

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nuşin COŞKUN

**ACİL SERVİS SİSTEMLERİNDE YERLEŞİM PROBLEMİNE ANALİTİK
VE GENETİK PROGRAMLAMA YAKLAŞIMLARI**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2007

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ACİL SERVİS SİSTEMLERİNDE YERLEŞİM
PROBLEMİNE ANALİTİK VE GENETİK
PROGRAMLAMA YAKLAŞIMLARI**

Nuşin COŞKUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Bu tez 22/08/2007 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.**

İmza.....

İmza.....

İmza.....

Doç.Dr.Rızvan EROL

Prof.Dr.Z.Nazan ALPARSLAN

Yrd.Doç.Dr.S.Noyan OĞULATA

DANIŞMAN

ÜYE

ÜYE

Bu tez Enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza-Mühür**

**Bu çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No: MMF2006YL4**

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

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ACİL SERVİS SİSTEMLERİNDE YERLEŞİM PROBLEMİNE ANALİTİK VE GENETİK PROGRAMLAMA YAKLAŞIMLARI

Nuşin COŞKUN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman :Doç.Dr.Rızvan EROL
Yıl: 2007, Sayfa:89

Jüri :Prof. Dr. Z. Nazan ALPARSLAN
:Doç.Dr.Rızvan EROL
:Yrd.Doç.Dr. S.Noyan OĞULATA

Acil Sağlık Sistemlerinde, çağrı geldiği anda yöneticiler için önemli olan vakanın şiddetini ve aciliyetini tespit etmek ve görevlendirilecek istasyon ve ambulans tipini belirlemektir. Acil durumlarda zaman çok önemli olduğu için, yeterli talebin karşılanması ve hızlı müdahalenin sağlanması için uygun yerlerde, sayıda ve kapasitede istasyon yerleşimi yapılması gerekir.

Çalışmada, genel yerleşim problemlerinde ve acil sağlık sistemlerinde kullanılan yerleşim modelleri incelenerek yeni bir matematiksel model ortaya konulmuştur. Sistemdeki tüm talebi kapsayacak istasyon sayısı, yeri, tipi ve bu istasyonlardaki araç sayısı ile bu araçların birincil ve ikincil kapsayacakları bölgeler ve minimum maliyet hedeflenerek model oluşturulmuştur. Nüfus yoğunluğu, talep noktasına uzaklık ve trafik kazaları dikkate alınan Adana 112 acil sağlık sistemlerinde minimum maliyetli istasyon yerleşiminin yapılması için modelin çözümünde doğrusal programlama ve bir meta sezgisel algoritma tekniği kullanılmıştır.

Tamsayılı programlama modeli LINGO 8.0 ile çözülmüş global optimum çözüm bulunmuştur. Ayrıca, meta sezgisel bir çözüm yaklaşımı olan genetik algoritma da uygulanarak elde edilen çözümler değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Acil sağlık sistemleri, doğrusal programlama, genetik algoritma, yerleşim problemleri.

ABSTRACT
MSc. THESIS

**ANALYTIC AND GENETIC
PROGRAMMING APPROACHES FOR
LOCATION PROBLEM IN EMERGENCY
SERVICE SYSTEMS**

Nuşin COŞKUN

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

ÇUKUROVA UNIVERSITY

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Rızvan EROL
Year :2007 Pages: 89

Jury : Prof. Dr. Z.Nazan ALPARSLAN
:Assoc. Prof. Dr.Rızvan EROL
:Assist. Prof. Dr. S.Noyan OĞULATA

In the Emergency Medical Systems, the important thing for the managers is to get the right information of the importance and urgency of the call and to deploy the right type of ambulance from the nearest station.

The reason is that the response time is very important to reach emergency calls on time, there have been organized available number of stations with adequate capacity.

In this study, a new location model is presented after general location models and models applied in EMS are examined. The number of stations, location sites, types and the number of ambulances in these stations and the sites covered by one station or two stations with minimum cost are considered in this model. Population density, distance to demand site and traffic accidents are considered for station locations with minimum cost . A linear programming and a meta heuristic algorithm techniques are used for the case study of Adana 112 ambulance service systems .

The linear integer programming model is solved by LINGO 8.0 and global optimum solution is found. Furthermore, one of the meta heuristics method, genetic algorithms, is applied and the results are reported.

KeyWords: Emergency Medical Systems, Linear Programming, Genetic Algorithms, Location Problems.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışması süresince, her konuda yardımcı olan ve tezin yürütülmesinde yol gösteren danışman hocam Doç.Dr.Rızvan EROL'a tüm içtenliğim ile teşekkür ederim.

Çalışmanın uygulama aşamasında, gerekli verileri sağlayarak yardımcı olan Adana İl Sağlık Müdür yardımcısı Turgut ARPACI'ya, GIS ArcView 3.2 programı konusunda yardımcı olan Peyzaj Mimarlığı bölümü yüksek lisans öğrencisi Mehmet Akif ERDOĞAN'a ve genetik algoritma yaklaşımında DELPHİ 5.0 programını kullanımında yardımcı olan Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümü Arş. Gör. Umut ÇELİK'e desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
SIMGELER VE KISALTMALAR.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Acil Servis Sistemleri.....	1
1.2. Problemin Tanımı.....	4
1.3. Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı.....	7
1.4. Çalışmanın Adımları.....	8
1.5. Çalışmanın Organizasyonu.....	9
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	10
2.1. Genel Yerleşim Problemleri.....	10
2.2. Acil Sağlık Sistemlerinde Yerleşim Problemleri.....	13
2.2.1. Statik Deterministik Yerleşim Modelleri.....	13
2.2.2. Olasılıklı Yerleşim Modelleri.....	15
2.2.3. Dinamik Yerleşim Modelleri.....	17
2.2.4. Stokastik Modeller.....	18
2.3. Literatürün Değerlendirilmesi.....	19
3. MATERYAL VE METOT.....	21
3.1. Materyal.....	21
3.2. Metot.....	25
3.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri.....	26
3.2.2. Alternatif Çözüm Yaklaşımları.....	27
3.2.2.1. Doğrusal Programlama.....	27
3.2.2.2. Genetik Algoritma.....	28
3.2.3. Önerilen Çözüm Yaklaşımı.....	30

3.2.3.1. Varsayımlar.....	30
3.2.3.2. Doğrusal Programlama Modeli.....	31
3.2.3.3. Bugünkü Değer Analizi.....	37
3.2.3.4. Genetik Algoritma Yaklaşımı.....	40
4. BULGULAR.....	48
4.1. Bulgular.....	48
4.1.1. CBS Uygulaması ve Saha Çalışması.....	48
4.1.2. Bugünkü Değer Analizi Sonuçları.....	49
4.1.3. Tamsayılı Programlama Modeli.....	50
4.1.3.1. Duyarlılık Analizi.....	54
4.1.4. Genetik Programlama.....	62
4.2. Tartışma.....	65
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	67
5.1. Çalışmanın Özetlenmesi.....	67
5.2. Araştırma Sonuçları.....	59
5.3. Sonraki Çalışmalar için Öneriler.....	69
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	75
EKLER.....	66
EK 1. Statik Deterministik ve Dinamik Modeller.....	76
EK 2. Olasılık Modelleri.....	77
EK 3. Yüreğir Bölgesi Nüfusları.....	78
EK 4. Seyhan Bölgesi Nüfusları.....	79
EK 5. Adana İli Bölgeler Arası Mesafe Matrisi.....	81
EK 6. LINGO 8.0 Tamsayılı Programlama Modeli.....	82
EK 7. LINGO 8.0 Doğrusal Programlama Sonucu.....	84

SIMGELER ve KISALTMALAR

HAS	Hızır Acil Servis
ALS	Advanced Life Support
BLS	Basic Life Support
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
GA	Genetik Algoritma
A.S.H.I.	Acil Sağlık Hizmetleri İstasyonu
LINGO	Linear Integer and Nonlinear General Optimizer
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Acil Sağlık Sisteminde stratejik, taktiksel ve operasyonel kararlar.....	6
Şekil 2.1. Yerleşim problemleri sınıflandırılması.....	11
Şekil 3.1. Adana ili şehir haritası.....	21
Şekil 3.2. Bir ambulans sistemindeki olaylar dizisi.....	23
Şekil 3.3. Alternatif çözüm yaklaşımları.....	27
Şekil 3.4. Genetik algoritma süreci.....	29
Şekil 3.5. Genel giderlerin şimdiki değer hesap doğrusu.....	38
Şekil 3.6. Hizmet maliyetleri şimdiki değer hesap doğrusu.....	39
Şekil 3.7. Başlangıç çözüm kromozomu.....	41
Şekil 3.8. Rulet tekerleği.....	44
Şekil 3.9. Tek noktada çaprazlama.....	45
Şekil 3.10. İki noktada çaprazlama.....	45
Şekil 3.11. Mutasyon için Pseudo kod.....	46
Şekil 4.1. Adana ili karayolları ve semt merkezleri.....	48
Şekil 4.2. Adana ili bölgeler haritası.....	48
Şekil 4.3. Değişen nüfus sınırına bağlı olarak A ve B tipi istasyon sayılarındaki değişkenlik.....	56
Şekil 4.4. Değişen nüfus aralığına bağlı olarak A ve B tipi istasyonlarının ambulans sayılarındaki değişkenlik.....	57
Şekil 4.5. Değişen nüfus aralığına bağlı olarak maliyetteki değişkenlik.....	57
Şekil 4.6. Değişen müdahale süresine bağlı olarak A ve B tipi istasyon sayılarındaki değişkenlik.....	58
Şekil 4.7. Değişen müdahale süresine bağlı olarak A ve B tipi istasyonundaki araç sayılarındaki değişkenlik.....	59
Şekil 4.8. Değişen müdahale süresine bağlı olarak maliyetteki değişkenlik.....	59
Şekil 4.9. Değişen A tipi istasyon maliyetinin B tipi istasyon maliyetine oranına bağlı olarak istasyon sayılarındaki değişkenlik.....	60
Şekil 4.10. Değişen A tipi istasyon maliyetinin B tipi istasyon maliyetine oranına bağlı olarak araç sayılarındaki değişkenlik.....	61
Şekil 4.11. Değişen B tipi istasyon maliyetinin A tipi istasyon maliyetine oranına bağlı olarak istasyon sayılarındaki değişkenlik.....	61
Şekil 4.12. Değişen B tipi istasyon maliyetinin A tipi istasyon maliyetine oranına bağlı olarak istasyon sayılarındaki değişkenlik.....	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 2.1. Statik deterministik ve dinamik yerleşim modelleri.....	19
Çizelge 2.2. Olasılık yerleşim modelleri.....	20
Çizelge 3.1. Adana ili 112 A.S.H.İ ve araç durumu (2007).....	25
Çizelge 3.2. Maliyetler notasyon tablosu.....	37
Çizelge 3.3. Satır ceza puanları.....	42
Çizelge 3.4. Sütun ceza puanları.....	43
Çizelge 3.5. Kromozomların yüzdelik dilimleri.....	43
Çizelge 4.1. Maliyet değerleri tablosu.....	50
Çizelge 4.2. Tamsayı programlama sonuçları.....	53
Çizelge 4.3. Mevcut durum ve önerilen durum karşılaştırması.....	53
Çizelge 4.4. Değişen nüfus aralığına bağlı olarak ortaya çıkan farklılıklar.....	55
Çizelge 4.5. Tek noktada çaprazlama yapılarak GA sonuçları.....	63
Çizelge 4.6. İki noktada çaprazlama yapılarak elde edilen GA sonuçları.....	64
Çizelge 4.7. Tek nokta ve iki noktada çaprazlama sonuçları karşılaştırılması.....	64
Çizelge 4.8. Nüfus üst sınırındaki değişikliğe bağlı olarak GA'nın optimum sonuçla karşılaştırılması.....	65

1. GİRİŞ

1.1. Acil Servis Sistemleri

Acil servis sistemleri, yurt genelinde afet, yangın, hastalık, anında veya en kısa zamanda müdahale gerektiren olaylar için kurulmuş itfaiye, polis ve ambulans sistemleri ve kurtarma ekiplerinden oluşur. Can ve mal kaybının en aza indirilmesi için bu organizasyonların çalışma sistemleri değişen nüfus, teknoloji, toplumsal olaylar, doğal afetler ve değişik ölçütler dikkate alınarak yeniden düzenlenmekte ve maksimum fayda sağlanabilecek şekilde değiştirilmektedir. Dünyada farklı uygulamalarla hizmet veren bu sistemlerin en önemli performans parametreleri vakaya müdahale süresi ve hizmet kalitesidir.

Gelişen teknoloji ve insan sağlığını tehdit eden dışsal faktörlerin artması sonucu hayati önem taşıyan olayların sayısı artmaktadır. Bu sebeple acil servis sistemlerinin niteliği ve niceliği insan hayatı ve malı açısından önemini korumakta ve bu konudaki ihtiyaçlar da artmaktadır. Artan bu ihtiyaçlar hem bu alanda yenilikler yapılmasını hem de mevcut koşulların iyi bir şekilde irdelenmesini ve araştırılmasını gerektirmektedir.

Dünyanın birçok ülkesinde acil servis sistemleri birbirine bütünleşmiş ve birbirleriyle bağlantılı olarak çalışmaktadır. Tek numaralı çağrı merkezlerine gelen acil vaka ile ilgili gerekli bilgilere hazırlanan standart bilgi edinme süreci ile ulaşıldıktan sonra, duruma en uygun servis veya servisler olay yerine en kısa zamanda ulaşacak şekilde yönlendirilmektedir.

Acil servis sistemlerinden biri olan ambulans hizmetleri ise can kaybını en aza indirmeyi hedefleyen doktor, hemşire ve paramedik bulunduran ambulanslardan, komuta kontrol merkezinden ve bağımsız veya sağlık kuruluşları bünyesinde bulunan istasyonlardan ve donanım ve ekipmandan oluşmaktadır. Bu genel tanımlama ülkelerin durumlarına, ihtiyaçlarına ve sistemi uygulayış biçimlerine göre değişiklik göstermektedir.

Dünyada ambulans hizmetleri devlet veya özel sektöre bağlı olarak çalışmaktadır. Çalışma sistemleri, genel olarak çağrı merkezlerine çağrı gelmesiyle ve uygun ekipmanın olaya yönlendirilmesiyle başlayan bir süreçtir. Dünyanın farklı bölgelerinde olay yerine varılmasından sonra farklı uygulamalar yapılmakta veya farklı düzeyde personel çalışmaktadır. Üç farklı uygulama şekli görülmektedir. Bunlar kap ve götür (scoop and run), kal ve oyna(stay and play) ve kal ve oyna-kap ve götür (stay and play, scoop and run)'dür.

Dünyanın bilinen büyük ambulans hizmetlerinden biri olan Toronto acil sağlık sistemleri 1883'ten günümüze kadar farklı aşamalardan geçerek günümüze kadar gelmiştir. Amerika'da genel olarak uygulanan sistem kap ve götür sistemidir. 911 ile aranan çağrı merkezlerinde ilk önce vakanın durumu hazırlanan soru listesi takip edilerek ortaya konur ve araç gerekmediği durumlarda telefonda talimatlar verilerek kişilere yardım edilir. Önceki yıllarda iki donanımlı olan araçlar tek tipe indirilmiş ve tam donanımlı ambulanslar kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra hastaneler arası nakil yapan, kitlesel kazalarda kullanılan otobüs ambulanslar, kalabalık içerisine girebilecek mini ambulanslar, taksi tipi mobil ambulanslar ve dağ bisikletleri gibi farklı özellikteki araçlarla farklı durumlarda hizmet verilmektedir.

Hollanda'da 80 civarında devlet ve özel sektöre ait ambulans hizmeti bulunmaktadır. Ülke 26 bölgeye ayrılmıştır, her bölgede 112 numarası ile bağlantı kurulabilecek bir komuta kontrol merkezi bulunmaktadır. Bu merkezlerde, çeşitli servisler ve gelen çağrıya göre yönlendirilebilecek ambulanslar bulunmaktadır. Hizmet kalitesi açısından dikkate alınan standart vakaların %90'ına 15 dk içerisinde cevap verilmesidir. Ambulanslarda iyi eğitilmiş paramedik ve sağlık hizmeti bilgisi olan şoför bulunmakta ve asıl uygulama şekli kal ve oyna olsa da her ambulansın aynı standart hizmeti sunamayabileceği ihtimali ile halen kap ve götür sistemi uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra her travma merkezinde bir özel kurtarma ambulansı, dört hastane ve bir helikopter bulunmaktadır. 10 ayrı gruptan oluşan ve doktorlu olan bu ekipler, ülke genelinde hizmet vermekte ve hastaneyi sokağa taşımaktadır. Bu hastalar, hastaneye gitmeden stabilize edilmekte ve %80'i doktorlu ambulans ile hastaneye taşınmaktadır (Duis ve Werken, 2003).

Ülkemizde acil yardım hizmetlerinin düzenlenmesinin ilk adımı 1985 yılında Ankara Numune Hastanesi bünyesinde başlatılan Hızır Acil Servisi (HAS) ile atılmıştır. HAS'lerin çalışma koşulları, etkinlikleri ve başarı oranları ile ilgili elimizde yeterli çalışmalar bulunmamakla birlikte o dönemlerde HAS'lerin geleneksel ulaşım araçlarına bir yenisini eklemekten öteye gitmediği gözlenmiştir.

1994 Ocak ayında Devlet Hastanelerinin acil servislerinde “077 Hızır Acil Servisler” kurularak ambulans ile hizmet vermeye başlamıştır. 1994 Mart ayından itibaren Ankara, İstanbul ve İzmir illerinden başlamak üzere diğer illerde de Acil Yardım ve Kurtarma Komuta Kontrol Merkezleri kurulması uygun görülmüş, şimdiki komuta kontrol merkezlerinin temelleri atılmış ve mevcut sistem yeniden organize edilerek hizmete sunulmuştur.

1996 yılından itibaren İstanbul, Ankara, İzmir, Adana ve Antalya illerinde günümüzde hizmet veren 112 Acil Sağlık Komuta Kontrol Merkezleri ve 112 Acil Sağlık İstasyonları’nın pilot uygulamaları başlatılmıştır. İl Sağlık müdürlüğüne bağlı çalışan 112 Acil Sağlık İstasyonları temel hizmet birimleri olan komuta kontrol merkezleri, istasyonlar ve sağlık kuruluşları gibi destek hizmet birimlerinden oluşmaktadır. Ülkemizde 2007 itibarı ile 81 ilde hizmet veren 1134 istasyon ve 2000 adet ambulans bulunmaktadır.

Türkiye’deki ambulans çalışma sistemi kal-oyna ve kap-götür modelidir. Acil yardım ambulansları ve nakil ambulansları ile hizmet veren acil servis sisteminde vaka tipine göre acil yardım ambulansı veya nakil ambulansı olay yerine yönlendirilir. Acil yardım ambulansı olay yerinde vakaya müdahale etmek üzere uygun ekipmanla ve teçhizatla olay yerine giderken, nakil ambulansı hastayı uygun hastaneye nakil etmekle görevlendirilmiştir.

Acil sağlık hizmetleri, ülke çapında eşit, ulaşılabilir, kaliteli, süratli ve verimli olarak yürütülen, sağlık hizmeti sunan ve sağlık hizmeti ile ilgili olan bütün kurum ve kuruluşları kapsamaktadır.

Sağlık Bakanlığı bünyesinde olan sağlık hizmetleri, genel müdürlük, şube müdürlükleri, merkezler, istasyonlar, acil servis, acil sağlık hizmetleri ve acil yardım ekiplerini içine alır.

1.2. Problemin Tanımı

Ambulans hizmetleri performans kriteri olan müdahale süresini etkileyen en önemli problemlerin yanlış adres bildirimi, ambulansların meşgul olma durumları, yetersiz ekipman, istasyon yerleşiminden kaynaklanan sıkıntılar ve trafik olduğu bilinmektedir. Bu sorunların birçoğu doğru yerlere ve doğru sayıda istasyon yerleşimi yapılmamasından kaynaklanmaktadır.

Türkiye’de ambulans hizmetlerinde karşılaşılan en büyük problemler;

- i. Vaka durum tespitinde karşılaşılan sorunlar
- ii. Çağrı merkezine gelen yanlış çağrılar
- iii. Yanlış adres bildirimi
- iv. Yetersiz teknolojiye kaynaklanan zaman kaybı
- v. Kaynak yetersizliği veya kaynakların verimsiz kullanımından kaynaklanan atıl kaynaklar
- vi. Standart müdahale süresinde olay yerine ulaşamama
- vii. Yoğun trafik
- viii. Personelin eğitiminden kaynaklanan problemler
- ix. Kurumlar arası bütünleşme bozukluğu ve izlekler

Acil servis sistemlerinde alınan kararlar üç kısımda toplanabilir. Bunlar stratejik, taktik ve operasyonel kararlardır (Gendreau ve ark., 1997).

Stratejik Kararlar: Stratejik kararlar, uzun vadede değiştirilmesi güç olan ve değiştirildiğinde yüksek maliyetlere sebep olan kararlardır. Bu sebeple, stratejik kararlar sistemin uzun vadede çok fazla değişikliğe ihtiyaç duymayacağı, ya da değişen koşullara karşı daha esnek olacak şekilde planlanmalıdır. Yapılan çalışmalarda stratejik kararlar alınmasını gerektiren problem sabit noktalara istasyon yerleşimi veya değişen noktalara ambulans yerleşimi konusunda olmuştur.

Taktik ve Operasyonel Kararlar: Herhangi bir istasyonun veya aracın yerleşimi ile diğer faaliyetler bu temeller üzerinden kararlaştırılır ve yürütülür. Acil servis sistemlerinde araç veya istasyon yerleri belirlendikten sonra bunların çalışma

sistemleri, bulunulan coğrafyaya, koşullara, populusyona veya vaka sıklıklarına göre zamansal ve maliyet olarak değıştirilmesi çok zor olmayan kararlar alınır. Taktiksel kararlar alınan problemler;

- i. Araçların yönlendirilmesi
- ii. Araç, personel ve ekipman sayısı ve tipinin belirlenmesi.
- iii. Değişen koşullar altında uygun zamanda kaynak dağılımının yapılabileceği yöntemlerin belirlenmesi

Operasyonel anlamda karşımıza çıkan problemlerin temelinde yanlış alınmış uzun dönem kararların ve politikaların olduğu görülebilir. Can ve mal kaybının en aza indirilmesi, en kısa zamanda ve en uygun donanım ile yapılan müdahaleleri gerektirir. Servis sonucunda sağlanabilecek bu fayda, eldeki yeterli ve uygun kaynaklara, kullanılan teknolojiye ve araçların taleplere ulaşımını kolaylaştıracak uygun yerlere yerleştirilmiş olmasına bağlıdır. Bütün bunların bilimsel bir temele oturtulması ve istenmeyen problemlerin anlık kararlarda ortaya çıkmaması için iyi bir şekilde mevcut durumun değerlendirilmesi gerekmektedir.

Operasyonel temelde karar alınmasını gerektiren, gelen çağrıya göre değişen anlık kararlar, sistemin kararlılığı için önemlidir. Bu kararlar, sistemin esnekliğini artırabilecek sağlıklı uzun dönem stratejik ve taktik kararlar alındığında elde edilebilecek faydayı artırabilir veya zararı azaltabilir. 1960'ların ortalarından bu yana acil servis sistemlerinde karşılaşılan bu tür problemler için bir takım matematiksel modeller ve bunların çözümleri üzerine metodlar geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu problemler için alınan kararlar stratejik, taktik ve operasyonel anlamda sınıflandırılabilir (Şekil 1.1).



Şekil 1. 1. Acil sağlık sisteminde stratejik, taktik ve operasyonel kararlar

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Acil yardım hizmetlerinde, çağrı geldiği anda acil yardım yöneticileri için önemli olan vakanın durumunu, şiddetini ve aciliyetini tespit etmek ve gönderilecek ambulans tipi, sayısını ve uygun ekipmanı belirlemektir. Acil durumlarda zaman çok önemli olduğundan, yeterli talebin karşılanması ve hızlı müdahalenin sağlanması için uygun donanım ve donanımın yanı sıra optimum istasyon yerleşiminin olması gerekir. Bu açıdan bakıldığında taktiksel ve operasyonel kararların yanı sıra uzun dönem stratejik planlarında etkili olduğunu söyleyebiliriz. Uzun dönemde kurulu bir sistem ne kadar doğru planlanmışsa onun üzerinden uygulanacak taktiksel ve operasyonel kararlarda o kadar doğru alınacaktır. Bu açıdan bakıldığında uzun dönem stratejik kararlar tüm sistemin en iyi şekilde çalışmasında en büyük etkiyi göstermektedir.

Çalışmanın amacı, ambulans istasyonu yerleşim ölçütleri dikkate alınarak Adana il sınırları içerisinde acil yardım hizmetlerinde hizmeti veren ambulans istasyonlarının vakalara en kısa sürede ulaşabileceği ve sağlık kuruluşuna kadar geçen sürecin en kısa zamanda tamamlanarak olay sıklığına yeterli sayıda ambulansla hizmet verebilecek ve istasyonların atıl kalmalarının azaltılacağı minimum maliyetli bir yerleşim modeli oluşturmaktır.

Bu çalışmada, acil sağlık sistemleri ile ilgili problem istasyonların yerleşimlerini Adana il merkezinde, popülasyona ve olay olma sıklığına bağlı olarak gelen acil vaka çağrılarına, vaka önceliğine göre belirtilen standart zamanı aşmayacak şekilde uygun, yeterli veya atıl kalmayacak sayıda istasyon ile optimum bir şekilde yapabilmektir. Bu şekilde kaynak kullanımında yaşanan sıkıntılar ve vakalara yapılan geç müdahaleler en azaltılacaktır.

Sonuç olarak, çalışma teoride acil vakalara en kısa zamanda müdahaleyi ve ihtiyaç anında yeterli ekibi ve donanımı karşılayabilecek bir yerleşim modeli oluşturmada kurumun misyonunu yerine getirmesi açısından önemlidir. Daha önce, itfaiye istasyonları için yapılmış olan çalışma, acil sağlık sistemlerinde hem ambulans sayısı ve hem de yerleşiminin belirlenmesi açısından birkaç senaryo geliştirilerek yapılacaktır.

