Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 23, Sayı 4, 2018 ARAŞTIRMA

DOI: 10.17482/uumfd.455283

AFET SONRASI YARDIM MALZEMESİ DAĞITIMI İÇİN ROTA ÜRETME-ELEME ALGORİTMASI VE TAMSAYILI PROGRAMLAMA KULLANIMI

Merve KÖSE-KÜÇÜK[*]
Fatih ÇAVDUR[*]

Alınma:27.08.2018; düzeltme: 06.12.2018; kabul:07.12.2018

Öz: Bu çalışmada, afet sonrası yardım malzemesi taşıma problemi, literatürde yer alan kapasite kısıtlı araç rotalama problemi olarak kurgulanmış ve çözümü için iki-aşamalı çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşımın ilk aşamasında, rota üretme-eleme algoritması ile araç kapasite kısıtını sağlayan uygun rotalar üretilmiş, bu kısıtı sağlayamayan rotalar ise elenmiştir. İkinci aşamada ise, algoritma ile üretilen uygun rotalar, önerilen tamsayılı programlama modelinin girdisi olarak kullanılmış olup, bu model ile yardım malzemelerinin hangi rotalar üzerinden ve hangi araçlarla taşınacağını gösteren bir taşıma planı oluşturulmuştur. Kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin NP-zor yapısı sebebiyle oluşan uzun çözüm sürelerine karşın, geliştirilen rota üretme-eleme algoritması ile daha kısa sürede çözüm elde edilmesi sağlanmıştır. Rota üretme-eleme algoritmasında, araç kapasite kısıtı dikkate alındığından dolayı, tamsayılı programlama modelinde bu kısıt ortadan kaldırılmış, bu sayede problemin karmaşıklığında önemli oranda azalma sağlanmıştır. Bu durum, geliştirilen algoritmanın çözüm süresine olumlu etkisini ortaya koymaktadır. Önerilen yaklaşım bir deprem örnek olayı üzerinde ve örnek bir bölge için test edilmiş ve sonuçları analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Araç rotalama problemi, insani yardım lojistiği, tamsayılı programlama, taşıma planı

Use of Route Generation-Elimination Algorithm and Integer Programming for Post-Disaster Relief Supplies Distribution

Abstract: In this study, the problem of post disaster relief supplies transportation is modeled as a capacity-constrained vehicle routing problem. A two-phase solution approach is proposed to solve the problem. In the first phase of the proposed approach, a route generation-elimination algorithm is used to generate feasible routes that satisfy the capacity constraints. In the second phase, the feasible routes generated by the algorithm are used as the input of the proposed integer programming model to determine the transportation plan showing the routes through which the relief supplies are transported. Despite the long solution times due to the NP-hard structure of the capacity-constrained vehicle routing problem, it is aimed at obtaining a solution in a shorter time period with the generated route generation-elimination algorithm. Since the vehicle capacity constraints are taken into consideration in the route generation-elimination algorithm, the corresponding capacity constraint in the integer programming model is removed which significantly reduces the complexity of the problem. This situation represents the positive effect of the developed algorithm on the solution time. The proposed approach is tested on an earthquake case study for a sample region and the results are analyzed.

Keywords: Vehicle routing problem, humanitarian relief logistics, integer programming, transportation plan

[*]Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Nilüfer, 16059 Bursa
İletişim Yazarı: Merve KÖSE KÜCÜK (mervekose@uludag.edu.tr)

1. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) bir afeti, zarar gören topluluk veya bölgenin kendi dışındaki bölgelerden olağandışı bir şekilde yardım beklemesini gerektirecek derecede hasar, tahribat, ekolojik bozulma, insan hayatının kaybı, yaralanma, sağlık ve sağlık hizmetlerinin bozulmasına neden olan bir olay olarak tanımlamaktadır. Afetler günümüzde doğal veya insan kaynaklı olarak, teknolojinin ilerlemesi ile birlikte birçok insan hayatını tehdit etmeye devam etmektedir. Ülkemiz, özellikle doğal afetlere karşı savunmasız ülkeler arasındadır. Deprem felaketinin yıkıcı etkilerinin en aza indirgenmesi için ülkemizin etkin bir afet yönetimine ihtiyacı bulunmaktadır. Bu kapsamda afet yönetimi, afetlerin önlenmesi ve zararlarının azaltılması, afet sonucunu doğuran olaylara zamanında, hızlı ve etkili bir şekilde müdahale edilmesi ve afetten etkilenen topluluklar için daha güvenli ve gelişmiş yeni bir yaşam çevresi oluşturulabilmesi için toplumca yapılması gereken topyekun bir mücadele süreci olarak tanımlanmaktadır (Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü, 2014).

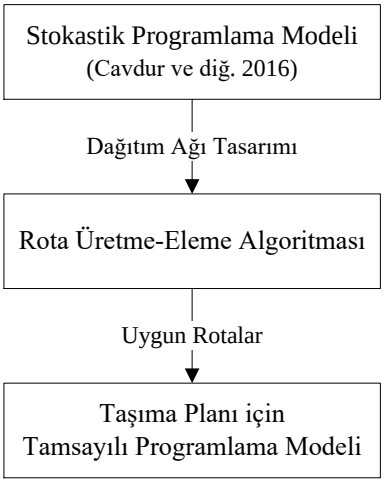
Afet, yaralıların ve çeşitli yardım malzemelerinin akışının mevcut araçlar kullanılarak tıbbi birimlere veya afetzedelere ulaştırılmasını gerektiren oldukça karmaşık bir durumdur. Talep edilen yardım malzemeleri, halihazırda konumlandırılmış dağıtım merkezlerinden afetzedelerin yardım alabilecekleri afet bölgesinde bulunan bir dizi teslimat noktasına gönderilmektedir. Bu kapsamda ortaya çıkan insani yardım lojistiği kavramı ile ilgili birçok tanım yapılmaktadır. İnsani yardım lojistiği, gıda, teçhizat ve kurtarma personelinin bulundukları noktalardan coğrafi olarak afet bölgesine dağılmış çok sayıda hedef noktaya taşınması ve afetten etkilenen insanların tıbbi merkezlere en hızlı ve güvenli şekilde tahliye edilmesi amacıyla etkin bir dağıtım ağı tasarımı olarak tanımlanmaktadır (Barbarosoglu ve diğ., 2002). Afetler, afetten etkilenen bölgelerde mevcut kaynakları aşan büyük taleplere sebep olmaktadır. Afetten etkilenen insanlara yardım sağlamak amacıyla kaynakların akışını planlamak, yönetmek ve kontrol etmek amacıyla yapılan faaliyetlerin tümü insani yardım lojistiği olarak adlandırılmaktadır (Caunhye ve diğ., 2012). İnsani yardım lojistiği ayrıca, etkili bir planlama, uygulama ve kontrol aşamalarına sahip, afet sonucu savunmasız hale gelen insanların acil beklenti ve taleplerini karşılayacak şekilde uygun maliyette malzeme akışı ve depolamayı sağlayan bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Liberatore ve diğ., 2013).

