

İSTANBUL'DA DEPREM YARDIM MALZEMELERİNİN ÖNCEDEN KONUMLANDIRILMASI

Ayşe Sinem KONU¹

Serhan DURAN²

Ertan YAKICI³

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, İstanbul'da gerçekleşmesi beklenen olası bir depremde, depremin neden olacağı kırılganlık etkisinin de incelenerek insani yardım malzemelerinin önceden konumlandırılması maksadıyla bir çerçeve oluşturmak ve bu doğrultuda İstanbul için hazırlanmış JICA Raporu'nda (2002) yer alan bilgi ve verileri kullanarak afet müdahale ve yardım merkezi konumları önermektir. Sunulan modelde 29 talep noktası ve 29 potansiyel afet müdahale ve yardım merkezi bulunmaktadır. Model ulaşım ağı kırılganlığını ve bina kırılganlığını, talep ve mesafe unsurlarına entegre ederek değerlendirmektedir.

Anahtar Sözcükler: Çok Ürünlü Depo Konumu Belirleme Problemi, İnsani Yardım Malzemelerini Önceden Konumlandırma, İstanbul Depremi, Kırılganlık.

¹ **Ayşe Sinem KONU**, ASELSAN, Uzaktan Komutalı Kara Silah Sistemleri Program Müdürlüğü, Uzman Mühendis.

² **Serhan DURAN**, Doç. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyesi.

³ **Ertan YAKICI**, Yrd. Doç. Dr., Milli Savunma Üniversitesi, Deniz Harp Okulu Öğretim Üyesi.

* Makale Gönderim Tarihi: 05.05.2016 - Kabul Tarihi: 27.03.2017

PREPOSITIONING OF RELIEF ITEMS FOR AN EARTHQUAKE IN İSTANBUL

ABSTRACT

The main objective of this study is to provide a framework for pre-positioning of relief items while considering vulnerability effect of a potential earthquake in Istanbul and suggest disaster response facility locations accordingly, utilizing the data and information about Istanbul from the JICA Report (2002). The suggested model contains 29 demand points and 29 potential disaster response facility locations and integrates the effects of combined transportation mean vulnerability and warehouse building vulnerability to demand intensity and distance travelled.

Keywords: Multi-Item Warehouse Location Problem, Pre-Positioning Relief Items, Istanbul Earthquake, Vulnerability.

1. GİRİŞ

Türkiye'de doğal afetler arasında en sık yaşananın deprem olduğu bilinmektedir (JICA Raporu, 2002). Türkiye'nin üzerinde bulunduğu Kuzey Anadolu Fay Hattı ülkenin kuzeyinde doğu-batı hattında uzanmakta olup, geçmiş yıllarda ülkede olan depremlerin çoğu bu hat tarafından üretilmiştir. Yakın geçmişte yaşanan 7.4 şiddetindeki İzmit depreminde Kocaeli ilinin yanı sıra, Sakarya, Yalova, Bursa ve Bolu illeri de etkilenmiş, en az 17.000 kişi yaşamını yitirmiş, 45.000'den fazla kişi yaralanmış, 100.000 bina kullanılamaz hale gelmiştir (JICA Raporu, 2002).

İzmit depreminden sonra yapılan araştırmalara göre İstanbul'da 7 şiddetinin üzerinde bir deprem olma olasılığı oldukça yüksektir. 2012 verilerine göre 13 milyon kişinin yaşadığı kentin gelecekteki olası bir deprem açısından mevcut halini en iyi yansıtan rapor olan JICA Raporu (2002) zararı azaltıcı tedbirler sunmaktadır. Bunlar arasında acil su ve yiyecek planı, çadır kentlerin kurulması ve acil yol ağı da bulunmaktadır. Rapor, yardım malzemelerinin önceden konumlandırılmasına ilişkin bir plandan bahsetmese de böyle bir planın hazırlanması için önemli veri ve bilgiler sağlamaktadır. Bu makalede yapılan çalışma ile İstanbul için JICA Raporu'nda yer alan bilgiler esas alınarak yardım malzemelerinin mağdurlara etkin bir şekilde ulaştırılmasını sağlayan önceden konumlandırma planı geliştirilmiştir.

Afet öncesi faaliyetler, afetin hemen ardından gerçekleşen yardım faaliyetinin başarısını belirler. Duran vd. (2013) afet yönetiminin yardım faaliyetlerinin sonucunu doğrudan etkilediğini, afetin geniş alanlı olması halinde yardım personeline daha fazla yük bindiğini, yardım malzemelerinin hazırlık ve dağıtımının daha da zorlaştığını belirtmektedir.

Ergun vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada afet yönetiminin hasarın hafifletilmesi, hazırlanma, yardım anı ve iyileşme olmak üzere birbirini takip eden dört aşamada gerçekleştiği belirtilmiştir. Hasar tahmini, binaların kapasite planlaması, yardım malzemelerinin konumlandırılması ve eğitim, afet öncesi aşamalardan hasarın hafifletilmesi ve hazırlanma aşamalarını oluşturmaktadır.

Öte yandan hazırlanma kapsamındaki planlama faaliyeti hızlı bir yardım faaliyetinin özelliklerini tanımlamalı, altyapı ihtiyaçları giderilmeli ve ihtiyaç duyulacak ilave kapasite yaratılmalıdır. Yardım malzemelerinin depolanması ve konumlandırılması hususu acil eylem planlarının çabuklukla gerçekleşmesi için dikkatle ele alınmalıdır (Duran vd. (2013)).