1.4. Çalışmanın Adımları

Çalışma süresince aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

- 1) ***Problem ile ilgili verilerin ve materyallerin toplanması:*** Acil yardım araç istasyonlarının yerleşimi ile ilgili olarak Adana İl Sağlık Müdürlüğünden çağrı kayıtları, karayollarında trafik kazaları sıklığı, mevcut istasyon durumu, İl Belediyesinden Adana il haritası, Nüfus İstatistik Müdürlüğünden 2005 yılı nüfus sayımına göre mahalle bazında nüfus verileri alınmıştır.
- 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 programlama yöntemi ile çözülmüştür.
- 6) ***Probleme genetik algoritma tekniğinin uygulanması ve çözümü:*** Meta sezgisel programlama tekniklerinden biri olan genetik algoritma tekniği ile problem yeniden formüle edilmiş ve çözülmüştür.
- 7) ***Değişik senaryolarla modellerin yeniden çalıştırılması:*** Eldeki model ve algoritma üzerinde bir takım değişiklikler yapılarak farklı çözümler elde edilmiştir.
- 8) ***Sonuçların değerlendirilmesi:*** Çalışma sonucu elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.
- 9) ***Sonraki çalışmalar için öneriler geliştirilmesi:*** Daha sonraki çalışmalara kaynak olacak sonuçlar ile farklı senaryolar üzerinde çalışılabileceği vurgulanmıştır.

1.5. 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 uygulama yapılacak il ve acil sağlık sistemleri hakkında çalışmada kullanılan genel bilgilerden bahsedilmektedir. Bu materyallerin nasıl kullanılacağı ve verilerin işlenmesi için kullanılan metotlar bu bölümde anlatılmaktadır. Ayrıca, oluşturulan yeni model, modelde kullanılacak verilerin hesaplanma yöntemleri, kullanılacak alternatif çözüm yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, yöntemler kullanılarak Adana ilinde yapılan uygulamanın kullanılan yöntemlerle elde edilen sonuçları ortaya konulmuştur. Her bir yöntemde, yöntemlerin özelliklerine göre parametrelerde veya algoritmada değişiklikler yapılarak elde edilecek sonuçlar verilmiştir.

Son bölüm olan sonuç bölümünde elde edilen bulgular değerlendirilmiş, önerilerde bulunulmuş ve sonraki çalışmalar için yapılabilecekler verilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Genel Yerleşim Problemleri

Her devlet veya özel sektör işletmesinde tesislerin yerleşimi konusunda müşterilere veya tesisler arasındaki ilişkiye bağlı olarak bir takım yerleşim çalışmalarına gerek duyulmuştur. Firmanın ürünlerini etkili bir biçimde üretmesinde ve pazarlaması veya bir acentenin kaliteli bir servisle ürünlerini teslim etmesi o firmanın veya acentenin tesis yerleşimine bağlıdır (Daskin, 1995).

İtfaiye ve ambulans hizmetlerinin verildiği devlet sektöründe kötü bir yerleşim modeli beklenenden fazla zayıflara ve ölümlere sebep olurken; dağıtım merkezlerinin, üretim ve montaj tesislerinin vb. çalıştırıldığı özel sektörlerde bu kayıp artan maliyetlerde ve azalan rekabet gücünde kendini gösterir. Özetle, devlet sektöründe de özel sektörde de hizmet birimlerinin uygun hedeflerle faaliyet göstermesi bu birimlerin bölgeye yerleşim durumuna bağlıdır.

Yerleşim teorisi kapsamında ilk basit çalışma Weber tarafından yapılmış ve daha sonraki çalışmalar için matematiksel bir temel oluşturmuştur. Tek bir araç veya tesis için geliştirilen bu çalışma Fermat problemi, Fermat-weber problemi, Steiner problemi, Steiner –Toriçelli problemi, tekli medyan problemi, medyan merkez problemi gibi adlarla da literatürde geçmektedir. Weber problemi (a_i, b_i) koordinatlarındaki n sabit noktadan ağırlıklı Öklit uzaklığını en aza indiren (x, y) ‘minisum’ noktasının bulunmasıdır. Bu sabit noktaların ağırlıkları w_i ile gösterilir. Weber problemine en basit örnek, (a_i, b_i) sabit noktalardaki müşterilerin taleplerinin (x, y) noktalarına sevkiyatının birim uzaklık için w_i olarak ağırlıklandırıldığı maliyeti en aza indirecek noktalardan birine depo yerleşiminin yapılmasıdır.

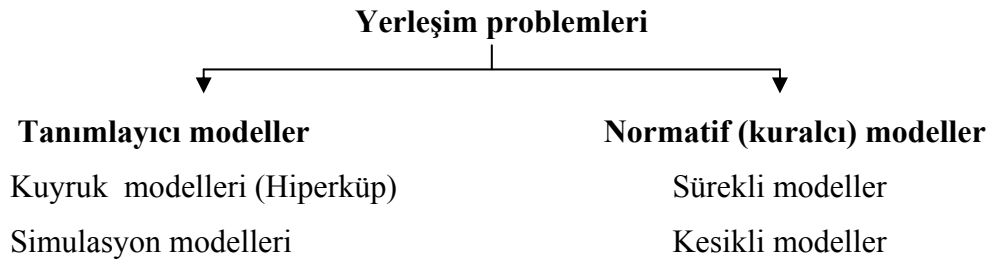
Problemin matematiksel formülü;

$$\min_{x,y} \left\{ W(x,y) = \sum_{i=1}^n w_i d_i(x,y) \right\}$$

(x,y) ve (a_i,b_i) noktaları arasındaki Öklit uzaklığı:

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

Yerleşim modellerinin çözümünde ilk basamak, araç veya tesis yerleşimi için uygun yerlerin tespit edilmesi ve ikincisi bu modeldeki araç yerleşiminde kullanılacak kriterlerin belirlenmesidir.



Şekil 2. 1. Yerleşim Problemleri Sınıflandırılması

Yerleşim problemlerini genel bir bakış açısıyla iki kategoride toplamak mümkün. tanımlayıcı modeller ve normatif (kuralcı) modeller (Şekil 2.1).

Tanımlayıcı modeller sistemin verilerinden yola çıkarak durumunu analiz eden ve performansını takip eden ve olası senaryolar kurularak sistemin durumunun gözlemlenebileceği modellerdir. Bunlardan biri kuyruk modelleri; ki bunların en önemlisi Hiperküp modeli (Larson, 1974) acil sağlık sistemlerinin analizinin yapılması için geliştirilmiş bir modeldir. Acil sağlık sisteminin çalışmasını ve bütün parametrelerini test etmek için kullanılmıştır. Hiperküp modeliyle bir ambulansın yerleşim yeri ve talep seviyesi verildiğinde meşgul olma olasılığını bulmak mümkündür (Goldberg, 2004).

Simulasyon çalışmaları ise sistemin belirsiz koşullarda performansının değerlendirilmesi ve farklı koşullarda sistemde olabilecek geliştirmelerin gözlemlenmesi için kullanılmıştır. Lubicz ve Mielczarek (1987), Goldberg ve ark.

(1990), Zaki ve ark. (1997) ve Haghani ve ark. (2003), ambulansların yerleşimi üzerine simulasyon çalışmaları yapmışlardır.

Normatif (kuralcı) modeller ise istenilen amaçlar doğrultusunda optimum sonuçlar elde etmek amacı ile geliştirilmiştir. Sürekli kapsama, kesikli kapsama modellerini içerir.

Sürekli Kapsama Yerleşim Modelleri: Sürekli yerleşim problemleri, kesikli yerleşim problemlerinde olduğu gibi her uygun yerleşim noktasını vermez. Hangi bölgenin veya noktanın yerleşim için uygun olabileceği kesin olarak bilinmeden mevcut bölge içerisinde aday noktalar araştırılır. Bu yüzden sürekli yerleşim modelleri bölge düzenleme (site generating) şeklinde dikkate alınabilir (Love ve ark., 1988). Sürekli yerleşim modellerinde, talepler ağ üzerindedir; araç yerleşim noktaları bölge üzerinde herhangi bir yerde oluşabilir, uzamsal olasılık dağılımları ile gösterilirler. Çözümleri doğrusal olmayan programlama algoritmaları ile yapılmaktadır.

Kesikli Kapsama Yerleşim Modelleri: Kesikli kapsama yerleşim modellerinde, düğümler arasında duruma göre oluşturulan uzaklıklar kullanır. Ağ üzerinde talep noktaları ve araç yerleşim noktaları bulunmaktadır. Kesikli yerleşim problemleri karışık (mixed) tamsayılı programlama ile formüle edilir. Amaç, talep bölgelerinin kapsanmasıdır. Bir talep bölgesine, belirli standartlar içerisinde bir araç veya tesis tarafından hizmet veriliyorsa o talebin kapsandığı söylenir. Bu modelleri *P*-Medyan, *P*-Merkez ve Kapsama Modelleri olarak sınıflandırabiliriz. *P*-Medyan (Hakimi, 1964) modellerinde, amaç talep noktaları ve araçlar arasındaki talep ağırlıklı uzaklığı minimize edecek *P* aracın yerleşim noktalarının belirlenmesidir. *P*-merkez modelleri en yakındaki talep noktasına olan maksimum uzaklığı minimize edecek şekilde *p* tesis veya aracın yerleşim modelidir. Modelin çözümü uzaklık azaldıkça *p* sayısına ulaşır. Tesis sayısı $p + 1$ olduğunda elde edilen *S* noktası *p* tesisin yerleşiminde elde edilebilecek en küçük maksimum uzaklıktır. Daha fazla tesis veya araç, *S* uzaklığını arttıracaktır. Bu modelin çözümü Minieka (1970) ve Christofides ve Viola (1971) tarafından anlatılmıştır.

Kapsama ve merkez problemleri sistemin en kötü durumuna (worst case behavior) odaklanmıştır. Pratikte, maksimum müdahale süresi ve ortalama müdahale süresinin minimizasyonu arasında ödünleşme vardır. Bu durumda, ortalama müdahale süresini en küçükleyen p aracın yerleşimini amaç alan yeni bir model oluşturulmuştur. Bu model p -median modelidir (Hakimi, 1964).

2.2. Acil Yardım Hizmetlerinde Yerleşim Problemleri

Acil servis sistemlerinde karşılaşılan yerleşim problemleri genellikle aynı amaçları hedeflemek üzere modellenmeye çalışılmıştır. İtfaiye, polis, kurtarma ekipleri ve acil yardım hizmetleri için müdahale süresi ve kapsanan talep sistemin önemli performans kriterlerindendir. Geliştirilen modeller statik deterministik, olasılıklı, dinamik ve stokastik modellerdir.

2.2.1. Statik Deterministik Kapsama Modelleri

Statik deterministik kapsama modelleri sistemin statik olduğu, servis sürelerinin, taleplerin, uzaklıkların ve diğer parametrelerin belirli değerler aldığı modellerdir. 1960'lardan beri üzerinde çalışılan bu modeller basit matematiksel modellerden daha karmaşık, amaçlar doğrultusunda farklı kısıtlarla ve farklı amaç fonksiyonları ile geliştirilmiştir.

Yerleşim Küme Kapsama Modeli (LSCM) (Toregas ve ReVelle, 1971): Yerleşim küme kapsama modeli, kapsama modellerinin en basit halidir. En temel deterministik kapsama modeli, yerleşim küme kapsama modeli (LSCM) acil servis sistemleri araç sayısı ve yerleşim bölgelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır (Toregas ve ReVelle, 1971). Burada, amaç fonksiyonuna maliyet değişkeni de eklenebilir. Maliyeti minimum yapacak ve tüm talebi karşılayacak minimum araç sayısı da buradan bulunabilir. Yalnız bu model uygulamada yetersiz kalmıştır. Belirli bir uzaklıkta bulunan talep bölgelerini kapsayacak minimum araç sayısını bulmaya yönelik bu

model nüfus, yol durumu veya servis ihtiyaç durumunu dikkate almamıştır. Doğrusal programlama yöntemi veya bir takım indirgeme metotları ile çözümü yapılabilir.

Maksimum Kapsama Yerleşim Modeli (MCLM) (Church ve ReVelle, 1974):

Küme kapsama modelinde tüm talebin kapsanması için maliyeti yükseltecek kaynak belirlenmesi yapılırken, eldeki kaynaklarla kapsanabilecek maksimum talebin optimizasyonu için maksimum kapsama yerleşim modeli ortaya konmuştur. Maksimum kapsama yerleşim modeli (MCLM), araçtan S uzaklıkta kapsanabilecek popülasyonu veya talebi maksimum yapabilecek p aracın veya tesisin yerleşim modelidir.

Bu modelin çözümü için Church ve ReVelle (1974), dal ve sınır algoritması destekli doğrusal programlama; Daskin ve Schilling ve ark. (1993) Greedy ve Miyopik sezgisel metodu; Daskin (1995), Galvao ve ReVelle (1996) Lagranj yaklaşımını; White ve Case sezgisel yöntemler kullanmıştır. Modelin en önemli noktası, kapsanacak popülasyon ve faydası arttırılacak araç veya tesis sayısı arasındaki ödünleşme eğrisini geliştirmektir (Brotcorne ve ark., 2003).

Eaton ve ark.,(1985), Austin, Texas’da acil sağlık servisinin yeniden organizasyonu için MCLP kullanmışlardır. Hem maliyet, hem müdahale süresi açısından iyileştirmeler yapılmıştır.

Eaton ve ark. (1986), Santa Domingo için yaptıkları çalışmada sıralı optimizasyon yaparak; küme kapsama modeli ile tüm talebi kapsayacak minimum araç sayısını belirlerken, maksimum yerleşim kapsama modeli ile belirlenen araç sayısı ile çoklu kapsanan talebin maksimizasyonunu yapmışlardır.

Çift Ekipmanlı Dağıtım Modeli (TEAM) (Schilling ve ark.,1979):

Tek tip olarak alınan araç modelleri bu modelle farklı tip araçlar için çalıştırılmıştır. Farklı araçların atanması ile ilgili çift ekipmanlı dağıtım modelini (TEAM) geliştirmiştir. ALS ve BLS birimlerinin dikkate alındığı ambulans servis sistemlerinde kullanılabilirliği olan bir modeldir. p^A ve p^B , A ve B tipindeki ambulans sayısını, r^A ve r^B her bir araç tipi için kapsama standartlarını gösteriyor.

Araç Yerleşim, Ekipman Yerleştirme Modeli (FLEET) (Schilling ve ark.,1979) : TEAM modelinden farklı olarak, araç- yerleşim, ekipman- yerleştirme modelinde (FLEET) sadece p yerleşim yeri kullanılabilir (Brotcorne ve ark., 2003).

Hiyerarşik Amaçlı Küme Kapsama Yerleşim Modeli (Daskin ve Stern, 1981) Bu modelle, daha önceki çalışmalardan farklı olarak bölgelerin yedek kapsama durumu dikkate alınmıştır. Modelde amaç, tüm bölgelere belirli bir uzaklık veya zaman baz alınarak en az bir araçla hizmet sağlayabilecek minimum araç sayısı belirlenirken aynı standartlarda çoklu kapsama (yedek) yapacak araç sayısının maksimizasyonun yapılmasıdır.

Burada yapılmak istenen deterministik bir modelde, minimum sayıda ambulans ile ambulansların meşgul olma durumlarında başka bir ambulansın hizmet verebilme durumunu sağlamaktır. Böylece deterministik modellerin çoklu kapsama eksikliği giderilmeye çalışılmıştır.

Yedek Kapsama Problemi 1: (BACOP1) (Hogan ve ReVelle ,1986) Hogan ve ReVelle (1986), bu modelle herhangi bir talep noktasını en az bir yedek araçla kapsayabilecek optimum yerleşimi elde etmeye çalıştılar.

Yedek Kapsama Problemi 2: (BACOP2) (Hogan ve ReVelle ,1986) BACOP1 modeli tüm talep noktaları için en az bir kez kapsamayı gerekli görüyordu. Bu durumda bazı bölgeler çok daha fazla kez kapsanabiliyordu. Bu sebeple, Hogan ve ReVelle(1986), her bölgenin kapsanmasının zorunlu olmadığı maksimal kapsama yerleşim modelini temel alan bir kez ve yedek kapsanan talebin maksimizasyonunu amaç alan BACOP2 modelini kurmuşlardır.

Duble Standard Model (DSM) (Gendreau, 1997): Gendreau ve ark., (1979), diğer modellerden farklı olarak zamansal iki kapsama standardı belirlediler. Her talep bir ambulans tarafından r_2 süre içerisinde kapsanıyor ve taleplerin α oranı r_1 sürede bir ambulans tarafından kapsanıyor ($r_1 < r_2$). Amaç, p sayıda araçla r_1 sürede kapsanacak talebin maksimizasyonudur.

2.2.3. Olasılıklı yerleşim modelleri

Olasılıklı yerleşim modelleri ile daha önce dikkate alınmayan araçların meşgul olma olasılıkları, gün içerisinde trafikten kaynaklanan ulaşım süresi değişiklikleri, taleplerdeki dalgalanmalar gibi değişiklikler dikkate alınmamıştır.

Maksimum Tahmini Kapsama Modeli (MEXCLM) (Daskin, 1983): Statik deterministik kapsama modellerinde araçların meşgul olma durumları göz önüne alınmamıştır. Olasılıklı modellerin ilki olan MEXCLP 'de, herhangi bir zamanda meşgul olan araç sayısı binom dağılıma uygun olarak tahmin edilmiştir. Araçların meşgul olma durumlarında uygun yerleşimle kapsanacak maksimum talebin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Fujiwara ve ark., 1987, Bangkok'da MEXCLM kullanarak yaptıkları uygulama ile araç sayısını 21'den 15'e düşürdüklerinde uygun yerleşim ile istenilen standartlarda hizmetin sağlanabildiğini ortaya koymuşlardır.

MALP I ve II (Hogan ve ReVelle, 1989): Araçların meşgul olma durumları dikkate alınarak, α olasılıkla kapsanan talebin maksimizasyonu yapılmaktadır. MALP I'de her bölge için meşgul olma olasılığı aynı iken MALP II'de her bölge için ayrı meşgul olma olasılıkları verilmiştir. Her bir bölge için alınan meşgul olma olasılığı alt değerdir. Fakat, burada karşılaşılan problem kapsamadığı bölgeye hizmet götürmesi gereken istasyonların ortaya çıkmasıdır. Bunun sebebi aslında araçların meşgul olma durumlarının programın aynı zamanda bir çıktısı olmasıdır.

Yenilenmiş MEXCLP (Batta ve ark., 1989): MALP II 'de karşılaşılan tüm sistemdeki araç yerlerinin meşgul olma durumlarının belirlenememesi üzerine Batta ve ark., 1989'da hiperküp modeli kullanarak, MEXCLP amaç fonksiyonundaki her bir değeri düzeltme faktörü ile çarparak ambulansların bağımsız olmadıklarını belirtmişlerdir. Böylece, bir kuyruk modeli ile araçların meşgul olma olasılıklarını hesaplamışlardır. Aldıkları meşgul olma değeri her bölge için aynıdır.

Modifiye edilmiş LSCM (Rel-P) (Ball ve Lin, 1993) Belirli bir uygunluk değeri veren araç sayısı ile doğrusal bir sabiti içeren geliştirilmiş küme kapsama modelidir. Amaç maliyeti minimum yapan uygun araç yerleşiminin yapılmasıdır.

TIMEXCLP (Repedo ve Bernardo, 1994): MEXCLM'nin zamana bağlı versiyonudur. Repedo ve Bernardo, 1994'te yaptıkları çalışma ile gün içerisinde trafiğe bağlı olarak müdahale süresinin değişikliğini dikkate alarak benzetim modülü ile modeli uygulamışlardır. Sonuçta, müdahale süresinin düştüğünü, aynı sürede karşılanan talebin arttığını ortaya koymuşlardır.

Olasılıklı Küme Kapsama Kuyruk Modeli (QPLSCP) (Marianov ve ReVelle, 1994) Bu model ile her bir bölgeyi kapsayacak araçların meşgul olma olasılıklarının belli bir eşik değerini aşmamasını sağlayan minimum sayıda araç sayısı hesaplanır.

İki Kademeli Olasılık Modeli (TTM) (Mandell, 1998) : Acil Servis sistemlerinde görev yapmakta olan iki tip ambulans vardır. Bunlar nakil (BLS) ve tam donanımlı (ALS) olmak üzere farklı kapasitelerde hizmet veren ambulanslardır. Bu modelde amaç, yeterli düzeyde karşılanabilecek çağrı sayısının maksimizasyonudur. İki yönlü kuyruk modeli ile sunucuları kullanabilir duruma getirmektedir.

2.2.4. Dinamik Yerleşim modelleri

Dinamik yerleşim modelleri, sistemin herhangi değişen bir durum altında yeniden modellenmesi gereken problemler için oluşturulmuştur. Herhangi bir t anına bağlı olarak istasyonların açılma kapanma durumları, yer değiştirme durumları, araçların yeniden atanma durumları ve mobil araçların yönlendirildiği veya değişen trafik, nüfus ve fiziksel durumlar için farklı yerleşim sonuçlarının elde edildiği çalışmalardır.

Dinamik modeller yeniden pozisyonlama (repositioning) ve yönlendirme (dispatching) olarak ikiye ayrılmaktadır.

1-Yeniden pozisyonlama

- Belli zaman aralıklarında farklı yerleşim yerleri belirlenmesi.
- Sabit yerleşim noktalarının belli zamanlarda açık veya kapalı duruma getirilmesi.

Rajagopalan ve ark. (2005), çok periyotlu küme kapsama modeli kullanarak araçları yeniden pozisyonlamışlardır.

2-Yönlendirme

- Talebe eşit uzaklıkta araçlar varsa veya farklı tip araçlar aynı yere yönlendirildiğinde.

Drezner ve Wesolowsky (1991), değişen popülasyona bağlı olarak istasyon yerleşim yerlerinin de değiştiği bir dinamik yerleşim modeli kurmuşlardır.

Current ve ark. (1997), toplam araç sayısının belirsiz olduğu durumlarda dinamik araç yerleşimi yapmışlardır.

Dinamik Duple Standart Model (DDSM) (Gendraeu ve ark.,2001): Ambulans yerleşim problemi, çağrı gelen her bir t anı için çözülmüştür. Modelin dinamik olma durumu t zamanında, zamana bağlı M_{jt}^t sabiti ile gösterilen l ambulansının $j \in W$ bölgesine yerleşiminden kaynaklanan maliyettir.

2.2.4. Stokastik Modeller

Stokastik modellerde, müdahale süresi, maliyetler, talep noktaları veya talep miktarı gibi parametre değerleri belirsizdir. Amaç istenilen parametre değerleri aralığında kararlı bir yerleşim modeli oluşturmaktır. Olasılıklı modellerden farkı olasılıklı modellerde rasgele değişkenleri bir olasılık dağılımına uydururken, stokastik modellerde ileriye yönelik olası değişken değerleri kullanılır.

Fitzsimmons (1973), $M/G/\infty$ kuyruk modeli ile araçların meşgul olma olasılıklarını dikkate alarak araç yerleştirme yapmıştır. Model Los Angeles'ta 14 ambulansın yerleşimi için kullanılmıştır.

Larson (1974)'un hiperküp modeli yerleşim modelleri içerisinde önemle dikkate alınan kuyruk modelidir. Olasılıklı çağrı gelişleri ve değişken servis süreleri dikkate alınarak tercih edilebilir servisler için, çoklu servis kuyruk sistemleri modellenmiştir. Çağrı gelişleri poisson ve servis süreleri üstel dağılıma uygun olarak alınmıştır.

Revelle ve Hogan (1989), α güvenirlilik düzeyinde hizmet veren p aracın maksimum servis süresinin minimizasyonu için model oluşturmuşlardır. Bir aracın servis karşılama süresindeki sapmalar dikkate alınarak o aracın kapsama alanı içerisinde herhangi bir talep noktasına hizmet verebilme olasılığı tahmin edilmiştir. Modelde yerleştirilen araç sayısı, araçların servise uygunluk düzeyindeki güvenirlilik ve kapsama düzeyleri arasında denge kurulmaya çalışılmıştır.

Marianov ve Revelle (1994), olasılıklı küme kapsama kuyruk modeli (QPLSCP) ile her bir bölgeyi kapsayacak araçların meşgul olma olasılıklarının belli bir eşik değeri aşmamasını sağlayan minimum araç sayısı hesaplanır.

Marianov ve Revelle (1996), MALP modeli geliştirilerek ve kuyruk modeli kullanılarak Q-MALP modeli oluşturulmuşlardır. Müdahale süreleri ve uzaklıklar rasgele değişkenler olarak alınmıştır. Kuyruk modeli ile sınırlı sayıda araçla α güvenirliliğinde belirli uzaklık veya süre kısıtında kapsanan talebin maksimizasyonu yapılmaktadır. $M/G/s/s$ kuyruk sistemine göre modellenmiştir. Çağrı gelişleri Poisson dağılıma uygun, servis süresi genel dağılıma uygun, s adet komşu hizmet birimi ve s kadar çağrıya aynı anda cevap verebilme özellikleri taşıyan bir kuyruk modelidir. Bu çalışmada farklı hizmet birimleri arasındaki meşgul olma olasılıkları birbirine bağımlı olarak alınmıştır.

Silva ve Serra (2003), kuyruk modeli kullanılarak araçları tüm önceliklere ait taleplerin kapsanmasının maksimizasyonu için model oluşturmuşlardır. Greedy sezgisel ile çözmüşlerdir.

