



**ACİL YARDIM ARACI YERLEŞİM PROBLEMİ İÇİN SAĞLAM
OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI VE AMBULANS UYGULAMASI**

Ece AKINCILAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2019

Ece AKINCILAR tarafından hazırlanan “ACİL YARDIM ARACI YERLEŞİM PROBLEMİ İÇİN SAĞLAM OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI VE AMBULANS UYGULAMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Murat ARIKAN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Serpil EROL

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Babek ERDEBİLLİ

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 11/10/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....

Ece AKINCILAR

11/10/2019

ACİL YARDIM ARACI YERLEŞİM PROBLEMİ İÇİN SAĞLAM OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI VE AMBULANS UYGULAMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Ece AKINCILAR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2019

ÖZET

Bu tez çalışmasında, sağlık sektöründe ulaşım alanında önemli yer tutan sağlam acil yardım aracı (AYA) yerleşim yeri problemi (SAYYP) ele alınmıştır. AYA'nın talep noktaları arasındaki ortalama hızın belirsiz olduğu varsayılmış, bu belirsizlik bulanık olmayan (crisp) ve konveks bir küme ile temsil edilmiştir. Bu belirsizlik ile başa çıkmak için tutucu sonuçlar elde edilmesini sağlayan sağlam optimizasyon (SO) yaklaşımı benimsenmiştir. Bu tez çalışmasının özgünlüğü, SO yaklaşımının AYA'nın ortalama hızının belirsiz olduğu ortam için uygulanması sonucu AYA'nın ortalama hızındaki belirsizliğe tamamen dayanıklı yerleşim yeri planının üretilmesi olarak nitelendirilebilir. Sağlam ve nominal sonuçların karşılaştırılması için bir simülasyon çalışması dizayn edilmiştir. Bu simülasyon çalışmasının sonuçlarına göre, önerilen model ile tam tutucu (conservative) sonuçlar katlanılabilir maliyetler ile elde edilmiştir. Hatta birçok senaryo için ek maliyet söz konusu olmamıştır. Sonuç olarak, tez çalışmasında önerilen modelin özgün olduğu ve ekonomik katkısının yüksek olduğu söylenebilmektedir

Bilim Kodu : 90610

Anahtar Kelimeler : Acil yardım aracı yerleşim problemi, ambulans yerleşim problemi, optimizasyon, sağlam optimizasyon

Sayfa Adedi : 68

Danışman : Dr. Öğretim Üyesi Murat ARIKAN

A ROBUST OPTIMIZATION APPROACH FOR THE EMERGENCY VEHICLE
LOCATION PROBLEM AND AMBULANCE APPLICATION

(M. Sc. Thesis)

Ece AKINCILAR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

October 2019

ABSTRACT

In this study, robust emergency vehicle location problem, which is a significant research field in transportation in healthcare, is focused on. It is assumed that travelling time of vehicles between two demand points is uncertain and this uncertainty is represented as a crisp and as well as convex set. In order to deal with this uncertainty, robust counterpart (RC) approach, which is capable of providing conservatism, is employed. Novelty of this thesis lies on producing entirely immunized facility location plans against uncertainty in the average velocity of ground ambulance via employing RC approach. According to results of the simulation process, which is designed for the sake of benchmarking robust and nominal solutions, it can be easily claimed that conservative robustness is able to be achieved with significantly sufferable costs, even with no costs in most of the scenarios, by the proposed model. Ultimately, it is claimed that novelty and economic contribution of this thesis is significantly high.

Science Code : 90610

Key Words : Emergency vehicle location problem, ambulance location problem, optimisation, robust optimisation

Page Number : 68

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Murat ARIKAN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın yürütülmesi konusunda, araştırma aşamasında, yön tayininde ve tamamlanmasında destek olan değerli hocam ve tez danışmanım sayın Dr. Öğretim Üyesi Murat ARIKAN'a, çalışmalarım sırasında gösterdiği sabır, bana ayırdığı değerli zamanı ve sağladığı destek için teşekkürlerimi sunarım. Tezin başlangıcından bitimine kadar bana destek olan, benden yardımlarını esirgemeyen, her zaman yanımda olan, bildiklerini paylaşan değerli eşim Dr. Aykan AKINCILAR'a, tez çalışmam boyunca kalbiyle her zaman yanımda olan sevgili anneme teşekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. YERLEŞİM YERİ PROBLEMLERİ	5
2.1. Genel Yerleşim Yeri Problemleri.....	5
2.2. Yerleşim Yeri Problemlerinin Sınıflandırılması	6
2.2.1. Tanımlayıcı modeller	6
2.2.2. Kuralcı modeller.....	7
2.3. Acil Yardım Araçları için Yerleşim Yeri Problemleri (AYAYYP).....	8
2.3.1. Statik kapsama modelleri	9
2.3.2. Dinamik kapsama modelleri	10
2.3.3. Olasılıklı yerleşim modelleri.....	11
2.3.4. Stokastik modeller.....	12
2.4. Sağlam Ambulans Yerleşim Yeri Problemi (SAYYP)	13
2.5. Sürdürülebilirlik İçin Sağlamlık Gerçekten Gerekli mi?	22

Sayfa

3. MATEMATİKSEL ALTYAPI.....	23
3.1. Yerleşim Yeri Problemlerinde Sıklıkla Kullanılan Modeller	23
3.1.1. Küme kapsama modeli	24
3.1.2. Küme ayırma modeli.....	24
3.1.3. Küme paketleme modeli	24
3.2. Sağlam Optimizasyon (SO) Yaklaşımı	24
3.2.1. Sağlam optimizasyonun varsayımları	27
3.2.2. SO yaklaşımının matematiksel olarak ifade edilişi.....	27
4. PROBLEM TANIMI, ÖNERİLEN MATEMATİKSEL MODELLER	31
4.1. Nominal Model.....	32
4.2. Nominal Modelin Sağlam Karşılığı (SK)	33
4.3. SK'nın Çözülebilir Forma İndirgenmesi	35
5. UYGULAMA.....	39
5.1. Nominal Model (δ)'in Her Bir Senaryo İçin Çözülmesi.....	43
5.2. SK (ξ)'nin Her Bir Senaryo İçin Çözülmesi	45
5.3. Sonuçların Karşılaştırılması.....	47
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	49
KAYNAKLAR	53
EKLER.....	57
EK-1. Çankaya ilçesindeki bölgeler arası uzaklık matrisi	58
EK-2. Nominal model (δ)'in her bir senaryo için MATLAB R2013 ortamındaki kodu	61
EK-3. SK (ξ)'nin diğer senaryolar için MATLAB R2013 ortamında yazılan kodu	64
ÖZGEÇMİŞ	67

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. SAAYP ile ilgili yapılmış çalışmalar	12
Çizelge 2.2. Stokastik modeller ile ilgili yapılmış çalışmalar	13
Çizelge 5.1. Çankaya ilçesinin bölgeleri.....	40
Çizelge 5.2. Ortalama AYA hızı (v) için alternatifler.....	42
Çizelge 5.3. Eşik değeri (τ) için alternatifler	42
Çizelge 5.4. Farklı (v) ve (τ) değerleri için mevcut senaryolar	42
Çizelge 5.5. Nominal model (δ)'in sonuçları.....	44
Çizelge 5.6. SK (ξ')'nin sonuçları	46
Çizelge 5.7. Nominal ve sağlam çözümler	47
Çizelge 5.8. Nominal ve sağlam çözümlerin karşılaştırılması.....	48

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yerleşim yeri problemleri.....	6
Şekil 5.1. Acil yardım çağrısı geldiğinde merkezden olay yerine ambulans gönderimi	39
Şekil 5.2. Nominal Model için Senaryo 1 MATLAB çıktısı	44
Şekil 5.3. Sağlam karşılık için Senaryo 1 MATLAB çıktısı.....	46

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
5.1. Çankaya ilçesinin Ankara ilindeki yeri	40

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

dk

dakika

km/s

kilometre / saat

km²

kilometre kare

Kısaltmalar

Açıklamalar

AYA

Acil yardım aracı

AYAYYP

Acil yardım aracı yerleşim yeri problemi

AYYP

Ambulans yerleşim yeri problemi

ARGE

Araştırma-geliştirme

NÇ

Nominal çözüm

SÇ

Sağlam çözüm

SO

Sağlam optimizasyon

TBMM

Türkiye Büyük Millet Meclisi

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi, ülkemiz son yıllarda genel bir kalkınma çabası içine girmiştir. Savunma sanayi, ulaşım, bir takım ARGE faaliyetleri gibi alanlara devlet tarafından önemli yatırımlar yapılmaktadır. Bunun yanında, zaten bir turizm ülkesi olan Türkiye, çeşitli uluslararası turnuvalara ev sahipliğine aday olmuş, birçok uluslararası toplantıya da ev sahipliği yapmıştır. Bu tarz organizasyonlara ev sahipliği yapabilmek için özellikle şehirlerdeki yaşam kalitesinin rakip ülkelerden daha iyi olması çok önemli bir yer tutmaktadır. Şehirdeki yaşam kalitesinin en önemli göstergelerinden birisi de acil yardım hizmetleri olarak lanse edilmektedir. Özetle, şehir yaşamındaki acil yardım hizmetlerinin uluslararası düzeyde önemi büyüktür.

Günümüzde nüfusun büyük bir bölümü kırsal kesimden ziyade şehirlerde yaşamaktadır. Hem nüfus artış oranı hem de kırsal kesimden şehirlere göçün artması sebebiyle şehirlerdeki nüfus son 50 yılda dramatik bir artış göstermiştir. Ülkenin iç dinamiklerine bakıldığında ise, sosyal devlet olma gereği acil yardım hizmetlerinin vatandaşlara en iyi şekilde sağlanması gerekmektedir. Örneğin sağlık hizmetlerinde, hastane, sağlık merkezi, acil servis gibi tesislerin kapasitesi, hizmet kalitesi, hastalara zamanında ve doğru müdahale edilmesi gibi birçok faktörün yanı sıra acil yardım ekiplerinin hastaya veya yaralıya mümkün olduğunca çabuk ulaştırılması da hayati önem taşımaktadır. Görüldüğü gibi, acil yardım araçlarının olay yerine ulaşımı, uluslararası olduğu gibi ulusal perspektifte de önemli rol sahibidir.

Günümüzde küçük veya büyük çaplı doğal afetler, terör saldırıları gibi felaketler yaşanabilmektedir. Yaşam alanlarında ise insan kaynaklı kazalar bu olaylardan daha sık görülmektedir. Bu gibi olaylar acil yardım çağrısı geldiği anda profesyonel yardımın hızlı bir şekilde olay yerine ulaştırılmasını gerektirmektedir. Hızlı bir şekilde olay yerine acil yardım ekibinin ulaştırılabilmesi insan hayatını kurtarabilmektedir. Bu sayede ülkenin prestiji için önemli bir ölçek olan kaza, yangın veya adi suç sonucu ölüm oranı önemli ölçekte azaltılabilmektedir. Sonuç olarak, acil yardım çağrısı geldiğinde çağrının hızlıca cevaplanması ve aksiyon alınması konusunda ulaşım planlamanın rolü inkar edilemez durumdadır.

Örnek olarak sağlık hizmetlerine bakıldığında hastalara acil yardımın ulaştırılması için farklı araçlar kullanılabilmektedir. Bu araçlar genel olarak ‘ambulans’ olarak adlandırılmaktadır.

Hava, kara ve deniz yolunu kullanan ambulanslar bulunabilmektedir. Bu ambulanslara, sırasıyla hava ambulansı, kara ambulansı ve deniz ambulansı denilmektedir. Her bir ambulans tipinin avantaj ve dezavantajları vardır. Örneğin hava ambulansı çok daha hızlı hareket edebilirken bir iniş pistine ihtiyacı olması nedeniyle çok yaygın olarak kullanılmamaktadır. Deniz ambulansları ise sadece su üzerinde hareket edebilmektedir. Türkiye her ne kadar bir yarımada olsa da 783562 km²'lik yüz ölçümü deniz ambulanslarının yaygın olarak kullanılmasını imkansız hale getirmektedir. Kara ambulansları ise trafik sıkışıklığı, yolların darlığı, diğer kara araçlarının çok sayıda oluşu gibi sebeplerden ötürü birçok olumsuzluğa sahip olmasına rağmen diğer araç tiplerinin önemli dezavantajlarından ötürü dünya genelinde en çok kullanılan araç tipidir. Türkiye'de de daha çok kara ambulanslarından yararlanılmaktadır.

Acil yardım araçları (AYA)'nın, olay yerine zamanında varabilmesini sağlamak trafik, diğer kara araçların çok sayıda olması, trafik ışıkları gibi etkenlerden ötürü oldukça güç hale gelmektedir. Oysa yine daha önce belirtildiği gibi AYA'nın olay yerine zamanında varabilmesinin insan hayatı kurtarmanın yanı sıra politik ve ekonomik önemli etkileri olmaktadır. Stratejik bir karar olan acil yardım araçları için yerleşim yeri problemi, AYA'ların olay yerine zamanında varabilmesini doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında, yerleşim yeri problemlerinin özel bir hali olan acil yardım araçları için yerleşim yeri problemi (AYAYYP) üzerinde çalışılmıştır. AYAYYP'nin, literatürde ambulans yerleşim yeri problemi (AYYP) olarak da adlandırıldığını vurgulamakta fayda vardır. Bu tez kapsamında, AYAYYP yerine AYYP teriminin kullanılması tercih edilmiştir.

Gerçek hayatta, bir AYA'nın olay yerine zamanında varabilmesi için birçok belirsizlik ile başa çıkılması gerekmektedir. Literatürde, AYYP'nin doğasında bulunan belirsizliğin AYYP'ye dahil edildiği problemlere sağlam AYYP (SAYYP) denilmektedir. Literatürde SAYYP'ne bir çözüm sunan oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, ele alınan belirsizlik mümkün olduğunca azaltılmaya çalışılmaktadır. Oysa insan hayatının söz konusu olduğu ve politik/ekonomik açıdan önemli etkileri olan SAYYP için belirsizliğin etkilerinin yok edilebildiği bir çözüm hayatı bir ihtiyaçtır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında SAYYP'de belirsizliğin tamamen önüne geçildiği bir sağlam plan elde edilmesi üzerinde durulmaktadır.

Acil yardım aracının olay yerine zamanında varabilmesini etkileyen en önemli iki faktör kurulan merkez ile olay yeri arasındaki mesafe ve aracın ortalama hızıdır. Kurulan merkez ile olay yeri arasındaki trafik, AYA'ların ortalama hızını doğrudan etkilemektedir. Belli bir merkezden hareket eden AYA'nın olay yerine zamanında varabilmesini garanti etmek için, AYA'ların ortalama hızındaki belirsizliğin ya tamamen giderilmesi ya da bu belirsizliğe tamamen dayanıklı sağlam bir yerleşim yeri planı önerilmesi gerekmektedir. İlk seçenek günümüz bilim dünyası için bir ütopya'dır. Geriye AYA'ların ortalama hızındaki belirsizliğe karşı tamamen duyarsız bir sağlam yerleşim yeri planı önerilmesi kalmaktadır. Bu tez çalışmasının ana amacı, acil yardım araçları özelinde kara ambulansının ortalama hızındaki belirsizliğe tamamen dayanıklı sağlam bir yerleşim yeri planı elde etmektir.

Tezin kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir: Bir sonraki bölümde yerleşim yeri problemleri detaylı olarak tanıtılmış, Bölüm 3'te tez çalışmasının metodolojisi için gerekli olan matematiksel altyapı verilmiş, Bölüm 4'te ele alınan problem geniş bir şekilde tanıtılmış, Bölüm 5'te tez çalışması kapsamında önerilen metodoloji farklı senaryolar içeren bir simülasyon çalışmasında test edilmiş, son bölümde ise değerlendirmelere ve gelecek çalışmalara atıflara yer verilmiştir.

2. YERLEŞİM YERİ PROBLEMLERİ

Bu bölümde, yerleşim yeri problemleri genel olarak tanıtılmış, daha sonra AYA için yerleşim yeri problemleri incelenmiş, son olarak da tez kapsamında ele alınan sağlam acil yardım aracı yerleşim yeri problemi detaylarıyla tanıtılmıştır ve ambulans için bir uygulama yapılmıştır. Son olarak, sağlamlık kavramının sürdürülebilirlik açısından gerekliliği tartışılmıştır. Ayrıca, ilgili problemler için literatür ayrı ayrı incelenmiştir.

2.1. Genel Yerleşim Yeri Problemleri

İster devlet ister özel sektör olsun, hemen her alanda tesis yerleşimi konusunda bazı yerleşim çalışmalarının yapılması gerekliliği kaçınılmaz durumdadır. Firmalar ürettikleri ürünleri müşterilere teslim ederken tesis yerleşiminin önemi daha da göz önüne çıkmaktadır. Üretim sektöründe tesis yerleşiminin iyi yapılamamış olması ürünlerin zamanında teslim edilememesi, maliyette artış, rekabet gücünün azalması gibi kayıplara yol açarken AYA'nın hizmet verdiği sistemlerde tesis yerleşimlerinin oldukça iyi yapılması hayati önem taşımaktadır.

