Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 25(1), 98-105, 2019

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Deprem sonrası planlamaya yönelik lojistik ağ tasarımı: Ümraniye bölgesinde farklı deprem senaryoları için bir uygulama

Logistic network design for post-earthquake planning: A case study for Ümraniye district under different earthquake scenarios

Gül TEKİN TEMUR[1], Yelda TURGUT[2], Abdurrahman YILMAZ[3], Şafak ARSLAN[4], Alper CAMCI[5]*

[1,5]İşletme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
gul.temur@eng.bau.edu.tr, alper.camci@eng.bau.edu.tr

[2,3,4]Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Işık Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
yeldaturgut.yt@gmail.com, abdurr4hm4n@hotmail.com, safak.arslan@isikun.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 16.02.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 16.05.2018 doi: 10.5505/pajes.2018.11736
* Yazışılan yazar/Corresponding author Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, deprem sonrası planlamaya yönelik bir lojistik ağ tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımda amaç, deprem sonrası hayatta kalan kişilerin, gereksinim duyulan temel insani ihtiyaçlara erişiminin en kısa sürede sağlanabileceği bir planlama yapmaktır. Bu doğrultuda, seçili bir bölgede yer alan her mahallenin insani yardım ve ihtiyaç skoru hesaplanmış, insani yardım ve ihtiyaç skoru hesaplaması üzerinden acil malzeme dağıtım merkezi lokasyonları tanımlanmış ve her bir mahallenin hangi dağıtım merkezine bağlanması gerektiği ortaya çıkarılmıştır. Lojistik ağ tasarımı optimizasyonu için iki aşamalı bütünleşik bir model oluşturulmuştur. İlk aşamada, her biri potansiyel bir malzeme dağıtım merkezi olma adayı olan mahallelerin, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi yardımı ile insani yardım ve ihtiyaç skoru ortaya çıkarılmıştır. Sonraki aşamada ise insani yardım ve ihtiyaç skoru ağırlıklı ve uzaklık minimizasyonu amaçlı p-medyan modeli yardımıyla hangi mahallelerde dağıtım merkezi açılması gerektiğinin yanı sıra hangi mahallelerin hangi dağıtım merkezine bağlanması gerektiği hesaplanmıştır. Önerilen model, İstanbul ili Ümraniye ilçesi için, deprem sonrası süreçte insani yardım dağıtım merkezi kurma problemine uygulanmış ve model, farklı deprem senaryoları için yeniden kurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Deprem sonrası afet yönetimi, İnsani yardım dağıtım merkezi seçimi, Lojistik ağ tasarımı, p-medyan modeli

Abstract

In this study, a logistic network design for post-earthquake planning was developed. The purpose of this design is to develop a plan that enables earthquake survivors to access to basic humanitarian needs in the shortest time. In this direction, humanitarian aid and need scores were calculated for each neighborhood in a selected region, using the humanitarian aid and need scores emergency material distribution center locations were defined and distribution centers to which each neighborhood will be connected were identified. An integrated two-stage model for logistic network design optimization is proposed. In the first stage, using Analytical Hierarchy Process (AHP), humanitarian aid and need scores of the neighborhoods, each of which is a candidate for a potential distribution center, were determined. In the next stage, with the help of humanitarian aid and need score weighted and distance minimization aiming p-median model, the neighborhoods in which the distribution centers should be located as well as the distribution centers which other neighborhoods should be connected to, were identified. The proposed model was applied to the problem of establishing humanitarian aid distribution centers in the post-earthquake period for the Ümraniye district of Istanbul province, and the model was reconstructed for different earthquake scenarios.

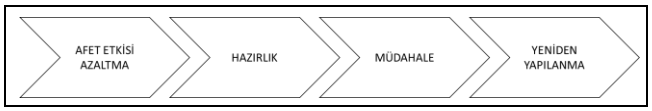
Keywords: Post-earthquake disaster management, Humanitarian aid distribution center selection, Logistics network design, p-median model

1 Giriş

Çok aktif deprem fay hatları üzerinde yer alan ülkemiz, her an yeni bir deprem felaketine hazırlıklı olma sorumluluğundadır. Bu sorumluluk, özellikle 17 Ağustos 1999'da meydana gelen Marmara Bölgesi depremi ve sonrasındaki 12 Kasım 1999 Düzce depremi gibi depremlerin yoğun yapılaşma alanlarında oluşturduğu yıkıcılığın üstesinden gelebilmek ve gelecekteki olası felaketlerin önüne geçebilmek açısından önemlidir. Bu depremler ve sonrasında meydana gelen 2004 Hint Okyanusu depremi ve onu takip eden deprem dalgası (tsunami) felaketi, bu tür felaketlerde etkin ve verimli acil yardım hizmetleri için lojistiğin rolü hakkında farkındalığı arttırmıştır [1].

T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), afet kavramını "toplumun tamamı veya belli kesimleri için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar doğuran, normal hayatı ve insan faaliyetlerini durduran veya kesintiye uğratan, etkilenen toplumun baş etme kapasitesinin yeterli olmadığı doğa, teknoloji veya insan kaynaklı olaylar" olarak tanımlamış [2] ve afetin insan veya doğa kaynaklı olayların kendisi olmayıp, bu olayların doğurduğu sonuçlar olarak açıklamıştır. AFAD, afet lojistik yönetimini "afet anında ve sonrasında ihtiyaç duyulan malzeme, ekipman, araç ve personel ihtiyacının temin edilerek doğru zamanda doğru afet bölgesine ulaştırılması ve ulaştıktan sonra da hayat şartlarının normale dönünceye kadar yardım faaliyetlerinin devamlılığının sağlanması" olarak tanımlamıştır [2].