2.3. Literatürün Genel Değerlendirilmesi

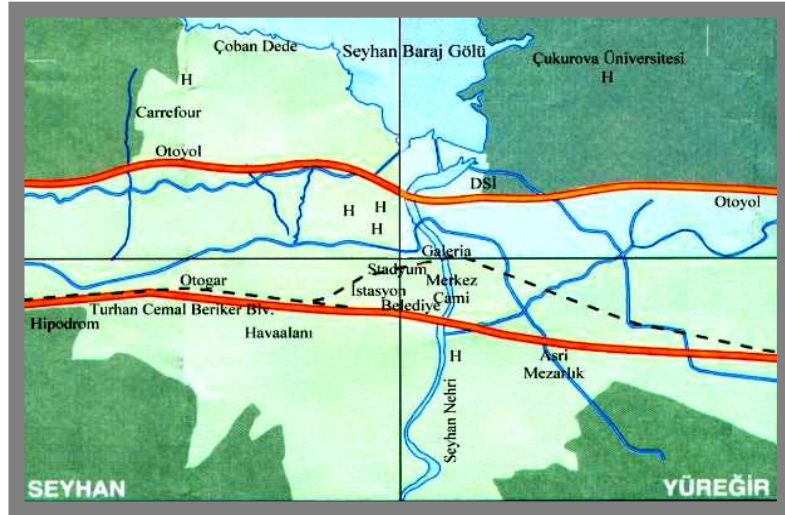
Yerleşim problemlerinde genel olarak acil servis sistemleri için birçok matematiksel model geliştirilmiş, simulasyon modelleri kullanılmıştır. Acil servis sistemlerinden biri olan acil sağlık sistemleri için matematiksel modeller üzerine yapılan çalışmalar Ek 1 ve Ek 2 'de özetlenmiştir. Deterministik, olasılıklı ve dinamik modellerin yanı sıra kuyruk modelleri de görülmektedir. Sistemdeki verilerin belirli değerler olduğu düşünülerek alınan durumlarda deterministik modeller, sistemdeki bazı olayların oluşum olasılığı dikkate alınarak olasılıklı modeller veya kuyruk modelleri kullanılmıştır. Ambulansların meşgul olma olasılıkları, taleplerdeki değişkenlikler, trafik şartlarındaki farklılıklar gibi koşullar dikkate alındığında modeller olasılıklı veya kuyruk modelleri olarak ortaya konulmuştur. Sistemin belirli zaman aralıklarında farklı sonuçlarla ihtiyacının karşılanması durumu göz önüne alındığında dinamik modeller ile çalışmalar yapılmıştır. Küme kapsama modeli dışında geliştirilen modellerde kaynaklar sabit tutularak, yerleşimdeki iyileştirmeler ile kapsanan talebin maksimizasyonu yapılmak istenmiştir. Ancak, her durumda kapsanamayan bir miktar talep olduğu kuşkusuzdur. Çalışmalarda, maliyetler genellikle dikkate alınmamıştır. Çalışmaların bir çoğunda genel amaç, eldeki kaynakları kullanarak uygun istasyon yerleşiminin yapılması ve maksimum talebin karşılanması üzerine kurulmuştur.

Bu çalışmada, farklı olan doğrusal deterministik tamsayılı bir matematiksel model kullanılarak, araç veya istasyon sayısının daha önceki çalışmaların çoğunda olduğu gibi sabit alınmasının yerine karar değişkeni olarak alınması, tüm taleplerin kapsanması ve bunlar sağlanırken maliyetin minimum yapılmasıdır. Aynı zamanda, trafik kazaları yoğunluğunun ve talebin yüksek olduğu yerler aynı model içerisinde yedek olarak diğer istasyonlardan hizmet alabilmektedir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Adana ili Sağlık müdürlüğü bünyesinde hizmet vermekte olan 112 acil yardım ambulans istasyonlarının şehir merkezine yerleşimi üzerine yapılan çalışmada il haritası, hastane bulunan bölgeler, bölgelerin nüfusları, karayolları ve trafik kazaları verileri, komuta merkezine gelen çağrı sayıları, maliyetler ile ilgili veriler kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Adana ili şehir haritası, (Adana İl Sağlık Müdürlüğü, 2007).

Adana İli 14.030 km² yüzölçümü ile şehir merkezinde yaklaşık olarak 1.317.684 nüfusa sahip, yıllık nüfus artışı %2.17 olan bir şehrimizdir (Şekil 3.1).

112 Acil yardım istasyonları, acil sağlık hizmeti sunmak ve tıbbi müdahalede bulunmak amacıyla kurulan birimlerdir. İstasyonlarda acil sağlık hizmetleri konusunda eğitim görmüş sağlık ekibi ile tıbbi donanımlı ambulanslar görev yapar. İstasyonda, ambulans ve ambulansla görev yapan ekibe lojistik destek sağlamak amacıyla, en az iki oda, tuvalet, banyo, oturma ve dinlenme yerleri, malzeme deposu, ambulans garajı ile telefon, sabit telsiz ve gereken diğer malzemeler bulunur.

İstasyon yerlerinin belirlenme kriterleri:

- i. Hizmete sunulması planlanan hedef nüfus
- ii. Acil sağlık hizmeti veren yataklı tedavi kurumuna uzaklık
- iii. Ulaşım imkanları
- iv. Mevcut sabit sağlık kuruluşlarının dağılımı ve niteliği
- v. Acil yardım gerektiren olayların sıklığı
- vi. Trafik ve iş kazaları sayısı ve benzeri olayların sıklığı

Ambulans hizmetlerinde kullanılacak araçlar; kara, hava ve deniz ambulansları olarak; kara ambulansları ise ayrıca acil yardım ambulansı ve hasta nakil ambulansı olarak sınıflandırılabilir.

Sistemde Acil Sağlık Hizmetleri Yönetmeliğine göre 2007 tarihi itibarı ile verilen hizmete göre üç tip istasyon bulunmaktadır:

A Tipi İstasyon: Yirmi dört saat kesintisiz sadece ambulans hizmeti verilen, ihtiyaca göre birden fazla ekip ve ambulans bulunduran istasyonlardır.

A1 tipi istasyon: Ekip içerisinde hekim bulunduran istasyonlardır.

A2 tipi istasyon: Ekip içerisinde hekim bulunmayan istasyonlardır.

B Tipi İstasyon: Birinci, ikinci ve üçüncü basamak resmi sağlık kurum ve kuruluşları ile entegre olarak kesintisiz ambulans hizmeti veren içerisinde hekim bulunan istasyonlardır.

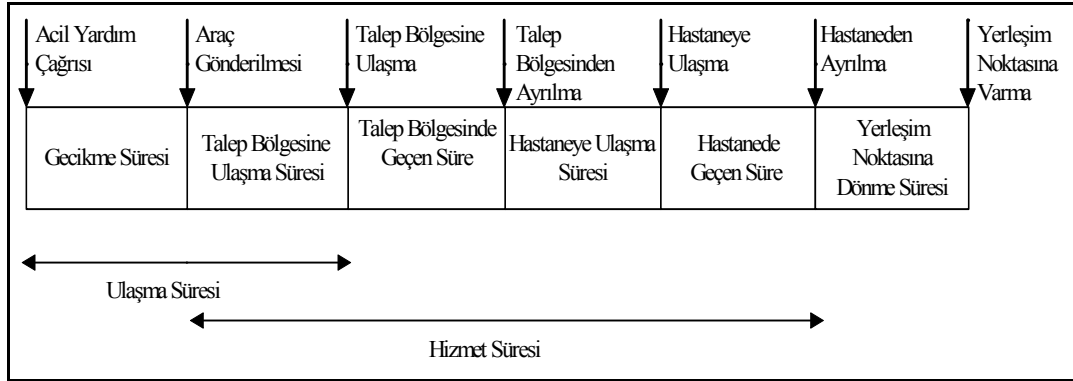
B1 tipi istasyon: Hastane acil servisi ile entegre olan istasyonlardır.

B2 tipi istasyon: Birinci basamak sağlık kuruluşları ile entegre olan istasyonlardır.

C Tipi İstasyon: İhtiyaca göre günün belirlenen saatlerinde sadece ambulans hizmeti verilen istasyonlardır (Resmi Gazete, 15.03.2007).

Acil sağlık hizmetinin verildiği bölgede herhangi bir noktada meydana gelen insan sağlığının tehlikeye düştüğü olaylarda veya sağlık problemlerinde 112 Acil Sağlık Komuta Kontrol Merkezi aranarak olayın durumu bildirilir. Komuta kontrol merkezinde telefonlara bakan sağlık görevlileri olayın aciliyetini ve problemi çözüme ulaştıracak ekipmanı belirleyerek olay yerine yönlendirir. Yönlendirmeyi yaparken olay yerine en yakın istasyon olmasına, istasyondaki ambulansın vakanın durumuna uygun ekipman ve personeli sağlayacak tipte olmasına, ve herhangi bir

bölgeye yönlendirilmemiş olmasına dikkat edilir. Olay yerine gönderilen ambulans olay yerinde ilk müdahaleyi yapar. İlk müdahale dışında yapılması gerekenler varsa yaralı en yakın hastaneye ulaştırılır. Daha sonra ambulans bağlı olduğu istasyona geri döner (Şekil 3.2).



Şekil 3. 2. Bir ambulans sistemindeki olaylar dizisi (Davis, 1981; Selim ve Özkarhan, 2005)

Çağrı geldiği anda acil servis yöneticileri için önemli olan vakanın şiddetini ve aciliyetini tespit etmek ve gönderilecek ambulans tipi ve sayısını belirlemektir. Acil durumlarda zaman çok önemli olduğundan, yeterli kapsama ve hızlı müdahalenin sağlanması için optimal istasyon yerleşimi yapılması gerekir. Birleşmiş Milletler Acil Sağlık Servisleri Hareketi müdahale süreleri ile ilgili standartlar belirlemişlerdir (Ball ve Lin, 1993). Buna göre şehirde gelen çağrılarının %95'ine 10 dk'da, kırsalda 30 dk'da müdahalede bulunulmalıdır. Dünyanın birçok yerinde bu standartlara ulaşmak için ambulans istasyonları yerleşimi ile ilgili bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Son yıllarda ileri bilgi teknolojileri bu çalışmalarda kullanılmaktadır. Örnek çalışmalar; Yol Ağı Gözetimi (Road Network Surveillance), Araç Yerleştirme Sistemleri (Vehicle Location Systems), Coğrafi Bilgi Sistemleri (Geographic Information Systems) ve yapay zeka bazlı çağrı görüntüleme sistemi (Artificial Intelligence Based Call Screening System). Ambulans yerleşim modelinde tüm bu sistemlerin entegrasyonu düşünülebilir (Brotcorne ve ark., 2003).

Adana 112 Ambulans Hizmeti

112 numaralı telefon ile ulaşılan Komuta Kontrol Merkezi acil sağlık hizmetleri şube müdürlüğüne bağlı olarak kurulmuş ve bu merkez tarafından yönlendirilen ambulansların bulunduğu istasyonlar ile acil sağlık hizmeti sunmaktadır.

112 Acil Komuta ve Kontrol Merkezi telefonları günde 18.000 civarında çağrı almakta bu çağrıların 1800-2000'inde konuşmalı görüşme olmakta, görüşmelerin 400-500'ü sağlıkla ilgili arama olup, bu çağrıların sonucuna göre 180-200 görüşmeye ambulans görevlendirmesi yapılmaktadır. 16.000 kadar çağrı konuşma muhatabı olmadan sonlanmaktadır. Vatandaşın sağlık hizmetlerine ulaşılabilirliğinin ve erişim olanaklarının artması nedeniyle yoğun ambulans taleplerinin daha etkin karşılanması ve vakaya yönlendirilmesi amacıyla ileri teknolojik imkânların olacağı müstakil Komuta ve Kontrol Merkezi projesi hazırlanarak temini yönünde gereken işlemler başlatılmış, çağrı karşılama ve ambulans yönlendirme işlemlerinde otomasyona geçerek çağrı karşılayıcı yazılım programı ve ses kayıt sistemi ile araç takip ve yönlendirme sistemi ihalesi gerçekleştirilmiş olup, sistem kurulmaktadır.

Adana ilinde hizmet veren İl Ambulans Servisine bağlı istasyonların 2005 yılında toplam vaka sayısı 52169 iken 2006 yılı itibarı ile 61109 sayısına ulaşılmıştır.

112 Ambulans Servisi Ambulans Ekipleri tarafından ilk 10 dakika içerisinde acil vakaların %93 üne ulaşılmaktadır.

İl Sağlık müdürlüğü bünyesinde 112 Ambulans Servisi Komuta ve Kontrol Merkezi emrinde il merkezinde 2006 yılı itibarı ile; 20 adet 112 Acil Sağlık Hizmetleri İstasyonu (11 A Tipi 112 A.S.H.İ., 6 B Tipi 112 A.S.H.İ. ve 3 C Tipi 112 A.S.H.İ.) bulunmaktadır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3. 1. Adana ili 112 istasyon ve araç durumu, (Adana İl Sağlık Müdürlüğü, 2007)

İSTASYONUN ADI	DURUM	TİPİ	KONUŞLANDIĞI YER
İl Ambulans K.K.Mrk.(İdare)	Faal		İl Sağlık Müdürlüğü
İl Ambulans K.K.Mrk.	Faal		İl Sağlık Müdürlüğü
Merkez 1 Nolu ASH İst.	Faal	A	Yeni Valilik
Merkez 2 Nolu ASH İst.	Faal	A	Mıdık Sağlık Ocağı
Merkez 3 Nolu ASH İst.	Faal	A	Ruh Sağlığı Hastanesi
Merkez 4 Nolu ASH İst.	Faal	A	Seyhan Belediyesi
Merkez 5 Nolu ASH İst.	Faal	A	Şakirpaşa Sağlık Ocağı
Merkez 6 Nolu ASH İst.	Faal	A	Akıncılar Sağlık Ocağı
Merkez 7 Nolu ASH İst.	Faal	A	Yakapınar Sağlık Ocağı
Merkez 8 Nolu ASH İst.	Faal	A	Tekir Otoyol Şantiyesi
Merkez 9 Nolu ASH İst.	Faal	B	Doğankent Sağlık Ocağı
Merkez 10 Nolu ASH İst.	Faal	A	Kalp Hastanesi
Merkez 11 Nolu ASH İst.	Faal	B	Numune Hastanesi
Merkez 12 Nolu ASH İst.	Faal	B	Devlet Hastanesi
Merkez 13 Nolu ASH İst.	Faal	A	Numune Hastanesi
Merkez 14 Nolu ASH İst.	Faal	A	Devlet Hastanesi
Merkez 15 Nolu ASH İst.	Faal	B	Çukurova Devlet Hastanesi
Merkez 16 Nolu ASH İst.	Faal	C	Çukurova Devlet Hastanesi
Merkez 17 Nolu ASH İst.	Faal	C	Çukurova Devlet Hastanesi
Merkez 18 Nolu ASH İst.	Faal	B	Çukurova Doğ. Hastanesi
Merkez 19 Nolu ASH İst.	Faal	B	Havutlu Sağ.Oc.
Merkez 20 Nolu ASH İst.	Faal	C	Çukurova Doğ. Hastanesi

Adana ilinde, 2006 yılı itibari ile 60 000 kişiye 1 adet 112 A.S.H.İ. hizmet vermektedir. 50 000 kişiye 1 adet 112 A.S.H.İ olacak şekilde hizmet birimleri alt yapısı hedeflenmektedir.

3.2. Metot

Bu çalışmada, acil sağlık sistemleri istasyonları yerleşim problemi için gerekli olan materyaller yani Adana iline ait bilgiler coğrafi bilgi sistemleri programı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Önceki matematiksel modellerin incelenmesi ile yeni bir doğrusal tamsayılı model oluşturulmuş ve alternatif çözüm yaklaşımları

uygulanmıştır. LINGO 8.0 programı ve meta sezgisel bir metot olan genetik programlama kullanılarak yerleşim problemi çözülmüştür.

3.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Coğrafi bilgi sistemleri, fiziksel çevre analizleri ve sosyal analizleri bir araya getirip sentezleyerek ve tabloları, grafikleri bu haritalara bağlayarak bilgisayar yardımı ile görüntüleme ve analiz etme işlemlerinde mühendislerin, şehir planlamacıların, mimarların ve yöneticilerin işini kolaylaştıran bir sistemdir. Programlar, donanımlar ve yazılımlar yardımı ile harita üzerindeki koordinatlar girilerek alt yapısı oluşturulan sistemde veriler kullanılarak harita sayısallaştırılır ve istenilen şekilde kullanıma hazır hale getirilen elektronik haritalar oluşturulur. Coğrafi bilgi sistemleri programları yardımı ile herhangi bir konum, bölge veya yer ile ilgili bilgiler bir araya toplanarak istatistiklere, tablolara, grafiklere dönüştürülerek rapor olarak kullanıma hazır hale getirilir. Bu programlar ile fiziksel ve sosyal alanlarda çalışmaların kalitesi ve hassasiyeti arttırılır (Murray ve ark.,). Estochen ve ark. (1998), Iowa’da kazaların çok olduğu bölgeler için GIS kullanarak, kazaların uzamsal görünümünü görüntülemişler ve verilerin sınıflandırmasını ve analizini yapmışlardır. GIS’in analitik kapasitesini kullanarak istenilen müdahale süresinde hizmet veren EMS yerleşimlerinin uygunluğu tespit edilmiştir.

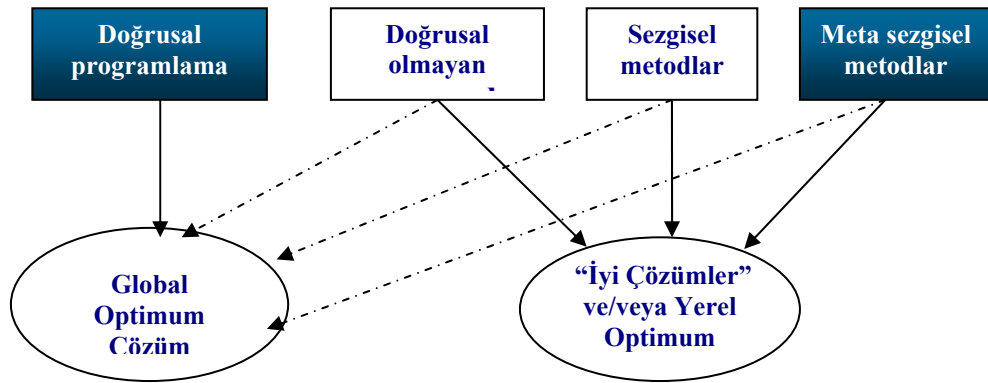
Bu çalışmada, ArcView 3.2 kullanılarak Adana ili haritasında uygun mahalleler homojen özellikler taşıyacak şekilde ve ulaşım yolları dikkate alınarak bölgeler oluşturulmuş ve sayısallaştırılarak karayolları işlenmiş, bölgeler arası mesafeler elde edilmiştir.

Yerleşim problemleri çözümü için yerleşim yapılacak sahanın ve saha ile ilgili verilerin doğru bir şekilde sayısallaştırılması, bilgisayar ortamına aktarılması ve kullanılabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, Adana ili ile ilgili nüfus, karayolu, trafik kazaları, mahalleler ve hastanelerin olduğu yerlerin tespiti için fiziki haritadan faydalanılarak bu bilgiler ArcView 3.2 programı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Yerleşim problemlerinde bölgeler arası mesafeler birkaç matematiksel yol ile yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, bölgeler arası uzaklıklar bu

program yardımı ile bölgeler merkez noktaları arasındaki karayolları mesafesi ölçülerek alınmıştır.

3.2.2. Alternatif Çözüm Yaklaşımları

Kombinatorial problemlerin optimal çözümü problemin kapsamı büyüdükçe zorlaşmaktadır. Bir takım bilgisayar programları ile çözüm süresi kısaltılmaya çalışılsa da bazen optimum çözüme ulaşmak imkansız hal almıştır. Doğrusal bir matematiksel problemin çözümü diğer modellere nazaran daha kolay olsa da zaman kısıtı burada da karşımıza çıkabilmektedir. Bu gibi durumlarda yerel çözümleri tarayarak optimuma en yakın yerel çözüme ulaşmakta sezgisel algoritmalar son yıllarda ise kendine ait gelişmiş bir algoritmaya sahip olan meta sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3. 3. Alternatif çözüm yaklaşımları

3.2.2.1. Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bir metottur. Doğrusal programlama problemlerinde karar değişkenlerinin oluşturduğu doğrusal fonksiyonun maksimizasyonu veya minimizasyonu sağlayan bir amaç fonksiyonu vardır. Karar değişkenleri bir takım kısıtları sağlamak

zorundadırlar ve her kısıt doğrusal bir eşitlik veya eşitsizlik içermelidir. Her bir karar değişkenin sayısal değer olarak işaretinin yönü de problemde verilmelidir. Bu optimizasyon yöntemi ile elde edilen çözüm global optimum çözümdür. Bu yöntem, belirlenen kısıtlar ve parametreler ile amaç fonksiyonu ve karar değişkenlerinin alabileceği olası en iyi çözümü ortaya koyar. Doğrusal problemlerin çözümünde için simpleks algoritması, Kalmakar metodu, bazı veya tüm değişkenlerin pozitif tamsayı olduğu bir doğrusal programlama olan tamsayı programlama problemlerinin çözümünde dal ve sınır algoritması kullanılır. Değişkenlerin arttığı ve problemin büyüdüğü durumlarda optimizasyonda hızlı çözümler elde etmek için geliştirilmiş bilgisayar programları da kullanılmaktadır.

3.2.2.2. Genetik Algoritma

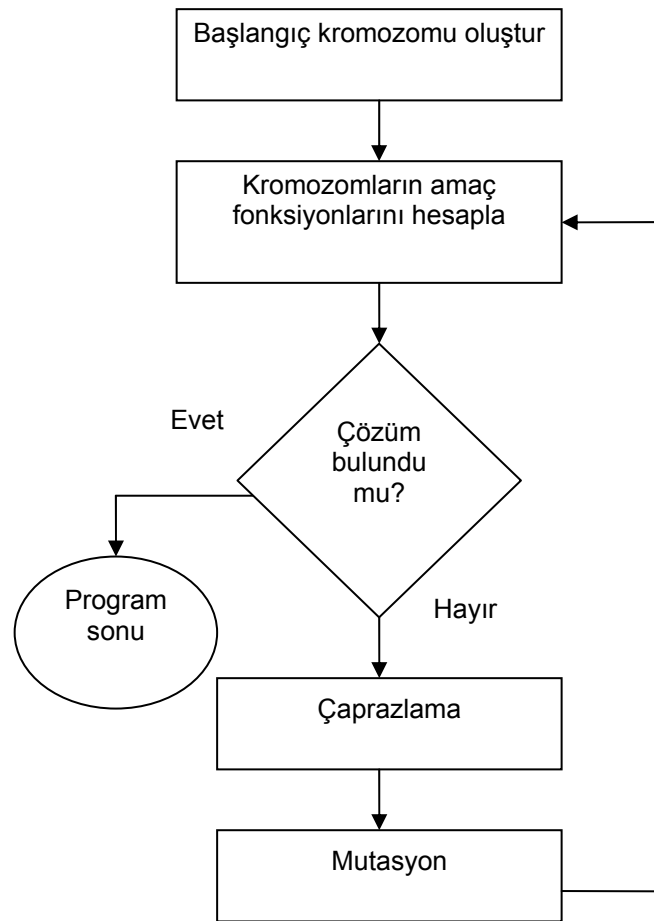
1960’larda J.Rechenberg’in ‘Evrin Stratejileri’(Evolutionstrategie) kitabında evrimsel hesaplama tekniğini ilk kez ortaya koymuştur. Daha sonraki araştırmacılar bu düşüncüyü geliştirmişlerdir. John Holland ve arkadaşları bu konuda çalışmışlar ve Holland 1975’te basılan ‘Doğal ve Yapay Sistemlerin Adaptasyonu’ (Adaptation of natural and Artificial Systems) adlı kitabında genetik algoritmayı ortaya koymuştur. 1992’de John Koza genetik algoritmayı programlarda bazı problemleri çözmek için kullanmıştır. Bu metoda genetik programlama demiştir.

Genetik algoritmalar eniyileme yöntemleri içerisinde meta-sezgisel algoritmalarından biridir. Evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçası olan genetik algoritma Darwin’in evrim teorisinden esinlenilerek oluşturulmuştur.

Genetik algoritma Şekil 3.4’te görüldüğü gibi uygun sayıda başlangıç çözümlerini içeren kromozomların rasgele oluşturulmasıyla başlanarak aşağıdaki adımları izler:

1. Başlangıç: n adet kromozom içeren popülasyonun oluşturulması (problemin uygun bir çözümü)
2. Uyumluluk: her kromozomun uyumluluğunun $f(x)$ değerlendirilmesi,
3. Uyumluluk fonksiyonunun değerine göre programın sonlandırılması.

4. Seçim: İki ebeveyn kromozomun uyumluluğuna göre seçimi (daha iyi uyum seçilme şansını artırır.),
5. Çaprazlama: Yeni bir fert oluşturmak için ebeveynlerin bir çaprazlama olasılığına göre çaprazlanması. Eğer çaprazlama yapılmazsa yeni fert anne veya babanın kopyası olacaktır.
6. Mutasyon: Yeni ferdin mutasyon olasılığına göre kromozom içindeki konumu (lokus) değiştirilir.
7. Ekleme: Yeni bireyin yeni popülasyona eklenmesi.
8. Tekrar hesaplama: Eğer sonuç tatmin ediyorsa algoritmanın sona erdirilmesi ve son popülasyonun çözüm olarak sunulması.
9. 4. adıma geri dönülmesi.



Şekil 3.4. Genetik algoritma süreci

3.2.3. Önerilen Çözüm Yaklaşımı

Doğrusal bir modelin çözümünde, tamsayılı karar değişkenleri çok fazla sayıda değilse global optimum çözümü elde etmek LINGO 8.0 gibi matematiksel modellerin çözümü için geliştirilmiş programlar ile çok zor olmamaktadır. Bu sebeple, oluşturulan model doğrusal programlama yaklaşımı ile çözülmüştür. Bilhassa, doğrusal olmayan modellerin veya çok büyük ölçekli kombinatorial (birleşimsel) problemlerin çözümünde kullanılan meta sezgisel metotlardan biri olan genetik algoritmanın doğrusal programlama ile elde edilecek global optimum çözüme ulaşmaktaki başarısını görmek amacıyla model ayrıca genetik algoritma yaklaşımı ile çözülmüştür. Bu iki yaklaşımda bir takım varsayımlar kullanılmıştır.

3.2.3.1. Varsayımlar

Acil Sağlık sistemleri istasyon yerleşimi için kullanılan varsayımların bir kısmı Sağlık Müdürlüğü ile alınırken bir kısmı yeterli bilgiye ulaşılamadığı ve kayıtlarda bu tür veriler olmadığı veya eski kaynaklara ulaşılabilirdiği için aşağıda belirtildiği şekilde alınmıştır.

