T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEÇİCİ-AFET-MÜDAHALE TESİSLERİ YERLEŞİM PROBLEMİ İÇİN STOKASTİK OPTİMİZASYON BAZLI ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI GELİŞTİRİLMESİ

Merve KÖSE KÜÇÜK

Doç. Dr. Fatih ÇAVDUR

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

BURSA – 2016

TEZ ONAYI

Merve KÖSE KÜÇÜK tarafından hazırlanan "Geçici-Afet-Müdahale Tesisleri Yerleşim Problemi için Stokastik Optimizasyon Bazlı Çözüm Yaklaşımları Geliştirilmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Fatih Çavdur

Başkan: Doç. Dr. Fatih Çavdur
Mühendislik Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza

Üye: Prof. Dr. Erdal Emel
Mühendislik Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza

Üye: Yrd. Doç. Dr. Koray Altun
Bursa Teknik Üniversitesi
İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi
Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalı
İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü
26.10.2016

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

29/05/2016

İmza

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GEÇİCİ-AFET-MÜDAHALE TESİSLERİ YERLEŞİM PROBLEMİ İÇİN STOKASTİK OPTİMİZASYON BAZLI ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI GELİŞTİRİLMESİ

Merve KÖSE KÜÇÜK

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih ÇAVDUR

Olası bir afet sonrası merkezi ilk yardım ekiplerinin (AFAD, Kızılay vb.) afet bölgesine ulaşmalarında oluşabilecek gecikmeler nedeniyle, afetzedelerin gündelik hayatlarına devam etmelerinde ortaya çıkan sorunların ortadan kaldırılabilmesi için gerçekleştirilen afet operasyonlarının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Buna bağlı olarak merkezi ilk yardım ekiplerine destek olabilecek yerel kaynakların kullanım potansiyellerinin arttırılması da giderek önem kazanmakta, afet operasyonları kapsamında çözüm yaklaşımları geliştirilmesi gereken özgün problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında öncelikli olarak dikkate alınan geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim problemi de böyle bir probleme karşılık gelmektedir. Çalışmada dikkate alınan geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim problemi, merkezi ilk yardım ekiplerinin afet bölgesine ulaşmalarına kadar geçen sürede afetzedelerin temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kurulan tesislerin yerleşimi ile ilgilidir. Çalışma kapsamında, geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim problemi için problem tanımı yapılmış, problemin çözümü için iki-aşamalı stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, temel ihtiyaç malzemelerini depolayacak geçici-afet-müdahale tesislerinin lokasyonunu ve sayısını belirleyip, afetten etkilenen bölgelere dağıtımı yapılacak temel ihtiyaç malzemelerinin miktarına karar vermektedir. Aynı zamanda, önerilen tamsayılı programlama modeliyle, geçici-afet-müdahale tesislerinden afetzedelere temel ihtiyaç malzemelerinin en kısa sürede taşınmasını sağlayan bir taşıma planı oluşturulmuştur. Geliştirilen modeller, bir deprem örnek olayı üzerinde test edilmiş ve Bursa ilinin Yıldırım ilçesinde yer alan 64 mahalleden oluşan bir bölge için çözüm sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Afet operasyonları yönetimi, tesis yerleşim problemi, dağıtım ağı tasarımı, tamsayılı programlama, stokastik programlama **2016, viii+77 sayfa.**

ABSTRACT

MSc Thesis

DEVELOPING STOCHASTIC OPTIMIZATION BASED SOLUTION APPROACHES FOR TEMPORARY-DISASTER-RESPONSE FACILITY ALLOCATION PROBLEM

Merve KÖSE KÜÇÜK

Uludag University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Fatih ÇAVDUR

After the occurrence of a possible disaster, due to the delays of the central humanitarian organizations (AFAD, Turkish Red-Crescent, etc.) to reach the affected area, the importance of disaster operations to eliminate the problems of disaster victims to continue their everyday lives increases day by day. In this study, we primarily consider such a problem, allocation of temporary-disaster-response facilities which are planned to meet the basic needs of disaster victims until the arrival of central humanitarian organizations. We first make the problem definition, and then, develop a stochastic optimization-based solution arpproach to solve the problem. A two-stage stochastic programming model is proposed for the allocation of temporary disaster response facilities considering the locations, number of the facilities in these locations and the distributions of the basic supplies stored in these facilities. We also develop a transportation plan using an integer programming model to minimize the time (distance) to transport the required amounts of basic supplies. We illustrate our solution approach with an earthquake case study in the Yildirim district of Bursa-Turkey with 64 neighborhoods.

Keywords: disaster operations management, facility allocation problem, distribution network design, integer programming, stochastic programming **2016, viii+77 pages.**

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamda bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren ve destek olan Sayın Hocam Doç. Dr. Fatih ÇAVDUR'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan sevgili aileme ve sevgili eşim Mustafa Fevzi KÜÇÜK'e teşekkürlerimi sunarım.

Merve KÖSE KÜÇÜK

29.05.2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER KISALTMALAR DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
1. GİRİŞ 1
1.1. Afet Yönetimi Temel Kavramları 4
1.1.1 Zarar Azaltma Aşaması 5
1.1.2. Hazırlık Aşaması 6
1.1.3. Cevap Aşaması 7
1.1.4. İyileşme Aşaması 7
2. KAYNAK ÖZETLERİ (KURAMSAL TEMELLER/GENEL BİLGİLER) 10
3. MATERYAL VE YÖNTEM 25
3.1. Materyal 25
3.1.1. Tamsayılı Programlama 25
3.1.2. Stokastik Programlama 32
3.2. Yöntem 35
3.2.1. GAM Tesis Yerleşimi için İki-Aşamalı SP Modeli 36
3.2.2. Temel İhtiyaç Malzemesi Taşıma Planı için TP Modeli 41
4. BULGULAR 46
4.1. GAM Tesis Yerleşimi için İki-Aşamalı SP Modeli-Örnek Uygulama 46
4.2. Temel İhtiyaç Malzemesi Taşıma Planı için TP Modeli-Örnek Uygulama 54
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 58
KAYNAKLAR 62
EKLER 68
EK 1 Mahalle Suç Oranları ve Güvenlik Düzeyleri 68
EK 2 Kullanılan Rotalar ve Optimal Taşıma Miktarları 70
EK 3 Senaryo-2 Model Çözümü Şebeke Gösterimi 72

EK 4 Senaryo-3 Model Çözümü Şebeke Gösterimi 73
EK 5 Senaryo-4 Model Çözümü Şebeke Gösterimi 74
EK 6 Senaryo-5 Model Çözümü Şebeke Gösterimi 75
ÖZGEÇMİŞ 76

SİMGELER KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	**Açıklama**
AFAD:	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
FEMA:	Federal Emergency Management Agency
GAM:	Geçici-Afet-Müdahale
SP:	Stokastik Programlama
TP:	Tamsayılı Programlama

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa
Şekil 1.1..... 3
Şekil 1.2..... 5
Şekil 3.1..... 37
Şekil 3.2..... 44
Şekil 4.1..... 48
Şekil 4.2..... 49
Şekil 4.3..... 53
Şekil 4.4..... 54

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1	2
Çizelge 2.1	21
Çizelge 4.1	49
Çizelge 4.2	49
Çizelge 4.3	52
Çizelge 4.4	53
Çizelge 4.5	56
Çizelge 4.6	56
Çizelge 4.7	57

1. GİRİŞ

Afet, meydana geldiği çevreye zarar veren ve istenmeyen sonuçlar üreten bir olay olarak tanımlanabilir, örneğin deprem, sel, herhangi bir kaza vb. (Özçep ve ark. 2003). Afet türlerine göre en genel sınıflandırma, doğal ve yapay (insan kaynaklı, teknolojik) afetler olmak üzere yapılabilir. Bu sınıflandırmaya göre, afet türlerinin dağılımının zaman içinde farklılık gösterdiği görülmektedir. Afetlerin toplumlar ve bireyler üzerinde birçok olumsuz etkileri vardır. Yaralanma ve ölümlerin yanı sıra, afetlerin toplumda meydana getirdiği şok etkisi nedeniyle ciddi oranlarda psikolojik sorunlarla da karşılaşılabilir (Özçep ve ark. 2003). Mal kayıpları ve ikincil ekonomik kayıplar, bölgenin altyapısının bozulması gibi sorunlar nedeniyle ciddi miktarlarda ekonomik kayıplar da söz konusu olabilmektedir. EM-DAT (The International Disaster Database) afet istatistiklerine göre 1900 ile 2005 yılları arasında oluşan afetlerin sayısı, teknolojinin ve buna bağlı olarak insanlığın gelişimi ile orantılı olarak 2005 yılına doğru ciddi boyutlarda artış göstermektedir (Durmuş, 1995).

Günümüzde, dünyada olduğu gibi ülkemizde de doğal afetlerin oluşum sıklığı giderek artmaktadır. Ülkemizde sık yaşanan doğal afetler, deprem başta olmak üzere sel, toprak kayması, kaya düşmesi ve çığdır. Doğal afetin türüne göre bakıldığında meydana gelen hasarların %66'sı depremlerden, %15'i sellerden, %10'u toprak kaymasından, %7'si kaya düşmesinden, %2'si de meteorolojik olaylardan kaynaklanmaktadır. Türkiye'de diğer doğal afetlere göre en sık meydana gelenler ve etkileri itibariyle en yıkıcı olanlar depremlerdir (Erdik ve ark. 2003). Jeolojik olarak Türkiye, Arabistan ve Afrika kara parçalarının kuzey Avrasya'ya doğru sürüklendiği sınır bölgesinde bulunmaktadır. Türkiye'nin kuzey bölgesinde doğudan batıya doğru Kuzey Anadolu Fay hattı olarak adlandırılan 1000 km'den uzun, büyük bir fay hattı uzanır ve tarih boyunca bu fay hattında pek çok kuvvetli deprem meydana gelmiştir (Genç, 2007).

Geçmiş yıllar içerisinde ülkemizde yaşanan depremler ve bu depremler sonucunda meydana gelen ölü, yaralı sayısı ve hasarlı bina sayısı Çizelge 1.1'de verilmiştir. Türkiye'nin doğu bölgesinde bulunan Erzincan şehrinde çok kuvvetli depremler

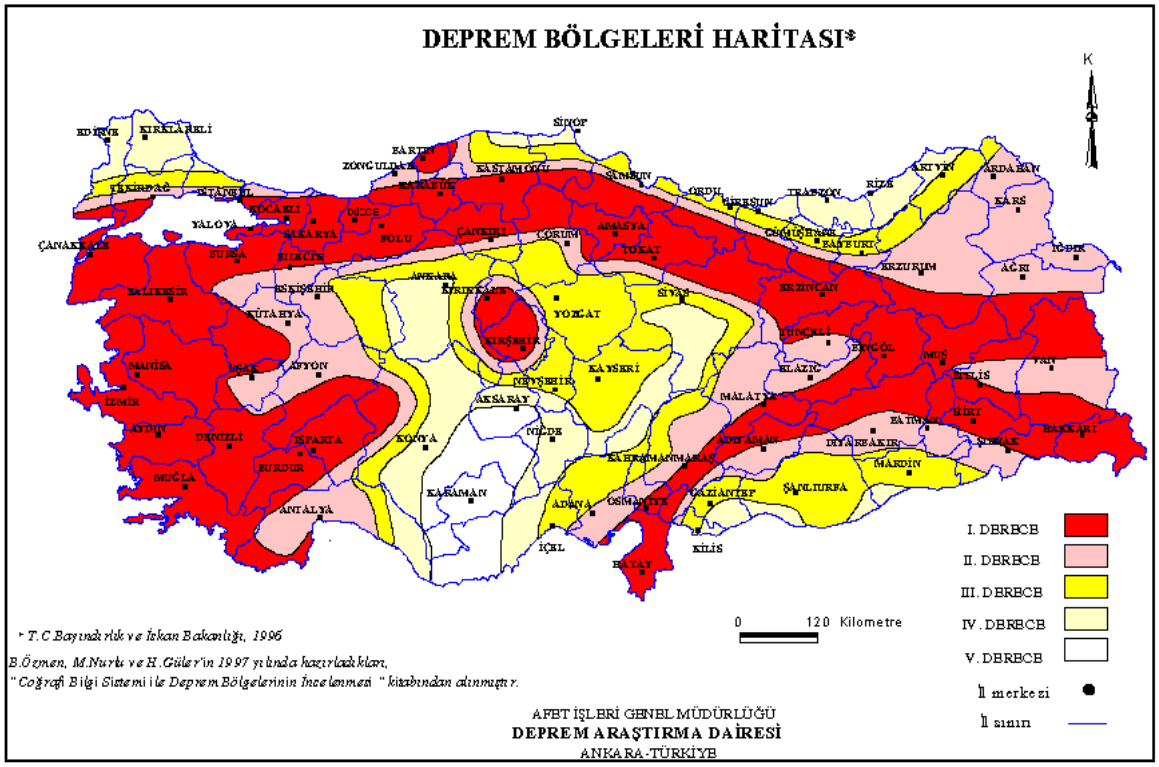
oluşmuştur (1939 ve 1992 depremleri). 1939 depreminde 30 binden fazla kişi ölürken, 1992'de 700 kişi hayatını kaybetmiştir. Birkaç binanın ve altyapının çökmesiyle beraber yüksek oranda mal kaybı görülmüştür. 17 Ağustos 1999 tarihinde İstanbul'un 110 km doğusunda bulunan İzmit ve Adapazarı çevresinde Kocaeli depremi adı verilen bir deprem felaketi yaşanmıştır. Büyüklüğü 7,4 olarak kaydedilen bu deprem, bölgede çok yüksek oranda insan hayatına ve malına zarar vermiştir. 7,2 büyüklüğünde diğer bir kuvvetli deprem, 12 Kasım 1999 tarihinde yine kuzey Anadolu fay hattında meydana gelmiştir. Binin üstünde insan ölmüş ya da ciddi boyutlarda yaralanmıştır (Bağcı ve ark. 1991).

Çizelge 1.1. Türkiye'de Önemli Depremler (Bağcı ve ark. 1991)

Tarih	Yer	Ölü Sayısı	Yaralı Sayısı	Hasarlı Bina Sayısı
1912	Mürefte	216	-	5.540
1930	Hakkari	2.514	-	3.000
1939	Erzincan	33.000	-	116.720
1942	Niksar-Erbaa	3.000	6.300	32.000
1943	Tosya-Ladik	2.824	-	2.500
1944	Bolu-Gerede	3.959	-	20.865
1946	Varto	2.394	1.489	20.007
1970	Gediz	1.086	1.260	9.452
1975	Lice	2.385	3.339	8.149
1976	Van-Çaldıran	3.840	497	9.552
1983	Erzurum-Kars	1.155	1.142	3.241
1992	Erzincan	653	3.850	6.702
1995	Dinar	94	240	4.909
1998	Ceyhan	150	1.000	12.000
1999	Kocaeli	17.000	32.000	50.000
1999	Düzce	763	-	133.496

Ülkemizin tektonik yapısından dolayı deprem riski bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Ülkemizde deprem riski, büyükten küçüğe doğru beş farklı önem

derecesine ayrılmıştır. Birinci derece deprem risk seviyesi en yüksek, beşinci derece deprem risk seviyesi en düşük olanıdır. Şekil 1.1'de verilen Deprem bölgeleri haritası incelendiğinde, deprem riskine maruz bölgeler riskin büyüklüğüne göre farklı renklerle gösterilmiştir. Koyudan açığa doğru gidildikçe deprem riski azalmaktadır (Özmen ve ark. 1991).



Şekil 1.1. Türkiye Deprem Haritası (Özmen ve ark. 1991)

1999 depremi sonrası, Marmara denizinde yapılan bazı araştırmaların sonucuna göre, Kuzey Anadolu Fayı, İzmit Körfezi cıkışından Saroz Körfezine doğru uzanmaktadır. Tespit edilen bu fayın uzunluğu yaklaşık 200 kilometredir. Bu fayda meydana gelebilecek bir depremin büyüklüğünün ise 7,7 olabileceği ve bu büyüklükte bir depremin %65 olasılıkla 30 yıl içinde beklendiği açıklanmıştır (JICA Raporu, 2002). Deprem senaryolarında 70000 civarında kişinin hayatını kaybedeceği ve 170000 kişinin yaralı olarak depremden kurtulacağı, yaklaşık 5 milyon kişinin barınma problemi yaşayacağı öngörülmektedir (JICA ve IBB Raporu, 2002).

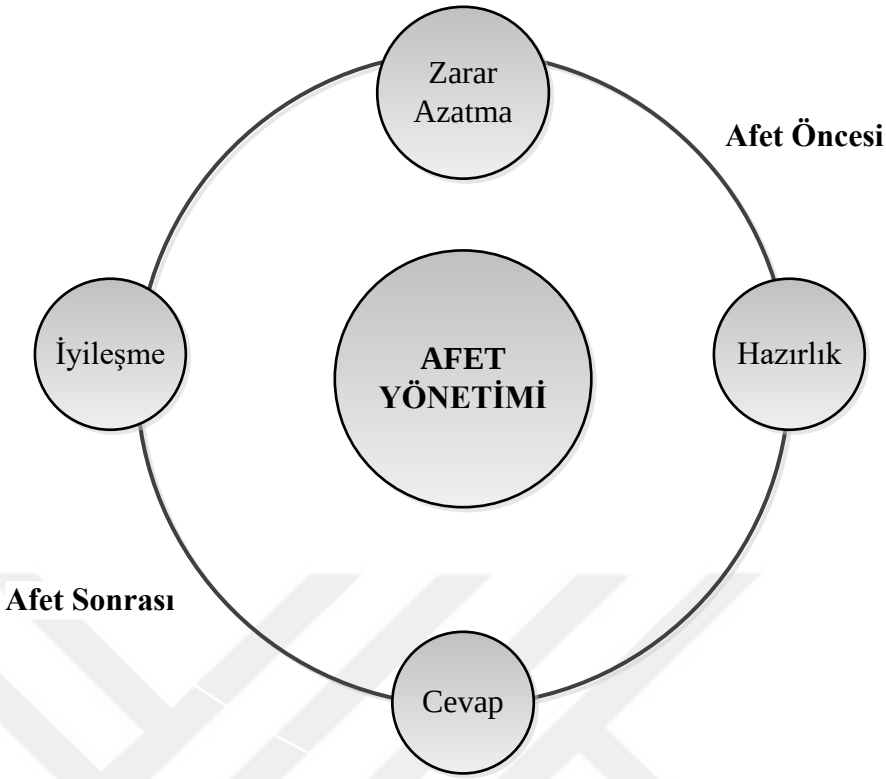
Tüm bu yaşanan depremler ve deprem riski düşünüldüğünde, ülkemizde potansiyel deprem felaketinin üstesinden gelebilmek için, etkin bir afet yönetimine ihtiyaç vardır.

Afet yönetimi, afet tehdidine, doğal veya insan kaynaklı afetlere karşı hazırlık, korunma, müdahale, iyileştirme, risk ve zarar azaltma kapasitesini inşa etmek, sürdürmek ve geliştirmek için gereken tüm çalışmaların koordinasyonu ve entegrasyonu olarak tanımlanmaktadır (Genç, 2007).

Son yılarda meydana gelen ve büyük kayıplara neden olan doğal afetler ile afet operasyonları yönetimine ve etkinliğinin arttırılmasına yönelik çalışmaların arttığı gözlenmektedir. Bunların nedenleri arasında artan nüfus yoğunluğu, karmaşık, çarpık kentleşme ve beraberindeki sorunlar sayılabilir. Bu çalışmaların çoğunun genel amaçları, afetlerin meydana getirdiği olumsuz etkilerin azaltılması ve afet meydana gelmeden önce olumsuz etkilerinin önlenmesidir. Afetlerin çok sayıda insanın hayatını kaybetmesine ve yüksek oranda ekonomik zarara neden olduğu düşünüldüğünde, afet operasyonları yönetiminin önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

1.1. Afet Yönetimi Temel Kavramları

Afet yönetiminde temel prensip, afete hazırlıklı olmak, afet öncesi planlama çalışmalarında bulunmak, afet sırasında gerekli müdahale planlarını uygulamak, afet sonrasında ise iyileştirme çalışmalarını sağlamaktır. Afet yönetimi, afet öncesi, sırası ve sonrasında yapılan tüm çalışmaları kapsamaktadır. Afet öncesi afet müdahale tesislerinin yerleşimi, kaynak kapasite gereksiniminin belirlenmesi, afet sırasında ve sonrasında afet müdahale ekiplerinin müdahale ve tahliye planlarının oluşturulması gibi çalışmalar afet yönetimi çalışmalarına örnek olarak gösterilebilir. Temel olarak afet yönetiminde zarar azaltma (mitigation), hazırlık (preparedness), cevap (response) ve iyileşme (recovery) olmak üzere dört aşamadan bahsedilebilir (Galindo ve Batta, 2013). Bu aşamalar Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Afet yönetiminin amaçları, afet öncesinde insanların olası afetlerden en az kayıpla kurtulmasını sağlayacak idari, teknik ve yasal önlemlerin alınması, afet sırasında etkili iletişim ve arama-kurtarma çalışmalarının yapılması ve afet sonrasında etkili tahliye ve afet lojistiği çalışmalarının yapılması olarak özetlenmektedir.



Şekil 1.2. Afet Yönetimi Aşamaları

1.1.1 Zarar Azaltma Aşaması

Afet riskinin azaltılması ve afet kayıplarının önlenmesi için gereken tüm faaliyetler bu aşamada gerçekleştirilir. Afet meydana gelmeden önce, olası can ve mal kayıplarına karşı korunma ve afetin etkilerini en aza indirilmeyi amaçlayan çalışmaların yapıldığı aşamadır. Bu aşama kapsamında yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Kale ve Kutemete, 2011):

- Afeti önlemek mümkün ise, afetleri önleyecek bütün çalışmaları kapsar. Örneğin, taşkın olma riski yüksek yerlerde yapılaşmanın yasaklaması veya bazı tehlikeli kimyasalların, yüksek nüfus yoğunluğu olan bölgeler üzerinden taşınması kanunlarla yasaklanması faaliyetleri,
- Afetleri önlemenin mümkün olmadığı durumlarda kurtarma, ilk yardım ve iyileştirme çalışmalarının mümkün olan en hızlı, verimli ve etkin şekilde

gerçekleşmesinin sağlanması. Örneğin binaların depreme dayanıklılığının artırılması veya birçok insanın bir arada bulunabileceği yapılarda, yangına dayanıklı malzeme kullanılması,

- Toplumun afetler konusunda bilinçlenmesi için gerekli tüm eğitim çalışmaları,
- Yapı denetim ve deprem yönetmeliklerinin zamanın şartlarına göre yeniden düzenlenmesi,
- Afet risklerinin belirlenip risk haritalarının hazırlanması,
- Afet erken uyarı ve kontrol sistemlerinin, deprem kayıt şebekelerinin kurulması.