Kovacs ve Spens, afet yönetimini 3 aşamalı bir süreç olarak tanımlamış ve bu aşamaları "hazırlık", "acil müdahale" ve "yeniden yapılanma" olarak belirlemiştir [3]. Şekil 1'de görüldüğü gibi, bu aşamalara ayrıca devletin, afetin oluşmasından önce alacağı yapısal önlemleri içeren afet etkisi azaltma önlemleri de ön süreç olarak eklenebilir [4]. Afet etkisi azaltma aşaması; devletin ve yerel yönetimlerin, alt ve üst yapıların afetten mümkün olan en az yıkımla çıkmaları ve sosyal düzenin zafiyetlerini en az düzeyde tutmaları için almaları gereken önlemleri, çıkarmaları gereken kanun ve yönetmelikleri içerir [4]. Bu aşama hem afet öncesi hem de afet sonrası edinilen öğrenimlerle sürekli bir değişimi gerektirir.



Şekil 1: Afet yönetimi aşamaları [4].

Afet öncesi hazırlık aşaması, etkili müdahale ve yapılanma için gerekli olan stratejilerin belirlenmesi, planların ve alt yapıların oluşturulması açısından çok önemlidir [4] Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de en yıkıcı doğal afetlerden biri olan depremler sonrasında hayatta kalan kişiler için bekleme sürelerini minimuma indirmek amacıyla, genelleştirilebilir bir lojistik ağı tasarlamaktır. Önerilen lojistik ağ tasarımında, belirlenen bir ilçedeki (Ümraniye) her mahallenin insani yardım ve ihtiyaç skoru hesaplanarak, ara dağıtım merkezlerinin yerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma; dağıtım yeri seçimine etki eden kriterlerin kapsamlı bir biçimde ele alınması, gerçek koşullar altında bir uygulama örneği sunması, önerilen yaklaşımın içerisindeki parametrelerin değişiklik göstermesi halinde ne gibi durumlarla karşılaşılacağına ilişkin bir öngörü ortaya koyması ve farklı afet senaryolarının kararları doğrudan etkilediğini göstermesi gibi yönleriyle ilgili literatüre katkıda bulunmaktadır.

2 Literatür çalışması

Afet yönetiminde, hazırlık, acil müdahale ve yeniden yapılanma aşamalarına yönelik etkin karar vermede, çok kriterli karar verme yöntemlerinden ve yöneylem araştırması tekniklerinden sıkça yararlanılmaktadır. Altay ve Green'e göre felaketlerin etkin ve verimli yönetilmesi bakımından yöneylem araştırması metotlarının kullanılması muazzam bir potansiyel göstermektedir [5]. Mete ve Zabinsky, afet yönetiminde kullanılabilecek tıbbi sarf malzemelerinin muhafaza ve dağıtım problemi için çeşitli afet türleri ve büyüklüklerine bağlı senaryolar kullanılarak gerçekleştirilen stokastik optimizasyon yaklaşımını önermektedirler [6]. Jabbarzadeh ve diğ. afetler sırasında ve sonrasında kan temini için bir ağ tasarımı modeli sunmaktadır [7]. Salman ve Yücel olası bir İstanbul depreminde şebeke yollarında gerçekleşecek olan hasarları göz önüne tutarak, çok fazla olası sonuçtan kaynaklanan hesaplama zorluğunun üstesinden gelmek için, örnek ağ senaryoları üzerinde Tabu Arama algoritması ile çözüm önermişlerdir [8].

Altay ve Green'in [5] çalışmalarını daha ileriye taşıyan Galindo ve Batta afet yönetiminde yöneylem araştırması yöntemleri yanında diğer disiplinler arası yöntemlerin kullanılmasının, vaka çalışmalarının daha gerçekçi ele alınmasını sağladığını savunmaktadır [9]. Bu öneriler, bu yayında ağ tasarımında temel yöneylem araştırması yöntemleri yanında karar verme yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)'nin kullanılarak, problemin daha gerçekçi olarak yansıtılması olarak hayata geçirilmiştir. Hong ve Xiaohu, çok amaçlı acil durum lojistik merkez kuruluş yeri seçim problemi için çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik faktörleri göz önünde bulundurmuştur [10]. Lojistik ağ içinde dağıtım noktalarının seçimi, yöneylem araştırması yöntemlerinin yanı sıra bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemidir [11]. Saaty tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi, lojistik dağıtım merkezi seçim problemlerinde çokça uygulama alanı bulmuştur [12]. Korpela ve Tuominen, AHP kullanarak depo yeri seçimi için bir karar destek sistemi geliştirmiş ve güvenilirlik, esneklik ve stratejik uyumu gibi kriterleri temel kriterler olarak belirlemişlerdir [13]. Alberto, çalışmasında endüstriyel lojistik tesis yeri seçim kararı için AHP yöntemini kullanmış ve ana seçim kriterleri olarak çevresel özellikler, maliyet, yaşam kalitesi, yerel teşvikler, müşterilere zaman güvenilirliği sağlanması, müşterinin talebine yanıt esnekliği ve müşterilerle entegrasyonu belirlemiştir [14]. Roh ve diğ. depo yeri seçiminde AHP kriterleri olarak dikkate alınan temel faktörleri ampirik olarak araştırmışlar ve işbirliğinin en önemli faktör olduğunu, bunu ulusal istikrar, maliyet, lojistik ve konumun izlediğini belirlemişlerdir [15]. Boltürk ve diğ. Türkiye'deki bir insani yardım depo yeri seçimi vaka çalışmasını tereddütlü bulanık AHP yöntemi kullanarak değerlendirmişler ve seçim kriterleri olarak coğrafi konum, ulaşım bağlantı imkânları, maliyet, istikrarlı yönetim, işgücü mevcudiyetini belirlemişlerdir [16]. Ofluoğlu ve diğ. afet lojistiği kapsamında en uygun depo yerinin belirlenmesi amacıyla çok kriterli karar verme modeli tasarlanması amacıyla Entropi Tekniği kullanarak kriter ağırlıkları hesaplamış ve ardından alternatif depo yerlerini SAW, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerini kullanarak belirlemişlerdir [11].