- 1) İstasyon yerleşimi için her bir aday bölge aynı zamanda ambulans hizmeti alacak bölgedir.
- 2) Her ambulans yaklaşık 50000 kişiye hizmet vermelidir. A tipi istasyonlar için alt sınır istasyonda 1 ambulans olduğu durumlarda geçerlidir. Genetik algoritma yaklaşımında da A tipi istasyon için alt sınır ceza puanı dikkate alınmamıştır.
- 3) Adana ili günlük vaka sayısı 120 olarak alınmıştır. 5 yıl boyunca değişen talepler hesaplanırken bölgeler üzerinde taleplerin uniform dağıldığı varsayılmıştır.
- 4) Mesafeler arası ulaşım süreleri alınırken, bir ambulansın ortalama hızı 60 km/sa olduğu varsayılmıştır.
- 5) Tüm talepler dolayısıyla tüm nüfus en az bir kez bir A.S.H.İ tarafından kapsanacaktır.

- 6) A tipi istasyonlar hastane olmayan bölgelere, B tipi istasyonlar hastane veya birinci basamak sağlık kuruluşları olan bölgelere kurulabilir. A tipi istasyonda birden fazla ambulans bulunabilir.
- 7) 2007 yılı acil sağlık sistemleri yönetmeliğindeki değişiklikler dikkate alınmıştır.
- 8) Stratejik anlamda yapılan sistemin 5 yıl sonra revize edilebileceği düşünülmektedir. Bu yüzden maliyetler 5 yıl için kurulum ve hareket maliyeti olarak hesaplanmış, tekrar günümüz oranlarına çekilerek, kurulum ve 5 yıllık hareket maliyetleri bugünün parasıyla hesaplanmıştır..
- 9) Genel enflasyon %8, nominal faiz değeri %17 civarında olunca reel faiz oranı %8 olarak alınmıştır. Reel faiz oranı ile hesaplama yapıldığı için enflasyon dikkate alınmış, maliyet hesabında ayrıca kullanılmamıştır. Genel giderlerin 5 yıllık maliyeti hesaplanırken yıllık artış oranı %5 olarak alınmıştır.
- 10) Sistemin kurulum yılı ilk yılın başlangıcı olarak alınmıştır.
- 11) Adana il belediyesinden alınan bilgilere göre Adana ili şehir nüfus artış oranı %2.17 olarak alınmıştır.
- 12) Yedek kapsanan bölgelerdeki talep o bölgenin toplam talebinin %10'u olarak alınmıştır ve bu talepler A veya B istasyonu tarafından karşılanabilir.

3.2.3.2. Doğrusal Programlama

Bu çalışmada, tamsayılı deterministik model kurulmuştur. Model incelenen yerleşim problemlerinden küme kapsama modeli ve p -medyan modeli birleştirilerek ve yeni kısıtlar eklenerek 65 bölge için Lingo 8.0 programı ile çözülmüştür. Modelde karar değişkenleri, bölgede istasyon olması veya olmaması ve bir kez ve yedek kapsadığı bölgeler olarak ikili değişkenlerdir. Durum değişkenleri ise A tipi istasyonda bulunan ambulans sayısıdır ve pozitif tamsayılı değişkendir. A tipi istasyonlar hastane olmayan bölgelere, B tipi istasyonlar hastane bünyesinde olacak şekilde yerleştirme yapılmış ve A tipi ve B tipi istasyonların herhangi biri diğer bölgeleri yedek kapsayacak şekilde atanmıştır. 65X65 matris kullanılarak bölgeler arası uzaklık matrisi ve komşuluk matrisi kullanılmıştır.

Yerleşim problemlerinde, matematik programlama modeli ile mevcut sistemin girdileri kullanılarak karar değişkenleri ve kısıtların yardımı ile istasyon yerleşimleri için optimum çözümün elde edileceği modeller oluşturulur.

İncelenen modeller arasından olası taleplerin tümünün kapsanması ve maliyetin modele uygulanabilmesi açısından küme kapsama modelindeki amaç fonksiyonu, ve araç ve talep bölgeleri arasındaki hizmet durumunu belirlemek için p -median modelindeki kısıtlar kullanılmıştır.

Yerleşim Küme Kapsama Modeli (LSCM) (Toregas, ReVelle ,1972): Yerleşim küme kapsama modelinde tüm bölgeleri kapsayacak minimum sayıda araç yerleşimi hedeflenmektedir (3.1). Birbirine uygun mesafede bulunan küme bölgeler içerisinde birine araç yerleşimi yapılarak tüm bölgelerin kapsanması sağlanmaktadır (3.2).

$$\text{Min } Z = \sum_{j \in J} x_j \quad (3.1)$$

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J, \quad (3.2)$$

$$x_j = 0,1$$

Notasyon;

$$x_j \begin{cases} 1 & \text{j. bölgede yerleşer araç varsa} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$N_i = \{j / d_{ij} \leq S\}$; d_{ij} = j noktasındaki aracın i talep bölgesine olan en kısa uzaklık,

S = kapsama için standart uzaklık.

P -Median (Hakimi, 1964): P -median probleminde, amaç talep noktaları ve araçlar arasındaki talep ağırlıklı uzaklığı minimize edecek P aracın yerleşim noktalarının belirlenmesidir (3.3). Her bölge mutlaka bir kez ziyaret edilecektir (3.4). Bir bölgede araç yerleştirilmemiş ise o bölge herhangi bir bölgeyi ziyaret edemez (3.5). Bu

modelde yerleştirilecek araç sayısı sabittir (3.6). Tüm değişkenler ikili değişkenlerdir (3.7).

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_i d_{ij} x_{ij} \quad (3.3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.4)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj} \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.5)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jj} = p \quad (3.6)$$

$$x_{ij} = (0,1) \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.7)$$

Notasyon;

i : talep noktaları indeksi

j : potansiyel araç yerleşim noktaları

m : toplam talep noktaları sayısı

n : toplam potansiyel araç yerleşim yeri sayısı

a_i : her bir talep noktasına verilen ağırlık

d_{ij} : i talep alanı ve j araç noktası arasındaki uzaklık

x_{ij} : talep noktası i , araç j ile kapsanıyorsa 1; değilse 0.

Geliştirilen modelde amaç ortalama her 50000 kişiye bir ambulans düşecek ve müdahale süresi 10 dk'yı aşmayacak şekilde A ve B tipi istasyonların minimum maliyetle yerleştirilmesidir.

Temel deterministik yerleşim modellerinden küme kapsama modelindeki her bölgenin mutlaka bir kez kapsanması dikkate alınmış ve p-medyan modelindeki araçlar ve servis noktaları arasındaki ortalama uzaklığın minimizasyonunu içeren amaç fonksiyonunu maliyet minimizasyonu şeklinde değiştirerek yeni bir model ortaya konmuştur.

Önerilen model:

Notasyon;

$$X_{ij}^{A1} : \begin{cases} 1 & \text{A tipi istasyon j.den i. bölgeye hizmet veriyorsa} \\ 0 & \text{aksi taktirde} \end{cases}$$

$$X_{ij}^{A2} : \begin{cases} 1 & \text{A tipi istasyon j.den i. bölgeyi ikincil olarak hizmet veriyorsa} \\ 0 & \text{aksi taktirde} \end{cases}$$

$$X_{ij}^B : \begin{cases} 1 & \text{B tipi istasyon j.den i. bölgeye hizmet veriyorsa} \\ 0 & \text{aksi taktirde} \end{cases}$$

$$N_{ij} : \begin{cases} 1 & \text{i. ve j. bölge komsu ise} \\ 0 & \text{aksi taktirde} \end{cases}$$

C_{arac} : Araç maliyeti.

F_j^{A1} : j.bölgede kurulacak A tipi istasyonun kurulum maliyeti+genel gider maliyeti.

F_j^B : j.bölgede kurulacak B tipi istasyonun kurulum maliyeti+genel gider maliyeti.

MC : 5 yıllık hareket maliyetinin bugünkü değeri

S : Bölge sayısı.

t_{ij} : Bölgeler arası merkezden merkeze ulaşım süresi.

T_1 : Birincil bölgeleri kapsamak için belirlenmiş minimum müdahale süresi standardı.

T_2 : Yedek olarak kapsamak için belirlenmiş minimum müdahale süresi standardı.

P_L^A : A tipi istasyonunun kapsayabileceği minimum nüfus..

P_L^B : B tipi istasyondaki ambulansın kapsayabileceği minimum nüfus.

P_U^A : A tipi istasyonunda araç başına düşecek maksimum nüfus.

P_U^B : B tipi istasyondaki aracın kapsayabileceği maksimum nüfus.

p : Bölgedeki yedek kapsanacak nüfus yüzdesi.

w_j^A : A tipi istasyon kurulabilecek bölgeler.

w_j^B :B tipi istasyon kurulabilecek bölgeler.

w_i^y : Yedek kapsanması gereken bölgeler.

k_j^{A1} : A tipi istasyonun bir kez kapsadığı nüfus.

k_j^{A2} : A tipi istasyonun iki kez kapsadığı nüfus.

k_j^B : B tipi istasyonun kapsadığı nüfus.

d_i : i .bölgedeki populasyon

n_A : A tipi araç sayısı

$$\text{Min } z = \sum_{j=1}^S X_{ij}^{A1} F_j^{A1} + \sum_{j=1}^S X_{ij}^B F_j^B + \sum_{j=1}^S (n_A C_{araç}^A + X_{ij}^B C_{araç}^B) + MC \quad (3.8)$$

$$\sum_{j \in W^A} X_{ij}^{A1} + \sum_{j \in W^B} X_{ij}^B = 1 \quad \forall i \in I, \quad (3.9)$$

$$\sum_{j \in W^A} X_{ij}^{A2} = wy_i \quad \forall i \in I, \quad (3.10)$$

$$X_{ij}^{A1} . t_{ij} \leq T_1 N_{ij} \quad (3.11)$$

$$X_{ij}^B . t_{ij} \leq T_1 N_{ij} \quad (3.12)$$

$$X_{ij}^{A2} . t_{ij} \leq T_2 \quad (3.13)$$

$$X_{ij}^{A1} \leq X_{jj}^{A1} \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J, \quad (3.14)$$

$$X_{ij}^B \leq X_{jj}^B \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J, \quad (3.15)$$

$$X_{ij}^{A2} \leq X_{jj}^{A1} + X_{jj}^B \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J, \quad (3.16)$$

$$X_{ij}^{A1} + X_{ij}^B \leq M(1 - X_{ij}^{A2}) \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J, \quad (3.17)$$

$$\sum_{i=1}^S X_{ij}^B d_i \leq P_U^B \quad \forall j \in J, \quad (3.18)$$

$$\sum_{i=1}^S X_{ij}^{A1} d_i \geq P_L^A X_{jj}^{A1} \quad \forall j \in J, \quad (3.19)$$

$$\sum_{i=1}^S X_{ij}^B d_i \geq P_L^B X_{JJ}^B \quad \forall j \in J, \quad (3.20)$$

$$\sum_{i=1}^S X_{ij}^A d_i = k_j^{A1} \quad \forall j \in J, \quad (3.21)$$

$$\sum_{i=1}^S X_{ij}^B d_i = k_j^B \quad \forall j \in J, \quad (3.22)$$

$$\left(\sum_{i=1}^S X_{ij}^{A2} d_i \right) * p = k_j^{A2} \quad \forall j \in J, \quad (3.23)$$

$$k_j^{A1} \leq n_A P_U^A \quad \forall j \in J, \quad (3.24)$$

$$X_{ij}^{A1}, X_{ij}^{A2}, X_{ij}^B \in \{0,1\}, \quad n_A \geq 0$$

Önerilen matematiksel modelde, amaç fonksiyonu (3.8) ile 5 yıl için kurulum, genel giderler ve servis maliyetini minimum yapacak A ve B tipi istasyon ve ambulans sayısı yerleşimini bulmak hedeflenmiştir. (3.9), (3.10) nolu kısıtlar her bölgenin uygun bölgelere yerleştirilmiş A veya B tipi istasyonlar tarafından bir kez birincil ve bazı bölgelerin bir kez yedek kapsanması koşuludur. (3.11), (3.12) ve (3.13) nolu kısıtlar ile A tipi, B tipinin kapsadığı birincil ve yedek kapsanacak bölgelerde süre ve komşuluk belirlenmektedir. (3.14), (3.15) ve (3.16) nolu kısıtlar ile A ve B tipi istasyon kurulmayan bölgelerden birincil ve yedek kapsama yapılması engellenmektedir. (3.17) nolu kısıt ile A veya B tipi istasyonun birincil kapsadığı i . bölgenin yedek kapsanıyor olması durumu engellenmektedir. (3.18), (3.19) ve (3.20) A ve B tipi istasyonların hizmet verecekleri bölgelerin toplam nüfuslarını sadece 1 araç varsa alt ve üst limit olarak sınırlandırılmaktadır. (3.21), (3.22) ve (3.23) nolu kısıtlar ile A ve B tipi istasyonların birincil ve yedek olarak hizmet verdikleri bölgelerin toplam nüfusları hesaplanmaktadır. (3.24) nolu kısıt ile A tipi istasyonda bulunması gereken minimum araç sayısı belirlenmektedir.

3.2.3.3. Bugünkü Değer Analizi

n yıllık bir sistemin n yıl sonraki araçların çalışmasından kaynaklanan maliyetler, bugünkü maliyetlerine çekilerek sistemin kurulumunun bugünkü maliyet değeri hesaplanmıştır. Bunun için reel faiz oranı i , talepte meydana gelen artış t oranında yıllık nüfus artışına eşit alınmıştır.

$$\text{Reel faiz} = \frac{1 + \text{nominal faiz}}{1 + \text{enflasyon oranı}} - 1$$

Reel faiz oranı, yukarıdaki formülden görüleceği gibi enflasyon etkisinden arındırılmış faiz oranıdır. Bu sebeple enflasyondaki artış oranı değeri hesaplamalarda kullanılmadan direkt olarak reel faiz oranı kullanılmıştır.

Gelecekte gerçekleşmesi beklenen bir nakit akımının, paranın zaman değerini ve kullanılan riskin derecesini yansıtan uygun bir iskonto veya faiz oranı ile bugüne indirgenmiş haline kıymetin bugünkü değeri denmektedir. Bu durumda n yıl sonunda gerçekleşecek maliyetlerin bugün itibarıyla ederi hesaplanmıştır.

$$PV = \frac{C_n}{(1 + k)^n}$$

PV: Bugünkü değer

C_n : n dönem sonra gerçekleşecek nakit akımı

k : faiz oranı

n :dönem sayısı

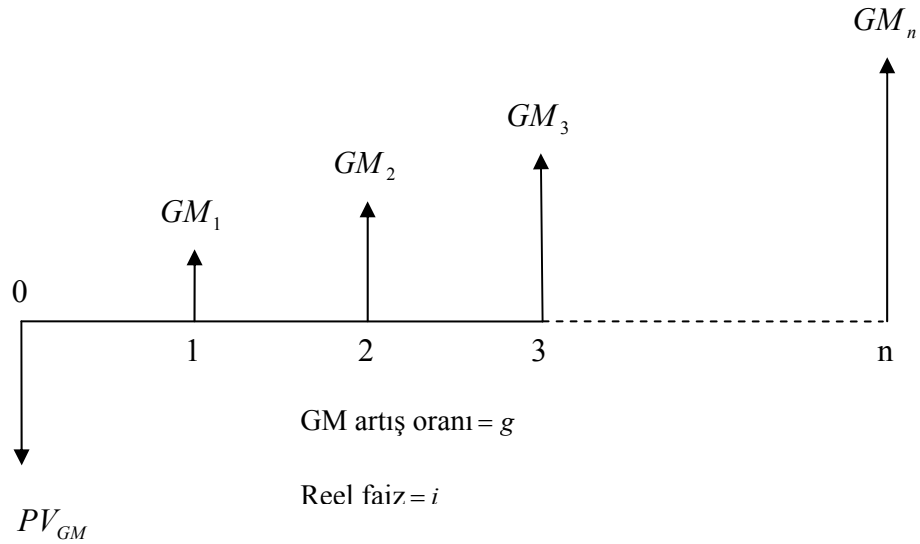
Başlangıç Maliyetleri ve Genel giderler

Çizelge 3.2’de A tipi ve B tipi istasyonlara ait sistemin kurulum aşamasında karşılaşılan kurulum maliyetleri, ambulans araçları fiyatı, genel giderlerin notasyonları verilmiştir. Genel giderler binanın ve teçhizatlarının kullanımından kaynaklanan ve çalışan personele ödenen maaşın toplamıyla ortaya çıkan yıllık

yaklaşık maliyet olarak hesaplanmıştır. Yıllık genel giderlerdeki artış oranı personelin maaşına yapılan ortalama zam baz (g) alınmıştır.

Çizelge 3. 2. Maliyetler notasyon tablosu

İstasyon tipi	j Bölgesi Kurulum Maliyeti	Ambulans aracı fiyatı	Genel Giderler	5 yıllık genel giderlerin bugünkü değeri (PV)
A tipi	F_j^A	$C_{araç}^A$	GM^A	PV_{GM}^A
B tipi	F_j^B	$C_{araç}^B$	GM^B	PV_{GM}^B



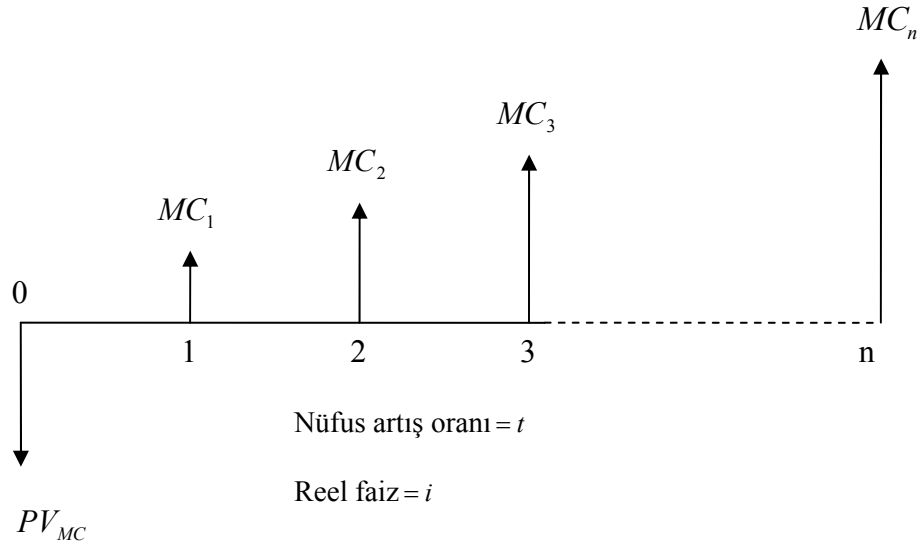
Şekil 3. 5. Genel giderler bugünkü değer hesap çizelgesi

Şekil 3.5 'te görüldüğü gibi her yılın genel gider maliyeti reel faiz oranı kullanılarak bugünkü değerine dönüştürülmüştür.

$$PV_{GM} = GM_1 (1/1+i) + GM_2 (1/1+i^2) + GM_3 (1/1+i^3) + \dots + GM_n (1/1+i^n)$$

Hareket maliyeti

Hareket maliyetleri, istasyon ve araç yerleşimleri sonucunda bir bölgedeki istasyondan ambulansın kapsadığı bölgeye n yıl içerisinde vereceği hizmete bağlı olarak işletme maliyetidir.



Şekil 3. 6. Hareket maliyetleri bugünkü değer hesap çizelgesi

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi hareket maliyetlerinin bugünkü değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$MC_1^{A1} = \sum_{i=1}^S X_{ij}^{A1} d_i C_{ij} \left(\frac{T * 365}{\sum_{i=1}^S d_i} \right)$$

$$MC_1^B = \sum_{i=1}^S X_{ij}^B d_i C_{ij} \left(\frac{T * 365}{\sum_{i=1}^S d_i} \right)$$

$$MC_1^{A2} = \sum_{i=1}^S X_{ij}^{A2} d_i C_{ij} \left(\frac{T * 365}{\sum_{i=1}^S d_i} * p \right)$$

$$MC_n^{A1} = MC_1^{A1} * (1 + t)^{n-1} \quad n = 2, \dots, N$$

$$MC_n^B = MC_1^B * (1+t)^{n-1} \quad n = 2, \dots, N$$

$$MC_n^{A2} = MC_1^{A2} * (1+t)^{n-1} \quad n = 2, \dots, N$$

$$MC_n = MC_n^{A1} + MC_n^B + MC_n^{A2} \quad n = 1, \dots, N$$

$$MC = MC_1(1/1+i) + MC_2(1/1+i^2) + MC_3(1/1+i^3) + \dots + MC_N(1/1+i^N)$$

Notasyon;

MC_i^{A1} : A tipi aracın i yılı için yıllık hareket maliyeti.

MC_i^B : B tipi aracın i yılı için yıllık hareket maliyeti.

MC_i^2 : Yedek kapsama yapan A veya B tipi istasyonun yıllık maliyeti.

MC_n : n.yılın toplam hareket maliyeti

MC : 5 yıllık maliyetin bugünkü değeri.

p : Yedek kapsanan bölgenin kapsanacak nüfus yüzdesi.

T : 112 Komuta kontrol merkezine günlük gelen ortalama çağrı sayısı.

Taleplerin bölgeler üzerinde uniform dağıldığı düşünülerek yıllık birim nüfus başına düşen talep sayısı hesaplanmış ve istasyonun kapsadığı bölgelerdeki toplam nüfusla çarpılarak yıllık ortalama çağrı sayısı elde edilmiştir. Bu değer bölgeler arasındaki hareket maliyeti ile çarpılarak yıllık A tipi, B tipi ve yedek kapsanan bölgelere gidildiğinde ortaya çıkacak maliyet elde edilmiştir. Yedek kapsanan bölgeler için talebin bölge talebinin p kadarı olduğu varsayılmıştır. Yıllık hareket maliyetleri yıllık nüfus artışına bağlı olarak talep artışı ile çarpılarak N yıl için maliyetler hesaplanmıştır. Her yıla ait maliyetler reel faiz oranı kullanılarak günümüz değerlerine çekilmiş ve kurulum maliyetleri ile dengeli hale getirilmiştir. Elde edilen MC değeri N yıllık hareket (işletme) maliyetinin bugünkü değeridir.

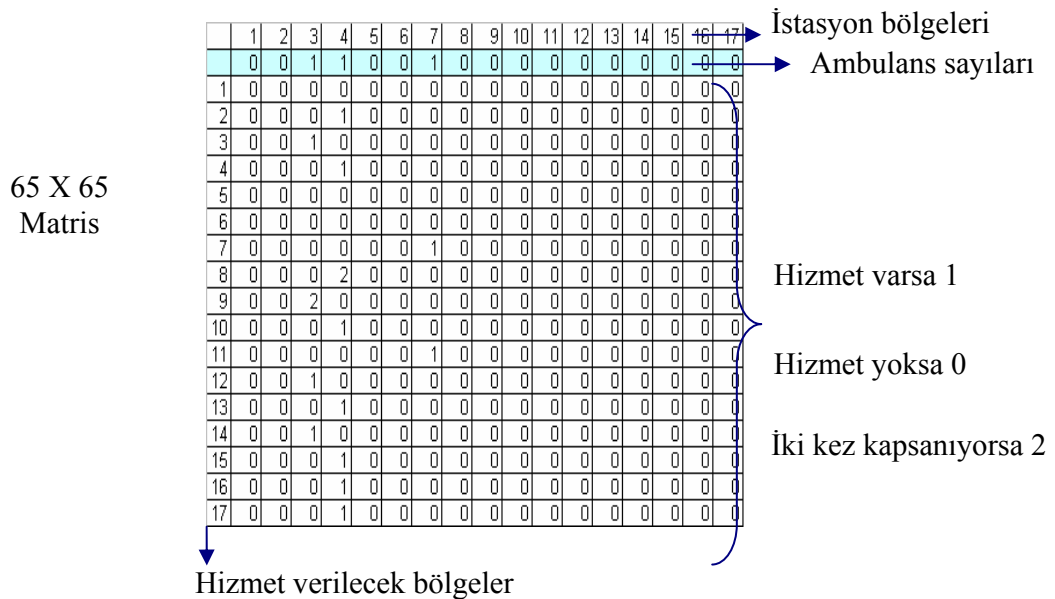
3.2.3.4. Genetik Algoritma Yaklaşımı

Sadegheih (2006), genetik algoritma tekniğinin benzetim tavlama yöntemine göre araç dağıtımı konusunda daha etkili ve hızlı bir metot olduğunu ortaya koymuştur.

Ambulans istasyonu yerleşim problemi genetik algoritma ile programlanmıştır. Algoritma doğrusal modeldeki kısıtları kullanmış, minimum maliyetteki çözümü elde etmek için maliyet hesabı kullanılmıştır. Algoritmanın farklı durumlarda nasıl sonuç vereceğini görebilmek için başlangıç popülasyonu bir dosyada tutulmuş ve değişik koşullarda yeniden çalıştırılmıştır. İki farklı çaprazlama ve çaprazlama oranı ile çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Başlangıç kromozomlarının oluşturulması

İstasyon yeri, ambulans sayısı ve hizmet bölgelerini içeren rastgele değerlerin atandığı 50 adet 65x65 genli kromozom oluşturulmuştur. İstasyon sayıları en fazla 5 adet ambulans barındırıyor olmak üzere rasgele olarak bölgelere atanmıştır. A ve B tipi programda ayrı tutulmamış ancak bazı bölgelerde hastane olması durumunda B tipi istasyon olduğu belirtilmiş ve maliyetler bunun ışığında hesaplanmıştır.



Şekil 3.7. Başlangıç çözüm kromozomu

Uygunluk fonksiyonu ve hesabı

Uygunluk fonksiyonu kromozomların istenilen sonuçlara ulaşp ulaşmadığını denetleyen bir değerdir. Oluşturulan kromozomlarda maliyetin minimizasyonu istasyon ve ambulans yerleştirilen bölgelere ve bu bölgelerden servis verilecek bölgelerin seçimine ve ambulans başına düşen kişi sayısına bağlıdır. Maliyetler 3.2.3.3. bölümdeki gibi hesaplanmaktadır. En iyi kromozom istenilen kısıtlara uyan bir kromozomdur. Bu sebeple algoritmanın uygunluk ölçme kriteri bilinmeyen minimum maliyet olarak belirlenmesi yerine kromozomun istenilen yerleşime uygun olmasına bağlı olarak puanlandırılması ve ceza puanı ve maliyet çarpımına göre çaprazlamaya ve mutasyona girecek kromozomlar belirlenmiştir. Ceza puanları, kromozomdaki satırdaki 0, 1 ve 2 değerlerinin sayılarına ve sütunda ambulans başına düşen kişi sayısına göre belirlenmiştir. Ceza puanları satır ve sütun için sırasıyla Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Satır ceza puanları

Satırdaki 1sayısı	satır puan1	Satırdaki 2 sayısı	satır puan2
1	0	1*	0
1..3	10	1..3	50
3..5	50	3..5	80
3<	90	3<	90
0	100	0	100

Buna göre satır ceza puanları Çizelge 3.3’de verilmiştir. Her bölgenin bir kez kapsanması için her satırda 1 olması durumunda satırın ceza puanı sıfır olarak verilmiştir. Bazı satırlarda 2 olması durumunda 1 puanı verilmiş ancak bu her satır için gerekli bir durum değildir.

