



Journal of Turkish Operations Management

Afet lojistiğinde üç aşamalı karma tamsayılı bir model önerisi

Hüseyin Soyöz^{1*}, Bahar Özyörük²

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara

e-mail: huseyin.soyoz@gmail.com, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-4885-6217>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara

e-mail: bahar@gazi.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-5434-6697>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 11.04.2021

Revize: 04.05.2021

Kabul: 05.05.2021

Anahtar Kelimeler:

Afet lojistiği
İnsani yardım lojistiği
Karma tamsayılı programlama

Özet

Dünyada ve Türkiye’de afet nedeniyle hayatını kaybeden insanların sayısı günden güne artmaktadır. Ölen insanların bir kısmı afet esnasında bir kısmı ise afet sonrasındaki yetersizlikler sebebiyle hayatını kaybetmektedir. Bu sebeple afet öncesinde yapılan ve sonrasında yapılacak işlemlerin önceden planlanması önemli bir konu haline gelmiştir. Bu konu ile ilgili olarak araştırmacılar son yıllarda afet lojistiği üzerinde durmaktadırlar. Afet lojistiğinin aşamaları afet öncesi hazırlık, afet müdahale süreci ve müdahale sonrası lojistik faaliyetler şeklindedir. Bu çalışmada afet sonrasında kriz alanındaki insanların barınaklara ve sağlık merkezlerine taşınması, aynı zamanda tedarikçilerden depolar vasıtasıyla barınaklarda bulunan insanlara zaruri ihtiyaçlarını sağlık merkezinde bulunan insanlara ise zaruri ihtiyaçlarını ve sağlık malzemelerini taşınmasını sağlamak üzere üç aşamalı karma tamsayılı bir matematiksel model önerilmiştir. Bu matematiksel model küçük bir veri seti ile test edilerek sonuçları paylaşılmıştır.

A three-stage mixed integer model proposal in disaster logistics

Article Info

Article History:

Received: 11.04.2021

Revised: 04.05.2021

Accepted: 05.05.2021

Keywords:

Disaster logistic
Humanitarian logistic
MILP

Abstract

The number of people who died because of disasters in the world and Turkey is increasing day by day. Some of the people who died die during the disaster, and some of them die due to inadequacies after the disaster. For this reason, it has become an important issue to plan the actions before and after the disaster. Regarding this issue, researchers have focused on disaster logistics in recent years. The stages of disaster logistics are pre-disaster preparedness, disaster response process and post-response logistics activities. In this study, a 3-stage mixed integer mathematical model is proposed to transport people in crisis areas to shelters and health centers after disasters, as well as to provide the necessary needs and health supplies to people through warehouses from suppliers. This mathematical model was tested with a small data set and the results were shared.

1. Giriş

Fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar meydana getiren normal yaşamı ve insan faaliyetlerini durdurarak veya kesintiye uğratarak toplulukları etkileyen mevcut hizmet sistemlerinin kilitlendiği, kaynakların yetersiz kaldığı, doğal ve insan kökenli olaylara afet denir.

Dünya’da her yıl milyonlarca insan doğal afetler sebebiyle hayatını kaybetmektedir. Ölen insanların bir kısmı afet anında bir kısmı ise afet sonrasında yetersizlik sebebiyle yaşamını yitirmektedir. Bu sebeple hem uluslararası platformlarda hem de ülkelerin kendi bünyelerinde oluşturdukları vakıflar ve dernekler kurulmakta ve bu kurumlar afet anında, afet sonrasında ne gibi planlamalar yapılabilir sorusu üzerine cevaplar aramaktadırlar. Sadece kurumlar değil aynı zamanda afet üzerine çalışan uzmanlar, araştırmacılar, analistler devlet görevlileri, akademisyenler afet üzerine detaylı çalışmalar yapıp hem kendi ülkelerine hem de diğer ülkelere bu anlamda katkı vermektedirler.

Son yıllarda meydana gelen depremler, tsunamiler, seller, fırtınalar, kasırgalar vb. araştırmacıların bu alanlara olan katılımını daha da artırmıştır. Afetlerde can, mal kaybını önlemek için afet yönetimi önemlidir. Afet yönetiminin sağlanmasında afet lojistiğinin katkısı yadsınamazdır. Afet lojistiğinin aşamaları afet öncesi hazırlık, afet müdahale süreci ve müdahale sonrası lojistik faaliyetler şeklindedir. Yapılan araştırmalara göre katılımcılar afet öncesinde; afet anında yapılabilecekler önceden hazırlık yapmak adına bazı planlamalar yapmaktadırlar. Özellikle yine araştırmacılar afet sonrasında ölen ve yaralanan kişi sayısını azaltmak, var olan enkazı bir an önce ortadan kaldırmak ve çeşitli kayıpları önlemek adına planlamalar yapmaktadırlar.

Afet sonrasında yapılan planlamaların en önemli ayağını ise kriz alanlarından insanların tahliyesi, insani yardım malzemelerinin dağıtımı, personel dağıtımının yapılması, gerekli yerlere depo ve yardım çadırlarının kurulması, yaralıların sağlık merkezlerine taşınması vb. durumlar oluşturmaktadır. Çalışmaya ait ikinci bölümde afet lojistiği ile ilgili yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde verilmiş olup üçüncü bölümde probleme ait 4 seviyeli ve 3 aşamalı bir karma tamsayı matematiksel model formüle edilmiştir. Dördüncü bölümde ise formüle edilen matematiksel model küçük ölçekli bir veri seti ile test edilmiş ve sonuçları paylaşılmıştır. Beşinci bölümde ise afet lojistiğinin önemi, çalışmanın oluşturmuş olduğu katkılardan bahsedilerek gelecek çalışmalara değinilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Afet lojistiği son dönemlerde özellikle afetten ölen kişi sayısının fazla olması sebebiyle literatürde üzerinde durulan konular arasında yer almaktadır. Afet lojistiğinin olay bazlı ve dinamik olması gerekmektedir. Çünkü her afet, türü, şiddeti, meydana geldiği zaman ve coğrafya ile o yerin hassasiyetine bağlı olarak çok farklı özelliklere sahip olduğundan afet lojistiği, günümüzde üzerinde sürekli çalışılan bir alan olup, yeni yaklaşımların geliştirilmesi gereken bir konudur. Yapılan çalışmaların kapsamı aşağıda verilmiştir.

Örneğin Barbarosoğlu ve Arda (2004) acil müdahale sırasında hayati öneme sahip malların felaketten etkilenen alanlara taşınmasını planlamak için iki aşamalı bir stokastik programlama modeli önermiştir. Bir kentsel ulaşım ağı üzerinden malzeme akışını tanımlamak için çok ürünlü, çok modlu bir ağ akış formülasyonu geliştirmişlerdir. Özdamar ve diğ. (2004) doğal afet lojistiği karar destek sistemine entegre edilecek bir planlama modeli geliştirmiştir. Model, devam eden yardım teslimatı sırasında belirli zaman aralıklarında tekrar çözülmesi gereken dinamik zamana bağlı taşıma problemini ele almaktadır.

Massaquer ve diğ. (2006) bilgi teknolojisinin, acil müdahale sırasında insanların edindiği bilgi kalitesini ve miktarını iyileştirme potansiyeline sahip olduğuna vurgu yaparak DrillSim adı verilen çok aşamalı benzetim programı hedeflenen amaç için kullanılmıştır. Günneç ve Salman (2007) ise çalışmalarında etkili afet sonrası acil durum lojistiği için afet öncesi planlamada çok tesisli bir yer problemi için iki aşamalı çok kriterli bir stokastik programlama modeli sunmuştur. Modelde acil müdahale ve dağıtım merkezlerinin yerlerinin seçimi hem felaket öncesi depolama hem de arama kurtarma ekipleri, sağlık ekipleri, yiyecek, su, ihtiyaç maddeleri ve makine gibi ürünlerin felaket sonrası nakliyesi için göz önünde bulundurulmaktadır.

Lee ve diğ. (2009) ise yardım malzemelerinin tedarik zincirinin ve dağıtım operasyonlarının simüle edildiği afet müdahale için bir modelleme çerçevesi geliştirmiş ve yardım malzemelerinin çeşitli dağıtım noktalarına optimum şekilde taşınması için analitik test yapmışlardır. Afet müdahalesine ilişkin simülasyon modeli, yardım malzemelerinin tedarik zincirini, dağıtım işlemlerini, talebin dinamiklerini ve felaketin ilerlemesini durumunu içermektedir. Ablanado-Rosas ve diğ. (2009) Meksika’daki Hidalgo eyaletindeki afet yönetimi aşamalarıyla ilgilenmişlerdir. Tüm belediyelerin en yakın merkeze 55 kilometre mesafedeki bir şekilde eyalet çapında acil durum / kurtarma merkezlerini tahsis etmek için bir proje üzerinde çalışmışlardır. Problem küme kaplama problemi olarak modellenmiştir. Analizler sırasında nüfus, devlet ekonomisine katılım, hekimlerin bulunabilirliği ve kilometrelerce yol dahil farklı özellikler modele eklenmiştir.

Lu ve diğ. (2009), daha önce hazırlamış oldukları büyük ölçekli acil sağlık merkezi konum modeli için karınca kolonisi algoritması geliştirilmiştir. Huang ve diğ. (2010) P-merkezi probleminde, bir düğümde yer alan tesisin düğümden kaynaklanan taleplere cevap verdiği varsayılmıştır. Ancak çalışmada bu problemin şehirdeki acil durumlarda işlevsiz hale gelebileceği düşünülmüş ve bahsi geçen koşullarda uygun olmadığı tespit edilmiştir. Bu sebeple problem bir düğümdaki tesisin cevap veremediği ek bir varsayımla p-merkezi probleminin bir çeşidi olarak geliştirilmiştir.

Campbell ve Jones (2011) bir felakete hazırlanırken sarf malzemelerinin nereye yerleştirileceği kararını incelemiştir. Bu sebeple bir maliyet modeli geliştirilmiştir. Model stok miktarına da karar vermektedir. Aynı zamanda çalışmada modeldeki parametrelerin değişiminde hangi değişikliklerin olacağına dair duyarlılık analizi yapılmıştır. Duran ve diğ. (2011) felaket sonrasında enkaz altında kalan veya benzeri durumlara maruz kalan kişilere çoğunlukla insani yardım kuruluşları yardım ettiğine vurgu yapmışlar ve çalışmalarında CARE adlı insani yardım kuruluşunun acil müdahale süresini minimize etmek için bir model geliştirmişlerdir. Modelin sonuçları kuruluş ile paylaşılmış ve ön konumlandırma ağını oluşturmada kullanılmıştır.