İlgili literatür çalışması, (1) ülkemizde deprem sonrası planlamaya yönelik gerçek verilerle yapılan değerlendirmelerin yeterli sayıda olmadığını, (2) yer seçimi kararlarında ÇKKV yöntemleriyle bir seçim yapılsa dahi, bu sürecin çıktılarını kullanarak ağ tasarımı gerçekleştiren bütünleşik çalışmaların yeterli sayıda olmadığını gözler önüne sermektedir. Bu çalışmada, AHP ve tam sayılı programlama modeline dayalı iki aşamalı bütünleşik bir ağ tasarımı modeli geliştirilerek, modelin gerçek veriler ile uygulanması sağlanmıştır. Başlı başına ÇKKV modeli ile seçim yapılması durumu yerine, optimizasyon yaklaşımı ile sonuca ulaşan bu çalışma ile daha analitik bir çözüm üretilmiş olacaktır.

3 Yöntem

Bu çalışmada lojistik ağ tasarımı optimizasyonu için iki aşamalı bütünleşik bir model oluşturulmuştur. İlk aşamada, her biri potansiyel bir malzeme dağıtım merkezi olma adayı olan mahallelerin, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yardımı ile insani yardım ve ihtiyaç skoru ortaya çıkarılmıştır. Çalışmada, geleneksel ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP'nin seçilmesinin nedenleri olarak, (1) kişisel değerlendirmelerin karşılaştırmalı olarak elde edilmesinde kullanılan anket matrislerinin anlaşılırlığının tatmin edici olması, (2) sonuçlara hızlı bir şekilde ulaşmanın mümkün olması ve (3) yöntemin, anketin tutarlılığının sınanmasını da sağlaması sayılabilir. AHP ile sonlu karar verme süreçleri için hiyerarşik bir yapı ortaya konularak uzmanların tecrübe, bilgi ve düşünceleri sistematik olarak bir arada değerlendirilmektedir [17]. Böylece kendi aralarında farklılık gösteren önem düzeylerine sahip olan karar vericilerin, karar kriterlerini ve seçenekleri değerlendirmesinde daha etkin bir yol izlenmiş olacaktır [18].

AHP uygulaması sonrası aşamada ise insani yardım ve ihtiyaç skoru ağırlıklı ve uzaklık minimizasyonu amaçlı p-medyan modeli yardımıyla hangi mahallelerde dağıtım merkezi açılması gerektiğinin yanı sıra hangi mahallelerin hangi dağıtım merkezine bağlanması gerektiği hesaplanmıştır. Çalışmada 2 ana yöntemden faydalanılmıştır: (1) Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve (2) P-Medyan Modeli.

3.1 Analitik hiyerarşi prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Saaty tarafından geliştirilmiş bir karar verme aracıdır [12]. Hem niteliksel hem de niceliksel kriterlerin ele alınabildiği; kriterler ve seçim sürecine dâhil olan alternatiflerin göreli karşılaştırma matrisleri ile değerlendirildiği bir metottur. Bu metotta ana kriterler ve bu ana kriterlere bağlı alt kriterler birbirleri ile karşılaştırmalı

olarak değerlendirilerek önem dereceleri ortaya çıkarıldıktan sonra, alternatiflerin alt kriterlere bağlı olarak değerlendirilmesi yapılmakta ve alternatiflerin birbirlerine göre üstünlükleri ortaya çıkarılmaktadır. Bu süreç özetle 3 ana bölümde ele alınmaktadır: (1) kriterler, alt kriterler ve alternatiflere bağlı hiyerarşinin oluşturulması, (2) ikili karşılaştırmaların yapılması, ve (3) kriterlerin ve alternatiflerin önem derecelerinin hesaplanarak alternatiflerin üstünlük sıralamasının ortaya çıkarılması. İkili karşılaştırmalar yapılırken, Saaty'nin önerdiği değerler kullanılmaktadır (bk. Tablo 1).

Tablo 1: İkili karşılaştırmada kullanılan değerler.

Değerler	Önem Düzeyi
1	Eşit
3	Daha önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Aşırı derecede önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

İkili karşılaştırmalarda $A = |a_{ij}|_{nxn}$ ile ifade edilebilen matrisler oluşturulur ve aşağıdaki formülasyon aracılığıyla $B = |b_{ij}|_{nxn}$ matrisi elde edilir.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \quad (1)$$

Karar kriterlerinin ağırlıkları ($W = |w_i|_{nx1}$) ise aşağıdaki denklem yardımıyla bulunur.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} b_{ij}}{n} \quad (2)$$

Yukarıdaki adımlar, her bir ana kriter ve alt kriter için izlendikten sonra alternatifler için de tekrarlanır. Kriterlerin önem ağırlıkları vektörünün alternatiflerin alt kriterlere bağlı ağırlıkları ile çarpımıyla, her bir alternatifin toplam önem derecesi elde edilir [17]. Alternatiflerin üstünlükleri de, önem derecesine bağlı sıralama ile ortaya konulmuş olur. Karar vericilerin, karşılaştırmalı matrisleri oluşturmada tutarsızlık yaratıp yaratmadıkları da kontrol edilmelidir. Bu amaçla, her bir matris için tutarlılık oranı olan CR aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

$\lambda = \text{A.W}$ için $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$ şeklinde hesaplanır ve RI tutarlılık indeksi olarak hesaplanmakta olup her bir n değeri için Tablo 2'de belirtilen değerler yardımıyla bulunur.

Tablo 2: Tutarlılık indeksi değerleri.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.51

Tutarlılık oranının 0,10'un altında olması beklenilmektedir. Aksi durumda, ikili karşılaştırmaların yeniden yapılması sağlanmalıdır.

3.2 P-Medyan modeli

Çalışmada kullanılacak olan optimizasyon modeli, lojistik ağ tasarımında temel problem alanlarından biri olan uygun lokasyon seçimi kararına destek verme özelliği taşımaktadır. Ağ optimizasyonu için etkili planlama yapmak gereklidir ve tesislerin yer seçimi ile talep noktaları arasında oluşacak dağıtım kanallarının birlikte tasarlanması gerekmektedir.