Çizelge 3.4. Sütun ceza puanları

Ambulans başına düşen kişi sayısı	Sütun puan
0-20000	1000
20000-30000	80
30000-45000	50
45000-55000	0
55000-60000	50
60000-70000	80
70000<	1000

Sütun puanlamada ambulans başına düşen kişi sayısının yaklaşık 50000 kişi olması için 45000-55000 arasına 0 puan verilmiştir. A Tipi istasyon için üst limit için belirlenen aralık dikkate alınırken, alt limitte ceza puanları dikkate alınmamıştır. Ceza puanları ve nüfus aralıkları Çizelge 3.4’de görülmektedir.

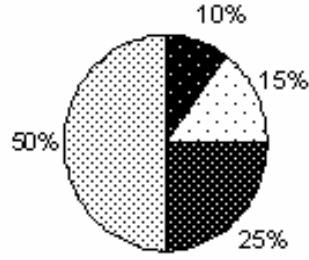
Seçim tekniği

Rulet tekerleği tekniği : 50 adet kromozomun ceza puanları hesaplandıktan sonra elde edilen puanlar küçükten büyüğe doğru sıralanmış ve Çizelge 3.5’de gösterildiği gibi en küçük 5 değer %50’lik dilimde yer alacak şekilde 1-100 arası rakamların rasgele seçimleri ile belirlenmiştir.

Çizelge 3.5. Kromozomların yüzdelerlik dilimleri

Yüzdelerlik Dilimler	Kromozom sayısı(puan sırasına göre)	Rasgele rakam seçimi
10%	20	1..10
15%	15	11..25
25%	10	26..50
50%	5*	51..100
* en küçük ilk 5 kromozomdan başlar.		

Rulet tekerleği tekniğinde rulete atılan topun %50’lik dilime gelme olasılığı yüksek olduğu için düşük ceza puanlı yani iyi kromozomların çaprazlama ve mutasyon operasyonlarına uğrama ve daha iyi kromozomlar elde etme olasılığı arttırılmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Rulet tekerleği

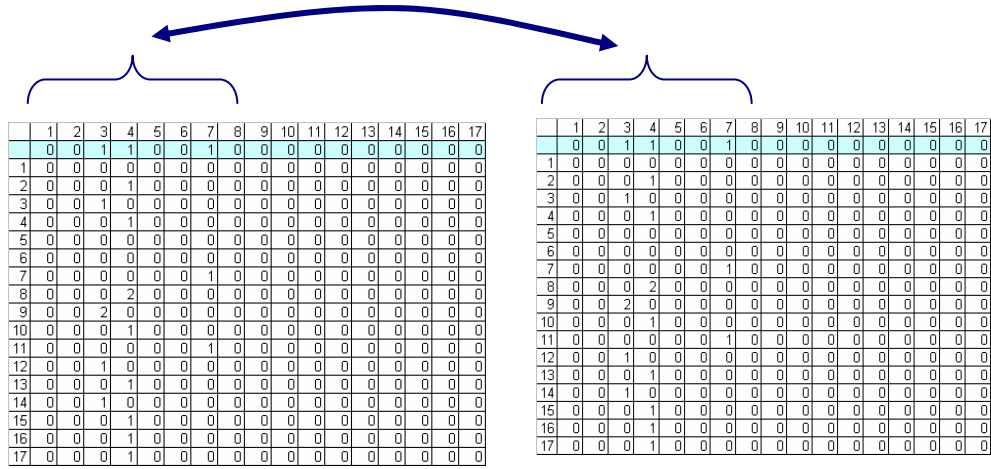
Genetik Algoritmada Kullanılan Operatörler

Çaprazlama

Genetik algoritmada çaprazlama oranı 0.5 ve 0.8 arasında alınmaktadır. Bu oran kromozomda değişen genlerin toplam genlerine oranıdır. Çaprazlama ile iki kromozom bazı özelliklerini birbirlerine vermektedirler. Çok büyük çaprazlama oranları kullanıldığında ata kromozomlardan oluşacak yeni bireyler ata kromozoma çok benzer özellikler taşırlar ki bu çeşitliliği önleyebilir. Aynı şekilde düşük çaprazlama oranları da aynı sonucu verecektir. Bu çalışmada, ilk durumda iki farklı çaprazlama yöntemi uygulanmış ve sonuçlardaki farklılık gözlemlenmiştir. İki farklı çaprazlama yönteminde de çaprazlama oranı sabit kalmıştır. Sadece 30 gen için çaprazlama yapılmıştır. İkinci durumda, çaprazlama tekniği tek noktada yapıp çaprazlama oranları değiştirilerek sonuçlar elde edilmiştir.

Tek noktada çaprazlama

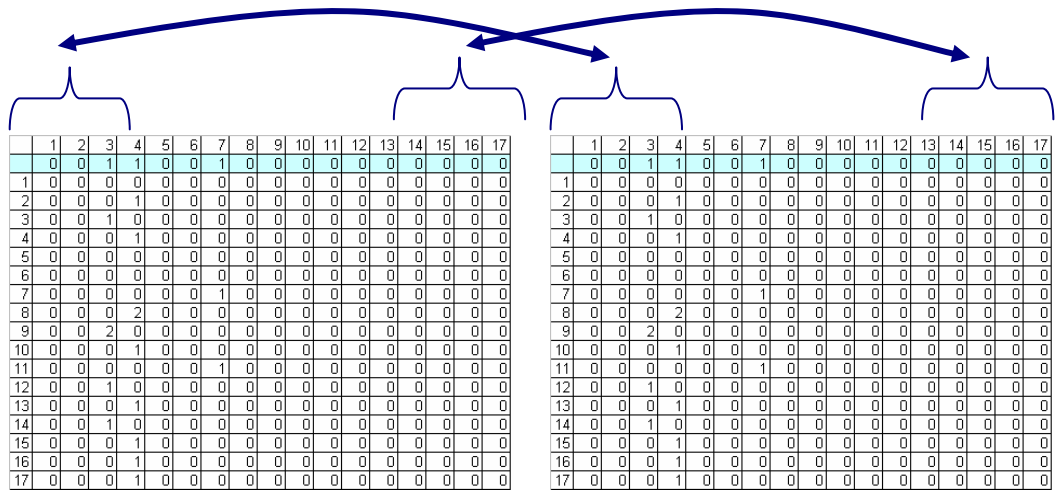
Rulet tekerleği tekniği ile rasgele seçilen iki kromozomun ilk 30x65 genleri çaprazlanmıştır (Şekil 3.9). Burada iki kromozomdaki ilk 30 gene ait istasyon yerleri, sayıları ve kapsanan bölgelere ait bilgiler her iki kromozom için yer değiştirmiş olacaktır.



Şekil 3.9. Tek noktada çaprazlama

İki Noktada Çaprazlama

Program ikinci kez çalıştırıldığında aynı ana populasyon farklı bir çaprazlama tekniğine maruz bırakılmıştır. Buna göre iki noktada çaprazlama ile ilk 15X65 ile son 15X65 genler yer değiştirilmiştir (Şekil 3.10).). Burada iki kromozomdaki ilk 15 ve son 15 gene ait istasyon yerleri, sayıları ve kapsanan bölgelere ait bilgiler her iki kromozom için yer değiştirmiş olacaktır.



Şekil 3.10. İki noktada Çaprazlama

Mutasyon

Seçilen bir diğer kromozomunda genleri bir dizi mutasyona uğratılmıştır. Kullanılan mutasyon oranı yaklaşık olarak 0.01'dir. Çalışmalarda mutasyon için verilen uygun aralık 0.001 ile 0.1 arasındır. Seçilen kromozomun uğradığı mutasyonlar Şekil 3.11 Pseudo kodda görülmektedir. Buna göre mutasyonlar yapılırken kromozomların ana yapısının bozulmaması açısından mutasyondan sonra kontrol prosedürleri kullanılmaktadır. Bu sayede genetik evrimi içerisinde sistemin olası kötü çözümlerle daha kötüye gitmesi engellenmiştir.

```
//istasyon sayısı azaltma veya artırma
i → rasgele(65)
ambulans(i)>0 ise ambulans(i)=0
ambulans(i)=0 ise k → rasgele(4)
    ambulans(i)=k

//Kontrol//istasyon sayısının “sıfır” olmasını önle
//Sütun 0,1 ,2 değiştir
liste[1] → 1 kez kapsanabilecek mesafede
liste[2] → 2 kez kapsanabilecek mesafede

i → rasgele(65)
ambulans(i)>0 ise
j → rasgele(65)
i ≠ j
→ hücre(i,j)=0 ise   j ∈ liste[1] için hücre(i,j)=1
                     j ∈ liste[2] için hücre(i,j)=2
→ hücre(i,j)=1 veya hücre(i,j)=2 ise hücre(i,j)=0

//Ambulans sayısı değiştir
i → rasgele(65)
ambulans(i)>0 ise k → rasgele(4)
ambulans(i)=k

//Kontrol// herhangi bir satırda 1 olmamasını engeller
i → 1 den 65'e           ∀j
hücre(i,j)=1 ise k=k+1
k=0 ise j → rasgele(65)
ambulans(j)>0 ve j ∈ liste[1] ise hücre(i,j)=1
```

Şekil 3.11. Mutasyonu gösteren Pseudo kod

Programı durdurma kuralı

Bütün bu işlemler bir döngü içerisinde çalışmaktadır. Bu sistemin durması ve en iyi çözümü vermesi programı bir durdurma kriteri ile bitirmeye bağlıdır. Bu çalışmada kriter ceza puanının sıfırlamasıdır veya sıfıra en yakın ceza puanı alan kromozomun elde edilmesidir. Program, herhangi bir kromozomun ceza puanı sıfırladığında durmaktadır. Elde edilen kromozomun maliyeti hesaplanır ve bu maliyet elde edilecek minimum maliyet olarak kabul edilir.

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulgular

4.1.1. CBS Uygulaması ve Saha Çalışması

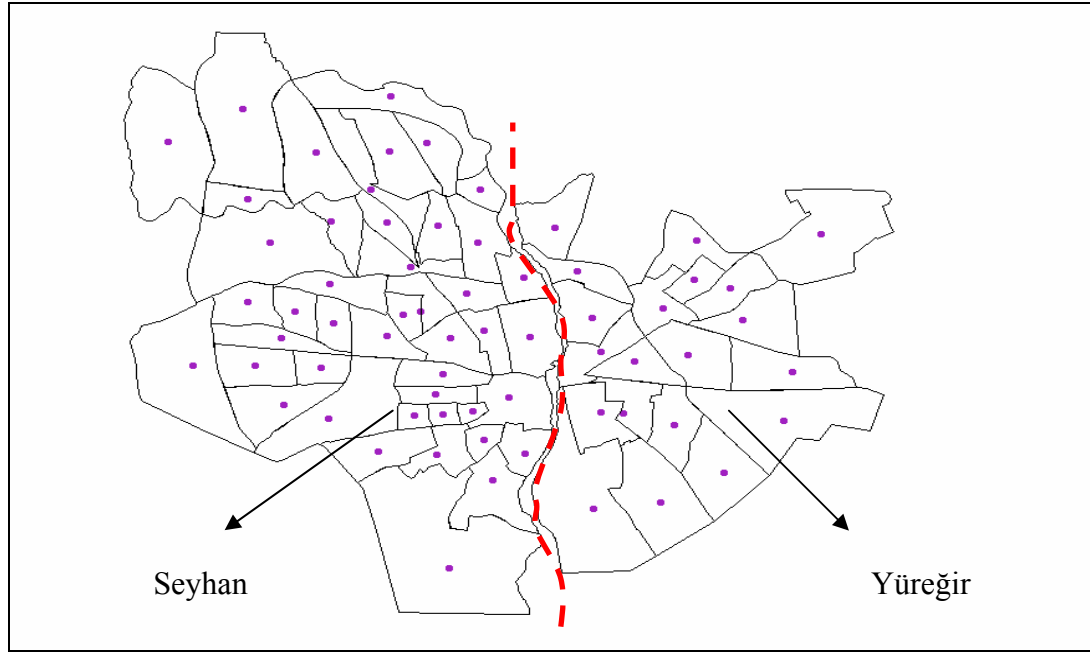
Adana İl Nüfus İstatistik Müdürlüğünden 2005 yılı nüfus sayımına göre semtler bazında nüfus verileri alınmıştır. Bu nüfus verileri dikkate alınarak yakın mahalleler hem coğrafi açıdan hem de modele uygunluk açısından gruplandırılmış ve Adana ili bölgelere ayrılmıştır.

Coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılan ArcView CBS 3.2 programı ile Adana İl haritası sayısallaştırıldı ve karayolları ve bölgeler haritası elde edildi (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Adana ili karayolları ve semt merkezleri

Adana bölgesi Seyhan ve Yüreğir bölgeleri ayrı ayrı ele alınarak semtlerin ortak ulaşım imkanları ve nüfus toplamaları 50000'i aşmayacak şekilde sırayla Seyhan 45 ve Yüreğir 20 alt bölgeye ayrıldı ve bölge merkezleri hedef nokta olarak belirlendi (Şekil 4.2). Ek.3 ve Ek.4'te 2005 yılına ait nüfus sayımı verilerinin 2007 yılına göre nüfus artışı dikkate alınarak düzeltilmiş nüfus verileri görülmektedir.



Şekil 4. 2. Adana ili bölgeler haritası

Bu noktalar arası mesafeler bölgeler arası mesafeler olarak modelde kullanılmak üzere zamana dönüştürülerek işlenmiş veri haline getirildi. Mesafeler arası ulaşım süreleri, bir ambulansın ortalama hızı 60 km/sa olduğu düşünülerek ve karayolları ulaşım imkanları dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu süreler bölgeXbölge matrisi haline dönüştürülmüştür (Ek.5). Birbirine 10 dk mesafede bulunan her nokta diğer nokta için hedef istasyon noktası olarak kabul edilmiştir.

4.1.2. Bugünkü Değer Analizi Sonuçları

Adana ili 5 yıllık istasyon kurulum maliyetleri ve genel giderler hesaplanmış ve sistemin ilk yılın başlangıcında kurulduğu varsayılarak maliyetin bugünkü değeri elde edilmiştir.

Model için aşağıda belirtilen değerler kullanılarak 5 yıllık maliyetler hesaplanmaktadır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Maliyet değerleri tablosu

İstasyon tipi	Kurulum Maliyeti (YTL)	Ambulans aracı fiyatı(YTL)	Genel Giderler (YTL)	5 yıllık genel giderlerin bugünkü değeri (PV)	Toplam Maliyet (YTL)
A tipi	120000	67443	108000	472983	592983
B tipi	20000	57443	42000	183938	203938

$$GM_1^A = 108000$$

$$GM_1^B = 42000$$

$$GM_2^A = 108000 * 1.05$$

$$GM_2^B = 42000 * 1.05$$

$$GM_3^A = 108000 * 1.05^2$$

$$GM_3^B = 42000 * 1.05^2$$

$$GM_4^A = 108000 * 1.05^3$$

$$GM_4^B = 42000 * 1.05^3$$

$$GM_5^A = 108000 * 1.05^4$$

$$GM_5^B = 42000 * 1.05^4$$

Reel faiz;

Nominal faiz=0.17

Enflasyon=0.08

$$i = \frac{1 + 0.17}{1 + 0.08} - 1 = 0.08$$

Sistemin hareket maliyeti programın çözümü esnasında kapsanan bölgelere bağlı olarak değiştiği için çözüm sonrasında elde edilmiştir. Hareket maliyetinin hesaplanmasında kullanılan değerler;

$$T=120$$

$$p=0.10$$

$$t=0.02170$$

4.1.3. Tamsayılı Programlama Modeli

Adana ili acil sağlık sistemleri araç istasyonları yerleşimi için oluşturulan tamsayılı modelde A ve B tipi istasyonların kurulduğu yerler ve kapsadıkları bölgeler

ile yedek kapsanan bölgeler 0 ve 1 ikili karar değişkenleri ile belirlenmektedir. Program Adana ilinde 65 bölge için çalıştırılmıştır. A ve B tipi istasyonların kurulacakları bölgelerden hizmet verecekleri bölgelere ulaşım mesafeleri süre bazında en fazla 10 dk ile yedek kapsanacak bölgeler için en fazla 15 dk ile sınırlandırılmıştır.

$$\text{Min } z = \sum_{j=1}^{65} X_{jj}^{A1} 592983 + \sum_{j=1}^{65} X_{jj}^B 203938 + \sum_{j=1}^{65} (n_A 67443 + X_{jj}^B 57443) + MC$$

$$\sum_{j \in W^A} X_{ij}^{A1} + \sum_{j \in W^B} X_{ij}^B = 1 \quad \forall i \in I,$$

$$\sum_{j \in W^A} X_{ij}^{A2} = w y_i \quad \forall i \in I,$$

$$X_{ij}^{A1} \cdot t_{ij} \leq 10 N_{ij}$$

$$X_{ij}^B \cdot t_{ij} \leq 10 N_{ij}$$

$$X_{ij}^{A2} \cdot t_{ij} \leq 15$$

$$X_{jj}^{A1} \leq w a_j$$

$$X_{jj}^B \leq w b_j$$

$$X_{ij}^{A1} \leq X_{jj}^{A1} \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J,$$

$$X_{ij}^B \leq X_{jj}^B \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J,$$

$$X_{ij}^{A2} \leq X_{jj}^{A1} + X_{jj}^B \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J,$$

$$X_{ij}^{A1} + X_{ij}^B \leq M(1 - X_{ij}^{A2}) \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J,$$

$$\sum_{i=1}^{65} X_{ij}^B d_i \leq 55000 \quad \forall j \in J,$$

$$\sum_{i=1}^{65} X_{ij}^{A1} d_i \geq 45000 X_{jj}^{A1} \quad \forall j \in J,$$

$$\sum_{i=1}^{65} X_{ij}^B d_i \geq 45000 X_{jj}^B \quad \forall j \in J,$$

$$\sum_{i=1}^{65} X_{ij}^A d_i = k_j^{A1} \quad \forall j \in J,$$

$$\sum_{i=1}^{65} X_{ij}^B d_i = k_j^B \quad \forall j \in J,$$

$$\left(\sum_{i=1}^{65} X_{ij}^{A2} d_i \right) * 0.10 = k_j^{A2} \quad \forall j \in J,$$

$$k_j^{A1} \leq n_A 55000 \quad \forall j \in J,$$

$$X_{ij}^{A1}, X_{ij}^{A2}, X_{ij}^B \in \{0,1\}, \quad n_A \geq 0$$

Araç tipine göre ambulans aracı başına düşen kişi sayısının yaklaşık 50000 olması için aşağıdaki değerlerle sınırlandırılmıştır.

45000<A tipi<55000 (Alt sınır 1 araç varsa geçerlidir.)

45000<B tipi<55000

LINGO 8.0 ile çözülen doğrusal deterministik tamsayılı yerleşim modeli çalıştırıldığında 29 sn'de elde edilen çözümde toplam 5612'si ikili tamsayılı değişken olmak üzere 5689 değişken ve 12711 kısıt ile global optimum çözüme ulaşılmıştır. Elde edilen 5 yıllık minimum maliyet 9,419,749 YTL'dir. Ek.6'da LINGO 8.0'da yazılan model verilmiştir.

Elde edilen optimum yerleşime göre Adana genelinde, bunlardan 10'u A tipi, 8'i B tipi olmak üzere 18 istasyon kurulmuş, toplam 27 ambulans Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi dağıtılmıştır. İstasyon kurulan bölgeler, ambulans tipleri, yedek kapsanan bölgeler, ambulans sayıları ve ambulans başına düşen kişi sayıları Çizelge 4.2 'de görülmektedir.

İstasyonlar 10 A tipi, 8 B tipi olmak üzere 2 A tipi ve 5 B tipi olmak üzere 7 istasyon Yüreğir bölgesine, 8 A tipi ve 3 B tipi olmak üzere 11 istasyon Seyhan bölgesine yerleştirilmiştir. Ek.7 'de LINGO 8.0 sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.2. Tamsayıli programlama sonuçları

İstasyon Kurulan Bölgeler	İstasyon tipi	Birincil Kapsanan Bölgeler	Yedek Kapsanan Bölgeler	Ambulans Sayısı	Ambulans Başına Düşen Kişi Sayısı
3	B	4,23	2,24	1	54494
5	B	9	25	1	50469
6	B	26		1	50927
7	B	2,13	8,11,17	1	52970
11	A	12,16		2	42366
14	A	8,10,15,19	9	2	40939
17	B	18,20		1	53942
21	A	1,22	30,31	2	36903
27	B	28		1	45151
30	A	29,41	21	2	54202
32	B	24,31	33,47	1	51381
36	A	34,35,37,38,39,40,49,50		3	51704
42	A	43,51	29,41	2	52169
47	A	25,33,45,48	32,34	2	48772
53	A	44,46,52,54,59	48	2	49938
57	B	58,63	59	1	52574
61	A	55,60,64	62	1	48922
62	A	56,65	55,61	1	51167
				27	

Mevcut durumla karşılaştırıldığında 1 adet A tipi istasyon azaltılmış, 2 adet B tipi istasyon eklenmiştir. Toplam ambulans sayısında ise tüm talebin kapsanması için artış elde edilmiştir (Çizelge 4.3)

Çizelge 4.3. Mevcut durum ve önerilen durum karşılaştırması

	Mevcut Durum	Önerilen Durum
A tipi istasyon	11	10
Araç sayısı	11	18
B tipi istasyon	6	8
Araç sayısı	6	8
Toplam istasyon	17	18
Toplam araç	17	26

4.1.3.1. Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi doğrusal programlama modellerinde amaç fonksiyonu veya kısıtlardaki değişkenlerin katsayılarında yapılan değişiklikler sonucunda amaç fonksiyonunda veya karar değişkenlerinde olası değişiklikleri ortaya koymak için yapılmaktadır. Bu sayede, yönetici değiştirilebilir parametrelerle oynanarak herhangi bir değişkende veya amaç fonksiyonunda iyileştirmeler yapabilme fikrini elde eder.

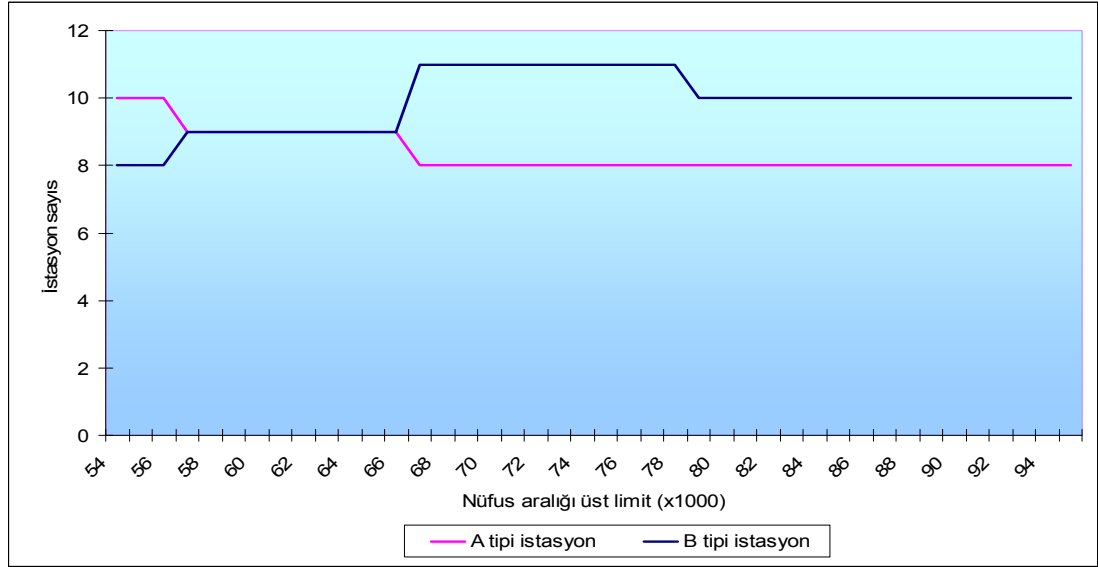
Acil sağlık sistemleri istasyonları yerleşim probleminin doğrusal modelinde nüfus, süre ve maliyet parametreleri değiştirilerek amaç fonksiyonu ve karar değişkenlerinin aldıkları değerlerin bu değişikliklere karşı duyarlılığı test edilmiştir.

- i. A ve B tipi istasyonların kapsayacakları nüfus üst sınırı değişikliğinin istasyon ve araç sayısı ve maliyet üzerindeki etkisi
- ii. Müdahale süresi değişikliğinin istasyon ve araç sayısı ve maliyet üzerindeki etkisi
- iii. A ve B tipi istasyon maliyetlerinin istasyon ve araç sayısı üzerindeki etkisi için duyarlılık analizi yapılmıştır.

A ve B tipi istasyonların kapsayacakları nüfusların üst limitleri değiştirilerek modelin amaç fonksiyonu ve karar değişkenleri üzerindeki sonuçlarının değişimine bakılmış ve Çizelge 4.4’de sayısal değişiklikler verilmiştir.

