

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

İrfan MACİT

**KENTSEL ARAMA KURTARMA BİRLİKLERİNİN YERLEŞİM
PROBLEMİ İÇİN MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA VE
SİMÜLASYON YAKLAŞIMLARI**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2010

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL ARAMA KURTARMA BİRLİKLERİNİN YERLEŞİM
PROBLEMİ İÇİN MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA VE
SİMÜLASYON YAKLAŞIMLARI**

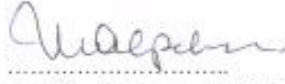
**İrfan MACİT
DOKTORA TEZİ**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 08/11/2010 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.



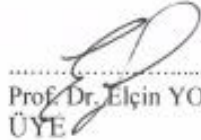
Yrd.Doç.Dr. S.Noyan OĞULATA
DANIŞMAN



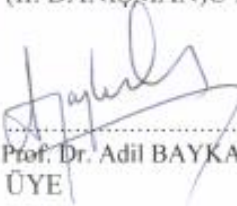
Prof. Dr. Z. Nazan ALPARSLAN
(İL. DANIŞMAN)ÜYE



Prof. Dr. Rızvan EROL
ÜYE



Prof. Dr. Elçin YOLDAŞCAN
ÜYE



Prof. Dr. Adil BAYKASOĞLU
ÜYE

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

**Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü**

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: MF2005D

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

ÖZ

DOKTORA TEZİ

**KENTSEL ARAMA KURTARMA BİRLİKLERİNİN YERLEŞİM PROBLEMİ
İÇİN MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA VE SİMÜLASYON
YAKLAŞIMLARI**

İrfan MACİT

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

Danışman : Yrd. Doç. Dr. S. Noyan OĞULATA
: Prof. Dr. Z. Nazan ALPARSLAN (II. Danışman)
Yıl: 2010, Sayfa: 195
Jüri : Yrd. Doç. Dr. S. Noyan OĞULATA
: Prof. Dr. Z. Nazan ALPARSLAN
: Prof. Dr. Rızvan EROL
: Prof. Dr. Elçin YOLDAŞCAN
: Prof. Dr. Adil BAYKASOĞLU

Afet aniden ortaya çıkan ve insan hayatını kesintiye uğratan doğa olaylarıdır. Deprem ise afet türleri içerisinde ortaya çıktıktan sonra yıkıcı etkisini uzun süre gösteren afet türüdür. Deprem fiziki, coğrafi ve sosyal etkileri bulunmaktadır. Bu çalışmada, deprem sonrasında arama kurtarma birliklerinin bir planlama ufku süresince depremden etkilenen bölgelerin hangilerine mevcut birlik sayılarına ek olarak ne tipte eklenecek birlik sayısını bulmaktadır.

Deprem olması beklenen bölgelerin her birisinin depremden etkilenmesi, depremin şiddeti ve diğer parametreler bölgede bölgeye değişmektedir. Risk baskı faktörü ile her bölgenin depremden etkilenmesi farklılaştırılmıştır. Risk baskı faktörü arama kurtarma birliklerinin hizmet verebileceği birincil ve ikincil kapsama alanlarına göre değişmektedir. Birincil kapsama alanları deprem bölgesine komşuluğu bulunan bölgelerdir. İkincil kapsama alanları ise deprem bölgesine komşu olan bölgelere komşu olan bölgeleri tanımlamaktadır. Çalışmada depremden etkilenecek bölgeler arasında birlikler talebi karşılayacak şekilde bir bölgeden diğerine gönderilebilmektedir. Bölgeler arasında gönderilecek olan arama kurtarma birlikleri birincil kapsama ve ikincil kapsama kurallarına göre belirlenmektedir. Problemden, ilk başlangıç durumunda mevcut birlikler kendi taleplerini karşıladıktan sonra birincil ve ikincil kapsama bölgelerinin taleplerini karşılamaya çalışırlar. Birincil ve ikincil kapsama alanları arasında gönderilecek birlikler aynı kapsama bölgesinden gelen talepleri risk baskı faktörü büyüklüğüne göre sıralamaktadır. Komşu bölgelerin talepleri arasında risk baskı faktörü yüksek olan bölgeye talep edilen birlik gönderilir.

Bulunan çözüm simülasyon ile test edilerek matematiksel modelin geçerliliği test edilmiştir. Sonuçlar kısmında bir planlama ufku sonunda olası bir depremin ortaya çıkaracağı arama kurtarma birliği ihtiyacı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Arama Kurtarma, Matematiksel Model, Simülasyon

ABSTRACT

PhD THESIS

A MATHEMATICAL PROGRAMMING AND SIMULATION APPROACH TO URBAN SEARCH AND RESCUE TEAMS LOCATION PROBLEM

İrfan MACİT

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

Supervisor : Asst. Prof. Dr. S. Noyan OĞULATA
: Prof. Dr. Z.Nazan ALPARSLAN (2nd Supervisor)
Year: 2010, Pages: 195
Jüri : Asst. Prof. Dr. S. Noyan OĞULATA
: Prof. Dr. Z.Nazan ALPARSLAN
: Prof. Dr. Rızvan EROL
: Prof. Dr. Elçin YOLDAŞCAN
: Prof. Dr. Adil BAYKASOĞLU

Natural disasters are catastrophic phenomena that disrupt people's lives. Earthquakes are a kind of natural disasters that has long lasting destructive effects. Earthquakes create physical, geographical and social impacts. In this study, the number and types of the additional search and rescue teams needed by different regions after an earthquake is determined.

For the regions that have an earthquake risk, different parameters, such as the magnitude of the earthquake and how much these regions will be affected from the earthquake, vary from one region to another. The risk factor differs according to the primary and secondary coverage areas that the search and rescue units may serve. Primary coverage areas are the regions that are neighbors to the earthquake zones. The secondary coverage areas, however, include the areas which are the neighbors to the primary coverage areas. In this study, the units can be sent from one region to another to meet the demands in the regions affected from the earthquake. The search and rescue units that will be dispatched among different regions are determined according to the primary and secondary coverage rules. In the modeling of problem, the available units try to respond to the demands of primary and secondary coverage areas after responding to the demands of their own regions first. The units that will be dispatched between primary and secondary coverage areas sort the demands according to the risk factors. The demanded units are sent to the region that has the highest risk factor among the neighbor regions that requested the units.

The obtained solution is tested with simulations to validate the mathematical model. In the results section, the need for search and rescue teams emerging in case of an earthquake is determined at the end of the planning process.

Key Words: Earthquake, Search and Rescue, Mathematical Modelling, Simulation

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana yardımlarını esirgemeyen ve büyük bir sabır göstererek çalışmamın tamamlanmasını sağlayan danışmanlarımdan Sayın Prof. Dr. Z. Nazan ALPARSLAN zamanını bana harcayarak çalışmamın yönlendirilmesinde emeği geçen çok değerli hocam Prof. Dr. Rızvan EROL'a sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca danışman hocam Yrd. Doç. Dr. S. Noyan OĞULATA'ya teşekkür ederim.

Doktora Tez İzleme Komitesi üyesi Sayın Prof. Dr. Elçin YOLDAŞCAN'a ve bölüm öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. M. Oya ÇETİK'e çalışmamın her aşamasında yönlendirici ve olumlu katkılarından dolayı teşekkür ederim. Doktora tezi jüri üyelerinden Sayın Prof. Dr. Adil BAYKASOĞLU yapıcı ve yönlendirici fikirleriyle katkıda bulunduğu için teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tezimi yazarken benden desteğini esirgemeyen mesai arkadaşlarım Öğr. Gör. Dr. Melik KOYUNCU ve Öğr. Gör. Dr. Cenk ŞAHİN'e, ayrıca hayatımın rotasında bana maddi ve manevi desteğinden ötürü dostum ve arkadaşım Prof. Dr. Mesut BAŞIBÜYÜK'e teşekkür ederim.

Her türlü zorlukta yanımda olan ve bana maddi ve manevi desteklerinden ötürü aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ.....	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
TABLOLAR DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR	VII
1. GİRİŞ	1
1.1. Türkiye’nin Doğal Afet Profili	3
1.2. Dünyada Arama Kurtarma Birlikleri	5
1.3. Türkiye’de Arama Kurtarma Birlikleri	6
1.4. Problemin Tanımı	13
1.5. Çalışmanın Amacı	17
1.6. Önerilen Varsayımlar	20
1.7. Beklenen Orijinal Katkıları	21
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	23
2.1. Afet Konusunda Matematiksel Modeller İle İlgili Yapılan Çalışmalar	28
2.2. Simülasyon Modelleme İle İlgili Yapılan Çalışmalar	37
2.3. Afetten Sonra Ortaya Çıkan Etkiler İle İlgili Yapılan Çalışmalar	39
2.4. Literatür Çalışmasının Sonuçları	43
2.5. Çalışmanın Sınıflandırılması	45
2.6. Literatürün Genel Değerlendirilmesi	46
3. MATERYAL VE METOD	49
3.1. Çalışmada Kullanılan Materyal	50
3.2. Metod	52
3.2.1. Problemin Formülasyonu	55
3.2.1.1. Deprem Sonrası Tahmini Yaralı Oranı	59
3.2.1.2. Arama Kurtarma Birlik Talebinin Hesaplanması	60
3.2.1.3. Risk Baskı Faktörü	61
3.2.2.1. Model Varsayımları	64
3.2.2.2. Performans Değişkenleri	65
3.2.2.3. Çalışmada Kullanılacak Notasyon	66

3.2.2.4. Matematiksel Programlama Modeli	68
3.2.3. Simülasyon Modeli	70
3.2.3.1. Simülasyon deneylerinin tasarımı	72
3.2.3.2. Simülasyon Deneyinin Algoritması	74
3.2.3.1. Simülasyon deneylerinin kullanılan parametreler	76
3.2.3.3. Simülasyon deneylerinin kodlanması	78
3.2.4. Senaryo Analizlerinin Planlanması ve Senaryoların Oluşturulması ...	81
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	83
4.1. Örnek Deprem Uygulaması	84
4.1.1. Veriler	84
4.2. Senaryo Analizleri	91
4.2.1. Avrupa Yakası Senaryo Bulguları	91
4.2.2.1. İyi Durum Senaryosu S_1 Bulguları	91
4.2.2.2. Kötü Durum Senaryosu S_2 Bulguları	100
4.2.2.3. Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Bulguları	108
4.2. Anadolu Yakası Bulguları	119
4.2.2.1. İyi Durum Senaryosu S_1 Bulguları	119
4.2.2.2. Kötü Durum Senaryosu S_2 Bulguları	126
4.2.2.3. Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Bulguları	134
4.3. Duyarlılık Analizi	143
4.4. Simülasyon Modelinin Sonuçları	151
4.4.1. Simülasyon Modelinde Kullanılan Veriler	151
4.4.2. Simülasyon Modelinin Analizi	153
4.5. Avrupa Yakası Sonuçları	155
4.5.1. İyi Durum Senaryosu S_1 Sonuçları	155
4.5.2. Kötü Durum Senaryosu S_2 Sonuçları	155
4.5.3. Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Sonuçları	156
4.6. Anadolu Yakası Sonuçları	158
4.6.1. İyi Durum Senaryosu S_1 Sonuçları	158
4.6.2. Kötü Durum Senaryosu S_2 Sonuçları	159
4.6.3. Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Sonuçları	159

5. SONUÇ VE ÖNERİLER	163
5.1 Çalışmanın Özeti	163
5.2. Sonuçlar	163
5.3. Sonuçların Genel Değerlendirilmesi	165
5.4. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler	165
KAYNAKLAR	167
ÖZGEÇMİŞ.....	179
EKLER	181

TABLolar DİZİNİ	SAYFA
Tablo 1.1. Son 20 Yılda Türkiye’de Ortaya Çıkan Doğal Afetler	4
Tablo 1.2. Türkiye’de Doğal Afetlerden Yıkılan Bina Sayısı Oranları (AİGM, 2004).....	4
Tablo 1.3. Arama Kurtarma Birliklerinin Yerleşim Yerleri	8
Tablo 1.4. Arama Kurtarma Birlikleri Personel Sayısı	9
Tablo 1.5. Türkiye’deki Arama Kurtarma Birliklerinin Sorumluluk Alanları ..	11
Tablo 1.6. Şiddet ve Magnitüd Karşılaştırması (Richter, 1930)	12
Tablo 1.7. Deprem Şiddetine Göre Yapılarda Oluşabilecek Zararlar. (AİGM)	12
Tablo 2.1. Tesis Yerleşim Modellerinin Uygulanması (Current ve ark.,2003)	27
Tablo 2.2. Afet Konusunda Yapılan Çalışmalar	37
Tablo 2.3. Simülasyon Konusunda Yalpan Çalışmalar	39
Tablo 3.1. Betonarme Binalar İçin Tahmini Yaralanma Oranları (HAZUS, 1997).....	50
Tablo.3.2. Yığma Binalar İçin Tahmini Yaralanma Oranları (HAZUS, 1997).....	51
Tablo 3.3. Senaryolar İçin Oluşturulan Tahmini Yaralı γ_{ik} Oranları.....	52
Tablo 3.4. Konut Sayısına Göre Tahmini Can Kayıpları Ortalaması, Konut Sayısı = 100	81
Tablo 4.1. İstanbul İlçelerinin Kıtalar Göre İndisleri	89
Tablo 4.2. İyi Durum Senaryosu S_1 Ekleneyecek Birlik X_{jk} Miktarı	91
Tablo 4.3. W_{jik}^1 Karar Değişkeni Sonuç Tablosu.....	93
Tablo 4.4. Avrupa Yakası Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^1 Tablosu	96
Tablo 4.5. W_{jik}^2 Karar Değişkeni Sonuç Tablosu.....	98
Tablo 4.6. İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Tablosu	99
Tablo 4.7. Kötü Durum Senaryosu S_2 Ekleneyecek Birlik X_{jk} Miktarı	100
Tablo 4.8. W_{jik}^1 Karar Değişkeni Sonuç Tablosu	102
Tablo 4.9. Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^1 Tablosu	105

Tablo 4.10.	W_{jik}^2 Karar Değişkeni Sonuç Tablosu	106
Tablo 4.11.	İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Tablosu	108
Tablo 4.12.	Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Göre Eklenecek Birlik X_{jk} Miktarı	110
Tablo 4.13.	W_{jik}^1 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu	111
Tablo 4.14.	Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^1 Tablosu	114
Tablo 4.15.	W_{jik}^2 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu	116
Tablo 4.16.	İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Tablosu	118
Tablo 4.17.	İyi Durum Senaryosu S_1 Göre Eklenecek Birlik X_{jk} Miktarı	120
Tablo 4.18.	W_{jik}^1 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu	121
Tablo 4.19.	Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^1 Tablosu	123
Tablo 4.20.	W_{jik}^2 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu	124
Tablo 4.21.	İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Tablosu	125
Tablo 4.22.	İyi Durum Senaryosu S_1 Göre Eklenecek Birlik X_{jk} Miktarı.....	127
Tablo 4.23.	W_{jik}^1 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu	128
Tablo 4.24.	Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^1 Tablosu	129
Tablo 4.25.	W_{jik}^2 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu	131
Tablo 4.26.	İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Tablosu	134
Tablo 4.27.	Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Göre Eklenecek Birlik X_{jk} Miktarı	135
Tablo 4.28.	W_{jik}^1 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu	137

Tablo 4.29.	Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^1 Tablosu	139
Tablo 4.30.	W_{jik}^2 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu	140
Tablo 4.31.	İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Tablosu	142
Tablo 4.32.	İyi Durum Senaryosu S_1 Amaç Fonksiyon Z Değerleri	145
Tablo 4.33.	Kötü Durum Senaryosu S_2 Amaç Fonksiyon Z Değerleri	147
Tablo 4.34.	Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Amaç Fonksiyon Z Değerleri.....	149
Tablo 4.35.	X_{jk} Karar Değişkenin Çözüm Sonundaki Değerleri.....	151
Tablo 4.36.	Bölgelerin Kapsama Matrisi.....	152
Tablo 4.37.	Bölgeler Arası Mesafe Matrisi.....	152
Tablo 4.38.	Başlangıçta Mevcut Birlik Sayısı N_{jk}	152
Tablo 4.39.	W_{jik} Kapsama Alanındaki Atanacak Birlik Tip ve Sayısı.....	153
Tablo 4.40.	Deneysel Tasarım Faktör Seviyeleri.....	153

ŞEKİLLER	SAYFA
Şekil 1.1. Deprem Anı Zaman Çizgisi	14
Şekil 1.2. Çalışmanın Akış Diyagramı	16
Şekil 3.1. Çalışmanın Matematik Programlama Dili İle Çözüm Akış Diyagramı	53
Şekil 3.2. Çalışmada Kullanılacak GAMS Çalışma Prensipleri	54
Şekil 3.3. Türkiye’de Depremlerin Yıllık Frekansları (Ergünay ve Erdik, 1984)	56
Şekil 3.4. Çalışmanın Matematiksel Modeli Akış Diyagramı	58
Şekil 3.5. Kurtarma Piramidi	59
Şekil 3.6 Risk Baskı Faktörü Eğrisi	62
Şekil 3.7 Isınma Süresi Sonunda Simülasyon Sistemine Gelen Çağrı Yoğunluğu	64
Şekil 3.8. Deprem Sonrası Yaralı Sayısı Dağılımı, Coburn ve Ark.,(1991).	66
Şekil 3.9. Matematiksel Model ve Simülasyon Modeli Faaliyet Süreci	71
Şekil 3.10. Isınma Süresi Sonunda Simülasyon Sistemine Gelen Çağrı Yoğunluğu	73
Şekil 3.11. Geliştirilen Algoritmanın Bir Bölge İçin Akış Diyagramı	76
Şekil 3.12. Kurtarılan Yaralı Sayısının Zamana Göre Dağılım Fonksiyonu, Fiedrich ve ark. (2000).	77
Şekil 3.13. Simülasyon Modelinin Başlangıç Gelişler Arası Sürenin Tasarlanması	79
Şekil 3.14. Geliştirilen Tek Bölgeli Simülasyon Programının Ekran Görüntüsü	80
Şekil 4.1 İlçelere Göre İstanbul İdari Şehir Haritası, IBB (2008).....	85
Şekil 4.2 İstanbul İli Deprem Haritası, G.Ü., DAE.....	86
Şekil 4.3. İstanbul Yeni İlçeleri	88
Şekil 4.5. İyi Durum Senaryosu S_1 Planlama Dönemlerine Göre Arama Kurtarma Birlik Sayıları	92
Şekil 4.6 Avrupa Yakası S_1 Senaryosu Sonucun Harita Üzerindeki Yerleşimi	93
Şekil 4.7 Avrupa Yakası Başlangıçta Birincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^1 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası...	95

Şekil 4.8	Avrupa Yakası Başlangıçta Birincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^2 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası ...	97
Şekil 4.9.	İyi Durum Senaryosu S_1 Bütçe Sapması BS_t Grafiği	100
Şekil 4.10.	Kötü Durum Senaryosu S_2 Planlama Dönemlerine Göre Arama Kurtarma Birlik Sayıları	101
Şekil 4.11	Avrupa Yakası S_2 Senaryosu Sonucun Harita Üzerindeki Yerleşimi	102
Şekil 4.12	Avrupa Yakası S_2 Senaryosu Başlangıçta Birincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^1 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası	104
Şekil 4.13	Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{ijkt}^1 Grafiği	106
Şekil 4.14	Avrupa Yakası S_2 Senaryosu Başlangıçta Birincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^2 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası	108
Şekil 4.15	İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Grafiği	109
Şekil 4.15	Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Planlama Dönemlerine Göre Arama Kurtarma Birlik Sayıları	110
Şekil 4.16	Avrupa Yakası S_2 Senaryosu Sonucun Harita Üzerindeki Yerleşimi	111
Şekil 4.17	Avrupa Yakası S_3 Senaryosu Başlangıçta Birincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^1 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası	113
Şekil 4.18	Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{ijkt}^1 Grafiği	115
Şekil 4.19.	Avrupa Yakası S_3 Senaryosu Başlangıçta İkincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^2 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası	117

Şekil 4.20	İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{jikt}^2 Grafiği	118
Şekil 4.21	İyi Durum Senaryosu S_1 Planlama Dönemlerine Göre Arama Kurtarma Birlik Sayıları	120
Şekil 4.22.	Anadolu Yakası S_1 Senaryosu Sonucun Harita Üzerindeki Yerleşimi	121
Şekil 4.23.	Anadolu Yakası S_1 Senaryosu Başlangıçta Birincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^1 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası	122
Şekil 4.24	Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{jikt}^1 Grafiği	123
Şekil 4.25.	Anadolu Yakası S_1 Senaryosu Başlangıçta İkincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^2 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası	125
Şekil 4.26	İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{jikt}^2 Grafiği	126
Şekil 4.27	Kötü Durum Senaryosu S_2 Planlama Dönemlerine Göre Arama Kurtarma Birlik Sayıları	127
Şekil 4.28.	Anadolu Yakası S_2 Senaryosu Sonucun Harita Üzerindeki Yerleşimi	128
Şekil 4.29	Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{jikt}^1 Grafiği	130
Şekil 4.30	Anadolu Yakası S_2 Senaryosu Başlangıçta Birincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^1 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Grafiği	131
Şekil 4.31	Anadolu Yakası S_2 Senaryosu Başlangıçta İkincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^2 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası	133

Şekil 4.32	İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{jikt}^2 Grafiği	134
Şekil 4.33	Kötü Durum Senaryosu S_2 Planlama Dönemlerine Göre Arama Kurtarma Birlik Sayıları	135
Şekil 4.34	Anadolu Yakası S_2 Senaryosu Sonucun Harita Üzerindeki Yerleşimi	136
Şekil 4.35	Anadolu Yakası S_3 Senaryosu Başlangıçta Birincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^1 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası	139
Şekil 4.36	Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{jikt}^1 Grafiği	139
Şekil 4.37	Anadolu Yakası S_3 Senaryosu Başlangıçta İkincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^2 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası	141
Şekil 4.38	İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{jikt}^2 Grafiği	142
Şekil 4.38	Talep Miktarlarına Uygulanan Artış Oranlarından Sonra Elde Edilen Amaç Fonksiyon (Z) Değerleri	145
Şekil 4.39	Amaç Fonksiyon (Z) Değerlerinin Oransal Değişim Grafiği	146
Şekil 4.40	Talep Miktarlarına Uygulanan Artış Oranlarından Sonra Elde Edilen Amaç Fonksiyon (Z) Değerleri	147
Şekil 4.41	Amaç Fonksiyon (Z) Değerlerinin Oransal Değişim Grafiği	148
Şekil 4.42	Talep Miktarlarına Uygulanan Artış Oranlarından Sonra Elde Edilen Amaç Fonksiyon (Z) Değerleri	149
Şekil 4.43	Amaç Fonksiyon (Z) Değerlerinin Oransal Değişim Grafiği	150
Şekil 4.44	İyi Durum Senaryosu Simülasyon Sonucu	154
Şekil 4.45.	İyi Durum Senaryosu Bölgelerin Birlik Tiplerine Göre Kuyruk Uzunluğu	154

SİMGELER VE KISALTMALAR

FEMA	Federal Emergency Management Agency
HAZUS	Hazards United States
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi hasıla
DPT	Devlet Planama Teşkilatı
JICA	Japan Interntional Corporation Agency
AİGM	Afet İşleri Genel Müdürlüğü
UNDP	United Nation Developing Program
OCHA	Organization for Coordination Human Affiars
WHO	World Health Organization
INSARAG	International Search And Rescue Group
MEXCLP	Maximum Expected Covering Location Problem
TIMEXCLP	Time Expected Covering Location Problem
MALP	Maximum Availability Locaiotn Problem
AQM	Active Queue Management
LCSP	Location Set Covering Problem
MLCP	Maximum Location Caving Problem
TEAM	Tandem Euqipment Allocation Model
DDSM	Dynamic Double Standart Model
FLEET	Facility Location Egrafından Equipment Emplacement Technique
GAMS	General Algebric Modelling Systems
EMS	European Macroseismic Scale
CRED	Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
EMDAT	Emergency Management Data
GA	Genetik Algoritma
LG	Lagrange Gevşetme
LR	Lagrange Relaxtion
KTP	Karışık Tamsayılı Programlama
EMS	European Macrosiesmic Scale
PGA	Peak Ground Acceleration
TÜİK	T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu
BACOP2	Backup Coverage Problem 2
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi

1.GİRİŞ

İnsan toplulukları yerleşik hayata geçmeleri ile birlikte barınma ve konaklama yapıları oluşturmaya başlamışlardır. Yapılaşma ise yanında çeşitli sorunları da beraberinde getirmiştir. Yerleşik yaşam koşulları barınma sorununu çözmesinin yanı sıra bazı doğa olaylarından daha fazla etkilenmelerine yol açmıştır. Deprem bu doğa etkilerinin başında yer almaktadır. Yerleşik hayat insanları topluluk halinde yaşamasına olanak tanımaktadır. Topluk halinde yaşayan insanlarda doğa olaylarından etkilendiklerinde birey olarak etkilendiklerinden daha fazla etkilenmektedir. Doğa aynı zamanda insanları bilinmeyen bir zaman da çeşitli olaylar ile etkilemektedir. İnsanların beklenmeyen bir anda aniden istenmeyen doğa olayları ile karşılaşmasına genel tanımı ile afet denir. Birleşmiş milletler insani yardım örgütü tarafından yapılan genel kabul gören tanımı ise; “insanlar için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar doğuran, normal yaşamı ve insan faaliyetlerini durdurarak veya kesintiye uğratarak, toplulukları etkileyen ve etkilenen topluluğun kendi imkan ve kaynaklarını kullanarak üstesinden gelemeyeceği, doğal, teknolojik veya insan kökenli olayların doğurduğu sonuçlara afet denir“ (Ergünay, 2005). Yapılan tarife göre insanların günlük normal hayatları beklenmedik bir anda ve şekilde istenmeyen bir kesilme ile değişmektedir. Bu durum ile karşılaşıldığında insanlar normal hayatlarına geri dönmek ve bir an önce kaldıkları yerden hayatlarına devam etmek isterler. Afet yönetimi insanların afet sonrasında normal hayatlarına geri dönmek için nelerine, nasıl ve ne zaman yapılmasını gösteren yöntemdir. Afet yönetimini,” Yönetim bilimi açısından bakıldığında, yönetim bilgi sistemleri, kaynak kullanım teknikleri, yöneylem araştırması, proje yönetimi ve planlamasından oluşmaktadır” (Can, 2005).

Afet yönetiminde sistem yaklaşımı göz önüne alındığında temel olarak dört ana ilkedden bahsedilebilir; tüm tehlikeleri göz önüne almak, tüm evreleri uygulamak, tüm kaynakları kullanmak ve tüm birey ve kurumların faaliyetlere katılmasını sağlamak (Can, 2005). Afet yönetimi ile olarak Amerika Birleşik Devletlerinde soğuk savaş sırasında halkı savaş esnasında gelecek nükleer, biyolojik ve kimyasal savaş etkilerinden korumak için geliştirilmiştir (Pearce, 2003). Drabek (1991) yaptığı

çalışmada Amerika Birleşik Devletlerinde afet yönetim planlamasının sivil savunma ve afet kurtarma faaliyetleri yanında davranışsal bilimlerle de ilgili olmadığından bahsetmiştir. Bunun aksine Petak (1985) afet yönetiminin kamu yönetimi ile beraber düşünülmesi gerektiğini ve bunun bir parçası olduğundan önceki yaptığı çalışmalarda göstermiştir. Yerel yönetimlerin nadiren de olsa bazı tehlikelere ve giderme yolları hakkında eğitim verilmesi konusunda da yapılan çalışmalara rastlanmaktadır (Aguirre, 1994). Kreps (1991), Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada’da afet yönetimi ile ilgili kapsamlı bir afet yönetimi çalışması bulunmadığını, yerel yönetimler tarafından yapılan çalışmaların genişletilerek bazı bölgelerde uygulandığını göstermiştir.

Afet yönetimi konusunda yapılan bir çok çalışmada, Rubin (1991); afet planlamasına bölgede yaşayan halkına katılması gerektiğini, halkın ve yerel yönetimin de afet yönetimine etkin katılımını (Kreps, 1991), Afet yönetiminin risk yönetimine doğru değiştiği Salter (1998), Milet (1999) afet yönetimi ve bu konuda araştırma yapanların beraber hareket etmesinin daha etkin olacağını, Godschalk (1998) afet öncesinde bütünsel afet zararlarını azaltma ve kamu planlaması açıkça ortaya konulmuştur.

Günümüzde afet yönetimi yaklaşımı modern görüşler ve teknolojinin sunduğu imkânlar ile beraber değerlendirildiğinde daha etkin olduğu görülmektedir. Bütünsel afet yönetim sistemi (Pearce, 2003) günümüzde ortaya çıkan afetlerin daha yıkıcı olduğunu ve bu etkilerin azaltılması için bütünsel afet yönetim sisteminin yerel, bölgesel veya ulusal şekilde kamusal olarak düzenlenmesinin daha faydalı ve etkin olacağını göstermiştir.

Afet yönetimini yönetim bilimi açısından incelediğimizde sadece kamusal olarak değil hayatın sürdürülebilmesi için gerekli olan ihtiyaçların karşılanmasına yönelik planlamalar olarak da ele alınmalıdır. Kaynak planlaması, kaynak atanması ve yöneylem araştırmasının diğer tekniklerinin de kullanıldığı bilim dalı olarak düşünülmelidir. Afet sonrasında yardım ekiplerinin lojistik ihtiyacı, yaralıların hastanelere taşınması, oluşan can kayıplarının alacağı hizmetlerin düzenlenmesine kadar olan tüm işlemleri yöneylem araştırması biliminin ilgi alanına girmektedir. Pidd ve arkadaşları (1996), afet sonrası acil kurtarma faaliyetlerinin simülasyon

modelini coğrafi bilgi sistemlerinden aldıkları bilgileri ile derleyerek çalıştırmışlardır. Acil servis araçlarının yerleşim modeli ile ilgili çalışmalarda, Çevresel afet planlamasında senaryo seçimi ile planlama öneren Jenkins (2000) tam sayılı programlama yöntemi kullanarak problemi çözmüştür.

1.1. Türkiye'nin Doğal Afet Profili

Türkiye yeryüzünün en aktif fay hatlarından birisi olan Akdeniz, Alp ve Himalaya deprem kuşağı içerisinde yer almaktadır. Bu deprem kuşağı içerisinde Türkiye'nin depremsellik açısından konumu Avrupa, Asya ve Afrika gibi üç büyük plaka ile Ege ve Anadolu olarak bilinen plaklar arasında yer almaktadır. Türkiye'deki depremlerin ana nedeni, Afrika plakasının göreceli olarak Avrupa ve Asya Plakası olarak bilinen Avrasya plakasına göre Anadolu plakasını yılda 10mm kuzey-doğuya doğru itmesidir (JICA Raporu, 2004). Bu baskı ile plakalardaki enerji boşalması depremi ortaya çıkarmaktadır. Türkiye'deki en aktif deprem bölgesi Kuzey Anadolu Fay Hattı olarak bilinen yer altı kırığıdır (Erdik ve Ark., 2004).

Türkiye'de doğal afet konusu genellikle deprem ile anılmaktadır. Doğal afetler içerisinde depremin yıkıcı ve uzun süreli etkisinin olmasının bu konunun deprem ile ilişkilendirilmesinde önemi büyüktür. Ülkemizde meydana gelen 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinde Gayrisafi Yurt içi Hasıla (GSYİH) yaklaşık % 6.2 oranında azaldığı tahmin edilmektedir (DPT Raporu, 2001). Türkiye'de doğal afetlerin neden olduğu can ve mal kayıplarının %97'si deprem nedeniyle olmaktadır (JICA Raporu, 2004). Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde ise doğal afetler GSYİH da Türkiye'de yıllık ortalama %1'lik bir kayıp nedenidir. Bu kaybın ise % 0.8 deprem sonucunda olmaktadır.

Türkiye'de en fazla can ve mal kaybı oluşturan doğal afetleri jeolojik, hidrolojik ve meteorolojik olarak üç başlıkta toplayabiliriz. Jeolojik afetlerin ilk sırasında en büyük can ve mal kaybına yol açan deprem gelmektedir. Hidrolojik afetlerden su baskınları ve taşkınlar, meteorolojik afetlere ise fırtına, hortum ve bunlara bağlı hareketler sayılabilir. Afet işleri Genel Müdürlüğünün verileri göz önüne alındığında Türkiye'de son 20 yılda en büyük can ve mal kayıplarının

depremlerden kaynaklandığını görülmektedir Tablo1. Bunu çığ düşmesi, yağmur sonucu su baskını ve sele bağlı çamur akması izlemektedir.

Tablo 1.1. Son 20 Yılda Türkiye’de Ortaya Çıkan Doğal Afetler, AİGM

Olay	Tarih	Can Kaybı	Yaralı	Evsiz	Etkilenen Nüfus	Kayıp Milyon \$
Deprem (Erzincan)	13 Mart 1992	653	3.850	95.000	250.000	750
Çığ Düşmesi (G. Anadolu)	1992 14 Olay	328	53	11.600	30.000	25
Çığ Düşmesi (D. ve G. Anadolu)	1993 31 Olay	135	95	1.100	300	10
Çamur Akması (Senirkent-Isparta)	13 Temmuz 1995	74	46	2.000	10.000	65
Deprem (Dinar)	1 Ekim 1995	94	240	40.000	120.000	100
Su Baskını (İzmir)	4 Kasım 1995	63	117	6.500	300.000	1.000
Deprem (Çorum-Amasya)	14 Ağustos 1996	0	6	9.000	17.000	30
Su Baskını (Karadeniz)	21 Mayıs 1998	10	47	40.000	1.200.000	1.000
Deprem (Ceyhan-Adana)	27 Haziran 1998	145	1.600	88.000	1.500.000	500
Deprem (İzmit Körfezi)	17 Ağustos 1999	17.480	43.953	675.000	15.000.000	13.000
Deprem (Düzce)	12 Kasım 1999	763	4.948	35.000	600.000	750
Deprem (Afyon-Sultandağı)	3 Şubat 2002	42	327	30.000	222.000	95
Deprem (Bingöl)	1 Mayıs 2003	177	520	45.000	245.000	135

Tablo 1.2. Türkiye’de Doğal Afetlerden Yıkılan Bina Sayısı Oranları (AİGM, 2004)

Doğal Afet Türü	Yıkılmış Ünite Sayısı	Toplamın Yüzdesi
Depremler	495.000	76
Heyelanlar	63.000	10
Su Baskınları	61.000	9
Kaya Düşmeleri	26.500	4
Çığ Düşmeleri	5.154	1

Doğal afetler 20 yüzyılda Türkiye’de 87.000 kişinin can kaybına, 210.000 kişinin yaralanmasına ve 650.000 konut veya işyerinin hasar görmesine neden olmuştur. Bina yıkımlar incelendiğinde de deprem doğal afetler içerisinde % 76 oranında

yıkıma neden olmuştur (Tablo 1.2). Bunu sırasıyla Heyelanlar % 10, su baskınları % 9, kaya düşmesi % 4 ve çığ düşmesi %1 olarak izlemektedir.

1.2. Dünyada Arama Kurtarma Birlikleri

Dünyada afet yönetimi ülkeler arasında değişiklik göstermektedir. Uluslar arası organizasyonlar göz önüne alındığında birçok organizasyon bulunmaktadır. En kapsamlı ve geniş etkinliği bulunan örgüt Birleşmiş Milletler Kalkınma Programıdır (United Nations Developing Program-UNDP). Birleşmiş milletler genel kurulu afetlerin azaltılması, önlenmesi ve afetlere hazırlık ile ilgili ulusal kapasitelerin güçlendirilmesine yönelik olarak Birleşmiş Milletler Kalkınma Programını (UNDP) Birleşmiş Milletler merkez noktası olarak görevlendirmiştir (Gülkan 2003). Birleşmiş milletlerin bu programı merkez noktası olarak seçmesindeki amaç afet ve sonrasında ulusal koordinasyon merkezlerinin elinde bulunan envanterin bu organizasyon tarafından bilinmesidir. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programını (UNDP), Birleşmiş Milletler içerisinde oluşturduğu birimler ile uzmanlık örgütleri kurmuştur. Tüm örgütler, İnsani Yardım Koordinasyon Örgütü (OCHA), Dünya Sağlık Örgütü (WHO/PAHO), Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu (UNICEF) ve Dünya Gıda Programı (WFP) afet sonrasında Birleşmiş Milletler koordinasyonu ile afet bölgelerine gerektiğinde yardımda bulunmaktadır (Gülkan 2003). Afetlere yardım konusunda diğer uluslar arası kurum Uluslar Arası Arama ve Kurtarma Danışma Grubu – INSARAG resmi olmayan bir ağıdır. INSARAG'ın amacı uluslar arası yardım gerektirecek depreme müdahale ve yardımlardaki koordinasyon yöntemi ve standartlarını geliştirmek amacı ile ülkelere ve örgütlere platform sağlamaktır (Gülkan, 2003).

Sivil yardım birlikleri yanı sıra askeri yardım birlikleri afet sonrası arama kurtarma faaliyetlerinde bulunmaktadır. Kuzey Atlantik paktı olarak bilinen NATO 1949 yılında kurulduğundan beri sadece uluslar arası askeri faaliyetler yanında sivil yardımlarda da bulunmuştur. NATO içerisinde Sivil Koruma Komitesi (Civil Protection Comittee -CPC) ve Sivil Savunma Komitesi (CDC) 1959 yılında kurulmuştur.

Ulusal ve uluslar arası yardım organizasyonları dünyada çıkacak tüm afetlere karşı yardım yapmak amacı ile kurulmuşlardır. Her yardım kuruluş veya kurumunun kendine ait işlem yönergeleri vardır. Bir afet anında tüm bu yardım, arama kurtarma kuruluşlarının aynı anda bir araya geldiğinde yapılacak işlemleri her bir kuruluş kendi yönergelerine göre yapmak, konumlarını kendilerine göre belirlemek isteyecektir. Bundan dolayı çok sayıda karmaşıklık ve belirsizlikte çıkabilecektir. Yardım ekiplerinin herhangi bir afet anında yerleştirilmesi bazı afetlerde hayati önem kazanmaktadır. Deprem anında arama kurtarma faaliyetleri, yaralı ayıklama (Trijaj) işlemleri hayat kurtardığı gibi yanlış yerleşim yerinin seçimi de hayat kaybına yol açabilecektir.

Afet yönetiminde ana amaç insan hayatını kurtarma, koruma ve devam ettirme şeklinde tarif edilebilir. Deprem diğer afet türlerinden oldukça farklıdır. Deprem ortaya çıkması, deprem anı ve sonrasında değişik karakteristikler göstermektedir. Yer yüzeyinin birbirinden farklı alanlara sahip olmasından dolayı aynı şiddetteki depremler yer yüzeyinin farklı alanlarında farklı etkiler göstermektedir. Dolayısı ile aynı deprem anı farklı bölgelerde farklı şekilde etki gösterecektir. Deprem sonrasında arama kurtarma faaliyetleri planlanarak öngörülen parametreler ile yapılmalıdır. Yönetim bilimi açısından buradaki planlama faaliyetleri ise modern yönetim anlayışı ile fonksiyonel şekilde olmalıdır.

1.3. Türkiye’de Arama Kurtarma Birlikleri

Ülkemizde afet yönetimini yerel ve merkezi ölçüde inceleyecek olursak ilk olarak 1944 yılında çıkarılan 4623 sayılı “Yer sarsıntılarında Evvel ve Sonra Alınacak Tedbirler Hakkında Kanun” ile düzenlendiğini görmekteyiz (Ergünay, 2005). Bundan sonra 1959 yılında çıkarılan 7269 sayılı “Umumi Hayata Mesir Afetler Dolayısı İle Alınacak Tedbirler ve Yapılacak Yardımlara Dair Kanun” ile 4623 sayılı yasa yürürlükten kaldırılmıştır. İzmit körfez depreminden sonra 199 yılında 583 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile “Türkiye Acil Durum Yönetimi Başkanlığı” kurulmuş ve yine aynı yıl 600 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile son halini almıştır. Türkiye Acil Durum Yönetimi Başkanlığı direk başbakanlığa

bağlı bir kuruluş yapısı ile oluşturulmuştur. Ülkemizdeki afet ve afet durumunda koordinasyonu sağlayan resmi kurum olarak bu başkanlık görevini yürütmektedir. Karşılaşılabilecek herhangi bir afet başkanlığın denetim, yürütme ve sorumluluğunda olacaktır. 5902 sayılı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun'un geçici 2 nci maddesine istinaden, Afet ve Acil Durum Yüksek Kurulunun 16.12.2009 tarih ve 1 sayılı Kararı ile Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın 17 Aralık 2009 tarihi itibarıyla faaliyete geçmesi kararlaştırılmıştır. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının faaliyete geçmesiyle birlikte; Türkiye Acil Durum Yönetimi Genel Müdürlüğü, Afet İşleri Genel Müdürlüğü ile birlikte Sivil Savunma Genel Müdürlüğü' de kapatılmıştır. Görüldüğü gibi Türkiye'de afet yönetimi konusundaki kurumları eşgüdümü ve etkinliği için tek elden yönetim ilkesi benimsenmiştir. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı görevleri arasında Sivil Savunma Genel Müdürlüğün Görevleri ile olarak benimsenmiştir. Buna göre Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının görevleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır;

1. Sivil savunma hizmetlerini yurt düzeyinde teşkilatlandırmak, kamu kurum ve kuruluşları ile özel kuruluşlarda bu hizmetlerin planlanmasını, uygulanmasını ve koordinasyonunu sağlamak ve denetimini yapmak;
2. Her türlü silahsız, koruyucu ve kurtarıcı tedbirleri, acil kurtarma ve ilk yardım faaliyetlerini planlamak ve yürütmek;
3. Yangından korunma ve önleme tedbirlerini, itfaiyenin standartlarını tespit etmek, personeli eğitmek, denetlemek ve koordinasyonu sağlamak;
4. Sivil savunma personeli eğitmek ve halka sivil savunma bilgileri vermek;
5. Sivil Savunma arama ve kurtarma birlikleri ile ekiplerini hazır halde bulundurmak, gerektiğinde göreve sevk etmek;
6. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı ile binalardaki sığınakların kontrolünü yapmak, kayıtlarını tutmak, şehir içindeki genel sığınak olabilecek yerleri belirlemek ve buralarda gerekli düzenlemeyi yaptırmak;
7. Afetlerde kurtarma, ilkyardım, acil iye ve geçici barındırma hizmetleri vermek;

8. Düşman saldırılarına karşı halkın önceden uyarılması için erken haber alma, ikaz ve alarm sistemlerini kurmak ve işletmek;
9. Barış dönemlerinde halktan seçilmiş ve eğitilmiş sivil savunma yükümlülerini göreve sevk etmektir

Tablo 1.3. Arama Kurtarma Birliklerinin Yerleşim Yerleri

İlin Adı	Personel
ADANA	120
AFYON	120
ANKARA	118
BURSA	120
DIYARBAKIR	120
ERZURUM	120
İSTANBUL	120
İZMİR	120
SAKARYA	120
SAMSUN	120
VAN	120
TOPLAM	1318

Arama kurtarma birlikleri herhangi bir afet sonrasında afet bölgesinde can kayıplarını önlemek, yaralıları kurtarmak ve bulundukları yerde afet sonrası kurtara hizmetlerini vermek için oluşturulmuş kamu, özel veya sivil toplum örgütleridir. Ülkemizde arama kurtarma birlikleri içerisinde en iyi organize olan Sivil Savunma Genel Müdürlüğüne bağlı olarak faaliyet gösteren Sivil Savunma Arama Kurtarma Birlikleridir. Bu birlikler ilk defa 1986 yılında Türk Silahlı Kuvvetleri'nden temin edilen ihtiyaç fazlası erlerden kurulmuştur. Daha sonra ülkenin karşılaştığı yerel ve bölgesel afetlere karşı daha profesyonel müdahale ihtiyacından dolayı 1993 yılında ilk profesyonel kadroları oluşturulmuştur. İlerleyen yıllarda ülkede meydana gelen afetlerin sonrasında 27.12.1999 yılında 586 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile 11 il merkezinde (Adana, Afyon, Akara, Bursa, Diyarbakır, Erzurum, İstanbul, İzmir, Sakarya, Samsun, Van) Sivil Savunma Genel Müdürlüğü'ne bağlı Sivil Savunma Arama ve Kurtarma Birliği olarak teşkilatlanmıştır Tablo 1.3. Personeli kendi

içerisinden veya eğitim yolu ile kurum dışından temin edilmektedir. Personel sayısı her geçen gün artmaktadır. Arama kurtarma birliklerinin bulunduğu il, coğrafi yapı ve bölgesel nüfus oranına göre 10, 20 ve 30 kişilik müdahale ekiplerinden oluşmaktadır Tablo4. Ayrıca birliklere ihtiyaç olması halinde gönüllü sivil toplum örgütleri ve kamu kurumlarında da afet sonrasında katılımın sağlanması olanaklı hale getirilmiştir.

Tablo 1.4. Arama Kurtarma Birlikleri Personel Sayısı

Sıra	İlin Adı	Personel	Sıra	İlin Adı	Personel
1	ANTALYA	30	36	BİTLİS	10
2	AYDIN	30	37	BURDUR	10
3	BALIKESİR	30	38	ÇANKIRI	10
4	ESKİŞEHİR	30	39	ÇORUM	10
5	GAZİANTEP	30	40	EDİRNE	10
6	HATAY	30	41	GİRESUN	10
7	İÇEL	30	42	GÜMÜŞHANE	10
8	KAYSERİ	30	43	HAKKARİ	10
9	KOCAELİ	30	44	KARS	10
10	KONYA	30	45	KASTAMONU	10
11	TRABZON	30	46	KIRIKKALE	10
12	ZONGULDAK	30	47	KIRŞEHİR	10
13	ÇANAKKALE	20	48	MARDİN	10
14	DENİZLİ	20	49	MUŞ	10
15	ERZİNCAN	20	50	NEVŞEHİR	10
16	ELAZIĞ	20	51	NİĞDE	10
17	K.MARAŞ	20	52	ORDU	10
18	KÜTAHYA	20	53	RİZE	10
19	KIRIKKALE	20	54	SİİRT	10
20	MALATYA	20	55	SİNOP	10
21	MANİSA	20	56	TUNCELİ	10
22	MUĞLA	20	57	UŞAK	10
23	SİVAS	20	58	YOZGAT	10
24	TOKAT	20	59	AKSARAY	10
25	ŞANLIURFA	20	60	BAYBURT	10
26	KARABÜK	20	61	KARAMAN	10
27	ISPARTA	20	62	BAKMAN	10
28	TEKİRDAĞ	20	63	ŞIRNAK	10
29	ADİYAMAN	10	64	BARTIN	10

30	AĞRI	10	65	ARDAHAN	10
31	AMASYA	10	66	IĞDIR	10
32	ARTVİN	10	67	KİLİS	10
33	BOLU	10	68	YALOVA	10
34	BİLECİK	10	69	OSMANİYE	10
35	BİNGÖL	10	70	DÜZCE	10

Ülkemizde onbir ilde konuşlandırılan arama kurtarma birliklerinin personel sayıları Tablo 1.3.'de görüldüğü gibidir. Bu tablodan anlaşıldığı gibi ülkemizde görev yapan kadrolu arama kurtarma birlik sayıları bölgesel yerleşim şeklinde bulunmaktadır.

Eğitimli personel açısından ülkemizde arama kurtarma birliklerinin yeterli olup olmadığı konusunda yeterli akademik çalışma bulunmamaktadır. Kapasite, yerleşim yerinin seçimi, birlik tipi gibi önemli konularda ülkemizde yapılmış akademik çalışmalara henüz rastlanmamaktadır. Tablo 1.4.'de illere göre arama kurtarma birliklerinin personel sayıları verilmiştir.

Arama kurtarma birliklerinin yapısı içerisinde görev yapan personel Doktor, Veteriner, Psikolog, Sosyal Çalışmacı, Hemşire, Sağlık Memuru, Mühendis, Tekniker, Arama ve Kurtarma Teknisyeni, Sivil Savunma Uzmanı, Şef, Şoför, Teknisyen Yardımcısı, Hizmetli, Koruma Güvenlik Şefi ve Koruma Güvenlik Görevlisi mesleki sınıflarından oluşmaktadır.

Arama kurtarma birliklerinin konuşlandırıldığı bu alanların yanında kendilerine bağlı olan yakın illerden de sorumludurlar. Arama kurtarma birliklerinin sorumluluk alanları Tablo 1.5.'de verilmiştir. Birliklerin sorumlu oldukları iller kurulu olduğu illerin yakınlık, coğrafi olarak ulaşılabilirlik ve risklerine göre sorumluluk alanları belirlenmiştir.

Meydana gelen herhangi bir afet sonrasında arama kurtarma birlikleri olay yerine ulaştıklarında ellerinde yapacakları müdahale ile ilgili yönergeler bulunmaktadır. Bu yönergelerden olay sonrası kurtarma işlemlerinin nasıl başlayacağı, kimler ile beraber çalışılacağı, nasıl organize olunacağı ve koordinasyon bilgileri bilinmektedir. Afet sonrası bilinmeyken en önemli durum ise arama kurtarma birliklerinin hangi ekiplerin nereye yerleştirileceğinin bilinmemesidir. Bu

problemin çözümü için literatürde tesis yerleşim problemi olarak bilinen çözüm yöntemleri uygulanarak birliklerin yerleşim yeri belirlenebilir. Genel tanım olarak Cooper (1964) yerleşim problemlerini açıklarken ilk olarak tesis ve talep yeri, ikinci olarak tesis yerinin müşteriler arasında nerede olacak ve hangi tesis neredeki talep noktasına hizmet verecek sorusuna cevap aramıştır. Tesis yerleşimi konusunda yapılan çalışmalar daha öncelere dayanmaktadır.

Tablo 1.5. Türkiye’deki Arama Kurtarma Birliklerinin Sorumluluk Alanları

BİRLİĞİN ADI	SORUMLU OLDUĞU İLLER	
ADANA SİVİL SAVUNMA ARAMA VE KURTARMA BİRLİĞİ	1-GAZİANTEP 2-HATAY 3-İÇEL 4-K.MARAŞ 5-OSMANİYE	6-KİLİS, 7-KARAMAN
AFYON SİVİL SAVUNMA ARAMA VE KURTARMA BİRLİĞİ	1-İSPARTA 2-KONYA 3-ESKİŞEHİR 4-BURDUR	5-UŞAK 6-KÜTAHYA 7-ANTALYA
ANKARA SİVİL SAVUNMA ARAMA VE KURTARMA BİRLİĞİ	1-KIRIKKALE 2-KIRŞEHİR 3-AKSARAY 4-NEVŞEHİR	5-YOZGAT 6-ÇANKIRI 7-ÇORUM 8-KAYSERİ 9-NİĞDE
BURSA SİVİL SAVUNMA ARAMA VE KURTARMA BİRLİĞİ	1-BİLECİK 2-BALIKESİR	3- ÇANAKKALE 4-YALOVA
DIYARBAKIR SİVİL SAVUNMA ARAMA VE KURTARMA BİRLİĞİ	1-MARDİN 2-ŞIRNAK 3-BATMAN 4-ŞANLIURFA 5-ADİYAMAN	6-MALATYA 7-ELAZIĞ 8-BİNGÖL 9-TUNCEL
ERZURUM SİVİL SAVUNMA ARAMA VE KURTARMA BİRLİĞİ	1-ARDAHAN 2-IĞDIR 3-KARS 4-ARTVİN 5-RİZE	6-BAYBURT 7- GÜMÜŞHANE 8-SİVAS 9-ERZİNCAN
İSTANBUL SİVİL SAVUNMA ARAMA VE KURTARMA BİRLİĞİ	1-KOCAELİ 2-TEKİRDAĞ	3-KIRIKKALE 4-EDİRNE
İZMİR SİVİL SAVUNMA ARAMA VE KURTARMA BİRLİĞİ	1-MANİSA 2-MUĞLA	3-AYDIN 4-DENİZLİ
SAKARYA SİVİL SAVUNMA ARAMA VE KURTARMA BİRLİĞİ	1-BOLU 2- ZONGULDAK 3-BARTIN	4-KARABÜK 5-DÜZCE
SAMSUN SİVİL SAVUNMA ARAMA VE KURTARMA BİRLİĞİ	1-SİNOP 2- KASTAMONU 3-AMASYA	5-ORDU 6-GİRESUN 7-TRABZON

VAN SİVİL SAVUNMA ARAMA VE KURTARMA BİRLİĞİ	4-TOKAT	
	1-HAKKARİ	4-AĞRI
	2-BİTLİS	5-MUŞ
	3-SİİRT	

Depremin açığa çıkan enerjisini ölçmeye yarayan ölçü birimi magnitüd olarak bilinen ve 1930 yılında Charles Richter tarafından bulunan ölçü birimidir. Depremin şiddetinden farklı olarak magnitüd cihaz tarafından ölçülen bir birimdir. Magnitüd sismograf denilen bir cihaz yardımı ile kaydedilir. Aletsel ve gözlemsel olarak iki ayrı şekil ve yöntemde hesaplanabilmektedir.

Tablo 1.6. Şiddet ve Magnitüd Karşılaştırması (Richter, 1930)

Şiddet	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Richter Magnitüdü	4	4.5	5.1	5.6	6.2	6.6	7.3	7.8	8.4

Tablo 1.7. Deprem Şiddetine Göre Yapılarda Oluşabilecek Zararlar. (AİGM)

Şiddet	Zemin İvmesi (gal) (0.1-0.5 sn periyod aralığı için)	Yer Titresiminin (0.5-2 sn periyod hızı cm/sn aralığı için)	YAPI TİPLERİ		
			Ax	Bx	Cx
V	12-15	1.0-2.0	%5 Hafif hasar	-	-
VI	25-50	2.1-4.0	% 5 Orta Hasar % 50 Hafif Hasar	%5 Hafif hasar	-
VII	50-100	4.1-8.0	% 5 Yıkıntı % 50 Ağır Hasar	%5 Orta hasar	% 5 Hafif hasar
VIII	100-200	8.1-16.0	% 5 Fazla Yıkıntı % 50	%5 Yıkıntı % 50 Ağır Hasar	% 5 Ağır hasar % 50 Orta

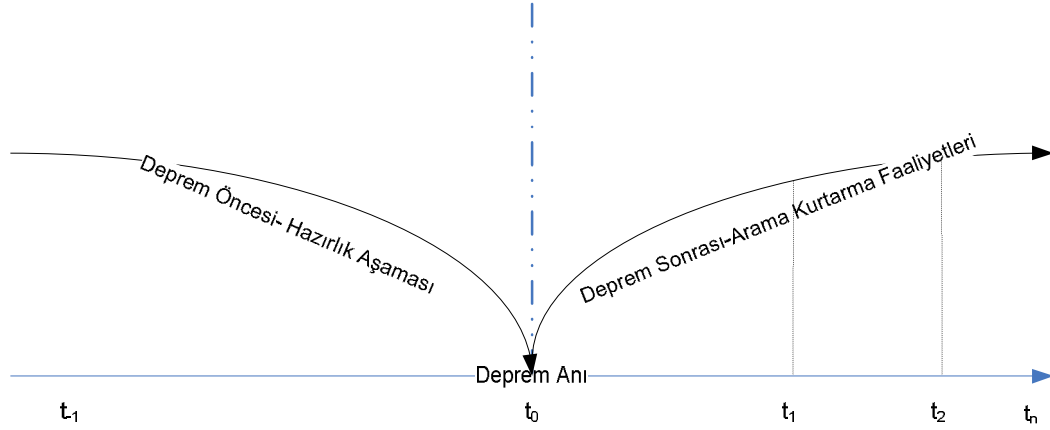
			Yıkıntı	Hasar	
IX	200-400	16.1-32.0	% 50 Fazla Yıkıntı	% 5 Fazla	% 5 Yıkıntı
				Yıkıntı	% 50 Ağır
				%50	Hasar
				Yıkıntı	
X	400-800	32.1-64.0	% 75 Fazla Yıkıntı	%50 Fazla	% 5 Fazla
				Yıkıntı	Yıkıntı
					% 50 Yıkıntı

Deprem konusunda yapılan araştırmalarda afet ve sonrasında ortaya çıkan problemlerin insan faktörüne dayandığını göstermektedir. Tarih boyunca yerleşim yerlerinin seçiminden yapı tiplerine kadar bir çok faktöründe deprem ve sonrası faaliyetleri etkilediği bilinmektedir (Aydan ve Ulusay, 2003). İnsanların yaşadığı yerleşim bölgelerinin depremlerden en az zarar görmesinin yanı sıra bu tür afetlerden sonra yapılacak olan faaliyetlerin de belirlenen programlara göre uygulama planı çerçevesinde planlama işlemleri ile gerçekleştirilmelidir. Bu gibi faaliyetler uygulama planları sayesinde afetlerin yıkıcı etkisini azaltmakta ve afet sonrasında ortaya çıkan istenmeyen durumların kolayca atlatılmasını sağlar.

1.4. Problemin Tanımı

Depremlerin daha önceden tahmin edilememesinden dolayı yıkıcı etkisinin arttığı ve insanların hayatını daha çok etkilediği bilinmektedir. Yıkıcı etkisinin çok ve beklenmeyen anlarda oluşundan dolayı depremin tahmin edilmesi için yapılan değişik çalışmalarda çeşitli matematiksel, istatistiksel ve simülasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda istatistiksel yöntemler kullanılarak sismik veriler yardımı ile belirsiz (stokastik) yer kabuğu hareketlerinin yerel olarak tahmin edilebildiği (Torcal ve ark. 1999, Jimenez ve Ark. 2001, Bommer ve Ark. 2002, Erdik ve Ark. 1985, Erdik ve Ark. 1991, Sadigh ve Ark. 1997) dayanarak tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Depremlerin olasılıksal tahmin edilebildiği başka bir çalışmada (Kagan ve Jackson, 2000) yine istatistiksel yöntemler kullanılmıştır.

Depremelerin sonucunda ortaya çıkan yıkıcı etki insanların yaşamsal kalite, şekil ve şartlarını değiştirmekle birlikte hayatlarını kesintiye uğratmaktadır. Yaşamsal kalite ve sürekliliğin sağlanması çeşitli önlemlerin alınması ve bu önlemlerin uygulanması ile ilgili bazı kararları gerektirmektedir.