İnsani yardım lojistiği kapsamında ortaya çıkan yardım malzemelerinin afetzedelere taşınması probleminde, afet sonrasında yolların, köprülerin güvenliği ve güvenilirliği, binaların yıkılması, vb. gibi belirsiz unsurlar sebebiyle müdahale faaliyetlerinden sorumlu kuruluşların afet bölgesine kısa sürede ulaşmaları mümkün olamamaktadır. Bu kapsamda, yardım kuruluşlarına alternatif oluşturulabilecek yerel tesislerin kurulması ve bu tesislerde afetzedelerin acil ihtiyaçlarını (su, gıda, hijyenik malzeme, medikal malzeme, vb.) karşılayacak miktarda yardım malzemelerinin bulundurulması ve buna bağlı problemler ortaya çıkmaktadır. Geçici-tesis yerleşim problemi, afet sonrası merkezi yardım kuruluşları afet bölgesine ulaşıncaya kadar geçen süre içerisinde afetzedelerin temel ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde yardım malzemesinin depolandığı tesislerin konumlarının, sayılarının ve kapasitelerinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Cavdur ve diğ. (2016) çalışmalarında, geçici-tesis yerleşim problemi için iki-aşamalı stokastik programlama modeli geliştirmiştir. Yazarlar tarafından önerilen yaklaşımın ilk aşamasında kurulacak tesislerin konumları ve sayıları belirlenirken, ikinci aşamada dağıtımı yapılacak yardım malzemesi miktarları belirlenmektedir. Çalışmada 64 düğümü içeren bir dağıtım ağında, üç tip yardım malzemesinin talep edilen düğümlere ulaştırılmasını sağlayacak tesis yerleşim modelinin optimal çözümleri elde edilmiştir.

Geçici-tesis yerleşimi probleminin ardından ortaya çıkan bir diğer problem ise yardım malzemelerinin bulundukları tesislerden afetzedelere en kısa sürede ulaştırılması problemidir. Afetzedelerin kendi imkanlarıyla tesislere ulaşması ve buralardan yardım malzemelerinin temin edilmesi tesislerde yoğunluğa ve karmaşa ortamına zemin hazırlamaktadır. Oluşan bu karmaşa ortamı sebebiyle yardım malzemesi dağıtım süreci sekteye uğramakta, her afetzedenin eşit

şekilde ihtiyaç duyduğu yardım malzemesine ulaşması zor olmaktadır. Bu karmaşa ortamının ortadan kaldırılması ve yardım malzemesi dağıtımının daha etkin ve kontrollü bir şekilde yapılması amacıyla geçici-tesislerde önceden konumlandırılmış araçlarla yardım malzemelerinin afetzedelerin bulunduğu bölgelere taşınması gerekmektedir.

Bu çalışmada, afet sonrası ortaya çıkan yardım malzemesi taşıma problemi için rota üretme-eleme algoritması ve tamsayılı programlama modeli olmak üzere iki-aşamalı bir çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen çözüm yaklaşımı Şekil 1'de gösterilmiştir. Önerilen yaklaşımın ilk aşamasında geliştirilen rota üretme-eleme algoritması ile kapasite kısıtını sağlayan uygun rotaların belirlenmesi amaçlanırken, ikinci aşamada ise belirlenen uygun rotalardan yardım malzemelerinin en kısa sürede ulaştırılmasını sağlayan rotaların seçileceği ve bu rotaların araçlara atanacağı bir tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen tamsayılı programlama modeli ile afetzedelere en kısa mesafeden yardım malzemesinin ulaştırılmasını sağlayan bir taşıma planı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu taşıma planı ile hangi aracın, hangi rota üzerinden, hangi afetzede bölgesine taşıma yapacağına karar verilmektedir.



Şekil 1:
Önerilen çözüm yaklaşımı

Çalışmada Cavdur ve diğ. (2016), çalışmasının optimal yerleşim ve dağıtım sonuçları kullanılarak başlangıç dağıtım problemi, birbirinden bağımsız alt taşıma problemlerine bölünmüştür. Oluşturulan her bir alt taşıma probleminde, tesis açılan bölge depo düğümünü, bu tesisin hizmet verdiği afetzede bölgeleri ise talep (afetzede) düğümlerini temsil etmektedir. Dağıtım probleminin bağımsız alt problemlere bölünmesi, problem boyutu ve çözüm süresi açısından olumlu katkılara sahiptir.

Çalışmanın diğer bölümleri şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde çalışmanın konusu ile ilgili literatür araştırmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmada önerilen metodoloji hakkında detaylı bilgi verilmiş olup, rota üretme-eleme algoritması ve tamsayılı programlama modelinden oluşan iki-aşamalı çözüm yaklaşımı açıklanmıştır. Dördüncü bölümde uygulama sonuçları açıklanmış, son bölümde ise çalışma hakkında genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Afet yönetimi genel olarak zarar azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır (Altay ve Green, 2006). Zarar azaltma, insanlar ve diğer canlıların afetlere ve etkilerine karşı oluşan riski azaltmak amacıyla yapılan eylemler olarak tanımlanmaktadır. Hazırlık, bir kriz veya acil durum sırasında etkin bir müdahale planı

hazırlamak ve olumsuz sonuçlardan kaçınmak için önceden alınan önlemler bütünüdür. Müdahale ise, yaşamı, mülkiyeti, çevreyi ve toplumun sosyal, ekonomik ve politik yapısını korumak amacıyla kaynak ve acil durum müdahale planlarının ve prosedürlerinin geliştirildiği evre olarak tanımlanabilir. İyileştirme, toplumun düzene ve afet sonrası normal yaşama döndürülmesini sağlayacak uzun vadeli eylemleri içermektedir. Buna ek olarak, bazı faaliyetler birden fazla aşamayı içerecek şekilde gerçekleştirilmektedir. Örneğin afet öncesi tesis kurulumu hazırlık aşaması faaliyetlerini içerirken, tesislerde depolanan yardım malzemesi miktarının belirlenmesi afet sırası ve sonrası oluşacak afetzede sayısı ile ilişkili olduğundan müdahale aşamasını da içermektedir. Birçok çalışmada hem afet öncesi hem de afet sonrası faaliyetlerin planlanmasını içerecek şekilde çözüm yaklaşımları önerilmektedir. Örneğin, Salman ve Gül (2014), çalışmalarında deprem sonrası yaralı taşıma lojistiği problemini ele alarak problemin çözümü için karışık tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. Çalışmalarında aynı zamanda afet öncesi kurulacak geçici acil yardım merkezlerinin konumlarının ve kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Çalışmada önerilen matematiksel model ile 190 düğüme sahip bir dağıtım ağına ait optimal çözümlere makul sürelerde ulaşıldığı belirtilmiştir. Rawls ve Turnquist (2010), tarafından yapılan çalışmada hem afet öncesi hem afet sonrası faaliyetler dikkate alınmış olup çalışmada, acil durum müdahale birimlerinin önceden konumlandırılması amacıyla iki-aşamalı stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Barbarosoğlu ve Arda (2004) ise çalışmalarında çoklu-depo ve çok-araçlı yerleşim rotalama problemini ele alarak hem afet öncesi hem de afet sonrası faaliyetlerin planlanmasına yönelik stokastik programlama modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada 1999 Marmara depreminden etkilenen İstanbul ili verileri dikkate alınarak, önerilen büyük ölçekli doğrusal programlama modelinin 874.605 sütun ve 255.491 satır içerdiği ve 15-17 dakikada (20.000-22.000 iterasyon) optimal çözüme ulaşılabildiği belirtilmiştir. Mete ve Zabinsky (2010) tarafından yapılan çalışmada tıbbi malzemeler için depo yeri ve kapasite problemi ele alınarak hem afet öncesi hem de afet sonrası faaliyetlerin planlanması sağlanmıştır. Çalışmada, 10 adet hastane içeren bir bölge uygulama alanı olarak seçilmiş ve bir dakika içerisinde optimal çözümlere ulaşıldığı belirtilmiştir.

