test edilmiştir. Rassal veriler için yapılan analizlerde, belirlenen zaman limiti içinde büyük boyutlu veri setleri için CPLEX'in optimal çözümü bulamadığı ve tabu-arama sezgiselinin performansının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. İstanbul verilerine özgü olarak eklenen bazı kısıtlar (ör; şehrin iki yakası arasında köprü trafiğinin belirsizliği nedeniyle geçişe izin verilmemesi kısıtı eklenmesi ile problemin iki ayrı probleme dönüşmesi) nedeniyle İstanbul uygulaması için kullanılan veriler rassal verilerde gözlemlenmeyen bazı özelliklere sahiptir, bu durumun CPLEX'in çözüm prosedürünü kolaylaştırıcı etkisi olduğu tahmin edilmektedir. İstanbul verisi için de tabu-arama sezgiselinin makul hesaplama sürelerinde iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Küme kapsama modelleri açılacak olan acil yardım istasyonlarının toplam maliyetlerini hesaba katmamaktadır. Ayrıca bu çalışmalarda kapsanan bir yerleşim alanının tüm nüfusunun kapsandığı varsayılmış olup istasyon kapasiteleri göz önünde bulundurulmamıştır. Diğer bir ifade ile ambulans başına düşen nüfus miktarı göz önünde bulundurulmamıştır. Dolayısı ile literatürde küme kapsama modellerini temel alan çalışmalara paralel olarak istasyonların kapasiteleri ile kurulum ve hizmet maliyetlerini de göz önüne alacak şekilde planlama yapan modeller geliştirilmiştir.

## 2.2 Maliyet Odaklı Yer Seçimi Modelleri

Maliyet odaklı yer seçimi problemleri, küme kapsama problemlerinden farklı olarak acil servis istasyonlarının kurulum ve hizmet maliyetleri gibi acil servis hizmetinin sağlanmasında karşılaşılan maliyetleri hesaba katar. Ayrıca, kapasiteli ve maliyet odaklı modeller, küme kapsama problemlerinde yer alan kapsanan bir alanın tüm nüfusunun kapsandığı varsayımı yerine mevcut istasyon kapasiteleri ile tüm talebin karşılanmasını sağlar. Böylelikle, kapasite kısıtları göz önüne alınarak tüm talebin karşılanmasının en az maliyetle sağlanması hedeflenmektedir. Literatürde yer alan maliyet odaklı yer seçimi modelleri, kapasite kısıtı içerip içermemeleri ve atanabilirlik kısıtlarının tek ya da çok kaynaklı olması açısından ele alınmış, önerilen çözüm yöntemleri incelenmiştir.

Kuehn ve Hamburger (1963)'te *Depo Yer Seçimi Problemi (Warehouse Location Problem)* için önerilen sezgisel program tesis yer seçimi problemleri için sunulan ilk sezgisel çözüm yöntemlerindedir. Problem, çok ürünlü bir yapıda olup genel olarak her bir müşterinin talebinin karşılanması ile her bir fabrikanın ve deponun kapasitesinin aşılmaması kısıtları altında toplam dağıtım maliyetinin en küçüklenmesini amaçlar. Çözüm yöntemi olarak geliştirilen sezgisel program ana program ve çıkar-ve-kaydır rutini (*bump-and-shift routine*) olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. *Ana program*da kullanılan üç adet temel sezgisel yaklaşımdan ilki, aday yerleşim yerlerinin belirlenmesinde uygun olmayan coğrafi alanların elenerek uygun alanlara konsantre olunmasını sağlamaktadır. İkinci sezgisel ise, neredeyse optimal olan bir depo yerleşim sistemi geliştirebilmek için her adımda tüm sistem için en fazla maliyet kazanımını sağlayan depoyu belirleyerek sisteme ekler. Bir sonraki adımda eklenecek deponun belirlenmesinde potansiyel depo yerleşim yerlerinin küçük bir alt kümesinin değerlendirilmesi yeterlidir, değerlendirilecek bu alt kümenin belirlenmesi üçüncü sezgisel yaklaşım ile sağlanır. Alt kümede yer alan depolar, her aşamada ya ilerideki iterasyonlarda değerlendirilmemek üzere elenir ya da maliyet kazanımı en büyük olana depo yerleşimi kurulur ve kalanlar da alt küme listesine geri gönderilir. Bu şekilde alt kümedeki tüm aday yerleşim yerleri ya elenerek ya da bir depo yerleştirilerek tüm alt küme incelenir ve böylece ana program tamamlanarak değiştirme rutini sezgiseline geçilir. *Değiştirme rutini*, ana programın verdiği çözümleri her bir

deponu kapamanın ya da başka bir depo yerleşimi ile değiştirmenin kârlılık açısından sonuçlarını değerlendirerek modifiye etmeye dayanır. Önerilen sezgiselin problemin modellenmesinde esneklik sağlaması, geniş ölçekli problemlerin çözümünde kullanılabilmesi ve çözüm süresinin az olması gibi avantajları olduğu söylenebilir. Ayrıca yöntem, çalışmaya yakın zamanda yapılan diğer çalışmalarda önerilen simülasyon ya da doğrusal programlama gibi yöntemlerle karşılaştırılmış ve küçük ölçekli problemler için, sezgiselin diğer metotlarla aynı ya da daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Klincewicz ve Luss (1986)'da ise, *Tek Kaynaklı Kapasiteli Tesis Yer Seçimi Problemi (Single Source Capacitated Facility Location Problem - SSCFLP)* ele alınmış ve Lagrange gevşetmesi temelli bir sezgisel yaklaşım önerilmiştir. Öncelikle, problemin kapasite kısıtları Lagrange gevşetmesi ile gevşetilerek kapasitesiz tesis yer seçimi alt problemi elde edilmiştir. Fisher (1981)'de Lagrange alt problemlerinin genellikle ya polinom ya da sözde-polinom zamanlı çözülebilir oldukları ancak kapasitesiz tesis yer seçimi probleminin öyle olmadığı belirtilmektedir. Elde edilen kapasitesiz problemin çözülmesi için Erlenkotter (1978)'deki *Eş-ters tırmanış (Dual Ascent)* algoritması nispeten kısa sürede çözüm vermesi ve eş-ters tabanlı olduğu için her zaman bir alt sınır elde edilebilmesi nedeniyle kullanılmıştır. Amaç, kapasiteli problemin kısıtlarını sağlayacak en iyi alt sınır değerini veren Lagrange çarpanlarının belirlenmesidir. Lagrange gevşetmesi başlangıç olurlu çözümü bulmaya yarayan bir *ekleme (add)* sezgiseli kullanılarak tamamlanmıştır. Yani, çalışmada önerilen *Lagrange gevşetmesi sezgiseli (Lagrangean Relaxation Heuristic)*, içinde ekleme sezgiselini de barındırmaktadır, bu sezgisel ilk iterasyonda amaç fonksiyonu değeri için bir üst sınır belirlemede kullanılmaktadır. Lagrange çarpanlarının başlangıç değerlerinin sıfır alınması ile bulunan çözüm ise eğer kapasiteli problem için olurlu değilse alt sınır olarak alınır ve kısıtları sağlamayan Lagrange çarpanları güncellenerek yeni çarpanlar için elde edilen çözüm ile devam edilir. Alt ve üst sınır değerleri gerektiğinde güncellenir, durdurma kriteri olarak ise bir maksimum iterasyon sayısı ya da üst sınırın alt sınıra oranının belli bir  $\epsilon$  uzaklık değerinin altında olması şartının sağlanması belirlenmiştir. Algoritma, kapasiteli problem için olurlu bir çözüm bulamazsa, bu çözüme bir *son ayarlama (final adjustment)* sezgiseli uygulanarak elde edilen en iyi çözümdeki müşteri atamaları iyileştirilmeye

çalışılır. Son ayarlama sezgiselinde amaç, Lagrange gevşetmesinde Lagrange çarpanları ile değiştirilmiş maliyetler kullanılarak atama yapılması nedeniyle bulunamamış ama orjinal maliyet değerlerine göre mevcut tesis seti için daha iyi müşteri atamalarının olduğu bir çözüm varsa elde edilmesidir. Son ayarlama sezgiselinin uygulanmasının, Lagrange gevşetmesi temelli sezgisel ile olurlu bir çözüm bulunmadığı duruma da genişletilebileceği, ancak Lagrange gevşetmesi ile elde edilemezse de, ekleme sezgiseli ile elde edilmiş olurlu bir çözümün genellikle bulunduğu belirtilmiştir. Önerilen yöntemin performansı, Kuehn ve Hamburger (1963) çalışmasının 12 test problemi kullanılarak test edilmiştir. Lagrange gevşetmesi sezgiselinin iyi sonuçlar verdiği, ekleme sezgiselinin ise gürbüz olmadığı görülmüştür, bu nedenle tek başına kullanılmaması gerektiği belirtilmiştir.

Delmaire vd. (1999)'da da tek kaynaklı kapasiteli tesis yer seçimi problemi incelenmektedir. Bir reaktif, tepkisel GRASP (*Reactive Greedy Randomized Adaptive Search Procedures*), bir tabu arama ve GRASP ile tabu arama sezgisellerini farklı şekillerde birleştiren iki adet hibrit sezgisel yöntem sunulmuştur. "GRASP" ilk olarak Feo vd. (1995) tarafından sunulmuş bir meta-sezgiseldir. Her bir iterasyonun çözüm inşa edilen ilk aşama ve bu çözümün yerel arama ile geliştirilmeye çalışıldığı ikinci aşama olmak üzere iki aşamadan oluştuğu iteratif bir yöntemdir. Çözüm oluşturulurken her seferinde bir element ele alınır, sıradaki element bir açgözlü fonksiyona göre belirlenmiş sınırlı aday listesinden tesadüfi olarak seçilir. Sınırlı aday listesine alınan elementler, açgözlü fonksiyon değeri  $[0,1]$  aralığından seçilmiş  $\alpha$  indeksinden (eşik değeri) küçük olan elementleri içermektedir. Dolayısıyla, yöntemin performansı  $\alpha$  parametresine bağlıdır. Standart GRASP'ta  $\alpha$  değerinin seçimi, prosesin  $\alpha$ 'nın farklı değerleri için tekrar edilip en iyi  $\alpha$  değerinin belirlenmeye çalışılması ile yapılırken, Reaktif GRASP'ta ise  $\alpha$ 'nın her bir olası değeri için iyilik ölçütü kullanılarak prosesin farklı iterasyonlarında bir otomatik seçim kriteri tanımlanmıştır. Bu çalışmada Delmaire vd. (1997)'de sunulan standart GRASP prosedüründen farklı olarak reaktif GRASP metodu önerilmektedir. Reaktif metodlar, metasezgisel tabanlı olup kendi içinde düzeni olan algoritmalarıdır. Bu metodlar, standart metasezgisellerin olası gürbüzlük (*robustness*) eksikliğini giderme amacıyla kullanılır.

Delmaire vd. (1999)'da önerilen reaktif GRASP, standart GRASP'a göre sonuçların çözüm kalitesini artırmıştır çünkü standart GRASP üretilen farklı çözümler yönünden kısıtlıdır. Reaktif GRASP ise değişkenliği artırarak çözüm kalitesi açısından daha iyi sonuçlar vermiştir. Standart GRASP'a göre reaktif GRASP'ın süresinde dikkate değer bir artış olmuştur ancak çözüm süresi hala kısadır.

Delmaire vd. (1997) ve Delmaire vd. (1999)'da yer alan tabu arama algoritmalarının ise çözüm yapıcı kısımları aynıdır, ancak iyileştirme kısmında farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu farklılıklar: SSCFLP'nin açık bir tesisler seti için dönüştüğü atama altprobleminin çözüm aşamasının farklılaştırma (*diversification*) kısmında, Delmaire vd. (1997)'de frekans bazlı, Delmaire vd. (1999)'da ise geçici olarak tesislerin kapasitelerinin artırılmasına dayanan bir yaklaşım benimsenmesi; aday hareketlerin listesinin oluşturulmasında kullanılan yöntemlerin farklı olması ve bir çözümün tabu olarak kaldığı iterasyon sayısını belirten tabu süresi için Delmaire vd. (1997)'de sabit bir parametre kullanılırken, Delmaire vd. (1999)'da ise belli bir aralıktan tesadüfi olarak bir değer seçilmesidir.

Ahuja vd. (2004)'te tek kaynaklı kapasiteli tesis yer seçimi problemi için bir *Geniş Ölçekli Komşuluk Arama Algoritması (Very Large Scale Neighborhood Search Algorithm)* sunulmuştur. Önerilen yöntem, müşterilerin değiştirilmesi ya da tesis hareketlerinin alternatif kullanımlarına dayanmaktadır. Müşterilerin değiştirilmesi, açılmış olan tesisler arasında müşteri atamalarının değiştirilmesi şeklindedir. Tesis hareketleri ise daha iyi bir açık tesisler seti oluşturmayı amaçlar; yeni bir tesis açılması, açık durumda olan bir tesisin kapatılması ve bir tesisin farklı bir yere transferi olmak üzere üç farklı şekilde olabilir. Bu çalışmada, müşteri iyileştirme çizgeleri (*customer improvement graph*) kullanılarak elde edilen tek müşterinin birden fazla yer değiştirmesi (*single-customer multi exchanges*) hareketleri ile, tesis iyileştirme çizgeleri (*facility improvement graph*) kullanılarak elde edilen birden fazla müşterinin birden fazla yer değiştirmesi (*multi-customer multi exchanges*) hareketleri kullanılmıştır. Birden fazla müşterinin birden fazla yer değiştirmesi hareketlerinin kullanımı yenidir. Ancak birden fazla müşterinin birden fazla yer değişimini içeren hareketlerin modellenmesi için üssel sayıda küme söz konusu olduğundan bu çalışmada, birden fazla müşterinin birden fazla yer değişimi hareketleri, iyileştirme çizgesinin dinamik olarak oluşturulduğu ve

iyileşme sağlama potansiyeli olan bir müşteri alt kümesinin hareketine izin verilen bir yaklaşıma başvurularak uygulanmıştır. Yeniden atanmalarının maliyette iyileşme ile sonuçlanacağı tahmin edilen müşteri alt kümesinin belirlenmesi, atama maliyeti parametrelerinin direk karşılaştırılmasına dayanan bir açgözlü yaklaşımla sağlanır. Önerilen sezgisel, literatürde yer alan iki ayrı veri seti üzerinde ve bir İtalyan fabrikasının gerçek veri seti için denenmiştir. Yapılan analizler literatürde yer alan en zor referans (*benchmark*) veri setleri üzerine yoğunlaştırılmıştır, çünkü çalışmanın amacı ticari optimizasyon yazılımları tarafından çözülemeyen verilere çözüm bulmaktır. Bu veri setleri; Holmberg vd. (1999)'da rassal olarak elde edilmiş veri seti ile Beasley (1990)'dan alınan verilerdir. Yapılan nümerik analizlere göre, önerilen geniş ölçekli komşuluk arama algoritmasının büyük boyutlu problemler için efektif sonuçlar verdiği görülmüştür.

Rainwater vd. (2012)'de talebin esnek olduğu, tek kaynaklı kapasiteli tesis yer seçimi problemi ele alınmıştır. Talebin esnekliği, müşteri tarafından talep karşılanma değeri için izin verilebilir bir aralık belirlenmesini ifade etmektedir. Önerilen ilk ve temel iyileştirme sezgiseli, açık bir tesisler setini değiştirmeye ve her aşamada müşterilerin tekrar atanmasına dayanan bir *tesis komşuluğu arama (facility neighborhood search)* sezgiseli, ikinci yöntem ise *geniş ölçekli komşuluk arama algoritması (very large scale neighborhood search algorithm)*nın özel bir uygulamasıdır. Tesis komşuluğu arama sezgiselinde açık tesisler seti açma, kapama ve değiştirme hareketleri ile değiştirilmektedir. Elde edilen açık tesisler setinde tüm müşterilerin tekrar atanmasında ise, esnek işlerin yer aldığı genel atama problemi (*generalized assignment problem with flexible jobs*) için Rainwater vd. (2008)'de önerilen çözüm kurucu sezgisel kullanılır. Tesis komşuluğu arama sezgiselinin tamamlanması ile elde edilen çözüme geniş ölçekli komşuluk arama algoritmasının özel bir uygulaması olan sezgisel uygulanarak devam edilir. Geniş ölçekli komşuluk arama algoritmasında genelde iyileştirme grafiğindeki bir arkin maliyeti, o arkin temsil ettiği atama değişimi yapıldığında oluşacak olan karlılıktaki değişimi göstermekte iken, bu probleme uygulanmasındaki fark, yapılacak bir talep ataması değişiminde, talep esnekliğinden dolayı, sadece maliyet (kâr) parametrelerine değil ilgili talep karşılama seviyelerine de karar verilecek olmasıdır. Bu nedenle de arkların maliyetleri hesaplanırken, talep karşılama seviyelerindeki uygun değişimin belirleneceği altproblem, talep

karşılama değişkenlerinin birim karların artmayan sırasına göre ve kapasite kısıtlarını sağlayacak şekilde olabildiğince büyük seçilmesiyle çözdürülür. Önerilen yöntemlerin tesis başına düşen müşteri sayısının çok olduğu (müşteri/tesis oranının büyük olduğu) problemler için efektif olduğu görülmüştür.