1.1.2. Hazırlık Aşaması

Afet meydana gelmeden önce, müdahalenin etkin bir şekilde yapılması için gerekli olan faaliyetlerin planlanmasının yapıldığı aşama olarak tanımlanabilir. Bu aşamadaki faaliyetler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Türkoğlu ve ark. 2003):

- Afetin beklendiği yerleşim yeri ile ilgili coğrafi, yapısal, demografik, çevresel verilerin toplanması,
- Olası riskler belirlenerek afet senaryoları geliştirilmesi ve bu senaryolara göre gerekli planların geliştirilmesi,
- Kurtarma ve acil yardım planlarının hazırlanması ve geliştirilmesi, çeşitli beklenmedik olaylar için alternatif planlar oluşturulması; bu planlarda görev alan personelin yetki ve sorumlulukları kesin çizgilerle belirlenmesi,
- Eğitim ve tatbikatlarla afete hazırlık yapılması,
- Afet bölgesinde önemli noktalar belirlenerek bu noktalara yakın yerlere teçhizat ve malzemelerin stoklanması,
- Arama kurtarma faaliyetlerinin örgütlenmesi, geliştirilmesi ve eğitimi ve yaygınlaştırılması,

1.1.3. Cevap Aşaması

Afet meydana geldikten sonra, afetten etkilenen kişilere hizmet verebilmek için genellikle önemli kaynakların kullanımıyla ilgili faaliyetlerle ilişkilidir. Bu aşama, afet meydana geldikten hemen sonra başlayarak, afetin büyüklüğüne bağlı olarak en çok bir kaç aylık bir süre içerisinde yapılan faaliyetleri kapsar (Altay ve Green, 2006). Cevap aşamasında yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Haber alma ve ulaşım olanaklarını sağlamak,
- Arama - kurtarma ve ilk yardım çalışmalarının koordinasyonunu sağlamak,
- Tahliye işlemlerinin etkin şekilde yapılmasını sağlamak,
- Afetzedelerin hasarlı konutlardan uzaklaştırılmasını sağlamak,
- Geçici müdahale merkezleri oluşturularak insanların acil ihtiyaçlarının teminini sağlamak,
- Her türlü güvenlik önlemini almak,
- Hasar tespiti çalışmalarının yapılmasını sağlamak,

1.1.4. İyileşme Aşaması

Afet sonrasında afetten etkilenen kişilerin normal yaşamlarına geri dönebilmelerini sağlamak amacıyla gerçekleştirilen faaliyetlere karşılık gelmektedir. Altyapı hizmetlerinin yeniden oluşturulması, eğitim, sağlık, ulaşım gibi hizmetlerin yeniden sağlanmaya çalışılması, gibi uzun dönemli sonuçların da hesaplandığı bir safhadır. İyileşme aşaması kapsamında yapılan çalışmalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Mümkün olan en fazla sayıdaki insanı kurtarmak, yaralı lojistiğinin en hızlı şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak,
- Afetten etkilenen toplulukların hayati ihtiyaçlarını en kısa zamanda temin ederek hayatın normal hale getirilmesini sağlamak,
- Afet nedeniyle meydana gelen ekonomik ve sosyal kayıpların en düşük düzeyde kalmasını sağlamak,
- Afetten etkilenen topluluklar için güvenli yeni bir yasam çevresi oluşturmak.

Afet sonrası ortaya çıkan problemlerden biri binalarda yaşanan hasarlar nedeniyle barınma sorunu yaşayan afetzedeler için geçici barınak temini problemidir. Bu problemin çözümü için çeşitli sivil toplum kuruluşları kurulmuş, projeler geliştirilmiştir. Bunlardan biri 1997'de NGO (Non-Governmental Organization) grubu tarafından yapılan Sphere Projesi'dir. Sphere Projesi, afet yardımlarının etkinliğinin arttırılmasını misyon edinmiş uluslararası bir yardım kuruluşudur. İnsani Yardım Sözleşmesi, uluslararası insani prensipler ve koşullar, insan hakları sözleşmesi, Mülteci Kanunu ve Kızıl Haç ile Sivil Toplum Kuruluşu yürütme yasasına dayanır. İnsani Yardım Sözleşmesi, insani eylemi yöneten temel ilkeleri açıklamakta ve halkların korunma ve yardım alma haklarını savunmaktadır. Proje, 1997'den beri afet bölgelerinde insani yardımın ana alanlarında evrensel asgari standartları sağlamaktadır. Projenin amacı, afetten etkilenen insanlara sağlanan yardımın kalitesini ve afet müdahale çalışmalarında insani yardım sisteminin sorumluluğunu arttırmaktır. Proje, beş temel bölümde asgari standartlar içermektedir (Sphere Project, 2004):

- Su temini ve sağlıklı bir ortam için asgari standartlar,
- Beslenmede asgari standartlar,
- Gıda yardımında asgari standartlar,
- Barınak ve yer planlamasında asgari standartlar,
- Sağlık hizmetlerinde asgari standartlar olarak belirlenmiştir.

Afet yönetimi, genel olarak FEMA, Kızılhaç (Red-Cross) gibi uluslararası merkezi kuruluşlar tarafından yürütülmektedir. Türkiye'de afet ve acil durum yönetiminde Başbakanlığa bağlı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) ve Kızılay faaliyet gösteren resmi kuruluşlardır. Bu resmi kuruluşların, afet sonrası kritik saatler içerisinde afet bölgesine ulaşmaları her zaman mümkün olamamaktadır. Bu sebeple, afet bölgesine merkezi yardım kuruluşları ulaşıncaya kadar geçen sürede afetzedelere temel ihtiyaç malzemesi sağlayacak geçici-afet-müdahale tesislerinin kurulması gerekmektedir. Bu çalışmada geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim problemi ele alınmış, problemin çözümü için stokastik optimizasyon-bazlı çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir. Geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi problemi, afet operasyonları

yönetimi kapsamında, geçici-afet-müdahale tesislerinin lokasyonu ve sayısının belirlenmesi ve temel ihtiyaç malzemelerinin dağıtımı problemi olarak tanımlanabilir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ (KURAMSAL TEMELLER/GENEL BİLGİLER)

Afetler, çok büyük ekonomik kayıplara, insanların hayatını kaybetmesine ve ciddi çevresel zararlara neden olmaktadır. Bu yıkıcı etkiler sebebiyle afet operasyonları yönetimi kapsamında, afetlerin olası etkilerini azaltmak amacıyla yapılan çalışmalara olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Afet operasyonları yönetimi kapsamında yapılan çalışmaların çoğu, Yöneylem Araştırması / Yönetim Bilimi (Operations Research / Management Science) uygulamalarıyla yakından ilişkilidir (Altay ve Green 2005). Örneğin, afet sonrası tahliye için sığınak yerleşimi, Yöneylem Araştırması alanında yerleşim analizi konusunun özel bir durumu olarak değerlendirilmektedir. Aynı şekilde afet sonrası tahliye ve taşıma planı, taşıma modeli uygulamalarının bir benzeri olarak düşünülebilir. İstatistiksel ve olasılıksal modeller ise afet yeri ve zamanı, talepler gibi belirsiz durumlar için geliştirilen çözüm yaklaşımları olarak değerlendirilmektedir (Galindo ve Batta 2013).

Geçmiş çalışmalar, afet türlerine, operasyonların aşamalarına, çözüm yaklaşımlarına göre vb. olmak üzere çeşitli açılardan sınıflandırılabilir.

Afet operasyonlarının aşamalarına göre yapılan çalışmaların sınıflandırılmasında yapılan çalışmaların çoğunlukla azaltma aşaması ile ilgili olduğu gözlenmiş olmakla birlikte (Altay ve Green, 2005), son yıllarda cevap aşamalarını veya birden fazla aşamayı içeren çalışmaların daha çok sayıda olduğu görülmektedir (Galindo ve Batta 2013). Birden fazla aşamayı içeren çalışmalarda örneğin, ilk aşama acil müdahale tesislerinin konumlarının belirlenmesi (hazırlık) çalışmalarını içerirken, ikinci aşama ise dinamik yerleşim ve acil ihtiyaç dağıtımı (cevap) çalışmalarını içermektedir (Fiorucci ve ark. 2005).

Önceki yıllarda yapılan çalışmaların, yapay kaynaklı afetler ile ilgili olanların sayısının doğal kaynaklı afetler ile ilgili olan çalışmaların sayısından daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum son yıllarda değişiklik göstererek, doğal kaynaklı afetler ile ilgili çalışmalara olan ilginin arttığı ve aynı zamanda çalışmalarda önerilen yaklaşımların bir afet çeşidi (deprem, sel, heyelan, vb.) üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Galindo ve Batta 2013).

Afet operasyonlarının gerçekleştirilme aşamaları açısından bir diğer sınıflandırma ise afet öncesi ve afet sonrası operasyonlar olarak yapılabilir. Afet öncesi operasyonları dikkate alan çalışmalar arasında sığınak, depo yerleşimi ve afetten ekilenen kritik bölgeleri kapsama problemlerini içeren, afet risklerine karşı altyapı geliştirilmesiyle ilgili konularda yapılan çalışmalar sayılabilir (Albores ve Shaw 2008, Haynes ve ark. 2008, Peeta ve ark. 2010). Afet sonrası operasyonlara yönelik çalışmalara örnek olarak, bir afet sonrasında afet bölgesinin tahliyesinin en etkili şekilde sağlanması (Abdelgawad ve Abdulhai 2010, Childers ve ark. 2009, Chiu ve Mirchandani 2008, Chiu ve Zheng 2007, Chiu ve ark. 2007, Chiu ve ark. 2008, Georgiadou ve ark. 2007), afet bölgesindeki insanların ihtiyaçlarının karşılanması gibi operasyonların yönetimi verilebilir (Campbell ve ark. 2008, Kovacs ve Spens 2007). Son yıllarda, afet operasyonları yönetimi çalışmalarıyla birlikte, insani lojistik (humanitarian logistics) çalışmalarına olan ilginin giderek arttığı görülmektedir. Bu çalışmalar genel olarak afet sonrasında afetten etkilenen insanların temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yapılan lojistik faaliyetlerinin planlanmasını içermektedir (Nagurney 2011, Natarajarathinam ve ark. 2009; Özdamar ve Demir 2012, Rawls ve Turnquist 2010). Söz konusu lojistik faaliyetlerinin planlanmasında, afet bölgesine yönelik temel ihtiyaçların talep edilen miktarda ve en kısa sürede karşılanmasının amaçlandığı çalışmalar öne çıkmaktadır.

Geçmiş çalışmalar, çalışmalarda kullanılan çözüm yaklaşımları açısından incelendiğinde, kullanım sıklığı açısından öne çıkan bazı yaklaşımlar ise;

- Matematiksel Programlama
- Olasılıksal ve İstatistiksel Yaklaşımlar
- Simülasyon
- Karar Teorisi
- Yapay Zeka ve Uzman Sistemler

olarak sıralanabilir (Altay ve Green 2005, Galindo ve Batta 2013). Geçmiş çalışmalarda dikkate alınan stokastik unsurlar düşünüldüğünde, çoğunlukla çalışmalarda senaryo-tabanlı çözüm yaklaşımlarının uygulandığı görülmektedir. Senaryo-tabanlı yaklaşımların, afetin potansiyel sonuçlarının önceden belirlenmesini sağlayan ve

geliştirilen çözüm yaklaşımlarına stokastik unsurların yansıtıldığı bir yaklaşım olduğu savunulmaktadır. (Rawls ve Turnquist 2010, Chang ve ark. 2007, Mete ve Zabinsky 2010). Afet sırasında bağlantı yollarının durumu, kapasitesi, afet sırasında binaların hasar durumu ve afet sonrasında ihtiyaç duyulan temel ihtiyaçlar gibi parametreler, stokastik unsurların dikkate alındığı çalışmalarda dikkate alınan belirsiz parametrelerdendir (Galindo ve Batta, 2013).

Afet hazırlık ve cevap aşamasında tesis yerleşimi ve malzeme dağıtımı problemleri konusunda çeşitli çalışmalar yapıldığı gözlenmiştir. Afshar ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada, sel afeti için rotalamanın da entegre edildiği, bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Sel şiddeti ve su basıncındaki stokastik yapının tahmin edilmesinde modifiye edilmiş Monte Carlo simülasyonu tekniği uygulanmıştır.

Görmez ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul için afet müdahale ve yardım merkezi yer seçimi problemi ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, durumu değerlendirerek açılacak merkezlerin sayıları ve yerlerinin etkilerini ortaya çıkarmaktır. Yeni açılacak merkezlerin yanı sıra mevcut kamu binalarını da kullanan iki-aşamalı bir dağıtım sistemi öngörülmüştür. Depremden etkilenen insanlara olan ulaşım mesafesini ve yeni açılan merkez sayısını en aza indirmeyi amaçlayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Farklı durumlar için bu iki amaç arasındaki ilişki ve sonuçları incelenmiştir.

Kılcı ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada, afet sonrası çadırkent lokasyonlarının belirlenmesi için bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Mevcut durumda, Türkiye'de çadırkent lokasyonlarının seçiminden Türk Kızılayı sorumludur. Bunun için, öncelikle çadırkent aday lokasyonları belirlenmiş, belirlenen aday lokasyonlar 11 kriterden oluşan bir ağırlıklı ortalama fonksiyonu kullanarak sıralanarak ve acil bir durum meydana geldiğinde, afetten etkilenmiş bütün nüfusa barınak sağlayacak yeterli alan oluşana kadar en iyi lokasyonların seçilmesi hedeflenmiştir. Türk Kızılayı'nın bu çözüm yöntemini iyileştirmek amacıyla, bir aday lokasyon kümesi içinden mümkün olan en iyi çadırkent alanı kombinasyonunu seçen, bu alanların kullanımını kontrol eden ve her mahalleyi ona en yakın çadırkente atayan matematiksel bir model geliştirilmiştir. Modeli daha büyük bir veri grubu ile test etmek için, İstanbul'un Anadolu yakası baz alınarak elde edilen örnek veri seti kullanılmıştır.

Anping (2010) çalışmasında, maksimum küme kapsama problemi ele alarak, minimum sayıda afet müdahale birimi açarak, verilen kapsama uzaklığı ile tüm yardım taleplerini karşılamayı hedeflemiştir. Birim sayısı önemli olmakla birlikte amaç, hizmet düzeyini maksimize etmektir. Çalışmada, açılacak birimlerin kapasiteleri de kısıtlarda göz önüne alınmıştır.

Murali ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada belirsiz talep altında, kapasite kısıtları ile birlikte maksimum küme kapsama problemi ele alınmıştır. Uzaklığa bağlı talep fonksiyonu ve talep belirsizliğinin şans kısıtları ile temsil edildiği Maksimum küme kapsama modeli oluşturulmuştur. Önerilen model, belirsiz talep altında, talep noktalarını maksimum kapsayacak şekilde afet müdahale tesislerinin yerlerinin belirlenmesi ve bu tesislerde bulunacak stok miktarı kararlarının alınmasını sağlamaktadır. Genelleştirilmiş maksimum küme kapsama probleminde talep noktaları, kapsama yarıçaplarına bağlı olarak birden fazla kapsama düzeyine sahiptir. Amaç, en yüksek kapsama alanında tesis açmak ya da karşılanamayan talebi minimize etmektir. Her talep noktası için uzaklığa bağlı kapsama alanı içine giren afet tesis birimleri kümesi belirlenerek, kapsama alanı içine giren tesislerin her biri tarafından karşılanan talep toplamının o lokasyonun talebine eşit olması sağlanmıştır.

Rawls ve Turnquist (2010) tarafından yapılan çalışmada, acil durum müdahale birimlerinin önceden konumlandırılması amacıyla iki-aşamalı stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Açılan birimlerdeki malzeme stok miktarının belirlenmesinde talep belirsizliği, ayrıca taşıma ağ modelindeki belirsizlikler (bağlantıların zarar görme durumları) dikkate alınmıştır (ağ güvenilirliği). Açılacak müdahale birimlerinin konum kararları, açılan birimlerdeki çoklu talep noktalarına tedarik edilecek malzeme stok düzeyi kararları afet geçekleştiğinde ortaya çıkan belirsiz talep, önceden yerleştirilen malzemelerin kullanılabilir olma durumu ve taşıma ağ modelinin yapısı dikkate alınarak modellenmiştir. Problemin birinci aşamasında acil durum müdahale birimlerinin açılacağı lokasyonlar ve açılan birimlerdeki stok miktarları belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, problem çoklu ağ akış modeline dönüştürülmüş, taşıma miktarları, karşılanamayan talep miktarları ve ek stok miktarları senaryo değişkenleri olarak tanımlanmıştır.

Rawls ve Turnquist (2011), bir önceki çalışmalarında kullandıkları modelin uzantısı olarak kabul edilen modele hizmet kalite kısıtları eklemiştir. Eklenen kısıtlar, talep karşılama olasılığının en az α düzeyinde olmasını ve aralarında taşıma yapılan talep- arz noktaları arasındaki uzaklığın belirlenen ortalama taşıma uzaklığını aşmamasını sağlamaktadır. Senaryolar arasından hizmet kalite kısıtına uyan senaryolar güvenilir senaryo seti olarak belirlenmiştir. Önceki çalışmada bulunan çözümler, ek hizmet kalite kısıtları eklendiğinde bulunan çözümler ile farklılık göstermektedir.

Salman ve Gül (2014) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul'da olması muhtemel bir deprem için, afet sonrası yaralı tasıma lojistiği, karışık tamsayı programlama modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Dinamik bir yaralı taşıma modeli oluşturularak, beklenen deprem senaryoları için çözülerek, mevcut acil yardım sistemlerinin durumu değerlendirilmiştir. Model sonuçları, mevcut sistemin olası deprem durumunda yetersiz olduğunu ve yüksek oranda yaralının makul sürelerde taşınamadığını göstermiştir. Bu sebeple, geçici medikal servislerin kurulması suretiyle ek acil yardım istasyonları sağlanmaya çalışılmıştır. Geçici acil yardım merkezlerinin yerini ve gerekli kapasiteleri belirlemek amacıyla birleşik yaralı taşıma ve geçici acil yardım merkezi kurulum modeli oluşturulmuştur. Yaralıların toplam taşıma ve bekleme sürelerine ek olarak, geçici medikal merkez kurulum maliyeti amaç fonksiyonuna eklenmiştir. Sistem performansı, geliştirilen modelin seyahat süresi farklılıkları, değişen yaralı sayıları ve iyileşme oranları esasına dayanan farklı senaryolar için çözülerek, sonuçları değerlendirilmiştir.

Mete ve Zabinsky (2010) yaptıkları çalışmada, tıbbi malzemeler için depo yeri seçme ve seçilen depolarda bulunacak stok düzeyi belirlenmesi amacıyla iki-aşamalı stokastik programlama modeli geliştirmişlerdir. İki aşamalı stokastik programlama modeli, depo yerleşimi için en iyi yer seçimi ve seçilen depoların stok düzeylerinin belirlenmesi ile afet hazırlık aşamasına katkı sağlamaktadır. Modele girdi sağlayacak deprem bilgileri ve olası deprem etkilerinin belirlenmesinde deprem senaryoları kullanılmıştır. Önerilen çözüm yaklaşımının birinci aşamasında depo yeri seçimi ve depoda bulunacak stok düzeyine karar verilirken, ikinci aşamasında, senaryo değişkeni olarak hastanelere dağıtımı yapılacak toplam tıbbi malzeme miktarı belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmanın son aşamasında daha önce her senaryo için karar verilen tıbbi malzemelerin taşınmasını

sağlamak amacıyla taşıma planı oluşturulmuştur. Belirlenen dağıtım miktarına en uygun araç ve rotayı seçen bir karışık tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir.

Özdamar ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada, afet sonrası malzeme taşıma sürecine optimal bir plan oluşturulması amaçlanmaktadır. Taşıma yapacak araçlar için belirlenen rotalar üzerinde optimal malzeme miktarını yükleyip talep noktalarına teslim edecek bir çizelge oluşturulmuştur. Problem, çoklu ağ akış problemi ve araç rotalama problemi entegrasyonundan oluşan melez bir yapıya sahiptir. Problem kısıtlarından bazıları çoklu ağ akış problemi kısıtlarını oluştururken, diğer kısıtlar araç rotalama problemi kısıtlarıdır. Bu sayede, talep noktalarının karşılanamayan talebini minimize eden, optimal taşıma miktarına karar veren ve taşımayı yapacak aracı ve en uygun rotayı belirleyen bir matematiksel model oluşturulmuş, Lagrange gevşetmesi yöntemiyle çözüm sağlanmıştır.

Yi ve Özdamar (2007) çalışmalarında, afet lojistiği, tıbbi malzeme ihtiyacına sahip afet bölgesini maksimum düzeyde kapsayacak şekilde afet müdahale birimlerinin konumlarını belirlemeyi ele almıştır. Çalışmanın amacı, tıbbi malzeme tedarik noktalarından, afet bölgesindeki dağıtım merkezlerine yapılan tıbbi malzeme taşımalarının koordinasyonunu sağlamak ve yaralı insanların afet bölgesinden geçici veya kalıcı durumdaki acil müdahale birimlerine ulaştırılmasını sağlamaktır. Problem iki-aşamalı olarak belirlenmiştir. İlk aşamada, taşınacak tıbbi malzeme miktarlarının çizelgesi oluşturulmuş, ikinci aşamada ise taşıma araçlarının yükleme/boşaltma ve rotalama kararlarının verildiği bir algoritma geliştirilmiştir.

Chang ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada veri analizi ve ağ analiz fonksiyonları kullanılarak, potansiyel sel haritaları geliştirilmiş, talep noktaları ve bu noktalarda oluşacak taleplerin önceden tahmin edilmesi sağlanmıştır. Çalışmada önerilen iki-aşamalı stokastik programlama modeli ile, afet sonrası talep noktalarına arama-kurtarma faaliyeti sağlayacak birimlerin kurulması ve bu birimlerdeki kurtarma ekipman miktarının en uygun değerinin belirlenmesi, aynı zamanda her kurtarma ekipmanı için optimal taşıma planı oluşturulması sağlanmıştır.

Balçık ve Beamon (2008) çalışmasında geliştirilen model ile dağıtım merkezlerinin sayısının ve lokasyonlarının belirlenerek, açılacak dağıtım merkezlerinde bulunması

gereken yardım malzemeleri miktarlarına karar verilmesi sağlanmaktadır. Geliştirilen model, maksimum küme kapsama modeline tesis yerleşimi ve envanter kararlarının entegre edilmesiyle oluşturulmuş, sistem performansı değerlendirilmiştir.

Liberatore ve ark. (2013) tanımlamalarına göre insani yardım lojistiği, 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 süreçtir. İnsani yardım lojistik probleminin diğer lojistik problemlerinden farklarını Balçık ve Beamon (2008)'de şöyle tanımlamıştır:

- Tahmin edilemeyen talep
- Ani talep oluşumu ve kısa tedarik süreleri
- Kaynak eksikliği

Genelikle yapılan çalışmalarda, talep belirsizliğine odaklanılmıştır. De la Torre (2001) tarafından yapılan çalışmada yardım malzemelerinin depolanmasında ve tedarik edilmesindeki belirsizliğin, malzeme dağıtımında azımsanmayacak gecikmelere yol açtığı savunulmaktadır.

Belardo ve ark. (1984) tarafından yapılan çalışmada, petrol yayıntısında müdahale ekipmanlarının lokasyonunun belirlenmesini sağlamak amacıyla küme kapsama problemi ele alınmıştır. Çevresel veya politik olaylardan kaynaklanacak riskin minimize edildiği çok amaçlı bir matematiksel model geliştirilmiş, afet yeri belirsizliği risk haritaları kullanılarak modele yansıtılmıştır.

Huang ve Fan (2007) tarafından yapılan çalışmada, risk ve belirsizliğin tanımlanması, tehlike analizi, afetten etkilenecek bölgelerin önceden tahmin edilmesi amacıyla risk haritası oluşturulmuştur. Ele alınan maksimum küme kapsama problemi çözümü için stokastik ve gürbüz optimizasyon çözüm yaklaşımları önerilmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımında, kritik bölgelerin maksimum düzeyde kapsanması hedeflenerek, acil yardım ekiplerinin uygunluğu ile hizmet ve ulaşım sürelerinin belirsiz olduğu varsayılmıştır.

Nolz ve ark. (2011) çalışmalarında, afet sonrası dağıtım ağı tasarımı problemi dikkate almışlardır. Geliştirilen çok amaçlı modelde, risk, kapsama ve toplam dağıtım zamanı

amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Risk haritası ile, afet sonrası kullanılamayacak durumda olan yolların olasılıkları belirlenmiştir. Problem, potansiyel Pareto-optimal çözümlerden oluşan iteratif algoritma ile çözülmüştür.