Şekil 1.1. Deprem Anı Zaman Çizgisi

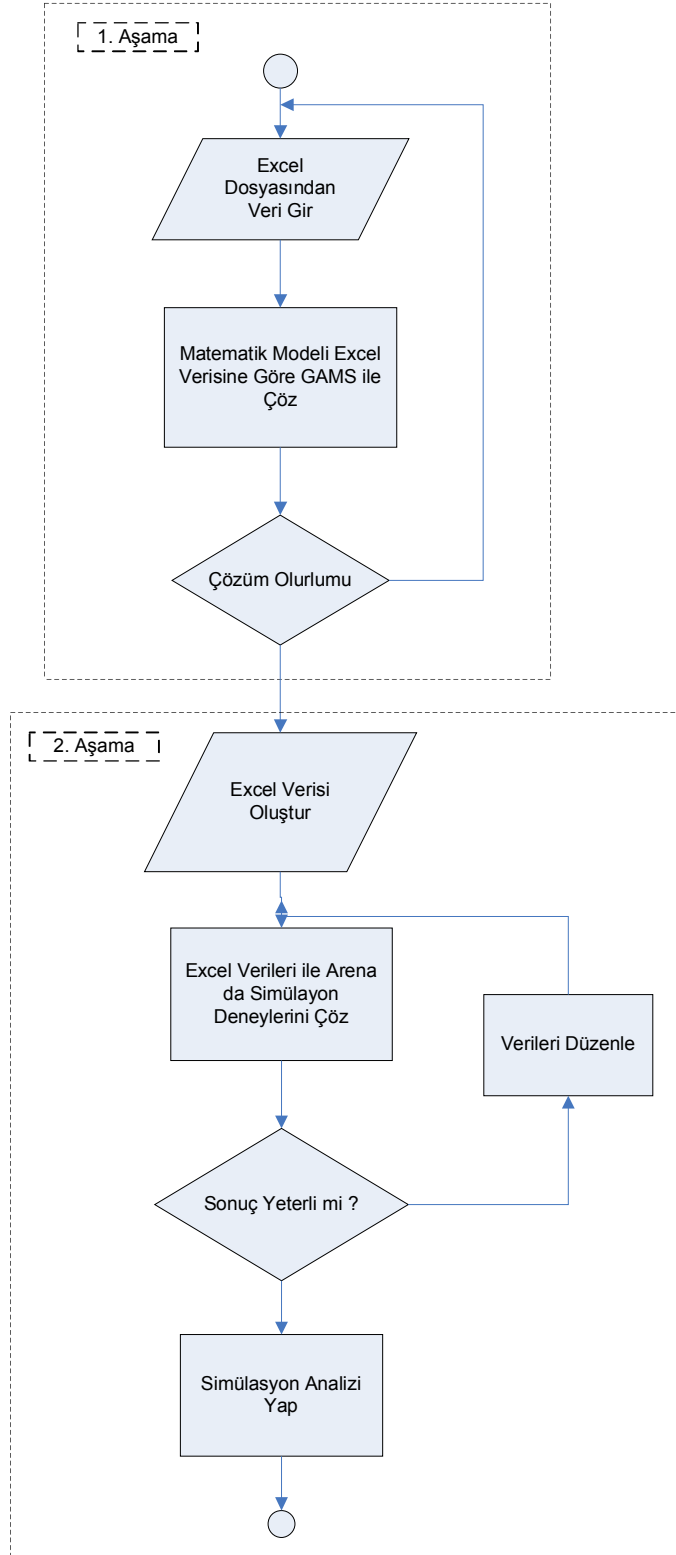
Zaman çizgisi üzerinde t_i $i=1...n$ bölünmüş zaman aralığı tanımında t_0 Depremi gerçekleşme olarak kabul edilir. Depremi oluşmasından önceki t_{-1} zamanda afet yönetiminde hazırlık aşamasıdır. Bu süre içerisinde afet olmamıştır fakat genel olarak yıkıcı etkileri bilinmektedir. Yıkıcı etkinin ne kadar büyük olduğu ve ne şiddette etkileyeceği tam olarak bilinmemektedir. Bu aşamada karşılaşılabilecek muhtemel durumlar göz önüne alınarak istenmeyen etkilerin kaldırılması için önlemler alınır. Bu aşamada önleme faaliyetleri etkin bir şekilde yapılır.

Deprem ortaya çıkması ile deprem anı t_0 oluşmuştur. Bu an geçici ve anlık olarak ortaya çıkar. Etkilerinin büyüklüğüne göre kısa veya uzun sürmesi beklenir. Olay anı t_0 ile birlikte t_{-1} süresi boyuca yapılanların etkinliği t_0 anında görülmektedir. Hasar azaltma, önleme ve diğer kayıp önleyici statik faaliyetlerin etkinliği bu aşamada gözlenmektedir. Deprem anı t_0 ve sonrasında t_1 anına kadar geçen süre içerisinde oldukça önemli ve kritik kararların verildiği süredir. Bu süre oldukça hareketli ve dinamik bir süreçtir. Alınan kararlar devamlı olarak değişkenlik gösterir, kararların hayati önemi vardır. Sürenin başlangıcı t_0 ile yoğun karar alınma

anı t_1 arasında geçen süre yaklaşık 72 saattir ve içerisinde arama kurtarma faaliyetleri, lojistik ve güvenlik faaliyetlerinin en yoğun olduğu süredir. Bundan sonraki t_1 ve t_2 zaman aralığında barınma ve yiyecek gibi temel ihtiyaçları giderecek faaliyetler gerçekleştirilir. Daha sonrasında t_2 anından sonra ise altyapı ve diğer faaliyetler gerçekleştirilir.

Deprem öncesinde t_{-1} ile t_0 zaman aralığında genellikle afete karşı hazırlıkların yapıldığı bilinmektedir. Durağan olan bu dönemde planlama faaliyetleri de durağan olarak gerçekleştirilir. Bu dönemde önceki verilerden yararlanılarak çeşitli senaryolar üretilerek ortaya çıkabilecek durumlara yönelik planlar oluşturulur. Genellikle nasıl bir durum ile karşılaşılacağı belli değildir. Bu sebepten dolayı planlar t_{-1} ile t_0 zaman aralığında alternatifli olarak geliştirilir.

Deprem olana kadar geçen zaman aralığı zaman baskı faktörü ile değerlendirilmelidir. Zaman baskı faktörü şimdiki zaman ile deprem olması beklenen zaman arasında geçen süre olarak belirlenmelidir.



Şekil 1.2. Çalışmanın Akış Diyagramı

Bu çalışmada problem iki aşamada incelenecektir. Birinci aşamada t_{-1} ile t_0 zaman aralığında hazırlık ve planlama yapılabilecek statik durum olan zaman aralığı, ikinci aşamada t_0 ve t_1 zaman aralığı 72 saati geçmeyen kritik kararların hızlı alınacağı dinamik zaman aralığı şeklinde incelenecektir.

Hazırlık ve planlama aşaması t_{-1} ile t_0 kalan süre matematiksel olarak ifade edilebilir faaliyetleri veya durumları içermektedir. Matematiksel ifadeler ile problemin ilk aşaması modellenerek çözülebilir. Matematiksel model bu aşamada planlama ile ilgili bilgilerin kullanıldığı, önceki bilgilerin kullanıldığı ve dinamik karar sürecine girdi sağlayacak verilerin üretilmesini sağlayacak aşamadır. Bu aşamadaki model karma tamsayılı yerleşim modeli esasına dayanmaktadır. Yerleşim ve kapsama modelleri ile ilgili yapılmış çok sayıda çalışma vardır. Problemin diğer aşamasında elde edilen verilerden simülasyon modeli ile karar destek sistemi geliştirilecektir.

Yerleşim problemleri konusunda ilk çalışmaları 1600 yıllarda Pere de Fermat adlı Fransız matematikçi ortaya atmıştır. Fermat verilen bir ABC üçgeninde “öyle bir a noktası bulalım ki tüm uçlara olan uzaklığın toplamı en kısa mesafede olsun” şeklinde ortaya bir problem koymuştur. Fermat’ın öğrencisi Evangelista Toricelli 1640 yılında bu problemi geometri teorisi ile çözmüştür (Krarup ve Vajda, 1997). Yerleşim atama konusunda yapılan ilk analitik çalışma ise market yeri belirleme, ulaşım ve atama çalışmasıdır ve Thünen tarafından 1826 yılında yapılmıştır. görüldüğü gibi konu ile ilgili çalışmalar 19 yüzyılın başlarında kadar gitmektedir. Alfred Weber 20 yüzyılın başlarında tek tesis ile müşteri arasındaki seyahat süresini en kısa yapacak problem üzerinde çalışmıştır. Weber 1909 yılında oklid uzayındaki herhangi iki noktanın toplamını en kısa yapacak yolu gösteren matematiksel formülü ortaya koymuştur (Drezner ve ark. 2001). Weber problemi aşağıdaki gibi ifade etmiştir;

$$\min_{x,y} \left\{ W(x,y) = \sum_{i=1}^n w_i d_i(x,y) \right\} \quad (1.1)$$

Burada $d_i(x,y) = \sqrt{(x-a_i)^2 + (y-b_i)^2}$ 'dir. Oklidyen uzaklık ise (x,y) ve (a_i,b_i) ile ifade edilir (Drezner ve ark. 2001). Yapılan yeni çalışmalarda yerleşim

problemlerinin optimuma yakın çözümler veren yeni sezgisel yöntemler ile çözüldüğünü göstermektedir. Bu çalışmada da basit küme kapsama modelinden yola çıkılarak geliştirilen p-medyan modeli üzerinde durulacaktır. Bu yöneme göre belirlenecek model parametreleri ile problemin ilk aşaması çözülecektir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ilk aşamadan elde edilen veriler ile simülasyon deneyleri gerçekleştirilecektir. Simülasyon deneyleri ile ilk aşamadan alınan veriler dinamik bir süreç olan ikinci aşamada kullanılacaktır. İkinci aşamada alınacak kararlar değişken ve anlık olarak verilecek kararlardır. Bu kararlar sonucunda alınacak tepkilere-geribildirimlere göre sistemin yeni düzeltilmesi veya değerlendirilmesi mümkün olacaktır.

1.5. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı deprem gibi beklenmeyen bir anda ortaya çıkan afet sonrası durumlarda arama kurtarma birliklerinin en çok yaralı sayısına ulaşmasını sağlayacak modeli bir planlama ufku kapsamında geliştirmektir. Geliştirilen matematiksel model deprem öncesinde bir planlama ufku içerisinde belirlenen periyotlar içerisinde arama kurtarma birliklerinin kurulum kararının verilmesine yardımcı olacaktır. Arama kurtarma birlikleri bir deprem sonrası bölgelere göre önceden belirlenen tipte oluşacak yaralı talebini karşılamayı hedeflemektedir. Deprem sonrasında depremin etkilendiği bölgelerde çeşitli tiplerde yaralılar oluşmaktadır. Yaralı tipleri hayati tehlikesi olan ve acil tıbbi yardıma ihtiyaç duyan ağır yaralı, çeşitli travmalardan dolayı acil tıbbi yardım bekleyen orta derece yaralı ve hayati tehlikesi bulunmayan fakat tıbbi yardıma ihtiyaç duyan hafif yaralı gruplarından oluşur. Çalışmada bölgelere göre ortaya çıkacak yaralı (talep) gruplarına göre arama kurtarma birliklerinin atama problemi incelenecektir.

Matematiksel model sonucunda elde edilen verilerden simülasyon çalışması ile deneyler test edilecektir. Modellerden elde edilen verilerden aynı zamanda bir karar destek sistemine temel oluşturması düşünülmektedir.

Çalışmanın amaçlarına ek olarak deprem sonrası yapılması gereken planlama işlerine ve organizasyonuna şekil ve içerik açısından günümüz bakış açısı ile yeni

yaklaşımlar getirmektir. Gelişen teknoloji ve bilgi birikimleri sayesinde daha önceki afetlerden elde edilen bilgiler de kullanılarak bir sonraki afet durumunda hazırlık aşamasında yapılacaklar için yeni yaklaşımlar getirilebilir. Bu bilgi birikimi bir önceki tecrübelerin birikiminden elde edilebilir veya benzetim tekniklerinde kullanılan verilerden de oluşabilir. Benzetim teknikleri ile birlikte geliştirilen afet senaryoları ile elde edilen sonuçlardan bazı afet durumlarında zarar ve risklerin azaltılmasında kullanılabilir.

Bir olası deprem anında en büyük potansiyel kayıp ve zararın bu anakent bölge içerisinde olacağı verilerden tahmin edilebilir. Bu bölgelerin yerel ve merkezi yönetim tarafından gönderilecek olan kurtarma ve müdahale ekiplerinin kapasite ve çalışma koşullarının belirlenmesi istenecektir. Öngörülen senaryolarda gerekli olan belirli işlerin yapılması da amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada kullanılacak olan veriler ilgili sağlık, sivil savunma, yerel yönetim ve diğer kamu kurum ve kuruluşlarından alınan bilgilere dayanmaktadır. Alınacak verilerin analiz ve yorumlara açık, doğru ve anlaşılabilir olmasına özen gösterilmiştir. Analiz verilerinin sınıflandırılmasında veri doğrulama teknikleri kullanılacaktır.

Yapılacak olan çalışmada afet durumuna örnek olarak oluşturulacak deprem senaryolarında çalışılacak olan parametreler seçilecek daha sonra bu parametreler çalışılacaktır. Çalışmanın kapsamı deprem senaryolarında oluşturulan matematiksel modellerin ve simülasyon tekniklerinde gösterilen fiziksel etkiler incelenecektir. Depremin sosyal ve ekonomik etkileri çalışmanın kapsamı dışında tutulacaktır. Depremin fiziksel etkileri içerisinde sayılabilecek olan kurtarma ve müdahale organizasyonuna ait işlevler kapsayacaktır. Depremin fiziksel etkilerinden kurtulmak için tıbbi yardım (afet tıbbi), kurtarma, müdahale, lojistik destek, güvenlik ve sevk-ikamet organizasyonları sayılabilir.

Bu çalışmada oluşturulan deprem senaryolarının haricinde diğer iç ve dış etken/faktörleri kapsamayacaktır. Depremin asıl etki olduğu diğer etkenlerin bunun dışında tutulması veya ikincil etki olacağı göz önüne alınmalıdır.

Deprem sonrasında oluşabilecek can ve mal kaybı ile ortaya çıkabilecek yıkım tablolarının neler olabileceği hakkında genel bilgiler elde edilecek olan

bilgilerin analizi sonucunda ortaya çıkacaktır. Bu analizler için kullanılacak olan yöntem ve işlemlerde bilinen yöntemlerin sınanması yapılamayacaktır. Bilinen analiz yöntemleri çalışmanın varsayımlar kısmında belirlenecektir.

1.6. Önerilen Varsayımlar

Depremi insanların yaşadıkları yerlere etkileri depremin büyüklüğü değiştiğinde farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar yeryüzünde fiziksel değişiklikler oluşturduğu bilinmektedir. Bu sebepten dolayı yapılan bu çalışmanın da değişik deprem senaryolarına göre tasarlanmasını gerektirmektedir. Çalışmanın temelini oluşturacak olan deprem senaryolarında oluşturulacak modelde ifade edilmesi gereklidir. Deprem senaryoları bölgenin yeryüzü karakteristiğine bağlı olarak daha önceden oluşan depremlerden elde edilen verilerden kurulacaktır. Çalışmanın yapılacağı bölgede depremlerin belirlenen büyüklük ve şiddetine göre dört senaryodan oluştuğu varsayılacaktır. Modelde yerleşim bölgeleri içerisinde kalan müdahale edilmesi gerekli olan alanlar değerlendirilecek ve çeşitli bölgelere ayrılacaktır. Bölgeler bazı senaryolarda ağırlık verilerek öncelikli olarak değerlendirilebilir. Belirlenen bölgelerde daha önce oluşan depremler ve müdahale çalışmalarının kapsamında bulunan ekonomik değerli (maliyet, ulaşım gibi.) parametrelerde göz önüne alınacaktır. Oluşturulan depremlere ait parametrelere ek olarak geliştirilen senaryolarda kullanılacak olan veri setleri daha önceden yapılan çalışmalar ve gerçek veri setleri istatistiksel test yöntemlerinden alınacaktır. Çalışmadaki varsayımları aşağıdaki başlıklar halinde gruplayabiliriz.

- i. Depremlerin Şiddetine Göre Senaryolar Oluşturulacak
- ii. Çalışan Kurtarma Birlikleri Belirlenecek
 - a. Sağlık, Hayat Destek,
 - b. Acil ve Afet Tıbbı,
 - c. Barınma
- iii. Yerel Yönetim Belediye Ait Fen İşleri Görev Dağılımları
- iv. Barınma Ve Geçici İskân Hizmet Verilecek Alanlar
- v. Afet Sonrası Kurtarma Ekipleri Kapasite Planlaması Çizelgelenmesi

- a. Bölge İstasyonları
 - b. Çalışacak Ekipler
 - c. Bölgeler Ve Sorumluları
- vi. Kurtarma Birlikleri Organizasyonu
 - a. Makine Parkı
 - b. İmar Planı
- vii. Okul Ve Devlet Daireleri Envanterlerin ve Kısıtlarının Belirlenmesi
- viii. Kapasite, Dayanım Ve Durum Analizleri
- ix. Çocuk Toplama Merkezleri
 - a. Afettede Çocukları Koruma Ve Muhafaza,
 - b. Psikolojik Destek Birimlerinin Belirlenmesi
- x. Cerrahi Branşlar Ve Travma Tıp Planlaması
- xi. Makine Parkı Organizasyonu Ve Dağıtım, İhtiyaç Planlaması
- xii. TEK, DSİ, Köy Hizmetleri Gibi Merkezi Teşkilat Taşra Birimleri Planlaması Ve Organizasyonu

Çalışmada sunulan varsayımlar kapasite, iş planlaması ve modellerin oluşturulması sırasında değişik şekillerde seçilebilir. Gerekli olan bazı parametrelerin değiştirilmesi eklenmesi ve çıkartılması istenebilir. Çalışma sırasında eklenecek veya çıkartılacak olan parametreler hazırlanacak senaryoların özelliklerine de bağlı olacaktır.

1.7. Beklenen Orijinal Katkıları

Tesis yerleşimi konusunda yapılmış çok sayıda alan çalışması vardır. Şehir için itfaiye istasyonu yer seçimi, acil servis ambulans istasyonlar yer seçimi, gaz dağıtım şebeke tasarımı, tehlikeli atık deponi alanları örnek olarak sayılabilir. Yapılan bu çalışmada daha önce benzer bir alana uygulanmış olan yerleşim modeli (Başdemir, 2004), (Açıkgöz, 2006) arama kurtarma birliklerine uygulanmıştır.

Deprem öncesinde yapılan çok sayıda çalışmada hazırlık, zarar azaltma, önleme gibi problemler incelenmiştir. Bu çalışmada deprem öncesinde arama kurtarma birliklerinin sayıları, tipleri, kapasiteleri ve yaklaşık olarak yerleri

belirlenecek genel bir model oluşturulacaktır. Aynı zamanda bu çalışmada deprem sonrasında arama kurtarma birliklerinin faaliyetlerine yönelik olarak simülasyon çalışması yapılacaktır. Daha önceden yapılan çalışmalarda simülasyon çalışmaları depremin oluşumu hakkında yapılmış simülasyon çalışmalarından oluşmuştur. Benzer alanda yapılan simülasyon çalışması acil servislerin ve acil ambulans servislerinin çalışmasına yöneliktir. Çalışmada benzer alan çalışması konusundaki boşluk giderilmeye çalışılmıştır.

Afet ve afet sonrası müdahalede lojistik konusunda dünyada birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar kurtarma faaliyetleri, yaralıların deprem bölgesindeki fiziksel etkilerden kurtarılması, yaşamsal durumların sürdürülebilmesi ile ilgili olan faaliyetler, sosyal hizmet ve faaliyetler gibi çeşitli konulardadır. Bu çalışmada daha önceden depremin bölgesel olarak bir yerleşim bölgesini nasıl etkileyeceği konusunda bir öngörü kazandırmak ve afetin ortaya çıktığı anda ve sonrasında gerekli olan faaliyetleri planlayarak görülebilecek olan zararı en aza indirebilecek organizasyon yapısını göstermeyi hedeflemektedir.

Bu çalışmada afet yönetimi ve konu ile ilgili daha önceki çalışmalarda bu konuya ait çalışmaların neden yapılmadığı araştırılacaktır.

Çalışmanın depremin öncesinde olduğu kadar sonrasında da yapılan çeşitli faaliyetleri ile Zararların azaltılması ve müdahale konusuna da yönetsel açıdan katkıda bulunması beklenmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Deprem konusunda günümüze kadar değişik konu ve dallarda çalışmalar yapılmıştır. Deprem sonrası müdahale ve arama kurtarma çalışmaları yönetim ve organizasyon açısından incelendiğinde çalışmaların daha çok öneri ve deprem öncesinde yapılacak önlemlere rastlanmaktadır. Deprem sonrası arama kurtarma faaliyetleri üzerinde yapılmış olan alan çalışmalarında ise lojistik ve tıbbi yardımların modellenmesi ile ilgili olduğu görülmektedir. Yapılan akademik çalışmalarda deprem ve afet ile ilgili direk çalışmaların konu üzerinde değil daha çok bu konulara ait alt dallar şeklinde sınıflanmakta olduğu görülmektedir. Yapılan araştırma ve incelemelerde akademik sınıfa girecek çalışmaların modelleme konusundan çok deprem sonrası değişik faaliyetler ve amaçlara (örn. Lojistik) yönelik olduğuna rastlanmıştır. Önleyici çalışmaların afetler konusundakilerin ise insan kaynaklı olanlarında yoğunlaştığı ortaya çıkmıştır. Bahsedilen araştırma konusunda matematiksel modeller ile ilgili olarak yerleşim ve atama modellerine literatürde rastlanmamaktadır. Arama kurtarma faaliyetlerinin yapılacağı bölgeler ve birliklerin yerleşeceği bölgeler için bir çalışma yapılmadığı gibi matematiksel olarak modellenmemiş ve herhangi bir simülasyon yöntemi de rastlanmamıştır.

Arama kurtarma birlikleri yerleşeceği bölgelerin özelliklerine göre küme kapsama probleminin alt sınıfına ait bir yöntem ile çözülmesi gerekecektir. Literatürde küme kapsama problemi genellikle acil tıbbi yardım servis araçlarının servis merkezlerinin belirlenmesinde kullanıldığı görülmektedir.

Stratejik yerleşim problemlerini statik ve deterministik yerleşim problemleri, dinamik yerleşim problemleri ve stokastik yerleşim problemleri olarak sınıflandırmakta mümkündür (Owen ve Daskin, 1998). Bu sınıflandırmada statik ve deterministik yerleşim problemlerini yöntem açısından inceleyecek olursak medyan (p-median) problemleri (3.1), kapsama (covering) problemleri, merkez (p-center) problemleri ve sabit kapasiteli yerleşim modelleri olarak alt sınıflara ayırabiliriz.

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i d_{ij} x_{ij} \quad (2.1)$$

Yerleşim modelleri içerisinde p-medyan modelleri amaç fonksiyonu (2.1) ağırlıklandırılmış talep, uzaklık gibi değişkenleri ikili (binary) değişken ile en küçüklemeye çalışmaktadır. Amaç fonksiyonun (3.1) uzaklığı en küçük yapmaya çalıştığında, p-medyan modelinde kısıtlar (3.2) her bölgenin en fazla bir bölgeden hizmet almasını sağlayan, sadece açık olan tesise (3.3) atama yapacak ve en fazla P adet (3.4) tesis açılmasına izin veren kısıtlardan oluşmaktadır. Ayrıca modelin standart tümleyen (integrality) kısıtları da (3.5) değişkenlerin tipini belirler.

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i, \quad (2.2)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j, \quad (2.3)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = p, \quad (2.4)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall i, j, \text{ ve } y_j = 0 \text{ or } 1 \quad \forall j, \quad (2.5)$$

Dinamik yerleşim modellerinde dinamik tekli yerleşim modeli, dinamik çoklu yerleşim modeli ve alternatif dinamik yaklaşımlar alt gruplarında incelenebilir. Aynı şekilde stokastik yerleşim modellerini olasılıksal ve senaryo tabanlı modeller olarak iki alt gruba ayırarak incelenebilir. Bu sınıflandırma çalışmasını Owen ve Daskin (1998), yaptıkları çalışma yılına kadar olan yayınları inceleyerek oluşturmuşlardır. Bu çalışmaya ek olarak sınıflandırma çalışmalarında matematiksel yaklaşımları yayılım (p-dispersion) modeli eklenebilir.

Yerleşim problemlerinin değişik ve geniş uygulama alanları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Pazar veya satış noktalarına depo yerleşim yerinin ortalama minimum uzaklık, tehlikeli atık maddelerin hane yerleşim yerlerinden izin verilebilen en kısa mesafeye kurulması, tren istasyonlarının yerlerinin belirlenmesi,

banka müşterilerine en iyi servis verecek para çekme makinelerinin yerleşimleri, deniz kazalarına en kısa sürede ulaşmayı sağlayacak arama kurtarma istasyonlarının yerlerinin belirlenmesi olarak sayılabilir (Hale ve Moberg, 2003). Afet yönetiminde kurulan matematiksel yöntemlerin birçoğu afet karakteristiğine göre kullanılmaktadır. Afet yönetiminde kullanılan matematiksel modellere üç örneği acil servis ve tıbbi yardım ile ilgili olarak verebiliriz.

Brotcorne ve ark. (2003), son otuz yılda acil sağlık servis araçlarının (ambulans) yerleşimi ve yeniden yerleşimi ile ilgili sunulan modellerin yenilenmesini çalışmalarında incelemişlerdir. Bu modelleri iki ayrı kategoriye ayırmışlardır. Planlama aşamasında deterministik modeller kullanılmış ve ambulans kullanılabilir durumda olduğu ve stokastik durumlar ihmal edilmiştir. Bu durumda acil çağrı gelmesinden sonra sistemde bekleyen servis veren ambulans yerinden ayrılmaktadır. Olasılığa dayanan modellerin ise ambulansları kuyruk sisteminde servis veren makine gibi davrandığı durumlarda ve ambulansların çağrılara her zaman cevap veremediği durumlarda kullanıldığını belirtmişlerdir. Yazarlar bu çalışmada daha önceden yapılmış olan çalışmaların durağan (statik) ve belirli durumlar altında modellenen problemlerin olduğundan bahsetmişlerdir. Ek olarak ambulansların yeniden yerleştirilmesi probleminde dinamik modellerin günümüze kadar olan gelişimini incelemişlerdir. Acil servis yardım araçların yerleşimini konusunda bir çok araştırma yapılmıştır. Yazarların yayın yılına kadar olan süredeki en önemli yayın ise Marianov ve ReVelle (1995), yılında yaptıkları yayındır. Marianov ve ReVelle (1995), yayınlarında dinamik olarak yer değiştiren araçların modellenmesi ile ilgili coğrafi bilgi sistemleri kullandıkları yayındır. Bu yazarların yaptıkları çalışmada ise ambulansların devamlı olarak yer değiştirdiklerini ve sadece çok kısa süre için bir yerde serbest olarak beklediklerinden bahsetmektedir. Coğrafi bilgi sistemlerinin kullanıldığı bu yayın konusunda ilk kez modellenen acil servis sistemleri yayınlarından birisidir.

Afet ve afet sonrası durumlarda yapılacaklara yönelik yapılmış çalışmaları yıllara göre inceleyecek olursak son on yılda afet ve afet yönetimine yönelik akademik çalışmaların daha çok önleyici çözümlere yönelik olduğu gözlemlenmektedir. Bu çalışmaların Türkiye'den yapılmış olanlarının daha çok

yıkıcı etkisi diğerlerine göre daha etkili doğal afet olan deprem ve deprem sonrası yapılacak çalışmalar ile olduğu görülmektedir. Literatüre baktığımızda afet öncesi çalışmaların çok fazla olmadığı görülmektedir. Literatürdeki yerleşim modellerinin sınıflandırmasına ile örneklerden birisi Graham ve ark. 1979 yılında önerilmiştir. İlk örneklerinden birisinin olması nedeni ile detaylandırılmamış genel özellikler ile tasnif edilmiştir. Literatürde diğer bir sınıflandırma çalışması ise Hamacher ve ark., 1998 tarafından yeni bir yaklaşım getirerek şematik olarak toplam beş alan ile göstermiştir. Yazarlar şematik gösterimi yapısal olarak bir yerleşim modeli nasıl olmalıdır sorusundan yola çıkarak göstermişlerdir. Yapısal sınıflandırmada ilk iki alan modelin yapısı ile ilgilidir. Modelin son üç alanı ise daha özel tanımlamalar için ayrılmıştır. Model Pos1/Pos2/Pos3/Pos4/Pos5 alanları ile tanımlanmaktadır. Yazarlar, bu alanlardaki gösterimler ile sınıflandırılan modeller arasında seçim yapmak, modelin tasnifi veya diğer işlemlerin daha kolay yapılabileceğini göstermişlerdir

Yerleşim konusunda yapılan çalışmalar Current ve ark. (2003) sınıflandırmışlardır. Bu sınıflandırma Tablo 1’de yıllara göre sıralanarak verilmiştir. Tablo 2.1.’e ek olarak afet konusunda yapılmış olan yayınlar eklenebilir. Bu konudaki çalışmalar genellikle afet yönetimi konusunda yapıldığı gözlenmiştir. Afet sonrası yapılan çalışmalar genellikle simülasyon çalışmalarıdır (Tayfur ve Taafee, 2007).

Tablo 2.1. Tesis Yerleşim Modellerinin Uygulanması (Current ve ark.,2003)

Uygulama Alanı	Yapılan Uygulama	Yazar, Yayın Yılı
Ulaştırma	Depo	Kuehn ve Hamburger, 1963
	Kamyon Terminali	Love, Truscott ve Walker, 1985
	Hava Alanı	Saatçioğlu, 1982
	Tren yolu köprüsü	Higgins, Kozan ve Ferreria, 1977
	Otobüs Durakları	Gleason, 1975
	Otobüs Garajları	Maze, Khasnabis, Kapur ve Poola, 1981
	Hava yolu Merkezi	O'Kelly, 1987
	Kömür Taşıma Tesis	Osleeb ve Ratick, 1983
	Temel Havayolu Servisi	Flynn ve Ratick, 1988
Enerji	Elektrik Güç Üretim Tesis	Cohon, Revelle, Current, Eagles, Eberhart ve Church, 1980
Haberleşme	Güneş Enerjisi Sistem Tasarımı	Birge ve Malyshko, 1985
	Haberleşme Anahtar Merkezi	Hakimi, 1965
	Bilgisayar Yoğunlaştırıcı	Pirkul, 1987
	Uydu Yörüngeleri	Drezner, 1988
	Uydu Yer İstasyonu	Helme ve Magnati, 1989
Sağlık	Bilgisayar Servis Merkezi	Ghosh ve Kraig, 1986
	Acil Tıp Servisi	Revelle, Bigman, Schilling, Cohon ve Church, 1977
	Bölgesel Sağlık Merkezi	Abernathy ve Hershey, 1972
	Tarımsal Sağlık Çalışanı	Benneth, Eaton ve Church, 1982
	Kan Bankası	Price ve Turcotte, 1986
Hizmet	Sosyal Yardım Servisi	Patel, 1979
	Kamu Yüzme Havuzu	Goodchild ve Booth, 1980
	Fabrika Satış Mağazası	Pirkul, Narasimhan ve De, 1987
	Bira Fabrika Deposu	Gelders, Pintelon ve VanWassenhove, 1987
	Tahıl Toplama Merkezi	Hilger, McCarl ve Uhrig 1977
Çevre	Ayak Üstü Restoran	Min, 1987
	Petrol Yayılma Önleyici Ekipman	Bellardo, Harrauld, Wallace ve Ward, 1984
	Yağmur Kanalı	Hogan, 1990
	Tehlikeli Atık Boşaltma Tesis	Revelle, Cohon ve Shobrys, 1991
	Araç Emisyon Test Merkezi	Swersey ve Thakur, 1995

Eğitim	Araç Muayene İstasyonu	HodgsonRosing ve Zhang, 1996
	Orman Hasat Bölgesi	Hodgson, Wong, Honsaker, 1987
	Okullar	Tewari ve Sidheswar, 1987
	Çocuk Gündüz Bakım Evi	Holmes, Williams ve Brown, 1972

2.1. Afet Konusunda Matematiksel Modeller İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Altay ve Gren (2005), çalışmalarında afetlerin ülkelerin ve milletlerin kendi insanları ve alt yapılarını koruma, zararlarını en aza indirme yeteneklerini test eden, kolay kontrol edilmeyen problemler olduğunu iddia etmiştir. Olayların tekil olduğu, problemlerin ve etkilerinin rasgele olması dinamik, gerçek zamanlı etkili ve düşük maliyetli çözüm gerektirdiğini belirterek problemi bu açıdan OR/MS (Yöneylem Araştırması/ Yönetim Bilimi) için uygun olduğunu ortaya koymuşlardır. Sosyal bilimlerin ve beşeri bilimlerin felaket yönetiminde literatür eksikliğinin olduğunu vurguladığını ancak bu konuda OR/MS (Yöneylem Araştırması/ Yönetim Bilimi) uzmanlarının çözüm üretmeye başladığını belirtmiştir. Bu çalışmada afet operasyonları için potansiyel araştırma yönlerini belirleyerek uygun işlemleri tartışmışlardır.

Ambrosino ve Scutella (2005), çalışmada karmaşık dağım şebeke tasarım modelleri olarak bilinen tesis yerleşimi, depo, taşıma ve stok kontrol kararlarını içeren model yazarlar tarafından araştırılmıştır. Çeşitli gerçek senaryolar incelenmiştir. Bahsedilen problemler teorileri ispatları ile birlikte iki tipte matematiksel programlama modeli önerilmiştir. Kullanılan bazı problem formülasyonu Perl ve Daskin (1985) tarafından bazı depo yerleşim rota dağıtım problemlerinin geliştirilmiştir.

Barbarosoğlu ve Arda (2004), yazarlar çalışmanın amacını afet sonrası afetten etkilenen alanlara taşınacak olan ilk yardım malzemelerin taşınması için iki aşamalı belirsiz durum programlaması model planlama olarak bahsetmektedir. Eşyaların büyük şehirlerde çok değişik yollardan taşınabildiği bilinmektedir. Ancak bir afetin nasıl ortaya çıkacağı ve büyük bir şehirde ulaştırma yollarını nasıl etkileyeceği bilinmemektedir. Dahası belirsizlik ulaştırma sistemlerinin herhangi bir zarar görmesi durumunda bağlantılar ve tedarik yolları rasgele etkilenecektir. Rasgelelik

afet senaryolarını kapasite, tedarik ve talep üçlüsünü sonlu sayıda olduğunu göstermektedir.

Özdamar, Ekinci ve Küçükyazıcı (2004), 1999 yılında yaşanan Marmara depreminin ardından lojistik sağlamanın önemini çalışmalarında vurgulayan yazarlar ayrıca afet sonrasında yaşamsal ihtiyaçlara olan önemin ne kadar büyük olduğuna dikkat çekmişlerdir. Lojistik destek sağlık, giyinme, barınma ve en önemlisi yiyecek sağlamanın yaşamsal destek hayatın sürdürülebilir olduğu bilinmektedir. Yazarlar bu konuya yaşanan deprem afeti sonrasında klasik lojistik planlama yöntemleri ile müdahalenin yeterli olmadığını ve daha sistemli olan ve bilgisayarlı karar destek sistemi ile yapılacak planlamanın daha işlevsel olacağını göstermişlerdir.

Mingers ve Rosenhead (2004), problem çözme metodunu anlatan yazarlar karşılaşılan yöneylem araştırması dahil bir çok problemim sistematik çözümlerinde bahsetmişlerdir. Yapısal problem çözme metodu olarak adlandırılan yöntemi genel olarak çoklu oyuncular, çoklu görünüm, ölçülemez ve tahmin edilemez durumlar, önemli anlaşılabilirlik ve anahtar belirsizlikler olarak karakterize etmişler.

Brotcarne ve Ark. (2003), son otuz yılda acil sağlık servis araçlarının (ambulans) yerleşimi ve yeniden yerleşimi ile ilgili sunulan modellerin yenilenmesini çalışmalarında incelemişlerdir. Bu modelleri iki ayrı kategoriye ayırmışlardır. Deterministik modellerin stokastik durumların ihmal edildiğinde ve ambulansların hazır bulunmaları kullanıldığını belirtmişlerdir. Olasılığa dayanan modellerin ise ambulansları kuyruk sisteminde sunucu gibi davrandığı durumlarda ve ambulansların çağrılara her zaman cevap veremediği durumlarda kullanıldığını belirtmişlerdir. Ek olarak ambulansların yeniden yerleştirilmesi probleminde dinamik modellerin günümüze kadar olan gelişimini incelemişlerdir.

Brotcorne ve Ark. (2003) çalışmada ambulans servislerinin çalıştığı acil tıbbi servislerin çalışmasını dört adıma ayırmıştır; *i*) kaza algılama ve raporlama, *ii*) çağrı gelmesi, *iii*) aracın bulunduğu yerden ayrılması ve *iv*) paramedikler tarafından olaya müdahale. Durağan ambulans yerleşim problemlerine ilk yapılan örnekleri iki ayrı modelde verebiliriz. Bunlar LSCM (Location Set Covering Model) ve MCLP (Maximal Covering Location Problem). LSCM, Toregas ve ark. (1971) tarafından geliştirilmiştir. Bu modelin amacı bütün talep noktalarına kapsayacak ambulans

sayısını minimize etmektir. Modelin matematiksel formülasyonu ise aşağıdaki gibidir.

$$\text{Minimize } \sum_{j \in W} x_j \quad (2.6)$$

st.

$$\sum_{j \in W_i} x_j \geq 1 \quad (i \in V) \quad (2.7)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (j \in W) \quad (2.8)$$

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{Amb.j noktası oktu} \\ 0 & \text{Aksidurum} \end{cases} \quad (2.9)$$

Yazarlar bu modelin gerçek hayat problemlerini bir çok açıdan kapsamadığını ve eksik kaldığını söylemişlerdir. Diğer bir alternatif model olan MLCP ise ilk defa Church ve ReVelle (1974) tarafından önerilmiştir. Modelde kullanılan parametreler d_i i inci talebi, p hazırdaki ambulans sayısını göstermektedir. Değişkenlerden $y_i = 1$ olması durumunda en az bir ambulansın seçildiğini göstermektedir.

$$\text{Maximize } \sum_{i \in V} d_i y_i \quad (2.10)$$

st.

$$\sum_{j \in W_i} x_j \geq y_i \quad (i \in V) \quad (2.11)$$

$$\sum_{j \in W} x_j = p \quad (2.12)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (j \in W) \text{ ve } y_i \in \{0,1\} \quad (i \in V) \quad (2.13)$$

Aytuğ ve Saydam (2002), bu çalışmada büyük ölçekli küme kapsama problemlerindeki (Maximum Expected Coverage Problem) genetik algoritmaların performansı sezgisel çözümler ile kıyaslanmıştır. Yazarlar konveks kümelerde optimize olan doğrusal olmayan amaç fonksiyonlarının özel formülleri üzerine dikkatlerini yoğunlaştırmıştır. Çözümler Daskin'in sezgisel ve en iyi veya tam sayılı

doğrusal programlamadan elde edilen çözümlerden alınan çözümler ile karşılaştırılmıştır.

Daskin, Coullard ve Shen (2002), yazarlar dağıtım merkezlerinde güvenlik ve çalışma stoklarının dahil edildiği bir dağıtım merkezi yerleşim problemini bu çalışmalarında sunmuşlardır. Ek olarak sabit maliyet terimlerinde yer alınarak açıklandığı model tedarik yerinden dağıtım merkezine kadar olan taşıma maliyetlerini de kapsamaktadır. Model özellikleri problemin ana hatlarıdır ve doğrusal olmayan tam sayılı programlama ile formüle edilmiştir. Model çözümü için Lagrange eliminasyon yöntemi önerilmiştir. Yazarlar Lagrange eliminasyon alt problemlerini hallederek çözülebilen doğrusal olmayan tam sayılı programlama modelinin düşük dereceli polinom ile bulmuşlardır. Yazarlar bir çok sezgisel çözümün iyi bir çözüm bulabileceğini göstermişlerdir. Ek olarak yazarlar yapay adaylar arasında ve çözümün dışında kalan yapay iki değişken tanımlamış ve 88 ile 150 taşıyıcı ile problemi test etmişlerdir.

Barbarosoğlu ve Ark. (2002), yaptıkları çalışmada doğal afet kurtarma operasyonlarında helikopter görev planlaması için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Taktik kararların üst seviyede operasyonel rotalama ve yükleme kuralları alt seviyede yapıldığı probleme ait kararların hiyerarşik olarak iki alt probleme bölmüşlerdir. Bölün problemlerin tutarlılığı sezinlenen bilgileri alt seviyeden üst seviyedeki kararları iyileştirmek için transfer eden yinelemeli bir koordinasyon yöntemi ile sağlamışlardır. Bu hiyerarşik yapıda çok amaçlı hedeflerde uyumsuzlukların olmasından dolayı çoklu kriter analizi geliştirmenin gerekliliğini belirterek yüksek seviye karar alıcılarının hakimi olmayan alternatif çözümlerin değerlendirilmesi için yinelemeli bir yöntem tasarlamışlardır.

Bryson ve Ark. (2002), afet kurtarma planının oluşturulması için matematiksel bir model öneren yazarlar karar destek sistemleri yardımı ile bu planların oluşturulmasında karar alıcılara yardım edecek bir yöntem üzerinde çalışmışlardır. Deneysel olarak literatürde bulunmayan bu yöntemin katkı sağlayacağını ve kurtarma stratejilerinin oluşturulmasında matematiksel modellerden de yararlanılabileceğini göstermişlerdir. Geliştirdikleri planın afet sırasında ve sonrasında etkili olarak kurtarma işlemlerine yardımcı olmayı amaçlamıştır. Karar

verme tekniklerine yardımcı olarak afet kurtarma işlemleri bu planlama yaklaşımından yararlanabilirler. Hipotez teknikleri ile planlama işlemi desteklenerek çalışmalarını tamamlayan yazarlar bu yöntemin literatüre ek sağlayacağına inanmaktadırlar.

Melkote ve Daskin (2001a), şebeke yerleşim modelleri kamu ve özel sektörde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Yazarlar belli başlı taşıma şebekelerin tasarımında ve tesis yerleşiminin aynı anda optimize edileceğini incelemiştir. Modelin klasik tesis yerleşim problemin genel halidir. Yazarlar modelin nasıl etkin şekilde problemi çözüleceğini göstermişlerdir. Ayrıca yazarlar modeli iki potansiyel taşıma probleminde kullanarak analiz etmişlerdir. Tesis yerleşimi ve bağlantı noktaları arasındaki temel sorunu sorgulayan yazarlar aynı zamanda bütçe planlama ve karar verme için modellerde kullanılabilecek yararlı bir duyarlılık analizi sağlamışlardır.

Melkote ve Daskin (2001b), yazarların bu çalışmasında hizmet verebilecek miktarı talep kapasite sınırı olan tesisi yerleşim problemini şebeke ağ tasarım modeli ile birleştirerek incelemiştir. Bu model çeşitli bölgesel planlama, dağıtım, haberleşme, enerji dağıtım ve diğer alanlarda uygulama alanına sahiptir. Yazarların geliştirdiği modelde kapasiteli tesis yerleşim probleminin şebeke tasarım modelinin özel durumunu içermektedir. Ayrıca yazarlar problemi karma tamsayılı modeller ile programlamış, çeşitli eşitsizlikleri doğrusal programlama eleme yönteminden çıkarmışlardır. Hesaplanan deneylerini 40 yerleşim yeri ve 160 bağlantı adayı arasında gerçekleştirmişler.

Tamura ve Ark. (2000), çalışmada oluşturulan üç deprem senaryosunda bağlı olarak dört alternatif matematik modelleme oluşturulmuştur. Oluşturulan matematik modellemelere ait karar ağaçlarının olasılıkları senaryo 1 için deprem büyüklüğü 7 veya 8 rihter ölçeğinde ve % olasılıkla, senaryo 2 de rihter ölçeğine göre 5 veya 6 büyüklüğünde % 10 olasılıkla ve son olarak senaryo 3te oluşan depremlerden hasar olmaması durumu ise % 89 ile gösterilmiştir. Çalışmada sonuç olarak deprem doğal afeti karşısında alternatif matematiksel bir model ile karar verilebilecek durumların sezgisel olarak çözülebildiğini göstermişlerdir. Depremin oluşma riskinin yüksek olduğu durumlarda bu yöntemin yeterince tatmin edici olamayacağından da yazarlar

bahsetmiştir.

Jenkins (2000), yazar yaptığı çalışmasında doğal afetleri istenmeyen ve bazı durumlarda çevresel felaket boyutunda etkilerinin aniden ortaya çıktığından bahsetmektedir. Tamsayılı programlama ile modellediği planlama modeli çevresel felakete göre modellenmiştir. Çevresel felaketlerin ortaya çıkmış olması veya daha önceden hiç oluşmamış yeni bir çevresel felaketin olması durumunda değerlendirilecek durumları önerdiği senaryolardan seçilebilmektedir. Tamsayılı matematiksel modelleme kurularak senaryo planları oluşturulmuştur.

Torcal ve Ark. (1999), jeoistatistik jeolojik problemlerin çözülmesinde kullanılan değişik simülasyon ve tahmin yöntemlerini önermektedir. Yapılan bir çok çalışmada deprem simülasyonu için sismik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Yazarların yaptıkları çalışmada daha önceden alınan sismik veri serisinden bir deprem oluştuğunda şiddetini yakın veya daha az olarak jeo-istatistiksel simülasyon yöntemleri kullanarak hesaplamışlardır. Depremlerde ortaya çıkan enerjiler belirli bir zaman aralığında oluştuğunda çoğunlukla hesaplanabilmektedir.

Owen ve Daskin (1998), yazarlar tesis yerleşiminin stratejik kararlardan oluştuğunda bahseden bir literatür taraması yapmışlardır. Tesis yerleşimi yüksek maliyetli ve önemli yatırım kararı olduğundan tesis yeri seçiminin başka faktörler bağlı olduğunu ve bu faktörleri matematiksel olarak nasıl ifade edildiğini göstermişlerdir. Tesis yerleşim problemlerinin karakteristiğine göre stokastik ve dinamik formülasyonu modeller olarak literatürde ikiye ayrılabilirliğini göstermişler. Dinamik formülasyon yerleşim problemlerinin geniş bir görüşe göre daha çok zamanlamanın zorluğu üzerine yoğunlaştığından bahsetmektedirler. Stokastik formülasyon problemi tahmin, talep ve uzaklık gibi girdi parametrelerinin belirsizliği tahminini ifade etmeye çalışmaktadır. Stokastik literatür ikiye ayrılır bunlardan birisi belirsiz parametrelerin dağılımının tahmini, diğeri ise senaryo planlama ile belirsizliğin ortaya çıkartılmasıdır. Yapılan çalışmada bahsedilen yöntemler bir çok alan ve endüstride problemlerin çözümünde kullanılabileceğini de tartışmışlardır.

Kusters ve Groot (1996), hastanelerde kaynak planlamanın önemli olduğu vurgusunu yaparak belirledikleri parametreleri ile kısıtlı kaynak atamasını olasılıksal

bir karar destek sistemine modeline dayandırmışlardır. Modelleme hastanelerde genellikle aynı kaynakların kısıtlı olduğu varsayımından hareket etmiştir. Bu çalışmada kısıtlı kaynak olarak yatan hastaların yatak sayısı, hemşire sayısı ve acil yardımda gerekli olan yatak sayısı göz önüne alınmıştır. Verilerin gözlemsel olduğu ve uygulamada doğruluk sağladığı çalışmanın sonucunda verilmiştir. Ayrıca verilerin geçmişe dayalı ve gerçek bilgileri verebilecek çalışma verileri olduğu ve alınan verilerden daha sonra üç hastane için yapılan tahminleri sağladığı gösterilmiştir.

Sarker ve Ark. (1996), doğal afetler hayatımızda önemli bir ihtiyaç olan elektriklerin kesilmesine veya arızalanmasına yol açmaktadır. Yazarlar deprem sonrasında elektrik tamir ekibinin merkezden arızalı alanlara gönderilmesini açıklayan bir çalışma yapmışlardır. Problemde merkezden gönderilecek olan ekiplerin sınırlı ve arıza bölgelerinin değişik yerleşim bölgelerinde olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca çalışmada bir kaynaktan çoklu kaynak atama problemi iki karışık quadratik tam sayılı problemi olarak modellenmiştir. Modelde merkezden arıza bölgelerinde gönderilecek ekipler atanırken en az maliyet ile gönderilecek şekilde atanması amaçlanmaktadır. Kısıtlı durumlar için problemler çözülmüş ve yazarlar tarafından optimumu sonuçlar elde edilmiştir.

Yangın araçları Hogan ve ReVelle (1986) yaptıkları çalışmada belirli durum altında acil durum araçlarına uygulanabilir bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde ikili tamsayılı programlama tekniğini kullanmışlardır. Tüm araçların talebi karşılayacak olduğunu varsaymışlardır. Modelin formülasyonu aşağıdaki gibi oluşturmuşlardır.

$$\text{Maximize } \sum_{i \in V} d_i u_i \quad (2.14)$$

st.

$$\sum_{j \in W_i} x_j - u_i \geq 1 \quad (i \in V) \quad (2.15)$$

$$\sum_{j \in W} x_j = p \quad (2.16)$$

$$0 \leq u_i \leq 1 \quad (i \in V) \quad (2.17)$$

$$x_j \geq 0 \quad (i \in V) \quad (2.18)$$

Marianov ve ReVelle (1996) çalışmaları acil yardım araçlarının yerleşimde QMALP kuyruk MALP modelini tekrar gözden geçirerek genel uygulanabilir model haline getirdikleri çalışma bu konudaki diğer bir çalışmadır. Yazarlar daha önceki çalışmalarına ambulans için uyguladıkları modeli genelleştirmişlerdir. Ayrıca yazarlar ReVelle ve Hogan (1989) makalesinde MALP yönteminde kullandıkları α parametresini gerekli olmadığını MALP yöntemin MLCP yönteminin olasılıksal düzenlemesi olduğunu vurgulamışlardır. MALP yönteminin amacının ise sınırlı sayıdaki araçların veya servis verenlerin α güvenilirlik parametresi ile en fazla servisi vermek durumunda olduğunu vurgulamışlardır. ReVelle ve Hogan (1989) geliştirdikleri modelin son hali aşağıdaki gibi formüle etmişler;

$$\text{Maximize } Z = \sum_{i \in I} f_i y_{ib_i} \quad (2.19)$$

st.

$$\sum_{k=1}^{b_i} y_{ik} \leq \sum_{j \in N_i} x_j \quad \forall i \in I \quad (2.20)$$

$$y_{ik} \leq y_{i(k-1)} \quad \forall i, k = 2, 3, \dots, b_i \quad (2.21)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (2.22)$$

$$x_j = \text{negatif olmayan tamsayı} \quad \forall j \in J \quad (2.23)$$

$$y_{ik} = 0, 1 \quad \forall i, k \quad (2.24)$$

Yazarlar daha sonra yaptıkları çalışmada QMALP modelleme yöntemini C_j kapasitesini x_j değişkenini göz önüne alarak çeşitli eklemeler yapara üst sınır değerini belirlemişler ve yöntemi aşağıdaki gibi formüle etmişlerdir.

$$\text{Maximize } Z = \sum_{i \in I} f_i y_{ib_i} \quad (2.25)$$

st.

$$\sum_{k=1}^{b_i} y_{ik} \leq \sum_{j \in N_i} \sum_{k=1}^{C_j} x_{kj} \quad \forall i \in I \quad (2.26)$$

$$y_{ik} \leq y_{i(k-1)} \quad \forall i, k = 2, 3, \dots, b_i \quad (2.27)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k=1}^{C_j} x_{kj} = p \quad (2.28)$$

$$x_{kj}, y_{ik} = 0, 1 \quad \forall i, j, k \quad (2.29)$$

Ambulans yerleşiminde olasılıksal modeli ilk olarak çalışan yazar Daskin (1983) olarak bilinmektedir. Daskin MEXCLP (Maximum Expeted Location Problem) yöntemi olarak yöntemi formüle etmiştir. Yazar MEXCLP modelini formüle ederken p adet toplam ambulansın sayısının en az birinin aynı düzlemde olduğunu kabul etmektedir. Modelin formülasyonu aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$\text{Maximize} \sum_{i \in V} \sum_{k=1}^p d_i (1-q) q^{k-1} y_{ik} \quad (2.30)$$

st.

$$\sum_{j \in W_i} x_j \geq \sum_{k=1}^p y_{ik} \quad (i \in V) \quad (2.31)$$

$$\sum_{j \in W} x_j \leq p \quad (2.32)$$

$$x_j \text{ int eger } (j \in W) \quad y_{ik} \in \{0,1\} \quad (i \in V, k = 1, \dots, p) \quad (2.33)$$

MEXCLP yöntemi ile Fujiyara ve ark. (1987) tarafından modellenen Bangkok şehri ambulans servisinde çalışan ambulans sayısı 21 den 15 e düşürülerek etkili çalışması sağlanmıştır.

Tablo 2.2. Afet Konusunda Yapılan Çalışmalar

Uygulama Alanı	Yapılan Uygulama	Yazar, Yayın Yılı
Afet	Taşıma	Barbarosoğlu ve Arda, 2004
	Çizelgeleme	Mazen Al Otaibi, 2008
	Karar Destek Sistemi ve Lojistik	Özdamar, Ekinci ve Küçükyazıcı 2004
	Helikopter Çizelgeleme	Barbarosoğlu ve Ark. 2002
	Karar Destek Sistemi	Bryson ve Ark. 2002
	Tahmini Maliyet	Dana Burket Dismukes, 1994

2.2. Simülasyon Modelleme İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Lofdahl, 2009, çalışmasında afet senaryosu oluşturulurken gözlemsel ve sigorta şirketlerinin verilerinin bulunmaması durumunda verilerin nasıl oluşturulması gerektiğini ve nasıl kullanılacağına uygulanmasını göstermiştir. Çalışmada iki salgın hastalık modeli test edilmiştir. İlk modelde salgın hastalık karantina uygulanarak geliştirilen, ikinci model de ise salgın hastalık için karantina uygulanmadan geliştirilen modeldir. Karantina uygulanan simülasyon modelinde hastalık diğer modele göre hızlı iyileşme göstermiştir. Ek olarak modellerde kullanılan verilerin senaryo analizleri ve testleri yapılmıştır.

Steward ve Wan, 2007, yaptıkları çalışmada salgın hastalıkların yayılması konusunda hazırlıklı olma ve durum değerlendirilmesin yapılması konusunda simülasyonun önemini gösterir bir çalışma yapmışlardır. Yazarlar önerdikleri modelde afet sonrasında yapılacak kurtarma faaliyetlerini seviye esasına göre düzenlemişler. Geliştirilen modelin simülasyonu ile sağlık konusunda afet sonrasında müdahale evrelerinde karşılaşılabilecek aksaklıkların önemini de vurgulamışlardır.

Son yıllarda afet ile ilgili yapılan çalışmalardan sistem modelleme konusunda Hoard ve ark. (2005) yaptığı çalışmada kırsal kesimlerde deprem afetine hazırlıklı olmak için gerekli sistem yaklaşımını ortaya koymuştur. Karmaşık ve analizi zor olan sosyal sistemlerin analizi için bilgisayara dayalı simülasyon modelleme yaklaşımını iyi kurulabileceğini de göstermiştir. Bu sayede sağlık ve diğer servis sistemlerinde elde edilecek olan faydalarında afete hazırlık aşamasında planlanarak

afetin etkisini azaltılabileceğini göstermektedir. Bilgisayar simülasyon modellerinde sistem dinamikleri “eğer-ise” şeklinde programlama araçları kullanılarak modellenmiştir. Afet durumunda sağlık kurumları veya hastaneler ve hastane çalışanlarının özellikle hemşirelerin çalışma planlaması da yapılabilmektedir.

Simülasyon modelleri kırsal kesim afet planı için kanıta dayalı yaklaşımı destekleyeceğini belirtmişlerdir. Afet planlayıcılarının simülasyon senaryolarını değiştirerek sağlık ve diğer hizmet bekleyenlerin en az zarar görmesi için model geliştirmeye çalışmışlardır.

Galvao, Chiyoshi ve Morabito (2005), simülasyon tavlama yönteminin kullanan yazarlar daha önceden geliştirilen yerleşim problemlerinden iki tanesini incelemişlerdir. Yazarlar Daskin tarafından geliştirilen Maximum Expected Covering Location Problem (MEXCLP) ve ReVelle ile Hogan tarafından geliştirilen Maximum Availability Location Problem (MALP) arasındaki benzerlik ve farkları ortaya koyarak modellerin diğer model ile ilgili olan taraflarını göstermişlerdir. Bu iki model çok yoğun veya tıkanık acil servis sistemlerinde ortaya çıkmaktadır.

Joshi, Mansata ve Ark. (2005), bilgisayar ağlarının örnek alındığı ve modellendiği bu çalışmada simülasyon modeli aktif kuyruk yönetimi (Active Queue Management-AQM) ile seçilen trafik akış senaryoları oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda elde edilen bu sonuçların herhangi bir anda ortaya çıkan afet durumunda trafik yönetiminde kullanılabileceğini göstermişlerdir. Seçilen yaklaşımın aşırı yüklenme durumu da bile etkili olarak çalıştığını gözlemlemişlerdir.

Shin (2004), çalışmalarında tek makineli servis sistemli bir kuyruk sisteminde afetlerin gelen müşterilerle ilişkili olma durumunu incelemiştir. Bir afet oluştuğunda sistemdeki bütün müşterilerin çekileceği ve bütün sistemin tamiri için bir maliyet zararının olduğunu belirlemiştir. Yerleştirme noktalarındaki durağan kuyruk uzunlarını ve keyfi zaman seçilebileceğini çalışmalarında göstermişlerdir.

Xinzheng ve Ark. (2004), çalışmalarında mekanik ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle bilgisayar simülasyonun yapı analizi ve tasarımında önemli bir araç olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle yapıların patlama, tayfun gibi afetler olduğunda klasik test yöntemleri ile analiz etmenin çok pahalı aynı zamanda çok zor olduğunu belirterek bu tür problemlerde bilgisayar simülasyonu kullanmanın

kolay ucuz ve güvenli olduğunu göstermişlerdir. Çalışmalarında değişik simülasyon sistemlerini sınıflandırmış ve bu konuyu tartışmışlardır. Ayrıca simülasyon sistemlerinin fonksiyonunu ispat etmek için dört pratik seçenek önermişlerdir. Bu örneklerin ilkinde patlamaya dirençli kapıların patlama anındaki analizi, ikincisinde yeni bir silahın analizi üçüncüsünde dünya ticaret merkezine çarpmanın analizi ve sonuncusunda tayfun altında bir köprünün gerçek zamanlı görüntülenmesinden oluşmaktadır. Bu örneklerin bilgisayar simülasyon teknolojisinin afet durumlarında incelemenin avantajlarını göstermek için kullanmışlardır.

Marianov ve ReVelle (1996), acil servis sistemlerinin modellenmesinde yapılan ilk çalışmalardan olan bu modelleme çalışmasında acil servislerin tek kuyruklu servis veren sistemlerden farklı modeller için incelemiştir. Servis veren sunucu acil yardım aracı olan ambulans olarak belirlenmiştir. İki modelin gözden geçirilmiş ve bilgisayar ile tam sayılı programlama modelinin çözülmüştür.

Tablo 2.3. Simülasyon Konusunda Yalpan Çalışmalar

Uygulama Alanı	Yapılan Uygulama	Yazar, Yayın Yılı
Afet	Epidemik Sonrası Kurtarma	Lofdahl, 2009
	Epidemik Sonrası Kurtarma	Steward ve Wan, 2007
	Servis Sistemi	Hoard ve ark. (2005)
	Karar Destek Sistemi	Wu ve ark., 2006

2.3. Afetten Sonra Ortaya Çıkan Etkiler İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Karancı ve Ark. (2005), 2002 yılında Çankırı’da dört bin hane halkı üzerinde 95 eğitimcinin yardımı ile deprem afetinin sosyal davranış etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada deney örneklemeleri tamamıyla rasgele seçilmiş deneklerden oluşturulmuş ve doğal afetlerin yıkıcı etkisi yanı sıra sosyal ve psikolojik etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın sonucundan alınan verilerden oluşabilecek başka bir doğal afette karşılaşılabilecek olağan sosyal yıkıcı durumlara karşı önlem alınabilmesi açısından çok önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Bakir (2004), çalışmasında Türkiye’de 1999 yılındaki depremde ortaya

çıkan yıkıcı etkinin daha çok alınmayan önlemler, eksik kanun, yönetmelik ve idari eksiklikten kaynaklandığını göstermiştir. Çalışmasının ana amacı ülkenin deprem gibi doğal bir afet karşısında eksikliklerini gidermesi için bir öneri niteliğindedir. Doğal afet depremin yıkıcı olan fiziksel etkisinin yanı sıra alınmayan önlemlerinde en az deprem kadar yıkıcı olduğunda bahsederek afetlerin yıkıcı etkisinin önleyici önlemler alınarak azaltılabileceğini söylemektedir.

