

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meral GÜLDEŞ

BİRLEŞTİRİLMİŞ KARA-HAVA ACİL SERVİS SİSTEMİ MODELİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

ADANA, 2011

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİRLEŞTİRİLMİŞ KARA-HAVA ACİL SERVİS SİSTEMİ MODELİ

Meral GÜLDEŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. M. Oya ÇETİK
DANIŞMAN

Prof. Dr. Rızvan EROL
ÜYE

Prof. Dr. Mesut BAŞIBÜYÜK
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü

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

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİRLEŞTİRİLMİŞ KARA-HAVA ACİL SERVİS SİSTEMİ MODELİ

Meral GÜLDEŞ

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Yrd.Doç.Dr. M. Oya ÇETİK
Yıl: 2011, Sayfa: 56

Jüri : Prof.Dr. Rızvan EROL
: Prof.Dr. Mesut BAŞIBÜYÜK
: Yrd.Doç.Dr. M. Oya ÇETİK

Bu çalışmada acil servis sistemleri yerleşim modelleri incelenerek günümüzde kullanımı yaygın olan hava ambulans sistemlerinin kara ambulansları ile entegrasyonunu sağlanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava Ambulansı, Kara Ambulansı, Yerleşim Modelleri,

ABSTRACT

MSc. THESIS

MODEL OF JOINTED AIR-GROUND EMERGENCY SERVICE SYSTEM

Meral GULDEŞ

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING**

Supervisor : Yrd.Doç.Dr. M. Oya ÇETİK

Year: 2011, Pages: 56

Jury : Prof.Dr. Rızvan EROL

: Prof.Dr. Mesut BAŞIBÜYÜK

: Yrd.Doç.Dr. M. Oya ÇETİK

In this study, location models of emergency service system are studied. It is investigated that air ambulance which are widely used at patient transfer and ground ambulances integration.

Key Words: Air Ambulance, Ground Ambulance, Location Models.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Oya ÇETİK' teşekkür ederim. Sayın jüri üyelerim Prof. Dr. Rızvan EROL, Prof. Dr. Mesut BAŞIBÜYÜK, Doç. Dr. Ali KOKANGÜL ve Yrd. Doç Dr. Serap AKCAN'a, teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Acil Servis Sistemleri.....	1
1.1.1. Türkiye’de Acil Sağlık Hizmetleri.....	1
1.1.2. Hava Ambulansları.....	3
1.2. Problemin Tanımı.....	5
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	5
1.4. Çalışmanın Adımları ve Organizasyonu.....	6
1.4.1. Çalışmanın Adımları.....	6
1.4.2. Çalışmanın Organizasyonu.....	6
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	9
2.1. Yer Seçimi Problemlerinin Sınıflandırılması.....	9
2.2. Ambulans İstasyonlarının Yerleşim Modelleri.....	16
2.2.1. Deterministik Modeller.....	17
2.2.2. Stokastik Modeller.....	19
2.3. Hava Ambulanslarının Yerleşimi ile İlgili Çalışmalar.....	20
3. MATERYAL VE METOD.....	31
3.1. Problemin Formülasyonu.....	32
3.2. Çözüm Yöntemleri.....	36
3.2.1. Doğrusal Programlama	36
3.2.2. Doğrusal Olmayan Programlama.....	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	39
4.1. Birleştirilmiş Kara-Hava Acil Servis Sistemi Modelinin Çözümü.....	39

4.2. Modelin Farklı Kara Ambulansı Maliyetleri ile Çözümü.....	40
4.3. Modelin Farklı Sağlık Merkezi Maliyetleri ile Çözümü.....	41
4.4. Modeldeki Kara Ambulansı Nokta Sayısının Azaltılması ile Modelin Çözüm Süresini İncelenmesi.....	42
4.5. Modelin Farklı Hava Ambulansı Maliyetleri ile Çözümü.....	44
4.6. Modelin Farklı Hava Ambulansı Maliyetleri ve Transfer Noktası Maliyetleri ile Çözümü.....	44
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
5.1. Çalışmanın Özeti.....	47
5.2. Sonuçlar.....	47
5.3. Sonraki Çalışmalar için Öneriler.....	47
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	53
EKLER.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 2.1. Daskin'in Sınıflandırması.....	14
Çizelge 4.1. Kara Ambulansı Maliyetleri.....	39
Çizelge 4.2. Hava Ambulansı Maliyetleri.....	39
Çizelge 4.3. Sağlık Merkezi Maliyetleri.....	39
Çizelge 4.4. Transfer Maliyetleri.....	40
Çizelge 4.5. Birleştirilmiş Kara-Hava Acil Servis Sistemi Modeli Çözümü.....	40
Çizelge 4.6. Değiştirilmiş Kara Ambulansı Maliyetleri.....	41
Çizelge 4.7. Değiştirilmiş Kara Ambulansı Maliyetleri ile Modelin Çözümü.....	41
Çizelge 4.8. Değiştirilmiş Sağlık Merkezi Maliyetleri.....	41
Çizelge 4.9. Değiştirilmiş Sağlık Merkezi Maliyetleri ile Modelin Çözümü.....	42
Çizelge 4.10. Kara Ambulansı Maliyetleri 6 nokta İçin.....	42
Çizelge 4.11. Kara Ambulansı Maliyetleri 5 nokta İçin.....	43
Çizelge 4.12. Kara Ambulansı Maliyetleri 4 nokta İçin.....	43
Çizelge 4.13. Kara Ambulansı Nokta Sayısı- Modelin Çözüm Süresi.....	43
Çizelge 4.14. Değiştirilmiş Hava Ambulansı Maliyetleri.....	44
Çizelge 4.15. Değiştirilmiş Hava Ambulansı Maliyetleri ile Modelin Çözümü.....	44
Çizelge 4.16. Değiştirilmiş Hava Ambulansı Maliyetleri.....	45
Çizelge 4.17. Değiştirilmiş Transfer Maliyetleri.....	45
Çizelge 4.18. Değiştirilmiş Hava Ambulansı Maliyetleri ve Transfer Maliyetleri ile Modelin Çözümü.....	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1. Yeni Tesisin Özellikleri.....	11
Şekil 2.2. Eldeki Tesislerin Özellikleri.....	12
Şekil 2.3. Yeni ve Eski Tesisin Etkileşimi.....	12
Şekil 2.4. Çözüm Uzayı Özellikleri.....	13
Şekil 2.5. Uzaklık Ölçüsüne Göre Sınıflandırma.....	13
Şekil 2.6. Amaca Göre Yerleşim Sınıflandırılması.....	13
Şekil 2.7. Düzlemde Yerleşim Modelleri.....	14
Şekil 2.8. Kesikli Yerleşim Modelleri.....	16
Şekil 2.9. Helikopter Acil Servis Sistemi.....	22
Şekil 3.1. Sadece Hava veya Sadece Kara Ambulansı ile Kapsama.....	31
Şekil 3.2. Hava ve Kara Ambulansları Kombinasyonu ile Kapsama.....	32
Şekil 4.1. Modelin Çözüm Süresinin İncelenmesi.....	43

SİMGELER VE KISALTMALAR

LSCM	: Location Set Covering Model
MLCM	: Maximum Location Covering Model
TEAM	: Tandem Equipment Allocation Model
FLEET	: Facility Location-Equipment Emplacement Technique
BACOP1	: Backup Covering Model 1
BACOP2	: Backup Covering Model 2
DSM	: Double Standard Model
MEXCLM	: Maksimum Expected Covering Location Model
MALP I	: Maximum Availability Location Problem I
MALP II	: Maximum Availability Location Problem II
TIMEXCLP	: Time dependent MEXCLP
QPLSCP	: Queuining Probabilistic Location Set Covering Problem
TTM	: Two Tiered Model
DDSM	: Dynamic Double Standard Model
LINGO	: Linear Integer and Nonlinear General Optimizer

1. GİRİŞ

1.1. Acil Servis Sistemleri

Acil servis sistemleri, bireyin yaşamını tehdit eden veya acil sağlık bakımını gerektiren durumlarda, nakil süresince bireyin yaşamsal fonksiyonlarını sürdürmesine yardımcı olan ve mümkün olan en kısa sürede acil servislere ulaşımını sağlayan çok önemli bir halk sağlığı hizmetidir (Kıdak ve ark, 2009). Gerekli müdahalenin zamanında ve uygun bir şekilde yapılması durumunda, servise ihtiyaç duyan kişinin hayatını kurtaracak bir etkiye sahip olduğu için çok büyük öneme sahiptir. Bununla beraber acil sağlık hizmetleri, tüm sağlık hizmetleri içerisinde en pahalı gruba dahildir. Pahalı yöntem ve malzeme gerektirmesi yanında, etik ve yasal yönden asgari standartların zorunlu olması bu hizmetlerin dikkatli planlanmasını gerektirmektedir. Bu hizmetin etkin bir şekilde planlanması ile kaza anında sakatlık ve ölüm oranları azalır. Böylelikle, planlı acil servis sistemleri sayesinde ekonomik kayıpların da önüne geçmek mümkün olur. (Demirhan, 2003).

Bu sistemler için müdahale zamanı insanın hayatta kalabilirliği ile doğru bir orantıya sahip olduğundan çok önemli bir performans ölçütüdür. Bu sistemin başarıya ulaşmasındaki en önemli faktörlerden biri de iyi bütünleşmiş hızlı bir ambulans sistemidir. Bu nedenle, özellikle ciddi şekilde yaralanmış insanların, ihtiyaç duyabileceği özel hizmeti alabileceği sağlık merkezine götürülmeleri, uzak mesafeli tıbbi nakiller ve organ taşıma gibi kaybedilecek her anın insan yaşamı için büyük tehlike arz ettiği tıbbi durumlarda kullanılmak üzere hava ambulans sistemleri acil sağlık sistemleri içerisindeki yerlerini almışlardır.

1.1.1. Türkiye’de Acil Sağlık Hizmetleri

Türkiye’de acil sağlık hizmetleri ilk kez 1986 yılında 3 büyük il (Ankara, İzmir, İstanbul) de 077 no’ lu telefon ile ulaşılan bir hizmet ağı olarak kurulmuştur. Sağlık Bakanlığı’nın önerisiyle; illerde vali başkanlığında, il sağlık müdürlüğü,

büyükşehir belediye başkanlığı ve illerdeki devlet hastanelerinin başhekimlerinin katılımı ile “077 Hızır Acil Servisi” adıyla hizmet vermeye başlanmıştır. Büyükşehir belediyesi sürücü, araç, telsiz haberleşmesi olanakları, akaryakıt, tıbbi malzeme ile acil yardım istasyonları ve çağrı karşılama merkezi için yer tahsis etmiştir. Sağlık Bakanlığı ise sağlık personeli ve kısmen tıbbi malzeme sağlamıştır. Hizmetin kuruluş aşamasında hekimlerin bir kısmı Ankara’da hizmetle ilgili eğitim alsa da hem içerik olarak yetersiz olmuştur, hem de sistemde çalışan tüm hekimlerin eğitim alması sağlanamamıştır. Bu dönemde verilen hizmet; telefon numarasının akılda kalıcı olması ve yaygın duyuru yapılması nedeniyle yoğun taleple karşı karşıya kalmıştır. Ancak hizmetler daha çok taşımacılık ağırlıklı olarak sürdürülmüştür ve asılsız ihbar oranı da oldukça yüksek oranda gerçekleşmiştir (Esin ve ark, 2001) .

1994 yılında Sağlık Bakanlığı’nın başlattığı bir proje ile hizmet, 112 no’lu telefonla ulaşılan “112 Acil Yardım ve Kurtarma Hizmetleri” olarak geliştirilmiştir. Öncelikle 3 büyük ildeki hizmetlerin iyileştirilmesi ve bununla birlikte 4 ilde daha 112 acil yardım hizmetlerinin kurulması hedeflenmiştir. 1998 yılı içinde de, yıl sonu itibarı ile 49 ilde sistemin kurulması çalışmaları başlatılmıştır. 1994’te başlatılan projede, temel yaşam desteği ambulansları alınmış, telsiz ağı yenilenmiş, telefon santrali oluşturulmuş ve yeni acil yardım istasyonları kurulmuştur (Esin ve ark, 2001).

Acil sağlık hizmetleri içerisinde hizmet veren ambulans sistemlerinin yapısı, teknik ve tıbbi donanımı konusunda da çok çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Hâkim olan görüş, ambulans hizmetlerinin iki grupta toplanması gerektiği şeklindedir:

a) Basit nakil amaçlı: Stabil vakaların acil olmayan nakli için kullanılacak, randevulu çalışan, tıbbi donanımı basit olan ambulanslar;

b) Acil tıbbi yardım amaçlı: Hastane hizmetlerinin olay yerine ulaştırılması prensibine dayalı, ileri düzey yaşam desteğini erken dönemde başlatabilmek üzere her an hazır bekleyen (tam donanımlı) ambulanslar.

Ancak her iki gruptaki ambulanslar, ülkelere ve hatta bölgelere (eyaletlere) göre önemli değişiklikler gösterebilmektedir. Ambulans boyutu ve donanımı açısından, hızlı nakli amaçlayan küçük seri araçlardan, içinde cerrahi operasyonun

başlatılabileceği komplike araçlara kadar gelişebilen geniş bir yelpaze oluşturmaktadır.

