Tarım ve Gıda Değer Zincirlerinde Yöneylem Araştırmaları ve Endüstri Mühendisliği Özel Sayısı

AFET YÖNETİMİNDE LOJİSTİK DEPO SEÇİMİ PROBLEMİ: MALTEPE İLÇESİ ÖRNEĞİ

LOGISTIC WAREHOUSE LOCATION SELECTION PROBLEM IN DISASTER MANAGEMENT: MALTEPE DISTRICT

Hilal AYDIN, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye, hilalaydin07@gmail.com
Berk AYVAZ, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye, bayvaz@ticaret.edu.tr
Emel Şeyma KÜÇÜKAŞÇI, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye, eskucukasci@ticaret.edu.tr

Öz: Türkiye'de tüm afet türleri arasında yaklaşık %70'lik bir oranla deprem afeti ilk sırada yer almaktadır. Afetler karşısında yapılabilecek en etkili hareket, afetlerin toplum üzerindeki etkilerini en aza indirgemek doğrultusunda çalışmalar yapmaktır. Etkin bir afet yönetimi çalışması, afet öncesi, afet esnası ve afet sonrasındaki tüm gereksinimleri kapsayacak şekilde olmalıdır. Bu çalışmada, afet lojistiği kapsamında ihtiyaç noktalarına acil yardım malzemelerinin en kısa sürede ulaştırılmasını sağlayan afet lojistik depolarının yer seçimi problemi ele alınmıştır. Ele alınan problem için iki aşamalı bütünleşik bir model önerilmiştir. İlk aşamada belirli bir kapsama alanı için minimum sayıda alternatif lokasyonların sayısını belirleyen bir küme kapsama modeli geliştirilmiştir. İkinci aşamada, talep ağırlıklı mesafe minimizasyonu amaçlı, p-medyan problemi sunulmuştur. Bunun yanında, önerilen model afet lojistik depolarına kapasiteli kısıtı eklenerek genişletilmiştir. Çalışmada farklı kapasite, afetzede sayısı ve kapsama mesafesi senaryoları altında analizler yapılmıştır. Önerilen model İstanbul ilinin Maltepe ilçesinin afet lojistik depolarının yer seçimi problemine uygulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Afet Lojistiği, Küme Kapsama Problemi, P-Medyan problemi, Tesis Yer Seçimi

Abstract: Earthquakes take the first place among the disasters in Turkey with approximately at a rate 70% of all disasters. The most effective action against disasters is to perform the studies that minimize the impact of disasters on society. An effective disaster management effort should be to include all the needs of pre-disaster, during disaster and post-disaster. In this study, it is addressed location selection problem of disaster logistics warehouses which provide the emergency supplies to needy points within the scope of disaster logistics. It is proposed an integrated two-stage model for the problem. In the first stage, set covering model is developed in order to determine the minimum number of alternative disaster logistics warehouses within a certain coverage area. In the second stage, p-median model is presented for aiming demand-weighted distance minimization. In addition, the proposed model is extended by adding capacity constraint to disaster logistics warehouses. In the study, it is conducted various analyzes under the different capacity, number of victims, and coverage distance. The proposed model is applied to Maltepe district in order to determine the disaster logistic warehouse location.

Keywords: Disaster Logistics, Set Covering Problem, P-median Problem, Facility Location

1. Giriş

Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığına göre afet, "Kayıplar doğuran, normal hayatı ve insan faaliyetlerini durduran ya da kesintiye uğratan, etkilenen toplumun baş etme kapasitesinin yeterli olmadığı doğa, teknoloji veya insan kaynaklı olay' olarak tanımlanmaktadır (AFAD 2014). Afetler genellikle kaçınılmaz ve kontrolü mümkün olmayan olaylardır. 17 Ağustos 1999 Marmara depremi büyük zararlara neden olmuştur. Bu tarihten sonra depremlere karşı hazırlıklı olmak ve depremleri en az zararla atlatabilmek için yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Son yıllarda sanayileşme, düzensiz şehirleşme ve iklim değişikliği gibi olaylar afetlerin etkilerinin artmasına neden olmaktadır. Afetler; doğal ve insan kaynaklı olarak iki sınıfa ayrılmaktadır (Kalkınma Bakanlığı 2014). Doğa kaynaklı afetler, oluşumları tabiat olaylarına dayanan afetlerdir. Aşırı soğuklar ve sıcaklar, kuraklık, kıtlık, deprem, sel, tsunami, toprak kayması, kaya, çığ, fırtına, hortum, volkan, yangın vb. afetler doğa kaynaklı afetler sınıfında yer almaktadır (Tanyaş vd. 2013b). İnsan kaynaklı afetler ise savaşlar, çatışmalar, terör olayları, göçler gibi küresel olaylar ile hatalı veya eksik planlama ve uygulamaların sebep olduğu olaylardır (Kadıoğlu 2011). Asit yağışları, kimyasal kazalar, patlamalar, endüstriyel kazalar, ev ve bina yangınları, sibernetik saldırılar, salgın hastalıklar, hava, su ve çevre kirlenmesi, nükleer ve kimyasal, radyasyon ve radyolojik kazalar insan kaynaklı afetlerden bir kısmıdır (Tanyaş vd. 2013b). Bu sınıflandırmanın yanı sıra afetler jeolojik, klimatik, biyolojik, sosyal ve teknolojik afetler olarak da sınıflandırılmaktadır (bkz. Tablo 1).

Tablo 1. Farklı Afet Türleri

Jeolojik	***Klimatik***	***Biyolojik***	***Sosyal***	***Teknolojik***
Heyelan Tsunami Volkanik patlamalar Deprem Kaya düşmesi	Kuraklık Sıcak dalgası Dolu Soğuk dalgası Hortum Fırtına Sel-su baskını Çiğ Tipi, buzlanma Asit yağmurları Sis Hava kirliliği Orman yangınları Yıldırım	Orman yangınları Erozyon Böcek istilası Salgınlar	Terör saldırıları Yangınlar Savaşlar Göçler	Santral kazaları Maden kazaları Nükleer Kimyasal kazalar Uçak, demiryolu ve gemi kazaları Endüstriyel kazalar

Kaynak: T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2016

Afet yönetimi; afetlerin önlenmesi ve etkilerinin azaltılması maksadıyla, afet öncesi, sırası ve sonrasında gerekli tedbir ve çalışmaların planlanması, yönlendirilmesi, koordine edilmesi, desteklenmesi ve etkin olarak uygulanabilmesi olarak adlandırılmaktadır (AFAD 2014). Afet yönetimi; bütünleşik, çağdaş ve toplum tabanlı bir anlayışla uygulanmalı; can kaybı ile yaralanmaları önlemeyi, sosyo-ekonomik yapı, doğal çevre, kültür ve tabiat varlıklarını korumayı, iş sürekliliğini, hizmetlerin devamını ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlamayı hedeflemelidir (Kalkınma Bakanlığı 2014). Afetler ile ilgili faaliyetler risk ve zarar azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme olarak dört ana evreden oluşmaktadır (Bkz.Şekil 1) (Kalkınma Bakanlığı 2014).