Hazırlanma ile yardım anı aşamaları arasındaki bağlantı oldukça önemlidir. Thomas (2004), insani yardım lojistiğini “hazırlanma ile yardım, tedarik ile dağıtım ve karargah ile saha arasında bir köprü” olarak tanımlamaktadır. Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Federasyonu (International Federation of Red Cross and Red Crescent (IFRC)) Raporu ise insani yardım lojistiğinin amacını, yaşam için zorunlu olan malzemelerin tedarik ve dağıtımını ile bu malzemelerin doğru zamanda doğru yerde bulundurulması olarak ifade etmektedir (IFRC Raporu (2000)).

Deprem afet yönetiminde ulaşım hatlarının önemini vurgulayan birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin Merkezi ABD Deprem Konsorsiyumu (Central U.S. Earthquake Consortium)’nun (2000) raporuna göre yollar ve köprüler ulaşım ağlarının en çok etkilenen bileşenleridir. Afet anı sonrasında altyapı hasarı nedeni ile dağıtım planı işlemez duruma gelebilmektedir. Bu noktada yardım malzemelerinin önceden konumlandırılması önem kazanmaktadır. Duran vd. (2013)’ne göre önceden konumlandırma yardım zamanını kısaltarak yardım anının etkinliğini arttırmaktadır. Hazırlanma aşamasında ele alınan malzemelerin önceden konumlandırılması faaliyeti kapsamında malzemeler önceden satın alınmalı ve depolanmalıdır. JICA Raporu (2002), İstanbul’un hazırlanma planı için iyi bir örnek teşkil etmektedir. Raporda hasar alması muhtemel binalar, yapılar, yol ağları, köprüler ve kriz yönetim merkezlerine ilişkin bilgi de verilmekte, fakat yardım malzemelerinin önceden konumlandırılmasına ilişkin bir çıkarım yapılmamaktadır.

Son yıllarda acil yardım malzemelerinin önceden konumlandırılması hususunu ele alan çalışmalar literatüre kazandırılmıştır. Bu kapsamda senaryo bazlı yaklaşımlar da kullanılmıştır. Duran vd. (2011) CARE International için önceden konumlandırma ağının oluşturulması kapsamında karışık tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. Söz konusu ağ konfigürasyonu, önceden belirlenen açılacak depo sayısı ve kapasitelerini göz önünde bulundurarak en iyi yerleşim ve malzeme tahsisini içeren çözümü vermektedir. Matematiksel model, envanterin bütünleme zamanlarını ele alarak ortalama yardım götürme zamanını enazlamayı amaçlamaktadır. Çalışmada 1 ila 9 depo ve 3 farklı envanter seviyesi göz önüne alınmıştır. Ancak çalışma kapasite azalması veya yol ağlarının zarar görmesi gibi hasar değerlendirmesini içermemektedir. Balçık ve Beamon (2012) hızlı gelişen doğal felaketlere karşı insani yardım lojistiği kapsamında dağıtım merkezlerinin yerlerine ve bu merkezlerde stoklanacak yardım malzemesi miktarlarına karar veren bir model geliştirmişlerdir. Model tesis yerleşim ve envanter kararlarını entegre ederken bütçe ve kapasite kısıtlarını da göz önüne almaktadır.

İnsani yardım lojistiğindeki önceden konumlandırma konusunda en çok kullanılan kriterlerden biri de tesis kurulum ve ulaştırma maliyetleridir. Lin vd. (2012) felaket bölgesinde geçici depoların konumlarının, depolara dağıtılacak yardım malzemesi miktarının ve gerekli araç sayısının belirlendiği bir model geliştirmişler, problemi iki fazlı sezgisel bir yaklaşım ile çözmüşlerdir. İlk fazda geçici depo yerleri ve bu depoların dağıtım yapacağı talep noktaları belirlenmekte, ikinci fazda ise ilk fazda alınan çözüm üzerinde iyileştirme yapılarak en iyi lojistik performansı veren çözüm tespit edilmektedir. Galindo ve Batta (2013) felaket sonrası yardım lojistiğinin etkinliğini artırmak için depoların olası hasarlarını da kapsayan bir tesis yerleşim modeli ile bu model için bir çözüm yaklaşımı geliştirmişlerdir. Talep noktalarının gruplandığı çözüm yaklaşımı ile büyük boyutlu test problemlerinin standart optimizasyon yazılımları ile çözülebildiğini göstermişlerdir. Khayal vd. (2015) acil durum planlaması kapsamında geçici dağıtım merkezlerinin seçimi ve kaynakların bu merkezlere pay edilmesini içeren bir şebeke akış modeli geliştirmişlerdir. Model, karşılanamayan talebi enazlamak amacı ile geçici merkezler arasında farklı periyotlarda kaynak fazlası transfer miktarlarını belirlemektedir. Karşılanamayan talebin azaltılmasını amaçlayan Afshar ve Haghani (2012) doğal afet durumları için kapsamlı bir entegre lojistik modeli geliştirmiştir. Bu model araç rotalama ve toplama/dağıtım planlamanın yanında tesis ve araç kapasite kısıtlarını da gözleterek farklı katmanlardaki geçici tesis yerlerini tespit ederek, merkezi operasyon planlaması ile olası gecikmeleri azaltmaktadır.

Kutanoğlu ve Mahajan (2009) tek ürünlü, çok bölgesi ve iki aşamalı bir dağıtım sistemi için envanter paylaşım ve tahsis modeli geliştirmiştir. Modelde kapasite sınırlaması olmayan bir merkezi depo ile talep noktalarına dağıtım yapan yerel depolar ele alınmıştır. Ancak daha gerçekçi bir model yaklaşımı için kapasite sınırlamalarının da dahil edilmesinin gerektiği değerlendirilmektedir.