Günlük hayatta ortaya çıkan acil hastalık ve yaralanma hallerinde en kısa sürede olay yerine ulaşarak yerinde tıbbi müdahaleyi gerçekleştirmek ve hastanın uygun tedavi göreceği hastaneye naklini gerçekleştirmek amacıyla kurulmuş bulunan 112 acil sağlık hizmetlerinde de bu gün itibariyle 1264 istasyon ve 1780 ambulansla ülke genelinde 24 saat hizmet verilmektedir. Gelişmiş ülkelerin standardında hizmet veren ambulans sistemi, kalite ve ulaşılabilirliğini artırmak amacıyla kar paletli ambulanslar ve deniz ambulansları ile güçlendirilmiş ve 2008 yılından itibaren de hava ambulansları hizmet vermeye başlamıştır.

Sonuç olarak, hız, kalite ve teknolojinin ön plana çıktığı çağımızda hava ambulanslarının giderek artan bir şekilde acil sağlık hizmetlerinin içinde yer alması, acil sağlık hizmetlerinin giderek artan bir şekilde gelişmesine olumlu bir katkı sağlamaktadır.

1.1.2. Hava Ambulansları

Hava ambulansı; geleneksel olarak kullanılan kara ambulanslarının hızlı veya kolay bir şekilde olay yerine ulaşamadığı veya hastanın gereksinimlerinin karşılanabileceği bir mesafeye ulaşımın ancak hava yoluyla karşılanabileceği durumlarda acil bakım hizmeti içerisinde görevlendirilen araçlardır.

Tıbbi amaçla hava yolu taşımacılığı ilk olarak, insanoğlunun balonu keşfederek uçuşu ile başlamıştır ve havacılığın teknik olarak ilerlemesine paralel olarak gelişimini sürdürmüştür. Tarihte ilk hava yolu ile hasta/yaralı nakli Fransızların 1870 yılında Prusya kuşatması altındaki Paris'ten 160 askeri balonlarla çıkarmalarıdır. 1918 yılında Amerikalı pilot Curtiss JN-4D uçağında yaptığı değişikliklerle ön kokpitte hasta/yaralı taşımış, bu aynı zamanda ilk ambulans uçak olmuştur. Amerika Birleşik Devletleri; İkinci Dünya savaşında, Kore Savaşında ve Vietnam Savaş'ında yaralı askerlerini hava yoluyla hastanelere nakletmişlerdir ([www.attder.org.tr/images/pdf/6\)Hava_Ambulansi.pdf](http://www.attder.org.tr/images/pdf/6)Hava_Ambulansi.pdf)).

Acil sağlık hizmetlerinde kullanılan hava ambulansları iki çeşittir: Helikopter ambulanslar (döner kanat) ve uçak ambulanslar (sabit kanat). Komuta Merkezinin kontrolünde görev yapan hava ambulansları, Sivil Havacılık Kurallarına uygun faaliyet gösterir. Olay yerine doktorun hızlı ulaştırılması, kırsal bölge ve otoyollardaki acil durumlarda, ayrıca kritik hastanın uzun mesafe naklinde kullanılır.

Hasta/yaralı taşımada kullanılacak yöntemin seçiminde;

1. 30-60 dakika arasında sürecek veya 60 km.' ye kadar olan uzaklık için karayolu önerilir.
2. 60-250 km. arasındaki uzaklık için helikopter önerilir.
3. 250 km.' den daha uzak için uçak ambulanslar önerilmiştir.

Helikopter ile hasta/yaralı naklinin avantajlarını şöyle sıralayabiliriz;

- Karayoluyla yapılan hasta/yaralı naklinden 2-3 kat daha hızlıdır.
- Yol ve ulaşım problemi olmaz.
- Olay yeri ile uzaktaki hastaneler arasında telsiz teması kurabilme kolaylığı vardır.
- Taşıma görev alan personel ekip çalışması yapabilmektedir (Menteş, 2006).

Helikopter ile hasta/yaralı naklinin dezavantajlarıysa şöyle sıralayabiliriz.;

- Çalışma alanı dardır.
- İklim şartları hasta/yaralı nakline olumsuz yönde etki edebilir.
- Taşıma sırasında titreşime bağlı olarak personel ve hasta/yaralıda yorgunluk hissi oluşabilir.
- Cihazlarda oluşacak titreşim, irtifa ve elektrik sorunları mekanik sorunlara neden olabilir,
- 250 km'den daha uzun mesafeli uçuşlar için elverişli değildir (Menteş, 2006).

Uçaklara hasta/yaralı naklinin avantajlarını şöyle sıralayabiliriz;

- En hızlı nakil şeklidir.
- Uzaklık sorunu yoktur.
- Helikoptere oranla daha geniş bir alan vardır.
- Kabin basıncını sabitleme imkânı vardır (uçak tipine bağlı olarak).

- Daha fazla sağlık personelinin aynı anda çalışmasına olanak sağlar (Menteş, 2006).

Uçakla hasta/yaralı naklinin dezavantajlarınıysa şöyle sıralayabiliriz;

- Havaalanına gereksinim vardır,
- Havaalanı ve ilgili merkez arasında ambulansla nakil zorunluluğu vardır,
- Havanın türbülansına bağlı olarak çalışma güclüğü olabilir,
- Diğer nakil türlerine göre daha fazla gürültü vardır,
- Bazı hasta/yaralılarda uçuş korkusuna bağlı olarak sorunlar yaşanabilir,
- Nakledilecek hasta/yaralılar üzerinde hipoksi, disbarizm, akselerasyon (iniş, kalkış), nem oranı, titreşimin olumsuz etkileri vardır (Menteş, 2006).

1.2. Problemin Tanımı

Acil sağlık hizmetlerinde hasta ya da yaralıya ulaşma ve sağlık merkezine nakli sırasında kaybedilen dakikalar ölümle sonuçlanabilecek telafisi mümkün olmayan sonuçlar doğurabilmektedir. Hava ambulans araçları özellikle uzun mesafe ve yoğun trafiği olan metropol bölgelerde hızlı ulaşımın sağlandığı yegane araçlardır.

Bu çalışmada acil müdahaleye ihtiyaç duyan hastaların sağlık merkezine nakledilmeleri için hem kara hem de hava ambulanslarının kullanımı dikkate alınmıştır.

Hasta naklinin hangi şekilde yapılacağı kararını birçok faktör etkilemektedir. Eğer bir kaza noktası sağlık merkezine yakınsa kara ambulansı, uzak ise hava ambulansı tercih edilir. Ayrıca kara ve hava ambulansları helikopterin inebileceği elverişli bir alan yoksa birlikte de çalışabilirler. Bu durumda ilk müdahaleyi kara ambulansı yapar daha sonra hastayı, hava ambulansına naklinin yapılacağı en yakın transfer noktasına götürür.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmanın amacı, kaza yerinde hava ambulansının inebileceği bir alanın olup olmaması dikkate alınarak, hem kara ve hava ambulanslarının hasta naklini ayrı ayrı

gerçekleştirebileceği durum, hem de kara ve hava ambulanslarının birlikte çalışarak hasta naklini gerçekleştirebilecekleri durum için toplam maliyeti minimum yapacak en uygun tercihin yapılmasıdır.

1.4. Çalışmanın Adımları ve Organizasyonu

1.4.1. Çalışmanın Adımları

Çalışma süresince aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

1) Problemin tanımı: Çalışmada ele alınacak problemin tanımı yapılmıştır.

2) Literatürün incelenmesi: Çalışmaya kaynak olacak ve ışık tutacak acil servis sistemleri yerleşim problemleri üzerine olan çalışmalar incelenmiştir.

3) Probleme uygun çözüm yöntemlerinin belirlenmesi: İncelenen literatür içerisinde mevcut probleme en uygun modeller ve çözüm yöntemleri dikkate alınmıştır.

4) Problemin matematiksel modelinin oluşturulması: Problemin matematiksel modeli oluşturulmuş ve geliştirilmiştir.

5) Modelin çözümü: Model doğrusal olmayan programlama yöntemi ile çözülmüştür.

6) Değişik senaryolarla modellerin yeniden çalıştırılması: Eldeki model ve algoritma üzerinde bir takım değişiklikler yapılarak farklı çözümler elde edilmiştir.

7) Sonuçların değerlendirilmesi: Çalışma sonucu elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

8) Sonraki çalışmalar için öneriler geliştirilmesi: Daha sonraki çalışmalar kaynak olacak sonuçlar ile farklı senaryolar üzerinde çalışılabileceği vurgulanmıştır.

1.4.2. Çalışmanın Organizasyonu

Çalışmanın amacı ve kapsamı giriş bölümünde belirtildikten sonra, ikinci bölümde genel yerleşim problemleri ve acil sağlık sistemlerinde uygulanan matematiksel modellere yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan materyaller ve metot hakkında bilgi verilmiştir ve ele alınan problem için matematiksel model oluşturulmuştur.

Dördüncü bölümde ise elde edilen bulgular sunulmuştur. Son bölüm olan sonuç bölümünde de sonuçlar ve ileride yapılabilecek çalışmalar için öneriler yer almaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yer seçimi problemleri, yöneylem araştırması literatüründe yoğun olarak çalışılan problemler arasında yer alır. Bu problemler; ambulans, polis ve itfaiye merkezleri, okul, hastane, park gibi istenilen ya da atık su arıtma tesisi, nükleer güç istasyonları, havaalanları, çöp toplama ve imha merkezleri, kimyasal tesisler gibi istenmeyen bir ya da birden fazla tesisin yer seçimini ilgilendiren uygulamaları kapsamaktadır (Daskin, 2008). Tesis veya tesislerin yer seçimine karar verilirken, ulaştırma maliyetinin en küçüklenmesi, müşterilere adil hizmet sunumu, en büyük pazar payının elde edilmesi gibi bir amaç fonksiyonu optimize edilmeye çalışılır. Yer seçimi problemleri, tesislerin en uygun yer seçimleri ile ilgilenir.

Tesis yer seçimine gerçek ilgi ise Alfred Weber'in 1909'da düzlemsel Öklidyen minisum problemlerini tanıtmalarıyla başladı. Weber, bir fabrikayı en uygun yere yerleştirerek müşteriler ile fabrika arasındaki toplam uzaklığın en küçük olması üzerinde durdu. Weber problemleri, yıllarca literatürde kalmasına rağmen; 1960'lara kadar tesis yer seçimi adını taşıyan bir çalışma alanı ortaya çıkmamıştır.

2.1. Yer Seçimi Problemlerinin Sınıflandırılması

- **Topolojik özellikler:** Tesis ve talep alanlarının topolojik özellikleri farklı yerleşim modellerine neden olmuştur. Bunlar sürekli yerleşim modelleri, kesikli ağ modelleri ve hub bağlantı modelleri sayılabilir. Bu modellerin her birinde tesisler topolojik özelliklerin izin verdiği alanlara yerleştirilebilir.
- **Amaç:** Yerleşim modellerinin sınıflanmasında önemli bir kriterdir. Kapsama modelleri tüm talebi karşılarken tesis sayısını minimize etmeye veya eldeki tesislerle maksimum kapsamı başarmayı amaçlarken, p-merkez modelleri talep noktaları ile tesisler arasındaki maksimum mesafeyi ya da seyahat zamanını minimize etmeye çalışırlar. p-merkez modelleri sık sık hastaneler, postaneler, itfaiye istasyonları gibi devlete ait tesislerin yerleşimlerini optimize etmek amacıyla kullanılırlar. p-medyan modelleri talep noktaları ve en yakınlarındaki tesisler ile aralarındaki toplam ya da ortalama uzaklığı

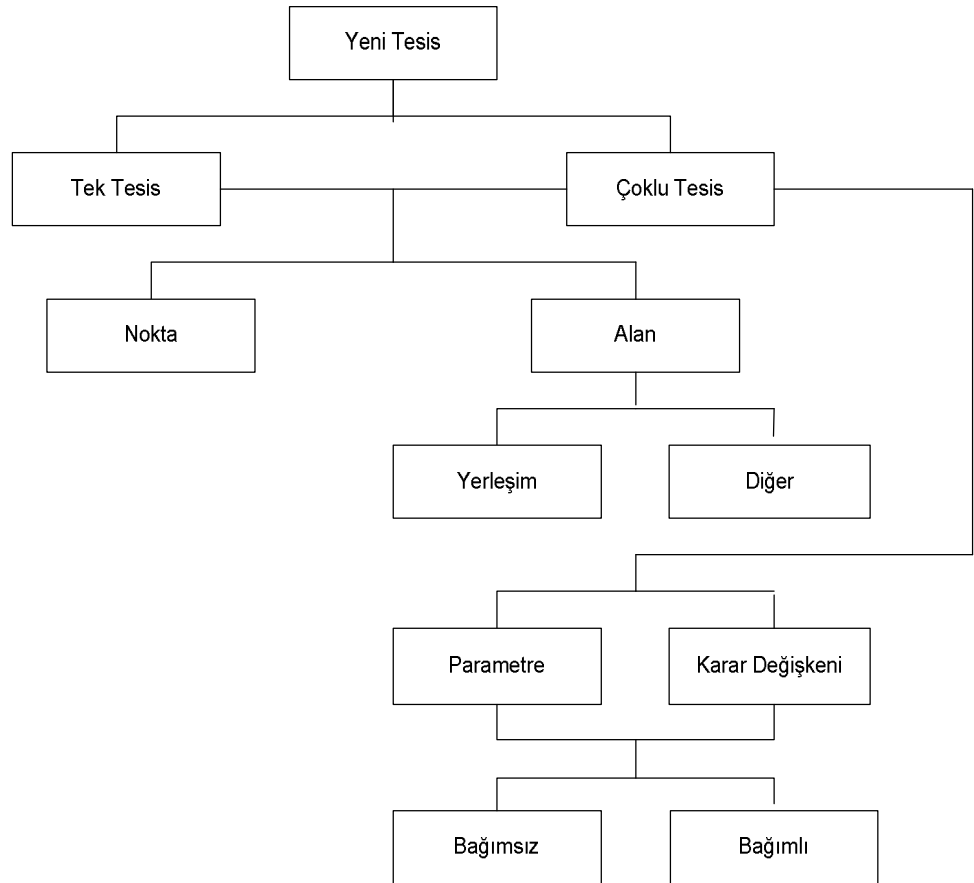
minimize etmeye çalışırlar. Özel sektördeki şirketler rekabetçi yönlerini geliştirmek amacıyla p-medyan modelini tesis yerleşimi için sıkça tercih ederler.