Geniş ölçekli komşuluk arama algoritması, verilen bir tesis seti için farklı müşteri atamaları olan çözümleri efektif bir şekilde bulabilse de, açık tesisler setini çok fazla değiştiren çözümleri nadiren bulmaktadır. Bu yetersizlik, Ahuja (2004)'te tesis komşuluğu yapısının eklenmesiyle doğrulanmıştır. Ahuja (2004)'te yer alan tesis komşuluğu yapısında farklı bir tesise atanmaları ile maliyetin düşmesi sağlanabilecek müşteri altkümesi belirlenerek onların yeniden atanması yapılır. Tüm müşterilerin yeniden atanması ancak kısmi atama prosedürleri ile daha iyi ya da olurlu bir çözüm bulunamazsa değerlendirilmektedir, bu çalışmada ise Ahuja (2004)'ten farklı olarak her adımda tüm müşterilerin yeniden atanması söz konusudur. Her adımda tüm müşterilerin yeniden atanmasının getireceği hesapsal yükün, atama altprobleminin hızlı ve efektif bir sezgisel yaklaşım ile çözülmesiyle giderilebileceği ve aynı zamanda getirilen bu farklılığın talebin esnek olduğu durum için, Ahuja (2004)'teki diğer geniş komşuluk aramalarına gerek duyulmaksızın iyi sonuçlar elde etmeyi sağladığı belirtilmiştir. Ahuja (2004)'te değerlendirilecek komşulukların müşteri sayısına bağlı olarak karesel olarak artması nedeniyle, yöntem talebin esnek olduğu durumda büyük boyutlu problemlere uygulanabilir değildir. Bu anlamda, Rainwater(2012)'de sunulan yaklaşım, talebin esnek olduğu tesis yer seçimi problemini ele alan ilk sezgisel ve atama altproblemine ayrıştırılabilir büyük boyutlu problemler için uygulanabilir bir yöntemdir.

Syam ve Cote (2010)'da hizmet sağlayıcılar için bir yer seçimi ve atama modeli (*location - allocation model*) önerilmiş ve çözüm yöntemi olarak bir tavlama benzetimi sezgiseli sunulmuştur. Bu model, *Savaş Gazileri İşleri Bakanlığı (Department of Veterans Affairs)*'nin servis ağlarından biri için geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Belirli bir servis seviyesini sağlayacak şekilde maliyetin en küçüklenmesini amaçlayan modelde, maliyetler servisi sağlamak için gerekli sabit ve değişken maliyetlerin yanı sıra tedavi edilmeyen hasta başına hesaplanan kayıp hasta maliyetlerinden oluşmaktadır. Amaç fonksiyonunun hizmet verilmeyen

hastaların sayısı ile orantılı olarak belirlenen ceza maliyeti içermesi nedeniyle modelin çok amaçlı bir yapıda olduğu söylenebilir. Servis oranı ise, belirli bir coğrafi alanda Savaş Gazileri İşleri Bakanlığı tarafından hizmet verilebilecek uygun hastalar üzerinden tanımlanmıştır. Önerilen model, literatürdeki diğer çalışmalardan minimum bir servis seviyesini sağlamak için gerekli olan maliyet ile servis seviyesi arasındaki ödünleşimi ele alması ve servis sağlayıcıların dağılım politikaları ile toplam maliyet ya da servis sağlanan müşteri sayıları gibi sistem amaçları arasındaki ilişkiyi incelemesi açısından ayrılmaktadır.

İncelenen maliyet odaklı yer seçimi problemlerinde, tek kaynaklı durumun ele alınıp talebin bölünmesine izin verilmediği ve bu problemlerde atanabilirlik kısıtlarının yer almadığı görülmüştür. Bu durum, bu çalışmalarda yer alan sezgisellerin bizim çalışmamızda ele alınan probleme uygulamasını zorlaştırmaktadır. Bunun için komşuluk ve hareket tanımlarının probleme uyarlanmasını sağlayacak ek kurallar gerekmektedir. Maliyet odaklı yer seçimi problemleri arasında, talebin bölünebilmesine izin vermesi ve atanabilirlik kısıtlarının varlığı ile ele alınan problem literatürdeki çalışmalardan ayrılmaktadır.

Literatür incelememizde son olarak literatür taraması makalelerine değineceğiz. Bu çalışma kapsamında, tesis yer seçimi ve acil servis yer seçimi problemini ele alan literatür taraması makaleleri incelenmiştir. Sridharan (1995)'te kapasiteli tesis yer seçimi problemi için önerilen farklı sezgisel ve kesin çözüm yöntemleri ele alınmaktadır. Sezgisel çözüm yöntemleri açgözlü algoritmalar (*the greedy heuristics*), değiştirme algoritmaları (*interchange heuristics*) ve Lagrange gevşetmesi temelli algoritmalar (*Lagrangian heuristics*) olmak üzere üç başlıkta incelenmiş; kesin çözüm yöntemleri ise doğrusal programlama gevşetmesi, Lagrange gevşetmesi, eş-ters tırmanış (*dual-ascent*) yöntemi, Benders ayrıştırma, Cross ayrıştırma ve indirgeme testleri (*reduction tests*) başlıkları altında incelenmiştir. Ayrıca, temel çizelgeleme, ekipman değiştirme, yıldız-yıldız konsantratör yer seçimi (*star-star concentrator location*) ve genel sepet paketleme problemlerinin (*generalized bin packing problem*) kapasiteli tesis yer seçimi probleminin özel durumları olduklarına değinilerek incelenen çözüm yöntemlerinin aynı zamanda bu problemlere de uygulanabileceği belirtilmiştir.



Acil servis yer seçimi probleminin önemi dolayısıyla literatür taraması makaleleri sayısının fazla olduğu görülmektedir. Marianov ve Serra (2002), acil servis hizmet birimleri (ambulans, itfaiye ve polis), okul ve posta sistemleri gibi kamu sektöründeki yer seçimi problemlerini ele almıştır. Kamu sektöründeki yer seçimi problemleri, kapsama kısıtları yer alan modeller ve p-medyan temelli modeller olmak üzere iki ayrı bölümde ele alınmış; kapsama modelleriyle ilgili bölümde acil servis hizmetleri problemleri özelinde ayrıca değerlendirme yapılmıştır. Brotcorne vd. (2003)'te ambulans yer seçimi problemi ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir, geçmiş 30 yılda yapılan çalışmalar deterministik ve olasılıksal (stokastik) olmak üzere iki ana başlıkta incelenmiştir. Ayrıca, daha önceki literatür taramalarından farklı olarak dinamik yeniden yerleştirme (*dynamic relocation*) modelleri için de ayrı bir bölüme yer verilmiştir. Çalışmada gerçek hayat uygulamaları da yer almaktadır. Goldberg (2004)'te acil tıbbi yardım hizmetleri ve itfaiye teşkilatlarının yerleşim ve planlaması ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın önceki literatür taramalarından ayrılan özelliği, yöneylem araştırmacılarından ziyade acil tıbbi hizmet sistemleri ve itfaiye teşkilatı yöneticileri ile tıbbi direktörleri bilgilendirmeyi hedeflemesidir. Bu amaçla çalışmanın içeriği, efektif sistemler tasarlama ve işletmeye yardımcı olacak şekilde problem konuları ve modelleme yaklaşımına göre kronolojik olarak düzenlenmiştir. Makalede yer alan çalışmalar hem analitik açıdan hem de uygulama açısından ele alınmış; ancak çözüm yöntemlerinden çok problem ve modelleme varsayımları üzerinde durulmuştur. Çalışmada, 35 yıllık bir süreci kapsayan 115'ten fazla kaynak kitap, makale ve web sitesinden yararlanılmıştır.

Li vd. (2011), acil servis yer seçimi ile ilgili kapsama modellerini ve optimizasyon tekniklerini geçmiş yıllardan başlayarak ele almaktadır. Ancak, daha çok yakın zamanda yapılan çalışmalarda yer alan hiperküp kuyruk (*hypercube queuing*), dinamik atama (*dynamic allocation*), kademeli kapsama (*gradual covering*) ve kooperatif kapsama (*cooperative covering*) modellerine ağırlık verilmiştir. Çalışmada, acil servis yer seçimi ve planlaması için geliştirilen modellerin matematiksel formülasyonları yanısıra çözmek için geliştirilen optimizasyon teknikleri de sezgisel algoritmalar, simülasyon ve kesin çözüm yöntemleri olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir.

Acil servis istasyonları yer seçimi problemleri için özellikle 1990'ların sonundan itibaren artan bir hızla yapılan çalışmalarla değişik amaç fonksiyonu ve kısıtlar içeren modeller ve farklı çözüm yöntemleri geliştirilmiş olduğu halde literatürde farklı problem tipleri ve yöntemlere göre sistematik bir sınıflandırma yer almadığından Başar vd. (2012)'de yöneylem araştırması bakış açısıyla bir sınıflandırma sunulmuştur. Çalışmalar temel olarak acil servis hizmetinin tipi, amaç fonksiyonu, kısıtlar, model varsayımları, modelleme ve çözüm yöntemi açısından değerlendirilmiştir. Sınıflandırmada yer alan 57 makalenin belirlenmesi için 1959 yılından itibaren yayınlanmış 210 çalışma incelenmiş, özellikle 2000 yılından sonra yapılan çalışmaların sayısında artış olduğu tespit edilmiştir. Çalışmadan elde edilen genel sonuçlara göre ambulans ve itfaiye istasyonlarının yer seçimi problemlerinin polis istasyonu yer seçimi problemine göre çok daha fazla çalışıldığı; dinamik, doğrusal olmayan ve hedef programlamanın nadiren kullanıldığı ve stokastik/kuyruk yaklaşımları sıklıkla görülmediğinden bu yaklaşımlara özgü amaç fonksiyonu ve kısıt tiplerinin de az görüldüğü belirlenmiştir.

# 3. ACİL YARDIM İSTASYONU YER SEÇİMİ PROBLEMİ

## 3.1 Problem Kapsamı

Bu çalışmada, acil yardım istasyonu yer seçimi problemi için, talep noktaları ile acil yardım istasyonları arasında maksimum standart bir müdahale süresini garantileyen çok kaynaklı ve kapasiteli tesis yer seçimi formülasyonu önerilmiştir.

Kapasiteli tesis yer seçimi probleminde, sabit kurulum maliyetleri ve kapasiteleri bilinen aday tesis yerleşimleri kümesi ile talepleri bilinen müşteri kümesi bulunur. Ayrıca, her bir tesis için her bir müşterinin bir birim talebini karşılamanın maliyeti bilinmektedir. Amaç, kapasite kısıtları çerçevesinde, tüm müşterilerin taleplerinin en düşük toplam maliyet ile karşılanmasıdır. Verilecek kararlar, aday tesis yerleşimlerinden açılacak olan tesis alt kümesinin belirlenmesi ve bu alt kümedeki tesislere talep noktalarının atamasının yapılması olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır.

Varsayımlar:

- Talep noktaları, müdahale bölgelerini temsil etmektedirler. Modelin gerçek hayat uygulamasında bu bölgeler mahalleler olarak kabul edilebilir. Ayrıca, her mahallenin acil yardım talebinin nüfusuyla doğru orantılı olduğu varsayılabilir. Talep noktalarının temsil ettikleri müdahale bölgelerinin merkezinde yer aldığı varsayılmıştır.

- Çağrıya müdahale süresi acil servis aracının olay yerine ulaşmasına kadar geçen süre olarak kabul edilmiştir. Talep noktaları ve aday istasyon yerleşim yerleri arasındaki mesafe, merkezleri arasındaki mesafe olarak tanımlanmış ve simetrik olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, acil servis araçlarının istasyonlardan ayrılmaları için gerekli hazırlık sürelerinin birbirinden bağımsız olduğu varsayılmıştır.
- Çağrılar için her hangi bir ayırım yapılmaksızın (kırsal ya da kentsel bölgeden gelmesi, acil ya da acil olmayan şeklinde sınıflandırılması gibi), talep noktaları ile acil yardım istasyonları arasında tek bir maksimum müdahale süresi standardı belirlenmiş ve kullanılmıştır.
- Talep noktaları ve aday istasyon yerleşim yerleri arasındaki mesafe, deterministik olarak kabul edilmiştir. Benzer şekilde, talebin deterministik olduğu varsayılmıştır. Bu yaklaşım, gerçek hayatta rassal olan mesafe ve talep değerlerinin, ortalama değerleri ile tanımlanması olarak açıklanabilir. Ancak, elde edilen çözüm rassal oldukları varsayımı altında elde edilenden farklı olacak ve rassal durum için olurlu olmayan durumlar oluşabilecektir.
- Her bir talep noktasının talebinin, bir acil yardım istasyonu tarafından kısmi olarak kapsanarak bir veya birden fazla istasyon tarafından toplam talebinin karşılanması gerektiği varsayımları altında çok kaynaklı (*multi-sourcing*) atama yapılmaktadır.
- Bu çalışmada tek tip acil servis aracı bulunduğu varsayılmış ve araç güvenliği göz önüne alınmamıştır, ataması yapılan acil tıbbi servis aracının olay yerine güvenli bir şekilde ulaştığı kabul edilmiştir.
- Her çağrı, her acil tıbbi yardım istasyonuna atanabilir. Atanabilirlik kısıtı olarak, yalnızca çağrının geldiği alan ile acil servis istasyonu arasındaki mesafenin önceden belirlenen bir mesafe eşik değerinden daha küçük olması şartı dikkate alınmıştır.

## 3.2 Matematiksel Model

Acil tıbbi yardım istasyonu tesis yer seçimi problemi için, acil talep isteklerini birim zaman diliminde karşılayabilecek şekilde bir model geliştirilmiştir. Birim zaman dilimi, acil tıbbi yardım istasyonu yer seçimi problemi için, yaklaşık olarak ambulansın bir talep noktasına ulaşması, müdahale etmesi ve geri dönmesi için gerekli süre olarak tanımlanmıştır. Problem, tesis yer seçimi modeli olarak formüle edilmiştir. Problem parametreleri, Tablo 3.1’de yer almaktadır.

Tablo 3.1: Parametreler

Girdiler	Açıklaması
$I$	Sonlu sayıda eleman içeren talep noktaları kümesi
$J$	Sonlu sayıda eleman içeren aday yerleşim yerleri kümesi
$t_{ij}$	Bir $i$ talep noktasından bir $j$ tesisine olan uzaklık, $i \in I, j \in J$
$\beta$	Bir birim talebi bir birim uzaklıkta taşımanın maliyeti
$s_{ij}$	Bir birim talebi bir $i$ talep noktasından bir $j$ tesisine taşımanın maliyeti, $s_{ij} = \beta t_{ij}, i \in I, j \in J$
$T$	Kapsama alanı eşik değeri
$f_j$	$j$ tesisini kurmanın sabit maliyeti, $j \in J$ (birim zaman)
$c$	Acil servis aracı satın alma ve edinme maliyeti (birim zaman)
$U_j$	$j$ düğümüne atanabilecek maksimum araç sayısı, $j \in J$
$d_i$	Birim zaman diliminde $i$ talep noktası tarafından üretilen servis istekleri sayısı, $i \in I$

Literatür tesis yer seçimi problemlerini kapasite durumuna göre kısıtlı kapasiteli ve kısıtsız kapasiteli olarak ve taleplerin tesislere atamasının nasıl yapıldığına göre ise tek kaynaklı ya da çok kaynaklı olarak incelemektedir. Modelleme yaklaşımlarının gelişimini inceleyebilmek amacıyla, literatürdeki sabit maliyetli (*fixed charge*) yer seçimi modelleri öncelikle sınırsız kapasiteli durumdan başlanarak atamaların yapılmış şekillerine göre ele alınacaktır.

### *Sınırsız Kapasiteli Yer Seçimi Modeli:*

Öncelikli olarak tesis kapasitelerinin sınırlı olmadığı ve bir talep noktasına yalnızca bir tesis tarafından hizmet verildiği durum için karar değişkenleri ve matematiksel model verilecektir.

Karar Değişkenleri:

$$y_j = \begin{cases} 1 & j \in J \text{ noktasında bir tesis varsa} \\ 0 & \text{d.d.} \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & i \in I \text{ talep noktasının talebi } j \in J \text{ tesisi tarafından karşılanıyorsa} \\ 0 & \text{d.d.} \end{cases}$$

$$\min Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_i s_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} f_j y_j \quad (3.1)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3.2)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.3)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (3.4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.5)$$

Bu formülasyonda  $|J|+|I||J|$  sayıda ikili değişken yer almaktadır (Cornuejols, 1977). Kapasitesiz tesis yer seçimi problemi için literatürde ayrıca Erlenkotter (1978)'de yer alan  $x_{ij}$  değişkenlerinin tamsayı alınmadığı formülasyon da mevcuttur. Bu durumda,  $x_{ij}$ 'ler her bir  $i \in I$  talep noktasının talebinin  $j \in J$  tesisinden karşılanma oranını gösteren sürekli değişkenler olarak tanımlanarak bir talep noktasının talebinin birden fazla tesisten kısmi olarak karşılanmasına izin vermektedir. Böylelikle, çok kaynaklı kapasitesiz yer seçimi problemi için karışık tamsayılı bir formülasyon elde edilmiş olur, bu formülasyon literatürde *sıkı formülasyon (tight formulation)* olarak bilinmektedir.

Çok kaynaklı kapasitesiz tesis yer seçimi formülasyonununun, *zayıf formülasyon (weak formulation)* olarak bilinen ve Efröymson ve Ray (1966)'da önerilip

Spielberg (1969) ve Khumawala (1972)'de de kullanılan hali (3.3) no'lu kısıtların talep noktaları üzerinden toplanması ile oluşturulan, aşağıda yer alan (3.6) no'lu kısıtların (3.3) no'lu kısıtlar yerine kullanılması ile elde edilir:

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq n_j y_j \quad \forall j \in J \quad (3.6)$$

$n_j$  parametresi,  $j$  tesisi tarafından talebi karşılanabilecek olan talep noktalarının sayısını belirtmektedir. Sıkı formülasyonda yer alan (3.3) no'lu kısıtlar ile elde edilen tüm çözümler zayıf formülasyonu da çözmektedir ancak tersi söylenemez çünkü (3.6) no'lu kısıtların kullanılması olurlu bölgeyi önemli oranda genişletmektedir. Formülasyonların bu özelliklerine ilk kez Schrage (1975)'te değinilmiştir.