P-medyan modeli, toplam ağırlıklı maliyetin minimize edilmesi amacı doğrultusunda; n adet talep noktasına p adet tesisin açılması şeklinde tasarlanmıştır. Model, a_i'nin i noktasındaki talebi; d_{ij}'nin i ve j arasındaki mesafeyi, z_{ij}'nin eğer i talep noktası j tesisine bağlanırsa 1, bağlanmazsa 0 olması durumunu, ve y_j'nin eğer j tesisi açılırsa 1, açılmazsa 0 olması durumunu temsil ettiği şartlar altında aşağıdaki model yardımıyla tasarlanmaktadır [18]:

Amaç fonksiyonu:

$$\min z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} a_i d_{ij} z_{ij} \quad (4)$$

Kısıtlar:

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

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

$$\sum_{j=1}^{n} y_j = p \quad (7)$$

$$z_{ij}, y_j \in \{0,1\} \quad (8)$$

Denklem (4) toplam ağırlıklı maliyetin minimizasyonunu göstermektedir. Denklem (5) her bir talep noktasının sadece bir tesis tarafından karşılandığını garanti eder. Denklem (6) kapalı bir tesise, bir talep noktasının bağlanmasını engeller. Denklem (7), açılacak tesis sayısını p ile sınırlı tutar. Denklem (8) de karar değişkeninin 0 ya da 1 olması gerektiğini ifade eder.

4 Ümraniye ilçesi için bir uygulama

Bu çalışmada önerilen iki aşamalı bütünleşik lojistik ağ tasarımı modeli, İstanbul'un Ümraniye ilçesi için uygulanmıştır. Afet yönetimi açısından etkin ve duyarlı bir ilçe olması, ayrıca İstanbul'da hızla gelişen ve nüfusu artan bir ilçe olması sebebiyle Ümraniye ilçesine yer verilmiştir.

Uygulamanın amacı, 35 mahallesi bulunan Ümraniye bölgesinde, toplam kat edilen mesafeyi minimize edecek şekilde en uygun acil malzeme dağıtım merkezi yerlerinin bulunarak, her bir mahallenin bu dağıtım merkezlerine atamasının yapılmasını sağlamaktır. İlçe içerisinde çevreyolu tarafından bölünerek oluşan 4 ana bölgenin yer alması nedeniyle belediyenin söz konusu her bir ana bölgeye yönelik 4 dağıtım merkezi açma kararı verdiği varsayılmıştır. Başlangıçta her bir mahallenin, dağıtım merkezi açılma potansiyeli taşıdığı varsayılmıştır. Her bir mahallenin insani yardım ve ihtiyaç skoru hesaplanarak oluşturulan ağırlıklar, ağ tasarımı modelindeki amaç fonksiyonunu ağırlıklandırmada kullanılmıştır.

Her bir mahallenin insani yardım ve ihtiyaç skoru hesaplanırken kullanılacak olan önem dereceleri belirlenirken AHP metodundan yararlanılmıştır. Uygulamada ele alınan kriterler, uzmanlar ile görüşülerek ve ilgili literatür incelenerek aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- ✓ Mahallenin fay hattına olan mesafesi (c1),
- ✓ Mahalledeki bina sayısı (c2),
- ✓ Mahallenin nüfus yoğunluğu (c3),

- ✓ Mahallenin metro hattına olan mesafesi (c4),
- ✓ Mahallenin ana yollara olan mesafesi (c5),
- ✓ Mahallenin mevcut depolama/dağıtım alanlarına olan mesafesi (c6),
- ✓ Mahallenin yüksek binalara olan mesafesi (c7),
- ✓ Mahallenin halihazırda mevcut olan yardım merkezlerine olan mesafesi (c8).

Akademik ve sektörel anlamda tecrübeli altı uzman aracılığıyla kriterlerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi sağlanmış ve elde edilen veriler, Microsoft Excel aracılığıyla, Bölüm 3.1'teki aşamalarda belirtilen formülasyonlar kullanılarak hesaplamaya tabi tutulmuştur. Uzmanlardan ikisi akademik alanlarda faaliyet gösteren jeoloji mühendisleri, biri Jeoloji Mühendisleri Odası üyesi, bir diğeri AFAD yöneticisi, kalan ikisi de konularında uzman akademisyenlerden oluşmaktadır. Uzmanlardan Jeoloji Mühendisleri Odası üyesi ile yüz yüze görüşmeler sağlanmıştır. Kalan uzmanlarla ise telefon ve e - mail üzerinden iletişim kurulmuştur.

Örnek olarak, farklı yetkinliklerdeki üç uzmanın karşılaştırmalı matrisleri Tablo 3'te verilmiştir. Altı uzmanın değerlendirme matrislerinin geometrik ortalaması alınarak elde edilen sonuç matrisi, Tablo 4'te gösterildiği gibidir. Değerlendirmede, önceki bölümde anlatılan adımlar izlenmiş ve Saaty'nin 1-9 aralığındaki değerlendirme ölçeği kullanılmıştır. Karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları da hesaplanmış, 0.10'un altında değer alan matrisler yeniden değerlendirilmeye tabii tutulmuştur. Sonuç olarak her bir kriterin önem derecesini gösteren ağırlıklar, Tablo 5'teki gibi bulunmuştur.

Tablo 3: Kriterlerin değerlendirilme matrislerine ilişkin örnekler.