- **Çözüm metotları:** Farklı çözüm yolları farklı yerleşim modelleri ile sonuçlanır. Optimizasyon modelleri ve tanımlayıcı modeller gibi. Optimizasyon modelleri, önemli amaçlar arasında birbirine göre denge sağlayacak alternatif çözümleri araştırmak için lineer programlama ya da tamsayılı programlama gibi matematiksel yaklaşımlar kullanırlar. Tanımlayıcı modeller ise arzu edilen başarı derecesindeki gelişmiş tesis şablonu ortaya çıkana kadar simülasyon ya da diğer yaklaşımları kullanırlar. Dinamik ve interaktif yerleşim modelleri ele almak için optimizasyon ve tanımlı modellerin birlikte kullanıldığı modellerde vardır (mobil servisler)
- **Tesislerin özellikleri:** Tesis kısıtları yerleşim modellerini kapasiteli ve kapasitesiz olarak ayırabilir. Tesis bağımlılığı ise tesisler arası işbirliğinin göz önüne alınmasını veya önemsenmemesine neden olur.
- **Talep şablonu:** Modeldeki talep esnekse sahipse bir alandaki tesislerin farklı yerleşim kararlarıyla artma veya azalma gösterebilir. Talep esnek değilse talep şablonu tesis yerleşim kararından etkilenmez.
- **Tedarik zinciri türü:** Yerleşim modelleri tedarik zincirine göre tek kademeli veya çok kademeli olmak üzere ayrılabilirler. Tek kademeli modeller sadece bir kademeli servis dağıtım sistemleri üzerine odaklanırken çoklu modeller servisin farklı hiyerarşik seviyelerden akışıyla ilgilenir.
- **Zaman anlayışı:** Statik ve dinamik modeller olarak ayrılırlar. Statik modeller tüm karar değişkenlerine anında karar vererek sistem performansını optimize ederlerken dinamik modeller periyotlara göre farklılık gösteren verilerle farklı periyotları düşünür ve her bir zaman periyodu için farklı koşullara adapte olabilecek çözümler verirler.
- **Girdi parametreleri:** Belirleyici modellerde parametreler belirli değerlerle tahmin edilir ve böylece problem kolay ve hızlı çözüm için basitleştirilir. Ancak birçok reel problemde girdi parametreleri bilinmez ve doğasından gelen stokastik/olasılıklı bir yapısı vardır. Stokastik/olasılıklı modeller gerçek

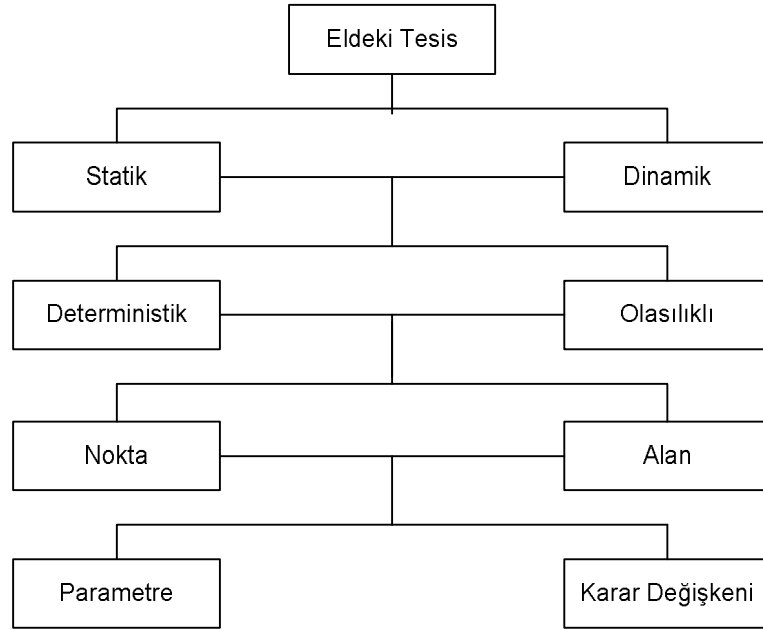
problemlerden miras bu karmaşıklığı rastgele değişkenlerin olasılık dağılımları ile ya da belirli olmayan parametreler için gelecek senaryo setleri hazırlayarak ele alırlar (Jia ve ark., 2007).

Yerleşim modelleri ayrıca diğer özelliklerine göre tek-çoklu ürün, itme-çekme modelleri olarak da ayrılabilirler. Yer seçimi literatüründe yer alan sınıflandırmalardan bazıları şöyledir:

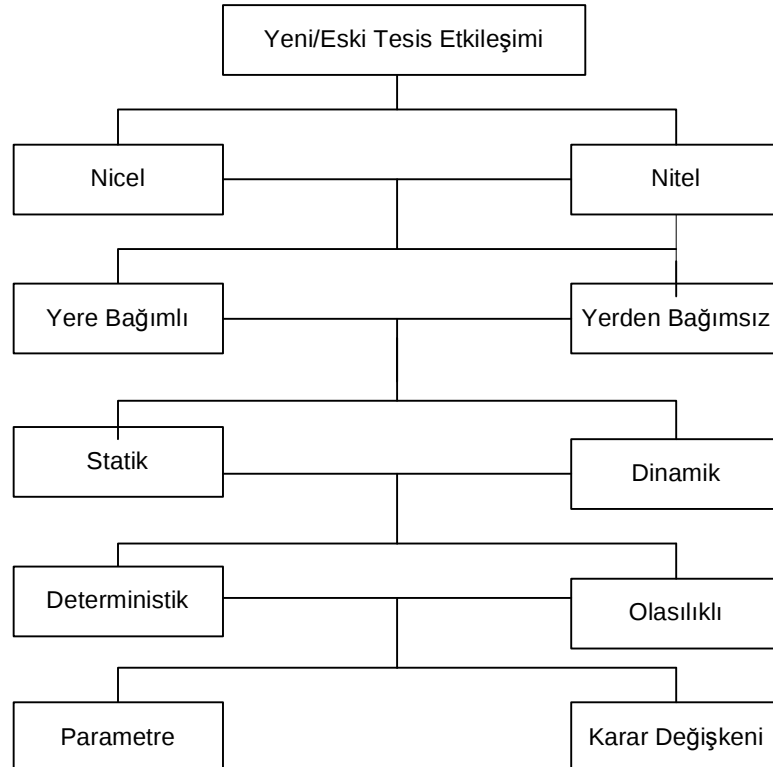
Francis ve White (1974): İlk sınıflandırmalardan biridir. Bu sınıflandırmada altı temel eleman düşünülür.



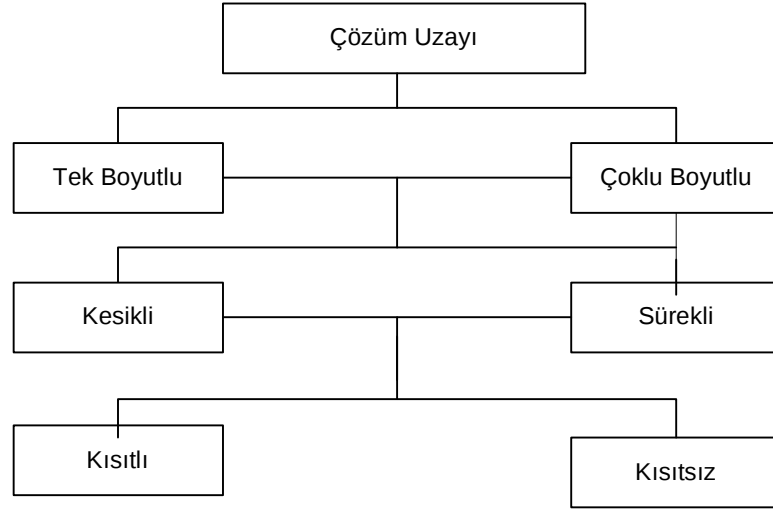
Şekil 2.1. Yeni Tesisin Özellikleri (Tafazzoli ve Mozafari, 2009)



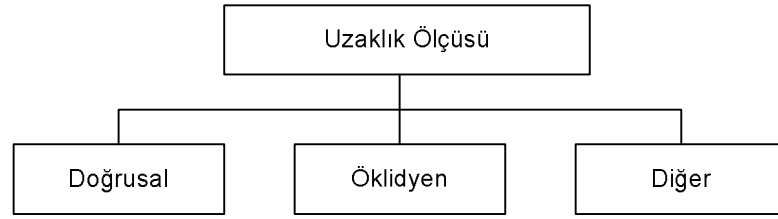
Şekil 2.2. Eldeki Tesislerin Özellikleri (Tafazzoli ve Mozafari, 2009)



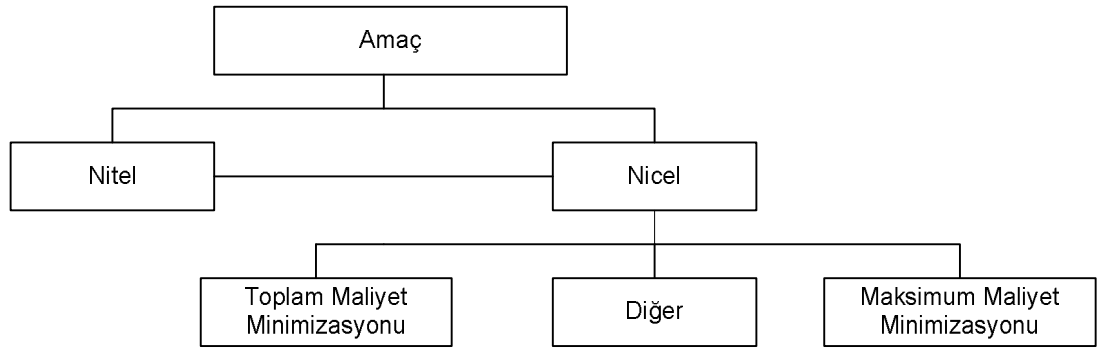
Şekil 2.3. Yeni ve Eski Tesisin Etkileşimi (Tafazzoli ve Mozafari, 2009)



Şekil 2.4. Çözüm Uzaı Özellikleri (Tafazzoli ve Mozafari, 2009)



Şekil 2.5. Uzaklık Ölçüsü (Tafazzoli ve Mozafari, 2009)



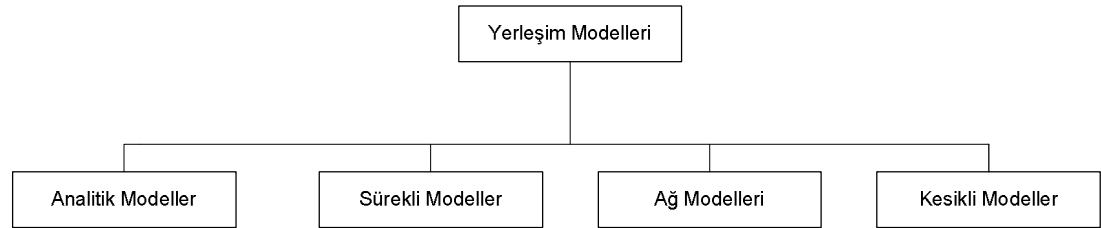
Şekil 2.6. Amaç (Tafazzoli ve Mozafari, 2009)

Daskin (1995): Sınıflandırmayı 14 ayrı kriter altında yapmıştır.