Bu çalışma ile sunulan modelde de olduğu gibi ulaşım ağlarındaki tahribatı da göz önünde bulunduran çalışmalar yapılmıştır. Chang ve Nojima (2001) arz noktaları ile talep noktaları arasındaki rotaların belirlenmesinde ulaşım hatlarında meydana gelebilecek hasarları göz önünde bulundurmuş, ancak arz noktalarının önceden belirlendiğini kabul etmiştir. Barbarasoğlu ve Arda (2004) depremde ulaşım planlaması problemini çok ürünlü çok modlu şebeke akışı olarak formüle ederek iki aşamalı stokastik programlama problemi olarak tanımlamıştır. İlk aşama deprem anına kadar olan zamanı ikinci aşama ise deprem sonrasını ele almaktadır. Ulaşım sisteminin olası hasarı, kapasite senaryoları, tedarik ve talep ile ilgili hususlar çalışmaya dahil edilmiştir. Modelde verilen bir senaryo için toplam ulaşım ve beklenen

kaynak maliyeti enazlanmaktadır. Model İzmit depremi verisi ile İstanbul'un Avcılar ilçesi için denenmiştir. Ukkusuri ve Yushimito (2008) afet öncesi yardım malzemesi konumlandırma kapsamında ulaşım ağındaki hasarları ve rotalama kararlarını da içeren bir tesis yerleşim modeli geliştirmiş, problemi en güvenilir yol ile tamsayılı programlama modelinin entegre edildiği bir yaklaşım kullanarak çözmüştür. Özkapıcı vd. (2016) İstanbul'da olası deprem sonrası insani yardım lojistiği kapsamında yaptıkları çalışmada deniz ve karadan ulaştırma alternatifleri ile beraber yol kırılgenliğini da ele almışlardır. Başkaya vd. (2017) insani yardım lojistiği kapsamında yardım malzemesi depoları arasında (yatay) aktarma konusunu ve parametrelerin ortalama katedilen mesafe üzerine etkisini incelemişlerdir. Aktarmalı ve aktarmasız modeller İstanbul için JICA tarafından hazırlanmış senaryo üzerinde test edilmiştir. Yardım malzemesi depolarının sayılarına ve yerlerine, bu depolarda tutulacak envantere ve depolar arasındaki malzeme aktarım miktarına karar veren modellerde yol kırılgenliği da değerlendirildiğinde aktarmasız modellere göre daha yüksek hız ve hizmet seviyesine ulaşıldığı görülmüştür.

Bilgimiz dahilinde, literatürde İstanbul'da afet yardım tesislerinin yerleşiminin modellenmesinde bu merkezlerde olabilecek hasar ile beraber ulaşım hatlarındaki hasarı da ele alan bir çalışma bulunmamaktadır. Bu bakımdan makalenin literatüre katkısı iki farklı kırılgenliğin entegre edilerek modellenmesi ve bu modelin deprem riski altında bulunan İstanbul'a uygulanması olarak belirtilebilir.

Makalenin mütaekip bölümlerinde varsayımlar ve uygulanan model açıklanmış, geliştirilen modelin İstanbul için uygulanması sonucunda elde edilen bulgular sunulmuştur.

2. VARSAYIMLAR VE YÖNTEM

Bu bölümde çalışmanın varsayımları açıklanmış, geliştirilen model karışık tamsayılı programlama problemi olarak formüle edilmiş ve formüle edilen modelin doğrulaması yapılmıştır.

2.1. Varsayımlar

İstanbul şehrinin doğal olarak iki yakaya ayrılmış olması ve bu yakaların halihazırda üç köprü ile birbirine bağlı olması nedeniyle Avrupa ve Asya tarafları arasında yardım malzemesi alışverişinin olmayacağı varsayılmıştır.

Sınırlarla birbirinden ayrılmış ilçelerin her birine potansiyel olarak bir yardım malzeme deposu kurulabileceği, her bir ilçenin aynı zamanda bir

talep noktası olduğu, her ne kadar bir depo ilçenin herhangi bir yerinde kurulabilse de modeli daha karmaşık hale getirmemek için deponun ilçe merkezinde kurulacağı kabul edilmiştir. Yardım malzemelerinin dağıtımında uzaklık olarak ilçe merkezleri arasındaki uzaklıklar esas alınmıştır. Bununla birlikte her ilçeyi diğerine bağlayan azami iki rota seçilmiş olup tüm ilçeler birbirlerine rotalarla bağlı değildir. Tüm ilçelerin birbirlerine bağlı olmamasının nedeni rotaların çok uzun olması halinde dağıtımın da çok uzun zaman almasıdır. Modelde kullanılan rotalar ve bu rotalara göre ilçeler arasındaki mesafeler Konu (2014) tarafından yapılan araştırmanın EK-A'sında bulunmaktadır.

Bir deprem sonrasında ulaşım hatları kısmi olarak ya da tamamen hasar alabilmektedir. Ulaşım hatlarının kullanılamaz hale gelmesinin dar yollardan, köprülerden ya da her ikisinden kaynaklanabileceği varsayılmıştır. JICA Raporu'nda (2002) sunulan ve modelin uygulamasında kullanılan ilçelerdeki dar yol oranları Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. İstanbul'un İlçelerindeki Dar Yol Oranları (JICA Raporu (2002))

İlçe	Dar Yol Oranları (%)	Yaka	İlçe	Dar Yol Oranları (%)	Yaka
ADALAR	-	-	KADIKÖY	53,8	Doğu
AVCILAR	62,4	Batı	KARTAL	52,8	Doğu
BAHÇELİEVLER	49,8	Batı	KAĞITHANE	62,8	Batı
BAKIRKÖY	48,3	Batı	KÜÇÜKÇEKMECE	68,7	Batı
BAĞCILAR	61,4	Batı	MALTEPE	62,7	Doğu
BEYKOZ	77,2	Doğu	PENDİK	75,8	Doğu
BEYOĞLU	73,9	Batı	SARIYER	78,2	Batı
BEŞİKTAŞ	50,8	Batı	ŞİŞLİ	63,5	Batı
BÜYÜKÇEKMECE	53,8	Batı	TUZLA	68,7	Doğu
BAYRAMPAŞA	50,9	Batı	ÜMRANİYE	67,1	Doğu
EMİNÖNÜ	61,0	Batı	ÜSKÜDAR	65,8	Doğu
EYÜP	66,1	Batı	ZEYTİNBURNU	47,9	Batı
FATİH	73,1	Batı	ESENLER	76,5	Batı
GÜNGÖREN	35,8	Batı	ÇATALCA	-	Batı
GAZİOSMANPAŞA	70,7	Batı	SİLİVRİ	-	Batı