Yerleşim problemleri konusundaki ilk çalışma Weber tarafından yapılmıştır. bu çalışma daha sonra yapılmış olan çalışmalar için bir temel niteliğinde kabul edilmiştir. Weber'in çalışmasında geliştirdiği problem Fermat problemi, Fermat-Weber problemi, Steiner problemi, Steiner-Toriçelli problemi, tekli medyan problemi gibi çeşitli adlarla adlandırılmıştır.

Weber problemi kısaca özetlendiğinde, sabit bir noktadan ağırlıklı Öklid uzaklığını minimize eden '*minisum*' noktasının bulunması olarak kabul edilmektedir. Basit olarak bir örnek vermek gerekirse x ve y dağıtım noktalarından a ve b müşterilerine ürün sevkiyatı yapılırken ağırlıklı uzaklığı minimize ederek maliyetin en azlanması olarak gösterilebilir.

Genel olarak yerleşim problemlerinin çözümünde ilk aşama kurulacak olan tesisler için uygun yerin belirlenmesidir. İkinci aşama ise kullanılacak olan kriterlerin belirlenmesi olarak özetlenebilir. Yerleşim problemlerinin en basit şekilde matematiksel ifadesi Eş. 2.1'de belirtildiği gibidir:

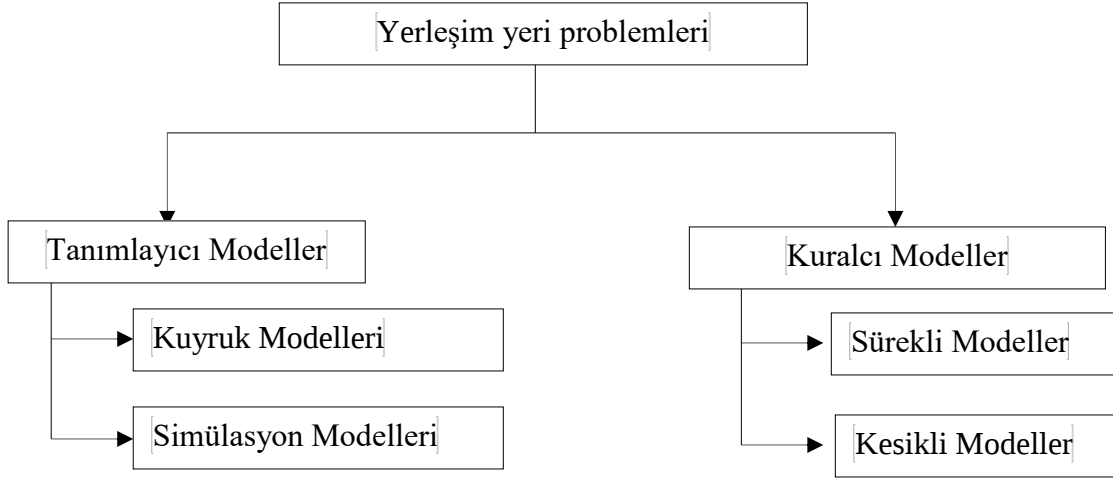
$$\min_{x,y}\{W(x,y) = \sum_i W_i d_i(x,y)\} \quad (2.1)$$

(x, y) ve (a, b) noktaları arasındaki Öklid uzaklık değeri ise Eş. 2.2’de belirtilmiştir.

$$d_i(x,y) = \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2} \quad (2.2)$$

2.2. Yerleşim Yeri Problemlerinin Sınıflandırılması

Yerleşim problemleri genel olarak iki ana başlık altında incelenebilir. Bu sınıflandırma Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Coşkun, 2007).



Şekil 2.1. Yerleşim yeri problemleri (Coşkun, 2007)

2.2.1. Tanımlayıcı modeller

Tanımlayıcı modeller, mevcut sistemdeki veriler üzerine kurulu, mevcut durumu analiz eden, performansını gösterebilen yani sistemin gözlemlenebileceği modeller olarak tanımlanmaktadır. Tanımlayıcı modeller de kendi içinde ikiye ayrılmaktadır.

Bunlardan biri olan kuyruk modelleri, acil sağlık sistemlerinde analiz yapılabilmesi için geliştirilmiş modellerdir. Bu başlık altında geliştirilen özel bir model geliştirilmiştir ve bu modele ‘Hiperküp Modeli’ adı verilmiştir. Hiperküp modeli ile ambulans yerleşim yeri

problemleri için araçların meşguliyet olasılığını bulmak mümkün hale gelmektedir (Goldberg, 2004).

Bir diğer tanımlayıcı modellerden olan simülasyon modellerinde ise belirsiz koşullar altındaki sistem değerlendirilir. Meydana gelebilecek değişiklikler sonrasında, farklı koşullar altında sistemin gözlenebilmesi için simülasyon modeli kullanılmaktadır (Lubicz ve Mielczarek, 1987, Golgberg vd., 1990, Zaki vd., 1997 ve Hanghani, vd., 2003).

2.2.2. Kuralcı modeller

Yerleşim problemlerinin ayrıldığı ikinci başlık olan kuralcı modeller ise amaç doğrultusunda uygun çözümler elde etmek amacıyla geliştirilmiştir. Kuralcı modeller, sürekli ve kesikli modeller olmak üzere iki alt başlığa ayrılmaktadır.

Sürekli yerleşim modellerinde uygun olan her yerleşim noktası çözüm kümesinde bulunmaz. Bu özelliği ile kesikli modellerden farklıdır. Bu yaklaşımda uygun noktalar veya bölgeler net bir şekilde bilinmez, seçilmiş olan bölge içerisinde aramalar yapılarak uygun noktalar araştırılır. Bu yönüyle sürekli yerleşim modelleri bölge düzenleme olarak da adlandırılmaktadır (Love vd., 1988). Bu modelde gelecek olan talepler belirlenen bölge üzerindedir ve araçların yerleştirileceği noktalar ağ üzerinde herhangi bir yerde oluşabilmektedir. Bu modellerin çözümleri doğrusal olmayan programlama algoritmaları ile çözülebilmektedir.

Kesikli yerleşim modellerinde ise talep noktaları arasında oluşturulan uzaklıklar kullanılır. Bu uzaklıklar duruma göre değişkenlik gösterebilmektedir. Talep noktaları ve araçların yerleşim yerleri seçilen bölgedeki ağ üzerinde bulunmaktadır. Bu modellerin çözümleri ise karışık tam sayılı programlama algoritmaları ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu modeldeki amaç, talep gelebilecek olan tüm noktalardaki bu talebin karşılanabilmesidir.

Kesikli yerleşim modelleri kendi içinde P-medyan, P-merkez ve kapsama modelleri olarak sınıflandırılabilir. Örnek olarak, bu modellerden P-medyan modellerinde, talep noktaları ve bu talepleri karşılayacak olan araçlar arasındaki uzaklığı minimize etmek amaçlanmaktadır. Bu modelde uzaklık azaldıkça p araç sayısı elde edilmektedir. Yerleşim noktası sayısı arttığında, elde edilmiş olan S noktası ağ içinde elde edilebilecek en küçük maksimum

uzaklıktır. Tesis sayısı veya araç sayısı artıkça en küçük maksimum uzaklık da iyileşecektir. Bu problemler sistemde oluşabilecek en kötü duruma adapte olacak şekilde geliştirilmiştir.

2.3. Acil Yardım Araçları için Yerleşim Yeri Problemleri (AYAYYP)

Bir önceki alt bölümde yerleşim yeri problemlerine genel bir bakış sunulmuştur. Acil yardım araçları için yerleşim yeri problemi (AYAYYP), Bölüm 1’de bahsedildiği üzere şehir yaşamı, ülke prestiji gibi noktalar açısından önemli yer tutmaktadır. Bu sebeple, bu bölüm AYAYYP’nin tanıtılmasına ayrılmıştır.

Acil yardım çağrısı geldiğinde ambulans, itfaiye, polis aracı gibi araçların hızlı bir şekilde olay yerine ulaşması hayati önem taşımaktadır. Bu sebeple şehrin belli noktalarına merkezler kurulmalıdır ki, kısa sürede olay yerine ulaşılabilin. Bu merkezlerin nerede kurulacağı stratejik bir karar olmakla birlikte hayati önem taşımaktadır. Ayrıca, şehir yaşamının kalitesi, ülke prestiji ve çok maliyetli olmasından dolayı bu merkezlerin nereye kaç tane kurulacağı kararının hem son derece güvenilir hem belirsizliklere mümkün olduğunca dayanıklı hem de mümkün olduğunca az maliyetli olması gerekmektedir.

1970’lerden itibaren AYA için sağlam bir model geliştirme çabası olan bazı çalışmalara rastlanmaktadır. Sonrasında ise bazı araştırmacılar 1980 ve 1990’larda geçmiş çalışmalarını ileriye taşıyabilecek bazı fikirler geliştirmişlerdir. 2000’lerde ise yeni gelişmeler ortaya çıkmış ve gelecek çalışmaların bu çerçevede ilerlediği görülmektedir. Bunun dışında, AYAYYP, literatürde genellikle küme kapsama, küme ayırma, küme paketleme gibi iyi bilinen problemlere benzetilerek modellenmiştir. Bahsedilen bu problemlerin matematiksel gösterimi Bölüm 3.1’de verilmiştir.

Coşkun, 2007’ye göre bu modeller, statiklik-dinamiklik ve olasılık içerip içermemesine dayalı olarak aşağıdaki şekilde gruplanabilir:

- i. Statik kapsama modelleri,
- ii. Dinamik kapsama modelleri,
- iii. Olasılıklı yerleşim modelleri,
- iv. Stokastik kapsama modelleri olarak

Bu bölümün devamında, yukarıda listelenen gruplara biraz daha yakından bakılacaktır.

2.3.1. Statik kapsama modelleri

Sistemde bulunan karar değişkenlerinin değerlerinin değişmediği kabulüne dayalıdır. Talep karşılanma süresi, uzaklık, araç hızı gibi parametrelerin bilindiği varsayılmaktadır. Ancak yerleşim problemlerinin en basit hali sayılabilecek olan bu problemlere çeşitli kısıtlar eklenerek ve amaç fonksiyonları farklılaştırılarak 1960'lı yıllardan itibaren problemler daha karmaşık hale getirilmiştir.

Kapsama modellerinin en basit hali kabul edilen *yerleşim küme kapsama modelinde (LSCM)*, AYA'nın sayısı ve yerleşim bölgelerinin belirlenmesi amacı güdülmektedir (Toregas ve ReVelle, 1971). Gelecek olan tüm talebi minimum araç sayısı ile karşılayacak, maliyeti minimize edecek amaç fonksiyonları oluşturulabilmektedir. Bu modellerin doğrusal programlama algoritmaları ile çözülebilmeleri mümkündür ancak görülmüştür ki modelin bu basit hali belirsizlik durumlarını göz önünde bulundurmadığından yetersiz kalmıştır.

Maksimum kapsama yerleşim modelinde (MCLM) tüm talep karşılanmaya çalışılırken artan maliyetlere katlanılarak bu maliyetler göz ardı edilmiştir. Elde mevcut halde bulunan kaynaklar ile maksimum talebin karşılanması amaçlanmıştır. Kısaca bu model, AYA'dan S kadar uzaklıktaki maksimum talebi karşılayabilecek p sayıdaki aracın yerleşimi olarak tanımlanabilir. Literatüre bakıldığında bu modellerin çözümü için Chuck ve ReVelle (1974) dal-sınır algoritmasını, Daskin ve Schilling vd. (1993) Greedy ve Miyopik sezgisel metodunu, Galvao ve ReVelle ise Lagranj yaklaşımı gibi yaklaşımlar kullanmışlardır. Eaton vd. (1986) Texas'ta yaptıkları çalışmalarında maksimum kapsama yerleşim modeli ile hem talep süresinin karşılanması hem de maliyet açısından iyileştirmeler yaparak çalışmalarına yön vermişlerdir.

Çift ekipmanlı dağıtım modelinde (TEAM), dağıtımı yapılacak olan araçlar tek tip olarak seçilmiş ancak model çalıştırılırken farklı tip araçlar için de çalıştırılmıştır. Farklı tip araçların atanması durumundan dolayı bu model tipine çift ekipmanlı dağıtım modeli adı verilmiştir.

Bir diğerk araç yerleşim modeli olan *ekipman yerleştirme modelinde (FLEET)* çift ekipmanlı dağıtım modelinden farklı olarak sadece p adet yerleşim yerinin kullanılabilmesi durumu söz konusudur.

Hiyerarşik amaçlı küme kapsama modelinde daha önceki modellerden farklı olarak her bölge için yedek kapsama durumları göz önüne alınmıştır. Amaç, minimum araç sayısı ile talebin geldiği her noktaya cevap verebilmeyi hedeflerken, diğerk yandan da yedek araç sayısını en çoklamaktadır. Buradan yola çıkılarak, en az sayıda ambulans ile herhangi bir uygun araç bulunamaması halinde yedek olarak belirlenmiş AYA ile talebin karşılanması sağlanmaktadır.

Yedek kapsama problemi 1 (BACOP1) adı verilen modelde yine en az bir adet yedek araç bulundurulması ve bu şekilde tüm talep noktalarının karşılanması varsayımı ile yola çıkılmıştır.

Yedek kapsama problemi 2 (BACOP2) modeli ise tüm talep noktalarının en az bir defa kapsanması amacıyla oluşturulmuştur. Ancak bazı bölgeler için taleplerin daha fazla kez karşılanması gerekliliği ortaya çıktığından, tüm bölgelerin kapsanmasının gerekli olmadığı sonucuna varılmıştır (Hogan ve ReVelle, 1986).

Duble standart model (DSM), diğerklerinden farklı bir özellikle ön plana çıkmaktadır. Bu modelde her talep bir AYA tarafından r_2 sürede karşılanıyor ve taleplerin α oranı r_1 sürede başka bir araç tarafından karşılanıyor varsayımı kabul edilmiştir. Burada r_1 süresinin r_2 süresinden küçük olduğu kabul edilmektedir. Amaç ise en az sürede, yani r_1 sürede p adet araç ile tüm talepleri karşılamaktır.

2.3.2. Dinamik kapsama modelleri

Değişken durumlar karşısında, halihazırda kurulmuş olan modelde değişkenliğe izin veren modeller olarak tanımlanabilmektedirler. Trafik, yolun kapalı olması, nüfus, araçların meşgul olma durumları gibi değişken parametreleri göz önünde bulundurarak duruma göre farklı yerleşim yerlerinin belirlenebildiği modellerdir. Bu yerleşim modelleri ise iki alt başlık altında incelenebilir.

Bu modellerden ilki olan *yeniden pozisyonlama (repositioning)* modelinde bazı varsayımlar mevcuttur. Bunlardan birincisi zamana bağlı farklı yerleşim yerlerinin belirlenmesi iken ikincisi ise sabit olarak seçilmiş yerleşim yerlerinin belli zamanlarda kapalı veya duruma göre açık konuma getirilmesidir. Rajagopalan vd. (2005) çalışmalarında yeniden pozisyonlama yaklaşımının kullanmıştır.

Dinamik yerleşim modellerinin diğeri ise *yönlendirme (dispatching)* olarak adlandırılmaktadır. Yönlendirme yaklaşımı, talebin geldiği ağ üzerindeki noktaya eşit uzaklıkta birden fazla araç var ise veya farklı tiplerdeki araçlar aynı talep noktasına yönlendirildiyse kullanılmaktadır. Drezner ve Wesolowsky (1991), Current vd. (1997) çalışmalarında yönlendirme yaklaşımını kullanmışlardır.

2.3.3. Olasılıklı yerleşim modelleri

Olasılıklı yerleşim modellerinde araçların uygun olmama durumu, yolun kapalı olması, trafik kaynaklı ulaşım sürelerindeki değişkenlik, gelen taleplerin yoğunluklarındaki değişkenlik gibi belirsizliklerin olduğu kabul edilmektedir.

Olasılıklı yerleşim modellerinden biri olan *maksimum tahmini kapsama modelinde (MEXCLM)*, araçların meşgul olma durumları göz önüne alınmıştır. Meşgul olan araç sayısı ise binom dağılıma uygun olarak tahmin edilmiştir. Burada amaç meşgul olan araçlar ile maksimum sayıda talep noktasının karşılanabilmesidir.

MAYP I ve II modellerinde araçların meşgul olmaları α olasılığı ile tahmin edilmiştir. Amaç yine gelecek olan talebin maksimizasyonudur. Fakat bu modelde ağ üzerinde olmayan bölgeye de hizmet verilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Yenilenmiş maksimum tahmini kapsama modelinde, ağ üzerinde bulunan araçların hangilerinin ne olasılıkla meşgul olabileceği belirlenemediği için Batta vd. (1989) tarafından hiperküp modeli kullanılarak, belirli bir düzeltme faktörü ile ambulansların bağımsız olmadıkları sonucuyla oluşturdukları bir kuyruk modeli ile meşgul olma olasılığı hesaplanmıştır.