Uzman 1	*c1*	*c2*	*c3*	*c4*	*c5*	*c6*	*c7*	*c8*
c1	1.00	1.00	2.00	3.00	5.00	6.00	7.00	8.00
c2	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	3.00	5.00	8.00
c3	0.50	0.50	1.00	2.00	2.00	2.00	4.00	9.00
c4	0.33	0.50	0.50	1.00	1.00	2.00	2.00	5.00
c5	0.20	0.50	0.50	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00
c6	0.17	0.33	0.50	0.50	0.50	1.00	2.00	3.00
c7	0.14	0.20	0.25	0.50	0.33	0.50	1.00	4.00
c8	0.13	0.13	0.11	0.20	0.25	0.33	0.25	1.00
Uzman 2	*c1*	*c2*	*c3*	*c4*	*c5*	*c6*	*c7*	*c8*
c1	1.00	3.00	4.00	4.00	5.00	7.00	8.00	9.00
c2	0.33	1.00	1.00	2.00	2.00	4.00	5.00	8.00
c3	0.25	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	4.00	9.00
c4	0.25	0.50	0.50	1.00	1.00	2.00	2.00	5.00
c5	0.20	0.50	0.50	1.00	1.00	3.00	3.00	4.00
c6	0.14	0.25	0.50	0.50	0.33	1.00	2.00	3.00
c7	0.13	0.20	0.25	0.50	0.33	0.50	1.00	3.00
c8	0.11	0.13	0.11	0.20	0.25	0.33	0.33	1.00
Uzman 3	*c1*	*c2*	*c3*	*c4*	*c5*	*c6*	*c7*	*c8*
c1	1.00	1.00	1.00	3.00	5.00	8.00	9.00	9.00
c2	1.00	1.00	2.00	2.00	3.00	5.00	6.00	9.00
c3	1.00	0.50	1.00	2.00	2.00	5.00	7.00	8.00
c4	0.33	0.50	0.50	1.00	1.00	4.00	5.00	6.00
c5	0.20	0.33	0.50	1.00	1.00	2.00	6.00	6.00
c6	0.13	0.20	0.20	0.25	0.50	1.00	2.00	3.00
c7	0.11	0.17	0.14	0.20	0.17	0.50	1.00	2.00
c8	0.11	0.11	0.13	0.17	0.17	0.33	0.50	1.00

Tablo 4: Tüm uzman değerlendirmelerinin geometrik ortalaması alınarak elde edilen sonuç matrisi.

	c1	*c2*	*c3*	*c4*	*c5*	*c6*	*c7*	*c8*
c1	1.00	1.20	2.14	3.15	5.06	6.63	6.32	7.85
c2	0.83	1.00	1.18	1.48	1.78	3.73	3.28	7.98
c3	0.47	0.85	1.00	2.14	2.14	3.07	3.62	6.00
c4	0.32	0.67	0.47	1.00	1.12	3.10	3.45	6.01
c5	0.20	0.56	0.47	0.89	1.00	2.64	2.45	3.73
c6	0.15	0.27	0.33	0.32	0.38	1.00	1.15	3.27
c7	0.16	0.30	0.28	0.29	0.41	0.87	1.00	2.40
c8	0.13	0.13	0.17	0.17	0.27	0.31	0.42	1.00

Tablo 5: Her bir kriterin önem derecesi.

wc_1	wc_2	wc_3	wc_4	wc_5	wc_6	wc_7	wc_8
0.307	0.186	0.168	0.121	0.095	0.05	0.046	0.024

Her bir mahallenin (n) insani yardım ve ihtiyaç skorunun ($İYİS_m$) hesaplanması için, her bir mahallenin tüm kriterler açısından durumu sayısallaştırıldıktan sonra (örneğin c1 kriteri için 1. mahallenin merkezinin fay hattına uzaklığı hesaplanır ve S_{11} ile gösterilir), her bir kriterin ağırlıklar ile çarpımı sağlanmış ve kriterin etkileme yönü (negatif ya da pozitif) dikkate alınarak bir toplam işlemine tabii tutulmuştur. Örneğin, c1, c2, c3, c5 ve c7 kriterlerinin skora etkisi pozitifken, c4, c6 ve c8 kriterlerinin skora etkisi negatiftir. Böylelikle $İYİS_m$ değeri, ana yollara uzak, mevcut dağıtım merkezlerine uzak, metro

yapılaşmasının yarattığı deformasyona yakın, nüfus yoğunluğu ve bina sayısı açısından yoğun, fay hatlarına da yakın yerler için yüksek değer alacaktır. Her bir kriterin farklı ölçeklerde değerlendirilmesi söz konusu olduğu için, her bir kriter için normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve değerlerin 0-1 aralığına indirgenmesi sağlanmıştır. İnsani yardım ve ihtiyaç skoru aşağıdaki denklemde gösterildiği şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{İYİS}_m = \sum_{m=1}^{35} \sum_{c=1}^{8} S_{mc} * wc_c$$

Örnek olarak beş farklı mahallenin aldığı kriter değerleri ve İYİS_m skoru Tablo 6 ve Tablo 7'de paylaşılmıştır.

Tablo 6: Ümraniye ilçesinin 5 farklı mahallesinin aldığı kriter değerleri.

	c1	*c2*	*c3*	*c4*	*c5*	*c6*	*c7*
Adem Yavuz Mahallesi	0.75	0.29	0.016	1	0.5	0.75	0.25
Altın Şehir Mahallesi	0.75	0.57	0.027	1	0.75	1	0.25
Armağan Evler Mahallesi	0.75	0.72	0.02	0.75	1	0.5	1
Atakent Mahallesi	1	0.21	0.59	0.75	0.75	0.5	0.75
Atatürk Mahallesi	0.5	0.39	0.016	1	0.25	0	0.5

Tablo 7: Ümraniye ilçesinin 5 farklı mahallesi için insani yardım ve ihtiyaç skorları (İYİS_m).

Adem Yavuz Mahallesi	0.171
Altınşehir Mahallesi	0.248
Armağanevler Mahallesi	0.381
Atakent Mahallesi	0.419
Atatürk Mahallesi	0.131

Elde edilen İYİS_m skorları, aşağıdaki uyarlanmış p-medyan modeline dahil edilmiştir.

4.1 Parametreler

n = Toplam mahalle sayısı,
i = Her mahalledeki merkezi toplanma yeri,
j = Her mahalledeki dağıtım merkezi yeri,
İYİS_i = Her mahalle için insani yardım ve ihtiyaç skoru,
d_{ij} = Her mahalledeki merkezi toplanma yeri ve her bir mahalledeki dağıtım merkezi yeri arasındaki en kısa mesafe,
p = Açılacak insani yardım merkezi sayısı.

