

Kentsel Arama Kurtarma Birliklerinin Yerleşim Yeri Problemi Çözümünde Matematiksel Programlama ve Simülasyon Yaklaşımları: İstanbul Örneği

İrfan MACİT^{*1}, S. Noyan OĞULATA¹, Z. Nazan ALPARSLAN²

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Tıp Fakültesi Biyoistatistik Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 09.01.2018

Kabul tarihi: 14.03.2018

Öz

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. Bu çalışmanın amacı, deprem sonrasında arama kurtarma birliklerinin bir planlama ufku süresince depremden etkilenen bölgelere mevcut birlik sayılarına ek olarak tiplerine göre birlik sayılarını bulmaktır. Çalışmada oluşturulan matematiksel modelde birincil ve ikincil kapsama alanları arasında gönderilecek birlikler aynı kapsama bölgesinden gelen talepleri risk baskı faktörü büyüklüğüne göre sıralamaktadır. Matematiksel modelden elde edilen sonuçlar simülasyon deneyi ile test edilerek matematiksel modelin geçerliliği test edilmiş ve arama kurtarma birliği ihtiyacı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arama kurtama birlikleri, Afet planlama, Matematik modelleme, Simülasyon

Mathematical Programming and Simulation Approaches for Location Problems of Urban Search and Rescue Teams: Case Study of Istanbul

Abstract

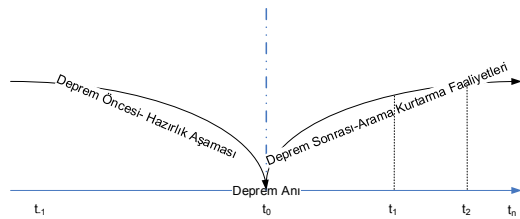
Natural disasters are catastrophic phenomena that disrupt people's lives. Earthquakes are a kind of natural disasters that has long lasting destructive effects. The aim of this study, the number and types of the additional search and rescue teams needed by different regions after an earthquake is determined.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

Keywords: Search and rescue team, Disaster planning, Mathematical modelling, Simulation

*Sorumlu yazar (Corresponding author): İrfan MACİT, imacit@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

İnsan toplulukları yerleşik hayata geçmeleri ile birlikte barınma ve konaklama için yapıları oluşturmaya başlamışlardır. Yapılaşma ise yanında çeşitli sorunları da beraberinde getirmiştir. Yerleşik yaşam koşulları barınma sorununu çözmesinin yanı sıra insanların bazı doğa olaylarından daha fazla etkilenmelerine yol açmıştır. Deprem bu doğa etkilerinin başında yer almaktadır. 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 imkân ve kaynaklarını kullanarak üstesinden gelemeyeceği, doğal, teknolojik veya insan kökenli olayların doğurduğu sonuçlara afet denir“ [1]. Uluslararası organizasyonlar göz önüne alındığında değişik çok sayıda afet yardımları ile ilgili organizasyon bulunmaktadır. En kapsamlı ve geniş etkinliği bulunan örgüt Birleşmiş Milletler Kalkınma Programıdır (United Nations Developing Program-UNDP). UNDP bağlı olarak yapılandırılan INSARAG’ın amacı uluslararası yardım gerektirecek depreme müdahale ve yardımlardaki koordinasyon yöntemi ve standartlarını geliştirmek amacı ile ülkelere ve örgütlere platform sağlamaktır [2]. Afet türleri içerisinde deprem ele alındığında zamana bağlı deprem öncesi ve sonrası olarak iki ayrı safhada incelemek daha anlamlıdır.



Şekil 1. Zaman çizgisi üzerinde deprem anı

Zaman çizgisi üzerinde t_i $i = 1, 2, 3, \dots, n$ bölünmüş zaman aralığı tanımında t_0 Deprem gerçekleşme anı olarak kabul edilir. Deprem