Görmez ve diğ. (2011) yakın gelecekte büyük çapta yıkıcı bir deprem olması beklenen İstanbul şehrinde afet müdahalesi ve yardım tesislerinin belirlenmesi probleminde değinmişlerdir. Modelde açılan tesis sayısını ve talep noktaları ile tesisler arasındaki mesafeyi minimize etmek amacıyla iki aşamalı bir dağıtım sistemi kullanılmıştır. Günneç ve Salman (2011) felaket durumunda, belirli bir ulaşım ağının işlevselliğini değerlendirmek için muhtemel bağlantı ölçütlerini ve kritik varış noktası çiftleri arasında beklenen seyahat süresini / mesafesini değerlendirilmiştir. Bağlantı başarısızlıkları arasındaki bağımlılık modellenmiştir ve felaketin ağ üzerindeki etkisini içeren yeni bir bağımlılık modeli önerilmiştir. İstanbul karayolu sisteminin deprem riski altındaki bir örnek çalışması sunulmuştur.

Vitoriano ve diğ. (2011) afet sonrasında bir yardım dağıtım problemi için çeşitli kriterler önerilmiş ve bununla ilgili çok kriterli bir optimizasyon modeli sunmuşlardır. Bu model, insani yardımın dağıtımından sorumlu kuruluşlara yardımcı olmak üzere geliştirilmekte olan bir karar destek sisteminin özü olarak kabul edilmiştir. Verma ve Gaukler (2011) felaket müdahale tesislerinin seçimi için iki aşamalı stokastik bir model önermişlerdir. Kaliforniya eyaleti için deprem müdahale tesisinin bulunduğu yer için bir vaka incelemesi sunulmuştur. Döyen ve ark (2012) afet öncesi ve sonrası kurtarma merkezleri için kararların alındığı insani yardım lojistik problemi için iki aşamalı stokastik bir programlama modeli geliştirmişlerdir. Modelin deterministik eşdeğeri karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli olarak formüle edilmiş ve Lagrange'ın gevşemesini esas alan bir sezgisel yöntemle çözülmüştür.

Galindo ve Batta (2013) depolanan sarf malzemelerinin imha edilmesine izin verilen felaketlerde sarf malzemelerinin ön hazırlığı için bir model sunmuşlardır. Modelde talebin stokastikliği dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, önceden konumlandırılmış sarf malzemelerinin yerini ve depolama seviyesini veren bir tam sayı programlama modeli sunulmuştur. Lu (2013) etkilenen bölgelerden gelen talepleri ve etkilenen bölgeler arasındaki seyahat süreleri dikkate alarak, kesin tahminlerinin bulunmadığı, hızlı başlangıçlı doğal afetlere yanıt veren acil bir lojistik dağıtım sistemine yardım dağıtım merkezlerini atamak için bir model önerilmiştir.

Garrido ve diğ. (2015) karar vericilere sel olaylarında acil durum lojistiğinde yardımcı olacak bir model sunmuşlardır. Model, belirli bir olasılıkla talepleri karşılamak için yeterli malzemeleri sağlamak amacıyla acil durum malzemelerinin envanter seviyelerini ve araçların uygunluğunu optimize etmeye çalışmaktadır. Hong ve diğ. (2015) belirsiz talep ve taşıma kapasiteleri altında afet öncesi bir yardım ağı tasarımı problemi için riskten kaçınan stokastik bir modelleme yaklaşımı sunmuşlardır. Müdahale olanaklarının boyutları ve konumları ve her tesiste bulunan tahliye sarf malzemelerinin envanter seviyeleri, belirli bir ağ güvenilirliği seviyesinde belirlenmiştir.

Salman ve Yücel (2015) altyapıya, özellikle de otoyollara ve yollara verilen hasarın, afet bölgelerine ulaşılabilirliği olumsuz yönde etkilediğine dikkat çekmişlerdir. Bu sebeple her bir talep noktası için, her bir potansiyel arz noktasından bir dizi alternatif yol oluşturulmuştur, böylece sağlam olan en kısa yol felaketten sonra ulaşım için kullanılacaktır. Amaç, tüm olası ağlarda beklenen talep değerini belirli bir mesafe içerisinde maksimize etmektir. Hu ve diğ. (2017) afet öncesi envanter seviyesi ve afet sonrası satın alma miktarına ilişkin kararları insani yardımı tedarikçi seçimi ile entegre etmek için iki aşamalı bir stokastik programlama modeli sunmuşlardır. Modelde, teslim süresi indirimi, iade fiyatı gibi özellikler de göz önünde bulundurulmuştur.

Babaei ve Shahanaghi (2017) belirsiz koşullar altında kaynak dağıtım tesisleri için çok amaçlı bir model sunmuşlardır. Talebin belirli olmadığı göz önünde bulundurulmuş ve bulanık mantık yaklaşımı dikkate alınmıştır. Manopiniwes ve Irohara (2017) felaket öncesi ile sonrası operasyonlarda hazırlık/müdahale aşamalarında entegre kararlar için tesis ve stok ön hazırlığını, tahliye planlamasını ve araç planlamasını dikkate alan stokastik bir karma-tamsayılı programlama modeli önermişlerdir.

Jha ve diğ. (2017) doğal afet durumunda bir yardım ürünleri tedarik zincirini ve tahliye zincirini içeren insani yardım zincirini modellemişlerdir. Yardım zinciri, tahliye zinciri ve genel lojistik maliyetler göz önünde bulundurulmuştur. Tedarik zinciri tedarikçiler, yardım kampları ve etkilenen bölgeler olarak ele alınmıştır. Safaei ve diğ. (2018) kriz yönetiminde en önemli konulardan birinin kriz durumlarının dinamik ortamında doğru türde/ miktarda yardım malzemesi temin etmek ve sunmak olduğuna dikkat çekmişlerdir. Bu kapsamda lojistik operasyonlar için entegre bir çerçeve tasarlamak amacıyla iki amaçlı bir optimizasyon modeli sunulmuştur.

Torabi ve diğ. (2018) felaket öncesi ve sonrasında yaşananları göz önünde bulundurmışlardır. Belirsiz verilerin varlığı altında entegre yardım, ön-konumlandırma ve tedarik planlaması için iki aşamalı yeni bir senaryo bazlı karma bulanık stokastik programlama modeli önermişlerdir. Çalışmada modeldeki parametrelerin değişikliği durumunda amaç fonksiyonunun nasıl etkilendiğine yönelik duyarlılık analizi yapılmıştır. Li ve diğ. (2018) insani yardım zinciri yönetimindeki afet ve zorlukların artan risklerini göz önünde bulundurmuş ve insani yardım zinciri lojistiğindeki genel yapıyı incelemişlerdir. Çalışmada etkilenen nüfusun felaket bölgesindeki faydalarını en üst seviyeye çıkarmak için bütçe ile ilgili azami iş birliğine dayalı kaplama modeli geliştirmeye odaklanılmıştır. Felaket bölgelerinin talebinin tam olarak tahmin edilemediğine dikkat çekilmiş olup talep belirsizliği modele dahil edilmiştir.

Mohamadi ve diğ. (2019) insani yardım lojistiğinde, tahliyeler için güvenli bir yer sağlamanın, yardım ürünlerini tedarik etmenin ve afet sırasında hızlı iletişim için uygun bir telekomünikasyon altyapısı tasarlanmasının önemine dikkat çekmişlerdir. Bu sebeple, barınakların, yardım dağıtım merkezlerinin ve telekomünikasyon kulelerinin konumuyla ilgili bulanık mantık temelli optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Hasani ve Mokhtari (2019) insani yardım lojistiği yönetimi amaçlarına dayalı olarak insani envanter gruplama problemine yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen model eş zamanlı olarak envanter gruplarının sayısını ve karşılık gelen servis seviyelerini, yardım malzemelerinin gruplara atanmasını, yardım tesislerinin bulunduğu yer ve yardım hizmetlerinin atanmasını optimize etmektedir. Öksüz ve Satioğlu (2020) ise çalışmalarında afet sonrasında yaralıların tahliyesi için triyaj sınıflandırmasını da göz önünde bulundurarak iki aşamalı stokastik bir model oluşturmuşlardır. Modeli doğrulamak için farklı deprem senaryoları üzerinde çalışarak İstanbul için bir örnek oluşturmuşlardır. Afet sonrasında hastane kapasitelerinin yetersiz kaldığını belirterek bu konuda alınacak önlemlere dikkat çekmişlerdir.

Yenice ve Samanlıoğlu (2020) deprem yardım ağının öncelikle yardım malzemelerinin depolanması ve ihtiyacı olan insanlara dağıtılmasını içerdiğine dikkat çekmişlerdir. Bu sebeple, deprem yardım ağının bir kısmını yapılandırmak için İstanbul Kadıköy Belediyesinde yeni bir stokastik çok amaçlı karışık tamsayı matematiksel model geliştirilmiş ve uygulamışlardır. Modelin amacı, karar vericilerin depolama yerlerinin seçimi konusunda karar vermelerine yardımcı olmaktır. Önerilen model beklenen toplam dağıtım mesafesini, deprem hasar risk faktörünü ve karşılanamayan talebin minimizasyonunu amaçlamaktadır. Aynı zamanda modelde depolama alanı kapasitesi ve kapsama mesafesi kısıtları da göz önünde bulundurulmuştur.

Monzón ve diğ. (2020) afet öncesi bir İnsani Lojistik modelinde; yardım dağıtım merkezlerinin önceden konumlandırılmasını ve yol güzargahlarının güçlendirilmesini optimize ederek, mümkün olduğunca afetten etkilenen nüfusun verimli bir şekilde yardım alabilmesini sağlamayı amaçlamıştır. Model, stokastik olup, afetten etkilenen merkezlerdeki taleplerin ve ulaşım ağının durumunun rastgele olduğu düşünülmüştür. Metodoloji, Mozambik'teki Nampula Eyaletini vuran 2018 fırtına sistemine dayanan gerçek dünya vaka çalışmasına uygulanmıştır.