Afet yönetiminin önemli bir konusu olan insani yardım lojistiği problemlerinde de Yöneylem Araştırması uygulamalarından yoğun olarak yararlanılmaktadır. Bu kapsamda, insani yardım lojistiği alanında yapılan çalışmalarda genel olarak lojistik ağı tasarımı, tasarlanan bu ağın etkin şekilde yönetimi ve koordinasyonun sağlanmasının yanı sıra afet sonrası, afetzedelere yönelik acil ihtiyaçların (örneğin; su, gıda, tıbbi malzeme, vb.) talep edilen miktarda ve en kısa sürede karşılanmasının amaçlandığı çalışmalar ön plana çıkmaktadır (Nagurney, 2011; Natarajarathinam ve diğ., 2009; Özdamar ve Demir, 2012; Rawls ve Turnquist, 2010). Örneğin, Nagurney (2011) tarafından yapılan çalışmada, acil durumlarda malzeme taşınması koordinasyonunu sağlayacak bir lojistik ağı tasarımı yapılmıştır. Natarajarathinam ve diğ. (2009) tarafından yapılan çalışmada ise kritik durumlarda lojistik ağını yönetmede yapılan mevcut uygulamalar ve bu uygulamaları konu edinen çalışmalar araştırılmıştır. Özdamar ve Demir (2012), çalışmalarında büyük ölçekli bir afet sonrası dağıtım ağı tasarımı için bir rota prosedürü geliştirmiştir. Çalışmada geliştirilen rota prosedürü yaklaşımı, talep düğümlerini daha küçük kümelere ayırarak rotalar oluşturmayı amaçlamaktadır. Rawls ve Turnquist (2010) tarafından yapılan çalışmada, tesis yerleşim problemi dikkate alınmış ve afet sonrası en kısa mesafeden malzeme tedariğini sağlamak amacıyla kurulacak depo yerlerinin ve malzeme miktarlarının belirlenmesi sağlanmıştır. Beamon (2004) çalışmasına ek olarak Beamon ve Kotleba (2006) tarafından yardım malzemelerinin dağıtımı için envanter sistemi modeli önerilmiş, ayrıca Balcik ve Beamon (2008) tarafından acil durumların öngörülmesi ve bu durumlara hazırlık amacıyla malzemelere ait depo yerleşimi için bir tesis yeri modeli geliştirilmiştir. Çalışmada 45 aday tesis noktası ele alınmış olup, çeşitli afet seviyelerinde iki tip yardım malzemesinin dağıtımını içeren bir ağ tasarımı yapılmıştır. Özdamar ve diğ. (2004) koordinatları tanımlanan depolar arasında yardım malzemelerinin taşınmasını konu edinen bir

çalışma sunarken, Barbarosoğlu ve diğ. (2002) çalışmalarında helikopter kullanımının afet sonrası taşıma problemine olan etkisini incelemişlerdir.