Pearce (2003), çalışmasını üç ayrı alana ayırmıştır. İlk olarak afet yönetim planlamasının hakkında kısa bilgi vermiştir. İkinci alanı Amerika ve Avustralya afet yönetimi alanlarının üzerine yoğunlaşarak afet sırasında hangi öncelikler ile müdahale edildiğini göstermiştir. Üçüncü olarak afet etkilerini azaltma stratejileri başarılı olarak uygulanabilirliğini karar alıcı seviyesin yerel olduğu durumları incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda California eyaleti Portola vadisinde afet etkisini azaltmak yerel ve ülke genelinde bütünleşik için yönetim planlamasını uygulamasını gerçekleştirmiştir.

Wei ve Ark. (2002), simülasyon ile yapay sinir ağı modelleri ile Çin de oluşan yaklaşık elli yıllık sel felaketlerini modellemişlerdir. Yapay sinir ağı gerçek verilerin öğrenme ve test etme aşamalarını modelledikte sonra yazarlar belirledikleri yöntemlere göre yeni bir tahmin yöntemi ile yeni bir tahmin yaklaşımında bulunmuşlardır.

Bui ve Sankaran (2001), afetlerin tipleri ve ortaya çıkışları sayılamayacak kadar çok şekil ve anlarda olmaktadır. Yazarlar geliştirdikleri akı diyagramında sanal bilişim merkezi oluşturarak bu merkezden herhangi bir afet durumunda bilgi ve iletişim sağlanması için gerekli olan algoritmayı göstermişlerdir. Genel olarak afet türlerinden bağımsız olarak karar vermek için gerekli olan bilgi ve bilgi tiplerinin tarif edildiği çalışmanın amacı nasıl bir bilgi ve bilgi akış sistemine sahip olunması hakkında öneriler vermektedir. Bu bilgileri örnek senaryo ile destekleyerek ortaya çıkabilecek olan afet ve afet tipleri gösterilmiştir. Genel çerçevesi ortaya çıkarılan bu sistemleri değişik alanlarda uygulanabileceği de bilinmektedir.

Tüfekçi (2000), Andrew kasırgası Florida'ya ölümcül ve pahalı bir ders vermiştir. Doğal afetlere hazırlıksız yakalanıldığına sonucu pahalı olan bir hatıra olmaktadır. Bu çalışmada yazar fırtına kurtarma yönetimi yapabilen bir karar destek

sisteminin nasıl geliştirileceği hakkında kavramsal bir çerçeve hazırlanmıştır. Karar destek sisteminin en önemli tamamlayıcı programı Florida Üniversitesinde 1990 yılından beri kullanılan kişisel bilgisayar tabanlı fırtına tahliye planlama modülü yazar tarafından geliştirilmiştir. Bu yazılım verilen ulaşım yollarında ve tahliye anında şebeke optimizasyonu bilgisayar simülasyonu ile tahmin etmektedir. Yazar bu sistemin güçlü tahmin yapan ve bilgisayar programının kullanıcı arabiriminin kolay kullanılabilir olduğunu savunmaktadır. Ayrıca geliştirilen bu bilgisayar programı gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır.

Fiedrich ve Ark. (2000), depremlerden sonra üç gün içerisinde kurtarma faaliyetlerinin en etkili olması gereken süredir. Bu süre içerisinde afetzedeler kurtarılma, barınma ve diğer ihtiyaçlarının acil olarak sağlanması gereken zaman olduğunu belirten yazarlar, deprem sonrası kaynak atama problemlerini bir ağ üzerinde göstermişlerdir. Çalışmanın sonucunda deprem sonrası kurtarma yönetiminin de dikkat ve hızlı bir şekilde yapılması gerektiğini senaryolar üzerinde göstermişlerdir. Zararların ez aza indirilmesi senaryolardaki amaçlardan birisidir. Geliştirdikleri bilgisayar programının kullanıcı arabiriminin daha iyi oluşturularak kullanım alanlarının geliştirilmesini öneren yazarlar daha sonraki çalışmalarda bu konuyu irdelleyeceklerdir.

Graber ve Gassman (2000), hava akımları ile etkilenen kaza sonrası havaya rüzgar yolu ile yayılan kirliliği araştırmışlar. Çalışmalarında iki dağ arasına (Alpler ve Jura) kurdukları 22 istasyondan aldıkları verileri örnekleyerek havanın nasıl yayıldığını işaret etmişlerdir. Geliştirdikleri metot ile oluşabilecek bir nükleer kaza sonrası radyasyon bulutlarının veya hava kirliliğinin nasıl davranacağı hakkında bir karar destek sistemi kurulması gerektiğine göre önerilerde bulunmuşlardır. Buldukları tahminler %79 olasılık ile doğru olarak tahmin edilmiştir.

Gregory ve Midgley (2000), çok amaçlı planlama kurumlardaki önemi giderek artmakta özellikle ulaştırma servisleri için daha fazla yarar sağladığı düşünülmektedir. Yazarlar bu çalışmada afet oluktan sonra ulaştırma problemlerinin çözümünde yumuşak sistem yöntemi olarak bahsettikleri daha önceden kullanılan ulaştırma planlarının yararlı olacak şekilde değiştirilmesini önermişlerdir. Çalışmada ondokuz firmaya çalışma eğitimi verilmiştir. Eğitimlerin altı ayrı grupta birer gün

olarak yapılmıştır. Katılımcılarda elde edilen verilerden geliştirilen yöntemden alınacak sonucun önerilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Chengalur-Smith, Belardo ve Pazer (1999), çalışmalarında deprem, sel, fırtına, nükleer kaza ve petrol yayılması ile ilgili afet oluşmasında bu afetlere göre oluşturulan senaryolar ile hemen tahmin yöntemlerini belirlemişler. Afetlerin birden fazlasının aynı anda ortaya çıkması ile paralel senaryolar geliştirilmiş ve durum sonuçlarının neler olabileceği ortaya konulması amaçlanmıştır. Yaptıkları durum analiz sonuçlarında etkin faktörleri ve karakteristiklerini belirleyerek müdahalenin etkin olması için çözüm getirmeye çalışmışlar. Faktör model analizinde finansal, sağlık ve düzeltici eylemlerin ilgilerini de aynı zamanda belirlemişler.

Pidd, deSilva ve Eglese (1996), yazarlar afet durumunda acil yardım için gerekli olan karar destek sisteminin geliştirmeye çalıştığı bu çalışmada karar vericilere afet ve sonrasında acil tıbbi yardımın planlanması konusu incelemişlerdir. Afet bölgelerinde yardımın ulaştırılması için bilgisayar simülasyonu yapılmıştır. Yöntem olarak durağan (statik) ve değişken (dinamik) iki analiz yapan yazarlar coğrafi bilgi sistemlerinde yararlanarak elde edilen verileri bilgisayar simülasyonunda kullanmışlardır. Coğrafi bilgi sistemleri simütatörü (CEMPS) planlayıcılara bazı durumları gerçekleşmesi durumunda kısıtlayıcıların neler olabileceği hakkında da bilgi vermiştir. Oluşabilecek kısıtların bu prototip yardımı ile sağlanabileceğini göstermişlerdir.

Tansel (1995), riskleri önlemek ve azaltmak için mühendislik çözümlerini anlamak, uygulamak ve geliştirmeyi gerekli kılar. Yazar yaptığı çalışmada riskin kamusal ve özel mülkiyet açısından oldukça önemli olduğunu vurgulamaktadır. İnsanların risk toleransı değişik şartlar ve durumlar altında değişiklik göstermektedir. Bir çok doğal afet yaşam şekline bağlı aktivitelere veya ev kazalarına göre daha az öldürücü risk taşımaktadır. Bununla birlikte genellikle doğal afetler yapısal zararlar verdiği gözlenmektedir. Yazar doğal afetlerin yol açtığı önemli zararların maliyet açısından bakıldığında son yıllarda büyük çevresel yıkımlara yol açtığına da dikkat çekmektedir. mülkiyet zararlarının azaltılması dikkatli ve önleyici planlamalar ile azaltılabileceğini yazar savunmaktadır.

Marsı ve Moore (1995), yazarlar bilişim sistemlerinin bütünsel plan

tasarımına teorik olarak katkı sağlayan bir çalışma yapmışlardır. Bu araştırma bilgi,teori, yöntem ve teknolojiyi bütünleştirecek bir çerçeve olmayı sağlayacaktır. Bu araştırma tasarımı stratejisi için aynı zamanda bir prototip deneyinden oluştuğu raporlanmıştır. Oluşturulan bu prototip deneyi sonucunda Los Angeles depremi sonrasında yeniden yapılanma stratejileri kapsamında ele alınan afet politikaların analiz sistemi ile yeniden değerlendirilmiştir.

2.4. Literatür Çalışmasının Sonuçları

Eaton ve Ark. (1985), MLCP yöntemini kullanarak Austin, Texas'ta acil tıbbi yardım servislerini yeniden yapılandırmıştır. Şehir hazırlanan bu plandan 3.4 milyon doları yapısal ve 1.2 milyonu da işletmesinden olmak üzere toplam 4.6 milyon dolar tasarruf sağlamıştır. LSCM ve MLCP modelleri ambulansları oluşturan kazaların senaryolarına veya ortaya çıkmalarına göre ayıramamaktadır. MLCP yapısal olarak güçlü bir modelleme olmasına rağmen tek tipte ambulans olduğundan yeterli çözümü sağlayamaz.

Değişik tipte araçların modellenmesi için kurulan ilk model Schilling ve ark. (1979) itfaiye araçlarının işletilmesi için geliştirilen modeldir. Bu model daha sonra ambulans servisleri için modellenmiştir. TEAM (Tandem Equipment Allocation Model) olarak adlandırılan bu modelde MLCP yönteminde kullanılan kısıtların modele ek olarak girilmesinden kurulmaktadır.

Olasılıksal yöntemlerden olan MEXCLP yönteminin zaman parametresi ile çalışılan modelleme yöntemini TIMEXCLP'dir. Bu yöntem A.B.D. Kentucky ve Louisville şehirlerinde Repede ve Bernado (1994) uygulanmıştır. ReVelle ve Hogan ((1989) verilen a olasılığı ile en fazla talebi karşılayan iki olasılıksal model üzerinde çalışmışlar. MALP (Maximum Availability Location Problem- MALP I ve MALP II) modelleme yöntemlerinde ambulansın çalıştığı bölgelerin hepsinde belirlenen bir güvenlik seviyesinde hizmet verme olasılığının varlığından söz edilmektedir.

Yazarların ambulans yerleşimini incelediği dinamik modelleme yöntemine örnek olarak model DDSM (Dynamic Double Standart Model) vermiştir. Bu modelde zamana bağlı M'_{jl} sabiti t zamanına l ambulansının $j \in w$ bölgesine göre

durum maliyetini ifade etmektedir. Zaman değişkeni t büyüdükçe M_{jt}^t değerinin de büyüdüğü anlaşılmaktadır.

Bilgisayar ve hesaplama teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte bu yöntem oldukça uygulanabilir hale gelmiştir. Gendreau, Laporte ve Semet hızlı tabu arama algoritmasını DDSM yönteminde geliştirmişlerdir.

Sonuç olarak ambulans yerleştirme problemlerinde son yıllarda oldukça önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Deterministik modelleme yöntemlerinde talep bilindiği durumlarda uygun sonuçlar vermektedir. Olasılıksal modelleme yöntemleri ise belirsiz durumların olduğu gelen çağrıların zaman içerisinde değiştiği ve bilinmeyen talebin olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile olasılıksal modellerin geliştirilmesi de kolaylaşacaktır.

ii) Büyükşehirlerde afet durumuna veya acil müdahale durumlarına ait problemlerin çözümünde kullanılan matematiksel modelleme yöntemlerine yangın söndürme araçlarının yerleşimi problemini verebiliriz. Bu konudaki ilk yayın Schilling, Elzinga, Cohon, Church ve ReVelle (1979) yılında yaptıkları belirlilik altında yerleşim problemidir.

Schilling ve Ark. (1979) yaptıkları çalışmada iki ayrı model araç ve yerleşim problemi ile ilgilenmişlerdir. FLEET (Facility Location Ekrarından Equipment Emplacement Technique) modeli p adet yer için yerleşimi mümkün kılan bir modeldir. Bu model daha sonra Marianov ve ReVelle (1992) tarafından tekrar geliştirilmiştir. Bu modelde yangın istasyonlarının tümünü kapsayan iki tür aracın yerleşimi talebi karşılayacak şekilde olduğu kabul edilmiştir.

Barbarosoğlu ve Ark. (2002) çalışmalarının amacı afet kurtarma operasyonunda helikopter görevlerini çizelgeleyecek olan matematiksel modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Acil durum sinyali alındığında hava kuvvetleri tarafından tüm lojistik destek isteyecek bölgelere doğru operasyona başlayacaktır. Taktik ve operasyonel kararları kısaca aşağıdaki gibi tanımlayan yazarlar matematiksel modelde karar değişkenleri olarak kullanmışlardır.

- a) helikopterlerin hava üssünden bulunan helikopter kompozisyonunun operasyon bölgesine atanmasının belirlenmesi,
- b) helikopterlere uçuş kabiliyetine göre pilot atanması

- c) her bir helikopterin en fazla atacağı tur sayısının belirlenmesi
- d) afet bölgesinde operasyon üssünden afet bölgesine araç dağıtım rotalarının belirlenmesi
- e) helikopterlerin her turunda alacağı yükleme, boşaltma, varılacak yer, taşınacak eşya ve kurtarma planı
- f) operasyon üssünde her helikoptere yakıt ikmalinin gerçekleştirilmesi.

Yazarlar matematiksel modeli iki aşamaya göre kurmuşlardır. İlk aşama üst seviye taktik model diğeri ise daha alt seviye olan operasyonel modeldir. Bu modele ait karışık-tam sayılı matematiksel model formülasyon yazarlar tarafında aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Diğer alt seviye operasyonel planın matematiksel modeli helikopterin yapacağı afet alanlarındaki işlemleri için gerekli olan planlama modelidir. Bu modelde afet desteği sağlayan aracın ve diğer kaynakların planlaması yazarlar tarafından gerçekleştirilmiştir. Tam sayılı matematiksel model bütün karar değişkenlerini kapsayacak şekilde geliştirilmiştir. Yazarlar bu çalışma hiyerarşik çok kriterli yöntem ile helikopter lojistik planlamayı işlemiştir. İki aşamalı bozunma yönteminin uygulandığı modelde üst ve alt seviye işlemlerini tanımlayarak modelin amaç fonksiyonuna yaptığı katkıları ayrı olarak görmeye imkân sağlamıştır.

2.5. Çalışmanın Sınıflandırılması

Literatürde bölgesel olarak faaliyet gösteren kurumların yerleşimine ait bir konumlandırma modeline rastlanmamıştır. Yapacak çalışmada birimlerin yeri matematiksel modeli ile kurulacak bir tesis yerleşim modeli olarak sınıflandırılabilir. Modelinin kurulup daha sonra bu modelden elde edilecek veriler ile ekiplerin çizelgelenmesi problemi ise çizelgeleme problemi olarak sınıflandırılabilir. Yerleşim modelinin etkinliğinin test etmek için çizelgeleme yöntemi kullanılacaktır. Çizelgeleme probleminde stokastik durumların varsayımların sınırlandırılması ile modele ait verilerin kullanılması sağlanacaktır. Bu durumdan dolayı problemin sınıflandırılmasında çizelgeleme de sayılabilir.

2.6. Literatürün Genel Değerlendirilmesi

Daha önce yapılan çalışmalarda bu konunun üzerinde durulmamış bu konuya benzer afet sonrası lojistik modelleri, çizelgeleme modelleri ve simülasyon modelleri matematiksel olarak kurulmuştur. Kurulan modellerin sonuçları ve konuya katkıları genel olarak irdelenmiştir. Fakat tam olarak bir deprem senaryo modeli üzerinde bu çalışmalar araştırılmamıştır. Senaryolar depremin karakteristiğine ve bölgelerin özelliklerine göre değişebildiği için bu araştırmalar zordur ve doğru sonuçlara ulaşmak mümkün olmaya bilir. Ancak belirli bir bölge veya birbirine benzer alanlar için yapılan çalışmalarda yararlı sonuçlar alınması beklenebilir.

Afet kurtarma işlemlerinin matematiksel modellerine örnek olarak yapılan bir çalışma Barbarosoğlu, Özdamar ve Çevik (2002) verilebilir. Barbarosoğlu ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada doğal afet kurtarma operasyonlarında helikopter görev planlaması için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Taktik kararların üst seviyede operasyonel rotalama ve yükleme kuralları alt seviyede yapıldığı probleme ait kararların hiyerarşik olarak iki alt probleme bölmüşlerdir. Bölün problemlerin tutarlılığı sezinlenen bilgileri alt seviyeden üst seviyedeki kararları iyileştirmek için transfer eden yinelemeli bir koordinasyon yöntemi ile sağlamışlardır. Bu hiyerarşik yapıda çok amaçlı hedeflerde uyumsuzlukların olmasından dolayı çoklu kriter analizi geliştirmenin gerekliliğini belirterek yüksek seviye karar alıcılarının hakimisi olmayan alternatif çözümlerin değerlendirilmesi için yinelemeli bir yöntem tasarlamışlardır.

Literatürün genelinde afet ile ilgili yapılan çalışmalarda meteorolojik kaynaklı olan afetlerin yıkıcı etkilerine daha çok rastlanmaktadır. Bunun sebeplerinden biri hava tahmin yöntemlerinin gözlemsel veriler yardımı ile önceden kestirilebilir olmasından kaynaklamaktadır. Uydu ve yer gözlem istasyonlarından elde edilen veriler sonucunda fırtına, tayfun ve hortum gibi meteorolojik kaynaklı afetlerin yıkıcı etkilerini tahmin ederek önlemler almak mümkün olabilmektedir. Oluşabilecek herhangi bir depremin önceden bilinmesi veya bu depreme ait verilerin elde edilmesi imkânı bulunmadığından deprem senaryosu çalışmaları deneyler dayalı veriler kullanılarak yapılmaktadır.

Deneyisel veriler ile çalışma sırasında incelenen sistemin genel modelinin kurulması ve sonuçlarının alınması sırasında çeşitli analiz ve deneyisel tasarım teknikleri kullanılmaktadır. Bazı durumlarda bu analiz teknikleri yerine yenilerinin bulunması ve uygulanması gereksinimi doğmaktadır. Literatürde eksik olan bu deneyisel çalışmaların yapılması gereklidir.

3. MATERYAL VE METOD

Deprem beklenmeyen bir durumda ortaya çıkan afet türü olduğu bilinmektedir. Deprem ile ilgili bilgi ve verilerin deprem öncesinde elde edilmesi çok zordur (Kagan ve Jackson, 2000). Her deprem olduğu anda ve bölgenin yer kabuğu özelliğine göre kendi karakteristiği olduğundan aynı zeminde farklı etki gösterdiği de bilinmektedir. Depremlerin oluşu, yer, mekân ve etkileri aynı yerde farklı zamanlarda olduğunda bile birbirinden çok farklıdır (Kagan, 1997).

Yerleşim problemleri Owen ve Daskin (1998), tarafından statik ve deterministik yerleşim problemleri, Dinamik yerleşim problemleri ve stokastik yerleşim problemleri olarak sınıflandırılmıştır. Diğer bir sınıflandırma çalışmasında ReVelle ve Ark. (2007), yaptıkları çalışmada yerleşim problemlerini analitik model, sürekli model, şebeke modeli ve kesikli model olmak üzere dört sınıfta incelemişlerdir. Bu çalışmada geliştirilen matematiksel model kesikli yerleşim modeli sınıflandırmasına uymaktadır.

Herhangi bir afetin matematiksel modelini el ile kurmak ve çözmek oldukça zordur. Bilgisayar modelleri ile bir afet modelini kurmak ve bu modelden sonuç almak programlama ve simülasyon dilleri ile çok daha kolaydır. Bu modellerden bilgisayar yardımı ile elde edilen veriler daha kolay ve hızlı bir şekilde işlenmektedir. Afet modelinin matematiksel modeller yardımı ile kurulması ve bu modelleri bilgisayarda modelleyerek sonuç almak el yardımı ile analitik olarak bu modelleri çözmeye göre oldukça kolay ve güvenirlidir. Her hangi bir matematiksel modeli el ile çözmek model büyüdükçe çözümü imkânsızlaşmaktadır. Bu sebepten dolayı bu çalışmada kurulacak matematiksel modeller de bilgisayar yardımı ile çözülerek sonuçlandırılacaktır. Bu çalışmada kurulacak olan matematiksel modellerde tesis yerleşim ve tam sayılı atama modelleri kapsamındadır. Yerleşim modellerinde tesis yerinin belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalarda kamu sektörüne yönelik çok sayıda model geliştirilmiştir (Drezner Ed. 2005). Bu modeller içerisinde çeşitli kamu ve hizmet sektörüne yönelik modeller bulunmasına rağmen henüz arama kurtarma birliklerinin yerinin belirlenmesi ile ilgili modeller bulunmamaktadır.

3.1. Çalışmada Kullanılan Materyal

Bu çalışmada İstanbul iline ait İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ve Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) tarafından yapılan Deprem Master Planı Raporunda yer alan veriler kullanılmıştır. Ayrıca çalışmanın İstanbul için deprem şiddet ölçekleri Özmen (2001), yapılan araştırmadan alınmıştır.

İBB ve JICA (2002) çalışmasında İstanbul ili ve çevresinde afet önleme çalışmalarının temelini oluşturacak sismik çalışmalar, mikro bölgeleme haritaları ve depreme karşı dayanıklı şehir planı oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmadan mikro bölgele ve ilçelere göre oluşturulan risk faktörleri alınmıştır. Projede gerçekleştirilen dört deprem senaryosu verileri derlenerek bu çalışmanın deprem senaryoları oluşturulmuştur.

Deprem sonrası meydana gelen arama kurtarma birlik talepleri için girdi verileri nüfus istatistiklerinden derlenmiştir. Bölgelere göre nüfus sayılarını belirlemek için TÜİK tarafından 2007 yılında yapılan Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi ADNKS verileri kullanılmıştır.

Deprem sonrasında herhangi bir bölgedeki yaralı sayısı tahmin edilmek isteniyorsa hasarlı bina sayısı oranının bilinmelidir. Hasarlı bina sayısından o bölgeye ait tahmini yaralı sayısı bulunabilir. Tahmini yaralı sayısı o bölgeye ait arama kurtarma birliği talebinin D_{jk} hesaplanmasını sağlar. Tahmini yaralı sayısı oranı i . bölge k tip yaralı için γ_{ik} ile her bölge ve yaralı tipine göre hesaplanabilir Tablo 3.1.

Tablo 3.1. Betonarme Binalar İçin Tahmini Yaralanma Oranları (HAZUS, 1997)

Yaralanma Derecesi	Betonarme Binalar İçin Yaralanma Oranları (%)			
	Hafif Hasar	Orta Hasar	Ağır Hasar	Çok Ağır Hasar
1. Derece	0.05	0.2	1	5-50
2. Derece	0.005	0.02	0.1	1-10
3. Derece	0	0	0.001	0.01-2
4. Derece	0	0	0.001	0.01-2

Tablo 3.1’de betonarme binalar ve Tablo 3.2’de yığma binalar için tahmini yaralanma oranları verilmiştir. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’te yer alan oranlar geçmiş yıllarda ortaya çıkan deprem kayıtlarının verileri göz önüne alınarak yine tahmini olarak oluşturulmuştur. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 verileri gerçekleşen bazı deprem verileri ile karşılaştırıldığında sayısal verilerin birbirine çok yakın çıktığı görülmüştür.

Tablo.3.2. Yığma Binalar İçin Tahmini Yaralanma Oranları (HAZUS, 1997)

Yaralanma Derecesi	Yığma Binalar İçin Yaralanma Oranları (%)			
	Hafif Hasar	Orta Hasar	Ağır Hasar	Çok Ağır Hasar
1. Derece	0.05	0.4	2	10-50
2. Derece	0.005	0.04	0.2	2-10
3. Derece	0	0	0.002	0.02-2
4. Derece	0	0	0.002	0.02-2

HAZUS (1997), tarafından kullanılan bu yöntem de betonarme ve yığma binalar için bina hasarları ile ölüm ve yaralanma oranları arasında yakın ilişki olduğunu göstermektedir. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 incelendiğinde hafif yaralı tahmini ve 4. derece yaralanma oranlarının göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğu görülmektedir. Deprem sonrası yaralı tipleri hafif hasarlı bina ve yaralanma oranı 4. derece oranlar göz ardı edildiğinde HAZUS (1997) tanımlanan üç yaralı tipi ve üç senaryo ortaya çıkmaktadır. Deprem sonrası yaralı tipleri bu çalışmalar göz önüne alındığında üç tip olarak çalışmada dikkate alınır.

Deprem senaryolarının geliştirilmesi için orta, ağır ve çok ağır hasarlar göz önüne alınır. Çalışmada dikkate alınacak hasar tiplerinin senaryoları iyi durum senaryosu S_1 için orta hasar durumu, kötü durum senaryosu S_2 için ağır hasar durumu ve çok kötü durum senaryosu S_3 içinde çok ağır hasar oranından oluşturulur.

Çalışmada kullanılacak senaryolara göre deprem sonrası tahmini yaralı oranları γ_{ik} i . deprem bölgesi k . tip için Tablo 3.3’teki gibi oluşturulur (JICA 2004). Buradaki yaralı tipleri arama kurtarma birliklerinin tiplerini de göstermektedir. Tablo 3.3’deki yaralı tipleri deprem sonrasında hangi tip arama kurtarma birlik tipi ihtiyacı

olacağını göstermektedir. Genellikle arama kurtarma birlikleri bu yaralı tiplerine göre sınıflandırılmaktadır (INSARAG 2006). Deprem sonrası (kentsel) arama kurtarma birliklerinin herhangi bir deprem sonrasında ihtiyaç duyulan üç tip olmasının yeterli olduğunu göstermektedir. Arama kurtarma birlik tiplerinin çeşitlendirilmesi kurtarma faaliyetlerinin eşgüdümünü ve planlanmasını zorlaştırmaktadır. Arama kurtarma birliklerinin deprem sonrası kurtarma faaliyetlerinin sağlıklı bir biçimde yürütülmesi için çok çeşitli tipteki birliklerin yerine temel yaralı tiplerine hizmet verebilecek tipte birlik tiplerinin olması yeterlidir.

Tablo 3.3. Senaryolar İçin Oluşturulan Tahmini Yaralı γ_{ik} Oranları

Yaralı Tipi (k)	Senaryolara Göre Tahmin Yaralı Oranları (%)		
	İyi Durum (S ₁)	Kötü Durum (S ₂)	Çok Kötü Durum (S ₃)
3. Tip (hafif)	5	10	30
2. Tip (orta)	1	5	15
1. Tip (ağır)	0.1	1	5

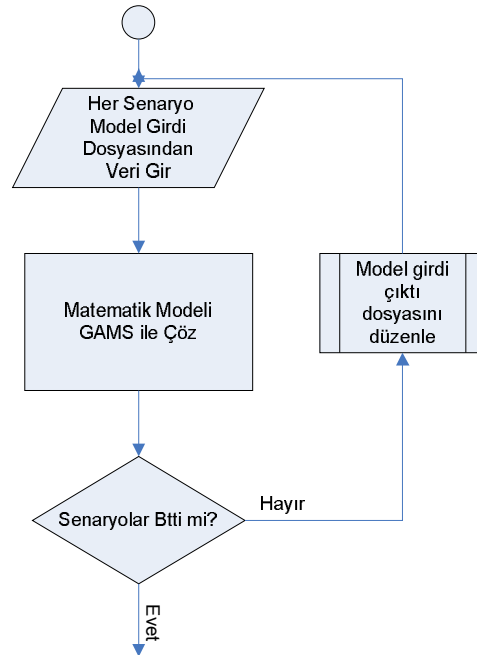
Deprem sonrası tahmini yaralı sayısı oranları bir deprem sonrası bölgelere göre nüfusun ne kadarının yaralanacağını oranını göstermektedir. Deprem olan bölgelerdeki depremin şiddetine göre oluşturulan senaryolarda Tablo 3.3'te yer alan tahmini yaralı oranları kullanılır. Her bölgede deprem şiddetine göre ayrı tahmini yaralı oranları belirlenebilir. Deprem şiddeti ortaya çıktığın bölgenin jeofizik ve demografik özelliklerine göre farklılık gösterebilmektedir.

3.2. Metod

Matematiksel modelleme yöntemleri ile afet öncesi durumların modellenerek planlama yapılmasına olanak sağlamaktadır. Simülasyon modelleri daha çok afet sonrası durumların nasıl gerçekleşeceği hakkında bize bilgi sağlamaktadır. Simülasyon modelinde sistemin herhangi bir parametresini değiştirdiğimizde sistem hakkındaki değişimler ile ilgili olarak anlık verileri alabilmekteyiz. Benzer şekilde bir sistemin matematiksel modelini kurarak modelin davranışı hakkında bilgi sahibi olabiliriz. Fakat matematiksel modeller genellikle statik durumlar hakkında bilgi

almak için uygundur. Bu yüzden matematiksel deneylerin dinamik süreçte nasıl davranacağını görebilmek için benzetim deneyleri yapılmalıdır. Kurulan modelin kısıtları ve karar değişkenlerinin değerleri değiştirilerek sistem hakkında genel bilgiler elde etmemiz mümkündür. Matematiksel modelin girdi parametrelerini değiştirerek modelin davranışı bilgisayar altında geliştirilen matematiksel programlama dilleri sayesinde oldukça kolaylaşmıştır.

Bilgisayar altında modellenebilen matematiksel programlama modellerinde kullanılan çeşitli çözüm algoritmaları vardır. Çözüm algoritmaları kesme düzlemi (cutting plane), dal-sınır (branch and bound), bozunma algoritmaları (decompozition), sezgisel algoritmalar olarak bilinen tabu araştırma (tabu search), genetik algoritmalar (genetic algorithm), tavlama benzetim (simulated annealing) gibi çok sayıda algoritmalar sayılabilir. Bu algoritmaların bazıları problemin karakteristiğine göre genel eniyilenmiş (global optimumu), yerel optimumu veya sezgisel çözümler verebilmektedir. Problemin içerisinde ikili tamsayı değişkenin olması problemin çözülmesini zorlaştırmakta veya sezgisel çözümler ile sonuca ulaşılmaktadır (Owen ve Daskin,1998).

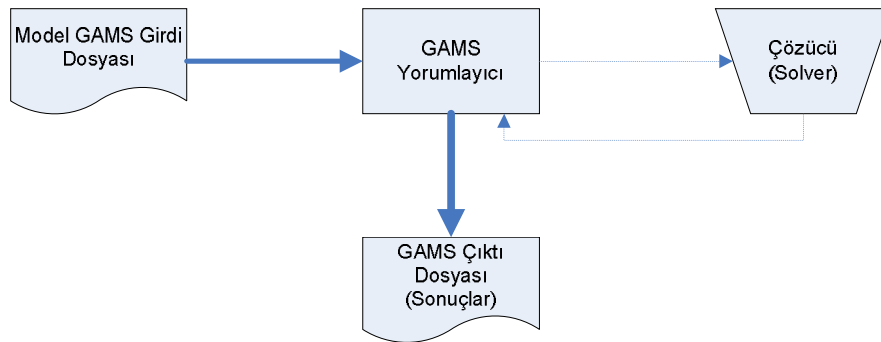


Şekil 3.1. Çalışmanın Matematik Programlama Dili İle Çözüm Akış Diyagramı

Çalışmada kullanılacak olan matematik programlama bilgisayar dili GAMS (General Algebraic Modelling Systems) arabirimine sahip program geliştirme ortamıdır. Bilgisayar programına veriler bir tablolama programı olan Microsoft Excel ofis programında hazırlanan tablolar ile girilmektedir. Matematik modelleme bilgisayar programlama dili GAMS içerisinde değişik çok sayıda çözücü (CPLEX, BARON, OSL, MINOS, GUROBI, v.s. Solver) barındırmaktadır. Problemin karakteristiğine göre uygun çözüm sağlayan çözücü program derleme ve çalıştırılması sırasında seçilebilmektedir. Program içerisindeki kullanıcı program geliştirme arayüzü sayesinde çözcüler yazılan modelin sonucunu bulmaktadır.

Bu çalışmada matematiksel modelin çözülmesinde kullanılacak olan GAMS matematik programlama diline girdi dosyaları Microsoft Excel tabloları şeklinde.gdxrxw.exe bilgisayar programı yardımı ile girilmektedir Şekil 3.2.

GAMS bilgisayar programlama dilinde yazılan model dosyası dışarıdan aldığı verileri çözcüler sayesinde belirlenen algoritma ile çözmektedir Şekil 3.2.



Şekil 3.2. Çalışmada Kullanılacak GAMS Çalışma Prensipleri

Matematiksel modele veri girdi ve çıktı dosyası olarak MS Excel tablolama programı kullanılacaktır. GAMS matematik programlama diline dış ortamdan verileri modelde kullanılacak değişkenlerin katsayı matrisleri, parametre ve sabit değerlerini ifade edecek şekilde hazırlanmıştır. MS Excel tablo hazırlama programından yararlanılarak hazırlanan veri girdi dosyası ile matematiksel programlama aracına (GAMS) daha hızlı ve doğru veri girişi hedeflenmektedir.

Model veri girdi çıktı dosyasındaki parametre ve değişken değerleri ile bunlardan oluşturulan vektörler, sabit değerler ve vektör matrisleri aşağıdaki ifadeleri içerir;

- i. T. Dönem bütçesi B_t
- ii. Bölge indisleri i, j
- iii. Bölgesel risk baskı faktörleri r_{i1}, r_{i2}
- iv. Arama Kurtarma Birliği i. bölge kurulum maliyeti CS_i
- v. Arama Kurtarma Birliği i. bölge k. tip değişken gider maliyeti CR_{ik}
- vi. Bölgeler arası süre cinsinden mesafe t_{ij}
- vii. Bölgeler arası kapsama süresi üst limiti $t_{\max(i)1}, t_{\max(i)2}$
- viii. Açılacak Arama Kurtarma Birlik sayısı üst limiti U_{tk}
- ix. Talep matrisi D_{ik}

3.2.1. Problemin Formülasyonu

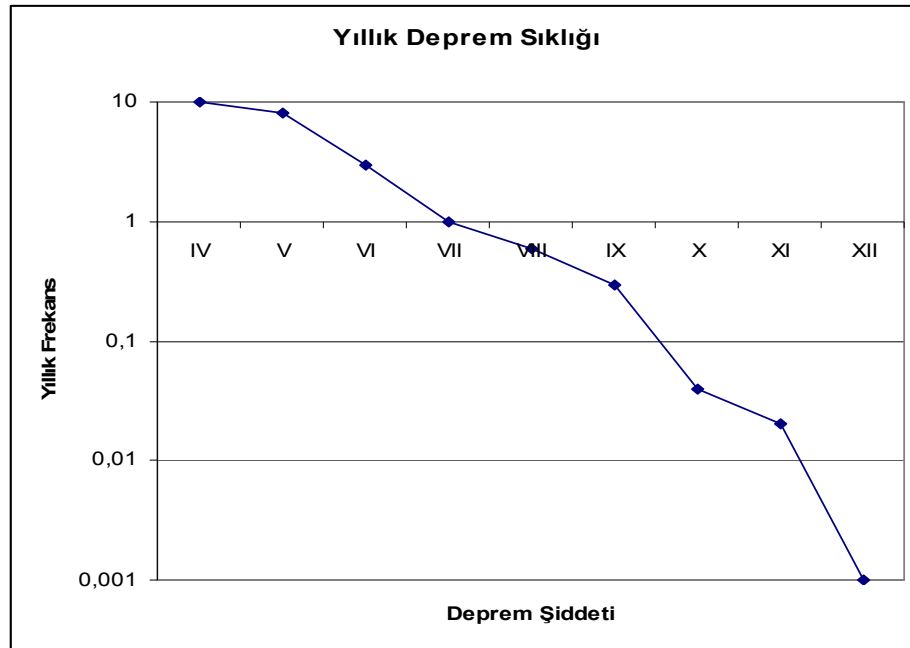
Çalışmadaki modelde karşılaşılan yaralı tiplerine göre arama kurtarma birliklerinin tiplerinin ayrı olması kararlaştırılmıştır. Bu çalışmada kentsel arama kurtarma birliklerinin (INSARAG 2006) yapısı incelenmiş ve $k=1,2,3$ üç tipte arama kurtarma birlik tipi belirlenmiştir. Çalışmadaki talep miktarı arama kurtarma birliği talebidir. Arama kurtarma birliği talebi bölgesel taleptir. Her bölgenin talep tipi ve miktarı değişiklik gösterebilmektedir.

Arama kurtarma birlikleri talebi yaklaşık olarak hesaplanmasında nüfus sayıları kullanılmaktadır. Nüfus deprem bölgesinde ortaya çıkacak potansiyel can kaybı ve yaralı sayılarının belirlenmesinde önemli bir etkidir. Çalışmada en önemli aşamalardan birisi arama kurtarma birlik talebinin D_{ik} belirlenmesidir. Bölgesel nüfus sayıları, demografik yapı, gece ve gündüz nüfusu ve jeofizik yapı gibi çok sayıda faktör birlik talebini etkilemektedir. Bu çalışmada birlik talebi için varsayımlar verilerin hazırlanması aşamasında kararlaştırılır. Bu aşamada gündüz

nüfusu ve tüm yaş aralıklarının kapsandığı aralıktaki nüfus sayısı, birinci derece deprem bölgesi verileri göz önüne alınmıştır.

Çalışma adımlarından anlaşıldığı gibi önce matematiksel model ile çözüm elde edilecek ve daha sonra da elde edilen sonuç verilerinden simülasyon deneyleri yapılacaktır. Elde edilen sonuçlardan gerçek sistem ile geliştirilen model karşılaştırılacaktır. Karşılaştırma sonuçlarına göre sistemin çalışması değerlendirilecektir. Çalışmanın akış diyagramı Şekil 3.10'daki gibi çalışmanın adımlarını gösterir şekilde oluşturulmuştur.

JICA ve IBB (2004) yılında Ergünay ve Erdik 1984 yılındaki çalışmaya benzer olarak Türkiye'de depremlerin yıllık frekanslarının eğrilerini çıkarmışlardır. Ergünay ve Erdik (1984) önerdikleri modelde Poisson modeline göre VII şiddetinde bir depremin bir yılda oluşma ihtimalini %63 olarak açıklamışlardır. Yine aynı çalışmaya göre IX şiddetinde bir depremin ise beş yıl içerisinde olumla ihtimali %63'tür Şekil 3.3. Yapılan çalışmada ortaya çıkan eğri Türkiye'de geçmiş yıllarda oluşan depremlerden elde edilmiştir. Grafikten anlaşıldığı gibi eğri depremin şiddeti arttığında logaritmik olarak azalmaktadır.



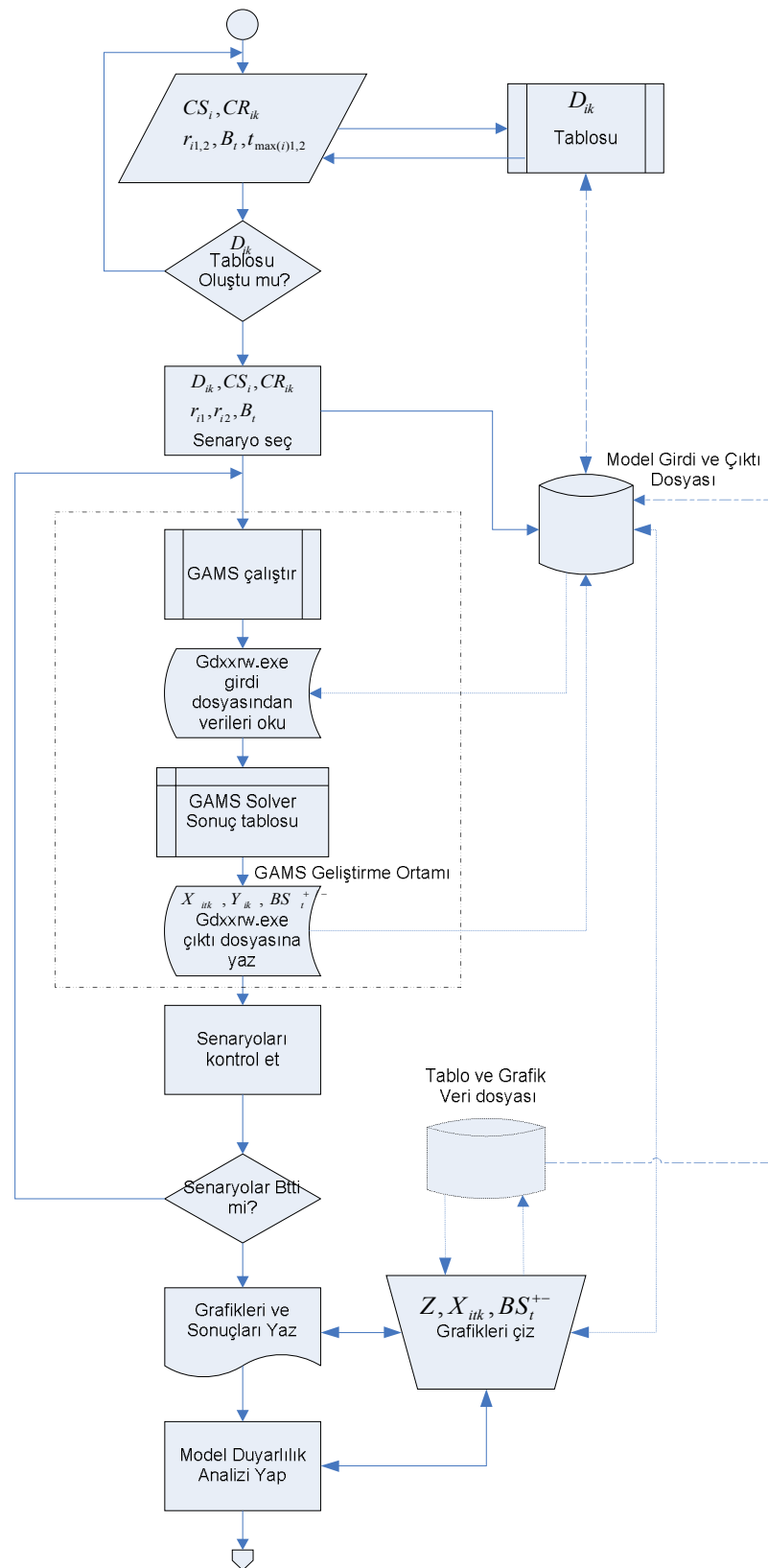
Şekil 3.3. Türkiye'de Depremlerin Yıllık Frekansları (Ergünay ve Erdik, 1984)

Çalışmanın akış diyagramına göre çalışma üç aşamaya ayrılabilir. İlk aşamada matematiksel modelin tanımlandığı çözüm yönteminin belirlendiği ve senaryolarının seçildiği bölüm yer almaktadır. İlk aşamada matematiksel modelin parametre, kullanılacak matrislerin yer aldığı veri girdi ve çıktı dosyaları da oluşturulur. İkinci aşamada matematiksel model GAMS matematiksel programlama dili ile çözüm aşamasıdır. Çalışmanın bu aşamasında geliştirilen matematiksel model bir matematiksel programlama dili olan GAMS yardımı ile kodlanır. GAMS programlama dili ile kodlandıktan sonra seçilen bir çözücü (Solver) ile model çözülür ve elde edilen sonuçlar model çıktı dosyasına yazılır. Son aşamada modelin çalıştırılan senaryoları kontrol edilir. Senaryoların bitişinin ardından bütün senaryolara ait duyarlılık analizi yapılır.

Programın çözümleyicisi CPLEX, CONOPT ve BARON arasından RMINLP (Relaxed Mixed Integer Non-Linear Programming- rmip) çözümünü en kısa sürede veren CONOPT seçilmiştir. GUROBI ile deneyler sırasında lisans sunucusuna bağlanma hatası verdiğinden deneylerdeki kullanımı gerçekleştirilememiştir. Çözücüler (solver) program içerisinde kaynak kodlar yardımı ile programın çalışması sırasında değiştirilebilmektedir. Bu program geliştiren araştırmacıya oldukça kolaylıklar sağlamaktadır.

Modelin GAMS ile kodlanması sırasında ilk olarak primal olarak bilinen orijinal program geliştirilmiştir. Daha sonra Lagrange gevşetme (Relaxtion) alt çözümlemeli optimizasyon (subgradient optimizasyon) program kodları geliştirilerek önce 100 iterasyon için çözülmüştür. Çözüm için belirlenen aralık (gap) %1, ve λ_i başlangıcı ile olarak sıfır, daha sonra bir değeri ile çözüme başlanmıştır. Probleme dışarıdan girilecek olan veriler MS Excel elektronik tablo programı yardımı ile sağlanmıştır. Aynı şekilde program çalışması sonucu elde edilen veriler yine MS Excel elektronik tablo programına GAMS tarafından yazılmıştır Şekil 3.1, Şekil 3.2. çözümde kullanılan veri giriş tabloları, programın kaynak kodlar ve alt programlar ekte verilmiştir.

Matematiksel model, simülasyon modelleme dili olan Rockwell Arena simülasyon programlama dili ile kodlaması yapılır. Kodlaması yapılan simülasyon modelinden elde edilen sonuçlar ile matematiksel model sonuçları karşılaştırılır.



Şekil 3.4. Çalışmanın Matematiksel Modeli Akış Diyagramı

3.2.1.1. Deprem Sonrası Tahmini Yaralı Oranı



Şekil 3.5. Kurtarma Piramidi

Arama kurtarma birliklerinin deprem sonrası kurtarılacak yaralı sayısı hedefi kurtarma piramidindeki Şekil 3.5 oranlar ile hesaplanmaktadır. Kurtarma piramidi üzerindeki oranlar bir bölgede kurtarılması hedeflenen tahmini yaralı sayısı oranlarını vermektedir (Yetkiner, 2008). Bu çalışmada kullanılacak olan tahmini yaralı kurtarma oranları, en üstte kurtarılması hedeflenen ağır yaralı sayısı oranları γ_{j1} , bir alt seviyede orta derecede yaralı sayısı oranları γ_{j2} ve en alt seviyede ise hafif yaralı sayısı oranları γ_{j3} şeklindedir.

Kurtarma piramidi genellikle deprem bölgesinde tek bir oran olarak belirlenmektedir. Eğer deprem bölgesinin çok büyük olduğu e yeterli arama kurtarma birliği sayısı mevcutsa bu durumda kurtarma piramidindeki oran bölgelere göre ayrı olarak belirlenebilir.

Arama kurtarma birliklerinin nitelikleri kazazedelerin durumlarına göre açıklanabilir. Arama kurtarma birliklerinin yapısı için INSARAG tarafından oluşturulmuş organizasyon çerçevesi vardır. Kurtarma piramidi, INSARAG, 2006, s85'te bu yapısal çerçeveye göre oluşturulan arama kurtarma birlik katmanında yer almaktadır. Kurtarma piramidinde en üstte yer alan %5 oransal değer enkaza sıkışmış olan ve teknik kurtarma ilerdi kurtarma donanımı gerektiren nüfus oranıdır.

Piramidin orta katmanında yer alan %15 değer ise deprem sonrası enkaz boşluklarında mahsur kalmış olan ve profesyonel donanımlı müdahaleciler tarafından kurtarma gerektiren nüfus sayısı oranıdır. Kurtarma piramidinin en altında yer alan %30 oran yapısal olmayan alanlarda sıkışmış olan ve hafif donanımlı olan teknik personel tarafından kurtarılmayı bekleyenlerin nüfus oranıdır.

3.2.1.2. Arama Kurtarma Birlik Talebinin Hesaplanması

Depremden etkilenen yaralı sayısı arama kurtarma birliklerinin ihtiyacını belirlemede önemli bir etkidir. Arama kurtarma birliklerinin depremden etkilenen bölgelere göre dağılımını da bu yaralı nüfusun büyüklüğü belirlemektedir. Arama kurtarma birliklerinin i . bölgede k . tip talebi D_{ik} deprem bölgelerinde kurtarılması hedeflenen yaralı sayısı oranı ile de ilgilidir. Tahmini yaralı sayısı deprem bölgesindeki toplam nüfusun tahmini bölgesel yaralı sayısı oranı γ_{jk} ile çarpılmasından elde edilir.

Arama kurtarma birliklerinin talebinin hesaplanabilmesi için önce bölgesel nüfus sayısı bilinmelidir. Bölgesel nüfus sayısı NS_i ile bölgelere göre tahmini yaralı oranları γ_{jk} çarpılarak bölgesel tahmini yaralı sayısı matrisi BNS_{ik} denklem (3.10) elde edilir.

$$BNS_{ik} = [NS_i \gamma_{ik}]_{ik} \quad (3.10)$$

Bölgesel nüfus sayıları BNS_{ik} i . bölgeye ait k . tipte tahmini yaralı sayısını vermektedir. Bölgesel nüfus sayısı o bölgedeki kurtarılabilecek tüm yaralı sayısını vermez. Tüm yaralıların kurtarılması hedefleniyorsa BNS_{ik} sayısı geçerli olacaktır. Fakat tüm yaralıların kurtarılması mümkün değildir. Arama kurtarma birlikleri bölgesel yaralı sayılarının en fazla olduğu alanlarda hizmet vermesi istenir. Bundan dolayı kurtarılması hedeflenen k . tip yaralı sayısı oranının KO_k da bilinmesi gereklidir. Kurtarılması hedeflenen yaralı sayısı oranı kurtarma piramidi tekniği ile belirlenebilir. Kurtarma piramidinden bütün deprem bölgesinde kurtarılması

hedeflenen yaralı sayısı genel olarak belirlenmektedir. Deprem bölgesi çok büyük olduğunda bölgesel olarak kurtarılması hedeflenen yaralı oranlar da belirlenebilir.

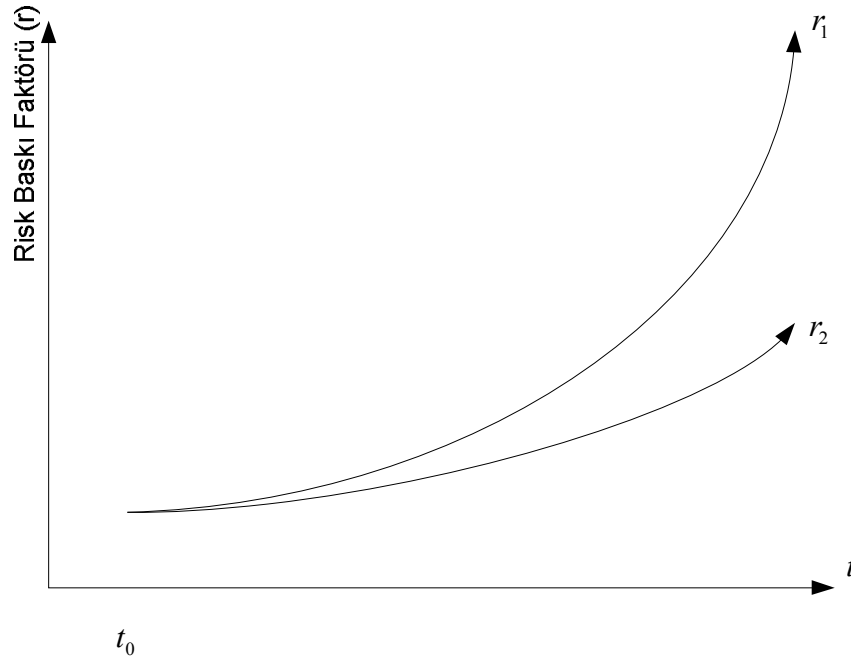
Kurtarma piramidi göz önüne alındığında arama kurtarma birliği talepleri D_{ik} bölgesel yaralı talebine göre nüfus sayısı BNS_{ik} kurtarılabilecek yaralı tipi oranı KO_k ile bulunmaktadır (3.11). Denklem (3.11) göre arama kurtarma birlik talep matrisi bölgelerde bulunan k . tip yaralı nüfusu kurtarılması hedeflenen yaralı oranı KO_k ile oluşturulur. Bu oran her senaryoda değiştirilerek muhtemel senaryoların arama kurtarma birlik talepleri matrisi oluşturulur.

$$D_{ik} = [BNS_{ik} KO_k]_{ixk} \quad (3.11)$$

Denklem (3.2) yer alan kurtarma oranı KO_k kurtarma piramidinde Şekil 3.6 yer alan oranlardır. Bu oranlar deneye dayalı sayısal oranlardan oluşturulmakta ve genellikle depremlerin olduğu bölgelere göre değişmektedir (INSARAG 2006).

3.2.1.3. Risk Baskı Faktörü

Risk baskı faktörü amaç fonksiyonun ilk terimleri arasında çarpan olarak yer alır. Risk baskı faktörü açılacak birliklerin bir planlama periyodu içerisinde mevcut bütçe büyüklüğüne göre birliklerin deprem olmadan mümkün olduğunca önceden açılmasını sağlar. Risk baskı faktörü $f(x) = (1 + r_i)^t$ şeklinde bir denklem olarak ifade edilebilir. Denklemde yer alan r_i ifadesi i . bölgeye ait risk baskı faktörünü ifade eder. Planlama periyodu içerisinde risk baskı faktörünün amaç fonksiyondaki etkisi t . süre ilerledikçe $f(x)$ değeri artar Şekil 3.6. Şekil 3.11’de görüldüğü gibi olan sıfırda r_i risk baskı faktörünün etkisi yoktur. Başlangıç değeri t_0 ’dan itibaren fonksiyon r_i değerine göre eğri şeklinin değiştiği görülmektedir. Risk baskı faktörü iki değer için karşılaştırdığımızda değeri $r_1 > r_2$ olduğunda r_1 değerindeki risk baskı faktörünün etkisinin r_2 göre daha fazla oldu görülür.



Şekil 3.6. Risk Baskı Faktörü Eğrisi

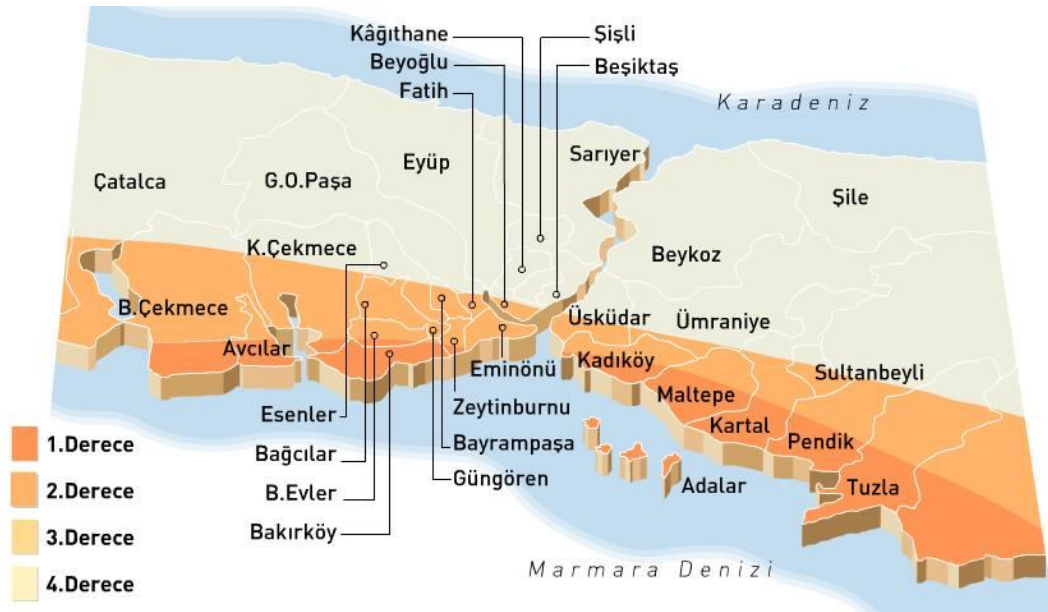
Risk baskı faktörü birden fazla dönemlerde oluşan planlama periyodu içerisinde sabit bir değer olarak tanımlamak bazı durumlarda doğru olmayabilir. Deprem riskinin her bölge için ayrı değerde olabilmektedir. Deprem birden fazla bölgeyi etkileyebileceğinden her bölgenin ayrı risk baskı faktörü olmalıdır. Bölgelerde farklılık ve önceliklerin olması yerleşim problemlerinde çeşitli yaklaşımların geliştirilmesine neden olmuştur.

Yerleşim problemlerinde bölgelerin farklı özellik ve niteliklerinden dolayı farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. İkinci kapsama (yedekli kapsama) modeli (Hogan ve ReVelle, 1986) tarafından BACOP2 modeli olarak geliştirilmiştir. İlk çalışmaların LSCP problemin şeklinde Berlin (1972), tarafından başladığı, Daskin ve Stern (1981), Benedict (1983), Eaton ve ark. (1986) tarafından da değişik problemler için önerildiği bilinmektedir. BACOP2 modeli yedekli kapsama modeli de MLCP modellerinden yararlanılarak geliştirilmiştir (Selim ve Özkarahan, 2003). Yazarlara göre yedek veya çoklu kapsama; belirlenen bir zaman veya mesafe standardı içerisinde birden fazla hizmet biriminin bulunması diğer bir ifade ile bir talep bölgesinin bir defadan fazla kapsanması anlamına gelmektedir. Acil servis

sistemlerinde meydana gelen tıkanıklıklar yani önceden belirlenmiş bir zaman veya mesafe standardı içerisinde bir hizmet aracının bulunmamasının yoğun olduğu durumlar yüksek hizmet gereksinimi duyan bölgelerin zamanın büyük bir bölümünde kapsanamamasına neden olur. Bu durum, yedek kapsama ve çoklu kapsama modellerinin oluşturulmasındaki ana motivasyon kaynağıdır. Daha önceki yedek kapsama modelleri her bir talep bölgesinin en az bir kez kapsanmasını öngördüğü için Hogan ve ReVelle (1986) yeni bir model geliştirme gerekliliği duymuştur. Çünkü bu düzeyde bir hizmet sağlamak ekonomik açıdan her zaman mümkün olmamaktadır. Bu model, birinci ve ikinci kez kapsamayı aynı anda optimize etme olanağı sağlamaktadır. Burada her bir amaç diğer amaca daha fazla ulaşmak için belli bir oranda feda edilebilmektedir. Yani bu modelde acil hizmet talebi az olan bölgeleri bir kez kapsamak yerine talebi yüksek olan bölgelere yedek kapsama sağlamak söz konusu olabilmektedir. BACOP2 modeli, MCLM'nin genişletilmiş şekli olarak düşünülebilir. Bu nedenle BACOP2 modeli kısıtları bu çalışmadaki modelde önerilen ikinci kapsamayı gerçekleştirecek kısıtlardır.

Risk baskı faktörü bu çalışmada ikinci kapsama alanı bulunacağından r_{i1} ilk kapsama alanı risk baskı faktörünü, r_{i2} ise ikinci kapsama alanında bulunan risk baskı faktörünü ifade edecektir. Birinci risk baskı faktörü $r_{i1} > r_{i2}$ şartını sağlamalıdır.

Risk baskı faktörü bölgesel olarak değişiklik gösterir. Deprem oluşabilecek her bölge benzer ve farklı jeofizik özelliklerine sahip olabilir. Bu durum deprem haritalarından daha iyi anlaşılabilir. Örneğin İstanbul ili deprem haritasına bakılacak olursa İstanbul'un güney kesimlerinin daha yüksek deprem riski taşıdığı görülmektedir Şekil 3.7.



Şekil 3.7. İstanbul İli Deprem Haritası

Deprem şiddeti bir şehrin değişik bölgelerinde farklı büyüklüklerde de ortaya çıkmaktadır. Deprem şiddeti bölgenin depremin büyüklüğü, coğrafi bölge, demografik özellikleri ve binaların depreme karşı dayanımları ile ilgili olduğu bilinmektedir. Buna göre depremin şiddeti bir bölgeden diğerine farklılık gösterebilmektedir. Bölgeler arası deprem şiddetinin farklı olmasından dolayı r_{i1} risk baskı faktörünün de her bölge için değişik alınması gerekir. Risk baskı faktörünün r_{i1} her bölge için farklı alınması aynı zamanda modelin daha gerçekçi olmasına yardımcı olacaktır.