Cao ve diğ. (2021) büyük ölçekli doğal afetlerin ardından, arz kıtlığının ve adaletsiz dağılımın insani yardım tedarik zincirleri performansını olumsuz yönde etkilediğine ve afet sonrasında çok önemli bir planlamada karmaşıklık, tedarik belirsizliği, hiyerarşik kararlar nedeniyle optimal bir sonuca ulaşmanın zorluğuna vurgu yapmışlardır. Çalışmalarında çok önemli, çok ürünlü bir tedarik zinciri yapısı ele alınmış olup karşılanmayan talep oranını, atıklar sebebiyle doğan çevresel riskleri ve acil durum maliyetlerini minimize eden 3 amaçlı ve 2 aşamalı stokastik tamsayı programlama modeli formüle etmişlerdir. Aynı zamanda önerilen modeli değerlendirmek için Menchuan depreminden elde edilen verileri kullanan bir vaka çalışması sunulmuştur. Wang ve diğ. (2021) yardım malzemelerinin önceden konumlandırılması için yanal aktarma fırsatlarını değerlendirirken afetlerdeki belirsizlikleri de odaklanmışlardır. Ele aldıkları problem belirsiz taleplerin üstesinden gelmek için, yardım tesislerinin yerleri ve yardım malzemelerinin talep düğümlerine dağıtımına aynı anda karar veren iki aşamalı bir stokastik programlama modeli olarak formüle edilmiştir., değerlere ve alanlara sahip birden çok malzeme türü araştırılır. Gelişmiş iki aşamalı stokastik programlama modelini göstermek için Güneydoğu Amerika Birleşik Devletleri'nin Meksika Körfezi bölgesinde kasırga tehditlerini ele alan bir vaka çalışması yapılmıştır.

Zhan ve diğ. (2021) afet yardımı ile ilgili lojistik problemler üzerine son on yılda artan araştırma konularına odaklanmışlardır. Bu problemlerin ortak noktasının, sınırlı yardım tedarikleri ve rastgele artan yardım talepleri nedeniyle afet sonrası lojistik operasyonlarda her zaman talep-arz uyumsuzluğunun gözlemlenmesi olarak

belirlemişlerdir. Bu gibi durumlarda, karar vericinin eş zamanlı olarak toplam yardım taleplerini karşılayamayacağına vurgu yapmışlardır. Bu sebeple çalışmalarında, geleneksel afet yardımı lojistiği eylemlerinin (örneğin, araçların yönlendirilmesi ve yardım tahsisi) yerini talep noktası konumunu ve atamasını içeren periyodik, sıralı eylemlerin yer aldığı yeni bir karar verme çerçevesi kullanmışlardır. Sıralı olan bu yaklaşım, karar vericinin her talep noktasına, talepleri derhal veya daha sonra tedarik edip yardım sağlayıcılarına atayıp atamayacağına karar vermesine izin verir, bu da sonraki dönemdeki kararı sırayla etkiler. Bu problem için parçacık sürüsü optimizasyon algoritması kullanılarak dinamik bir optimizasyon modeli oluşturulmuş ve bir vaka çalışması üzerinde test edilmiştir. Vaka çalışmasının sonuçları, sıralı yaklaşımın avantajlarını göstermektedir.

Yukarıda anlatılan çalışmaların yöntemlerine ait özel bilgi Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Afet lojistiği için literatür araştırması

Yazar	Yıl	Yöntem	Amaç	Afet Aşaması	Rassallık
Barbarosoğlu ve Arda	2004	İki aşamalı stokastik programlama	Toplam ulaşım, elde tutma, yokluk ve beklenen kaynağın toplam maliyetinin minimizasyonu	Öncesi/Sonrası	Stokastik
Özdamar ve diğ.	2004	Lagrange gevşeme tabanlı algoritma, Açgözlü sezgisel	Zaman içinde karşılanamayan talep miktarının minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Massaguer ve diğ.	2006	Çok aşamalı benzetim	Tahliye süresinin minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Günneç ve Salman	2007	İki aşamalı çok kriterli stokastik programlama, hedef programlama modeli	Bölgeye ulaşmak için beklenen ağırlıklı sürenin, açık tesislerin konumlarıyla ilişkili ortalama riskin, toplam ağırlıklı karşılanmamış talebin, beklenen toplam tesis maliyetinin ve stokta tutma maliyetinin minimizasyonu	Öncesi/Sonrası	Stokastik
Lee ve diğ.	2009	Kesikli Olay Benzetimi	Yardım malzemelerinin en uygun şekilde dağıtımı	Öncesi/Sonrası	Stokastik
Ablanedo-Rosas ve diğ.	2009	Set Kaplama Modeli	Belediyeler ve acil durum merkezleri arasındaki seyahat mesafelerinin minimizasyonu	Sonrası	Deterministik
Lu ve diğ.	2009	Maksimal Kaplama Modeli, Karınca Koloni Algoritması	Farklı kalite seviyelerinde yeterli miktarda tesisin karşıladığı talepleri maksimizasyonu	Sonrası	Deterministik
Huang ve diğ.	2010	P-center model, bir sezgisel algoritma	Bir düğüm ve mevcut en yakın tesisi arasındaki maksimum ağırlıklı mesafenin minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Campbell ve Jones	2011	Maliyet modeli, duyarlılık analizi	Sipariş verme, elde tutma, ulaşım, yokluk için beklenen toplam maliyetin minimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Duran ve diğ.	2011	Stokastik programlama, benzetim	Ortalama tepki süresinin minimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Görmez ve diğ.	2011	Tamsayı programlama	Açılan tesis sayısının, talep noktaları arasındaki mesafenin minimizasyonu	Öncesi	Deterministik
Günneç ve Salman	2011	Polinom zaman algoritması, monte carlo benzetim algoritması	Afet riski altında bir ağın beklenen performansı ve güvenilirliğini değerlendirmek.	Öncesi/Sonrası	Stokastik

Vitoriano ve diğ.	2011	Hedef programlama	Nitelik maliyetlerinin minimizasyonu	Sonrası	Deterministik
Verma ve Gaukler	2011	İki aşamalı stokastik programlama	Tesis ve talep noktaları arasında mesafenin minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Döyen ve diğ.	2012	İki aşamalı stokastik programlama, Lagrange gevşeme tabanlı Sezgisel	Toplam ulaşım, elde tutma, yokluk maliyeti ile tepki süresinin minimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Galindo ve Batta	2013	Stokastik programlama, Aggregation sezgiseli	Tesisin, ulaştırma, tahrip olmuş malzemelerin beklenen toplam maliyetlerinin minimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Lu	2013	P-center model, Tavlama benzetimi	Maksimum tepki süresinin minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Garrido ve diğ.	2015	Stokastik programlama, Örnek ortalama yaklaşım sezgiseli, karma tam sayılı programlama	Toplam taşıma ve ulaştırma maliyetlerinin minimizasyonu	Öncesi/ Sonrası	Stokastik
Hong ve diğ.	2015	Risk-avers stokastik programlama, Gale-Hoffman eşitsizlikleri, karma tam sayılı programlama	Minimum beklenen toplam tesis, sipariş, ulaşım, yokluk maliyetlerinin minimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Salman ve Yücel	2015	Stokastik programlama, tabu arama	Karşılınan talep miktarının maksimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Hu ve diğ.	2017	Stokastik programlama	Beklenen toplam stok, ulaşım ve tedarik maliyetlerinin minimizasyonu	Öncesi/ Sonrası	Stokastik
Babaei ve Shahanaghi	2017	Karma tam sayılı programlama, duyarlılık analizi, NSGA 2	Maliyet minimizasyonu, karşılanan talebin maksimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Manopiniwes ve Irohara	2017	Karma tam sayılı programlama	Toplam ağ maliyetinin ve tepki süresinin minimizasyonu	Öncesi/ Sonrası	Stokastik
Jha ve diğ.	2017	Karma tam sayılı programlama, NSGA 3	Kampların kurulum maliyetlerinin, toplam tedarik maliyetinin, ulaşım maliyetlerinin ve kampta kalma maliyetinin minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Safaei ve diğ.	2018	Hedef programlama	Toplam operasyonel maliyetin ve karşılanmamış talep miktarının minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Torabi ve diğ	2018	Stokastik programlama, duyarlılık analizi	Tedarikçilerle sözleşme, stokta tutma, tedarik, dağıtım, karşılanamayan talebin maliyetinin	Öncesi/ Sonrası	Stokastik

			minimizasyonu		
Li ve diğ.	2018	Doğrusal olmayan programlama	Beklenen kaplamanın maksimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Mohamadi ve diğ.	2019	Doğrusal olmayan programlama	Toplam seyahat mesafesinin minimizasyonu, toplam kaplamanın maksimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Hasani ve Mokhtari	2019	Karma tamsayılı programlama	İnsani yardım lojistiğinin toplam maliyetinin ve karşılanamayan talebin minimizasyonu	Öncesi/Sonrası	Deterministik
Öksüz ve Satioğlu	2020	İki aşamalı stokastik programlama	Beklenen toplam taşıma maliyetinin minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Yenice ve Samanlıoğlu	2020	Stokastik çok amaçlı karma tamsayılı matematiksel model	Toplam dağıtım mesafesi, deprem hasar risk faktörünü, karşılanamayan talebin minimizasyonunu	Öncesi/Sonrası	Stokastik
Monzón ve diğ.	2020	İki aşamalı stokastik programlama	Yardım alan insan sayısını maksimizasyonu ve dağıtım süresinin minimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Wang ve diğ.	2021	İki aşamalı stokastik programlama	Toplam maliyet minimizasyonu	Öncesi	Stokastik
Cao ve diğ.	2021	İki aşamalı stokastik programlama	Karşılanamayan talebin minimizasyonu, ulaşım ve afet atıklarının minimizasyonu, acil durum maliyetlerinin minimizasyonu	Sonrası	Stokastik
Zhan ve diğ.	2021	Karma tamsayılı programlama, Parçacık sürüsü optimizasyonu	Karşılanamayan toplam talebin minimizasyonu	Sonrası	Deterministik

3. Problemin tanımlanması

Bu çalışmada afet olarak deprem seçilmiş olup deprem sonrası afet lojistiği üzerinde durulmuştur. Problem, deprem olduktan sonra kriz alanlarındaki insanların barınak ve sağlık merkezlerine taşınmasını ve buna ek olarak bahsi geçen yerlerdeki insanların kişisel ve sağlık gereksinimlerini karşılamak üzere tedarikçilerden depolar aracılığıyla ilgili malzemelerin barınaklara ve sağlık merkezlerine aktarımını ele almaktadır. Bu problem aşağıdaki maddeleri kapsamaktadır.