oluşmasından önceki t_{-1} zamanda afet yönetiminde afete hazırlık aşamasıdır. Deprem anı t_0 ve sonrasında t_1 anına kadar geçen süre içerisinde oldukça önemli ve kritik kararların verildiği süredir. 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 normalleşme için gerekli olan faaliyetler gerçekleştirilir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Stratejik yerleşim problemlerini durağan (statik) veya belirli (deterministik) yerleşim problemleri, dinamik yerleşim problemleri veya belirsizlik altında (stokastik) yerleşim problemleri olarak sınıflandırmakta mümkündür [3]. Brotcorne ve diğerleri [4], son otuz yılda acil sağlık servisi araçlarının (ambulans) yerleşimi ve belirlenen süre sonunda yeniden yerleşimi ile ilgili literatürdeki modelleri çalışmalarında incelemişlerdir. Marianov ve ReVelle [5], yayınlarında dinamik olarak yer değiştiren araçların modellenmesi ile ilgili coğrafi bilgi sistemlerini kullanmışlardır. Literatürdeki yerleşim modellerinin sınıflandırması ile ilgili örneklerden birisi Graham ve arkadaşları tarafından [6] yılında önerilmiştir. İlk örneklerinden birisinin olması nedeni ile detaylandırılmamış genel özellikler ile tasnif edilmiştir. Literatürde diğer bir sınıflandırma çalışmasında ise Hamacher ve Nickel [7] önerilen yeni bir yaklaşım ile yerleşim modellerini şematik olarak toplam beş alan altında toplanmış ve bu sınıflandırmaya göre göstermiştir. Merkeze bağlı yerleşim problemleri olarak bilinen ana dağıtım merkezli yerleşim problemleri ilk olarak O’Kelly [8] tarafından önerilmiştir. Yerleşim problemlerinin türleri ve çeşitleri oldukça fazla sayıda verilebilir. İletişim ve bilişim alanında dosyaların saklanacak depolama alanlarının yerleri belirlenmesi Dowdy [9] tarafından önerilmiştir. Sen ve arkadaşları [10] veri iletişiminin literatür araştırmasını yaparak bu konudaki son akademik

çalışmaları sınıflandırmışlardır. Sağlık araçlarının yerleşim yerlerinin seçiminde genellikle ambulans [11,12], itfaiye [13,14] gibi acil yardım araçlarının istasyon yeri, insani yardım yeri [15-17] seçimleri yapılmıştır. Yapılan akademik çalışmalardan afet ve acil durumların etkilerinin azaltılması, zayıflarına önlenmesi ile birlikte ekonomik ve sosyal kayıpların en aza indirilmesi hedeflendiği anlaşılmaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

Matematik modelin çözümünde kullanılan veriler sınıflandırılmış ve çeşitli kaynaklardan matematik modele uygun hale getirilerek derlenmiş veya yeniden bilimsel yöntemler ile üretilmiş verileri içermektedir.

3.1. Materyal

Bu çalışmada yerleşim yerlerine ait bilgilerin derlenmesinde İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ve Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) tarafından yapılan Deprem Master Planı Raporunda [18] yer alan mikro bölgeleme çalışmaları ile ilgili deprem senaryo örneklerinden yararlanılmıştır. İstanbul için deprem şiddet ölçekleri Özmen [19], yapılan araştırmadan alınmıştır. Yerleşim bölgelerine ait nüfus sayılarını belirlemek için TÜİK tarafından 2007 yılında yapılan Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) verileri kullanılmış ve bu verilerden doğrusal interpolasyon yöntemi nüfus projeksiyonu yapılmıştır.

Çizelge 1. Senaryolar S_i için oluşturulan tahmini yaralı γ_{ik} oranları, (JICA 2004)

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 ortaya çıkacak tahmini yaralı sayısı o bölgeye ait arama kurtarma birliği talebinin D_{jk} hesaplanmasını sağlar. Tahmini yaralı sayısı oranı γ_{ik} i . bölge k tip yaralı için ile her bölge ve yaralı tipine göre hesaplanır. Çalışmada kullanılacak senaryolara göre deprem sonrası tahmini yaralı oranları γ_{ik} i . deprem bölgesi k . tip için Çizelge 1'deki gibi Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı önerisine göre (JICA) oluşturulmuştur [20].

3.2. Metot

Problem Matematiksel olarak modellenmiştir ve modelin çözümü için GAMS paket programı kullanılmıştır. Elde edilen çözüm Arena simülasyon paket programında test edilmiştir. Çalışmada en önemli aşamalardan birisi arama kurtarma birlik talebinin D_{jk} belirlenmesidir. Modelin GAMS ile kodlanması sırasında ilk olarak primal olarak bilinen orijinal modele ait program geliştirilmiştir. Daha sonra Lagrange gevşetme (Relaxtion) alt çözümlemeli optimizasyon (subgradient optimizasyon) GAMS program kodları geliştirilerek başlangıç sonucu 100 iterasyon için çözülmüştür. Çözüm için belirlenen aralık (gap) %1, ve λ_i başlangıç sıfır, daha sonra $\lambda_n = 1$ değeri ile çözüme başlanmıştır.