Çizelge 4.4. Değişen nüfus aralığına bağlı olarak ortaya çıkan farklılıklar

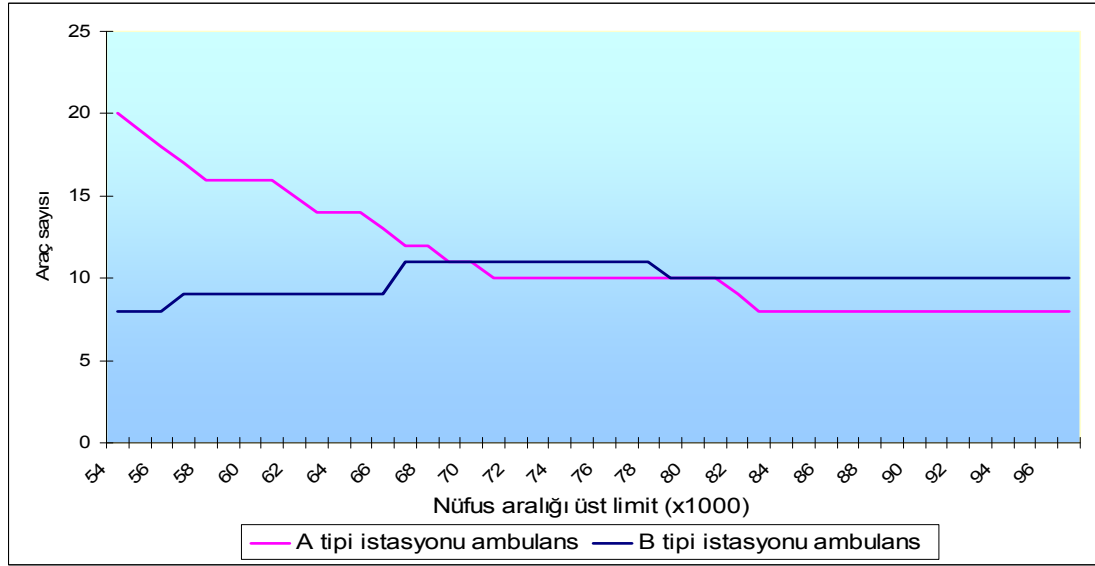
	Nüfus Aralığı (45000<)	A Tipi İstasyon	B Tipi İstasyon	Toplam İstasyon	A tipi araç	B tipi araç	Toplam ambulans	Maliyet (X1000 YTL)
1	<54000	10	8	18	20	8	28	9488
2	<55000	10	8	18	19	8	27	9420
3	<56000	10	8	18	18	8	26	9352
4	<57000	9	9	18	17	9	26	8952
5	<58000	9	9	18	16	9	25	8886
6	<59000	9	9	18	16	9	25	8885
7	<60000	9	9	18	16	9	25	8885
8	<61000	9	9	18	16	9	25	8885
9	<62000	9	9	18	15	9	24	8818
10	<63000	9	9	18	14	9	23	8750
11	<64000	9	9	18	14	9	23	8750
12	<65000	9	9	18	14	9	23	8750
13	<66000	9	9	18	13	9	22	8681
14	<67000	8	11	19	12	11	23	8545
15	<68000	8	11	19	12	11	23	8477
16	<69000	8	11	19	11	11	22	8476
17	<70000	8	11	19	11	11	22	8476
18	<71000	8	11	19	10	11	21	8412
19	<72000	8	11	19	10	11	21	8412
20	<73000	8	11	19	10	11	21	8412
21	<74000	8	11	19	10	11	21	8410
22	<75000	8	11	19	10	11	21	8408
23	<76000	8	11	19	10	11	21	8408
24	<77000	8	11	19	10	11	21	8408
25	<78000	8	11	19	10	11	21	8408
26	<79000	8	10	18	10	10	20	8150
27	<80000	8	10	18	10	10	20	8150
28	<81000	8	10	18	10	10	20	8150
29	<82000	8	10	18	9	10	19	8085
30	<83000	8	10	18	8	10	18	8019
31	<84000	8	10	18	8	10	18	8019
32	<85000	8	10	18	8	10	18	8017
33	<86000	8	10	18	8	10	18	8017
34	<87000	8	10	18	8	10	18	8016
35	<88000	8	10	18	8	10	18	8016
36	<89000	8	10	18	8	10	18	8016
37	<90000	8	10	18	8	10	18	8016
38	<91000	8	10	18	8	10	18	8016
39	<92000	8	10	18	8	10	18	8012
40	<93000	8	10	18	8	10	18	8012
41	<94000	8	10	18	8	10	18	8012
42	<95000	8	10	18	8	10	18	8012
43	<96000	8	10	18	8	10	18	8012
44	<97000	8	10	18	8	10	18	8012



Şekil 4.3. Değişen nüfus üst sınırına bağlı olarak A ve B tipi istasyon sayılarındaki değişkenlik

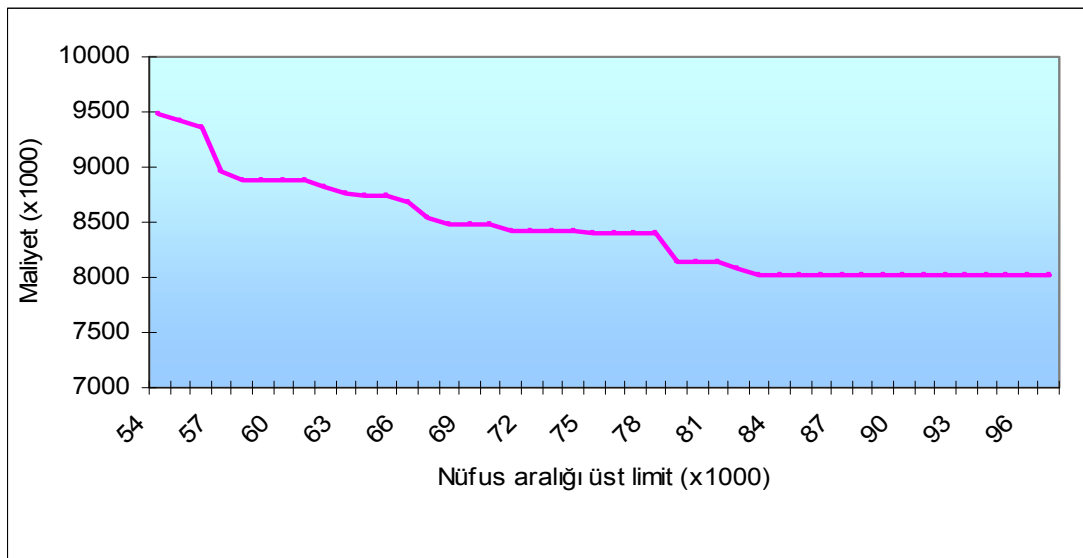
Şekil 4.3'te verildiği gibi nüfus üst sınırı arttırıldıkça, istasyon sayıları 79000 üst sınırına kadar değişiklikler göstermekte, 79000'den sonra istasyon sayıları nüfus üst sınırı arttırılrsa da değişmemektedir. Sistem bu değerden sonra kararlı bir hale geçmektedir ve bundan sonra yapılacak değişikliklere karşı duyarsızdır. Bu değere kadar A ve B tipi istasyon sayılarında bazı aralıklarda iniş ve çıkışlar görülmektedir. Yönetici, bu üst nüfus sınırlarında yapılacak değişikliklerle farklı optimum sonuçlar elde edebilir. Nüfus üst sınırı 79000'e kadar arttırılırken mevcut istasyon kapasiteleri (yaklaşık 50000) arttırıldığında istenilen hizmet düzeyi değişen yerleşim durumları ile sağlanabilir. 79000 nüfus üst sınırından sonra yapılacak kapasite artırımları sistemin bu sınırdan sonra duyarsızlığından dolayı istasyonların durumu açısından hiçbir anlam ifade etmeyecektir.

Şekil 4.4'te nüfus üst sınırının değiştirilmesi ile A ve B tipi istasyonlardaki ambulans sayılarında meydana gelen değişikliklerin görülmektedir. Buna göre A tipi istasyonlardaki araç sayısı azalmakta, B tipi istasyonlardaki araç sayısı artmakta 79000 nüfus üst sınırından sonra sabitlenmektedir. İstasyonlar için geçerli olduğu gibi araçlar da bu sınırdan sonra yapılacak nüfus üst sınırı değişikliklerine karşı



Şekil 4.4. Değişen nüfus aralığına bağlı olarak A ve B tipi istasyonlarının ambulans sayılarındaki değişkenlik

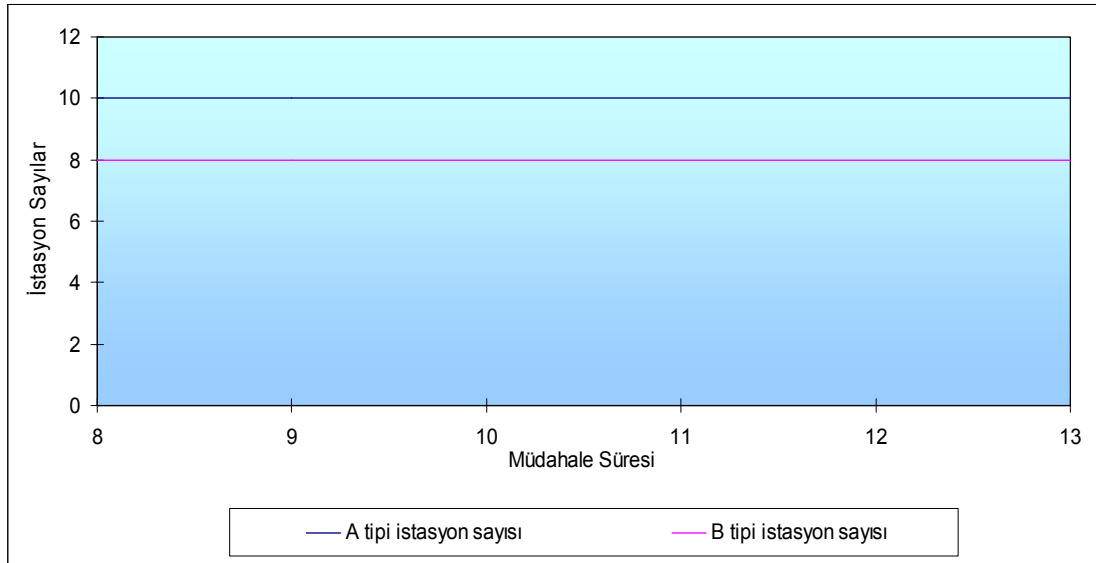
duyarsızdır. Ancak 79000 nüfus üst sınırına kadar yapılacak araç kapasite artırımları ile farklı yerleşim durumlarında istenilen düzeyde hizmet verilebilir. Bu sınırdan sonra yapılacak olan değişiklikler istasyonların durumu açısından bir anlam ifade etmeyecektir.



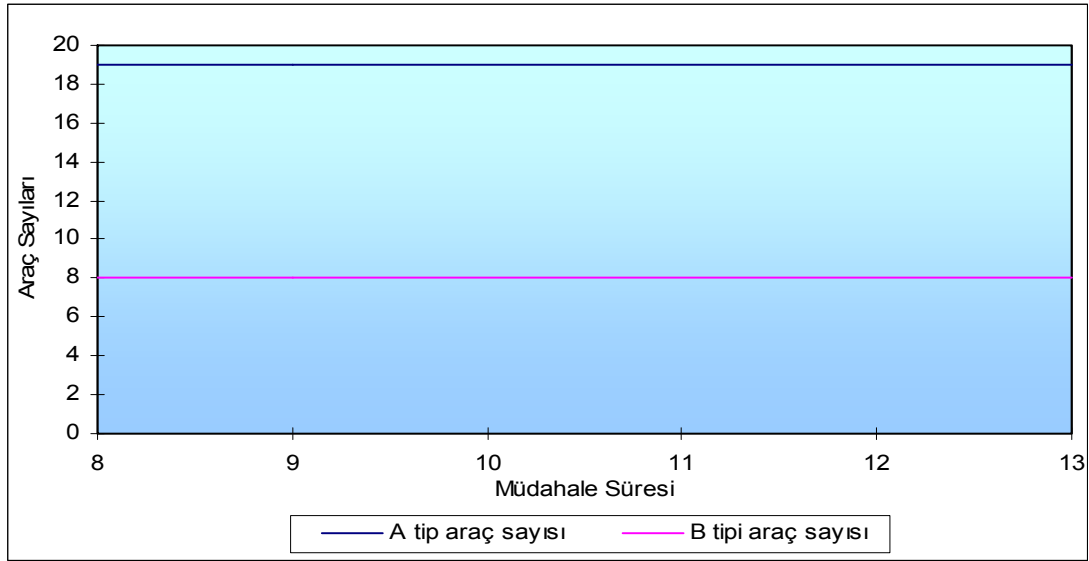
Şekil 4.5. Değişen nüfus aralığına bağlı olarak maliyetteki değişkenlik

Maliyet 94000 nüfus üst sınırından sonra sabit kalmaktadır. Yani, 94000 üst nüfus sınırından sonra bir istasyonun kapsayacağı nüfus için ne kadar artışa izin verilirse verilsin 8 A tipi istasyon, 10 B tipi istasyon ve her istasyonda 1 ambulans olmak üzere 18 ambulans değerleri ve hizmet verecekleri bölgeler sabit kalmaktadır. Amaç fonksiyonu değeri bu sınırdan sonra duyarsızdır, herhangi bir nüfus üst sınırında yapılacak değişiklik maliyeti değiştirmeyecektir. Bir önceki durumda istasyon ve ambulansların 79000 değerinden sonra duyarsızlaşmasına karşın maliyetin 94000’de duyarsızlaşması, kapasite artırımının 94000 nüfus üst sınırına göre yapıldığı taktirde aynı koşullarda daha düşük maliyet elde edileceğini göstermektedir.

Bir diğer sonuç da, başlangıç nüfus üst sınırlarında A tipi istasyon sayısı B tipi istasyon sayısından fazla iken, sınır arttırıldıkça B tipi istasyon sayısı artmış böylece de maliyet azaltılmıştır.

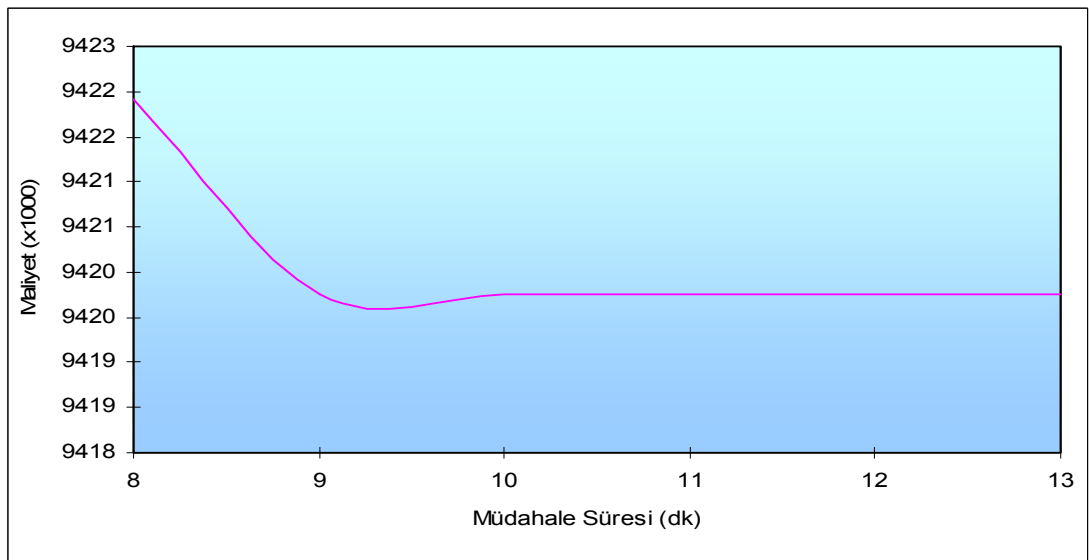


Şekil 4.6. Değişen müdahale süresine bağlı olarak A ve B tipi istasyon sayılarındaki değişkenlik



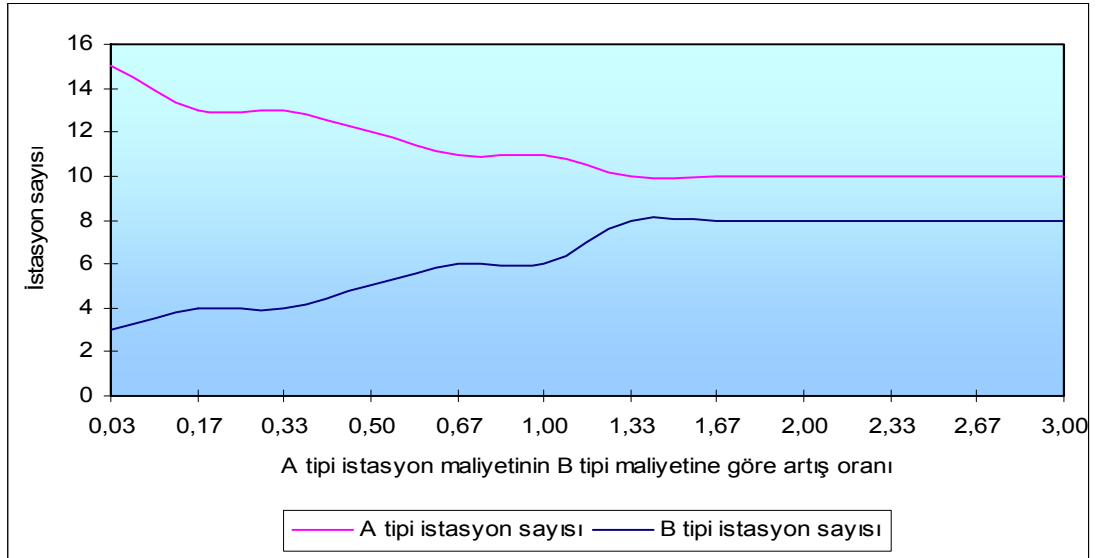
Şekil 4.7. Değişen müdahale süresine bağlı olarak A ve B tipi istasyonundaki araç sayısındaki değişkenlik

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 'ye baktığımızda müdahale süresindeki değişikliğin istasyon sayısında veya araç sayısında bir değişikliğe yol açmadığı, istasyon ve araç sayısının müdahale süresine karşı duyarsız olduğu görülmüştür. Yönetici müdahale süresini arttırsa veya azaltsa bile modeldeki bölgelerin komşuluk ilişkilerinden dolayı istasyon ve araç sayısını kararlı hale getirdiği anlaşıyor.



Şekil 4.8. Değişen müdahale süresine bağlı olarak maliyetteki değişkenlik

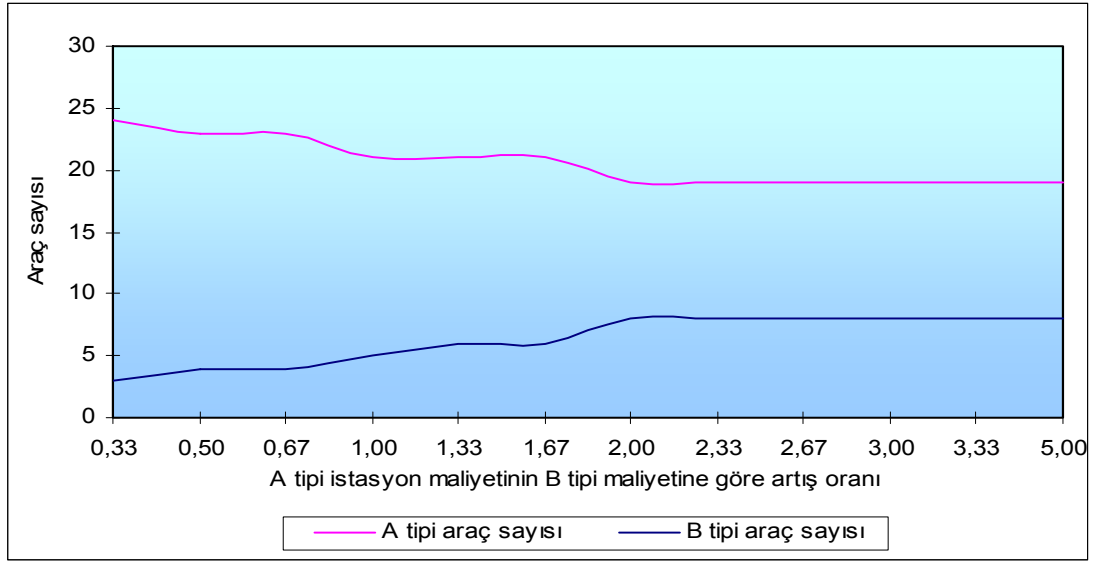
Müdahale süresindeki değişikliğe karşı az da olsa duyarlı olan amaç fonksiyonu değeri yani maliyet değeridir. Müdahale süresi standart müdahale süresi 10 dk.'nın altına düştüğünde maliyet daha fazladır. 10 dk.'dan sonra maliyet değişmemektedir. Bu durumda amaç düşük maliyet olduğundan, müdahale süresinde yapılacak değişiklikler sisteme bir avantaj sağlamamaktadır.



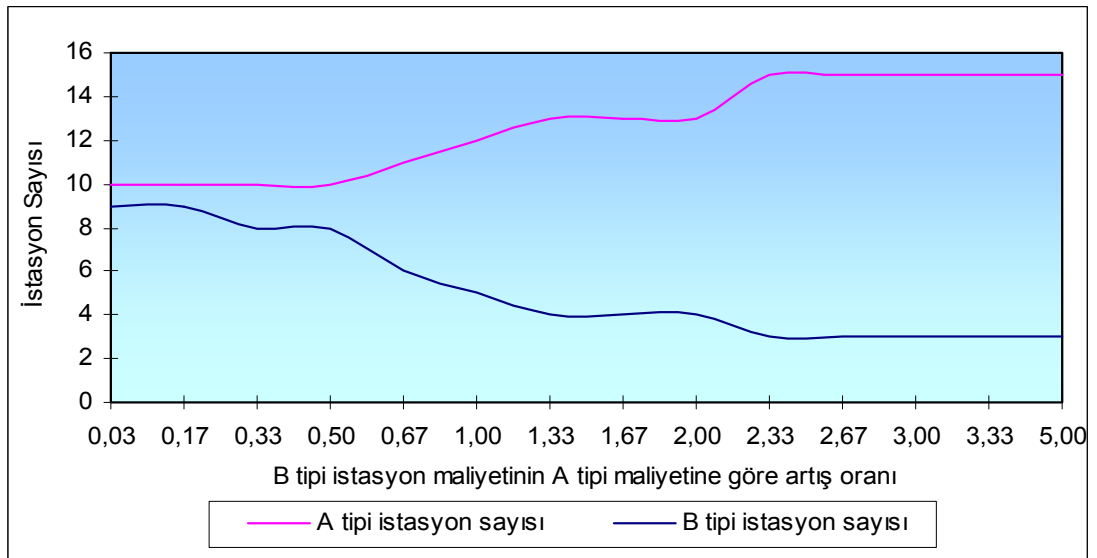
Şekil 4.9. Değişen A tipi istasyon maliyetinin B tipi istasyon maliyetine oranına bağlı olarak istasyon sayılarındaki değişkenlik

Şekil 4.9 'da B tipi istasyon maliyeti sabit tutulduğunda A tipi istasyon maliyetindeki değişikliğin A ve B tipi istasyon sayısını nasıl etkilediği görülmektedir. A tipi istasyon maliyeti arttırıldığında A tipi istasyon maliyeti B tipinin 1.5 katı olana kadar A tipi istasyon sayısı azalmakta, B tipi istasyon sayısı artmaktadır. Bu orandan sonra A tipi istasyon maliyeti ne kadar arttırılırsa arttırılsın istasyon sayılarında değişiklik olmamaktadır. Amacımız düşük maliyet olduğu için A tipi istasyonun maliyeti B tipi istasyon maliyetinden yüksek olduğu göz önüne alındığında A tipi istasyonun en düşük olduğu yani sabitlendiği değer maliyet açısından iyi bir değerdir. Bu grafik bize A tipi istasyon maliyetlerini B tipi istasyon maliyetlerinin yaklaşık 1.5 katına çıkardığımızda sistemin duyarsızlaştığını göstermektedir. Bu oranın üzerine çıkmak sistemin durumu açısından bir fayda getirmemektedir. Ancak düşük maliyet için A tipi istasyon maliyeti bu orana

çekilebilir. Bu orana kadar yapılacak değişiklikler istasyon sayısında değişikliklere yol açacaktır, maliyeti de yükseltecektir. Şekil 4.10'daki araç sayıları için bu oran 2.3 olmaktadır. Aynı şekilde bu orandan sonra sistem duyarsızlaşmıştır. Bu noktadan önce veya sonra yapılacak değişiklik sadece maliyette bir artışa sebep olacaktır.

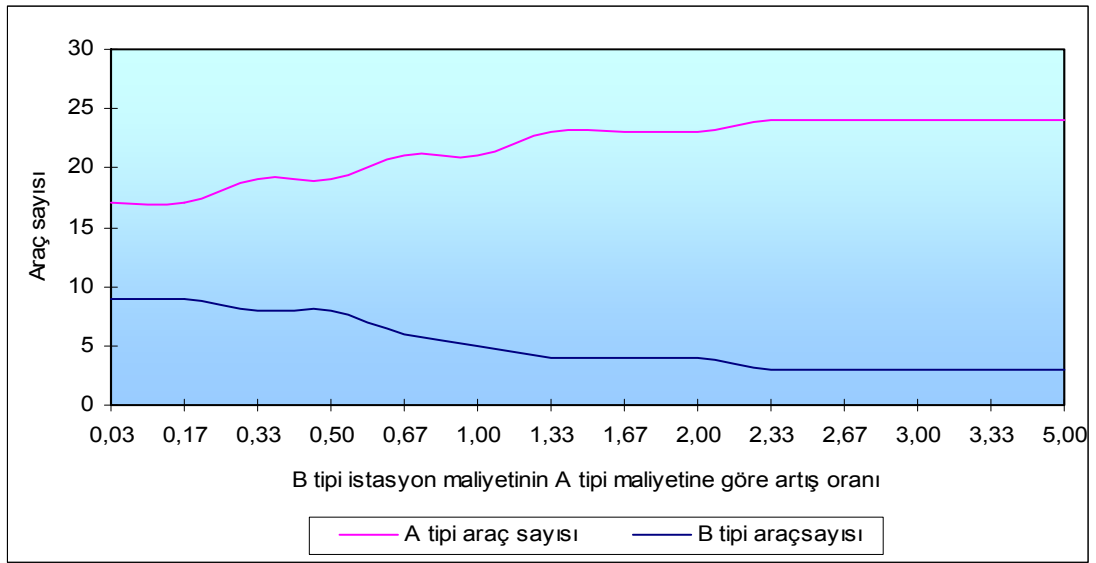


Şekil 4.10. Değişen A tipi istasyon maliyetinin B tipi istasyon maliyetine oranına bağlı olarak araç sayılarındaki değişkenlik



Şekil 4.11. Değişen B tipi istasyon maliyetinin A tipi istasyon maliyetine oranına bağlı olarak istasyon sayılarındaki değişkenlik

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'ye baktığımızda A tipi istasyon maliyeti sabit tutulduğunda istasyon ve araç sayılarındaki değişiklikler görülmektedir. Buna göre A tipi istasyon sayısı artarken B tipi istasyon sayısı, oran yaklaşık 2.6 olana kadar artmakta sonra sabit kalmakta ve bundan sonraki değişikliklerden etkilenmemektedir. B tipi istasyon maliyetlerindeki herhangi bir artış A tipi istasyon sayısını yaklaşık 2.6 kat maliyet artışı olana kadar arttıracaktır. Araç sayısı ise oran yaklaşık 2.3 olana kadar duyarlıdır.