- Kriz alanından barınak ve sağlık merkezlerine insanların tahliyesi vardır. Bu tahliye otobüs ve ambulanslar ile gerçekleştirilmektedir. Otobüs yaralı olmayan kişiler (ayakta tedavi görenler dahil) için kullanılırken, yaralıları için ambulans kullanılmaktadır.
- Sağlık merkezi ve barınaklar depolar aracılığıyla beslenmektedir.
- Depolar tedarikçilerden beslenmektedir.
- İki çeşit depo ve iki çeşit tedarikçi tasarlanmıştır. Bu şekilde tasarlanmasının sebebi sağlık ürünlerinin korunması için farklı teçhizatlarla (örneğin kan için soğuk alanların olması gerekliliği) ihtiyaç olması sebebiyle sağlık ürünleri için belirlenen depoların diğer ürünlerin depolarından farklılık göstermesidir.

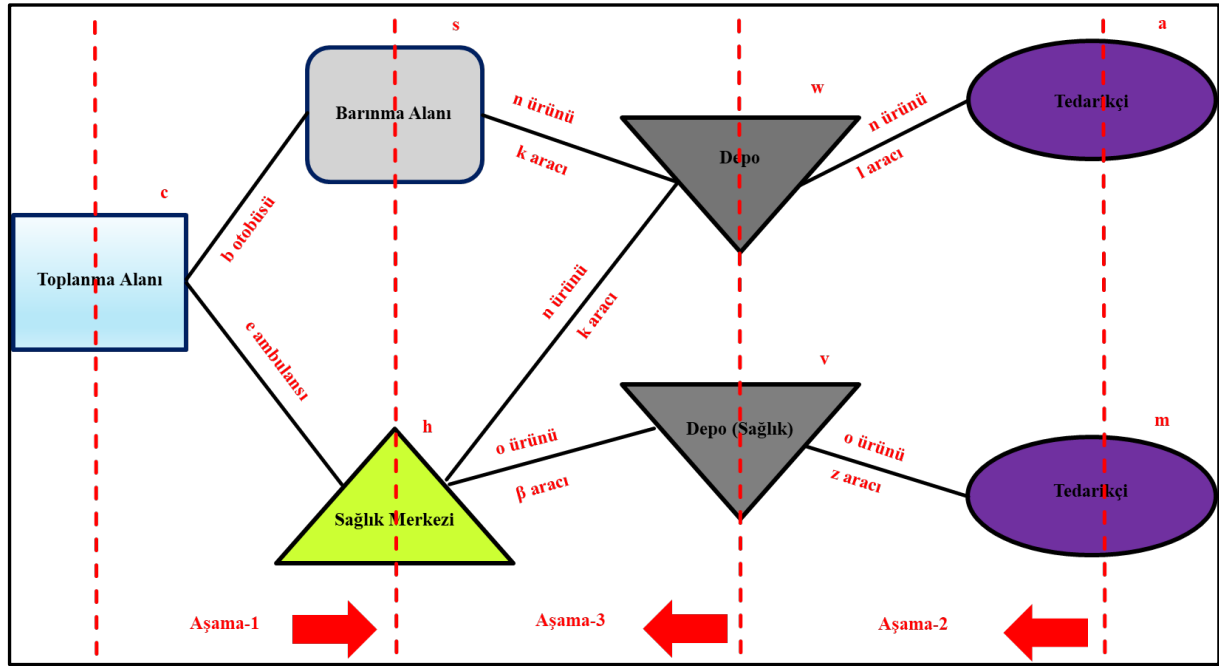
Problem için üç aşamalı bir yardım zincirinde çok amaçlı, çok dönemli ve çok ürünlü bir karma tam sayılı bir matematiksel model önerilmiştir.

Birinci aşamada deprem meydana geldikten sonra toplanma alanlarında bulunan insanların s barınma alanlarına ve h sağlık merkezlerine b otobüsü ve e ambulansları ile gönderilmesi ele alınmıştır. Aşama 1'de toplanma alanından gelen talebi karşılayacak biçimde barınak ve sağlık merkezi kapasitesini aşmadan en uygun maliyetle barınak ve sağlık merkezlerinin seçimi söz konusudur. Genel olarak aşama 1 barınak, sağlık

merkezi açılımından kaynaklı maliyetleri ve ambulans ile otobüs için harcanan toplam maliyetleri minimize etmeye çalışmaktadır.

İkinci aşamada hem yiyecek ve barınma ihtiyaçlarını sağlayacak a tedarikçisi hem de sağlık malzemelerini bulunduran m tedarikçisi bulunmaktadır. A tedarikçilerinden sağlanan yiyecek ve barınma ihtiyaçlarını kapsayan n ürünleri w depolarına l aracı ile gönderilmektedir. Ayrıca m tedarikçilerinden sağlanan o sağlık malzemeleri z aracı ile v sağlık depolarına gönderilmektedir. Aşama 2’de tedarikçilerden depolara gönderilecek ürünler için öncelikle depo seçimi söz konusudur. Depo seçimi minimum taşıma maliyetini göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Depoya gönderim yapılırken araçların hacimsel ve ağırlıksal kapasiteleri göz önünde bulundurulmaktadır. Aynı zamanda tedarikçilerden gönderilen ürünler için depoların kapasitesi de kısıt olarak değerlendirilmektedir.

Üçüncü aşamada yiyecek ve barınma ihtiyaçlarının depolandığı w deposundan s barınağına ve h sağlık merkezine, v sağlık deposundan ise h sağlık merkezine ilgili malzemelerin gönderilmesi ele alınmıştır. Bu aşamada taleplerin karşılanarak toplam taşıma maliyetlerin minimizasyonu amaçlanmaktadır. Modele ait şematik gösterim Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Modele ait şematik gösterim

3.1. Varsayımlar

- Tüm kritik ve kritik olmayan ürünlerin son kullanım tarihi yoktur.
- Yerel depoların kapasite seviyeleri farklıdır.
- Her müşteri her araçtan hizmet alır.
- Araç kapasiteleri heterojen kabul edilmiştir.
- Model çok dönemli olarak kabul edilmiştir.
- Toplanma alanından barınak alanına gönderilen her insan için bireysel ihtiyaç ürünlerinden (n ürünü) birer adet ve sağlık merkezlerine gönderilen her insan için bireysel ihtiyaç ürünlerinden (n ürünü) birer adet ve sağlık ürünlerinden (o ürünü) birer adet gönderildiği varsayılmaktadır.

3.2. Kümeler ve indeksler

C = c toplanma alanlarının kümesi

S = s barınaklarının kümesi

h = sağlık merkezlerinin kümesi

W = w depolarının kümesi

V = v sağlık depolarının kümesi

K = k araç seti kümesi

β = β araç seti kümesi

N = n ürününün kümesi

O = o ürününün kümesi

T = zaman kümesi

3.3. Model parametreleri

Aşağıda modelin 3 aşamasına ait parametreler sınıflandırılarak verilmiştir.

3.3.1. Aşama-1 parametreleri

$X_{c,t}$ = t döneminde c toplanma bölgesindeki kişi sayısı

$\alpha_{s,t}$ = t döneminde s barınma alanının kapasitesi

$B_{h,t}$ = t döneminde h sağlık merkezinin kapasitesi

$\gamma_{e,t}$ = t döneminde e ambulansının kapasitesi

$Q_{b,t}$ = t döneminde b otobüsünün kapasitesi

$D_{c,s,t}$ = t döneminde c toplanma bölgesinden s barınma alanına gönderilmek üzere talep edilen kişi sayısı

$K_{c,h,t}$ = t döneminde c toplanma bölgesinden h sağlık merkezine gönderilmesi üzere talep ettiği kişi sayısı

P_e = ambulans maliyeti

O_b = otobüs maliyeti

$AA_{s,t}$ = t döneminde s barınma alanı açma maliyeti

$BB_{h,t}$ = t döneminde h sağlık merkezi açma maliyeti

$um_{c,s,b,t}$ = c toplanma alanından s barınma alanına t döneminde b otobüsü ile birim taşıma maliyeti

$um_{c,h,e,t}$ = c toplanma alanından h sağlık merkezine t döneminde e ambulansı ile birim taşıma maliyeti

3.3.2. Aşama-2 parametreleri

$HH_{v,t}$ = t döneminde v deposunun (sağlık merkezi için) açılış maliyeti

$GG_{w,t}$ = t döneminde w deposunun açılış maliyeti

$WA_{l,t}$ = t döneminde l aracıyla birim taşıma maliyeti

$WB_{z,t}$ = t döneminde z aracıyla birim taşıma maliyeti

BB_n = n ürünün birim hacmi

BB_o = o ürünün birim hacmi

EE_n = n ürünün birim ağırlığı

EE_o = o ürünün birim ağırlığı

$VV_{z,t}$ = t döneminde z aracının hacimsel kapasitesi

$WW_{z,t}$ = t döneminde z aracının kütleli kapasitesi

$VV_{l,t}$ = t döneminde l aracının hacimsel kapasitesi

$WW_{l,t}$ = t döneminde l aracının kütleli kapasitesi

$CC_{v,t}$ = t döneminde v deposunun kapasitesi

$CC_{w,t}$ = t döneminde w deposunun kapasitesi

3.3.3. Aşama-3 parametreleri

$I_{w,n,t}$ = t döneminde w deposundaki n ürünün stok kullanım oranı

$I_{v,o,t}$ = t döneminde v deposundaki o ürünün stok kullanım oranı

aq_n = n ürününün stok tutma maliyeti

aq_o = o ürününün stok tutma maliyeti

sh_n = n ürününün yokluk maliyeti

sh_o = o ürününün yokluk maliyeti

M = büyük sayı

iw_n = n ürününün w depodaki kullanılmama maliyeti

iw_o = o ürününün v depodaki kullanılmama maliyeti

$dd_{s,n,t}$ = t döneminde s barınma alanının n ürününe olan talebi

$dp_{h,n,t}$ = t döneminde h sağlık merkezinin n ürününe olan talebi

$dd_{h,o,t}$ = t döneminde h sağlık merkezinin o ürününe olan talebi

$tm_{w,s,t,k}$ = t döneminde w deposundan s barınak alanına k aracıyla taşımanın birim değişken maliyeti

$tm_{w,h,t,k}$ = t döneminde w deposundan h sağlık merkezine k aracıyla taşımanın birim değişken maliyeti

$tm_{v,h,t,\beta}$ = t döneminde v deposundan h sağlık merkezine β aracıyla taşımanın birim değişken maliyeti

$ta_{w,s,t,k}$ = t döneminde w deposundan s barınma alanına k turuyla taşımanın sabit maliyeti

$ta_{w,h,t,k}$ = t döneminde w deposundan h sağlık merkezine k turuyla taşımanın sabit maliyeti

$ta_{v,h,t,\beta}$ = t döneminde w deposundan h sağlık merkezine β turuyla taşımanın sabit maliyeti

$OO_{s,n,t}$ = t döneminde s barınma alanının talep edilen alandaki talep önceliği

$OO_{h,n,t}$ = t döneminde h sağlık merkezinin talep edilen alandaki talep önceliği

$OO_{h,o,t}$ = t döneminde h sağlık merkezinin talep edilen alandaki talep önceliği

$CC_{v,t}$ = t döneminde v deposunun kapasitesi

$CC_{w,t}$ = t döneminde w deposunun kapasitesi

3.4. Modele ait karar değişkenleri

Aşağıda modelin 3 aşamasına ait karar değişkenleri sınıflandırılarak verilmiştir.