3.2.1. Problemin Formülasyonu

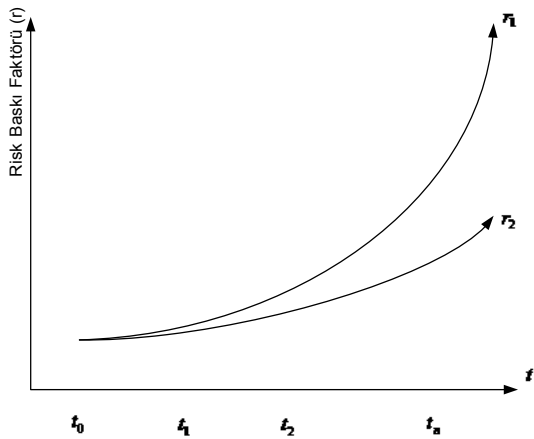
Bölgesel nüfus sayısı NS_i ile bölgelere göre tahmini yaralı oranları γ_{ik} çarpılarak bölgesel tahmini yaralı sayısı matrisi BNS_{ik} denklem (1) elde edilir.

$$BNS_{ik} = [NS_i \gamma_{ik}]_{ik} \quad \forall i, k \in I, K \quad (1)$$

Bölgesel nüfus sayıları BNS_{ik} i . bölgeye ait k . tipte tahmini yaralı sayısını vermektedir. Bundan dolayı kurtarılması hedeflenen k . tip yaralı sayısının KO_k da bilinmesi gereklidir. Denklem (2) göre arama kurtarma birlik talep matrisi D_{ik} bölgelerde bulunan k . tip yaralı nüfusu kurtarılması hedeflenen yaralı oranı KO_k ile oluşturulur.

$$D_{ik} = [BNS_{ik} KO_k]_{ik} \quad \forall i, k \in I, K \quad (2)$$

Risk baskı faktörü amaç fonksiyonun ilk terimleri arasında çarpan olarak yer alır. Risk baskı faktörü açılacak birliklerin bir planlama ufku içerisinde mevcut bütçe büyüklüğüne B_t göre birliklerin deprem olmadan mümkün olduğunca önceden birliklerin yerlerinin açılmasını sağlar. Risk baskı faktörü $f(x)=(1+r_i)^t$ şeklinde bir denklem olarak ifade edilebilir. Denklemde yer alan r_j^1 birincil ve r_j^2 ikincil 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 2. Başlangıç değeri t_0 'dan itibaren fonksiyon r_j^1 birincil kapsama alanı değerine göre eğri şeklinin değiştiği görülmektedir. Risk baskı faktörü iki değer için karşılaştırdığımızda değeri $r_1^1 > r_2^1$ olduğunda r_j^1 değerindeki risk baskı faktörünün etkisinin r_2^1 göre daha fazla oldu görülmür.



Şekil 2. Risk baskı faktörü eğrisi

Bu çalışmada iki kapsama alanı bulunacağından r_j^1 ilk kapsama alanı risk baskı faktörünü r_j^2 ise ikinci kapsama alanında bulunan risk baskı faktörünü ifade edecektir. Birinci risk baskı faktörü birincil kapsama alanında daha etkili olacağından $r_1^1 > r_2^1$ şartını sağlamalıdır.

Bu çalışmada matematiksel modele ait varsayımlar aşağıdaki gibidir;

- Depremin ortaya çıktığı bölge ve uzaklıkları biliniyor,

- Deprem sonrası bütün bölgelere ulaşılabilir,
- Depremden etkilenen nüfus sayısı biliniyor ve hesaplanabilir,
- Deprem sonrası binaların hasar oranları biliniyor ve hesaplanabilir,
- Birliklerin sayıları sınırlıdır ve hepsi kullanılabilir,
- Birlik Talebini oluşturan aday bölgeler sınırlı sayıdadır,
- Kurtarma birliklerinin sayıları sınırlıdır,
- Yatırım ve dönemlik işletme gideri bütçesi önceden belirlidir,
- Planlama dönem aralıkları eşit ve belirlidir,
- Yatırımlar dönem başında yapılmaktadır,
- Her senaryo için tek çözüm vardır.

Çalışmada $i-iv$ arasında bulunan varsayımlar 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. Bundan dolayı kurulum maliyeti CS_i 'ye ek olarak içinde bulunulan 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.