İnsani yardım lojistiği kapsamında ele alınan problemlerin Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak kurgulandığı ve problemin çözümü için çeşitli çözüm yaklaşımlarının önerildiği birtakım çalışmalar mevcuttur. Örneğin yardım malzemelerinin afetzedelere taşınması problemi kapasite kısıtlı bir ARP olarak düşünülebilir. Araçlar yardım malzemelerinin depolandığı bölgelerden afetzedelerin bulundukları bölgelere kısıtlı kapasiteleri ile malzeme taşınmasını sağlamaktadır. Burada amaç, en kısa sürede malzeme taşınmasını sağlamak, taleplerin tümünün karşılanması ve tam zamanında afet bölgesine gerekli müdahaleyi gerçekleştirmek olarak sıralanabilir. Bu kapsamda ARP, tüm düğümlerin malzeme talebini karşılayarak, en az maliyetle (taşıma mesafesi/süresi, araç sayısı, vb.) depoda başlayan ve depoda biten optimal rotaların bulunmasını amaçlamaktadır. Mevcut literatürde ARP'yi konu edinen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Genel olarak klasik ARP, birçok kitap (Golden ve diğ. (2008); Toth ve Vigo(2002) ve literatür taramasında (Cordeau ve diğ. (2002); Laporte (1992); Laporte(2009); Laporte ve Osman İbrahim (1995), Koç ve diğ. (2016); Braekers ve diğ. (2016)) konu edinilmiştir. Bu konuda ilk çalışma Dantzig ve Ramser (1959) tarafından yapılmış ve yazarlar tarafından ARP'nin çözümü için doğrusal programlama temelli bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Lenstra ve Kan (1981) tarafından problemin karmaşıklığı analiz edilerek ARP'nin NP-zor olduğu kanıtlanmıştır. ARP'nin çözümü için çeşitli sezgisel ve meta-sezgisel yaklaşımlar önerilmekte ve bu yaklaşımların en iyi çözümlere yakın sonuçlar ürettiği gözlenmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda ARP, dinamik problemler (Wen ve diğ.(2010)), zaman pencereli dağıtım problemleri (Cornillier ve diğ.(2009)) ve filo yönetimi (Pessoa ve diğ. (2009)) olmak üzere daha karmaşık ve gerçekçi problemlere dönüştürülmekte ve çeşitli çözüm yaklaşımları önerilmektedir. Bu gerçek hayat problemlerinden bir diğeri ise afet durumlarında ortaya çıkan rotalama problemidir. Sheu (2007) çalışmasında bu problem özelinde karşılaşılan çeşitli zorlukları ve kısıtlamaları vurgulamaktadır. Haghani ve Oh (1996) tarafından yapılan çalışmada, çok-ürünlü çok-modlu ve zaman pencereli bir yardım malzemesi dağıtım modeli geliştirilmiştir. Çalışmada bazı afetzede bölgelerine ulaşım yollarının farklı olduğu ve zaman pencerelerinin ürünlere ve talep bölgelerine göre değiştiği durumlar dikkate alınmıştır. Barbarosoglu ve diğ. (2002) ise afet durumlarında en hızlı şekilde ulaşımı sağlamak amacıyla helikopter rotalama problemini ele almışlardır. Çalışmada helikopter ve helikopterlere atanacak pilot maliyetinin en küçüklenmesi ve en iyi helikopter-hava üssü kombinasyonlarının oluşturulması hedeflenmiştir. Ozdamar ve diğ. (2004) çalışmalarında araçların depoya geri dönüşlerinin zorunlu olmadığı çok-periyotlu acil yardım malzemesi taşıma problemini ele almışlardır. Verilen zaman aralığında yinelemeli olarak çözülen modelde amaç fonksiyonu olarak karşılanamayan talebin en küçüklenmesi dikkate alınmıştır. Sheu (2010) tarafından yapılan çalışmada, tedarikçilerden, dağıtım merkezlerinden ve afet bölgelerinden oluşan bir acil durum lojistik ağı modeli geliştirilmiş olup çözüm yaklaşımı olarak çeşitli acil durum kararlarının alındığı bir karar destek sistemi önerilmiştir. Shen ve diğ. (2005) çalışmalarında toplam karşılanamayan talebin en küçüklenmesini amaçlayarak, büyük ölçekli afet durumunda, stratejik planlama ile harekete geçirilen stokastik bir ARP için çözüm yöntemi geliştirmiştir. Yi ve Özdamar (2007) tarafından, afet sonrası yaralı insanların acil yardım birimlerine en kısa sürede taşınmasını amaçlayan birleşik yerleşim ve dağıtım modeli ele alınmıştır. Çalışmada ayrıca, tıbbi personelin afetzedelere hizmet edebilmesini sağlamak amacıyla acil yardım birimlerine personel atama modeli geliştirilmiştir. Ayrıca çalışmada önerilen iki aşamalı çözüm yaklaşımı ile 13 düğüm, 15 araç ve iki yardım malzemesi dağıtımdan oluşan dinamik bir yerleşim-dağıtım modeli çözümünün makul süreler içerisinde elde edildiği belirtilmiştir. Yi ve Kumar (2007) ise bir önceki çalışmada kullanılan modeli tesis yerleşimi problemi haricinde, yalnızca yaralı lojistiği problemini dikkate alarak çalışmalarında kullanmıştır. Tzeng ve diğ. (2007) toplam maliyet ve taşıma süresinin en küçüklendiği, memnuniyet oranının en büyüklendiği çok-amaçlı yardım malzemesi dağıtım modeli geliştirmiştir. Çalışmada optimal

çözümü elde edilen örnek dağıtım ağı problemi, sekiz adet talep düğümü, beş adet arz düğümü ve dört adet transfer depo düğümünü içermekte olup, üç araç tipi kullanılarak altı tip yardım malzemesinin çeşitli amaçlar doğrultusunda dağıtımı sağlanmıştır. Chern ve diğ. (2009) benzer bir dağıtım ağı tasarımını dikkate almış ve geliştirdikleri modelde afet bölgesinde, giren (gıda, su, tıbbi malzeme) ve çıkan (ölü, yaralı) olmak üzere iki tip talep oluştuğu varsayımında bulunmuşlardır. Balcik ve diğ. (2008) tarafından yapılan çalışmada, yerel dağıtım merkezlerinden yardım malzemelerinin afetten etkilenen insanlara dağıtımı problemi dikkate alınmıştır. Çalışmada, toplam taşıma maliyetinin ve karşılanamayan talep ceza maliyetinin en küçüklenmesi hedeflenmiştir. Jotshi ve diğ. (2009) ise çalışmalarında afetzedelerin bulundukları bölgelerden hastanelere ulaşımını sağlayacak daha iyi rotaların bulunması amacıyla afet sonrası acil yardım araçlarına rota atama modeli geliştirmiştir.

ARP 'nin bir çeşidi olan Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi (KKARP) ise bir depodan başlayıp, belirli taleplere sahip müşterilere homojen kapasiteye sahip araçlarla malzeme taşınmasını amaçlayan bir problem olarak tanımlanabilir. Problemin olası çözüm uzayı, her bir araç için düşük maliyet ve kapasite kısıtlarını sağlayan rota kümelerinden oluşmaktadır. Literatürde genellikle tüm ARP uygulamalarında kapasite kısıtı bulunmaktadır. ARP'nin bir varyasyonu olan KKARP de NP-zor problem sınıfında yer almakta olup, gerçek hayat uygulamalarında makul sürede çözümün bulunması mümkün olamamaktadır. Bu nedenle problemin çözümü için sezgisel veya meta-sezgisel yaklaşımlara başvurulmaktadır. Örneğin, Clark ve Wright (1964), tarafından yapılan çalışmada KKARP'nin çözümü için bir tasarruf (savings) algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmada, depodan talep noktalarına doğrudan ulaşıldığı varsayımı ile elde edilen tasarruf değerlerine göre rotalara yeni talep noktaları eklenmekte ve problemin çözümü sağlanmaktadır. Bu algoritma, geçmiş çalışmalarda çoğunlukla başlangıç çözümlerinin oluşturulması amacıyla kullanılmaktadır. Bir diğer başlangıç çözümü elde etmek amacıyla kullanılan algoritma ise Bellmore ve Nemhauser (1966), tarafından geliştirilen en yakın komşu algoritmasıdır. Gillett ve Miller (1971), tarafından yapılan çalışmada ise KKARP'nin çözümü için süpürme algoritması geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, Cavdur ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmanın bir uzantısı olarak, afet sonrası ortaya çıkan geçici-afet-müdahale tesislerinden afetzedelere yardım malzemesi taşınması problemi için iki-aşamalı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşımın ilk aşamasında tüm olası rotalar arasından araç kapasite kısıtını sağlayan uygun rotaların seçildiği, bu kısıtı sağlayamayan rotaların elendiği bir rota üretme-eleme algoritması geliştirilmiştir. İkinci aşamada ise, bir önceki aşamada elde edilen uygun rotalardan en kısa mesafeden yardım malzemelerinin taşınmasını sağlayan rotaların seçildiği bir tamsayılı programlama modeli kullanılmıştır. Bu sayede, afet sonrası karmaşa ortamının da dikkate alınarak, araçlar vasıtası ile afetzedelere en kısa sürede ve talepleri oranında yardım malzemesi ulaştırılması sağlanmaktadır.