*Sınırlı Kapasiteli Yer Seçimi Modeli:*

Kapasitesiz tesis yer seçimi probleminin bir uzantısı, maliyeti enküçükleyecek ve kapasite kısıtlarını aşmayacak şekilde, açılacak tesis alt kümesinin belirlenmesi ve her bir talep noktasının bu alt kümedeki tesislerden tek bir tanesine atamasının yapılmasıdır. Literatürde yer alan tek kaynaklı kapasiteli yer seçimi modeli formülasyonu, karar değişkenleri kapasitesiz yer seçimi modeli ile aynı olacak şekilde, aşağıdaki gibidir:

$$\min Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_i s_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} f_j y_j \quad (3.7)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3.8)$$

$$\sum_{i \in I} d_i x_{ij} \leq U_j y_j \quad \forall j \in J \quad (3.9)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (3.10)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.11)$$

Klincewicz ve Luss (1986)'da karar değişkenlerinin bu şekilde tanımlandığı benzer bir formülasyon yer almaktadır, böyle bir formülasyonda da  $|J|+|I||J|$  sayıda ikili değişken bulunmaktadır. Her bir talep noktasının talebinin sadece bir tesisten karşılanabiliyor olması varsayımı kaldırılarak bir talep noktasının

talebinin birden fazla tesisten karşılanmasına olanak sağlayan karışık tamsayılı kapasiteli tesis yer seçimi formülasyonu literatürde, kapasitesiz durumda olduğu gibi,  $x_{ij}$  değişkenlerinin her bir  $i \in I$  talep noktasının talebinin  $j \in J$  tesisinden karşılanma oranını gösteren sürekli değişkenler olarak tanımlanmasıyla elde edilmiştir. Van Roy (1986)'da böyle bir formülasyon yer almaktadır, ayrıca formülasyona kapasitesiz durumdakine benzer şekilde daha sıkı bir formülasyon elde edilmesi amacıyla kapasiteli durumda *artık kısıt (redundant constraint)* olan (3.12) no'lu kısıtlar eklenmiştir:

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.12)$$

Bizim çalışmamızda önerilen çok kaynaklı modelin formülasyonuna geçmeden önce modelde yer alan atanabilirlik kısıtları ve bu kısıtları oluştururken kullanılan kapsama alanları tanımlanacaktır.

#### *Atanabilirlik Kısıtları*

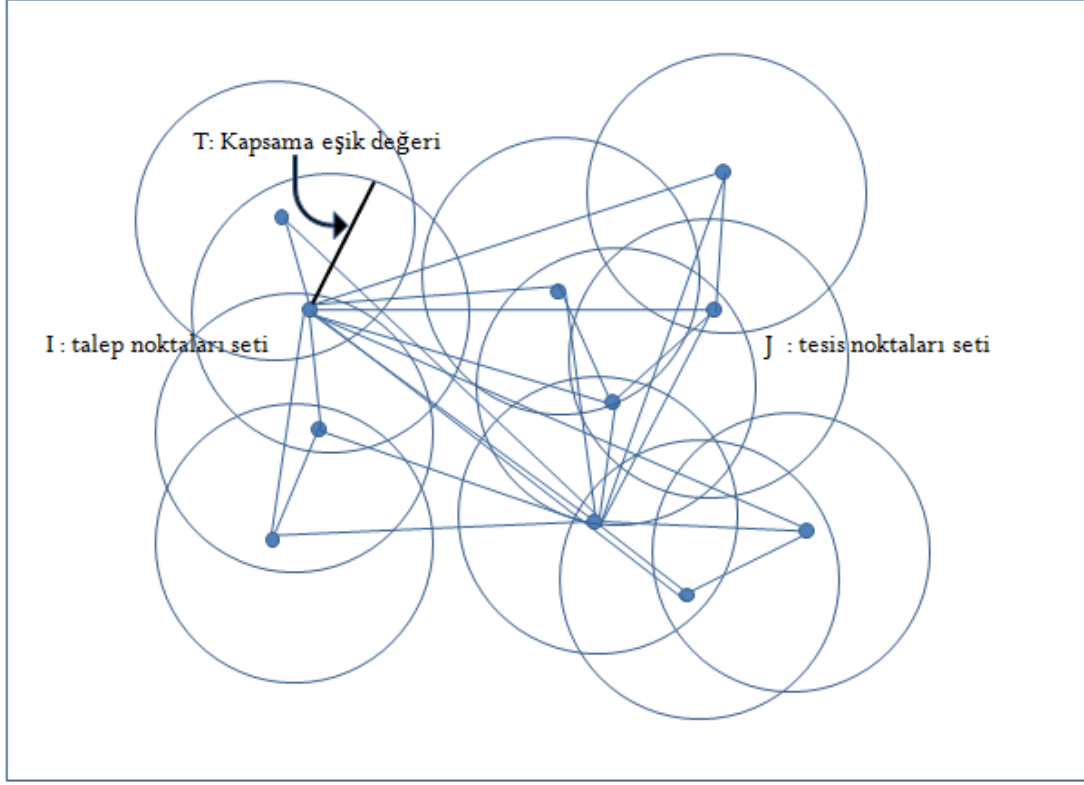
Acil yardım istasyonu yer seçimi problemi için önerdiğimiz modelde, standart bir müdahale süresinin garantilenmesi amacıyla, bir talep noktasının talebini karşılayabilecek aday tesisler kümesi belirlenmiştir. Bir talep noktasının talebini karşılayabilecek aday tesisler, o talep noktasından, sağlanmak istenen maksimum bir müdahale süresine göre belirlenmiş olan belli bir mesafe eşik değeri kadar uzak olmalıdır. Her bir aday tesis yerleşimi için de, talebini karşılayabilecekleri talep noktaları kümesi aynı şekilde belirlenir.  $D_j$ ,  $j$  yerleşimi tarafından talebi karşılanabilecek talep noktaları kümesi, ve  $F_i$ ,  $i$  yerleşimi için kabul edilebilir mesafede yer alan aday yerleşim yerleri kümesini belirtmek üzere şu şekilde tanımlanır:

$$D_j \equiv \{i | i \in I, t_{ij} \leq T\}, \forall j \in J$$

$$F_i \equiv \{j | j \in J, t_{ij} \leq T\}, \forall i \in I$$

Şekil 3.1'de her bir talep noktasının aynı zamanda bir aday acil servis yerleşim yeri olarak kabul edildiği, yani talep noktaları ile aday tesis yerleşim yerlerinin aynı olduğu ağ ve her bir talep/tesis noktası için  $F_i$  ve  $D_j$  kapsama alanları görülmektedir.





Şekil 3.1: Ağ Gösterimi

### *Matematiksel Model*

Bu çalışmada, acil tıbbi yardım istasyonu yer seçimi problemi için önerilen formülasyonda, Sá (1969), Akınç ve Khumawala (1977) ile Nauss (1978)'dekine benzer şekilde  $x_{ij}$  değişkenleri talep miktarlarına göre belirlenen araç sayıları olarak tanımlanmıştır.

Karar Değişkenleri:

$$y_j = \begin{cases} 1 & j \in J \text{ noktasında bir tesis varsa} \\ 0 & \text{d.d.} \end{cases}$$

$x_{ij}$  =  $i \in I$  talep noktası için  $j \in J$  yerleşim yerine atanan araç sayısı

Atanabilirlik kısıtları da göz önüne alınarak çok kaynaklı kapasiteli yer seçimi problemi aşağıda yeniden formüle edilmiştir:

$$\min Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in F_i} s_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} f_j y_j + \sum_{i \in I} \sum_{j \in F_i} c x_{ij} \quad (3.13)$$

$$\sum_{j \in F_i} x_{ij} \geq d_i \quad \forall i \in I \quad (3.14)$$

$$\sum_{i \in D_j} x_{ij} \leq U_j y_j \quad \forall j \in J \quad (3.15)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (3.16)$$

$$x_{ij} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.17)$$

Modelde amaç fonksiyonu (3.13), transfer maliyetlerinin, sabit maliyetlerin ve ambulans edinme ve satın alma maliyetlerinin toplamını en küçükler. (3.14) no'lu kapsama kısıtları ve (3.17) no'lu işaret kısıtları, her bir talep noktasının talebinin bir ya da daha çok açık tesisten karşılanmasını garantiler. (3.15) ve (3.17) no'lu kısıtlar ise, açık her bir  $j \in J$  tesisine atanan araç sayısının o tesisin kapasitesinden büyük olmamasını garantiler.

### 3.3 Sezgisel Yaklaşım

Önerilen sezgisel yöntem, çözüm kurucu bir ilk aşama sezgiseli ve iki aşamalı bir iyileştirme sezgiselinden oluşmaktadır. Çözüm kurucu ilk aşama ile olurlu bir başlangıç çözümü elde edilir. İyileştirme sezgiseli ise, eldeki çözümün komşuluğunda yer alan daha iyi bir çözüm ile değiştirilerek iyileştirilmesi esasına dayanır.

İyileştirme sezgiselinin performansı, başlangıç çözümünün kendisi ve komşuluk arama stratejisi gibi faktörlere bağlıdır. Başlangıç çözümünün kalitesi açısından çözüm kurucu sezgisel önemlidir. Komşuluk arama teknikleri ise genel olarak *en-iyi iyileştirici (best-improving)* ya da *ilk iyileştirici (first-improving)* stratejilerinden oluşmaktadır. En iyi iyileştirici strateji, tüm komşuların değerlendirilmesi ve

mevcut çözümün en fazla iyileşmeyi sağlayan yani komşular arasında en iyi olan çözümle değiştirilmesini kapsar. İlk iyileştirici strateji ise, amaç fonksiyonu değeri daha iyi olan ilk komşu ile mevcut çözümün değiştirilmesidir. Pratikte, genellikle her iki strateji ile de elde edilen son çözümün benzer olduğu görülse de, ilk iyileştirici stratejinin çözüm süresinin daha kısa olduğu saptanmıştır (Resende ve Riberio, 2003). Bu çalışmada yer alan iyileştirme sezgiselinin her iki aşamasında da ilk iyileştirici strateji uygulanmaktadır.

### 3.3.1 Çözüm Kurucu Sezgisel

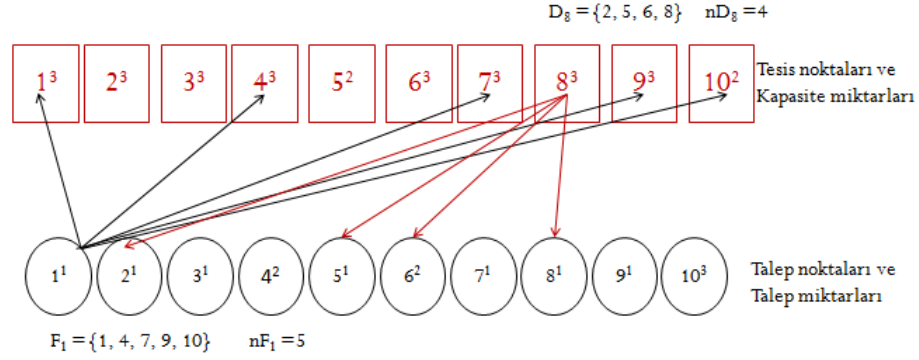
Önerilen sezgiselin ilk aşamasını oluşturan çözüm kurucu sezgisel için iki farklı alternatif algoritma önerilmiştir.

#### Algoritma 1.1:

Önerilen birinci alternatifte, atanabileceği tesis sayısı en küçük olan talep noktasından başlanır ve tesis kapasiteleri göz önüne alınarak en fazla sayıda talep noktasına hizmet verebilecek tesise atama yapılır. Tüm taleplerin ataması tamamlanana kadar devam edilir.

- **Adım 0:** Kapsama indislerinin tanımlanması: Her bir talep noktası  $i \in I$  için,  $F_i$  setini belirle ve  $nF_i = |F_i|$  'yi hesapla. Her bir tesis noktası  $j \in J$  için,  $D_j$  setini belirle ve  $nD_j = |D_j|$  'yi hesapla.

Şekil 3.2'de  $n = 10$  olan bir örnek durum için,  $i = 1$  talep noktası ve  $j = 8$  aday tesis noktasının  $F_1$ ,  $D_8$  kümeleri ve  $nF_1$ ,  $nD_8$  kapsama indisleri görülmektedir.



Şekil 3.2: Kapsama İndisleri

- **Adım 1:**  $\min NF = \min_{i \in I} \{nF_i\}$  'yi hesapla.  $nF_i$  değeri minimum olan  $i$  talep noktalarını ve bu talep noktalarının  $F_i$  setinde yer alan tesis noktalarını belirle.

$$I_0 \equiv \{i | nF_i = \min NF, i \in I\}$$

$$J_0 \equiv \{j | j \in F_i, i \in I_0\}$$

- **Adım 2:** Belirlenen tesis noktaları için, karşılayabilecekleri talep noktaları sayısını hesapla. En fazla sayıda talep noktasının talebini karşılayabilecek olan tesisi seç.

$$j^* = \operatorname{argmax}_{j \in J_0} \{nD_j\}$$

Eşitlik durumunda sabit maliyeti en küçük olanı tercih et.

- **Adım 3:** Her bir  $i \in D_{j^*}$  noktasını,  $nF_i$  değeri en küçük olandan başlayarak  $j^*$  tesisinin kapasitesi dolana kadar ata. Eşitlik durumunda, transfer maliyeti küçük olan tesisi seç. Kapasite, talep ve indis bilgilerini güncelle.
- **Adım 4:** Karşılammamış talebi olan talep noktası kalmayana kadar, Adım 1'e dön. Diğer durumda toplam maliyeti hesaplayarak, DUR.

Kapasite, talep ve indis bilgilerinin güncellenmesi:

$rDem[i^*]$ ,  $i$  talep noktasının kalan talep miktarı ve  $rCap[j^*]$ ,  $j$  tesisinin kalan kapasitesi olarak tanımlanmış olsun. Ayrıca,  $SDem$  ve  $SFac$  kümeleri sırası ile talebinin tamamı henüz atanmamış talep noktalarını ve dolmamış kapasitesi bulunan tesisleri gösterir olsun. Seçilen  $i^*$  talep noktası, talebini karşılamak üzere seçilen  $j^*$  tesisine atanırken, seçilen tesis eğer açık değilse açılır:

$$y_{j^*} = 1$$

Seçilen  $i^*$  talep noktasının talep miktarı ve  $j^*$  tesisinin kapasite değerlerinin büyüklüklerine göre üç farklı durum oluşur:

- **(1)**  $rDem[i^*] < rCap[j^*]$ :

Seçilen tesisin kapasite değerini ve atama değişkenini güncelle.

$$\begin{aligned} rCap[j^*] &= rCap[j^*] - rDem[i^*] \\ x_{ij} &= rDem[i^*] \end{aligned}$$

$SDem$  ve  $D_j$  kümelerini güncelle.

$$\begin{aligned} SDem &\equiv SDem \setminus \{i^*\} \\ D_j &\equiv D_j \setminus \{i^*\}, \quad \forall j \in F_{i^*} \end{aligned}$$

- **(2)**  $rDem[i^*] > rCap[j^*]$ :

Seçilen talep noktasının talebini ve atama değişkenini güncelle.

$$\begin{aligned} rDem[i^*] &= rDem[i^*] - rCap[j^*] \\ x_{ij} &= rCap[j^*] \end{aligned}$$

$SFac$  ve  $F_i$  kümelerini güncelle.

$$\begin{aligned} SFac &\equiv SFac \setminus \{j^*\} \\ F_i &\equiv F_i \setminus \{j^*\}, \quad \forall i \in D_{j^*} \end{aligned}$$

- **(3)**  $rDem[i^*] = rCap[j^*]$ :

Atama değişkenini güncelle.

$$x_{ij} = rDem[i^*] = rCap[j^*]$$

$SDem$  ve  $SFac$  kümelerini güncelle.

$$SDem \equiv SDem \setminus \{i^*\}$$

$$SFac \equiv SFac \setminus \{j^*\}$$

$F_i$  ve  $D_j$  kümelerini güncelle.

$$F_i \equiv F_i \setminus \{j^*\}, \quad \forall i \in D_{j^*}$$

$$D_j \equiv D_j \setminus \{i^*\}, \quad \forall j \in F_{i^*}$$

### Algoritma 1.2:

Önerilen ikinci alternatifte, tesis kurulum maliyetleri ve transfer maliyetleri göz önüne alınarak tesis seçimi ve atama kararları alınır.

- **Adım 0:**  $F_i$  ve  $D_j$  kapsama setlerini belirle. Karşılanmamış talebe sahip tüm  $i \in I$  talep noktaları ile  $SDem$  kümesini oluştur. Kapasitesi olan ve karşılayabileceği talep noktası bulunan tüm  $j \in J$  tesisleri ile  $SFac$  kümesini oluştur.

$$SDem \equiv \{i | d_i > 0, i \in I\}$$

$$SFac \equiv \{j | U_j > 0, nD_j > 0, j \in J\}$$

- **Adım 1:**  $j \in SFac$  olan her bir tesis noktası için yaklaşık toplam maliyeti aşağıdaki formülü kullanarak hesapla.

$$TM[j] = f_j + \frac{\sum_{i \in D_j} s_{ij} d_i}{\sum_{i \in D_j} d_i} \times U_j \times \min \left( \frac{\sum_{i \in D_j} d_i}{U_j}, 1 \right) \quad (3.18)$$

- **Adım 2:** Atanmamış talebi olan talep noktalarından, en iyi ve en iyi ikinci atama alternatifleri arasındaki maliyet farkı ( $\Delta TM_i$ ) en büyük olan talep noktasını seç.

$$i^* = \operatorname{argmax}_{i \in S_{Dem}} \{\Delta TM_i\}$$

Bu talep noktasını atanabileceği en düşük maliyetli tesise ata.

$$j^* = \operatorname{argmin}_{j \in F_{i^*}} \{TM[j]\}$$

Kapasite, talep ve indis bilgilerini güncelle.