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}	=	$\begin{cases} 1 & \text{eğer } t. \text{ dönemde } j. \text{ bölgede} \\ & \text{yeni istasyon kurulursa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$	D_{jk}	:	$j. \text{ bölgede } k. \text{ tip birlik talebi}$ $j=1,2,3,\dots,m \quad k=1,2,3$
Z_{ijkt}^1	:	$t. \text{ dönemde birincil kapsama}$ $\text{olarak } i. \text{ bölgeden } j. \text{ bölgenin } k.$ $\text{tipten karşılanan birlik sayısı}$ $t=1,2,3,\dots,T \quad i=1,2,3,\dots,n$ $k=1,2,3 \quad i \in S_j^1$	r_j^1	:	$j. \text{ bölge birinci kapsama alanı}$ $\text{için risk baskı faktörü}$ $j=1,2,3,\dots,m$
Z_{ijkt}^2	:	$t. \text{ dönemde ikincil kapsama}$ $\text{olarak } i. \text{ bölgeden } j. \text{ bölgenin } k.$ $\text{tipten karşılanan birlik sayısı}$ $t=1,2,3,\dots,T \quad i=1,2,3,\dots,n$ $k=1,2,3 \quad i \in S_j^2$	r_j^2	:	$j. \text{ bölge ikinci kapsama alanı için}$ $\text{risk baskı faktörü } i=1,2,3,\dots,m$
W_{jik}^1	:	$\text{Başlangıçta } j. \text{ bölgede bulunan } k.$ $\text{tip birliklerden } i. \text{ bölgeye birincil}$ $\text{kapsama olarak atanacak birlik}$ $\text{sayısı } j=1,2,3,\dots,m \quad i=1,2,3,\dots,n$ $k=1,2,3$	<i>Genel girdi parametreleri</i>		
W_{jik}^2	:	$\text{Başlangıçta } j. \text{ bölgede bulunan } k.$ $\text{tip birliklerden } i. \text{ bölgeye ikincil}$ $\text{kapsama olarak atanacak alacak}$ $\text{birlik sayısı } j=1,2,3,\dots,m$ $i=1,2,3,\dots,n \quad k=1,2,3$	B_t	:	$t. \text{ dönem bütçe miktarı}$ $t=1,2,3,\dots,T$
			BS^+	:	$t. \text{ dönemde pozitif yönde bütçe}$ $\text{sapması } t=1,2,3,\dots,T$
			BS^-	:	$t. \text{ dönemde negatif yönde bütçe}$ $\text{sapması } t=1,2,3,\dots,T$
			U_{tk}	:	$t. \text{ dönemde } k. \text{ tipte açılabilir}$ $\text{en fazla birlik sayısı } t=1,2,3,\dots,T,$ $k=1,2,3$
			P_t	:	$t. \text{ dönemde pozitif bütçe sapması}$ $\text{için ceza puanı } t=1,2,3,\dots,T$

Modeldeki bölgelere göre girdi parametreleri

I_j	=	$\begin{cases} 1 & \text{Eğer } j. \text{ bölgede başlangıçta istasyon} \\ & \text{varsa} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$
N_{jk}	:	$j. \text{ bölgede } k. \text{ tipteki başlangıçta}$ $\text{mevcut birlik sayısı } j=1,2,3,\dots,m$ $k=1,2,3$
CS_j	:	$j. \text{ bölgede yeni bir istasyon}$ $\text{kurulum maliyeti } j=1,2,3,\dots,m$
CR_{jk}	:	$j. \text{ bölgede } k \text{ tip birliklerin yıllık}$ $\text{işletme maliyeti } j=1,2,3,\dots,m$ $k=1,2,3$

Tanımlamalar

S_j^1	:	$j. \text{ bölgede birincil kapsama olarak}$ $\text{birlik gönderebilecek bölgelerin}$ kümesi
S_j^2	:	$j. \text{ bölgede ikincil kapsama olarak}$ $\text{birlik gönderebilecek bölgelerin}$ kümesi

Çalışmada arama kurtarma birlikleri $t. \text{ dönem}$ içerisinde $k. \text{ tipte}$ oluşan arama kurtarma birlik talebini en fazla karşılayacak model geliştirilmiştir. Karar değişkeni X_{jkt} $t. \text{ dönemde } j. \text{ bölgeye } k. \text{ tipte}$ kurulacak birlik sayısını gösterir. D_{jk} ifadesi arama kurtarma birliklerinin $j. \text{ bölgedeki } k \text{ tip talebini}$ gösterir.

Amaç fonksiyon

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

$$\sum_{j=1}^m (Y_{jt} CS_j) + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^3 CR_{jk} (N_{jk} + X_{jkt}) - B_t = BS_t^+ - BS_t^- \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (4)$$

$$I_j + \sum_{t=1}^T Y_{jt} \leq 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (5)$$

$$M \left[I_j + \sum_{t_0}^t Y_{jt} \right] \geq \sum_{k=1}^3 X_{jkt} \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{jkt} \leq U_{tk} \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad k = 1, 2, 3 \quad (7)$$

$$N_{jk} = \sum_{i=1}^m W_{ijk}^1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad k = 1, 2, 3 \quad (8)$$

$$X_{jtk} = \sum_{i=1}^m Z_{ijkt}^1 \quad j = 0, 1, 2, 3, m \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad k = 1, 2, 3 \quad (9)$$

$$N_{jk} = \sum_{i=1}^m W_{ijk}^2 \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad k = 1, 2, 3 \quad (10)$$