Çatalca ve Silivri ilçeleri için dar yollara ilişkin veri JICA Raporu'ndan (2002) temin edilemediğinden bu ilçelerdeki dar yol oranları sıfır olarak alınmıştır. Çatalca ve Silivri'nin İstanbul'daki en batı ilçeler olması ve sadece şehrin batısında doğal bir grup teşkil eden üç ilçeyle bağlantılı olması nedeniyle yapılan bu varsayımın, sonucu çok fazla etkilemeyeceği değerlendirilmektedir. Ayrıca Adalar ilçesi de anakara ile bağlantısı olmaması nedeniyle çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.

İlçelerdeki dar yol oranları rotaların kırılgenlik oranını hesaplamak için kullanılmıştır. Herhangi bir rota için dar yol kırılgenlik oranı kilometre başına ortalama dar yol yüzdesi olarak tanımlanmıştır. Örneğin, 1'den m 'e kadar sıralanan ilçelerden geçen bir rota için dar yol kırılgenlik oranı $(R_1 + R_2 + \dots + R_m)/L$ formülü ile bulunmuştur. Formülde kullanılan R_i parametresi rotanın i ilçesindeki uzunluğu ile i ilçesindeki dar yol yüzdesinin çarpımına, L parametresi ise rotanın toplam uzunluğuna eşittir.

İstanbul'da bulunan köprülerin JICA Raporu'ndan (2002) alınan konumları kullanılarak her bir rota ile kesişim halindeki köprü sayısı tespit edilmiş ve rotada bulunan köprü sayısı rotanın uzunluğuna bölünerek köprü kırılgenlik oranına dönüştürülmüştür.

Her bir rota için dar yol ve köprü kırılgenlik oranlarının aritmetik ortalamaları alınarak bileşik ulaşım kırılgenlik oranları hesaplanmıştır. Modelde parametre olarak kullanılan ölçeklendirilmiş dar yol ve köprü kırılgenlik oranları ile bileşik ulaşım kırılgenlik oranları Konu (2014) yüksek lisans tezinin EK-D'sinde bulunmaktadır.

Bina kırılgenlik oranları için de JICA Raporu'nda (2002) bulunan ve Çizelge 2'de de verilen ilçe bina hasar oranları esas alınmıştır.

Bahsedilen tüm kırılgenlik oranları şehrin her iki yakası için ayrı ayrı 1 ile 2 arasında doğrusal olarak yeniden ölçeklendirilmiştir. Bileşik ulaşım ve bina kırılgenlik oranlarının modele aktarılması ise Başkaya vd. (2017) tarafından da uygulandığı gibi talep noktaları ile yardım malzeme depoları arasındaki mesafelerin kırılgenlik oranları ile çarpılarak artırılması ile gerçekleştirilmiştir.

Taleplerin su, tıbbi malzeme (ilaç, pansuman malzemesi vb.) ve çadır olmak üzere üç kategoride olacağı varsayılmıştır. Modelde kullanılan talep tahminlerinin oluşturulmasında JICA Raporu'nda (2002) yer alan muhtemel deprem senaryosunda ilçelere göre ağır hasarlı bina oranları ile ölen ve ağır yaralananların sayıları esas alınmış, ancak ölen ve ağır yaralanan insan sayıları 2012 yılında yapılan nüfus sayımı bilgilerine (2013) göre oranlanarak

revize edilmiştir. Çizelge 2'de sunulan bu veriler kullanılarak tahmini ihtiyaç sayıları hesaplanmıştır. Kişi başına günlük su tüketiminin 6'lı paket halinde sağlanan su ile, her ağır yaralı için ihtiyaç duyulan tıbbi malzemenin Amerikan Kızılhaçı (American Red Cross) tarafından önerilen kişisel tıbbi malzeme kiti ile karşılandığı kabul edilmiştir. Barınma ihtiyacının karşılanmasında Türk Kızılayı tarafından kullanılan 4 kişilik çadır kullanılacağı varsayılmıştır. Söz konusu malzemeler için birim depolama hacimleri sırasıyla 3 dm³, 1,4 dm³ ve 170 dm³'tür.

Çadır ihtiyacı hesaplanırken Çizelge 2'deki etkilenen insan sayısından (B) yaşamını yitirenler (C) ve ağır yaralılar (D) çıkarılmış, etkilenen insanlardan sadece ağır hasarlı binalarda ikamet edenlerin çadır ihtiyacı olacağı varsayılarak bulunan sonuç JICA Raporu'nda (2002) verilen ağır hasarlı bina oranı ile çarpılmış ve çadır kapasitesi olan 4'e bölünmüştür.

Tıbbi malzeme kiti talebi, ağır yaralı insan sayısına eşit kabul edilmiş, ağır yaralıların su ihtiyacının ayrıca giderileceği kabul edildiğinden ağır yaralılar dışında afetten etkilenen ve hayatta kalan tüm insanların su ihtiyacı olacağı varsayılmıştır.