- **Adım 3:**  $j^*$  tesisinin talebini karşılayabileceği talep noktaları için en iyi atanma maliyetini ya da atanma maliyetleri ortalamasını belirle ve bu değeri en büyük olanı seç.

$$i^* = \operatorname{argmax}_{i \in D_{j^*}} \{\min_{j \in F_i} \{TM[j]\}\}$$

$$i^* = \operatorname{argmax}_{i \in D_{j^*}} \left\{ \frac{\sum_{j \in F_i} TM[j]}{|F_i|} \right\}$$

$i^*$  talebini  $j^*$  tesisine ata. Kapasite, talep ve indis bilgilerini güncelle.  $j^*$  tesisinin kapasitesi doluncaya kadar ya da  $j^*$  tesisine atanacak talep noktası kalmayınca kadar Adım 3'ü tekrarla.

- **Adım 4:** Karşılanmamış talebi olan talep noktası kalmayana kadar, Adım 1'e dön. Diğer durumda, DUR.

Adım 1'de aday tesislerin her biri için hesaplanan toplam maliyet fonksiyonu, bir tesisin açılması durumunda katlanılacak maliyeti yaklaşık olarak hesaplar. Bu fonksiyonun ilk bileşeni, tesis açmanın kurulum maliyetidir. İkinci bileşeni ise, bir tesis için toplam değişken maliyeti temsil etmektedir. Bu bileşen, bir tesisin kapsama alanı içinde yer alan karşılanmayan talep miktarlarını göz önüne alarak ortalama transfer maliyetlerini hesaplar. Bu ortalama değer, bir birim talebin bu tesis tarafından karşılanması durumunda katlanılacak transfer maliyetlerini temsil

eder. Toplam değişken maliyet, bu tesise atanabilecek tüm taleplerin atanması durumunda kullanılan kapasite miktarı ile birim transfer maliyetinin çarpılması ile elde edilir.

Algoritmada, seçilen bir tesisin talebini karşılayabileceği bir talep noktası bulunduğu sürece, tesisin kalan kapasitesini doldurmadan açılmak üzere yeni bir tesis seçilmemektedir. Bir tesis açtırmak için ise incelenen talep noktalarının en iyi ve en iyi ikinci atama alternatiflerinin maliyet farkına bakılmaktadır. Açılan bir tesisin kapasitesi doldurulurken ise, incelenen talep noktaları için kalan tesisler arasından en iyi alternatifin maliyeti belirlenerek bu maliyeti en büyük olan talep noktası seçilir, aslında bu kriter açılan tesisin sabit maliyetine katlanıldığı için yine en iyi ile en iyi ikinci atanma maliyetleri arasındaki farkı en büyük olan talep noktasının seçilmesi anlamına gelmektedir.

### 3.3.2 İyileştirme Sezgiseli

Sezgiselin birinci aşaması ile elde edilen çözüm, bu aşama için olurlu başlangıç çözümü olarak kullanılır. Başlangıç çözümünde bir tesise ilk olarak atanarak tesisin açılmasını sağlayan talep noktalarının atamaları T-atamalar, ikinci ve daha sonra atanan talep noktalarının atamaları ise NT-atamalar olarak tanımlanmıştır. NT-atamalar yapılırken, o talep için en iyi olan tesisi belirlemede kullanılan kriter dikkate alınmaksızın, açık olan tesisin kapasitesini doldurmak amaçlanmıştır. İşte bu nedenle, ikinci aşamada atama önceliğini olurlu başlangıç çözümünde yer alan NT talep noktalarına vererek bu talep noktaları için mevcut tesis seçme kriteri ile tesis açtırmanın çözüm üzerinde iyileşme yapıp yapmayacağı incelenmiştir.

Deneysel çalışmalarda, birinci aşama için önerilen ikinci algoritmanın daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlendiği için çalışmanın ilerleyen kısımlarında bu algoritma esas alınarak devam edilmiştir.

Tablo 3.2’de iyileştirme sezgiselinde girdi olarak kullanılan veriler ve açıklamaları yer almaktadır.



Tablo 3.2: İyileştirme Sezgiselinde Kullanılan Girdiler

Notasyon	Açıklama
$\bar{J}$	Açık olan tesisler kümesi
$\bar{D}_j$	$j$ tesisine atanmış talep noktalarının kümesi, $j \in \bar{J}$
$ind_{ij}$	$j$ tesisine atanmış $i$ talep noktasının atanma sırası, $i \in I, j \in \bar{J}$
$dem_{ij}$	$j$ tesisine atanmış $i$ talep noktasının talep miktarı, $i \in I, j \in \bar{J}$

**Algoritma 2.1:**

**GİRDİ:** Olurlu başlangıç çözümü

- **Adım 0:** Başlangıç çözümünde NT-atamaların yer aldığı tesisleri içeren  $FacNT$  kümesini oluştur. Seçilecek tesisin sıralama indisini sonuncu tesis olarak belirle.

$$FacNT \equiv \{j | j \in \bar{J}, \max_{i \in D_j} \{ind_{ij}\} \geq 2\}$$

$$k = |FacNT|$$

- **Adım 1:** NT-atamanın atandığı  $k$ . tesisi seç.

$$j' = FacNT_k$$

Bu tesis ve bu tesise belirli bir eşik değer uzaklıkta (örn.,  $\alpha = 2T$ ) yer alan diğer açık tesisleri içeren  $SFac'$  kümesini oluştur.

$$SFac' \equiv \{j | j \in \bar{J}, d_{jj'} \leq \alpha\}$$

$SFac'$  kümesinde yer alan tesisler tarafından talebi karşılanan talep noktaları ile  $SDem$  ve  $SDemNT$  kümelerini oluştur.

$$SDem \equiv \{i | i \in \bar{D}_j, j \in SFac'\}$$

$$SDemNT \equiv \{i | ind_{ij} > 1, i \in \bar{D}_j, j \in SFac'\}$$

$SDem$  'de yer alan her bir talep noktası için o noktanın talebini karşılayabilecek olan tüm tesisleri, eğer daha önce eklenmemişse,  $SFac$  kümesine ekle.

$$SFac \equiv \{j | i \in SDem, j \in F_i\}$$

Eklenen tesis açık bir tesis ise, bu tesis tarafından talebi karşılanan talep noktalarını  $SDem$  kümesine ekle. Atanma sırası birden büyük olan talep noktalarını  $SDemNT$  kümesine ekle.

$$SDem \equiv SDem \cup \{i | i \in \bar{D}_j, j \in (SFac \setminus SFac') \cap \bar{J}\}$$

$$SDemNT \equiv SDemNT \cup \{i | ind_{ij} > 1, i \in \bar{D}_j, j \in (SFac \setminus SFac') \cap \bar{J}\}$$

- **Adım 2:**  $j \in SFac$  olan her bir tesis noktası için, toplam maliyeti hesapla:

$$TM[j] = f_j + \frac{\sum_{i \in D_j} s_{ij} d_i}{\sum_{i \in D_j} d_i} \times U_j \times \min \left( \frac{\sum_{i \in D_j} d_i}{U_j}, 1 \right)$$

- **Adım 3:** En iyi ve en iyi ikinci atama alternatifleri arasındaki maliyet farkı en büyük olan talep noktasını, öncelikli olarak NT talep noktaları arasından, seç.

$$i^* = \begin{cases} \operatorname{argmax}_{i \in SDemNT} \{\Delta TM_i\} & \text{eğer } |SDemNT| \neq 0 \\ \operatorname{argmax}_{i \in SDem} \{\Delta TM_i\} & \text{d.d.} \end{cases}$$

Bu talep noktasını atanabileceği en düşük maliyetli tesise ata.

$$j^* = \operatorname{argmin}_{j \in F_{i^*}} \{TM[j]\}$$

Kapasite, talep ve indis bilgilerini güncelle.

- **Adım 4:**  $j^*$  tesisinin talebini karşılayabileceği, pozitif karşılanmayan talebe sahip talep noktaları,  $i \in D_{j^*}$ , için en iyi atanma maliyetini ya da atanma maliyetleri ortalamasını belirle ve bu değeri en büyük olanı seç.

$$i^* = \operatorname{argmax}_{i \in D_{j^*}} \{ \min_{j \in F_{i^*}} \{TM[j]\} \}$$

ya da

$$i^* = \operatorname{argmax}_{i \in D_{j^*}} \left\{ \frac{\sum_{j \in F_{i^*}} TM[j]}{|F_{i^*}|} \right\}$$

$i^*$  talebini  $j^*$  tesisine ata. Kapasite, talep ve indis bilgilerini güncelle.  $j^*$  tesisinin kapasitesi doluncaya kadar ya da  $j^*$  tesisine atanacak talep noktası kalmayıncaya kadar Adım 4'ü tekrarla.

- **Adım 5:** Karşılanmamış talebi olan talep noktası kalmayana kadar, Adım 2'ye dön.
- **Adım 6:** Toplam maliyeti hesapla. İyileşme varsa olurlu başlangıç çözümünü güncelle ve Adım 0'a dön. Diğer durumda,  $k = k - 1$  yap ve mevcut olurlu başlangıç çözümü ile devam et. Eğer  $k \neq 0$  ve maksimum iterasyon sayısına ulaşılmamışsa Adım 1'e dön.
- **Adım 7:** Açık olan tesislerden aday tesisler setini oluştur. Tüm talep noktalarının atamasını Algoritma 1.2'yi kullanarak yeniden yap.

İyileştirme sezgiselinde atanacak talep noktası belirlenirken, atama önceliği  $SDemNT$  kümesinde yer alan talep noktalarına verilmektedir ancak açık bir tesisin kapasitesi doldurulurken  $SDemNT$  ve  $SDem$  talep ayrımı yapılmaksızın atanacak talep noktası belirlenir.

İyileştirme sezgiselinde kapasite, talep ve indis bilgileri güncellenmesinde mevcut prosedüre ek olarak, birinci ve üçüncü durumlarda eğer  $i^* \in (SDemNT \cap SDem)$  ise,  $SDemNT$  kümesi de güncellenir:

$$SDemNT \equiv SDemNT \setminus \{i^*\}.$$

Son adımda, açık tesisler kümesi kullanılarak tüm talep noktalarının ataması yeniden yapılarak mevcut çözüm üzerinden iyileştirme elde edilmesi amaçlanmıştır.

İyileştirme sezgiseli olarak önerilen ikinci algoritmada, bir önceki aşama ile elde edilen olurlu çözümün başlangıç çözümü olarak alındığı ve bu çözümde yer alan tesislerin sırası ile tek tek kapatıldığı bir algoritma önerilmiştir. Temel amaç, kapatılan tesiste yer alan talep noktalarının atanabileceği pozitif kalan kapasiteye sahip bir tesisin olup olmadığının incelenmesi ve varsa atamaların değiştirilmesi ile başlangıç çözümünde yer alan tesislerden daha az sayıda tesis ile tüm taleplerin karşılanarak toplam maliyetin iyileştirilmesidir. Ayrıca, mevcut durumda açık

olan tesislerin kalan kapasitelerinin talep miktarlarını karşılamaya yetmediği durumda yeni tesisler açık tesisler kümesine eklenmektedir. Tüm taleplerin atamaları yeni eklenen tesislere öncelik verilecek şekilde güncellenmektedir. Bu adımla, açık tesisler kümesi küçültülerek toplam maliyetin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

**Algoritma 2.2:**

**GİRDİ:** Olurlu başlangıç çözümü

- **Adım 0:** Olurlu başlangıç çözümünde açık olan tesis setini belirle.

$$\bar{J} \equiv \{j | y_j = 1, j \in J\}, \quad k = 1.$$

- **Adım 1:**  $\bar{J}$  setinde yer alan k. tesisi seç.

$$j' = \bar{J}_k$$

Bu tesise atanmış olan tüm talep noktaları ile  $SDem$  kümesini oluştur.

$$SDem \equiv \{i | i \in \bar{D}_{j'}\}$$

Bu talep noktalarının atanabileceği açık ve kalan kapasitesi pozitif olan tesisler ile  $SFac$  kümesini oluştur.

$$SFac \equiv \{j | i \in SDem, j \in (F_i \cap \bar{J}), j \neq j', rCap[j] > 0\}$$

- **Adım 2:** Her bir talep noktası için atanabileceği tesislerin kalan kapasiteleri toplamının o talep noktasının talep miktarına oranı olarak tanımlanan talep skor değerini hesapla:

$$scD[i] = \frac{\sum_{j \in F_i} rCap[j]}{dem_{i,j'}} \quad \forall i \in SDem$$

Eğer  $scD[i] < 1$  ise,  $SFac$  kümesine  $i$  talep noktasının talebini karşılayabilecek olan ve başlangıç çözümünde yer almayan bir tesis ekle.

$$SFac \equiv SFac \cup \{j | j \in F_i, j \notin \bar{J}\}$$

$scD[i] \geq 1$  olana kadar ekleme işlemine devam et. Eğer eklenebilecek tüm tesisler eklendiği halde  $scD[i] \geq 1$  şartı sağlanamamışsa,  $k=k+1$  yap ve  $k \leq |\bar{J}|$  ise Adım1'e dön;  $k > |\bar{J}|$  ise DUR.

Skoru hesaplanmış önceki talep noktalarının skorlarını eklenen tesisleri göz önünde bulundurarak güncelle.

Skor değeri en küçük olan talep noktasını talebi karşılanmak üzere seç.

$$i^* = \operatorname{argmin}_{i \in SDem} \{scD[i]\}$$

- **Adım 3:** Seçilen talep noktasının talebini karşılayabilecek her bir tesis için toplam karşılayabileceği talep miktarı olarak tanımlanan tesis skor değerini hesapla:

$$scF[j] = \sum_{i \in D_j} dem_{ij} \quad \forall j \in F_{i^*}$$

Skor değeri en küçük olan tesisi seç.

$$j^* = \operatorname{argmin}_{j \in F_{i^*}} \{scF[j]\}$$

Eğer  $j^*$  mevcut açık tesisler kümesinde olmayıp sonradan eklenen bir tesis ise, eklenen tesisler kümesine ekle.

$$EFac \equiv EFac \cup \{j^* | j^* \notin \bar{J}\}$$

$i^*$  talep noktasını  $j^*$  tesisine ata. Kapasite, talep ve indis bilgilerini güncelle.

- **Adım 4:** Talebi karşılanmamış talep noktası kalmayınca kadar Adım 2'ye dön.
- **Adım 5:** Toplam maliyeti hesapla. Eğer iyileşme varsa, olurlu başlangıç çözümünü güncelle.
- **Adım 6:** Eğer eklenen tesis kümesi boş küme değilse, bu tesislerin sabit maliyetlerini sıfır olarak değiştir.

$$f_j = 0, \quad \forall j \in EFac$$

Algoritma 1.2 ile tüm atamaları güncelle. Diğer durumda,  $k = k + 1$  yap.  $k \leq |\bar{J}|$  ise Adım1'e dön;  $k > |\bar{J}|$  ise DUR.

- **Adım 7:** Eklenen tesislerin sabit maliyetlerini ilk değerleri ile güncelle. Toplam maliyeti hesapla. Eğer iyileşme varsa, olurlu başlangıç çözümünü güncelle.  $k = k + 1$  yap.  $k \leq |\bar{J}|$  ise ve Adım1'e dön;  $k > |\bar{J}|$  ise DUR.

Önerilen algoritmanın üçüncü adımında eklenen tesis belirlenirken farklı alternatif seçimler yapılmıştır. Öncelikle aday tesisler kümesinin ilk elemanı seçilmiştir. İkinci olarak,(3.18) no'lu eşitliğin  $SDem$  talep kümesi kullanılarak hesaplanması ile elde edilen maliyet değerleri kullanılarak tüm aday tesisler arasından en küçük maliyete sahip olan tesis eklenen tesis olarak seçilmiştir.

Bu algorithmada açılmasına karar verilen tesisler, çözüm kurma sezgiseli ile belirlenen tesis kümesi ve bu tesis kümesinden sıra ile bir tesisin kapanması durumunda olurlu talep atamalarının yapılabilmesi için gerekli tesislerden oluşur. Bu şekilde belirlenen tesis kümesine talep atamaları yapılırken, talep seçme kriteri olarak birim talep başına düşen mevcut kapasite miktarı, seçilen bir talep noktasının hangi tesise atanacağına karar verilirken ise aday tesislerin karşılayabilecekleri toplam talep miktarları dikkate alınmıştır. Algoritma 2.1'den farklı olarak sabit maliyetlerin tesis seçme kriteri olarak alınmamasının sebebi, tesisler kümesinin önceden belirlenmiş olması yani sabit maliyetlerine katlanılmış olmasıdır.

Algoritmanın altıncı adımından sonra ise kapatılan tesise atanmış olan talep noktalarının olurlu atamalarının yapılması için eklenen tesislerin, kapatılan tesisin dışında başka tesislerin talep noktalarını da karşılayarak bu tesislerin kapatılmasına olanak sağlayabileceği gözlemlenmiştir. Bu amaçla, algoritmanın son adımı olarak tüm talep noktalarının belirlenen tesisler kümesine Algoritma 1.2 kullanılarak ataması yapılmıştır. Ancak, farklı çözüm kümelerine algoritmayı yönlendirmek amacı ile sonradan eklenen tesislerin sabit maliyetleri sıfır alınarak öncelikli olarak bu tesislerin açılması sağlanmıştır.