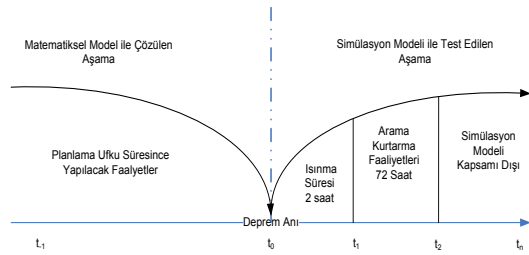
$$X_{jtk} = \sum_{i=1}^m Z_{ijkt}^2 \quad j = 0, 1, 2, 3, m \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad k = 1, 2, 3 \quad (11)$$

Denklem (3) amaç fonksiyonu göstermektedir. Amaç fonksiyon ile t . dönemdeki k . tip birlik talebi ile gerçekleşen birlik talebini en

küçüklemeye çalışır. Bütçe kısıtı denklem (4) ile gösterilmektedir. Denklem (5) birlik atanan bölgelere istasyon kurulmasını sağlar. Planlama

dönemlerine göre aday bölgelere istasyonları denklem (6) ile açılmaktadır. Birlik sayılarının üst limiti denklem (7) ile sınırlanmaktadır. Birinci kapsama alanına göre aktarılacak birlik sayısı bulunan bölgedeki birlik sayısını geçmemeli. Bunun için denklem (8) ve (9) ile bu şartı kontrol etmektedir. Denklem (10) ve (11) ise ikinci kapsama alanına bulunan aktarılacak birliklerin sayılarını kontrol eder.

Bu çalışmada kurulan matematiksel model deprem öncesi bir planlama ufku boyunca yapılacak faaliyetleri kapsamaktadır (Şekil 3). Kurulan matematiksel modelde deprem sonrası hakkında herhangi bir bilgi vermediğinden deprem sonrası durumda modelin çalışmasını simülasyon modeli ile test edilmiştir. Ambraseys ve Jackson [21], yaptıkları çalışmada Türkiye ve Yunanistan'da oluşabilecek büyüklüğü (magnitüdü) 5'ten büyük depremler sonucunda ortaya çıkacak can ve mal kaybına yönelik istatistiksel bilgiler elde etmişlerdir



Şekil 3. Matematiksel Model ve Simülasyon Modeli Faaliyet Süreci

Çalışmadaki matematiksel modele göre kurulan simülasyon modeli matematiksel modelde olduğu gibi üç ayrı senaryodan oluşmaktadır. Bu senaryolar iyi durum, kötü durum ve çok kötü durum senaryolarıdır. Deprem modeli kötü durum senaryosu S_2 test edilecektir. Bilgisayar sisteminde simülasyon programı gerçek hayattaki koşulları oluşturacak bilgisayar kodlarına sahiptir.

3.2.2. Simülasyon Denejlerinin Kullanılan Parametreler

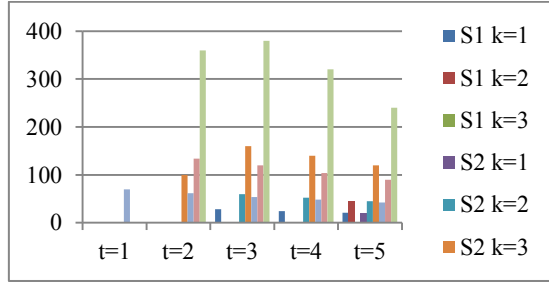
Deneylere gelişler arası süre (λ) dakika cinsinden alınmıştır. Birliklerin iki çağrı arasındaki süreyi

ifade eden gelişler arası süredir. Senaryolardaki birlik miktarları (Q_s) birlik tipleri simülasyon modelinde k olarak verilmiştir. Bölgelerin birlik talepleri D_{jk} uygun çözümler alındıktan sonra simülasyon modeline girilmiştir. Bölgelerin belirleyen seçim kriterleri deprem bölgesine yakınlık, kapsama alanlarına göre risk baskı faktörü $r_j^{1,2}$ ve ulaşım sürelerinden oluşmaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada oluşturulan matematiksel model İstanbul ili için denenmiştir. Matematiksel modelin ilk deneme çözümleri alınmış ve $r_j^{1,2}$ risk baskı faktörleri %63 değerine sabitlenerek planlama periyotlarına ait ceza puanları değiştirilerek sonuçlar elde edilmiştir. İlk yıl başlangıç kabul edilmiş ve her yıl %3,3 oranında artış uygulanmıştır. Çalışmanın uygulanacağı alan için İstanbul ili seçilmiştir. İstanbul yönetim, bütçe, ekonomik ve sosyal veriler açısından bir ülkeyi örnekleyebileceği öngörülmüştür. JICA [20] yapılan çalışmada İstanbul ili için 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 tahmini hasar miktarları belirlemişlerdir. Büyüklüğü 6.9 olan S_1 iyi durum senaryosu olarak belirlenmiştir. 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 senaryo olarak belirlenmiştir. 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 faktörü deprem sonrasında o bölgede binalardan ne kadar yaralı çıkacağı hakkında genel bir bilgi vermektedir. Planlama süresi olarak belirlenen planlama ufku $T=5$ beş yıl olarak seçilmiştir. Planlama t döneminde bütçe miktarı yatırım ve işletme giderleri bir önceki döneme göre %10 artacaktır. Her geçen t dönem sonunda nüfus ve arama kurtarma birlik talebi D_{jk} miktarı artmaktadır. Bu çalışmada bütçe dönemlerinde yapılacak olan arama kurtarma birliği kurulumu CS_{jk} bütçe dönemi başında yapıldığından bütçe