3. METODOLOJİ

Bu çalışmada, afet sonrası yardım malzemesi taşıma problemi, KKARP olarak dikkate alınmış ve problemin çözümü için iki-aşamalı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşımın ilk aşamasında, bir rota üretme-eleme algoritması ile olası tüm rotalar üretilerek, kapasite kısıtını sağlayan uygun rotaların elde edilmesi, bu kısıtı sağlamayan rotaların elenmesi sağlanmıştır. İkinci aşamada ise, algoritma sonucu üretilen uygun rotalar, önerilen tamsayılı programlama modelinin girdisi olarak belirlenip, bu model ile yardım malzemelerinin hangi rotalar üzerinden ve hangi araçlarla taşınacağını gösteren bir taşıma planı oluşturulmuştur.

3.1. Rota Üretme-Eleme Algoritması

Çalışmada önerilen yaklaşımın ilk aşaması olan rota üretme-eleme algoritması ile düğümler arası oluşan tüm rotalar ve rota uzunlukları hesaplanmış ve tüm olası rotalar arasından araç

kapasite kısıtını sağlayan uygun rotalar belirlenerek, kısıtı sağlayamayan diğer tüm rotalar elenmiştir. Rota üretme-eleme algoritmasının genel işleyiş adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Dağıtım ağı tasarımını dikkate alarak, depo düğüm ve talep düğümlerini belirle. n :ağ üzerindeki toplam düğüm sayısı olmak üzere ağ büyüklüğünü belirle.

Adım 2: $i = 1$ olmak üzere, $i \leq n$ olduğu sürece $C(n, i)$ sayıda tüm olası kombinasyon gruplarını oluştur. $i = i + 1$ olarak güncelle. $i = n$ olduğunda Adım 3'e geç.

Adım 3: Adım 2'de belirlenen her bir kombinasyon grubu için, $i \leq$ ilgili kombinasyondaki eleman sayısı olduğu sürece tüm olası permütasyonları (dizilimleri) oluştur. Son sırada olan kombinasyon grubunun son permütasyonu oluştuğunda Adım 4'e geç.

Adım 4: R_T: tüm rota sayısı olmak üzere, $r \leq R_T$ olduğu sürece, her bir kombinasyon grubunun her bir permütasyonuna (dizilimine) karşılık gelen rota uzunluğunu hesapla (q_r). $r = R_T$ olduğunda Adım 5'e geç.

Adım 5: Rota üzerinde yer alan her bir düğümün talep miktarlarını dikkate alarak, $r <= R_T$ olduğu sürece, Denklem 1'de belirtildiği gibi, her bir rotaya ait toplam talebi hesapla (d_r). j: rota üzerinde yer alan talep düğümleri ve N_r: r rotası üzerindeki düğümleri göstermek üzere;

$$d_r = \sum_{j \in Nr} d_j \tag{1}$$

$r = r + 1$ olarak güncelle. $r = R_T$ olduğunda Adım 6'ya geç.

Adım 6: Q araç kapasitesi olmak üzere, her r rotası için kapasite kısıtını kontrol et. $r \leq R_T$ olduğu sürece eğer; $d_r \leq Q$ ise ilgili rotayı uygun rotalar kümesine dahil et. Aksi durumda r rotasını elenmiş rotalar kümesine ekle. $r = r + 1$ olarak güncelle. $r = R_T$ olduğunda ise dur.

3.2. Tamsayılı Programlama Modeli

Çalışmada önerilen yaklaşımın ikinci aşamasında, ilk aşamada belirlenen uygun rotalar ve rota uzunlukları girdi parametresi olup, diğer araç rotalama problemi genel kısıtlarının dikkate alındığı ve yardım malzemelerinin en kısa mesafeden afetzedelere ulaştırılmasını amaçlayan bir tamsayılı programlama modeli kullanılmıştır. Tamsayılı programlama modelinde tek depo varsayımı bulunduğundan dolayı ($i = 0$) olarak kabul edilmiştir. Araç kapasite kısıtı rota üretme-eleme algoritmasında dikkate alındığından, tamsayılı programlama modelinde bu kısıt dikkate alınmamıştır.

Dizin kümeleri ve parametreler;

N: Talep düğümü sayısı

V: Araç sayısı

R: Rota üretme-eleme algoritması ile üretilen uygun rota sayısı

j: talep düğümleri $j = 1, \dots, N$

v: araçlar $v = 1, \dots, V$

r: uygun rotalar $r = 1, \dots, R$

d_j:j. düğümün yardım malzemesi talebi

q_r: r rotasının uzunluğu (km)

Q: araç kapasitesi

$$p_{jr} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ düğümü } r. \text{ rotada yer alıyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Karar Değişkenleri;

$$z_{vr} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } v. \text{ araç } r. \text{ rotayı kullanıyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases}$$

y_{jvr}: j. düğüme v. araç tarafından r rotası kullanılarak taşınan yardım malzemesi miktarı

Amaç Fonksiyonu:

$$\min z = \sum_{r=1}^{R} q_r \sum_{v=1}^{V} z_{vr} \tag{2}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^{N} y_{jvr} \leq Q z_{vr}, \qquad v = 1, \dots, V;\ r = 1, \dots, R \tag{3}$$

$$\sum_{v=1}^{V} \sum_{r=1}^{R} y_{jvr} \geq d_j, \qquad j = 1, \dots, N \tag{4}$$

$$\sum_{r=1}^{R} z_{vr} \leq 1, \qquad v = 1, \dots, V \tag{5}$$

$$y_{jvr} \leq Q p_{jr}, \qquad j = 1, \dots, N; v = 1, \dots, V; r = 1, \dots R \tag{6}$$

$$z_{vr} \in \{0,1\}, \qquad v = 1, \dots, V; r = 1, \dots, R \tag{7}$$

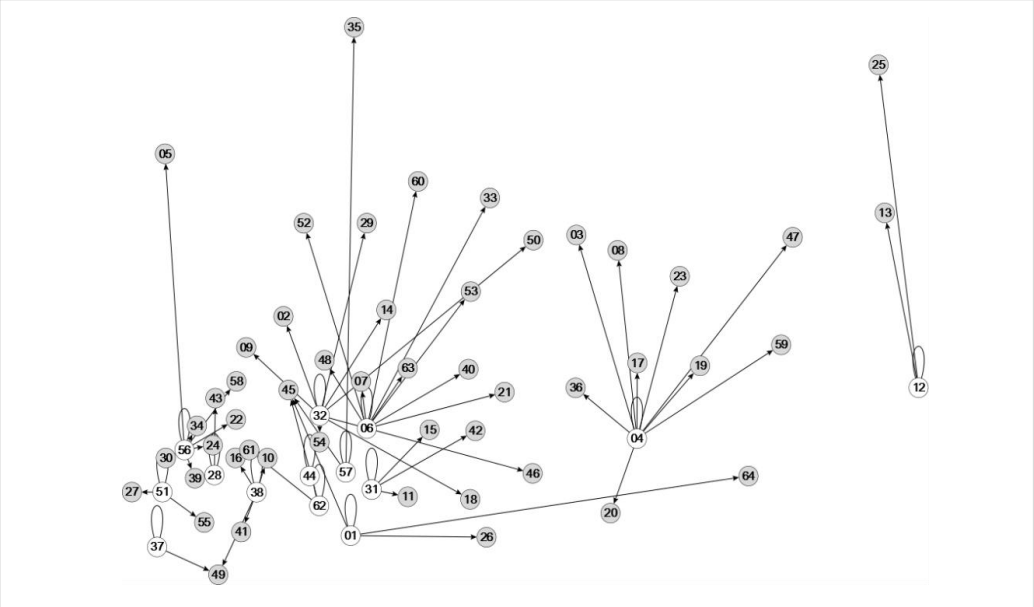
$$y_{jvr} \geq 0, \qquad j = 1, \dots, N; v = 1, \dots, V; r = 1, \dots, R \tag{8}$$