Şekil 4.12. Değişen B tipi istasyon maliyetinin A tipi istasyon maliyetine oranına bağlı olarak araç sayılarındaki değişkenlik

Bu durumda bu orana kadar, B tipi istasyon maliyetleri arttığında yöneticinin yapacağı B tipi istasyonları kapatıp A tipi istasyonlar açmak olacaktır.

4.1.4. Genetik Programlama

Genetik algoritma uygulamasında iki farklı çaprazlama tekniği kullanılmıştır. Bunlar tek noktada ve iki noktada çaprazlamadır. Aynı başlangıç kromozomları ile farklı iki teknik uygulanarak, aynı başlangıç popülasyonu üzerinde farklı çaprazlama yönteminin sonuçlara etkisine bakılmıştır. Bu iki teknik uygulandığında çaprazlama oranı değişmemekte yalnızca kromozomların farklı yerlerindeki genler çaprazlanmaktadır. Çaprazlama oranı %54.85'tir.

Tek noktada çaprazlama

Tek noktada çaprazlama yapılırken seçilen iki kromozomun ilk 30X65 kromozomu çaprazlanmıştır. Bu çaprazlama yöntemi uygulanan genetik programlama sonucu Çizelge 4.5’de gösterilmiştir. Buna göre 13 A tipi ve 3 B tipi istasyon 29 ambulans ile hizmet vermekte ve her bölge bir istasyon tarafından kapsanmaktadır. Ortaya çıkan 5 yıllık minimum maliyet 10.366.440 YTL’dir.

Çizelge 4.5. Tek noktada çaprazlama yapılarak GA sonuçları

İstasyon Kurulan Bölgeler	İstasyon Tipi	Birincil Kapsanan Bölgeler	Yedek Kapsanan Bölgeler	Ambulans sayısı	Ambulans başına düşen kişi sayısı
6	B	26		1	47927
10	A	5,9,14,15		2	47348
11	A	12,16, 20	17,33	2	51574
13	A	7,8,17,18,19	25	3	37485
21	A	1,2,22	8,21,59	2	43986
24	A	3,4,23		2	33832
25	A	4,33,34,35,38,47	47	2	52464
27	B	28		1	45151
29	A	30		2	32148
31	A	32,41,42,44		3	49359
39	A	36,37,40,50	55	2	52766
43	A	51,52,59	24,34,62	2	42889
53	A	45,46,48,54,60	2,29,30	2	54773
55	A	49,56	31,41	1	41162
57	B	58,63	61	1	52574
61	A	62,64,65	32,48	1	46937
				29	

İki noktada çaprazlama

İki noktada çaprazlama yapılırken seçilen kromozomların ilk 15X65 ve son 15X65 genleri çaprazlanmıştır. İki noktada çaprazlama ile elde edilen genetik programlama sonucu Çizelge 4.6’da gösterilmiştir. 15 A tipi ve 1 B tipi istasyon

kurulmuş ve 29 ambulans atanmıştır. Yedek kapsama gereken tüm bölgeler yedek kapsamaktadır. Ortaya çıkan 5 yıllık minimum maliyet 11,231,973 YTL’dir.

Çizelge 4.6. İki noktada çaprazlama yapılarak elde edilen GA sonuçları

İstasyon Kurulan Bölgeler	İstasyon Tipi	Birincil Kapsanan Bölgeler	Yedek Kapsanan Bölgeler	Ambulans sayısı	Ambulans başına düşen kişi sayısı
6	B	26	24	1	50927
8	A	4,5,7,9,13,18		3	44192
12	A	11,16,17,20	11,25,31,47	3	42880
15	A	10,14,19		2	36483
21	A	1,2		1	50831
24	A	3,23,25,31,32	30,55,61	2	54217
36	A	35,37,38,49,50		2	49880
40	A	27,28,39		2	40264
41	A	29,30		2	54202
42	A	43,51		2	52170
44	A	22,45	8,29,33	2	40791
47	A	33,34,46,48	2,41,62	2	42102
53	A	52,54,59,60		2	36488
56	A	55,65	32,59	1	49073
58	A	57,63	21,48	1	52574
61	A	62,64		1	37875
				29	

Sezgisel metotların handikapı elde edilen çözümü değerlendirmenin pek de kolay olmadığıdır. Ancak, tek noktada çaprazlama ile elde edilen sonucun istenilen kriterlere yakın daha düşük maliyetli iyi bir sonuç olduğu söylenebilir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Tek nokta ve iki noktada çaprazlama sonuçları karşılaştırılması

	Tek noktada			İki noktada		
	A tipi	B tipi		A tipi	B tipi	
İstasyon sayısı	13	3	16	15	1	16
Araç sayısı	26	3	29	28	1	29
Maliyet	10.366.440 YTL			11.231.973 YTL		

Çizelge 4.8’de görüldüğü gibi nüfus üst sınırındaki artışa bağlı olarak GA’nın global optimum sonuca yaklaşımındaki bağıl hatalar verilmiştir. Buna göre araç

sayısında doğrusal programlama ile elde ettiğimiz global optimum sonucu ile değerlendirildiğinde bağıl hata %10, maliyetteki bağıl hata %13 olmaktadır.

Çizelge 4.8. Nüfus üst sınırındaki değişikliğe bağlı olarak GA'nın optimum sonuçla karşılaştırılması

Nüfus üst sınırı	Araç Sayısında Bağıl Hata Miktarı	Maliyette Bağıl Hata Miktarı
<54	0,07	0,15
<55	0,07	0,09
<56	0,15	0,12
<57	0,12	0,18
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
<94	0,17	0,11
<95	0,22	0,14
<96	0,17	0,07
<97	0,00	0,05
Ortalama	0,10	0,13

4.2. Tartışma

Acil sağlık sistemleri istasyonları ve araç yerleşimleri probleminin çözümünde kullanılan tamsayılı programlama ve genetik algoritma metotlarının çözüm üzerinde birinin global optimum çözüme ulaşması diğerinin ise yerel optimum çözüme ulaşması ile uygulama sonuçları elde edilmiştir. Daha önceki yapılan çalışmalarda daha çok kapsanacak talebin maksimizasyonu dikkate alınmıştır. Bu çalışmada ise tüm taleplerin kapsandığı durumdaki yerleşimin maliyetinin minimizasyonu yapılmaktadır. Diğer modellerin çözümünde sınırlı sayıda kaynak kullanımı dikkate alındığı için taleplerin bir kısmı kapsanamamaktaydı. Oluşturulan tamsayılı model ile daha önceki çalışmalardaki bu açık kapatılmaya çalışılmıştır.

Çalışmada kullanılan diğer bir metot olan genetik algoritma yaklaşımı özellikle doğrusal olmayan modellerin çözümünde kullanılan bir çözüm yöntemidir. Altuğ ve Saydam (2002), büyük ölçekli maksimum tahmini kapsama problemlerinin

çözümünde kullanılan sezgisel yöntemlerle genetik algoritma (GAs) çözümünü karşılaştırılmıştır. Doğrusal olmayan bir amaç fonksiyonunun çözümünde kullanılan genetik algoritma yöntemi ile kullanılan sezgisel metotlarla ve diğer tamsayı doğrusal programlama problemlerinin çözüm teknikleriyle kıyaslanmıştır. Sonuçta, kısa bir çözüm süresi içerisinde genetik algoritmanın optimuma en yakın sonuçları verdiği ortaya konmuştur. Bu çalışmada, genetik algoritma sonuçlarının çok kötü olmadığını ancak global optimum çözüme ulaşmanın imkansız olduğu durumlarda genetik algoritma gibi sezgisel bir yöntemin kullanılmasının uygun olabileceği görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**5.1. Çalışmanın Özeti**

Acil sağlık sistemleri istasyon yerleşim modelleri dikkate alınarak yeni bir doğrusal model oluşturulan bu çalışmada, tüm talepleri kapsayacak bir istasyon ve araç yerleşimi ile maliyet minimizasyonu probleminin çözümü iki farklı programlama yaklaşımı ile değerlendirilmiştir.

Uygulamada Adana ili ambulans hizmetleri üzerinde modelin sonuçları elde edilmeye çalışılmıştır. Adana ili nüfusu, karayolları, trafik kazaları dağılımı, hastanelerin yerleri dikkate alınarak bölgeler belirlenmiştir. Bu veriler kullanılarak acil servis sistemlerine çağrı olarak gelen olaylara müdahale süresi 10 dakikayı aşmayacak şekilde en düşük maliyet hedeflenerek en iyi istasyon yerleşim yerleri, istasyonların kapsayacağı bölgeler ve her istasyondaki ambulans sayısı için doğrusal bir tamsayılı model oluşturulmuştur. Statik deterministik doğrusal tamsayılı model 65 bölge için LINGO 8.0 programı ile çalıştırılmıştır. Modelde ambulans başına düşen nüfus üst sınır parametresi, müdahale süresi ve maliyet parametreleri değiştirilerek sonuçlardaki değişiklikler gözlenmiş ve duyarlılık analizi yapılmıştır. Alternatif bir çözüm yaklaşımı metodu olarak meta sezgisel algoritmalarından biri olan genetik algoritma yaklaşımı kullanılarak genetik programlama yapılmıştır. Bu çalışmada Delphi 5.0 programlama dili ile istasyon yeri, ambulans sayısı ve ambulansların gideceği bölgeleri içeren üç boyutlu başlangıç kromozomları oluşturularak genetik algoritma çözümü ile 65 bölge için istenilene yakın yerel optimum sonuçlar aranmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

5.2. Araştırma Sonuçları

Acil servis sistemlerinin tümü için müdahale süresi hayati bir önem taşımaktadır. Bu çalışmada müdahale süresini aşmadan tüm talebi karşılayacak minimum maliyetli istasyon ve araç yerleşimleri iki farklı yaklaşım ile global optimum ve yerel optimum sonuçlar bulunmuştur.

Ambulans istasyonları yerleşimi için geliştirilen ve kullanılan doğrusal tamsayılı modelin çözümü ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- i. 65 bölge için 5612 tamsayılı değişken ve 12711 kısıt ile matematiksel model LINGO 8.0 ile çözülebilmektedir.
- ii. Tüm taleplerin istenilen müdahale süresinde karşılanması için önerilen matematiksel model benzer acil sağlık sistemi bulunan ülkelerde uygulanabilir.
- iii. Bu tür yerleşim problemlerinde global optimum çözüme ulaşabilmek için model doğrusal programlama modeli haline dönüştürülmelidir.
- iv. Bölge sayısı sonuçların kısa sürede elde edilmesi ve sağlıklı sonuçlar elde edilmesi açısından çok büyük alınmamalıdır.

Duyarlılık Analizine göre;

- i. İstasyon yerleri ve sayıları belirli bir nüfus artışından sonra değişmemektedir. Değişebilirliğin mümkün olduğu aralıklarda nüfus artışına bağlı olarak araç sayısı veya kapasitesi arttırılmak suretiyle isteğe bağlı düzeylerde hizmet verilebilir.
- ii. A tipi ve B tipi maliyetleri ne oranda değişirse değişsin A tipi istasyon ve araç sayısı B tipi istasyon ve araç sayısından fazla olmaktadır. Mümkün olduğunca A tipi istasyon maliyetleri düşük tutulursa sistemin maliyeti o kadar düşer.
- iii. B tipi istasyonların maliyetinin A tipi istasyonlarının maliyetine göre artışına göre iki tip istasyon arasındaki farkı daha fazla açmaktadır. Bu durumda B tipi istasyonlardan A tipi istasyonlara göre daha çabuk feragat edilebilir.
- iv. İstasyonlar sadece sağlık kurumlarına entegre olarak çalışsa istenilen müdahale süresinde kapsanamayan talepler olacaktır.

Aynı model için uygulanan genetik algoritma yaklaşımı ile elde edilen sonuç yerel optimum bir çözümdür. Bu çözüm istenilen kriterleri aşağı yukarı sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar;

- i. Algoritma iki farklı çaprazlama yöntemi kullanılarak çalıştırılmıştır. Yöntemlerin ikisi de kromozom yapısını bozmayacak şekilde uygulanmıştır. Fakat, sonuç açısından belirgin bir fark yaratmamaktadır. Tek noktada çaprazlama ile daha düşük maliyetli bir çözüm elde edilmiştir. Ancak toplamda istasyon sayıları ve ambulans sayıları aynı kalmıştır.
- ii. Genetik algoritmanın global optimum çözüme minimum maliyet açısından bağlı hatası 0.13, araç sayısı bakımından bağlı hatası 0.10'dur. Bu durumda genetik algoritmanın global optimum çözüme yakın çözümler verdiği söylenebilir.
- iii. Doğrusal olmayan veya çözümü zor büyük ölçekli yerleşim problemlerinin çözümünde ortaya konulan genetik algoritma yaklaşımı kullanılabilir.

5.3. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler

Yerleşim problemleri, üzerinde çalışılan çok eski bir konu olmakla beraber günümüzde hala farklı koşullar ve farklı sistemlerin yerleşimi üzerine çalışmalar devam etmektedir. Birçok deterministik, dinamik, stokastik ve simulasyon modelleri ortaya konmuştur. Son yıllarda daha çok, koşulların belirsizliği ve modellerin büyüklüğüne bağlı olarak çözümündeki zorluklar dolayısıyla meta sezgisel metotların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Doğrusal tamsayılı modelin çözümünde kullandığımız iki farklı yaklaşım ve model üzerine geliştirmeler yapılarak yeni çalışmalar ortaya konulabilir.

- i. Doğrusal tamsayılı model deterministik bir modeldir. Fakat ambulansların meşgul olma durumları dikkate alınarak model olasılıklı hale getirilebilir.
- ii. Problemin formulasyonu ile ilgili olarak yurtdışındaki çalışma sistemleri dikkate alınarak farklı senaryolarla iyileştirmeler yapılabilir.

- iii. Simulasyon modeli ile dinamik ve belirsiz koşullarda sistemin durumu incelenebilir.
- iv. Mevcut yerleşim planına göre sistemin taktik anlamda modellenmesi, anlık araç yönlendirmeleri yapılabilir.
- v. Kısa dönem planlama ile farklı dönemsel senaryolar doğrusal modele veya genetik algoritmaya uygulanabilir.
- vi. Daha büyük ölçekli ve doğrusal olmayan problemler için genetik algoritma kullanılabilir. Ancak bu çalışmada bağıl hatanın çok düşük olmaması sebebiyle algoritma geliştirilebilir.
- vii. Bazı kromozomların mutasyon uygulamasından sonra bozulmasını önlemek için algoritmada kontroller kullanılmıştır. Kendi halinde seyreden genetik değişimlerin, deneysel ortamda taklit edildiğinde olası zararlı mutasyonların engellenmesi için *kontrollü genetik algoritma tekniği* geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- ADANA İL SAĞLIK MÜDÜRLÜĞÜ, 2007.
- ADANA İL NÜFUS İSTATİSTİK MÜDÜRLÜĞÜ, 2005.
- ADANA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ, 2007.
- ALTUĞ, H., ve 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.
- ARAKAKI, R.G.I. ve LORENA L.A.N., 2001. A Constructive Genetic Algorithm for the Maximal Covering Location Problem. 4th Metaheuristics International Conference. Portekiz.
- ARAZ, C., SELİM H., ÖZKARHAN İ., 2005. A Fuzzy Multi-Objective Covering Based Vehicle Location Model for Emergency Services Computers&Operations Research. (baskıda).
- BADRI, M., MORTAGY, A., ve ALSAYED, C., 1998. A Multi-Objective Model for Locating Fire Stations. European Journal Of Operational Research, 110-2: 243-260.
- 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.
- BROTCORNE, L., LAPORTE, G., ve SEMET, F., 2003. Invited Review: Ambulance Location And Relocation Models. European Journal Of Operational Research. 147-3: 451-463.
- 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.

- CURRENT, J., TATICK, S., ve REVELLE, C., 1997. Dynamic Facility Location When The Total Number of Facilities is Uncertain: A Decision Analysis Approach. *European Journal of Operational Research*. 110:597-609.
- DASKIN, M., ve STERN, E., 1981. A Hierarchical Objective Set Covering Model For Emergency Medical Service Vehicle Deployment. *Transportation Science*. 15: 137-152.
- 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.
- DUIS, H.,WERKEN, C., 2003. Trauma Care Systems in the Netherlands. *Injury, Int. J. Care Injured*. 34:722-727.
- 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.
- ESTOCHEN, B., STRAUSS,T., ve SOULEYRETTE, R., 1998. An Assesment of Emergency Response Vehicle Pre-Deployment Using GIS Identification of High Accident Density Locations. *Transportation Conference Proceedings*.
- FITZSIMMONS, J.A., 1973. A Methodology for Emergency Ambulance Deployment. *Management Science*. 19-6:627-636.
- 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.
- 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., 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.
- MCALFEE, 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., ve ark., Regional Service Coverage Modelling. Computers&Operations Research. (baskıda).
- OWEN S.H. ve DASKIN M., (1989). Strategic Facility Location:A Review. European Journal of Operational Research, 111:423-447.
- RAJAGOPALAN H., SAYDAM C., XIAO J., 2005.A Multiperiod Set Covering Location Model for Dynamic Redeployment of Ambulances. Computers&Operation Research. (baskıda).
- RESMÎ GAZETE. 15.03.2007. Acil Sağlık Hizmetleri Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik.26463.
- REVELLE, C., 1989. Review, Extension And Prediction in Emergency Service Siting Models. European Journal of Operational Research. 40-1: 58-69.
- SADEGHEIH, A.,2006. Sequence Optimization and Design of Allocation Using GA and SA.Applied Mathematics and Computation. (baskıda).

- SELİM, H., ve ÖZKARHAN, İ., 2005. Acil Servis Araçları Yerleşiminin Belirlenmesinde Yeni Bir Model. MMO Endüstri Mühendisliği Dergisi.1.
- SILVA, F., ve SERRA, D., 2003. Locating Emergency Services With Priority Rules: The Priority Queueing Covering Location Problem. Economics Working Papers. Department of Economics And Business, Universitat Pompeu Fabra.
- TOREGAS, C., SWAIN, R., REVELLE, C., BERGMAN, L., 1971. The Location of Emergency Service Facilities. Operations Research. 19-6:1363-1373.
- YANG, L. ve ark., 2006. A Fuzzy Multi-Objective Programming for Optimization of Fire Station Locations Through Genetic Algorithms. European Journal of Operational Research.(baskıda).
- ZAKİ, A., CHENG, H., ve PARKER, B., 1997.A Simulation Model for The Analysis and Management of An Emergency Service System. Socio Economic Planning Sciences. 31-3:173-189.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Sivas'ta doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Sivas'ta, liseyi Diyarbakır Fen Lisesi'nde tamamladıktan sonra Çankaya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünü kazandı. Çankaya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden 2002 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul'da Öztay Tekstil A.Ş. ve Bosch Rexroth'ta iş deneyimlerinde bulundu. 2003 yılında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak işe başladı. 2004'te Çukurova Üniversitesi Endüstri Anabilim dalında lisansüstü eğitime başlamıştır. 2005 yılında Erasmus öğrenci değişimi programından yararlanarak 6 ay Hollanda Eindhoven Teknoloji Üniversitesi'nde bulunmuştur.

Referans	Model	Amaç	Kapsama Kısıtları	Yerleşim Yeri Kısıtı	Ambulans
ReVelle ve ark. (1971)	LSCM	ambulans sayısı minimizasyonu	her talep bölgesini en az bir kere kapsanacak	en fazla bir ambulans	her istasyon için bir tip sayı sınırsız
Church ve ReVelle (1974)	MCLP	kapsanan talep maksimizasyonu	en fazla bir ambulans	her istasyon için	bir tip sayı belirli
Schilling ve ark. (1979)	TEAM	kapsanan talep maksimizasyonu	her tip ambulandan en fazla bir tane. A tipi sadece B tipi varsa yerleştirilebilir		iki tip sayı belirli
Schilling ve ark. (1979)	FLEET	kapsanan talep maksimizasyonu	Her istasyon için en fazla bir ambulans		iki tip sayı belirli p tane istasyon
Daskin ve Stern (1981)	Yenilenmiş MCLP	talep noktaları birden fazla kapsanarak,kapsanan talep maksimizasyonu	her talep bölgesini en az bir kere kapsanacak	Her istasyon için en fazla bir ambulans	bir tip sayı belirli
Hogan ve ReVelle(1986)	BACOP1 ve BACOP2	iki kez kapsanan veya bir ve iki kez kapsanabilinen talep maksimizasyonu	Her talep bölgesini en az bir kere kapsanacak	Her istasyon için en fazla bir ambulans	bir tip sayı belirli
Gendreau ve ark.(1997)	DSM	r_1 sürede en az iki kez kapsanan talebin maksimizasyonu	tüm talep r_2 ile kapsanacak tüm talebin α oranı r_1 ile kapsanacak	istasyondaki ambulans sayısı üst sınırı	bir tip sayı belirli
Gendreau ve ark.(2001)	DDSM	r_1 sürede en az iki kez kapsanan alanın dinamik maksimizasyonu, eksi elde bulunmama terimi	tüm talep r_2 ile kapsanacak tüm talebin α oranı r_1 ile kapsanacak	istasyondaki ambulans sayısı üst sınırı	bir tip sayı belirli

L.Brotcorne et al.European Journal of Operational Research 147 (2003) 451-463

Referans	Model	Amaç	Kapsama Kısıtları	Yerleşim Yeri Kısıtı	Ambulans	Meşgul Periyod
Daskin(1983)	MEXCLP	Tahmini kapsanan talep maksimizasyonu			bir tip üst sınır belirli	her ambulans için aynı değer belirli.
ReVelle ve Hogan(1989)	MALP I	α olasılıkla kapsanan talep maksimizasyonu			bir tip sayı belirli	her istasyon için aynı
ReVelle ve Hogan(1989)	MALPII	en az α olasılıkla kapsanan talep maksimizasyonu			bir tip sayı belirli	her talep bölgesi için değişken
Batta ve ark.(1989)	Genişletilmiş MEXCLP (AMEXCLP)	Tahmini kapsanan talep maksimizasyonu			bir tip sayı belirli ambulanslar bağımsız değil	her talep bölgesi için değişken
Goldberg ve ark.(1990)	Genişletilmiş MEXCLP	8 dk ile tahmini kapsanan talep maksimizasyonu		Her istasyon için en fazla bir ambulans	bir tip sayı belirli	her ambulans için eşit değer belirli İki tip çağrı
Ball ve Lin (1993)	Yenilenmiş	ambulans sabit maliyeti	tüm taleplerin α kadarı r_1 sürede	j istasyonunda en fazla p_j ambulans	bir tip sayı sınırsız	meşgul durumda üst sınır hesaplanır
Repede ve Bernardo(1994)	zaman bağımlı MEXCLP (TIMEXCLP)	Tahmini kapsanan talep maksimizasyonu			bir tip sayı belirli	her ambulans için aynı
Marianov ve ReVelle(1994)	QPLSCP	en az α olasılıkla kapsanan talep maksimizasyonu			bir tip her talep bölgesi için alt sınır hesaplanır	talep noktalarına göre değişir
Mandel(1998)	TTM	Tahmini kapsanan talep maksimizasyonu		her istasyon tipine göre sınırlama	iki tip sayı belirli	kuyruk modeline göre hesaplanır

EK 3. Yüreğir Bölgesi Nüfusları

Bölge No	YÜREĞİR	NÜFUS
1	KIŞLA	25800
	SEPİCİ	
2	KÖPRÜLÜ	13693
	KAZIM KARABEKİR	
3	YAVUZLAR	18799
4	SİNANPAŞA	23884
	AKINCILAR	
5	YAMAÇLI	12770
	GÜNEŞLİ	
6	SEYHAN	16793
	HAYDAROĞLU	
	DOĞANKENT	
7	SERİNEVLER	26108
	TAHSİLLİ	
	DADALOĞLU	
	KARACAOĞLAN	
8	SARIÇAM	18945
	OZGUR	
9	CUMHURİYET	37699
	ANADOLU	
10	AKDENİZ	9850
	BAHÇELİEVLER	
11	PTT EVLERİ	27944
12	SELAHATTİN EYYÜBİ	17423
13	ATAKENT	13169
14	ONDOKUZ MAYIS	29202
	YEŞİLBAĞLAR	
15	KOZA	5174
16	ULUBATLI HASAN	39364
	KİREMİTHANWE	
17	ÇAMLIBEL	25492
	Ş.ERKUT AKBAY	
18	YENİDOĞAN	10033
19	GÜZELEVLER	18707
	LEVENT	
20	M.AKİF	18417
	YILDIRIM BEYAZIT	

EK 4. Seyhan Bölgesi Nüfusları

Bölge No	SEYHAN	NÜFUS
21	BEYAZEVLER	11338
22	YENİBARAJ	36667
	SÜMER	
23	ZİYAPASA	11811
24	REŞATBEY	24980
	CEMALPAŞA	
25	TÜRKOCAĞI	28443
	BEŞOCAK	
	ALİDEDE	
	MESTANZADE	
	SARIYAKUP	
	KAYALIBAĞ	
	TEPEBAĞ	
	KURUKÖPRÜ	
	ULUCAMI	
	KARASOKU	
	SUCUZADE	
	KOCAVEZİR	
	HANEDAN	
26	ŞEHİT DURAN	34134
	YENİBEY	
	HÜRRİYET	
27	BARBAROS	31482
	BEY	
28	AKKAPI	13669
	MIDIK	
29	GÜZELYALI	33718
30	MAHFESİĞMAZ	30577
31	YEŞİLEVLER	8901
32	NAMIK KEMAL	17500
	GAZİPAŞA	
33	KURTULUŞ	16267
	ÇINARLI	
34	EMEK	19978
	İSTİKLAL	
	HURMALI	
35	MEYDAN	19573
	YEŞİLYUVA	
36	DUMLUPINAR	16925
37	GÜLPINAR	15497
38	MİRZAÇELEBİ	8881
39	HAVUZLU BAHÇE	12890
40	DAĞLIOĞLU	22486