Şekil 1. Afet Yönetim Sisteminin Aşamaları

Hazırlık aşaması afette ortaya çıkabilecek kayıpların azaltılması ve acil yardım ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla, arama-kurtarma faaliyetlerinin geliştirilmesi ile ilgilenmektedir (Şahin 2009). Afet öncesi çalışmalar planlama, satın alma, taşımacılık, depo yönetimi, raporlama ve insan kaynaklarının geliştirilmesi faaliyetlerini düzenler (Tanyaş vd., 2013a). Aynı zamanda sağlık, barınma ve ihtiyaçlar için stok oluşturma, dağıtım ve malzemelerin depolanması ile lojistik merkezlerinin kurulması da kapsar. Risk ve zarar azaltma evresi afet olaylarının önlenmesi veya büyük kayıplara sebep olmaması için gerekli tedbirleri içerir. Bu evre iyileştirme ile yeni bir afet olana kadar olan süreci kapsar (Şahin 2009). Bu aşamada insanları, mal, yapı, hizmet, doğal ve kültürel kaynakları korumak ile afete sonrası ve sırasındaki çalışmalarının maliyetini azaltmak amaçlanır (Kadıoğlu 2011). Müdahale evresi, afet sırasında veya hemen sonrasında hayat kurtarma, yaralıların tedavisini sağlama, barınma, beslenme, güvenlik, psikolojik destek gibi yaşam gereksinimlerinin karşılandığı evredir. Burada faaliyetlerin kısa süre içerisinde en uygun yöntemlerle yapılması hedeflenir (Şahin 2009). İyileştirme aşaması toplulukların ihtiyaçlarının karşılanması, hayatın bir an önce normale döndürülmesi için gereken faaliyetlerden oluşur. Normale dönüş süresinin mümkün olduğunca kısaltılması sürecin başlıca amacıdır (Kalkınma Bakanlığı 2014).

Türkiye, arazi yapısı ve yer şekilleri sebebiyle büyük doğal afetlerle karşı karşıyadır. Hızlı nüfus artışı ve düzensiz şehirleşme doğal afet etkilerini artırmaktadır. Türkiye'deki doğal afetlerin etkileri (sonuçları) açısından sıralaması Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Türkiye'deki Doğal Afetlerin Etki Oranları

Doğal Afet Türü	**Yüzde (%)**
Deprem	61
Sel	14
Toprak kayması	15
Kaya düşmesi	5
Yangın	4
Çığ, fırtına, çamur	1

Kaynak: JICA & İBB, 2002

Tablo 2'de görüldüğü üzere doğal afetler içerisinde en çok etkili olan depremlerdir. Türkiye'de afet denilince akla ilk deprem gelmekte ve alınan önlemler bu kapsamda olmaktadır (JICA ve İBB 2002).

Bu çalışmada ihtiyaç noktalarına acil yardım malzemelerinin en kısa sürede ulaştırılması için kurulacak afet lojistik depolarının yer seçimi problemi ele alınmıştır. Ele alınan problem için iki aşamalı bütünleşik bir model önerilmiştir. İlk aşamada belirli bir kapsama mesafesi için minimum sayıda afet lojistik depolarının sayısını belirleyen bir küme kapsama modeli önerilmiştir. İkinci aşamada ise, talep ağırlıklı mesafe minimizasyonu amaçlı, p-medyan modeli geliştirilmiştir. Buna ek olarak, önerilen iki aşamalı bütünleşik model deprem şiddetinin afetzedelerin ihtiyaç taleplerine olan etkisini görebilmek için farklı kapasite, afetzede sayısı ve kapsama mesafesi senaryoları altında kapasite kısıtlı hale getirilerek analizler yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar incelenmiş, üçüncü bölümüde problem tanımlaması ve önerilen metodolojiye yer verilmiş, dördüncü bölümde uygulama gerçekleştirilmiş, son bölümde ise sonuçlar ve değerlendirmeler aktarılmıştır.

2. Afet Yönetiminde Lojistik Depo Seçim Problemleri

AFAD'a göre, acil yardım malzemelerin afet ve acil durumlarda zarar gören bölgelere gönderilmek üzere depolandığı merkezler *afet lojistik deposu* olarak tanımlanmaktadır (AFAD 2014). Afet lojistik deposu, afet olaylarında acil yardım faaliyetlerinin altyapısı için gerekli başlıca unsurdur (Liu, Chen, ve Gong 2013). Afetler karşısında hazır olabilmek için temel ihtiyaç malzemelerinin stoklanması kaçınılmazdır. Sağlıklı bir depolama hizmetinin yapılabilmesi için depolarda bulunması gereken temel koşullar aşağıdaki gibidir (Önsüz ve Atalay 2015).

- ✓ Ulaşımın kolay yapılabileceği ve uygun çalışma alanlarının sağlandığı yerler seçilmelidir.
- ✓ Dağıtılacak malzemelerin hangi tip depolarda ve nasıl depolanması gerektiği tespit edilmeli, buna göre en uygun depo yerleri en az ulaşım süresini içinde mümkün kılacak şekilde belirlenmelidir.
- ✓ Depolar emin etüdü yapılmış ve afetten zarar görmeyecek alanlarda kurulmalıdır.
- ✓ Depolar havayolları, karayolları, demiryolları ve limanlara yakın ve güvenli yerlerde olmalıdır.

Bu bölümde, geçmiş yıllarda lojistik depo seçimine yönelik yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Kalaycı vd. (2014), çalışmalarında Türkiye genelinde illerde kurulacak afet lojistik depolarının kuruluş yerlerini tespiti, kapasitesi ve bu depolardan hangi noktalara ve ne kadar malzeme gönderileceğini belirlemek için karma tam sayılı programlama modeli kullanılmıştır. Modelde ihtiyaç duyulan malzeme akışının en kısa sürede sağlanması hedeflemektedir. Gözaydın ve Can (2013), Türkiye'de lojistik deposu seçim problemini iki ana senaryo altında incelemiştir. Birinci senaryoda lojistik merkezi-talep noktaları toplam uzaklıkları ile talep noktalarının ağırlıkları toplamının minimizasyonu amaçlanmış, bu doğrultuda P-Median problemi modellenmiştir. İkinci senaryo ise Maksimum Kapsama Alanı Problemi modellenerek, açılacak p adet lojistik merkezi ile maksimum talep noktasının kapsanması amaçlanmıştır. Peker vd. (2016) çalışmalarında afet yönetimi kapsamında Erzincan ilini ele almış ve iki aşamalı bir model önermiştir. İlk aşamada, depo seçim kriterleri Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi ile ağırlıklandırılmış; ikinci aşamada ise VIKOR yöntemi ile uygun kuruluş yeri belirlenmiştir.