4.2 Karar değişkenleri

x_{ij} = eğer i mahallesi j mahallesindeki dağıtım merkezine atanmışsa 1, atanmamışsa 0,
y_j = eğer j mahallesinde bir dağıtım merkezi açılmışsa 1, değilse 0.

Amaç fonksiyonu:

$$\min z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \text{İYİS}_i d_{ij} x_{ij} \quad (9)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1} x_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (10)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_j = p \quad (12)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\} \quad (13)$$

Denklem (9) İYİS değerlerine göre ağırlıklandırılmış uzaklığın minimizasyonunu göstermektedir. Denklem (10) her bir mahallenin sadece bir dağıtım merkezi tarafından karşılandığını garanti eder. Denklem (11) kapalı bir dağıtım merkezine, bir mahallenin bağlanmasını engeller. Denklem (12), açılacak tesis sayısını p ile sınırlı tutar. Denklem (13)'te karar değişkeninin 0 ya da 1 olması gerektiğini ifade eder.

İlçeler arası mesafeler (d_{ij}), çevrimiçi haritalama platformları aracılığıyla, her bir ilçenin birbirlerine göre uzaklık bilgileri çekilerek elde edilmiştir. Modelde, şehir trafiğine bağlı etkenler göz ardı edilmiştir. Örneğimizdeki 35 ilçenin her birinin, diğer ilçelere uzaklıkları hesaplanmıştır. Örnek olarak 5 mahallenin birbirlerine göre konumları Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 8: İlçeler arası uzaklıklar (km).

Ümraniye İlçeleri	Adem Yavuz	Altınşehir	Armağan evler	Atakent	Atatürk
Adem Yavuz	0.0	1.4	3.4	4.0	5.2
Altınşehir		0.0	2.3	2.9	2.9
Armağanevler			0.0	0.6	2.3
Atakent				0.0	1.7
Atatürk					0.0

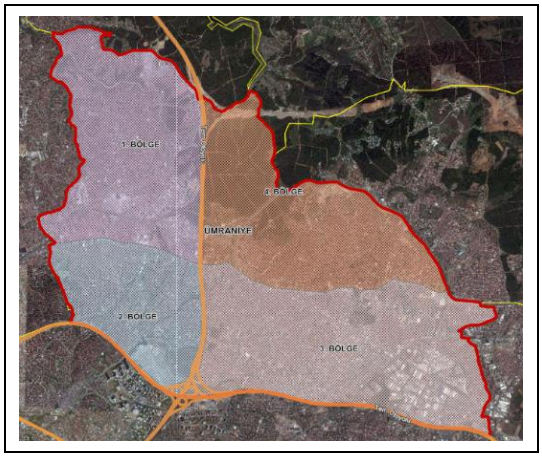
Oluşturulan tam sayılı programlama modeli, GAMS programı yardımıyla, Quad Core işlemcili, 4 GB'lık ve 64 bit işletim sistemine sahip bilgisayarda çözdürülmüş ve yaklaşık 8 saniyede çözüme kavuşturulmuştur. Sonuç olarak, Ümraniye ilçesinde dağıtım merkezi açılması uygun görülen 4 farklı mahalle belirlenmiştir. Bu mahalleler; Huzur Mahallesi, İnkılap Mahallesi, İstiklal Mahallesi ve Şerifali Mahallesi olarak belirlenmiştir. Dağıtım merkezi açılma kararı alınan bu mahallelere bağlanan diğer mahalleler de aynı model ile belirlenmiştir. Örnek olarak, Huzur Mahallesi'nde açılması önerilen dağıtım merkezine atanan diğer mahalleler Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9: Dağıtım merkezi açılması kararı verilen Huzur Mahallesi'ne bağlanan mahalleler.

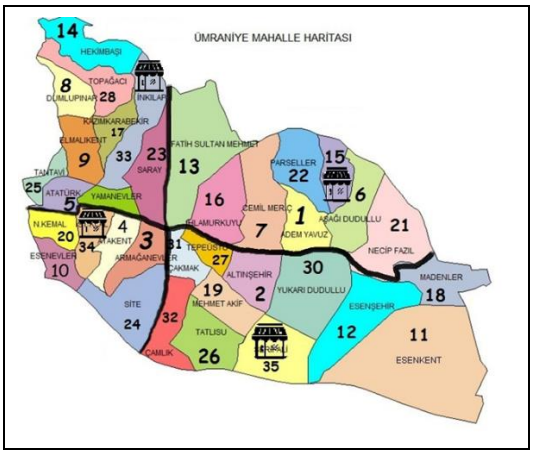
Dağıtım Merkezi Açılan Mahalle	Atanan Mahalle
Huzur Mahallesi	Adem Yavuz Mahallesi
	Altınşehir Mahallesi
	Armağanevler Mahallesi
	Atakent Mahallesi
	Atatürk Mahallesi
	Aşağı Dudullu Mahallesi
	Cemil Meriç Mahallesi
	Dumlupınar Mahallesi
	Elmalıkent Mahallesi
	Esenevler Mahallesi
	Esenkent Mahallesi
	Esenşehir Mahallesi
	Fatih Sultan Mehmet Mahallesi
	Hekimbaşı Mahallesi
	Huzur Mahallesi

Huzur Mahallesi, İnkılap Mahallesi, İstiklal Mahallesi ve Şerifali Mahallesi'nde açılan dağıtım merkezlerinin ve kapsadıkları mahallelerinin Ümraniye ilçesi haritası üzerinde gösterimi Şekil 2a ve Şekil 2b'de verilmiştir.

Sözkonusu gösterimler incelendiğinde dağıtım merkezlerinin birbirilerinden ayrışık bölgelerde açıldığı görülmekte ve kararın, dağıtım merkezlerinin kapsadıkları mahalleler göz önünde bulundurulduğunda, minimum mesafe amacını tutarlı bir biçimde yansıttığı görülmektedir.