Vitoriano ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada, son dağıtım ağı operasyonlarının optimizasyonu için sürekli yardım akış modeli ile tamsayılı araç akış modeli tabanlı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Çalışmada, bağlantıların güvenliği ve güvenilirliği olasılıklar ile temsil edilmiştir.

Fiedrich ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada, afet sonrası operasyonel faaliyetlerin yürütülmesini sağlayan kaynakların en iyi operasyonel bölgelere atanması sağlanarak, önerilen matematiksel modelde afet sonrası kayıp sayısının minimizasyonu amaçlanmaktadır. Önerilen yaklaşımda, ikinci defa oluşabilecek büyük doğal afetlerin olasılığı da dikkate alınmış, konumlar ve görevler arasında bağlantı kurularak, en iyi konum ataması sağlanmıştır. Tabu Arama ve Tavlama Benzetimi sezgisel algoritmaları geliştirilip, performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmada, afet bölgesi, yaralı sayısı, taşıma süresi belirsiz varsayılmıştır.

Chan ve ark. (2001) çalışmalarında, çoklu depo ve çok araçlı yerleşim-rotalama problemini ele almışlardır. Önerilen çözüm yaklaşımında, stokastik talep yapısı dikkate alınarak, depolarda stoklanan ham maddelerin her depo için envanter fazlasını oluşturacağı durum dikkate alınmıştır.

Barbarosoğlu ve Arda (2004) tarafından yapılan çalışmada, stokastik çoklu depo ve çok araçlı yerleşim-rotalama problemi ele alınmış, problemin çözümü için deprem sorasında taşıma planını oluşturacak iki-aşamalı stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Birinci aşamada, malzemelerin stok tutuldukları bölgelerden talep edilen bölgelere minimum taşıma maliyeti ve minimum beklenen senaryo maliyeti ile taşınması hedeflenirken, ikinci aşamada, optimal envanter miktarına karar verilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen modelde, bağlantı kapasiteleri, güvenliği ve güvenilirliği ile malzemelerin uygunluğu ve kullanılabilirliği senaryolar ile temsil edilmiştir.

Yazıcı ve Özbay (2007) tarafından yapılan çalışmada, sığınak yerleşimi ve kapasite gereksinimi problemi ele alınmış, ağ güvenilirliği ve değişen kapasite gereksinimleri

dikkate alınarak çözüm geliştirilmiştir. Geliştirilen çözüm yaklaşımında, afetin etkileri nedeniyle bağlantı kapasitelerinde meydana gelen belirsiz değişimler dikkate alınmıştır.

Zhu ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, lokal depo kapasite kısıtları altında kaynak yerleşim problemi, dikkate alınmıştır. Çalışmada amaç, kurulacak depoların lokasyonunu ve depolanacak malzemelerin miktarını belirlemektir. Minimum envanter tutma maliyeti ve taşıma maliyeti amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır. Problemin çözümü için, LP gevşetmesi algoritması önerilmiştir.

Song ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada, tahliye planı oluşturma problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için önerilen model, sığınak yerleşimini ve otobüs rotaları ile tanımlanan yolcuların afet noktalarından tahliye edildiği tahliye rotalarını optimize etmektedir. Tahliye edilecek insan sayısı belirsiz olarak varsayılmıştır. Geliştirilen model genetik, yapay sinir ağı ve tepe tırmanma algoritması gibi sezgisel algoritmalarının kombinasyonu ile çözülmüştür.

Hentenrcky ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, tek malzemeli akış problemi ele alınarak, problemin çözümü için üç aşamalı stokastik optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde amaç fonksiyonunu, karşılanamayan talebin, talep noktalarına malzeme taşıma süresinin ve stok maliyetlerinin minimizasyonu oluşturmuştur. Karışık-tam sayılı programlama modeli, büyük ölçekli gerçek hayat problemlerinin çözümünde yeterli olmadığından hibrit-optimizasyon metodu uygulanmıştır.

Salmeron ve Apte (2010) çalışmalarında, kurtarma malzemelerinin bütçe kısıtlı edinilmesi ve yerleşimi problemlerini ele alarak, problemin çözümü için iki-aşamalı stokastik optimizasyon modeli önermişlerdir. Önerilen modelin ilk aşamasında, kaynakların (depolar, tıbbi lokasyonlar, sığınaklar ve rotalar) optimal atama kararları verilirken, ikinci aşamada yaralıların belirlenen sığınaklara veya hastanelere taşınması ve afetzedelere talepleri doğrultusunda yardım malzemelerinin teslim edilmesi sağlanmaktadır.

Li ve ark. (2011) çözüm yaklaşımı olarak, sığınak lokasyonlarını, kapasitelerini ve kaynak düzeylerini belirleyerek, tahliye edilen kişilerin ve kaynakların dağıtımını

sağlayan iki-aşamalı stokastik model geliştirmişlerdir. Geliştirilen model, "L-Shaped decomposition" metodu ile çözülmüştür. Rottkemper ve ark. (2011) tarafıdan yapılan çalışmada, envanter yerleşim problemi ele alınmış, toplam maliyeti (taşıma maliyeti, yenileme maliyeti, envanter tutma maliyeti, karşılanamayan taleplerin ceza maliyeti vs..) minimize edecek şekilde envanter yerleşim modeli geliştirilmiştir.

Ben-Tal ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, dinamik tahliye planı oluşturma problemi ele almışlardır. Belirsizlik, beklenmeyen doğal afetlerde kaynak düğümlerde oluşacak afetzede sayısı olarak belirlenmiştir. Problem, "cell transmission" lineer programlama modeli ile çözülmüştür.

Adıvar ve Mert (2010) tarafından yapılan çalışmada, afet yardım malzemelerinin bulundukları noktalardan, talep edildikleri noktalara sevkini gerçekleştiren, tekli yardım dağıtım sisteminin optimizasyonu hedeflenmiştir. Acil durum kaynaklarının uygunluğu ve maliyeti, geciken teslim süresi belirsiz olarak dikkate alınmıştır.

Sheu (2010) tarafından yapılan çalışmada, iki-aşamalı stokastik optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşımının ilk aşaması; depolar, tıbbi tesis ve sağlık çalışanları ve sığınakların kapasite ve bütçe kısıtları dikkate alınarak yerleşim kararlarının verildiği aşamadır. İkinci aşama ise; acil müdahale ekiplerinin sevkedilmesi, malzeme tedariği, yaralı taşınması gibi daha çok taşıma kararlarından oluşmaktadır. Çalışmada, talep noktaları acil yardım bekleyen yaralı grubu, bulundukları afet bölgesinde malzeme talep eden grup ve sığınaklara taşınılması gereken grup olarak üçe ayrılmış, afetin lokasyonu ve afet şiddetindeki belirsizliği temsil etmek amacıyla senaryolar oluşturulmuştur. Stokastik çözümün belirlenmesinde "Bekle-ve-Gör" ve "Stokastik Çözümün Değeri (Value of Stochastic Solution) yaklaşımları kullanılmış deterministik çözüm ile stokastik çözüm karşılaştırılmıştır.

Rodriguez ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, bulanık mantık yaklaşımı ile afet yardım organizasyonları için karar destek sistemi geliştirilmiştir. Afetin etkilerini önceden tahmin eden bir çözüm yaklaşımı geliştirilerek, önceden işlenen veriler ile ilişkilendirilip, gelecekle ilgili afet etkileri analizi yapılmıştır.

Günneç ve Salman (2011) yaptıkları çalışmanın amacı, etkin afet sonrası faaliyetler için afet öncesi süreçte stratejik planlamanın oluşturulmasıdır. Çalışmada, alt yapı sistemlerinin güvenilirliğinin ve performansının değerlendirilmesi ile ilgili problem ele alınmış, ağ bağlantılarının kopma olasılıklarının birbirlerine bağımlı olduğu durumları gösterebilmek için bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımı ile, fazla verinin bulunmadığı afet durumlarında kullanılabilecek bir bağımlılık tanımı ortaya çıkarılmış olup, bir ağın bu bağımlılık yapısı altında güvenilirliğini ve performansını ölçebilmek için yeni ve polinom-zamanlı bir algoritma geliştirilmiştir.

Noyan (2012) yaptığı çalışmada, talep ve afet ağının zarar görme düzeyindeki belirsizlik altında afet müdahale birimlerinin lokasyonlarının ve bu birimlerdeki yardım malzemelerinin envanter düzeyinin belirlenmesi problemini ele almıştır. Problemin doğası gereği var olan rassallık sınırlı sayıda senaryo kümesi ve iki-aşamalı risk analizi ile belirlenen Koşullu Risk Değeri (Conditional Value at Risk – CvaR) parametresi ile karakterize edilmiştir. Çalışmada, afet meydana geldiğinde, caddeler veya müdahale birimlerinin bulunduğu bölgelerin zarar görme durumu varsayılarak, önceden konumlandırılmış afet- müdahale birimlerinin stok düzeyi ve kapasitelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Haghani ve Oh (1996) tarafından yapılan çalışmada, zaman pencereli çoklu-malzeme ve çoklu-taşıma tipi ağ (multi-commodity-multi-modal network) akış problemi ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, acil müdahale yönetiminde ilgili kuruluşlara karar destek sistemi geliştirmektir. Çalışmada, malzemeleri talep edilen noktalara teslim eden uygun taşıma tipleri için ayrıntılı rotalama ve çizelgeleme planı oluşturarak ve her taşıma tipi için yükleme planlarını içeren bir matematiksel model geliştirilmiştir. Problemin çözümü için, iki adet sezgisel algoritma geliştirilmiştir, bunlardan ilki, probleme ait kısıtlar ile birlikte ağ yapısı için kullanılmış, Lagrange gevşetmesi yöntemi ile çözülmüştür. Diğer algoritma ise, birbirini etkileyen iterasyonlardan (fix-and-run) oluşan bir algoritmadır.

Noyan ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada, dağıtım şebeke problemi ele alınmış, talep ve şebeke ile ilgili belirsizlikler dikkate alınarak, yardım dağıtım noktalarının lokasyonu ve kapasitesinin belirlenmesi sağlanmıştır. Eşitlik ve ulaşılabilirlik olmak üzere iki tip tedarik ilkesine odaklanılmış, problemin çözümü için,

hibrit yapı içeren stokastik programlama modeli önerilmiştir. Çalışmada ayrıca, büyük boyutlu problemlerin çözümünü sağlamak amacıyla, Benders ayrıştırma tabanlı dal-kesme algoritması geliştirilmiştir.

Geçmiş yıllarda yapılan çalışmaların problem tipi, belirsizlik tipi, amaç fonksiyonu ve çözüm metodu açısından sınıflandırılarak elde edilen sınıflandırma tablosu Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Geçmiş Çalışmaların Sınıflandırılması

Yazar/Yıl	Problem tipi	Belirsizlik tipi	Amaç fonksiyonu	Metodoloji
Belardo ve ark. (1984)	Petrol sızıntısında ekipman kurulumu problemi	Afet yeri	Çok amaçlı küme kapsama modeli	Risk haritası
Fiedrich ve ark. (2000)	Kaynak yerleşim problemi	Afet bölgesi, yaralı sayısı	Toplam can kaybının minimize edilmesi	Olasılık kısıtları ile Stokastik optimizasyon
Chan ve ark. (2001)	Çoklu-depo yerleştirme ve çoklu-araç rotalama problemi	Talep	Minimum maliyet	Olasılık kısıtları ile Stokastik optimizasyon
Yi ve Özdamar (2007)	Yerleşim ve lojistik problemi	-	Yaralı insanların afet bölgesinden acil müdahale birimlerine ulaştırılmasını sağlamak	Karışık Tamsayılı Programlama
Huang ve ark. (2007)	Maksimum küme kapsama problemi	Acil yardım ekiplerinin uygunluğu, hizmetve ulaşım süresi.	Kritik bölgeleri maksimum düzeyde kapsamak	Risk haritası, Gürbüz optimizasyon
Chang ve ark. (2007)	Sel felaketi sonrası kurtarma ekiplerinin dağıtımı problemi	Talep	Minimum dağıtım uzaklığı, taşıma maliyeti	Senaryo analizi ile Stokastik optimizasyon
Yazıcı ve Özbay (2007)	Sığınak yerleşimi ve kapasite gereksinimi problemi	Bağlantı kapasite değişimi	Minimum ulaşım süresi	Olasılık kısıtları ile Stokastik optimizasyon

Çizelge 2.1. Geçmiş Çalışmaların Sınıflandırılması (devamı)

Yazar/Yıl	Problem tipi	Belirsizlik tipi	Amaç fonksiyonu	Metodoloji
Chang ve ark. (2007)	Acil yardım lojistiği problemi	Talep ve talep yeri, gerekli kaynak miktarı	Beklenen taşıma uzaklığının minimizasyonu	Stokastik Programlama
Zhu ve ark. (2008)	Kaynak yerleşim problemi	Kaynak talebi	Minimum maliyet	Senaryo analizi ile Stokastik Optimizasyon
Anping (2008)	Maksimum küme kapsama problemi	-	Minimum sayıda afet müdahale birimi açarak, verilen kapsama uzaklığı ile tüm yardım taleplerini karşılamak	Matematiksel programlama
Balçık ve Beamon (2008)	Maksimum küme kapsama ve yerleşim problemi	-	Talep noktalarını maksimum düzeyde kapsamak	Maksimum küme kapsama modeli
Song ve ark. (2009)	Yerleşim-rotalama problemi	Talep	Minimum toplam tahliye süresi	Sezgisel Algoritmalar
Hentenrcky ve ark. (2010)	Tekli ağ akış problemi	Rotalar, taşıma süreleri	Minimum son teslim zamanı	Stokastik optimizasyon
Mete ve Zabinsky (2010)	Medikal malzemelerin stoklanması ve dağıtımı problemi	Etkilenen yer, talep ve rotalar	Minimum taşıma süresi ve karşılanamayan talep	Stokastik Optimizasyon
Rawls ve Turnquist (2010)	Acil yardım malzemesi stoklanması ve önceden yerleşimi problemi	Talep ve taşıma ağı güvenilirliği	Minimum beklenen maliyet değeri	Senaryo analizi ile Stokastik optimizasyon
Salmeron ve Apte (2010)	Kurtarma malzemelerinin bütçe kısıtlı edinilmesi ve yerleşimi problemi	Talep yeri ve miktarı	Minimum beklenen yaralı sayısı	Senaryo analizi ile Stokastik optimizasyon
Rottkemper ve ark. (2011)	Afet durumunda yeniden envanter yerleşim problemi	Talep	Minimum taşıma, yenileme ve envanter maliyeti, karşılanamayan talep	Stokastik optimizasyon

Çizelge 2.1. Geçmiş Çalışmaların Sınıflandırılması (devamı)

Yazar/Yıl	Problem tipi	Belirsizlik tipi	Amaç fonksiyonu	Metodoloji
Görmez ve ark. (2011)	İstanbul için afet müdahale ve yardım merkezi yer seçimi problemi	-	Depremden etkilenen insanlara olan ulasım mesafesini ve yeni açılan merkez sayısını en aza indirmek	Matematiksel programlama
Rawls ve Turnquist (2011)	Acil durum müdahale birimlerinin önceden konumlandırılması problemi	Talep, bağlantıların zarar görme durumları, ağ güvenilirliği	Minimum beklenen maliyet değeri	Senaryo analizi ile Stokastik optimizasyon
Li ve ark. (2011)	Afet sonrası dağıtım ağı tasarımı problemi	-	Minimum beklenen toplam maliyet	Stokastik programlama
Noyan (2012)	Depo lokasyon seçimi ve envanter düzeyi belirleme problemi	Talep, kapasite, malzemelerin hasar görme düzeyi	Minimum beklenen toplam maliyet	Senaryo analizi ile Stokastik optimizasyon
Murali ve ark. (2012)	Maksimum küme kapsama problemi	Talep	En yüksek kapsama alanında tesis açmak ya da karşılanamayan talebi minimize etmek	Şans kısıtları ile maksimum küme kapsama problemi
Salman ve Gül (2014)	Afet sonrası yaralı tasıma lojistiği problemi	-	Yaralıların toplam tasınma ve bekleme süreleri minimizasyonu, geçici medikal merkez kurulum maliyeti minimizasyonu	Karışık Tamsayılı Programlama
Kılcı ve ark. (2015)	Afet sonrası çadırkent yerleşim problemi	-	Kriter en iyileme çadırkentin kullanım oranını maksimize etme	Matematiksel programlama

Bu tez çalışmasında merkezi ilkyardım kuruluşlarının afet bölgesine ulaşıncaya kadar geçen sürede afetzelerin temel ihtiyaçlarının karşılanacağı geçici-afet-müdahale tesisleri

yerleşim problemi ele alınmıştır. Geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim probleminin çözümü için, afetzelerin ihtiyaç duyduğu temel ihtiyaç malzemelerini en kısa mesafeden ve en az sayıda tesis açarak karşılanmasını amaçlayan iki-aşamalı stokastik programlama modeli önerilmiştir. Çalışmada afetten etkilenen bölgelerdeki talep belirsizliği, senaryolar ile temsil edilmektedir. Diğer çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada, önerilen çözüm yaklaşımlarının içerdiği kaos ortamını önleyen hizmet kısıtları, geçici-afet-müdahale tesislerinin güvenli bölgelerde kurulmasını sağlayan güvenlik kısıtları ve talep belirsizliği gibi unsurların birlikte dikkate alınması bu çalışmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, afet operasyonları yönetimi kapsamında, geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi, sayısının ve kapasitesinin belirlenmesi ve temel ihtiyaç malzemelerinin dağıtımı problemleri ele alınmıştır. Geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim problemi, afet sonrası, merkezi yardım kuruluşları afet bölgesine ulaşıncaya kadar geçen sürede, afetzedelerin temel ihtiyaçlarının sağlanacağı geçici-afet-müdahale tesislerinin nerelerde konumlandırılacağı ve temel ihtiyaç malzeme taleplerine bağlı olarak tesislerin kapasitelerinin belirlenmesiyle ilgilidir. Temel ihtiyaç malzemelerinin dağıtımı problemi ise, afetzedelerin talepleri doğrultusunda, hayatta kalmaları için gerekli olan temel ihtiyaç malzemelerinin optimal dağıtım miktarına karar verilmesi problemi olarak tanımlanabilir.

3.1. Materyal

3.1.1. Tamsayılı Programlama

Doğrusal programlama problemlerinin bazılarında karar değişkenlerinin pozitif tamsayı olması gerekmektedir. Bu tip problemlere Tamsayılı Doğrusal Program (TDP; Integer Linear Programming – ILP) denilir ve söz konusu programların çözümü konusu Tamsayılı Doğrusal Programlama (TDP) olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışma kapsamında sadece TDP problemleri dikkate alındığından, çalışmanın ilerleyen kısımlarında sadece Tamsayılı Programlama (TP; Integer Programing – IP) olarak ifade edilmektedir.

Tamsayılı programlama problemleri, değişkenlerinin tamsayılı olma koşulu ile sınırlandırıldığı doğrusal programlama problemidir. Genel problem formu aşağıdaki gibidir (Schrijver 1998):

$$\max\{cx|Ax \leq b; x \in \mathbb{Z}\} \tag{3.1}$$

Burada A matris, b ve c vektör olarak tanımlanır. Tamsayılı programlama probleminin diğer bir formu ise aşağıdaki gibidir (Schrijver 1998):

$$\max\{cx|Ax = b; x \geq 0; x \in \mathbb{Z}\} \tag{3.2}$$

Her iki bağıntı da problemin polinom eşitliği olarak tanımlanmaktadır. Problemin dual ve primal formu arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntıda gösterilmiştir:

$$\max\{cx|Ax \leq b; x \in \mathbb{Z}\} \leq \min\{yb|yA = c; y \geq 0; y \in \mathbb{Z}\} \tag{3.3}$$

Tamsayılı programlama problemleri, NP-tam (NP-complete) problemleri grubunda bulunmaktadır ve bu yüzden genel olarak polinomiyal bir çözümünün olmadığı düşünülmektedir. Tamsayılı programlama modelinin çözümü diğer negatif olmayan tamsayılı doğrusal eşitliklerin bulunduğu problemlerin çözüm yöntemleri ile sağlanabilir. LP-gevşetmesi (LP-relaxation) kavramı, tamsayılı programlamanın çözümünde önemli rol oynamaktadır. Tamsayı kısıtlarının dahil edilmediği tamsayılı programlama modelinden LP-gevşetme yöntemi ile doğrusal programlama modeli elde edilmektedir. Herhangi bir tamsayılı programlama, LP-gevşetme ile oluşturulan doğrusal programlamaya tamsayı kısıtları eklenerek oluşturulabilir. Bu nedenle LP-gevşetmesi ile oluşturulan doğrusal programlama modeli tamsayılı programlama modeline kıyasla daha az kısıt içeren, daha esnek bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla LP-gevşetmesi ile oluşturulan doğrusal programlamanın çözüm alanı, buna karşılık gelen tamsayılı programlama çözüm alanını da kapsamaktadır. Örneğin, maksimizasyon problemlerinde LP-gevşetmesi optimal amaç fonksiyonu değeri tamsayılı programlama optimal amaç fonksiyonu değerinden her zaman daha büyüktür (Winston 2003). LP-gevşetme yöntemiyle elde edilen lineer programlama modeli (LP-problem) aşağıdaki gibidir (Schrijver 1998):

$$\max\{cx|Ax \leq b\} \tag{3.4}$$

Lineer programlama modeli, böyle bir maksimizasyon probleminde her zaman tamsayılı programlama modelinin üst sınırıdır. Depo yerleşim problemi, sırt çantası problemi, yatırım bütçelemesi problemi, çizelgeleme problemi tamsayılı programlama problemlerine örnek olarak gösterilebilir (Schrijver 1998).