### 3.4 Stokastik Model

Gerçek hayat problemlerinde acil servislere olan talep kesin olarak bilinmemektedir. Acil servis taleplerinin belirsizliği ve acil servis araçlarının ulaşılabilir olmaması nedeni ile ortaya çıkan karşılanamayan talep önem arz etmektedir, can kaybı gibi çok ciddi sonuçlar doğurabilmektedir. Acil servis sistemleri için, talebin karşılanmasını hedeflenen seviyede garantileyecek bir model bu nedenle önemlidir. Yani, acil servis araçlarına olan talep önceden kesin olarak bilinemediğinden, talep belirsizliğini göz önüne alacak ve karşılanan talep miktarının belli bir seviyede olmasını garantileyecek bir çözüm yaklaşımı gereklidir. Gerçek hayata daha uygun olacak şekilde bu çalışmada yer alan deterministik model, talep belirsizliğini dikkate alan bir stokastik modele genişletilmiştir.

Problemin stokastik yapısının, literatürde stokastik programlama ya da kuyruk problemi olmak üzere iki farklı yaklaşımdan biri kullanılarak modellendiği görülmektedir. Bu çalışmada modelleme yaklaşımı olarak stokastik programlama formülasyonu kullanıldığından problemi literatürde kuyruk problemi olarak modelleyen çalışmalarla ilgili detaylara yer verilmeyecektir, bu yaklaşımla ilgili daha fazla bilgiye Larson (1974), Larson (1975), Marianov ve ReVelle (1996) ve Silva ve Serra (2007)'den ulaşılabilir.

Literatürde yer alan stokastik programlama formülasyonlarında genellikle *şans (olasılıksal) kısıtlarının* yer aldığı görülmektedir. Charnes ve Cooper (1959), şans kısıtlı stokastik programlamayı, rassal değişkenlerin kesin değerlerinin bu değişkenlerle ilgili kısıtlar önceden belirlenen bir olasılıkla sağlanırken rassal değişkenleri içeren fonksiyonun enbüyüklenerek belirlenmesi olarak tanımlamaktadır.

Şans kısıtlarının yer aldığı ilk model, Chapman ve White (1974)'te yer almaktadır. Belirsizliğin ana kaynağının servis sağlayıcıların ulaşılabilirliği olduğu modelde, bu belirsizlik her bir müşteriye her bir tesisten servis sağlanması için gerekli olan sürenin rassal değişken olarak tanımlanması ile modellenmiştir. Rassallığın trafik, yol ve hava koşulları ile değiştiği kabul edilmiştir. Aly ve White (1978)'de ise benzer şans kısıtlı formülasyon yer almaktadır, ancak servis süresinin rassallığının talep noktalarının yerlerinden kaynaklandığı kabul edilmiştir.

ReVelle ve Hogan (1989)'da *Maksimum Ulaşılabilirlik Yer Seçimi Modeli (Maximum Availability Location Problem)* önerilmektedir. Modelde amaç, talebini karşılamak üzere  $\alpha$  güvenilirlikle standart cevap verme süresi içerisinde müdahale edebilecek bir servis sağlayıcı bulunan nüfusun enbüyüklenmesidir. Böylece belirli bir güvenilirlik seviyesiyle, istenen bir cevap verme süresinde ulaşılabilir bir servis aracından hizmet alabilecek nüfusu enbüyükleyecek şekilde servis sağlayıcıların yerleri belirlenir. Servis sağlayıcıların meşguliyet durumlarının (ulaşılabilirliklerinin) bütün bir sistem için tek olarak ya da alanlar için ayrı ayrı belirlendiği durumlar, modelin iki farklı versiyonuyla ele alınmıştır. Belirsizliğin sadece servis sağlayıcıların ulaşılabilirliğinden kaynaklandığı varsayılmış, cevap verme süreleri deterministik olarak alınmıştır. Servis sağlayıcıların meşguliyet durumları ise, kullanımdaki servis sağlayıcıların sayısından bağımsız olarak tanımlanmıştır. Yani, servis sağlayıcıların meşguliyet durumlarının belirlenmesinde, sistemde kullanımdaki servis sağlayıcı sayısı ve cevap verme süresindeki değişkenlik göz önüne alınmamıştır.

Ball ve Lin (1993)'te yer alan model, maksimum ulaşılabilirlik yer seçimi modeli ile benzerlikler taşımaktadır, ancak güvenilirlik kısıtları elde edilirken acil servis araçlarının meşguliyet değerlerinin tahminleriyle değil, belirsizliğin temel nedeni olan acil servis isteklerinin değişkenliği modellenerek hareket edilmektedir. Böylece, araçların meşguliyet olasılıklarının verinin kendisinden elde edilmesi sağlanır. Bu, çalışmanın daha önce önerilen diğer modellerden farklıdır. Servis isteklerinin belirli bir olasılık dağılımına göre talep noktalarından rassal olarak geldiği varsayılmıştır, bir talep oluştuğunda olurlu bir araç varsa bu talebe atanmaktadır. Yapılan analizler, olurlu araçların atamalara nasıl yönlendirileceği ile ilgili kurallardan bağımsızdır ve atanabilir ulaşılabilir bir araç bulunmadığında sistemin nasıl yürüyeceği kesin olarak modellenmemiştir. Bu çalışmada, sistem güvenilirliği bakış açısı kullanılmıştır. Sistem yetersizliği, bir talep noktasından gelen çağrıyı kabul edilebilir sürede cevaplayabilen bir araç bulunmaması olarak tanımlanmıştır. Bir talep noktasına hedef bir servis seviyesi atayarak, her bir talep noktası için ayrı güvenilirlik sistemleri elde edilir. Daha önceki çalışmalarda görüldüğü üzere, sistem için tek bir servis seviyesi hedefi konulabilir ancak bu durum sistem servis seviyesinin bazı talep noktaları için daha düşük, bazı talep noktaları için ise daha yüksek bir servis seviyesi ile sağlanmasını engelleyemez.



Her bir talep noktası için ayrı servis seviyesi hedefi kullanılması yaklaşımı, adil olmayan bu tarz çözümlerin elenmesini sağlamaktadır. Sistem arıza olasılığı ise her bir talep noktası için gelen çağrıyı kabul edilebilir sürede cevaplayabilen bir araç bulunmama olasılığıdır. Sistemin performansı, sistem arıza olasılığına bir üst limit (ya da en az bir ulaşılabilir araç tarafından karşılanan çağrılarının yüzdesine bir alt limit) konularak belirlenmektedir.

Ball ve Lin (1993), her bir talep noktası için gelen çağrıyı kabul edilebilir sürede cevaplayabilen bir araç bulunmama olasılığının belirli bir değerden küçük olduğunu garantiler ve bu olasılıkların belirlenmesinde acil servis isteklerindeki değişkenliği hesaba katar ancak Beraldi (2004), esas olarak acil servis isteklerinin belirsizliğini dikkate alarak, güvenilirliği doğrudan acil servis isteklerini kapsamada daha önceden belirlenmiş bir olasılık değerinden daha yüksek bir servis seviyesinin garantilenmesi ile ölçmektedir. Ayrıca, bu çalışmada şans kısıtları yerine *ortak olasılıksal kısıtlar (joint probability constraints)* kullanılmıştır. Literatürde yer alan önceki çalışmalarda, şans kısıtları kullanılmaktadır yani kısıtlar her bir talep noktasına ayrı etki etmektedir. Talep noktalarının her biri için  $p$  servis seviyesinin sağlanması her zaman tüm sistem için  $p$  servis seviyesini garantileyemeyebilmektedir. Ortak olasılıksal kısıtlar ise, talep noktalarını farklı servis seviyeleri uygulayarak alt-alanlar şeklinde gruplanmasına olanak tanır. Şans kısıtlarının ise ortak olasılıksal kısıtlar tanımlanırken kullanılan alt-alanları temsil eden kümenin boyutunun bir olduğu durumu ifade ettiği söylenebilir. Belirsizliği modellerken doğrudan servis isteklerindeki rastgeleliliği göz önüne alan bir diğer çalışma Beraldi (2009)'dur. Önerilen modeli literatürdeki çalışmalardan ayıran noktalar; servis sağlayıcıların bağımsızlığı varsayımının gevşetilmesi ve şans kısıtlarının iki aşamalı stokastik programlama formülasyonuna entegrasyonudur. İki aşamalı stokastik programlama yaklaşımının uygulanma nedeni, acil servis istasyonu yer seçimi probleminin doğal yapısının iki aşamalı programlama yapısına uymasındır; ilk aşama kararları acil servis istasyonlarının yerlerinin belirlenmesi ve ikinci aşama kararları ise acil servis aracı sayılarının belirlenmesi olarak görülebilir.

Şans kısıtları, kapsama kısıtlarının ihlal edilme olasılıklarını ölçer, ancak karşılanmayan talebin miktarı ile ilgilenmez. Haneveld (1986)'da sunulan ve daha çok finans uygulamalarında kullanılan *bütünleşik şans kısıtları (integrated chance*

*constrained*) ise, ihlalin miktarının büyüklüğünü ölçmeye dayanmaktadır (Haneveld vd., 2006). Bu kısıtların acil servis sistemi probleminde şans kısıtlarına alternatif olarak kullanılması Noyan (2010)'da görülmektedir.

Bütünleşik şans kısıtları kullanılarak geliştirilen iki-aşamalı stokastik formülasyon karşılanamayan talebin miktarının belirli bir değerden küçük olmasını garantiler. Bütünleşik şans kısıtları, beklenen karşılanamayan talebin, talepten mutlak sapmanın beklenen değerinin en fazla ne kadarına eşit olabileceğini belirten bir servis seviyesi ölçütünü tanımlar. Böylece, kapsama kısıtlarının ihlalinin belirli bir olasılık değerinden küçük olmasını sağlayan şans kısıtlarına alternatif olarak, servis seviyesi karşılanamayan talebin miktarı üzerinden belirlenebilmektedir.

İki -aşamalı stokastik programlamada birinci aşama karar değişkenleri, belirsizlik içeren ikinci - aşama karar değişkenleri belirlenmeden önce karar verilmesi gereken değişkenleri ifade eder. İkinci aşama için belirsizlik içeren ancak bilinen bir dağılıma sahip veri setini temsil eden senaryo ya da olası çıktılar kümesi  $w$  olarak tanımlandığında, stokastik modelde gerçekleşen olayların sıralaması ve verilen kararlar şu şekilde özetlenebilir: Öncelikle birinci aşama karar değişkenlerine karar verilir. Gerçekleşen  $w$  çıktısına göre ikinci aşama karar değişkenlerine karar verilir. Stokastik formülasyonun karar değişkenleri ve formülasyonu aşağıda yer almaktadır.

Birinci Aşama Karar Değişkenleri:

$$y_j = \begin{cases} 1 & j \in J \text{ noktasında bir tesis varsa} \\ 0 & \text{d.d.} \end{cases}$$

$z_j = j \in J$  yerleşim yerine atanan araç sayısı

İkinci Aşama Karar Değişkenleri:

$x_{ij}^s = i \in I$  talep noktasının  $s \in S$  senaryosu altındaki talebine göre  $j \in J$  yerleşim yerine atanan araç sayısı

İki-aşama stokastik programlama formülasyonu:

$$\min \sum_{j \in J} f_j y_j + \sum_{j \in J} cz_j + E[Q(y, z, d(w))] \quad (3.19)$$

$$z_j \leq U_j y_j \quad \forall j \in J \quad (3.20)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (3.21)$$

$$z_j \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall j \in J \quad (3.22)$$

İkinci aşama (*recourse*) problemi:

$$Q(y, Z, d(w)) = \min \sum_{i \in I} \sum_{j \in F_i} s_{ij} x_{ij}^s \quad (3.23)$$

$$\sum_{j \in F_i} x_{ij}^s \geq d_i^s \quad \forall i \in I \quad (3.24)$$

$$\sum_{i \in D_j} x_{ij}^s \leq z_j \quad \forall j \in J \quad (3.25)$$

$$x_{ij}^s \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.26)$$

Yukarıda belirtilen model (3.24) no'lu kısıtlarla tüm talebin karşılanmasını sağlar.

Literatürde yer alan çalışmaların genelinde, beklenen karşılanamayan talep miktarı maksimum kabul edilebilir sabit bir değere eşit ya da bu değerden küçük olarak tanımlanmaktadır. Ancak bu maksimum kabul edilebilir sabit değer nasıl belirleneceği sorusunun cevabı önemlidir. Buna karşılık Haneveld vd. (2006) ve Noyan (2010)'da yer alan yaklaşımda, beklenen karşılanamayan talebin sabit bir değer değil de, talepten sapmanın beklenen değerinin  $\alpha$  kadarına eşit ya da bu değerden küçük olması yaklaşımı yer almaktadır. Aynı yaklaşım, bu çalışmada da kullanılmıştır.

Karşılanamayan talebin  $\delta_{si}^+$  ve  $\delta_{si}^-$  değişkenleri kullanılarak tanımlanması ile servis seviyesi ile ilgili kısıtlar aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\begin{aligned}
E[(d_i(s) - \sum_j x_{ij}^s)^+] &\leq \alpha E[|d_i(s) - \sum_j x_{ij}^s|] && \forall i \in I \\
E[\delta_{si}^+] &\leq \alpha E[\delta_{si}^+ + \delta_{si}^-] && \forall i \in I \\
\sum_s p_s \delta_{si}^+ &\leq \alpha \sum_s p_s (\delta_{si}^+ + \delta_{si}^-) && \forall i \in I \\
\sum_s p_s (1 - \alpha) \delta_{si}^+ &\leq \alpha \sum_s p_s \delta_{si}^- && \forall i \in I
\end{aligned}$$

Beklenen karşılanamayan talebin  $\alpha \in [0, 1]$  kadarına eşit ya da  $\alpha$  kadarından küçük olmasını sağlayan (3.24') kısıtları aşağıda yer almaktadır ve önerilen hizmet seviyesi kısıtlı optimizasyon modeli, stokastik programlama formülasyonunda (3.24) no'lu kısıtların (3.24') kısıtları ile yer değiştirmesiyle elde edilir:

$$\begin{aligned}
d_i(s) - \sum_{j \in F_i} x_{ij}^s &= \delta_{si}^+ - \delta_{si}^- && \forall i \in I, s \in S \\
\sum_s p_s \delta_{si}^+ &\leq \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha}\right) \sum_s p_s \delta_{si}^- && \forall i \in I \\
\delta_{si}^+ &\in \mathbb{Z}^+ && \forall i \in I, s \in S \\
\delta_{si}^- &\in \mathbb{Z}^+ && \forall i \in I, s \in S
\end{aligned} \tag{3.24'}$$

Formülasyonun değişken türü ve sayısı, Tablo 3.3'te yer almaktadır. Önerilen formülasyonda,  $O(|I||J||S|)$  tamsayı değişken,  $O(|J|)$  ikili değişken bulunmaktadır. Tablo 3.4'te ise formülasyonların kısıt türü ve sayısı görülmektedir. Önerilen formülasyonda,  $O(|I||S|)$  kısıt bulunmaktadır.

Tablo 3.3: Formülasyonların değişken türü ve sayısı

Eşitlik Numarası	Değişken	Türü	Sayısı
3.21	$y_j$	$\{0, 1\}$	$ J $
3.22	$z_j$	$Z^+$	$ J $
3.26	$x_{ij}^s$	$Z^+$	$ I  J  S $
3.24'	$\delta_{si}^+$	$Z^+$	$ I  S $
	$\delta_{si}^-$	$Z^+$	$ I  S $

Tablo 3.4: Formülasyonların kısıt türü ve sayısı

Eşitlik Numarası	Kısıt Sayısı
3.20	$ J $
3.24	$ I  S $
3.25	$ J  S $
3.24'	$ I  S  +  I $

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, literatürdeki bir çok çalışmaya paralel olarak, her mahallenin acil yardım istasyonunu açabilecek arazi ve imkana sahip olduğu ve her mahalleye en fazla bir istasyon kurulabileceği varsayımları yapılmıştır. Ayrıca, potansiyel acil servis istasyonlarının yerleri talep noktaları ile aynı kabul edilmiştir (Gendreau vd., 1997; Noyan, 2010). Bu durumdan dolayı oluşabilecek alteniyilik (*suboptimallik*) göz ardı edilmiştir. Ancak, bu varsayım çözüm prosedüründe bir değişiklik yapılmasına ihtiyaç duyulmadan gevşetilebilir. Ayrıca, rassal olarak üretilen müdahale süresi acil servis araçlarının istasyonlardan ayrılmaları için gerekli hazırlık sürelerini de kapsamaktadır. Önerilen yöntemin test edilmesi aşamasında farklı boyutlarda veri setleri kullanılmıştır.

### 4.1 Veri Analizi

Her bir talep noktasının ayrıca aday bir tesis yerleşimi olduğu varsayımından hareket ederek, talep noktaları  $[0, 30]^2$ 'lik alanda sürekli düzgün dağılıma göre oluşturulmuştur. Belirli sayıda talep veya aday tesis noktası için, problem verileri rassal olarak aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur:

- **Transfer parametreleri:** Her bir  $i \in I$  talep noktası ile  $j \in J$  tesisi arasındaki uzaklık,  $t_{ij}$ , o noktalar arasındaki öklid uzaklıklara eşitlenmiştir. Bu uzaklıkların bir birim talebi bir birim taşımanın maliyeti,  $\beta = 0.001$ , ile çarpılmasıyla her bir  $i \in I$  talep noktasından her bir  $j \in J$  tesisine bir birim talebi taşımanın maliyeti,  $s_{ij}$ , elde edilir.

- **Tesis parametreleri:** Her bir  $j \in J$  tesisi için kapasiteler,  $U_j$ , düzgün dağılıma göre oluşturulmuştur. Düzgün dağılım için aralığın [4,8] olarak alındığı durum temel durum olarak kabul edilmiş, ayrıca kapasitedeki değişkenliğin azaltılmasının etkisinin incelenmesi amacıyla [5,7] ve 6; artırılmasının etkisinin incelenmesi amacıyla [3,9], [2,10]; ve değişkenlik sabit tutularak ortalama kapasite değerinin değişiminin etkisini incelemek amacıyla [2,6] ve [6,10] aralığında düzgün dağılan kapasite değerleri için analizler yapılmıştır.