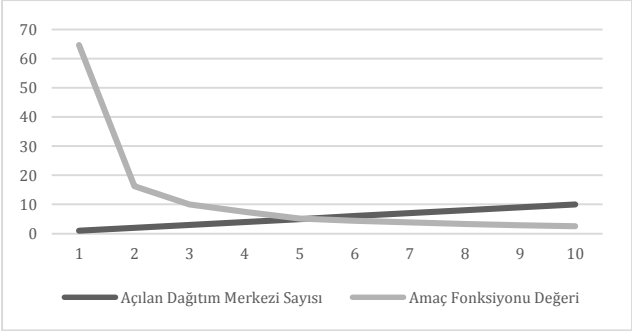
Şekil 2(a): Dağıtım merkezlerinin kapsadığı alana göre oluşan bölgesel ayrışım.



Şekil 2(b): Dağıtım merkezleri ve dağıtım merkezlerine bağlanan mahalleler.

4.3 Duyarlılık analizi

Oluşturulan modelde, açılacak dağıtım merkezi sayısının 1 ile 10 arasında değişmesi halinde sonucun nasıl etkileneceğini ölçmek amacıyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Beklenildiği üzere, açılacak dağıtım merkezi sayısının artması durumunda kat edilen toplam mesafe azalmaktadır (bk. Tablo 10). Bu azalış özellikle 2 dağıtım merkezi açılması durumunda kırılıma uğramaktadır (bk. Şekil 3). Bu nedenle ilçenin, 2'den daha az merkez açması önerilmemektedir. 4'ten daha fazla dağıtım merkezi açılabilmesi durumunda ise özellikle 5 adet merkez açılmasından sonra amaç fonksiyonunun fark edilir derecede azalacağı gözlemlenmiştir. Modelde ve duyarlılık analizinde, belediye hizmetlerinde öncelikli hedefin, maliyet kısıtını dikkate almadan, deprem sonrasında insanlara en etkin biçimde insani yardımın ulaştırılması olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle, dağıtım merkezi sayısının artması durumunda belediyenin katlanacağı maliyetlere yönelik bir karşılaştırma, bu çalışmada kapsam dışı tutulmuştur.



Şekil 3: Duyarlılık analizi sonuçları.

4.4 Farklı deprem senaryolarının analizi

Önerilen model, farklı deprem senaryoları üzerinden yeniden çalıştırılmıştır. Deprem senaryoları, ilçelerin fay hattı üzerinde olup olmaması durumuna göre "(1) Çok Hafif", "(5) Çok Şiddetli" depremler olmak üzere 1-5 arasında derecelendirilmiştir. Ümraniye ilçelerine özgü fay hattı haritası çalışmasına erişim sağlanamadığı ve kamuya açık bilgi platformlarında fay hatlarının hangi ilçelerden geçtiği bilgisi bulunamadığı için ilçelerin fay hattı üzerinde bulunma durumları, elde edilen fay hattı haritalarından öngörülebildiği ölçüde senaryolaştırılmıştır. Senaryolara ilişkin detaylar aşağıda sunulmuştur:

- Senaryo 1'de fay hattının, bütün bölgeleri orta derecede deprem şiddetine maruz bıraktığı varsayılmıştır. Bu nedenle tüm bölgelerin deprem şiddeti "3" olarak tanımlanmıştır,
- Senaryo 2'de fay hattının, birinci bölgeye yakın olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle birinci bölgenin deprem şiddeti "5" olarak tanımlanmıştır,
- Senaryo 3'te fay hattının, dördüncü bölgeye yakın olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle dördüncü bölgenin deprem şiddeti "5" olarak tanımlanmıştır,
- Senaryo 4'te fay hattının ikinci ve üçüncü bölgelere eşit değerde yakın olduğu varsayılmıştır ve deprem şiddeti bu bölgeler için "4" olarak tanımlanmıştır.

Bu durumda her bir mahallenin $İYİS_m$ skorları, fay hattına uzaklık kriterinin farklılaşması nedeniyle değişiklik gösterecektir. Değişen $İYİS_m$ skorları dikkate alınarak 4 farklı senaryo ile yeniden çalıştırılan modelin sonuçları Tablo 11'de gösterildiği gibidir. Yer kısıtı nedeniyle, mahalle adları, numaralandırılarak sunulmuştur.

Tablo 11'den görülebileceği gibi, hangi mahallede dağıtım merkezi açılacağı kararı, deprem şiddetine karşı duyarlıdır. Bu nedenle afet yönetimi birimlerinin, farklı deprem şiddetlerine göre alternatif planlar oluşturması gerekliliği esastır.

Tablo 10: Dağıtım merkezi sayısının değişim durumuna ilişkin duyarlılık analizi sonuçları.

p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Amaç Fonksiyonu	64.6	16.2	10	7.4	5.1	4.3	3.8	3.3	2.9	2.5

Tablo 11: Farklı deprem senaryolarına göre dağıtım merkezi seçimi.

SENARYO 1				
BÖLGELER	**DEPREM ŞİDDETİ**	**MİNİMUM MESAFE**	**AÇILACAK OLAN DAĞITIM MERKEZLERİ**	**ATANAN MAHALLELER**
1. BÖLGE	3	6.52	17	4,8,9,14,17
2. BÖLGE	3		30	1,2,6,7,11,12,13,15,16,18, 19,21,22,23,24,26,27,28,30
3. BÖLGE	3		34	3,5,10,20,25,29,31,32,33,34
4. BÖLGE	3		35	35
SENARYO 2				
BÖLGELER	**DEPREM ŞİDDETİ**	**MİNİMUM MESAFE**	**AÇILACAK OLAN DAĞITIM MERKEZLERİ**	**ATANAN MAHALLELER**
1. BÖLGE	5	5.36	15	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15
2. BÖLGE	4		30	16,17,18,19,21,22,23,24,26,27,28,30
3. BÖLGE	3		34	20,25,29
4. BÖLGE	2		35	35
SENARYO 3				
BÖLGELER	**DEPREM ŞİDDETİ**	**MİNİMUM MESAFE**	**AÇILACAK OLAN DAĞITIM MERKEZLERİ**	**ATANAN MAHALLELER**
1. BÖLGE	2	6.47	29	1,3,4,5,8,9,10,13,14,15,16,17,18, 19,20,22,23,24,25,26,27,28,29
2. BÖLGE	3		30	2,6,7,11,12,18,21,30
3. BÖLGE	4		34	31,32,33,34
4. BÖLGE	5		35	35
SENARYO 4				
BÖLGELER	**DEPREM ŞİDDETİ**	**MİNİMUM MESAFE**	**AÇILACAK OLAN DAĞITIM MERKEZLERİ NUMARASI**	**ATANAN MAHALLELER**
1. BÖLGE	2	5.25	15	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15
2. BÖLGE	4		29	16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29
3. BÖLGE	4		34	31,32,33,34
4. BÖLGE	2		35	30.35