Tamsayılı programlama modelleri saf, karışık ve ikili tamsayılı programlama modelleri gibi çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bütün değişkenlerin tam sayı olduğu tanımlanan modeller saf tam sayılı programlama olarak tanımlanmaktadır. Saf tamsayılı programlama problemi kapalı formu aşağıdaki gibidir (Bradley ve ark. 1977):

$$\max z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \tag{3.5}$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j = b_i \quad (i = 1,2,\dots,m) \tag{3.6}$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1,2,\dots,n) \tag{3.7}$$

$$x_j \in \mathbb{Z} \quad (j = 1,2,\dots,m) \tag{3.8}$$

Bazı değişkenlerin tam sayı olarak tanımlandığı modellere karışık tam sayılı modeller denir. Karışık tamsayılı programlama problemi, lineer ve tamsayılı programlama problemlerinin kombinasyonu olduğundan çözümü zor problemdir. Karışık tamsayılı programlama modeli formu aşağıdaki gibidir (Schrijver 1998):

$$\max\{cx + dy | Ax + By \leq b; x \in \mathbb{Z}\} \tag{3.9}$$

A ve *B* matrisler, *b, c, d* ise vektörler olarak tanımlanır. Karışık tamsayılı programlama probleminin kapalı formu aşağıdaki gibidir (Bradley ve ark. 1977):

$$\max z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \tag{3.10}$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j = b_i \quad (i = 1,2,\dots,m) \tag{3.11}$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1,2,\dots,n) \tag{3.12}$$

$$x_j \in \mathbb{Z} \quad (\exists j = 1,2,\dots,m) \tag{3.13}$$

Bütün değişkenlerin 1 veya 0'a eşit olduğu modeller ise ikili (1-0) tam sayılı modeller olarak adlandırılır. İkili tamsayılı programlama problemleri, olayın yapılacağı ya da yapılmayacağının dışında farklı bir seçeneğin olmadığı durumlarda ortaya çıkmaktadır. Örneğin; yeni bir fabrika açma kararı, reklam kampanyası alma kararı veya yeni bir

ürün geliştirme kararı gibi. İkili tamsayı probleminin kapalı formu aşağıdaki gibidir (Bradley ve ark. 1977):

$$\max z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \tag{3.14}$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j = b_i \quad (i = 1,2,\dots,m) \tag{3.15}$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (j = 1,2,\dots,m) \tag{3.16}$$

Tamsayılı programlama problemleri formulasyonlarında, karar değişkenleri üzerinde çoğunlukla mantıksal kısıtlar (logical constraints) kullanılmaktadır. Bu kısıtları sınıflandırmak gerekirse (Bradley ve ark. 1977);

Kısıt Uygunluğu: Basit bir mantıksal sorunun oluşturulan matematiksel modelde cevabını sağlayan kısıtlardır. Genel kısıt aşağıdaki gibidir:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b \tag{3.17}$$

Kısıta yeni bir y değişkeni eklenerek mantıksal bir kısıt oluşturulmaktadır:

$$y = \begin{cases} 0, & \text{eğer kısıtın sağlandığı biliniyorsa} \\ 1, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) - By \leq b \tag{3.18}$$

B yeterince büyük bir sayı olarak tanımlanır ve eğer *y* = 1 olduğunda kısıt aşağıdaki hale dönüşmektedir:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b + B \tag{3.19}$$

Alternatif Kısıtlar: Problemin matematiksel modelinde belirtilen alternatif kısıtların en azından birinin sağlanması gerekmektedir. Her iki kısıtın da birlikte sağlanması zorunlu değildir. Eklenen kısıtlar ile birlikte alternatif kısıtların en az birinin geçerli olması sağlanmaktadır. Tamsayılı programlama probleminde, birbirinin alternatifi olan kısıtların gösterimi aşağıda verilmiştir:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_1 \tag{3.20}$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_2 \tag{3.21}$$

İlgili kısıtlara mantıksal karar değişkenleri (y_1, y_2) eklendiğinde kısıtların son hali aşağıdaki gibidir:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) - B_1 y_1 \leq b_1 \tag{3.22}$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) - B_2 y_2 \leq b_2 \tag{3.23}$$

$$y_1 + y_2 \leq 1 \tag{3.24}$$

Bir diğer durum, birbirleriyle çelişen durumların tamsayılı programlama modeline yansıtılmasını sağlayan kısıtların oluşturulduğu durumdur. Bu durumda önceki formüllerde eklenen son kısıt yerine $y_1 + y_2 = 1$ veya $y_2 = 1 - y_1$ kısıtları eklenir. Bir kısıt sağlandığında diğer kısıtın sağlanmaması (çelişen kısıtlar) gerektiği durumlarda eklenecek kısıtlar aşağıdaki gibidir:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) - B_1 y_1 \leq b_1 \tag{3.25}$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) - B_2 (1 - y_1) \leq b_2 \tag{3.26}$$

$$y_1 \in \{0,1\}$$

Koşullu Kısıtlar: Her iki kısıtın aynı anda sağlanması ya da yalnızca birinin sağlanması gibi durumlar olmamakla birlikte belirtilen ilk kısıt sağlandığından diğer kısıtın da sağlanması gerektiği durumlarda tamsayılı programlama probleminin formulasyonunda kullanılmaktadır. Bu kısıtlar aşağıdaki gibi formüle edilmektedir:

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) > b_1 \Rightarrow f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_2 \tag{3.27}$$

Koşullu kısıtlar çeşitli düzenlemeler ile alternatif iki kısıta dönüştürülür ve mantıksal ifadeler ile tekrar yazılırsa aşağıdaki kısıtlar elde edilmektedir:

$$f(x_1, , \dots, x_n) - B_1 y_1 \leq b_1 \tag{3.28}$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) - B_2 y_2 \leq b_2 \tag{3.29}$$

$$y_1 + y_2 \leq 1 \tag{3.30}$$

Simpleks yöntemi doğrusal programlama problemlerinde etkili bir yöntem olmasına karşın, tamsayılı programlama problemlerinde tek bir çözüm yaklaşımı bulunmamaktadır. Tamsayılı programlama problemi için geliştirilen çözüm yaklaşımlarından biri dal-sınır yaklaşımıdır. Dal-sınır yaklaşımı (branch-and-bound approach) değişkenlerinin tamsayı olma koşulu ile sınırlandırıldığı bazı tamsayılı programlama problemlerinin çözümünde kullanılan bir yaklaşımdır. Dal-sınır yaklaşımının temelinde "böl" ve "yönet" stratejieri bulunmaktadır. Uygun çözüm alanında problem bölünerek yönetilebilir alt bölümler oluşturulur ve gerekli olursa bölme işlemine devam edilir. Genellikle, çözüm alanında problemi bölmenin birçok yolu bulunmaktadır, sonuç olarak birçok dal-sınır algoritması problem çözümü için kullanılabilir. Tamsayılı programlama, integrallik (değişkenlerin tamsayı olma durumu) kısıtlarıyla sınırlandırılan bir doğrusal programlamadır. Örneğin, maksimum tamsayılı programlama modeli için en iyi üst sınır değeri bulunarak çözüme başlanır ve her alt problem (dal) için uygun çözümler elde edilerek optimum değere ulaşılır. Dal-sınır yaklaşımı optimal değere çok uzak olmayan, hassas, hesaplanması kolay bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Dal-sınır yaklaşımında, tamsayılı programlama modelinin optimum çözümü (z^*) üzerinde geliştirilen sınırlar aşağıdaki gibidir (Bradley ve ark. 1998):

$$\underline{z} < z^* < \overline{z} \tag{3.31}$$

Maksimizasyon probleminde her zaman optimal doğrusal programlama amaç fonksiyonu ($\underline{z}$), optimal tamsayılı programlama amaç fonksiyonunun üst sınırı olarak belirlenir. Ayrıca hiçbir tamsayılı uygun çözüm doğrusal programlamanın optimal amaç fonksiyonu değerinin alt sınırı olamaz. Doğrusal programlama amaç fonksiyonunun optimal değeri ile çözüme başlanır ve dallanma stratejisi belirlenerek alt bölümler oluşturulur. Her alt bölüm çözümü analiz edildikten sonra bir diğer dala geçilir ve analiz edilir. Analiz edilirken değerlendirilen durumlar aşağıdaki gibidir:

i) L_j her dal için bulunan çözüm eğer optimum doğrusal programlama çözümünden büyük ise, uygun olmayan (infeasible) çözüm olarak değerlendirilir.

ii) optimum doğrusal programlama çözümü, L_j çözümünden büyük ise L_j tamsayı çözümüdür.

iii) doğrusal programlama çözüm değeri z_j, L_j değerinden büyük ise $z_j \leq \underline{z}$ (maksimizasyon problemi) L_j çözümünün dallandırılmasına gerek yoktur.

Bu durumlarda her bölüm için bulunan çözüm değeri, tamsayılı programlama terminolojisinde budanmış çözüm olarak tanımlanır. Durum (i) uygun olmama sonucu budama, durum (ii) integrallik sonucu budama, durum (iii) sınırlar sonucu budama olarak belirlenmektedir.

Bir diğer tamsayılı programlama çözüm yaklaşımı kesme düzlemi (cutting plane) algoritmasıdır. Kesme düzlemi algoritması, tamsayılı çözüm sağlanıncaya kadar doğrusal programlama çözümlerini düzenleyerek (kesme düzlemi oluşturarak) tamsayılı programlama problemlerine çözüm sağlamaktadır. Kesme düzlemi algoritması, doğrusal programlama çözümlerine yeni kısıtlar ekleyerek optimal tamsayılı çözümü bulmayı amaçlamaktadır. Uygulamada dal-sınır algoritması her zaman kesme düzlemi algoritmasına göre daha üstün performansa sahip olsa da yine de, tamsayılı programlamanın gelişimi açısından kesme düzlemi algoritması önem taşımaktadır (Bradley ve ark. 1998).

Kesme düzlemi algoritmasının adımları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Winston 2003):

Adım 1: LP-gevşetme yöntemi ile elde edilen doğrusal programlama modelinin optimal tablosu bulunur. Optimal tabloda tüm karar değişkenleri tamsayı ise, tamsayılı programlama modelinin optimal çözümü bulunmuştur. Aksi halde Adım-2'ye gidilir.

Adım 2: Tüm sabit terimler eşitliğin sol tarafına, kalan pozitif kesirli kısım ise eşitliğin sağ tarafına yazılır. Sağ taraftaki kısıtlar bir önceki optimal tabloya yeni kısıt olarak eklenir. Yeni eklenen kısıtlar kesme kısıtları (cut constraints) olarak tanımlanır.

Adım 2a: Adım-2'de tanımlanan kesme kısıtlarında karar değişkenlerinin katsayıları formu $[x] + f, 0 \leq f < 1$ olarak tanımlanır.

Adım 2b: Belirlenen kesme kısıtları tekrar aşağıdaki kurallara uygun şekilde yazılır:

Tüm tamsayılı katsayılar = tüm kesirli katsayılar

Kesme kısıtı tüm kesirli katsayılar ≤ 0 olarak belirlenir.

Adım 3: Dual simpleks yöntemi kullanılarak yeni eklenen kesme kısıtları ile doğrusal programlama modelinin optimal çözümü bulunur. Optimal çözümde, tüm karar değişkenleri tamsayı ise tamsayılı programlama optimal çözümü bulunmuş olur, aksi halde kesirli kısımlar dikkate alınarak yeni bir kesme kısıtı oluşturulur ve optimal tabloya eklenir. Bu süreç, optimal çözümde karar değişkenlerinin tümü tamsayı değerini alana kadar devam eder.

Kesme düzlemi algoritmasının temel stratejisi uygun bölgede yeni kesme kısıtı eklenerek doğrusal programalama modelinin yeniden çözülmesine dayanmaktadır. Bulunan çözümde karar değişkenlerinin optimal değerlerinin tümü tamsayı ise optimal çözüme ulaşıldığı; diğer taraftan karar değişkenlerinin tümü tamsayı değil ise, mevcut optimal doğrusal programlama tablosuna yeni kesme kısıtı eklenerek işleme devam edilmektedir (Bradley ve ark. 1998).

3.1.2. Stokastik Programlama

Deterministik olarak modellenen birçok gerçek hayat probleminde, değişken ve parametrelerin kesin değerlerinin önceden belirlenememesi (stokastik yapısı) problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu tip problemlerde uygulanan çözüm yaklaşımlarına stokastik programlama modeli adı verilmektedir. Stokastik programlamanın çözümünde temel yaklaşım, problemin olasılıksal bir yapıdan deterministik bir yapıya dönüştürülerek bilinen yöntemlerle çözülmesidir. Belirsizlik içeren gerçek hayattaki optimizasyon problemlerinde, model parametrelerini doğru bir şekilde belirlemek oldukça zordur. Stokastik programlama bu tür belirsizlik altında karar verme problemlerinin çözümü ile ilgilenmektedir. Belirsizliğin varlığını göz önüne almak için

problem parametreleri rassal veya stokastik değişkenler olarak düşünülür. Belirsizliğin etkisini korumak üzere genellikle orijinal stokastik programlama problemi, deterministik eşdeğerine (deterministic equivalent) dönüştürülür. Daha sonra, lineer olmayan programlama problemleri için standart çözüm yöntemleri kullanılmaktadır (Werner, 2005). Tahmin edilemeyen ya da belirsiz problem parametrelerini kestirmek için belirsizliğin her kaynağı bir olasılık dağılımı ile gösterilmelidir.

Belirsizlik altındaki doğrusal programların çözümü için bazı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Belirsizlik, doğrusal programlama parametrelerinin kesin olarak belirlenmesinin zor olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Stokastik programlamada rasgele değişken içeren tüm kısıtların bir olasılığa sahip olması gerekmektedir. Burada genel yaklaşım, problemin olasılıksal yapısını, problemin gerçek yapısını bozmadan ona eşdeğer olan deterministik duruma dönüştürmektir. Bu tip problemlerde kesinlik elde edilir ve simpleks yöntem ile çözüm sağlanmaktadır. Stokastik parametreler içeren bir problem örneği vermek gerekirse (Shapiro 2014);

Örnek: Bir firma talebi (d) karşılayacak üretim için gerekli olan sipariş miktarına (x) karar vermek istemektedir. Sipariş verme maliyeti her birim için $c > 0$. Eğer talep sipariş miktarından büyük ise, her birim için karşılanmayan talep cezası $b \geq 0$ oluşacaktır. Eğer talep sipariş miktarından küçük ise, firma her birim için envanter tutma maliyetine $h \geq 0$ katlanacaktır. Toplam maliyetin minimize edildiği fonksiyon aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} G(x,d) &= cx + b[d-x]^+ + h[x-d]^+ \\ &= \max_x\{(c-b)x + bd, (c+h)x - hd\} \end{aligned} \tag{3.32}$$

Eğer talep gerçekleşmeden önce sipariş verme miktarına karar vermemiz gerekiyorsa, talebi olasılık dağımına uyan rassal bir değişken (D) olarak düşünebiliriz. Bu durumda optimizasyon probleminde ortalama toplam maliyetin minimize edildiği amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Shapiro 2009):

$$\min_{x \geq 0} \mathbb{E}[G(x,d)] \tag{3.33}$$

Eğer süreç kendini tekrar ederse, Büyük Sayılar Yasası'na göre verilen x değerine göre toplam maliyet beklenen değere doğru yakınsar. Verilen örnekte başlangıçta talep (D) gerçekleşmeden önce sipariş miktarına (x) karar verilmektedir. Sonraki aşamada, talep bilindikten sonra talep miktarı verilen sipariş miktarından büyük olabilir ($d > x$). Bu durumda sipariş edilmesi gereken miktar kadar (d - x) ceza maliyeti ($b > c$) söz konusu olacaktır. Bu durumda problemin kapalı form çözümü aşağıdaki gibidir (Shapiro 2009):

$$\mathbb{E}[G(x,D)] = b\mathbb{E}[D] + (c-b)x + (b+h)\int_0^x F(z)dz \tag{3.34}$$

Eşitlik düzenlendiğinde:

$$\frac{d\mathbb{E}[G(x,D)]}{dx} = 0 \Rightarrow (b+h)F(x) + c - b = 0 \Rightarrow x = F^{-1}(\varkappa) \tag{3.35}$$

$\varkappa$ dağılım parametresi olarak tanımlanmaktadır.

$$\varkappa = \frac{b-c}{b+h} \tag{3.36}$$

Talebi (D) kesikli bir dağılımın rassal değişkeni olarak düşündüğümüzde, her senaryoda oluşan talep miktarları d_1,…..,d_K olup, senaryolara karşılık gelen olasılıklar p_1,…..,p_K olarak belirlenir. Dağılımın çözümü $\bar{x}$ ile tek bir senaryo çözümünü karşılaştırdığımızda $d = \bar{d}$, $\bar{d}$ rassal değişkenin beklenen değeri olarak tanımlanır. Deterministik problemin çözümünde yer alan $\bar{d}$ dağılımda $\bar{x}$ parametresinden oldukça farklıdır (Shapiro 2009).

Sonuç olarak, sınırlı sayıdaki senaryoların olduğu durumda, stokastik programlama modeli deterministik bir probleme dönüşmektedir. Bu durumda beklenen değer formülü aşağıdaki gibidir:

$$\mathbb{E}[G(x,D)] = \sum_{k=1}^{K} p_k G(x,d_k) \tag{3.37}$$

Stokastik programlamada en çok kullanılan yapılardan birisi iki-aşamalı stokastik programlamadır. Klasik iki-aşamalı stokastik programlama probleminin formulasyonu aşağıdaki gibidir (Shapiro 2009):

$$\min_{x \in X}\{g(x) \coloneqq cx + \mathbb{E}[Q(x,\xi)]\} \quad (3.38)$$

$Q(x,\xi)$ ikinci aşama amaç fonksiyonunun optimal değerini göstermektedir. İki-aşamalı stokastik programlama modelinin bir diğer formu aşağıdaki gibidir:

$$\min_{y}\{qy : Tx + Wy \leq h\} \quad (3.39)$$

x birinci aşamanın amaç vektörü, *X* çok düzlemli set, *y* ikinci aşama amaç vektörü ve $\xi = (q, T, W, h)$ ikinci aşama problem veri seti olarak tanımlanır. Birinci aşamada burada-ve-şimdi (here-and-now) yaklaşımı ile belirsiz olan ξ veri setindeki veriler gerçekleşmeden önce karar verilmektedir. İkinci aşamada ise, ξ veri seti uygun hale gelip gerçekleştikten sonra problem optimize edilmektedir. Öte yandan birinci aşamada, birinci aşama kararlarından oluşan amaç fonksiyonu ile ikinci aşama kararlarından oluşan amaç fonksiyonunun beklenen değeri minimize edilmektedir (Shapiro 2009).

3.2. Yöntem

Bu tez çalışmasında, afet operasyonları yönetimi kapsamında, geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi, sayısının ve kapasitesinin belirlenmesi ve temel ihtiyaç malzemelerinin dağıtımı problemleri ele alınmıştır. Geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim problemi, afet sonrası, merkezi yardım kuruluşları afet bölgesine ulaşıncaya kadar geçen sürede, afetzedelerin temel ihtiyaçlarının sağlanacağı geçici-afet-müdahale tesislerinin nerelerde konumlandırılacağı ve temel ihtiyaç malzeme taleplerine bağlı olarak tesislerin kapasitelerinin belirlenmesiyle ilgilidir.

Geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim probleminde dikkate alınan temel unsurlar aşağıdaki gibidir:

- Talebin yüksek oranda karşılanması
- Farklı tipteki yardım malzemelerinin dengeli tedarik edilmesi
- Tesis kapasitesinin aşılmaması (hacim ve ağırlık olarak)

- Afet anında oluşabilecek karmaşanın dikkate alınması (bir mahalleden hizmet alan mahalle sayısının sınırlandırılması ve bir mahallenin hizmet alacağı mahalle sayısının sınırlandırılması gibi)
- Her bir mahalleye açılabilecek ve toplamda açılabilecek tesis sayılarının sınırlandırılması
- Güvenlik unsurlarının dikkate alınması (belli bir güvenlik düzeyinin sağlanmadığı bölgelere tesis açılmasının engellenmesi)

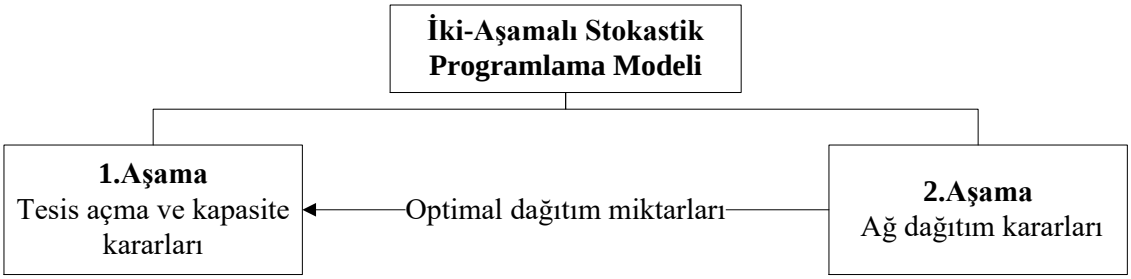
Bu unsurların dikkate alınmasıyla afetzedelerin en kolay şekilde tesislere ulaşmasının sağlanması ve mümkün olan en az sayıda tesisin açılması amaçlanmaktadır. Modelin stokastik unsurlarını, afetin meydana getireceği hasarın belirsizliğine bağlı olarak, Kızılay'ın afet bölgesine ulaşması için geçen sürede oluşabilecek farklılıklar nedeniyle temel ihtiyaç malzemesi talebinde ortaya çıkabilecek değişkenlikler oluşturmaktadır.

Çalışmada, geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim probleminin çözümü için iki-aşamalı stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımlarından diğeri ise, iki-aşamalı stokastik programlama modelinin optimal sonuçlarının kullanıldığı, konumları ve kapasiteleri belirlenen geçici-afet-müdahale tesislerinden afetzedelere temel ihtiyaç malzemelerinin araçlarla en kısa sürede taşınmasını sağlayan taşıma planının tamsayılı programlama modeli ile oluşturulduğu yaklaşımdır.

3.2.1. Geçici-Afet-Müdahale Tesis Yerleşimi için İki-Aşamalı Stokastik Programlama Modeli

Çalışmada, geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim problemine iki-aşamalı stokastik programlama yaklaşımı önerilmektedir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, iki-aşamalı stokastik programlama modelinin ilk aşamasında, geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim modeli ele alınarak, açılacak geçici-afet-müdahale tesislerinin konumlarının, sayısının ve kapasitesinin belirlenmesi hedeflenmektedir. İkinci aşamada ise, çok ürünlü ağ dağıtım modeli ile afet bölgesine dağıtımı yapılacak temel ihtiyaç malzemelerinin optimal dağıtım miktarının belirlenmesi hedeflenmektedir. İkinci aşamada karar verilen optimal temel ihtiyaç malzemesi dağıtım miktarı, birinci aşamada açılacak geçici-afet-

müdahale tesislerinin kapasitesinin belirlenmesinde girdi değişkeni olarak belirlenmektedir.



Şekil 3.1. Önerilen İki Aşamalı Stokastik Programlama Modeli

Stokastik programlama modelinin birinci aşamasında amaç fonksiyonu, ikinci aşama amaç fonksiyonunun beklenen değeri ile toplam açılan geçici-afet-müdahale tesis sayısının minimizasyonundan oluşmaktadır. İkinci aşamada, toplam uzaklık ağırlıklı dağıtım miktarı ve toplam karşılanamayan talep cezasını minimize edecek şekilde amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Modelde, maliyet parametreleri olarak, açılacak tesislerin konumu ile afet bölgesi arasındaki uzaklıklar belirlenmiştir. Model, afet sonrası oluşacak kaos durumunu dikkate alan hizmet kısıtlarını içermektedir. Mahallelerin güvenlik durumlarını modele yansıtan güvenlik kısıtları ile geçici-afet-müdahale tesislerinde depolanacak temel ihtiyaç malzemelerinin güvenliğinin sağlanması amaçlanmaktadır. Model ayrıca, açılan geçici-afet-müdahale tesislerinden malzeme tedariğinin her afetzede için dengeli ve eşit düzeyde olmasını sağlayan denge kısıtlarını da içermektedir.

Önerilen stokastik programlama modeli ile geçici-afet-müdahale tesislerinin konumlarının, sayısının ve kapasitesinin belirlenmesinin yanı sıra afetzedelerin temel ihtiyaç malzemesi taleplerinin maksimum düzeyde ve en yakın mesafeden karşılanması amaçlanmaktadır.