41	TOROS	44109
42	YURT	46420
43	YEŞİLYURT	38964
44	FATİH	19809
45	MİTHATPAŞA	25106
46	DENİZLİ	20232
47	AHMET REMZİ YÜREĞİR	11785
	DÖŞEME	
48	SAKARYA	19093
	NARLICA	
49	HAVAALANI	1150
50	GÜLBAHÇESİ	37733
51	HUZUREVLERİ	18954
52	PINAR	11543
53	İSMETPAŞA	14699
54	DEMETEVLER	17275
	YEŞİLEVLER	
55	ŞAKIRPAŞA	14052
56	OVA	25959
	UÇAK	
57	BELEDİYEVLERİ	28215
58	İKİBİNEVLER	5165
59	GÜRSELPAŞA	16317
60	BARIŞ	13141
61	FEVZİPAŞA	14070
62	ONUR	16146
63	YÜZÜNCÜYIL	19194
64	AYDINLAR	7659
65	YEŞİLOBA	9062

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	
1	0	6	7	9	10	12	8	9	12	13	7	8	10	12	14	10	11	12	13	12	7	7	6	8	10	11	13	14	10	8	7	9	9	10	11	12	12	11	13	12	8	9	8	10	9	11	9	11	14	13	10	9	11	12	13	14	13	11	12	12	13	15	14	13	16	
2	6	0	7	8	10	12	7	8	10	13	7	7	8	11	12	8	10	12	12	11	9	7	5	7	9	11	11	13	11	9	8	7	8	10	10	11	10	10	11	11	10	10	9	8	8	9	9	9	13	12	11	11	10	11	13	14	14	13	11	11	13	14	15	13	14	
3	7	7	0	5	7	9	6	6	7	11	8	8	7	10	11	8	9	9	11	10	10	8	6	7	7	9	10	12	12	11	7	9	6	8	9	10	9	9	10	13	11	10	11	10	10	8	10	12	11	13	11	11	11	11	13	15	16	15	12	12	12	16	13	14		
4	9	8	5	0	6	9	6	5	7	10	8	7	7	8	10	8	8	9	10	10	12	10	8	7	7	8	10	12	14	12	11	9	7	8	9	10	9	9	10	14	12	11	9	9	9	8	9	11	11	14	12	11	11	11	12	17	14	13	11	11	12	17	13	13		
5	10	10	7	6	0	7	9	6	5	8	10	9	7	7	7	10	9	10	8	12	13	11	9	8	6	7	8	10	16	15	13	10	9	8	8	9	8	7	8	9	13	14	13	11	9	10	10	11	12	10	15	13	13	12	11	13	8	16	16	12	12	13	18	13	14	
6	12	12	9	9	7	0	12	9	7	6	14	12	10	8	7	13	12	11	9	15	13	12	10	9	8	8	9	12	17	15	15	11	10	10	10	10	9	10	10	16	15	11	12	12	12	11	12	12	12	19	15	13	12	13	15	20	17	15	14	14	14	20	14	16		
7	8	7	6	6	9	12	0	7	8	12	6	6	6	9	9	6	7	8	9	9	10	9	7	8	9	12	13	13	12	9	9	9	10	11	11	11	10	11	11	12	12	11	9	10	11	10	11	14	13	13	12	13	12	12	14	16	14	13	13	13	14	17	14	15		
8	9	8	6	5	6	9	7	0	6	9	8	7	5	8	9	8	8	9	9	10	11	11	9	7	8	9	10	12	15	13	11	10	8	9	9	10	10	9	9	10	15	14	13	10	10	9	10	12	12	15	12	11	11	11	13	16	15	13	12	12	13	18	13	14		
9	12	10	7	7	5	7	8	6	0	8	10	9	7	6	7	10	9	10	8	13	13	12	10	8	7	8	8	11	17	15	14	11	9	9	9	10	9	8	8	9	14	14	13	12	10	11	11	11	12	10	16	14	13	13	12	14	8	17	17	13	13	13	19	14	15	
10	13	11	10	8	6	12	9	8	0	14	13	10	7	6	13	11	10	9	13	17	15	13	12	10	11	12	14	20	19	18	15	13	12	12	13	13	12	12	13	17	18	17	15	14	15	14	15	16	14	19	18	17	16	15	17	12	20	21	16	16	17	22	17	18		
11	7	7	8	8	10	14	6	8	10	14	0	5	8	10	12	6	6	9	10	7	13	11	9	11	11	12	13	15	16	14	11	13	9	12	12	13	13	12	12	13	16	14	13	15	13	13	11	13	15	14	17	14	14	14	16	19	19	18	15	15	15	19	16	17		
12	8	7	8	7	9	12	6	7	9	13	5	0	7	9	10	6	6	8	10	8	12	10	8	10	10	11	12	14	15	13	10	12	8	11	11	12	12	11	11	12	15	13	12	13	12	12	10	12	14	13	16	13	13	13	15	18	18	17	14	14	14	18	15	16		
13	10	8	7	7	7	10	6	5	7	10	8	7	0	7	8	7	6	8	8	12	12	10	8	10	10	11	12	14	15	13	10	12	8	11	11	12	12	11	11	12	15	13	12	13	12	12	10	12	14	13	15	13	13	13	15	17	18	17	14	14	14	18	15	16		
14	12	11	10	8	7	8	9	8	6	7	10	9	7	0	6	9	8	8	7	12	15	13	11	10	8	9	10	12	18	17	16	13	11	10	10	11	11	10	10	11	15	16	15	13	12	13	12	13	14	12	17	16	15	14	13	15	10	18	19	14	14	15	20	15	16	
15	14	12	11	10	7	7	9	9	7	6	12	10	8	6	0	10	9	7	6	12	16	15	13	11	10	11	11	14	20	18	17	14	12	12	12	13	12	11	11	12	17	17	16	15	13	14	14	14	15	13	19	17	16	15	17	11	20	20	16	16	16	22	17	18		
16	10	8	8	8	10	13	6	6	7	9	10	0	5	7	9	7	13	11	9	10	10	11	13	15	15	14	10	12	9	11	12	13	12	13	12	13	16	14	13	14	12	13	11	13	15	14	16	14	14	14	16	18	19	18	15	15	15	19	16	17						
17	11	9	8	9	12	7	8	9	11	6	6	6	8	9	5	0	6	8	7	13	11	10	11	11	12	13	16	15	14	11	13	10	11	11	12	13	12	13	16	15	14	15	13	14	11	13	15	17	15	14	15	16	19	19	18	15	15	16	19	16	17					
18	12	12	9	9	10	11	8	9	10	10	9	8	8	7	7	6	0	6	8	14	12	11	12	13	14	17	17	15	12	14	11	13	13	14	17	15	12	14	14	13	14	17	16	15	16	14	12	14	16	18	15	15	16	17	20	20	19	16	16	17	20	17	18			
19	13	12	11	10	8	9	9	9	8	9	10	10	8	7	6	9	8	6	0	13	11	9	11	12	13	16	14	11	13	10	12	12	13	13	12	13	17	15	14	15	13	14	11	13	15	17	15	14	15	16	19	20	18	15	15	16	20	18	15	16	20	18				
20	12	11	10	12	15	9	10	13	13	7	8	12	12	7	7	8	10	0	15	13	11	13	13	14	15	17	18	16	13	15	11	13	14	15	14	15	18	16	15	15	13	15	17	16	19	16	16	16	16	18	21	21	20	17	17	21	18	19								
21	7	9	10	12	13	13	10	11	13	16	13	12	12	15	16	13	13	14	13	15	0	6	7	8	10	12	13	15	8	6	7	8	10	12	13	15	8	6	7	9	12	12	12	11	13	13	11	10	10	10	12	14	10	12	14	12	15									
22	7	7	8	10	11	12	9	11	12	14	11	10	10	13	15	11	11	12	11	13	6	0	6	7	9	11	11	14	8	7	5	6	8	9	10	11	11	10	11	12	7	8	6	6	7	8	7	8	13	12	9	7	8	10	11	13	11	10	9	10	11	12	11			
23	6	5	6	8	9	10	7	9	10	13	9	8	8	11	13	9	10	11	9	11	7	6	0	6	7	9	10	12	9	9	7	6	6	8	9	9	8	9	10	9	8	6	7	8	7	8	11	12	10	9	8	9	10	11	13	11	10	10	12	14	11	13				
24	8	7	7	7	8	9	8	7	8	11	11	10	10	10	11	10	11	12	11	13	8	7	6	0	6	8	9	10	11	10	8	7	5	7	8	8	7	7	8	10	9	7	8	8	6	7	10	10	12	10	9	10	10	11	14	13	11	10	10	11	15	11	12			
25	10	9	7	7	6	8	9	8	7	10	11	10	10	10	11	12	11	13	10	9	7	6	0	6	7	8	14	12	9	7	6	6	6	6	5	5	6	12	11	9	8	7	8	6	7	8	7	8	13	10	9	9	10	11	14	12	11	10	10	11	15	11	12			
26	11	11	9	8	7	8	12	9	8	10	12	11	11	9	11	11	12	13	14	12	11	9	8	6	0	5	8	16	14	11	9	8	8	7	8	8	7	6	7	6	7	14	12	11	10	9	10	8	9	10	8	15	12	11	11	11	12	15	14	12	12	11	12	17	12	14
27	13	11	10	10	8	9	13	10	8	11	13	12	10	11	13	13	14	13	15	13	11	10	9	7	5	0	6	16	14	12	10	8	8	7	7	7	6	5	6	14	13	11	10	9	10	8	9	10	8	15	13	11	11	12	13	16	14	13	12	12	13	17	13	14		
28	14	13	12	12	10	12	13	12	11	14	15	14	14	12	14	15	16	17	16	17	15	1																																												

EK 6. LINGO 8.0 Tamsayılı Programlama Modeli

```
!Minimum maliyetli 112 ambulans istasyonları yeri, sayısı, ambulans  
adedi ve hizmet bölgeleri için oluşturulan minimum maliyetli nüfus  
sınırlı küme kapsama modeli;  
SETS:  
TIME/1..5/;  
TYPE/1..3/;  
MALIYET (TIME,TYPE):C;  
BOLGE/1..65/:KAPNUFA,KAPNUFB,IKINUF,ARAC,NUFUS,WB,WA,WY;  
HIZMET (BOLGE,BOLGE):ZAMAN,COST,KO;  
HIZMETA (HIZMET) |WA (&2) #NE#0:ISTA;  
HIZMETB (HIZMET) |WB (&2) #NE#0:ISTB;  
HIZMETY (HIZMET) | (&1) #NE# (&2) #AND# WY (&1) #NE#0 #AND# (WA (&2) #NE#0  
#OR# WB (&2) #NE#0):ISTAY;  
  
TOTCOST/1..1/:HM;  
ENDSETS  
  
!Amaç fonksiyonu minimum maliyet;  
MIN=@SUM (BOLGE (J) |WA (J) #NE#0:592983*ISTA (J,J) )+@SUM (BOLGE (J) |WB (J) #N  
E#0:203938*ISTB (J,J) )+@SUM (BOLGE (J) : (67443*ARAC (J) ) )+@SUM (BOLGE (J) |W  
B (J) #NE#0: (ISTB (J,J) ) *57443)+HM (1) ;  
  
!Kapsama kısıtları;  
@FOR (BOLGE (I) :@SUM (HIZMETA (I,J) :ISTA (I,J) )+@SUM (HIZMETB (I,J) :ISTB (I,  
J) )=1) ;  
@FOR (BOLGE (I) :@SUM (HIZMETY (I,J) |I #NE# J #OR#  
WY (J) #NE#0:ISTAY (I,J) )=WY (I) ) ;  
@FOR (HIZMETA (I,J) |WA (J) #NE#0:ZAMAN (I,J) *ISTA (I,J) <=10*KO (I,J) ) ;  
@FOR (HIZMETB (I,J) |WB (J) #NE#0:ZAMAN (I,J) *ISTB (I,J) <=10*KO (I,J) ) ;  
@FOR (BOLGE (I) |WY (I) #NE#0:@FOR (HIZMETY (I,J) :ZAMAN (I,J) *ISTAY (I,J) <=15  
*KO (I,J) ) ) ;  
  
@FOR (HIZMETA (I,J) |WA (J) #NE#0:ISTA (I,J) <=ISTA (J,J) *WA (J) ) ;  
@FOR (HIZMETB (I,J) |WB (J) #NE#0:ISTB (I,J) <=ISTB (J,J) *WB (J) ) ;  
  
@FOR (BOLGE (I) :@FOR (HIZMETY (I,J) |WA (J) #NE#0 #AND#  
WY (I) #NE#0:ISTAY (I,J) <=ISTA (J,J) ) ) ;  
@FOR (BOLGE (I) :@FOR (HIZMETY (I,J) |WY (I) #NE#0 #AND#  
WB (J) #NE#0:ISTAY (I,J) <=ISTB (J,J) ) ) ;  
  
@FOR (HIZMETY (I,J) |WA (J) #NE#0 #AND# WY (I) #NE#0:ISTA (I,J) <=1000*(1-  
ISTAY (I,J) ) ) ;  
@FOR (HIZMETY (I,J) |WB (J) #NE#0 #AND# WY (I) #NE#0:ISTB (I,J) <=1000*(1-  
ISTAY (I,J) ) ) ;  
  
!Nüfus kısıtları;  
@FOR (BOLGE (J) |WB (J) #NE#0:@SUM (HIZMETB (I,J) |WB (J) #NE#0:ISTB (I,J) *NUFU  
S (I) ) >=43500*ISTB (J,J) ) ;  
@FOR (BOLGE (J) |WA (J) #NE#0:@SUM (HIZMETA (I,J) |WA (J) #NE#0:ISTA (I,J) *NUFU  
S (I) *WA (J) ) >=45000*ISTA (J,J) ) ;  
@FOR (BOLGE (J) |WB (J) #NE#0:@SUM (HIZMETB (I,J) |WB (J) #NE#0:ISTB (I,J) *NUFU  
S (I) *WB (J) ) <=51000) ;
```

```

@FOR (BOLGE (J) : @SUM (HIZMETA (I, J) | WA (J) #NE#0 : ISTA (I, J) *NUFUS (I) ) =KAPNU
FA (J) ) ;
@FOR (BOLGE (J) : @SUM (HIZMETB (I, J) | WB (J) #NE#0 : ISTB (I, J) *NUFUS (I) ) =KAPNU
FB (J) ) ;
@FOR (BOLGE (J) : @SUM (HIZMETY (I, J) | WY (I) #NE#0 #or#
WA (J) #NE#0 : ISTAY (I, J) *NUFUS (I) *0.1) =IKINUF (J) ) ;
@FOR (BOLGE (J) : KAPNUFA (J) /51000<=ARAC (J) ) ;

!Maliyet hesabı;
C (1, 1) = @SUM (BOLGE (J) : @SUM (HIZMETA (I, J) | WA (J) #NE#0 : ISTA (I, J) *WA (J) *co
st (I, J) *NUFUS (I) *120*365) / (@SUM (BOLGE (I) : NUFUS (I) ) ) ) ;
C (1, 2) = @SUM (BOLGE (J) : @SUM (HIZMETY (I, J) | I #NE# J #AND#
WA (J) #NE#0 : ISTAY (I, J) *cost (I, J) *NUFUS (I) *0.10*120*365) / (@SUM (BOLGE (I
) : NUFUS (I) ) ) ) ;
C (1, 3) = @SUM (BOLGE (J) : @SUM (HIZMETB (I, J) | WB (J) #NE#0 : ISTB (I, J) *WB (J) *co
st (I, J) *NUFUS (I) *120*365) / (@SUM (BOLGE (I) : NUFUS (I) ) ) ) ;

C (2, 1) = C (1, 1) *1.02170;
C (2, 2) = C (1, 2) *1.02170;
C (2, 3) = C (1, 3) *1.02170;

C (3, 1) = C (2, 1) *1.02170;
C (3, 2) = C (2, 2) *1.02170;
C (3, 3) = C (2, 3) *1.02170;

C (4, 1) = C (3, 1) *1.02170;
C (4, 2) = C (3, 2) *1.02170;
C (4, 3) = C (3, 3) *1.02170;

C (5, 1) = C (5, 1) *1.02170;
C (5, 2) = C (5, 2) *1.02170;
C (5, 3) = C (5, 3) *1.02170;

HM (1) = (C (1, 1) + C (1, 2) + C (1, 3) ) *1/1.08 + (C (2, 1) + C (2, 2) + C (2, 3) ) *1/1.08^2 +
(C (3, 1) + C (3, 2) + C (3, 3) ) *1/1.08^3 + (C (4, 1) + C (4, 2) + C (4, 3) ) *1/1.08^4 + (C (5
, 1) + C (5, 2) + C (5, 3) ) *1/1.08^5;

@FOR (HIZMETB (I, J) : @BIN (ISTB (I, J) ) ) ;
@FOR (HIZMETA (I, J) : @BIN (ISTA (I, J) ) ) ;
@FOR (HIZMETY (I, J) : @BIN (ISTAY (I, J) ) ) ;
@FOR (BOLGE (J) : @GIN (KAPNUFA (J) ) ) ;
@FOR (BOLGE (J) : @GIN (KAPNUFB (J) ) ) ;

@FOR (BOLGE (J) : @GIN (ARAC (J) ) ) ;

DATA:
ENDDATA

```

EK 7. LINGO 8.0 Doğrusal Programlama Sonucu

Global optimal solution found at iteration: 135197
 Objective value: 9419749.

Variable	Value	Reduced Cost
C(1, 1)	24285.60	0.000000
C(1, 2)	977.2295	0.000000
C(1, 3)	9136.256	0.000000
C(2, 1)	24812.60	0.000000
C(2, 2)	998.4354	0.000000
C(2, 3)	9334.513	0.000000
C(3, 1)	25351.04	0.000000
C(3, 2)	1020.101	0.000000
C(3, 3)	9537.071	0.000000
C(4, 1)	25901.15	0.000000
C(4, 2)	1042.238	0.000000
C(4, 3)	9744.026	0.000000
C(5, 1)	0.000000	0.000000
C(5, 2)	0.000000	0.000000
C(5, 3)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(1)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(2)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(3)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(4)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(5)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(6)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(7)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(8)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(9)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(10)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(11)	84731.00	0.000000
KAPNUFA(12)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(13)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(14)	81878.00	0.000000
KAPNUFA(15)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(16)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(17)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(18)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(19)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(20)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(21)	73805.00	0.000000
KAPNUFA(22)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(23)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(24)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(25)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(26)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(27)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(28)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(29)	0.000000	0.000000

KAPNUFA(30)	108404.0	0.000000
KAPNUFA(31)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(32)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(33)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(34)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(35)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(36)	155113.0	0.000000
KAPNUFA(37)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(38)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(39)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(40)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(41)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(42)	104338.0	0.000000
KAPNUFA(43)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(44)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(45)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(46)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(47)	97543.00	0.000000
KAPNUFA(48)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(49)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(50)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(51)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(52)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(53)	99875.00	0.000000
KAPNUFA(54)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(55)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(56)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(57)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(58)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(59)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(60)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(61)	48922.00	0.000000
KAPNUFA(62)	51167.00	0.000000
KAPNUFA(63)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(64)	0.000000	0.000000
KAPNUFA(65)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(1)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(2)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(3)	54494.00	0.000000
KAPNUFB(4)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(5)	50469.00	0.000000
KAPNUFB(6)	50927.00	0.000000
KAPNUFB(7)	52970.00	0.000000
KAPNUFB(8)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(9)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(10)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(11)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(12)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(13)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(14)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(15)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(16)	0.000000	0.000000

KAPNUFB(17)	53942.00	0.000000
KAPNUFB(18)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(19)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(20)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(21)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(22)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(23)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(24)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(25)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(26)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(27)	45151.00	0.000000
KAPNUFB(28)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(29)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(30)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(31)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(32)	51381.00	0.000000
KAPNUFB(33)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(34)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(35)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(36)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(37)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(38)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(39)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(40)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(41)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(42)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(43)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(44)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(45)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(46)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(47)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(48)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(49)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(50)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(51)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(52)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(53)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(54)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(55)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(56)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(57)	52574.00	0.000000
KAPNUFB(58)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(59)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(60)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(61)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(62)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(63)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(64)	0.000000	0.000000
KAPNUFB(65)	0.000000	0.000000
IKINUF(1)	0.000000	0.000000
IKINUF(2)	0.000000	0.000000
IKINUF(3)	3867.300	0.000000

IKINUF(4)	0.000000	0.000000
IKINUF(5)	2844.300	0.000000
IKINUF(6)	0.000000	0.000000
IKINUF(7)	7238.100	0.000000
IKINUF(8)	0.000000	0.000000
IKINUF(9)	0.000000	0.000000
IKINUF(10)	0.000000	0.000000
IKINUF(11)	0.000000	0.000000
IKINUF(12)	0.000000	0.000000
IKINUF(13)	0.000000	0.000000
IKINUF(14)	3769.900	0.000000
IKINUF(15)	0.000000	0.000000
IKINUF(16)	0.000000	0.000000
IKINUF(17)	0.000000	0.000000
IKINUF(18)	0.000000	0.000000
IKINUF(19)	0.000000	0.000000
IKINUF(20)	0.000000	0.000000
IKINUF(21)	3947.800	0.000000
IKINUF(22)	0.000000	0.000000
IKINUF(23)	0.000000	0.000000
IKINUF(24)	0.000000	0.000000
IKINUF(25)	0.000000	0.000000
IKINUF(26)	0.000000	0.000000
IKINUF(27)	0.000000	0.000000
IKINUF(28)	0.000000	0.000000
IKINUF(29)	0.000000	0.000000
IKINUF(30)	1133.800	0.000000
IKINUF(31)	0.000000	0.000000
IKINUF(32)	2490.100	0.000000
IKINUF(33)	0.000000	0.000000
IKINUF(34)	0.000000	0.000000
IKINUF(35)	0.000000	0.000000
IKINUF(36)	0.000000	0.000000
IKINUF(37)	0.000000	0.000000
IKINUF(38)	0.000000	0.000000
IKINUF(39)	0.000000	0.000000
IKINUF(40)	0.000000	0.000000
IKINUF(41)	0.000000	0.000000
IKINUF(42)	7782.700	0.000000
IKINUF(43)	0.000000	0.000000
IKINUF(44)	0.000000	0.000000
IKINUF(45)	0.000000	0.000000
IKINUF(46)	0.000000	0.000000
IKINUF(47)	3747.800	0.000000
IKINUF(48)	0.000000	0.000000
IKINUF(49)	0.000000	0.000000
IKINUF(50)	0.000000	0.000000
IKINUF(51)	0.000000	0.000000
IKINUF(52)	0.000000	0.000000
IKINUF(53)	1909.300	0.000000
IKINUF(54)	0.000000	0.000000
IKINUF(55)	0.000000	0.000000

IKINUF(56)	0.000000	0.000000
IKINUF(57)	1631.700	0.000000
IKINUF(58)	0.000000	0.000000
IKINUF(59)	0.000000	0.000000
IKINUF(60)	0.000000	0.000000
IKINUF(61)	1614.600	0.000000
IKINUF(62)	2812.200	0.000000
IKINUF(63)	0.000000	0.000000
IKINUF(64)	0.000000	0.000000
IKINUF(65)	0.000000	0.000000
ARAC(1)	0.000000	67443.00
ARAC(2)	0.000000	67443.00
ARAC(3)	0.000000	67443.00
ARAC(4)	0.000000	67443.00
ARAC(5)	0.000000	67443.00
ARAC(6)	0.000000	67443.00
ARAC(7)	0.000000	67443.00
ARAC(8)	0.000000	67443.00
ARAC(9)	0.000000	67443.00
ARAC(10)	0.000000	67443.00
ARAC(11)	2.000000	67443.00
ARAC(12)	0.000000	67443.00
ARAC(13)	0.000000	67443.00
ARAC(14)	2.000000	67443.00
ARAC(15)	0.000000	67443.00
ARAC(16)	0.000000	67443.00
ARAC(17)	0.000000	67443.00
ARAC(18)	0.000000	67443.00
ARAC(19)	0.000000	67443.00
ARAC(20)	0.000000	67443.00
ARAC(21)	2.000000	67443.00
ARAC(22)	0.000000	67443.00
ARAC(23)	0.000000	67443.00
ARAC(24)	0.000000	67443.00
ARAC(25)	0.000000	67443.00
ARAC(26)	0.000000	67443.00
ARAC(27)	0.000000	67443.00
ARAC(28)	0.000000	67443.00
ARAC(29)	0.000000	67443.00
ARAC(30)	2.000000	67443.00
ARAC(31)	0.000000	67443.00
ARAC(32)	0.000000	67443.00
ARAC(33)	0.000000	67443.00
ARAC(34)	0.000000	67443.00
ARAC(35)	0.000000	67443.00
ARAC(36)	3.000000	67443.00
ARAC(37)	0.000000	67443.00
ARAC(38)	0.000000	67443.00
ARAC(39)	0.000000	67443.00
ARAC(40)	0.000000	67443.00
ARAC(41)	0.000000	67443.00
ARAC(42)	2.000000	67443.00

ARAC(43)	0.000000	67443.00
ARAC(44)	0.000000	67443.00
ARAC(45)	0.000000	67443.00
ARAC(46)	0.000000	67443.00
ARAC(47)	2.000000	67443.00
ARAC(48)	0.000000	67443.00
ARAC(49)	0.000000	67443.00
ARAC(50)	0.000000	67443.00
ARAC(51)	0.000000	67443.00
ARAC(52)	0.000000	67443.00
ARAC(53)	2.000000	67443.00
ARAC(54)	0.000000	67443.00
ARAC(55)	0.000000	67443.00
ARAC(56)	0.000000	67443.00
ARAC(57)	0.000000	67443.00
ARAC(58)	0.000000	67443.00
ARAC(59)	0.000000	67443.00
ARAC(60)	0.000000	67443.00
ARAC(61)	1.000000	67443.00
ARAC(62)	1.000000	67443.00
ARAC(63)	0.000000	67443.00
ARAC(64)	0.000000	67443.00
ARAC(65)	0.000000	67443.00