Çizelge 2.1. Daskin'in Sınıflandırması (Tafazzoli ve Mozafari, 2009)

Kriter	Sınıflandırma		
Topolojik Yapı	Düzlemsel	Kesikli	Ağ
Ağ Çeşidi	Ağaç Problemleri	Genel Grafik	
Mesafe Ölçüsü	Manhattan	Öklid	L_p
Yerleştirilecek Tesis Sayısı	Tek	Çoklu	
Zamana Bağımlılık	Statik	Dinamik	
Kesinlik	Deterministik	Olasılıklı	
Ürün Ayrımı	Tek Ürün	Çoklu Ürün	
Kamu/Özel Sektör	Kamu	Özel	
Amaç Sayısı	Tek	Çok	
Talep Esnekliği	Esnek	Esnek Değil	
Tesis Kapasitesi	Sınırlı	Sınırsız	
Talep Dağılım Türü	En Yakın Tesis	Genel Talep Dağıtımı	
Hiyerarşik Yapı	Tek-düzey	Hiyerarşik	
Tesisin İstenilirliği	İstenen	İstenmeyen	

Revelle (2008):



Şekil 2.7. Düzlemde Yerleşim Modelleri (Tafazzoli ve Mozafari, 2009)

Analitik modeller kurulurken çok sayıda basitleştirici varsayımlar yapılır. Bu modeller örneğin, taleplerin bir hizmet alanı içinde uniform dağıldığını ve tesislerin bu alan içinde herhangi bir yere kurulabileceğini varsayar. Tesisin hizmet alanı içerisinde nereye kurulduğunun önemi olmadığından sabit maliyetin f olduğu ve birim uzaklık için bir birimi taşıma maliyetinin c olduğu kabul edilir. Analitik

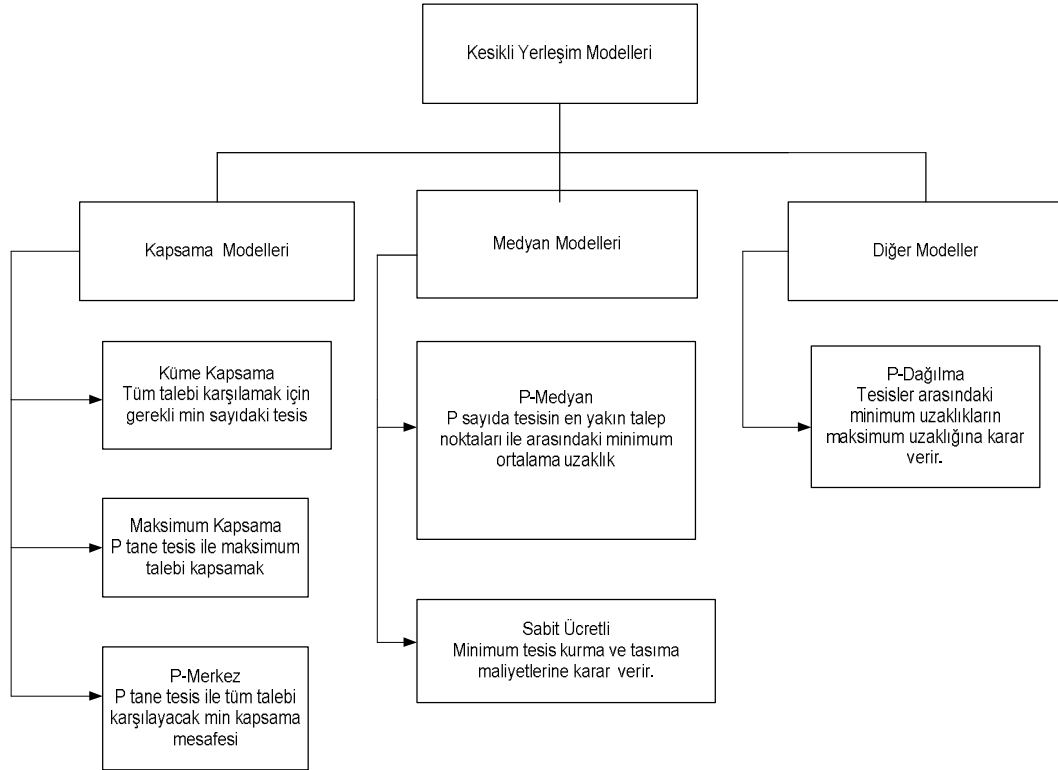
modeller, aritmetik ya da diğer basit teknikler kullanılarak çözülebilir (Darende, 2009).

Sürekli modeller, tesislerin hizmet alanı içinde herhangi bir yere yerleştirilebileceğini varsayar. Sürekli yer seçimi modelleri Weber (1909), Love (1988), Brendeau and Chiu (1989), Francis (1992) ve Drezner (1995) tarafından çalışılmıştır. Klasik Weber problemi bu sınıfta yer alır. Weber probleminde, (x_i, y_i) $i=1, \dots, n$ koordinatlarına ve w_i $i=1, \dots, n$ taleplerine (ağırlıkları) sahip m tane talep noktasına hizmet verecek (x_0, y_0) koordinatlarına sahip bir tesisin yeri seçilir. Amaç, tesis ve talep noktaları arasındaki talep ağırlıklı toplam uzaklığının en küçüklenmesidir (Darende, 2009).

Ağ modelleri, talebin ve kurulacak tesislerin sadece düğümlerden ve ayrıtlardan oluşan bir ağ üzerinde olduğunu varsayar. Talep noktaları, çoğu kez ağın düğümleri üzerinde oluşurken; kurulacak tesisler ağın düğümleri ve ayrıtlarında yer alır (Daskin, 2008). Hakimi (1964, 1965) her talep düğümü ile kendisine en yakın tesis arasındaki toplam uzaklık en küçük olacak biçimde ağ üzerinde tesisleri yerleştirme problemini incelemiştir. Hakimi ayrıca, tesisler için aday yer olarak ağın düğümlerini incelemenin yeterli olduğunu da göstermiştir. Bu özellik “Hakimi özelliği” olarak bilinmektedir. Üretim ve taşıma maliyetlerini azaltmak için bir dağıtım sistemine fabrikalar kurulması, şehre hızlı erişimi sağlamak için kırsal bir kesime acil servis hizmetinin yerleştirilmesi, iletim maliyetlerini optimize etmek için merkezle merkeze uzak bağlantı birimlerini birbirine bağlayan bilgisayar iletişim ağlarının tasarlanması örnek olarak verilebilir (Scaparra and Scutella, 2001). Ağ yer seçimi literatürü, özellikle ağaç gibi özel yapıdaki ağlar üzerindeki problemlere, polinomiyal zamanlı algoritmaların bulunması üzerinde yoğunlaşmıştır. Ağ yer seçimi problemlerinde, talep noktaları sadece ağacın düğümleri üzerinde oluşur ve i düğümündeki talep h_i ile verilebilir. Tek bir tesis, ağaç üzerinde herhangi bir yere yerleştirilebilir. Bu problem türünde amaç, tesis ve düğümler arasındaki talep-ağırlıklı toplam uzaklığı en küçük yapmaktır. Bu problem, ağaçta “1-medyan problemi” olarak adlandırılır (Darende, 2009).

Yer seçimi modellerinin dördüncü ve son grubunu kesikli yer seçimi modelleri oluşturur. Kesikli yer seçimi modellerinde bir kesikli I talep noktaları

kümesi ve bir J önceden belirlenmiş aday yerlerin kümesi vardır. Bu tür problemler çoğu kez tamsayılı ya da karma tamsayılı programlama problemleri olarak formüle edilirler. Bu problemlerin çoğu NP-zordur. Daskin (2008), kesikli yer seçimi modellerini aşağıdaki gibi özetlemiştir (Darende, 2009).



Şekil 2.8. Kesikli Yerleşim Modelleri (Tafazzoli ve Mozafari, 2009)

2.2. Ambulans İstasyonlarının Yerleşim Modelleri

Öneminin büyüklüğü dolayısıyla, acil yardım istasyonlarının yerleşimi ve planlaması konusu literatürde oldukça kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır ve konu ile ilgili çok fazla sayıda yayın bulunmaktadır. Ele alınan problemlerin çözümü için YA teknikleri ve sezgisel yöntemler ile ileri sezgisel (metaheuristic) yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler, YA uygulamalarındaki ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak farklılık ve ilerleme göstermiştir. Konu ile ilgili olarak literatürde ele alınan çok sayıda model farklı şekillerde sınıflandırılabilir gibi temel olarak deterministik (deterministic) ve stokastik (probabilistic) olarak iki farklı

şekilde incelenebilir. Deterministik modellerde araçların meşgul olma durumu göz önünde bulundurulmazken, stokastik modellerde araçların talep noktasına ulaşma ve servis suresine bağlı olarak eşit ya da farklı şekilde atanan meşguliyet olasılığı hesaba katılır.

2.2.1. Deterministik Modeller

Yerleşim Küme Kapsama Modeli (LSCM): Toregas ve ark (1971)'de oluşturulan bu modelin amacı tüm talep noktalarını kapsayacak ambulans sayısını minimum yapmaktır. Bu modelin özelliği, talep noktalarının nüfus bilgilerinden bağımsız olarak en az bir araç tarafından kapsanmasını gerekli kılmasıdır ve literatürdeki birçok modele temel oluşturmuştur. Bu model gerçek hayatta ortaya çıkabilecek bir çok problemi göz ardı etmektedir. Bunlardan en önemlisi bir ambulans gelen bir çağrıya yönlendirildiğinde bazı noktaların artık kapsanamamasıdır. Bu model tam kapsamanın sağlanması için gerekli minimum ambulans sayısı için alt bir limit belirler (Brotcorne ve ark,2002).

Maksimum Kapsama Yerleşim Modeli (MCLM): Church ve ReVelle (1974) tarafından oluşturulan bu modelde LSCM'ye bir alternatiftir. LSCM'de tüm bölgeler eşit kabul edilirken, bu modelde bölgeler taleplerine göre ağırlıklandırılır, Amaç belirli sayıdaki ambulans ile en az bir defa kapsanan talebin maksimum yapılmasıdır.

Eaton ve ark. (1985) yaptıkları bir çalışmada MCLP modelini Austin Texas'taki acil servis sistemlerinin yeniden organizasyonu için kullanmışlardır (Brotcorne ve ark,2002)

Çift Ekipmanlı Dağıtım Modeli (TEAM): Schilling ve ark. (1979) tarafından önerilen bu modelde MCLP bir uzantısıdır. Aynı kısıtlar iki araç tipi için kullanılmıştır. Amaç iki araç tipi tarafından kapsanan talebin maksimizasyonudur. Bu model her araç tipi için bir kapsama zaman limitine sahiptir. Örneğin A tipi araç bölgeleri R_A zamanda kapsarken, B tipi araç bölgeleri R_B zamanında kapsamaktadır. Ayrıca bu modele göre B araç tipi yalnızca A aracının olduğu noktalara yerleştirilebilir.

Araç Yerleşim, Ekipman Yerleştirme Modeli (FLEET) (Schilling ve ark.,1979) : Bu modelde TEAM'den farklı olarak sadece p yerleşim yeri kullanılabilir (Brotcorne ve ark., 2002).

Hiyerarşik Amaçlı Küme Kapsama Yerleşim Modeli: Daskin ve Stern (1981) tarafından sunulan bu modelde tüm talep noktalarının en az bir defa kapsanması koşulu ile kapsanan nüfus maksimize edilmeye çalışılırken, bir defadan fazla kapsanan talep noktalarının sayısı da maksimize edilmektedir. Amaç, tüm bölgelere belirli bir uzaklık veya zaman baz alınarak en az bir araçla hizmet sağlayabilecek minimum araç sayısının belirlenmesidir. Ambulansların meşgul olma durumlarında başka bir ambulansın hizmet verebilme durumunu sağlamaktır.

Yedek Kapsama Problemi (BACOP): Hogan ve ReVelle (1986) tarafından oluşturulan iki farklı modelde MCLP'yi temel almıştır. Bunlardan birincisinde (BACOP1) verilen araç ve istasyon kısıtları altında en az iki kere kapsanan nüfus maksimize edilmeye çalışılmıştır. Diğer modeldeyse (BACOP2), verilen araç ve istasyon kısıtları altında önemine göre ağırlıklandırılmış nüfusun bir veya iki defa kapsanması maksimize edilmeye çalışılmıştır.

Duble Standard Model (DSM): Gendreau vd. (1997) tarafından önerilen DSM'de ise talep noktalarına birbirinden farklı iki zaman dilimi içinde, çoklu kapsama sağlayacak şekilde hizmet sunulması hedeflenmektedir. Bu modelin amaç fonksiyonunda küçük olan zaman dilimi içinde en az iki kere kapsanan nüfus enbüyüklenmeye çalışılmaktadır. Kısıtlar arasında ise, büyük olan zaman dilimi içinde her yerin en az bir defa ve küçük zaman diliminde de tüm nüfusun belli bir oranının kapsanması yer almaktadır. Diğer deterministik modellerden farklı olarak bu modelde, bir istasyona sadece bir tane araç atanması koşulu yoktur. Ancak, her istasyona belli bir sayının üzerinde araç atanması engellenmektedir.

Selim ve Özkarahan (2003) ise sırasıyla bir araç ve iki araç tarafından kapsanan nüfusu enbüyükleyen ve kapsanamayan bölgelere yapılan hizmetin ortalama ulaşma mesafesini enküçükleyen çok amaçlı deterministik model önermekte ve modeli tek amaç fonksiyonuna indirgeyerek LINDO yazılımı ile çözmektedir (Çatay ve ark, 2008).

2.2.2. Stokastik Modeller

Maksimum Tahmini Kapsama Modeli (MEXCLM): Daskin (1983) tarafından geliştirilen MEXCLP stokastik modellerin temelini oluşturmaktadır. Bu modelde herhangi bir zamanda meşgul olan araç sayısı binom dağılıma uygun olarak tahmin edilmiştir. Araçların meşguliyeti durumunda uygun yerleşimle kapsanacak maksimum talebin elde edilmesi amaçlanmaktadır.

MALP I ve II: Revelle ve Hogan (1989), MALP şeklinde iki ayrı stokastik model önermiştir. Bunlardan birincisi, MEXCLP’de olduğu gibi tüm araçlar için eşit olduğu varsayılan meşguliyet olasılığına bağlı olarak belirlenen bir güvenilirlik değerine dayalıdır. Öyle ki, talep noktasına hizmet verebilecek düzeyde en az bir tane aracın var olma olasılığı, en az bu güvenilirlik derecesine eşit olmalıdır. Buna göre, bu güvenilirlik derecesine bağlı olarak talep noktalarının en az sayıda ihtiyaç duyduğu araç sayısı tespit edilmektedir ve doğal olarak bu sayı tüm noktalar için eşit olmaktadır. Yine toplamda belli sayıda araç sayısı kısıtına dayalı olan bu modelde, saptanmış olan en az sayıda araç ile kapsanan talep noktaları enbüyüklenmektedir. İkinci modelin tek farkı her talep noktasının ihtiyaç duyduğu en az sayıdaki araç sayılarının birbirinden farklı olmasıdır.