3.4.1. Modelin birinci aşamasına ait karar değişkenleri

$XA_{c,s,b,t}$ = t döneminde c toplanma bölgesinden s barınma alanına b otobüsüyle gönderilen kişi sayısı

$XB_{c,h,e,t}$ = t döneminde c toplanma bölgesinden h sağlık merkezine e ambulansıyla gönderilen kişi sayısı

$Y_{s,t}$ = t döneminde s barınma alanı açılırsa 1, aksi takdirde 0

$Y_{h,t}$ = t döneminde h sağlık merkezi açılırsa 1, aksi takdirde 0

$r_{e,t}$ = t döneminde gerekli olan e ambulans sayısı

$r_{b,t}$ = t döneminde gerekli olan b otobüsü sayısı

3.4.2. Modelin ikinci aşamasına ait karar değişkenleri

$Q_{n,a,w,l,t}$ = t döneminde l aracıyla n ürününün a tedarikçisinden w deposuna taşınan miktarı

$J_{o,m,v,z,t}$ = t döneminde z aracıyla o ürününün m tedarikçisinden v deposuna taşınan miktarı

$Y_{w,t}$ = t döneminde w deposu açılırsa 1, aksi takdirde 0

$Y_{v,t} = t$ döneminde v deposu açılırsa 1, aksi takdirde 0

3.4.3. Modelin üçüncü aşamasına ait karar değişkenleri

$m_{q_{w,n,t}} = t$ döneminde w deposundaki n ürününün stok miktarı

$m_{q_{v,o,t}} = t$ döneminde v deposundaki o ürününün stok miktarı

$z_{q_{s,n,t}} = t$ döneminde n ürününün s barınma alanındaki yokluk miktarı

$z_{q_{h,n,t}} = t$ döneminde n ürününün h sağlık merkezindeki yokluk miktarı

$z_{q_{h,o,t}} = t$ döneminde o ürününün h sağlık merkezindeki yokluk miktarı

$u_{q_{w,n,t}} = t$ döneminde w deposunda n ürününün kullanılmayan miktarı

$u_{q_{v,o,t}} = t$ döneminde v deposunda o ürününün kullanılmayan miktarı

$m''_{w,s,n,t,k} = t$ döneminde w deposundan s barınma alanına k aracıyla gönderilen n ürünü miktarı

$m''_{w,h,n,t,k} = t$ döneminde w deposundan h sağlık merkezine k aracıyla gönderilen n ürünü miktarı

$m''_{v,h,o,t,\beta} = t$ döneminde v deposundan h sağlık merkezine β aracıyla gönderilen o ürünü miktarı

$z'_{w,s,t} = t$ döneminde w deposundan s barınma alanına gönderim varsa 1, aksi takdirde 0

$z'_{w,h,t} = t$ döneminde w deposundan h sağlık merkezine gönderim varsa 1, aksi takdirde 0

$z'_{v,h,t} = t$ döneminde v deposundan h sağlık merkezine gönderim varsa 1, aksi takdirde 0

3.5. Modelin formülasyonu

Probleme ait matematiksel model dört aşamada formüle edilmiştir ve bu konuda gerekli açıklamalar aşağıda verilmiştir.

3.5.1. Modelin birinci aşaması

Amaç;

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & \sum_e \sum_t P_e r_{e,t} + \sum_b \sum_t O_b r_{b,t} + \sum_s \sum_t AA_{s,t} Y_{s,t} + \sum_h \sum_t BB_{h,t} Y_{h,t} \\ & + \sum_c \sum_s \sum_b \sum_t \text{um}_{c,s,b,t} XA_{c,s,b,t} + \sum_c \sum_h \sum_e \sum_t \text{um}_{c,h,e,t} XB_{c,h,e,t} \end{aligned} \quad (1)$$

Kısıtlar;

$$\sum_s \sum_b XA_{c,s,b,t} + \sum_h \sum_e XB_{c,h,e,t} = X_{c,t} \quad \forall c,t \quad (2)$$

$$\sum_c \sum_b XA_{c,s,b,t} \leq \alpha_{s,t} Y_{s,t} \quad \forall s,t \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sum_c \sum_e XB_{c,h,e,t} \\ \leq B_{h,t} Y_{h,t} \end{aligned} \quad \forall h,t \quad (4)$$

$$\sum_c \sum_h XB_{c,h,e,t} \leq \gamma_{e,t} r_{e,t} \quad \forall e,t \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sum_c \sum_s XA_{c,s,b,t} \\ \leq Q_{b,t} r_{b,t} \end{aligned} \quad \forall b,t \quad (6)$$

$$\sum_c \sum_e XB_{c,h,e,t} \leq M Y_{h,t} \quad \forall h, t \quad (7)$$

$$\sum_c \sum_b XA_{c,s,b,t} \leq M Y_{s,t} \quad \forall s, t \quad (8)$$

$$\sum_c \sum_b XA_{c,s,b,t} \geq \sum_s D_{c,s,t} \quad \forall c, t \quad (9)$$

$$\sum_h \sum_e XB_{c,h,e,t} \geq \sum_h K_{c,h,t} \quad \forall c, t \quad (10)$$

$$XA_{c,s,b,t}, XB_{c,h,e,t} \geq 0 \quad (11)$$

$$Y_{s,t}, Y_{h,t} \in \{0,1\} \quad (12)$$

Eşitlik (1) ambulans, otobüs kullanım maliyetleri ve toplanma alanı-sağlık merkezleri ile toplanma alanı-barınma alanlar taşıma maliyetlerini minimum yapmayı hedefleyen amaç fonksiyonudur. Eşitlik (2) denge kısıdıdır. Eşitlik (3)-(6) kapasite kısıtlarıdır. Eşitlik (7) h sağlık merkezinin açılması durumunda toplanma alanından sağlık merkezine insan gönderilebileceğini aksi takdirde gönderilemeyeceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (8) s barınma alanının açılması durumunda toplanma alanından barınma alanına insan gönderilebileceğini aksi takdirde gönderilemeyeceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (9) ve (10) talep kısıtlarıdır. Eşitlik (11) karar değişkenlerinin negatif olmama kısıt, eşitlik (12) ise 0-1 karar değişkenlerine ait kısıttır.

3.5.2. Modelin ikinci aşaması

Amaç;

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & \sum_w \sum_t GG_{w,t} Y_{w,t} + \sum_v \sum_t HH_{v,t} Y_{v,t} + \sum_n \sum_a \sum_w \sum_l \sum_t WA_{a,w,l,t} Q_{n,a,w,l,t} \\ & + \sum_o \sum_m \sum_v \sum_z \sum_t WB_{m,v,z,t} J_{o,m,v,z,t} \end{aligned} \quad (13)$$

Kısıtlar;

$$\sum_n \sum_a \sum_l Q_{n,a,w,l,t} \leq CC_{w,t} Y_{w,t} \quad \forall w, t \quad (14)$$

$$\sum_o \sum_m \sum_z J_{o,m,v,z,t} \leq CC_{v,t} Y_{v,t} \quad \forall v, t \quad (15)$$

$$\sum_n \sum_w \sum_l Q_{n,a,w,l,t} \leq PP_{a,t} \quad \forall a, t \quad (16)$$

$$\sum_o \sum_v \sum_z J_{o,m,v,z,t} \leq PPP_{m,t} \quad \forall m, t \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \sum_n \sum_a \sum_w BB_n Q_{n,a,w,l,t} \\ \leq VV_{l,t} \end{aligned} \quad \forall l, t \quad (18)$$

$$\sum_n \sum_a \sum_w EE_n Q_{n,a,w,l,t} \leq WW_{l,t} \quad \forall l, t \quad (19)$$

$$\sum_o \sum_m \sum_v BB_o J_{o,m,v,z,t} \leq VV_{z,t} \quad \forall z, t \quad (20)$$

$$\sum_o \sum_m \sum_v EE_o J_{o,m,v,z,t} \leq WW_{z,t} \quad \forall z, t \quad (21)$$

$$\sum_a \sum_w \sum_l Q_{n,a,w,l,t} \geq dp_{n,t} \quad \forall n, t \quad (22)$$

$$\sum_m \sum_v \sum_z J_{o,m,v,z,t} \geq ds_{o,t} \quad \forall o, t \quad (23)$$

$$Q_{n,a,w,l,t}, J_{o,m,v,z,t} \geq 0 \quad (24)$$

$$Y_{w,t}, Y_{v,t} \in \{0,1\} \quad (25)$$

Eşitlik (13) depo açma maliyetleri ve tedarikçilerden depolara ürün taşıma maliyetlerini minimum yapmayı hedefleyen amaç fonksiyonudur. Eşitlik (14) w deposunun açılması durumunda depoya ürün gönderilebileceğini aksi taktirde gönderilemeyeceğini garantileyen kısıttır. Eşitlik (15) v sağlık deposunun açılması durumunda depoya ürün gönderilebileceğini aksi taktirde gönderilemeyeceğini garantileyen kısıttır. Eşitlik (16)-(20) kapasite kısıtlarıdır. Eşitlik (22) ve (23) talep kısıtlarıdır. Eşitlik (24) negatif olmama kısıdı, eşitlik (25) ise 0-1 karar değişkenlerine ait kısıtlardır.