Denklem (2)‘de verilen modelin amaç fonksiyonu ile yardım malzemelerinin en kısa mesafeden taşınmasını sağlayacak rotaların seçilmesi hedeflenmektedir. Denklem (3)’te belirtilen kısıt ile değişkenler arası mantıksal ilişki yansıtılmıştır. Eğer bir talep düğümü bir rota üzerinde bulunuyorsa, ilgili düğüme malzeme taşınması sağlanabilir, aksi halde bu durum, ilgili kısıt ile önlenmektedir. Denklem (4)’te tüm düğümlerin yardım malzemesi taleplerinin karşılanması garanti edilirken, Denklem (5)’te her araca en fazla bir rota atanması sağlanmaktadır. Denklem (6)’da belirtilen kısıt değişkenler arası ilişkiyi yansıtmanın yanı sıra, rota üzerinde olmayan bir düğüme, ilgili rotadan yardım malzemesi dağıtımının yapılmasını önlemektedir. Denklem (7) ve Denklem (8) karar değişkenlerinin ve işaretlerinin tanımlandığı kısıtlar olarak belirtilmiştir.

Çalışmada ele alınan model formülasyonun özel yapısı ve düğüm taleplerinin her durumda araç kapasitesinden küçük olması nedeniyle y_{jvr} değişkenlerinin tamsayılı olma koşuluna gerek olmadığı görülmüştür.

4. UYGULAMA VE SONUÇLAR

Çalışmada önerilen çözüm yaklaşımın uygulanması amacıyla, AFAD-Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından oluşturulan deprem örnek olayı verileri kullanılmıştır. Deprem örnek olayında oluşan afetzede sayısı ve afetzedelere ait yardım malzemesi talep bilgileri dikkate alınarak tesis yerleşim ve malzeme dağıtım probleminin çözümü sağlanmıştır (Cavdur ve diğ., 2016). Elde edilen optimal yerleşim ve dağıtım sonuçları kullanılarak, afet sonrası ortaya çıkan yardım malzemesi taşıma problemi için iki-aşamalı çözüm yaklaşımı kullanılmıştır. Şekil 2'de stokastik programlama modelinin en kötü deprem senaryosunun deterministik çözümü şebeke gösterimi ve bu çalışmada önerilen iki-aşamalı çözüm yaklaşımının uygulanacağı alt taşıma problemleri gösterilmiştir. Dikkate alınan en kötü durum senaryosunda dokuz alt taşıma problemi elde edilmiş ve her bir alt problemde geçici-afet müdahale tesisinin açıldığı düğüm depo düğümünü (beyaz renk), bu tesislerden yardım malzemelerinin temininin sağlandığı diğer düğümler ise talep (afetzede) düğümlerini (gri renk) göstermektedir. Örneğin; Alt problem-1'de 4 numaralı düğüm depo düğümünü gösterirken; 3, 8, 17, 19, 20, 23, 36, 47 ve 59 numaralı düğümler ise talep düğümlerini (afetzedelerin bulunduğu düğümler) göstermektedir. Talep bilgileri, tesis yerleşim problemi çözümü sonucunda oluşan dağıtım bilgileri dikkate alınarak belirlenmiş olup, tesislerde önceden konumlandırılmış 120.000 litrelik kapasiteye sahip özdeş araçlar bulunduğu varsayılmıştır. Afetzede düğümlerine su, gıda kiti ve hijyenik kit olmak üzere üç tip yardım malzemelerinin dağıtımının yapılacağı varsayılarak, malzemelere ait hacim bilgileri hesaplanmıştır. Ayrıca, alt problemlere ait şebeke büyüklük bilgileri, rota üretme-eleme algoritması sonucu oluşan toplam olası rota sayıları ve eleme sonucu elde edilen uygun rota sayıları Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 2:
Alt taşıma problemleri (Cavdur ve diğ. (2016) çalışmasından alınmıştır.)

Tablo 1. Alt taşıma problemlerine ait rota bilgileri

Alt Problem	Düğüm Sayısı	Tüm Olası Rota Sayısı	Uygun Rota Sayısı
Alt Problem-1	10	986.400	6.672
Alt Problem-2	4	12	12
Alt Problem-3	10	986.400	19.800
Alt Problem-4	3	2	2
Alt Problem-5	4	12	12
Alt Problem-6	9	109.592	64.232
Alt Problem-7	4	12	12
Alt Problem-8	3	2	2
Alt Problem-9	8	13.692	13.692

Tablo 2. Alt taşıma problemleri çözümü

Alt Problem	Toplam Rota Uzunluğu (km)	Taşıma Planı
Alt Problem-1	24,3	4 – 17 (22.435) – 47 (38.745) – 59 (9.075) – 19 (33.635) – 4
Alt Problem-1		4 – 36 (22.984) – 20 (9.310) – 4
Alt Problem-1		4 – 3 (46.750) – 8 (26.248) – 23 (31.010) – 4
Alt Problem-2	18,7	1 – 61 (210) – 26 (7.665) – 64 (1.575) – 1
Alt Problem-3	10,2	6 – 7 – 63 (17.360) – 40 (32.130) – 21 – 33 (21.665) – 6
Alt Problem-3		6 – 7 (17.010) – 63 – 40 – 21 (18.900) – 52 (18.830) – 6
Alt Problem-3		6 – 7 – 48 (19.915) – 63 – 53 (34.405) – 60 (19.635) – 6
Alt Problem-4	9,9	12 – 13 (1.715) – 25 (4.270) – 12
Alt Problem-5	5.1	31 – 11 (31.185) – 15 (23.240) – 42 – (21.560) – 31
Alt Problem-6	19,2	32 – 9 (5.670) – 2 (5.075) – 29 (1.680) – 14 (7.000) – 46 (33.740) – 32
Alt Problem-6		32 – 54 (10.045) – 46 (10.850) – 18 (18.375) – 32
Alt Problem-7	2,95	38 – 10 (1.435) – 16 (12.670) – 41 (24.955) – 38
Alt Problem-8	2,8	51 – 55 (770) – 27 (13.195) – 51
Alt Problem-9	11	56 – 24 (3.080) – 22 (14.735) – 58 (14.105) – 5 (280) – 34 (4.865) – 56
Alt Problem-9		56 – 30 (6.720) – 39 (7.945) – 56

Önerilen rota üretme-eleme algoritması MATLAB programında kodlanarak, tüm olası rota kombinasyonları oluşturulmuş ve kapasite kısıtı bu rotalara uygulanarak kısıtı sağlayamayan

rotaların elenmesi sağlanmıştır. Rota üretme-eleme algoritması sonuçlarından görüldüğü gibi, şebeke büyüklüğü daha küçük olan alt problemlerde daha az sayıda rota üretilmiş ve hemen hemen tüm rotaların kapasite kısıtını sağladığı gözlenmiştir. Algoritmanın rota eleme işlevinin, daha çok düğüme sahip şebeke modellerinde daha etkili olduğu görülmektedir.