Modifiye edilmiş yerleşim küme kapsama modeli (Rel-P) minimum maliyeti hedefleyerek araç yerleşimi yapan bir modeldir.

TIMEXCLP modelinde ise diğerlerinden farklı olarak zaman bağımlı olma durumu hesaba katılmıştır. Herhangi bir sebepten kaynaklanan ulaşım süresindeki değişkenlik göz önünde bulundurularak benzetim modeli kurulmuştur (Repedo ve Bernardo, 1994). Yapılan çalışmalar ile talebi karşılama süresindeki azalma ve aynı süre içerisinde daha fazla talebe ulaşabilme gibi sonuçlara varılmıştır.

Olasılıklı küme kapsama kuyruk modelinde (QPLSCP) araçların meşgul olma olasılıkları belirlenen bir eşik değer ile sınırlandırılmıştır. Bu değerden fazla sayıda aracın meşgul olamayacağı varsayılmıştır.

2.3.4. Stokastik modeller

Bu modellerde de olasılıklı modellerde olduğu gibi belirsiz parametreler mevcuttur. Talep karşılama süresi, maliyet, talep noktaları, trafik durumu, talep noktaları gibi değişkenler belirsiz kabul edilir. Bu belirsizliklere karşı uyum sağlayabilen kararlı bir model oluşturulması esas amaçtır. Olasılıklı modeller bir olasılık dağılımı kullanarak belirsizlikleri tahmin ederken, stokastik modeller ileriye yönelik belirsizlikleri ele alarak çalışır. Bu fark, stokastik modellerin olasılıklı modellerden en önemli farkı olarak kabul edilebilir.

Stokastik modeller ile ilgili yapılmış çalışmalar Çizelge 2.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Stokastik modeller ile ilgili yapılmış çalışmalar

Çalışma	Yöntem	Değişkenler/Amaç
Fitzsimmons (1973)	Kuyruk modeli (M/G/∞)	Araçların meşgul olma olasılığı
Larson (1974)	Hiperküüp modeli	Olasılıklı çağrı gelişi ve değişken talep karşılama süresi
ReVelle ve Hogan (1989)	α güvenilirlik düzeyi	Değişken talep karşılama süresi
Marianov ve ReVelle (1994)	Olasılıklı küme kapsama kuyruk modeli (QPLSCP)	Araçların meşgul olma olasılığı
Marianov ve ReVelle (1994)	Q-MAYP	Değişken talep karşılama süresi ve değişken uzaklık
Silva ve Serra (2003)	Kuyruk modeli, Greedy sezgisel	Maksimum talep karşılanması

Fitzsimmons (1973) ve Silva ve Serra (2003) çalışmalarında kuyruk modeli kullanarak modelleme yapmışlardır. Her iki çalışmada aynı yöntem kullanılırken amaçlar birbirinden farklılaşmıştır. Fitzsimmons (1973) araçların meşgul olma olasılıklarını göz önünde bulundururken Silva ve Serra (2003) tüm talepleri maksimize edecek bir model geliştirmiştir.

ReVelle ve Hogan (1986) ile Marianov ve Hogan (1994)'ün çalışmalarında kullandıkları yöntemler farklılaşırken, belirlenen değişkenlerin birbirine benzediği görülmektedir.

2.4. Sağlam Ambulans Yerleşim Yeri Problemi (SAYYP)

Bu alt bölümde, literatürdeki boşluk vurgulanacak, benimsenen sağlamlık kavramı açıklanacak ve nedenleri tartışılacak, son olarak tez çalışması kapsamında ele alınan problem olan sağlam ambulans yerleşim yeri problemi (SAYYP) kısaca tanıtılacaktır.

Yerleşim yeri probleminin dikkatli bir şekilde hazırlanmasına, elde edilen planın optimal olmasına rağmen çeşitli bilinmezliklere dayalı dış etkilerden dolayı bozulmalar olabilmektedir. Bu durum sürdürülebilirlik açısından ciddi hasarlara sebep olabilmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, ambulans yerleşim problemleri için bir model geliştirerek sağlam bir plan hazırlamak ve ulaşım planının sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktır.

AYYP için sağlam bir plan üretme çabası içindeki problemler genel olarak *sağlam AYYP* (SAYYP) olarak adlandırılmaktadır. Çizelde 2.2'de SAYYP ile ilgili literatürde yapılmış olan çalışmalar özetlenmiştir.

Çizelge 2.2. SAAYP ile ilgili yapılmış çalışmalar

Referans	Model	Amaç	Kapsama Kısıtları	Yerleşim Yeri Kısıtı	Ambulans
ReVelle vd. (1971)	LSCM	Minimum sayıda ambulans kullanılması	Her talep bölgesi en az bir defa kapsanacak	Her yerleşim yeri için en fazla bir adet ambulans	Sınırsız sayıda tek tip ambulans
Church ve ReVelle (1974)	MCLP	Maksimum sayıda talebin kapsanması	En fazla bir ambulans	Her tesis için	Sınırlı sayıda tek tip ambulans

Çizelge 2.2. (devam) SAAYP ile ilgili yapılmış çalışmalar

Referans	Model	Amaç	Kapsama Kısıtları	Yerleşim Yeri Kısıtı	Ambulans
Schilling vd. (1979)	TEAM	Maksimum sayıda talebin kapsanması	Birden fazla tip ambulans, her tipten bir adet	-	Sınırlı sayıda iki tip ambulans
Schilling vd. (1979)	FLEET	Maksimum sayıda talebin kapsanması	Her istasyonda en fazla bir adet ambulans	-	Sınırlı sayıda iki tip ambulans, p adet yerleşim yeri
Daskin ve Stern (1981)	Yenilenmiş MCLP	Her talep bölgesi en az birden fazla defa kapsanacak, maksimum sayıda talebin kapsanması	Her talep bölgesi en az bir defa kapsanacak	Her yerleşim yeri için en fazla bir adet ambulans	Sınırlı sayıda tek tip ambulans
Daskin (1983)	MEXCLP	Maksimum sayıda talebin kapsanması	-	-	Tek tip ambulans
Hogan ve ReVelle (1986)	BACOP1 ve BACOP2	Her talep bölgesi en az iki defa kapsanması	Her talep bölgesi en az iki defa kapsanacak	Her yerleşim yeri için en fazla bir ambulans	Sınırlı sayıda tek tip ambulans
Hogan ve ReVelle (1986)	MAYP I	α olasılıkla kapsanan talep maksimizasyonu	-	-	Sınırlı sayıda tek tip ambulans
Hogan ve ReVelle (1989)	MAYP II	En az α olasılıkla kapsanan talebin en çoklanması	-	-	Sınırlı sayıda tek tip ambulans
Batta vd. (1986)	AMEXCLP	Maksimum sayıda talebin kapsanması	-	-	Sınırlı sayıda tek tip, bağımlı ambulans
Goldberg vd. (1990)	AMEXCLP	Maksimum sayıda talebin kapsanması	-	Her talep noktası için en az bir adet ambulans	Sınırlı sayıda tek tip ambulans

Çizelge 2.2. (devam) SAAYP ile ilgili yapılmış çalışmalar

Referans	Model	Amaç	Kapsama Kısıtları	Yerleşim Yeri Kısıtı	Ambulans
Ball ve Lin (1993)	Yenilenmiş	Sabit maliyet	Tüm talep r ₁ sürede karşılanacak	Bir tesiste en fazla p sayıda ambulans	Sınırsız sayıda tek tip ambulans
Repede ve Bernardo (1994)	Zaman bağımlı MEXCLP	Maksimum sayıda talebin kapsanması	-	-	Sınırlı sayıda tek tip ambulans
Marianov ve ReVelle (1994)	QPLSCP	En az α olasılıkla kapsanan talebin maksimizasyonu	-	-	Tek tip ambulans
Gendrau vd. (1997)	DSM	Her talep noktası r ₁ sürede karşılanması, kapsanan talebin en çoklanması	Tüm talep r ₂ sürede karşılanacak	Tesiste bulunan ambulans sayısı maksimum değeri oluşturur.	Sınırlı sayıda tek tip ambulans
Mandel (1998)	TTM	Maksimum sayıda talebin kapsanması	-	İstasyon tipine göre kısıt	Sınırlı sayıda iki tip ambulans
Gendrau (2001)	DDSM	Her talep noktası r ₁ sürede en az iki kez kapsanacak	Tüm talep r ₂ sürede karşılanacak	Ambulans sayısı maksimum değeridir.	Sınırlı sayıda tek tip ambulans
Aytug ve Saydam (2002)	MECLP	Maksimum sayıda talebin kapsanması	Her en az bir defa kapsanacak	-	Tek tip ambulans
Beraldi vd. (2004)	EMS	Minimum sayıda tesisin kurulması ve ambulansların tesislere dağıtılması	Her talep bölgesi en az bir defa kapsanacak	-	Sınırlı sayıda tek tip ambulans
Laporte vd (2009)	DSM	Minimum sayıda tesisin kurulması	Her talep bölgesi en az iki defa kapsanacak	-	Tek tip ambulans
Iannoni vd. (2009)	GA/hypercube	Ambulansın minimum sürede olay yerine varması ve ambulansların iş yüklerinin dengeli dağıtılması	Her talep bölgesi en az bir defa kapsanacak	Yerleşim yerlerinin sınırları yeniden düzenlenmiştir	Tek tip ambulans

Çizelge 2.2. (devam) SAAYP ile ilgili yapılmış çalışmalar

Referans	Model	Amaç	Kapsama Kısıtları	Yerleşim Yeri Kısıtı	Ambulans
Beraldi ve Bruni (2009)	-	Minimum sayıda tesisin kurulması ve minimum sayıda ambulansın kullanılması	Her talep bölgesi en az bir defa kapsanacak	Her tesiste bulunan ambulans sayısı için bir üst limit vardır	Tek tip ambulans
Canbolat ve von Massow (2011)	-	Tesis ile rassal olay yeri arasındaki beklenen uzaklığın en azlanması	Her talep bölgesi en az bir defa kapsanacak	Her tesiste bulunan ambulans sayısı için bir üst limit vardır	Tek tip ambulans
Berman vd. (2013)	MECLP	Maksimum sayıda talebin kapsanması	Her talep bölgesi en az bir defa kapsanacak	Farklı tip tesisler bulunmaktadır	Tek tip ambulans
Zhang and Jiang (2014)	REMS	Kurulacak tesislerin belirlenmesi, talep noktalarının tesislere atanması ve ambulansların tesislere atanması	Her talep bölgesi en az bir defa kapsanacak	-	Tek tip ambulans
Nickel vd (2016)	-	Kurulacak tesislerin belirlenmesi ve ambulansların tesislere atanması	Her talep bölgesi en az bir defa kapsanacak	-	Tek tip ambulans
Nickel vd (2016)	-	Kurulacak tesislerin belirlenmesi ve ambulansların tesislere atanması	Her talep bölgesi en az bir defa kapsanacak	-	Tek tip ambulans
Ahmadi-Javid vd. (2017)	-	Acil durum dışı ve acil durum araç türlerini konum yönetimi açısından sınıflandırmak bu çerçeveye dayalı literatürü incelemek	-	-	-
Akdoğan vd. (2018)	Genetik Algoritma	Cevap süresinin minimize edilmesi	Bir noktaya birden fazla araç gidebilir.	-	-

Çizelge 2.2. (devam) SAAYP ile ilgili yapılmış çalışmalar

Referans	Model	Amaç	Kapsama Kısıtları	Yerleşim Yeri Kısıtı	Ambulans
Abdullah vd. (2018)	Bulanık Küme	En iyi ağın bulunması	-	-	-
Bertsimas ve Ng (2019)	Sağlam optimizasyon	Geç yanıt süreleri ile çağrı oranının minimizasyonu	-	Ambulansların ulaşılabilirliği olasılığa bağlıdır.	-
Bélangier vd (2019)	-	Acil yardım araçları ile ilgili kararların alınmasına yönelik modern modelleme yaklaşımlarını özetlemek ve tartışmak	-	-	-

Literatürde ambulans yerleşim problemlerine bir çizelge hazırlayan oldukça fazla çalışma ile karşılaşmıştır. Çevre koşullarının belirli ya da belirsiz şartlar altında olmasına göre geçmiş çalışmalar iki şekilde sınıflandırılabilir:

- i. Çevre koşullarının belirli olduğu çalışmalar
- ii. Çevre koşullarının belirsiz olduğu çalışmalar

Bu çalışmada, gerçek hayatta kaçınılmaz olan belirsiz çevre koşullarının olduğu durum ele alınarak, sisteme bu belirsizlikle mücadele yeteneği kazandıracak bir çözüm getirilmiştir. Bu alandaki ilk çalışmalardan biri olan Swoveland vd. (1973), çalışmada ambulans yerleşim problemi için olasılığa dayalı dal-sınır algoritması (BveB) geliştiren bir algoritma ortaya koymuştur. Aly ve White (1978) olay yerlerinin rassal değişkenlere bağlı olduğunu ileri sürmüştür. Yeni bir yerleşim yeri (P_i) ile meydana gelen rassal olayların arasındaki doğrusal ulaşım süresi için olasılık dağılımı (P_i)'nin bir dikdörtgen bölgeye eşit şekilde dağıldığı durum için geliştirilmiştir. Önerilen modelin etkileri simülasyon modeli çıktıları ile hesaplanmıştır.

Daskin (1983) yeni bir fikir geliştirerek yeni bir model önermiştir. Kurulacak merkezlerin maksimize edilmesi ise bu çalışmadaki yeni fikir olarak ortaya çıkmaktadır. Böylelikle elde

edilen plandaki sağlamlık konusu ön plana çıkmıştır. Temel olarak '*beklenen maksimum kurtarıcı yerleşim yeri (MECLP)*' olarak tanımlanan bu problem 2000'lerde bile birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır.

Hogan ve ReVelle (1986) kurtarma desteği olan bir problem için bir model önerdikten sonra benzer olarak Gendrau vd. (1997)'nin çalışmasında da her bir talep noktasının en az k kere karşılayan bir model önererek bu modeli tabu arama algoritması ile çözen bir çalışma yapmışlardır. Gendrau vd. (1997) tarafından yapılan çalışmada önerilen model gerçek hayat verileri ile test edilmiş ve sonuçların oldukça tatmin edici olduğu ortaya çıkmıştır. Laporte vd. (2009) ise çalışmasında bu model ile ilgili daha fazla detaya girerek '*çifte standart modeli*' adı verilen bir model önermiştir.

Acil yardım çağrısı geldiğinde bir aracın ulaşılabilir olmama olasılığını ele alarak başka önemli yenilikçi fikir ise ReVelle ve Hogan (1989) tarafından geliştirilmiştir. ReVelle ve Hogan (1989)'ın çalışması, Volz (1971) ve Chapman ve White (1974)'ın çalışmalarından sonra araçların ulaşılabilir olma ve olmama durumunu ele alan yenilikçi çalışmalardan biri olarak kabul edilmiştir. Volz (1971) ve Chapman ve White (1974)'ın çalışmaları ulaşılabilirlik durumunu ele alan ilk çalışmalardandır. Söz konusu iki modele dahil edilen araçların kullanılabilirliği durumu ve araç meşgul olduğu durumu ile başa çıkma yeteneği de değerlendirilmiştir.

Aytuđ ve Sağlam (2002) çalışmalarında etkili bir genetik algoritma geliştirme girişiminde bulunarak bu algoritmanın kodunu yazmışlardır. Daskin (1982) ve Daskin (1983) tarafından geliştirilen MECLP modeli de bu genetik algoritmaya entegre edilmiştir. Önerilen genetik algoritma ve Daskin'in sezgisel algoritması ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Daskin'in sezgisel algoritması daha kaliteli sonuçlar verirken, GALS olarak adlandırılan genetik algoritma ise optimale yakın sonuçları hızlı bir şekilde elde etmiştir.

Bir diğer kayda değer yaklaşım ise Araz vd. (2007) tarafından ortaya konmuştur. ReVelle ve Hogan (1989) ile Pirkul ve Schillin (1991) tarafından önerilen modellerin hibrid hali ile çok amaçlı lineer programlama (LMOPL) ve bulanık amaç programlama (FGP) gibi çeşitli çözüm yaklaşımlarına dayalı olarak yeniden formüle edilmiştir. Sonuç olarak bulanık amaç programlama yaklaşımını AYA'nın planlaması için daha gerçekçi ve esnek optimal sonuç verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Iannoni vd. (2009) karayolu boyunca ambulansların yerleştirilmesi ve müdahale bölümlerinin ayrılması üzerine çalışma yapmıştır. Hibritleştirilmiş algoritma ve genetik algoritma, bu problemi optimale yakın çözüme kavuşturmuştur. Bu algoritmalarından biri, ambulansların karayolu üzerindeki yerine karar verirken, diğeri ise ayrıca sorumlu merkezlere karar vermektedir.