3.5.3. Modelin üçüncü aşaması

Amaç;

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & \sum_w \sum_n \sum_t aq_n mq_{w,n,t} + \sum_v \sum_o \sum_t aq_o mq_{v,o,t} + \sum_s \sum_n \sum_t oo_{s,n,t} sh_n zq_{s,n,t} \\ & + \sum_h \sum_n \sum_t oo_{h,n,t} sh_n zq_{h,n,t} + \sum_h \sum_o \sum_t oo_{h,o,t} sh_o zq_{h,o,t} \\ & + \sum_w \sum_n \sum_t iw_n uq_{w,n,t} + \sum_v \sum_o \sum_t iw_o uq_{v,o,t} \\ & + \sum_k \sum_w \sum_f \sum_n \sum_t Y_{w,t} tm_{w,s,t,k} m''_{w,s,n,t,k} + \sum_\beta \sum_v \sum_y \sum_o \sum_t Y_{v,t} tm_{v,h,t,\beta} m''_{v,h,o,t,\beta} \\ & + \sum_k \sum_s \sum_f \sum_n \sum_t z'_{w,s,t} ta_{w,s,t,k} + \sum_k \sum_h \sum_f \sum_n \sum_t z'_{w,h,t} ta_{f,h,t,k} \\ & + \sum_\beta \sum_h \sum_y \sum_o \sum_t z'_{v,h,t} ta_{v,h,t,\beta} \end{aligned} \quad (26)$$

Kısıtlar;

$$uq_{w,n,t} = I_{w,n,t} mq_{w,n,t} + uq_{w,n,t-1} - \sum_w \sum_k m''_{w,s,n,t,k} \quad \forall w, n, t \quad (27)$$

$$uq_{w,n,t} = I_{w,n,t} mq_{w,n,t} + uq_{w,n,t-1} - \sum_w \sum_k m''_{w,h,n,t,k} \quad \forall w, n, t \quad (28)$$

$$\sum_h z'_{w,h,t} \geq 1 \quad \forall w, t \quad (29)$$

$$\sum_s z'_{w,s,t} \geq 1 \quad \forall w, t \quad (30)$$

$$\sum_k \sum_w \sum_n m''_{w,s,n,t,k} \leq M \left[\sum_w z'_{w,s,t} \right] \quad \forall s, t \quad (31)$$

$$\sum_k \sum_w \sum_n m''_{w,h,n,t,k} \leq M \left[\sum_w z'_{w,h,t} \right] \quad \forall h, t \quad (32)$$

$$\sum_n m q_{w,n,t} \leq CC_{w,t} Y_{w,t} \quad \forall w, t \quad (33)$$

$$\sum_w \sum_k m''_{w,s,n,t,k} = dd_{s,n,t} - zq_{s,n,t} \quad \forall s, n, t \quad (34)$$

$$uq_{v,o,t} = I_{v,o,t} m q_{v,o,t} + uq_{v,o,t-1} - \sum_{\beta} \sum_h m''_{v,h,o,t,\beta} \quad \forall v, o, t \quad (35)$$

$$\sum_h z'_{v,h,t} \geq 1 \quad \forall v, t \quad (36)$$

$$\sum_{\beta} \sum_v \sum_o m''_{v,h,o,t,\beta} \leq M \sum_h z'_{v,h,t} \quad \forall h, t \quad (37)$$

$$\sum_o m q_{v,o,t} \leq CC_{v,t} Y_{v,t} \quad \forall v, t \quad (38)$$

$$\sum_v \sum_{\beta} m''_{v,h,o,t,\beta} = dd_{h,o,t} - zq_{h,o,t} \quad \forall h, o, t \quad (39)$$

$$\sum_w \sum_k m''_{w,h,n,t,k} = dp_{h,n,t} - zq_{h,n,t} \quad \forall h, n, t \quad (40)$$

$$z'_{w,h,t} \leq Y_{w,t} \quad \forall w, h, t \quad (41)$$

$$z'_{w,s,t} \leq Y_{w,t} \quad \forall w, s, t \quad (42)$$

$$z'_{v,h,t} \leq Y_{v,t} \quad \forall v, h, t \quad (43)$$

$$\begin{aligned} & \sum_s \sum_k m''_{w,s,n,t,k} \\ & = \sum_a \sum_l Q_{n,a,w,l,t} \end{aligned} \quad \forall w, n, t \quad (44)$$

$$\sum_h \sum_k m''_{w,h,n,t,k} = \sum_a \sum_l Q_{n,a,w,l,t} \quad \forall w, n, t \quad (45)$$

$$\begin{aligned} & \sum_s \sum_k m''_{v,h,o,t,\beta} \\ & = \sum_m \sum_z J_{o,m,v,z,t} \end{aligned} \quad \forall v, o, t \quad (46)$$

$$mq_{w,n,t}, mq_{v,o,t}, uq_{v,o,t}, uq_{v,n,t}, m''_{w,s,n,t,k}, m''_{w,h,n,t,k}, m''_{v,h,o,t,\beta} \geq 0 \quad (47)$$

$$zq_{s,n,t}, zq_{h,n,t}, zq_{h,o,t} \in \{0,1\} \quad (48)$$

Eşitlik (26) depo maliyetini, yokluk maliyetini, kullanılmayan ürünlerin maliyetini ve depolardan sağlık merkezleri ile barınma alanlarına gönderilen ürünlerin taşıma maliyetlerini minimum yapmayı hedefleyen amaç fonksiyonudur. Eşitlik (27) ve (28) stok denge kısıtlarıdır. Eşitlik (29) t döneminde h sağlık merkezinin 1 veya 1'den fazla w deposundan hizmet alabileceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (30) t döneminde s barınma alanının bir veya birden fazla w deposundan hizmet alabileceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (31) w deposundan barınma alanına t döneminde bir gönderim varsa akışın olabileceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (32) ise aynı şekilde w deposundan h sağlık merkezine t döneminde bir gönderim varsa akışın olabileceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (33) t döneminde w deposu açılmışsa depodaki miktarın kapasiteyi aşmayacağını garantileyen kısıttır. Eşitlik (34) t döneminde w deposundan s barınma alanına gönderilen n ürünü miktarının, t döneminde s barınma alanının n ürününe olan talebinin aynı dönemdeki n ürünün yokluk miktarından çıkarılması ile bulunduğunu gösteren kısıttır. Eşitlik (35) stok denge kısıdıdır. Eşitlik (36) t döneminde h sağlık merkezinin 1 veya 1'den fazla v sağlık deposundan hizmet alabileceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (37) v sağlık deposundan h sağlık merkezine t döneminde bir gönderim varsa akışın olabileceğini gösteren kısıttır. Eşitlik (38) t döneminde v sağlık deposu açılmışsa depodaki miktarın kapasiteyi aşmayacağını garantileyen kısıttır. Eşitlik (39) t döneminde v deposundan h sağlık merkezine gönderilen o ürünü miktarının, t döneminde h sağlık merkezinin o ürününe olan talebinin aynı dönemdeki o ürünün yokluk miktarından çıkarılması ile bulunduğunu gösteren kısıttır. Eşitlik (40) t döneminde w deposundan h sağlık merkezine gönderilen n ürünü miktarının, t döneminde h sağlık merkezinin n ürününe olan talebinin aynı dönemdeki n ürünün yokluk miktarından çıkarılması ile bulunduğunu gösteren kısıttır. Eşitlik (41)-(43) t döneminde açılan depolardan sağlık merkezine ve barınma alanına gönderim yapılabileceğini aksi taktirde yapılamayacağını garantileyen kısıttır. Depoların açılıp açılmadığına ait bilgi aşama 2'den elde edilmektedir. Eşitlik (44)-(46) aşama 2 ile aşama 2 arasındaki talep dengesini sağlayan kısıtlardır. Eşitlik (47) negatif olmaması kısıdı, eşitlik (48) ise 0-1 karan değişkenlerine ait kısıttır.

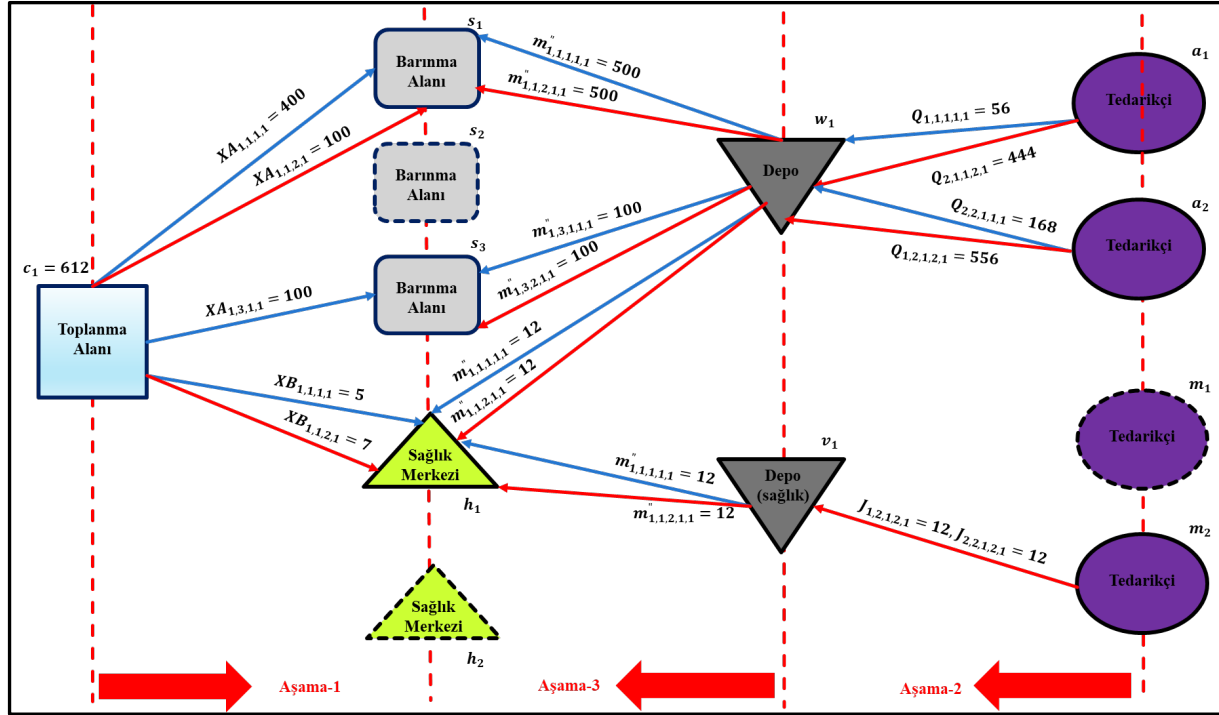
4. Vaka çalışması

Bölüm 3'te tasarlanan model GAMS'in 24.1 versiyonunda kodlanmış olup küçük bir veri setinde test edilmiştir. Her aşamaya ait sonuçlar ayrı olarak verilmiştir. Bu şekilde verilmesinin sebebi, aşama 2'de değeri bulunan karar değişkeninin aşama 3 için parametre olarak kullanılmasıdır. Modelde kullanılan veri setlerini ait büyüklükler ise şu şekildedir.