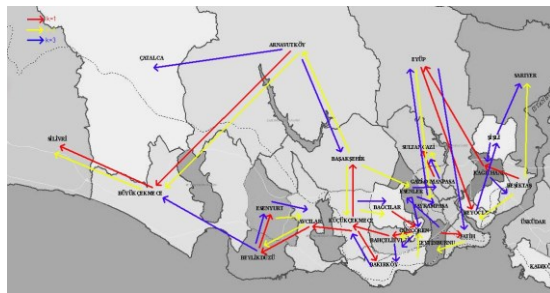
maliyetlerine eklenmiştir. Toplam B_t bütçe miktarı İstanbul'un her iki yakası içinde eşit olarak paylaşılmaktadır. Senaryoların her birinde Avrupa yakası birliklerinin sayısı çözümleri bulunmuştur Şekil 4.



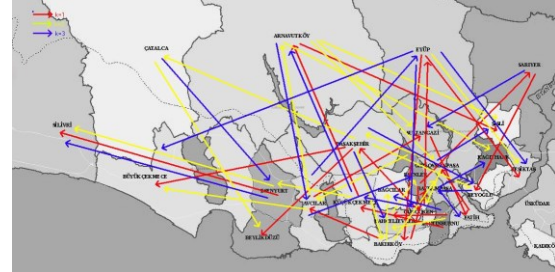
Şekil 4. Avrupa yakası t_i planlama dönemlerine göre senaryoların tiplerine göre birlik sayıları grafiği

4.1. Avrupa Yakasına Ait Sonuçlar

Senaryoların sonuçları Avrupa yakasına göre elde edilmiştir. Planlama dönemlerine ait birincil Şekil 5 ve ikincil Şekil 6 kapsama alanlarına ait birlik yerlerinin değişimi görülmektedir. Şekillerdeki oklar planlama dönemlerindeki k tipindeki birlikleri yer değiştirmelerini göstermektedir. Arama kurtarma birliklerinin bölgeler arası yer değiştirmeleri bazı bölgeler için yoğun olarak görüldüğünden renklendirme ile daha anlaşılır hale getirilmesi sağlanmıştır. Buna göre birliklerin tipleri k=1 tipi birlik rengi kırmızı, k= 2 tipte birlik sarı ve k= 3 tipteki birlik tipini mavi renk göstermektedir.



Şekil 5. Avrupa yakası S_3 senaryosu başlangıçta birincil kapsama alanından bölgeler arası gönderilecek W_{jik}^1 , k=1,2,3 tipte birlik sayıları haritası

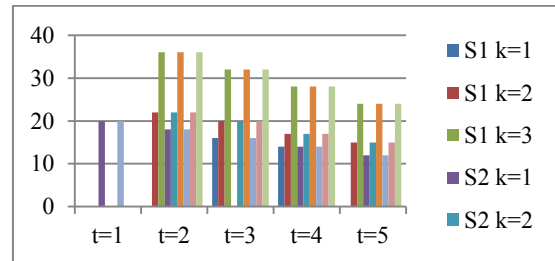


Şekil 6. Avrupa yakası S_3 senaryosu başlangıçta ikincil kapsama alanından bölgeler arası gönderilecek W_{jik}^2 , k=1,2,3 tipte birlik sayıları haritası

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 tablolarda (Çizelge 2) ve (Çizelge 3)'de görülmektedir.

4.2. Anadolu Yakasına Ait Sonuçları

Anadolu yakasına ait arama kurtarma birliklerinin sayıları Şekil 7'de görülmektedir. Modelden elde edilen bölgelerin ilk arama kurtarma birliklerinin açılış yerleri senaryolara göre incelendiğinde kötü durum S_3 senaryosunun arama kurtarma birlik dağılımlarının diğer senaryolara göre daha yoğun olduğu görülmektedir. Özellikle t=2, t=3 ve t=4 planlama dönemlerinde k=3 tip arama kurtarma birlikleri sayısında belirgin bir artış olmaktadır.