3.2.2.1 Model Varsayımları

Matematiksel modelin ifade edilmesinde modelin kapsadığı çalışma alanı ile ilgili sınırlar varsayımlar ile daha anlaşılır olmaktadır. Bu çalışmada matematiksel modele ait varsayımlar aşağıdaki gibi olacaktır;

- i. Depremin ortaya çıktığı bölge ve uzaklıkları biliniyor,
- ii. Deprem sonrası bütün bölgelere ulaşılabilir,
- iii. Depremden etkilenen nüfus sayısı biliniyor ve hesaplanabilir,

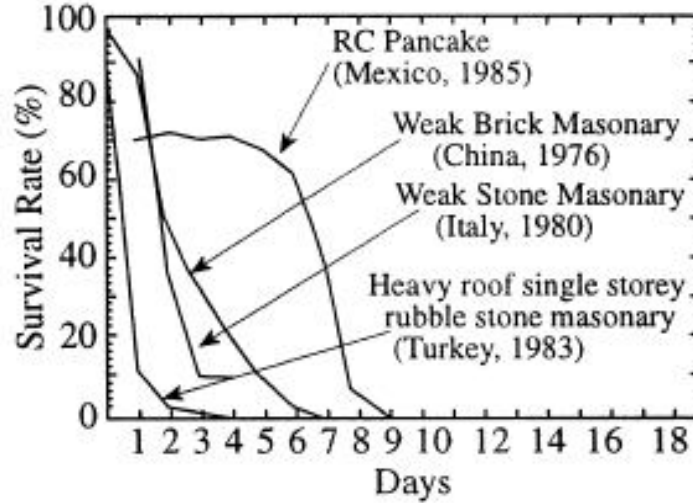
- iv. Deprem sonrası binaların hasar oranları biliniyor ve hesaplanabilir,
- v. Birliklerin sayıları sınırlıdır ve hepsi kullanılabilir,
- vi. Birlik Talebini oluşturan aday bölgeler sınırlı sayıdadır,
- vii. Kurtarma birliklerinin sayıları sınırlıdır,
- viii. Yatırım ve dönemlik işletme gideri bütçesi belirlidir,
- ix. Planlama dönem aralıkları eşit ve belirlidir,
- x. Yatırımlar dönem başında yapılmaktadır,
- xi. Her senaryo için tek çözüm vardır.

Çalışmadaki varsayımlar *i-iv* arasındakiler depremin etkilerinden kaynaklanan verilerden oluşmaktadır. Sonraki *v-vii* arasındaki varsayımlar arama kurtarma birlikleri ile ilgili olanlardır. Son bölümde yer alan *viii-xi* arasındaki varsayımlar da çalışmada kullanılacak dönemler ile ilgili varsayımlardır. Planlama ve bütçe dönemlerinin aynı olduğu ve planlama döneminin aynı zamanda bütçe dönemini ifade ettiği göz önüne alınmalıdır. Bir planlama dönemi bütçesinde kurulacak birlik sayısının kurulumu yapılırken o döneme ait işletme giderlerinin de göz önüne alınmasını önemli hale getirir. Arama kurtarma birliklerinin kurulumu planlama dönemi başında yapılmaktadır. Bundan dolayı kurulum maliyeti CS_t ye ek olarak içinde bulunan dönem birlik işletme giderleri CR_{ik} planlama dönemi başındaki bütçe B_t denkliği aranmaktadır. Bunlara ek olarak dönem bütçesi B_t önceki dönemlerde açılan birliklerin işletme giderlerini CR_{ik} de göz önüne almaktadır.

3.2.2.2. Performans Değişkenleri

Modelde deprem sonrasında ortaya çıkan yaralıların en kısa sürede ulaşılması ve kurtarılması çok önemlidir (Gong ve Batta, 2007). Bu süreden sonra kurtarılacak olan yaralıların yaşama şansı süre uzadıkça düşmektedir. Shultz ve ark (1996), yaptıkları çalışmada ile 24-48 saat içerisinde kurtarılan yaralıların %85 ile %95'inin yaşadığını göstermişlerdir. Coburn ve ark. (1991) ve Kawata (1995) göre depremden sonra kurtarılan yaralı sayısı 4-7 gün arasında değişmektedir Şekil 3.8.

Her dönem içerisinde k . tipte kurtarma birlik talebi birbirinden farklıdır. Bu çalışmada k . tip birlik talebi elde bulunan mevcut birliklerin sayısından fazla olabilmektedir. Bu durumda performans değişkenleri daha çok önem kazanmaktadır.



Şekil 3.8. Deprem Sonrası Yaralı Sayısı Dağılımı, Coburn ve Ark.,(1991)

Çalışmanın performans değişkenleri bütçe sapmasının BS_t minizasyonu, t . dönem bütçelerinin B_t minimizasyonu, arama kurtarma birlik talebinin D_{ik} karşılanması, birinci kapsama alanının maksimizasyonu, ikinci kapsama alanının maksimizasyonu olarak belirlenmiştir.

3.2.2.3. Çalışmada Kullanılacak Notasyon

Modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları için kullanılacak olan Notasyon ile parametre ve değişkenler aşağıdaki gibidir.

Modele Ait İndisler

- t : planlama periyotları $t=1,2,3,...,T$
 i,j : bölgelerin indisleri $i=1,2,3,...,m$ $j=1,2,3,...,m$
 k : birlik tipleri $k=1,2,3$

Karar Değişkenleri

- X_{jkt} : t . dönemde j . bölgeye eklenen k . tip birlik sayısı

$$Y_{jt} = \begin{cases} 1 & \text{eger } t. \text{ donemde } j. \text{ bo lg ede yeni bir istasyon kurulursa} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

$$Z_{ijkt}^1 : t. \text{ dönemde birincil kapsama olarak } i. \text{ bölgeden } j. \text{ bölgenin } k. \text{ tipten karşılanan birlik sayısı } t=1,2,3,\dots,T \quad i=1,2,3,\dots,n \quad k=1,2,3 \quad i \in S_j^1$$

$$Z_{ijkt}^2 : t. \text{ dönemde birincil kapsama olarak } i. \text{ bölgeden } j. \text{ bölgenin } k. \text{ tipten karşılanan birlik sayısı } t=1,2,3,\dots,T \quad i=1,2,3,\dots,n \quad k=1,2,3 \quad i \in S_j^2$$

$$W_{jik}^1 : \text{Başlangıçta } j. \text{ bölgede bulunan } k. \text{ tip birliklerden } i. \text{ bölgeye birincil kapsama olarak atanacak birlik sayısı } j=1,2,3,\dots,m \quad i=1,2,3,\dots,n \quad k=1,2,3$$

$$W_{jik}^2 : \text{Başlangıçta } j. \text{ bölgede bulunan } k. \text{ tip birliklerden } i. \text{ bölgeye ikincil kapsama olarak atanacak alacak birlik sayısı } j=1,2,3,\dots,m \quad i=1,2,3,\dots,n \quad k=1,2,3$$

Modeldeki bölgelere göre girdi parametreleri

$$I_j = \begin{cases} 1 & j. \text{ bo lg ede baslangicta istasyon var sa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$N_{jk} : j. \text{ bölgede } k. \text{ tipteki başlangıçta mevcut birlik sayısı } j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,3$$

$$CS_j : j. \text{ bölgede yeni bir istasyon kurulum maliyeti } j=1,2,3,\dots,m$$

$$CR_{jk} : j. \text{ bölgede } k \text{ tip birliklerin yıllık işletme maliyeti } j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,3$$

$$D_{jk} : j. \text{ bölgede } k. \text{ tip birlik talebi } j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,3$$

$$r_j^1 : j. \text{ bölge birinci kapsama alanı için risk baskı faktörü } j=1,2,3,\dots,m$$

$$r_j^2 : j. \text{ bölge ikinci kapsama alanı için risk baskı faktörü } i=1,2,3,\dots,m$$

Genel girdi parametreleri

$$B_t : t. \text{ dönem bütçe miktarı } t=1,2,3,\dots,T$$

$$BS^+ : t. \text{ dönemde pozitif yönde bütçe sapması } t=1,2,3,\dots,T$$

$$BS^- : t. \text{ dönemde negatif yönde bütçe sapması } t=1,2,3,\dots,T$$

$$U_{tk} : t. \text{ dönemde } k. \text{ tipte açılabilir en fazla birlik sayısı } t=1,2,3,\dots,T, \quad k=1,2,3$$

P_t : t . dönemde pozitif bütçe sapması için ceza puanı $t=1,2,3,...,T$

Tanımlamalar

S_j^1 : j . bölgede birincil kapsama olarak birlik gönderebilecek bölgelerin kümesi

S_j^2 : j . bölgede ikincil kapsama olarak birlik gönderebilecek bölgelerin kümesi

3.2.2.4. Matematiksel Programlama Modeli

Çalışmada arama kurtarma birlikleri t . dönem içerisinde k . tipte oluşan arama kurtarma birlik talebini en fazla karşılayacak model geliştirilmiştir. Karar değişkeni X_{tk} t . dönemde j . bölgeye k . tipte kurulacak birlik sayısını gösterir. D_{tk} ifadesi arama kurtarma birliklerinin j bölgedeki k tip talebini gösterir. Modeldeki belirsiz durumda olan parametreleri tahmini olarak

Amaç fonksiyon

Amaç fonksiyon (3.1) t . dönemde k . tip birlik talebi ile gerçekleşen birlik sayısı arasındaki farkın risk baskı faktörü ile çarpımının en küçüklenmesine çalışır. Denklemdaki ilk ifade t . dönemdeki k . tipteki birlik talebi ile t . dönemde gerçekleşen birlik sayısı farkı bir risk baskı faktörü ile çarpılarak t . dönemde risk baskı faktörünün etkisi göre birlik kurulmasına zorlar. Amaç fonksiyondaki ikinci ifade t . dönem bütçesinden sapma sabit bir ceza puanı ile cezalandırılmaktadır.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{j=1}^m \left\{ \left[D_{jk} - \sum_{i \in S_i^1} \sum_{k=1}^3 W_{ijk}^1 - \sum_{t_0}^t \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^3 Z_{ijkt}^1 \right] (1 + r_j^1)^t \right\} + \right. \\ & \left. \sum_{j=1}^m \left\{ \left[D_{jk} - \sum_{i \in S_i^1} \sum_{k=1}^3 W_{ijk}^2 - \sum_{t_0}^t \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^3 Z_{ijkt}^2 \right] (1 + r_j^2)^t \right\} \right\} + \sum_{t=1}^T BS_t^+ P_t \end{aligned} \quad (3.1)$$

*Kısıtlar**Bütçe Kısıtı*

Maliyetler ikiye ayrı sınıfta kısıtlara yazılmaktadır. Denklem (3.2) ilk ifadesinde kurulacak birliklerin kurulum maliyetleri gösterilmekte, ikinci ifadesinde ise birliklerin işletme giderlerinin incelendiği kısım yer almaktadır. Sol tarafa yer alan B_t bütçe miktarından maliyetler çıkartılarak toplam bütçe sapması $BS_t^{+/-}$ bulunmaktadır.

$$\sum_{j=1}^m (Y_{jt} CS_j) + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^3 CR_{jk} (N_{jk} + X_{jkt}) - B_t = BS_t^+ - BS_t^- \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (3.2)$$

Birlik Atanmış ise mutlaka istasyon kurulmalı

Bir bölgede herhangi bir k. tip kurulması için o bölgede daha önceden açılmış bir istasyon veya t. planlama dönemlerinden birisinde istasyon açılmış olmalı. Denklem (3.3) bir bölgede en fazla bir adet istasyon açılmasına izin verir.

$$I_j + \sum_{t=1}^T Y_{jt} \leq 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.3)$$

Denklem (3.4) t. planlama döneminde i. bölgeye eklenecek k. tip birlik için mutlaka bir istasyon açılmasını sağlar.

$$M \left[I_j + \sum_{t_0}^t Y_{jt} \right] \geq \sum_{k=1}^3 X_{jkt} \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (3.4)$$

Birlik Sayısının Üst Limit Kısıtı

Arama kurtarma birlikleri bütçe kısıtından B_t dolayı her t. dönemde k. tipte belirli bir üst limiti olan U_{tk} sayıda açılabilirler.

$$\sum_{j=1}^m X_{jkt} \leq U_{tk} \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad k = 1, 2, 3 \quad (3.5)$$

Birinci Kapsama Alanından Diğer Bölgelere Aktarılan Birlik Sayısı Eldeki Birlik Sayısına Eşit Olmalı

Birinci kapsama alanında bulunan j . bölgeden herhangi bir i . bölgeye aktarılabacak birlik sayısı Z_{ijkt}^1 o bölgeye hizmet verebilecek birlik sayısı toplamını geçmemeli.

$$N_{jk} = \sum_{i=1}^m W_{ijk}^1 \quad j = 1,2,3\dots,m \quad k = 1,2,3 \quad (3.6)$$

$$X_{jtk} = \sum_{i=1}^m Z_{ijkt}^1 \quad j = 01,2,3,m \quad t = 1,2,3,\dots,T \quad k = 1,2,3 \quad (3.7)$$

İkinci Kapsama Alanından Diğer Bölgelere Aktarılan Birlik Sayısı Eldeki Birlik Sayısına Eşit Olmalı

İkinci kapsama alanında bulunan i . bölgeden herhangi bir j . bölgeye aktarılabacak birlik sayısı Z_{ijkt}^2 o bölgeye hizmet verebilecek birlik sayısı toplamını geçmemeli.

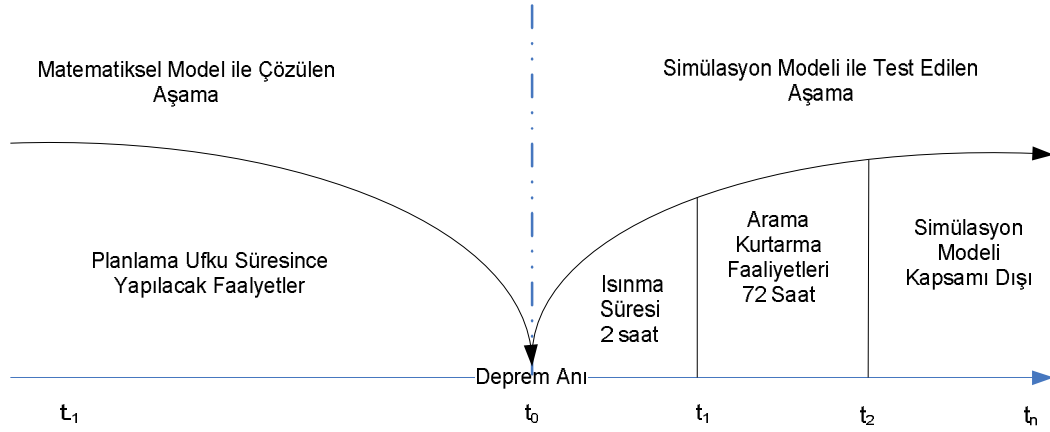
$$N_{jk} = \sum_{i=1}^m W_{ijk}^2 \quad j = 1,2,3\dots,m \quad k = 1,2,3 \quad (3.8)$$

$$X_{jtk} = \sum_{i=1}^m Z_{ijkt}^2 \quad j = 01,2,3,m \quad t = 1,2,3,\dots,T \quad k = 1,2,3 \quad (3.9)$$

3.2.3. Simülasyon Modeli

Doğal afet kurtarma senaryolarının bazılarını test etmek zor, pahalıdır (Lofdahl, 2009). Matematiksel modelin verdiği sonuçların test edilmesi ve sonuçlar hakkında detaylı bilgiye sahip olmak için simülasyon modelleri kullanılabilir. Matematiksel modeli çeşitli durum senaryolarına göre bilgisayar simülasyon modelleme programları ile depremleri senaryolarını göre istediğimiz büyüklüğe ve etkiye göre oluşturmamız mümkündür. Bu çalışmada kurulan matematiksel model deprem öncesi bir planlama ufku boyunca yapılacak faaliyetleri kapsamaktadır (Şekil 3.6). Kurulan matematiksel model deprem sonrası hakkında herhangi bir bilgi

vermemektedir. Deprem sonrası matematiksel ile ilgili olarak olacaklar hakkında simülasyon modeli bilgi edinilebilir.



Şekil 3.9. Matematiksel Model ve Simülasyon Modeli Faaliyet Süreci

Çalışmada kullanılacak olan bilgisayar simülasyon programı görsel programlama ara birimine sahip olan Rockwell Arena'dır. Matematik modelde olduğu gibi simülasyon programında da veri girdi çıktı dosyası oluşturulur. Matematik modelde girdi dosyasında yer alan veriler simülasyon programına uygun duruma getirilir. Veri giriş çıkışı için uygun duruma getirilen veriler simülasyon programının ihtiyaç duyduğu verilerdir. Simülasyon programı çalıştırıldıktan sonra alınan sonuçlar çıktı dosyası olarak belirlenen Microsoft Excel tablolama programına yazdırılır. Bu sonuçların çıktı dosyasına yazdırılmasındaki temel amaç verileri kolay, hızlı ve güvenilir bir şekilde analizinin yapılmasıdır. Simülasyon çıktı verilerinin sonuç tablolarına el ile giriş yapılması çeşitli hatalara neden olabilir. Bu nedenden dolayı simülasyon sonuçlarının oluşturulan çıktı dosyasına Arena simülasyon programı ile girilmesi daha güvenli olacaktır.

Çalışmadaki matematiksel modele göre kurulan simülasyon modeli matematiksel modelde olduğu gibi üç ayrı senaryodan oluşmaktadır. Bu senaryolar iyi durum, kötü durum ve çok durum senaryolarıdır. Simülasyon modeline girilen senaryolara ait veriler GAMS matematik programlama dilinde kullanılan verilerdir.

Simülasyon deneylerinde gerçek hayattaki bir sistemin veya problemin değişik şartlar altında işleyişi, tasarımı hakkında bilgi sahibi olmak veya sistemin

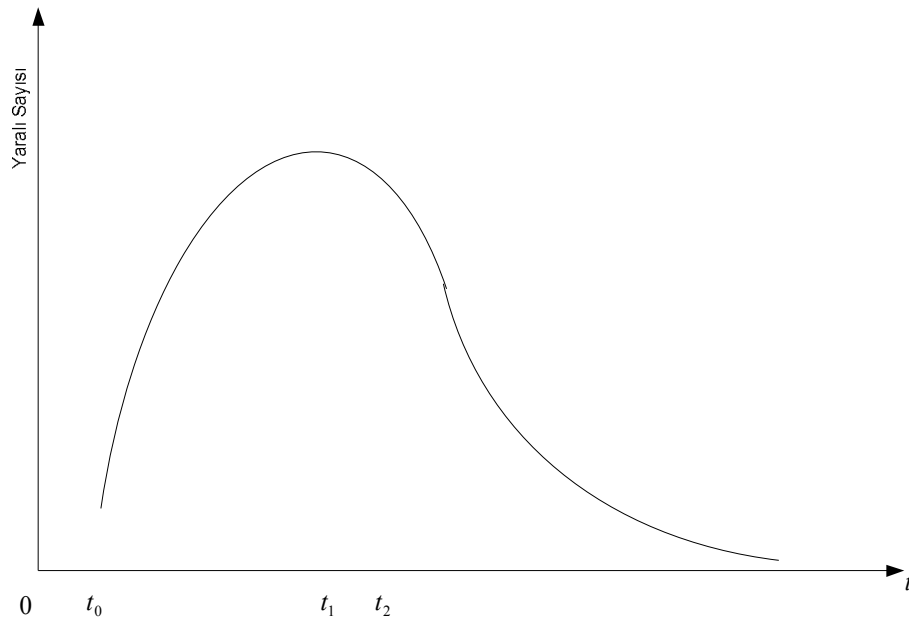
vereceği cevapları incelemek amacı ile kurulduğu bilinmektedir. Bir simülasyon bilgisayar programlama dili ile bu türden sistemler kodlanarak simülasyon modellerinin kurulması sağlanır. Simülasyon deneylerinde gerçek hayatta yapılamayan veya gerçekleştirilmesi çeşitli kısıtlara bağlı olan sistemlerin modeli bilgisayar üzerinde kurularak çözülür. Deneylerden elde edilen verilerin analizi yapılarak modeli kurulan deneyin gerçek hayatta olması durumunda nasıl sonuç vereceğine ulaşılır. Bu çalışmada matematiksel modelin oluşabilecek bir deprem sonrasındaki sonuçları elde edilmeye çalışılacaktır. Deprem modeli kötü durum senaryosu S_2 test edilecektir. Bilgisayar sisteminde simülasyon programı gerçek hayattaki koşulları oluşturacak bilgisayar kodlarına sahiptir.

Deprem öncesi genellikle bilinen veya durağan bir durumdur. Eldeki veriler olacak bir deprem hakkında kesin bir bilgi vermez. Bu durum risk yönetimi yöntemleri ile yönetilir. Deprem sonrası ise genellikle kriz yönetimi yöntemleri kullanılarak yönetilmeye çalışılır. Deprem sonrası ortaya çıkan durum ise oldukça kritiktir ve anlık karar verme süreçlerini içerir. Kaynakların en kısa sürede ihtiyaç olan bölgelere gönderilmesi ve planlanması gereklidir. Etkin bir kaynak yönetimi ve hızlı karar verme süreçleri içeren yöntemler kullanılmalıdır. Etkin kaynak yönetimi kaynakların dağıtılması işlevlerini yerinde ve zamanında yapmalıdır. Hızlı karar verme süreci ise deprem sonrası aniden gelişen anlık koşullara göre davranış gösterecek senaryolardan oluşmalıdır. Aynı zamanda bu süreç dinamik ve anlık karar verebilen karar destek sistemini içermelidir. Hazırlıksız olduğunda bu türden olaylar çok büyük yıkımlara yol açmaktadır. Bu yüzden deprem sonrası oluşabilecek olan olayların simülasyonu ile senaryoları test edilerek oluşabilecek durumlara karşı hazırlıklı olmak ve tedbir almak mümkündür.

3.2.3.1 Simülasyon Deneylerinin Tasarımı

Problemin matematiksel çözümünden elde edilen sonuçlara göre bir senaryo modeli seçilmiştir. Seçilen senaryo modeli oluşabilecek en yüksek olasılıklı deprem şiddetini içeren senaryo modelidir. Bu modelde birlik taleplerinin servis süresi, ulaşım süresi ve komşuluklar gözleme dayalı verilerden oluşur. Birlik taleplerinin gelişler arası süresi, birlik tipi ve sayıları olasılık dağılımları ile oluşturulur. Deprem

sonrasında ilk 2 saat içerisinde sağlıklı bilgilerin arama kurtarma birlikleri merkezine ulaşmayabilir bu deprem sonrası belirsizliğin ortaya çıktığı bir durumdur. Bu süre içerisinde organize kurtarma faaliyetleri gerçekleştirilemeyebilir. Bu süre simülasyon modelinde ısınma süresi (warm-up time) olarak alınmaktadır. Simülasyon modelinde ısınma süresi 2 saat olarak öngörülmektedir. Isınma süresi sonunda t_0 ilk 6-8 saat içerisinde t_1 gelen verilerin çok yoğun olduğu bilinmektedir. Bu aralıkta veriler gelebilecekleri en yoğun şekilde sisteme girer. Daha sonra gelen çağrılar zaman içerisinde t_2 azalmaya başlar. Simülasyon sistemine giren verilerin yoğunluğu Şekil 3.10'daki gibi bir eğri çizer. Bu eğriden de anlaşıldığı gibi sistemin ilk 2 saatinde sisteme gelen veri depremin ilk şokundan dolayı neredeyse hiç yoktur. İkinci saatin t_1 sonunda 6-8 saat aralığında t_1 ve t_2 ise artık veriler toplanır ve bilgiler halinde kurtarma komuta merkezine çok yoğun bir şekilde gelir. Şekil 3.10'da t_0 anında deprem verileri sağlıklı olarak sisteme kaynağa başladığından ilk sağlıklı veriler toplandığı anda belirli bir miktar yaralı sayısına ulaşır. Bu yüzden eğri t_0 noktasında belirli yaralı sayısından artmaya başlar. Bu ilk başlangıç durumu simülasyon sistemlerinde incelenmesi gereken önemli bir konudur.



Şekil 3.10. Isınma Süresi Sonunda Simülasyon Sistemine Gelen Çağrı Yoğunluğu

Simülasyon deneylerinde sistemin performansını test etmek için çeşitli parametreler kullanılmıştır. Simülasyon deneyinin kurulmasında aşağıdaki adımlar izlenir. Simülasyon deneyi için çalışmada simülasyon modeli algoritması geliştirilmiştir. Simülasyon modeli algoritması akış diyagramı çizilerek görselleştirilmiştir. Simülasyon deneyinin performans değişkenleri ise birliklerin gönderilecekleri kuyruk uzunlukları ve kaynakların meşguliyet oranı oluşabilir. Deneyssel tasarımda kullanılacak faktörler dağıtım (yönlendirme) kuralları, gelişler arası süre ve senaryolar olarak seçilebilir.

3.2.3.2 Simülasyon Deneyinin Algoritması

Çalışmanın simülasyon modelinin algoritması aşağıdaki gibi geliştirilmiştir. Bu algorithmada bir birlik talebi , bölgeler kaynak, çağrılar talebin gelişler arası süresi olarak belirlenmiştir.

Adım 0: başla

Adım 1: birlik taleplerini üret, gelişler arası λ süre rastgele üstel dağılıma göre oluştur

Adım 1.1: İlk 4 saat $\lambda=5$ dakika

Adım 1.2: 4 saat sonra $\lambda=15$ dakika

Adım 2: çağrılara ait özellikleri belirle

i. j . bölge konum bilgisi,

ii. D_{jk} talep bilgileri,

iii. çağrı geliş zamanını tut,

Adım 3: her çağrının olduğu bölgedeki talepleri tiplerini kontrol et, öncelikli olarak talebi kendi bölgesinden karşılamaya çalış.

Adım 4: $k=1$ için talepleri bölgeler kendi kaynakları ile karşılıyor mu kontrol et

Adım 5: kontrol sonucu Evet -> karşılıyorsa bölgelere atama yap, Hayır ->

Adım 8 git

Adım 6: k . tip birlik kapasitesi $>$ bölgenin talep D_{jk} ihtiyacından Evet Adım 9
/ Hayır Adım 8

Adım 7: D_{jk} talebi parçalara ayır,

Adım 8: bölgenin talebini kendi bölgesinden karşılamaya çalış

Adım 9: D_{jk} Talep $<$ Boş kapasite kontrol et Evet Adım 10/ Hayır Adım 11

Adım 10: D_{jk} kadar kaynak tahsisi yap

Adım 11: boş kapasite $= 0$ karşılanmayan D_{jk} hesapla

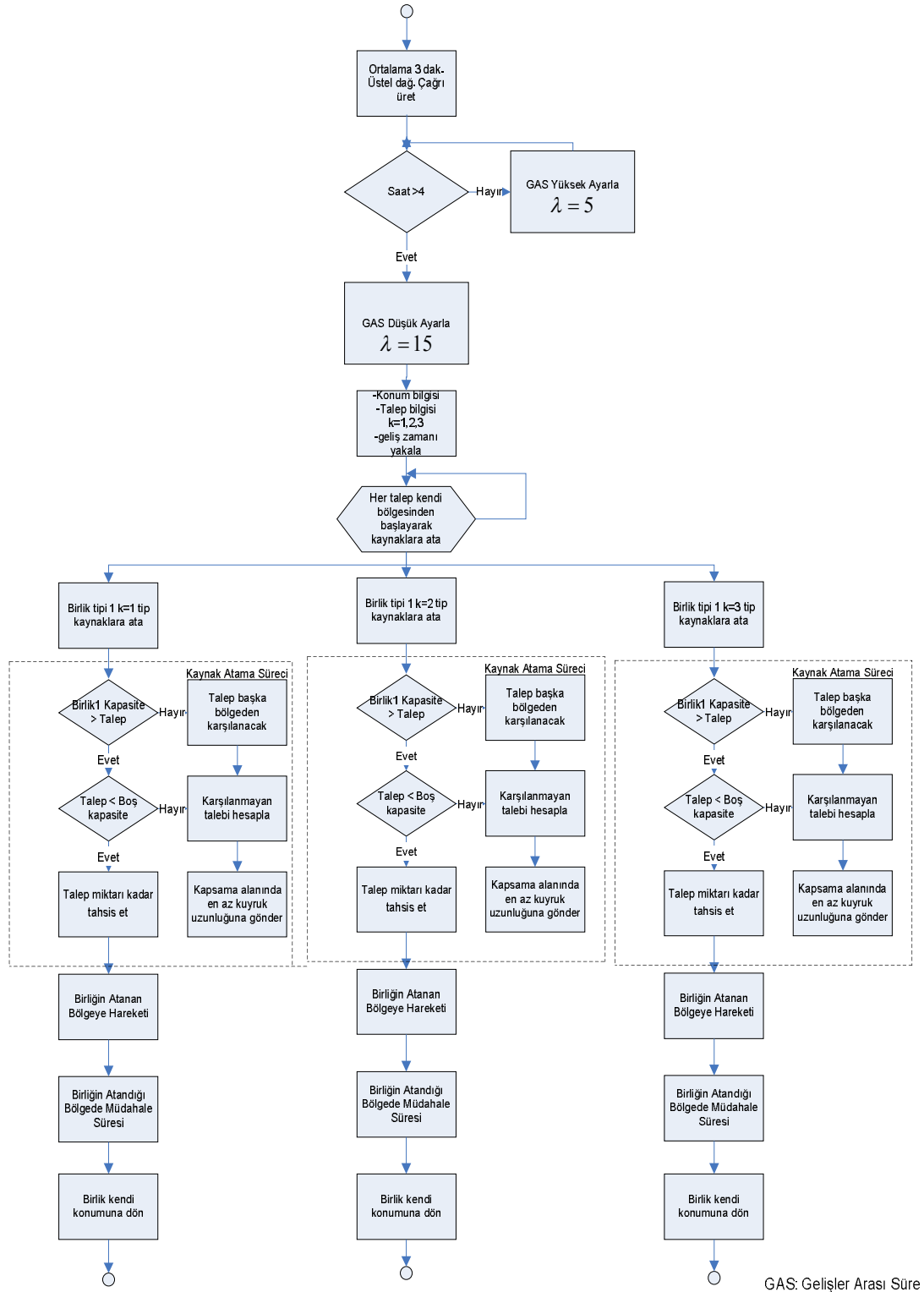
Adım 12: kendi kapsama S_j^1 alanındaki en kısa kuyruğa gönder

Adım 13: (toplam iş süresi = bölgelere ulaşma süresi + müdahale süresi + sonunda birlik kendi bölgesine dönme süresi) toplam iş süresi kadar gecikme

Adım 14: D_{jk} kadar birliği serbest bırak

Adım 15: varlık sistemden çıkartılır.

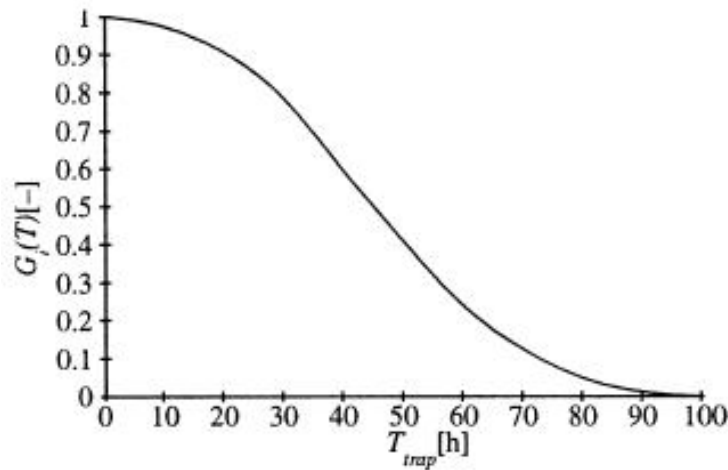
Algoritması geliştirilen simülasyon modelinin akış diyagramı Şekil 3.11'de görülmektedir. Akış diyagramı simülasyon modelinin sembolik gösteriminden oluşur.



Şekil 3.11 Geliştirilen Algoritmanın Bir Bölge İçin Akış Diyagramı

3.2.3.1 Simülasyon deneylerinin kullanılan parametreler

Deneyin test edileceği simülasyon programında kurtarılması hedeflenen yaralı sayısının dağılımı yaklaşık olarak Şekil 3.7'deki gibidir. Bu Şekil 3.12'e göre kurtarılması beklenen yaralı sayıları yükseldikçe kurtarma oranının düştüğü görülmektedir. Friedrich ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada 7 şiddetinin üzerinde bir deprem sonrası bir saatte kurtarılması beklenen tahmini yaralı sayısını Şekil 3.8'deki gibi göstermiştir. Bu şekilden de anlaşıldığı gibi yaralıların en fazla ilk 72 saat içerisinde yaklaşık olarak %96 kurtarıldığı görülmektedir. Bundan dolayı simülasyon modelinde ilk 72 saatlik süre göz önüne alınmıştır.



Şekil 3.12. Kurtarılan Yaralı Sayısının Zamana Göre Dağılım Fonksiyonu (Fiedrich ve ark., 2000)

Deneylere gelişler arası süre (λ) dakika cinsinden alınmıştır. Birliklerin iki çağrı arasındaki süreyi ifade eden gelişler arası süredir. Her hangi birlik tipinin talebi geldikten sonra bir sonraki çağrının gelmesi arasındaki süreyi belirtir. Senaryolardaki birlik miktarları (Q_s) birlik tipleri simülasyon modelinde k olarak verilmiştir. Bölgelerin birlik talepleri D_{jk} uygun çözümler alındıktan sonra simülasyon modeline girilmiştir. Simülasyon modelinde arama kurtarma birliklerinin depreme müdahale süreleri her bölge için ayrı belirlenmiştir. Bölgesel olarak müdahale sürelerinin ayrı belirlenmesinin nedeni her bölgenin coğrafi, jeolojik ve demografik yapısının

birbirinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenlerden dolayı depremin şiddeti her bölge için ayrı hissedileceğinden ulaşma, müdahale ve birlik yerlerine geri dönme süreleri bölgeden bölgeye değişecektir.

Simülasyon modelinde önceden bahsedildiği gibi çözümün elde edilebilmesi için matematiksel modelin tüm çözümü yerine bir örnek prototip model çözülerek deney tasarlanmıştır. Deneyde kullanılan veriler İstanbul ili Anadolu yakasından oluşturulan verilerdir. Bölgelerin belirleyen seçim kriterleri deprem bölgesine yakınlık, risk baskı faktörü (r_j) ve ulaşım sürelerinden oluşmaktadır. Birliklerin deprem bölgesine ulaşım süreleri aynı zamanda depremin şiddeti ile ilgili olduğundan risk baskı faktörünün yüksek olduğu bölgelerde ulaşım süreleri de yüksek alınmalıdır. Birliklerin bulunduğu bölgelerin komşulukları süreleri yakından ilgilendirdiği için birincil kapsama matrisi ilk komşuluklar olarak ele alınmıştır.

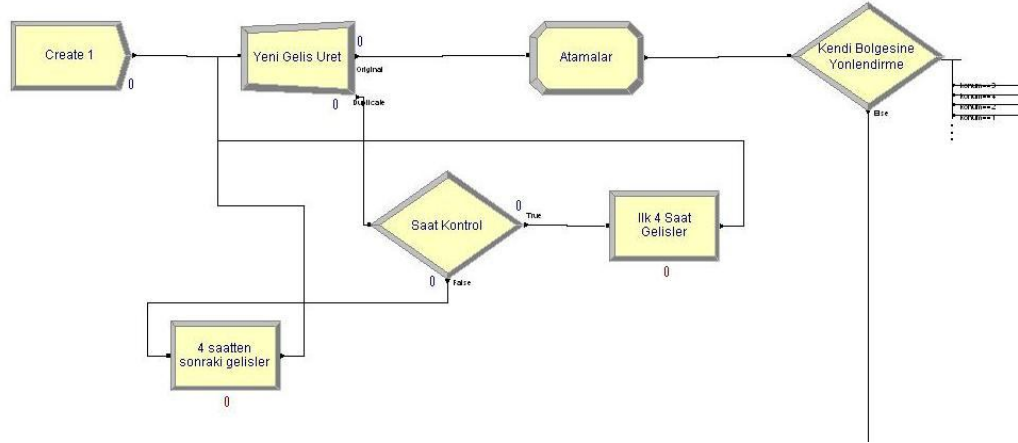
3.2.3.3 Simülasyon deneylerinin kodlanması

Simülasyon modelinin Rockwell Arena v12.0 göre kurulmuştur. Simülasyon modeli block ve entity kısıtından dolayı tüm bölgeleri örnekleyecek daha küçük bir model kurulmuştur. Kurulan simülasyon modelinin bir bölge için ekran görüntüsü Şekil 3.9 görülmektedir. simülasyon modelinin tüm ekran görüntüsü çok büyük olduğundan sadece bir bölgede modelin görüntüsü gösterilmiştir. Modelin bütün görüntüsü ekranda yer almaktadır. Deneyler için oluşturulan veri setleri ve dosyaları ekranda yer almaktadır. Modelin kodlanmasında Rockwell Arena geliştirme ortamında bulunan nesneler yardımı ile görsel olarak kodlanmıştır. Verilerden el ile girilen kısımlarının yanı sıra matematiksel modelden elde edilen veriler matris formunda simülasyon programına girilmiştir.

Simülasyon modelinin geliştirilen algoritmasının akış diyagramında her birlik tipi için yapılacak işlemler ayrı gösterilmiştir. Simülasyon modelinin Rockwell Arena simülasyon programındaki sadece bir birliğin simülasyon modeli tasarımı Şekil 3.9’te görülmektedir. Arena simülasyon programının tasarım görüntüsü çok büyük ve fazla yer aldığından çalışmanın bu bölümünde sadece bir bölgede yer alan bir adet birliğin simülasyon modeli tasarımı Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Bölgelerde

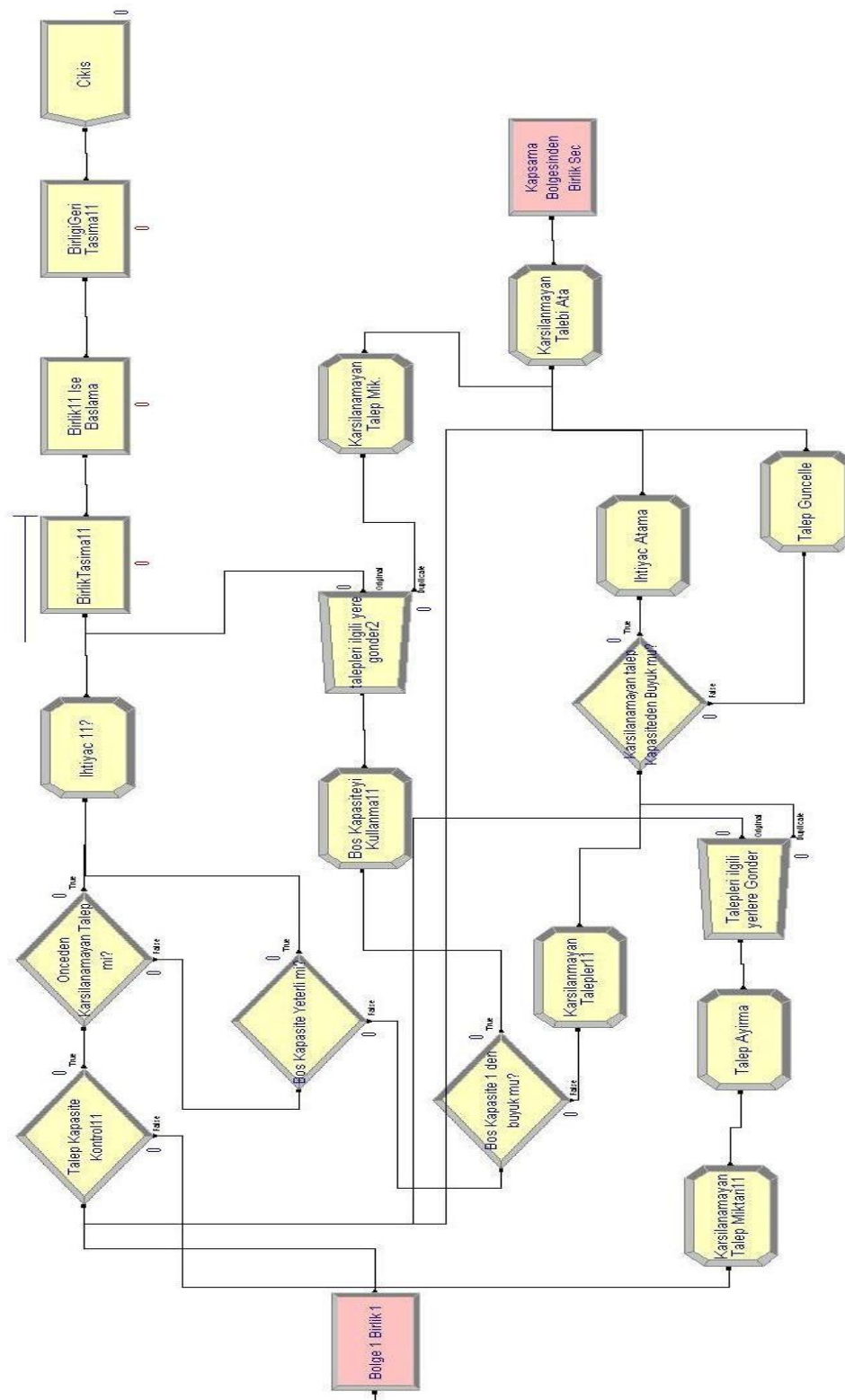
yer alan birlikler burada gösterilen şekilde istenildiği kadar tasarlanarak simülasyon modelinin genişletilebilir.

Simülasyon modelinde deprem sonrasında ilk 2 saat içerisinde gelen bilgilerin sağlıklı olmadığı bilinmektedir. Bu süre simülasyon modelinde ısınma süresi olarak alınmaktadır. Isınma süresinin sonunda ise gelen yardım çağrılarının azaldığı ve bir süre sonra artık depremde oluşan yaralı çağrısı gelmemektedir. Bu durum simülasyon modelinde Şekil 3.13'deki gibi tasarlanmıştır. Simülasyon modelinin kodlanmasında ısınma süresinin sonunda gelen çağrılar gelişler arası süresi birbirine yakındır. Daha sonra bu süre giderek artmaktadır.



Şekil 3.13 Simülasyon Modelinin Başlangıç Gelişler Arası Sürenin Tasarlanması

Simülasyon modelinin ilk 4 saatinde çağrılar tepe nokrasına ulaşacak şekilde sıklaştırılmıştır. Simülasyon modeli 6 saatin sonunda saat kontrol yapısı ile gelişler arası süre arttırılmıştır.



Şekil 3.14. Geliştirilen Tek Bölge Simülasyon Programının Ekran Görüntüsü

Simülasyon programı geliştirilen matematiksel modelin prototipi olacak şekilde İstanbul Anadolu yakasının 5 bölgesi için modellenmiştir. Simülasyon modeli tüm bölge için çözümünde tasarlanan birlik modeli kapsama matrisi ile çoklanarak problem çözülebilir.

3.2.4 Senaryo Analizlerinin Planlanması ve Senaryoların Oluşturulması

Depremler hakkında bu güne kadar değişik bilim dallarında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların bazıları deprem sonrası lojistik (Özdamar ve ark. 2004), afet lojistik merkezlerinin yerlerinin belirlenmesi (Barbarosoğlu ve ark. 2002), afet yönetim yer seçimi (Döyen ve ark. 2008) çok sayıda çalışmalar vardır. Bu çalışmada da daha önceden yapılan bilimsel çalışmalara dayanarak belirlenen bölgeler için deprem senaryoları oluşturulacaktır. Ambraseys ve Jackson (1981), yaptıkları çalışmada Türkiye ve Yunanistan'da oluşabilecek büyüklüğü (magnitudü) 5'ten büyük depremler sonucunda ortaya çıkacak can ve mal kaybına yönelik istatistiksel bilgiler elde etmişlerdir. Yapılan çalışmadan elde edilen verilerde, her yüz adet konut için, Tablo 3.1'de yapıların tiplerine göre karşılaşılabilecek olan tahmini can kaybı miktarları verilmiştir.

Tablo 3.4. Konut Sayısına Göre Tahmini Can Kayıpları Ortalaması,

Konut Sayısı = 100

Yapı Tipi	Can Kaybı (Kişi)
Moloz ve Yığma Taş Yapılar	17
Kerpiç Ahşap Yapılar	11
Yığma Kagir Yapılar	2
Ahşap ve Tuğla Yapılar	1

Ambraseys ve Jackson (1981), çalışmaları tamamen istatistiksel bilgiler dayanmaktadır. Daha detaylı ve HAZUS tarafından yapılan çalışmalarda genel kabul görmüş ve güvenilir modeller literatürde kullanılmaktadır.

Yeryüzü kabuğuna ve coğrafi koşullara bağlı olan depremin etkisi aynı zamanda demografik değişimlerin oluşması ile büyüklük açısından etkileri farklılık gösterebilmektedir. Gece ve gündüz nüfusu bir deprem sonrasında etkilenecek nüfus hakkında bilgi vermektedir. Gündüz ortaya çıkan deprem sonrasında daha çok kamu binalarında bulunan nüfus etkilenecektir. Çalışanların ve okul, hastane ve toplu olarak bulunan yerlerdeki nüfus depremden en fazla etkilenecek kesimdir. Gece ortaya çıkan deprem sonrasında ise genellikle konutlarda bulunan nüfus depremden en çok etkilenecektir.

HAZUS (1997), tarafından ortaya konulan genel kabul görmüş yöntemlerde kullanılan sayısal verilerde bina hasarı ile ölüm ve yaralanmalar arasında doğrudan ilişki kurmaktadır. Şekil 3.4'te yapıların tiplerine göre deprem sonrasında ortaya çıkabilecek tahmini yaralı sayısını vermektedir. Bu çalışmalarda elde edilen verilerin ölüm ve yaralanma oranlarının yaklaşık olduğuna dikkat edilmelidir. HAZUS (1997), tarafından kullanılan bina yıkımlarında kaynaklanan ölüm ve yaralanmalar dört ana gruba ayrılmaktadır.

HAZUS 1997'de yapılan tanımlamalara göre yaralanma derecelerini aşağıdaki şekle göre sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırma tüm dünyada deprem sonrasında ortaya çıkan yaralı tiplerinin sınıflandırılmasında da kullanılmaktadır (CRED EM-DAT, 2009)

1. Derece Ayakta tedavi gerekir
2. Derece Hastanede kısa süreli tedavi gerekir
3. Derece Ciddi, uzun süreli hastane tedavisi gerekir
4. Derece Ölümle sonuçlanan yaralanma

Bu çalışmada, deprem sonrası tahmini yaralanma oranı γ_{jk} , ilk kapsama alanı risk baskı faktörü r_{i1} ve ikinci kapsama alanı risk baskı faktörü r_{i2} model tahmin oranları olarak kullanılacaktır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın ilk aşamasında problemin matematiksel modeli kurulmuş sonuçlar elde edilmiştir. İkinci aşamada matematiksel modelden elde edilen sonuçlara göre kurulan simülasyon deneylerinin sonuçları alınmıştır. Matematiksel modele girdi olarak hazırlanan veriler girilmiş ve daha sonra elde edilen sonuçlar simülasyon deneyleri ile test edilmiştir. Matematiksel deney sonuçları deterministik model sonuçları olduğundan stokastik durumlar altında nasıl bir sonuç üreteceğinin de denenmesi gereklidir.

Modeli test etmek için gerçek verilerden üretilen girdiler kullanılmıştır. Veri seti İstanbul ili için daha önce yapılan çalışmalardan alınan sonuçlarından alınmıştır. Bu çalışma sonuçları ise çeşitli formüller uygulanarak modelin veri girdisi yapılmıştır. İstanbul'un çalışma için seçilmesinin en temel nedeni deprem konusunda çok fazla veriye sahip olmasıdır. İstanbul hakkında deprem araştırmalarında elde edilen veriler çalışma alanına göre hazırlanabilmektedir. (Erdik ve Ark, 2005. JICA, 2001). Çalışmada (Erdik ve Ark, 2005. JICA, 2001) tarafından oluşturulan İstanbul için deprem senaryolarına göre can kaybı ve yaralı oranlarından yararlanılmıştır.

Çalışmada kullanılan matematiksel modelin bilgisayar programlama modelleyicisi GAMS bilgisayar programlama dilidir. Modelin bilgisayar çözücüsü olarak CONOPT gevşetmeli (relaxed) karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama çözücüsü kullanılmıştır. Gevşetmeli çözücü için eşik (gap) aralığı %1 alınmıştır. Modelin tam sayı çözümü verebilmesi için bu aralık en küçük değer aralığı olan %1'e indirilmiştir. Çalışmanın ilk deneylerinde LINGO matematiksel programlama dili ile CPLEX çözücüsü kullanılmıştır. Bu çözünün doğrusal olmayan tam sayılı matematiksel programlama dilini çözemediği gözlemlenince GAMS matematiksel modelleme bilgisayar programlama dili seçilmiştir.

Matematiksel modelin ilk deneme çözümleri alınmış ve r risk baskı faktörü %63 değerine sabitlenerek planlama periyotlarına ait ceza puanları değiştirilerek sonuçlar alınmıştır. Modelde önce D_{tk} matrisi Microsoft Excel bilgisayar programında modelin yöntemine göre oluşturulmuştur. İlk yıl başlangıç kabul edilmiş ve her yıl %3,3 oranında artış uygulanmıştır. Belirlenen bu yöntemine göre

oluşturulan MS Excel tablosu modele ait verilerinde tutulduğu veri tabanı şekline getirilmiştir. Bu tabloda çeşitli çalışma sayfalarında modelin ihtiyaç duyduğu değişik parametreler ve tablolar yer almaktadır. GAMS matematik programlama diline ait verilerin girdi olarak sağlanmasından sonra veriler yine aynı tablolama programına çalışma sayfası olarak veri çıktısı sonuçları şeklinde yazdırılır. Alınan sonuçlara ait performans değişkenleri ve önemli diğer değerler Microsoft Excel bilgisayar tablolama programına GAMS bilgisayar programı tarafından GAMS execute ile çalıştırılan gdxxrw.exe çalıştırılarak aktarılmıştır. Bu program GAMS ile MS Excel bilgisayar tablolama programına veri gönderip almak işlevini yapmaktadır.

4.1. Örnek Deprem Uygulaması

Örnek deprem uygulaması, çalışmada geliştirilen modeli deprem uygulamasının nasıl yapılacağı hakkında bilgi verecektir. İlk aşamada uygulama yapılacak yer ile ilgili verilerin toplanmıştır.

4.1.1. Veriler

Çalışmanın uygulanacağı alan için İstanbul ili seçilmiştir. İstanbul yönetim, bütçe, ekonomik ve sosyal veriler açısından ülkemizi örnekleyebilir. Demografik açıdan ise ülke nüfusunun Toplam nüfusun % 17,8'i (12.915.158 kişi) İstanbul'da ikamet etmektedir. Bunu sırasıyla; % 6,4 ile (4.650.802 kişi) Ankara, % 5,3 ile (3.868.308 kişi) İzmir, % 3,5 ile (2.550.645 kişi) Bursa, % 2,8 ile ise (2.062.226 kişi) Adana takip etmektedir. Ülkemizde en az nüfusa sahip olan Bayburt ilinde ikamet eden kişi sayısı ise 74.710'dur. 31 Aralık 2009 tarihi itibarıyla Türkiye nüfusu 72.561.312 kişidir. Nüfusun % 50,3'ünü (36.462.470 kişi) erkekler, % 49,7'sini (36.098.842 kişi) ise kadınlar oluşturmaktadır. 2009 yılında Türkiye'nin yıllık nüfus artış hızı binde 14,5 olarak gerçekleşmiştir. 2009 yılında 81 ilden; 67'sinin nüfusu bir önceki yıla göre artarken, 14 ilin nüfusu azalmıştır. Nüfus artış hızı en düşük olan ilk üç il; Tunceli (binde -40), Ardahan (binde -37) ve Kars (binde -18,1)'dir. Nüfus artış hızı en yüksek olan ilk üç il ise sırasıyla; Çankırı (binde 49,4), Bilecik (binde 45) ve Isparta (binde 32,2)'dir. Ülke nüfusunun % 75,5'i il ve ilçe merkezlerinde yaşamaktadır. Toplam nüfusun % 75,5'i (54.807.219 kişi) il ve ilçe merkezlerinde

ikamet ederken, % 24,5'i (17.754.093 kişi) belde ve köylerde ikamet etmektedir. (TÜİK,2009). Görüldüğü gibi İstanbul ülkemizi demografik dağılım açısından örnekleyebilmektedir.

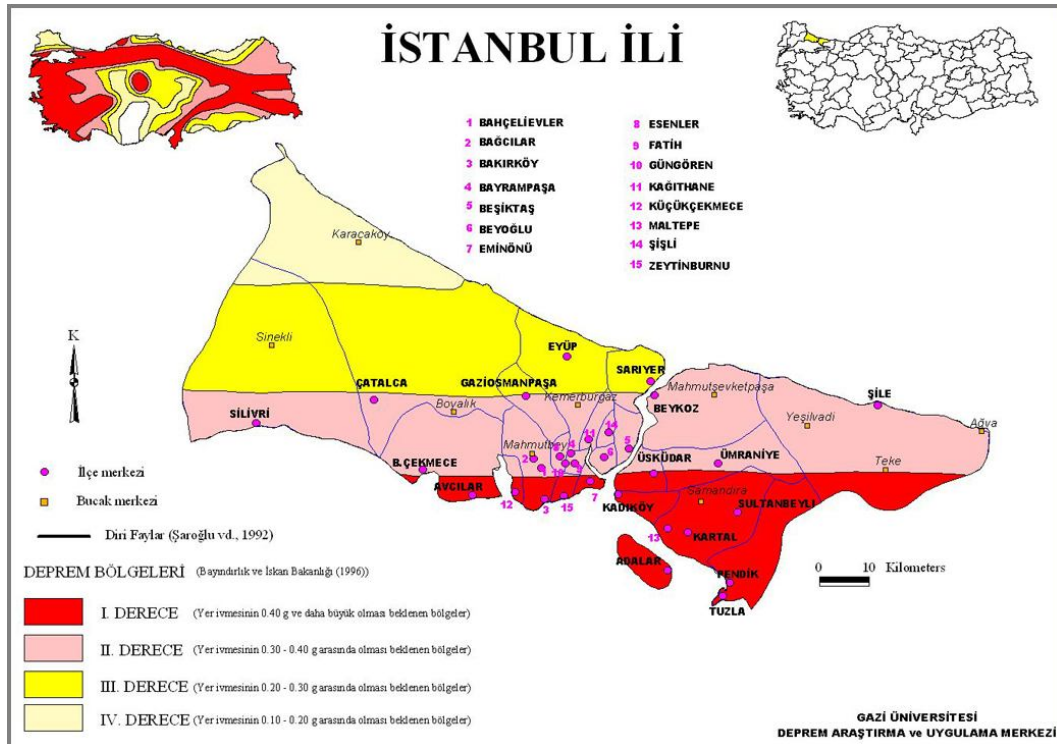


Şekil 4.1. İlçelere Göre İstanbul İdari Şehir Haritası, IBB (2008)

İstanbul'un TÜİK'e göre nüfus istatistiklerinden yıllık nüfus artış hızı yaklaşık %3,3 olarak verilmektedir (TÜİK , 2010). İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin (İBB), Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) ile ortaklaşa yürüttüğü Deprem Risk Analiz Çalışması kapsamında, İstanbul için 4 farklı deprem senaryosu geliştirilmiştir. İBB Kent Jeolojisi ve Deprem İzleme Projeleri'ne ek olarak JICA ile ortaklaşa yürüttüğü Deprem Risk Analizi (Mikro Bölgeleme ve Afet Önleme/Azaltma Temel Planı) Çalışması kapsamında, İstanbul'un deprem durumu hakkındaki öngörü çalışmaları yapılmıştır.

JICA (2004) yapılan çalışmada 4 farklı senaryo depremi esas alınarak büyüklükleri 6.9, 7.4, 7.5 ve 7.7 olan depremlerin, mahalle bazında tüm alt ve üst yapılarda meydana getireceği olası hasar miktarları belirlemiştir. Buna göre, Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) 2000 yılı bina sayımı verilerine göre; yaklaşık 725 bin bina, 3 milyon 40 bin hane ve yaklaşık 9 milyon gece nüfusuna tekabül eden durumda 7.5 veya 7.7 büyüklüğü civarında bir deprem olursa, 50-60 bin civarında

ağır hasarlı bina, 500-600 bin civarında evsiz aile, 70-90 bin civarında ölü, 135 bin ağır yaralı, 1000-2000 noktada su sızıntısı, 30 bin servis kutusunda gaz sızıntısı, elektrik kablolarının yüzde 3'ünde kopma, 140 milyon ton enkaz oluşması beklenmektedir. Bu senaryolara göre yapılacak çalışmadaki talep miktarları oluşturulacaktır. Tablo 3.7'de yer alan bina hasar görebilirlik katsayılarına göre karşılaştırılarak İstanbul'a göre deprem senaryoları oluşturulmuştur. Büyüklüğü 6.9 olan senaryo S_1 olarak incelenmiştir. Senaryolarda büyüklüğü 7.4 ve 7.5 olan iki senaryo deprem senaryoları birleştirilerek bir adet S_2 kötü durum senaryosu oluşturulmuştur. En son çok kötü durum S_3 senaryosu ise büyüklüğü 7.6'dan büyük olan senaryodur. Hasar görebilirlik Tablo3.7'de senaryolara göre oluşturulmuş oranlardır. Bu oranların uygulanması ile her bir senaryoya göre birliklerin başlangıç talepleri oluşturulacaktır. Bu çalışmada İstanbul için yapılan IBB Deprem Master planındaki senaryo bilgileri kullanılacaktır (JICA ve IBB, 2002).



Şekil 4.2. İstanbul İli Deprem Haritası, G.Ü., DAE

İstanbul ilinin depremselliği ile ilgili çok sayıda akademik çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada JICA ve IBB (2002) raporunda yer alan depremden

etkilenecek ilçelere ait veriler incelenmiş ve seçilmiştir. Çalışmada İstanbul için Avrupa ve Asya yakası olarak iki ayrı çözüm incelenmiştir. İstanbul'un her iki yakasında yer alan ilçelerden çalışma alanı bölgeleri oluşturulmuştur. Bu bölgelerin O_j nüfus sayıları ve Tablo 3.7'de bulunan bina hasar katsayıları γ_{jk} kullanılarak elde edilen başlangıç vektör matrisi oluşturulmuştur. Arama kurtarma birlik talep matrisi D_{tk} denklem (3.2)'den belirlenen bölgeler için nüfus artış hızı uygulanarak elde edilmiştir. Çalışmada İstanbul'un depremde zarar görecektir olan ilçeleri için deprem haritasında yer alan bilgilerden yararlanılmıştır (IBB ve JICA, 2002). Depremde zarar görecektir olan ilçelerin hasar oranları IBB ve JICA (2002) deprem master planında öngörülen oranlar oluşturulmuştur, EK-1.