Gerek MEXCLP gerekse iki farklı MALP’de meşguliyet olasılıklarını hesaplarken, tüm ambulansların birbirinden bağımsız hareket ettiği varsayımını kullanmıştır. Batta (1989) tarafından önerilen Yenilenmiş MEXCLP modeli, bu modelin bir uzantısı olarak ambulansların birbirinden bağımsız olmadığı ve meşguliyet olasılığının her talep noktasına göre farklı olduğuna dayanmaktadır (Çatay ve ark, 2008).

Ball ve Lin (1993)’de ise LSCP’nin bir uzantısı olarak ambulansların sabit maliyetlerinin en küçüklenmesi amacıyla Yenilenmiş LSCP modelini önermişlerdir. Bu modelde küçük olan zaman dilimi içinde belli oranda talebin kapsanması ve her potansiyel istasyon alanına en fazla belli sayıda araç atanması kısıtları bulunmaktadır. Bu modelde gelen çağrılarının karşılanmama olasılığının belirlenen değeri aşmasını engellemek için meşguliyet olasılığına bir üst limit atanmaktadır. Tüm bu stokastik modellere ilaveten, LSCP’in farklı bir uzantısı olarak Marianov ve

Revelle (1994) tarafından kuyruk modeli geliştirilmiştir. Ayrıca, Gendreau (2000) ile Andersson ve Varbrand (2007) tarafından ele alındığı gibi servis sağlamakta olan araçların geri dönüşünü ve dinamik bir şekilde yer değiştirmelerini hesaba katan modeller de önerilmiştir (Çatay ve ark, 2008).

Tanımlanan birçok model yardımıyla literatürde pratik uygulamalar yapılmıştır. Ancak, bu uygulamaların yapıldığı bölgelerdeki talep noktası ve potansiyel istasyon alanı sayısının büyüklüğüne bağlı olarak modellerin YA teknikleri ile çözümü zor olduğu için farklı sezgisel ve ileri-sezgisel yöntemlerin kullanımı uygun görülmüştür. Örneğin, Gendreau vd. (1997) Montreal'deki acil yardım istasyonu yerleşimi için Tabu Arama uygulamasından bahsetmektedir. Harewood (2002) tarafından Barbados için yapılan planlama ise benzetim (simülasyon) yardımıyla çözülmüştür. Doerner vd. (2005)'de Avusturya'daki acil yardım istasyonlarının yerleşimi için TA ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization) yöntemleri karşılaştırılmıştır. Bunun dışında, Jia vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada ise Los Angeles eyaleti için planlama amacıyla Genetik Algoritma, Lagrange Gevşetmesi ve sonraki aşamaların hesaba katılmadığı sezgisel yöntemlerin (greedy heuristic) sonuçları kıyaslanmıştır (Çatay ve ark, 2008).

2.3. Hava Ambulanslarının Yerleşimi ile İlgili Çalışmalar

Hava ambulans sistemlerinin yerleşim modelleri oluşturulurken travma merkezi niteliğindeki sağlık kuruluşları önemli bir rol oynarlar. Bu sistemler hastanın olay yerinden sevki, hastaneler arası transferler, arama kurtarma çalışmaları ve organ nakillerinde kullanılabilirler. Hava ambulansları travma yaralanmalarında etkili bir rol oynadığından trafik kazaları verileri bu sistemlerin yerleşim problemlerinin çözümü için önemli girdilerdir. Hava ambulanslarının yerleştirilmesi için belirlenecek aday noktalarının seçiminde izlenen yol, aday noktanın istasyon açmaya elverişli olup olmadığının çeşitli faktörler altında incelenmelidir.

İstasyon açmaya elverişli aday noktalar çeşitli faktörler altında incelenir. Bunlar arasında iklim şartları, bölgenin uçuş yoğunluğu, coğrafi açıdan istasyon konuşlandırmaya yeterli büyüklükte bir alana sahip olması, karayolu şebekesi ile

bağlantısı olması gibi hususlar göz önüne alınmalıdır. Talep noktalarını belirlerken dikkat edilen en önemli nokta taleplerin herkesi temsil etmesidir. Talep noktaları, istasyonların kapsama alanlarını belirleyecektir. Bu yüzden talep noktalarının dağılımı bütün bölgeyi kaplayacak şekilde düzenlenmelidir. Bir diğer nokta kazaların dağılımıdır. Aynı bölgede meydana gelen kazalar kabul edilebilir bir müdahale süresi içerisinde birleştirilip tek bir talep noktası olarak belirlenebilir (Gencer ve Açıkgöz, 2006).

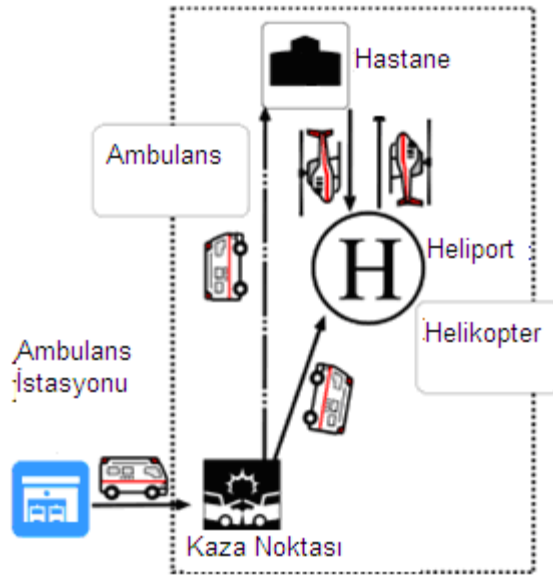
Kapsama mesafesi helikopterlerin teknik özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedir ve belirlenirken en önemli kriter helikopterlerin havada kalış süreleridir. Hava şartları, taşınan yük miktarı, hızın fazla olması gibi nedenlerle helikopterlerin havada kalış süreleri değişmektedir. Bölgeler arasındaki farklılıkların modele yansıtılabilmesi için bölgesel karakteristik değerler kullanılmalıdır. Her bölgenin kendine özgü bölgesel özellikleri mevcuttur. Bütün aday noktalarının aynı kabul edilmesi modelin gerçekçiliğini ortadan kaldıracaktır. Aday noktalara ait bu değerler bu noktalar hakkında daha sağlıklı değerlendirme yapmaya imkân vermekte ve bunlar ile ilgili beklentileri modelin kısıtlarında belirtmek suretiyle karar vericinin daha iyi aday noktalarını seçmesine imkân sağlayacaktır. İklim şartları değerlendirilmesi içerisinde; bölgenin coğrafi yapısı ile mevsimsel ısı farklılıkları dikkate alınmalıdır. Ayrıca; yılın kaç günü hava şartlarının uçuşa elverişli olduğu da tespit edilmelidir (Gencer ve Açıkgöz, 2006).

Talep noktalarını belirlerken dikkat edilen en önemli nokta taleplerin bütün bölge genelindeki talebi temsil etmesidir. Talep noktaları, istasyonların kaplama alanlarını belirleyecektir. Bu yüzden talep noktalarının dağılımı tüm bölgeyi kaplayacak şekilde düzenlenmelidir. Bir diğer nokta da kazaların dağılımıdır. Aynı bölgede meydana gelen kazalar kabul edilebilir bir müdahale süresi içerisinde birleştirilip tek bir talep noktası olarak belirlenebilir (Gencer ve Açıkgöz, 2006).

Kaplama mesafesi helikopterlerin teknik özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedir ve belirlenirken en önemli kriter helikopterlerin havada kalış süreleridir. Hava şartları, taşınan yük miktarı, hızın fazla olması gibi nedenlerle helikopterlerin havada kalış süreleri değişmektedir.

Hava ambulansların yerleşim problemi için, Furuta ve Tanaka, 2010 ve Gencer ve Açıkgöz, 2006 referanslı makalelerde çalışılan modeller aşağıda incelenmiştir.

Helikopter acil sistemleri için maksimum kapsama modeli (Furuta ve Tanaka, 2010):



Şekil 2.9. Helikopter Acil Servis Sistemi (Furuta ve Tanaka, 2010)

Ambulans modunda nakil zamanı;

$$t_a = \frac{\sqrt{(x - e_x)^2 + (y - e_y)^2}}{w} \quad (2.1)$$

Eğer helikopter modunda nakil varsa periyot zamanları sırasıyla;

Kaza yerinden ambulans ile heliporta nakil t_1 ;

$$t_1 = \frac{\sqrt{(h_x - x)^2 + (h_y - y)^2}}{w} \quad (2.2)$$

Heliporttan helikopter ile hastaneye nakil zamanı t_2 ;

$$t_2 = \frac{\sqrt{(e_x - h_x)^2 + (h_y - e_y)^2}}{v} \quad (2.3)$$

Böylece helikopter modunda nakil zamanı

$$t_h = \max\{t_1, t_2\} + t_2 \quad (2.4)$$

Parametreler:

D: Talep noktaları seti

H: Heliport için aday yerlerin seti

S: Hastaneler için aday yerlerin seri

p: Yerleştirilecek heliport sayısı

q: Yerleştirilecek hastane sayısı

w_i : i düğümündeki talep

$$a_{ijk} = \begin{cases} 1, \text{ helikopterin } i \text{ talep noktasından } j \text{ heliportu aracılığıyla } k \text{ hastanesine} \\ \text{ gidiş süresi } (t_h) \text{ T saat içindeyse} \\ 0, \text{ diğer} \end{cases}$$

$$b_{ik} = \begin{cases} 1, i \text{ talep noktasından } k \text{ hastanesine nakil ambulans ile T zamanı} \\ \text{ içindeyse} \\ 0, \text{ diğer} \end{cases}$$

Karar Değişkenleri:

$$x_j = \begin{cases} 1, \text{ heliport } j \text{ düğümüne yerleşirse} \\ 0, \text{ diğer} \end{cases}$$

$$y_k = \begin{cases} 1, & \text{hastane } k \text{ düğümüne yerleştirilirse} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$z_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{heliport } j \text{ düğümüne ve hastane düğümüne yerleştirilirse} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$u_i = \begin{cases} 1, & \text{talep noktası } i \text{ helikopter modunda nakil olursa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$v_i = \begin{cases} 1, & \text{i talep noktası sadece ambulans ile geçilirse} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

(2.5) nolu amaç fonksiyonu belirli bir T zamanı içerisinde hastanelerden birine helikopter veya kara ambulansı ile nakledilecek hasta sayısını maksimum yapmak için p tane heliport ve q tane hastanenin yerleştirilmesi

$$\max \sum_{i \in D} w_i (u_i + v_i) \quad (2.5)$$

Kısıtlar:

(2.6) ve (2.7) nolu kısıtlar j heliportu ve k hastanesi bir çift olarak yerleştirilecek.

$$z_{jk} \leq x_j, \quad j \in H \quad k \in S \quad (2.6)$$

$$z_{jk} \leq y_k, \quad j \in H \quad k \in S \quad (2.7)$$

i düğümündeki talep T zamanı içerisinde bir çift (j,k) yerleştirilmediği sürece helikopter tarafından kapsanmaz.

$$u_i \leq \sum_{j \in H} \sum_{k \in S} a_{ijk} z_{jk}, \quad i \in D \quad (2.8)$$

i düğümündeki talep T zamanı içerisinde bir hastane yerleştirilmediği sürece ambulans tarafından kapsanmaz.

$$v_i \leq \sum_{k \in S} b_{ik} y_k, \quad i \in D \quad (2.9)$$

i düğümündeki talep ambulans veya helikopter ile kapsanmalıdır.

$$u_i + v_i \leq 1 \quad i \in D \quad (2.10)$$

(2.8). ve (2.9) nolu kısıtlar , hastane ve heliport sayısı sırasıyla p ve q

$$\sum_{j \in H} x_j = p \quad (2.11)$$

$$\sum_{k \in S} y_k = q \quad (2.12)$$

Standard ikili kısıtları:

$$x_j \in \{0,1\} \quad (2.13)$$

$$y_k \in \{0,1\} \quad (2.14)$$

$$z_{jk} \in \{0,1\} \quad j \in H, k \in S \quad (2.15)$$

$$u_i \in \{0,1\} \quad i \in D \quad (2.16)$$

$$v_i \in \{0,1\} \quad i \in D \quad (2.17)$$

Türk silahlı kuverleri arama kurtarma timlerinin yerleşimi modeli
(Gencer ve Açıkgöz, 2006)

Modelin varsayımları:

- Bütün arama kurtarma istasyonları aynı imkân ve kabiliyetlere sahiptir,
- Mevcut AK istasyonları problemin çözümünde modele dâhil edilmiştir,
- AK istasyonları AKB içerisinde herhangi bir bölgeye yerleştirilebilir,
- Sonlu sayıda aday nokta mevcuttur,
- Her talep noktasının en az bir aday noktası tarafından kaplanması sağlanmıştır,
- Maliyet hesabı modele dâhil edilmemiştir.

Amaç fonksiyonu (2.18), belirlenen kaplama mesafesi içerisinde kaplanan toplam talep miktarını en fazla yapmaya çalışmaktadır.

$$\text{Max } Z = \sum_{i \in I} z_i \quad (2.18)$$

Kısıt (2.19), hangi talep noktasının hangi hizmet merkezi tarafından kabul edilebilir hizmet mesafesi içerisinde kaplanacağını belirler. Yani i noktasının S kaplama alanı içindeki herhangi bir j noktasında arama kurtarma istasyonu yerleştirilir ise i noktası kaplanmış; $z_i = 1$; eğer kaplama alanı içerisindeki hiçbir noktaya arama kurtarma istasyonu yerleştirilemez ise, i noktası kaplanmamış $z_i = 0$ değerini alacaktır.

$$\sum_{j \in N_i} x_j \quad z_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (2.19)$$

Kısıt (2.20) ile yerleştirilecek arama kurtarma istasyonu sayısı helikopter sayısı ile sınırlanmıştır. Yani tam p tane helikopter için çözüm aranmaktadır.