Üretilen uygun rotalar ve bu rotalara ait uzunluk, talep miktarı bilgileri tamsayılı programlama modelinde girdi parametreleri olarak dikkate alınmıştır. Kullanılan tamsayılı programlama modeli ise Mathematical Programming Language (MPL) ortamında kodlanmış ve çözüm için Gurobi çözücüsü kullanılmıştır. Problem çözümleri, Intel Core i5 CPU 2450 2,50 GHz hızında işlemciye, 8GB RAM ara belleğe sahip bir kişisel bilgisayar yardımıyla elde edilmiştir.

Çözüm süresi şebeke modeli büyüklüklerine göre değişkenlik gösterdiğinden, en uzun çözüm süresi 3,4 dakika olarak Alt Problem-1'e aittir. Her bir alt taşıma problemi için model sonucu seçilen rotalar, toplam katedilen mesafe (optimal amaç fonksiyonu değeri) ve rotalar üzerinden taşınan yardım malzemesi miktarları parantez içinde Tablo 2'de gösterilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere, ele alınan taşıma problemleri için tamsayılı programlama modeli ile tüm taleplerin karşılandığı, depoda başlayıp depoda biten ve her düğümün yalnızca bir kez ziyaret edildiği ve en kısa uzunluğa sahip rotalar elde edilmiştir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, afet sonrası yardım malzemesi taşıma problemi, literatürde yer alan KKARP olarak kurgulanmış ve çözümü için iki-aşamalı çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşımın ilk aşamasında, rota üretme-eleme algoritması ile araç kapasite kısıtını sağlayan uygun rotalar üretilerek, bu kısıtı sağlayamayan rotalar elenmiştir. İkinci aşamada ise algoritma ile üretilen uygun rotalar, önerilen tamsayılı programlama modelinin girdisi olarak belirlenerek, bu model ile yardım malzemelerinin hangi rotalar üzerinden ve hangi araçlar ile taşınacağını gösteren bir taşıma planı oluşturulmuştur. Oluşturulan taşıma planı ile afet sonrası malzeme dağıtımında ortaya çıkabilecek sorunlar ve karmaşa ortamı önlenerek, daha kontrollü bir malzeme taşıma süreci sağlanmıştır. Böylece, afetzedelerin ihtiyaçları oranında ve herkesin eşit şekilde yardım malzemelerine ulaşabilecekleri bir afet sonrası taşıma süreci oluşturulmuştur.

Rota üretme-eleme algoritmasının daha çok düğüme sahip alt taşıma problemlerinde elenen rota sayısının da artmasıyla oldukça etkili olduğu görülmüştür. Şebeke büyüklüğü nispeten daha küçük alt taşıma problemlerinde ise daha az sayıda rota üretildiğinden ve bu rotaların çoğunun kapasite kısıtını sağlamasından dolayı algoritmanın etkinliğinin azaldığı söylenebilir. Genel olarak büyük boyutlu problemler için tamsayılı programlama modelinde bulunan kapasite kısıtının, rota üretme-eleme algoritması kullanılarak elimine edilmesi sayesinde çözüm süresine olumlu katkılar sağlayacağı açıktır. Ayrıca genel bir yardım malzemesi dağıtım probleminin alt problemlere bölünerek birbirinden bağımsız taşıma problemleri haline dönüştürülmesi, KKARP modeline boyut ve çözüm süresi açısından olumlu katkılar sağlamaktadır.

Gelecek çalışmalarda önerilen iki-aşamalı çözüm yaklaşımı tek bir yaklaşım olarak kurgulanıp, taşıma probleminin çözümünde kullanılabilir. Ayrıca afet yönetiminde ortaya çıkan tesis yerleşimi, malzeme dağıtımı ve taşınması problemi bütün olarak ele alınıp, çözümü için çeşitli yaklaşımlar geliştirilebilir. Problemin bütün olarak ele alınması her ne kadar problem karmaşıklığını arttırsa da çözüm için çeşitli sezgisel veya meta-sezgisel yaklaşımlar geliştirilebilir. Literatürde bulunan çeşitli ARP varyasyonları da dikkate alınarak, afet sonrası tahliye planlama ve taşıma problemleri bu tür problemlere uyarlanarak çözümü sağlanabilir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 115M020 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Altay, N. ve Green, W.G. (2006) OR/MS research in disaster operations management, *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475-493. doi:10.1016/j.ejor.2005.05.016

2. Balcik, B. ve Beamon, B. M. (2008) Facility location in humanitarian relief, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 11(2), 101–121. doi: 10.1080/13675560701561789

3. Balcik, B., Beamon, B. M. ve Smilowitz, K. (2008) Last mile distribution in humanitarian relief, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 51-63. doi:10.1080/15472450802023329

4. Barbarosoglu, G., Ozdamar, L. ve Cevik, A. (2002) An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations, *European Journal of Operations Res*earch, 140(1) 118–133. doi:10.1016/S0377-2217(01)00222-3

5. Barbarosoglu, G., Ozdamar, L. ve Cevik, A. (2002) An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations, *European Journal of Operational Research*, 140(1), 118-133. doi:10.1016/S0377-2217(01)00222-3

6. Barbarosoglu, 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. doi:10.1057/palgrave.jors.2601652

7. Beamon, B. M. (2004) Humanitarian Relief Chains: Issues and Challenges, *Proceedings of the 34th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, San Francisco, USA.