İstanbul deprem master planında İstanbul'un her iki yakasının da ne kadar hasar göreceği ilçelere göre belirlenmiştir. Mikro bölgeleme çalışmalarındaki bilgiler ilçelerin bina stokları, binaların dayanımları, yer ve zemin durumları gibi verilerden oluşmuştur. Deprem master planı sonuç raporuna göre her ilçenin depremselliği açısından diğerine benzemediği belirlenmiştir. Deprem her bölge için ayrı şiddette ortaya çıkacağı bu rapordan anlaşılmaktadır. Buna göre bu çalışmada her ilçe birincil kapsama alanına r_j^1 ve ikincil kapsama alanına içinde r_j^2 risk baskı faktörleri belirlenmiştir. Risk baskı faktörleri ilçelerin deprem ile karşılaşma olasılığını vermemektedir. Risk baskı faktörü deprem sonrasında o bölgede binalardan ne kadar yaralı çıkacağı hakkında genel bir bilgi vermektedir. Bundan dolayı risk baskı faktörünün sayısal değerleri arama kurtarma birlik taleplerini etkilemektedir.

İstanbul "22 Mart 2008 Tarihli ve 26824 Sayılı Resmî Gazete Büyükşehir Belediyesi Sınırları İçerisinde İlçe Kurulması Ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında" 5747 kanunun 6/3/2008 tarihinde kabulü ile 32 olan ilçe sayısı 39'a çıkmıştır. İstanbul'un kıtalara göre dağılımı Avrupa yakasında bulunan ilçe sayısı 25, Anadolu yakasında bulunan ilçe sayısı 13 ve adalar ilçesi ile toplam 39 ilçe şeklindedir. Adalar ilçesi bulunduğu fiziki ve coğrafi konumdan dolayı ayrıca çözülmesi öngörüldüğünden bu problemde çözüme dahil edilmemiştir. Adalar ilçesi için problem parametreleri ayrıca hesaplanacak ve bu oluşturulan sayısal değerlere göre çözülmesi beklenecektir. Eğer Adalar ilçesi bu problem içerisine dahil edilmiş

olsaydı Avrupa ve Anadolu yakalarını da problemde tek parça gibi çözmek gerekecekti. Bundan dolayı fiziki ve coğrafi değişiklikler problemleri ayrı çözülmelidir. İstanbul'un birlik talebini oluşturan D_{jk} deprem etkisi büyüklük ölçeği için ilçelerin yüz ölçümü yerine nüfus sayıları ve jeolojik durumları göz önüne alınmıştır. İstanbul'da bazı ilçelerin yüzölçümü büyük olmasına rağmen (örn. Çatalca, Silivri, Arnavutköy) nüfus yoğunluğu oldukça düşüktür. Bu ilçelerde arama kurtarma birlik talepleri var kabul edilmiştir. Nüfus yoğunluğu düşük olan ilçelerin genellikle yapılaşma oranları da düşüktür (TÜİK, 2008, IBB 2009).



Şekil 4.3. İstanbul Yeni İlçeleri

Çalışmada matematiksel modelin çözülmesinde kolaylık olması açısından İstanbul'un ilçeleri adlarına göre sıralanmış ve her iki yakası için alfabetik sıra numaralarından göre indis sıraları oluşturulmuştur. Tablo 4.1. İlçelerin indis sıraları anlaşılması kolay olması açısından alfabetik şekilde sıralanması seçilmiştir. İstanbul'un her iki yakası için ayrı çözümler arandığından bölge indisleri aynı gibi görünen iki ayrı ilçe görünmektedir. Bu durum çözümler ayrı olduğundan önemsenmemelidir. Çünkü Avrupa yakası çözümü Anadolu yakası çözümünden

bağımsız olarak çözülmektedir. Her iki yakanında çözümü diğerinden bağımsız olarak sonuçlanmaktadır.

Tablo 4.1. İstanbul İlçelerinin Kıtalar Göre İndisleri

<i>j</i>	Avrupa Yakası	<i>j</i>	Anadolu Yakası
1	Arnavutköy	1	Ataşehir
2	Avcılar	2	Beykoz
3	Bağcılar	3	Çekmeköy
4	Bahçelievler	4	Kartal
5	Bakırköy	5	Maltepe
6	Başakşehir	6	Pendik
7	Bayrampaşa	7	Sancaktepe
8	Beşiktaş	8	Sultanbeyli
9	Beylikdüzü	9	Sultangazi
10	Beyoğlu	10	Şile
11	Büyükdere	11	Tuzla
12	Çatalca	12	Ümraniye
13	Esenler	13	Üsküdar
14	Esenyurt		
15	Eyüp		
16	Fatih		
17	Gaziosmanpaşa		
18	Güngören		
19	Kadıköy		
20	Kâğıthane		
21	Küçükçekmece		
22	Sarıyer		
23	Silivri		
24	Şişli		
25	Zeytinburnu		

Çalışmada İstanbul için geliştirilen deprem senaryoları iyi durum senaryosu S_1 , kötü durum senaryosu S_2 ve çok kötü durum senaryosu S_3 olarak belirlenmiştir. IBB ve JICA (2002) raporunda İstanbul'da oluşabilecek bir deprem sonrası tahmini can kayıpları ve yaralı sayıları ile ilgili bilgileri dört senaryo modeli ile incelemişler. Bu çalışmada ise IBB ve JICA (2002) çalışmasında yer alan deprem senaryolarından ikisi tahmini kayıp oranlarının birbirine yakın olması nedeni ile birleştirilerek kötü durum senaryosu S_2 oluşturulmuştur. Bu çalışmadaki senaryolardaki tahmini can kaybı sayıları çalışmanın amacı dışında kaldığından göz önüne alınmamıştır. Bu çalışmada yaralıların kurtarılması hedeflendiğinden yaralıları kurtaracak arama kurtarma birliği talepleri tahmini beklenen yaralı sayılarından oluşturulmuştur.

Planlama süresi olarak belirlenen planlama ufku $T=5$ beş yıl olarak seçilmiştir. Planlama süresinin beş yıl seçilmesinin temel nedeni ülkemizde Devlet Planlama Teşkilatı tarafından yapılan beş yıllık kalkınma planlarında yapılacak olan yatırımlar ile ilgili zamana dayalı kestirimler yapılmaktadır (en son yapılan değişiklik ile Devlet Planlama Teşkilatının yeniden düzenlenmesi; 16/6/1994 tarihli ve 4004 sayılı Kanunun verdiği yetkiye dayanılarak, 19/6/1994 tarihli Bakanlar Kurulu kararı). Uzun dönemli bütçe hedefleri de ülkemizde bu yapılan planlar paralelinde olmasına idari, mali ve hukuki açıdan özen gösterilmektedir. Planlama t döneminde bütçe miktarı yatırım ve işletme giderleri bir önceki döneme göre %10 artacaktır. Planlama dönemlerinde öngörülen bütçe artış miktarları kümülatif olarak artmasının nedeni bütçe miktarının bir önceki dönemden daha fazla ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır. Her geçen t dönem sonunda nüfus ve arama kurtarma birlik talebi D_{jk} miktarı artmaktadır. Bu durumda da bütçe miktarlarının en az enflasyon farkı veya nüfus artış hızına paralel olarak artması öngörülmektedir. Diğer teknik nedenler bu çalışmanın kapsamı dışında kaldığından göz ardı edilmektedir. Bu çalışmada bütçe dönemlerinde yapılacak olan arama kurtarma birliği kurulumu CS_{jk} bütçe dönemi başında yapıldığından bütçe maliyetlerine eklenmiştir. Toplam B_t bütçe miktarı İstanbul'un her iki yakası içinde eşit olarak paylaşılmaktadır. Bütçe miktarlarının paylaşılması için çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Planlama dönemleri için bütçe paylaşımı veya nüfus ölçeğine göre bütçe paylaşımı yaklaşımları diğer çalışmalarda ayrıca incelenebilir.

Çalışmada S_1 , S_2 ve S_3 şeklinde üç senaryo oluşturulmuştur. Her senaryoda yer alan t planlama dönemleri diğer senaryolardan bağımsızdır. Senaryoların her birinde Avrupa ve Anadolu yakası için ayrı çözümler bulunmuştur. Bulunan bu çözümlerde fiziki ve coğrafi koşullardan dolayı İstanbul'un her iki yakası birbirinden bağımsızdır. çalışmada önce İstanbul Avrupa yakası sonuçları senaryolara göre incelenmiştir. Daha sonra İstanbul Anadolu yakası sonuçları senaryolara göre incelenmiş ve sonuçlar elde edilmiştir.

4.2 Senaryo Analizleri

Senaryo analizleri İstanbul Avrupa ve Anadolu yakalarına göre ayrılarak yapılmıştır. İlk olarak Avrupa yakası incelenmiştir. Daha sonra Anadolu yakası senaryoları belirlenen durumlar altındaki senaryolara uygulanmıştır.

4.2.1 Avrupa Yakası Senaryo Bulguları

Senaryoların sonuçları önce Avrupa yakasına göre elde edilmiştir. Planlama dönemlerine ait sonuç yorumları da bölgelere göre tablolardan çizdirilen grafikler üzerinden yapılmıştır. Her senaryo sonucunda öncelikle planlama dönemlerine göre eklenecek arama kurtarma birliği sayısı X_{jk} tabloları oluşturulmuştur. Daha sonra elde edilen diğer karar değişkenlerine ait sonuçlar birincil ve ikincil kapsama alanlarına ait $W_{jik}^1, W_{jik}^2, Z_{jikt}^1$ ve Z_{jikt}^2 karar değişkenlerinin grafikleri çizdirilmiştir. Karar değişkenleri $W_{jik}^1, W_{jik}^2, Z_{jikt}^1$ ve Z_{jikt}^2 ait değerlerin yer aldığı tablolar ilgili bölümündedir.

4.2.1.1 İyi Durum Senaryosu S_1 Bulguları

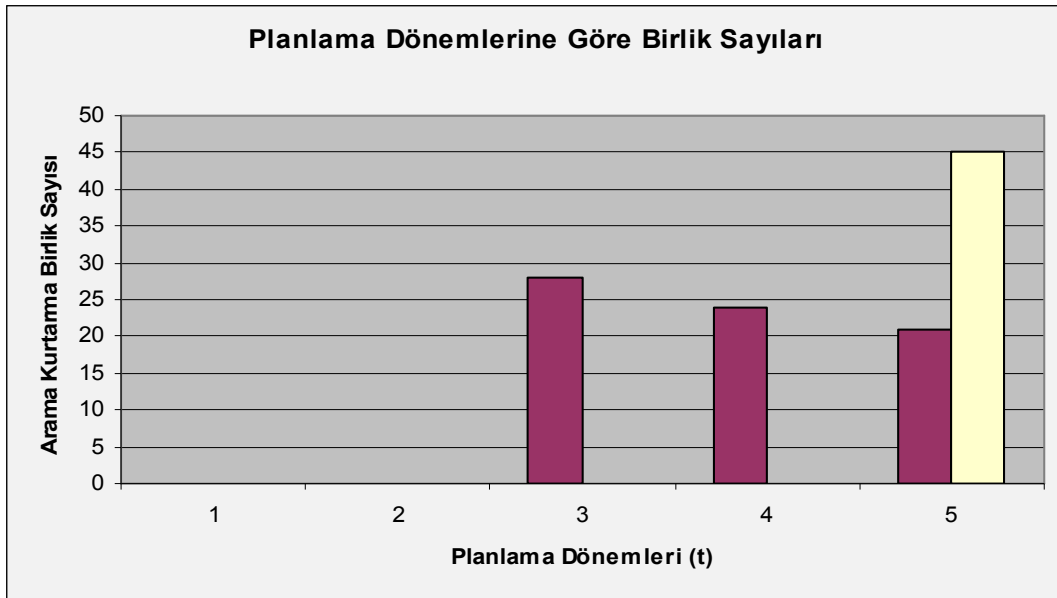
Problemin matematiksel modelin ilk sonuçları iyi durum senaryosundan elde edilmiştir. İyi durum senaryosuna göre j. bölgede k. tip birliklerden t. dönemde eklenecek miktar elde edilmiştir, Tablo 4.2. bu senaryoda elde edilen sonuçlara göre $t=1$ birinci ve $t=2$ ikinci dönemlerde arama kurtarma birliği açılmamaktadır. Arama kurtarma birlikleri $t=3$ planlama döneminde $j=2$ bölgeye $k=1$ tipte 28 adet açılmaktadır.

Tablo 4.2. İyi Durum Senaryosu S_1 Eklenecek Birlik X_{jk} Miktarı

j	k	$t=3$	$t=4$	$t=5$
2	1	28	24	21
2	2			45

İyi durum senaryosu S_1 göre $t=4$ planlama döneminde $j=2$ bölgeye $k=1$ tipte 24 adet birlik açılmaktadır. Yine benzer şekilde $t=5$ planlama döneminde $j=2$ bölgeye $k=1$ tipte 21 adet birlik açılması sonucu elde edilmiştir.

İyi durum S_1 senaryosunda $j=2$ bölgeye $k=2$ tip birlikler için sadece $t=5$ planlama döneminde 45 adet birliğin açıldığı sonucu elde edilmiştir. Arama kurtarma birlik talepleri bu senaryoda ilk iki planlama döneminde $t=1$ ve $t=2$ mevcut birliklerden karşılanabildiği sonucuna ulaşılabilir.



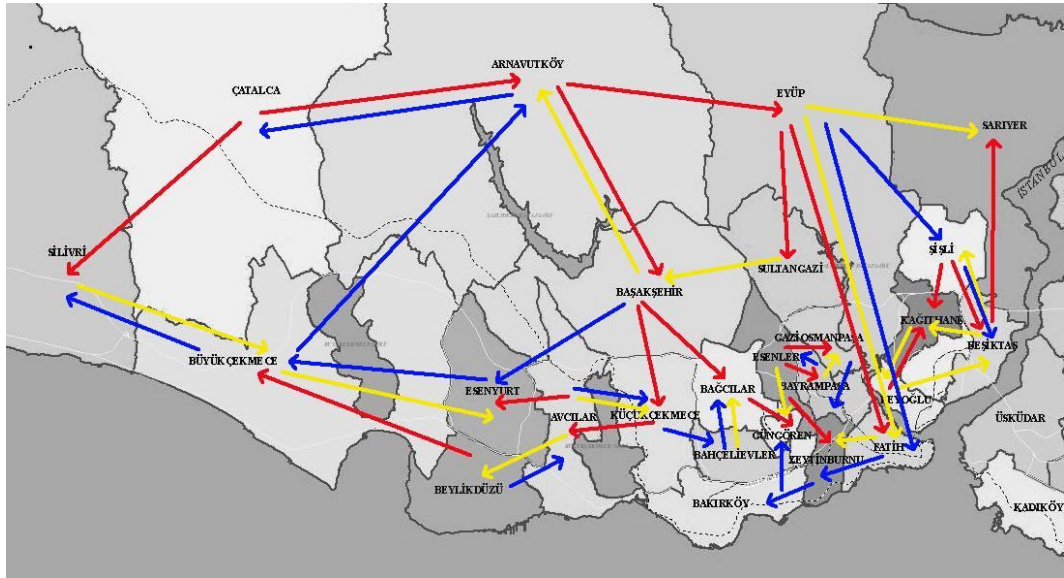
Şekil 4.5. İyi Durum Senaryosu S_1 Planlama Dönemlerine Göre Arama Kurtarma Birlik Sayıları

Mevcut arama kurtarma birlikleri birincil kapsama alanlarında S_1 iyi durum senaryosuna göre j . bölgeden i . bölgeye gönderilecek $k=1,2,3$ tiplerde birlik sayıları Şekil 4.6'da görülmektedir. Bölgeler arası gönderilecek birlik sayıları $t=3,4,5$ planlama dönemlerinde görülmektedir. Planlama dönemi $t=3$ 'te $j=12$ bölgeden $i=2$ bölgeye $k=1$ tip birlikten 28 adet birlik gönderilmektedir. Dördüncü planlama döneminde $t=4$ birlik tipi $k=1$ tipten 24 adet birliğe $j=2$ bölgede ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı 24 adet $k=1$ tip birlik bu bölgede tutulmaktadır.

2	9		9	
2	14	1		
2	20		9	90
3	18	3		
4	3		9	50
4	4	2	7	
5	5		8	
5	18			80
6	1		7	
6	3	2		
6	6			20
6	14			35
6	20	2		
7	13			45
7	17		8	
8	19		9	
8	21	1		
8	24		6	
9	2		12	50
9	9	1		45
9	11	3		
10	8		5	
10	19	2		
11	1			25
11	14		8	
11	22		7	25
12	1	1		
12	12		9	
12	22	2		
13	7	1		
13	13		9	
13	17	1		50
13	18		9	
13	23			60
13	25	3		
14	11		12	40
15	16	1	8	60
15	19			80
15	21		8	
15	23	1		
15	24			30
16	15			60
16	25		14	60
17	7		7	67
18	5	2		
19	10		7	
19	15		7	
20	2	1		
20	4			50
21	21			30

23	6		9	
23	23		6	
24	8	1		65
24	10	1		30
24	24	2		
25	5			80

Tablo 4.3 göre bazı bölgelerin diğer bölgelere birlik göndermediği kendi bölgelerinde kaldığı görülmektedir. Bu bölgeler birlik tiplerine göre dağılımı ise $j=4$ bölgede $k=1$ tip birlikten 2 adet ve $k=2$ tipte birlikten 7 adet, $j=5$ bölgede $k=2$ tipte 8 adet, $j=12$ bölgede $k=2$ tipteki birlikten 9 adet, $j=13$ bölgede $k=2$ tipteki birlikten 9 adet, $j=23$ bölgede $k=2$ tipteki birlik 6 adet $j=24$ bölgede $k=1$ tipte birlikten 2 adet kendi bölgelerinde kalmaktadır.



Şekil 4.7. Avrupa Yakası Başlangıçta Birincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^1 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası

Birincil kapsama alanına başlangıçta atanacakları bölgeler Şekil 4.7'de tiplerine göre renklendirilerek gösterilmiştir. Harita üzerindeki oklardan $k=1$ tip kırmızı renk, $k=2$ tip birlik sarı renk ve $k=3$ tip birlik ise mavi renk ile gösterilmiştir. Kendi bölgelerinde kalan birlikler harita üzerinde gösterilmemiştir. Birincil kapsamada $k=1$ birlik tipinin risk baskı faktörünün r_j^1 daha yüksek olduğu bölgelere doğru atanmaktadır. Bazı bölgelerde aynı tipten bir birlik hem gönderilmiş aynı zamanda da diğer bölgelerden alınmıştır. Bunun nedeni kendi bölgesinde sayı olarak

daha az miktarda birlik önce gönderilmiş daha sonra da birlik talebi D_{jk} kadar diğer komşu bölgelerden talep karşılanmıştır. Bölgelerden bazılarında $k=2$ tip birliklerin önce kısa komşu olan bölgelere gönderilmiş ve buradan da diğer komşuluk risk baskı faktörü r_j^1 yüksek olan bölgelere gönderilmiştir.

İkincil kapsama alanında planlama dönemi $t=3$ için incelendiğinde başlangıçta $j=8$ bölgeden $i=2$ bölgeye $k=1$ tipte 28 adet birlik gönderilmesi beklenmektedir Şekil 4.8. İkincil kapsamalar bu alanda birincil kapsamaların birlik talebini karşılamakta zorlandığı veya yedeklenmesi gereken alanlarda yapılmaktadır. Sonraki planlama dönemi $t=4$ dönemde $j=24$ bölgeden $i=2$ bölgeye $k=1$ tip birlikten 24 adet gönderilecektir. Son planlama döneminde $t=5$ dönemde $j=11$ bölgeden $i=2$ bölgeye $k=1$ tip birlikten 21 adet, $j=24$ bölgeden $i=2$ bölgeye $k=2$ tip birlikten 45 adet gönderilecektir.

Tablo 4.4. Avrupa Yakası Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^1 Tablosu

j	i	k	$t=3$	$t=4$	$t=5$
2	2	1		24	21
12	2	1	28		
12	2	2			45

Tablo 4.4.'te yer alan verilerin grafikleri $k=1$, $k=2$ ve $k=3$ tip birliklere göre çizildiğinde, başlangıçta j . bölgede yer alan birliklerden ne kadarının i . bölgeye gönderileceği grafiksel olarak gösterilmektedir. Her birlik tipi anlaşılması kolay olması açısından ayrı çizilmiştir.

Planlama dönemleri arasında gönderilecek birlik sayıları birliklerin tiplerine göre ayrılmıştır Tablo 4.5. Planlama dönemlerine göre birliklerinden $t=3$ planlama döneminde $j=8$ bölgeden $i=2$ bölgeye $k=1$ tipte birlikten 28 adet gönderilecektir. Planlama dönemi $t=4$ dönemde $j=24$ bölgeden $i=2$ bölgeye $k=1$ tip birlikten 24 adet birlik gönderilmektedir. Tablo 4.5 yer alan değerlere göre en son planlama dönemi $t=5$ dönemde $j=11$ bölgeden $i=2$ bölgeye $k=1$ tip birlikten $t=5$ planlama döneminde

faktörü göz önüne alındığında r_j^2 oranının yüksek olandan düşüğe göre atama yapılmaktadır. Bundan dolayı ilk olarak ikincil kapsama alanında risk baskı faktörü r_j^2 yüksek olan bölgelerden düşüğe doğru atama yapılarak bölgeler yedeklenmiştir.

Tablo 4.5. W_{jik}^2 Karar Değişkeni Sonuç Tablosu

<i>j. Bölge</i>	<i>i. Bölge</i>	<i>k=1 Tip</i>	<i>k=2 Tip</i>	<i>k=3 Tip</i>
1	3	2		
1	7		7	
1	9	1		
1	16		8	
1	19		9	
1	21			30
1	22		7	
1	23			60
1	25			60
2	11			40
3	5	2		
3	7	1		
3	14	1	8	
3	25	3		
4	2	1		50
6	9			45
6	11	3	12	
6	12		9	20
6	18	3	9	
6	19			80
7	1			25
7	10		7	
7	18			80
9	1		7	
10	21	1		
10	23	1	6	
12	15			60
13	2		12	
13	4	2		
13	20			90
14	20		9	
14	22	2		25
15	5		8	80
15	8	1	5	65
15	13			45
16	10	1		
16	13		9	
16	17			50
17	3			50
17	21		8	

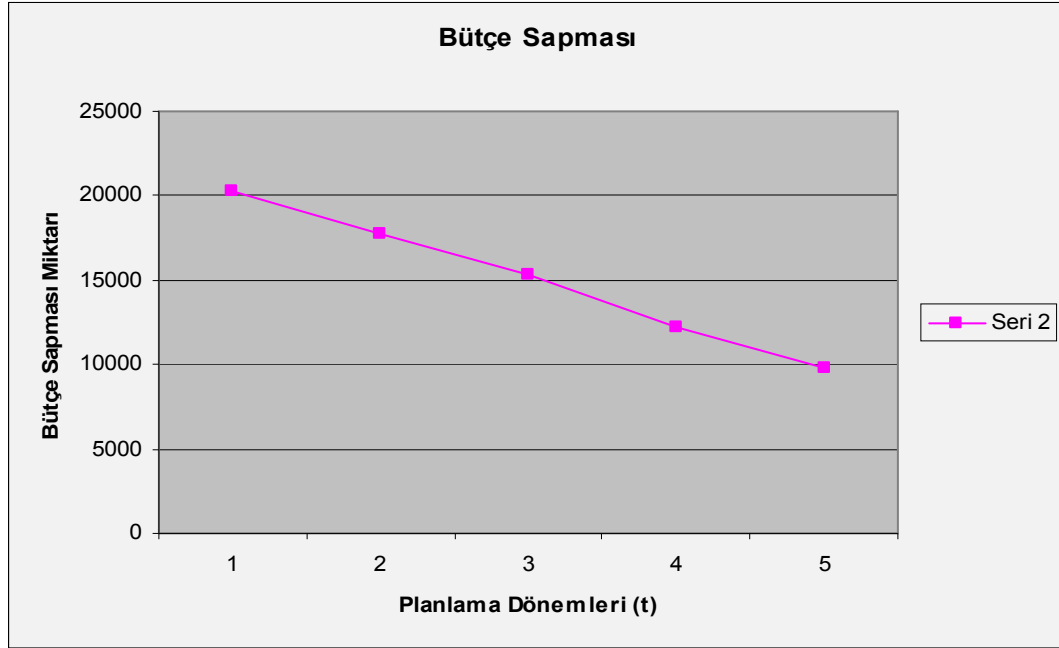
17	24	2	6	30
18	15	1		
18	17	1		
19	16			60
20	9		9	
20	15		7	
21	6	1	9	
21	7			67
21	10			30
21	19	2		
21	25		14	
23	1	1		
23	3		9	
23	14			35
23	16	1		
24	6			20
25	4		7	50
25	17		8	
25	20	2		

İyi durum senaryosunda ikincil kapsama alanına göre bölgeler arası atanacak birlik sayısı Z_{ijkt}^2 Tablo 4.6'teki gibi elde edilmiştir. İkincil kapsama alanları bölgelerin ikinci komşuluklarından oluşmaktadır.

Tablo 4.6. İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Tablosu

j	i	k	3	4	5
8	2	1	28		
11	2	1			21
24	2	1		24	
24	2	2			45

İyi durum senaryosu S_1 t . planlama dönemlerine göre BS_t bütçe sapması grafiği Şekil 4.9'deki gibidir. Bütçe sapmaları grafiği BS_t her geçen planlama döneminde azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.9. İyi Durum Senaryosu S_1 Bütçe Sapması BS_t Grafiği

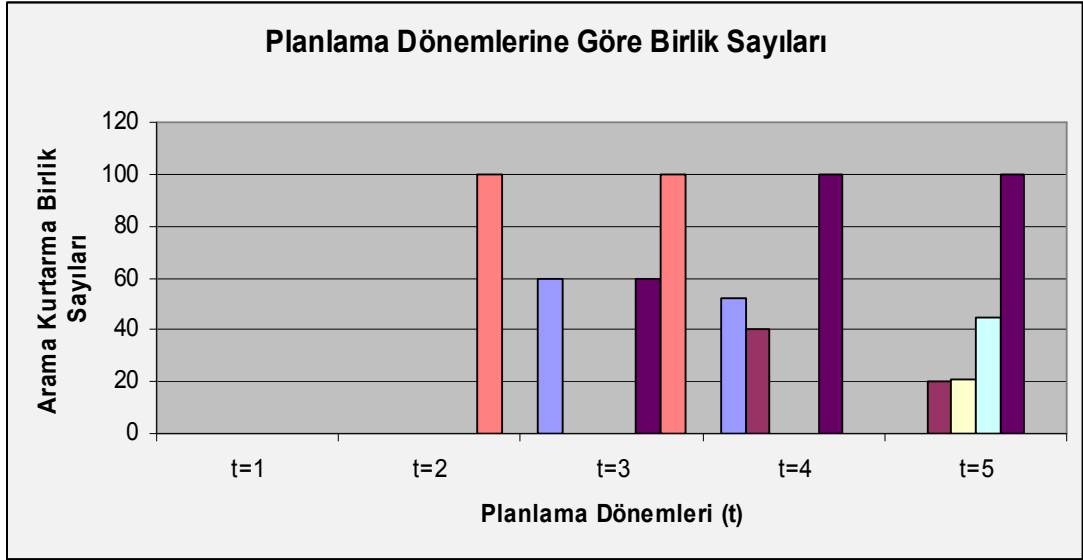
4.2.1.2. Kötü Durum Senaryosu S_2 Bulguları

Çalışmada kötü durum senaryosu S_2 ikinci olarak deneylerden elde edilen verilerden oluşur. Bu senaryoda elde edilen X_{jk} verileri Tablo 4.7’de görülmektedir.

Tablo 4.7. Kötü Durum Senaryosu S_2 Eklenecek Birlik X_{jk} Miktarı

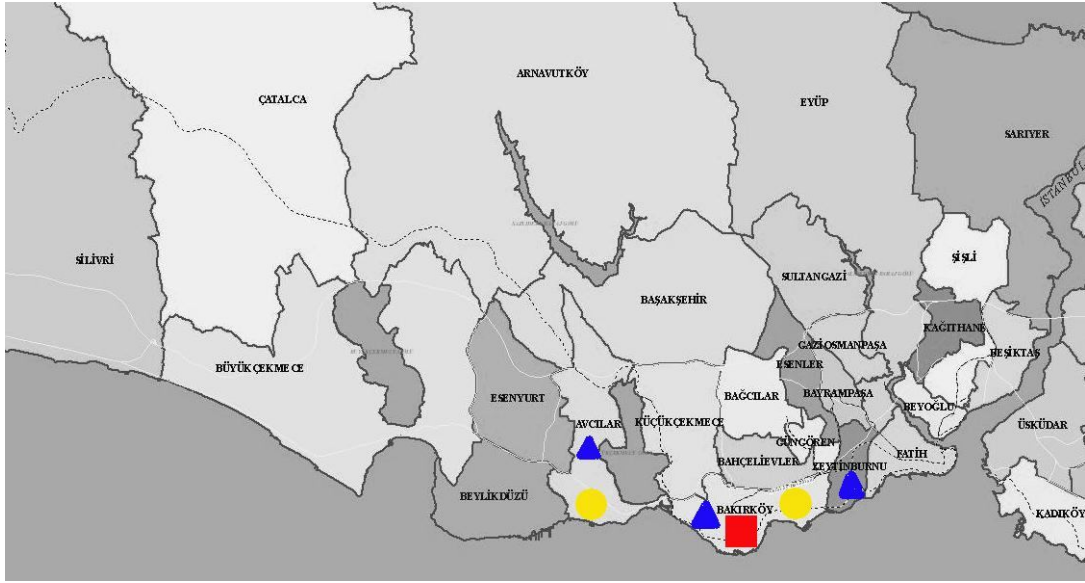
j	k	2	3	4	5
2	2		60	52	
2	3			40	20
5	1				21
5	2				45
5	3		60	100	100
25	3	100	100		

Tablo 4.7’den elde edilen grafik Şekil 4.9’a göre $j=5$ ve $j=25$ bölgelere $k=3$ tipteki birlikleri sayıca diğerlerinden daha fazla açıldığı görülmektedir. Arama kurtarma birliklerinin bölgelere göre dağılımı incelendiğinde $j=5$ bölge de tüm birlik tiplerinde açıldığı görülmektedir.



Şekil 4.10. Kötü Durum Senaryosu S_2 Planlama Dönemlerine Göre Arama Kurtarma Birlik Sayıları

İlk planlama döneminde herhangi bir birlik tipinden açılmadığı görülmektedir. Senaryo S_2 planlama dönemi $t=2$, $j=25$ bölge ve $k=3$ tipteki birliklerden 100 adet açıldığı görülmektedir. Üçüncü planlama döneminde $j=2$ bölgede $k=2$ birlik tipinden 60 adet açıldığı görülmektedir. Aynı planlama döneminde $j=5$ bölgede $k=3$ birlik tipinde 60 adet açıldığı görülmektedir. Planlama dönemi $t=4$ olduğunda $j=2$ bölgede $k=2$ birlik tipinde 52 adet, $k=3$ birlik tipinde 40 adet birlik açılmaktadır. Dördüncü planlama döneminde $j=5$ bölgede $k=3$ birlik tipinde 100 adet birlik açılmaktadır.



Şekil 4.11. Avrupa Yakası S_2 Senaryosu Sonucun Harita Üzerindeki Yerleşimi

Arama kurtarma birliklerinin birincil kapsama alanları içerisinde başlangıçta j. bölgeden i. bölgeye başlangıçta gönderilecek birlik sayılarının W_{jik}^1 tablosu Tablo 4.8'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.8. W_{jik}^1 Karar Değişkeni Sonuç Tablosu

j	i	1	2	3
1	11	3		
1	14	1	8	
2	2	1	12	
2	6		9	
3	4	2		
3	18	3		
3	20	2		
4	3		9	50
4	20		9	
5	5			80
5	18		9	
5	20			90
6	2			50
6	3	2		
6	6	1		
7	7		7	
7	17	1		
8	19	2		80
8	21	1		30

8	24			30
9	9	1	9	45
9	11			40
9	14			35
10	24		6	
11	11		12	
12	1			25
12	12		9	
12	22	2		25
13	6			20
13	7			67
13	25		14	
15	1	1	7	
15	10	1		30
15	15		7	
15	17		8	
15	19		9	
15	23		6	60
15	24	2		
15	25	3		60
16	16			60
17	15	1		
17	23	1		
18	4		7	50
18	5	2		
18	13		9	45
19	8	1		
19	15			60
20	5		8	
21	8			65
22	12			20
22	22		7	
23	17			50
24	8		5	
24	10		7	
24	21		8	
25	7	1		
25	16	1	8	
25	18			80

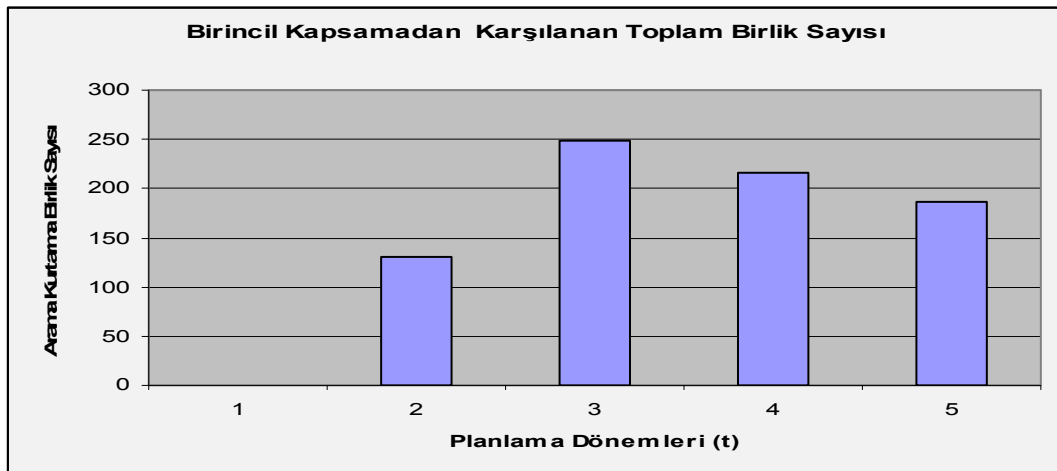
Kötü durum S_1 senaryosu Tablo 4.8 göre oluşturulan birincil kapsama alanında başlangıçta atanacak tiplerine göre birliklerin haritası Şekil 4.12 görülmektedir. Bu senaryoda birlik talepleri daha fazla olduğundan taleplerin bölgeler arasındaki değişimi de farklı olmaktadır. Arama kurtarma birliklerinin talep tiplerine göre dağılımı $k=2$ birlik tipinde oldukça arttığı gözlenmektedir. Başlangıçta birincil kapsama alanından $k=3$ birlik tipinin sayısı ve yoğunluğu S_1 senaryosuna göre

birlik hareketi $t=2$ planlama döneminde $j=12$ bölgeden $i=25$ bölgeye $k=3$ birlik tipinde 100 adet, $t=3$ planlama döneminde $j=8$ bölgeden $i=25$ bölgeye $k=3$ tipte 100 adet, $t=4$ planlama döneminde $j=23$ bölgeden $i=5$ bölgeye $k=3$ tipte ve $t=5$ planlama döneminde $j=21$ bölgeden $i=5$ bölgeye $k=3$ tipte 100 adettir.

Tablo 4.9. Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^1

Tablosu						
j . Bölge	i . Bölge	k . Tip	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$
3	2	1	31			
4	5	1				21
4	5	3		60		
8	2	2			52	
8	25	3		100		
9	2	1			24	
12	25	3	100			
14	2	3			40	
16	5	2				45
17	2	1		28		
21	2	3				20
21	5	3				100
23	5	3			100	
24	2	2		60		

Tablo 4.9’den oluşturulan Z_{ijkt}^1 grafiği Şekil 4.13’deki gibi görülmektedir. Bu şekilden de anlaşıldığı gibi $t=1$ planlama döneminde her hangi bir birlik hareketi görünmemektedir.



Şekil 4.13. Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik

Sayısı Z^1_{ijkt} Grafiği

Kendi bölgelerine hizmet verecek olan arama kurtarma birliklerinin tiplerine göre dağılımı $j=2$ bölge $k=1$ birlik tipinden 1 adet, $j=5$ bölgede $k=3$ birlik tipinden 80 adet, $j=6$ bölgede $k=1$ birlik tipinden 1 adet, $j=9$ bölgede $k=1$ birlik tipinden 1 , $k=2$ birlik tipinden 9, $k=3$ birlik tipinden 45 adet, $j=11$ bölgede $k=2$ birlik tipinden 12 adet, $j=12$ bölgeden $k=2$ birlik tipinden 9 adet, $j=15$ bölgeden $k=2$ birlik tipinden 7 adet, $j=16$ bölgeden $k=3$ birlik tipinden 60 adet ve $j=22$ bölgede $k=2$ birlik tipinden 7 adet şeklindedir.

Tablo 4.10. W^2_{jik} Karar Değişkeni Sonuç Tablosu

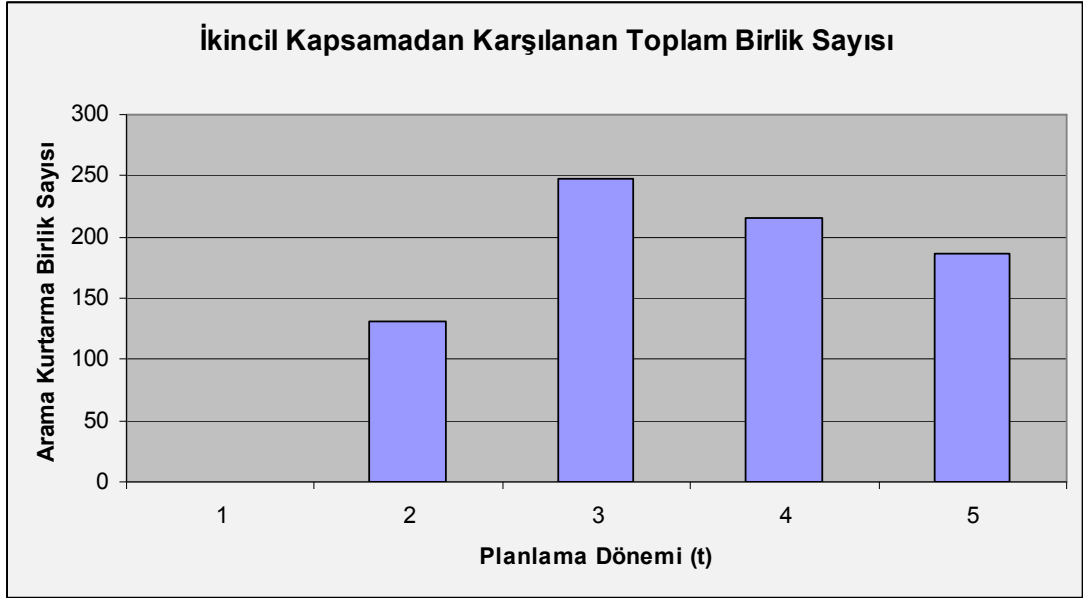
j	k	$k=1$ Tip	$k=2$ Tip	$k=3$ Tip
1	2			50
1	9	1		
1	22		7	
1	23			60
2	4		7	
2	13			45
2	15			60
3	7	1		
3	15	1	7	
3	23		6	
6	4			50
6	5	2		
6	9		9	45
6	11		12	40
6	12			20
6	16	1		
6	18		9	
6	21	1		30
6	24			30
6	25			60
7	3			50
7	5			80
7	18			80
7	24	2		
9	22			25
10	1	1		
10	7		7	67
10	16		8	
11	2		12	
13	2	1		
13	5		8	
13	20		9	

Kötü durum senaryosu S_2 senaryosunda ikincil kapsama alanında birlikleri başlangıç konumunda atanacak birlik sayıları W_{jik}^2 tablosu Tablo 4.11'deki gibi elde edilmiştir. Şekil 4.14'de haritada ikincil kapsama alanı ile bölgelerin hepsi birbirlerini tüm k . birlik tiplerine göre yedeklediği gözlenmektedir. Haritada kapsama alanlarının gösterildiği oklar oldukça uzun olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ikincil kapsama alanlarının komşulukları bir bölge sonrasında olduğundandır. İkincil kapsama alanı komşulukları bir bölge sonraki komşuluklardan oluşmaktadır. Ayrıca haritada Avrupa kıtasının deprem bölgesine yakın ilçelerinin tüm birlik tiplerinde tamamının yedeklendiği görülmektedir.

Tablo 4.11. İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Tablosu

<i>j. Bölge</i>	<i>i. Bölge</i>	<i>k. Tip</i>	<i>t=2</i>	<i>t=3</i>	<i>t=4</i>	<i>t=5</i>
3	5	3			100	
3	25	3	100			
4	2	1	31			
4	5	3				100
4	25	3		100		
5	2	1			24	
6	5	2				45
17	2	2			52	
19	2	2		60		
19	5	1				21
19	5	3		60		
22	2	1		28		
22	2	3				20
24	2	3			40	

Planlama dönemleri t . dönem içerisinde ikincil kapsama alanlarından birlik talepleri Z_{jikt}^2 karar değişkeni ile karşılanmaktadır. Bu karar değişkeninin aldığı değerler Tablo 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.15. İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Grafiği

Kötü durum senaryosu S_2 ikincil kapsama alanı içerisinde bölgeler arası planlama dönemlerinde gönderilecek toplam birlik sayılarının grafiği Şekil 4.15’de görülmektedir. Bu grafikten birincil kapsama alanına paralel olarak $t=3$ planlama döneminde en fazla birlik karşılandığı görülmektedir.

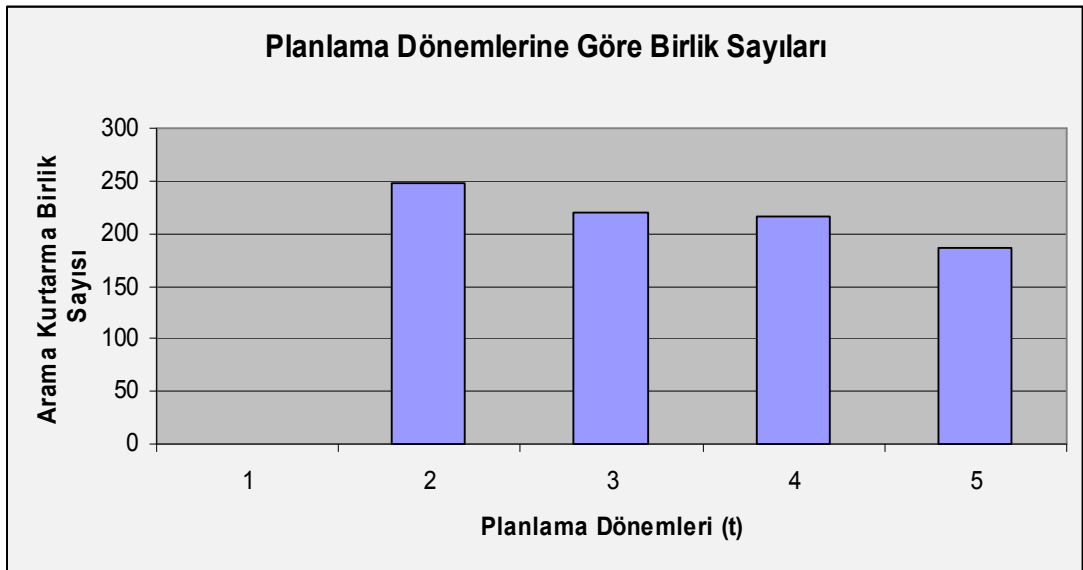
4.2.1.3.Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Bulguları

Çalışmada Avrupa yakasına ait çok kötü durum senaryosu S_3 en son üretilen sonuçlardır. Bu senaryo sonuçlar karşılaşılabilecek en kötü deprem senaryosudur ve arama kurtarma birlik talep miktarları en fazla bu senaryodadır.

Tablo 4.12. Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Göre Eklenecek Birlik X_{jk} Miktarı

<i>j. Bölge</i>	<i>k. Bölge</i>	<i>t=2</i>	<i>t=3</i>	<i>t=4</i>	<i>t=5</i>
2	2	67	60		
2	3		60	40	20
5	1			24	21
5	2			52	45
5	3	100	100	100	100
11	3	80			

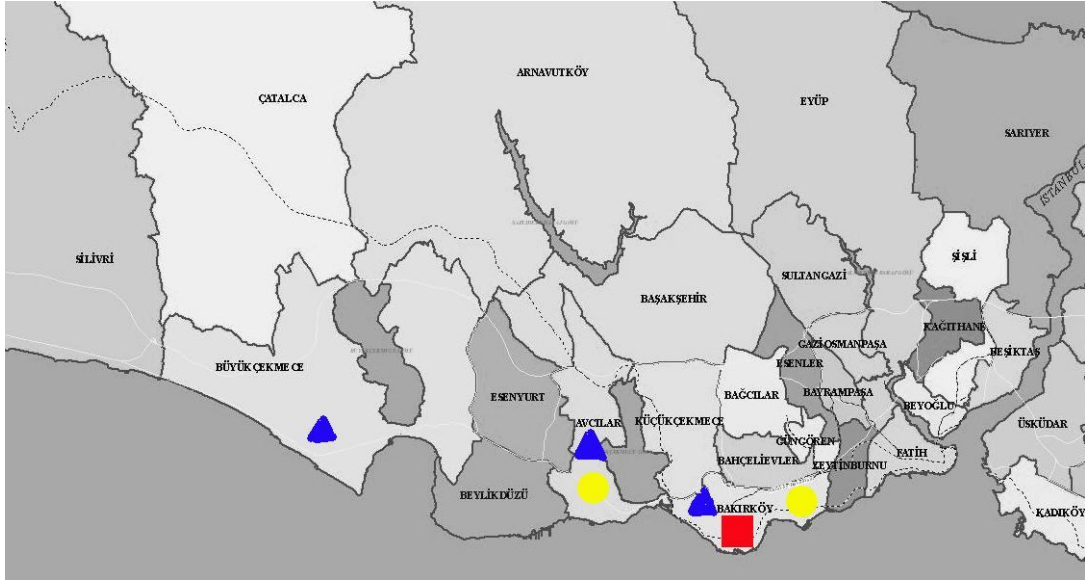
Sonuçlardan elde edilen değerlerde Tablo 4.12 oluşturulmuştur. Çok kötü durum senaryosu S_3 birinci planla döneminde herhangi bir birlik açılmamıştır. Planlama dönemi $t=2$ $j=2$ bölgeye $k=2$ tipteki birliklerden 67 adet, $j=5$ bölgede $k=3$ tipteki birliklerde 100 adet, $j=11$ bölgede $k=3$ tipteki birliklerden 80 adet toplamda ise 247 adet açılmıştır Şekil 4.15.



Şekil 4.15. Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Planlama Dönemlerine Göre Arama Kurtarma Birlik Sayıları

Bir sonraki planlama dönemi $t=3$ olduğunda eklenen toplam birlik sayısı azalmış ve bölgelere göre dağılımı $j=2$ bölgeye $k=2$ tipte 60 ve $k=3$ tipte 60 adet birlik olacak şekilde eklenmiştir. Planlama dönemi $t=4$ eklenecek olan birlik sayısı bir önceki planlama dönemine göre bira daha azalmış tüm birlik tiplerine göre toplam 216 adet olmuştur.

En son planlama dönemi $t=5$ olduğunda eklenecek birlik sayısı X_{jk} 186 adet olarak azalmıştır. Arama kurtarma birliklerinin bölgelere göre dağılımı ise $j=2$ bölgede $k=3$ tip birlikten 20 adet, $j=5$ bölgede $k=1$ tip birlikten 21 adet, $k=2$ tip birlikten 45 adet, $k=3$ tip birlikten 100 adet eklenmektedir.

Şekil 4.16. Avrupa Yakası S_2 Senaryosu Sonucun Harita Üzerindeki Yerleşimi

Çok kötü durum senaryosunda Avrupa yakasında arama kurtarma birliklerinin birincil kapsama alanında j . bölgeden i . bölgeye başlangıçta gönderilecek olan birlik sayıları W_{jik}^1 Tablo 4.13'te görülmektedir.

Tablo 4.13 W_{jik}^1 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu

j . bölge	i . bölge	$k=1$ Tip	$k=2$ Tip	$k=3$ Tip
1	1	1		
1	6			20
1	11	3	12	
1	12			20
2	9	1	9	
3	3	2		
3	18	3		
4	5			80
4	20	2		
5	18		9	
5	20			90
6	1		7	25
6	13		9	
6	20		9	
7	7	1		
7	15			60
8	10		7	
8	19	2		
8	21		8	
9	9			45

9	11			40
9	14	1	8	35
10	10			30
10	24	2		30
11	22	2	7	
12	12		9	
13	7			67
13	17			50
13	18			80
14	2		12	50
15	7		7	
15	10	1		
15	16			60
16	25		14	60
17	23	1	6	60
18	4	2	7	50
18	5		8	
19	8	1	5	65
19	15	1		
19	19		9	
20	2	1		
20	3		9	50
20	5	2		
20	6	1	9	
21	21	1		
22	22			25
23	17	1	8	
24	19			80
24	21			30
24	24		6	
25	13			45
25	15		7	
25	16	1	8	
25	25	3		

Çok kötü durum S_3 senaryosuna göre j . bölgelerin bazılarında diğer i . bölgelere birlik gönderilmemektedir. Arama kurtarma birliklerinin gönderilmeyecek bölgeleri $j=1$ bölgede $k=1$ tip birlikten 1 adet, $j=3$ bölgeden $k=2$ tip birlikten 2 adet, $j=7$ bölgeden $k=1$ tip birlikten 1 adet, $j=9$ bölgeden $k=3$ tip birlikten 45 adet, $j=10$ bölgeden $k=3$ tip birlikten 30 adet, $j=19$ bölgeden $k=2$ tip birlikten 9 adet, $j=22$ bölgeden $k=3$ tip birlikten 25 adet, $j=24$ bölgeden $k=2$ tip birlikten 6 adet ve $j=25$ bölgeden $k=1$ tip birlikten 3 adet olarak elde edilmiştir.

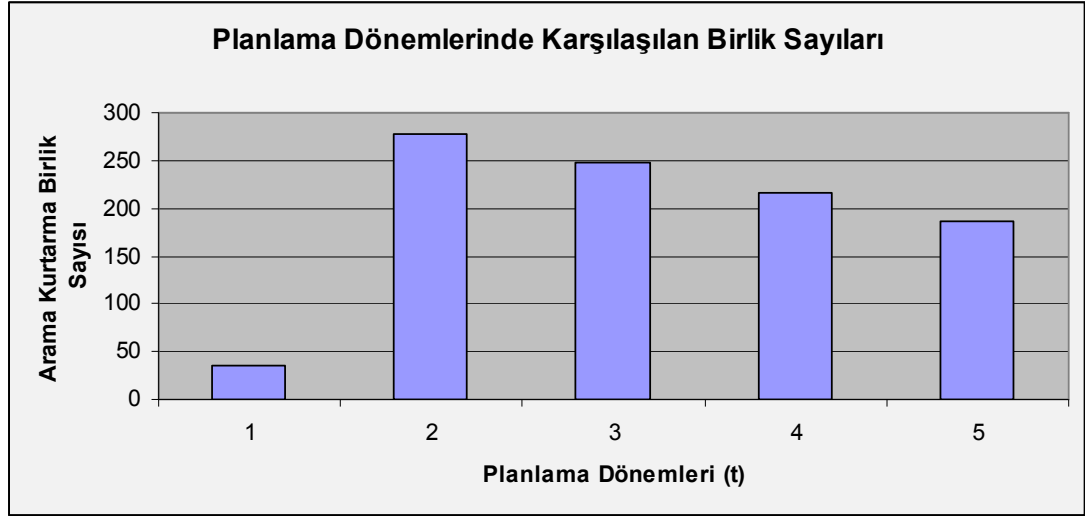
Bu neden ile planlama dönemleri arasında j . bölge ile i . bölge arasında arama kurtarma birlikleri gönderilebilmektedir.

Tablo 4.14. Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^1 Tablosu

j . Bölge	i . Bölge	k . Tip	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$
2	5	3			100		
3	2	1	35				
5	2	1			28		
5	2	2			60		
5	5	1				24	
8	5	3					100
8	11	3		80			
9	2	2		67			
9	5	3				100	
13	5	2					45
14	5	1					21
15	5	2				52	
16	2	1		31			
17	5	3		100			
22	2	3				40	
25	2	3			60		20

Çok kötü durum senaryosuna S_3 göre birincil kapsama alanından j . bölgeden i . bölgeye t . planlama döneminde gönderilecek olan birlik sayıları en fazla $t=2$ planlama döneminde olmuştur Tablo 4.14. bu tablodan elde edilen planlama dönemlerine göre birlik sayıları grafiği Şekil 4.18’te görüldüğü gibidir.

Bu senaryoda S_1 ve S_2 senaryosuna göre $t=1$ planlama döneminde diğer bölgelerden $j=3$ bölgeden $i=2$ bölgeye $k=1$ tipte 35 adet birlik gönderilmektedir. Bu duruma göre bazı bölgelerde S_3 senaryosunda daha fazla birlik talebi oluştuğundan bahsedilebilir.



Şekil 4.18. Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{jikt}^1 Grafiği

Çok kötü durum senaryosunda S_3 ikincil kapsama alanları incelendiğinde elde edilen sonuçların diğer bölgelerden çok farklı olduğu gözlenmektedir.

Tablo 4.15. W_{jik}^2 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu

<i>j. bölge</i>	<i>i. bölge</i>	<i>k=1 Tip</i>	<i>k=2 Tip</i>	<i>k=3 Tip</i>
1	2			50
1	17		8	
1	19		9	
1	24	2	6	
2	1		7	
2	11		12	
2	13			45
2	15			60
2	23	1	6	
4	13		9	
5	2	1		
5	3		9	
5	7	1	7	
6	4			50
6	5		8	
6	9	1		
6	10		7	30
6	11	3		
6	12		9	
7	3	2		
7	16			60
7	18	3		
7	19	2		80

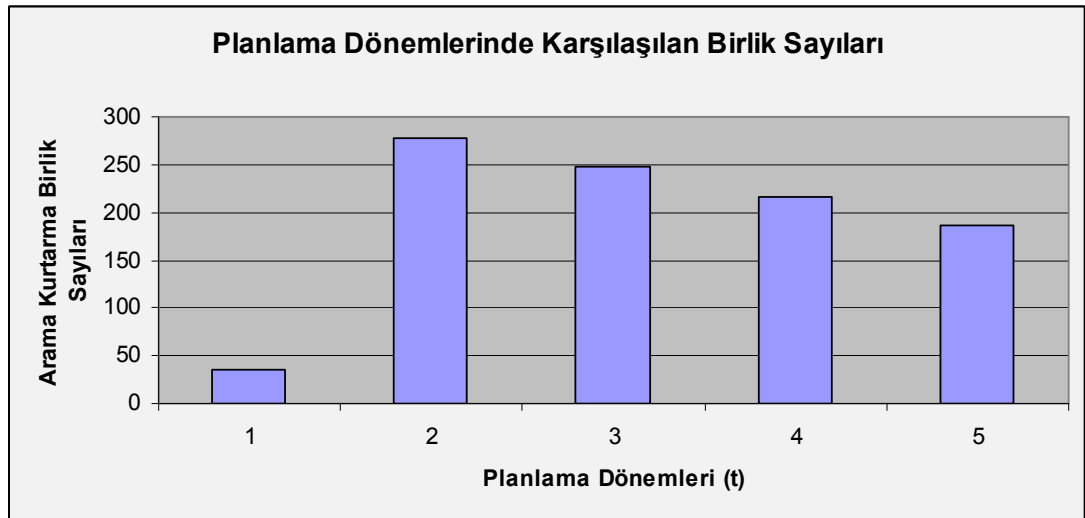
7	21	1	8	30
10	6			20
10	7			67
12	9		9	
12	14			35
13	2		12	
13	16		8	
14	12			20
14	22	2	7	25
15	5	2		80
15	8	1	5	65
15	11			40
15	18			80
16	17	1		
17	6		9	
17	18		9	
17	24			30
17	25	3		
18	6	1		
18	15	1		
18	20			90
20	1	1		25
20	9			45
20	14		8	
20	15		7	
21	10	1		
21	23			60
21	25		14	60
22	14	1		
23	16	1		
23	20		9	
24	17			50
25	3			50
25	4	2	7	
25	20	2		

İkinci kapsama alanında başlangıçta gönderilecek olan birlik sayısını W_{jik}^2 karar değişkeni ile belirlenmektedir. Bir önceki senaryoda S_2 yer alan W_{jik}^2 değerlerine göre sayısal bir değişiklik olmamış, bunun yerine yerleşim yerleri j . bölgeden i . bölgeye gönderiliş sıralaması değişmiştir.

Tablo 4.16. İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Tablosu

<i>j. Bölge</i>	<i>i. Bölge</i>	<i>k. Tip</i>	<i>t=1</i>	<i>t=2</i>	<i>t=3</i>	<i>t=4</i>	<i>t=5</i>
2	2	3					20
4	5	2					45
5	5	3					100
5	11	3		80			
8	5	1					21
9	2	3			60		
11	2	1	35				
12	5	3		100			
15	2	1		31	28		
17	2	2			60		
17	5	1				24	
19	5	2				52	
20	2	2		67			
22	2	3				40	
22	5	3			100	100	

Risk baskı faktörü S_3 çok kötü durum senaryosunda planlama dönemi $t=2$ de bazı bölgelerde yüksek olduğundan Z_{ijkt}^2 toplam değeri bu bölgede yüksek çıkmaktadır.



Şekil 4.20. İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Grafiği

4.2.2. Anadolu Yakası Bulguları

Anadolu yakası sonuçları Avrupa yakasından bağımsız olarak çözülmüş ve ayrı sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada Anadolu yakası sonuçlarında Avrupa yakasına benzer senaryolar geliştirilmiştir. Geliştirilen senaryolar İyi durum senaryosu S_1 , Kötü durum senaryosu S_2 ve Çok Kötü durum senaryosu S_3 şeklinde geliştirilmiştir. Bu senaryolara ait planlama dönemlerinin sonuçları yorumları da bölgelere göre tablolardan çizdirilen grafikler üzerinden yapılmıştır. Her senaryo sonucunda öncelikle planlama dönemlerine göre eklenecek arama kurtarma birliği sayısı X_{jk} tabloları oluşturulmuştur. Daha sonra elde edilen diğer karar değişkenlerine ait sonuçlar birincil ve ikincil kapsama alanlarına ait W_{jik}^1, W_{jik}^2 , Z_{jikt}^1 ve Z_{jikt}^2 karar değişkenlerinin grafikleri çizdirilmiştir. Anadolu yakası çözümleri için karar değişkenleri W_{jik}^1, W_{jik}^2 , Z_{jikt}^1 ve Z_{jikt}^2 ait değerlerin yer aldığı tablolar ilgili bölümünde hazırlanmıştır.