Bir ambulansın talebi karşılayıp tekrar yerleşim yerine dönmesi yani yeni bir talebi karşılayabilecek duruma geçmesine kadar olan süre “birim zaman” olarak tanımlanmıştır. Tesis açmanın sabit maliyeti ile ambulans edinmenin maliyeti birim zaman için hesaplanıp kullanılmıştır.

Birim zaman için maliyetler elde edilirken, yıllık  $365 * 24 * f_j$  şeklinde tanımlanan sabit maliyet [1000,4000] aralığında düzgün dağılımla ve yıllık  $365 * 24 * c$  şeklinde tanımlanan ambulans edinme maliyeti 100 alınarak oluşturulmuş ve  $f_j$  ve  $c$  değerlerinin çekilmesi ile birim zaman için maliyetler hesaplanmıştır.

- **Talep parametreleri:** Deterministik modelde her bir  $i \in I$  talep noktasının talebi,  $d_i$ ,  $\lambda$  değeri [0.1, 0.8] aralığında düzgün dağılıma sahip Poisson dağılıma göre oluşturulur.

Stokastik model için, her bir  $i \in I$  talep noktasının her bir  $s \in S$  senaryosundaki talebi  $d_i^s$ ,  $\lambda$  değeri [0.1, 0.8] aralığında düzgün dağılıma sahip Poisson dağılıma göre oluşturulur. Her bir  $s \in S$  senaryosunun olasılığı,  $p_s$ , farklı senaryolar için eşit alınmıştır.

- **Risk parametreleri:** Beklenen karşılanamayan talebin, talepten sapmanın beklenen değerinin en fazla ne kadarına eşit olabileceğini belirten  $\alpha$  değeri için; 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 olmak üzere 5 farklı değer kullanılmıştır.
- **Kapsama parametreleri:** Ambulanların istasyondan ayrılmaları için gerekli hazırlık süreleri sıfır olarak alınmıştır. Ambulans hızı 40 km/s olarak kabul edilmiş, 8 dakikalık maksimum müdahale süresinin sağlanması için gereken kapsama mesafesi eşik değeri  $T=40*8/60 \approx 5.33$  km olarak alınmıştır.

Servis kalitesinin önemli bir ölçütü olan ve kapsama parametresi olarak tanımlanan maksimum müdahale süresi için başka çalışmalar da göz önüne alınarak yasal kısıtlamalar incelenmiştir. Maksimum müdahale süresinin belirlenmesinde nüfus yoğunluğunu göz önüne alarak kentsel ve kırsal alanlar için farklı standartların getirildiği yaklaşımların yanısıra, çağruların aciliyetini göz önüne alan yaklaşımlar da mevcuttur. Örneğin, 1973 Amerika Birleşik Devletleri Acil Tıbbi Servis Hizmetleri Kanunu (*The United States Emergency Medical Services Act of 1973*) ile kentsel bölgeler için % 95'lik bir servis seviyesinin 10 dakikada, kırsal alanlar için ise 30 dakikada sağlanması standardı belirlenmiştir (Ball ve Lin, 1993). Literatürde önerilen modeller, bu standardı sağlamakta hatta genellikle daha kısa müdahale sürelerini içermektedir. Gendreau vd. (1997)'de önerilen modelde  $r_1$  ve  $r_2$  ( $r_2 > r_1$ ) olmak üzere iki farklı müdahale süresi yer almaktadır, uzun olan müdahale süresi içinde tüm talebin, kısa olan müdahale süresi içinde ise talebin  $\alpha$  kadarının karşılanması sağlanmaktadır. Modelin Montreal için uygulamasında mevcut durum incelenerek Montreal'de hizmet veren kamu acil tıbbi yardım hizmet servisi Urgences Santé'ye göre standartların  $r_1 = 7$  dakika,  $\alpha = 0.9$  olduğu belirlenmiştir ve modelde değerler bu şekilde alınmıştır,  $r_2$  için ise mevcut durumda bir standart bulunmadığından Urgences Santé'nin yakın gelecekte uygulamak istediği standart  $r_2 = 15$  dakika olarak belirlenmiş ve kullanılmıştır.

Chanta vd. (2011)'de Hanover County için yapılan uygulamada, Hanover'daki mevcut standartlarla uyumlu olacak şekilde müdahale süresi 9 dakika (4 mil) olarak alınmıştır. Başar vd. (2011)'de önerilen modelde çok dönemli olarak, iki farklı müdahale süresi içinde en az iki farklı istasyondan müdahale edilebilen toplam nüfusu enbüyüklemek amaçlanmaktadır, İstanbul için yapılan uygulamada müdahale süreleri 5 ve 8 dakika olarak alınmıştır. Bu süreler İBB Acil Yardım ve Cankurtarma Müdürlüğü ile yapılan görüşmeler sonucu belirlenmiştir, uluslararası standartlara göre daha kısa olmalarının nedeni İstanbul'daki trafik yoğunluğunun belirsizliğinin göz önüne alınmasıdır. Aringhieri (2013)'te İtalyan yasalarına göre acil çağrılara maksimum 8 dakikalık bir sürede cevap verilmesi gerektiği belirtilmektedir, Milano için yapılan uygulamada ise servis kalitesi açısından acil çağruların yanısıra acil olmayan çağrılar için de bu süre 8 dakika olarak alınmıştır. Bizim çalışmamızda da, çağrular arası herhangi bir ayırım yapılmaksızın maksimum müdahale süresi olarak 8 dakika kullanılmıştır.



## 4.2 Temel Sonuçlar

Matematiksel model için, talep noktaları sayısının 20, 50, 100, 200, 300 ve 400 olduğu altı farklı problem boyutu için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Kapasitelerin [4,8] aralığında düzgün dağılıma sahip olduğu ve mesafe eşik değerinin T=8 dakika olduğu durum temel durum olarak alınmıştır. Matematiksel modeli çözdürmek için, IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.4 kullanılmış, sezgisel algoritma Java programlama dili ile kodlanmıştır. Problemin özm için geliştirilen matematiksel model ve sezgisel yöntem Intel(R) Core(TM) i3 CPU 2,40 Ghz işlemci, 4 GB bellek, Microsoft Windows 7 işletim sistemi özelliklerindeki bilgisayar kullanılarak koşturulmuştur.

Temel durum için yapılan ve duyarlılık analizi kısmında yer alan tüm analizlerde her bir boyutta 20 farklı örnek *durum (instance)* için sonuçlar alınmıştır. Örnek durumlar, aynı *kök (seed)* değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Tüm tablolarda 20 farklı örnek durumun sonuçlarının ortalaması ve standart sapması gösterilmiştir.

Parametrelerin değişimine bağlı olarak, ortalama tesis doluluk oranlarının değişimi de sonuçlarda yer almaktadır. Tesis doluluk oranları, her bir tesis için o tesise atanabilecek olan talep noktalarının talep miktarları toplamının tesisin kapasitesine oranıdır. Her bir tesis için elde edilen bu değerlerin ortalamasının alınması ile tabloda yer alan değerler elde edilir. Ayrıca, her bir örnek durum için yüzde uzaklık değeri, sezgisel amaç fonksiyonu değerinin ( $\hat{z}$ ) optimal amaç fonksiyonu değerinden ( $z^*$ ) yüzde sapma değeridir ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$\text{Uzaklık(\%)} = \left( \frac{\hat{z} - z^*}{z^*} \right) 100$$

Yüzde uzaklıkların yer aldığı tablolarda sırası ile, incelenen parametre değeri, problem boyutu, ortalama tesis doluluk oranları ve Algoritma 1.2, Algoritma 2.1 ve Algoritma 2.2'nin çözülmesi ile elde edilen en iyi çözümün amaç fonksiyonu değerinin optimal amaç fonksiyonu değerinden yüzde uzaklık değerleri yer almaktadır. özm sürelerinin yer aldığı tablolarda ise, ayrıca modelin çözüm süresi de gösterilmiştir. Önerilen algoritmaların çözüm kalitesi açısından performansları, ilgili algoritmaların farklı boyutlar için yüzde uzaklık değerlerinin farklarının

ortalamaları alınarak elde edilen ortalama iyileşme yüzdeleri değerlendirilerek karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.1’de temel durum için optimal değerden yüzde uzaklıklar, Tablo 4.2’de ise bu durum için çözüm süreleri yer almaktadır. Sadece temel durum için, her iki tabloda Algoritma 1.1’in sonuçları da verilmiştir. Temel durum için Algoritma 1.1’in sonuçlarının Algoritma 1.2’den ortalama %5.55 daha kötü olduğu görülmektedir. Ayrıca, Algoritma 1.1’in diğer parametre değerleri için de performansı incelendiğinde, temel durumda olduğu gibi, problem boyutu arttıkça yüzde uzaklık değerlerinin monoton bir şekilde kötüleştiği ve 100x100’lük boyuttan itibaren sonuçların Algoritma 1.2’ye göre daha kötü olduğu görülmüştür. Bu nedenle, yapılan diğer analizlerde Algoritma 1.1’in sonuçlarına yer verilmemiştir.

Tablo 4.1: Temel Durum için Yüzde Uzaklıklar (%) (Ortalama  $\mp$  Standart Sapma)

$ I = J $	Ort. Tesis Doluluk Oranı	A1.1	A1.2	A2.1	A2.2
20	0.42	1.63 $\mp$ 5.24	6.14 $\mp$ 6.35	3.57 $\mp$ 5.69	0.70 $\mp$ 1.57
50	0.94	10.68 $\mp$ 5.71	13.12 $\mp$ 6.06	7.47 $\mp$ 3.86	4.12 $\mp$ 3.24
100	1.88	17.96 $\mp$ 5.65	13.35 $\mp$ 5.59	10.07 $\mp$ 4.23	6.10 $\mp$ 1.89
200	3.73	21.90 $\mp$ 2.80	11.99 $\mp$ 3.19	10.56 $\mp$ 2.94	7.15 $\mp$ 1.56
300	5.62	22.70 $\mp$ 1.82	10.69 $\mp$ 2.43	8.06 $\mp$ 1.71	7.07 $\mp$ 1.34
400	7.45	23.81 $\mp$ 1.78	10.11 $\mp$ 1.19	8.01 $\mp$ 0.80	6.57 $\mp$ 0.95

Tablo 4.2: Temel Durum için Çözüm Süreleri (sn) (Ortalama  $\mp$  Standart Sapma)

$ I = J $	Ort. Tesis Doluluk Oranı	Model	A1.1	A1.2	A2.1	A2.2
20	0.42	0.00 $\mp$ 0.00	0.00 $\mp$ 0.00	0.00 $\mp$ 0.00	0.00 $\mp$ 0.00	0.00 $\mp$ 0.00
50	0.94	0.10 $\mp$ 0.45	0.00 $\mp$ 0.00	0.00 $\mp$ 0.00	0.00 $\mp$ 0.00	0.00 $\mp$ 0.00
100	1.88	1.20 $\mp$ 1.06	0.00 $\mp$ 0.00	0.00 $\mp$ 0.00	0.00 $\mp$ 0.00	0.00 $\mp$ 0.00
200	3.73	4.10 $\mp$ 2.38	0.00 $\mp$ 0.00	0.00 $\mp$ 0.00	0.80 $\mp$ 0.77	0.00 $\mp$ 0.00
300	5.62	7.45 $\mp$ 3.05	0.00 $\mp$ 0.00	0.05 $\mp$ 0.22	28.80 $\mp$ 74.61	1.20 $\mp$ 0.95
400	7.45	12.45 $\mp$ 6.60	0.00 $\mp$ 0.00	1.40 $\mp$ 0.50	56.75 $\mp$ 21.68	6.50 $\mp$ 2.48

Temel durum için sonuçlar incelendiğinde, Algoritma 2.1’in Algoritma 1.2’ye göre %2.83 daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Algoritma 2.2 ise, Algoritma 1.2’ye göre %5.48 daha iyi sonuç vermektedir. Çözüm süreleri açısından ise, 200x200’e

kadar olan boyutlar için tüm algoritmaların süreleri modelinkinden kısadır, ancak daha büyük boyutlar için ikinci aşama için önerilen ilk alternatif olan Algoritma 2.1'in süresinin modelin süresinden daha fazla olduğu görülmektedir. Algoritma 2.2 ise, modelden daha kısa sürede Algoritma 2.1'den %2.65 iyi sonuç vermektedir.

## 4.3 Duyarlılık Analizi

### 4.3.1 Kapasitedeki Değişkenlik

#### *Azalan Değişkenlik*

Bu kısımda, kapasite değerlerinin değişkenliğinin azaltılarak öncelikle [5,7] aralığında düzgün dağıldığı durum ile kapasitenin her tesis için sabit ve ortalama kapasite değerine eşit olduğu durum için analiz yapılmıştır (Tablo 4.3 ve Tablo 4.4).

Tablo 4.3: Kapasite [5,7] ve Kapasite 6 için Yüzde Uzaklıklar (%)

Kapasite	$ I = J $	Ort. Tesis Doluluk Oranı	A1.2	A2.1	A2.2
[5,7]	20	0.41	6.17±6.78	3.58±5.70	0.36±0.89
	50	0.92	11.35±6.88	7.93±5.51	3.81±3.91
	100	1.82	12.81±4.53	9.76±4.06	5.56±3.67
	200	3.61	11.19±3.36	8.97±2.69	6.26±1.77
6	20	0.38	4.96±6.39	2.60±5.42	0.37±0.89
	50	0.84	10.14±6.67	6.66±6.64	3.22±3.68
	100	1.66	13.11±5.41	9.48±6.50	4.63±3.32
	200	3.29	12.38±3.90	10.02±4.00	7.03±2.39

Kapasite değerlerinin [5,7] aralığında düzgün dağıldığı durumda Algoritma 2.1, Algoritma 1.2'ye kıyasla ortalama olarak %2.82 daha iyi sonuç verir. Algoritma 2.2 ise, Algoritma 1.2'ye göre %6.38 daha iyi sonuç verir. Benzer şekilde, değişkenliğin sıfır olduğu durumda bu iyileşme miktarlarının sırasıyla %2.96 ve %6.34 olduğu görülmüştür. Problem boyutu arttıkça aşamalar arası iyileşme miktarlarının monoton bir şekilde arttığına ya da azaldığına dair ise belirgin

Tablo 4.4: Kapasite [5,7] ve Kapasite 6 için Çözüm Süreleri (sn)

Kapasite	$ I = J $	Ort. Tesis Doluluk Oranı	Model	A1.2	A2.1	A2.2
[5,7]	20	0.41	0.05±0.22	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	50	0.92	0.10±0.31	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	100	1.82	1.25±1.07	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	200	3.61	39.85±60.41	0.00±0.00	0.40±0.60	0.00±0.00
6	20	0.38	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	50	0.84	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	100	1.66	1.30±0.86	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	200	3.29	42.25±91.86	0.00±0.00	0.25±0.44	0.00±0.00

bir sonuç yoktur. Ancak, sezgisel algoritmanın kapasitedeki değişkenlik azaldıkça daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

#### *Artan Değişkenlik*

Bu kısımda ise, tesislerin kapasiteleri arasındaki değişkenlik arttırılarak kapasitenin [3,9] arasında düzgün dağıldığı ve [2,10] arasında düzgün dağıldığı durumlar ele alınmıştır (Tablo 4.5 ve Tablo 4.6).

Tablo 4.5: Kapasite [3,9] ve Kapasite [2,10] için Yüzde Uzaklıklar (%)

Kapasite	$ I = J $	Ort. Tesis Doluluk Oranı	A1.2	A2.1	A2.2
[3,9]	20	0.43	6.47±6.18	4.36±5.70	0.70±1.53
	50	0.99	15.74±4.91	11.82±5.92	4.79±3.44
	100	2.00	18.05±5.71	14.35±4.79	8.90±3.22
	200	3.97	13.01±3.34	11.06±2.59	8.51±2.07
	300	5.99	12.31±1.88	9.39±1.40	7.88±1.32
	400	7.94	11.03±1.24	9.29±1.01	7.34±0.73
[2,10]	20	0.47	8.10±8.09	4.58±5.19	1.33±2.34
	50	1.08	23.10±7.60	18.75±7.89	7.46±3.91
	100	2.24	31.39±4.86	27.12±4.19	17.55±3.74
	200	4,47	31.97±3.37	28.46±2.42	22.43±2.10
	300	6,73	30.66±2.01	27.81±1.84	24.02±1.45
	400	8,94	29.96±1.38	27.43±0.78	24.75±0.82

Kapasitenin [3,9] arasında düzgün dağıldığı durumda, Algoritma 2.1'nin Algoritma 1.2'ye göre %2.72, Algoritma 2.2'nin ise %6.42 daha iyi sonuçlar verdiği

görülmüştür. Kapasitenin [2,10] arasında düzgün dağıldığı durum için ise, oranlar sırasıyla %3.51 ve %9.61'dir. Aşamalar arası iyileşme oranının kapasitenin [2,10] arasında düzgün dağıldığı durumda daha iyi olmasına rağmen, Algoritma 1.2 ile elde edilen sonuçların kötüleşmesi sonuçta elde edilen yüzde uzaklık değerinin kötüleşmesinin nedeni olabilir.