Çalışma kapsamında geliştirilen iki-aşamalı stokastik programlama modelinin birinci aşamasında, geçici-afet-müdahale tesislerinin konumlarının ve sayılarının belirlenmesi, ikinci aşamadaki olası durumların dikkate alınmasıyla (ikinci aşama amaç fonksiyonun beklenen değerinin birinci aşama amaç fonksiyonuna eklenmesiyle) afet öncesinde gerçekleştirilmektedir. İkinci aşamada ise afetin gerçekleşmesinden sonra (taleplerin

gerçekleşmesi sonrasında) afetzedelerin en kısa yoldan geçici-afet-müdahale tesislerine ulaşabilmeleri amaçlanmaktadır. İkinci aşamada ortaya çıkabilecek uygunsuzlukların (infeasibilities) önlenmesi amacıyla karşılanamayan taleplere karşılık gelen değişkenler modele eklenmiştir. Geliştirilen iki-aşamalı stokastik programlama modeli aşağıdaki gibidir:

İndisler:

i: mahalle indisi, $i = 1 \dots n_N$

j: mahalle indisi, $j = 1 \dots n_N$

k: temel ihtiyaç malzeme tipi, $k = 1..n_C$

ξ: senaryo indisi

Parametreler:

d_{jk}^{ξ}: ξ. senaryoda j. mahallenin k tipi temel ihtiyaç malzeme talep miktarı

c_{ij}: i ve j mahalleri arasındaki gerçek uzaklık (km)

v_k: k tipi temel ihtiyaç malzemesinin birim hacmi (lt)

w_k: k tipi temel ihtiyaç malzemesinin birim ağırlığı (kg)

V: geçici-afet-müdahale tesisi birim hacim kapasitesi (lt)

W: geçici-afet-müdahale tesisi birim ağırlık kapasitesi (kg)

$R_{k_p k_q}$: $k_p$ve k_q temel ihtiyaç malzemeleri arasındaki tedarik oranı $k_p, k_q \in k$

N_i: i. mahallede açılabilecek maksimum geçici-afet-müdahale tesisi sayısı

N_T: toplam açılabilecek geçici-afet-müdahale tesisi sayısı

S_i: i. mahallenin güvenlik düzeyi

T_s: sağlanması gereken minimum güvenlik düzeyi eşik değeri

α: hizmet verilen mahalle sayısı üst limiti

β: hizmet alınan mahalle sayısı üst limiti

λ: ölçek faktörü

γ: karşılanamayan birim maliyet talebi

$p_{\xi:}$ ξ. senaryonun olasılık değeri

Değişkenler:

$z_{i:}$ i. mahallede kurulan geçici-afet-müdahale tesis sayısı

x_{ijk}^{ξ}: ξ. senaryoda i. mahallede kurulan geçici-afet-müdahale tesisinden j. mahalleye gönderilen k tipi temel ihtiyaç malzeme miktarı

u_{jk}^{ξ}: ξ. senaryoda j. mahallede k tipi temel ihtiyaç malzemesinin karşılanamayan talep miktarı

$$y_{ij}^{\xi} = \begin{cases} 1, & i.\text{ mahallede kurulan geçici tesis } j.\text{ mahalleye hizmet veriyorsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

Amaç fonksiyonu:

$$\min \lambda \left(\sum_{i=1}^{n_N} z_i \right) + \sum_{\xi} p_{\xi} \left[\sum_{i=1}^{n_N} \sum_{j=1}^{n_N} \left(c_{ij} \left[\sum_{k=1}^{n_C} x_{ijk}^{\xi} \right] \right) + \sum_{j=1}^{n_N} \sum_{k=1}^{n_C} \gamma u_{jk}^{\xi} \right] \qquad (3.40)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^{n_N} x_{ijk}^{\xi} = d_{jk}^{\xi} - u_{jk}^{\xi}, \qquad \forall j, k, \xi \qquad (3.41)$$

$$R_{k_p k_q} x^{\xi}_{ijk_p} = R_{k_q k_p} x^{\xi}_{ijk_q}, \qquad \forall i, j, k_p, k_q \in k, \forall \xi \tag{3.42}$$

$$\sum_{j=1}^{n_N} \sum_{k=1}^{n_C} v_k \, x^{\xi}_{ijk} \leq V z_i, \qquad \forall i, \xi \tag{3.43}$$

$$\sum_{j=1}^{n_N} \sum_{k=1}^{n_C} w_k \, x^{\xi}_{ijk} \leq W z_i, \qquad \forall i, \xi \tag{3.44}$$

$$z_i \leq \left(\sum_{j=1}^{n_N} \sum_{k=1}^{n_C} x^{\xi}_{ijk} \right), \qquad \forall i, \xi \tag{3.45}$$

$$\sum_{i=1}^{n_N} y^{\xi}_{ij} \leq \alpha, \qquad \forall j, \xi \tag{3.46}$$

$$\sum_{j=1}^{n_N} y^{\xi}_{ij} \leq \beta, \qquad \forall i, \xi \tag{3.47}$$

$$\sum_{k=1}^{n_C} x^{\xi}_{ijk} \leq M y^{\xi}_{ij}, \qquad \forall i, j, \xi \tag{3.48}$$

$$y^{\xi}_{ij} \leq \sum_{k=1}^{n_C} x^{\xi}_{ijk}, \qquad \forall i, j, \xi \tag{3.49}$$

$$z_i \leq N_i, \qquad \forall i \tag{3.50}$$

$$\sum_{i=1}^{n_N} z_i \leq N_T \tag{3.51}$$

$$z_i = 0; \;\; \exists i \in \{i : S_i \leq T_S\} \tag{3.52}$$

$$z_i \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}, \qquad \forall i \tag{3.53}$$

$$x^{\xi}_{ijk} \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}, \qquad \forall i, j, k, \xi \tag{3.54}$$

$$u^{\xi}_{jk} \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}, \qquad \forall j, k, \xi \tag{3.55}$$

$$y^{\xi}_{ij} \in \{0,1\}, \qquad \forall i, j, \xi \tag{3.56}$$

(3.40) numaralı denklemde, modelin amaç fonksiyonu; toplam açılan geçici-afet-müdahale tesis sayısı ile ikinci aşama amaç fonksiyonunun beklenen değerinin minimizasyonundan oluşmaktadır. İkinci aşamada amaç fonksiyonu, toplam uzaklık

ağırlıklı temel ihtiyaç malzemesi miktarı ile karşılanamayan talebin minimizasyonundan oluşmaktadır. Denklem (3.41)'de verilen kısıt, temel ihtiyaç malzemesi talebinin geçici-afet-müdahale tesisinden karşılanacağı ve karşılanamayan talep miktarını göstermektedir. Denklem (3.42)'de belirtilen kısıt ile temel ihtiyaç malzemeleri arasındaki tedarik oranı sağlanmaktadır. Afetzedelerin geçici-afet-müdahale tesislerinde depolanan temel ihtiyaç malzemelerinden ihtiyaçları oranında faydalanması sağlanmaktadır. Denklem (3.43) ve denklem (3.44)'de verilen kısıtlar, geçici-afet-müdahale tesisi için hacim ve ağırlık kapasite kısıtlarıdır. Denklem (3.45)'de belirtilen kısıt, değişkenler arasındaki ilişkiyi sağlayan kısıtdır. Denklem (3.46) ve denklem (3.47)'de belirtilen kısıtlar, afet sonrası kaos ve karmaşa ortamını önlemek amacıyla oluşturulan, hizmet alınacak geçici-afet-müdahale tesisi sayısı üst limiti ve hizmet verilecek mahalle sayısı üst limiti kısıtlarıdır. Denklem (3.48) ve denklem (3.49)'de verilen kısıtlar, değişkenler arasındaki mantıksal ilişkiyi sağlayan kısıtlardır. Denklem (3.50)'da belirtilen kısıt, her mahalle için açılabilecek maksimum geçici-afet-müdahale tesis sayısını göstermektedir. Denklem (3.51)'de belirtilen kısıt, maksimum açılabilecek geçici-afet-müdahale tesis sayısını göstermektedir. Denklem (3.52)'de belirtilen kısıt, belirlenen güvenlik düzeyinin altında güvenlik düzeyine sahip mahallere geçici-afet-müdahale tesisi açılmasını önleyen kısıtdır. (3.53), (3.54), (3.55) ve (3.56) numaralı denklemlerde belirtilen kısıtlar, değişken tanımlamalarının yapıldığı kısıtlardır.

3.2.2. Temel İhtiyaç Malzemesi Taşıma Planı için Tamsayılı Programlama Modeli

Tez çalışması kapsamında geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim probleminin daha bütünleşik bir yapıda ele alınması amacıyla, dağıtımı yapılacak temel ihtiyaç malzemeleri için bir taşıma planı oluşturulmasının söz konusu probleme daha bütünleşik çözümler geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmüştür. Bu amaçla afet yönetimi kapsamında, dağıtımı yapılacak temel ihtiyaç malzemelerinin geçici-afet-müdahale tesislerinden afet bölgelerine taşıma planının oluşturulması problemine tamsayılı programlama çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen tamsayılı programlama modeli geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde, tanımı yapılan araç sevkiyat problemi ile amaç fonksiyonu ve kısıtlar açısından benzerlik göstermektedir.

Araç sevkiyat problemi, konumları ve malzeme talepleri bilinen çeşitli müşterilere malzemelerin stoklandığı tek bir depodan kapasiteleri bilinen araçlarla malzeme temin edilmesi olarak tanımlanmaktadır Araç sevkiyat problemi (the truck dispatching problem) ilk olarak Dantzig ve Ramser (1959) tarafından formüle edilmiştir. Belirlenen formülasyonda, araç sevkiyat problemi gezgin satıcı probleminin genelleştirilmiş hali olarak dikkate alınmıştır. Gezgin satıcı problemi (travelling salesman problem) basit formu, verilen noktalar arasından geçen en kısa rotanın belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. n adet nokta belirlendiğinde, her iki nokta arasından geçen toplam rota sayısı $\frac{1}{2}n!$ olmaktadır. Gezgin satıcı problemi yeni koşul kısıtları eklenerek genelleştirilebilmektedir. Örneğin her nokta için teslim edilmesi gereken malzeme miktarı q_i ve araç kapasitesi C olarak belirlendiğinde gezgin satıcı problemine eklenecek kısıt aşağıdaki gibidir (Dantzig ve Ramser 1959):

$$C \geq \sum_i q_i \tag{3.57}$$

Araç sevkiyat problemi her araç için rota belirlemekle birlikte aşağıdaki koşul ve kısıtları içermektedir (Dantzig ve Ramser 1959):

- n adet düğüm P_i (i=1,2,..n) talep düğümleri, P_0 arz düğümü

- d_{ij} her ikili düğüm arasındaki uzaklık matrisi $d_{ij} = d_{ji}$

- (Q) = (q_i) her i düğümü için teslim miktarı

- C araç kapasitesi $C >$ max q_i

- Her noktadan yalnızca bir noktaya gidileceğini sağlayan kısıt aşağıdaki gibidir:

$$\sum_{j=0}^{n} x_{ij} = 1 \ (i = 1,2..n) \tag{3.58}$$

- Problemin amaç fonksiyonu toplam uzaklığın minimize edilmesinden oluşmaktadır.

$$D = \sum_{i,j=0}^{n} d_{ij} x_{ij} \tag{3.59}$$

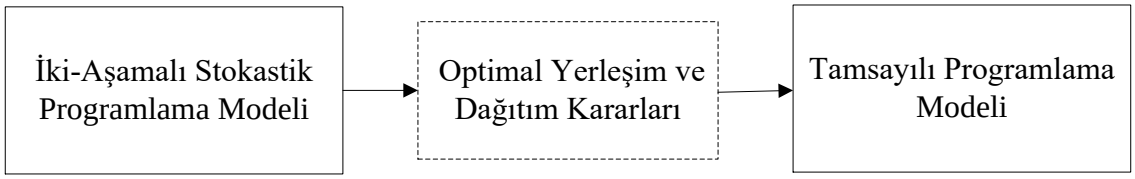
Bilinen problemden farklı olarak teslim edilecek farklı tipte malzeme bulunuyorsa, q_{ik} her i düğümünün k tipi malzemeden talep miktarını göstermektedir Bu durumda her düğüm için toplam talep miktarı aşağıdaki gibidir (Dantzig ve Ramser 1959):

$$Q_i = \sum_{k=1}^{n} q_{ik} \tag{3.60}$$

Çalışma kapsamında temel ihtiyaç malzemesi taşıma planı için önerilen tamsayılı programlama modeli, bir önceki bölümde bahsedilen iki-aşamalı stokastik programlama modeli sonuçları baz alınarak geliştirilmiştir. İki aşamalı stokastik programlama modeli ile temel ihtiyaç malzemelerini depolayacak geçici-afet-müdahale tesislerinin lokasyonları ve sayıları belirlenip, afetten etkilenen bölgelere dağıtımı yapılacak temel ihtiyaç malzemelerinin miktarına karar verilmektedir. İki aşamalı stokastik programlama modelinden elde edilen yerleşim ve dağıtım kararları doğrultusunda, temel ihtiyaç malzemelerinin afetten etkilenen bölgelere taşınması probleminin çözümü için de bir tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Tamsayılı programlama modeli ile temel ihtiyaç malzemelerinin belirlenen araçlarla hangi rotalar üzerinden taşıma yapacağına karar veren bir taşıma planını oluşturulması sağlanmaktadır. Önerilen yaklaşımda, depremin yeri ve zamanının belirsizliği, deprem senaryoları ile temsil edilmektedir.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen çözüm yaklaşımları arasındaki ilişki Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Önerilen iki-aşamalı stokastik programlama modeli ile kurulacak geçici tesislerin konumları, sayıları ve afet bölgesine taşınacak temel ihtiyaç malzeme miktarları belirlenmektedir. Geliştirilen taşıma planı için tamsayılı programlama modeli ile bu tesislerden afet bölgelerine dağıtılması gereken temel ihtiyaç malzemeleri için bir taşıma planı oluşturulması sağlanmaktadır. İki-aşamalı stokastik programlama modeli çözümü ile belirlenen optimal dağıtım miktarları ($x_{ijk}^{(\xi)}$), geçici-afet-müdahale tesislerinden afetzedelere taşınması gereken miktar olarak dikkate alınarak, tamsayılı programlama modelinin parametresi olarak belirlenmektedir. Taşıma planı için geliştirilen tamsayılı programlama yaklaşımı ile afet sonrası ortaya çıkan dağıtımı yapılacak malzemelerin afet bölgesine taşınma problemi için bu malzemelerin belirlenen araçlarla hangi rotalar üzerinden taşıma yapacağına karar veren bir taşıma

planının oluşturulması sağlanmaktadır. Böylelikle afetten etkilenen bölgeye minimum uzaklıktaki rotadan ulaşılarak, afet bölgesinin ihtiyacı olan malzemelerin en kısa sürede temin edilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 3.2. Önerilen Çözüm Yaklaşımları Arasındaki İlişki

Geliştirilen taşıma planı için tamsayılı programlama modeli aşağıdaki şekildedir:

İndisler

i, j: mahalle indisleri

v: araçlar, $v \in V$

r: rotalar, $r \in R$

Parametreler:

d_r: r rotasının uzunluğu (km)

c_v: v aracının kapasitesi

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

Karar Değişkenleri:

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

t_{ijvr}: $i.$ mahalleden $j.$ mahalleye $v.$ araç tarafından $r.$ rota kullanılarak taşınan temel ihtiyaç malzemesi miktarı

Amaç Fonksiyonu:

$$\min \sum_{r \in R} d_r \left(\sum_{v \in V} u_{vr} \right) \tag{3.61}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^{n_N} \sum_{j=1}^{n_N} t_{ijvr} \leq c_v u_{vr,} \quad \forall v, r \tag{3.62}$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{r \in R} t_{ijvr} = \sum_{k=1}^{n_C} x_{ijk}^{(\xi)}, \qquad \forall i, j \tag{3.63}$$

$$\sum_{r \in R} u_{vr} \leq 1, \qquad \forall v \tag{3.64}$$

$$t_{ijvr} \leq c_v p_{jr,} \quad \forall i, j, v, r \tag{3.65}$$

$$u_{vr} \in \{0,1\}, \qquad \forall v, r \tag{3.66}$$

$$t_{ijvr} \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}, \qquad \forall i, j, v, r \tag{3.67}$$

Denklem (3.61)'de gösterilen modelin amaç fonksiyonunu, atanan rotaların toplam taşıma uzaklığının minimizasyonu oluşturmaktadır. Araç kapasitelerinin dikkate alındığı kısıt denklem (3.62)'de verilmiştir. Denklem (3.63) her senaryo için, taşınacak temel ihtiyaç malzemesi miktarının geliştirilen iki-aşamalı stokastik programlama modeli ile belirlenen optimal dağıtım miktarına eşit olmasını garanti etmektedir. Denklem (3.64)'de belirtilen kısıt ile her araca en fazla bir rota atanması sağlanmaktadır. Denklem (3.65)'de belirtilen kısıt, her aracın belirlenen rota üzerinde yer almayan mahallelere taşıma yapmasını önleyen kısıttır. Denklem (3.66) ve denklem (3.67) değişken tanımlamalarının yapıldığı kısıtlardır.

Taşıma planı oluşturma probleminin çözümü için geliştirilen tamsayılı programlama modeli ile sayısı ve kapasitesi önceden bilinen araçlar için taşınacak malzeme miktarı ve çeşidi belirlenip aynı zamanda bu araçlara en uygun rotanın atanması sağlanmaktadır. Böylece, ilk aşamada oluşturulan her deprem senaryosu ve kullanılabilir toplam araç sayısı için optimal taşıma planı oluşturulması sağlanmaktadır.

4. BULGULAR

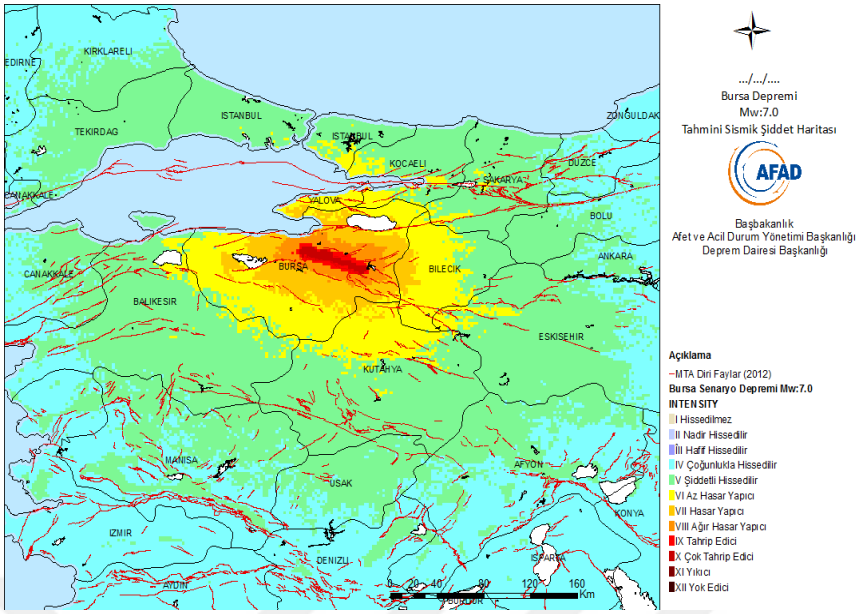
4.1. Geçici-Afet-Müdahale Tesis Yerleşimi için İki-Aşamalı Stokastik Programlama Modeli- Örnek Uygulama

Tez çalışmasında, afet operasyonları yönetimi kapsamında, geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim probleminin çözümü için önerilen stokastik-optimizasyon tabanlı çözüm yaklaşımı olarak iki-aşamalı stokastik programlama modeli önerilmiştir. Önerilen modelin uygulanması için geliştirilen örnek uygulamada afet türü olarak deprem, coğrafi bölge olarak da Bursa ilinin Yıldırım ilçesinde bulunan 64 mahalle dikkate alınmıştır.

Geliştirilen iki-aşamalı stokastik programlama modelinin bir gerçek hayat problemi üzerinde uygulanması için hazırlanan veri seti aşağıdakileri içermektedir:

- Mahalleler
- Mahallelerin karakteristik özellikleri (nüfusu, suç oranı, güvenlik düzeyi)
- Mahalleler arası gerçek uzaklık matrisi
- Mahallelerin temel ihtiyaç malzemesi talepleri
- Temel ihtiyaç malzemesi hacim ve ağırlık bilgileri (acil ihtiyaç oluşturacak su, gıda, hijyenik malzemeler)
- Geçici-afet-müdahale tesis kapasitesi (hacim ve ağırlık olarak)

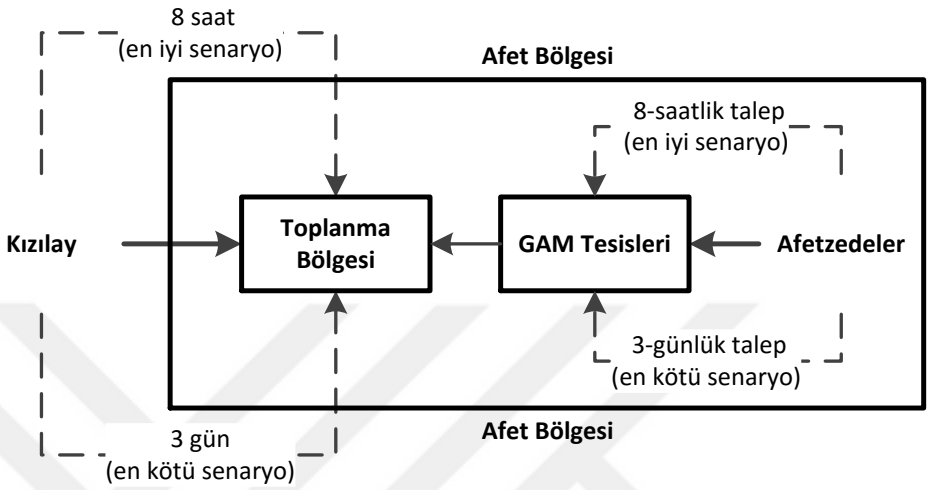
Çalışma kapsamında önerilen çözüm yaklaşımında, depremin yer ve zaman belirsizliğinin temsil edilmesi amacıyla senaryolar oluşturulmuştur. Şekil 4.1'de belirtildiği üzere, Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı-Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından Bursa ilinde (nüfus 2.500.000) Aralık ayında meydana gelen büyüklüğü 7,0 olan bir deprem örnek olayı oluşturulmuş, her ilçede depremden etkilenen kişi sayısı önceden tahmin edilmeye çalışılmıştır. Oluşturulan örnek olayda, Yıldırım ilçesinde depremden etkilenen tahmini toplam kişi sayısı 623.999 olarak belirlenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda, deprem senaryoları oluşturulurken temel ihtiyaç malzemesi talepleri, örnek olayda depremden etkilenen tahmini kişi sayısı verisi baz alınarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı-Deprem Dairesi Başkanlığı Tarafından Bursa için Oluşturulan Deprem Örnek Olayı

Şekil 4.2' de belirtildiği üzere, afet sonrası merkezi yardım kuruluşlarının afet bölgesine ulaşma sürelerine bağlı olarak, bölgedeki temel ihtiyaç malzemesi talebinin değişmesi (stokastik yapısı) temeline dayandırılarak, 5 farklı deprem senaryosu oluşturulmuştur. Senaryolar oluşturulurken, merkezi ilk yardım ekiplerinin afet bölgesine ulaşma sürelerine bağlı olarak afetzedelerin taleplerinin değişmesi göz önüne alınmıştır. 1. senaryo, depremin şiddetine bağlı olarak merkezi ilk yardım ekiplerinin afet bölgesine ulaşma süresinin en uzun olduğu ve dolayısıyla taleplerin en yüksek olduğu en kötü senaryo (worst case) olarak belirlenmiştir. En olası senaryo (most likely case) olarak 3. senaryo belirlenmiş, meydana gelme olasılığı en yüksek olasılık değerini almıştır. En iyi senaryo (best case) ise merkezi ilk yardım ekiplerinin afet bölgesine en kısa sürede ulaştığı 5. senaryo olarak belirlenmiştir. Bu senaryolara ilişkin temel ihtiyaç malzemesi talep miktarları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Afetzedelerin temel ihtiyaç malzemesi talepleri belirlenirken, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerinden yararlanılarak çeşitli varsayımlarda bulunulmuştur (WHO, 2011). Bir kişinin günde 2,5 litre su ihtiyacı olduğu varsayılmıştır. Buna ek olarak, gıda ve hijyenik malzemeler için taleplerin oluşturulmasında kolaylık sağlanması amacıyla birim kitlerin olduğu varsayılmış ve bir birim gıda kitinin bir kişinin sekiz saatlik ihtiyacını karşıladığı ve bir birimlik hijyenik

malzeme kitinin de bir kişinin üç günlük ihtiyacını karşıladığı varsayılmıştır. Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi temel ihtiyaç malzemesi tiplerinin talepleri arasındaki oran, bir kişinin ihtiyacı olan su, gıda kiti ve hijyenik malzeme kiti miktarları arasındaki varsayılan oranı temsil etmekte olup her senaryoda bu oran sabit kalmaktadır.



