

HAVA HARP OKULU
HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ

**AFET TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE STOKASTİK, ÇOK PERİYOTLU,
ÇOK-MODLU, ÇOK MALZEMELİ, İKİ-SEVİYELİ YARDIM MALZEMESİ
DAĞITIM MODELİ**

DOKTORA TEZİ

Çağlar Utku GÜLER

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanlığı

Endüstri Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2016



**HAVA H ARP OKULU
HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ
ENSTİTÜSÜ**



**AFET TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE STOKASTİK, ÇOK PERİYOTLU,
ÇOK-MODLU, ÇOK MALZEMELİ, İKİ-SEVİYELİ YARDIM MALZEMESİ
DAĞITIM MODELİ**

DOKTORA TEZİ

**Çağlar Utku GÜLER
(310201)**

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanlığı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr.Hv.Müh.Alb.Murat ERMİŞ

ŞUBAT 2016

Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsünün 310201 numaralı Doktora Öğrencisi **Çağlar Utku GÜLER**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra **Yrd.Doç.Dr.Hv.Müh.Alb.Murat ERMiŞ** danışmanlığında hazırladığı “**AFET TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE STOKASTİK, ÇOK PERİYOTLU, ÇOK-MODLU, ÇOK MALZEMELİ, İKİ-SEVİYELİ YARDIM MALZEMESİ DAĞITIM MODELİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd.Doç.Dr.Hv.Müh.Alb.Murat ERMiŞ**
Hava Harp Okulu

Jüri Üyeleri : **Yrd.Doç.Dr.Tufan DEMİREL**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr.Hv.Müh.Alb.Murat ERMiŞ
Hava Harp Okulu

Yrd.Doç.Dr.S.Kerem AYTULUN
Beykent Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr.Muzaffer AKAT
Özyeğin Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr.Hv.Müh.Bnb.Sezgin KILIÇ
Hava Harp Okulu

Teslim Tarihi : **08 Ocak 2016**
Savunma Tarihi : **26 Şubat 2016**



Bu tez çalışmasında belirtilen görüş ve yorumlar yazara aittir. Türk Silahlı Kuvvetleri'nin ya da diğer kamu kuruluşlarının görüşlerini yansıtmaz. Ayrıca bu tez çalışması bilimsel ahlak ve etik değerlere uygun olarak yazılmış olup, yararlanılan tüm eserler kaynaklarda gösterilmiştir.

Şubat 2016

Çağlar Utku GÜLER





Gerçek seven ve sevdiklerime,





ÖNSÖZ

1922 yılında Bursa’da öğretmenlere seslenirken “*Ülkemizin en ileri, en hoş, en güzel yerlerini üç buçuk sene kirli ayaklarıyla çiğneyen düşmanı yenen başarının gizemi nerededir bilir misiniz? Orduların yönetiminde bilim ve fen esaslarını yol gösterici almaktır*” diyen Gazi Mustafa Kemal Atatürk’ün sözünü takip ederek başladığım doktora serüvenim şükürler olsun ki nihayetine erdi. Bu serüvende, engin tecrübesi, bilgisi, öğreticiliği ve desteği ile bana yol gösteren sevgili tez danışmanım Yrd.Doç.Dr.Hv.Müh.Alb. Murat Ermiş’e sonsuz teşekkür ederim. Afet yönetimi dağıtım ve ulaştırma planlamasında iki seviyeli stokastik programlama kullanımı üzerine yaptığımız çalışma kapsamında ürettiğimiz modelin gerçek hayat şartlarına uygulanabilirlik olasılığını artırabilmek için T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesinden de destek aldık. Değerli yardımlarından dolayı bu kurumlara da teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, tez ilerleme toplantıları dahil ihtiyacım olduğu her anda değerli görüş ve tavsiyelerini esirgemeyen Yrd.Doç.Dr.(E)Hv.Müh.Alb. S.Kerem Aytulun ve Yrd.Doç.Dr.Hv.Müh.Bnb. Sezgin Kılıç’a da hem ağabeyliklerinden, hem de hocalıklarından dolayı minnettarım.