- c toplanma alanından 1 adet,
- s barınağından 3 adet,
- h sağlık merkezinden 2 adet,
- n ürününden 2 adet,
- o ürününden 2 adet,
- a tedarikçisinden 2 adet,
- m tedarikçisinden 2 adet,
- l aracından 2 adet,
- z aracından 2 adet,
- k aracından 2 adet,

- β aracından 2 adet,
- w deposundan 1 adet,
- v sağlık deposundan 1 adet,
- t zaman dilimi 1 adet olarak alınmıştır.

Tasarlanan modelin test verisi sonuçlarına ilişkin ağ yapısı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Tasarlanan modelin sonucuna ilişkin ağ yapısı

4.1. Birinci aşama için çalışmanın sonuçları

Birinci aşamada toplama alanlarından insanlar barınma alanlarına otobüslerle ve sağlık merkezlerine ambulanslarla gönderilmektedir. Burada her sağlık merkezinin ve barınma alanlarının kapasiteleri bulunmaktadır. Amaç aşama 1’in kısıtları altında minimum maliyet ile sağlık merkezlerine ve barınma alanlarına gönderilen kişi sayısını belirlemektir. Veri setine göre barınma alanına gönderilmek üzere bekleyen 600 sağlık merkezine gönderilmek üzere bekleyen 12 kişi bulunmaktadır. İlgili veri seti girildiğinde ise sonuç Tablo 2’deki gibidir.

Tablo 2. Aşama 1’e ait $XA_{c,s,b,t}$ karar değişkeninin sonuçları

$XA_{1,1,1,1} = 400$	$XA_{1,1,2,1} = 100$
$XA_{1,2,1,1} = 0$	$XA_{1,2,2,1} = 0$
$XA_{1,3,1,1} = 100$	$XA_{1,3,2,1} = 0$

Tablo 2’de $XA_{c,s,b,t}$ karar değişkenine ait değerler verilmiş olup toplama merkezinden birinci ve üçüncü barınağa gönderim söz konusudur. İkinci barınağa ise gönderim olmamıştır. Aynı zamanda iki araç da kullanılmıştır. Tablo 3’de ise $XB_{c,h,e,t}$ karar değişkenine ait değerler verilmiştir.

Tablo 3. Aşama 1’e ait $XB_{c,h,e,t}$ karar değişkeninin sonuçları

$XB_{1,1,1,1} = 5$	$XB_{1,1,2,1} = 7$
$XB_{1,2,1,1} = 0$	$XB_{1,2,2,1} = 0$
$XB_{1,3,1,1} = 0$	$XB_{1,3,2,1} = 0$

Tablo 3 değerlendirildiğinde toplama alanından sadece birinci sağlık merkezine gönderim yapıldığı görülmektedir. İkinci sağlık merkezine gönderim bulunmamaktadır. Aynı zamanda iki ambulans kullanılmıştır.

4.2. İkinci aşama için çalışmanın sonuçları

İkinci aşamada toplanma alanlarından sağlık merkezlerine ve barınma alanlarına gönderilen kişilerin ihtiyaçları için gerekli ürünleri depolara gönderim söz konusudur. Yapılan varsayıma göre barınma alanında bulunan 600 kişiye birinci ve ikinci n ürününden birer adet gönderilmektedir. Sağlık merkezinde bulunan 12 kişiye birinci ve ikinci n ürününden bir adet; birinci ve ikinci o sağlık ürününden birer adet gönderilmektedir. Bu aşamada amaç maliyeti minimize ederek hangi depoların açılacağına ve tedarikçilerden, açılan depolara gönderim miktarının ne olacağına karar vermektir. Tablo 4'te $Q_{n,a,w,l,t}$ karar değişkenine ait değerler verilmiştir.

Tablo 4. Aşama 2'e ait $Q_{n,a,w,l,t}$ karar değişkeninin sonuçları

$Q_{1,1,1,1,1} = 56$	$Q_{2,1,1,1,1} = 0$
$Q_{1,1,1,2,1} = 0$	$Q_{2,1,1,2,1} = 444$
$Q_{1,2,1,1,1} = 0$	$Q_{2,2,1,1,1} = 168$
$Q_{1,2,1,2,1} = 556$	$Q_{2,2,1,2,1} = 0$

Tablo 4 değerlendirildiğinde birinci ve ikinci n ürününden toplamda 612 adet w deposuna gönderilmiştir. Aynı zamanda iki adet a tedarikçisinden w deposuna gönderim sağlanmıştır. Tablo 5'de $J_{o,m,v,z,t}$ karar değişkenine ait değerler verilmiştir.

Tablo 5. Aşama 2'e ait $J_{o,m,v,z,t}$ karar değişkeninin sonuçları

$J_{1,1,1,1,1} = 0$	$J_{2,1,1,1,1} = 0$
$J_{1,1,1,2,1} = 0$	$J_{2,1,1,2,1} = 0$
$J_{1,2,1,1,1} = 0$	$J_{2,2,1,1,1} = 0$
$J_{1,2,1,2,1} = 12$	$J_{2,2,1,2,1} = 12$

Tablo 5 değerlendirildiğinde birinci ve ikinci o ürününde toplamda 12 adet v sağlık deposuna gönderilmiştir. Aynı zamanda yalnızca bir m tedarikçisi ve bir z aracı kullanılmıştır. $Y_{w,t}$ ve $Y_{v,t}$ karar değişkenleri ise 1 değerini almıştır.

4.3. Üçüncü aşama için çalışmanın sonuçları

Üçüncü aşamada tedarikçilerde w deposuna ve v sağlık deposuna gönderilen ürünler daha önce açılmış olan s barınma alanlarına ve h sağlık merkezlerinde talepler doğrultusunda gönderilmektedir. Burada amaç stok denge kısıtlarının ve diğer kısıtların sağlanarak depolardan barınma alanlarına ve sağlık merkezlerine ne kadar gönderim yapıldığına, depodaki miktara, yok satılan miktara, depoda kullanılmayan miktara karar vermektir. Tablo 6'da depoların stok miktarlarına karşılık gelen karar değişkenlerine ait değerler verilmiştir.

Tablo 6. Stok miktarları karar değişkenlerinin sonuçları

$mq_{w,n,t}$	$mq_{v,o,t}$
$mq_{1,1,1} = 765$	$mq_{1,1,1} = 30$
$mq_{1,2,1} = 1020$	$mq_{1,2,1} = 40$

Kullanılan veri seti için depo kapasitelerinin yeterli olması sebebiyle yokluk miktarlarına ve kullanılmayan miktarlar ait karar değişkenleri 0 değerini almıştır. Bu sebeple depodaki miktarlardan talep direkt olarak karşılanacaktır. Depodaki miktarlar incelendiğinde talep miktarlarından fazla olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu durum stok kullanım oranları ile ilgilidir. Depodan ürün %100 oranda çekilemediği için bu şekilde olduğu belirlenmiştir. Örneğin w deposundan birinci n ürün için birince dönemde stok kullanım oranı 0.8 olarak verilmiştir. Bu sebeple w deposundan tam olarak 612 adet birinci n ürünü için gönderim yapılabilmektedir. ($765 \cdot 0.8 = 612$) Tablo 7'de $m''_{w,s,n,t,k}$ karar değişkenine ait değerler verilmiştir.

Tablo 7. Aşama 3'e ait $m''_{w,s,n,t,k}$ karar değişkeninin sonuçları

$m''_{1,1,1,1,1} = 500$	$m''_{1,2,1,1,1} = 0$	$m''_{1,3,1,1,1} = 100$
$m''_{1,1,2,1,1} = 500$	$m''_{1,2,2,1,1} = 0$	$m''_{1,3,2,1,1} = 100$
$m''_{1,1,1,1,2} = 0$	$m''_{1,2,1,1,2} = 0$	$m''_{1,3,1,1,2} = 0$
$m''_{1,1,2,1,2} = 0$	$m''_{1,2,2,1,2} = 0$	$m''_{1,3,2,1,2} = 0$

Tablo 7 değerlendirildiğinde birinci ve üçüncü barınma alanına gönderim sağlandığı ikinci barınma alanına herhangi bir gönderim olmadığı görülmektedir. Bu durumun sebebi Aşama 1'de toplanma alanından ikinci

barınma alanına herhangi bir gönderimin olmamasıdır. Tablo 8’de $m''_{w,h,n,t,k}$ karar değişkenine ait değerler verilmiştir.

Tablo 8. Aşama 3’e ait $m''_{w,h,n,t,k}$ karar değişkeninin sonuçları

$m''_{1,1,1,1,1} = 12$	$m''_{1,2,1,1,1} = 0$
$m''_{1,1,2,1,1} = 12$	$m''_{1,2,2,1,1} = 0$
$m''_{1,1,1,1,2} = 0$	$m''_{1,2,1,1,2} = 0$
$m''_{1,1,2,1,2} = 0$	$m''_{1,2,2,1,2} = 0$

Tablo 8 değerlendirildiğinde sadece birinci sağlık merkezine gönderim olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Aşama 1’de toplanma alanından sadece birinci sağlık merkezine gönderimin olmasıdır. Tablo 9’da $m''_{v,h,o,t,\beta}$ karar değişkenine ait değerler verilmiştir.

Tablo 9. Aşama 3’e ait $m''_{v,h,o,t,\beta}$ karar değişkeninin sonuçları

$m''_{1,1,1,1,1} = 12$	$m''_{1,2,1,1,1} = 0$
$m''_{1,1,2,1,1} = 12$	$m''_{1,2,2,1,1} = 0$
$m''_{1,1,1,1,2} = 0$	$m''_{1,2,1,1,2} = 0$
$m''_{1,1,2,1,2} = 0$	$m''_{1,2,2,1,2} = 0$

Tablo 9 değerlendirildiğinde sadece birinci sağlık merkezine gönderim olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Aşama 1’de toplanma alanından sadece birinci sağlık merkezine gönderimin olmasıdır. Tablo 10’da depolardan sağlık merkezi ve barınma alanlarına gönderimin yapıp yapılmadığını gösteren 0-1 değişkenlere ait değerler verilmiştir.