5 Sonuçlar

Bu çalışma, afet yönetimi alanında en önemli konulardan birisi olan insani yardım ulaştırma amaçlı dağıtım merkezlerinin konumunun belirlenmesine yöneliktir. Bu amaçla çalışmada, iki aşamalı bütünleşik bir model üretilmiştir. Birinci aşamada AHP yardımıyla, dağıtım yeri seçme kararına etki eden kriterlerin ağırlıkları yani önem dereceleri hesaplanmış ve her bir mahallenin insani yardım ve ihtiyaç skorları elde edilmiş; sonrasında ise bu skorlar ile ağırlıklandırılmış p-medyan modeli ile dağıtım merkezi yerleri seçilerek bu merkezlere mahalle ataması gerçekleştirilmiştir. Modelin geçerliliğinin sınanması için İstanbul ili Ümraniye ilçesinde, gerçek verilere dayalı bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Önerilen model, farklı parametrelere karşı duyarlılığı ve farklı deprem senaryoları altında modelin verdiği sonuçlar açısından sınanmıştır.

Önerilen bu model, belediyelerin afet yönetim merkezlerine, deprem sonrasında faydalanılabilecek bir yardımcı planlama aracı olma niteliği taşımaktadır. Bu model ile ayrıca, farklı deprem senaryolarına karşı duyarlılığın yüksek olduğu ispatlanmıştır. Bu nedenle afet yönetimi birimlerinin tek bir çözüm ile sınırlı kalmayıp olası tüm senaryolara ilişkin alternatif çözümler sunmasının önemli olduğu görülmüştür.

Bu çalışma, içerisinde yer alan kriterlerin özgünlüğü, modelin farklı dağıtım merkezi sayıları olması durumunda katlanılacak mesafenin hangi noktalarda radikal bir değişikliğe uğradığını göstermesi ve farklı şiddetteki depremlerin farklı kararlara yol açtığını ispatlaması açısından önemlidir. İleride yürütülecek çalışmalarda, dağıtım merkezi sayısının artmasının mali etkileri dikkate alınarak yeniden bir değerlendirme yapılması sağlanabilir, şehir içi trafiğin etkisi nedeniyle mesafe yerine ulaşım süresinin dikkate alındığı modeller oluşturulabilir, stokastik p-medyan modelleri denenebilir, ya da AHP modeli bulanık küme teorisi kullanılarak genişletilebilir.

6 Kaynaklar

[1] Pettit S, Beresford A, Whiting M, Banomyong R. *The 2004 Thailand Tsunami Reviewed: Lesson Learned*. Editörler: Christopher M, Tatham P. Humanitarian Logistics. Meeting the Challenge of Preparing for and Responding to Disasters, 103-119, London, Kogan Page 2011.

[2] T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü 2014.

[3] Kovács G, Spens K. "Humanitarian logistics in disaster relief operations". *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(2), 99-114 2007.

[4] Cozzolino A. *Humanitarian Logistics: Cross-Sector Cooperation in Disaster Relief Management*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012.

[5] Altay N, Green WG. "OR/MS research in disaster operations management". *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475-493 2016.

[6] Mete H, Zabinsky Z. "Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management". *International Journal of Production Economics*. 126, 76-84 2010.

[7] Jabbarzadeh A, Fahimnia B, Seuring S. "Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* 70, 225-244 2014.

[8] Salman FS, Yücel E. "Emergency facility location under random network damage: insights from the Istanbul case". *Comput. Oper. Res.* 62, 266-281 2015.

[9] Galindo G, Batta R. Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management, *European Journal of Opereration Research*, 230(2), 201-211 2013.
[10] Hong L, Xiaohua Z. "Study on location selection of multi-objective emergency logistics center based on AHP". Procedia Engineering, 15, 2128-2132 2011.
[11] Ofluoglu A, Baki B, Ar I. "Multi-criteria decision analysis model for warehouse location in disaster logistics". *Journal of Management Marketing and Logistics*, 4(2), 89-106 2017.
[12] Saaty TL. *The Analytical Hierarchy Process*. New York, USA, Mcgraw Hill, 1981.
[13] Korpela J, Tuominen M. "A decision aid in warehouse site selection". *International Journal of Production Economics*, 45(1-3), 169-180 1996.
[14] Alberto P. "The logistics of industrial location decisions: an application of the analytic hierarchy process methodology". *International Journal of Logistics Research and Applications*, 3, 273-289 2000.
[15] Roh SY, Jang HM, Han CH. "Warehouse location decision factors in humanitarian relief logistics". *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 29(1), 103-120, 2013.
[16] Boltürk E, Çevik Onar S, Öztayşi B, Kahraman C, Goztepe K. "Multi-attribute warehouse location selection in humanitarian logistics using hesitant fuzzy AHP". *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 8, 271-298, 2016.
[17] Çol Yılmaz D, Gerçek H. "Analitik hiyerarşi yöntemi ile istanbul'da bütünleşik bisiklet ağı kümelerinin önceliklendirilmesi". Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(6), 215-224, 2014.
[18] Sarıkaya HS, Çalışkan E, Türkbey, O. "Bütünleşik tedarik zinciri ağında tesis yeri seçimi için bulanık çok amaçlı programlama modeli". Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(5), 150-161, 2014.