Çizelge 2. Ağır Hasarlı Bina Oranı ve Depremden Etkilenen İnsan Sayıları

İlçe	Ağır Hasarlı Bina (%)	Nüfus	Ölen Sayısı	Ağır Yaralı Sayısı
	A	B	C	D
AVCILAR	14,1	395.758	6939	10.507
BAHÇELİEVLER	13,1	600.162	7368	9746
BAKIRKÖY	18,3	221.336	3955	6148
BAĞCILAR	6,6	749.024	5727	8565
BEYKOZ	1,7	220.364	366	778
BEYOĞLU	8,8	246.152	3097	5148
BEŞİKTAŞ	4,1	186.067	990	2147
BÜYÜKÇEKMECE	10,5	201.077	4417	9615
BAYRAMPAŞA	12,3	269.774	4162	6479
EMİNÖNÜ	13,9	24.873	1146	2016
EYÜP	7,3	349.470	2536	4993
FATİH	16	403.385	6349	8060
GÜNGÖREN	11,8	307.573	3388	5610
GAZİOSMANPAŞA	3,3	980.470	2936	5647
KADIKÖY	5	916.763	4450	7211
KARTAL	8,2	443.293	3170	5693
KAĞITHANE	3,9	421.356	1587	3265
KÜÇÜKÇEKMECE	9,4	1.033.006	9968	13.296
MALTEPE	6,3	460.955	2762	5234
PENDİK	7,1	622.200	4359	7562
SARIYER	1,3	258.035	336	709
ŞİŞLİ	3,2	318.217	1315	2782
TUZLA	9	197.657	2660	5426
ÜMRANİYE	2,3	645.238	1415	3068
ÜSKÜDAR	2,5	535.916	1463	2984
ZEYTİNBURNU	16,6	292.407	5642	8269
ESENLER	6	458.694	3172	5450
ÇATALCA	2,6	36.863	71	111
SİLİVRİ	4,2	137.861	1527	3351

2.2. Model

2.2.1. İndisler ve Kümeler

$i \in I$: Potansiyel depo noktaları.

$j \in J$: Talep noktaları.

$k \in K$: Yardım malzemeleri.

2.2.2. Parametreler

d^1_{ij} : 1 numaralı rota için i depo noktası ile j talep noktası arasındaki ağırlıklandırılmış mesafe (ulaşım hattı bileşik kırılgenlik oranı, bina kırılgenlik oranı ve 1 numaralı rota için i depo noktası ile j talep noktası arasındaki mesafenin çarpımı).

d^2_{ij} : 2 numaralı rota için i depo noktası ile j talep noktası arasındaki ağırlıklandırılmış mesafe (ulaşım hattı bileşik kırılgenlik oranı, bina kırılgenlik oranı ve 2 numaralı rota için i depo noktası ile j talep noktası arasındaki mesafenin çarpımı).

S_{jk} : k indisli yardım malzemesi için j talep noktasından yapılan talebin hacmi.

C_{ik} : i depo noktasında kurulabilecek deponun k indisli yardım malzemesi için ayrılabilir kısmının kapasitesi (hacim olarak).

W_k : k indisli yardım malzemesi için açılabilir toplam depo sayısı.

2.2.3. Değişkenler

x_{ijk} : eğer i noktasında kurulan depo 1 numaralı rotayı kullanarak j talep noktasına k indisli yardım malzemesi gönderiyorsa 1, aksi takdirde 0.

y_{ijk} : eğer i noktasında kurulan depo 2 numaralı rotayı kullanarak j talep noktasına k indisli yardım malzemesi gönderiyorsa 1, aksi takdirde 0.

w_{ik} : i depo noktasında depo kuruluyor ve k indisli yardım malzemesini depoluyor ise 1, aksi takdirde 0.

s_{ijk} : i depo noktasındaki deponun j talep noktasına gönderdiği k indisli yardım malzemesinin miktarı.

2.2.4. Formülasyon

$$\text{Min} \quad \sum_j \sum_k \sum_i (x_{ijk} * d^1_{ij} + y_{ijk} * d^2_{ij}) * S_{jk} \quad (1)$$

$$x_{ijk} + y_{ijk} \leq I \quad \forall i, j, k \quad (2)$$

$$S_{jk} * (x_{ijk} + y_{ijk} + w_{jk}) \geq s_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad (3)$$

$$S_{jk} = \sum_i s_{ijk} \quad \forall j, k \quad (4)$$

$$\sum_j s_{ijk} \leq C_{ik} * w_{ik} \quad \forall i, k \quad (5)$$

$$w_{ik} * S_{ik} = s_{iik} \quad \forall i, k \quad (6)$$

$$\sum_i w_{ik} = W_k \quad \forall k \quad (7)$$

$$x_{ijk} \leq d^1_{ij} * w_{ik} \quad \forall i, j, k \quad (8)$$

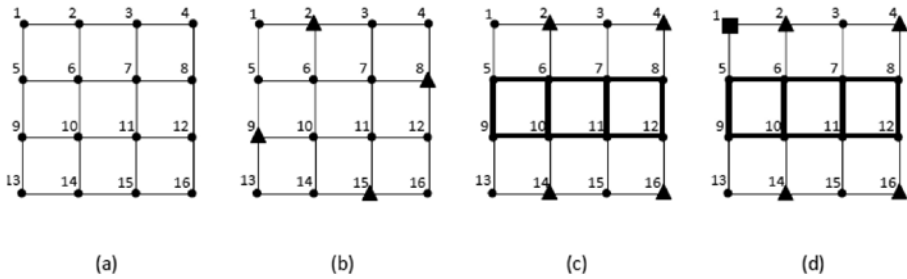
$$y_{ijk} \leq d^2_{ij} * w_{ik} \quad \forall i, j, k \quad (9)$$

$$x_{ijk}, y_{ijk}, w_{ik} \in \{0,1\}, s_{ijk} \geq 0 \quad \forall i, j, k \quad (10)$$