Tablo 10. Aşama 3’e ait 0-1 karar değişkenlerinin sonuçları

$z'_{w,s,t}$	$z'_{w,h,t}$	$z'_{v,h,t}$
$z'_{1,1,1}=1$	$z'_{1,1,1}=1$	$z'_{1,1,1}=1$
$z'_{1,2,1}=0$	$z'_{1,2,1}=0$	$z'_{1,2,1}=0$
$z'_{1,3,1}=1$		

Tablo 10 değerlendirildiğinde daha önce de belirtildiği üzere toplanma alanından barınma alanına gönderimin olmadığı durumda, depodan da barınma alanına gönderim olmamaktadır. Aynı durum sağlık merkezi için de geçerlidir.

5. Sonuçlar

Afetler geçmişten günümüze sürekli olarak araştırmacıların ilgi odağında olmuştur. Ancak son yıllarda özellikle çevreye verilen zararlar, kentleşmenin artması sonucunda doğal yapının bozulması ve bu durumun bazı afetleri tetiklemesi nedeniyle bu alana ait çalışmalar sürekli olarak güncellenmektedir.

Güncellenen çalışmalarda ise ortak nokta öncelikli olarak insanların hayatlarını kaybetmesi olmaktadır. Bu sebeple afet öncesinde ve sonrasında yapılacak çalışmalar önem arz etmektedir. Ancak tüm bu çalışmaların yapılması için belirli bir bütçeye ihtiyaç olduğu tartışılmazdır. Bu nedenle maliyetin minimum seviyede tutulması bu alanda yapılan çalışmalarda çok fazla hedeflenmektedir.

Yapılan bu çalışmada afet sonrasında insanların toplanma alanlarından sağlık merkezlerine ve barınma alanlarına tahliyesi, sağlık merkezlerine ve barınma alanına gelen insanlara tedarikçilerden depolar vasıtasıyla gerekli ürünlerin aktarılması ile ilgilenilmiştir. Söz konusu bu durum için 3 aşamalı bir matematiksel model önerisinde bulunulmuştur. Modeli test etmek içinse küçük ölçekli bir veri seti kullanılmıştır.

Afet sonrası için oluşturulan bu modelin çok aşamalı, çok ürünlü, çok dönemli olmasının yanında diğer çalışmalardan farklı olarak normal depo ve sağlık depolarının gerçek hayat problemlerinde de yapılarının birbirinden ayrı olması sebebiyle iki farklı deponun kullanılmasının afet lojistiği ile ilgili diğer çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda bu konu ile ilgili olarak ağ yapısındaki tedarik zinciri üyelerinin artırılarak kullanılan araçlara ait bir araç rotalama çalışmasının da dahil edilmesi planlanmaktadır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Hüseyin Soyöz, problemin ortaya konması, literatür taraması ve makalenin oluşturulmasında, Bahar Özyörük ise kavramsal çerçevenin oluşturulması, makalenin sunumu ve makale yazım kontrolünün yapılarak düzenlenmesinde katkı sağlamışlardır.

Teşekkür

Makalenin daha iyi bir hale gelmesine katkı sunan hakemlere ve Araştırma Görevlisi Betül Soyöz'e teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Ablanedo-Rosas, J. H., Gao, H., Alidaee, B. & Teng, W. Y. (2009). Allocation of emergency and recovery centres in Hidalgo, Mexico. *International Journal of Services Sciences*, 2(2), 206-218. doi: <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2009.024941>

Babaei A. & Shahanaghi, K.. (2017). A new model for planning the distributed facilities locations under emergency conditions and uncertainty space in relief logistics. *Uncertain Supply Chain Management*, 5, 105–125. doi: <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2016.10.004>

Barbarosoğlu, G. & Arda, Y. (2004). A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *Journal of the Operational Research Society*, 55, 43–53. doi: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601652>

Campbell, A. M. & Jones, P. C. (2011). Prepositioning supplies in preparation for disasters. *European Journal of Operational Research*, 209(2), 156-165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.08.029>

Cao, C., Liu, Y., Tang, O. & Gao, X. (2021). A fuzzy bi-level optimization model for multi-period post-disaster relief distribution in sustainable humanitarian supply chains. *International Journal of Production Economics* 235(1). doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108081>

Döyen, A., Aras, N. & Barbarosoğlu, G. (2012). A two-echelon stochastic facility location model for humanitarian relief logistics. *Optimization Letters*, 6(6), 1123-1145. doi: <https://doi.org/10.1007/s11590-011-0421-0>

Duran, S., Gutierrez, M. A. & Keskinocak, P. (2011). Pre-positioning of emergency items for CARE international. *Interfaces*, 41(3), 223-237. doi: <https://doi.org/10.2307/23016301>

Galindo, G. & Batta, R. (2013). Prepositioning of supplies in preparation for a hurricane under potential destruction of prepositioned supplies. *Socio-Economic Planning Sciences*, 47(1), 20-37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2012.11.002>

Garrido, R. A., Lamas, P. & Pino, F. J. (2015). A stochastic programming approach for floods emergency logistics. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 75, 18-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.12.002>

Görmez, N., Köksalan, M. & Salman, F. S. (2011). Locating disaster response facilities in Istanbul. *Journal of the Operational Research Society*, 62(7), 1239-1252. doi: <https://doi.org/10.1057/jors.2010.67>

Günneç, D. & Salman, F. S. (2007). A two-stage multi-criteria stochastic programming model for location of emergency response and distribution centers. *International Network Optimization Conference (INOC), Spa, Belgium*, 22-25.

Günneç, D. & Salman, F. S. (2011). Assessing the reliability and the expected performance of a network under disaster risk. *OR Spectrum*, 33(3), 499-523. doi: <https://doi.org/10.1007/s00291-011-0250-7>

- Hasani, A. & Mokhtari, H. (2019). An integrated relief network design model under uncertainty: A case of Iran. *Safety Science*, 111, 22–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.09.004>
- Hong, X., Lejeune, M. A. & Noyan N. (2015). Stochastic network design for disaster preparedness. *IIE Transactions*, 47, 329-357. doi: <https://doi.org/10.1080/0740817X.2014.919044>
- Huang, R., Kim, S. & Menezes, M. B. (2010). Facility location for large-scale emergencies. *Annals of Operations Research*, 181(1), 271-286. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-010-0736-8>
- Hu, S. L., Han, C. F. & Meng, L. P. (2017). Stochastic optimization for joint decision making of inventory and procurement in humanitarian relief. *Computers & Industrial Engineering*, 111, 39-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.06.029>
- Jha, A., Acharya, D. & Tiwar, M. K., (2017). Humanitarian relief supply chain: a multi-objective model and solution. *Sadhana*, 42 (7), 1167–1174. doi: <https://doi.org/10.1007/s12046-017-0679-8>
- Lee, Y. M., Ghosh, S. & Ettl, M. (2009). Simulating distribution of emergency relief supplies for disaster response operations. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*. doi: <https://doi.org/10.1109/WSC.2009.5429246>
- Li, X., Ramshani, M. & Huang, Y. (2018). Cooperative maximal covering models for humanitarian relief chain management. *Computers & Industrial Engineering*, 119, 301–308. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.04.004>
- Lu, C. C. (2013). Robust weighted vertex p-center model considering uncertain data: An application to emergency management. *European Journal of Operational Research*, 230(1), 113-121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.03.028>
- Lu, X. L. & Hou, Y. X. (2009). Ant colony optimization for facility location for large-scale emergencies. In Management and Service Science. 2009 International Conference on Management and Service Science. doi: <https://doi.org/10.1109/ICMSS.2009.5302451>
- Manopiniwes, W. & Irohara, T. (2017). Stochastic optimisation model for integrated decisions on relief supply chains: preparedness for disaster response. *International Journal of Production Research*, 55 (4), 979-996. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1211340>
- Massaguer, D., Balasubramanian, V., Mehrotra, S. & Venkatasubramanian, N. (2006). Multi-Agent Simulation of Disaster Response. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/241438415>
- Mohamadi, A., Yaghoubi, S. & Pishvae, M. S. (2019). Fuzzy multi-objective stochastic programming model for disaster relief logistics considering telecommunication infrastructures: A case study. *Operational Research Int Journal* 19, 59–99. doi: <https://doi.org/10.1007/s12351-016-0285-2>
- Monzón, J., Liberatore, F. & Vitoriano, B. (2020). A mathematical pre-disaster model with uncertainty and multiple criteria for facility location and network fortification. *Mathematics*, 8(4), 529. doi: <https://doi.org/10.3390/math8040529>
- Öksüz, M. K. & Satoğlu Ş.İ. (2020). A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101426>
- Özdamar, L., Ekin, E. & Küçükyazici, B. (2004). Emergency logistics planning in natural disasters. *Annals of Operations Research*, 129(1-4), 217-245. doi: <https://doi.org/10.1023/B:ANOR.0000030690.27939.39>
- Safaei, A. S., Farsad, S. & Paydar, M. M. (2018). Emergency logistics planning under supply risk and demand uncertainty. *Operational Research Int Journal*, 1-24.
- Salman, F. S. & Yücel, E. (2015). Emergency facility location under random network damage: Insights from the Istanbul case. *Computers & Operations Research*, 62, 266-281. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.07.015>

Torabi, S.A., Shokr, I., Tofighi, S. & Heydari, J. (2018). Integrated relief pre-positioning and procurement planning in humanitarian supply chains. *Transportation Research Part E*, 113, 123–146. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.03.012>

Verma, A. & Gaukler, G. M. (2011). A stochastic optimization model for positioning disaster response facilities for large scale emergencies. *International Conference on Network Optimization*, 547-552.

Vitoriano, B., Ortuño, M. T., Tirado, G. & Montero, J. (2011). A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. *Journal of Global Optimization*, 51, 189-208. doi: <https://doi.org/10.1007/s10898-010-9603-z>

Wang, Y., Dong, Z. S. & Hu, S. (2021). A stochastic prepositioning model for distribution of disaster supplies considering lateral transshipment. *Socio-Economic Planning Sciences*, 74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100930>

Yenice, Z.D. & Samanlıoğlu, F. (2020). A multi-objective stochastic model for an earthquake relief network. *Journal of Advanced Transportation*. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/1910632>

Zhan, S., Liu, S., Ignatius, J., Chen, D. & Chan, F. T. S. (2021). Disaster relief logistics under demand-supply incongruence environment: A sequential approach. *Applied Mathematical Modelling* 89(1), 592-609. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.07.002>