Şekil 7. Anadolu yakası planlama dönemlerine göre senaryoların tiplerine göre birlik sayıları grafiği

Çizelge 2. Avrupa yakası planlama dönemi senaryolarına ait bölgelerin tiplere göre birlik sayılarının dağılımı

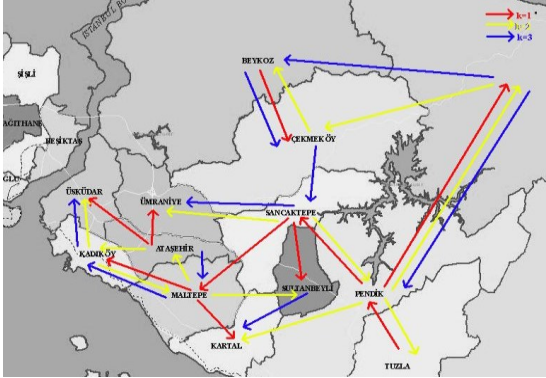
J. Bölge	k. Tip	S ₁ Senaryosu Sonuçları					S ₂ Senaryosu Sonuçları					S ₃ Senaryosu Sonuçları				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
2	1			28	24	21										
2	2					45			60	52			67	60		
2	3								40	20			60	40	20	
5	1										21		24	24	21	
5	2								60	100	100				52	45
5	3												100	100	100	
11	3											80				
25	3							100	100							

Şekil 4. kötü durum S₃ senaryosu yaralı talebinin yüksek olmasından dolayı tüm planlama dönemlerinde bu senaryoda çok miktarda arama kurtarma birliği açıldığı gözlenmektedir. Bu durum aynı zamanda bazı bölgelerdeki talebin tüm

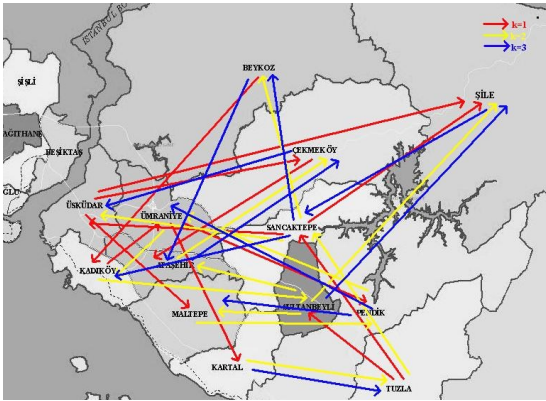
kaynakları kullandığını da göstermektedir. Özellikle k=3 tip arama kurtarma birliklerinin kötü durum S₃ senaryosunda bazı bölgelerde yoğunlaştığı da görülmektedir.

Çizelge 3. Anadolu yakası planlama dönemi senaryolarına ait bölgelerin tiplere göre birlik sayılarının dağılımı

J. Bölge	k. Tip	S1 Senaryosu					S2 Senaryosu					S3 senaryosu				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
5	2													20	17	15
5	3													32	28	24
7	1											20	18			
7	2		22										22			
7	3		36										36			
10	2							22								
11	1			16	14		20	18		14	12					
11	2			20	17	15			20	17	15					
11	3			32	28	24		36	32	28	24					



Şekil 8. Anadolu yakası S_3 senaryosu başlangıçta birincil kapsama alanından bölgeler arası gönderilecek W_{jik}^1 , $k=1,2,3$ tipte birlik sayıları haritası



Şekil 9. Anadolu yakası S_3 senaryosu başlangıçta ikincil kapsama alanından bölgeler arası gönderilecek W_{jik}^2 , $k=1,2,3$ tipte birlik sayıları haritası

Anadolu yakasında birliklerin birincil kapsama alanından yer değişimi ikincil kapsamaya göre daha azdır Şekil 8. İkincil kapsama alanında dikkat edilirse en kötü durum senaryolarında daha fazla yer değişimi görülmektedir Şekil 9. Planlama dönemi t ilk dönemler gözönüne alındığında arama kurtarma birlikleri daha çok son planlama dönemlerinde yoğunlaşmaktadır.

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 hayatı 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. 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.