Beraldi ve Bruni (2009) olasılıklı kısıtların olduğu stokastik bir programlama modeli önermiştir. Stokastik kısıtların olasılıklı kısıtlarla yer değiştirmesi, farklı sonuçların hesaplanmasına olanak sağlamıştır. Bir dal-sınır algoritması ve üç farklı sezgisel algoritma geliştirilmiş ve bunların performansları karşılaştırılmıştır. Benzer bir yaklaşım ise Beraldi vd. (2004) çalışmasında bulunmaktadır.

Canbolat ve Von Massow (2011) AYA için yerleşim problemini tek boyutlu ve iki boyutlu olmak üzere ele almıştır. Çalışmada talep noktalarının rassal olduğu kabul edilmiş ve modelin amaç fonksiyonu, talep noktası ile araç arasındaki lineer uzaklığı minimize etmek olarak belirlenmiştir. Çözümün düşük bir risk ile bulunduğu belirtilmiştir.

Berman vd. (2013)'nin çalışması da ayrıca ele alınması gereken çalışmalardandır. Ulaşım süresinin belirsizliği altında beklenen kapsama, sağlam kapsama ve p-sağlam kapsama adıyla üç farklı yaklaşım geliştirmiştir. Lagrange ve açgözlü sezgisel ile model çözülmüş, sonuç olarak p-sağlam kapsama modelinin Toronto-Kanada'da yapılan 4 itfaiye istasyonu için daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Son olarak, oldukça ilgi çekici bir çalışma olan Zhang ve Jiang (2014) çalışmalarında, ambulans yerleşim problemlerinde ilk kez sağlam optimizasyon yaklaşımını kullananlardır. Çalışmada gelen acil yardım çağrısı sayısı belirsiz olarak kabul edilmiş, çift amaçlı deterministik bir karışık tam sayılı model geliştirilmiş, SO yaklaşımı baz alınarak geliştirilen model dal ve budama yaklaşımı ile çözülmüştür.

Literatürdeki çalışmaları genel olarak değerlendirmek gerekirse, AYA'nın yerleşiminde, birçok matematiksel model kurulduğu sonucuna varılmıştır. Deterministik modellerin sistemde belirsizlik olmadığı kabulünün olduğu durumlarda, gerçek hayata daha uygun olan belirsiz durumlarda ise daha çok olasılıklı modellerin kullanıldığı görülmüştür.

Bu modellerin yanında, kuyruk modelleri de çalışmalarda oldukça kullanılmıştır. Kuyruk modelleri de sistemdeki olasılıklara bağlı belirsizlik durumlarında kullanılabilen modellerdir. Genel olarak, yapılan çalışmalarda maliyetler göz ardı edilmiş, çalışmalarda amaç talebin maksimizasyonu olsa da her durum için talebin karşılanamadığı durumlar ortaya çıkmıştır. Yerleşim yeri için ele alınan amaçlardan bir diğeri ise sonlu kaynak kullanımı ile en uygun yerleşim yerlerinin belirlenerek talebin maksimize edilmesi olarak değerlendirilmiştir.

Görüldüğü gibi, literatürde sağlık hizmetlerinde ulaşım ile ilgili yapılan çalışmalarda birçok farklı görüşle karşılaşmaktadır. Literatürde, sağlam yerleşim yeri elde etmeye yönelik birçok çalışma bulunmasına rağmen elde edilen yerleşim yeri planının ne kadar sağlam olduğu, bu sağlamlığın nasıl ölçüleceği gibi cevaplanması çok güç birçok soru da gündeme gelmektedir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için, bu tez çalışmasında, Akıncılar (2018) tarafından önerilen sağlamlık kavramı benimsenmiştir. Bu yeni nesil sağlamlığa göre, iki tür sağlam plan önerilmiştir: i. Tip I sağlam plan ve ii. Tip II sağlam plan. Tip I sağlam plan, açıkça önceden tanımlanmış belirsizliklere karşı belli bir şekilde tamamen aşılanmış bir plan olarak tanımlanırken, Tip II sağlam plan, önceden tanımlanmış her bir bozulma için dayanıklı maliyet ve zaman karşılığında mümkün olan mevcut planın uygulanabilir bir plana dönüştürülmesini sağlayan bir kurtarma planı olarak tanımlanır. Başka bir deyişle, Tip I sağlam plan, üretilen planın önceden tanımlanmış aksaklıkların olası bir birleşimini emdiğini garanti eder; Tip II sağlam plan, önceden tanımlanmış olası aksaklıkların herhangi bir birleşiminde kalıcı bir kurtarma planı sağlar (Akıncılar, 2018).

Akıncılar (2018) tarafından önerilen yeni jenerasyon sağlamlık tanımına göre, sağlamlık beklenen yıkıcı etkilere karşı *tamamen dayanıklı* olmak şeklinde tanımlanabilir. Bu sağlamlık tanımına göre yapılacak olan bir çalışmanın fikir temelli olarak kalması değil, belirsizliklere karşı dayanıklılığı garanti etmesi beklenir. Akıncılar (2018) tarafından yapılan çalışma da bu garantiyi sağlamaktadır. Böylece sağlam bir planın dayanıklı da olması gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında ele alınan problem olan SAYYP için Akıncılar (2018) tarafından önerilen yeni jenerasyon sağlamlık elde edilmeye çalışılmıştır.

SO yaklaşımı, benimsenen bu sağlamlık tanımına uygun bir sağlam plan elde etmek için kuvvetli bir araçtır. Literatürde SAYYP için SO yaklaşımının kullanıldığı çok az çalışma

vardır. Zhang ve Jiang (2014), SAYYP için SO yaklaşımının kullanıldığı çalışmalardan biridir. Yazarın bilgisine göre, SAYYP için SO yaklaşımının kullanıldığı tek çalışmadır. Zhang ve Jiang (2014)'te, gelen acil yardım çağrılarının sayısı belirsiz olarak kabul edilmiştir. Ancak, problemin doğası gereği en önemli belirsizliklerden biri olan AYA'nın ortalama hızındaki belirsizliğe karşı tamamen duyarsız bir plan üreten bir çalışma bulunmamaktadır (Akıncılar ve Akıncılar, 2017). Yine de yeni jenerasyon sağlamlık tanımını ilk defa Akıncılar (2018)'de literatüre kazandırılmıştır.

Bölüm 1'de de belirtildiği üzere, sağlık hizmetlerinde ulaşım politik ve ekonomik açıdan oldukça kritik konumdadır. Şehir hayatında sağlık hizmetleri taşımacılığının önemi insan hayatı söz konusu olduğu için daha da önemli hale gelmektedir. Bu noktada sağlık hizmetlerinde kesin, sağlam ve düşük maliyetli planların yapılması şiddetle istenen bir durumdur. Ne yazık ki SAYYP için AYA'nın hızının belirsiz olduğu ortamda *kesin* ve *sağlam* bir yerleşim yeri planı henüz başarılmamıştır (Akıncılar ve Akıncılar, 2017). Bu tez çalışmasında, AYYYP için AYA'nın hızının belirsiz olduğu durumda *kesin* ve *sağlam* bir yerleşim yeri planı veren matematiksel model(ler) önerilmiştir. Bahsedilen ihtiyaçlar ile Akıncılar (2018) tarafından önerilen yeni jenerasyon sağlamlık tanımının tartışma götürmeyecek şekilde örtüştüğüne dikkat edilmelidir.

Bu tez çalışmasında, AYA'nın ortalama hızındaki belirsizliği içeren bir SAYYP ele alınmıştır. Bir başka deyişle, SAYYP için tek boyutlu belirsizlik altında kesin sağlam bir plan veren yeni bir model geliştirilmiştir. Daha açık olarak, ambulansın ortalama hızının belirsiz olduğu durumda bile tüm kısıtları sağlayan bir model sağlam optimizasyon (SO) yaklaşımı kullanılarak geliştirilmiştir. Ek olarak, bu çalışmada geliştirilen model sadece sağlık hizmetleri ulaşımında değil, aynı zamanda diğer yerleşim problemlerinde de uygulanabilir olması açısından gelecek çalışmalara örnek teşkil edecek çalışmalardan biri olarak kabul edilebilir. Bu sayede, tez çalışmasının içerdiği özgünlüğe ek olarak, literatüre olan katkısı kuvvetlenmektedir.

Sağlamlık kavramı ile sürdürülebilirlik kavramı arasında güçlü bir ilişki mevcuttur. Bir sonraki bölümde ise, sağlamlık kavramı ile sürdürülebilirlik arasındaki ilişki tartışılmaktadır.

2.5. Sürdürülebilirlik İçin Sağlamlık Gerçekten Gerekli mi?

Bölüm 1’de sağlık sektöründe ulaşım faaliyetlerinin politik ve ekonomik açıdan önemli bir payı olduğundan bahsedilmişti. Bu faaliyetlerin bir başka bileşeni de sürdürülebilir olmasıdır. Aksi halde tasarlanan sistemi revize etmek, yenisi ile değiştirmek gibi işlemler gerekebileceğinden oldukça yüksek maliyetler söz konusu olabilmektedir. Bu sebeple, bu alt bölüm sağlamlık kavramı ile sürdürülebilirlik kavramı arasındaki ilişkinin tartışılmasına ayrılmıştır.

Bozulma (disruption), kısaca, uygulanabilir haldeki bir planın (veya çizelgenin) uygulanamaz hale gelmesi olarak tanımlanabilir. Birçok belirsizliğin modele yansıtılamamasından ötürü –özellikle– büyük sistemlerde bozulma (disruption) kaçınılmazdır. Bozulmalar genelde ani ve beklenmedik şekilde olmaktadır. Bu durum, plan yapıcının işini daha da zorlaştırmaktadır. Kısacası, bozulmalar, sistemdeki belirsizliklerden kaynaklanmakta olup önemli olumsuz etkileri mevcuttur.

Günümüzde, statik modellerde bile tüm belirsizliklerin giderilmesi imkansızdır. Bu durum, bilim dünyasını sağlam planlar arayışına teşvik etmektedir. Akıncılar (2018)’de yeni bir sağlamlık tanımı önermiştir. Burada, sağlamlık, bozulmalara karşı tamamen dayanıklı olmak olarak tanımlanmaktadır. Bu sayede sistem, bozulmaların olumsuz etkilerinden tamamen muaf olmaktadır. İnsan hayatı söz konusu olduğu için özellikle sağlık sektöründe bozulmalara karşı tamamen dayanıklı olma garantisi hayati önem taşımaktadır.

Sürdürülebilirlik ile olan sıkı ilişkisinden ötürü, bu tez kapsamında Akıncılar (2018)’de verilen yeni jenerasyon sağlamlık kavramı benimsenmiştir. Bahsedilen yeni jenerasyon sağlamlık hakkında daha geniş bilgi için Bölüm 1’e ve Bölüm 4’e bakılabilir.

3. MATEMATİKSEL ALTYAPI

Bu bölümde, tez çalışmasında ele alınan AYAYYP'nin modellenmesi, çözüme ulaştırılması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için kullanılan modeller, yöntemler ve yaklaşımlar detaylı olarak tanıtılmıştır.

Bu tez çalışmasında, AYA'nın ortalama hızının belirsiz olduğu ortamda belli bir süre içinde olay yerine varabilmesini *garanti edecek* şekilde merkezlerin nereye kurulması gerektiğini belirleyen bir metodoloji geliştirilmiştir. Öncelikle nominal (belirsizlik içermeyen) model geliştirilmiştir ve sağlam optimizasyon (SO) yaklaşımı kullanılarak nominal modelin sağlam karşılığı (SK) bulunmuştur. Daha sonra, nominal çözüm ve sağlam çözüm geliştirilen bir simülasyon çalışması ile karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde, öncelikle yerleşim yeri problemlerinde sıklıkla kullanılan küme kapsama, küme ayırma, küme paketleme gibi iyi bilinen modeller tanıtılmış, daha sonra SO yaklaşımı detaylı olarak anlatılmıştır.

3.1. Yerleşim Yeri Problemlerinde Sıklıkla Kullanılan Modeller

Bu alt bölümde, yerleşim yeri problemlerinde sıklıkla kullanılan küme kapsama, küme ayırma ve küme paketleme modelleri tanıtılmıştır. Bu modeller için gerekli olan kümeler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda sunulmuştur:

Kümeler

I : Yerleşim yerleri, $i, j \in I$

Parametreler

c_i = i yerleşim yerine merkez kurulmasının maliyeti

r_i = i yerleşim yerine merkez kurulması halinde sağlanan fayda

$a_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ yerleşim yerine merkez kurulduğunda } j \text{ yerleşim yerini kapsıyorsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$

Değişkenler

$$x_i = \begin{cases} 1, & i \text{ yerleşim yerine merkez kuruluyorsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

3.1.1. Küme kapsama modeli

$$\min c_i x_i \tag{3.1}$$

st

$$a_{ij} x_i \geq 1, \quad \forall j \tag{3.2}$$

$$x_i \in \{0, 1\} \tag{3.3}$$

3.1.2. Küme ayırma modeli

$$\min c_i x_i \tag{3.4}$$

st

$$a_{ij} x_i = 1, \quad \forall j \tag{3.5}$$

$$x_i \in \{0, 1\} \tag{3.6}$$

3.1.3. Küme paketleme modeli

$$\max r_i x_i \tag{3.7}$$

st

$$a_{ij} x_i \leq 1, \quad \forall j \tag{3.8}$$

$$x_i \in \{0, 1\} \tag{3.9}$$

Bu tez çalışmasında, Bölüm 3.1.1’de verilen küme kapsama modeli kullanılmıştır.

3.2. Sağlam Optimizasyon (SO) Yaklaşımı

Bir optimizasyon problemi, mevcut kısıtların tümünün sağlanarak sistem için mümkün olan en iyi çözümün bulunması olarak ifade edilebilir. Optimizasyon problemini matematiksel olarak ifade etmek için ise sistemi modellemek gerekmektedir ancak gerçek hayatta bir

sistemi tüm kısıtları ile modellemek oldukça zordur. Sistemin girdileri, çıktıları, varsayımları, parametreleri gibi konulardaki belirsizlik, bu zorluğun seviyesini artırmaktadır. Bu zorlukların yanında, belirsizlik altındaki bir optimizasyon problemi üzerinde çalışmak karar vericinin işini daha da zorlaştırmaktadır. Bu alt bölümde, tüm bu zorluklara rağmen var olan belirsizliğe karşı *tamamen duyarsız* sonuçlar elde edilmesini sağlayan SO yaklaşımı matematiksel olarak tanıtılacaktır.

Bir sistemi ifade eden matematiksel modelde karşılaşılabilecek olan belirsizliklerin sebeplerinden bazıları, aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir (Ben–Tal vd. (2009) ve Beyer ve Sendhoff (2007)):

- i. *Uygulama hataları:* Nominal değerler kullanılarak oluşturulan matematiksel modelin çözümünden elde edilen sonuç, gerçek sistemde uygulanamayabilir. Model uygun çözüm verse bile gerçek hayatta uygulanamamasından kaynaklı hatalar, uygulama hatası olarak kabul edilir.
- ii. *Sistem tasarımındaki hatalar:* Sistem modellenirken tüm kısıtlar, parametreler ve karar değişkenleri tam olarak belirlenemediğinde hatalı model kurulmuş olur. Model bileşenleri arasındaki ilişkinin tam olarak belirlenememesinden kaynaklanan belirsizliklerden ötürü ortaya çıkan hatalar, sistem tasarımındaki hatalar olarak kabul edilir.
- iii. *Tahmin hataları:* Sistemin karar değişkenleri bilinmesine rağmen parametreler henüz mevcut olmadığından ölçülebilir değildir ve tahmin yapılmak zorunda kalınır. Bu aşamada sistemi ifade eden parametreleri yanlış tahmin etmekten ötürü hatalar ortaya çıkmaktadır. Tahmin hataları, bu hatalardır.
- iv. *Ölçüm hataları:* Sistemi karakterize eden karar değişkenleri ve parametrelerin ölçümü sırasında yapılabilecek hatalar bu gruba dahil edilmektedir.

Sağlamlık, kısaca beklenen yıkıcı etkilere karşı daha dayanıklı olmak şeklinde tanımlanabilir. Böylece sağlam bir planın dayanıklı olması gerektiği sonucu da ortaya çıkmaktadır. Detaylı tartışma için Bölüm 2.3'e bakılabilir. Günümüzde hemen her sistemin çok iyi ifade edilerek tanımlanması oldukça büyük önem taşımaktadır. Sistemler ifade edilirken modeller kurulur ve bu modellerin gerçek sistemi oldukça iyi ifade etmesi gerekmektedir. Eğer sistem bir matematiksel model ile ifade edilecekse, geliştirilen bu matematiksel modelde kısıtlar, parametreler, varsayımlar, karar değişkenleri gibi problemin

verilerinin doğru şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bu sayede kesin ve doğru bir sistem tanımlaması elde edilebilmektedir fakat gerçek hayat verilerine bakıldığında ifade edilecek sistem için tüm girdi ve çıktıları kesin ve doğru şekilde tanımlamak imkansız hale gelmektedir. Bu nedenle bu girdi ve çıktıları belirleyecek olan karar verici, kesin koşulların olduğu ortamda değil belirsizlik ortamında hareket etmektedir.