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad \forall j \in J \quad (2.20)$$

(2.21) ve (2.23) arasındaki kısıtlar aday noktaları ile ilgili bölgesel karakteristik değerler (iklim şartları, ikmal noktasına yakınlık ve uçuş yoğunluğu) ile ilgili kısıtlardır. İkmal noktasına yakınlık ve uçuş yoğunluğu ile ilgili kısıtlarda belirlenen sınır değerden büyük olan aday noktalarının seçimi; iklim şartları ile ilgili kısıtta ise belirlenen sınır değerden küçük olan aday noktalarının seçimi amaçlanmıştır. (3.18) ve (3.20) kısıtlarında aday noktalarının seçilebilmesi için en yüksek puanı olan noktalar tercih edilirken kısıt (3.17)'de en düşük olan noktalar tercih edilmektedir. Bunun nedeni ise iklim şartlarının kötü olduğu değerlendirilen noktalarda kaza olma riskinin fazla olmasıdır. Bu yüzden bu noktalarda istasyon açılması uygun olacaktır.

$$\sum l_j x_j - A_y \sum x_j \geq 0 \quad j \in J \quad (2.21)$$

$$\sum l_j x_j - A_i \sum x_j \leq 0 \quad j \in J \quad (2.22)$$

$$\sum U_j x_j - A_v \sum x_j \geq 0 \quad j \in J \quad (2.23)$$

(3.20) ve (3.25) arasındaki kısıtlar her bölgede mutlaka bir istasyon olmasını sağlayacak olan kısıtlardır. Bu kısıtın modele ilave edilmesindeki neden ise kapsama mesafesi büyüdükçe bölgeler arası açılan istasyonların dağılımının düzenlenmek istenmesidir.

$$\sum_{j=1}^k x_j \geq 1 \quad j \in J \quad (2.24)$$

$$\sum_{j=k+1}^m x_j \geq 1 \quad j \in J \quad (2.25)$$

$$\sum_{j=m+1}^n x_j \geq 1 \quad j \in J \quad (2.26)$$

$$\sum_{j=n+1}^r x_j \geq 1 \quad j \in J \quad (2.27)$$

$$\sum_{j=r+1}^s x_j \quad j \in J \quad (2.28)$$

$$\sum_{j=s+1}^t x_j \geq 1 \quad j \in J \quad (2.29)$$

(2.30) no'lu kısıt karar değişkenleri ile ilgili kısıttır. Kaplanan talep noktaları (z) için i değeri 1 ve açılan istasyon (x) için j değeri 1 olmaktadır.

$$x_j, z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.30)$$

Çalışmadaki matematiksel model, belirli bir kaplama mesafesi içerisinde kaplanan talep sayısını en fazla yapmayı amaçlamaktadır ve modelin çözümü, kaplama mesafesine göre ne kadar talep noktasının kaplanacağını ve hangi aday noktalarının seçileceğini göstermektedir.

I = talep noktaları

j = muhtemel hizmet merkezi noktaları

h_i = i düğümündeki kaplanan talep noktasının ağırlığı (önem derecesi)

d_{ij} = i talep noktası ile j aday noktası arasındaki mesafe

p = kurulacak hizmet merkezi sayısı,

$N_i = \{d_{ij} \leq D_c\}$ = i talep noktasına D_c mesafesinden daha yakın I aday noktalar kümesi

$K=1$. bölge toplam aday noktaları sayısı

$m=2$. bölge toplam aday noktaları sayısı

$n=3$. bölge toplam aday noktaları sayısı

$r = 4$. bölge toplam aday noktaları sayısı

$s = 5$. bölge toplam aday noktaları sayısı

$t = 6$. bölge toplam aday noktaları sayısı

A_i = İklim şartlarının uygunluk standardını sağlamak için maksimum ortalama değer,

A_u = Uçuş yoğunluğu standardını sağlamak için minimum ortalama değer,

A_y = İkmal noktasına yakınlık derecesini sağlamak için minimum ortalama değer,

I_j = j aday noktasının iklim şartlarına uygunluk değeri,

U_j = j aday noktasının uçuş yoğunluğuna uygunluk değeri,

Y_j = j aday noktasının ikmal noktasına yakınlık değeri,

Karar Değişkenleri:

$$z_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ talep noktası kaplandı ise,} \\ 0, & \text{değil ise} \end{cases}$$

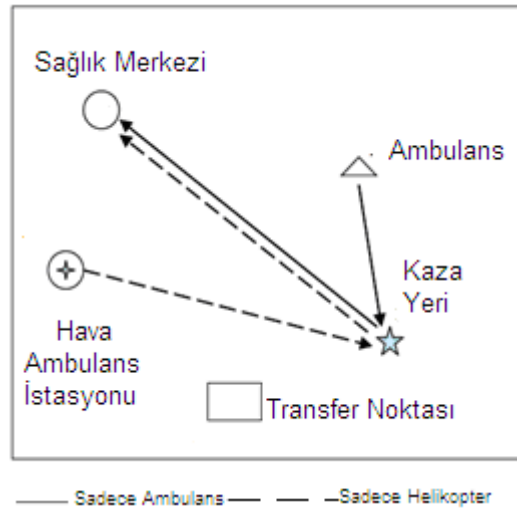
$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer hizmet merkezi } j \text{ açılacak ise} \\ 0, & \text{değil ise} \end{cases}$$

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada kara ambulanslarının, hava ambulanslarının, transfer noktalarının ve sağlık merkezlerinin yerleşimi için bir model geliştirilmiştir. Sağlık merkezlerine kara ve hava acil sağlık servislerinin gönderilmesi için üç seçenek düşünülmüştür.

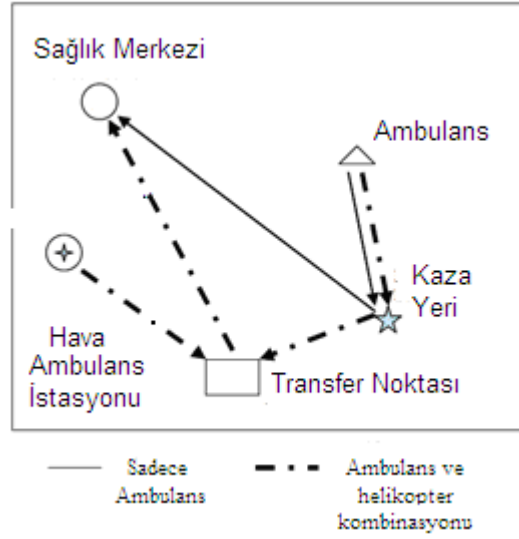
- 1.Seçenek: Sadece kara ambulansı gönderilmesi.
 - 2.Seçenek: Sadece hava ambulansı gönderilmesi.
 - 3.Seçenek: Aynı zamanda kara ve hava ambulansının gönderilmesi.
- Bu durum üç farklı kapsama tanımı ortaya çıkarır.

- 1. Kara Ambulansıyla Kapsama:** Hasta olay yerinden sağlık merkezine sadece kara ambulansıyla taşınır.
- 2. Hava Ambulansıyla Kapsama:** Hasta olay yerinden sağlık merkezine hava ambulansı ile taşınır.



Şekil 3.1. Sadece Hava veya Sadece Kara Ambulansı ile Kapsama (Erdemir ve ark., 2008)

- 3. Kara ve Hava Ambulansı Kombinasyonu:** Hasta olay yerinden sağlık merkezine transfer noktası yardımıyla iki ambulansın işbirliği ile taşınır.



Şekil 3.2. Hava ve Kara Ambulansları Kombinasyonu ile Kapsama (Erdemir ve ark., 2008)

3.1 Problemin Formülasyonu

Bu çalışmada, Erdemir ve ark (2010)'in çalışması referans alınarak matematik model oluşturulmaya çalışılmıştır.

Dizinler:

K_p : potansiyel kara ambulansları seti (indeks: p)

HA_w : potansiyel hava ambulans yerlerinin seti (index: w)

TR_t : potansiyel transfer noktalarının seti (indeks: t)

KN_d : tüm kaza noktalarının seti (index: d)

SA_q : sağlık merkezi seti (indeks: q)

Parametreler:

c_p : kara ambulansı yerleştirmenin maliyeti

c_w : hava ambulansı yerleştirmenin maliyeti

c_T : transfer noktası yerleştirmenin maliyeti

c_Q : sağlık merkezi maliyeti

$$B_{pd}(B_p) = \begin{cases} 1, & \text{potansiyel } p \text{ kara ambulans yeri } d \text{ düğümünü kapsarsa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$B_{wd}(B_w) = \begin{cases} 1, & \text{potansiyel } w \text{ hava ambulans yerleşimi } d \text{ düğümünü kapsarsa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$B_{pwtq}(B_{pwt}) = \begin{cases} 1, & \text{potansiyel } (p) \text{ kara ve } (w) \text{ hava ambulansları ve transfer noktası} \\ & (t), (d) \text{ düğümünü } (q) \text{ sağlık merkezini kapsarsa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

Değişkenler:

$$x_p = \begin{cases} 1, & p\text{'ye kara ambulansı yerleştirilirse} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$y_w = \begin{cases} 1, & w\text{'a hava ambulansı yerleştirilirse} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$z_t = \begin{cases} 1, & t\text{'ye transfer noktası yerleştirilirse} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$u_d = \begin{cases} 1, & (d) \text{ düğümü/yolu yerleştirilen hava ambulanslarından en az biriyle} \\ & \text{kapsanıyorsa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$v_{dp} = \begin{cases} 1, & (d) \text{ düğümü/yolu } (p) \text{ kara ambulansı ile kapsanıyorsa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$s_q = \begin{cases} 1, (q) \text{ sağlık merkezine yerleştirilirse} \\ 0, \text{diğer} \end{cases}$$

$$l_{pwtq} = x_p y_w z_t s_q = \begin{cases} 1, \text{kara ambulansı, hava ambulansı, transfer noktası ve sağlık} \\ \text{merkezine sırasıyla p, w, t ve q'ya yerleştirilmişse} \\ 0, \text{diğer} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyon:

$$\text{Minimize} \left(\sum_{p \in K_p} c_p x_p + \sum_{w \in HA_w} c_w y_w + \sum_{t \in TR_t} c_t z_t + \sum_{q \in SA_q} c_q s_q \right) \quad (3.1)$$

(3.1) nolu denklem amaç fonksiyonunu ifade etmektedir ve kara ambulansı, hava ambulansı, transfer noktası, sağlık merkezi yerleştirmenin toplam maliyetidir.

Kısıtlar:

$$\sum_{w \in HA_w} B_{wd} + y_w \geq u_d \quad \forall d \in KN_d \quad (3.2)$$

$$B_{pd} x_p + \sum_{w \in HA_w} \sum_{t \in TR_t} B_{pwt} l_{pwtq} \geq v_{dp} \quad \forall d \in KN_d \quad \forall p \in K_p \quad (3.3)$$

$$\sum_{p \in K_p} v_{dp} = 2(1 - u_d) \quad \forall d \in KN_d \quad (3.4)$$

(3.2), (3.3) ve (3.4) nolu kısıtlar kapsama kısıtlarıdır. Bu kısıtlar tüm kaza düğümlerinin/yollarının en azından bir hava ambulansı, iki defa kara ambulansı ve/veya hava ve kara ambulansı kombinasyonu ile kapsanmasını sağlar.

$$x_p \geq l_{pwtq} \quad \forall p \in K_p, w \in HA_w, t \in TR_t, q \in SA_q \quad (3.5)$$

$$y_w \geq l_{pwtq} \quad \forall p \in K_p, w \in HA_w, t \in TR_t, q \in SA_q \quad (3.6)$$

$$z_t \geq l_{pwtq} \quad \forall p \in K_p, w \in HA_w, t \in TR_t, q \in SA_q \quad (3.7)$$

$$s_q \geq l_{pwtq} \quad \forall p \in K_p, w \in HA_w, t \in TR_t, q \in SA_q \quad (3.8)$$

$$x_p + y_w + z_t + s_q - l_{pwtq} \leq 3 \quad \forall p \in K_p, w \in HA_w, t \in TR_t, q \in SA_q \quad (3.9)$$

$$\sum_q s_q = 1 \quad (3.10)$$

(3.5) ve (3.8) arası kısıtlar x_p, y_w, z_t veya s_q 'dan en az biri 0 ise l_{pwtq} 'nin 1 olmamasını sağlar. Bunun anlamı kombinasyon halinde olması gereken servislerden en azından biri yerleştirilmemişse, kara ve hava ambulanslarının kombinasyonu servis için kullanılmaz.

(3.9) nolu kısıt eğer tüm x_p, y_w, z_t veya s_q değişkenleri 1 ise l_{pwtq} değişkeninin 0 olmamasını sağlar. Kombinasyonu oluşturan tüm servisler yerleştirilmişse, bu kombinasyon kendi bölgesindeki olay yerini kapsamak için uygun olmalıdır. (3.10) nolu kısıt hastanın en az bir sağlık merkezine naklini sağlamaktadır.

$$x_p \in \{0,1\} \quad \forall p \in K_p \quad (3.11)$$

$$y_w \in \{0,1\} \quad \forall w \in HA_w \quad (3.12)$$

$$z_t \in \{0,1\} \quad \forall t \in TR_t \quad (3.13)$$

$$s_q \in \{0,1\} \quad \forall q \in SA_q \quad (3.14)$$

$$l_{pwtq} \in \{0,1\} \quad (3.15)$$

$$u_d \in \{0,1\} \quad (3.16)$$

$$v_{dp} \in \{0,1\} \quad (3.17)$$

$$B_{pd} \in \{0,1\} \quad (3.18)$$

$$B_{wd} \in \{0,1\} \quad (3.19)$$

$$B_{pwt dq} \in \{0,1\} \quad (3.20)$$

(3.11) ile (3.20) arası denklemler değişkenlerin ikili değişken olduğunu ifade etmektedir.