Amaç fonksiyonunda (1) her bir dağıtım için kullanılan rotadaki ağırlıklı mesafe ile taşınan yardım malzemesi hacminin çarpımı bir ölçüt olarak alınmış olup, bu ölçütün tüm dağıtımlar için hesaplanan toplam değeri enazlanmaktadır. Kısıt (2) alternatif rotaların ikisinin de kullanımını engellemekte, Kısıt (3) bir deponun bir talep noktasına yardım malzemesi dağıtımını yapması durumunda depo ve talep noktasının farklı noktalar olması halinde iki rotadan herhangi birini kullanma şartını ya da depo ve talep noktası aynı noktada ise kendi noktasındaki talebi karşılaması şartını ifade etmektedir. Bir başka deyişle, ve değişkenlerinden en az birinin pozitif değer almasını sağlamaktadır. Kısıt (4) tüm taleplerin karşılanması koşulunu, Kısıt (5) depolar için kapasite sınırlamasını, Kısıt (6) bir noktada depo kurulması halinde o noktadaki talebin orada kurulan depo tarafından karşılanması şartını ifade eder. Kısıt (7) her yardım malzemesinin depolanabileceği depo sayısı üzerindeki sınırlamayı, Kısıt (8) ve (9) bir deponun kurulduğu ilçe dışında diğer bir ilçeye yardım malzemesi göndermesi için o deponun açılmış (bulunduğu ilçesinin ihtiyacını karşılıyor olması) ve dağıtım yaptığı diğer ilçe ile rota bağlantısının olması koşulunu tanımlamaktadır. Kısıt (10) değişkenlerin alabileceği değerleri ifade eder.

2.2.5. Modelin Doğrulanması

Modeli doğrulamak üzere, basitçe görülebilen ve geliştirilen modelin önemli özelliklerini test eden bir problem durumu üretilerek çözülmüş, bu test problemi üzerinde değişiklikler yapılarak modelin değişikliklere verdiği tepki kontrol edilmiştir. Şekil 1 (a)'da verilen, yatay ve dikeyde birer birimlik aralıklarla oluşturulan grid üzerinde gösterildiği gibi 16 talep noktasının olduğu, bu noktaların aynı zamanda da potansiyel depo noktaları olduğu varsayılmıştır. Buna ilave olarak; sadece bir malzeme tipinin olduğu, açılabilen 4 deponun her birinin azami 4 adet malzeme bulundurabileceği, her talep noktasının bir adet malzeme talebi olduğu, iki talep noktası arasındaki birinci yolun uzunluğunun noktalar arasındaki L_1 (düz çizgi) mesafeye eşit olduğu, ikinci yol uzunluğunun ise ilk yolun 2 katı olduğu varsayımları yapılmıştır. Bu durumda model en iyi çözümde Şekil 1 (b)'de üçgen sembollerle gösterildiği gibi 2, 8, 9 ve 15 numaralı noktalarda depo açmış, açılan depolardan her biri en yakın üç komşu nokta ile kendi bulunduğu noktanın talebini karşılamıştır. Çözümde noktalar arasındaki en kısa yol, yani birinci yol seçildiği için amaç fonksiyonu değeri 12 olarak bulunmuştur. Söz konusu çözümden daha iyi bir çözüm bulunamayacağı açıktır.



Şekil 1. Model Doğrulamada Kullanılan Test Problemi ve Alınan Çözümler

İlk değişiklik olarak bazı yollardaki kırılganlığı yansıtmak üzere, Şekil 1 (c)'de 5'ten 12'ye kadar olan (5 ve 12 dahil) rakamlarla numaralandırılan noktalar arasındaki yatay ve dikey tüm mesafelerin 3 katına çıktığı kabul edilmiştir. Diğer tüm varsayım ve parametreler sabit tutularak ve noktalar arasındaki yeni uzunluklar daha önce belirtildiği şekilde hesaplanarak çözüm alındığında Şekil 1 (c)'de üçgen sembollerle gösterildiği üzere depoların 2, 4, 14 ve 16 noktalarına açıldığı; 2 noktasındaki deponun 1, 2, 5 ve 6 noktalarındaki, 4 noktasındaki deponun 3, 4, 7 ve 8 noktalarındaki, 14 noktasındaki deponun 9, 10, 13 ve 14 noktalarındaki, 16 noktasındaki deponun 11, 12, 15 ve 16 noktalarındaki talepleri karşıladığı görülmüştür. Bu çözümün amaç fonksiyonu değeri 16 olarak elde edilmiş olup, daha iyi bir çözüm bulunamayacağı görülebilmektedir.

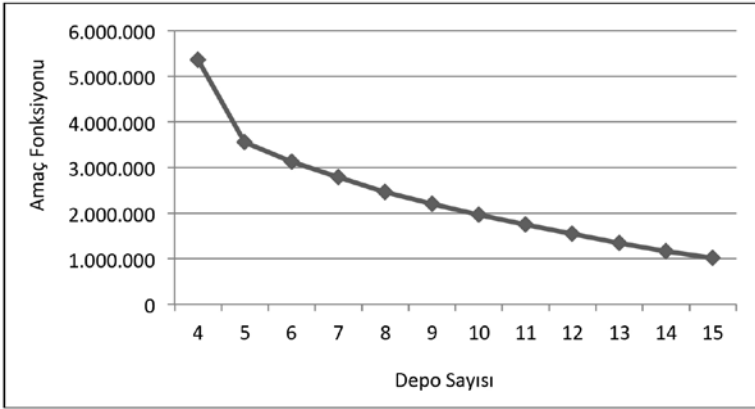
Yukarıda açıklanan değişikliklerin üzerine ilave olarak yeni bir malzeme tipi eklendiği, bu malzeme tipinden sadece 1 ve 4 noktalarında sırasıyla 2 ve 1 adet talep olduğu, 16 noktanın herhangi birinde bu ikinci malzeme tipi için sadece bir depo kurulabileceği varsayılmıştır. Bu ilave değişikliklerle problem çözüldüğü zaman Şekil 1 (d)'de görüldüğü gibi ilk malzeme tipi için kurulan depo yerleri ve dağıtım miktarları değişmezken, yeni malzeme tipi için 1 numaralı noktada bir depo kurulmakta ve yeni malzeme tipi talepleri bu depo tarafından karşılanmaktadır. Bahsedilen çözümün amaç fonksiyonu değeri 19 olarak çıkmaktadır. Bu çözümden daha iyi bir çözümün mümkün olmadığı da kolayca görülebilmektedir.