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. 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. 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. 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 risk baskı faktörü $r=63$ 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 $BS_t = [BS^+ - BS^-]$ bütçe saptaması karar vericinin hedeflediği orana göre değiştirilebildiğinden sıkı bütçe kuralları veya gevşek bütçe kurallarına göre uyarlanabilir. Çalışmanın sonucunda elde edilen deney sonucunda geliştirilen matematiksel modelin oluşturulan S_i senaryolara göre verdiği değerlere göre bazı yargılara varılabilmektedir. İyi durum S_1 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 %5-%20 aralığında katı (rijit) hale getirmemesi olabilir. Buna karşılık model kötü S_2 ve çok kötü S_3 durum senaryolarında yapılan duyarlılık analizi sonuçlarına göre modeli iyi durum S_1 senaryosuna göre daha iyi sonuç vermiştir. Çalışmada kullanılan model kötü S_2 ve çok kötü S_3 durumlar için daha fazla tercih edilebilir bir modeldir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda problemin stokastik parametreler için çalıştırılması denenebilir. Stokastik doğrusal programlama (SLP) yöntemlerinden uyarlanabilirlik (adaptability) modeli çözüm yaklaşımı ilerleyen çalışmalarda denenmelidir. İki veya çok aşamalı stokastik doğrusal programlama

problemin deprem sonrası aşamalarında test edilebilir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi tarafından MF2005D Proje numarası ile desteklenmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Egünay, O., 2009. Afet Yönetimi: Genel İlkeler, Tanımlar, Kavramlar. Ankara. 2-3.
2. Gülkan, P., Balamir, M., Yak, A., 2003. Afet Yönetiminin Stratejik İlkeleri: Türkiye ve Dünyadaki Politikalara Genel Bakış, ODTÜ Afet Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara.
3. Owen, S.H., Daskin, M., 1998. Strategic Facility Location: A Review, European Journal of Operational Research, 111, 423-447.
4. Brotcorne, L., Laporta, G., Semet, F., 2003. Ambulance Location and Relocation Models, European Journal of Operational Research, 147, 451-463.
5. Marianov, V., ReVelle, C., 1996. The Queue Maximal Availability Location Problem: A Model for Sitting of Emergency Vehicle, European Journal of Operational Research, 93, 110120.
6. Graham, R.E., Lawler, E.L., Lestra, J.K., Rinroy-Kan, A.H.G., 1979. Optimization and Approximation in Deterministic Squencing And Scheduling: A Survey. Annals Of Discrete Mathematics, 4, 287-326.
7. Hamacher, H.W., Nickel, S., 1998. Classification of Location Models, Location Science, 6, 29-242.
8. O'Kelly, M.E., 1986. The Location of Interacting Hub Facilities, Transportation Science, 20(2), 92-106.
9. Dowdy, L.W., Foster, D.V., 1982. Comparative Models of the File Assignment Problem. ACM Computing Surveys, 14(2), 287-313.
10. Goutam, Sen, G., Krishnamoorthy, M., Rangaraj, N., Narayanan, V., 2016. Facility Location Models to Locate Data in Information

- Networks: a Literature review. *Ann Oper* 246, 313–348.
11. Kim, S.H., Lee, Y.H., 2016. Iterative Optimization Algorithm with Parameter Wstimation for The Ambulance Location Problem. *Health Care Management Science*. 19(4), 362.
 12. Dibene, J.C., Maldonado, Y., Vera, C., de Oliveira, M., Trujillo, L., Schütze, O., 2017. Optimizing the Location of Ambulances in Tijuana, Mexico. *Computers in Biology and Medicine*. 80, 107-115.
 13. Murray, A.T., Wei, R., 2013. Discrete Optimization: A Computational Approach for Eliminating Error in the Solution of the Location Set Covering Problem *European Journal of Operational Research*. 1 January. 224(1), 52-64.
 14. Macit, İ., 2015. Solving Fire Department Station Location Problem using Modified Binary Genetic Algorithm: A Case Study of Samsun in Turkey. *European Scientific Journal*, 11(30), 10-25.
 15. Khojasteh, S.B., Macit, İ., 2017. A Stochastic Programming Model for Decision-Making Concerning Medical Supply Location and Allocation in Disaster Management. *Disaster Medicine And Public Health Preparedness*, (1), 1-9.
 16. Macit, İ., 2015. Two-Stage Solution for Post-Earthquake Field Hospital Location Problem using Lagrangian Relaxation Method: Case of Turkey. *European International Journal of Science and Humanities*. 1(6), 1-8.
 17. Boonmee, C., Arimura, M., Asada, T., 2017. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. September 24, 485-498.
 18. JICA ve IBB., 2002. Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması (Son Rapor). Pacific Consultant OYO Corporation.
 19. Özmen, B., 2001, İstanbul İçin Deprem Senaryosu, Milli Güvenlik Konseyine Sunulan Rapor, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.
 20. JICA, Türkiye’de Doğal Afetler Konulu Ülke Strateji Raporu. 2004. İçişleri Bakanlığı. Ankara.
 21. Ambraseys, N.N., Jackson, J.A., 1981. Earthquake Hazard and Vulnerability in the Northeastern Mediterranean: the Corinth Earthquake Sequence of February-March, 1981. 5(4), 355- 368.