3.2. Çözüm Yöntemleri

3.2.1. Doğrusal Programlama

Doğrusal programlamanın temel konusu, sınırlı kaynakların yarışan faaliyetler arasında en iyi (optimal) biçimde dağıtımını sağlanması problemi ile ilgilidir. Bu bağlamda doğrusal programlama optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan matematiksel bir teknik olmaktadır.

Doğrusal programlama, değişkenlere ve kısıtlayıcılara bağlı kalarak amaç fonksiyonunu en uygun (maksimum veya minimum) kılmaya çalışır. Bu problemlerde sadece sürekli değişkenler ve doğrusal amaç fonksiyonuyla, doğrusal kısıtlar mevcuttur. Kıt kaynakların optimal şekilde dağıtımını içeren deterministik matematiksel bir tekniktir. Doğrusal programlama modelleri en yaygın olarak kullanılan optimizasyon modelleridir ve bilimsel, endüstriyel ve ekonomik problemlerin modellenmesinde yaygın olarak kullanılmıştır. Bu bağlamda, üretim yapan bir işletmede verimliliğin optimizasyonu ile ilgili basit bir doğrusal programlama model aşağıda verilmiştir.

Doğrusal programlama modellerinin temeli doğrusal eşitliklerin çözümüne dayanmaktadır. Bu bağlamda, doğrusal programlama modelinde varolan $Ax \leq b$ eşitsizlikleri her eşitsizlik için yeni bir değişkenin tanımlanmasıyla eşitliğe dönüştürülür ($Ax + x_s = b$). Bu şekilde eşitliklerle ifade edilen doğrusal programlama modelinde değişken sayısı her eşitlik sayısından daha fazla olur. Doğrusal sistemlerde çözümler bağımsız çözümler kümesi sistemdeki eşitsizlik sayısı ($Ax \leq b$), m , ve değişken sayısının (x değişkenleri), n , bir fonksiyonudur.

3.2.2. Doğrusal Olmayan Programlama

Bu modellerde amaç fonksiyonu ve/veya kısıtlardan bazıları doğrusal değildir. Optimizasyon sonucunda amaç fonksiyonunu eniyileyecek karar değişkenleri, x , n boyutlu uzayda herhangi bir gerçek değeri alabilirler.

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Birleştirilmiş Kara-Hava Acil Servis Sistemi Modelinin Çözümü

Önceki bölümde kurulan birleştirilmiş kara-hava acil servis sistemi modeli Tablo 4.1, Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'deki veriler ile LINGO 8.0 optimizasyon programı kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen çözüm Tablo 4.5'te sunulmuştur. Ayrıca Lingo Modeli Ek-1'de sunulmuştur. Çizelgelerde gösterilen maliyetler birim başına maliyettir yani bir kara ambulans noktasının bulunduğu bölgede işlerlik kazanması için gereken maliyettir. Çizelgelerde gösterilen maliyetler TL. olarak kabul edilebilir.

Çizelge 4.1. Kara Ambulansı Maliyetleri

Kara Ambulansı Noktası	Kara Ambulansı Maliyeti
1	100
2	90
3	95
4	85
5	110
6	95
7	100

Çizelge 4.2. Hava Ambulansı Maliyetleri

Hava Ambulansı Noktası	Hava Ambulansı Maliyeti
1	400
2	450
3	475

Çizelge 4.3. Sağlık Merkezi Maliyetleri

Sağlık Merkezi	Sağlık Merkezi Maliyeti
1	500
2	600

Çizelge 4.4. Transfer Maliyetleri

Transfer Noktası	Transfer Maliyeti
1	100
2	110
3	120
4	70
5	80
6	75
7	50
8	90
9	100
10	105
11	95
12	85

Çizelge 4.5. Birleştirilmiş Kara-Hava Acil Servis Sistemi Modeli Çözümü

Toplam Maliyet	675
Kara Ambulansı Noktaları	x_2, x_4
Hava Ambulansı Noktaları	-
Transfer Noktası	-
Sağlık Merkezi	s_1
Kaza Yeri-Kara Ambulansı Noktası	$v_{12}, v_{14}, v_{22}, v_{24},$ $v_{32}, v_{34}, v_{42}, v_{44}$
Kaza Yeri-Hava Ambulansı Noktası	-

4.2. Modelin Farklı Kara Ambulansı Maliyetleri ile Çözümü

Önceki bölümde kurulan birleştirilmiş kara-hava acil servis sistemi modeli Tablo 4.2, Tablo 4.3, Tablo 4.4 ve Tablo 4.6'daki veriler ile LINGO 8.0 optimizasyon programı kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen çözüm Tablo 4.7'de sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Değiştirilmiş Kara Ambulansı Maliyetleri

Kara Ambulansı Noktası	Kara Ambulansı Maliyeti
1	700
2	500
3	625
4	475
5	220
6	610
7	750

Çizelge 4.7. Değiştirilmiş Kara Ambulansı Maliyetleri ile Modelin Çözümü

Toplam Maliyet	900
Kara Ambulansı Noktaları	-
Hava Ambulansı Noktaları	y_1
Transfer Noktası	-
Sağlık Merkezi	s_1
Kaza Yeri-Kara Ambulansı Noktası	-
Kaza Yeri-Hava Ambulansı Noktası	u_1, u_2, u_3, u_4

4.3. Modelin Farklı Sağlık Merkezi Maliyetleri ile Çözümü

Önceki bölümde kurulan birleştirilmiş kara-hava acil servis sistemi modeli Tablo 4.1, Tablo 4.2, Tablo 4.4 ve Tablo 4.8'deki veriler ile LINGO 8.0 optimizasyon programı kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen çözüm Tablo 4.9'da sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Değiştirilmiş Sağlık Merkezi Maliyetleri

Sağlık Merkezi	Sağlık Merkezi Maliyeti
1	900
2	700

Çizelge 4.9. Değiştirilmiş Sağlık Merkezi Maliyetleri ile Modelin Çözümü

Toplam Maliyet	875
Kara Ambulansı Noktaları	x_1, x_2
Hava Ambulansı Noktaları	-
Transfer Noktası	-
Sağlık Merkezi	s_2
Kaza Yeri-Kara Ambulansı Noktası	$v_{12}, v_{14}, v_{22}, v_{24},$ $v_{32}, v_{34}, v_{42}, v_{44}$
Kaza Yeri-Hava Ambulansı Noktası	-

4.4. Modeldeki Kara Ambulansı Nokta Sayısının Azaltılması ile Modelin Çözüm Süresinin İncelenmesi

Önceki bölümde kurulan birleştirilmiş kara-hava acil servis sistemi modeli önce Tablo 4.1, Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'deki veriler ile çözülerek çözüm süresine bakılmıştır. Daha sonra model kara ambulansı noktalarının sayısı azaltılarak çözülmüş ve çözüm sürelerine bakılmıştır. Azaltılan kara ambulansı noktaları ve maliyetleri Tablo 4.10, Tablo 4.11 ve Tablo 4.12'de verilmiştir. Kara ambulansı nokta sayısının azaltılması ile modelin çözüm süresinin karşılaştırılması Tablo 4.13'de ve Şekil 4.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.10. Kara ambulansı maliyetleri 6 nokta için

Kara Ambulansı Noktası	Kara Ambulansı Maliyeti
1	100
2	90
3	95
4	85
5	110
6	95

Çizelge 4.11. Kara Ambulansı Maliyetleri 5 Nokta İçin

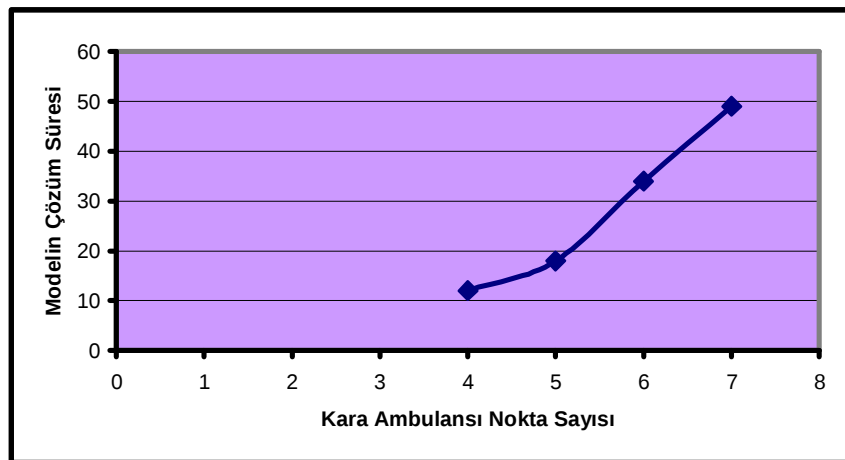
Kara Ambulansı Noktası	Kara Ambulansı Maliyeti
1	100
2	90
3	95
4	85
5	110

Çizelge 4.12. Kara Ambulansı Maliyetleri 4 Nokta İçin

Kara Ambulansı Noktası	Kara Ambulansı Maliyeti
1	100
2	90
3	95
4	85

Çizelge 4.13. Kara Ambulansı Nokta Sayısı- Modelin Çözüm Süresi

Kara Ambulansı Nokta Sayısı	Modelin Çözüm Süresi (saniye)
7	49
6	34
5	18
4	12



Şekil 4.1. Kara Ambulansı Nokta Sayısı – Modelin Çözüm Süresi

4.5. Modelin Farklı Hava Ambulansı Maliyetleri ile Çözümü

Birleştirilmiş kara-hava acil servis sistemi modeli Tablo 4.1, Tablo 4.3, Tablo 4.4 ve Tablo 4.14'deki veriler ile LINGO 8.0 optimizasyon programı kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen çözüm Tablo 4.15'de sunulmuştur.

Çizelge 4.14. Değiştirilmiş Hava Ambulansı Maliyetleri

Hava Ambulansı Noktası	Hava Ambulansı Maliyeti
1	100
2	150
3	275

Çizelge 4.15. Değiştirilmiş Hava Ambulansı Maliyetleri ile Modelin Çözümü

Toplam Maliyet	600
Kara Ambulansı Noktaları	-
Hava Ambulansı Noktaları	y_1
Transfer Noktası	-
Sağlık Merkezi	s_1
Kaza Yeri-Kara Ambulansı Noktası	-
Kaza Yeri-Hava Ambulansı Noktası	u_1, u_2, u_3, u_4

4.6. Modelin Farklı Hava Ambulansı Maliyetleri ve Transfer Noktası Maliyetleri ile Çözümü

Birleştirilmiş kara-hava acil servis sistemi modeli Tablo 4.1, Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.16. ve Tablo 4.17.'deki veriler ile LINGO 8.0 optimizasyon programı kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen çözüm Tablo 4.18.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.16. Değiştirilmiş Hava Ambulansı Maliyetleri

Hava Ambulansı Noktası	Hava Ambulansı Maliyeti
1	100
2	50
3	75

Çizelge 4.17. Değiştirilmiş Transfer Maliyetleri

Transfer Noktası	Transfer Maliyeti
1	125
2	130
3	155
4	85
5	90
6	140
7	145
8	85
9	55
10	65
11	195
12	125

Çizelge 4.18. Değiştirilmiş Hava Ambulansı Maliyetleri ve Transfer Maliyetleri ile Modelin Çözümü

Toplam Maliyet	550
Kara Ambulansı Noktaları	-
Hava Ambulansı Noktaları	y_2
Transfer Noktası	-
Sağlık Merkezi	s_1
Kaza Yeri-Kara Ambulansı Noktası	-
Kaza Yeri-Hava Ambulansı Noktası	u_1, u_2, u_3, u_4

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Çalışmanın Özeti

Bu çalışmada Erdemir ve ark. 2010 yılında yaptığı çalışma esas alınarak hastaların sağlık merkezine nakledilmeleri için hava, kara ambulanslarının ayrı ayrı ve kombinasyon halinde yerleşimleri dikkate alınarak model kurulmuştur.

Model farklı kara ambulansı maliyetleri ve farklı sağlık merkezi maliyetleri ile farklı çözümler elde edilmiştir. Daha sonra kara ambulansı noktalarının sayısı azaltılarak çözüm süresinin uzunluğu karşılaştırılmıştır.

5.2. Sonuçlar

1. Birleştirilmiş kara-hava acil servis sistemi modelinin çözümünde toplam maliyet minimizasyonunun sadece kara ambulansı nakli tercih edilerek sağlandığı gözlenmiştir.
2. Kara ambulansı maliyetleri hava ambulansı maliyetlerini geçecek şekilde arttırıldığında modelin hava ambulansı naklini tercih ettiği görülmüştür.
3. Farklı sağlık merkezi maliyetleri ile model çözüldüğünde modelin minimum maliyetli sağlık merkezini tercih ettiği görülmüştür.
4. Modelde kara ambulansı nokta sayısının azaltıldığında modelin çözüm süresinin de azaldığı görülmüştür.