Yaratılan basit test problemlerinin model ile çözümünden en iyi sonuçlara ulaşılabilirdiği ve modelin temel özellikleri olan ulaşım ağındaki kırılmanlık ve çoklu malzeme unsurlarının sonuçlara doğru olarak yansıdığı tespit edilmiştir.

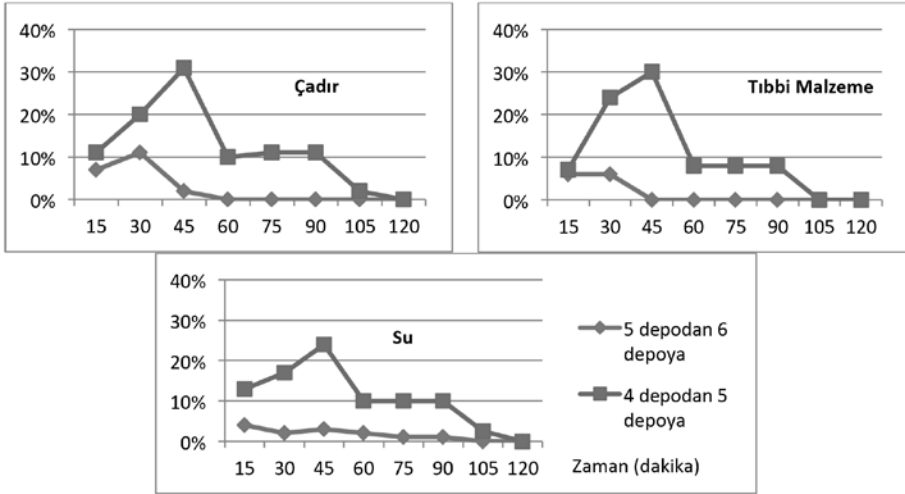
3. UYGULAMA VE BULGULAR

Matematiksel formülasyonu Bölüm 2.2'de verilen model, İstanbul için 29 depo noktası, bu depo noktaları ile aynı noktalardan oluşan 29 talep noktası ve üç tip yardım malzemesi ile uygulanmıştır. Uygulamada depolara herhangi bir kapasite sınırı getirilmediğinden her bir yardım malzemesi için her ilçe bir depo ile bağlantı kurmaktadır. Depo sayısı kısıtlamalarını bulmak için bir analiz yapılmış, analizde amaç fonksiyonu değerinin depo sayısına duyarlılığı ile beraber taleplerin zamana göre karşılanma oranları kullanılmıştır. Bu oranların hesaplanmasında dağıtım hızının 30 km/saat olduğu varsayılmıştır.

Şekil 2'de görüldüğü gibi depo sayısı 4'ten 5'e çıkarıldığı zaman amaç fonksiyonu değerinde % 30 üzerinde bir azalma olurken depo sayısı daha da artırıldığında amaç fonksiyonu değerindeki değişim % 10 civarında gerçekleşmektedir. Depo sayısındaki artışın yardım malzemelerinin zamana göre dağıtımlarının tamamlanma oranlarını nasıl etkilediği Şekil 3'te sunulmuştur. Bu grafiklerde gözlenen sonuçlar da her bir yardım malzemesi için depo sayılarının 5 ile kısıtlanmasının uygun bir seçenek olabileceğini desteklemektedir.



Şekil 2. Depo Sayısındaki Artışın Amaç Fonksiyonu Üzerindeki Etkisi



Şekil 3. Depo Sayısındaki Artışın Zamana Göre Karşılanan Talepteki Etkisi

Model, CPLEX 12.6.2.0 çözücü ile her yardım malzemesi için azami 5 depo olabilecek şekilde kısıtlanarak çözülmüş ve toplamda 7 deponun açıldığı çözüm en iyi çözüm olarak bulunmuştur. Bu çözümde depolar Şekil 4'te gösterildiği gibi Avrupa Yakası'nda Büyükçekmece, Gaziosmanpaşa, Eyüp ve Küçükçekmece'de, Anadolu Yakası'nda ise Kartal, Kadıköy ve Ümraniye'de açılmaktadır.

Depo noktalarından talep noktalarına yapılan dağıtım Çizelge 3'te sunulmaktadır. Çizelgedeki değerler m³ birimindeki hacim değerleridir.

Bu sonuçlara göre en küçük depo Eyüp'te, en büyük depo ise Gaziosmanpaşa'da açılmıştır. Çözümde her yardım malzemesi için iki deponun Anadolu Yakası'nda, üç deponun ise Avrupa Yakası'nda açıldığı görülebilmektedir.