Rawls ve Turnquist (2011) Amerika Birleşik Devletlerinin güneydoğusunda meydana gelebilecek bir kasırga afetine karşı, acil yardım malzemesi depolarının yerlerinin ve kapasitelerinin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Maliyet minimizasyonu hedeflenerek, stokastik karma tam sayılı programlama modeli kurulmuştur. Bölgesel ve yerel kurtarma merkezlerinin kurulması problemini iki aşamalı olarak ele alan Döyen vd. (2012); toplam tesis, stok, taşıma ve elde bulundurmama maliyetlerinin minimizasyonu amacıyla karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiş ve model Lagrange Gevşetmesi sezgiseli ile çözülmüştür. Mohammadi vd. (2015) yardım malzemelerinin depolanması, optimal stok miktarı ve optimal malzeme akış miktarının belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Ele alınan problem için çok amaçlı stokastik programlama modeli kurulmuştur. Talep noktalarının kapsanmasının maksimize, maliyetin ve hizmet düzeyindeki farklılıkların minimize edilmesi amaçlanan modelin çözümü için parçacık sürü optimizasyonu algoritması kullanılmıştır. Salman ve Yücel (2014) çalışmalarında tesis seçimi için, maksimum sayıda talep noktasını kapsama amaçlı, stokastik 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli kullanmış ve önerilen modeli tabu arama algoritması kullanarak çözmüşlerdir. Kurulan model İstanbul iline adapte edilmiştir.

Görmez vd. (2011), İstanbul ilinin bölgesel ve yerel malzeme depolarının yerlerinin belirlenmesiyle ilgili yaptıkları çalışmada, ilk aşamasında talep ağırlıklı mesafe minimizasyonu, ikici aşamasında ise ortalama mesafe ve tesis sayısı minimizasyonu için iki aşamalı tam sayılı programlama modeli önermiştir. Liu vd. (2013) depo seçimini konu alan

çalışmalarında bulanık mantık altında, amaçları maliyet ve mesafe minimizasyonu olan çok amaçlı karma tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. Model sezgisel algoritma kullanılarak çözülmüştür. Mete ve Zabinsky (2010) çalışmalarında medikal malzemelerin depo yerlerinin ve stok seviyelerinin belirlenmesi için iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirmiştir. Modelde maliyet ve toplam ulaşım süresinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Balcik ve Beamon (2008) malzeme dağıtım merkezlerinin yerini, sayısını ve bu merkezlerde depolanacak malzemelerin miktarını belirleyen bir maksimum kapsama modeli geliştirmiştir. Amaç merkezler tarafından karşılanacak talebin maksimize edilmesidir. Rath ve Gutjahr (2014), afet çalışmaları kapsamında, malzeme depolarının kurulması ve dağıtım üzerine yaptıkları çalışmalarında üç amaçlı karma tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Problemde epsilon kısıtı kullanılarak problem tek amaca indirilmiş ve ele alınan model sezgisel bir algoritma ile çözülmüştür. Yi ve Özdamar (2007) afet acil durumları için dağıtım ve yer seçim problemini ele almışlardır. Çalışmada beklenen olası bir İstanbul depremi için iki ayrı senaryo üretilmiştir. Önerilen model sezgisel algoritma kullanılarak çözülmüştür.

Hong vd. (2015) çalışmalarında talep ve taşıma kapasitesi belirsizlikleri altında bir afet öncesi yardım ağı tasarımı problemi için stokastik bir model önermiştir. Problem afet yardım faaliyetlerinin etkinliğini artırmak için tesislerinin yerini ve yardım malzemelerinin konumlandırılmasını belirlemektedir. Rennemo vd. (2014) afet esnasında yardım malzemelerinin dağıtılması için üç aşamalı karma tam sayılı stokastik programlama modeli geliştirmiştir. İlk aşamada tesislerin açılması ve merkez tesisten açılan tesislere malzeme dağıtımının yapılması çalışılmıştır. İkinci aşamada malzemelerin dağıtılması için araç rotalaması planlanmıştır. Son aşamada ise model talep belirsizlikleri, araç filosunun kapasitesi ve alt yapı imkanları doğrultusunda değerlendirilmiştir. Jia vd. (2007) büyük ölçekli afet durumlarında, malzemelerin depolanacağı tesislerin yetersizliğini ve belirsiz talep durumlarını inceleyen çalışmaları için maksimum kapsama modeli kullanmışlardır.

Tablo 3. Yapılan Çalışmalar

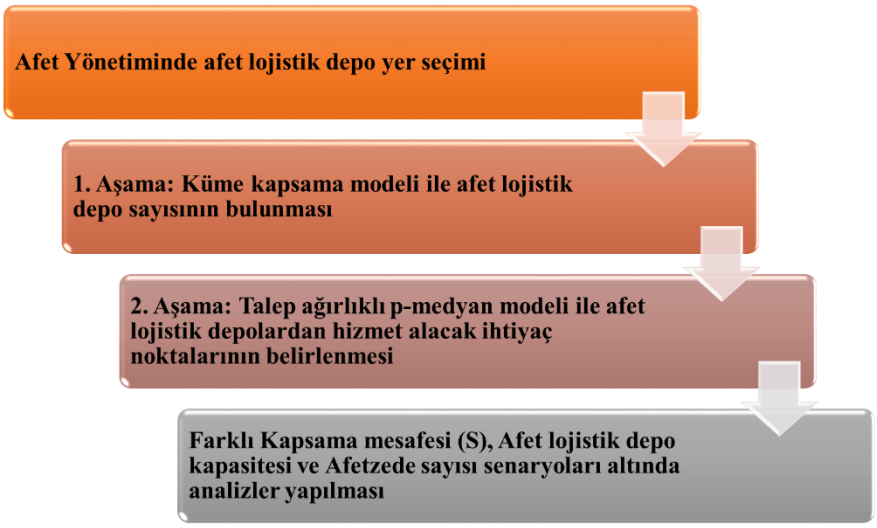
Yazar	Önerilen model
Kalaycı vd. (2014)	Karma tam sayılı programlama
Gözaydın ve Can (2013)	P-medyan & Maksimum kapsama modeli
Peker vd. (2016)	AHP & VIKOR
Rawls ve Turnquist (2011)	Stokastik karma tam sayılı programlama
Döyen vd. (2012);	Karma tam sayılı doğrusal programlama
Mohammadi vd. (2015)	Çok amaçlı stokastik programlama
Salman ve Yücel (2014)	Stokastik 0-1 tamsayılı doğrusal programlama
Görmez vd. (2011)	Tam sayılı programlama modeli
Liu vd. (2013)	Çok amaçlı karma tamsayılı programlama
Mete ve Zabinsky (2010)	Stokastik programlama
Balcik ve Beamon (2008)	Maksimum kapsama alanı modeli
Rath ve Gutjahr (2014)	Karma tam sayılı programlama
Yi ve Özdamar (2007)	Karma tam sayılı programlama
Hong vd. (2015)	Stokastik programlama
Rennemo vd. (2014)	Karma tam sayılı stokastik programlama
Jia vd. (2007)	Maksimum kapsama modeli