Tablo 4.6: Kapasite [3,9] ve Kapasite [2,10] için Çözüm Süreleri (sn)

Kapasite	$ I = J $	Ort. Tesis Doluluk Oranı	Model	A1.2	A2.1	A2.2
[3,9]	20	0.43	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	50	0.99	0.10±0.31	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	100	2.00	0.75±0.64	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	200	3.97	4.65±0.99	0.00±0.00	1.35±0.99	0.05±0.22
	300	5,99	9.60±4.25	0.00±0.00	14.35±4.80	1.95±1.19
	400	7,94	18.30±11.04	2.00±0.00	65.95±22.82	9.50±5.35
[2,10]	20	0.47	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	50	1.08	0.05±0.22	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	100	2.24	1.25±1.21	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	200	4,47	6.20±1.85	0.00±0.00	2.10±1.48	0.30±0.47
	300	6,73	26.75±17.17	0.05±0.22	17.90±5.35	4.10±1.94
	400	8,94	106.10±150.13	2.00±0.00	82.70±26.40	17.25±8.81

Her iki durum için de, azalan değişkenliğin incelendiği durumda olduğu şekilde, problem boyutu arttıkça iyileşme oranlarında monoton bir artış ya da azalış gözlenmemiştir.

Artan değişkenliğin etkisi incelendiğinde, bir önceki bölümle benzer bir sonuca varılarak, kapasitedeki değişkenlik arttıkça algoritmanın performansının azaldığı görülmektedir. Sonuç olarak, algoritmaların performansının kapasitedeki değişkenliğe duyarlı olduğu gözlemlenmektedir.

### 4.3.2 Ortalama Kapasite Değeri

Bu kısımda ise, kapasite değerlerindeki değişkenliğin temel durum ile aynı olduğu ancak ortalama kapasite değerinin azaltılarak [2, 6] arasında düzgün dağıldığı durum ve artırılarak [6, 10] arasında düzgün dağıldığı durum incelenmiştir (Tablo

4.7 ve Tablo 4.8). Kapasite değerlerinin [2,6] arasında düzgün dağıldığı durumda Algoritma2.1 Algoritma1.2'ye göre %3.33 daha iyi sonuç verir. Algoritma2.2 ise, %7.09 oranında Algoritma1.2'nin sonuçlarını iyileştirmiştir. Ortalama kapasite değerinin arttırıldığı [6,10] arasında düzgün dağılıma sahip kapasite değerlerinin olduğu durumda ise, bu iyileşme oranları sırası ile %3.10 ve %6.54'tür.

Tablo 4.7: Kapasite [2,6] ve Kapasite [6,10] için Yüzde Uzaklıklar (%)

Kapasite	$ I = J $	Ort. Tesis Doluluk Oranı	A1.2	A2.1	A2.2
[2,6]	20	0.68	8.05±8.58	3.85±5.76	0.98±1.93
	50	1.57	16.96±5.14	13.72±5.45	5.79±2.92
	100	3.16	16.14±3.56	12.76±3.00	8.51±1.92
	200	6.29	14.43±2.15	11.25±1.47	8.85±1.06
	300	9.47	13.06±1.54	10.41±1.11	9.08±0.77
[6,10]	20	0.30	4.96±6.39	2.60±5.42	0.46±0.93
	50	0.68	10.79±6.21	6.86±6.45	2.55±3.48
	100	1.35	16.42±6.85	11.89±7.83	7.07±5.27
	200	2.68	14.08±4.53	11.67±3.95	7.97±2.47
	300	4.04	12.17±2.48	9.91±1.70	7.66±1.49

Tablo 4.8: Kapasite [2,6] ve Kapasite [6,10] için Çözüm Süreleri (sn)

Kapasite	$ I = J $	Ort. Tesis Doluluk Oranı	Model	A1.2	A2.1	A2.2
[2,6]	20	0.68	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	50	1.57	0.10±0.31	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	100	3.16	0.65±0.67	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	200	6.29	2.40±1.39	0.00±0.00	2.75±1.33	0.80±0.62
	300	9.47	4.45±1.19	4.45±1.19	25.95±10.10	8.50±3.33
[6,10]	20	0.30	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	50	0.68	0.05±0.01	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	100	1.35	1.50±0.95	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	200	2.68	7.60±11.60	0.00±0.00	0.25±0.44	0.00±0.00
	300	4.04	121.55±353.72	0.05±0.22	6.35±2.94	0.15±0.37

Çözüm süreleri açısından incelendiğinde ise, en fazla Algoritma2.1'in süresinin ortalama kapasite değerindeki değişimlere duyarlı olduğu görülmektedir. Ortalama kapasite değeri azaldığında Algoritma2.1'in çözüm süresi artmakta, ortalama kapasite değeri arttığında ise çözüm süresi azalmaktadır. Matematiksel modelin

çözüm süresi için ise bunun tam tersi bir durum söz konusudur. Ancak, modelin çözüm süresinin ortalama kapasite değerindeki değişime daha duyarlı olduğu görülmüştür.

### 4.3.3 Müdahale Süresi

Temel durumda T olarak alınan mesafe eşik değerinin 1,5T alındığı ve 2T alındığı durumlar incelenerek yani cevap verme süresi sırasıyla 1,5 ve 2 katına çıkarılarak analizler yapılmıştır (Tablo 4.9 ve Tablo 4.10). Mesafe eşik değeri yani cevap verme süresindeki artış beklenildiği üzere ortalama tesis doluluk oranlarını arttırmıştır.

Tablo 4.9: Mesafe Eşik Değeri 1,5T ve 2T için Yüzde Uzaklıklar (%)

Eşik Değer	$ I = J $	Ort. Tesis Doluluk Oranı	A1.2	A2.1	A2.2
1,5T	20	0.69	11.58 ± 11.37	5.71 ± 7.72	2.83+4.45
	50	1.67	15.44 ± 10.25	11.91 ± 7.42	7.38 ± 4.42
	100	3.34	12.09 ± 3.36	9.22 ± 3.10	8.12 ± 2.78
	200	6.67	11.74 ± 1.68	9.13 ± 1.43	7.97 ± 1.26
	300	10.04	13.18 ± 2.54	9.73 ± 0.95	8.27 ± 0.82
	400	13.30	12.99 ± 1.56	10.50 ± 0.89	9.00 ± 0.81
2T	20	1.12	13.90 ± 10.44	7.33 ± 5.58	3.27 ± 3.72
	50	2.61	14.66 ± 5.79	10.15 ± 4.36	6.23 ± 3.36
	100	5.18	14.98 ± 4.07	11.78 ± 2.92	9.82 ± 3.11
	200	10.34	14.43 ± 2.36	11.77 ± 1.22	10.65 ± 1.51
	300	15.57	15.27 ± 1.69	12.72 ± 1.31	11.05 ± 1.14
	400	20.67	16.84 ± 1.85	13.87 ± 1.13	11.40 ± 0.90

Cevap verme süresinin 1,5 katına çıkarıldığı durumda Algoritma2.1 Algoritma 1.2'in verdiği sonuçları %3.41 oranında, Algoritma2.2 ise, %5.38 oranında iyileştirmiştir. Cevap verme süresinin 2 katına çıkarıldığı durumda ise bu oranlar sırasıyla %3.57 ve %6.13'tür. Temel durum ile karşılaştırıldığında, her iki cevap verme süresi için de Algoritma 2.1'in Algoritma1.2'ye göre sağladığı iyileşme miktarının arttığı, Algoritma 2.2'nin katkısının da cevap verme süresinin 2 katına çıkarıldığı durum için arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.10: Mesafe Eşik Değeri 1,5T ve 2T için Çözüm Süreleri (sn)

Eşik Değer	$ I = J $	Ort. Tesis Doluluk Oranı	Model	A1.2	A2.1	A2.2
1,5T	20	0.69	0.05 ± 0.22	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
	50	1.67	0.25 ± 0.55	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
	100	3.34	1.00 ± 0.97	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
	200	6.67	4.65 ± 1.66	0.00 ± 0.00	5.05 ± 3.46	0.05 ± 0.22
	300	10.04	14.25 ± 17.67	0.05 ± 0.22	54.60 ± 19.38	4.95 ± 1.39
	400	13.30	20.45 ± 7.90	2.40 ± 0.50	212.65 ± 82.42	20.65 ± 6.95
2T	20	1.12	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
	50	2.61	0.30 ± 0.47	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
	100	5.18	1.45 ± 1.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
	200	10.34	3.90 ± 1.80	0.00 ± 0.00	11.10 ± 3.75	0.75 ± 0.44
	300	15.57	12.00 ± 8.47	1.00 ± 0.00	94.50 ± 31.58	9.15 ± 2.89
	400	20.67	22.85 ± 9.07	3.85 ± 0.37	498.35 ± 152.39	29.80 ± 17.07

Çözüm süreleri açısından bakıldığında, kapasite değişiminde görüldüğü gibi Algoritma 2.1'nin süresinin değişime duyarlı olduğu görülmüştür, ancak Algoritma 2.1'nin süresi bu iki durumda da modelden fazladır.

Yapılan tüm analizler, açılacak tesis ve(ya) eklenecek tesis belirlenmesinde kullanılan maliyet fonksiyonunda sabit maliyetin baskın olmasının yöntemi kapasite ve cevap verme süresindeki değişikliklere duyarlı hale getirdiğini göstermektedir. Sezgisel algoritmanın tüm durumlar arasında en iyi yüzde uzaklık değerlerini ise kapasitedeki değişkenliğin sıfır olduğu, yani kapasitenin 6 alındığı durum için verdiği görülmüştür. Optimalden en uzak sonuçları ise kapasitedeki değişkenliğin en fazla olduğu durumda vermiştir. Bu sonuç incelendiğinde sezgiselin çözüm kalitesi yönünden en fazla duyarlı olduğu faktörün kapasitedeki değişkenlik olduğu söylenebilir. Çözüm süreleri açısından algoritmanın iyileştirilmesi gereken adımının ise Algoritma 2.1 olduğu tespit edilmiştir, Algoritma 2.1'in süresinin yapılan değişikliklere en duyarlı algoritma olduğu görülmüştür. Özellikle cevap verme süresinin arttırıldığı ve ortalama kapasitenin azaltıldığı durumlarda Algoritma 2.1'in süresindeki değişim, bu alternatifin kullanılması durumunda sezgiselin modelden daha uzun sürmesine neden olmaktadır.

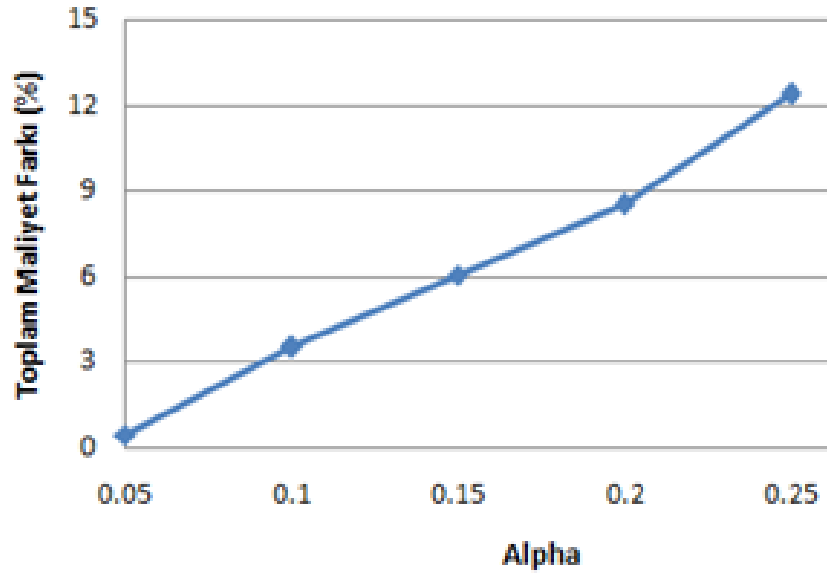


## 4.4 Stokastik Model Temel Sonuçlar

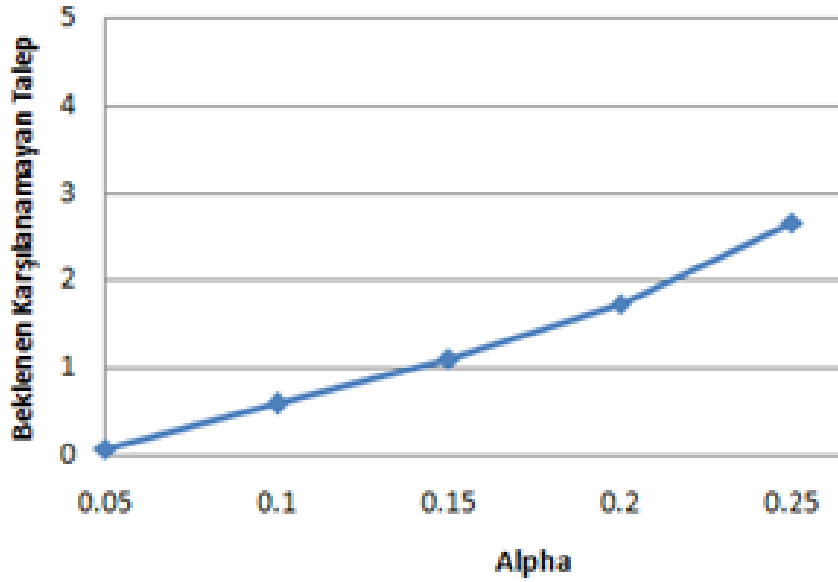
Stokastik model ile ilgili deneysel çalışmalara öncelikle modelin servis seviyelerini ifade eden farklı  $\alpha$  değerleri için analiz ile başlanmıştır. Bunun için talep ve tesis noktaları sayısı  $|I|=|J|=50$  ve senaryo sayısının  $s=5$  olduğu problem boyutu için, 0.05 ile 0.25 arasında 0.05 artış miktarı ile elde edilen  $\alpha$  değerleri kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Bu veri setleri için elde edilen sonuçlar, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görülmektedir. Şekil 4.1’de önerilen stokastik formülasyonun farklı servis seviyeleri için verdiği ozmler ile problemin talebin tamamının karşılandığı halinin amaç fonksiyonu değerleri arasındaki yüzdelik fark yer almaktadır. Şekil 4.2’de ise önerilen stokastik formülasyon farklı servis seviyeleri için ozldğinde elde edilen beklenen karşılanamayan taleplerin miktarları yer almaktadır. Her bir servis seviyesine karşılık gelen değer, 5 farklı örnek durumun ortalamasıdır.

Bu veriler incelendiğinde,  $\alpha$  değerleri arttıķa, yani servis seviyesi azaltılarak izin verilen karşılanamayan talep miktarı arttıķa, talebin tamamen karşılandığı durum ile olan maliyet farkının da beklenildiği Şekilde arttığı görülmektedir.  $\alpha=0.05$  iken, beklenen karşılanamayan talep miktarlarının ortalaması 0.07 gibi çok düşük bir değerdir, dolayısı ile talebin tamamen karşılandığı durum ile olan yüzdelik maliyet farklarının ortalaması da %0.43 gibi oldukça düşük bir değerdir. Yani, hem beklenen karşılanamayan taleplerin miktarı açısından hem de maliyet açısından talebin tamamen karşılandığı duruma yakındır. Ancak,  $\alpha$ ’nın incelenen en yüksek değeri, yani en düşük servis seviyesi 0.25 için, talebin tamamen karşılandığı durum ile toplam yüzdelik maliyet farkları ortalaması %12.37 iken, beklenen karşılanamayan talep miktarları ortalaması ise sadece 2.65’e çıkmaktadır.



Şekil 4.1: Servis Seviyesi Kısıtlı Durum ile Talebin Tamamen Karşıldığı Durumun Toplam Maliyetleri Arasındaki Fark (%)



Şekil 4.2: Beklenen Karşılanamayan Talep Miktarları

Tablo 4.11'de ise iki aşamalı stokastik formülasyonun farklı problem boyutu

Tablo 4.11: Problem Büyüklüğü

Alpha	$ I = J  \times  S $	Çözüm Süresi (sn)
0.1	50x5	9.02
	50x10	39.70
	50x20	264.72
	100x5	547.92
	100x10	(%3.57) <sup>1</sup>
	100x20	(%4.29) <sup>1</sup>
0.2	50x5	13.51
	50x10	31.19
	50x20	145.45
	100x5	872.58
	100x10	(%3.71) <sup>1</sup>
	100x20	(%5.41) <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Belirlenen zaman limiti içerisinde elde edilen çözümün alt sınırdan yüzde uzaklığı

ve senaryo sayılarına sahip örnek problemler için çözülmesi sonucu elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Bu çalışma ile, stokastik formülasyonun belirlenen zaman limiti olan 2700 sn içerisinde hangi problem boyutunu çözebildiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Stokastik formülasyon, talep ve tesis noktaları için 50 ve 100 olmak üzere iki farklı boyut ve senaryo sayısı olarak da 5, 10 ve 20 olmak üzere üç farklı değer için çözülmüştür. Farklı servis seviyelerini ifade eden  $\alpha$  değerleri için ise 0.1 ve 0.2 olmak üzere iki farklı değer kullanılmıştır.

Bu koşullar sonucu, ele alınan her iki servis seviyesi için de talep noktaları sayısı 100 iken, senaryo sayısı ona çıkarıldığında CPLEX'in belirlenen zaman limiti olan 2700 sn içerisinde optimal çözümü bulamadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, bu veri setleri için belirlenen zaman limiti içerisinde bulunan en iyi sonucun alt sınırdan uzaklığı gösterilmiştir.

Farklı boyutta problemler ve farklı servis seviyesi değerleri için elde edilen sonuçlar ve analizleri incelendiğinde, önerilen iki - aşamalı stokastik kapasiteli tesis yer seçimi modelinin veri seti boyutunun arttığı durumlar için en iyi çözümü belirlenen zaman limiti içerisinde bulamadığı görülmektedir. Büyük boyutlu veri setleri için modelin optimal olarak çözülemeyişi, sezgisel bir algoritmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

## 5. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Acil tıbbi yardım istasyonlarının planlanması ve yerleşimi, kısa süre içerisinde etkin müdahale edilmediği durumda can kayıplarına neden olabilen acil çağrılara makul sürede cevap verilmesinin sağlanabilmesi açısından kritiktir. Bu çalışmada, acil tıbbi yardım istasyonlarının yerlerinin ve bu istasyonlara atanacak acil servis aracı sayılarının toplam hizmet sağlama maliyetini eniyileyecek şekilde planlanması problemi ele alınmış, problem talebin belirsiz olduğu ve hizmet seviyesi kısıtının yer aldığı durum için incelenmiştir.