SO yaklaşımı ise burada devreye girer. SO yaklaşımı, belirsiz koşullar altında güvenilir ve kesin sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayan karar verme yaklaşımlarından biridir. Özetle SO yaklaşımı, gerçek hayat koşullarında tam olarak belirlenemeyen kısıtların, karar değişkenlerinin ya da parametrelerin oluşturduğu matematiksel modellerin tüm belirsizlik koşulları altında bile uygun çözüm arayan, tüm belirsizlik durumlarında bile optimal çözüm üretebilecek bir yaklaşım olarak ifade edilebilir.

Sağlam optimizasyon belirsizlik altında uygun çözüm elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu amaca ulaşılması o modelin tüm belirsizlik durumlarını dikkate alması ile mümkün olur. Geliştirilen bir SO modeli için bulunmuş olan uygun çözüm, daha önceden bilinen bir belirsizlik durumu olduğunda modeldeki tüm kısıtların sağlanacağını garanti etmektedir. Yine bir SO modeli için bulunmuş olan optimal çözüm ise, aynı koşullar altında tüm kısıtları sağlayacak en iyi çözümü garanti eder. SO yaklaşımı sayesinde karar vermede karşılaşılabilecek belirsizlikler ortadan kaldırılmış olmaktadır.

SO yaklaşımının temelleri Abraham Wald'ın 1940'lardaki çalışmalarına dayanmaktadır. Wald, oyun teorisi ile ilgili çalışmalarında geliştirdiği maximin modeli ile sağlam optimizasyonu kullanan araştırmacılardan olmuştur (Wald (1939), (1945), (1950)). Wald'ın geliştirdiği bu model belirsizlik durumunu ele alarak en kötü duruma göre karar veren bir model olarak tanımlanmaktadır. SO yaklaşımı da bu şekilde çalışmaktadır. SO, kavram olarak ise ilk olarak Soyster (1973)'ün çalışmalarında ortaya çıkmıştır. Bu çalışmadan sonra uzunca bir süre sadece birkaç çalışmada SO kavramı geçmiş, bu süre boyunca yapılan çalışmalarda fazlaca kullanılmadığı görülmüştür. Ben-Tal ve Nemirovski (1998; 1999 ve 2000), El Ghaoui (1997), El Ghaoui vd. (1998) ile Vandenberghe ve Boyd (1996)'un yaptıkları çalışmalar SO yaklaşımının günümüzde daha fazla çalışılmasına olanak sağlamıştır. 1990'lı yıllarda yapılan bu çalışmalar daha çok bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sayesinde fazlalaşmaya başlamıştır. Bilgisayar teknolojilerine ek olarak donanım

ve yazılım alanlarındaki gelişmeler sonrası, SO yaklaşımı 2000'li yıllarda daha çok kullanılmaya başlanmıştır.

3.2.1. Sağlam optimizasyonun varsayımları

Bu alt bölümde, Ben-Tal vd (2009)'dan esinlenilerek SO yaklaşımının varsayımları tanıtılacaktır.

- i. Bir optimizasyon probleminde, diğer belirsiz elemanlar ile olan ilişkisine göre karar değişkenleri iki ayrı gruba ayrılabilir: i. *burada ve şimdi kararlar*; ii. *bekle ve gör kararlar*. Burada ve şimdi kararlar, ilgili karar değişkenlerinin belirsiz olan karar değişkeni veya parametrelerin bir fonksiyonu olmadığını, bekle ve gör kararlar ise ilgili karar değişkenlerinin belirsiz olan karar değişkeni veya parametrelerin bir fonksiyonu olduğunu ifade etmektedir. SO yaklaşımında, tüm karar değişkenlerinin burada ve şimdi kararlar olduğu varsayılmaktadır.
- ii. SO yaklaşımında, parametre veya karar değişkenlerindeki belirsizlik, belirsizlik operatörleri ile ifade edilmektedir. Bahsedilen bu belirsizlik operatörleri, daha önceden tanımlanan bir *belirsizlik kümesinin* elemanlarıdır. Bu küme bulanık olmayan konveks bir kümedir. Belirsizlik operatörlerinin gerçekte alacağı değer, bu belirsizlik kümesinin bir elemanı olmak zorundadır.
- iii. Tüm kısıtlar sağlanmak zorundadır.

Her yaklaşım gibi, SO yaklaşımının da birtakım varsayımları mevcuttur. Dikkat edilirse, bu varsayımlar oldukça keskin varsayımlardır. Bilindiği gibi, sınırlayıcı varsayımlar aslında ilgili yaklaşımın gücünü azaltmaktadır. Buna rağmen, SO yaklaşımının vadettiği hayati yararlarından ötürü SO yaklaşımı gittikçe daha popüler olmaktadır.

3.2.2. SO yaklaşımının matematiksel olarak ifade edilişi

Bu alt bölümde, SO yaklaşımı matematiksel olarak tanıtılacaktır. SO yaklaşımının tanıtılmasında, SO yaklaşımı hakkında yazılmış olan en kapsamlı ve öncü kaynaklardan biri olan Ben-Tal vd (2009)'un çalışmasından yararlanılmıştır.

Bu alt bölümde, karar değişkenleri vektörü $\mathbf{x}$ ile, amaç fonksiyonu parametreleri $\mathbf{c}$ ve d ile, kısıtların parametreleri $\mathbf{A}$ ile, kısıtların sağ taraf değerleri $\mathbf{b}$ ile, uygun çözüm kümesi Π ile, belirsizlik operatörlerini içeren belirsizlik kümesi ise Θ ile gösterilmektedir.

Bir doğrusal optimizasyon problemi, aşağıdaki gibi genelleştirilebilir:

$$\min_{\mathbf{x} \in \Pi} \{\mathbf{c}^T \mathbf{x} + d \mid \mathbf{Ax} \leq \mathbf{b}, \mathbf{x} \in \Pi\} \quad (3.10)$$

Dikkat edilirse, yukarıdaki doğrusal optimizasyon problemi belirsizlik içermemektedir. Karar değişkeni ve/veya parametrelerdeki belirsizlik, yukarıdaki doğrusal optimizasyon problemine Eş. 3.11'deki gibi eklenebilir.

$$\min_{\mathbf{x} \in \Pi} \{\mathbf{c}^T \mathbf{x} + d \mid \mathbf{Ax} \leq \mathbf{b}, \mathbf{x} \in \Pi\}_{(\mathbf{c}, \mathbf{A}, \mathbf{b}, d) \in \Theta} \quad (3.11)$$

Burada, Θ kümesinin bulanık olmayan konveks bir küme olduğunu vurgulamakta fayda vardır. Θ kümesine yakından bakılacak olursa, $\Theta \in \mathbb{R}^{(m+1)(n+1)}$ olduğuna dikkat edilmelidir. Burada, m kısıt sayısını, n ise karar değişkeni sayısını göstermektedir.

SO yaklaşımının gereği, tüm belirsizlik durumlarında bile uygun çözüm elde edilmesi gerekmektedir. Bu durumda, bir $\mathbf{x}$ çözümünün uygun çözüm olabilmesi için Eş. 3.12'de ifade edilen şartı sağlaması gerekmektedir.

$$\mathbf{Ax} \leq \mathbf{b}, \quad \forall (\mathbf{c}, \mathbf{A}, \mathbf{b}, d) \in \Theta \quad (3.12)$$

Bir başka deyişle, SO yaklaşımında tüm belirsizlik durumları için tüm kısıtların sağlanması gerekmektedir. Bir $\mathbf{x}$ uygun çözümünün amaç fonksiyonu değeri, bir başka ifade ile *sağlam değeri* ($\hat{c}(\mathbf{x})$) Eş. 3.13'teki gibi ifade edilebilir.

$$\hat{c}(\mathbf{x}) = \sup_{(\mathbf{c}, \mathbf{A}, \mathbf{b}, d) \in \Theta} \{\mathbf{c}^T \mathbf{x} + d\} \quad (3.13)$$

Bu noktadan sonra, belirsizlik içeren doğrusal optimizasyon problemi formüle edilebilir. SO yaklaşımı gereği, Eş. 3.11'deki belirsizlik içeren doğrusal optimizasyon problemi Eş. 3.14'teki gibi gösterilebilir.

$$\min_{\mathbf{x} \in \Pi} \left\{ \sup_{(\mathbf{c}, \mathbf{A}, \mathbf{b}, d) \in \Theta} \{ \mathbf{c}^T \mathbf{x} + d \} \mid \mathbf{Ax} \leq \mathbf{b}, \mathbf{x} \in \Pi, \forall (\mathbf{c}, \mathbf{A}, \mathbf{b}, d) \in \Theta \right\} \quad (3.14)$$

Eş. 3.14'tedeki ifadeye Eş. 3.10'da verilen doğrusal optimizasyon probleminin *sağlam karşılığı* (SK) denir.

4. PROBLEM TANIMI, ÖNERİLEN MATEMATİKSEL MODELLER

Bu bölümde, ele alınan AYYP ile SAYYP tanıtılacak ve bu problemler için önerilen matematiksel modeller geliştirilecektir.

Bir acil yardım çağrısı yapıldığında, bir AYA (bu çalışmada kara ambulansı) merkezden hareket ederek olay yerine intikal eder. Bu intikalin tamamlanması için dakika cinsinden bir eşik değeri vardır. Bir başka deyişle, belli bir süre içinde kara ambulansının olay yerine ulaşması zorunludur. Dünya şehirlerinde bu eşik değeri 6 dakika, 8 dakika veya 10 dakika olabilmektedir (Mclay ve Mayorga, 2010). Kısacası, ambulans merkezleri öyle yerlere kurulmalıdır ki şehrin herhangi bir yerinde bir olay meydana geldiğinde eşik değeri (dk cinsinden) içinde kara ambulansının olay yerine varabilmesi gerekmektedir.

Gerçek hayatta, bir kara ambulansının belli bir eşik değeri içinde olay yerine varabilmesini sağlamak için birçok belirsizlik ile mücadele edilmesi şarttır. Bu belirsizliklerin başında kara ambulansının ortalama hızının değişken olması gelmektedir. AYYP’de, AYA’nın belli bir hızda hareket ettiği varsayılmaktadır. Ancak, gerçek hayatta bu varsayım gerçekçi değildir. Kara ambulansının yol aldığı rota, o saatteki trafik yoğunluğu, vs gibi birçok etken kara ambulansının ortalama hızının artmasına veya azalmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında kara ambulansının ortalama hızının belirsiz olduğu varsayılmıştır. Kısacası, bu tez çalışmasında bir boyutlu belirsizlik içeren AYYP üzerinde çalışılmaktadır.

Literatürde belirsizlik içeren AYYP için stokastik, bulanık mantık gibi birçok yaklaşım benimsenmiştir. Ancak, bu yaklaşımların hiçbiri kara ambulansının belli bir eşik değeri (dk cinsinden) içinde olay yerinde olmasını *garanti edememektedir* (Akıncılar ve Akıncılar, 2017). Akıncılar (2018)’de *sağlamlık* teriminin yeni jenerasyon tanımı, “belirsizliğe *tamamen duyarsız* uygun sonuçlar” olarak yapılmıştır. Detaylı bilgi için Bölüm 2.3’e bakılabilir. Bu tez kapsamında bu yeni jenerasyon sağlamlık tanımı benimsenmiştir. Böylece, Bölüm 2.3’te vurgulanan literatürdeki boşluk giderilmiş olmaktadır. Kısacası, bu tez çalışmasının uygulama kısmında AYA’nın ortalama hızının belirsiz olduğu durumda bile AYA’nın (kara ambulansının) belli bir eşik değerinde olay yerine varabilmesini *garanti eden* SAYYP ele alınmıştır. SAYYP’nde böyle bir garantinin kesin olarak verilebilmesinin SO yaklaşımı sayesinde olduğuna dikkat edilmelidir.

Bu bölümün devamında, önce belirsizlik içermeyen matematiksel model (nominal model) verilmiş, bu nominal modelin SO yaklaşımı gereği sağlam karşılığı (SK) elde edilmiş, son olarak elde edilen belirsizlik içeren model bir takım matematiksel operasyonlar kullanılarak çözülebilir hale getirilmiştir.

4.1. Nominal Model

Nominal model basit küme kaplama modelidir ve belirsizlik içermemektedir. Modelin acil yardım araçlarından ambulans için uygulanmış hali, varsayımları ve notasyonları aşağıda verilmiştir.

Modelin varsayımları

- i. Sadece kara ambulansları dikkate alınmıştır ve tüm kara ambulansları özdeştir.
- ii. Kara ambulanslarının olay yerine varışları göz önüne bulundurulurken hastaların sağlık merkezine taşınmaları göz önünde bulundurulmamıştır.
- iii. Ambulans merkezlerinde yeterli sayıda kara ambulansı bulunmaktadır.
- iv. Kara ambulansının ortalama hızı sabittir.
- v. İki nokta arasındaki mesafe, iki mesafe arasındaki en kısa yoldur.
- vi. Tüm yollar simetriktir.
- vii. Yollarda kazı çalışması, herhangi bir nedenden dolayı yolun kapanması, vs gibi olağanüstü bir durum bulunmamaktadır.

Önerilen nominal model için kümeler, parametreler ve değişkenler aşağıdaki gibi belirtilmiştir.

Kümeler

I : Yerleşim yerleri, $i, j \in I$

Parametreler

c_i = i yerleşim yerine ambulans merkezi kurulmasının maliyeti

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ yerleşim yerine merkez kurulduğunda } j \text{ yerleşim yerini kapsıyorsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

Değişkenler

$$x_i = \begin{cases} 1, & i \text{ yerleşim yerine merkez kurulursa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$$

Matematiksel model

$$\delta: \min c_i x_i \quad (4.1)$$

st

$$\sum_i a_{ij} x_i \geq 1, \quad \forall j \quad (4.2)$$

$$x_i \in \{0, 1\} \quad (4.3)$$

Burada, a_{ij} parametresinin nasıl elde edildiğine dikkat etmekte fayda vardır. t_{ij} , bir kara ambulansının i noktasından j noktasına varış süresini; v , kara ambulansının ortalama hızını; τ , dk cinsinden eşik değerini (kara ambulansının çağrıdan kaç dakika içinde olay yerinde olması gerektiğini); $g(v)$ ise v 'ye bağlı bir fonksiyonu ifade ediyor olsun. Zaman, yolun hıza oranı olarak ifade edildiğinden, bu durumda, a_{ij} parametresi $a_{ij} = \begin{cases} 1, & t_{ij} \leq \tau \\ 0, & \text{dd} \end{cases}$ olarak tanımlanabilir. $t_{ij} = \frac{d_{ij}}{v}$ olduğundan $a_{ij} = g(v) = \begin{cases} 1, & \frac{d_{ij}}{v} \leq \tau \\ 0, & \text{dd} \end{cases}$ olarak ifade edilebilir. Bu durumda, a_{ij} , v 'ye bağlı bir fonksiyon ($g(v)$) haline gelmiştir.

4.2. Nominal Modelin Sağlam Karşılığı (SK)

AYYP'de belirsizlik de dikkate alındığında, eldeki problem SAYYP'ye dönüşmektedir. Bu alt bölümde, nominal modelin sağlam karşılığı (SK) tanıtılmaktadır. SK'nın, SO yaklaşımının bir aşaması olduğuna dikkat edilmelidir (Bkz. Bölüm 3.2). Bunun yanında, SK'nın SAYYP için önerilen modeli temsil ettiği de unutulmamalıdır.

Modelin varsayımları

- i. Sadece kara ambulansları dikkate alınmıştır ve tüm kara ambulansları özdeştir.

- ii. Kara ambulanslarının olay yerine varışları göz önüne bulundurulurken hastaların sağlık merkezine taşınmaları göz önünde bulundurulmamıştır.
- iii. Ambulans merkezlerinde yeterli sayıda kara ambulansı bulunmaktadır.
- iv. Kara ambulansının ortalama hızı belli bir aralıkta değişebilir, bu aralığın dışında olamaz.
- v. İki nokta arasındaki mesafe, iki mesafe arasındaki en kısa yoldur.
- vi. Tüm yollar simetrik.
- vii. Yollarda kazı çalışması, herhangi bir nedenden dolayı yolun kapanması, vs gibi olağanüstü bir durum bulunmamaktadır.

Nominal modelin sağlam karşılığı için kümeler, parametreler ve değişkenler aşağıdaki gibi belirtilmiştir.