8. Beamon, B. M. ve Kotleba, S. A. (2006) Inventory modeling for complex emergencies in humanitarian relief operations, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 9(1), 1-18. doi:10.1080/13675560500453667

9. Bellmore, M. ve Nemhauser G.L. (1966) The Travelling Salesman Problem: A Survey, *Operations Research*, 16(3), 538-558. doi:10.1287/opre.16.3.538

10. Braekers, K., Ramaekers, K. ve Van Nieuwenhuyse, I. (2016) The vehicle routing problem: State of the art classification and review, *Computers & Industrial Engineering*, 99(2016), 300-313.doi:10.1016/j.cie.2015.12.007

11. Caunhye, A. M., Nie, X. ve Pokharel, S. (2012) Optimization models in emergency logistics: A literature review, *Socio-economic Planning Sciences*, 46(1), 4-13. doi:10.1016/j.seps.2011.04.004

12. Cavdur, F., Kose-Kucuk, M. ve Sebatli, A. (2016) Allocation of temporary disaster response facilities under demand uncertainty: An earthquake case study, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 19, 159-166. doi:10.1016/j.ijdrr.2016.08.009

13. Chern, C. C., Chen, Y. L. ve Kung, L. C. (2010) A heuristic relief transportation planning algorithm for emergency supply chain management, I*nternational Journal of Computer Mathematics*, 87(7), 1638-1664. doi:10.1080/00207160802441256

14. Clarke, G. ve Wright, J.W. (1964) Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, *Operations Research*, 12, 568-581. doi:10.1287/opre.12.4.568

15. Cordeau, J. F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J. Y. ve Semet, F. (2002) A guide to vehicle routing heuristics, *Journal of the Operational Research Society*, 53(5), 512-522. doi: 10.1057=palgrave=jors=2601319

16. Cornillier, F., Laporte, G., Boctor, F. F. ve Renaud, J. (2009) The petrol station replenishment problem with time windows. *Computers and Operations Resea*rch, 36(3), 919-935. doi:10.1016/j.cor.2007.11.007

17. Dantzig, G.B. ve Ramser, J.H. (1959) The truck dispatching problem, *Management Science*, 6(1), 80-91. doi:10.1287/mnsc.6.1.80

18. Gillett, B.E. ve Miller, L.R. (1971) A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem, *Operation Research*, 22, 340-349. doi:10.1287/opre.22.2.340

19. Golden, B., Raghavan, S. ve Wasil, E. (2008) *The vehicle routing problem latest advances and new challenges*, Springer, Berlin. doi: 10.1007/978-0-387-77778-8

20. Haghani, A. ve Oh, S. (1996) Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations, *Transportation Research Part A*, 30(3), 231-250. doi:10.1016/0965-8564(95)00020-8

21. https://aats.afad.gov.tr/sozluk4.php, Erisim Tarihi: 23.07.2018, Konu: *T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü*.

22. Jotshi, A., Gong, Q. ve Batta, R. (2009) Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion, *Socio-Economic Planning Sciences*, 43(1), 1-24. doi:10.1016/j.seps.2008.02.005

23. Koç, Ç., Bektaş, T., Jabali, O. ve Laporte, G. (2016) Thirty years of heterogeneous vehicle routing, *European Journal of Operational Research*, 249(1), 1-21. doi:10.1016/j.ejor.2015.07.020

24. Laporte, G. (1992) The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms, *European Journal of Operational Research*, 59(3), 345-358. doi:10.1016/0377-2217(92)90192-C

25. Laporte, G. ve Osman, I. H. (1995) Routing problems: A bibliography, *Annals of Operations Research*, 61(1), 227-262. doi:10.1007/BF02098290

26. Laporte, G. (2009) Fifty years of vehicle routing, *Transportation Science*, 43(4), 408-416. doi:10.1287/trsc.1090.0301

27. Lenstra, J.K. ve Kan, A.H.G. (1981) Complexity of Vehicle and Scheduling Problems, *Networks*, 11(2), 221-227. doi:10.1002/net.3230110211

28. Liberatore, F., Pizarro, C., Simon de Blas, C., Ortuno, M.T. ve Vitoriano, B. (2013) Uncertainty in Humanitarian Logistics for Disaster Management. A Review, Book Chapter, *Decision Aid Models for Disaster Management and Emergencies, Atlantis Computational Intelligence Systems*, Atlantis Press. doi: 10.2991/978-94-91216-74-9_3

29. Mete, H.O ve Zabinsky, Z.B. (2010) Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management, *International Journal of Production Economics*, 126(1), 76-84. doi:10.1016/j.ijpe.2009.10.004

30. Nagurney, A.,Yu, M. ve Qiang, Q. (2011) Supply chain network design for critical needs without sourcing, *Papers in Regional Science*, 90(1), 123-142. doi:10.1111/j.1435-5957.2010.00317

31. Natarajarathinam, M., Capar, I. ve Narayanan, A. (2009) Managing supply chains in times of crisis: a review of literature and insights, *International Journal of Physical Distribution and Logistic Management*, 39(7), 535-573. doi:10.1108/09600030910996251

32. Ozdamar, L., Ekinci, E. ve Kucukyazici, B. (2004) Emergency logistics planning in natural disasters, *Annals of Operations Res*earch, 129, 217–245. doi:10.1023/B:ANOR.0000030690.27939.39

33. Ozdamar, L.ve Demir, O. (2012) A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning, *Transportation Research Part E,* 48(3), 591-602. doi.org/10.1016/j.tre.2011.11.003

34. Pessoa, A., Uchoa, E. ve Poggi de Aragao, M. (2009) A robust branch-cut-and-price algorithm for the heterogeneous fleet vehicle routing problem, *Networks: An International Journal*, 54(4), 167-177. doi:10.1002/net.20330

35. Rawls, C.G. ve Turnquist, M.A. (2010) Pre-positioning of emergency supplies for disaster response, *Transportation Research Part B*, 44(4), 521-34. doi:/10.1016/j.trb.2009.08.003

36. Salman, F.S. ve Gul, S. (2014) Deployment of field hospitals in mass casualty incidents, *Computers & Industrial Engineering*, 74, 37-51. doi:10.1016/j.cie.2014.04.020

37. Shen, Z., Dessouky, M. ve Ordonez, F. (2005) Stochastic vehicle routing problem for large-scale emergencies, *Technical Report*, University of Southern California, Los Angeles.

38. Sheu, J.B. (2010) Dynamic relief-demand management for emergency logistics operations under large-scale disasters, *Transportation Research Part E*, 46(1), 1-17. doi:10.1016/j.tre.2009.07.005

39. Toth, P., ve Vigo, D. (2014). *Vehicle routing: problems, methods, and applications*, Society for Industrial and Applied Mathematics. doi:10.1137/1.9781611973594.fm

40. Tzeng, G. H., Cheng, H. J. ve Huang, T. D. (2007) Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 673-686. doi:10.1016/j.tre.2006.10.012

41. Wen, M., Cordeau, J. F., Laporte, G. ve Larsen, J. (2010) The dynamic multi-period vehicle routing problem, *Computers and Operations Research*, 37(9), 1615-1623. doi:10.1016/j.cor.2009.12.002

42. Yi, W. ve Kumar, A. (2007) Ant colony optimization for disaster relief operations, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 660-672. doi:10.1016/j.tre.2006.05.004

43. Yi, W. ve Ozdamar L. (2007) A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities, *European Journal of Operational Research*, 179(3), 1177-1193. doi:10.1016/j.ejor.2005.03.077