4.2.2.1. İyi Durum Senaryosu S_1 Bulguları

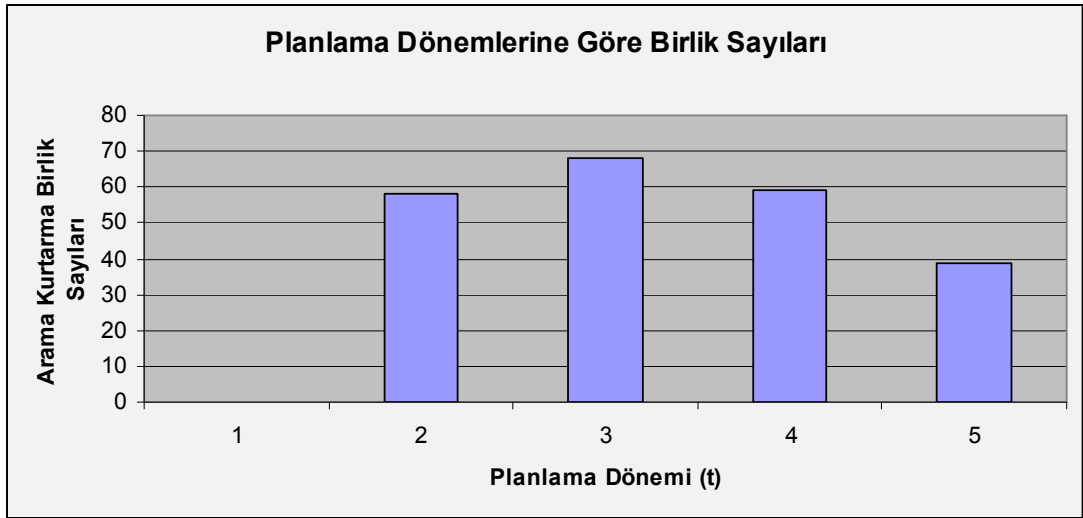
Anadolu yakasına ait S_1 senaryosundan elde edilen sonuçlara göre planlama dönemlerinde eklenecek X_{jk} arama kurtarma birlik sayıları Tablo 4.17’de verilmiştir. İyi durum senaryosundan elde edilen verilere göre oluşturulan Tablo 4.17’ye göre $j=11$ bölgeye $k=1,2,3$ birlik tiplerinde arama kurtarma birliği eklenmiştir. Bölgelerden $j=7$ bölgeye sadece $k=2,3$ birlik tiplerinde arama kurtarma birliği eklenmiştir. Arama kurtarma birlik sayılarının planlama dönemlerine göre toplamaları Şekil 4.19’daki grafikte görülmektedir.

Planlama dönemlerine T göre iyi durum senaryosunu S_1 incelediğimizde birinci planlama döneminde birlik açılmadığı görülmektedir. İkinci planlama döneminde $t=2$ $j=2$ bölgede $k=2$ tip birlikten 22 adet açılmaktadır. Bu senaryoda r_j^1 birincil risk baskı faktörünün etkisi görülmektedir. Bölge $j=11$ bölgede risk baskı faktörünün yüksek olmasına bağlı bir yoğunluğun olduğu görülmektedir.

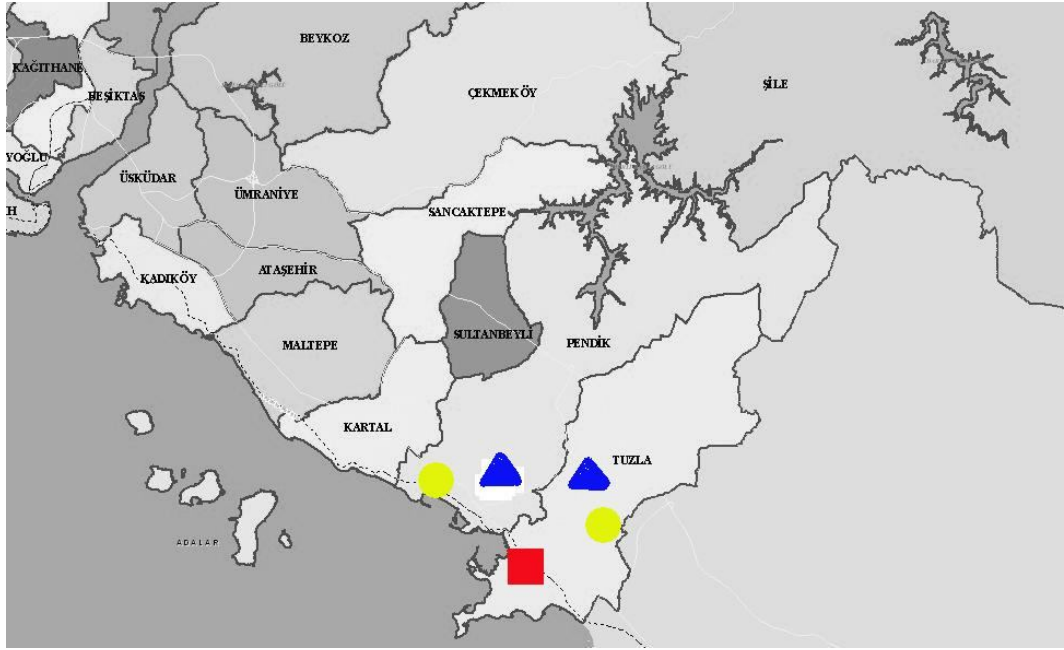
Tablo 4.17. İyi Durum Senaryosu S_1 Göre Eklenecek Birlik X_{jk} Miktarı

j . Bölge	k . Tip	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$
7	2		22			
7	3		36			
11	1			16	14	
11	2			20	17	15
11	3			32	28	24

Üçüncü planlama döneminde $j=11$ bölgede $k=1$ tip birlikten 16 adet, $k=2$ tip birlikten 20 adet ve $k=3$ tip birlikten 32 adet eklendiği görülmektedir. Sonraki planlama dönem $t=4$ planlama döneminden $j=11$ bölgede $k=1$ birlik tipinden 14 adet, $k=2$ birlik tipinden 17 adet ve $k=3$ birlik tipinden 28 adet eklendiği görülmektedir. En son planlama dönemi $j=11$ bölgede $k=2$ birlik tipinde 15 adet ve $k=3$ birlik tipinde 24 adet birlik eklendiği görülmektedir.

Şekil 4.21. İyi Durum Senaryosu S_1 Planlama Dönemlerine Göre Arama Kurtarma Birlik Sayıları

Senaryoda eklenecek birlik sayılarının harita üzerinde gösterimi Şekil 4.20'deki gibidir. Harita üzerinden de anlaşıldığı gibi eklenecek birlik sayıları X_{jk} tiplerine göre deprem olması muhtemel bölgelerde açıldığı görülmektedir.

Şekil 4.22. Anadolu Yakası S_1 Senaryosu Sonucun Harita Üzerindeki Yerleşimi

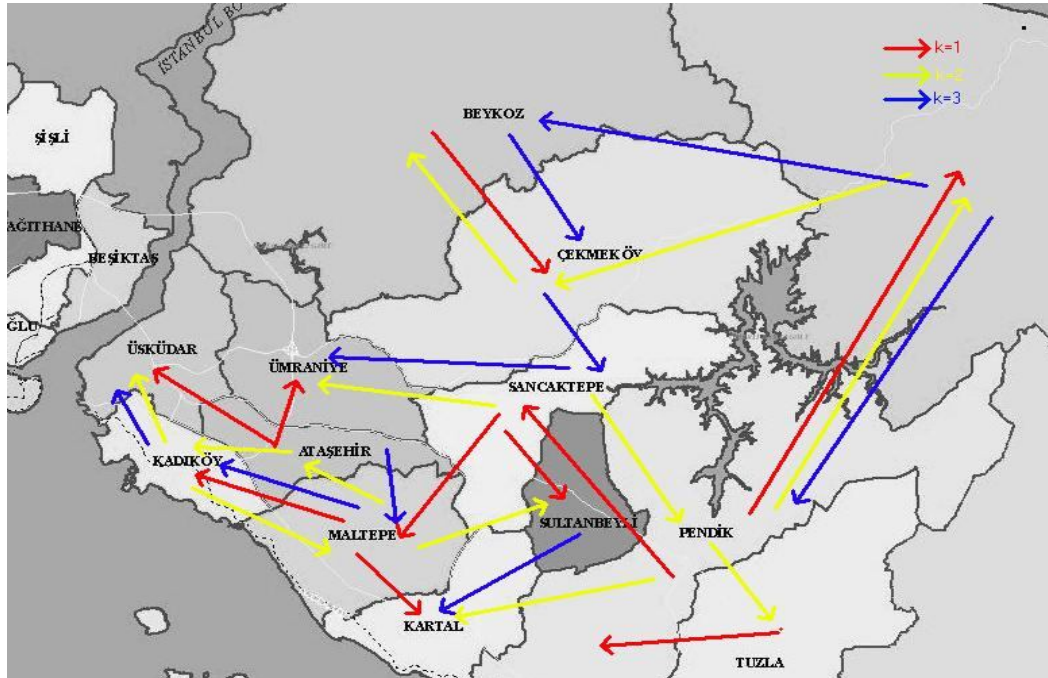
Haritadaki kırmızı kareler $k=1$ tip birlikleri, sarı yuvarlaklar $k=2$ tip birlikleri ve mavi üçgenler ise $k=3$ tip birlikleri göstermektedir Şekil 4.22.

Tablo 4.18. W_{jik}^1 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu

$j. bölge$	$i. bölge$	$k=1$ Tip	$k=2$ Tip	$k=3$ Tip
1	1			12
1	4		5	
1	6			30
1	12	1		
1	13	3		
2	3	1		15
3	2		4	
3	8			30
4	6		5	
4	13		6	25
6	1		5	
6	4	2		25
6	5	2		
6	9		3	
7	5		6	
7	8	1		
7	10	1	5	
7	11		4	
8	6	1		
8	7		4	

8	9	1		
8	12		4	20
9	5			25
9	9			20
10	2			15
10	3		4	
10	7			30
10	10			30
11	7	1		
11	11	2		30
12	8		5	
13	1	1		

Birincil kapsama alanında başlangıçta gönderilecek olan birlikleri gösteren karar değişkeni W_{jik}^1 elde edilen sonuçlar Tablo 4.18’de görülmektedir. Bu tabloda iyi durum senaryosu S_1 arama kurtarma birlikleri $j=1,9,10,11$ bölgelerdeki $k=3$ tip birlikler yerlerinde kalmaktadır. Yerlerinde kalacak birliklerin bölgelerine göre sayıları $j=1$ bölgede $k=3$ tip birlikten 12 adet, $j=9$ bölgede $k=3$ tip birlikten 20 adet, $j=10$ bölgede $k=3$ tip birlikten 30 adet, $j=11$ bölgede $k=3$ tip birlikten 30 adettir.



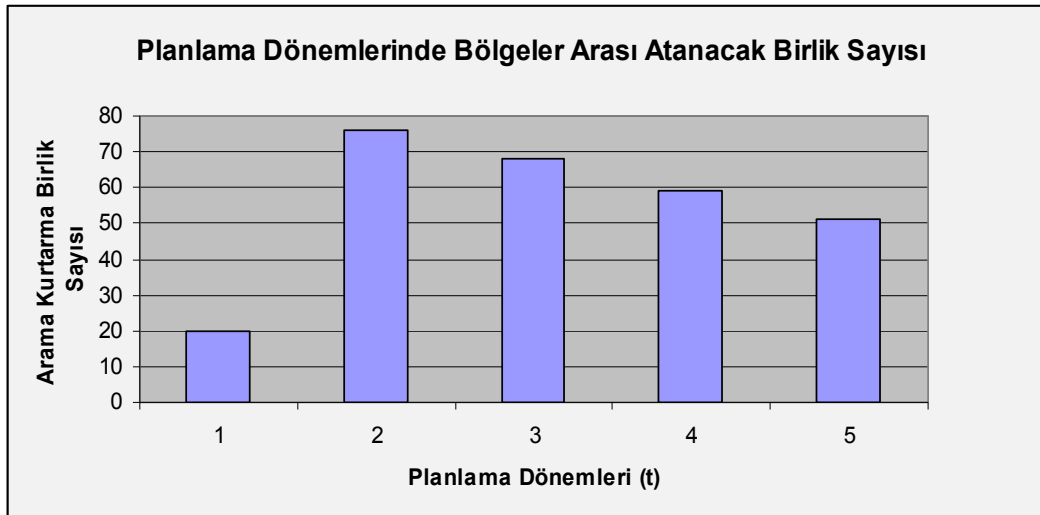
Şekil 4.23. Anadolu Yakası S_1 Senaryosu Başlangıçta Birincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^1 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası

Birincil kapsama alanında başlangıçta gönderilecek olan birlik yerlerinin risk baskı faktörü r_j^1 yüksek olduğu alanlara doğru yığıldığı görülmektedir. Bölgeler arası başlangıçta birlik değişiminin yüksek olması bazı bölgelerde arama kurtarma birliğine daha fazla ihtiyaç olduğunu talebin daha fazla olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.19. Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^1 Tablosu

<i>j. Bölge</i>	<i>i. Bölge</i>	<i>k. Tip</i>	<i>t=1</i>	<i>t=2</i>	<i>t=3</i>	<i>t=4</i>	<i>t=5</i>
1	7	1		18			
2	7	1					12
3	7	3		36			
3	11	1			16		
5	11	3				28	
9	11	3					24
10	7	1	20				
10	7	2		22			
10	11	1				14	
10	11	2			20	17	15
10	11	3			32		

Anadolu yakası iyi durum senaryosuna göre S_1 planlama dönemleri arasında bölgeler arasında ikincil kapsama alanları arasında atanacak birlik sayıları $t=2$ dönemde yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.24. Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{jikt}^1 Grafiği

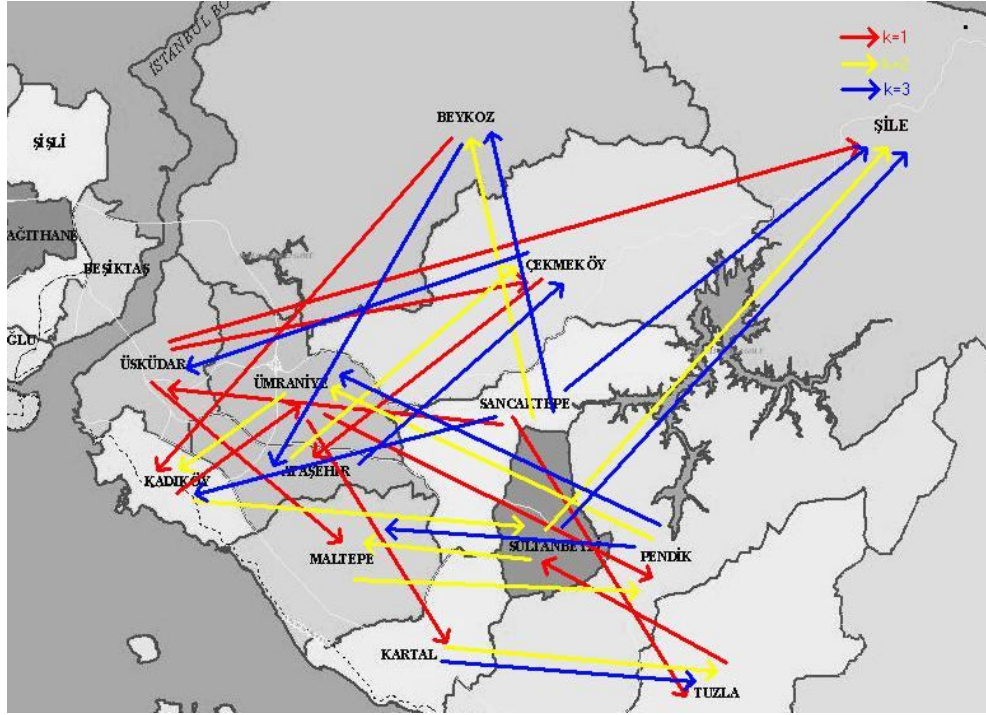
İkincil kapsama alanında başlangıçta gönderilecek olan birlik sayıları Tablosu W_{jik}^2 karar değişkeninden alına verilerden oluşturulmuştur Tablo 4.20.

Tablo 4.20. W_{jik}^2 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu

<i>j. bölge</i>	<i>i. bölge</i>	<i>k=1 Tip</i>	<i>k=2 Tip</i>	<i>k=3 Tip</i>
1	3		4	15
2	1			12
2	4	2		
3	1	1		
3	13			25
4	9		3	
4	12	1		
5	11		4	30
6	7		4	
7	6			30
7	12		4	20
8	2		4	15
8	4			25
8	11	2		
8	13	3	6	
9	1		5	
9	6		5	
9	10		5	30
10	8			30
10	9			20
11	5		6	25
11	8	1	5	
11	9	1		
12	4		5	
12	5	2		
12	7	1		30
13	3	1		
13	6	1		
13	10	1		

İkincil kapsama alanında başlangıç için gönderilecek birlikler W_{jik}^2 sayı tablosundan oluşturulan grafik Şekil 4.25’de görülmektedir. Bu grafiğe göre deprem risk baskı faktörü r_j^2 değerlerine göre bölgeler arası atamalar yapılarak riski yüksek olan bölgeler yedeklenmiştir. Yedekleme yapılan *j.* bölgeler karşılaşılan arama

kurtarma birlik taleplerini $k=3$ tip birliklerin yüksek oranda yedeklendiği görülmektedir.



Şekil 4.25. Anadolu Yakası S_1 Senaryosu Başlangıçta İkincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^2 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası

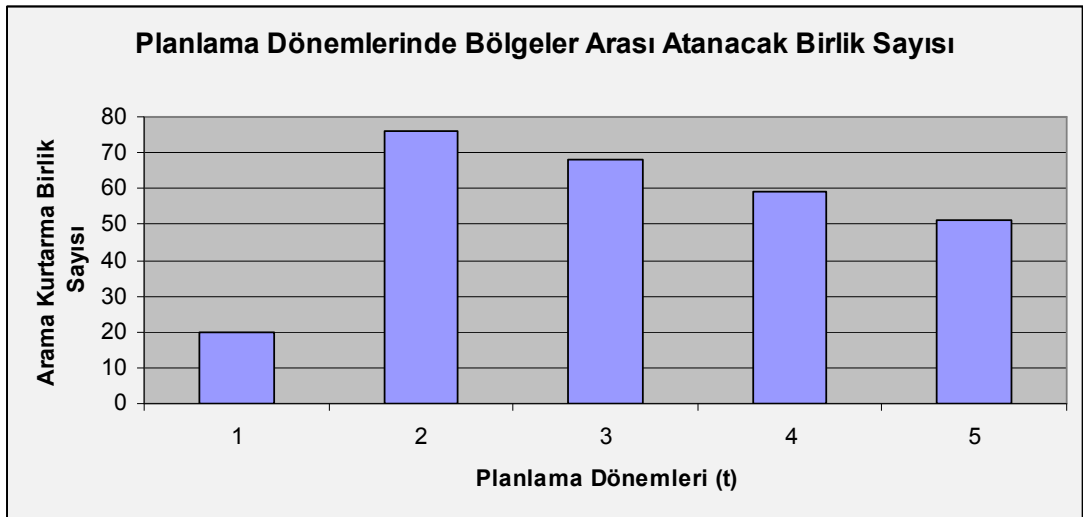
Anadolu yakası iyi durum senaryosunda S_1 ikincil kapsama alanı başlangıçta atanacak olan birlikler Harita üzerine Şekil 4.25'te görülmektedir. bu şekle göre ikincil kapsamada bölgelerin hepsi en az bir kez yedeklenmiştir.

Tablo 4.21. İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2

Tablosu							
j . Bölge	i . Bölge	k . Tip	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$
6	11	2					15
6	11	3			32	28	24
7	7	1	20	18			12
7	7	2		22			
7	7	3		36			
7	11	1			16	14	
7	11	2			20	17	

Matematiksel modelde W_{jik}^2 karar değişkeni ile gösterilen bu durum Anadolu yakası için tamamı ile gerçekleşmiştir. Bu duruma göre bazı bölgelerin birbirilerine olan uzaklıktan dolayı birliklerin atanacak bölgeleri gösteren renkli oklar diğerlerine göre uzundur. Bu durum komşuluk matrisine uyulması nedeni ile gerçekleşmiştir.

Başlangıçta ikincil bölgeler arasında yapılacak olan yedekleme atamasında birliklerin diğer bölgeleri yüksek sayılarda yedeklediği görülmektedir (Şekil 4.25). bölgelerden en fazla yedekleme $j=7$ bölgeden yapılmıştır. İkincil kapsama alanında en fazla $j=11$ bölge yedeklenmiştir. Risk baskı faktörü $r_j^2 j=11$ bölgede yüksek olması nedeni ile bu bölge birincil ve ikincil olarak yüksek sayılarda birlik ataması yapılmıştır.



Şekil 4.26. İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{jikt}^2 Grafiği

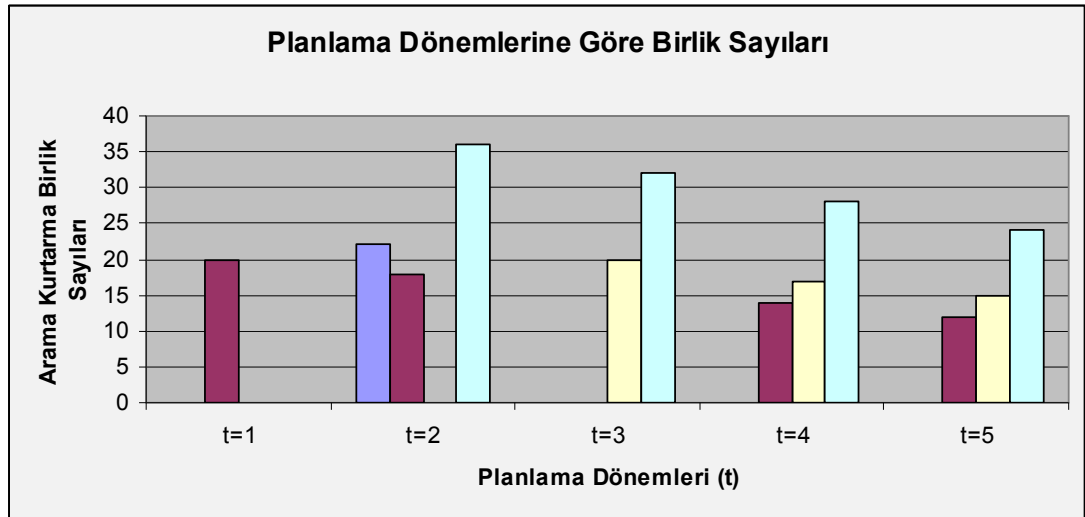
İkincil kapsama alanlarında birliklerin toplam sayıları açısından yedekleme atmalarında birincil atamalara benzer şekilde $t=2$ planlama döneminde yüksek olduğu Şekil 4.26 görülmektedir. Birinci planlama döneminde $t=1$ toplam 20 adet birliğini ikincil kapsama olarak diğer bölgeleri yedeklediği gözlenmektedir. Birinci planlama döneminde risk baskı faktörü r_j^2 yüksekliğinden dolayı yedekleme yapılan $j=7$ bölgenin kendisidir.

4.2.2.2. Kötü Durum Senaryosu S_2 Bulguları

Anadolu yakası için çalışmada kötü durum senaryosu S_2 ikinci olarak incelenen senaryodur. Bu senaryo sonuçlarından elde edilen eklenecek birlik sayıları X_{jk} Tablo 4.22’de görülmektedir.

Tablo 4.22. İyi Durum Senaryosu S_1 Göre Eklenecek Birlik X_{jk} Miktarı

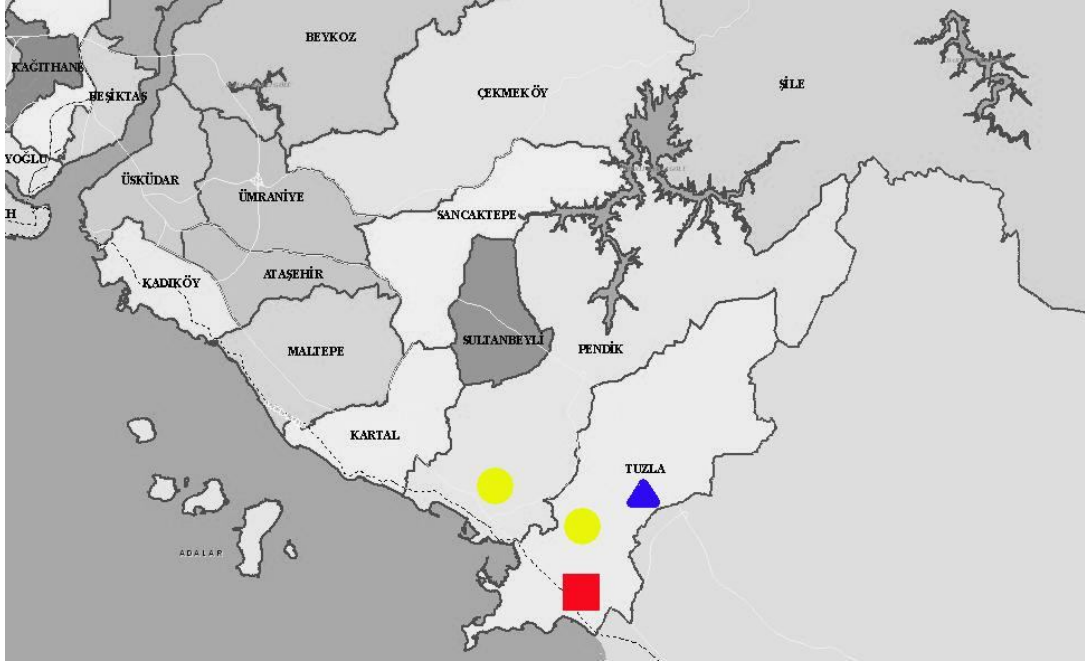
j . Bölge	k . Tip	$T=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$
10	2		22			
11	1	20	18		14	12
11	2			20	17	15
11	3		36	32	28	24



Şekil 4.27. Kötü Durum Senaryosu S_2 Planlama Dönemlerine Göre AramaKurtarma Birlik Sayıları

Tablo 4.22’den elde edilen grafikte $t=1$ planlama dönemi haricinde diğer planlama dönemlerinde yoğun birlik eklendiği görülmektedir. Tablo 4.23’ye göre birinci planlama dönemi $t=1$ $j=11$ bölgede $k=1$ tipteki birlikten 20 adet açılmıştır. İkinci planlama dönemine geçildiğinde $j=10$ bölgede $k=2$ tipteki birliklerden 22 adet, $j=11$ bölgede $k=1$ tip birlikten 18 adet ve $k=3$ tip birlikten 36 adet eklenmiştir. Bir sonraki planlama dönemi $t=3$ dönemde $j=11$ bölgede $k=2$ tip birlikten 20 adet ve $k=3$ tip birlikten 32 adet eklenmiştir. Dördüncü dönem $t=4$ olduğunda ise $j=11$

bölgede $k=1$ tip birlikten 14 adet, $k=2$ tip birlikten 17 adet ve $k=3$ tip birlikten 28 adet eklenmiştir. Son planlama döneminde $j=11$ bölgede $k=1$ tip birlikten 12 adet, $k=2$ tip birlikten 15 adet ve $k=3$ tip birlikten 24 adet eklenmiştir.



Şekil 4.28. Anadolu Yakası S_2 Senaryosu Sonucun Harita Üzerindeki Yerleşimi

Haritadaki kırmızı kareler $k=1$ tip birlikleri, sarı yuvarlaklar $k=2$ tip birlikleri ve mavi üçgenler ise $k=3$ tip birlikleri göstermektedir Şekil 4.28.

Kötü durum senaryosu S_2 birincil kapsama alanından başlangıçta gönderilecek olan birlikleri gösteren karar değişkeni W_{jik}^1 elde edilen sonuçlar Tablo 4.23’de görülmektedir. Başlangıçta yerlerinde kalarak talebi karşılamaya çalışan bölgeler $j=10$ bölgede $k=3$ birlik tipi ve $j=11$ bölgede $k=1$ birlik tipi 2 adet ve $k=3$ birlik tipi 30 adettir. Diğer birlikler talep bölgelerine sevk edilerek talebi karşılamaya çalışmaktadır.

Tablo 4.23. W_{jik}^1 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu

<i>j. bölge</i>	<i>i. bölge</i>	<i>k=1 Tip</i>	<i>k=2 Tip</i>	<i>k=3 Tip</i>
1	1			12
1	4		5	
1	6			30
1	12	1		
1	13	3		
2	3	1		15
3	2		4	
3	8			30
4	6		5	
4	13		6	25
6	1		5	
6	4	2		25
6	5	2		
6	9		3	
7	5		6	
7	8	1		
7	10	1	5	
7	11		4	
8	6	1		
8	7		4	
8	9	1		
8	12		4	20
9	5			25
9	9			20
10	2			15
10	3		4	
10	7			30
10	10			30
11	7	1		
11	11	2		30
12	8		5	
13	1	1		

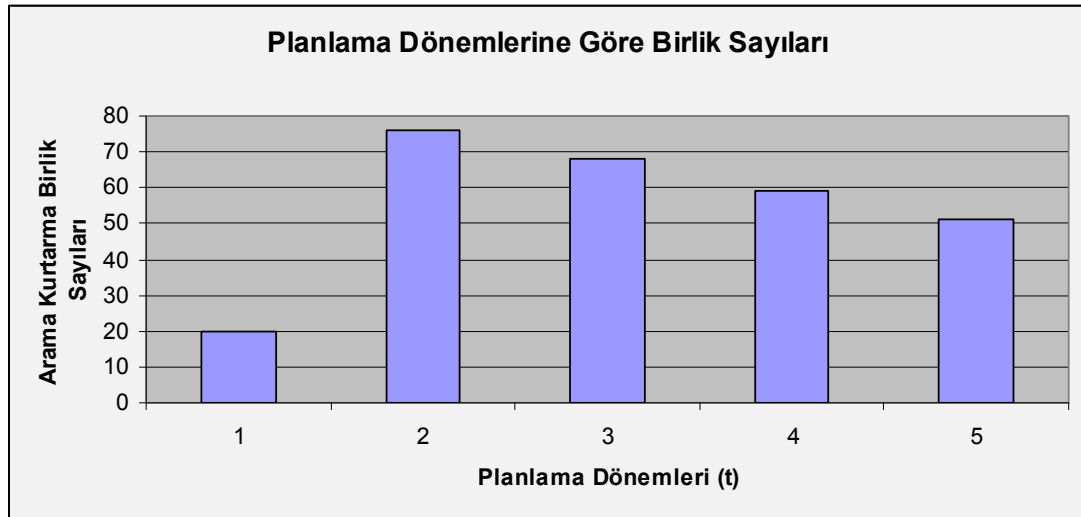
Başlangıçta *j.* bölgeden *i.* bölgeye gönderilecek olan birlik sayıları talebin belirli bölgelerde daha fazla olduğunu göstermektedir. Birincil kapsama alanındaki risk baskı faktörü r_j^1 bölgelerdeki deprem olasılı hakkında bilgi vermektedir. Risk baskı faktörünün bazı *j.* bölgelerde yüksek olmasından dolayı düşük oranlı risk baskı faktörüne sahip birincil kapsama alanlarındaki $j=1,8,10$ bölgelerden yüksek riskli bölgelere $j=4,6,12,13$ arama kurtarma birlikleri gönderilmektedir.

Tablo 4.24. Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik

Sayısı Z_{ijkt}^1 Tablosu

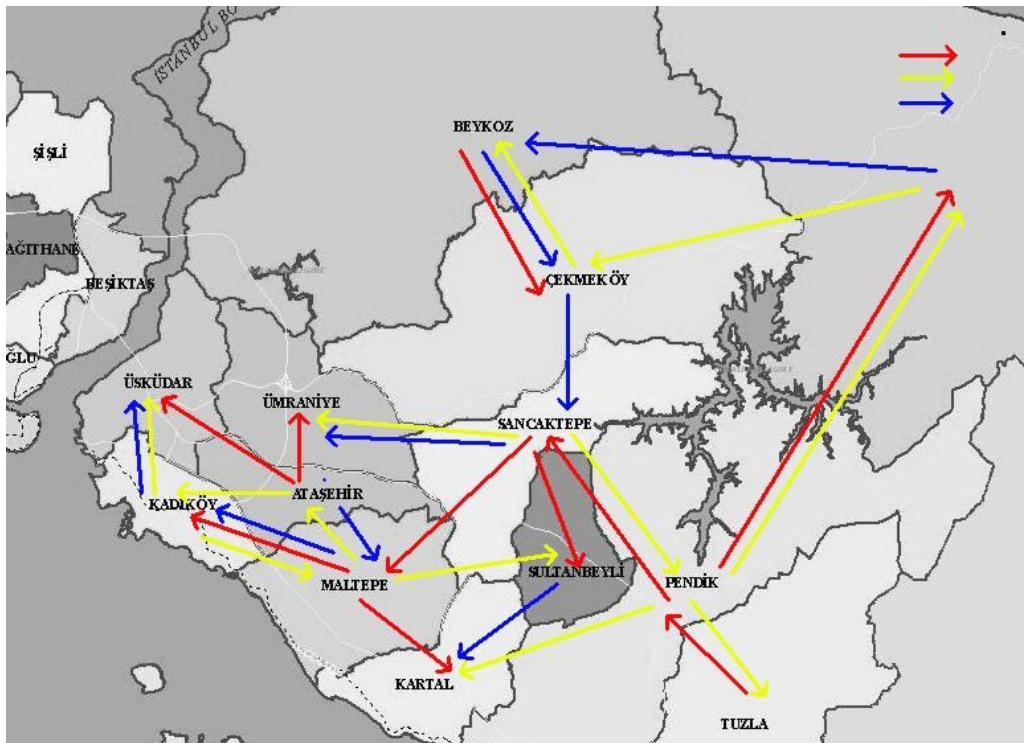
j. Bölge	i. Bölge	k. Tip	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5
1	10	2		22			
2	11	1	20				
3	11	1				14	12
5	11	3				28	
9	11	3					24
10	10	1			16		
10	11	1		18			
10	11	2			20	17	15
10	11	3		36	32		

Planlama dönemlerinde atanacak birlik sayıları Tablo 4.24’de görülmektedir. Bu tabloya göre $j=11$ bölgeye diğer bölgelerden $j=2,3,5,9$ planlama dönemleri $t=2,3,4,5$ dönemlerde $k=1,2,3$ birlik tiplerinde birlik atanacaktır.

Şekil 4.29. Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{ijkt}^1 Grafiği

Kötü durum senaryosu S_2 başlangıçta birincil kapsama alanlarında tiplerine göre atanacak olan birlikler Şekil 4.30’da gösterildiği gibidir. Bu senaryoda haritadan da anlaşıldığı gibi bazı bölgeler arasında birlik atamaları gerçekleşmemiştir. Bölgeler arasında atama bazı birlik tiplerinin ise yer değiştirdiği görülmektedir. Aynı tipten birlik tipleri atandığı bölgeden başka bölgelere atandığı haritada görülmektedir. tablo 4.23 incelendiğinde $j=3$ bölgeden $j=8$ bölgeye oradan da $j=12$ bölgeye atandığı görülmektedir. Bu durum ilk atanma sırasında $j=3$ bölgeden $j=8$ bölgeye atanan

birlik sayısı 30 adettir. Bir sonraki atamada $j=8$ bölgeden $j=12$ bölgeye atama ise 20 adettir. Bu durum ilk atama sırasında birlik talebinin yüksek olduğu bölgeye atama yapıldığı anlaşılmaktadır. Daha sonraki atamada $j=8$ bölgede bulunan fazla birlikler $j=12$ bölgedeki ihtiyacı karşılamak için $j=12$ bölgeye atanmıştır. Bazı birlik tipleri fazla olduğu bölgelerden ihtiyaç olan bölgelere doğru atanmıştır. Bölgeler bu senaryoda da başlangıçta hangi birlik tiplerinde ihtiyaçları varsa o birlik tiplerinden diğer bölgelerden risk baskı faktörünün r_j^1 yüksekliğine göre alınmıştır.



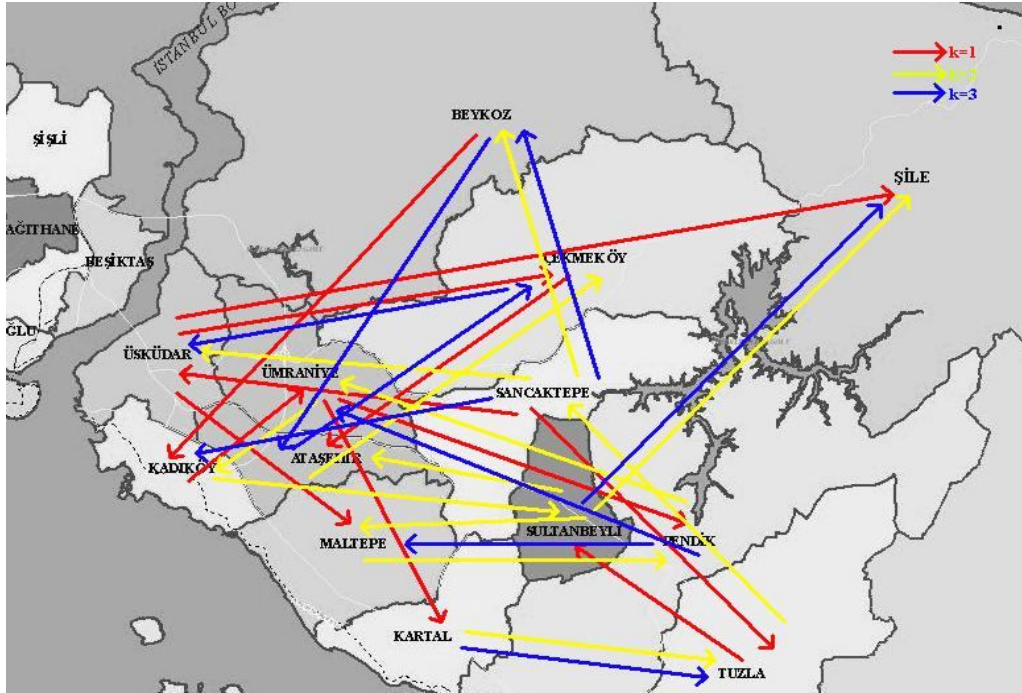
Şekil 4.30. Anadolu Yakası S_2 Senaryosu Başlangıçta Birincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^1 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Grafiği

Birincil kapsama alanından karşılanan W_{jik}^1 birlik talepleri ikincil kapsama alanlarındaki mevcut birliklerden W_{jik}^2 yedeklenmektedir. Kötü durum senaryosunda birincil kapsama da diğer bölgelerden $j=11$ bölgeye atanan birlikler diğer bölgelerdeki birlik sayılarında azalmaya yol açmıştır. Birlik sayıları azalan bölgeler S_2 senaryosunda yedekli atama ile W_{jik}^2 talepleri karşılanmaktadır.

Tablo 4.23'den oluşturulan grafik Şekil 4.31'da ikincil kapsamada W_{jik}^2 yedekli karşılanan birlik talep miktarı birincil kapsamada eksik kalan taleplerden oluştuğu gözlenmektedir. Şekil 4.30'da köşegen bölge indislerinde herhangi bir atama olmayışı birliklerin kendi bölgelerinde talepleri karşılamadığı diğer bölgeleri yedeklediği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Tablo 4.25. W_{jik}^2 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu

<i>j. bölge</i>	<i>i. bölge</i>	<i>k=1 Tip</i>	<i>k=2 Tip</i>	<i>k=3 Tip</i>
1	3		4	15
2	1			12
2	4	2		
3	1	1		
3	13			25
4	9		3	
4	12	1		
5	11		4	30
6	7		4	
7	6			30
7	12		4	20
8	2		4	15
8	4			25
8	11	2		
8	13	3	6	
9	1		5	
9	6		5	
9	10		5	30
10	8			30
10	9			20
11	5		6	25
11	8	1	5	
11	9	1		
12	4		5	
12	5	2		
12	7	1		30
13	3	1		
13	6	1		
13	10	1		



Şekil 4.31. Anadolu Yakası S_2 Senaryosu Başlangıçta İkincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^2 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası

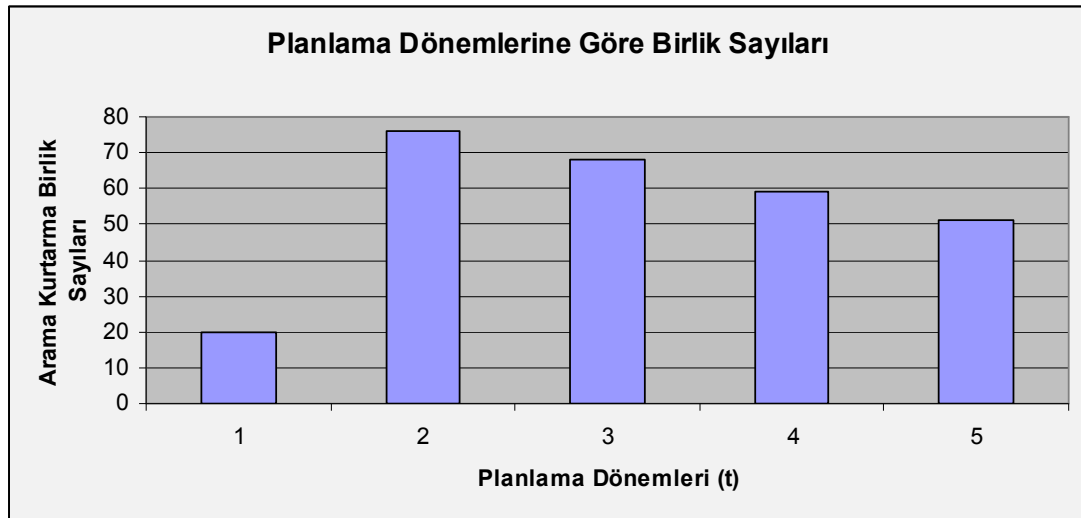
Kötü durum senaryosu ikincil kapsama alanında başlangıçta atanacak olan birlikler W_{jik}^2 karar değişkeni ile matematiksel modelde gösterilmiştir. Bu karar değişkenin aldığı değerleri göre çizilen haritada bölgelerin hepsi en az bir kez bir birlik tipine kapsanmıştır. Bazı birlik tiplerinin atanması sırasında uzaklıklar göz ardı edilmiştir. Bunun nedeni bir bölgenin talebinin kendi komşusu olmayan başka bir alandan karşılanmasından kaynaklanmaktadır. Bazı bölgelerin komşulukları yakı olmasına rağmen bu komşuluklardan birlik atanmamıştır. Bunların yerine daha uzakta olan ikincil kapsama alanlarında bulunan komşulardan birlik ataması gerçekleştirilmiştir.

Planlama dönemlerinde bölgeler arasında atanacak birlik sayılarını gösteren Z_{ijkt}^2 karar değişkenine ait değerler Tablo 4.24 görülmektedir. Bu tabloda arama kurtarma birlik talepleri ikincil kapsamada risk baskı faktörü r_j^2 düşük olan alanlardan karşılandığı gözlenmektedir.

Tablo 4.26. İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2

Tablosu							
<i>j. Bölge</i>	<i>i. Bölge</i>	<i>k. Tip</i>	<i>t=1</i>	<i>t=2</i>	<i>t=3</i>	<i>t=4</i>	<i>t=5</i>
6	11	3		36	32	28	24
7	10	1			16		
7	10	2		22			
7	11	1	20	18		14	12
7	11	2			20	17	15

Tablo 4.24’te $j=7$ bölgeden $i=11$ bölgeye tüm planlama dönemleri içerisinde değişik birlik tiplerinde atamalar yapılarak yedeklenmektedir.



Şekil 4.32. İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Grafiği

Planlama dönemleri T süresi içerisinde bölgeler arası atanacak birlik sayıları açısından incelediğimizde Şekil 4.32’de birinci planlama dönemi $t=1$ sonrasında atanacak birlik sayıları artmıştır. Planlama dönemi $t=2$ bölgeler arası ikincil kapsama olarak atanacak birlik sayıları en fazla olduğu dönemdir. İyi durum senaryosu S_1 planlama dönemi $t=2$ benzer şekilde atanacak birlik sayısı yüksektir.

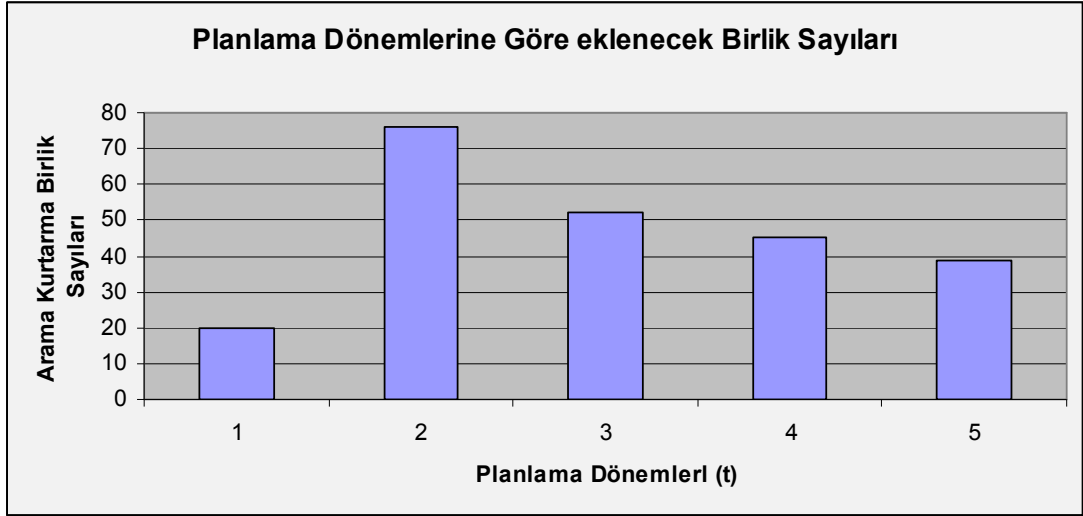
4.2.2.3. Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Bulguları

Çok kötü durum senaryosunda arama kurtarma birlik talepleri en yüksek seviyededir. Arama kurtarma birlik talepleri D_{jk} ve birincil kapsama risk baskı faktörü r_j^1 yüksekliği bu senaryo çözümünü zorlaştırmaktadır. Çok kötü durum senaryosu S_3 arama kurtarma birlik taleplerini D_{jk} karşılamak için eklenecek birlik sayısı karar değişkeni X_{jk} Tablo 4.26’te yer almaktadır.

Tablo 4.27. Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Göre Eklenecek Birlik X_{jk} Miktarı

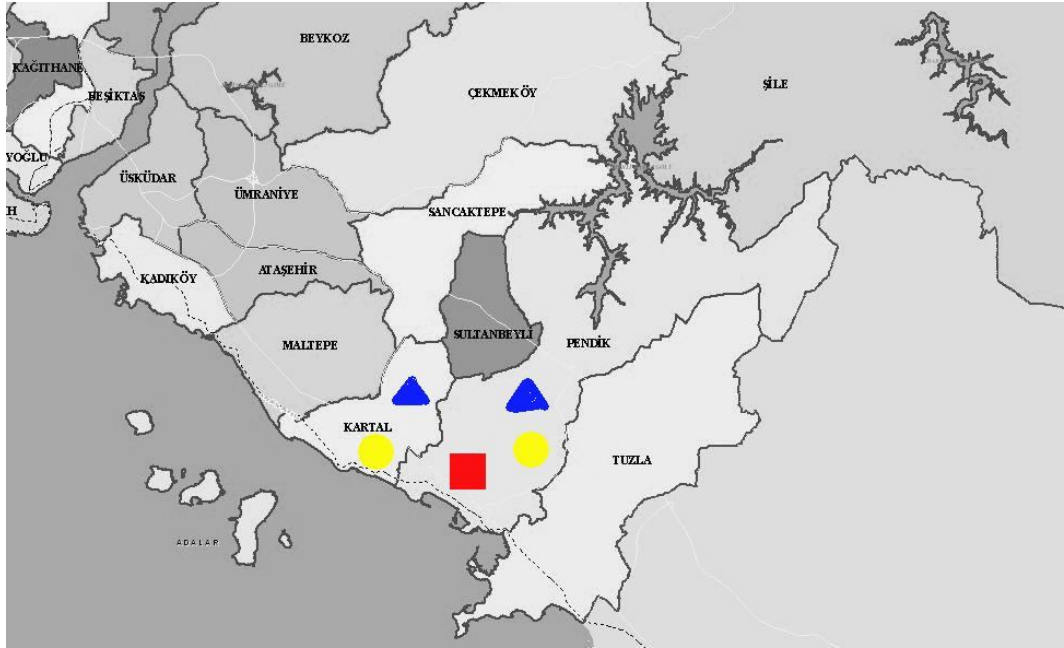
<i>j. Bölge</i>	<i>k. Tip</i>	<i>t=1</i>	<i>t=2</i>	<i>t=3</i>	<i>t=4</i>	<i>t=5</i>
5	2			20	17	15
5	3			32	28	24
7	1	20	18			
7	2		22			
7	3		36			

Çok kötü durum senaryosunu S_3 planlama dönemlerine göre inceleyecek olursak birinci planlama döneminde $t=1$ $j=7$ bölgeden $k=1$ tipte 20 adet arama kurtarma birliği eklenecektir. İkinci planlama dönemi $t=2$ $j=7$ bölgeye birinci planlama dönemindeki $k=1$ tip birlik sayısına yaklaşık olarak eşit sayıda 18 adet birlik eklenecektir. Aynı planlama döneminde $j=7$ bölgeye $k=2$ tipte birlikten 22 adet, $k=3$ tip birlikten 36 adet eklenmektedir. Üçüncü planlama dönemi $t=3$ gelindiğinde $j=5$ bölgeye $k=2$ birlik tipinde 20 adet, $k=3$ birlik tipinde 32 adet birlik eklenecektir.



Şekil 4.33. Kötü Durum Senaryosu S_2 Planlama Dönemlerine Göre AramaKurtarma Birlik Sayıları

Dördüncü planlama döneminde de $j=5$ bölgeye $k=2$ birlik tipinde 17 adet, $k=3$ birlik tipinde 28 adet birlik eklenmektedir. En son planlama döneminde $j=5$ bölgeye $k=2$ birlik tipinde 15, $k=3$ birlik tipinde 24 adet birlik eklenecektir. Birlik tiplerinin bölgelere göre dağılımı Tablo 4.26’da görüldüğü gibidir. Birlik sayılarının toplamının t . planlama dönemlerine göre dağılımı Şekil 4.27’de görülmektedir. Bu şekil incelendiğinde ilk planlama dönemi $t=1$ olduğunda arama kurtarma birlik sayıları çok fazla değildir. İkinci planlama dönemi $t=2$ olduğunda birlik sayılarının toplamı en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Sonraki üçüncü, dördüncü ve beşinci planlama dönemleri $t=3,4,5$ toplam birlik sayısı giderek azalmıştır.

Şekil 4.34. Anadolu Yakası S_2 Senaryosu Sonucun Harita Üzerindeki Yerleşimi

Planlama dönemleri süresinde eklenecek birlik sayılarının X_{jk} harita üzerinde gösterimi Şekil 4.34'deki gibidir. Haritadan risk baskı faktörlerinin r_j^1 ve r_j^2 yüksek olduğu bölgelere arma kurtarma birlikleri eklenmektedir.

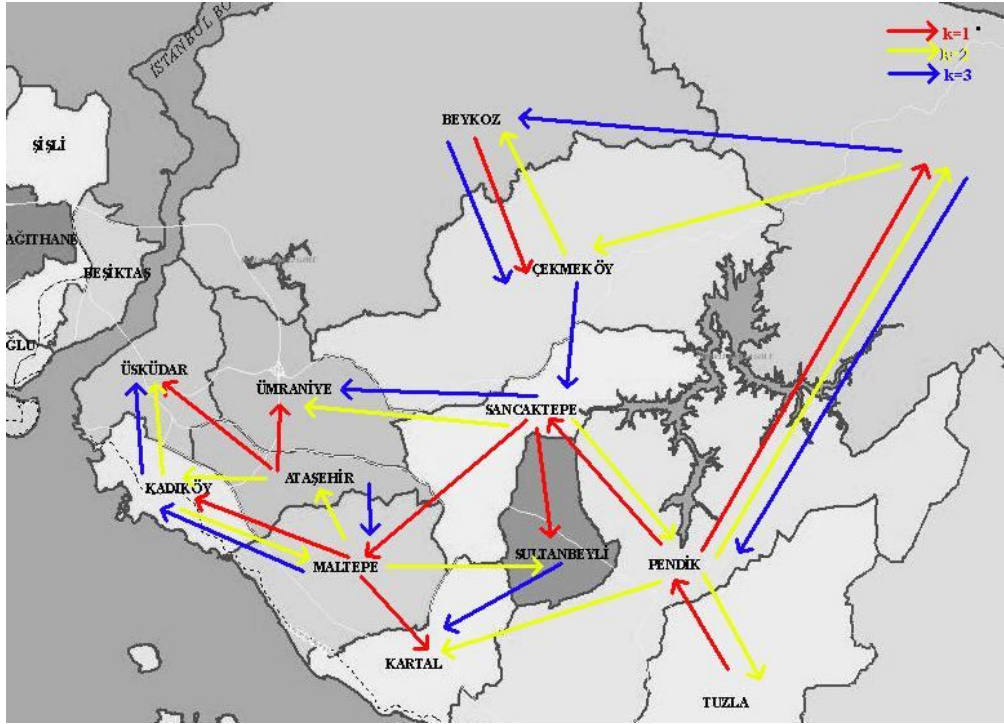
Başlangıçta bölgeler arasında yapılacak olan birlik atamasında kendi bölgelerinde kalacak olan birlikler bulunmaktadır. Bölgeler de kendi bölgelerine birincil kapsama da kalarak hizmet verecek olanlar $j=1,8,10,11$ bölgelerdir. Kendi bölgelerinde kalacak $j=1$ bölgede $k=3$ tip birlikten 30 adet, $j=9$ bölgede $k=3$ tip birlikten 20 adet, $j=10$ bölgede $k=3$ birlik tipinden 30 adet, $j=11$ bölgeden $k=1$ tip birlikten 2 adet ve $k=3$ tip birlikten 30 adettir.

Tablo 4.28. W_{jik}^1 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu

j . bölge	i . bölge	$k=1$ Tip	$k=2$ Tip	$k=3$ Tip
1	1			12
1	4		5	
1	6			30
1	12	1		
1	13	3		
2	3	1		15
3	2		4	
3	8			30

4	6		5	
4	13		6	25
6	1		5	
6	4	2		25
6	5	2		
6	9		3	
7	5		6	
7	8	1		
7	10	1	5	
7	11		4	
8	6	1		
8	7		4	
8	9	1		
8	12		4	20
9	5			25
9	9			20
10	2			15
10	3		4	
10	7			30
10	10			30
11	7	1		
11	11	2		30
12	8		5	
13	1	1		

Tablo 4.28'den elde edilen grafik Şekil 4.35 görülmektedir. Bu grafikten bölgelerin kendilerini gösteren köşegen indislere fazla sayıda atama yapılmadığı görülmektedir.



Şekil 4.35. Anadolu Yakası S_3 Senaryosu Başlangıçta Birincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^1 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası

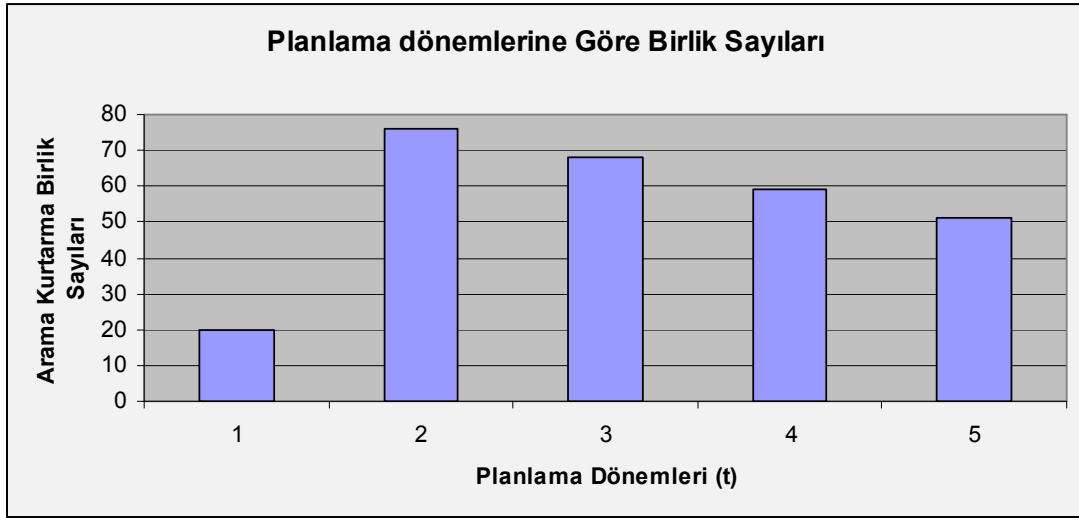
Kötü durum senaryosu S_3 birincil kapsama alanında atanacak olan birliklerin sayısı W_{jik}^1 karar değişkeni ile çözülmektedir. Bu karar değişkenini aldığı değerleri Şekil 4.35'deki haritada birlik tiplerine göre işaretleyerek gösterildiğinde birliklerin diğer senaryolara göre daha az atandığı gözlenmektedir. Bunun nedenlerinde biri birliklerin bölgelerdeki taleplerinin D_{jk} risk baskı faktörlerinin r_j^1 yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Risk baskı faktörleri yüksek olan bölgeler kendi bölgelerine bulunan birlikleri ellerinde tutmaya çalışmaktadır. Kendi bölgelerinin birlik taleplerinin de yüksek olduğundan bölgeler birliklerini ellerinde tutmaya çalışmaktadırlar. Özellikle risk baskı faktörü yüksek olan deprem bölgesine yakın alanlarda bölgeler birliklerini ellerinde tutmaya çalışmaktadırlar.

Planlama dönemleri içerisinde birincil kapsama alanlarında j . bölgeden i . bölgeye atanacak olan birlik sayıları Z_{jikt}^1 Tablo 4.29'de görülmektedir.

Tablo 4.29. Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^1 Tablosu

<i>j. Bölge</i>	<i>i. Bölge</i>	<i>k. Tip</i>	<i>t=1</i>	<i>t=2</i>	<i>t=3</i>	<i>t=4</i>	<i>t=5</i>
1	5	1				14	
2	5	1					12
3	5	2				17	15
5	7	2		22			
9	7	3		36			
10	5	1			16		
10	5	2			20		
10	5	3			32	28	24
10	7	1	20	18			

Planlama dönemlerine göre birincil kapsama alanından atanacak birlikleri tiplerine göre incelediğimizde ilk planlama döneminde $j=10$ bölgeden $i=7$ bölgeye $k=1$ tipte 20 adet birlik gönderilmiştir.