Kümeler

I : Yerleşim yerleri, $i, j \in I$

θ : Belirsizlik kümesi, $\zeta_{ij} \in \theta \subseteq \mathbb{R}$

Parametreler

c_i = i yerleşim yerine ambulans merkezinin kurulmasının maliyeti

$a_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ yerleşim yerine merkez kurulduğunda } j \text{ yerleşim yerine gidilebiliyorsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$

ζ_{ij} : Kara ambulansının i yerleşim yerinden j yerleşim yerine giderken hızındaki belirsizlik

v : Kara ambulansının ortalama hızı

τ : dk cinsinden eşik değeri (kara ambulansının çağrıdan kaç dk içinde olay yerinde olması gerektiği)

Değişkenler

$x_i = \begin{cases} 1, & i \text{ yerleşim yerine ambulans merkezi kuruluyorsa} \\ 0, & \text{dd.} \end{cases}$

Hatırlanacağı gibi, a_{ij} parametresi $a_{ij} = g(v) = \begin{cases} 1, & \frac{d_{ij}}{v} \leq \tau \\ 0, & \text{dd} \end{cases}$ olarak ifade edilmişti. Burada,

$$g(v) \text{ fonksiyonuna AYA'nın ortalama hızındaki belirsizlik, } g'(v, \zeta_{ij}) = \begin{cases} 1, & \frac{d_{ij}}{v(1+\zeta_{ij})} \leq \tau \\ 0, & \text{dd} \end{cases}$$

şeklinde eklenebilir. $g(v)$ fonksiyonunun $g'(v, \zeta_{ij})$ fonksiyonuna dönüştüğüne dikkat edilmelidir. l_{ij} , kara ambulansının i yerleşim yerinden j yerleşim yerine giderken ortalama hızındaki oransal olarak maksimum düşüşü; u_{ij} ise, kara ambulansının i yerleşim yerinden j yerleşim yerine giderken ortalama hızındaki oransal olarak maksimum artışı ifade ediyor olsun. Burada, ζ_{ij} belirsizlik operatörünün $l_{ij} \leq \zeta_{ij} \leq u_{ij}$, $l_{ij} \leq 0$ ve $u_{ij} \geq 0$ olduğu varsayılmıştır.

Bu durumda, yukarıdaki nominal modelin SK'sı elde edilmeye çalışılırsa;

Matematiksel model

$$\xi: \min c_i x_i \tag{4.4}$$

st

$$\sum_i g'(v, \zeta_{ij}) x_i \geq 1, \quad \forall j \in I, \quad \forall \zeta_{ij} \in \theta \tag{4.5}$$

$$x_i \in \{0, 1\} \tag{4.6}$$

$$\theta = \{\zeta_{ij} \mid l_{ij} \leq \zeta_{ij} \leq u_{ij}, \quad \forall i, j \in I\} \tag{4.7}$$

Dikkat edilirse, Sonsuz adet ζ_{ij} bulunduğundan ξ 'nin ilk kısıt grubunda (Eş. 4.5'te) sonsuz adet kısıt bulunmaktadır. Bu durumda, eldeki modelin çözüme kavuşturulması imkansızdır. Bir sonraki alt bölümde, ξ 'nin bir takım matematiksel operasyonlar ile nasıl çözülebilir hale getirildiği matematiksel olarak açıklanmaktadır.

4.3. SK'nın Çözülebilir Forma İndirgenmesi

Yukarıda da belirtildiği üzere, ξ , sonsuz sayıda kısıt içerdiğinden çözümü imkansızdır. ξ 'nin çözülebilir hale indirgenmesi gerekmektedir. *En kötü durum formülasyonu (worst-case reformulation)* tekniği, SO yaklaşımında bu tür durumlar için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Bertsimas, D., Brown D. B., Caramanis, C., 2011). Hatta, en yüksek derecede tutuculuğun (konservatifliğin) gerektiği durumlarda belirsizlik operatöründe herhangi bir

bilgi kaybolmasına yol açmadığı için ilk tercih edilen yöntem olduğu iddia edilebilir. Belirsizlik kümesinin (θ) de kutu tipi (box type) bir küme olduğuna dikkat ediniz.

Bu alt bölümde, en kötü durum formülasyonu yönteminin sonsuz sayıda kısıt barındıran Eş. 4.5'e uygulanışı anlatılmaktadır. Eş.4.5'in en kötü durum formülasyonuna göre denk kısıtı aşağıdaki gibidir:

$$\min_{\zeta_{ij} \in \theta} \{ \sum_i g'(v, \zeta_{ij}) x_i \} \geq 1, \quad \forall j \quad (4.8)$$

Yukarıdaki eşitsizlik, Eş. 4.9'daki gibi yazılabilir:

$$\sum_i \min_{\zeta_{ij} \in \theta} \{ g'(v, \zeta_{ij}) \} x_i \geq 1, \quad \forall j \quad (4.9)$$

Dikkat edilirse, Eş. 4.9'un minimum olması için $g'(v, \zeta_{ij})$ fonksiyonunun maksimum olması gerekmektedir. Bu durumda, Eş. 4.9, aşağıdaki gibi yeniden formüle edilirse;

$$\sum_i g' \left(v, \min_{\zeta_{ij} \in \theta} \zeta_{ij} \right) \geq 1, \quad \forall j \quad (4.10)$$

Yukarıdaki kısıt kümesinin j tane elemanı olduğuna dikkat edilmelidir. Bir başka deyişle sonsuz sayıda kısıt içeren kısıt kümesi (Eş. 4.5), j adet kısıt içeren bir kısıt kümesine dönüştürülmüştür. Bu noktada, Eş. 4.10 ile Eş. 4.5'in birbirine denk olduğunu vurgulamakta fayda vardır. Böylece, Eş.4.5'te verilen kısıt kümesinin SK'sı bulunmuştur ve bu kısıt kümesi (Eş. 4.10) çözülebilirdir.

Ş, Eş. 4.10 kullanılarak yeniden formüle edilirse;

$$\xi': \min c_i x_i \quad (4.11)$$

st

$$\sum_i g' \left(v, \min_{\zeta_{ij} \in \theta} \zeta_{ij} \right) \geq 1, \quad \forall j \quad (4.12)$$

$$x_i \in \{0, 1\} \quad (4.13)$$

$$\theta = \{ \zeta_{ij} \mid l_{ij} \leq \zeta_{ij} \leq u_{ij}, \quad \forall i, j \in I \} \quad (4.14)$$

Burada, ξ ve ξ' 'nin birbirine denk problemler olduğuna dikkat ediniz. Böylece, ξ 'nin SK'sı ξ' olmaktadır. Ξ' 'nin sonsuz sayıda kısıt içermediğini, çözülebilir (tractable) olduğunu vurgulamakta fayda vardır. SAYYP, ξ' 'nin çözüme kavuşturulmasıyla elde edilecektir. Ξ' 'nden elde edilen çözüm, θ kümesindeki tüm belirsizlik durumlarına karşı *tamamen* dayanıklıdır.

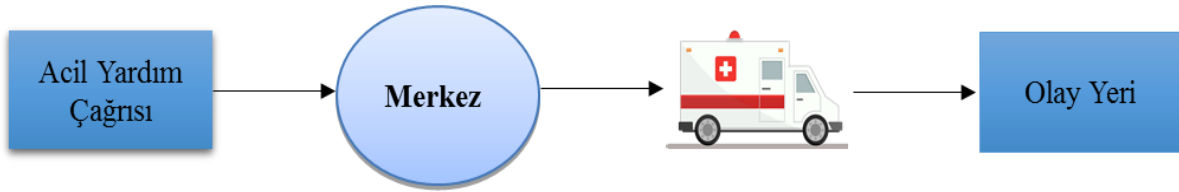
Anlaşılabilirliği kolaylaştırmak için, Bölüm 4'ün önemli aşamaları aşağıda listelenmiştir:

- AYYP için nominal (belirsizlik içermeyen) model (δ) formüle edilmiştir. Bu model, basit küme-kapsama modelidir.
- SAAYP için SO yaklaşımı uygulanmıştır.
- SO yaklaşımı gereği, δ 'nın SK'sı elde edilmiştir (ξ).
- Elde edilen SK (ξ), çözülebilir halde değildir (intractable).
- Bu nedenle ξ 'nin çözülebilir hale indirgenmesi gerekmektedir. Bunun için *en kötü durum formülasyonu* (worst-case reformulation) tekniği kullanılmıştır.
- *En kötü durum formülasyonu* kullanılarak çözülebilir (tractable) SK elde edilmiştir (ξ').
- SAYYP için önerilen model ξ' olmaktadır.

5. UYGULAMA

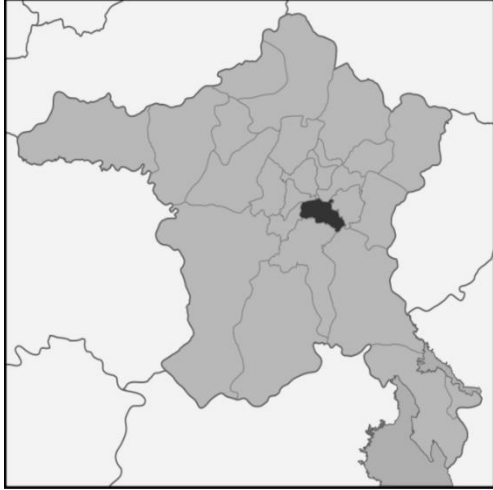
Bu bölümde, SAYYP için tez çalışmasında önerilen matematiksel modelin (ξ')'nün bir gerçek hayat problemi için uygulanmasına yer verilmiştir.

Resim 5.1'de de gösterildiği gibi bir acil yardım çağrısı geldiğinde şehrin uygun bölgelerine kurulmuş olan merkezlerden ambulanslar olay yerine gönderilir. Gönderilen ambulansların dakika cinsinden belli bir eşik değeri içinde olay yerinde olması gereklidir.



Şekil 5.1. Acil yardım çağrısı geldiğinde merkezden olay yerine ambulans gönderimi

Gerçek hayat uygulaması için, Ankara ili Çankaya ilçesi pilot bölge olarak seçilmiştir. Çankaya ilçesi, yüzölçümü olarak küçük bir yer kapsamına rağmen Ankara'nın en önemli ilçelerinden birisidir. Çankaya'ya, 9 Haziran 1936 tarihli yasa ile ilçe statüsü verilmiştir. Çankaya ilçesinin 2018 yılındaki nüfusu 920890'dır ki Ankara'nın toplam nüfusunun yaklaşık beşte biri olmaktadır. Bunun yanında, Çankaya ilçesi, Cumhurbaşkanlığı, Türkiye Büyük Millet Meclisi (TBMM), Genel Kurmay Başkanlığı, Kuvvet Komutanlıkları gibi Türkiye Cumhuriyeti'nin üst bürokrasına ev sahipliği yapmaktadır. Bunun yanında, Anıtkabir, Atatürk Müzesi gibi tarihi ve milli önemi olan yerleşkeler de Çankaya ilçesinde bulunmaktadır. Ayrıca, Gazi Üniversitesi, Bilkent Üniversitesi, Ankara Üniversitesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTU) ve Hacettepe Üniversitesi gibi Türkiye'nin ileride gelen üniversitelerine de ev sahipliği yapmaktadır. Görüldüğü gibi, Çankaya ilçesinin hem Ankara hem de Türkiye açısından önemi büyüktür. Aşağıda, Çankaya ilçesinin Ankara ilindeki yeri görülmektedir.



Harita 5.1. Çankaya ilçesinin Ankara ilindeki yeri

Tez kapsamında gerçekleştirilen bu gerçek hayat uygulamasında, Çankaya ilçesi, 23 bölgeye ayrılmıştır. Aşağıdaki çizelgede, bu bölgeler verilmektedir.

Çizelge 5.1. Çankaya ilçesinin bölgeleri

Bölge No	Bölge Adı
1	Ahlatlıbel
2	Ayrancı
3	Bahçelievler
4	Balgat
5	Bilkent
6	Birlik
7	Cebeci
8	Çayyolu
9	Dikmen
10	Esat
11	Gaziosmanpaşa
12	Hürriyet
13	Kavaklıdere
14	Kırkkonaklar
15	Kızılay
16	Maltepe
17	Öveçler
18	Sıhhiye
19	Söğüt özü
20	TBMM
21	Yıldız
22	Yüzüncüyıl
23	Zafertepe

Çizelge 5.1.'de listelenen Çankaya ilçesindeki 23 bölgenin birbirine olan uzaklıkları Google Maps yardımı ile bulunmuştur. Bu uzaklıkların simetrik olduğu varsayılmıştır. Çankaya ilçesindeki 23 bölgenin birbirine olan uzaklıkları Ek.1'de verilmiştir.

Ele alınan problemin varsayımları aşağıda listelenmiştir:

- i. Sadece kara ambulansları dikkate alınmıştır ve tüm kara ambulansları özdeştir.
- ii. Kara ambulanslarının olay yerine varışları göz önüne bulundurulurken hastaların sağlık merkezine taşınmaları göz önünde bulundurulmamıştır.
- iii. Ambulans merkezlerinde yeterli sayıda kara ambulansı bulunmaktadır.
- iv. İki nokta arasındaki mesafe, iki mesafe arasındaki en kısa yoldur.
- v. Tüm yollar simetriktir.
- vi. Yollarda kazı çalışması, herhangi bir nedenden dolayı yolun kapanması, vs gibi olağanüstü bir durum bulunmamaktadır.
- vii. Her bir yerleşim yerine ambulans merkezi kurmanın maliyeti (c_i) özdeştir.
- viii. Kara ambulansının ortalama hızı %10 değişebilmektedir ($-0.1 \leq \zeta_{ij} \leq 0.1$).

Bu bölümün devamında, farklı senaryolar için nominal (belirsizlik içermeyen) model (δ) çözüme kavuşturulmuş, daha sonra aynı senaryolar için bu modelin Bölüm 3'te verilen çözülebilir hale indirgenmiş SK'sı (ξ') çözüme kavuşturulmuş, son olarak da aynı senaryolar için çözüme kavuşturulan δ ve ξ' modellerinin çözümleri karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Bilindiği gibi, kara ambulansının ortalama hızı v ile gösterilmektedir. Bu parametre sabit kabul edilmektedir. Kara ambulansının gerçek hayattaki ortalama hızının değişkenliği $v(1 + \zeta_{ij})$ şeklinde ifade edilmektedir.

AYYP ve SAYYP'nin çözümlerinin farklı AYA ortalama hızları (v) ve AYA'nın olay yerine varması gereken farklı eşik değerleri (τ) için karşılaştırılması, önerilen sağlam planın *uygulanabilirliği* açısından çok önemlidir. Bu nedenle, farklı senaryolar için nominal ve sağlam çözümler karşılaştırılmıştır. Bahsedilen bu simülasyon çalışmasında, 3 farklı AYA ortalama hızı (v), ve 3 farklı eşik değeri (τ) kullanılmıştır.

Simülasyon çalışmasında kullanılan farklı AYA ortalama hızları (v) aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 5.2. Ortalama AYA hızı (v) için alternatifler

Alternatifler	Ortalama AYA hızı (v)
1	70 km/s
2	75 km/s
3	80 km/s

Çizelge 5.2’de görüldüğü gibi ortalama hız için 3 adet alternatif tanımlanmış ve ambulansın hızları her alternatif için Çizelge 5.2’de belirtilmiştir.

Simülasyon çalışmasında kullanılan farklı eşik değerleri (τ) aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 5.3. Eşik değeri (τ) için alternatifler

Alternatifler	Eşik değeri (τ)
1	6 dk
2	8 dk
3	10 dk

Çizelge 5.3’te görüldüğü gibi eşik değeri için 3 adet alternatif tanımlanmış ve ambulansın olay yerine ulaşması istenen eşik değerleri dakika cinsinden her alternatif için Çizelge 5.3’te belirtilmiştir.

Çizelge 5.2-3’te sunulan farklı (v) ve (τ) değerleri için elde edilen senaryolar ise şöyle olacaktır:

Çizelge 5.4. Farklı (v) ve (τ) değerleri için mevcut senaryolar

Senaryolar	Ortalama AYA hızı (v)	Eşik değeri (τ)
Senaryo 1	70 km/s	6 dk
Senaryo 2	70 km/s	8 dk
Senaryo 3	70 km/s	10 dk
Senaryo 4	75 km/s	6 dk
Senaryo 5	75 km/s	8 dk
Senaryo 6	75 km/s	10 dk
Senaryo 7	80 km/s	6 dk
Senaryo 8	80 km/s	8 dk
Senaryo 9	80 km/s	10 dk

Çizelge 5.4'te görüleceği gibi her bir hız ve eşik değeri için 9 farklı senaryo ortaya çıkmaktadır. Örneğin 70 km/s ortalama hıza sahip ambulansın 6, 8 ve 10 dk içinde olay yerine ulaşması 3 farklı durum oluşturmaktadır. Başka bir deyişle Senaryo 1'e bakıldığında AYA'nın ortalama hızının 70km/s olduğu ve AYA'nın en geç 6 dk'da olay yerinde olması gerekmektedir.