Şekil 4.2. Talep Değişimi Bazlı Oluşturulan Deprem Senaryoları

Çizelge 4.1. Senaryoya Bağlı Temel İhtiyaç Malzemesi Talepleri ve Olasılıkları

Senaryo	Talep Süresi	Su (litre/kişi)	Gıda Kiti (birim/kişi)	Hijyenik Malzeme Kiti (birim/kişi)	Olasılık
1	3 gün	7,5	9,0	1,0	0,1
2	2 gün	5,0	6,0	0,7	0,2
3	1 gün	2,5	3,0	0,3	0,4
4	16 saat	1,7	2,0	0,2	0,2
5	8 saat	0,9	1,0	0,1	0,1

Temel ihtiyaç malzemelerini afetzedelere tedarik edecek geçici-afet-müdahale tesislerinin birim hacim kapasitesi 34.560 litre, birim ağırlık kapasitesi ise 30.480 kilogram olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.2'de temel ihtiyaç malzemelerinin birim hacim ve ağırlık bilgileri bulunmaktadır. Toplam açılabilecek geçici-afet-müdahale tesis sayısı 1.000 olarak belirlenmiş olup her mahalle için maksimum açılabilecek geçici-afet-müdahale tesis sayısı ise 100 olarak belirlenmiştir. Ölçek faktörü $\lambda = 1.000$ ve birim karşılanamayan talep maliyeti $\gamma = 15$ olarak varsayılmıştır.

Çizelge 4.2. Temel İhtiyaç Malzemeleri Birim Hacim ve Ağırlık Miktarları

Acil İhtiyaç Malzeme tipi	v_k (lt)	w_k (kg)
Su	1,00	1,00
Gıda Kiti	1,00	0,25
Hijyenik Malzeme Kiti	0,50	0,25

Güvenlik düzeyi, kurulacak geçici-afet-müdahale tesisleri için göz önüne alınacak bir diğer parametredir. Deprem öncesinde konumlandırılacak geçici-afet-müdahale tesislerindeki malzemelerin güvenliğinin sağlanması (hırsızlık, malzemelere zarar verilmesi vb. olayların önlenmesi) amacıyla Yıldırım İlçe Emniyet Müdürlüğü'nden çalışma alanı olarak belirlenmiş olan 64 mahalle için 2015 yılına ait suç sayıları elde edilmiştir. Bu veriler, Denklem (4.1)'de verilen eşitlikte görüldüğü gibi, mahalle nüfusuna oranlanarak her mahalle için suç oranı parametresi hesaplanmıştır. Suç oranları, Denklem (4.2)'de belirtilen ifade ile normalize edilerek, mahalle suç oranlarının [0, 1] aralığında olması sağlanmıştır. Güvenlik düzeyi, Denklem (4.3)'te belirtildiği gibi suç oranı ile ters orantılı bir ilişkiye sahiptir. Bir başka deyişle, güvenlik düzeyi 0 değerini alan mahalle en yüksek suç oranına sahipken, güvenlik düzeyi 1 değerini alan mahalle ise en düşük suç oranına sahiptir.

$$\text{Suç oranı} = \frac{\text{Suç sayısı}}{\text{Nüfus}} \tag{4.1}$$

$$\text{Normalize suç oranı} = \frac{(\text{Suç oranı-Minimum suç oranı})}{(\text{Maksimum suç oranı-Minimum suç oranı})} \tag{4.2}$$

$$\text{Güvenlik düzeyi} = 1 - (\text{Normalize suç oranı}) \tag{4.3}$$

Verilen bağıntılar ile hesaplanan, 64 mahalleye ait suç oranları ve güvenlik düzeyleri Ek-1'de gösterilmiştir.

Geliştirilen iki-aşamalı stokastik programlama modeli MPL (Mathematical Programming Language) programında Gurobi çözücüsü ile deterministik eşdeğeri

(deterministic equivalent) kullanılarak çözülmüş ve ayrıca her senaryoya karşılık gelen deterministik versiyonlarına ait çözümler de elde edilmiştir. Ayrıca en olası senaryoya karşılık gelen duruma ait çözüm de elde edilerek (ortalama değer problemi (ODP) – mean value problem), stokastik çözümün değeri (value of stochastic solution) ve mükemmel bilginin değeri (value of perfect information) gibi parametreler hesaplanmıştır.

Güvenlik düzeyleri arasındaki farkı gözlemlemek amacıyla, farklı güvenlik düzeyleri için iki-aşamalı stokastik programlama modeli çözülmüştür. Güvenlik düzeyi eşik değeri olarak %95 ve %97,5 değerleri belirlenmiş, çözümler arasındaki performans farklılıkları analiz edilmiştir. Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 'de model sonuçları özetlenmektedir. Her senaryo için toplam amaç fonksiyonu değeri, birinci aşama amaç fonksiyonu değeri, ikinci aşama amaç fonksiyonu değeri ve performans parametreleri sonuçları gösterilmektedir. Birinci aşama amaç fonksiyonu değeri, açılan toplam geçici-afet-müdahale tesisi sayısının minimum değerini gösterirken; ikinci aşama amaç fonksiyonu değeri ise toplam katedilen mesafe ve karşılanamayan talebin minimum değerini göstermektedir. Stokastik programlama (SP) ve ortalama değer problemi (ODP) çözüm sonuçları da tablolarda görülmektedir. Performans parametreleri olarak, geçici-afet-müdahale tesislerine ulaşıncaya kadar kişi başına katedilen mesafe (Performans Ölçütü-I) ve ortalama doluluk oranı (Performans Ölçütü-II) belirlenmiş, sonuçlar çizelgelerde gösterilmiştir. Kişi başına katedilen mesafe (Performans Ölçütü-I), afetzedelerin geçici-afet-müdahale tesislerine ulaşıncaya kadar katettiği toplam mesafenin afetzede sayısına oranı olarak, tesis ortalama doluluk oranı (Performans Ölçütü-II) ise açılan geçici-afet-müdahale tesislerinde depolanan toplam temel ihtiyaç malzemelerinin toplam tesis kapasitesine oranı olarak hesaplanmıştır.

Çizelgelerden de anlaşılacağı üzere, güvenlik düzeyi eşik değeri arttıkça, geçici-afet-müdahale tesisi açmaya uygun güvenli mahalle sayısı azaldığından, toplam açılan geçici-afet-müdahale tesisi sayısı (birinci aşama amaç fonksiyonu değeri) %97,5 güvenlik düzeyinde %95 güvenlik düzeyine göre daha azdır. Stokastik ve ortalama değer problemi (ODP) çözümlerine bakıldığında, stokastik model çözümünde güvenlik düzeyi 97,5% iken toplam 95 geçici depo tesisi açıldığı, güvenlik düzeyi 95% olduğundan toplam açılan geçici depo tesis sayısının 184'e çıktığı, bunun yanı sıra

toplam katedilen mesafe değerinin ise 2,992,764 değerinden 1,744,366 değerine düştüğü gözlenmiştir. Ortalama değer problemi (ODP) çözümünde en olası senaryoda açılan toplam geçici depo tesis sayısı (39 ve 75) çözümleri baz alındığından, ortalama değer problemi (ODP) ile en olası senaryo birinci aşama amaç fonksiyonu değerleri eşit değerdedir. Senaryo çözümleri, stokastik program çözümü ve ortalama değer problemi çözümü yanı sıra stokastik çözümün değeri (value of stochastic solution-VSS) ve mükemmel bilginin beklenen değeri (expected value of perfect information-EVPI) gibi parametreler hesaplanmıştır. %97,5 güvenlik düzeyinde stokastik çözümün değeri (VSS) 214.366 ve mükemmel bilginin beklenen değeri (EVPI) 53.317,2 olarak hesaplanmıştır. %95 güvenlik düzeyinde ise bu değerler 440.563 ve 101.075,8 olarak belirlenmiştir.

Güvenlik düzeyi arttıkça, mahallelerinin çoğu güvenlik düzeyini aşamayıp bu mahallelere tesis açılamadığından, kişi başına katedilen mesafe ve ortalama tesis doluluk oranı da artmaktadır. Bu durum her senaryonun deterministik çözümünde, stokastik modelde ve ODP çözümünde de geçerlidir. Afetzedelerin talepleri %95 güvenlik düzeyinde daha yakın mahallelerden veya kendi mahallelerinden karşılanırken; %97,5 güvenlik düzeyinde afetzedeler, temel ihtiyaç malzemesi taleplerini daha uzaktaki mahallelerden karşılamak durumundadır. Bu durum afet sonrası karmaşık ve kaotik bir ortama zemin hazırlamaktadır. Diğer taraftan, güvenlik seviyesinden ödün verildiğinde, karmaşıklığın ve kaos ortamının azaldığı gözlenmektedir. Bahsedilen durum, model çözümlerinin şebeke (network) gösterimleri ile daha iyi anlaşılmaktadır (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). Model çözümlerinin şebeke gösterimlerinden de anlaşılacağı üzere, güvenlik düzeyi eşik değeri arttıkça (%95-%97,5) şebeke modeli daha karmaşık bir yapıya dönüşmektedir. Yüksek güvenlik düzeyini aşamayan mahallelerde geçici-afet-müdahale tesisi açılamadığından, tesis açılan mahalleler daha çok mahalleye hizmet vermek durumundadır. Dolayısıyla, güvenlik eşik değeri arttıkça, bir mahallenin temel ihtiyaç malzemesi yönünden hizmet verdiği mahalle sayısı artmakta, bağlantı sayısı yoğun olan bir şebeke modeli ile karşılaşılmaktadır. Diğer taraftan, güvenlik düzeyi eşik değeri daha düşük değerde (%95) iken bir mahallenin hizmet verdiği mahalle sayısı azalarak, bağlantı yoğunluğu yüksek güvenlik düzeyi eşik değerine göre daha az olan bir şebeke modeli karşımıza çıkmaktadır. Oluşturulan beş farklı deprem senaryosu

model çözümlerinin şebeke gösterimleri %97,5 güvenlik düzeyi eşik değeri için Ek-3, Ek-4, Ek-5 ve Ek-6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Sonuçlar (Güvenlik Düzeyi Eşik Değeri: %97,5)

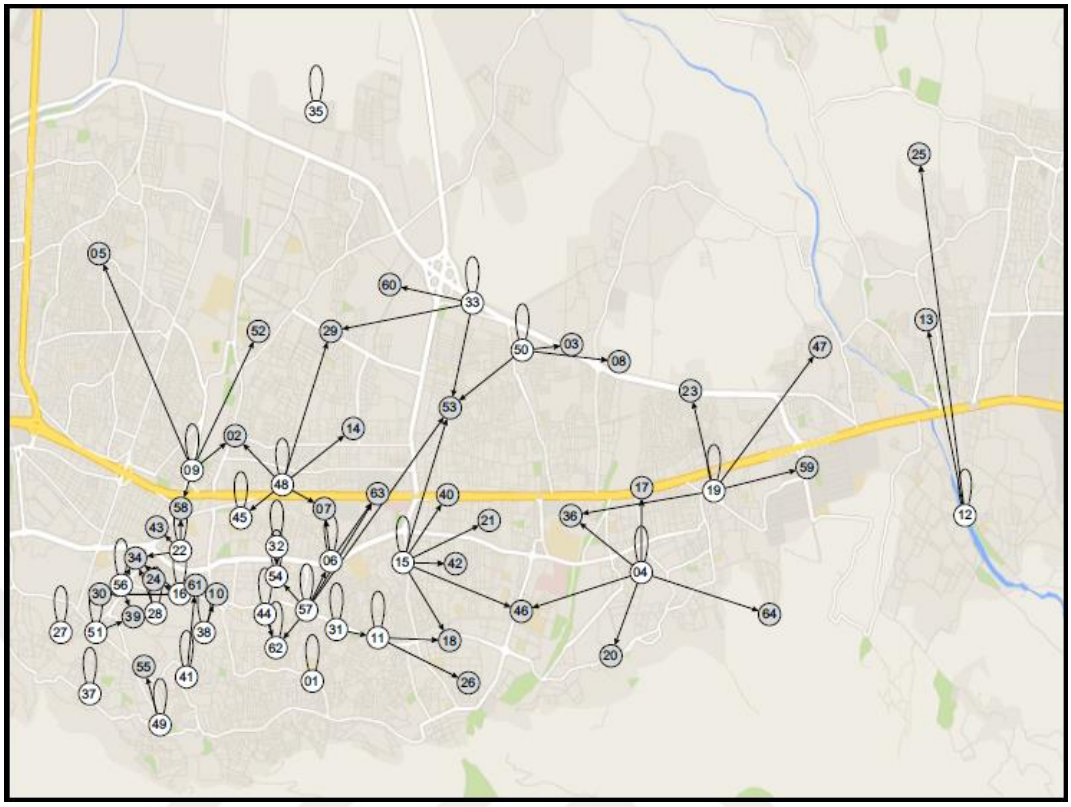
Senaryo	Amaç Fonksiyonu	1. Aşama Amaç Fonksiyonu	2. Aşama Amaç Fonksiyonu	Performans Ölçütü - I	Performans Ölçütü - II
1	7.177.967	103	7.074.967	0,1959	0,9515
2	4.787.362	71	4.716.362	0,1957	0,9202
3	2.397.473	39	2.358.473	0,1957	0,8374
4	1.599.270	27	1.572.270	0,1955	0,8063
5	803.345	17	786.345	0,1955	0,6399
SP	3.087.764	95	2.992.764	0,2050	0,4385
ODP	3.302.130	39	3.263.130	0,1551	0,6888

SP: Stokastik Program, ODP: Ortalama Değer Problemi

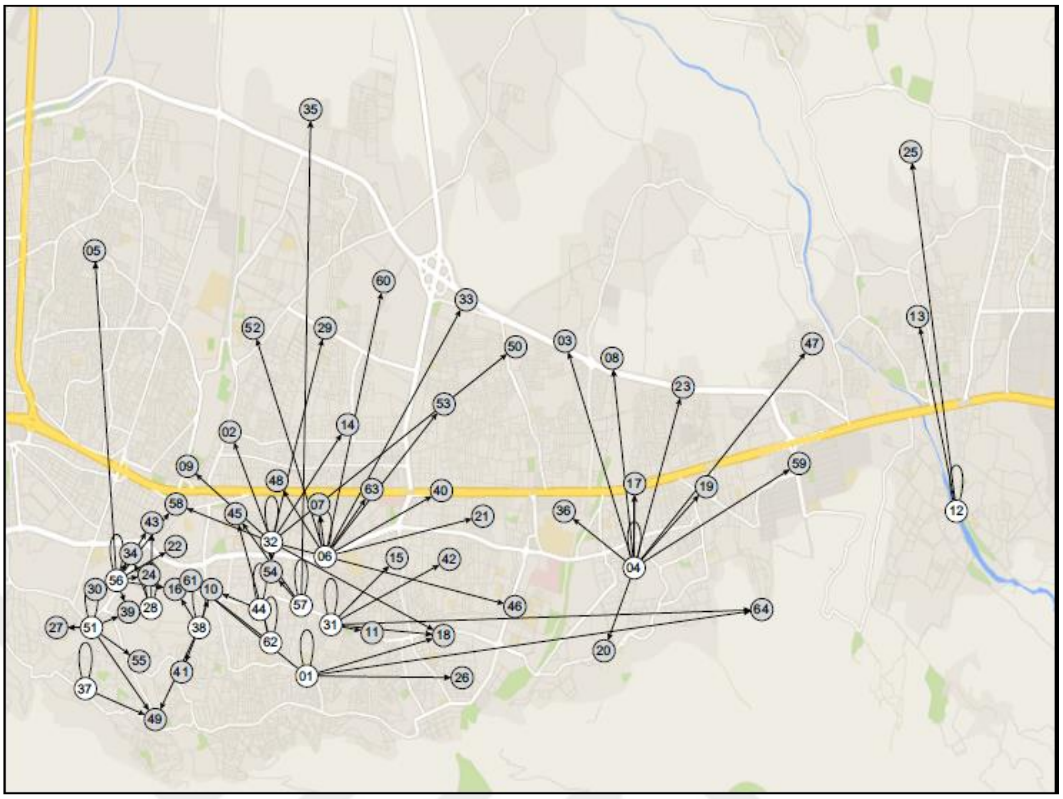
Çizelge 4.4. Sonuçlar (Güvenlik Düzeyi Eşik Değeri: %95)

Senaryo	Amaç Fonksiyonu	1. Aşama Amaç Fonksiyonu	2. Aşama Amaç Fonksiyonu	Performans Ölçütü - I	Performans Ölçütü - II
1	4.309.944	200	4.109.944	0,1368	0,9392
2	2.877.397	137	2.740.397	0,1368	0,9140
3	1.446.092	75	1.371.092	0,1345	0,8322
4	965.772	51	914.772	0,1374	0,8182
5	492.252	35	457.252	0,1368	0,5958
SP	1.928.366	184	1.744.366	0,1296	0,4259
ODP	2.368.929	75	2.293.929	0,0886	0,7719

SP: Stokastik Program, ODP: Ortalama Değer Problemi



Şekil 4.3. İki Aşamalı Stokastik Programlama Modeli Çözümü Şebeke Gösterimi (Güvenlik Düzeyi=%95)

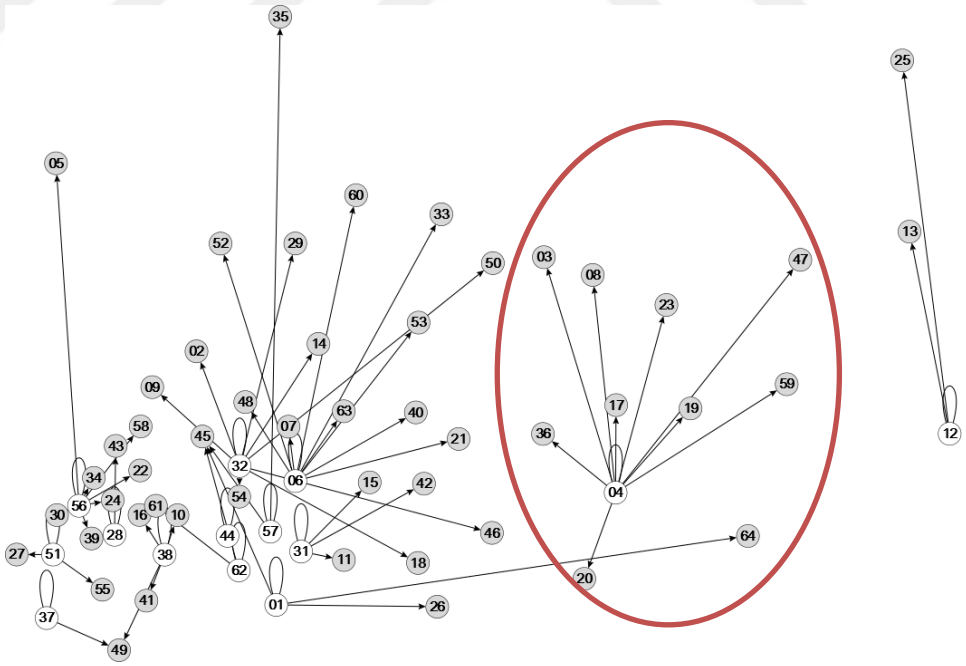


Şekil 4.4. İki Aşamalı Stokastik Programlama Modeli Çözümü Şebeke Gösterimi (Güvenlik Düzeyi=%97,5)

4.2. Temel İhtiyaç Malzemesi Taşıma Planı için Tamsayılı Programlama Modeli-Örnek Uygulama

Geliştirilen temel ihtiyaç malzemesi taşıma planı için tamsayılı programlama modeli, önceki bölümlerde açıklanan iki-aşamalı stokastik programlama modeli optimal dağıtım miktarları sonuçlarını kullanarak, geçici-afet-müdahale tesisinden afetzedelere en kısa yol üzerinden temel ihtiyaç malzemelerinin taşınmasını sağlamaktadır. Önerilen tamsayılı programlama modeli, iki-aşamalı stokastik programlama modelinin her deprem senaryosu için elde edilen deterministik çözümü sonucu ortaya çıkan alt taşıma problemleri için geliştirilmiştir. Şekil 4.5'te Senaryo-1'in deterministik çözümünün şebeke modeli ve taşıma planı için tamsayılı programlama modelinin uygulanacağı alt problem gösterilmiştir. Beş farklı deprem senaryosu için, iki-aşamalı stokastik programlama modeli çözümü sonucunda ortaya çıkan alt taşıma probleminde, 4

numaralı düğüm ile temsil edilen mahalleye açılan geçici-afet-müdahale tesisinden 3, 8, 17, 19, 20, 23, 36, 47 ve 59 düğümleri ile temsil edilen mahallelerdeki afetzedelere temel ihtiyaç malzemesi dağıtımı yapılması sağlanmaktadır. Bu bağlamda, önerilen taşıma planı için tamsayılı programlama modelinde depo düğümü 4 numaralı düğüm, talep düğümleri ise 3, 8, 17, 19, 20, 23, 36, 47 ve 59 numaralı düğümler olarak belirlenmektedir. Malzeme talepleri yine iki-aşamalı stokastik programlama çözümünden elde edilen optimal dağıtım miktarı $x_{ijk}^{(s)^*}$ olarak taşıma modelinin parametresini oluşturmaktadır. Her senaryo için iki-aşamalı stokastik programlama çözümünden elde edilen optimal dağıtım miktarları (malzeme talepleri) Çizelge 4.5'te gösterilmiştir. Belirlenen düğümler arasındaki olası rotalar ve uzunlukları Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Rota oluştururken bütün mahallelerin kapsanmasını sağlayacak şekilde 24 adet farklı uzunlukta alternatif rotalar tanımlanmıştır. Kapasitesi 90.000 litre olan 25 özdeş araç (kamyon) bulunduğu ve her beş senaryo için tanımlı rotalar ve uzunluklarının aynı olduğu varsayılmıştır.