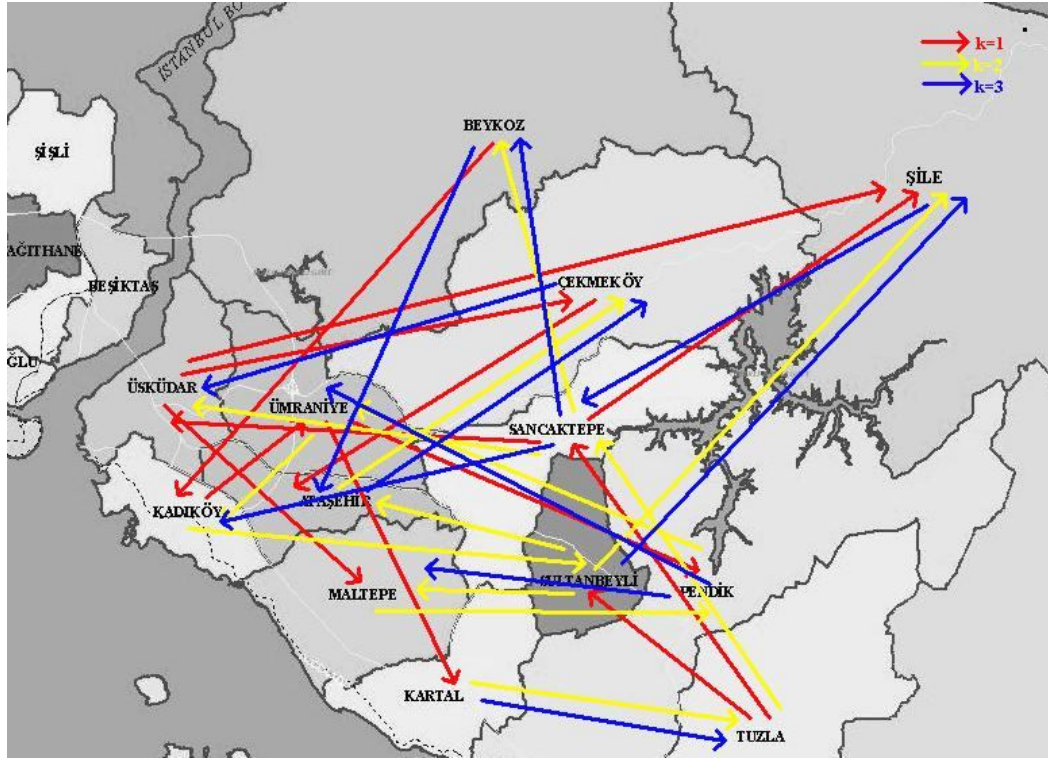
Şekil 4.36. Birincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{jikt}^1 Grafiği

Birincil kapsama alanına göre bölgeler arası atanacak birliklerin toplam sayıları göz önüne alınacak olursa diğer senaryolara benzer şekilde bu senaryo S_3 senaryosunda $t=2$ planlama döneminde en yüksek bölgeler arası birlik ataması olduğu görülmüştür. Planlama dönemi $t=3,4,5$ dönemlerde S_3 senaryosunda önceki iki senaryoya göre Z_{jikt}^1 birlik sayılarının daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 4.30. W_{jik}^2 Karar Değişkeninin Sonuç Tablosu

<i>j. bölge</i>	<i>i. bölge</i>	<i>k=1 Tip</i>	<i>k=2 Tip</i>	<i>k=3 Tip</i>
1	3		4	15
2	1			12
2	4	2		
3	1	1		
3	13			25
4	9		3	
4	12	1		
5	11		4	30
6	7		4	
7	6			30
7	12		4	20
8	2		4	15
8	4			25
8	11	2		
8	13	3	6	
9	1		5	
9	6		5	
9	10		5	30
10	8			30
10	9			20
11	5		6	25
11	8	1	5	
11	9	1		
12	4		5	
12	5	2		
12	7	1		30
13	3	1		
13	6	1		
13	10	1		

Çok kötü durum senaryosu S_3 ikincil kapsama alanı başlangıçta *j.* bölgeden gönderilecek birlik sayıları çok fazla değişmemesine rağmen birliklerin gidecekleri bölgeler tamamen değişmiştir. Bu senaryoda ikincil kapsama alanında kendi bölgesine hizmet verecek birlik bulunmamaktadır. Tablo 4.30 grafiği incelenecek olursa Şekil 4.37 köşegen indis elemanlarına ait bir yerleşimin olmadığı görülür. Köşegen indis elemanları bir bölgenin kendi bölgesine hizmet verdiğini göstermektedir.



Şekil 4.37. Anadolu Yakası S_3 Senaryosu Başlangıçta İkincil Kapsama Alanından Bölgeler Arası Gönderilecek W_{jik}^2 $k=1,2,3$ Tipte Birlik Sayıları Haritası

Çok kötü durum senaryosu ikincil kapsama alanı W_{jik}^2 karar değişkenine ait harita Şekil 4.37’de görülmektedir. Bu haritada ikincil kapsamadan yedeklenen bölgeler genellikle haritanın yukarısında kalan deprem bölgesine uzak olan bölgelerdir. Bunun nedeni deprem bölgesine yakın bölgelerin risk baskı faktörünün r_j^2 yüksekliğinden dolayı haritanın alt bölgelerine kalan alanlar birlikleri kendi ihtiyaçları için kullandığından kaynaklanmaktadır.

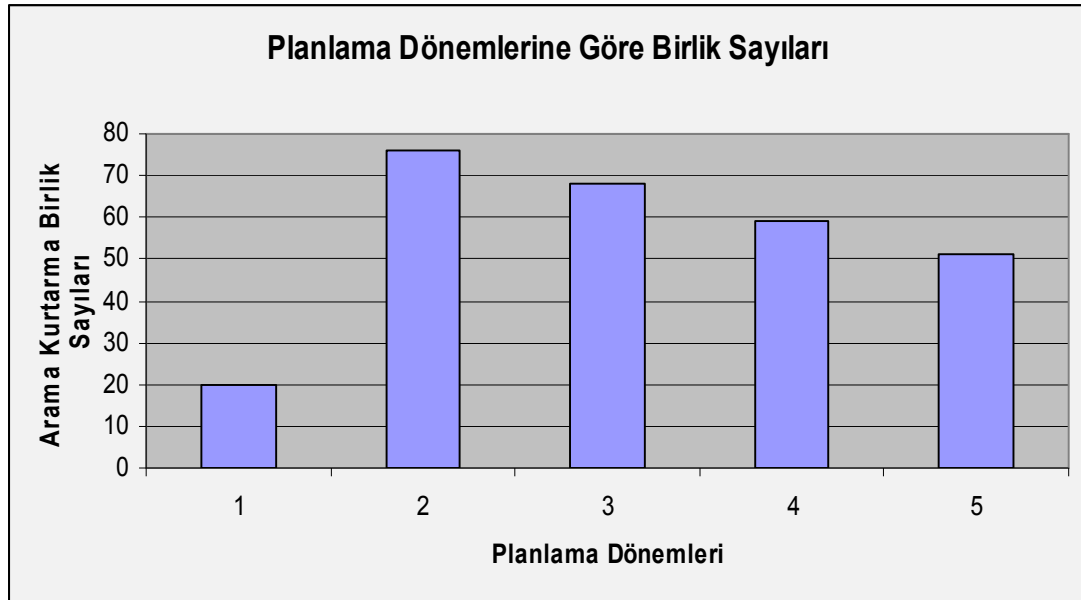
Çok kötü durum senaryosu S_3 ikincil kapsama alanlarına atanacak birlik sayıları incelendiğinde ilk planlama dönemi $t=1$ ve ikinci planlama dönemi $t=2$ $j=6$ bölgeden $i=7$ bölgeye aktarılan $k=1,2,3$ birlikler üçüncü planlama döneminden sonra $j=5$ bölgeye aktarılmıştır. İlk planlama döneminde $j=7$ bölgedeki risk baskı faktörünün r_j^2 yüksek olmasından dolayı ilk iki planlama döneminde $j=7$ bölgeye ikinci kapsama olarak birlik atanmıştır. Daha sonradan $t=3,4,5$ planlama

dönemlerinde $j=5$ bölgenin r_j^2 yükselmesi ile $j=7$ bölgede bulunan birlikler $j=5$ bölgeye aktarılmıştır.

Tablo 4.31. İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Tablosu

<i>j. Bölge</i>	<i>i. Bölge</i>	<i>k. Tip</i>	<i>t=1</i>	<i>t=2</i>	<i>t=3</i>	<i>t=4</i>	<i>t=5</i>
6	7	1	20	18			
6	7	2		22			
6	7	3		36			
7	5	1			16	14	12
7	5	2			20	17	15
7	5	3			32	28	24

İkincil kapsama alanında atanan birliklere ait Tablo 4.31’de elde edilen grafik Şekil 4.38’de görülmektedir. Bu grafikten ikinci planlama döneminde $t=2$ diğer planlama dönemlerine göre birlik sayılarının yüksek atandığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.38. İkincil Kapsama Alanına Göre Bölgeler Arası Atanacak Toplam Birlik Sayısı Z_{ijkt}^2 Grafiği

4.3. Duyarlılık Analizi

Doğrusal programlamanın optimum çözümü, modelin formüle edildiği andaki koşulların fotoğrafını verir. Gerçek hayatta karar ortamları ender olarak statik (durağan) yapıda olur. Bunun içindir ki, doğrusal programlamanın, model parametrelerindeki değişimlerin etkisiyle optimum çözümde oluşacak değişimleri belirleme yeteneğiyle donatılmış olması gerekir. İşte bu işlemler duyarlılık analizi adını alır (Taha, 2000).

Yapılan bir çalışmanın duyarlılık analizinde yazar duyarlılık analizinin çok sayıda uygulamasından bahsetmiştir (Özdağoğlu, 2008). Matematiksel programlama problemlerinde katsayılar bilindiği halde işletmecilik hayatında katsayılar daima belirli değildir. Burada katsayıların değişim aralıkları bulunmaya çalışılmaktadır ve bu işleme duyarlılık analizleri denir (Halaç, 1983; Lawrence ve Pasternak, 2002). Problem çözümü ile elde edilen sonuçları analiz etmek çözümün anlamını belirlemekle baslar (Render ve Ark., 2003). Yöneticiler bu nedenle çoğu kez matematiksel programlama problemlerinin bileşenlerinde meydana gelebilecek değişmelerin optimum çözüme etkisini bilmek isterler. Çünkü yöneticiler sadece problemin optimal çözümü ile ilgilenmemelidirler. Ulaşılan optimal çözüm, problemin katsayıları sabit kaldığı sürece geçerlidir. Halbuki yönetici, yeni bir faaliyetin eklenmesi halinde daha önce elde ettiği optimal çözümün optimallikten çıkarak değişeceğini bilir. Ayrıca söz konusu değişmelerin optimal çözümü ne ölçüde değiştireceğini bilmek isterler (Öztürk, 2002) ve bu amaçla duyarlılık analizleri model parametreleri üzerinde yapılmaktadır (Taylor, 2002). Bu sayede, girdilerden herhangi birinde değişiklik meydana gelirse problemin optimal çözümünün nasıl etkileneceği sorusuna cevap bulunmuş olur (Levin ve Ark., 1992; Heizer ve Render, 2006). Örnek olarak, bir şirket daha fazla para kazanabilmek amacıyla ekstra işçilik saati için ne kadar para ödemeye razı olacağını bulmak için duyarlılık analizlerinden yararlanır (Winston, 2004). Kısıtların sağ taraflarının değişimi, amaç fonksiyon katsayılarının değişimi, soruna yeni bir değişkenin eklenmesi, teknoloji katsayılarının değişimi ve soruna yeni bir kısıtın eklenmesi duyarlılık analizleri ile incelenir (Tütek ve Gümüşoğlu, 2000), (Özdağoğlu, 2008).

Görüldüğü gibi modelin gerçekte vereceği cevapları nasıl olduğunun incelemesi için duyarlılık analizi yapmak şarttır. Çalışmada yer alan duyarlılık analiz sonuçları EKLER’de bulunmaktadır.

Çalışmada geliştirilen matematiksel modelin duyarlılık analizleri çözülen problemde İstanbul’un Avrupa ve Anadolu yakaları için ayrı yapılmıştır. Çalışmaya paralel olması açısından önce Avrupa yakası duyarlılık analizi daha sonra da Anadolu yakası duyarlılık analizi sonuçları incelenmiştir.

Avrupa yakası duyarlılık analizleri için önce arama kurtarma birliği talep değişkeninin D_{jk} amaç fonksiyona Z etkisi incelenecektir. Matematiksel model çalıştırılmadan önce modele girdi dosyasındaki talep değişkenin tüm değerleri sırasıyla %10, %20, %25, %30, %35 oranında arttırılacak modelin vereceği cevap incelenecektir. Talep değişkeni D_{jk} her j . bölge ve k .tip için verilen değerlere öngörülen oranlar her senaryoya göre sırası ile S_1, S_2, S_3 ayrı uygulanmıştır. Arama kurtarma birlik talebine D_{jk} uygulanan artış oranları ilk iki değer 10 puan artmış, sonra 5 puan artış ile amaç fonksiyondaki değerler araştırılmıştır.

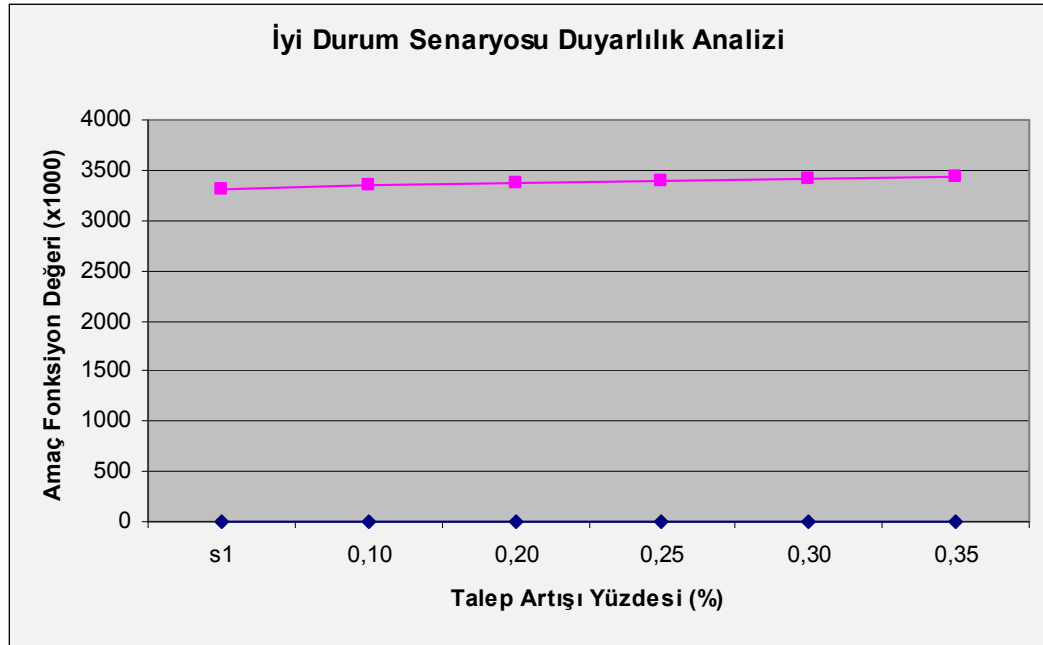
Çalışmada amaç fonksiyon değerlerindeki artışın anlamlı olabilmesi için amaç fonksiyon değerlerinin yanında değerlerin artış oranları da incelenmiştir. Elde edilen amaç fonksiyon değerlerindeki artışın oransal gösterimi ile arama kurtarma birlik talebindeki D_{jk} artıştan nasıl etkilendiği görülebilecektir. Duyarlılık analizinin detaylı olarak yapılması için her senaryonun çözülen amaç fonksiyonun değer artışının oransal değerleri senaryolara göre ayrı incelenmiştir. Duyarlılık analizi incelenmesinde ilk grafikte amaç fonksiyonlarının verdiği cevapların değerleri ile ilgili grafikler, ikinci grafikler ise amaç fonksiyonun değerlerindeki artışın oransal grafikleri görülmektedir.

i) İyi durum senaryosu S_1 duyarlılık analizi: Bu senaryoda arama kurtarma birlik taleplerine D_{jk} uygulanan artış değerleri %10, %20, %25, %30 ve %35 elde edilen değerler Tablo 4.32’de görülmektedir. İncelenen senaryoya ait sonuçlarda amaç fonksiyona ait değerlerin grafiği Şekil 4.38’de çizilmiştir.

Tablo 4.32. İyi Durum Senaryosu S_1 Amaç Fonksiyon Z Değerleri

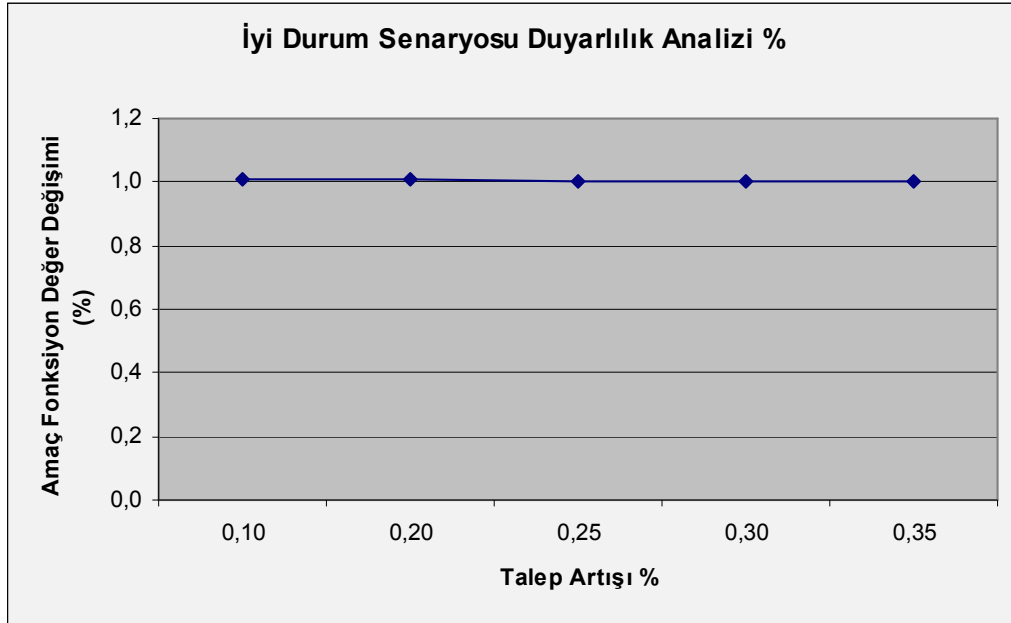
Senaryo	Amaç fonksiyon Değeri (Z)	Artış (%)
S_1	3316,96	0,00
% 10	3347,98	1,01
% 20	3379,00	1,01
% 25	3394,51	1,00
% 30	3410,02	1,00
% 35	3425,53	1,00

İyi durum senaryosu S_1 duyarlılık analizi sonuç tablosunda amaç fonksiyon (Z) değerleri incelendiğinde ilk değerden çok sapma olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.38. Talep Miktarlarına Uygulanan Artış Oranlarından Sonra Elde Edilen Amaç Fonksiyon (Z) Değerleri

İyi durum senaryosunda amaç fonksiyonun değeri $Z_0=3316,96$ değerini almıştır. Artışların uygulandığı en son amaç fonksiyon değeri $Z_{\%35}=3425,53$ değerini aldığı görülmektedir. Şekil 4.38 çizilen grafikten de anlaşıldığı gibi amaç fonksiyon değeri Z bu aralıkta yüksek miktarda bir sapma göstermemiştir.



Şekil 4.39. Amaç Fonksiyon (Z) Değerlerinin Oransal Değişim Grafiği

Amaç fonksiyon değeri Z_0 artış uygulandıktan sonra elde edilen değerlerin analizinin tam olarak anlaşılabilmesi için bu değerlerin yüzdelik artış oranlarının da incelenmesi duyarlılık analizin daha anlamlı yapacaktır. Tablo 4.30’da amaç fonksiyon Z değerlerinin değişim oranları Şekil 4.39’da görülmektedir. Amaç fonksiyonun değişim aralığı oranının 1 civarında olduğu görülmektedir. Bu değer anlamı talep miktarına uygulanan artış oranlarının amaç fonksiyon değerlerini çok etkilemediğini göstermektedir.

Tablo 4.32 incelendiğinde S_1 senaryosu amaç fonksiyonu Z_0 değeri başlangıç alındığında talep değerini D_{jk} %10 arttırıldığında amaç fonksiyon değeri $Z_{\%10}$ yaklaşık %1 oranında artmaktadır. Talep değeri D_{jk} %20 arttırıldığında amaç fonksiyon değeri de $Z_{\%20}$ yaklaşık %1 artmaktadır. Talep değerini D_{jk} beş puan %25’e arttırıldığında amaç fonksiyon değerinde $Z_{\%25}$ bir önceki değer $Z_{\%20}$ göre herhangi bir artış gözlenmemektedir. İyi durum senaryosunda talep değerinin D_{jk} %30 ve %35 oranında arttırıldığında $Z_{\%30}$ ve $Z_{\%35}$ değerlerinde önceki değerlere göre bir artış olmadığı gözlenmektedir.

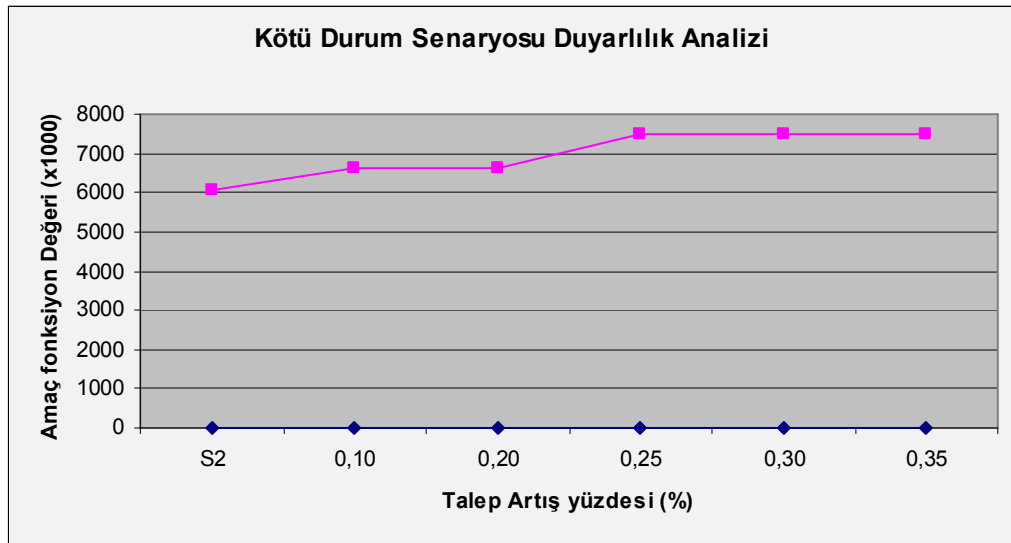
Çalışmada kullanılan modelin iyi durum senaryosu S_1 duyarlılık analizinde matematiksel modelin artan talebe karşı duyarlı olmadığı alınan sonuçlardan görülmektedir.

ii) *Kötü durum senaryosu S_2 duyarlılık analizi:* Kötü durum senaryosunda S_2 arama kurtarma birlik talebine D_{jk} sırası ile %10, %20, %25, %30 ve %35 oranlarında artış uygulanmıştır. Arama kurtarma birliklerine uygulanan talep artışının amaç fonksiyondaki artış değerleri Tablo 4.33’de görülmektedir.

Tablo 4.33. Kötü Durum Senaryosu S_2 Amaç Fonksiyon Z Değerleri

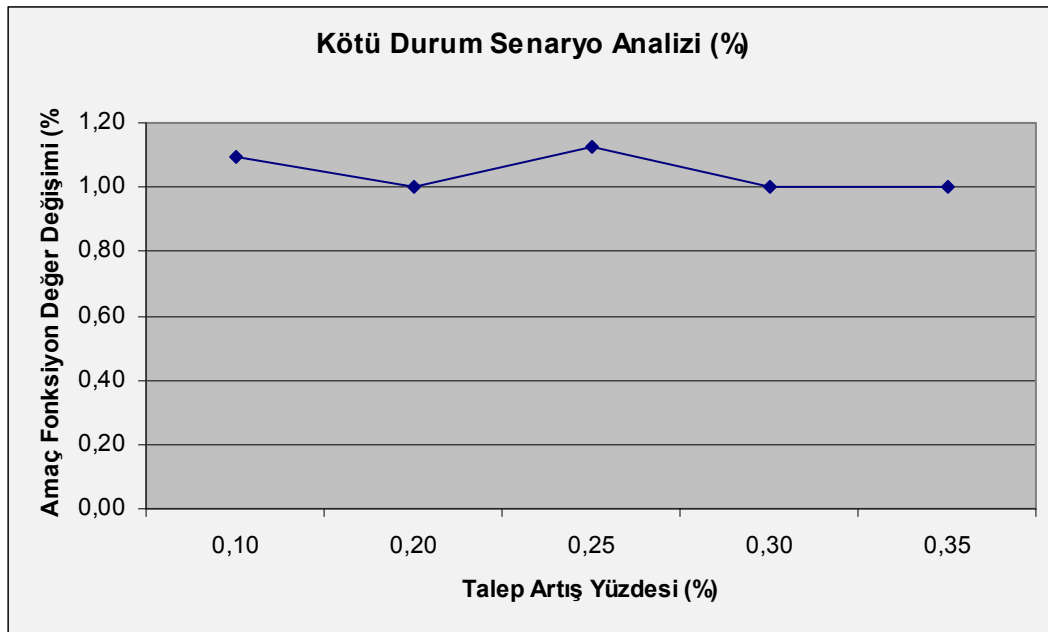
Senaryo	Amaç fonksiyon Değeri	Artış %
S_2	6064,752	0,00
0,10	6627,20	1,09
0,20	6627,20	1,00
0,25	7470,87	1,13
0,30	7470,87	1,00
0,35	7470,87	1,00

Kötü durum senaryosunda amaç fonksiyonun değeri $Z_0=6064,75$ ve uygulanan artış oranının en son değeri $Z_{\%35} = 7470,87$ aralığında değiştiği Tablo 4.32’den anlaşılmaktadır. Tablo 4.33’den oluşturulan grafik Şekil 4.40’daki gibidir.



Şekil 4.40. Talep Miktarlarına Uygulanan Artış Oranlarından Sonra Elde Edilen Amaç Fonksiyon (Z) Değerleri

Tablo 4.34'deki verilere göre arama kurtarma birliği talep D_{jk} miktarında %10 artış yapıldığında $Z_{\%10}$ amaç fonksiyon değeri $Z_{\%10} = 6627,20$ değerine ulaşarak bir önceki değer olan Z_0 değerine göre yaklaşık %9 oranında artmıştır. Talep miktarında %20 oranında bir artış verildiğinde $Z_{\%20}$ aldığı değer ise $Z_{\%20} = 6627,20$ ile sabit kalarak bir önceki değer $Z_{\%10}$ değişmemiştir. Arama kurtarma birliği talep miktarı D_{jk} beş puan arttırıldığında $Z_{\%25} = 7470,87$ değerine ulaşmaktadır. Bu oran bir önceki değere $Z_{\%20}$ göre yaklaşık olarak %13 artmıştır. Bundan sonraki artış miktarları sırasıyla %30 ve %35 değerlerinde bir önceki değer olan $Z_{\%25}$ göre herhangi bir değişiklik olmamıştır.



Şekil 4.41. Amaç Fonksiyon (Z) Değerlerinin Oransal Değişim Grafiği

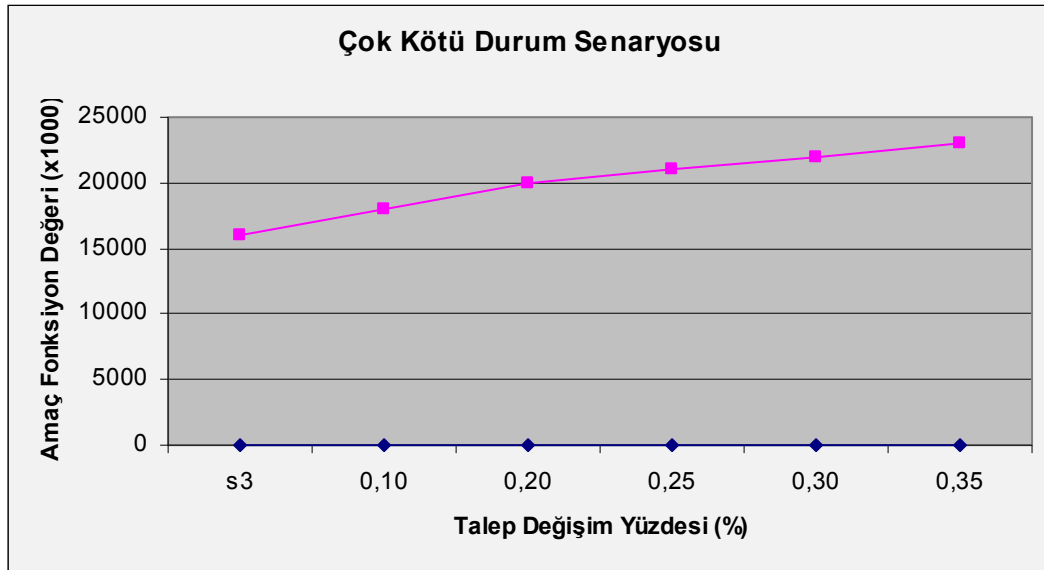
Kötü durum senaryosu S_2 amaç fonksiyon değerlerinin yüzdelik değişim oranları Şekil 4.41'de incelenebilir. Grafikten Şekil 4.41'de değişimin daha çok %20 ve %25 oranlarında olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.41 incelendiğinde %20 ve %25 değerlerinde ani bir değişim olduğu diğer oranlarda amaç fonksiyon Z değerinde gözle görülür bir değişim olmadığı saptanmıştır.

iii) Çok kötü durum senaryosu S_3 duyarlılık analizi: Çok kötü durum senaryosu S_3 çalışmadaki en olağan üstü durumun oluşturulduğu senaryodur. Bu senaryonun amaç fonksiyonunun talep miktarına artış uygulandıktan sonraki elde edilen sonuçları Tablo 4.33'te yer almaktadır.

Tablo 4.34. Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Amaç Fonksiyon Z Değerleri

Senaryo	Amaç fonksiyon Değeri	Artış %
S_3	16044,90	0,00
0,10	18035,95	1,12
0,20	20027,01	1,11
0,25	21022,54	1,05
0,30	22018,07	1,05
0,35	23013,59	1,05

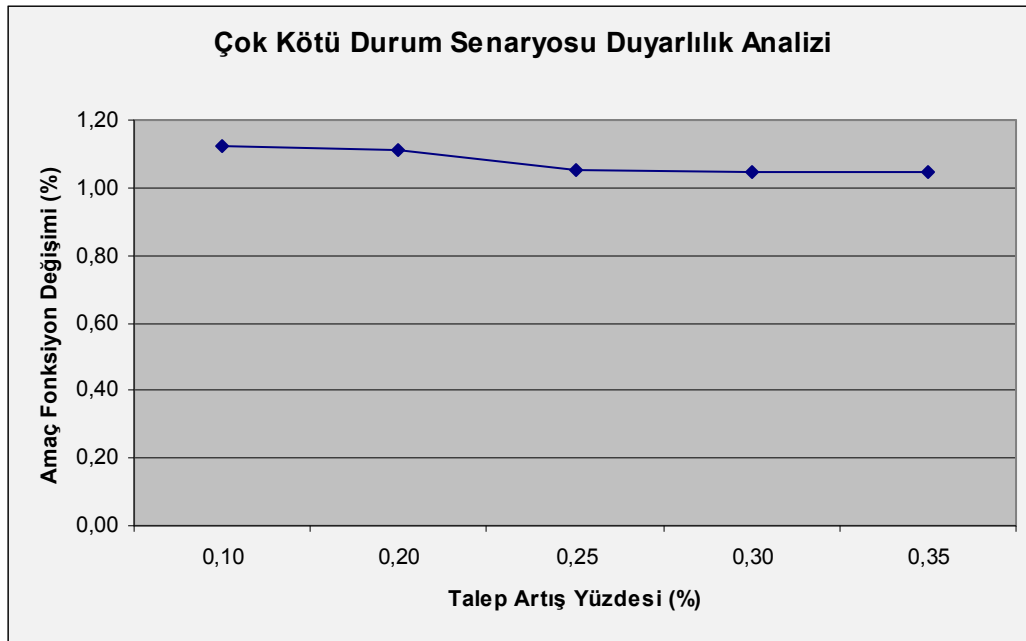
Tablo 4.3'de görüldüğü gibi amaç fonksiyona Z artış oranları %10 ve %20 artış değerlerinde oldukça yüksek cevaplar vermiştir. Bu tabloya göre oluşturulan grafik Şekil 4.42'de görülmektedir.



Şekil 4.42. Talep Miktarlarına Uygulanan Artış Oranlarından Sonra Elde Edilen Amaç Fonksiyon (Z) Değerleri

Çok kötü durum senaryosu S_3 arama kurtarma birlik talebi D_{jk} %10 arttırıldığına amaç fonksiyon değeri $Z_0 = 16044,90$ değerinden $Z_{\%10} = 18035,95$ %12 oranında bir artış ile cevap vermektedir. Arama kurtarma birlik talebi D_{jk} %20

oranında arttırıldığına amaç fonksiyon değeri ise $Z_{\%20} = 20027,01$ değerine çıkmaktadır. Bir sonraki artış değeri olan %25 artış oranında amaç fonksiyon değeri $Z_{\%25} = 21022,54$ değerine ulaşarak bir önceki amaç fonksiyon değerine göre %5 oranında arttığı gözlenmektedir. Daha sonra talep miktarına D_{jk} uygulanan %30 artış sonrasında amaç fonksiyonun aldığı değer $Z_{\%30} = 22018,07$ ile bir önceki artış değerine $Z_{\%25}$ göre %5 oranında artmıştır. En son uygulanan artış oranı %35 elde edilen değer $Z_{\%35} = 23013,59$ %5 artış göstermiştir.



Şekil 4.43. Amaç Fonksiyon (Z) Değerlerinin Oransal Değişim Grafiği

Tablo 4.33’de yer alan yüzdelerik değişimlerin grafiği ise Şekil 4.43’te görülmektedir. Buna göre arama kurtarma birliklerine uygulanan talep miktarındaki artışın ilk değerinde amaç fonksiyonda belirgin bir artış olmuş daha sonra matematiksel model b sonuçlara daha uygulanan orandan daha oranda cevap vermiştir.

4.4. Simülasyon Modelinin Sonuçları

Çalışmada kurulan matematiksel model bir simülasyon modeli ile test edilmiştir. Kurulan simülasyon modeli, arama kurtarma birlik talepleri D_{jk} , arama kurtarma birlik tipleri (k), birliklere ait komşuluklar (birincil S_j^1 ve ikincil S_j^2 kapsama) ve depreme ait amprik veriler ile çalıştırılmıştır. Simülasyon modelinin çözümleri elde edilmiş ve sonuçları yorumlanmıştır. Matematiksel modele ait kurulan simülasyon modeli beş bölgeyi içerecek şekilde modellenmiş ve sonuçları alınmıştır. Beş bölgeyi içeren simülasyon modelindeki birlikler modüler olarak tasarlanmıştır. Bir bölge için birliklerin eklenebilir ve çıkarılabilir olduğundan karşılaşılan probleme göre yeniden simülasyon modeli tasarlanabilir. Bu çalışmada simülasyon modeli beş bölgeyi olarak çalıştırılmıştır. Bölgelerin birbirlerine bağlantıları kapsama matrisinden oluşturulmuştur. Kapsama matrisi bölgelerin komşuluklarını göstermektedir. Kapsama matrisine göre mesafeler matrisi oluşturularak birlikler arası seyahat süresi simülasyon modeline girilmiştir.

4.4.1. Simülasyon Modelinde Kullanılan Veriler

Simülasyon modeli kurulmadan önce matematiksel modelden elde edilen verilerin sağlanması gereklidir. Bu veriler simülasyon deneyleri ile test edilmiştir. Simülasyon modelinden kullanılacak olan matematiksel model sonuçları tablolar halinde oluşturulmuştur. Matematiksel modelden ilk olarak elde edilen verilerden birisi bölgelere tiplerine göre eklenecek birlik sayılarıdır. Karar değişkeni X_{jk} ile gösterilen bu veriler Tablo 4.35 ile bölgelerde bulunan birlik sayıları diğer değişkenler ile birlikte belirlenmektedir.

Tablo 4.35. X_{jk} Karar Değişkeninin Çözüm Sonundaki Değerleri

j . Bölge	k . Tip	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$
4	3		8			
5	1		31	28	24	21
5	2			36	31	27
5	3		100	96	84	72

Tablo 4.36. Bölgelerin Kapsama Matrisi

i/j	1	2	3	4	5
1	1				
2		2			
3			3	4	
4			3	4	5
5				4	5

Kurulan simülasyon modelinin kapsama matris Tablo 4.36'deki gibi oluşturulmuştur. Bu tabloda bölgelerin birbirleri ile ilgili komşulukları göz önüne alınmaktadır. Komşuluklar bölgelerin birbirilerine sınırları olanları bölgelerden oluşur. Bu oluşturulan kapsama matrisine göre deprem sonrası birliklerin bölgeler arasında transferine karar verebilmek için mesafeler göz önüne alınmaktadır. Bölgeler arası komşulukları olan birliklerin birbirleri arasındaki birincil ve ikincil kapsama mesafe matrisi Tablo 4.37'deki gibi oluşturulur.

Tablo 4.37. Bölgeler Arası Mesafe Matrisi

j/i	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge
1. Bölge		11	13		
2. Bölge	11		12	16	23
3. Bölge	13	12		13	14
4. Bölge		16	13		16
5. Bölge		23	14	16	

Başlangıç çözümünde kullanılan mevcut birlik sayıları Tablo 4.38'da oluşturulmuştur. Bu tabloda matematiksel modelde kullanılan elde bulunan birlik miktarlarını göstermektedir.

Tablo 4.38. Başlangıçta Mevcut Birlik Sayısı N_{jk}

Bölgeler	1. Tip	2. Tip	3. Tip
1. Bölge	1	7	25
2. Bölge	1	12	50
3. Bölge	2	9	50
4. Bölge	2	7	50
5. Bölge	2	8	80

Birliklerin bölgelerdeki kapsama alanlarını gösteren bu tablolara göre matematiksel modelden elde edilen başlangıç atamaları simülasyon modelinde girdi verisi olarak kullanılmıştır. Karar değişkeni W_{jik}^1 , simülasyon modelinde bölgelere göre kurulan istasyonları ve birlik tiplerini göstermektedir.

Tablo 4.39. W_{jik} Kapsama Alanındaki Atanacak Birlik Tip ve Sayısı

j . Bölge	i . Bölge	$k=1$	$k=2$	$k=3$
1	1	1	7	25
1	5	2	8	80
2	2	1	12	50
3	3	2	9	50
3	4	2	7	50

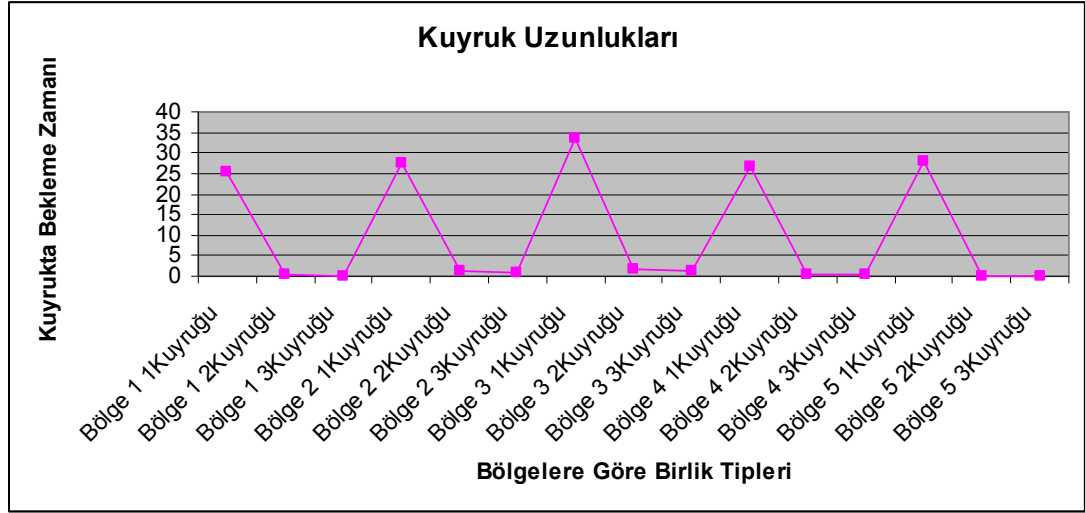
Başlangıçta mevcut olan birlik sayıları ve eklenen birlik sayıları ile birlikte toplam birlik sayıları elde edilmiştir. Birliklerin atandığı bölgeler W_{jik} ve eklenen birlik miktarları X_{jk} karar değişkenlerinden sağlanmıştır. Simülasyon modelinde denenen veriler ve parametreler Tablo 4.39’de verilmiştir.

Tablo 4.40. Deneysel Tasarım Faktör Seviyeleri

Faktör	S_2 Senaryosu		
	$k=1$	$k=2$	$k=3$
λ	{3,3,4,3,5}	{12,10,11,10,11}	{61,62,65,56,67}
σ	2	1	0,6

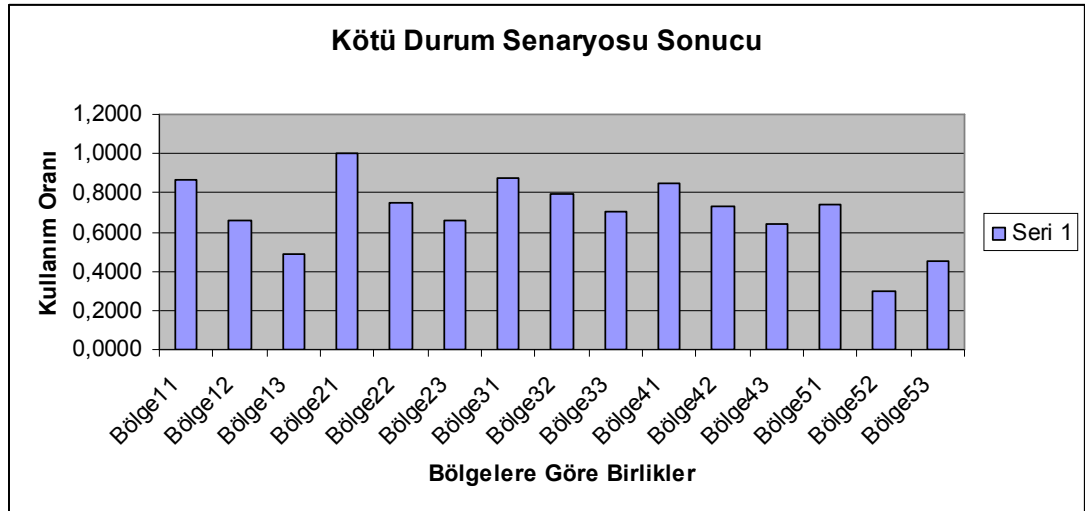
4.4.2. Simülasyon Modelinin Analizi

Kurulan simülasyon modeli 30 replikasyon için denenmiştir. Isınma periyodunda sistemde istatistik tutulmamaktadır. İlk iki saatin sonunda 6 saatin sonuna kadar sisteme gelen birlik talepleri $\lambda = 5$ dakikadır. Bu sürenin sonunda çağrı geliş hızı 15 dakikadır. Deneyden elde edilen ilk senaryo sonucuna göre sistemin bölgelerin tiplerine göre birlik sayıları Şekil 4.44’deki gibidir. Bu sonuca göre birliklerin kullanım oranları birinci bölgede diğerlerine göre daha az olduğu görülmektedir. ayrıca $k=1$ tip birlik kullanım oranlarının diğer tiplere göre yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum bize birinci birlik tipine daha fazla ihtiyaç duyulduğu sonucuna ulaştırmaktadır.



Şekil 4.44. Kötü Durum Senaryosu Simülasyon Sonucu

Bekleyen talepler incelendiğinde bütün bölgelerde birinci tipteki birliklere ait kuyruklar uzundur. Bunun nedeni birinci itip birliklerin servis sürelerinin uzunluğundan ve bölgelerin taleplerinin karşılamadaki zorluktan kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.45. Kötü Durum Senaryosu Bölgelerin Birlik Tiplerine Göre Kuyruk Uzunluğu

Birinci tip birlikler diğer birlik tipleri gibi hareket kabiliyetine sahip olmadıklarından servis süresi kısa olmasına rağmen bazı bölgelerde uzaklıklardan kaynaklanan zorluklar nedeni ile kuyruk uzunlukları yüksek çıkmaktadır.

4.5. Avrupa Yakası Sonuçları

Avrupa yakasında iyi durum S_1 , kötü durum S_2 ve çok kötü durum senaryosuna S_3 göre bulgulardan elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Her senaryoda bölgelere göre eklenecek birliklerin sayısı X_{jk} elde edilen bulgulardan oluşur.

4.5.1. İyi Durum Senaryosu S_1 Sonuçları

İyi durum senaryosu depremin yıkım etkisinin çok etkili olmadığı durumları modellemekteydi. Bu durum senaryosuna S_1 göre j . bölgelere tiplerine göre eklenecek birlik sayısı $k=1$ tip için toplam 73 adettir. Aynı şekilde $k=2$ tip birlik için toplam 45 adettir. Alınan bu sonuçlardan S_1 senaryosuna göre bölgelerde mevcut bulunan birlik sayılarının N_{jk} oluşan birlik talebini karşılayabildiğini göstermektedir. Karşılanmaya çalışılan birlik talebi öncelikle mevcut birlikler N_{jk} içerisinde başlangıçta W_{jik}^1 birinci kapsama alanından ve W_{jik}^2 ikinci kapsama alanından karşılamaktadır. Planlama dönemleri t . ilerledikçe karşılanan birlik talep miktarı D_{jk} değişmektedir. Bu senaryoda eklenen birlik $j=2$ bölgede $k=1$ ve $k=2$ tipte birliklerden oluşmaktadır. Bölgeler arası birlik taleplerini karşılamak için gönderilen birlik sayısı birincil kapsama alanından W_{jikt}^1 ve ikincil kapsama alanından W_{jikt}^2 karar değişkenlerinin sayılarından oluşur. Bu sayılar Tablo 4.4'te görülen t . dönemde j . bölgeden i . bölgeye gönderilen sayılardır. Bu tabloya göre birincil kapsama alanından deprem bölgelerinde arama kurtarma birlik talebinin çok yoğun olmadığı anlaşılmaktadır. Deprem haritası Şekil 4.2 ile karşılaştırıldığında eklenen birlik sayılarının ve belirlenen birlik tiplerinin harita üzerindeki deprem riski yüksek bölgelere yakın olduğu görülmektedir.

4.5.2. Kötü Durum Senaryosu S_2 Sonuçları

Çalışmanın kötü durum senaryo S_2 sonucunda deprem bölgelere göre daha etkili olmuştur. Arama kurtarma birlik talebi X_{jk} kötü durum senaryosunda S_2 iyi

durum senaryosuna S_1 göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum birlik talebinin yoğunluğundan ve bölgelere ait risk baskı faktörlerinin r_j^1 ve r_j^2 yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Kötü durum senaryosunda S_2 risk baskı faktörü $j=2,5,25$ bölgelerde diğer bölgelere göre daha yüksek olduğundan bu bölgelerde eklenecek birlik sayıları X_{jk} yüksektir. İlk planlama döneminde $t=1$ birlik talebi mevcut birliklerden N_{jk} karşılanmaktadır. Başlangıçta bölgeler arası birincil kapsamada gönderilecek birlik sayısı W_{jik}^1 ilk planlama döneminde istenen talep miktarının bir kısmını karşılamaktadır. Bu senaryoda da ilk planlama döneminde W_{jik}^1 karar değişkeninin gönderdiği birlik sayısından dolayı ilk planlama döneminde eklenecek birlik sayısı oluşmamıştır.

Kötü durum senaryosunda eklenecek birlik sayısı $k=1$ tip birliklerin planlama ufku süresince toplam sayısı 21 adettir. Bu senaryoda $k=2$ tip birliklerden planlama ufku boyunca toplam 157 adet, $k=3$ tip birliklerden ise toplam 520 adettir. Açılan arama kurtarma birlikleri risk baskı faktörünün r_j^1 yüksek olduğu bölgelere göre dağıldığı görülmektedir. Risk baskı faktörleri r_j^1 ve r_j^2 deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde yüksek olduğundan bu bölgelere daha fazla birlik eklenmesi öngörülmektedir.

Bu senaryodan elde edilen sonuçları deprem haritası Şekil 4.2 ile karşılaştırıldığında deprem riski eklenen birliklerin deprem riskinin yüksek olduğu alanlara yakın olduğu ve bu alanlarda fazla miktarda açıldığı sonucuna ulaşılmıştır.

4.5.3. Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Sonuçları

Avrupa yakası çok kötü durum senaryosu S_3 arama kurtarma birlik taleplerinin D_{jk} en yüksek olduğu senaryodur. Bu senaryo da S_2 senaryosundan farklı olarak birlik talebinin yoğun olduğu bir bölgeye daha $j=11$ bölgeye $k=3$ birlik tipi eklenmektedir. Risk baskı faktörlerinin r_j^1 ve r_j^2 yüksek olduğundan dolayı bu bölgelerde birlik talebi yüksek olmaktadır. Deprem riskinin yüksek olduğu $j=2,5,11$

bölgelerde bir önceki senaryoya göre daha fazla birlik açılmaktadır. En fazla birlik talebinin D_{jk} $j=5$ bölge ile deprem riski en yüksek bölgededir. Bu bölgenin aynı zamanda risk baskı faktörü r_j^1 diğer bölgelerden yüksek olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı $j=5$ bölgede $k=1,2,3$ birlik tiplerinde birlik eklenmiştir. Planlama dönemleri göz önüne alındığında $t=2,3,4,5$ planlama dönemlerinde $j=5$ bölgede $k=3$ birlik tipinde de yüksek sayıda birlik eklenmiştir. Bu durum deprem etkisi bu bölgede daha fazla hissedilen bir etki oluşturacaktır. Özellikler $t=4$ ve $t=5$ planlama dönemlerinde arka arkaya $j=5$ bölgenin yüksek oranda $k=1$ tip birlikten eklenmektedir. Başlangıçta riski daha yüksek olan $j=18$ ve $j=20$ bölgelere $j=5$ bölgeden $k=2$ ve $k=3$ birlik tiplerinde değişik sayılarda birlik gönderilmiştir. Daha sonra birincil kapsama alanı risk baskı faktörünün r_j^1 etkisi ile diğer bölgelerden $j=2,9,13,14,15,17$ bölgelerden $j=5$ bölgeye $t=2,3,4,5$ dönemlerde birlik aktarımı yapılarak bitlik talebinin X_{jk} bir kısmı sağlanmaya çalışılmıştır.

Birincil kapsama alanı içerisinde birbirine komşu olan bölgelerde risk baskı faktörü r_j^1 yüksek olduğundan $j=2,5,11$ bölgelere yakın olan yerlerden birlik talebi yüksek oranda karşılanamamıştır. Ortaya çıkan birlik talebi planlama dönemlerinde ise ikincil kapsama alanlarından Z_{jkt}^2 birincil kapsama alanlarına Z_{jkt}^1 göre daha fazla karşılanmaktadır. Bunun temel nedeni deprem riskinin yüksek olduğu alanlara yakın alanlarında risk baskı faktörünün yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Arama kurtarma birlik talebi D_{jk} risk baskı faktörünün r_j^1 birincil kapsama alanına göre daha düşük olduğu ikincil kapsama r_j^2 alanlarından karşılanmaktadır. Deprem haritası Şekil 4.2 ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında modelin verdiği sonuçların deprem haritasındaki sonuçlara uygun olduğu görülmektedir. Deprem riski yüksek olan bölgelere riski düşük olan bölgelerden başlangıçta birlik ataması yapılmıştır. Daha sonra planlama dönemleri içerisinde ise yine deprem riski düşük bölgeler yerine risk baskı faktörleri r_j^1 ve r_j^2 de etkisi ile riski yüksek bölgelerde yüksek sayıda birlik eklenmiştir.

Avrupa yakası sonuçları Şekil 4.2’de yer alan deprem haritası ile karşılaştırılarak incelenmiştir. İnceleme sonucuna göre matematiksel modelin sonuçları deprem haritasını doğrular niteliktedir. Matematiksel model planlama dönemlerinde açılacak veya atanacak birlik sayılarının yerlerini, tiplerini ve planlama dönemlerini göstermektedir. Bu sonuca göre İstanbul Avrupa yakasında deprem arama kurtarma birlik sayıları, yerleri, tipleri ve açılma zamanları belirlenmiştir.

4.6. Anadolu Yakası Sonuçları

İstanbul Anadolu yakası sonuçları toplam 3 ilçeye göre alınmıştır. Bu ilçelerin İstanbul deprem haritasına Şekil 4.2 göre belirlenen risk baskı faktörleri ile eklene birlik sayıları arasında İstanbul Avrupa yakasında görülen sonuçlara benzerlik olduğu görülmektedir.

4.6.1. İyi Durum Senaryosu S_1 Sonuçları

İyi durum senaryosunda risk baskı faktör birincil kapsama alanı için en yüksek olan bölgeler $j=7,11$ bölgeler olduğu görülmektedir. Bu $j=7$ bölgenin risk baskı faktörünün bazı bölgelerden düşük olmasına rağmen komşuluk ve ulaşım gibi bazı etkenlerden dolayı birliklerin bu bölgeye açıldığı görülmektedir. Birlik eklenen $j=13$ bölgenin birincil kapsama alanının risk baskı faktörü $j=7$ bölgeden büyük olmasına rağmen $j=7$ bölgeye daha fazla birlik eklenmiştir. Bu durumu açıklayan bir diğer sonuç ise başlangıçta birincil kapsama alanı W_{jik}^1 içerisinde bulunan $j=1$ ve $j=4$ bölgelerden $j=13$ bölgeye $k=2$ ve $k=3$ tipte birlik gönderilerek bu bölgenin birlik ihtiyacının başlangıçta karşılanmasıdır. Birlik talebi ikincil kapsama alanında W_{jik}^2 değişkeni ile yine başlangıçta $j=13$ bölgenin birlik ihtiyacı $j=2$ ve $j=8$ bölgelerden de karşılanmaktadır. Mesafe ve komşuluk birlikleri yerleşim yerlerinin belirlenmesi ve eklenmesini yüksek oranda etkilemektedir.

Bu senaryo sonuç olarak birlik ihtiyacı D_{jk} açısından deprem haritası Şekil 4.2 ile karşılaştırıldığında deprem riski yüksek olan bölgelerin göz önüne alındığı ve birlik tiplerinin de bu riski doğrular şekilde olduğudur.

4.6.2. Kötü Durum Senaryosu S_2 Sonuçları

Bu senaryoda birliklerin $j=10$ ve $j=11$ bölgeler yoğunlaştığı ve birlik sayılarının arttığı görülmektedir. Kötü durum senaryosuna S_2 birlik talebinin yüksek olduğu hemen göze çarpmaktadır. Mevcut birliklerin bu senaryoda S_2 ilk dönemde yetersiz kaldığı ve birinci planlama döneminde dahi özellikle $k=1$ tipte birlik açıldığı görülmektedir.

Başlangıçta birincil kapsama alanında bulunan birliklerden en fazla $j=1,8,9$ bölgelere atandığı görülmektedir. Planlama dönemleri göz önüne alındığında ise birincil kapsama alanından Z_{jkt}^1 en fazla birlik sayısı $j=11$ bölgeye atandığı gözlenmektedir. Burada önemli bir nokta $j=11$ bölgenin deprem riskinin planlama dönemlerinde daha yüksek çıkması ile birlik sayısının neredeyse tamamı bu bölgeye gönderilmiştir. Risk baskı faktörü birincil kapsama alanı için $j=11$ bölgenin $j=4,6,13$ bölgeler ile aynı olmasına rağmen $j=11$ bölgeye diğer kapsama bölgelerinden yeterince birlik gönderilememiştir. Bundan dolayı planlama dönemlerinde $j=11$ bölgeye birlikler atanmış veya eklenmiştir.

Deprem haritası incelendiğinde $j=11$ bölgenin kötü durum senaryosunda diğer bölgeler kadar etkilendiği ve aynı zamanda diğer bölgelerden yeterince birlik aktarılmadığından planlama dönemlerinde bu bölgeye daha fazla birlik açılmıştır.

4.6.3. Çok Kötü Durum Senaryosu S_3 Sonuçları

Çok kötü durum senaryosu S_3 karşılaşılan en kötü senaryodur. Bu senaryoda arama kurtarma birlik talebi D_{jk} en yüksek seviyesindedir. Ayrıca risk baskı faktörleri r_j^1 ve r_j^2 bölgelere göre yüksektir. Bölgeler arası başlangıçta birincil kapsama alanından atanacak birlikler W_{jik}^1 tüm bölgeler arasında gerçekleşmiştir. Diğer bir değiş ile tüm j . bölgelerden i . bölgelere doğru başlangıçta atama yapılmıştır.

Arama kurtarma birliklerinin çok kötü durum senaryosuna göre j . bölgelere eklenecek birlik sayısı ilk olarak $t=1$ planlama döneminden başlayarak atanmıştır. İlk

planlama döneminde $j=7$ bölgeye $k=1$ tip birlik ataması yapılmıştır. Bunun nedeni ilk planlama dönemine $j=7$ bölgenin birincil kapsama alanına bağlı olarak ortaya çıkan risk baskı faktörünün r_j^1 yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Ek olarak $j=7$ bölgede risk baskı faktörü r_7^1 yüksekliğinden $t=2$ planlama döneminde $k=1,2,3$ birlik tiplerinde arama kurtarma birliği eklenmiştir. Arama kurtarma birlik talebinin başlangıçta yetersiz olmasından dolayı $j=8,10,11$ bölgelerden çok kötü durum senaryosunda S_3 birlikler eklenmiştir. Bölgelerden $j=5$ bölgeye ise $k=2$ ve $k=3$ tipte birlikler $t=3,4,5$ planlama dönemlerinde açılmıştır. Başlangıçta W_{jk}^1 karar değişkenine göre $j=7$ bölgeden $i=5$ bölgeye $k=2$ tipte birlik atanmış fakat $t=2$ planlama döneminde yeniden $k=2$ tipte birlik yeniden eklenmiştir. Deprem risk baskı faktörünün planlama dönemleri arasında etkisi farklı olduğundan başlangıçta gönderilen bir birlik daha sonraki dönemler de ortaya çıkan ihtiyaç nedeni ile yeniden açılabilir.

Çok kötü durum senaryosunda sonuç olarak arama kurtarma birlik talebinin yüksek olmasından kaynaklanan problem yine mevcut birlik sayısı N_{jk} eklenen yeni birlik sayıları X_{jk} ile karşılanmıştır. Eklenen birlik sayıları ve yerleri değişen birliklerin konumlarına göre deprem haritası göz önüne alınacak olursa eklenen birlik ve yerleri değiştirilen birlikler ile ilgili hesaplamaların doğru olduğu görülür. Buna göre deprem haritası ile problemin sonucunda oluşturulan harita benzer özellikler göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada deprem sonrası arama kurtarma birliklerinin t . dönemde ortaya çıkacak olan birlik taleplerinin eldeki bütçe miktarı ile karşılanmasına yönelik bir matematiksel model kurularak çözümleri incelenmiştir. Arama kurtarma birlikleri kamu hizmeti yapan bir kuruma bağlı çalışmaktadır. Kamu kurum ve kuruluşlarının yıllık bütçe miktarları daha önceden yaklaşık olarak belirlidir. Kamu kuruluşu olan birlikler stratejik planlarını yapabilmek için belirli bir planlama periyodunu seçerler. Özellikle arama kurtarma birliği gibi insanlar hayati önem taşıyan kuruluşlarda ortaya çıkacak olan taleplerin karşılanması çok önemlidir.

Arama kurtarma birlikleri ülkemizdeki diğer kamu kurum ve kuruluşları gibi genel bütçe dahilinde oluşturulan harcama bütçesine sahiptir. Kurum bütçesini yıllık harcama planları ve beş yıllık yatırım planları şeklinde yapmaktadır. Beş yıllık yatırım planları Devlet Planlama Teşkilatı tarafından beş yıl için yatırım planlarının öngörüldüğü planlardır. Arama kurtarma birliklerinin bağlı olduğu kurum veya kuruluş da bu dönemsel yatırım planlarına uymak zorundadır. Bundan dolayı planlama periyodu beş yıl için seçilmiştir. Bu ön görülen beş yıl içerisinde ise herhangi bir depremin olması da muhtemeldir. Her geçen yıl içerisinde depremin ortaya çıkma olasılığı artarak artmaktadır. Deprem ne zaman ortaya çıkacağı bilinmeyen bir durum olduğundan birliklerin bağlı olduğu kurum veya kuruluşlarda planlama periyotlarında bütçe kurulum maliyetlerini dikkatli bir şekilde yatırıma aktarmak zorundadır.

Bütçe yatırım maliyetleri kurum bütçeleri için oldukça önemli miktarlardan oluşmaktadır. Sadece yapılan yatırım değil bunun yanında işletme giderleri de önemli miktarlara ulaşabilmektedir. Elimizdeki tüm bütçe miktarını tamamını yatırıma harcadığımızda daha önceki yıllarda kurulmuş olan işletme giderine ihtiyaç duyan birliklerin işletilmesi mümkün olmayacaktır. Bu yüzden bütçe miktarlarının dikkatli bir şekilde yatırıma yönlendirilmesi gereklidir (Gökmen, 2009). Bu çalışmada belirlenen bir planlama ufku uzunluğunda yapılacak olan yatırım miktarlarının ve bu yatırımdan ortaya çıkan işletme giderlerinin en iyilenmesi için

geliştirilen model sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen model sonuçları ise analizleri yapılmış ve simülasyon sonuçları ile test edilmiştir.