Bu bölümün devamında, yukarıdaki gerçek hayat problemi, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te verilen alternatiflerin her bir kombinasyonu, bir başka deyişle Çizelge 5.4'te verilen her bir senaryo için nominal model (δ) ve SK (ξ') kullanılarak çözüme kavuşturulmuş, son olarak elde edilen nominal (belirsizlik içermeyen) ve sağlam (belirsizliğe *tamamen* dayanıklı) çözümler karşılaştırılmıştır.

5.1. Nominal Model (δ)'in Her Bir Senaryo İçin Çözülmesi

Her bir senaryo için nominal model (δ) MATLAB R2013 ortamında çözüme kavuşturulmuştur. Bu bölümün devamında, Senaryo 1 için geliştirilen model verilmektedir.

$$\delta: \min x_i \quad (5.1)$$

st.

$$\sum_i a_{ij}x_i \geq 1, \quad \forall j \quad (5.2)$$

$$x_i \in \{0, 1\} \quad (5.3)$$

Burada, Senaryo 1 gereği $a_{ij} = g(70) = \begin{cases} 1, & \frac{d_{ij}}{70} \leq 6 \\ 0, & \text{dd} \end{cases}$ olduğu unutulmamalıdır. Bunun

yanında, tüm bölgelere ambulans merkezi açmanın maliyeti (c_i) özdeş olduğundan amaç fonksiyonundan c_i parametresinin göz ardı edildiğine dikkat edilmelidir. Bu modelin MATLAB R2013 ortamında yazılan kodu ise aşağıdaki gibidir:

```

dataset=xlsread('C:\Users\user\Desktop\datasetformatlab.xlsx');
ave_vel=70;
threshold=6;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/ave_vel<=threshold
            A(i,j)=-1
        end
    end
end
[x fval exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub)

```

Şekil 5.2. Nominal Model için Senaryo 1 MATLAB çıktısı

Dikkat edilirse AYA'nın ortalama hızı ve eşik değeri MATLAB ortamında değişken olarak tanımlanmıştır. Bu durum, diğer senaryoların sadece bu değişkenlerin değeri değiştirilerek kolayca koşturulabileceği anlamına gelmektedir. Kod yazımında bu etkinlik önemli zaman kayıplarının önüne geçmektedir. Yukarıda verilen kodun koşturulması 1 saniyeden daha kısa sürmektedir.

Nominal model (δ)'in diğer senaryolar için MATLAB R2013 ortamında yazılan kod ise Ek.2'de verilmiştir.

Nominal model (δ)'in her bir senaryo için MATLAB R2013 ortamında koşturulmasından elde edilen sonuçlar Çizelge 5.5'te yer almaktadır.

Çizelge 5.5. Nominal model (δ)'in sonuçları

Senaryolar	Ortalama hızı (v)	AYA	Eşik değeri (τ)	Amaç fonksiyonu değeri	Kurulan merkezler
Senaryo 1	70 km/s		6 dk	5	4,5,8,12,23
Senaryo 2	70 km/s		8 dk	4	8,12,21,23
Senaryo 3	70 km/s		10 dk	2	8,22
Senaryo 4	75 km/s		6 dk	5	5,8,12,19,23
Senaryo 5	75 km/s		8 dk	3	8,12,21
Senaryo 6	75 km/s		10 dk	2	8,22
Senaryo 7	80 km/s		6 dk	4	8,12,19,23
Senaryo 8	80 km/s		8 dk	3	1,4,23
Senaryo 9	80 km/s		10 dk	2	5,23

Çizelge 5.5'te, her bir senaryo için elde edilen amaç fonksiyonu değeri (kurulacak toplam merkez sayısı) ve bu merkezlerin nereye kurulacağı gösterilmektedir. Örneğin senaryo 1'e bakıldığında ambulansın ortalama hızının 70 km/s ve eşik değerin 6 dakika olduğu durumda 4, 5, 8, 12 ve 23. bölgelere toplamda 5 adet merkez kurulması halinde istenen süre içerisinde ambulansın olay yerine vardığı söylenebilmektedir.

5.2. SK (ξ')'nın Her Bir Senaryo İçin Çözülmesi

Her bir senaryo için SK (ξ') MATLAB R2013 ortamında çözülmüştür. Aşağıda, tüm senaryolar için kullanılan SK (ξ')'nin kapalı formu verilmiştir. Bu bölümün devamında, Senaryo 1 için geliştirilen model verilmektedir.

$$\xi': \min x_i \quad (5.4)$$

st

$$\sum_i g' \left(v, \max_{\zeta_{ij} \in \theta} \zeta_{ij} \right) \geq 1, \quad \forall j \quad (5.5)$$

$$x_i \in \{0, 1\} \quad (5.6)$$

$$\theta = \{\zeta_{ij} \mid l_{ij} \leq \zeta_{ij} \leq u_{ij}, \quad \forall i, j \in I\} \quad (5.7)$$

Burada, Senaryo 1 gereği $a_{ij} = g'(70, \zeta_{ij}) = \begin{cases} 1, & \frac{d_{ij}}{70(1+\zeta_{ij})} \leq 6 \\ 0, & \text{dd} \end{cases}$ olduğu unutulmamalıdır.

Bunun yanında, tüm bölgelere ambulans merkezi açmanın maliyeti (c_i) özdeş olduğundan amaç fonksiyonundan c_i parametresinin göz ardı edildiğine dikkat edilmelidir. Bu modelin MATLAB R2013 ortamında yazılan kodu ise aşağıdaki gibidir:

```

dataset=xlsread('C:\Users\user\Desktop\datasetformatlab.xlsx');
ave_vel=70;
threshold=6;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/(ave_vel*(1+0.1))<=threshold
            A(i,j)=-1
        end
    end
end
end
[x fval exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub)

```

Şekil 5.3. Sağlam karşılık için Senaryo 1 MATLAB çıktısı

Dikkat edilirse AYA'nın ortalama hızı ve eşik değeri MATLAB ortamında değişken olarak tanımlanmıştır. Bu durum, diğer senaryoların sadece bu değişkenlerin değeri değiştirilerek kolayca koşturulabileceği anlamına gelmektedir. Kod yazımında bu etkinlik önemli zaman kayıplarının önüne geçmektedir. Yukarıda verilen kodun koşturulması 1 saniyeden kısa sürmektedir.

SK (ξ')'nın diğer senaryolar için MATLAB R2013 ortamında yazılan kod ise Ek.3'te verilmiştir. SK (ξ')'nın her bir senaryo için MATLAB R2013 ortamında koşturulmasından elde edilen sonuçlar Çizelge 5.6'da yer almaktadır.

Çizelge 5.6. SK (ξ')'nın sonuçları ($-0,1 \leq \zeta_{ij} \leq 0,1$)

Senaryolar	Ortalama AYA hızı (v)	Eşik değeri (τ)	Amaç fonksiyonu değeri	Kurulan merkezler
Senaryo 1	70 km/s	6 dk	5	4,5,8,12,23
Senaryo 2	70 km/s	8 dk	4	8,12,19,23
Senaryo 3	70 km/s	10 dk	3	1,4,23
Senaryo 4	75 km/s	6 dk	5	4,5,8,12,23
Senaryo 5	75 km/s	8 dk	4	8,12,21,23
Senaryo 6	75 km/s	10 dk	2	8,22
Senaryo 7	80 km/s	6 dk	5	4,5,8,12,23
Senaryo 8	80 km/s	8 dk	4	8,12,21,23
Senaryo 9	80 km/s	10 dk	2	8,22

Çizelge 5.6’da her bir senaryo için elde edilen amaç fonksiyonu değeri (kurulacak toplam merkez sayısı) ve bu merkezlerin nereye kurulacağı gösterilmektedir. Bu tabloda belirtilen hızların %10 oranında azalıp artabileceği durum göz önünde bulundurulmuştur.

5.3. Sonuçların Karşılaştırılması

SO’nun matematiksel alt yapısı hatırlanacak olursa, çözüm uzayını daraltan bir yapıya sahip olduğu görülecektir (Bkz. Bölüm 3.2). Bu durumda, sağlam çözümler belirsizliklere tamamen dayanıklı olmasına rağmen daha maliyetli olabilmektedir. Bu bölümde, elde edilen nominal ve sağlam çözümler maliyet açısından karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 5.7’de, nominal ve sağlam çözümler bir arada gösterilmektedir.

Çizelge 5.7. Nominal ve sağlam çözümler

Senaryolar	Nominal çözüm (NÇ)	NÇ için kurulan merkezler	Sağlam çözüm (SÇ)	SÇ için kurulan merkezler
Senaryo 1	5	4,5,8,12,23	5	4,5,8,12,23
Senaryo 2	4	8,12,21,23	4	8,12,19,23
Senaryo 3	2	8,22	3	1,4,23
Senaryo 4	5	5,8,12,19,23	5	4,5,8,12,23
Senaryo 5	3	8,12,21	4	8,12,21,23
Senaryo 6	2	8,22	2	8,22
Senaryo 7	4	8,12,19,23	5	4,5,8,12,23
Senaryo 8	3	1,4,23	4	8,12,21,23
Senaryo 9	2	5,23	2	8,22

Çizelge 5.7’ye bakıldığında belirsizliğin olmadığı nominal model için elde edilmiş sonuçları ve hızdaki belirsizliğin eklendiği modelin sağlam karşılığı için elde edilmiş sonuçlar görülmektedir. Örneğin Senaryo 2’ye bakıldığında nominal model ve sağlam karşılık için kurulacak toplam merkez sayısı her ikisinde de 4 adet iken, sadece kurulan merkezlerin yerlerinin değiştiği görülmektedir.

Elde edilen nominal ve sağlam çözümler, kurulan toplam merkez sayısı ve merkezlerin kurulduğu bölgeler açısından Çizelge 5.8’de karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 5.8. Nominal ve sağlam çözümlerin karşılaştırılması

Senaryolar	NÇ ve SÇ ile elde edilen toplam merkez sayısı arasındaki fark	NÇ ve SÇ ile elde edilen merkezlerin kurulum yerleri arasındaki fark
Senaryo 1	0	Farklı değil
Senaryo 2	0	Farklı
Senaryo 3	1	Farklı
Senaryo 4	0	Farklı
Senaryo 5	1	Farklı
Senaryo 6	0	Farklı değil
Senaryo 7	1	Farklı
Senaryo 8	1	Farklı
Senaryo 9	0	Farklı

Yukarıdaki çizelgede, *NÇ* nominal çözümü, *SÇ* ise sağlam çözümü ifade etmektedir. Çizelge 5.8 dikkatle incelenirse, senaryoların büyük bir bölümünde toplam merkez sayısı değişmeden kara ambulansının ortalama hızındaki belirsizliğe *tamamen* dayanıklı bir yerleşim yeri planı elde edildiği, senaryoların kalan kısmı için ise sadece 1 adet fazla merkezin kurulması gerektiği görülmektedir. Bu durumda, kara ambulansının ortalama hızındaki dalgalanmalara *kesin olarak* dayanıklı yerleşim yeri planı, en fazla 1 adet yerleşim yeri daha açılarak sağlanabilmektedir. Bir başka deyişle, belirlenen senaryoların tamamı için sağlam planların katlanılabilir maliyetler ile elde edildiği iddia edilebilir.

Bunun yanında, toplam merkez sayısının değişmediği *SÇ*'lerde kurulan merkezlerin yerlerinin değiştiğine dikkat edilmelidir.

Hatırlanacağı üzere, Bölüm 1'de acil yardım çağrısı geldiğinde olay yerine ulaşımın öneminden bahsedilmişti. Ek olarak, ele alınan problemde insan hayatı söz konusudur. Bunun yanında, *SÇ* için en fazla 1 adet merkez daha gerekmektedir. Tüm bu faktörler göz önünde bulundurulduğunda, elde edilen sağlam yerleşim yeri planlarının uygulanması gerektiği sonucuna rahatlıkla varılabilir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışması kapsamında, politik ve ekonomik açıdan büyük önemi bulunan acil yardım hizmetleri sektöründe AYAYP üzerinde çalışılmıştır. Problemin doğası gereği, AYA'nın ortalama hızındaki belirsizlik, trafiğin durumu, hava şartları, vs gibi birçok belirsizlik söz konusudur. Literatürde bu belirsizlikler ile mücadele eden çalışmalara sıklıkla rastlanmaktadır. Çalışmanın uygulama kısmında ele alınan ambulans yeri yerleşim problemleri için belirsizlik içeren AYYP'ler, genel olarak SAYYP olarak adlandırılmaktadır. Bu tez çalışmasının uygulama kısmında, AYA'nın ortalama hızının belirsiz olduğu SAYYP ele alınmıştır.

Ancak, literatürde SAYYP çalışmalarının hiçbiri Zhang ve Jiang (2014) haricinde sağlamlığı garanti edememektedir (Akıncılar ve Akıncılar, baskıda). İnsan hayatının söz konusu olduğu bu problemde böyle bir garantinin ekonomik ve sosyal katkısı tartışmasız olacaktır. Bu sorunun üstesinden gelmek için, bu tez çalışmasında, Akıncılar (2018) tarafından önerilen yeni jenerasyon sağlamlık kavramı benimsenmiştir.

Bahsedilen yeni jenerasyon sağlamlığın elde edilebilmesi için -tüm zorluğuna rağmen- SO yaklaşımı oldukça uygun bir araç olarak gözükmektedir. Bu sebeple, SAYYP'nin çözümü için özellikle 2000'li yıllardan sonra çalışılmaya başlayan SO yaklaşımı benimsenmiştir. Bu sayede, bu yeni sağlamlık kavramı ile tam olarak örtüşen sağlam yerleşim yeri planları SO yaklaşımı ile elde edilebilecektir.

Tez çalışmasında, SO yaklaşımının başarıyla uygulanabilmesi ile, AYA'nın (bu tez çalışmasında kara ambulansının) ortalama hızındaki belirsizliğe rağmen, belirli bir süre içinde olay yerinde olmasını *kesin olarak* sağlayan ambulans merkezleri için bir sağlam yerleşim yeri planı üretilmesi başarılmıştır.

SO yaklaşımı gereği, mümkün çözüm uzayı önemli ölçüde daraltılmaktadır. Bu durumda, üretilen yerleşim yeri planının maliyeti de önem kazanmaktadır. Bu sebeple, elde edilen nominal (belirsizlik içermeyen) ve sağlam (belirsizliğe karşı *tamamen* duyarsız) yerleşim yeri planları maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Önerilen modelin gerçek hayatta uygulanabilirliğini test etmek için farklı senaryolar üretilmiş, nominal ve sağlam çözümler

bu senaryolar dahilinde ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, birçok senaryo için maliyet artışı söz konusu olmaz iken, diğer senaryolarda fazladan 1 adet merkez hedeflenen sağlam yerleşim yeri planının elde edilmesi için yeterli olmuştur. İnsan hayatının söz konusu olduğu sağlam yerleşim yeri planlarının katlanılabilir maliyetle elde edilebilmesi hem birçok ekonomik avantajı hem uluslararası prestiji hem de sosyal devlet olma yükümlülüğünün yerine getirilmesini beraberinde getirecektir.

Sonuç olarak, kara ambulansının ortalama hızındaki belirsizliğe *tamamen duyarsız* bir sağlam yerleşim yeri planının *katlanılabilir* maliyetle elde edilebileceği görülmüştür. Bu durum, daha önce başarılabilen bir durum olmadığından bu tez çalışması ile literatüre katkının yüksek olduğu söylenebilir. Bunun yanında, simülasyon çalışmasından elde edilen sonuçlara bakılacak olursa, önerilen modelin gerçek hayatta uygulanabilirliği de yüksek olduğu görülecektir. Kısaca, tez çalışması kapsamında SAYYP için önerilen SO yaklaşımı temelli matematiksel modelin gerçek hayatta uygulanmasının son derece yararlı olacağı düşünülmektedir.

Hatırlanacağı üzere, gerçek hayat uygulaması için geliştirilen model kara ambulansının ortalama hızının %10 değişebileceğini öngörmektedir. Bu şartlar altında, kurulacak ambulans merkezleri sayesinde kara ambulansı olay yerine istenen süre içinde –varsayımlar dahilinde– mutlaka varabilmektedir. Ancak, gerçek hayatta ortalama hızın belirsizliği çağrının geldiği gün ve saat, aracın takip edeceği rotadaki trafik, trafik ışıklarının örüntüsü gibi birçok faktöre bağlıdır. Önerilen modelde bu faktörler dikkate alınmamıştır. Dolayısı ile SAYYP için literatüre yapılacak önemli katkılar mevcuttur denilebilir.

AYA, bazı durumlarda olay yerine belirlenen eşik değerinde (dakika cinsinden) varabilmek için en kısa yolu değil, trafiğin daha az yoğun olduğu rotayı tercih edebilmektedir. Dolayısı ile AYA'nın izleyeceği rota da gerçek hayatta belirsiz olabilmektedir. AYA'nın izleyeceği rotadaki belirsizlik yukarıda listelenen belirsizliklerin en önemlilerinden biridir. Bu konuda literatüre yapılacak katkılar önemlidir.