Literatür taraması neticesinde bu çalışma kapsamında afet öncesi hazırlık kategorisine girmekte olan afet lojistik depo yer seçim problemi üzerine odaklanılmıştır. Bu süreçte literatürdeki çalışmalardan farklı olarak iki aşamalı bütünleşik bir model önerilmiştir. Modelin ilk aşamasında ele alınan bölgedeki tüm talep noktalarını kapsayacak şekilde minimum sayıda depo açılmasını sağlamak için küme kapsama modeli geliştirilmiştir. Bu şekilde ilk aşama sonucunda elde edilen minimum depo sayısını gösteren p karar değişkeni ikinci aşamadaki p-medyan modelindeki açılması istenen minimum afet lojistik depo sayısını gösteren bir parametre olarak modele girdi şeklinde sunulmuştur. Bu hali ile geliştirilen bütünleşik model afet lojistiği depo yer seçim problemi literatüründe bildiğimiz kadarıyla ilk defa kullanılmaktadır. Ayrıca önemli bir deprem bölgesinde bulunan ve önümüzdeki 30 yıl içerisinde büyük bir deprem beklenen İstanbul'un kalabalık nüfusa sahip büyük ilçelerinden biri olan Maltepe'de böyle bir çalışma ilk defa yapılmaktadır. Bu açıdan çalışmanın yerel yöneticilere afet yönetimi kapsamındaki kararlarda destek vereceği umulmaktadır. Önerilen bütünleşik modelin literatüre bu açılardan katkı sağladığı düşünülmektedir.

3. Problemin Tanımlanması ve Metodoloji

Bu çalışmada ele alınacak konu deprem sonrasında dağıtılacak acil yardım malzemelerinin depolanacağı lojistik depoları için uygun konum tespitini sağlayacak matematiksel modelin kurulmasıdır. Ele alınan problem iki aşamalı olarak modellenmiştir (Bkz. Şekil 2). İlk aşamada farklı kapsama mesafeleri altında, küme kapsama problemi ile kurulacak minimum depo sayısı tespit edilmiştir. Burada en önemli olan parametre kabul edilebilir maksimum hizmet seviyesi olarak da belirtilen açılması düşünülen tesisin kapsama mesafesidir (S). Açılması düşünülen afet lojistik depoların hangi mahallelere hizmet vereceği açılacak olan deponun ne kadarlık bir mesafeyi kapsayacağı ile ilgilidir. Bu açıdan bakıldığında kabul edilebilir maksimum hizmet seviyesi lojistik deponun ne kadarlık mesafedeki mahallelere hizmet vereceğini göstermektedir. Çalışmada bu değer farklı senaryolarla ifade edilmiştir. İkinci aşama iki alt senaryoya ayrılmaktadır. Birinci senaryoya göre ilk aşamanın sonuçları p-medyan problemine girdi olarak verilerek talep ağırlıklı

mesafe minimizasyonu yapılmış ve atamalar gerçekleştirilmiştir. İkinci senaryo için de bu sefer depoların kapasiteli olduğu varsayılarak kapasiteli p-medyan problemi modellenmiş ve bu model üzerinden mesafe, afetzede sayısı ve kapasite analizleri ile farklı senaryolar oluşturulmuştur. Geliştirilen model İstanbul ilinin Maltepe ilçesine uygulanmıştır.



Şekil 2. Problem Akış Şeması

3.1. Önerilen Küme Kapsama ile Bütünleşik P-Medyan Modeli

Küme kapsama problem, talep noktalarını belirli bir hizmet seviyesi altında kapsayacak en az sayıdaki tesisin belirlemesini hedeflemektedir. Aynı zamanda tesis yerleştirme maliyetini, belli bir hizmet seviyesini karşılayacak şekilde minimize etmeyi amaçlar (Farahani vd. 2012). P-medyan problem ise n adet talep noktasına hizmet edecek olan p adet tesisin sistemin ağırlıklı maliyetini minimum yapacak şekilde şebeke üzerinde yerleştirilmesidir (Hakimi 1965; Rolland vd. 1997). Problem tesislerden hizmet alacak talep noktalarının en yakın tesise atanmasını durumunu da içermektedir (Bastı 2012). Bu çalışma kapsamında deprem sırasında ihtiyaç duyulan noktalarına acil yardım malzemelerinin en kısa sürede ulaştırılması için kurulacak afet lojistik depolarının yer seçimi problemi için iki aşamalı bütünleşik bir model önerilmiştir. İlk aşamada talep noktalarının ihtiyaçlarını belirli bir hizmet düzeyinde karşılanabilmesi için minimum sayıda afet lojistik depolarının sayısını belirleyen bir küme kapsama modeli önerilmiştir. Modelin ikinci aşamasında geliştirilen p-medyan modeli ise ilk aşamanın çıktısı olan tesis sayısını parametre olarak almakta ve talep ağırlıklı mesafe minimizasyonu amacını gerçekleştirecek uygun tesis yerlerini tespit etmektedir.
Bu çalışmada önerilen küme kapsama modeli ile bütünleşik p-medyan modelinin matematiksel formülasyonu çalışmada kullanılacak notasyonlarla birlikte aşağıdaki gibidir

Indisler
i: Talep noktalarının indisi (Maltepe ilçesi mahalleleri)
j: Tesislerin indisi (Afet lojistik depo)
Parametreler
n: Potansiyel tesis sayısı (Aday afet lojistik depo sayısı)
S: Açılması düşünülen tesislerin kapsama mesafesi (km)
a_{ij}: i talep noktası ve j tesisi arasındaki mesafe S'den küçük veya S'ye eşitse 1, değilse 0.
w_i = i. talep noktasının talebi
d_{ij} = i. Talep noktası ile j. tesis (afet lojistik depo) arasındaki minimum mesafe
p = Hizmet edecek tesis sayısı (afet lojistik depo)
Q_j= j tesisinin (afet lojistik depo) kapasitesi
Karar değişkenleri
x_j: j noktasında bir tesis kurulmuşsa 1, değilse 0
z_{ij}= i talep noktası j tesisine (afet lojistik depo) atanmışsa 1, değilse 0
y_j= j noktasında bir tesis (afet lojistik depo) açılmışsa 1, değilse 0

1.Aşama: Amaç fonksiyonu $\text{enk } z = \sum_{j=1}^{n} x_j$ (1)

Kısıtlar

$$\sum_{j\in J} a_{ij}.x_j \geq 1 \quad \forall i \quad (i = 1,\dots,m) \qquad (2)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (j=1,\dots,n) \qquad (3)$$