5.3. Sonraki Çalışmalar için Öneriler

Bu çalışmada kurulan modele iklim şartları, hastaların aciliyeti gibi kısıtlar eklenerek model zenginleştirilebilir. Ayrıca bu çalışmada yer alan dizinlerin indeks sayıları arttırılarak gerçek yaşamda uygulanacak şekilde yeni bir model geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- ARAZ, C., SELİM, H., ÖZKARHAN, İ., 2007. A Fuzzy Multi-Objective Covering Based Vehicle Location Model for Emergency Services, *Computers & Operations Research*, 34-3:705-726
- BALL, M., ve LIN, F., 1992. A Reliability Model Applied to Emergency Service Vehicle Location. *Operation Research*, 41:1.
- BATTA, R., MANNUR N.,R., 1990. Covering-Location Models for Emergency Situations That Require Multiple Response Units. *Management Science*, 36-1:16-23.
- BRANAS, C.C., MACKENZIE, E.J., REVELLE, C.S., 2000. A Trauma Resource Allocation Model for Ambulances and Hospitals. *Health Services Research* 35-2:489–507.
- BRANAS, C.C., REVELLE, C.S., 2001. An Iterative Switching Heuristic to Locate Hospitals and Helicopters. *Socio-Economic Planning Sciences* 35, 11–30.
- BROTCORNE, L., LAPORTE, G., ve SEMET, F., 2003. Invited Review: Ambulance Location and Relocation Models. *European Journal of Operational Research*, 147-3: 451-463.
- ÇATAY, B., BAŞAR, A., ÜNLÜYURT, T., 2008. İstanbul'da Acil Yardım İstasyonlarının Yerlerinin Planlanması, *Endustri Muhendisliði Dergisi*, 19-4: 20-35
- CHIYOSHI, F., GALVAO, R., ve MORABITO, R., 2003. A Note on Solutions to the Maximal Expected Covering Location Problem. *Computers and Operations Research*, 30-1: 87-96.
- CHUNG, C.H., 1986. Recent Applications of the Maximal Covering Location Planning Model. *The Journal of the Operational Research Society*, 37-8:735-746.
- CHURCH, R.L., REVELLE, C., 1974. The Maximal Covering Location Problem. *Papers of the Regional Science Association* 32, 101–118.
- DARENDE, B., 2009. Tesis Yer Seçimi ile Deprem Durumunda Yaralı Toplama Noktalarının Modellenmesi. Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.

- DASKIN, M., 1983. Maximum Expected Covering Location Model:Formulation, Properties and Heuristic Solution. *Transportation Sciences*, 17-1:48-70.
- DASKIN, M., 1995. *Network and Discrete Location Models and Algorithms, and Applications*. Wiley-Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization.
- EATON, D., J., DASKIN, M., SIMMONS, D., BULLOCH, B., ve JANSMA, G., 1985. Determining Emergency Medical Service Vehicle Deployment in Austin, Texas. *Interfaces*, 15-1:96-108.
- EATON, D., J., SANCHEZ H., LANTIGUA R., MORGAN J., 1986. Determining Ambulance Deployment in Santo Domingo, Dominican Republic. *The Journal of the Operational Research Society*, 37-2:113-126.
- ESİN, A.S., OĞUZHAN, T., KAYA, K.C., ERGÜDER, T., ÖZKAN, A.T., YÜKSEL, İ., 2000. Afetlerde Sağlık Hizmetleri Yönetimi, Sağlık Bakanlığı Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü, 214.
- FITZSIMMONS, J.A., 1973. A Methodology for Emergency Ambulance Deployment. *Management Science*, 19-6:627-636.
- GENCER, C., AÇIKGÖZ, A., 2006. Türk Silahlı Kuvvetleri Arama Kurtarma Timlerinin Yeniden Düzenlenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21-1: 87-105
- GENDREAU, M., LAPORTE, G., ve SEMET, F., 1997. Solving an Ambulance Location Model by Tabu Search. *Location Science*.5-2:75-88.
- GOLDBERG, J.B., DIETRICH, R., CHEN, J., MITWASI, G., VALENZUELA, T., ve CRISS, L., 1990. Validating and Applying A Model For Locating Emergency Medical Vehicles in Tucson, Arizona. *European Journal of Operational Research*, 49-3:308-324.
- GOLDBERG, J.B., 2004. Operations Research Models for the Deployment of Emergency Service Vehicles. *EMS Management Journal*.1-1:20-39.
- HAGHANI, A., HU, H., ve TIAN, Q., 2003. An Optimization Model for Real-Time Emergency Vehicle Dispatching And Routing. *Trb 2003 Annual Meeting*.
- HOGAN, K., REVELLE, C., 1986. Concepts and Applications of Backup Coverage. *Management Science*.32-22:1434-1444.

- IANNONI, A.P., MORABITO, R., 2007. A Multiple Dispatch and Partial Backup Hypercube Queuing Model to Analyze Emergency Medical Systems on Highways. *Transportation Research E* 43, 755–771.
- JIA, H., ORDONEZ, F. ve DESSOUKY, M. (2007) A Modeling Framework for Facility Location of Medical Services for Large-scale Emergencies, *IIE Transactions*, 39-1:41-55.
- KARP, R.M., 1972. Reducibility Among Combinatorial Problems. In: *Complexity of Computer Computations*, R.E. Miller and J.W. Thatcher (eds.), Plenum Press, New York, 85-104.
- KIDAK, L., KESKİNOĞLU, P., SOFUOĞLU, T., ÖLMEZOĞLU, Z., 2009. İzmir İlinde 112 Acil Ambulans Hizmetlerinin Kullanımının Değerlendirilmesi, *Genel Tıp Dergisi*, 19-3:113-119
- KURT, M., SEMETAY, C, 2001. Genetik Algoritma ve Uygulama Alanları. *Mühendis ve Makine Derg.*,501.
- LUBICZ, M., ve MIELCZAREK, B., 1987. Simulation Modelling of Emergency Medical Services. *European Journal of Operational Research*. 29:178-185.
- MANDELL, M., 1998. Covering Models for Two-Tiered Emergency Medical Services Systems. *Location Science*. 6-1: 355-368.
- MARIANOV, V., REVELLE, C.S., 1992. A Probabilistic Fire Protection Siting Model with Joint Vehicle Reliability Constraints. *Papers of the Regional Science Association* 71-3: 217–241.
- MARIANOV, V., REVELLE, C.S., 1995. Siting Emergency Services. In: *Drezner, Facility Location*. Springer, New York, 199–223.
- MARIANOV, V., ve REVELLE, C, 1996. The Queueing Maximal Availability Location Problem: A Model for The Siting of Emergency Vehicles. *European Journal of Operational Research*. 93-1: 110-120.
- MENTEŞ, M. Ö., AKINCI, H., 2006. Hava Yoluyla Hasta ve Yaralı Taşınması, *Ulusa Travma Dergisi*, 2-1:1-8
- MCALEER, W., ve NAQVI, I., 1994. The Relocation of Ambulance Stations: A Successful Case Study. *European Journal of Operational Research*. 75-3: 582-588.

- MURRAY, A.T., O'KELLY, M. E., CHURCH, R.L., 2008. Regional Service Coverage Modeling, Computers and Operations Research, 35-2.
- OWEN, S.H., ve DASKIN, M., (1989). Strategic Facility Location:A Review. European Journal of Operational Research, 111:423-447.
- ÖZMEN, O., [www.attder.org.tr/images/pdfler/6\)Hava_Ambulansi.pdf](http://www.attder.org.tr/images/pdfler/6)Hava_Ambulansi.pdf)
- REVELLE, C., 1989. Review, Extension And Prediction in Emergency Service Sitting Models. European Journal of Operational Research. 40-1: 58-69.
- SCHILLING, D., ELZINGA, D.J., COHON, J., CHURCH, R., REVELLE, C., 1979. The TEAM / FLEET Models for Simultaneous Facility and Equipment Siting, Transportation Science 13:163-175.
- SERRA, D., MARIANOV, V., 2004. New Trends in Public Facility Location Modeling, UPF Economics and Business Working Paper No. 755
- SELİM, H., ve ÖZKARAHAN, İ., 2005. Acil Servis Araçlar Yerlesiminin Belirlenmesinde Yeni Bir Model. MMO Endüstri Mühendisliği Dergisi.1.
- TAKEHIRO, F., TANAKA, K., 2010. The Ninth International Symposium on Operations research and Its Applications, Chengdu-Juizhaigou, China, August 19-23
- TAFAZZOLI, S., VE MOZAFARI, M., 2009. Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies, Contributions to Management Science
- TOREGAS, C, SWAIN, R., REVELLE, C, BERGMAN, L., 1971. The Location of Emergency Service Facilities. Operations Research. 19-6:1363-1373.
- TOKAR ERDEMİR, E., BATTÀ, R., ROGERSON, P. A., BLATT, A.,ve FLANİGAN,M., 2010. Joint Ground and Air Emergency Medical Services Coverage Models: A Greedy Heuristic Solution Approach, European Journal of Operational Research 207: 736–749
- TOKAR ERDEMİR, E., BATTÀ, R., SPIELMAN, S., ROGERSON, R., BLATT, A., FLANİGAN, M., 2008. Optimization of Aeromedical Base Locations in New Mexico Using a Model that Considers Crash Nodes and Paths. Accident Analysis and Prevention 40, 1105-1114.
- TOREGAS, C.R., SWAIN, R., REVELLE, C.S., BERGMAN, L., 1971. The location of emergency service facilities. Operations Research 19, 1363-1373.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Sivas'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Sivas'ta tamamladı. Girne Amerikan Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2006 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak işe başladı. 2007'de Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda lisansüstü eğitime başlamıştır.

EKLER

EK 1 LINGO MODELİ

MODEL :

SETS :

SAGLIKMERKEZI/1..2/;

KARA/1..7/;

HAVA/1..3/;

TRANSFER/1..12/;

KAZANOKTASI/1..4/;

KARAINDISLERI (KARA) : COSTKARA, X;

HAVAINDISLERI (HAVA) : COSTHAVA, Y;

TRANSFERINDISLERI (TRANSFER) : COSTTRANSFER, Z;

SAGLIKMERKEZIINDISLERI (SAGLIKMERKEZI) : COSTSAGLIKMERK, S;

KAZANOKTASIINDISI (KAZANOKTASI) : U;

KAZANOKTASIKARA (KAZANOKTASI, KARA) : V;

KARAKAZANOKTASI (KARA, KAZANOKTASI) : A;

HAVAVEKAZANOKTASI (HAVA, KAZANOKTASI) : H;

KARAHAVATTRANSFER (KARA, HAVA, TRANSFER, SAGLIKMERKEZI) : I;

KARAHAVATTRANSFERKAZANOKTASI (KARA, HAVA, TRANSFER, KAZANOKTASI, SAGLIKMERKEZI) : T;

ENDSETS

DATA :

!Kara ambulansının maliyeti;

COSTKARA = 100 90 95 85 110 95 100;

!Hava ambulansının maliyeti;

COSTHAVA = 400 450 475;

!Transfer noktasının maliyeti;

COSTTRANSFER = 100 110 120 70 80 75 50 90 100 105 95 85;

!Saglik merzeninin maliyeti;

COSTSAGLIKMERK = 500 600;

ENDDATA

MIN =

@SUM(KARAINDISLERI(K):COSTKARA*X)+@SUM(HAVAINDISLERI(E):COSTHAVA*Y)+
@SUM(TRANSFERINDISLERI(M):COSTTRANSFER*Z)+@SUM(SAGLIKMERKEZIINDISLER
I(Q):COSTSAGLIKMERK*S);

@FOR(KAZANOKTASIINDISI(N):@SUM(HAVAVEKAZANOKTASI(E,N):H(E,N)*Y(E))>=U);

@FOR(KARAKAZANOKTASI(K,N):(@SUM(KARAKAZANOKTASI(K,N):A(K,N)*X(K))+@S
UM(KARAHAVATTRANSFERKAZANOKTASI(K,E,M,N,Q):T(K,E,M,N,Q)*I(K,E,M,Q)))>
=V(N,K));

@FOR(KAZANOKTASIINDISI(N):@SUM(KAZANOKTASIKARA(N,K):V)=(2*(1-U)));

@FOR(KARAHAVATTRANSFER(K,E,M,Q):X(K)>=I);

@FOR(KARAHAVATTRANSFER(K,E,M,Q):Y(E)>=I);

@FOR(KARAHAVATTRANSFER(K,E,M,Q):Z(M)>=I);

@FOR(KARAHAVATTRANSFER(K,E,M,Q):S(Q)>=I);

@FOR(KARAHAVATTRANSFER(K,E,M,Q):X(K)+Y(E)+Z(M)+S(Q)-I(K,E,M,Q)<=3);

@FOR(KARAINDISLERI(K):@BIN(X));

@FOR(HAVAINDISLERI(E):@BIN(Y));

@FOR(TRANSFERINDISLERI(M):@BIN(Z));

@FOR(KARAHAVATTRANSFER(K,E,M,Q):@BIN(I));

@FOR(KAZANOKTASIINDISI(N):@BIN(U));

@FOR(KAZANOKTASIKARA(N,K):@BIN(V));

@FOR(KARAKAZANOKTASI(K,N):@BIN(A));

@FOR(HAVAVEKAZANOKTASI(E,N):@BIN(H));

@FOR(KARAHAVATTRANSFERKAZANOKTASI(K,E,M,N,Q):@BIN(T));

@FOR(SAGLIKMERKEZIINDISLERI(Q):@BIN(S));

@SUM(SAGLIKMERKEZIINDISLERI(Q):S)=1;

END