Bunun dışında, AYA'nın sadece olay yerine varışı göz önüne alınmıştır. Hastaya yapılacak ilk yardım hayati önem teşkil ettiğinden AYA'nın belirlenen eşik değerinde olay yerine varışı son derece önemlidir. Yine de gerçekleşen olaya bağlı olarak hastanın hastane veya herhangi bir sağlık merkezine taşınması da gerekebilir. Önerilen modelde bu durum göz ardı

edilmiştir. Gelecek çalışmalarda hastaların sağlık merkezine taşınmasının da göz önünde bulundurulması rahatlıkla önerilebilir.

Son olarak, sistemde yeterli sayıda kara ambulansının olduğu varsayılmıştır. Oysa gerçek hayatta gerçekleşecek olayların zamanı ve niteliği bilinemediğinden AYA kıt kaynak olabilmektedir. Bu durumda, AYA'ların şehir içinde dağılımı (ambulance reallocation problem) da önem arz etmektedir. Gelecek çalışmalarda kara ambulanslarının –gerekiyorsa– hastayı sağlık merkezine bıraktıktan sonra dönüşte hangi merkeze gideceği kararının verilmesi de önemli bir problemdir.

Görüldüğü gibi gelecekte literatüre yapılabilecek katkı oldukça fazladır. Yine de bu tez çalışmasında, acil yardım araçları için ulaşım alanında yeni bir sağlamlık kavramının benimsenmesi, bu kavramın gerçek hayat şartlarına oldukça uygun olması, bu yeni kavrama uygun bir modelin geliştirilip çözüme kavuşturulabilmesi sayesinde bu tez çalışmasının özgünlüğünün ve ekonomik katkısının oldukça yüksek olduğu rahatlıkla iddia edilebilir.

KAYNAKLAR

- Akincilar, A., and Akincilar, E. (2017). A specific issue on sustainability of transportation planning in an urban region: Ambulance location problem. In E. Ocalir-Akunal and H. Knoflacher (Eds.), *Engineering Tools and Solutions for Sustainable Transportation Planning*. PA, USA: IGI Global, pp. 303-316.
- Akincilar, A. (2018). *Havayolu çizelgeleme problemlerinde yeni bir sağlam çizelgeleme yaklaşımı: Sağlam uçak rotalama* (Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Akincilar, A., and Akincilar, E. (Baskıda). A new idea for ambulance location problem in an environment under uncertainty in both path and average speed: Absolutely robust planning. *Computers ve Industrial Engineering*, 137.
- Aly, A. A., and White, J. A. (1978). Probabilistic formulation of the emergency service location problem. *Journal of Operational Research Society*, 29(12), 1167-1179.
- Araz, C., Selim, H., and Ozkarahan, I. (2007). A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services. *Computers ve Operations Research*, 34, 705-726.
- Aytug H., and Saydam, C. (2002). Solving large-scale maximum expected covering location problems by genetic algorithms: A Comparative study. *European Journal of Operational Research*, 141, 480-494.
- Basar, A., Catay, B., and Unluyurt, T. (2012). A taxonomy for emergency service station location problem. *Optimization Letters*, 6, 1147-1160.
- Ben-Tal, A., and Nemirovski, A. (1998). Robust convex optimization. *Mathematics of Operations Research*, 23, 769–805.
- Ben-Tal, A., and Nemirovski, A. (2000). Selected topics in robust convex optimization. *Mathematical Programming Series B*, 112, 125-158.
- Ben-Tal, A., El Ghaoui, L., and Nemirovski, A. (2009). *Robust optimization*. Princeton, NJ and Oxford, United Kingdom: Princeton University Press.
- Beraldi, P., and Bruni, M. E. (2009). A probabilistic model applied to emergency service vehicle location. *European Journal of Operational Research*, 196, 323-331.
- Berman, O., Hajizadeh, I., and Krass, D. (2013). The maximum covering problem with travel time uncertainty. *IIE Transactions*, 45, 81-96.
- Bertsimas, D., Brown D. B., and Caramanis, C. (2011). Theory and applications of robust optimization, *SIAM Review*, 53(3), 464–501.
- Brotcorne, L., Laporte, G., and Semet F. (2003). Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research*, 147, 451-463.

- Canbolat, M. S., and von Massow, M. (2011). Locating emergency facilities with random demand for risk minimization. *Expert Systems with Applications*, 38, 10099-10106.
- Coşkun, A. (2007). Acil servis sistemlerinde yerleşim problemine analitik ve genetik programlama yaklaşımları (Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Daskin, M. S. (1982). Application of an expected covering location model to emergency medical system design. *Decision Sciences*, 13, 416-139.
- Daskin, M. S. (1983). A maximal expected covering location model: Formulation properties and heuristic solution. *Transportation Science*, 17, 48-69.
- El Ghaoui, L., and Lebret, H. (1997). Robust solutions to least-squares problems with uncertain data. *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*, 18, 1035–64.
- Gabrel, V., Murat, C., and Thiele, A. (2014). Recent advances in robust optimization: An overview. *European Journal of Operational Research*, 235, 471-483.
- Garfinkel R. S., and Nemhauser G.L. (1969). The set-partitioning problem: Set covering with equality constraints, *Operations Research*, 17(5), 848-856.
- Gendreau M., Laporte, and G., Semet, F. (1997). Solving an ambulance location model by tabu search. *Location Science*, 5(2), 75-88.
- Gorissen, B. L., Yanıkoglu, I, ve den Hertog, D. (2015). A practical guide to robust optimization. *Omega*, 53, 124-137.
- Hogan, K., and ReVelle, C. (1986). Concepts and applications of backup coverage. *Management Science*, 32, 1434–1444.
- Karp, R., M. (1972). Reducibility Among Combinatorial Problems. In R. E. Miller; J. W. Thatcher, and J. D. Bohlinger (Eds.), *Complexity of Computer Computations*. New York: Plenum, 85–103.
- Li, X., Zhao, Z., Zhu, X., and Wyatt, T. (2011). Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review. *Mathematical Methods of Operations Research*, 74, 281-310.
- Mclay L. A., and Mayorga M. E. (2010). Evaluating emergency medical service performance measures, *Health Care Management Science*, 13, 124-136.
- Pirkul, H., and Schilling, D. A. (1991). The maximal covering location problem with capacities on total workload. *Management Science*, 37, 233-248.
- ReVelle, C., and Hogan, K. (1989). The maximum availability location problem. *Transportation Science*, 23, 192–200.
- Snyder, L. V. (2006). Facility location under uncertainty: a review. *IIE Transactions*, 38, 537-554.

- Swoveland, C., Uyeno, D., Vertinsky, I., and Vickson, R. (1973). Ambulance location: a probabilistic enumeration approach. *Management Science*, 20(4-II), 686-698.
- Vandenberghe, L., and Boyd, S. (1996). Semidefinite programming. *SIAM Review*, 38, 49–95.
- Wald, A. (1939). Contributions to the theory of statistical estimation and testing hypotheses. *The Annals of Mathematics*, 10(4), 299-326.
- Wald, A. (1945). Statistical decision functions which minimize the maximum risk. *The Annals of Mathematics*, 46(2), 265-280.
- Wald, A. (1950). *Statistical Decision Functions*, NY, USA: John Wiley.
- Zhang, Z.-H., and Jiang, H. (2014). A robust counterpart approach to the bi-objective emergency medical service design problem. *Applied Mathematical Modelling*, 38, 1033-1040.

EKLER

EK-1. Çankaya ilçesindeki bölgeler arası uzaklık matrisi:

Dikmen / Oran	Çayyolu	Cebeci	Birlik	Bilkent	Balgat	Bahçelievler	Ayrancı	Ahlatlıbel	
11	9,5	23	14	12	14	19	17	0	Ahlatlıbel
3,3	19	5,8	6,2	13	4,9	9,3	0	17	Ayrancı
8,1	15	7	23	12	4,8	0	9,3	19	Bahçelievler
6,4	15	9,2	17	8,6	0	4,8	4,9	14	Balgat
12	10	18	23	0	8,6	12	13	12	Bilkent
7,4	23	7,7	0	23	17	23	6,2	14	Birlik
9,7	22	0	7,7	18	9,2	7	5,8	23	Cebeci
19	0	22	23	10	15	15	19	9,5	Çayyolu
0	19	9,7	7,4	12	6,4	8,1	3,3	11	Dikmen/Oran
11	28	3,9	4,9	12	5,1	5,2	2,2	19	Esat
6,5	24	7,3	3,4	14	6,3	6,4	1,9	16	Gaziosmanpa
1,7	20	8,9	7,7	13	4,8	7,2	20	5,3	Hürriyet
11	24	4,4	6,8	12	4,9	5	3,6	19	Kavaklıdere
9	24	6,2	1,4	24	12	12	7	16	Kırkkonaklar
15	20	3,3	9	19	9,8	7,6	5	23	Kızılay
10	20	4,2	9,5	12	4,8	2,7	7,1	19	Maltepe
2,7	18	13	10	11	3,5	7,3	2,5	15	Öveçler
12	20	3,5	10	13	6,1	6,1	4,8	20	Sıhıye
8,4	13	13	16	6,9	3,3	5	7,6	17	Söğütözü
5	18	6,2	8,1	13	5,3	5,4	2,7	18	TBMM
3,4	15	9,1	3,4	8,1	3,4	5,4	4,6	17	Yıldız
7,9	23	4,5	4,4	13	6	6,1	5,1	17	Yüzüncüyıl
9,6	22	3,8	5,4	14	6,7	7,4	6,8	20	Zafertepe

EK-1. (devam) Çankaya ilçesindeki bölgeler arası uzaklık matrisi

Söğütözü	Sıhırye	Öveçler	Maltepe	Kızılay	Kırkkonaklar	Kavaklıdere	Hürriyet	Gaziosmanpaşa	Esat
17	20	15	19	23	16	19	5,3	16	19
7,6	4,8	2,5	7,1	5	7	3,6	20	1,9	2,2
5	6,1	7,3	2,7	7,6	12	5	7,2	6,4	5,2
3,3	6,1	3,5	4,8	9,8	12	4,9	4,8	6,3	5,1
6,9	13	11	12	19	24	12	13	14	12
16	10	10	9,5	9	1,4	6,8	7,7	3,4	4,9
13	3,5	13	4,2	3,3	6,2	4,4	8,9	7,3	3,9
13	20	18	20	20	24	24	20	24	28
8,4	12	2,7	10	15	9	11	1,7	6,5	11
7,4	2,9	5,7	5,7	3,7	4,3	1,1	5,4	2,5	0
10	5,3	5,3	6,8	5,1	3,8	2,3	5,1	0	2,5
7,3	6,3	1,9	7,2	7,2	9,1	5,1	0	5,1	5,4
20	7,5	18	9,7	2,7	7,2	0	5,1	2,3	1,1
20	7,5	8,2	9,7	7,3	0	7,2	9,1	3,8	4,3
7	2,5	5,9	2,5	0	7,3	2,7	7,2	5,1	3,7
5,8	2,6	6	0	2,5	9,7	9,7	7,2	6,8	5,7
6,9	9,3	0	6	5,9	8,2	18	1,9	5,3	5,7
6,9	0	9,3	2,6	2,5	7,5	7,5	6,3	5,3	2,9
0	6,9	6,9	5,8	7	20	20	7,3	10	7,4
9,4	3,9	4,2	4	3	7,5	7,5	4,2	4,6	2,6
12	6,9	5,2	6,8	5,9	4,8	4,8	5,2	3	4,2
10	6,3	7,2	4,6	3,7	4,7	4,7	7,2	1,3	0,8
14	3,8	9,3	3,9	3,8	4,9	4,9	8,8	3	2,5

EK-1. (devam) Çankaya ilçesindeki bölgeler arası uzaklık matrisi

Zafertep	Yüzüncüy	Yıldız	TBMM
20	17	17	18
6,8	5,1	4,6	2,7
7,4	6,1	5,4	5,4
6,7	6	3,4	5,3
14	13	8,1	13
5,4	4,4	3,4	8,1
3,8	4,5	9,1	6,2
22	23	15	18
9,6	7,9	3,4	5
2,5	0,8	4,2	2,6
3	1,3	3	4,6
8,8	7,2	5,2	4,2
4,9	4,7	4,8	7,5
4,9	4,7	4,8	7,5
3,8	3,7	5,9	3
3,9	4,6	6,8	4
9,3	7,2	5,2	4,2
3,8	6,3	6,9	3,9
14	10	12	9,4
3,3	6,9	5	0
5,6	3,9	0	5
1,7	0	3,9	6,9
0	1,7	5,6	3,3

EK-2. Nominal model (δ)'in her bir senaryo için MATLAB R2013 ortamındaki kodu

```
dataset=xlsread('C:\Users\user\Desktop\datasetformatlab.xlsx');
ave_vel=70;
threshold=8;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/ave_vel*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
```

```
[xnom2 fvalnom2 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

```
ave_vel=70;
threshold=10;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/ave_vel*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
```

```
[xnom3 fvalnom3 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

```
ave_vel=75;
threshold=6;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/ave_vel*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
```

EK-2. (devam) Nominal model (δ)'in her bir senaryo için MATLAB R2013 ortamındaki kodu

```
end
end
```

```
[xnom4 fvalnom4 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

```
ave_vel=75;
threshold=8;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/ave_vel*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
end
```

```
[xnom5 fvalnom5 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

```
ave_vel=75;
threshold=10;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/ave_vel*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
end
```

```
[xnom6 fvalnom6 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

```
ave_vel=80;
threshold=6;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
```

EK-2. (devam) Nominal model (δ)'in her bir senaryo için MATLAB R2013 ortamındaki kodu

```
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/ave_vel*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end

[xnom7 fvalnom7 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

```
ave_vel=80;
threshold=8;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/ave_vel*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
```

```
[xnom8 fvalnom8 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

```
ave_vel=80;
threshold=10;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/ave_vel*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
```

```
[xnom9 fvalnom9 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

EK-3. SK (ξ')'nin diğer senaryolar için MATLAB R2013 ortamında yazılan kodu

```
dataset=xlsread('C:\Users\user\Desktop\datasetformatlab.xlsx');
ave_vel=70;
threshold=8;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/(ave_vel*(1-0.1))*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
```

```
[xrob2 fvalrob2 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

```
ave_vel=70;
threshold=10;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/(ave_vel*(1-0.1))*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
```

```
[xrob3 fvalrob3 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

```
ave_vel=75;
threshold=6;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/(ave_vel*(1-0.1))*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
```

EK-3. (devam) SK (ξ')'nın diğer senaryolar için MATLAB R2013 ortamında yazılan kodu

```
end
end
```

```
[xrob4 fvalrob4 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

```
ave_vel=75;
threshold=8;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/(ave_vel*(1-0.1))*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
end
```

```
[xrob5 fvalrob5 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

```
ave_vel=75;
threshold=10;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/(ave_vel*(1-0.1))*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
end
```

```
[xrob6 fvalrob6 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

```
ave_vel=80;
threshold=6;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
```

EK-3. (devam) SK (ξ')'nın diğer senaryolar için MATLAB R2013 ortamında yazılan kodu

```
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/(ave_vel*(1-0.1))*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
```

```
[xrob7 fvalrob7 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

```
ave_vel=80;
threshold=8;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/(ave_vel*(1-0.1))*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
```

```
[xrob8 fvalrob8 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

```
ave_vel=80;
threshold=10;
f=ones(23,1);
A=zeros(23,23);
b=-ones(23,1);
lb=zeros(23,1);
ub=ones(23,1);
```

```
for i=1:23
    for j=1:23
        if dataset(i,j)/(ave_vel*(1-0.1))*60<=threshold
            A(i,j)=-1;
        end
    end
end
```

```
[xrob9 fvalrob9 exitflag output]=bintprog(f,A,b,[],[],lb,ub);
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKINCILAR, Ece
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.12.1991, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : +90 (530) 097 33 87
 e-mail : eeesergazi@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2014
Lise	Kalaba Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	TAI	Üretim Plan. ve Kont. Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Akincilar, A., & Akincilar, E. (2017). A specific issue on sustainability of transportation planning in an urban region: Ambulance location problem. In Ocalir-Akunal, E., Knoflacher, H. (Eds.), Engineering Tools and Solutions for Sustainable Transportation Planning. PA, USA: IGI Global, pp. 303-316.
2. Akıncılar A, Akıncılar E. (2017, October). *A Mathematical Model for Ambulance Location Problem: A case Study in Ankara*, The 4th International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering, Antalya, Turkey.
3. Akıncılar A, Akıncılar E. (2017, October). *What factors should be considered in location planning of ground ambulance centers?*, The 4th International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering, Antalya, Turkey.

Hobiler

Kitap okuma, yürüyüş, film, voleybol



GAZİ GELECEKTİR..