2.Aşama: Amaç fonksiyonu $\text{Enk } z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} w_i . d_{ij} . z_{ij}$ (4)

Kısıtlar

$$\sum_{j=1} z_{ij} = 1 \quad \forall i \quad i = 1, \dots, n \tag{5}$$

$$z_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j \tag{6}$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_j = p \tag{7}$$

$$\sum_{i=1} w_i . z_{ij} = Q_j . y_j \quad \forall j \tag{8}$$

$$z_{ij}, y_j \in \{0,1\} \tag{9}$$

Eşitlik (1) ile gösterilen amaç fonksiyonu ile açılan tesislerin maliyetinin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Eşitlik (2), her talep noktasının, hizmet şartını sağlayan en az 1 tesis tarafından kapsanması gerektiğini ortaya koyar. Eşitlik (3) karar değişkeninin 0-1 tamsayı olma kısıtıdır. Eşitlik (4) hizmet veren tesisler (afet lojistik depo) ile talep noktaları arasında oluşan toplam maliyetin minimum olmasını hedeflemektedir. Eşitlik (5) her talep noktasının yalnız bir tesisten (afet lojistik depo) hizmet almasını sağlar. Eşitlik (6) açık olmayan tesise (afet lojistik depo) talep noktası atanmamasını sağlar. Eşitlik (7) p adet tesisin (afet lojistik depo) açılmasını sağlamaktadır. Kapasiteli p-medyan modelinde yer alan Eşitlik (8), her bir tesis (afet lojistik depo) için ilgili tesisten (afet lojistik depo) hizmet alacak talep noktalarını önceden belirlenmiş bir kapasite değeri ile sınırlandırmaktadır. Eşitlik (9) tüm karar değişkenlerinin 0-1 tamsayı olma kısıtıdır.

3.2. Uygulama

Çalışmada önerilen bütünleşik küme kapsama ve p-ortanca modeli İstanbul'un Maltepe ilçesinde afet lojistik depo yer seçim problemine uygulanmıştır. Maltepe ilçesi on sekiz mahalleden oluşmaktadır (Bkz. Şekil 3). Her mahalle birer talep noktası, aynı zamanda da birer potansiyel lojistik deposu olarak düşünülmüştür.



Şekil 3. Maltepe İlçe Haritası

Kaynak: Maltepe Belediyesi (2016)

Her bir talep noktası ve aday afet lojistik deposunun koordinatı Google Maps'den elde edilmiştir. Talep noktaları ve aday depolar arasındaki mesafeler Durak ve Yıldız (2015)'in çalışmasındaki hesaplama yöntemine göre Öklid mesafe formulü kullanılarak hesaplanmıştır. Modelde kullanılmak üzere mahallelere ait nüfus verileri Türkiye İstatistik Kurumundan alınmıştır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve Japon Uluslararası İş Birliği Ajansının 2002 yılında ortak hazırladığı rapordaki C senaryosu baz alınarak, acil durum ilk yardım hizmetleri için hesaplanan yaralı sayısı nüfusun %5'i olarak belirlenmiştir (JICA ve İBB, 2002).

Önerilen bütünleşik küme kapsama ve p-medyan modelinin çözümünde GAMS 23.5 paket programı kullanılmıştır. Modelin birinci aşaması olan küme kapsama modelinde, talep noktaları ve afet lojistik depo noktaları arasındaki kapsama mesafesi (S) sırayla 1,2,3,4 ve 5 km alınarak beş farklı senaryo altında çözümler elde edilmiştir (Bkz. Tablo 6). Bu şekilde önerilen iki aşamalı modelin birinci aşamasının sonuçları olan açılacak afet lojistik depo sayısı (p) ve konumları önerilen bütünleşik modelin ikinci aşamasında girdi olarak kullanılmak üzere elde edilmiştir.

Tablo 6. Önerilen Bürünleşik Modelin Aşama-1 için Sonuçları

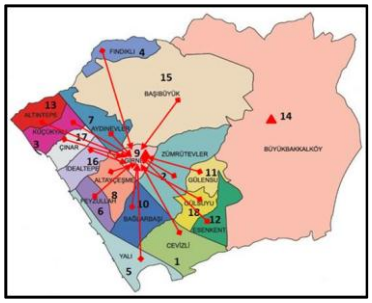
Senaryolar	Kapsama Mesafesi- S (km)	Açılacak Afet Lojistik Depo Sayısı-p	Açılacak Lojistik depo no
Senaryo1	1	10	1,2,3,4,5,7,11,12,14,15
Senaryo2	2	6	1,4,7,8,9,14
Senaryo3	3	3	2,14,17
Senaryo4	4	2	9,14
Senaryo5	5	1	15

Tablo 6'daki sonuçlara göre Maltepe ilçesi için kapsama mesafesi (S) arttıkça açılacak afet lojistik depo sayısının azaldığı görülmektedir. İkinci aşamada ilk olarak kapasitesiz p-medyan problemi çözülmüştür. İlk aşamadan gelen p değeri ve afet lojistik depo konumları girdi olarak modele dahil edilmiştir. Sonuçlar Tablo 7 ve Şekil 4,5,6,7,8'de gösterilmiştir.

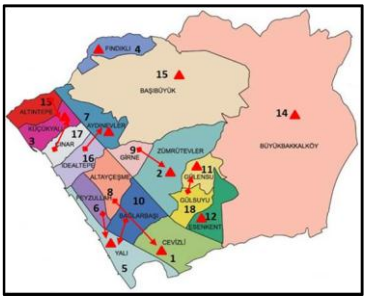
Kapasitesiz P-Medyan modelinin sonuçları ve farklı kapsama mesafeleri için analizler:

Tablo 7. Önerilen Bürünleşik Modelin Aşama-2 Kapasitesiz P-Medyan modeli sonuçları (Farklı Kapsama Mesafesi Senaryolarına göre)

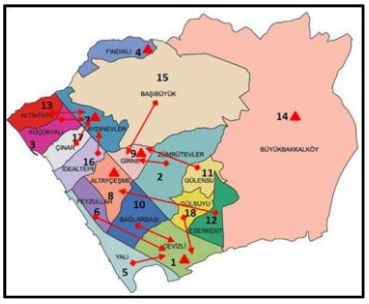
Senaryolar (kapsama mesafeleri)	**Amaç fonksiyonu**	**Afet Lojistik Depo no.**	**Hizmet edilecek talep noktası**
Senaryo1 (S=1 km)	7.156,19	1	1,8
		2	2,9
		3	3,13,17
		4	4
		5	5,6,10
		7	7,16
		11	11,18
		12	12
		14	14
		15	15
Senaryo2 (S=2 km)	21.777,83	1	1,5,6,10,18
		4	4
		7	3,7,13,16,17
		8	8,12
		9	2,9,11,15
		14	14
Senaryo3 (S=3 km)	34.374,24	2	1,2,5,6,8,9,10,11,12,15,18
		14	14
		17	3,4,7,13,16,17
Senaryo4 (S=4 km)	53.612,11	9	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,15,16,17,18
		14	14
Senaryo5 (S=5 km)	79.296,06	15	Hepsi