Şekil 4.5. Senaryo-Tabanlı Çözümü Şebeke Gösterimi ve Taşıma Modeli Alt Problemi

Çizelge 4.5. Temel İhtiyaç Malzeme Talep Miktarları

	Senaryo Talepleri ($x_{ijk}^{(s)^*}$)				
Düğüm	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S5**
4	0	0	0	0	0
3	420.512	280.330	140.182	93.466	46.750
8	236.028	157.352	78.676	52.462	26.248
17	195.942	130.628	65.314	43.554	22.435
19	293.998	196.010	98.022	65.348	33.635
20	81.260	54.196	27.098	18.088	9.310
23	270.946	180.642	90.338	60.214	31.010
36	206.788	137.870	68.952	45.968	22.984
47	338.538	225.692	112.846	75.242	38.745
59	185.062	123.386	61.710	41.140	9.075

Çizelge 4.6. Olası Rotalar ve Uzunlukları

Rota	**Uzunluğu (km)**
4-3-8-17-19-20-23-36-47-59-4	28,8
4-3-8-17-19-20-23-36-47-4	28,1
4-3-8-17-19-20-23-36-4	20,7
4-3-8-17-19-20-23-4	18,7
4-3-8-17-19-20-4	12,2
4-3-8-17-19-4	9,8
4-3-8-17-4	8
4-3-8-4	7,6
4-3-4	6,6
4-8-17-19-20-23-36-47-59-4	28,2
4-17-19-20-23-36-47-59-4	23,2
4-19-20-23-36-47-59-4	22,4
4-20-23-36-47-59-4	19,4
4-23-36-47-59-4	17,1
4-36-47-59-4	11,1
4-47-59-4	9,5
4-59-4	5,2
4-8-4	7
4-17-4	2,4
4-19-4	3,4
4-20-4	2,8
4-23-4	7
4-36-4	3
4-47-4	8,8

Geliştirilen temel ihtiyaç malzemesi taşıma planı için tamsayılı programlama modeli her senaryo için MPL (Mathematical Programming Language) programında Gurobi çözücüsü ile çözülmüş ve sonuçlar Ek-2'de gösterilmiştir. Model çözümü ile afet sonrası mahallelere temel ihtiyaç malzemesi talepleri doğrultusunda, tüm talebi karşılayacak şekilde en kısa rota üzerinden taşıma yapılması sağlanmıştır. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere, temel ihtiyaç malzemesi talebi araç kapasitesinden büyük ise, en kısa rota çoğunlukla yalnızca depo düğümü ile ilgili talep düğümünü içeren rota olduğundan taşıma yalnızca iki düğümü içeren rotadan yapılmaktadır. Geriye kalan taşınması gereken diğer kısım ise, araç kapasitesini aşmayacak şekilde ilgili talep düğümlerini içeren rota üzerinden taşınmaktadır. Çizelge 4.7'de her senaryo için taşımada kullanılan araç sayısı gösterilmiştir. Senaryo-1 taleplerin en yüksek olduğu en kötü durum senaryosu olduğundan, tüm talebi karşılayacak şekilde taşıma yapan araç sayısı 25 araç iken, en olası durum senaryosu Senaryo-3'de bu değer 9 araca, en iyi durum senaryosu Senaryo-5'te ise 6 araca düşmektedir. Araçların doluluk oranları ise talepler azaldıkça azalmaktadır.

Çizelge 4.7. Kullanılan Araç Sayısı

Senaryo	Kullanılan Araç Sayısı
S1	25
S2	20
S3	9
S4	9
S5	6

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında afet sonrası merkezi ilkyardım kuruluşları (Kızılay, AFAD, vb.) afet bölgesine ulaşıncaya kadar afetzelerin temel ihtiyaçlarının karşılanacağı geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim problemi ele alınmıştır. Geçici-afet-müdahale yerleşim problemi, afetzedelerin temel ihtiyaçlarını karşılayacak tesislerin sayısına ve konumlarına, ayrıca dağıtımı yapılacak temel ihtiyaç malzemesi miktarına karar vermek ile ilgilidir. Tez çalışması kapsamında, geçici-afet-müdahale tesis yerleşim probleminin çözümü için, afetzelerin ihtiyaç duyduğu temel ihtiyaç malzemelerini en kısa mesafeden ve en az sayıda tesis açarak karşılanmasını amaçlayan iki-aşamalı stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. İki-aşamalı stokastik programlama modeli ile ikinci aşama amaç fonksiyonunun beklenen değeri ve birinci aşama amaç fonksiyonu değerinin minimize edilmesi sağlanmıştır. İkinci aşama amaç fonksiyonunu toplam uzaklık ağırlıklı temel ihtiyaç malzemesi miktarı ve toplam karşılanamayan temel ihtiyaç malzemesi talebi oluştururken; birinci aşama amaç fonksiyonunu toplam açılacak geçici-afet müdahale tesis sayısı oluşturmaktadır. Geliştirilen iki-aşamalı stokastik programlama modelinde dikkate alınan kısıtlar; tesis yerleşim ve dağıtım modeli genel kısıtlarının yanı sıra, kaos ortamını önleyen hizmet kısıtları ve geçici-afet-müdahale tesislerinin güvenli bölgelerde kurulmasını sağlayan güvenlik kısıtlarıdır. Çalışmada afetten etkilenen bölgelerdeki temel ihtiyaç malzemesinde oluşan talep belirsizliği dikkate alınmış, AFAD tarafından oluşturulan deprem örnek olayı baz alınarak geliştirilen beş adet deprem senaryosu ile talep belirsizliği temsil edilmiştir. Geliştirilen çözüm yaklaşımlarından bir diğeri ise geçici-afet-müdahale tesislerinden afetzedelere temel ihtiyaç malzemelerinin en kısa sürede taşınmasını sağlayan taşıma planının oluşturulduğu tam sayılı programlama modelidir. Tamsayılı programlama modelinde, iki-aşamalı stokastik programlama modeli çözümünden elde edilen optimal yerleşim ve dağıtım kararları kullanılarak, temel ihtiyaç malzemelerinin afetten etkilenen bölgelere en kısa sürede taşınması sağlanmaktadır. Tamsayılı programlama modeli ile temel ihtiyaç malzemelerinin belirlenen araçlarla hangi rotalar üzerinden taşıma yapacağına karar veren bir taşıma planı oluşturulmaktadır.

Geliştirilen çözüm yaklaşımları, bir deprem örnek olayı üzerinde test edilmiş ve Bursa ilinin Yıldırım ilçesinde yer alan 64 mahalleden oluşan bir bölge için çözüm sağlanmıştır. Oluşturulan her deprem senaryosuna karşılık gelen deterministik versiyon çözümleri, en olası senaryoya karşılık gelen duruma ait çözümler elde edilmiş (ortalama değer problemi (ODP) – mean value problem), ayrıca stokastik çözümün değeri (value of stochastic solution) ve mükemmel bilginin değeri (value of perfect information) parametreleri hesaplanmıştır.

Güvenlik düzeylerinin çözümler üzerindeki etkisini analiz etmek amacıyla, farklı güvenlik düzeyleri için model çözümleri elde edilmiştir. Güvenlik düzeyi eşik değeri arttıkça, geçici-afet-müdahale tesisi açmaya uygun güvenli mahalle sayısı azaldığından, toplam açılan geçici-afet-müdahale tesisi sayısı (birinci aşama amaç fonksiyonu değeri) azalmaktadır. Ayrıca, güvenlik düzeyi eşik değeri arttıkça, mahallelerin çoğu güvenlik düzeyini aşamayıp bu mahallelere tesis açılamadığından, kişi başına katedilen mesafe ve ortalama tesis doluluk oranı da artmaktadır. Bu durum her senaryonun deterministik çözümünde, stokastik modelde ve ODP çözümünde de geçerlidir. Afetzedelerin talepleri düşük güvenlik düzeyinde daha yakın mahallelerden veya kendi mahallelerinden karşılanırken; yüksek güvenlik düzeyinde afetzedeler, temel ihtiyaç malzemesi taleplerini daha uzaktaki mahallelerden karşılamak durumundadır. Bu durum afet sonrası karmaşık ve kaotik bir ortama zemin hazırlamaktadır. Diğer taraftan, güvenlik seviyesinden ödün verildiğinde, karmaşıklığın ve kaos ortamının azaldığı gözlenmektedir. Bahsedilen durum, model çözümlerinin şebeke (network) gösterimleri ile daha iyi anlaşılmaktadır. Model çözümlerinin şebeke gösterimlerinden de anlaşılacağı üzere, güvenlik düzeyi eşik değeri arttıkça şebeke modeli daha karmaşık bir yapıya dönüşmektedir. Yüksek güvenlik düzeyini aşamayan mahallelerde geçici-afet-müdahale tesisi açılamadığından, tesis açılan mahalleler daha çok mahalleye hizmet vermek durumundadır. Dolayısıyla, güvenlik düzeyi eşik değeri arttıkça, bir mahallenin temel ihtiyaç malzemesi yönünden hizmet verdiği mahalle sayısı artmakta, bağlantı sayısı yoğun olan bir şebeke modeli ile karşılaşılmaktadır. Diğer taraftan, güvenlik düzeyi eşik değeri düşük olduğunda, bir mahallenin hizmet verdiği mahalle sayısı azalarak, bağlantı yoğunluğu yüksek güvenlik düzeyi eşik değerine göre daha az olan bir şebeke modeli karşımıza çıkmaktadır.

Geliştirilen iki-aşamalı stokastik programlama modeli optimal yerleşim ve dağıtım sonuçlarının parametre olarak kullanıldığı taşıma planı için tamsayılı programlama modeli her deprem senaryosu için seçilen alt problem dikkate alınarak problem çözümü elde edilmiştir.

Geliştirilen tamsayılı programlama modeli ile afet sonrası mahallelere temel ihtiyaç malzemesi talepleri doğrultusunda, tüm talebi karşılayacak şekilde en kısa rota üzerinden taşıma yapılması sağlanmıştır. Model çözümü incelendiğinde, temel ihtiyaç malzemesi talebi araç kapasitesinden büyük ise, en kısa rota çoğunlukla yalnızca depo düğümü ile ilgili talep düğümünü içeren rota olduğundan taşıma yalnızca ilgili iki düğümü içeren rotalardan yapılmaktadır. Geriye kalan taşınması gereken diğer kısım ise, araç kapasitesini aşmayacak şekilde ilgili talep düğümlerini içeren rotalar üzerinden taşınmaktadır. Her deprem senaryosu için taşımada kullanılan araç sayısı incelendiğinde Senaryo-1 taleplerin en yüksek olduğu en kötü durum senaryosu olduğundan, tüm talebi karşılayacak şekilde taşıma yapan araç sayısı en yüksek değerini alırken, en iyi durum senaryosu Senaryo-5'de ise bu değer oldukça düşmektedir. Taşıma yapılan temel ihtiyaç malzemesi miktarı her talep düğümü için tüm talebi karşılayacak değerdedir. Talep miktarı arttıkça, tüm talebi karşılayan toplam araç sayısı da artmaktadır. Temel ihtiyaç malzemesi talepleri azaldığında, bunları taşıyan araç sayısı da azalmaktadır. Araçların doluluk oranları ise talepler azaldıkça azalmaktadır. En iyi durum senaryosunda (Senaryo-5) araç doluluk oranı en kötü durum senaryosuna (Senaryo-1) oranla daha düşüktür.

Sonuç olarak tez çalışması kapsamında ele alınan geçici-afet-müdahale tesis yerleşim problemi için geliştirilen iki-aşamalı stokastik programlama modeli ile afet sonrası afetzedelerin temel ihtiyaçlarının en kısa mesafeden karşılanması ve en az sayıda tesis açılması sağlanmıştır. Merkezi ilkyardım kuruluşları afet bölgesine ulaşıncaya kadar afetzedelerin yaşamsal ihtiyaçlarının karşılanması açısından yapılan çalışmanın önemi büyüktür. Ayrıca afet sonrası karmaşa ortamının önüne geçecek bir taşıma planı oluşturularak afetzedelere en kısa rota üzerinden talepleri doğrultusunda temel ihtiyaç malzemesi taşınması sağlanmıştır. Tez çalışması kapsamında ele alınan geçici-afet-müdahale tesis yerleşim problemi için geliştirilen çözüm yaklaşımları ile afet gerçekleşmeden önce afet sonrası olası durumlar dikkate alınarak afet hazırlık aşaması

çalışmalarına; ayrıca temel ihtiyaç malzemelerinin talepleri doğrultusunda en kısa mesafeden afetzedelere taşındığı taşıma planı oluşturularak afet cevap aşaması çalışmalarına katkıda bulunulmuştur.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, önerilen iki-aşamalı stokastik programlama modelinin yerleşim, dağıtım ve taşıma kararlarının aynı anda ve birlikte alındığı tek bir model olarak geliştirilmesi amaçlanabilir. Ayrıca taşıma planı için geliştirilen tamsayılı programlama modelinde önceden belirlenen taşıma rotalarının oluşturulması için bir başka çözüm yaklaşımı, sezgisel algoritma geliştirilebilir. Taşıma planı için ele alınan problem araç rotalama problemi yerine gezgin satıcı problemine dönüştürülerek çözüm sağlanabilir. İlerleyen çalışmalarda, bu çalışmada ele alınan talep belirsizliğinin yanı sıra, bağlantı yollarının yıkılma riski ve kapasitelerindeki belirsizlikler stokastik unsurlar olarak dikkate alınabilir. Tesis yerleşim probleminde tesis açma ve yönetme maliyetleri veya malzeme yenileme maliyetleri dikkate alınarak yönetimsel açıdan çözüm yaklaşımları geliştirilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma, 115M020 kontrat numaralı TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Abdelgawad, H., Abdulhai, B. 2010. Managing large-scale multimodal emergency evacuations. Journal of Transportation Safety & Security, 2 (2): 122-151.

Adıvar, B., Mert, A. 2010. International disaster relief planning with fuzzy credibility. Fuzzy Optimization and Decision Making, (9):413–433.

Afshar, A., Rasekh, A. 2009. Afshar M. H., Risk-based optimization of large flood-diversion systems using genetic algorithms. Engineering Optimization, 41(3):259–273.

Albores, P., Shaw, D.A. 2008. Government preparedness: using simulation to prepare for a terrorist attack. Computers & Operations Research, 35 (6):1924-1943.

Altay, N., Green, W.G. 2006. OR/MS research in disaster operations management. European Journal of Operational Research, 175:475–493.

Anping, P. 2010. The Applications of Maximal Covering Model in Typhoon Emergency Shelter Location Problem. Proceedings of the 2010 IEEE IEEM, 07 -10 Dec, 2010, Macao, China.

Bağcı, G., Yatman, A., Özdemir, S., Altın, N. 1991. Türkiye'de Hasar Yapan Depremler. Deprem Hasar Bülteni, 69.

Balçık, B., Beamon, B. M. 2008. Facility location in humanitarian relief. International Journal of Logistics: Research and Applications, 11 (2):101–121.

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.

Bazaraa, M. S., Jarvis, J. J., Sherali, H. D. 2011. Linear programming and network flows. John Wiley & Sons, Fourth Edition.

Belardo, S., Harrald, J., Wallace, W.A., Ward, J. 1984. A partial covering approach to sitting response resources for major maritime oil spills. Management Science, 30(10): 1184–1196.

Ben-Tal, A., Chung, B.D., Mandala, S.R., Yao, T. 2011. Robust optimization for emergency logistics planning: Risk mitigation in humanitarian relief supply chains. Transportation Research Part B, 45: 1177–1189.

Bradley, S., Hax, A., Magnanti, T. 1977. Applied mathematical programming. Addison-Wesley.

Campbell, A.M., Vandenbussche, D., Hermann, W. 2008. Routing for relief efforts. Transportation Science, 42 (2): 127-145.

Chan, Y., Carter, W. B., Burnes, M. D. 2001. A multiple-depot, multiple-vehicle, location routing problem with stochastically processed demands. Computers & Operations Research, 28: 803–826.

Chang, M.S., Tseng, Y.L., Chen, J.W. 2007. A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. Transportation Research Part E, 43 (6): 737–754.

Chen, C.C., Chou, C.-S. 2009. Modeling and performance assessment of a transitbased evacuation plan within a contraflow simulation environment. Transportation Research Board: Journal of the Transportation Research Board, 2091: 40-50.

Chen, X., Zhan, F.B. 2008. Agent-based modelling and simulation of urban evacuation: relative effectiveness of simultaneous and staged evacuation strategies. Journal of the Operational Research Society, 59(1): 25-33.

Chiu, Y.C., Mirchandani, P.B. 2008. Online behavior-robust feedback information routing strategy for mass evacuation. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 9(2): 264-274.

Chiu, Y.C., Zheng, H. 2007. Real-time mobilization decisions for multi-priority emergency response resources and evacuation groups: Model formulation and solution. Transportation Research Part E, 43(6): 710-736.

Chiu, Y.C., Zheng, H., Villalobos, J.A., Peacock, W., Henk, R. 2008. Evaluating regional contra-flow and phased evacuation strategies for Texas using a largescale dynamic traffic simulation and assignment approach. Journal of Homeland Security and Emergency Management, 5(1):1547-7355.

Dantzig, G. B., Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. Management science, 6(1): 80-91.

De la Torre, L.E., Dolinskaya I.S., Smilowitz K.R. 2012. Disaster Relief Routing: Integrating Research and Practice. Socio-Economic Planning Sciences, 46(1): 88-97.

Dempe, S. 2002. Foundations of Bilevel Programming. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Durmuş, Y. 1995. Doğal afetlerin türleri, etkileri ve korunma yolları. Sivil Savunma Dergisi, 37(142): 3.

EM-DAT: The International Database "EM-DAT Database". http://www.emdat.be/database (Son erişim tarihi: 30 Ocak 2014).

Erdik, M., Erkin, Erten, Yeğin, M. 2003. Planlama Sürecinde Yönetmeliklerin Afetler Açısından Etkin Hâle Getirilmesi. Kocaeli Deprem Sempozyumu, 334.

Fiedrich, F., Gehbauer, F., Rickers, U. 2000. Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. Safety Science, 35: 41–57.

Galindo, G., Batta, R. 2013. Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management. European Journal of Operational Research, 230: 201–211.

Georgiadou, P.S., Papazoglou, I.A., Kiranoudis, C.T., Markatos, N.C. 2007. Modeling emergency evacuation for major hazard industrial sites. Reliability Engineering and System Safety, 92 (10): 1388-1402.

Görmez, N., Köksalan, M., Salman, F.S. 2011. Locating disaster response facilities in Istanbul. Journal of the Operational Research Society, 62: 1239–1252.

Günneç, D., Salman, F.S. 2011. Assessing the reliability and the expected performance of a network under disaster risk. OR Spectrum, 33: 499–523.

Haghani, A., 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.

Haynes, S.R., Kannampallil, T.G., Cohen, M.A., Soares, A., Ritter, F.E. 2008. Rampart: A Service and Agent-Based Architecture for Anti-Terrorism Planning and Resource Allocation. Lecture Notes in Computer Science, 5376: 260-270.

Hentenryck, P.V., Bent, R., Coffrin, C. 2010. Strategic Planning for Disaster Recovery with Stochastic Last Mile Distribution. Proceedings of the Seventh International Conference on Integration of Artificial Intelligence and Operations Research Techniques in Constraint Programming (CPAIOR 2010), 318–333.

Huang, Y., Fan, Y., Cheu, R.L. 2007. Optimal Allocation of Multiple Emergency Service Resources for Protection of Critical Transportation Infrastructure. Transportation Research Board, 2022: 1–8.

Japon Uluslararası İsbirliği Ajansı (JICA), İstanbul Büyük Şehir Belediyesi 2002. Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalısması, 655.

Jenkins, L. 2000. Selecting scenarios for environmental disaster planning. European Journal of Operational Research, 121: 275-286.

Kale, G.B., Kutemete, N.B. 2011. Disaster: Management Tools and Guidelines for Effective Recovery. J. Int. Environmental Application & Science, 6 (1): 035-056.

Kılcı, F., Kara, B.Y., Bozkaya, B. 2015. Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey. European Journal of Operational Research, 243: 323–332.

Kovacs, G., Spens, K. 2007. Humanitarian logistics in disaster relief operations. International Journal of Physical Dsitribution & Logistics Management, 37(2): 99-114.

Li, L., Jin, M., Zhang L. 2011. Sheltering network planning and management with a case in the Gulf Coast region. International Journal of Production Economics, 131: 431–440.

Liberatore, F., Pizarro, C., Simon de Blas, C., Ortuno, M.T., 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, 7, 45-74, Atlantis Press.

Mete, H.O, Zabinsky, Z.B. 2010. Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. International Journal of Production Economics, 126(1): 76–84.

Murali, P., Ordonez, F., Dessouky, M. M. 2012. Facility location under demand uncertainty: Response to a large-scale bio-terror attack. Socio-Economic Planning Sciences, 46: 78-87.

Nagurney, A., Yu, M., Qiang, Q. 2011. Supply chain network design for critical needs with outsourcing. Papers in Regional Science, 90(1): 123-142.

Natarajarathinam, M., Capar, I., 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.

Nolz, P.C., Semet, F., Doerner, K.F. 2011. Risk approaches for delivering disaster relief supplies. OR Spectrum, 33: 543–569.

Noyan, N. 2012. Risk-averse two-stage stochastic programming with an application to disaster management. Computers & Operations Research, 39: 541–559.

Noyan, N., Balçık, B., Atakan, S. 2015. A Stochastic Optimization Model for Designing Last Mile Relief Efforts. Transportation Science, Articles in Advance, 1-22.

Özçep, F., Karabulut, S., Alpaslan, N., Ceyhan, U., ve Gündoğdu, O. 2003. Deprem Zararlarının Azaltılması için Kent. Bölge Planlama Sürecinde Mikrobölgeleme Çalışmaları, Kocaeli, 477-486.

Özdamar, L., Demir, O. 2012. A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. Transportaion Research Part E, 48(3): 591-602.

Özdamar, L., Ekinci, E., Küçükyazıcı, B. 2004. Emergency Logistics Planning in Natural Disasters. Annals of Operations Research, 129: 217–245.

Özmen, B., Nurlu, M., Kuterdem, K., Temiz, A. 2005. Afet Yönetimi ve Afet İşleri Genel Müdürlüğü. Deprem Sempozyumu 2005, 23-25 Mart 2005, İzmit.

Peeta, S., Salman, F.S., Günnec, D., Viswanath K. 2010. Pre-disaster Investment Decisions for Strengthening a Highway Network. Computers and Operations Research, 37(10): 1708-1719.

Rawls, C.G., Turnquist, M.A. 2010. Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. Transportation Research Part B, 44: 521–34.

Rawls, C.G., Turnquist, M.A. 2011. Pre-positioning planning for emergency response with service quality constraints. OR Spectrum, 33: 481–498.

Rodriguez, J.T., Vitoriano, B., Montero, J. 2010. A natural-disaster management DSS for Humanitarian Non-Governmental Organisations. Knowledge-Based Systems, 23: 17–22.

Rottkemper, B., Fischer, K., Blecken, A., Danne, C. 2011. Inventory relocation for overlapping disaster settings in humanitarian operations. OR Spectrum, 33: 721–749.

Salman, F.S., Gül, S. 2014. Deployment of field hospitals in mass casualty incidents. Computers & Industrial Engineering, 74: 37–51.

Salmeron, J., Apte, A. 2010. Stochastic Optimization for Natural Disaster Asset Prepositioning. Production and operations management, 19(5): 561–574.

Schrijver, A. 1998. Theory of linear and integer programming. John Wiley & Sons

Shapiro, A., Darinka, D. 2009. Lectures on stochastic programming: modeling and theory. 16, SIAM.

Sheu, J.B. 2010. Dynamic relief-demand management for emergency logistics operations under large-scale disasters. Transportation Research Part E, 46: 1–17.

Song, R., He, S., Zhang, L. 2009. Optimum transit operations during the emergency evacuations. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 9(6): 154–160.

Sphere project, 2004. Humanitarian Charter and Minimum Standards in Disaster Response, Oxfam Publishing, OXFAM.

Taha, H.A. 1997. Operations Research an Introduction. Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ.

Türkoğlu, H., Tezer, A. ve Yiğiter, R. 2003. Risk Analizi ve Acil Durum Planlaması. Kentlerin Depreme Hazırlanması ve İstanbul Gerçeği, Birinci Baskı, İstanbul, TMMOB Yayını, 108 – 111.

Vitoriano, B., Ortuno, M.T., Tirado, G., Montero, J. 2011. A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution. Journal of Global Optimization, 51: 189–208.

Werner, A.S. 2005. Bilevel stochastic programming problems: analysis and application to telecommunications. PhD Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Social Sciences and Technology Management, Trondheim, Norway.

WHO, 2011. Technical note 9: how much water is needed in emergencies,. World Health Organization / Water Engineering Development Centre.

Winston W., L., 2003. Operation Research Applications and Algorithms. *Duxbury Press*, 4. Basım.

Yazıcı, M.A., Özbay, K. 2007. Impact of probabilistic road capacity constraints on the spatial distribution of hurricane evacuation shelter capacities. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2022: 55–62.

Yi, W., Özdamar, L. 2007. A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. European Journal of Operational Research, 179 : 1177–1193.