Çalışmada, acil yardım istasyonlarının etkin planlanması problemi için deterministik ve rassal olmak üzere iki model yer almaktadır. Tüm talebin maksimum bir standart müdahale süresi içerisinde karşılanmasını garantileyen çok kaynaklı, kapasiteli deterministik tesis yer seçimi formülasyonu ile toplam hizmet maliyetini en iyileyecek acil yardım istasyonları yerlerine ve bu yerleşimlere atanan talebin büyüklüğüne göre belirlenen acil servis aracı sayılarına (istasyon kapasitelerine) karar verilmektedir. Literatürde çoğunlukla yer alan küme kapsama yer seçimi modelleri, istasyonların kapasiteleri ile atanan talep miktarı arasındaki ilişkiyi dikkate almaksızın, kapsanan bir alanın tüm nüfusunun kapsandığı varsayımı ile hareket eder. Çok amaçlı, yedek kapsama modelleri önerilerek acil çağrılara cevap verebilirliği arttırmak ve standart bir hizmet seviyesine ulaşmak hedeflense de, bu modeller de standart bir servis seviyesinin yakalanması için yeterli değildir. Bu yaklaşımlarda ambulans başına düşen talep miktarı göz önünde bulundurulmamaktadır. Ayrıca, bu modeller istasyon açma ve işletme maliyetlerini hesaba katmamaktadır.

Gerçek hayat problemlerinde acil servis araçlarına olan talep belirsiz olduğundan ve bu durum karşılanamayan taleplere neden olduğundan, deterministik model talebin belirsizliğini dikkate alan hizmet seviyesi kısıtlı iki aşamalı bir rassal modele genişletilmiştir. Rassal modelde, yerleşim yerlerine atanan araç sayıları her bir senaryo için belirlenmektedir. Model standart bir servis seviyesini garantilemekte ve modelde yer alan bütünleşik şans kısıtları sayesinde parametrelerin değiştirilmesi ile yapılan analizlerle farklı servis seviyelerinin karşılanamayan talep üzerindeki etkisinin miktar açısından karşılaştırılması sağlanabilmektedir. Bu da, karar vericilere servis seviyesindeki değişimleri karşılanamayan talebin miktarı ile hizmet sağlama maliyetleri arasındaki ödünleşim açısından değerlendirme imkanı sunar. Bu analizlerle, örneğin, karşılanamayan talebin miktarının (ortalama) %3'ten küçük olmasının garantilediği durumda toplam maliyette yaklaşık %12 oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Çözüm yöntemi olarak, deterministik model için iki aşamalı bir sezgisel algoritma önerilmiştir. Sezgisel yöntemin ilk aşaması olan çözüm kurucu algoritmada olurlu başlangıç çözümü elde etmek için iki farklı alternatif kullanılmakta, çözüm kurucu sezgiselden elde edilen olurlu başlangıç çözümüne uygulanan iyileştirme sezgiseli, algoritmanın ikinci aşamasını oluşturmakta ve iki farklı alternatif algoritmadan oluşmaktadır. Sezgiselin performansı farklı boyutta veri setleri için incelenmiş; her bir boyut için yapılan duyarlılık analizleriyle kapasite ve müdahale süresindeki değişimlerin sonuçlara etkisi yorumlanmıştır. Sezgiselin performansının çözüm kalitesi açısından kapasitedeki değişkenlik, müdahale süresi ile ters orantılı, ortalama kapasite değeri ile ise doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Analizlerden elde edilen ortak sonuç; tesis seçimlerinde kullanılan fonksiyonun dominant bileşeninin sabit maliyet olmasının, yöntemi kapasite ve cevap verme süresindeki değişkenliklere duyarlı hale getirdiği olmuştur. Sezgisel algoritmanın çözüm kalitesi açısından en iyi performansı kapasitedeki değişkenliğin kaldırıldığı durum için elde edilirken, en kötü performansı ise kapasitedeki değişkenliğin en fazla olduğu durumda görülmektedir. Bu sonuç incelendiğinde sezgiselin çözüm kalitesi yönünden en fazla duyarlı olduğu faktörün kapasitedeki değişkenlik olduğu söylenebilir. Çözüm süreleri açısından incelendiğinde ise, ikinci aşama için önerilen birinci alternatifin süresinin yapılan değişikliklere en duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

Önerilen sezgisel, yerel komşuluk arama temelli bir çözüm kurucu sezgiseli ile bu sezgiselin çözümünü iyileştirmeye yönelik geliştirilen bir iyileştirme sezgiselinden oluşur. İlk aşama sezgiseli bir tesisi açmanın toplam maliyetini hesaplarken algoritmanın ilerleyen iterasyonlarında bu tesise atanabilecek talep noktalarını da göz önüne alır; ayrıca, atanabileceği tesisler arasından en düşük maliyet değerine sahip iki tesisin maliyetleri arasındaki farkı en yüksek olan talep noktası atanmak üzere seçilir. Temel olarak miyopik komşuluk arama yapan ilk aşama sezgiseli bu özellikleri ile ileriye yönelik yapılacak atamaları kısmen de olsa göz önüne almaya çalışır. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında farklı komşuluk arama stratejileri geliştirilerek amaç fonksiyonu değeri açısından mevcut çözümden daha kötü olan komşu çözümlerde de arama yapan bir meta-sezgisel geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Deterministik model için önerilmiş olan sezgisel çözüm yönteminin geliştirilerek senaryo bakış açısı kullanılarak rassal talebin etkisinin modellendiği stokastik programlama formülasyonu için uygulanması planlanmaktadır. Ayrıca, çözüm yöntemi olarak gevşetme ve ayrıştırma temelli optimizasyon yöntemlerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Acil tıbbi yardım hizmet sağlayıcılarının yerlerinin ve kapasitelerinin tasarlanması problemini daha iyi temsil eden stokastik modelin çok amaçlı bir optimizasyon modeli olarak geliştirilmesi ve hizmet seviyesi kısıtının verilen bir hizmet tasarımı için gerçekleşen en büyük müdahale süresinin en küçüklenmesi olarak tanımlandığı bir tasarım elde edilmesi planlanan gelecek çalışmalar arasındadır.

# Kaynakça

- [1] Adams, T.F., Police operations. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1997.
- [2] Ahuja, R.K., Orlin J.B., Pallottino S., Scaparra, M.P., Scutella, M.G., A multi-exchange heuristic for the single – source capacitated facility location problem. *Management Science*, **50** (6): 749–760, 2004.
- [3] Akinc, U., Khumawala, B.M., An efficient branch and bound algorithm for the capacitated warehouse location problem. *Manag Sci*, **23**: 585–594, 1977.
- [4] Aly, A.A., White J.A., Probabilistic formulation of the emergency service location problem, *The Journal of the Operational Research Society*, **29**: (12), 1167–1179, 1978.
- [5] Aringhieri, R., Carello G., Morale D., Supporting decision making to improve the performance of an Italian Emergency Medical Service. *Annals of Operations Research*, 2013.
- [6] Ball, M.O., Lin, F.L., A reliability model applied to emergency service vehicle location. *Operations Research*, **41** (1): 18–36, 1993.
- [7] Başar, A., Çatay, B., Ünlüyurt, T., A multi-period double coverage approach for locating the emergency medical service stations in İstanbul. *J. Oper. Res. Soc.*, **62**, 627–637, 2011.
- [8] Başar, A., Çatay, B., Ünlüyurt, T., A taxonomy for emergency service station location problem. *Optimization Letters*, **6** (6): 1147–1160, 2012.
- [9] Beasley, J.E., OR-Library: Distributing test problems by electronic mail. *J. Oper. Res. Soc.*, **41**: 1069–1072, 1990.

- [10] Beraldi, P., Bruni, M.E., A probabilistic model applied to emergency service vehicle location. *European Journal of Operational Research*, **196**: 323–331, 2009.
- [11] Beraldi, P., Bruni, M.E., Conforti D., Designing robust emergency medical service via stochastic programming. *European Journal of Operational Research*, **158** (1): 183–193, 2004.
- [12] Brotcorne, L., Laporte, G., Semet, F., Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research*, **147**: 451–463, 2003.
- [13] Chanta, S., Mayorga, M.E., McLay, L.A., Improving emergency service in rural areas: a bi-objective covering location model for EMS systems. *Annals of Operations Research*, 2011.
- [14] Chanta, S., Mayorga, M.E., McLay, L.A., Wiecek, M., A bi-Objective covering location model for EMS systems. *Proceedings of the 2009 Industrial Engineering Research Conference*, 1868–1873, 2009.
- [15] Chapman, S.C., White, J.A., Probabilistic formulations of emergency service facilities location problems. *Reprint Series 7407, IEOR Dept, VPI & SV*, 1974.
- [16] Charnes, A., Cooper, W.W., Chance Constrained Programming. *Mgmt. Sci.*, **6**: 73-79, 1959.
- [17] Church, R.L., Gerrard R.A., The multi-level location set-covering model. *Geographical Analysis*, **35** (4): 277–289, 2003.
- [18] Church, R.L., ReVelle, C.S., The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, **32**: 101–118, 1974.
- [19] Chyu, C.C., Chang, W.S., Multi-exchange neighbourhood search heuristics for the multi-source capacitated facility location problem. *IEMS*, **8** (1): 29–36, 2009.
- [20] Cornuejols, G., Fisher, M.L., Nemhauser, G.L., Location of bank accounts to optimize float: an analytic study of exact and approximate algorithms. *Manag Sci* **23**(8): 789–810, 1977.



- [21] Çatay, B., Başar, A., Ünlüyurt, T., İstanbul'da acil yardım istasyonlarının yerlerinin planlanması. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, **19** (4): 20–35, 2008.
- [22] Daskin, M.S., A maximum expected covering location model: formulation, properties and heuristic solution. *Transportation Science*, **17** (1): 48–70, 1983.
- [23] Daskin, M. S., Application of an expected covering model to EMS system design. *Decision Sciences*, **13** (3): 416–439, 1982.
- [24] Daskin, M.S., Stern E.H., A hierarchical objective set covering model for emergency medical service vehicle deployment. *Transportation Science*, **15** (2): 137–152, 1981.
- [25] Delmaire, H., Diaz, J.A., Fernandez, E., Ortega, M., Comparing new heuristics for the capacitated plant location problem. Technical Report DR97/10. *Department of Statistics and Operations Research, Universitat Politecnica de Catalunya, Barcelona, Spain*, 1997.
- [26] Delmaire, H., Diaz, J.A., Fernandez, E., Ortega, M., Reactive grasp and tabu search based heuristics for the single source capacitated plant location problem. *Inf. Syst. Oper. Res.*, **37** (3): 194–225, 1999.
- [27] Efraymson, M.A., Ray, T.L., A branch and bound algorithm for plant location. *Oper Res* **14**: 361–368, 1966.
- [28] Erlenkotter, D., A dual-based procedure for uncapacitated facility location. *Operations Research*, **26** (6): 992–1009, 1978.
- [29] Feo, T.A., Resende, M.G.C., Greedy randomized adaptive search procedures. *Journal of Global Optimization*, **6**: 109–133, 1995.
- [30] Fisher, M.L., The Lagrangian relaxation method for solving integer programming problems. *Management Science*, **27**: 1–8, 1981.
- [31] Gendreau, M., LaPorte, G., Semet, F., Solving an ambulance location model by tabu search. *Location Science*, **5** (2): 75–88, 1997.
- [32] Goldberg J.B., Operations research models for the deployment of emergency services vehicles. *EMS Management Journal*, **1** (1): 20–39, 2004.

- [33] Hogg, J., The siting of fire stations. *Operational Research Quarterly*, **19** (3): 275–287, 1968.
- [34] Holmberg, K., Rönnqvist, M., Yuan, D., An exact algorithm for the capacitated facility location problems with single sourcing. *Eur. J. Oper. Res.*, **113**: 544–559, 1999.
- [35] Khumawala, B.M., Branch and bound algorithm for locating emergency service facilities. *Krannert Institute Paper*, **355**: 1972.
- [36] Klein Haneveld, W.K., Duality in stochastic linear and dynamic programming. *Lecture notes in economics and mathematical systems*, **274**: 1986.
- [37] Klein Haneveld, W.K., Van Der Vlerk, M.H., Integrated chance constraints: reduced forms and an algorithm. *Computational Management Science*, **3** (4): 245–269, 2006.
- [38] Klincewicz, J.G., Luss, H., A Lagrangean relaxation heuristic for capacitated facility location with single-source constraints. *J. Oper. Res. Soc.*, **37** (5): 495–500, 1986.
- [39] Kuehn, A.A., Hamburger M.J., A Heuristic Program for Locating Warehouses. *Management Science*, **9** (4): 643–666, 1963.
- [40] Larson, R.C., A hypercube queueing model for facility location and redistricting in urban emergency service, *Computers and Operations Research* **1**, 67–95, 1974.
- [41] Larson, R.C., Approximating performance of urban emergency service systems, *Operations Research* **23** (5): 845–868, 1975.
- [42] Larson, R.C., Urban police patrol analysis. The MIT Press, Cambridge, MA, 1972.
- [43] Li, X., Zhao, Z., Zhu, X., Wyatt, T., Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review. *Math Meth Oper Res*, **74** (3): 281–310, 2011.

- [44] Marianov, V., ReVelle, C., The queuing maximal availability location problem: A model for the siting of emergency vehicles, *European Journal of Operational Research*, **93**: 110–112, 1996.
- [45] Marianov, V., Serra, D., Location problems in the public sector. Chapter in *Facility Location*, Drezner Z. and Hamacher H.W. (Eds.), 119–149, 2002.
- [46] Marsh, M.T., Schilling, D.A., Equity measurement in facility location analysis: a review and framework. *European Journal of Operations Research*, **74** (1): 1–17, 1994.
- [47] Nauss, R.M., An improved algorithm for the capacitated facility location problem. *J Oper Res Soc*, **29**: 1195–1201, 1978.
- [48] Noyan, N., Alternate risk measures for emergency medical service system design. *Annals of Operation Research*, **181**: 559–589, 2010.
- [49] Plane D.R., Hendrick T.E., Mathematical programming and the location of fire companies for the Denver Fire Department. *Operations Research*, **25** (4): 563–578, 1977.
- [50] Rainwater, C., Geunes, J., Romeijn, H.E., A facility neighborhood search heuristic for capacitated facility location with single-source constraints and flexible demand. *Journal of Heuristics*, **18** (2): 297–315, 2012.
- [51] Rainwater, C., Geunes, J., Romeijn, H.E., The generalized assignment problem with flexible jobs. *Discrete Appl. Math.*, 2008.
- [52] Resende, M.G.C., Ribeiro, C.C., Greedy randomized adaptive search procedures. In F. Glover and G. Kochenberger, editors, *Handbook of Metaheuristics* Kluwer Academic Publishers, 219–249, 2003.
- [53] ReVelle, C., Hogan, K., Concepts and applications of backup coverage. *Management Science*, **32** (11): 1434–1444, 1986.
- [54] ReVelle, C., Hogan, K., The maximum availability location problem. *Transportation Science*, **23**: 192–200, 1989.
- [55] Sá, G., Branch-and-bound and approximate solutions to the capacitated plant-location problem. *Operations Research*, **17** (6):, 1005–1016, 1969.

- [56] Schrage, L., Implicit representation of variable upper bounds in linear programming. *Math Program Study*, **4**: 118–132, 1975.
- [57] Silva, F., Serra, D., Locating emergency services with different priorities: The priority queuing covering location problem, *Journal of the Operational Research Society* 1–10, 2007.
- [58] Spielberg, K., Algorithms for the simple plant location problem with some side constraints. *Oper Res* **17**: 85–111, 1969.
- [59] Sridharan, R., The capacitated plant location problem. *European Journal of Operational Research*, **87** (2): 203–213, 1995.
- [60] Swersey, A.J., The deployment of police, fire, and emergency medical units. In: Pollock, S.M., Rothkopf, M.H., Barnett, A. (Eds.), *Operations Research and the Public Sector*. In: *Handbooks in Operations Research and Management Science*, North-Holland, Amsterdam, **6**: 151–200, 1994.
- [61] Syam, S., Cote, M.J., A location–allocation model for service providers with application to not-for-profit health care organizations. *Omega*, **38**, 157–166, 2010.
- [62] Toregas, C., A covering formulation for the location of public service facilities. M.S. thesis, Cornell University, 1970.
- [63] Toregas, C., Location under maximal travel time constraints. Ph.D. diss., Cornell University, 1971.
- [64] Toregas, C.R., ReVelle, C.S., Binary logic solutions to a class of location problem. *Geographical Analysis*, **5**: 145–155, 1973.
- [65] Toregas, C.R., Swain, R., ReVelle, C.S., Bergman, L., The location of emergency service facilities. *Operations Research*, **19** (2): 1363–1373, 1971.
- [66] Van Roy, T.J., A cross decomposition algorithm for capacitated facility location. *Oper Res* **34** (1): 145–163, 1986.
- [67] Walker, W.E., Chaiken, J.M., Ignall, E.J. (Eds.), *Fire department deployment analysis*. North-Holland, New York, 1979.

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KONAK, Ecem  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 18.04.1989 Trabzon  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : (+90 538) 419 28 45  
e-mail : konakecem@gmail.com

## Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Y. Lisans	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2014
Lisans	Hacettepe Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2011

## İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-2014	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Burslu Y.L. Öğrencisi

## Yabancı Dil

İngilizce

## Yayımlar

Konak, E., Aytaç B., A Heuristic Approach for Emergency Medical Service Location Problem, EURO/INFORMS 26th European Conference on Operational Research, Temmuz 2013.