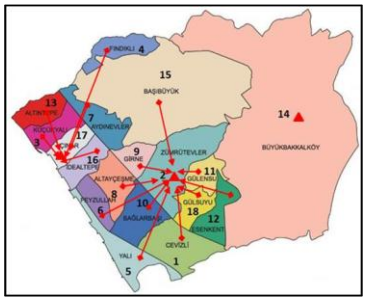
Şekil 4. Aşama-2 Senaryo1



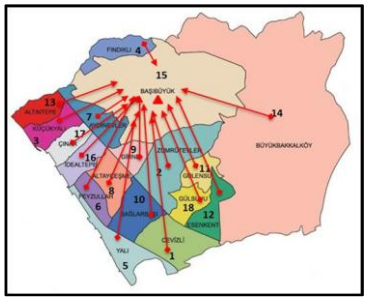
Şekil 5. Aşama-2 Senaryo2



Şekil 6. Aşama-2 Senaryo3



Şekil 7. Aşama-2 Senaryo4



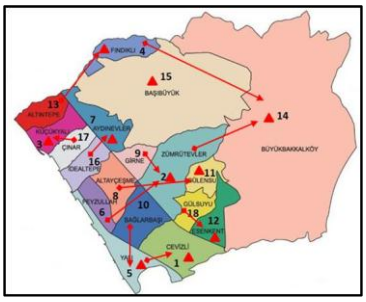
Şekil 8. Aşama-2 Senaryo5

Kapasite kısıtlı P-Medyan Modelinin farklı kapsama mesafelerine göre çözümü:

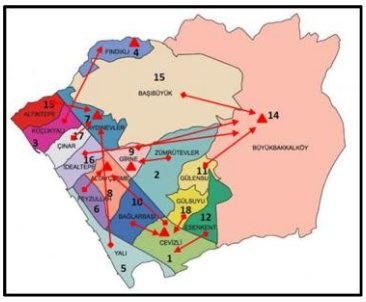
İkinci aşamanın kapasiteli p-medyan modelinin çözümünde de bir önceki modelde olduğu gibi birinci aşamanın sonuçları kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 8 ve Şekil 9,10,11,12,13'teki gibidir.

Tablo 8. Önerilen Bütünleşik Modelin Aşama-2 Kapasiteli *P*-Medyan Modeli Sonuçları (Farklı kapsama mesafesi senaryolarına göre)

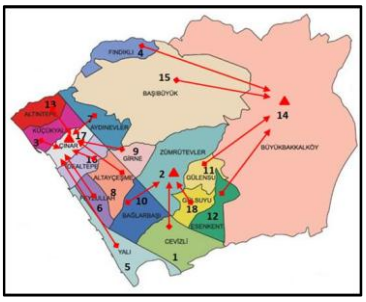
Senaryolar	Kapasite	Amaç fonksiyonu	Afet Lojistik Depo	Hizmet edilecek talep noktası
Senaryo1 (S=1 km)	2500	54.482,43	1	1,5
			2	6,9
			3	3,17
			4	13
			5	10
			7	7,16
			11	8,11
			12	12,18
			14	2,4,14
			15	15
Senaryo2 (S=2 km)	4500	33.257,83	1	10,12,18
			4	3,4
			7	5,7,13,17
			8	1,6,8
			9	2
			14	9,11,14,15,16
Senaryo3 (S=3 km)	8500	62.032,71	2	1,2,10,18
			14	4,8,11,12,14,15
			17	3,5,6,7,9,13,16,17
Senaryo4 (S=4 km)	12500	95.814,68	9	2,3,6,7,9,10,13,16
			14	1,4,5,8,11,12,14,15,17,18
Senaryo5 (S=5 km)	25000	79.293,65	15	Hepsi



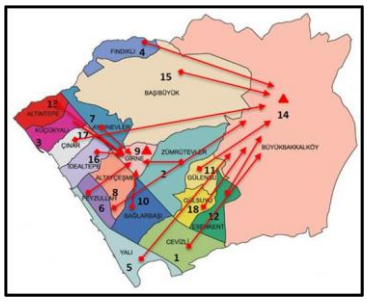
Şekil 9. Aşama-2 Kap.li Senaryo1



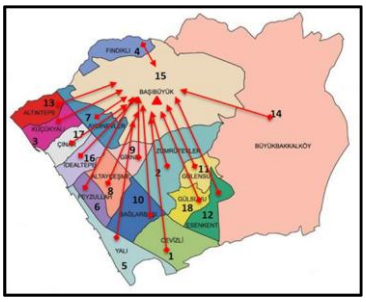
Şekil 10. Aşama-2 Kap.li Senaryo2



Şekil 11. Aşama-2 Kap.li Senaryo3



Şekil 12. Aşama-2 Kap.li Senaryo4



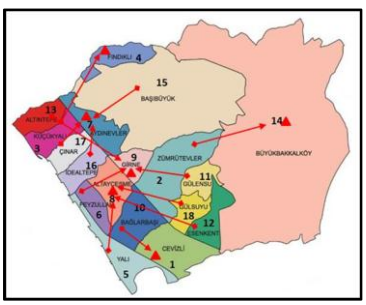
Şekil 13. Aşama-2 Kap.li Senaryo5

Farklı afetzede sayısı senaryolarına göre kapasiteli P-Medyan modeli çözümleri:

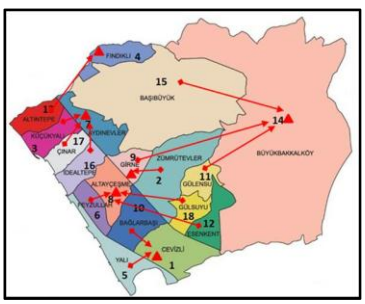
Problemin bu aşamasında kapsama mesafesi 2 km olarak sabit tutulup, %5 kabul edilen afetzede sayısı sırasıyla toplam ilçe nüfusunun % 3, % 5, % 7 ve % 9'u olarak alınarak probleme yeni senaryolar eklenmiştir. Sonuçlar Tablo 9 ve Şekil 14,15,16,17'de gösterildiği gibidir.