5.1 Çalışmanın Özeti

Bu çalışmada deprem sonrası ihtiyaç duyulan arama kurtarma birlik sayısının bir T planlama ufku boyunca her bir t . planlama periyodunda ne kadar birlik sayısına ihtiyaç duyulacağı problemi çözülmeye çalışılmıştır. Kurulacak birliklerin bir bütçe kısıtı içerisinde kalmasından dolayı bütçe kullanımının önemi de incelenmiştir. Çalışmada ilk olarak talebi oluşturan D_{tk} matrisi hasar görebilirlik fonksiyonunda elde edilmiştir. Deprem sonrası yaralı talebinin tahmin edilmesi konusunda yapılabilecek çalışmalardan (Coburn ve ark., 1991. Kawata, 1995. Fiefrich ve ark. 2000) üretilen yaralı sayısından birlik tahmini kapasitelerine bölerek arama kurtarma birliği talebi oluşturulmuştur. Türkiye Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığının tahmini bütçesi alınarak t . dönemlik bütçe B_t oluşturulmuştur. Birliklerin tahmini işletme ve kurulum maliyetleri de kurumlardan toplanarak veri girişi için hazırlanmıştır. Toplanan ve elde edilen verilerden bir veri giriş dosyası oluşturulmuştur. Bu veri dosyası matematiksel programlama bilgisayar programında girdi için kullanılmış ve sonuçları yine aynı veridosyasına yazdırılmıştır. Veri girişi için kullanılan MS Excel tablolama programı esnek yapısı ile çok sayıda matematiksel programlama, simülasyon ve bilgisayar programı uygulama geliştirme ile bilgisayar programı diline veri girişi yapılmasına olanak sağlar. Aynı zamanda istenen başka veri tabanlarının veri giriş formatına çevrilebilmektedir. Böylelikle veriler istenen bilgisayar programı, veritabanı veya diğer bilgisayar uygulamaları için uygun hale getirilmiştir. Matematiksel programlama dilinden elde edilen veritabanı sonuçları simülasyon bilgisayar programı için girdi olarak kullanılmış ve simülasyon programından alınan çıktılarda MS Excel tablo bilgisayar programı olarak alınmıştır. Verilerin analizleri ve istatistikleri için yine aynı MS Excel tablolama programı kullanılmış ve simülasyon verilerinin istatistikleri aynı programda sonuçlanarak yazılmıştır.

Çalışmada belirsiz değişken olan D_{tk} birlik talebindeki değişimlerin amaç fonksiyona etkilerini inceleyerek duyarlılık analizi yapılmıştır.

5.2. Sonuçlar

Arama kurtarma birliklerinin beklenen talepleri D_{jk} oluşabilecek bir deprem sonrası kurtarma faaliyetlerinin etkinliğini belirler. Zamanında müdahalenin yanında etkin bir kurtarma faaliyeti can kayıplarını en aza indirecektir. Bir bölgede hedeflenen planlama faaliyeti içerisinde ne kadar miktarda arama kurtarma birliği ihtiyacı olduğunu hesaplamak ta beklenen depreme karşı hazırlıklı olmayı sağlar ve kurtarma faaliyetlerinin etkinliğini belirler.

Bütçe hesaplamalarında hedefi tutturmak çok önemlidir. Bütçe fazlası finansal kayıplara neden olduğu gibi elde bulunan fırsat maliyetlerinin de kaçırılmasına neden olur. Aynı zamanda bütçeye faiz yükü gibi ek finansal maliyetler getirebilir. Bütçe hedefinin eksik çıkması durumunda ise bu probleme göre kurulacak olan birliklerin kurulumunun gecikmesi veya talebin istenen zamanda ve miktarda karşılanmamasına neden olur. Bundan dolayı hedeflenen bütçe ile gerçekleşen bütçe arasındaki farkın olmaması $BS_t = 0$ gerekir.

Gerçek hayatta ortaya çıkan belirsiz durumlardan kaynaklanan harcamalar nedeni ile hedeflenen bütçelerin tutturulması neredeyse imkânsız hale gelmektedir. Bu çalışmada planlama ufku süresinde karar vericilere gerçek hayatta bu türden bir problem ile karşılaştıklarında bütçe harcamalar konusunda yardımcı olmaktadır. Deprem gibi bir doğal afet sonrasında ilk olarak ihtiyaç duyulan organizasyon arama kurtarma birlikleri olduğundan bu tür problemlerin önemini arttırmaktadır. İstanbul ili için kıtalara göre iki ayrı sonuç alanı oluşturulmuştur. Modelin bulgularına göre uygulama alanı İstanbul Avrupa ve İstanbul Anadolu olarak iki ayrı yakadır. Sonuçlar ilk olarak bulgulardan Avrupa yakası sonuçları senaryolara göre incelenmiştir. İkinci olarak Anadolu yakasına ait bulgular incelenmiştir.

5.3. Sonuçların Genel Değerlendirilmesi

Sonuç olarak bu problemde beş yıllık bir planlama ufku süresince deprem oluşma riskine karşı ihtiyaç duyulan birlik sayılarının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Karar vericiler ellerindeki bütçenin belirlenen bir $r=63\%$ deprem riskine karşılık dönem bütçesindeki sapmalara uygulanan P ceza puanı ile belirli bir

planlama ufku için etkin kullanımını sağlayacak modeli kullanabilirler. Matematik modelin içerisinde bulunan risk baskı faktörü ile karar vericiler hedefledikleri oranda depremin oluşacak yıl içerisindeki olasılığını değiştirebilirler. Risk baskı faktörü coğrafi koşul ve bölgenin jeolojik özelliklerine göre değiştirilebilir olduğundan model her yere uyarlanabilir. Aynı zamanda modelin içerisindeki P olarak yine dışarıdan girilen BS_i bütçe sapması karar vericinin hedeflediği orana göre değiştirilebildiğinden sıkı bütçe kuralları veya gevşek bütçe kurallarına göre uyarlanabilir. Modelin içerisinde kullanılan parametrelerden dolayı uygulama yerleri geniştir. Parametreler değiştirilerek farklı deprem özelliklerini belirleyen coğrafi koşul ve bütçe esneklik oranlarına göre kullanılabilir.

Bilgisayar programlama sistem ve ortamlarının teknolojik olarak ilerlemesiyle bu türden problemlerin modellenmesi kolaylaşmaktadır. Kolaylaşan arayüzler ve geliştirme ortamları sayesinde daha karmaşık problemler modellenebilmektedir. Bu problemde parametreler bilgisayar sistemlerinin teknolojik olarak ilerlemesinin tüm imkânlarını kullanmaktadır. Veri girişlerini parametrik olması sayesinde modelin uygulama alanları genişlemiştir.

Çalışmanın sonucunda elde edilen deney sonucunda geliştirilen matematiksel modelin oluşturulan senaryolara göre verdiği değerlere göre bazı yargılara varılabilmektedir. İyi durum senaryosunda talep değişkeninin duyarlılık analizinden elde edilen sonuçlara göre %20 artmasına karşı istenen sonucu vermediği görülmüştür. Modelin iyi sonuç vermemesinin nedenlerinde birisinin modele girilen risk baskı faktörünün modeli katı %5-%20 aralığında hale getirmemesi olabilir. Buna karşılık model kötü ve çok kötü durum senaryolarında yapılan duyarlılık analizi sonuçlarına göre modeli iyi durum senaryosuna göre daha iyi sonuç vermiştir. Çalışmada kullanılan model kötü ve çok kötü durumlar için daha fazla tercih edilebilir bir modeldir.

5.4. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler

Bu çalışmanın matematiksel model sonucunda elde edilen veriler deterministik olduğundan belirsiz durumlar için sağlıklı çözüm vermeyebilir. Sonra yapılacak çalışmalarda problemin stokastik parametreler için çalıştırılması

denenebilir. Stokastik doğrusal programlama yöntemlerinden uyarlanabilirlik (adaptability) modeli çözüm yaklaşımı ilerleyen çalışmalarda denenmelidir. İki veya çok aşamalı stokastik doğrusal programlama problemin deprem sonrası aşamalarında test edilebilir. Çalışmada kullanılan matematik programlama bilgisayar programı, veritabanı programı ve simülasyon bilgisayar programı araçları daha sonraki çalışmalarda arabirimler geliştirilerek birbirinden bağımsız benzer problem alanlarında uygulanabilir.

Birlik talebinin stokastik olarak tahmin edilmesi problemi modelin gerçek durumlarda nasıl cevap verdiği araştırılabilir. Talebin belirsizlik durum ile ilgili çok sayıda yapılmış çalışma vardır. Bu çalışmaların incelenerek bu probleme uygulanması denenebilir. NP-zor problemlerin çözümü oldukça zor ve araştırılan konulardan birisidir. Bu tür problemlerin zorluğu problemin içerdiği değişken sayılarının çok olmasından kaynaklanabilir. Problemlerdeki değişkenlerin sayısının fazla olmasından kaynaklanan çözüm zorlukları da araştırılabilir. Problemdeki değişken sayısı indirilmesi yöntemleri ileri çalışmalarda incelenmelidir.

Problemin sonraki çalışmalara bir diğer önerisi süre belirsizliklerinin dikkate alınmasıdır. Süre belirsizlikleri talebe bağlı olarak değiştiğinden talebe bağlı sürelerin de göz önüne alınmalıdır. Bu tip kurulacak modelin çözümü NP-zor olduğundan çeşitli sezgisel çözüm yöntemleri ile çözüm elde edilmesi denenebilir. Bu konuya benzer olarak talep değişiklikleri yanında talep büyüklüklerine bağlı süre belirsizlikleri de incelenmesi diğer bir konudur.

KAYNAKLAR

- AGUIRRE, B., 1994, Planning, Warning, Evacuation And Search And Rescue: A Review of The Socilal Science Research Literature. Recovery Center, Texas A& M University, Texax.
- AKDUR, R., 2005, Afetlere Karşı Sağlık Hizmeti Senaryoları Yazma ve Deprem Örneği, Afet Tıbbı, Cilt 1, Ünsal Yayınları, Ankara.
- AKŞİT B., ERKUT G.,2003, HELVACIOĞLU İ., KADIOĞLU M., KARANCI N., ŞENER S.M., KEMER A.T., URAL D. ÜNLÜ A., 2001, İstanbul İçin Deprem Master Planı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Planlama ve İmar Dairesi Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğü, İstanbul.
- AMBROSINO, D., SCUTELLA, M. G., 2005, Distrubition Network Design: New Problems and Releted Models, European Journal Of Operational Research, 165:610-624
- ALSALLOUM, O.I, RAND, G.K., 2006. Extension To Emergency Vehicle Location Models, Computers And Operations Research, (33) 2275-2743.
- ALTAY N., GREEN W.G., 2005, OR/MS Research in Disaster Operations Management, European Journal Of Operational Research, Yayın Basımında.
- AMBRASEYS, N. N. VE J. A. JACKSON (1981), Earthquake Hazard and Vulnerability in the Northeastern Mediterranean: the Corinth Earthquake Sequence of February- March, 1981 (Kuzeydoğu Akdeniz’de Deprem Tehlikesi ve Zarar Görebilirlikler: Şubat- Mart 1981, Korent Deprem Silsilesi, Disasters, Cilt 5, No. 4, sayfa 355- 368.
- AYTUĞ , H., SAYDAM, C., 2002, Solving Large-Scale Maximum expected Covering Location Problems By Genetic Algorithms: A Comperative Study, European Journal Of Operational Research, (141) 480-494
- BAKIR PG, BODUROĞLU H.M., 2002, Earthquake Risk And Hazard Mitigation in Turkey Earthquake Spectra 18 (3): 427-447.
- BALL M.O, LIN F.L., 1995, Reliability, Covering And Balanced Matrices Operations Research Letters ,17 (1) , 1-7.

- BARBAROSOĞLU G., ARDA Y., 2004, A two Stage Stochastic Programming Framework For Transportation Planning In Disaster Response, Journal Of The Operational Research Society, 55 (1), 43-53.
- BARBAROSOĞLU G., ÖZDAMAR L., ÇEVİK A., 2002, An Interactive Approach For Hierarchical Analysis Of Helicopter Logistics In Disaster Relief Operations, European Journal Of Operational Research 141 (3) 16 September 2002, Pages 679-688
- BERLIN G., 1972, Facility Location and Vehicle Allocation for Provision of an Emergency Service, PhD Dissertation, The Johns Hopkins University, Baltimore, MD.
- BROTCORNE L., LAPORTA G., SEMET F., 2003 Ambulance Location And Relocation Models, European Journal Of Operational Research, 147 :451-463.
- BRYSON K. W., MILLAR H., JOSEPH A., MOBOLURIN A., 2000, Using Formal MS/OR Modeling To Support Disaster Recovery Planning European Journal Of Operational Research 122 (2) , 461-468
- BUI T.X., SANKARAN S.R., 2001, Design Considerations For A Virtual Information Center For Humanitarian Assistance/Disaster Relief Using Workflow Modeling, Decision Support Systems 31 (2): 165-179
- CAN, E., 2005, Entegre Afet Yönetim Sistemi ve İlkeleri, Afet Yönetiminin Temel İlkeleri, 1: 1-8.
- CHENGALUR-SMITH I, BELARDO S, PAZER H, 1999, : Adopting A Disaster-Management-Based Contingency Model To The Problem Of Ad Hoc Forecasting: Toward Information Technology-Based Strategies, : Ieee Transactions On Engineering Management 46 (2): 210-220.
- COOPER, L., 1964. Heuristics Method for Location-Allocation Problems, SIAM Review. 6(1): 37-53.
- ÇÖMLEKÇİ, N., Deney Tasarımı İlke Ve Teknikleri, Alfay Yayınevi, 1. Basım. İstanbul.
- DASKIN, M., COULLARD, C.R., SHEN, Z. M., 2002, An Inventory-Location

- Model: Formulation, Solution, Algorithm and Computational Results, *Annals of Operations Research*, 100:83-106.
- DASKIN, M., STERN, E., 1981, "A hierarchical objective set covering model for emergency medical service vehicle deployment", *Transportation Science*, 15, 137 -152.
- DOHENY J.G., FRASER J.L., 1996, MOBEDIC — A decision modelling tool for emergency situations, *Expert Systems with Applications*, 10 (1) , 17-27.
- DÖYEN, A., ARAS, N., BARBAROSOĞLU, G., 2008. Afet Yönetim Tesisleri Yer Seçimi ve Lojistik Planlama Problemi için Bir Rassal Programlama Modeli. YAEM2008. Galatasaray Üniversitesi.
- DRABEK T.E., McEntire D.A., 2003, Emergent Phenomena And The Sociology Of Disaster: Lessons, Trends And Opportunities From The Research Literature, *Disaster Provention & Management*, 12 (2) , 97-113.
- DRABEK T.E., 1991, Organizing Emergency Management, In: Drabek, T., E., And Hoetmer, G., J. (ed.): Principles and Practice For Local Government, International City Management Association, Washington, DC. Pp: 3-29.
- EATON, D., CHURCH, R., BENNET, V., NAMON, B., 1981, On deployment of health resources in rural Colombia, *TIMS Studies in the Management Sciences*, 17, 331-359.
- ERDİK, M., ANSAL, A., AYDINOĞLU, N., BARKA, A., IŞIKARA, A., M., YÜZÜGÜLLÜ, Ö., AVCI, J., ÖZEL, O., BİRO, Y., A., BİRGÖREN, G., 2000, İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı, İzmir Büyükşehir Belediyesi ve Boğaziçi Üniversitesi, İzmir.
- ERGÜNAY, O., 1997, Acil Yardım Planlaması ve Afet Yönetimi” Milli Güvenlik Kurulu, Vali Yardımcıları Oryantasyon Programı Ders Notu, Ankara.
- ERGÜNAY, O., 1996, Afet Yönetimi Nedir Nasıl Olmalıdır, Erzincan Dinar Depremlerinin Işığında Türkiye’nin Deprem Sorunlarına Çözüm arayışları, TÜBİTAK, Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara.
- ERGÜNAY, O., GÜLKAN, P., 1990, Depremlerde Zarar görülebilirlik ve Riskin Belirlenmesi, Türkiye Ulusal Raporu, Aralık, Ankara.
- ERKUT E., INGLFSON A., 2000, Catastrophe Avoidance Models For Hazardous

- Materials Route Planning, Transportation Science, 34 (2), 165-179.
- FIEDRICH F., GEHBAUER F., RICKERS U., 2000, Optimized Resource Allocation For Emergency Response After Earthquake Disasters, safety Scinece, 25, 41-57.
- GALVAO, R. D., CHIYOSHI, F. Y., MORABITO, R., 2005, Towards Unified Formulations and Extentions of Two Classical Probalistic Location Models, Computational Research, 32:15-33.
- GENCER, C. AÇIKGÖZ, A., 2006, Türk Silahlı Kuvvetleri Arama Kurtarma Timlerinin Yerleşiminin Yeniden Düzenlenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21 (1), 87-105.
- GÖKMEN, Y., 2009.Stokastik Programlama İle Optimal Portföy Oluşturma. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ekonometri Bölümü
- GROSSI, P., KUREUTHER, H., 2005, Catastrophe Modelling: A New Approach To Managing Risk, Springer, Boston.
- GRABER W., GASSMAN F., 2000, Real Time As AN Emergency Decision Support System For Accidental Release Of Air Pollutants, Mathematics And Computer in Simulation, 52:413-426.
- GREGORY W.J., MIDGLEY G., 2000, Planning For Disaster: Developing A Multi-Agency Counseiling Service, Journal Of The Operational Research Society, 51 (3), 278-290.
- GÜLKAN, P., BALAMİR, M., YAK, A., 2003, Afet Yönetiminin Stratejik İlkeleri: Türkiye ve Dünyadaki Politikalara Genel Bakış, ODTÜ Afet Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara.
- GRAHAM, R., E., LAWLER, E.L., LESTRA, J.K., RINROY-KAN,A.H.G., 1979. Optimization And Approximation In Deterministic Squencing And Schduling: A Survey. Annals Of Discrete Mathematics, (4) 287-326.
- HALAÇ, O. (1983), Kantitatif Karar Verme Yöntemleri. İstanbul: Alfa Yayınevi
- HAZUS (1997), Earthquake Loss Estimation Methodology, Technical Manual, RMS, NIBS and FEMA.
- HAMACER, H., W., NICKEL, S., 1998. Classification Of Location Models, Location Science, (6), 29-242.

- HELBING D., KUNHERT C., 2003, Assesing Interaction Network With Application To Catastrophe Dynamics And Disaster Management, *Phsica* 328 (3/4), 584-607.
- HOARD M, HOMER, J., M., MANLEY W., FURBEE P., HAQUE A., HELMKAMP J., 2005, Systems Modeling in Support Of Evidence-Based Disaster Planning For Rural Areas, *International Journal Of Hygiene And Environmental Health* 208 (1-2): 117-125.
- HOGAN K. and C. REVELLE, 1986, Concepts and applications of backup coverage, *Management Science*, 32, 1434 - 1444.
- JENKINS L., 2000, Selecting Scenarios For Environmental Disaster Planning, *European Journal Of Operational Research* 121 (2): 275-286.
- JENKINS L., 1996, Selecting scenarios for environmental disaster planning *European Journal of Operational Research* , 90 (3) , 413-419.
- JICA ve IBB., 2002. Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması (Son Rapor). Pacific Consultant OYO Corporation.
- JOHSI M. , MANSATA A., TALAULIKER S., BEARD C., 2005, Desing And Analysis Of Multi-Level Active Queue Management Mechanism For Emergency Traffic, *Computer Communication*, 28 :162-173.
- KAGAN, Y. Y., JACKSON, D.D., 2000, Probalistic Forecasting Of Earthquakes, *Geophys Journal International*, 143: 438-453.
- KAGAN, Y. Y., 1997, Are Earthquakes Predictible, *Geophys Journal International*, 131:505-525.
- KAGAN, Y. Y., 1991a, Siesmic Moment Distribution, *Geophys Journal International*, 106: 123-134.
- KAGAN, Y. Y., 1991b, Likelihood Analysis Of Eartquake Catalogues, *Geophys Journal International*, 106:135-148.
- KARAMAN, H., 2008., Sonç Bazlı Risk Yönetimi ve Deprem Kayıp Tahmin Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi. 256s.
- KARANCI A.N., AKŞİT B., DİRİK G., 2005, Impact Of A Community Disaster

- Awareness Training Program in Turkey: Does It Influence Hazard-Related Cognitions And Preparedness Behaviors. *Social Behaviour And Personality*, 33 (3): 243-258.
- KIJIMA K., Characterization of desirable information processing and decision making systems in organization, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Japan.
- KRAUP, J., VAJDA, S., 1997. On Toricelli's Geometrical Solution To A Problem Of Fermat., *IMA Journal Of Mathematics Applied in Business And Industry, Duality Practice*, 8(3):215-224.
- KREPS, G.A. 1991, Organizing Emergency Management, In: Drabek, T., E., And Hoetmer, G.,J. (ed.) : Principles and Practice For Local Government, International City Management Association, Washington, DC. Pp: 34-50.
- KUSTERS R.B. , GROOT P. M. A., 1996, Modelling Resource Availability in General Hospitals Design And Implementation Of A Decision Support Model, *European Journal Of Operational Research*, 88:428-445.
- LAW, A.M., KELTON, D.W., Simulation Modelling And Analysis. Mc Graw-Hill Int. Ed., 1991. New-York
- LAWRANCE J.A. Ve B.A. PASTERNAK (2002) Applied Management Science Modeling, Spreadsheet Analysis, And Communication For Decision Making. New York: John Wiley & Sons Inc.
- LEVIN, R.I., RUBIN D.S., STINSON J.P., GARDNER E.S (1992) Quantitative Approaches To Management. New York: Mc-Graw Hill.
- MARIANOV V., ReVelle C., 1996, The Queue Maximal Availability Location Problem: A Model For Siting of Emergency Vehicle, *European Journal Of Operational Research*, 93:110-120.
- MASRI A., MOORE J.E., 1995, Integrated Planning Information-Systems - Disaster Planning Analysis, *Journal Of Urban Planning And Development-Asce* 121 (1): 19-39
- MELKOLTE, S., DASKIN, M., 2001a, An Integrated Model Of Facility Location And Transportation Network Design, *Transportation Research Part A*, A35:515-538

- MELKOLTE, S., DASKIN, M., 2001b, Capacitated Facility Location / Network Design Problem, *European Journal Of Operational Research*, 129:481-495.
- MINGERS J., ROSENHEAD J., 2004, Problem Structuring Methods In Action, *European Journal Of Operational Research*, 152, 530-554.
- NATEGHI-ALAHİ F., İZADKHAH Y., 2004, Earthquake Disaster Management Planning In Healthcare Facilities, *Disaster Prevention & Management*, 13 (2), 130-136.
- OCHA. 2006. INSAGRAG Guidelines and Methodology. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. Geneva.
- OGATA, Y., KATSURA, K, TANEMURA, M., 2003, Modelling Heterogeneous Space-Time Occurrences Of Earthquakes And Its Residual Analysis, *Applied Statistics*, (52), Part 4:499-509.
- OWEN, S.H., DASKIN, M., 1998, Strategic Facility Location: A Review, *European Journal Of Operational Research*, 111:423-447
- ÖZMEN, B., 2001, İstanbul İçin Deprem Senaryosu, Milli Güvenlik Konseyine Sunulan Rapor, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.
- ÖZMEN, B, NURLU, GÜLER, H., 1997, Coğrafi Bilgi Sistemi İle Deprem Bölgelerinin İncelenmesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- ÖZDAMAR L., EKİNCİ E., KÜÇÜKYAZICI B., 2004, Emergency Logistics Planning In Natural Disasters, *Annals Of Operation Research*, 129, 217-245.
- ÖZTÜRK, A. (2002) Yöneyim Arastırması. Bursa: Ekin Kitabevi.
- PEARCE L., 2003, Disaster Management And Community Planning, And Public Participation: How to Achieve Sustainable Hazard Mitigation, *Natural Hazard*, 28:211-228.
- PERL, J., DASKIN, M., 1985, A Warehouse Location-Routing Problem, *Transportation Research B*, 19B:381-396
- PIDD M., DE SILVA F.N., EGLESE R.W., 1993, A Simulation Model For Emergency Evacuation, *European Journal Of Operational Research*, 66 (1) , 72-88.
- POURVAKHSOURI S.Z, MANSOR S., 2003, Decision Support System In Oil Spill

- Cases, Disaster Provention & Management, 12 (3), 217-223.
- RENDER, B., R.M. Stair Ve M.E. Hanna (2003) Quantitative Analysis For Management. New Jersey: Prentice Hall.
- RGELFE (Gelecekteki Deprem Kayıplarının Tahmini için Araştırma Grubu) (1992), Estimating Losses from Earthquakes in China in the Forthcoming 50 Years (Gelecek 50 Yıl için Çin'deki Deprem Kayıplarının Tahmini), Devlet Sismoloji Bürosu, Sismoloji Yayınları, Pekin.
- SARKER B., MANN L., TRIANTAPHYLLOU E., MAHANKALI S., Power Restoration In Emergency Situations, Computers & Industrial Engineering, 31 (1-2) 367-370.
- SELIM,H., OZKARAHAN, I., 2003. Acil Servis Araçlarının Yerleşimi Üzerine Yeni Bir Model. Endüstri Mühendisliği Dergisi. (14), 1:18-27.
- SHALUF I.M., AHMADUN F., MUSTAPHA S., 2003, Technological Disaster's Criteria And Models, Disaster Provention & Management, 12 (4), 305-312.
- SHALUF I.M., AHMADUN F., 2003, Major Hazard Control: The Malaysian Experience, Disaster Provention & Management, 12 (5), 420-428.
- SHALUF I.M., AHMADUN F., SAID A.M., 2003, A Review Of Disaster Crisis, Disaster Provention & Management, 12 (1), 24-33.
- SHIN Y.W., 2004, BMAP/G/1 Queue With Correlated Arrivals Of Customers And Disasters, Operations Research Letters, 32: 264-373.
- TAHA H., 2000, Yöneyem Araştırması, Literatür yayınevi , İstanbul.
- TAMURA H., YAMAMOTO K., TOMİYAMA S., HATONO I., 2000, Modeling And Analysis Of Decision Making Problem For Mitigating Natural Disaster Risks European Journal Of Operational Research 121, (2) , 275-286
- TANSEL B., 1995, Natural And Manmade Disasters - Accepting And Managing Risks, Safety Science 20 (1): 91-99.
- TAYLOR, B.W. (2002) Introduction To Management Science. New Jersey: Prentice Hall.
- THUNEN, J.H. von, 1966, Die Isolierte Stat In Beziehung Auf Landwirshaft Und Nationalökonomie, 1826; translate as The Isolate state. Pergammon Pres, NewYork.

- TORCAL, F., POSADAS, A.M., CHICA, M., SERRANO, I., 1999, Application of Conditional Geostatistical Simulation To Calculate the Probability Of Occurrence Of Earthquakes Belongign To A Siesmic Series, *Geophys Journal International*, 139:703-725.
- TRIM P.R.J., 2004, An Integrative Approach To Disaste Management And Planning, *Disaster Provention & Management*, 13 (3), 218-224.
- TUFEKÇİ S., 2002, An İntegrated Emergency Management Decision Support System For Hurricane Emergencies, *European Journal Of Operational Research* Volume 140, Issue 1 , 1 July 2002, Pages 118-133
- ULUSAY, R., TUNCAY, E., SÖNMEZ, H., GÖKÇEOĞLU, C., 2004, An Attenuation Relationship Based on Turkish Strong Motion Data and iso-acceleration Map of TURKEY. *Engineering Geology*, 74:265-291.
- WEI Y., Xu W., FAN Y., TASI H., 2002, Artifical Neural Network Based Predictive Method For Flood Disaster , *Computers & Industrial Engineering*, 42, 383-390
- XINZHENG L., NING Y., JIANJING J., 2004, Application Of Computer Simulation Technology For Structure Analysis in Disaster, *Automation In Consturtion*, 13:597-606.
- VALENZUELA T.D., GOLDBERG J., KEELEY T.K., CRİSS E.A., 1990, Computer Modeling Of Emergency Medical System Performance *Annals Of Emergency Medicine* 19 (8) , 898-901.
- YANMAZ , Ö., LUŞ, H., 2005, Yapı güçlendirme Yöntemlerinin Fayda Maliyet Analizi, *İMO Teknik Dergi*, 3497-3522.
- YEKKİNER, E., 2008. Arama Kurtarma Prensipleri. İnönü Üniversitesi Sivil Savunma Uzmanı.
- YİĞİTER, R. G., 2005, Kentsel Yerleşmeleri Afetlere Hazırlama Odaklı Kent Planlaması ve Zarar Azaltma, *Afet Yönetimi Temel İlkeleri*, JICA, Mart 2005 Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

İrfan MACİT 1967 İstanbul doğumludur. Eğitim hayatının ilk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamlamıştır. Eskişehir Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümünü 1994 yılında tamamladıktan sonra 1999 yılında Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. Halen Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında doktora eğitimine devam etmekte, evli ve Metehan adlı bir oğlu ve Mina adında bir kızı olmak üzere iki çocuğu vardır.

EK -1 Konut Yapı Türü İl Ortalama Değişkenleri

İL ADI	YILLIK ARTIŞ (BİNDE)	HANEHALKI BÜYÜKLÜĞÜ	BETONARME	AHŞAP	TUĞLA	TAŞ	KERPIÇ
ADANA	17,71	4,67	44,5	2,6	37,7	9,2	6,0
ADİYAMAN	19,98	6,26	32,9	0,7	26,2	32,7	7,6
AFYON	9,47	4,98	16,3	2,0	35,5	25,9	20,2
AĞRI	19,03	7,64	19,7	0,3	30,8	46,6	2,5
AMASYA	1,65	4,52	35,3	2,5	40,5	4,5	17,2
ANKARA	21,37	3,82	26,6	1,8	36,3	13,5	21,7
ANTALYA	41,79	3,98	36,6	0,9	39,7	17,7	5,0
ARTVİN	-10,33	4,55	43,8	2,7	38,0	12,5	3,0
AYDIN	14,21	3,68	32,6	0,4	45,1	17,1	4,9
BALIKESİR	9,96	3,47	40,0	0,5	36,4	9,8	13,4
BİLECİK	10,02	3,73	24,6	2,9	39,0	4,5	28,9
BİNGÖL	1,86	6,45	17,2	1,4	27,5	51,9	2,1
BİTLİS	16,33	7,79	31,4	0,6	20,0	46,0	2,1
BOLU	2,9	4,23	67,7	2,1	24,4	3,0	2,8
BURDUR	0,74	3,64	17,5	0,8	33,8	19,0	28,8
BURSA	28,62	3,91	53,8	1,7	28,5	5,0	11,0
ÇANAKKALE	7,29	3,28	32,6	0,9	41,4	12,3	12,8
ÇANKIRI	8,09	5,15	43,5	1,9	24,0	12,1	18,5
ÇORUM	-1,92	4,67	21,5	2,3	39,3	4,1	32,8
DENİZLİ	12,4	3,85	30,8	0,7	30,5	13,6	24,3
DİYARBAKIR	21,73	6,76	21,7	1,5	25,0	39,6	12,3
EDİRNE	-0,49	3,73	22,4	0,4	39,1	12,6	25,5
ELAZIĞ	13,39	5,21	11,1	0,7	35,9	34,7	17,5
ERZİNCAN	5,71	5,04	20,0	1,3	39,1	12,0	27,5
ERZURUM	10	5,73	28,1	1,2	16,7	51,7	2,3
ESKİŞEHİR	9,61	3,66	17,4	0,7	27,3	20,1	34,5
GAZİANTEP	24,05	5,23	22,6	0,5	51,0	17,1	8,7
GİRESUN	4,73	4,82	44,4	5,3	26,1	18,2	6,0
GÜMÜŞHANE	10,18	5,44	29,2	1,3	22,8	35,3	11,4
HAKKARİ	31,59	7,91	15,3	0,8	27,5	40,9	15,3
HATAY	12,19	4,98	61,5	0,4	23,6	9,9	4,7
ISPARTA	16,67	4,44	17,6	0,9	33,4	22,6	25,6
İÇEL	26,47	4,51	59,4	0,7	22,9	15,7	1,4
İSTANBUL	33,09	3,85	73,5	1,0	22,0	2,0	1,5
İZMİR	22,38	3,58	42,5	0,5	31,7	12,9	12,4
KARS	-9,05	6	20,3	1,1	8,9	62,1	7,7
KASTAMONU	-11,96	4,34	66,5	3,7	18,1	6,6	5,2
KAYSERİ	11,62	4,64	11,4	0,6	23,4	58,9	5,7
KIRKLARELİ	5,94	3,66	28,9	0,9	44,2	11,2	14,8
KIRŞEHİR	-1,35	4,71	8,0	0,7	32,7	15,6	42,9
KOCAELİ	27,04	4,16	71,6	1,4	22,0	2,2	2,8
KONYA	22,37	4,97	6,8	0,8	20,4	37,8	34,2
KÜTAHYA	12,81	4,34	37,4	2,6	27,2	16,2	16,5
MALATYA	19,22	5,4	12,6	1,3	23,4	18,0	44,7
MANİSA	8,76	3,85	24,0	0,8	48,4	9,9	16,9
K. MARAŞ	11,41	5,57	33,7	0,6	23,4	20,6	21,7
MARDİN	23,34	7,72	26,8	0,4	16,2	50,5	6,0
MUĞLA	23,97	3,47	42,4	0,5	32,2	23,7	1,1
MUŞ	18,63	8,19	22,0	1,5	25,0	47,7	3,8

NEVŞEHİR	6,81	4,48	7,6	0,5	24,1	61,4	6,3
NİĞDE	14,3	4,75	11,9	0,7	20,2	60,8	6,4
ORDU	7,1	5,24	61,0	3,9	22,8	7,9	4,4
RİZE	4,8	5,16	40,0	4,7	37,3	13,2	4,8

EK-2 Deprem Hasar Görebilirlik Fonksiyonları (Ergünay ve Gülkan, 1990)

ŞİDDET	V	VI	VII	VIII	IX
	ETKİLENME ORANI (% OLARAK)				
YIĞMA TAŞ YAPILAR					
HASARSIZ	35	25	15	2	0
HAFİF HASARLI	45	35	20	8	5
ORTA HASARLI	15	30	40	30	20
AĞIR HASARLI VE YIKIK	5	10	25	60	75
KERPİÇ YAPILAR					
HASARSIZ	70	50	20	5	0
HAFİF HASARLI	25	34	22	15	5
ORTA HASARLI	4	14	43	40	35
AĞIR HASARLI VE YIKIK	1	2	15	40	60
TUĞLA YIĞMA YAPILAR					
HASARSIZ	95	80	40	20	5
HAFİF HASARLI	4	15	35	30	15
ORTA HASARLI	1	5	23	40	30
AĞIR HASARLI VE YIKIK	0	0	2	10	50
AHŞAP KARKAS YAPILAR					
HASARSIZ	90	70	60	20	5
HAFİF HASARLI	9	23	25	40	35
ORTA HASARLI	1	7	14	30	45
AĞIR HASARLI VE YIKIK	0	0	1	10	15
BETONARME ÇERÇEVE YAPILAR					
HASARSIZ	95	80	60	15	10
HAFİF HASARLI	5	18	20	30	25
ORTA HASARLI	0	2	14	40	35
AĞIR HASARLI VE YIKIK	0	0	6	15	30

EK 3: GAMS Programlama Kodları

```
$Call "C:\Program Files\Microsoft Office\OFFICE11\excel.exe" tezveri.xls';
$onecho > verigir.txt
dset=i rng=mesafe!a3:a83 Rdim=1
dset=j rng=mesafe!b2:cd2 Cdim=1
par=h rng=model!a3:a5 Rdim=1
par=v rng=model!a10:a12 Rdim=1
par=ABSS rng=model!a31:d36 Rdim=1 Cdim=1
*par=D rng=model!a39 Rdim=1 Cdim=1
par=D rng=macro!a2 Rdim=1 Cdim=1
par=C rng=model!a15:a17 Rdim=1
par=MF rng=mesafe!a2 Rdim=1 Cdim=1
par=B rng=model!a21:a25 Rdim=1
par=r rng=model!a47:a51 Rdim=1
par=P rng=model!a54:a58 Rdim=1
par=initx rng=initx!a1 Rdim=1 Cdim=1
$offecho
$call gdxrw.exe tezveri.xls @verigir.txt
$gdxin tezveri.gdx
SETS
    i(*)   aday nokta - birlik yeri
    j(*)   talep noktasi - deprem bolgesi
    k      birlik tipi      / 1*3 /
    t      planlama peryodu /1*5/
;
$load i j
PARAMETERS
    v(k)   birim birlik tip kurulum maliyeti
    h(k)   birlik tip birim cari gider maliyeti
    D(t,k) bolgesel birlik talep miktarı
    ABSS(t,k) t donemde k tip acilabilecek en fazla birlik sayisi
    C(k)   k tip birligin birim hizmet kapasitesi
    MF(i,j) i bolgeden j bolgeye uzaklik
```

$B(t)$ t donem butcesi
 $initx(t,k)$ lagrange cozumu ini x baslangic deger kumesi
 $w(t)$ t donem risk baski faktoru indisi
 /1 1, 2 2, 3 3, 4 4, 5 5/
 ;
 \$load v h D ABSS C MF B initx
 \$gdxin
 VARIABLES
 z amac fonksiyon
 $y(t,k)$ binary degisken
 $x(t,k)$ birlik sayisi
 $BS(t)$ t donem butce sapmasi ;
 POSITIVE VARIABLE x;
 BINARY VARIABLE y;
 scalar f izin verilen sure cinsinden mesafe /650/;
 scalar r risk baski faktoru /0.63/;
 scalar p butce sapmasi ceza puani /0.25/;
 EQUATIONS
 $amac(t)$ t donem birlik talep farkinin riske karsi cezalandirilmesi
 $talep(t)$ k tip birlik talebinin karsilanmasi
 sayi t donemde acilabilcek en fazla birlik sayisi
 $butce(t)$ toplam t donem butcesi
 bsaso birlik sayisinin artan sayida olmasi
 agir birinci tipten en az bir adet acilmali
 orta ikinci tipten en az bir adet acilmali
 hafif ucuncu tipten en az bir adet acilmali
 $tabk1(t)$ 1 tip talebin acik birliklerden karsilanmasi
 $tabk2(t)$ 2 tip talebin acik birliklerden karsilanmasi
 $tabk3(t)$ 3 tip talebin acik birliklerden karsilanmasi
 sure i bolgeden j bolgeye sure cinsinden uzaklik
 ;
 $amac(t).. z=e=Sum(k,D(t,k)-x(t,k)*power(-r,w(t)))+[BS(t)*P];$
 $talep(t).. Sum(k,x(t,k)*y(t,k))=g= Sum(k,D(t,k));$

```

sayi.. Sum(t,Sum(k, x(t,k)*y(t,k)))=l= Sum(t,Sum(k,ABSS(t,k)));
butce(t).. {Sum(k,x(t,k)*y(t,k)*h(k))+ Sum(k,x(t-1,k)*y(t-1,k)*h(k))}+
Sum(k,x(t,k)*y(t,k)*v(k))-B(t)=e=BS(t);
bsaso.. Sum(t,Sum(k,x(t,k)*y(t,k)))=g=Sum(t,Sum(k,x(t-1,k)*y(t-1,k)));
agir.. Sum(t,sum(k,x(t,'1')*y(t,'1')))=l=Sum(t,ABSS(t,'1'));
orta.. Sum(t,sum(k,x(t,'2')*y(t,'2')))=l=Sum(t,ABSS(t,'2'));
hafif.. Sum(t,sum(k,x(t,'3')*y(t,'3')))=l=Sum(t,ABSS(t,'3'));
tabk1(t).. Sum(k,y(t,'1'))=g=Sum(k,y(t-1,'1'));
tabk2(t).. Sum(k,y(t,'2'))=g=Sum(k,y(t-1,'2'));
tabk3(t).. Sum(k,y(t,'3'))=g=Sum(k,y(t-1,'3'));
sure.. SMax(i,SMin(j, MF(i,j)))=l=f;
option optca= .3;
option optcr= .7;
option iterlim=10000;
option RMINLP=CONOPT;
option MINLP=SBB;
option solslack=1;
model detmodel /amac,talep,sayi,butce,tabk1,tabk2,tabk3,agir,orta,hafif,bsaso/;
solve detmodel minimizing z using rminlp;

```

```

*-----

```

```

* Lagrangian dual

```

```

* bsaso kisiti zorlarstiran kisit olarak ataniyor

```

```

*-----

```

```

parameter u(t);

```

```

variable bound;

```

```

equation LR(t) 'lagrangian relaxation';

```

```

LR(t).. bound =e=Sum(k,D(t,k)-x(t,k)*power(-r,w(t)))+[BS(t)*P]+

```

```

Sum(j, u(t)*[Sum(k,y(t-1,k))-Sum(k,y(t,k))]);

```

```

model ldual /LR,amac,talep,sayi,butce,tabk1,tabk2,tabk3,agir,orta,hafif/;

```

```

*-----

```

```

* subgradient iterasyon baslangici

```

```

*-----

```

```

set iter /iter1*iter150/;

```

```

scalar continue /1/;
parameter stepsize;
scalar theta /2/;
scalar noimprovement /0/;
scalar bestbound /-INF/;
parameter gamma(t);
scalar norm;
scalar upperbound;
parameter uprevious(t);
scalar deltau;
parameter results(iter,*);
*
* gevsetilen dual u baslatiliyor
*
u(t) = bsaso.m;
display u;

upperbound = sum((t,k),D(t,k)-initx(t,k));
display upperbound;

loop(iter$continue,
*
* lagrangian dual problemin cozum baslangici
*
    option optcr=0;
    option limrow = 0;
    option limcol = 0;
    ldual.solprint = 0;
    solve ldual minimizing bound using rminlp;
    results(iter,'dual obj') = bound.l;
    if (bound.l > bestbound,
        bestbound = bound.l;
        display bestbound;
        noimprovement = 0;

```

```

else
    noimprovement = noimprovement + 1;
    if (noimprovement > 1,
        theta = theta/2;
        noimprovement = 0;
    );
);
results(iter,'noimprov') = noimprovement;
results(iter,'theta') = theta;
*
* adim sayisini hesapla
*
gamma(t) = Sum(k,y.l(t,k))-Sum(k,y.l(t-1,k)) ;
norm = sum(t,sqr(gamma(t)));
stepsize = theta*(upperbound-bound.l)/norm;
results(iter,'norm') = norm;
results(iter,'step') = stepsize;
*
* dual u guncelle
*
uprevious(t) = u(t);
u(t) = max(0, u(t)+stepsize*gamma(t));
display u;
*
* yaklasmayi kontrol et....
*
deltau = smax(t,abs(uprevious(t)-u(t)));
results(iter,'deltau') = deltau;
if( deltau < 0.01,
    display "Converged";
    continue = 0;
);
);

```

```
DISPLAY results,z.l,x.l,bs.l,y.l,talep.m,talep.slack,x.m,x.slack;  
execute_unload 'tezveri.gdx', z,y,x,bs;  
execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=z.l rng=z!a2' ;  
execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=x.l rng=x!a2' ;  
execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=y.l rng=y!a2' ;  
execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=bs.l rng=bs!b2';
```

Not: GAMS Programının çıktısı 147 sayfadan oluştuğundan CD-ROM içerisinde yerralmaktadır.

EK 4: GAMS Programlama Çıktısı

GAMS matematik programlama Çıktıları 1280 sayfa olduğundan tamamı CD-ROM

içerisindedir. Aşağıda çıktı özeti yer almaktadır.

GAMS Rev 146 x86/MS Windows

04.11.10 20:24:12 Page 1

General Algebraic Modeling System
Compilation

GDXIN C:\Documents and Settings\Admin\Belgelerim\gamsdir\projdir\tezveri.gdx

24 SETS

25 j(*) bolge indisi

26 i(*) bolge indisi

27 k birlik tipi / 1*3 /

28 t planlama peryodu /1*5/

29 t0 planlama peryotlarında ek /1*5/

30 S1(j,i) birinci kapsama kumesi

31 S2(j,i) ikinci kapsama kumesi

32 ;

--- LOAD i = 2:i

--- LOAD j = 1:j

--- LOAD S1 = 3:S1

--- LOAD S2 = 4:S2

34 display i,j,S1,S2;

35 PARAMETERS

36 D(j,k) i bolgede k tip birlik talebi

37 N(j,k) j bolge k tip baslangictaki birlik sayisi

38 CS(j) i bolgede yeni bir istasyon kurma maliyeti

39 CR(j,k) i bolgede k tip birlik işletme maliyeti

40 r1(j) i bolge birinci kapsamaalani için risk baski faktoru

41 r2(j) i bolge ikinci kapsamaalani için risk baski faktoru

42 B(t) t donem butce miktarı

43 U(t,k) t donemde k tip acilabilecek en fazla birlik sayisi

44 P(t) t donem ceza puani

45 w(t) t donem risk baski faktoru indisi

46 /1 1, 2 2, 3 3, 4 4, 5 5/

47 ;

--- LOAD D = 5:D

--- LOAD N = 6:N

--- LOAD CS = 7:CS

--- LOAD CR = 8:CR

--- LOAD r1 = 9:r1

--- LOAD r2 = 10:r2

--- LOAD B = 11:B

--- LOAD U = 12:U

--- LOAD P = 13:P

50 VARIABLES

51 z amac fonksiyon

52 Y(j,t) t donemde j bolgeye istasyon kurulursa

53 II(j) j bolgede istasyon varsa 1 aksi halde 0

```

54 X(j,k,t)  t donemde j bolgeye k tipte eklenecek birlik sayisi
55 BS(t)     butce sapmasi
56 Z1(i,j,k,t) birinci kapsamada i bolgenin karsilanan birlik sayisi
57 Z2(i,j,k,t) ikinci kapsamada i bolgenin karsilanan birlik sayisi
58 W1(i,j,k)  baslangicta j den i ye hizmet alan birincil kapsama birlik sayisi
59 W2(i,j,k)  baslangicta j den i ye hizmet alan ikincil kapsama birlik sayisi
60 ;
61 INTEGER VARIABLE X;
62 POSITIVE VARIABLE Z1,Z2,W1,W2;
63 BINARY VARIABLE Y,II;
64 SCALAR M /10000/;
65 *scalar p /0.9/;
66 EQUATIONS
67 amac       t donemde karsilanacak birlik talebi
68 butce      t donem butcesi
69 istasyonkur(j) i bolgeye fazla bir istasyon kurar
70 istasyonM(j,t) t donemde i bolgeye birlik kurulan yere istasyon acar
71 sayi(t,k)   t donemde k tip acilacak en fazla birlik sayisi
72 nbirkap(j,k) k tip birinci kapsama baslangic
73 nikikap(j,k) k tip ikinci kapsama baslangic
74 xbirkap(j,k,t) t donemde birinci kapsama alanindan gonderile birlik sayisi
75 xikikap(j,k,t) t donemde ikinci kapsama alanindan gonderile birlik sayisi
76 ;
77 amac.. z=e=Sum(t, {Sum(j, {[Sum(k,D(j,k)-Sum(I$S1(j,i),W1(i,j,k)))-
Sum(t0,Sum(i,Sum(k,Z1(i,j,k,t
))))]*power(1+r1(j),w(t))})+
78          Sum(j, {[Sum(k,D(j,k)-Sum(I$S2(j,i),W2(i,j,k)))-
Sum(t0,Sum(i,Sum(k,Z2(i,j,k,t
))))]*power(1+r2(j),w(t))})})+Sum(t,P(t)*BS(t));
79 butce(t).. Sum(j,Y(j,t)*CS(j))+Sum(j,Sum(k,CR(j,k)*(N(j,k)+X(j,k,t))))-
B(t)=e=BS(t);
80 istasyonkur(j).. II(j)+Sum(t,Y(j,t))=I=1;
81 istasyonM(j,t).. M*[II(j)+Sum(t0,Y(j,t))]=g=Sum(k,X(j,k,t)) ;
82 sayi(t,k).. Sum(j,X(j,k,t))=I=U(t,k);
83 nbirkap(j,k).. N(j,k)=e=sum(i,W1(i,j,k));
84 nikikap(j,k).. N(j,k)=e=sum(i,W2(i,j,k));
85 xbirkap(j,k,t).. X(j,k,t)=e=sum(i,Z1(i,j,k,t));
86 xikikap(j,k,t).. X(j,k,t)=e=sum(i,Z2(i,j,k,t));
87 MODEL tezmodel /all/
88 option MIP=CPLEX;
89 *option MIP=coincbc;
90 option solslack=1;
91 SOLVE tezmodel using mip minimizing z;
92 DISPLAY z.l,x.l,w1.l,w2.l,z1.l,z2.l,bs.l;
93 execute _unload 'tezveri.gdx',z,x,w1,w2,z1,z2,bs;
94 *Senaryo 1 icin sonuclarin excel yazdirilmasi
95 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=z.l rng=AvrupaS1!b2' ;
96 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=x.l rng=AvrupaS1!o2' ;
97 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=x.m rng=AvrupaS1!r25' ;
98 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=w1.l rng=AvrupaS1!a15' ;

```

```

99 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=w2.l rng=AvrupaS1!h15' ;
100 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=z1.l rng=AvrupaS1!a90' ;
101 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=z2.l rng=AvrupaS1!k90' ;
102 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=bs.l rng=AvrupaS1!h2' ;
103 *Senaryo 2 icin sonuclarin excel yazdirilmesi
104 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=z.l rng=AvrupaS2!b2' ;
105 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=x.l rng=AvrupaS2!o2' ;
106 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=x.m rng=AvrupaS2!r25' ;
107 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=w1.l rng=AvrupaS2!a15' ;
108 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=w2.l rng=AvrupaS2!h15' ;
109 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=z1.l rng=AvrupaS2!a90' ;
110 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=z2.l rng=AvrupaS2!k90' ;
111 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=bs.l rng=AvrupaS2!h2' ;
112 *Senaryo 3 icin sonuclarin excel yazdirilmesi
113 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=z.l rng=AvrupaS3!b2' ;
114 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=x.l rng=AvrupaS3!o2' ;
115 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=x.m rng=AvrupaS3!r25' ;
116 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=w1.l rng=AvrupaS3!a15' ;
117 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=w2.l rng=AvrupaS3!h15' ;
118 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=z1.l rng=AvrupaS3!a90' ;
119 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=z2.l rng=AvrupaS3!k90' ;
120 *execute 'gdxxrw.exe tezveri.gdx var=bs.l rng=AvrupaS3!h2' ;
1GAMS Rev 146 x86/MS Windows 04.11.10 20:24:12 Page 2
General Algebraic Modeling System
Include File Summary

```

SEQ	GLOBAL TYPE	PARENT	LOCAL	FILENAME
1	1 INPUT	0	0	C:\Documents and Settings\Admin\Belgelerim\gamsdir\projdir\tezMatModelAvrupa.gms
2	22 CALL	1	22	gdxxrw.exe tezveri.xls @verigir.txt
3	23 GDXIN	1	23	C:\Documents and Settings\Admin\Belgelerim\gamsdir\projdir\tezveri.gdx

```

COMPILATION TIME = 1.578 SECONDS 3 Mb WIN223-146 Nov 21, 2006
1GAMS Rev 146 x86/MS Windows 04.11.10 20:24:12 Page 3
General Algebraic Modeling System
Execution

```

---- 34 SET i bolge indisi

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

---- 34 SET j bolge indisi

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

---- 34 SET S1 birinci kapsama kumesi

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	YES					YES		
2		YES				YES		
3			YES	YES		YES		
4			YES	YES	YES			
5				YES	YES			
6	YES	YES	YES				YES	
7							YES	
8								YES
9		YES						
10								YES
11	YES							
12	YES							
13			YES			YES	YES	
14	YES	YES				YES		
15	YES					YES	YES	
17						YES		
18			YES	YES	YES			
19								YES
20		YES	YES	YES	YES	YES	YES	
21							YES	
23						YES		
24								YES
25					YES		YES	
+	9	10	11	12	13	14	15	16
1			YES	YES			YES	
2	YES					YES		
3					YES			
6					YES	YES	YES	
7					YES		YES	
8		YES						
9	YES		YES			YES		
10		YES					YES	
11	YES		YES	YES		YES		
12			YES	YES				
13				YES				
14	YES		YES			YES		
15		YES					YES	YES
16						YES	YES	

17				YES		YES		
18				YES				
19		YES				YES		
21						YES		
22			YES	YES				
23				YES		YES		
24		YES				YES		
25				YES		YES	YES	
+	17	18	19	20	21	22	23	24
2				YES				
3		YES		YES				
4		YES		YES				
5		YES		YES				
6				YES		YES		
7	YES							
8			YES		YES			YES
10			YES					YES
11					YES			
12					YES			
13	YES	YES						
15	YES		YES		YES		YES	YES
17	YES					YES		
18		YES						
19			YES				YES	
20				YES				
21					YES		YES	
22					YES			
23	YES					YES		
24		YES			YES			YES
25		YES						
+	25							
5	YES							
7	YES							
13	YES							
15	YES							
16	YES							
18	YES							
25	YES							

---- 34 SET S2 ikinci kapsama kumesi

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		YES	YES				YES	
2	YES		YES	YES	YES			

3	YES	YES			YES		YES	
4		YES				YES		
5		YES	YES			YES	YES	
6			YES	YES	YES		YES	
7	YES		YES		YES	YES		
9	YES					YES		
10	YES					YES	YES	
11		YES				YES		
12						YES		
13	YES	YES		YES	YES			
14			YES					
15		YES	YES		YES			YES
16	YES				YES	YES	YES	
17	YES		YES			YES		
18					YES	YES		
19	YES					YES	YES	
20	YES							
21	YES					YES	YES	
22	YES							
23	YES	YES	YES					YES
24	YES					YES	YES	
25	YES		YES	YES			YES	
+	9	10	11	12	13	14	15	16
1	YES	YES			YES			YES
2			YES		YES		YES	
3					YES	YES		
4				YES				
5				YES			YES	YES
6	YES	YES	YES	YES				YES
7		YES					YES	
8						YES		
9			YES					
10							YES	
11						YES		
12	YES				YES	YES	YES	
13					YES	YES	YES	YES
14			YES	YES	YES	YES	YES	
15			YES	YES	YES	YES		
16		YES			YES			
17		YES						YES
18						YES	YES	
19							YES	
20	YES				YES	YES	YES	
21		YES					YES	
22	YES				YES			
23		YES			YES			YES
24							YES	
25		YES						

+	17	18	19	20	21	22	23	24
1	YES		YES	YES	YES	YES	YES	YES
2						YES		
3	YES					YES		
6	YES	YES	YES		YES			YES
7		YES	YES		YES		YES	YES
9			YES		YES			
10	YES				YES		YES	
13			YES					
14			YES		YES	YES		
15		YES	YES					
16	YES	YES	YES		YES		YES	YES
17		YES	YES		YES		YES	
18	YES			YES			YES	
19	YES				YES		YES	
20		YES					YES	
21	YES		YES				YES	
23		YES	YES	YES	YES			YES
24	YES					YES		
25	YES		YES	YES	YES		YES	YES

+ 25

1	YES
3	YES
4	YES
6	YES
10	YES
17	YES
19	YES
20	YES
21	YES
23	YES
24	YES

---- 92 VARIABLE X.L t donemde j bolgeye k tipte eklenecek birlik sayisi

	3	4	5
2.1	28.000	24.000	21.000
2.2		27.000	

---- 92 VARIABLE W1.L baslangicta j den i ye hizmet alan birincil kapsama birlik sayisi

	1	2	3
1.6	1.000		
1.12			20.000
1.15	1.000		
2.9		9.000	
2.14	1.000		
2.20		9.000	90.000
3.18	3.000		
4.3		9.000	50.000
4.4	2.000	7.000	
5.5		8.000	
5.18			80.000
6.1		7.000	
6.3	2.000		
6.6			20.000
6.14			35.000
6.20	2.000		
7.13			45.000
7.17		8.000	
8.19		9.000	
8.21	1.000		
8.24		6.000	
9.2		12.000	50.000
9.9	1.000		45.000
9.11	3.000		
10.8		5.000	
10.19	2.000		
11.1			25.000
11.14		8.000	
11.22		7.000	25.000
12.1	1.000		
12.12		9.000	
12.22	2.000		
13.7	1.000		
13.13		9.000	
13.17	1.000		50.000
13.18		9.000	
13.23			60.000
13.25	3.000		
14.11		12.000	40.000
15.16	1.000	8.000	60.000
15.19			80.000
15.21		8.000	
15.23	1.000		
15.24			30.000
16.15			60.000
16.25		14.000	60.000
17.7		7.000	67.000
18.5	2.000		

19.10		7.000
19.15		7.000
20.2	1.000	
20.4		50.000
21.21		30.000
23.6		9.000
23.23		6.000
24.8	1.000	65.000
24.10	1.000	30.000
24.24	2.000	
25.5		80.000

---- 92 VARIABLE W2.L baslangicta j den i ye hizmet alan ikincil kapsama birlik sayisi

	1	2	3
1 .3	2.000		
1 .7		7.000	
1 .9	1.000		
1 .16		8.000	
1 .19		9.000	
1 .21			30.000
1 .22		7.000	
1 .23			60.000
1 .25			60.000
2 .11			40.000
3 .5	2.000		
3 .7	1.000		
3 .14	1.000	8.000	
3 .25	3.000		
4 .2	1.000		50.000
6 .9			45.000
6 .11	3.000	12.000	
6 .12		9.000	20.000
6 .18	3.000	9.000	
6 .19			80.000
7 .1			25.000
7 .10		7.000	
7 .18			80.000
9 .1		7.000	
10.21	1.000		
10.23	1.000	6.000	
12.15			60.000
13.2		12.000	
13.4	2.000		
13.20			90.000
14.20		9.000	
14.22	2.000		25.000
15.5		8.000	80.000

15.8	1.000	5.000	65.000
15.13		45.000	
16.10	1.000		
16.13		9.000	
16.17		50.000	
17.3		50.000	
17.21		8.000	
17.24	2.000	6.000	30.000
18.15	1.000		
18.17	1.000		
19.16		60.000	
20.9		9.000	
20.15		7.000	
21.6	1.000	9.000	
21.7		67.000	
21.10		30.000	
21.19	2.000		
21.25		14.000	
23.1	1.000		
23.3		9.000	
23.14		35.000	
23.16	1.000		
24.6		20.000	
25.4		7.000	50.000
25.17		8.000	
25.20	2.000		

---- 92 VARIABLE Z1.L birinci kapsamada i bolgenin karsilanan birlik sayisi

INDEX 1 = 2

4 5

2 .1 24.000 21.000

INDEX 1 = 12

3 5

2 .1 28.000

2 .2 27.000

---- 92 VARIABLE Z2.L ikinci kapsamada i bolgenin karsilanan birlik sayisi

INDEX 1 = 8

3

2 .1 28.000

INDEX 1 = 11

5

2 .1 21.000

INDEX 1 = 24

4 5

2 .1 24.000

2 .2 27.000

---- 92 VARIABLE BS.L butce sapmasi

1 35260.000, 2 34260.000, 3 33440.000, 4 32190.000, 5 31369.000

EXECUTION TIME = 0.141 SECONDS 4 Mb WIN223-146 Nov 21, 2006

USER: Oya Karasan G051019:1151AP-WIN
Bilkent Univeristy, Dept. of Industrial Engineering DC5538
License for teaching and research at degree granting institutions

**** FILE SUMMARY

Input C:\Documents and
Settings\Admin\Belgelerim\gamssdir\projdir\tezMatModelAvrupa.gms
Output C:\Documents and
Settings\Admin\Belgelerim\gamssdir\projdir\tezMatModelAvrupa.lst