Zhu, J., Huang, J., Liu, D., Han, J. 2008. Resources Allocation Problem for Local Reserve Depots in Disaster Management Based on Scenario Analysis. The 7th International Symposium on Operations Research and Its Applications, Lijiang, China.

EKLER

EK 1 Mahalle Suç Oranları ve Güvenlik Düzeyleri

Mahalle	Nüfus	Suç sayısı	Suç Oranı	Normalize suç oranı	Güvenlik düzeyi
Akçağlayan	16382	202	0,012	0,000	1,000
Anadolu	2674	484	0,181	0,872	0,128
Arabayatağı	25239	658	0,026	0,071	0,929
Bağlaraltı	17593	267	0,015	0,015	0,985
Balaban	152	8	0,053	0,208	0,792
Baruthane	9097	138	0,015	0,015	0,985
Beyazıt	8929	286	0,032	0,102	0,898
Çınarönü	14167	349	0,025	0,064	0,936
Davutdede	6622	124	0,019	0,033	0,967
Davutkadı	756	151	0,200	0,969	0,031
Değirmenlikızık	16379	324	0,020	0,039	0,961
Değirmenönü	21639	367	0,017	0,024	0,976
Demetevler	902	150	0,166	0,796	0,204
Duaçınarı	3679	336	0,091	0,408	0,592
Eğitim	12196	269	0,022	0,050	0,950
Emirsultan	6657	123	0,018	0,032	0,968
Erikli	11761	270	0,023	0,055	0,945
Ertuğrulgazi	9655	286	0,030	0,089	0,911
Esenevler	17645	377	0,021	0,047	0,953
Fidyekızık	4877	120	0,025	0,063	0,937
Güllük	9918	227	0,023	0,055	0,945
Hacıseyfettin	7748	167	0,022	0,048	0,952
Hacivat	16262	439	0,027	0,076	0,924
Hocataşkın	1625	43	0,026	0,073	0,927
İsabey	2241	84	0,037	0,130	0,870
Kaplıkaya	4026	93	0,023	0,056	0,944
Karaağaç	6934	145	0,021	0,044	0,956
Karamazak	4056	58	0,014	0,010	0,990
Kazım Karabekir	894	184	0,206	1,000	0,000
Kurtoğlu	3533	113	0,032	0,102	0,898
Maltepe	7158	101	0,014	0,009	0,991
Meh. Akif Ersoy	7504	113	0,015	0,014	0,986
Mevlana	11376	210	0,018	0,032	0,968
Meydancık	2557	142	0,056	0,223	0,777

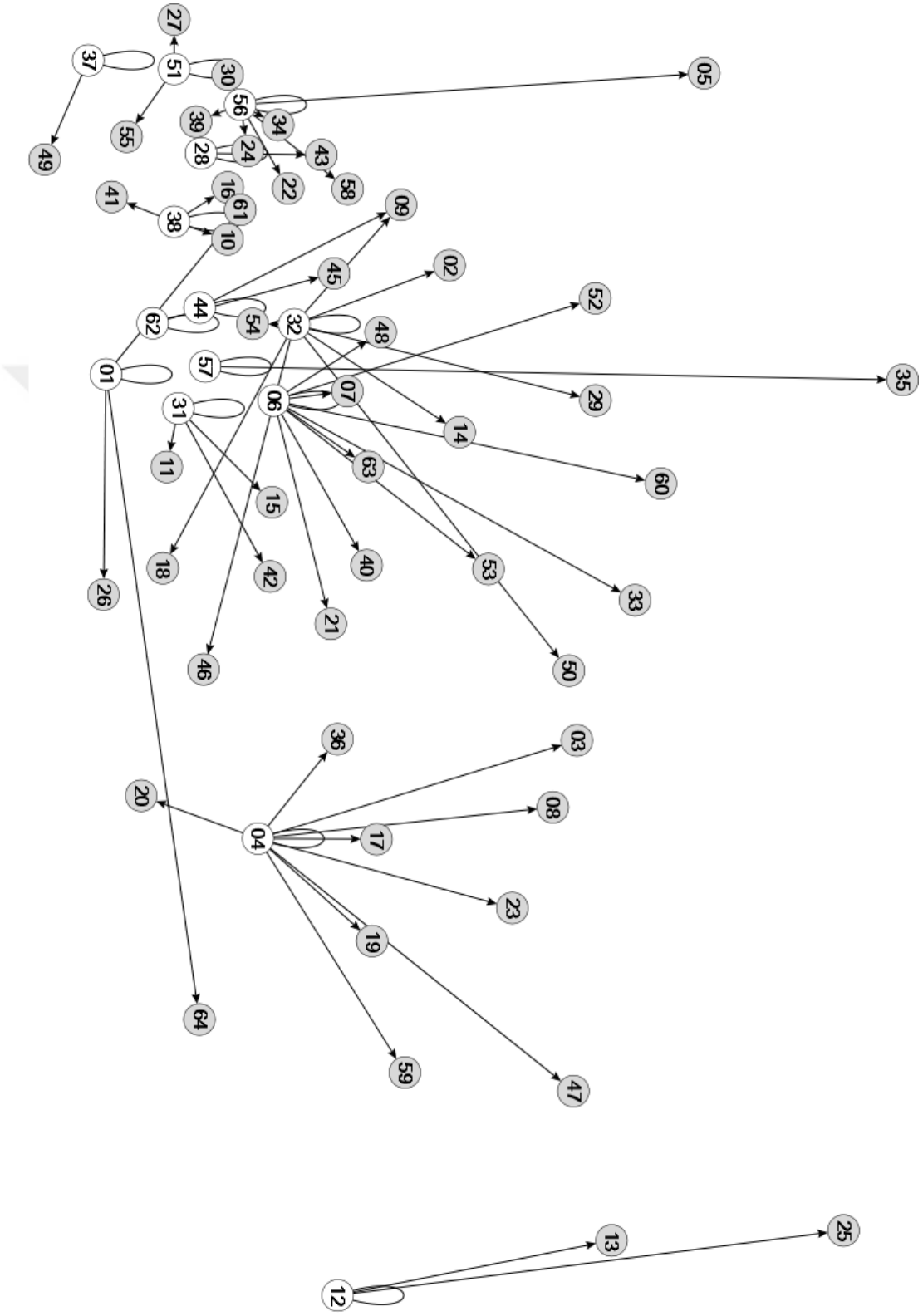
Mahalle	Nüfus	Suç sayısı	Suç Oranı	Normalize suç oranı	Güvenlik düzeyi
Millet	32591	595	0,018	0,031	0,969
Mimarsinan	12411	608	0,049	0,189	0,811
Mollaarap	9076	140	0,015	0,016	0,984
Musababa	3138	43	0,014	0,007	0,993
Namazgah	4173	97	0,023	0,056	0,944
Ortabağlar	16864	402	0,024	0,059	0,941
Piremir	13113	254	0,019	0,036	0,964
Selçukbey	11316	284	0,025	0,066	0,934
Selimzade	3894	128	0,033	0,106	0,894
Sıracevizler	7645	96	0,013	0,001	0,999
Sinandede	6702	127	0,019	0,034	0,966
Siteler	5705	149	0,026	0,071	0,929
Şirinevler	20319	505	0,025	0,065	0,935
Şükraniye	10459	216	0,021	0,043	0,957
Teferrüç	5789	101	0,017	0,026	0,974
Ulus	17712	348	0,020	0,038	0,962
Umurbey	6053	84	0,014	0,008	0,992
Vatan	9894	230	0,023	0,056	0,944
Yavuzselım	18069	553	0,031	0,094	0,906
Yediselviler	5282	98	0,019	0,032	0,968
Yenımahalle	408	62	0,152	0,722	0,278
Yeşil	3018	46	0,015	0,015	0,985
Yeşilyayla	7223	97	0,013	0,006	0,994
Yıldırım	7416	224	0,030	0,092	0,908
Yiğitler	11108	586	0,053	0,209	0,791
Yunusemre	10314	279	0,027	0,076	0,924
Zeyniler	127	3	0,024	0,058	0,942
Zümrütevler	13395	214	0,016	0,019	0,981
152evler	9113	529	0,058	0,236	0,764
75.Yıl	843	137	0,163	0,776	0,224

EK 2 Kullanılan Rotalar ve Optimal Taşıma Miktarları

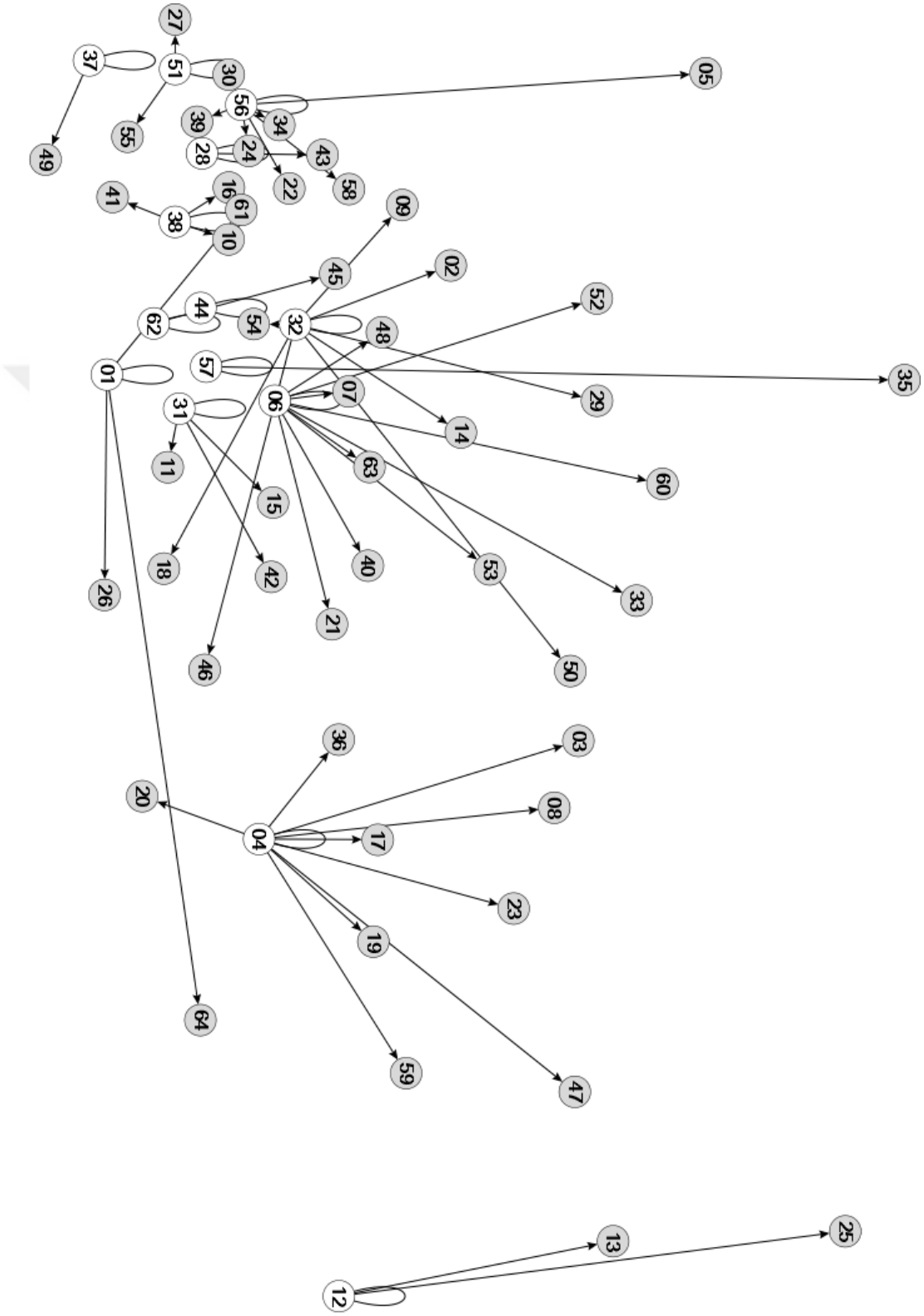
Senaryo	Talep düğümleri	Minimum uzaklıkta rota	Taşınan temel ihtiyaç malzemesi miktarı
S1	3	4-3-4	347.814
S1	3,8	4-3-8-4	33.972-56.028
S1	3,8,17,19,20,23,36	4-3-8-17-19-20-23-36-4	38.726-0-15.942-23.998-0-946-10.388
S1	8	4-8-4	180.000
S1	17	4-17-4	180.000
S1	19	4-19-4	270.000
S1	20	4-20-4	81.260
S1	23	4-23-4	270.000
S1	36	4-36-4	180.000
S1	36,47,59	4-36-47-59-4	16.400-68.538-5.062
S1	47	4-47-4	270.000
S1	59	4-59-4	180.000
S2	3	4-3-4	270.000
S2	3,8	4-3-8-4	10.330-67.352
S2	47,59	4-47-59-4	56.614-33.386
S2	59	4-59-4	90.000
S2	8	4-8-4	90.000
S2	17	4-17-4	130.628
S2	19	4-19-4	196.010
S2	20	4-20-4	54.196
S2	23	4-23-4	180.642
S2	36	4-36-4	137.870
S2	47	4-47-4	169.078
S3	3	4-3-4	90.000
S3	3,19,20,23	4-3-8-17-19-20-23-4	550.182-8.022-27.098-338
S3	47,59	4-47-59-4	22.846-61.710
S3	8	4-8-4	78.676
S3	17	4-17-4	65.314
S3	19	4-19-4	90.000
S3	23	4-23-4	90.000
S3	36	4-36-4	68.952
S3	47	4-47-4	90.000

Senaryo	Talep düğümleri	Minimum uzaklıkta rota	Taşınan temel ihtiyaç malzemesi miktarı
S4	3,8	4-3-8-4	3.466-52.462
S4	3	4-3-4	90.000
S4	59	4-59-4	41.140
S4	17	4-17-4	43.554
S4	19	4-19-4	65.348
S4	20	4-20-4	18.088
S4	23	4-23-4	60.214
S4	36	4-36-4	45.968
S4	47	4-47-4	75.242
S5	3,8	4-3-8-4	46.750-26.248
S5	17	4-17-4	22.435
S5	19	4-19-4	33.635
S5	20	4-20-4	9.310
S5	23	4-23-4	31.010
S5	36,47,59	4-36-47-59-4	22.984-38.745-9.075

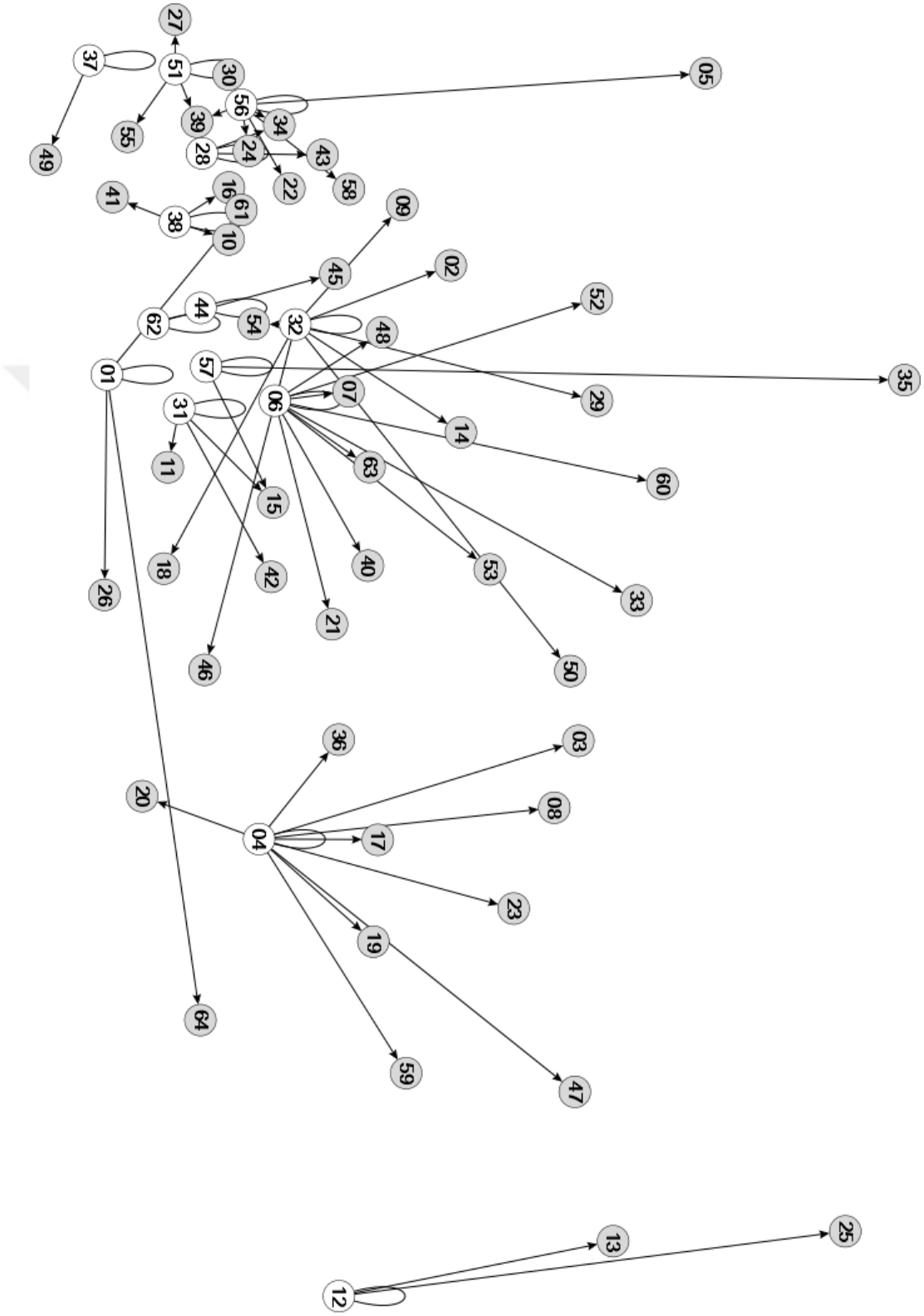
EK 3 Senaryo-2 Model Çözümü Şebeke Gösterimi



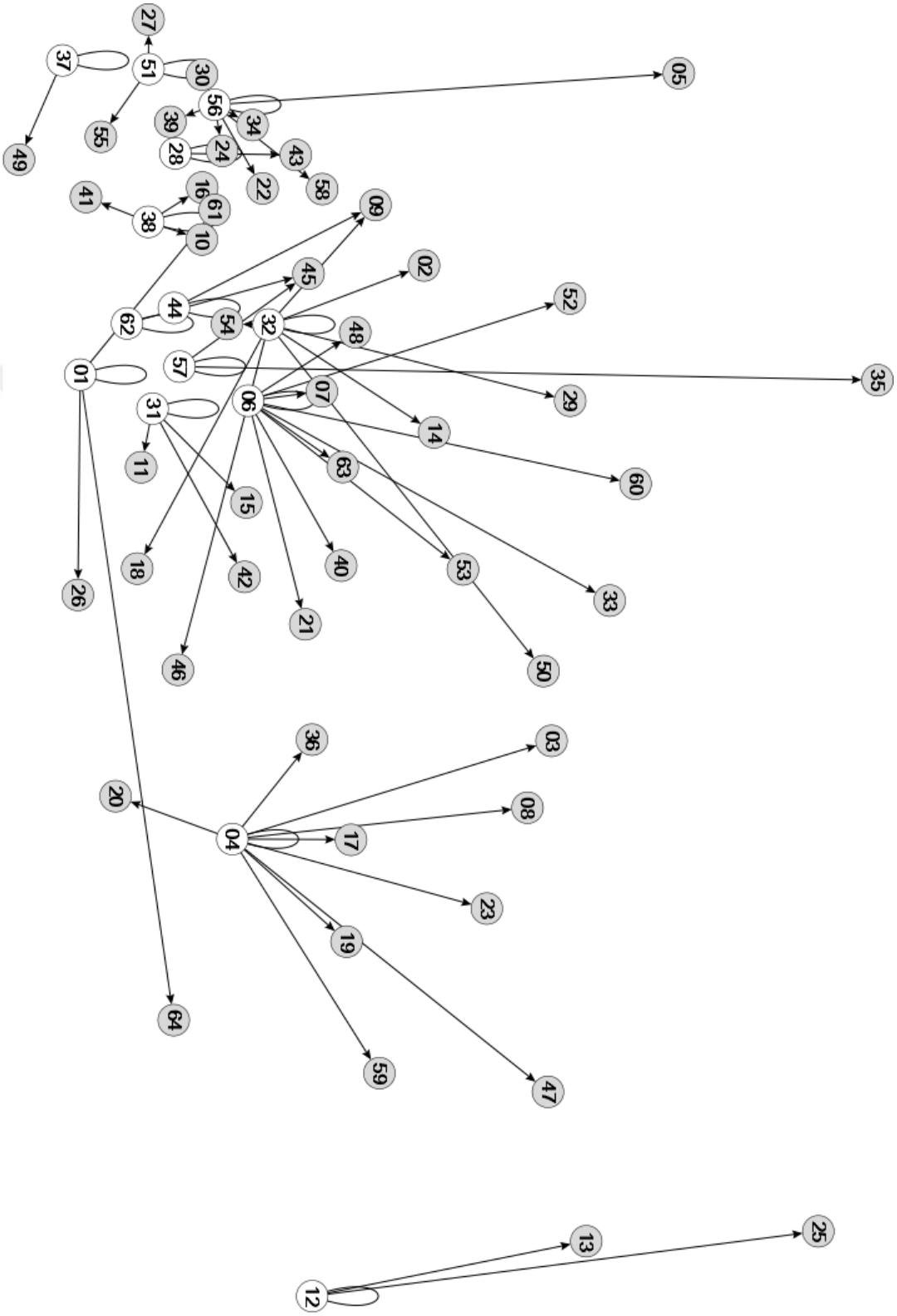
EK 4 Senaryo-3 Model Çözümü Şebeke Gösterimi



EK 5 Senaryo-4 Model Çözümü Şebeke Gösterimi



EK 6 Senaryo-5 Model Çözümü Şebeke Gösterimi



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı:	Merve KÖSE KÜÇÜK
Doğum Tarihi ve Yeri:	Bursa – 05.08.1991
Eğitim Durumu:	
Lise:	Hürriyet Anadolu Lisesi (2005-2009)
Lisans:	Uludağ Üniversitesi - Endüstri Mühendisliği (2009-2013)
Yüksek Lisans:	Uludağ Üniversitesi - Endüstri Mühendisliği (2013-2016)
Çalıştığı Kurum:	Uludağ Üniversitesi - Endüstri Mühendisliği
İletişim:	mervekose@uludag.edu.tr
Yayınlar:	**Cavdur, F., Kose, M. 2016.** A Fuzzy Logic and Binary-Goal Programming-Based Approach for Solving the Exam Timetabling Problem to Create a Balanced-Exam Schedule. International Journal of Fuzzy Systems, 18(1): 119-129. **Kose-Kucuk, M., Cavdur, F., Sebatli, A. 2016.** A Two-Phase Binary-Goal Programming Based Approach for Optimal Project-Team Formation. International Engineering and Technology Research Congress (IETRC-16), 2-3 June, Antalya, Turkey. **Kose-Kucuk, M., Cavdur, F. 2016.** A Fuzzy Logic and Binary-Goal Programming Based Approach for Solving the Exam Timetabling Problem. International Engineering and Technology Research Congress (IETRC-16), 2-3 June, Antalya, Turkey. **Köse-Küçük, M., Lök, B., Aksoy, A., Atılgan, B., Özdemir, Ş. 2016.** Bir Otomotiv Yan Sanayi İşletmesinde Yurtdışı Müşterileri ile Bütünleşik Çekme Sistemi

Uygulaması. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 36.Ulusal Kongresi, 13-15- Temmuz, İzmir, Türkiye.