Tablo 9. Farklı Afetzede Sayısı Senaryolarına Göre Aşama-2 Kapasiteli P-Medyan Modeli Çözümleri

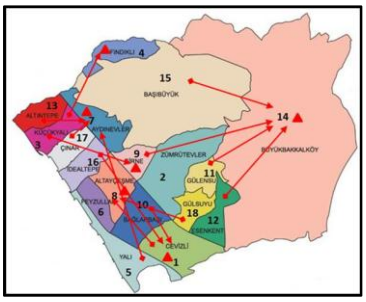
Senaryolar	Afetzede oranı	Kapasite	Amaç fonksiyonu	Afet Lojistik Depo	Hizmet edilecek talep noktası
Senaryo5	%3	2500	27.598,79	1	10,1
				4	3,4
				7	7,15,16,17
				8	5,8,12,18
				9	6,9,11,13
				14	2,14
Senaryo6	%5	4500	33.258,89	1	1,5,10
				4	4,13
				7	3,7,16,17
				8	6,8,12,18
				9	2
				14	9,11,14,15
Senaryo7	%7	6000	58.931,01	1	6,10,16
				4	3,4
				7	5,7,13,17
				8	1,8,18
				9	3
				14	9,11,12,14,15
Senaryo8	%9	7500	82.796,36	1	10,1
				4	3,4
				7	7,15,16,17
				8	5,8,12,18
				9	6,9,11,13
				14	2,14



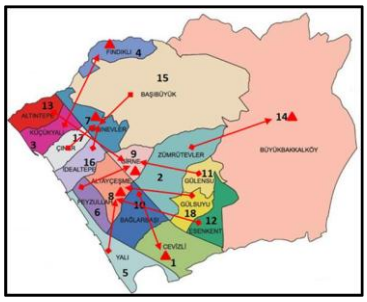
Şekil 14. Senaryo5



Şekil 15. Senaryo6



Şekil 16. Senaryo7



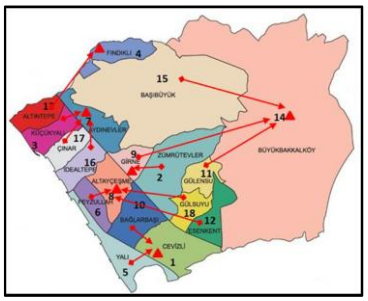
Şekil 17. Senaryo8

Kapasiteli p-medyan modeli için kapasite analizi:

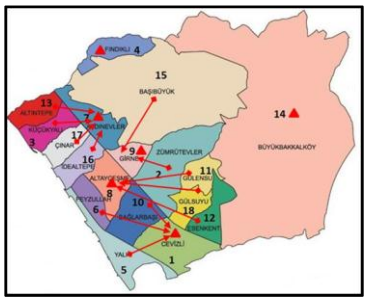
Çalışmada son olarak kapasite analizi gerçekleştirilmiştir. Kapsama mesafesi 2 km, afetzede nüfusu oranı %5 kabul edilerek kapasite parametresinde değişimler yapılıp, sonuçlar gözlenmiştir. Sonuçlar Tablo 10 ve Şekil 18,19,20'de gösterildiği gibidir. 7500 birim kapasiteden fazlası aynı sonucu vermektedir.

Tablo 10. Afet Lojistik Depo Kapasite Senaryoları

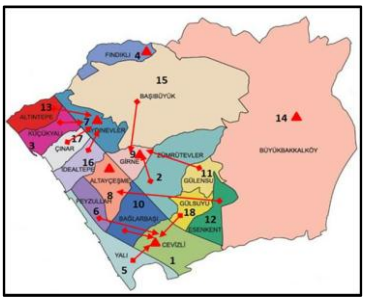
Senaryolar	Kapasite	Amaç fonksiyonu	Afet Lojistik Depo	Hizmet edilecek talep noktası
Senaryo9	4500	33.258,89	1	1,5,10
			4	4,13
			7	3,7,16,17
			8	6,8,12,18
			9	2
			14	9,11,14,15
Senaryo10	6000	22.363,18	1	1,5,6,10
			4	4
			7	3,7,13,16,17
			8	8,11,12,18
			9	2,9,15
			14	14
Senaryo11	7500	21.777,83	1	1,5,6,10,18
			4	4
			7	3,7,13,16,17
			8	8,12
			9	2,9,11,15
			14	14



Şekil 18. Senaryo9



Şekil 19. Senaryo10



Şekil 20. Senaryo11

4. Sonuç ve Değerlendirme

Gerek insan gerekse doğal kaynaklar meydana gelip canlı yaşamı ve faaliyetlerini olumsuz yönde etkileyen olaylar afet olarak ifade edilmektedir. Ülkemizde ise afet denilince akla ilk olarak deprem gelmektedir. Afet yönetimi, afet öncesi, afet esnası ve sonrasında yapılması gereken faaliyetlerin planlanması ve koordine edilmesini içeren bir süreçtir. Afet yönetimi kavramı; risk ve zarar azaltma aşaması, hazırlık aşaması, müdahale aşaması ve iyileştirme aşaması olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır.

Bu çalışmada afet öncesi hazırlık aşamasına ait faliyetlerden olan afet lojistik depolarının yer seçimi problemi ele alınmıştır. Ele alınan problem için iki aşamadan oluşan bütünleşik bir model önerilmiştir. Modelin ilk aşamasında küme kapsama problemi ile talep noktalarını kapsayacak minimum sayıdaki depo sayısı ve lokasyonu bulunmuş; ikinci aşamada *p*-medyan problemi ile talep noktalarının açılan depolara atanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca p-medyan modeli tesislerin kısıtlı kapasiteye sahip olması durumu dikkate alınarak farklı tesis kapasitesi senaryoları için çalıştırılmıştır. Önerilen bütünleşik model Istanbul Maltepe ilçesi afet lojistik depo yer seçim problemine uygulanmıştır. Sonuçlar, afet yönetiminin önemli bir aşaması olan ilk yardım malzemelerinin depolanacağı yerlerin etkin ve etkili bir şekilde tespit edilmesini sağlayarak bu konuda yerel idareler için karar alma aşamasını kolaylaştırmaktadır. Istanbul Maltepe ilçesi uygulaması için elde edilen çözümlerde modelin ilk aşamasında afet lojistik deponun sırasıyla 1,2,3,4 ve 5 km mesafedeki mahalleleri kapsaması/ hizmet vermesi senaryolarına göre tüm ilçeyi kapsayan ve maliyetleri minimize eden depo sayısı tespit edilmiştir. Buna ek olarak, önerilen bütünleşik modelin ikinci aşaması olan p-medyan modelinin kapasite kısıtı altında farklı kapsama mesafesi, afetzede sayısı ve kapasite değerlerine göre de çözümleri yapılarak farklı seneryolar için analizler yapılmıştır.

Ileriki çalışmalarda, depo kapasitesi, afetten etkilenecek insan sayısı gibi parametrelerin belirsiz alınarak stokastik bir model geliştirilebilir. Bunun yanında p-medyan probleminde amaç fonksiyonundaki ağırlık parametresi afetten etkilenme indeksi adı altında çok kriterli karar verme teknikleri yardımıyla hesaplanabilir.