Şekil 4. Önerilen Depo Mevkileri

Çizelge 3. En İyi Çözümde Bulunan Yardım Merkezleri ve Kapasiteler

İlçeler	Çadır (m ³)	Tıbbi Malzeme (m ³)	Su (m ³)	Toplam (m ³)
BÜYÜKÇEKMECE	5856	19	1070	6945
EYÜP	-	85	-	85
GAZİOSMANPAŞA	66.330	-	13.258	79.588
KADIKÖY	30.527	27	-	30.554
KARTAL	19.822	26	5062	24.910
KÜÇÜKÇEKMECE	59.319	67	8750	68.136
ÜMRANİYE	-	-	6890	6890

4. SONUÇ

Yapılan çalışmada İstanbul'da olası depremin yaşanması halinde acil ihtiyaç malzemelerinin önceden konumlandırılması hususu ulaşım ağı ve yardım malzeme depolarındaki kırılganlık da göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Geliştirilen karışık tamsayılı programlama modeli uygulanırken İstanbul'un iki yakası arasında malzeme dağıtımının yapılmayacağı varsayılmış ve JICA Raporu (2002) verileri kullanılmıştır.

Yardım malzemelerinin çadır, tıbbi malzeme ve su olmak üzere üç tip olarak belirlendiği ve her tip yardım malzemesi için azami beş yardım merkezinin açılmasına izin veren uygulama sonucunda toplam yedi ayrı ilçede depo kurulan çözüm en iyi çözüm olarak bulunmuştur. Bu çözüme göre şehrin Avrupa tarafında dört, Anadolu tarafında ise üç ayrı ilçede yardım merkezi kurulması önerilmektedir.

Çalışmanın deniz nakliyatının da gözönünde bulundurularak yapılmasının sonuçları etkileyebileceği düşünüldüğünden böyle bir çalışmanın ilerde yapılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- AFSHAR, A. ve HAGHANI, A., (2012), **"Modeling Integrated Supply Chain Logistics in Real-Time Large-Scale Disaster Relief Operations"**, *Socio-Economic Planning Sciences*, 46 (4), 327-338.
- BALÇIK, B. ve BEAMON, B.M., (2008), **"Facility Location in Humanitarian Relief"**, *International Journal of Logistics*, 11 (2), 101-121.
- BARBAROSOĞLU, G. ve 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.
- BAŞKAYA, S., ERTEM, M.A. ve DURAN, S., (2017), **"Pre-positioning of Relief Items in Humanitarian Logistics Considering Lateral Transshipment Opportunities"**, *Socio-Economic Planning Sciences*, 57, 50-60.
- CENTRAL U. S. Earthquake Consortium with MS Technology, (2000), **"Earthquake Vulnerability of Transportation Systems in the Central United States"**.
- CHANG, S. E. ve NOJIMA, N., (2001), **"Measuring Post-Disaster Transportation System Performance: The 1995 Kobe Earthquake in Comparative Perspective"**, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35 (6), 475-494.
- DURAN, S., GUTIERREZ, M. A. ve KESKİNOCAK, P., (2011), **"Pre-positioning of Emergency Items Worldwide for CARE International"**, *Interfaces*, 41 (3), 223-237.
- DURAN, S., ERGUN, Ö., KESKİNOCAK, P. ve SWANN, J., (2013), **"Humanitarian Logistics: Advanced Purchasing and Pre-Positioning of Relief Items"**, *Handbook of Global Logistics, International Series in Operations Research & Management Science 181*, Editör: Bookbinder, J. H., Springer, New York, 447-462.
- ERGUN, O., KARAKUŞ, G., KESKİNOCAK, P., SWANN, J. ve VILLARREAL, M., (2008), **"Operations Research to Improve Disaster Supply Chain Management"**, *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, Editör: Cochran, J. J., John Wiley & Sons.
- GALINDO, G. ve BATTA, R., (2013), **"Prepositioning of Supplies in Preparation for a Hurricane Under Potential Destruction of Prepositioned Supplies"**, *Socio-Economic Planning Sciences*, 47 (1), 20-37.
- IFRC (International Federation of the Red Cross and Red Crescent Societies), (2000), *Disaster Preparedness Training Manual*. <http://www.ifrc.org/WHAT/disasters/dp/manual.asp>. (Erişim Tarihi: 01 Ocak 2014).
- JICA (Japan International Cooperation Agency), (2002), **"The Study on a Disaster Prevention / Mitigation Basic Plan in Istanbul including Seismic Micronization in the Republic of Turkey"**, Final Report.
- KHAYAL, D., PRADHANANGA, R., POKHAREL, S. ve MUTLU, F., (2015), **"A Model for Planning Locations of Temporary Distribution Facilities for Emergency Response"**, *Socio-Economic Planning Science*, 52, 22-30.

- KONUS, A. S., (2014), **Humanitarian Logistics: Pre-positioning of Relief Items in İstanbul**, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- KUTANOĞLU, E. ve MOHAJAN, M., (2009), **"An Inventory Sharing and Allocation Method for a Multi-location Service Parts Logistics Network with Time-based Service Levels"**, *European Journal of Operational Research*, 194 (3), 728–742.
- LIN, Y. H., BATTÀ, R., ROGERSON, P. A., BLATT, A. ve FLANIGAN, M., (2012), **"Location of Temporary Depots to Facilitate Relief Operations After an Earthquake"**, *Socio-Economic Planning Science*, 46 (2), 112-123.
- ÖZKAPICI, D. B., ERTEM, M. A. ve AYGÜNEŞ, H., (2016), **"Intermodal Humanitarian Logistics Model Based on Maritime Transportation in İstanbul"**, *Natural Hazards*, 83(1), 345-364.
- THOMAS, A., (2004), *Humanitarian Logistics: Enabling Disaster Response*.
- <http://www.fritzinstitute.org/PDFs/WhitePaper/EnablingDisasterResponse.pdf>. (Erişim Tarihi: 3 Ocak 2016).
- TÜİK (Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu), (2013), *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi 2012 Nüfus Sayımı Sonuçları*, Haber Bülteni 9.
- <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=13425> (Erişim Tarihi: 01 Ocak 2014).
- UKKUSURI, S. V. ve YUSHIMITO, W. F., (2008), **"Location Routing Approach for the Humanitarian Pre-positioning Problem"**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2089, 18-25.