KAYNAKÇA

AFAD. 2014. "Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü.", https://aats.afad.gov.tr/,(Erişim tarihi:30.09.2016)

Balcik, Burcu, ve Benita M. Beamon. 2008. "Facility Location in Humanitarian Relief." International Journal of Logistics: Research & Applications 11 (2): 101–21. doi:10.1080/13675560701561789.

Bastı, Mehmet. 2012. "P-Medyan Tesis Yeri Seçim Problemi ve Çözüm Yaklaşımları." Online Academic Journal of Information Technology 3 (7): 47–75. doi:10.5824/1309-1581.2012.2.004.x.

Döyen, Alper, Necati Aras, ve Gülay Barbarosoğlu. 2012. "A Two-Echelon Stochastic Facility Location Model for Humanitarian Relief Logistics." Optimization Letters 6 (6): 1123–45. doi:10.1007/s11590-011-0421-0.

Durak, İsmail, ve Mehmet Selami Yıldız. 2015. "P- Medyan Tesis Yeri Seçim Problemi : Bir Uygulama." Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi 7 (2): 43–64.

Farahani, Reza Zanjirani, Nasrin Asgari, Nooshin Heidari, Mahtab Hosseininia, and Mark Goh. 2012. "Covering Problems in Facility Location: A Review." Computers and Industrial Engineering 62 (1). Elsevier Ltd: 368–407. doi:10.1016/j.cie.2011.08.020.

Görmez, Nihan, Koksalan, Murat ve Sibel Salman. 2011. "Locating Disaster Response Facilities in İstanbul." Journal of the Operational Research Society 62: 1239–52. doi:10.1057/jors.2010.67.

Gözaydın, Orhan, ve Tuncay Can. 2013. "Deprem Yardım İstasyonları İçin Lojistik Merkezi Seçimi: Türkiye Örneği." Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi 6 (2): 17–31.

Hakimi, S. L. 1965. "Optimum Distribution of Switching Centers in a Communication Network and Some Related Graph Theoretic Problems." Operations Research 13 (3): 462–75.

Hong, Xing, Miguel A Lejeune, ve Nilay Noyan. 2015. "Stochastic Network Design for Disaster Preparedness." IIE Transactions 47 (4): 329–57.

Jia, Hongzhong, Fernando Ordonez, and Maged M. Dessouky. 2007. "Solution Approaches for Facility Location of Medical Supplies for Large-Scale Emergencies." Computers & Industrial Engineering 52: 257–76. doi:10.1016/j.cie.2006.12.007.

JICA, ve İBB. 2002. "Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması." Vol. 5.

Kadıoğlu, Mikdat. 2011. Afet Yönetimi. T.C. Marmara Belediyeler Birliği Yayını. İstanbul, 2011

Kalaycı, Seda, Ayfer Aybulut, Mesude Gürkan, ve Alaattin Genç. 2014. "Afet Lojistiği: Ulusal Malzeme Depolama Kurulum Yerlerinin Seçimi, Depo Iç Tasarımı ve Malzeme Akış Planı Modeli," no. 1: 1–5. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2.

Kalkınma Bakanlığı, TC. 2014. "Afet Yönetiminde Etkinlik." Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara 2014,

Liu, Cheng, Ze Hui Chen, ve Yu Yan Gong. 2013. "Site Selection of Emergency Material Warehouse under Fuzzy Environment." Journal of Central South University 20 (6): 1610–15. doi:10.1007/s11771-013-1653-1.

Maltepe Belediyesi Afet Bilgi Sistemi (MBABS), http://webgis.maltepe.bel.tr/keos/Map5.aspx?WorkSpaceName=AFETHRT

Mete, Huseyin Onur, ve Zelda B. Zabinsky. 2010. "Stochastic Optimization of Medical Supply Location and Distribution in Disaster Management." International Journal of Production Economics 126 (1). Elsevier: 76–84. doi:10.1016/j.ijpe.2009.10.004.

Mohammadi, Reza, S.M.T. Fatemi Ghomi, ve F. Jolai. 2015. "Pre-Positioning Emergency Supplies for Earthquake Response: A New Multi-Objective Particle Swarm Optimization Algorithm." Applied Mathematical Modelling. Elsevier Inc. doi:10.1016/j.apm.2015.10.022.

Önsüz, M.Fatih, ve Burcu Işıktekin Atalay. 2015. "Afet Lojistiği." Osmangazi Tıp Dergisi 37 (3): 1–6.

Peker, İskender, Selçuk Korucuk, Şule Ulutaş, Burcu Sayın Okatan, ve Firdevs Yaşar. 2016. "Afet Lojistiği Kapsamında En Uygun Dağıtım Merkez Yerinin AHS-VIKOR Bütünleşik Yöntemi Ile Belirlenmesi: Erzincan Ili Örneği." Önetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi 14 (1): 82–103. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.

Rath, Stefan, ve Walter J. Gutjahr. 2014. "A Math-Heuristic for the Warehouse Location-Routing Problem in Disaster Relief." Computers and Operations Research 42. Elsevier: 25–39. doi:10.1016/j.cor.2011.07.016.

Rawls, Carmen G., ve Mark A. Turnquist. 2011. "Pre-Positioning Planning for Emergency Response with Service Quality Constraints." OR Spectrum 33 (3): 481–98. doi:10.1007/s00291-011-0248-1.

Rennemo, Sigrid, Kristina Fougner, Lars Magnus Hvattum ve Gregorio Tirado. 2014. "A Three-Stage Stochastic Facility Routing Model for Disaster Response Planning." Transportatıon Research Part E 62. Elsevier Ltd: 116–35. doi:10.1016/j.tre.2013.12.006.

Rolland, Erik, David a. Schilling, ve John R. Current. 1997. "An Efficient Tabu Search Procedure for the P-Median Problem." European Journal of Operational Research 96 (2): 329–42. doi:10.1016/S0377-2217(96)00141-5.

Salman, F. Sibel, ve Eda Yücel. 2014. "Emergency Facility Location under Random Network Damage: Insights from the Istanbul Case." Computers and Operations Research 62. Elsevier: 266–81. doi:10.1016/j.cor.2014.07.015.

Şahin, Necmettin. 2009. "Afet Yöetimi ve Acil Yardım Planları." In TMMOB İZMİR KENT SEMPOZYUMU, 131–42.

Tanyaş, Mehmet, Yavuz Günalay, Levent Aksoy, ve Burak Küçük. 2013a. "Afet Lojistik Yönetiminde Rize İline Yönelik Yeni Model Önerisi." In II. Rize Kalkınma Sempozyumu.

Tanyaş, Mehmet, Yavuz Günalay, Levent Aksoy, ve Burak Küçük. 2013b. "İstanbul İli Afet Lojistik Planı Klavuzu."

Yi, Wei, ve Linet Özdamar. 2007. "A Dynamic Logistics Coordination Model for Evacuation and Support in Disaster Response Activities." European Journal of Operational Research 179 (3): 1177–93. doi:10.1016/j.ejor.2005.03.077.