Doktora ile beraber, daha önce pek de uzak olmadığımı düşündüğüm, ancak eğitime başladığım anda yıldızlar kadar uzakta olduğumu idrak ettiğim bilim dünyasına adım atmış olmanın yanı sıra, hayatımın geri kalanında unutamayacağım dostlar da edindim. Tam zamanlı doktora ve kader arkadaşım Funda Seçkin ablam, aynı dönemde okuduğumuz Ali Nadi Ünal abim, hem kardeş hem devre arkadaşlarım Mehmet Serhan Yıldız ve Mehmet Bayram, uyumlu ev ve oda arkadaşım, devrem Saner Saygın ve yardımlarını benden esirgemeyen can abim Ömer Özkan. Yıllar sonra hatırlanacak anılar kaldı sizlerden... Sevgili annem Suna Güler, kahraman babam Ferhat Güler, canım kardeşim Hande Güler, melek yeğenlerim Dilara ve Yaren’in destekleri ve zor zamanlarımda beni yalnız bırakmamaları, ikinci ailem Selma ve Kamuran Derya’nın şefkati, kuzenlerim Yunus Emre ve Hazel Ebru Derya’nın kardeşten öte kardeşlikleri, son olarak da sohbetleri ve her zaman yanımda oluşları ile destek veren kardeşlerim Hacı Temur ve Derya Karakoç... Sağolun, varolun...

Son olarak, doğumdan kısa bir süre sonra başladığım eğitim sürecinde oğluma tek başına hem annelik, hem de babalık yapan, evden uzak olduğum süre boyunca bir kez bile şikâyet etmeyen sevgili eşim Zerrin ve babasına sevgisini hiç eksik etmeyen kuzum Mehmet Emin’e teşekkür etmek istiyorum. Kayınvalidem Hamdiye, kayınpederim İlyas Demirtaş ve kayınbiraderim Ersin ve ailesinin desteklerini de unutmam mümkün değil. Allah hepinizden razı olsun.

Şubat 2016

Çağlar Utku GÜLER



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Tezin Kapsamı.....	1
1.3 Problemin Tanımı.....	1
1.4 Hipotez	2
2. AFET YÖNETİMİNDE ULAŞTIRMA VE DAĞITIM PLANLAMASI	5
2.1 Giriş.....	5
2.2 İnsani Yardım Tedarik Zincirlerinde Afet Sonrası Aşamanın Önemi	7
2.3 Seçici Literatür Taraması: Bu Zamana Kadar Ne Yapıldı?	11
2.4 Devam Eden Çalışmalar	21
2.5 Ana Bulgular ve Eksiklikler	22
2.6 Afet Sonrası İnsani Yardım Tedarik Zinciri Modelleri İçin Uygun Amaç Fonksiyonu	24
2.7 Sonuçlar ve Gelecekteki Araştırmalar.....	26
3. AFET YÖNETİMİNDE STOKASTİK PROGRAMLAMA	35
3.1 Afet Yönetiminde İki Seviyeli Stokastik Programlama	35
3.2 Deterministik Eşlenikli Stokastik Programlama Modelinin Geliştirilmesi....	36
3.3 Değiştirilmiş Deterministik Eşlenikli İki Seviyeli Stokastik Programlama Modelinin Stokastik Formdan Farkları	43
3.4 Modelin Geçerlenmesi	45
3.5 Modele Hizmet Seviyesi Kısıtı Uygulanması	51
3.6 Çok Periyotluluğun Modele Katılması.....	58
3.6.1 Arz/talebin sabit ve arzın talepten eşit veya küçük olma durumu	59
3.6.2 Arz/talebin sabit ve arzın talepten eşit veya büyük olma durumu	61

3.6.3	Arz/talebin rassal ve arzın talepten eşit veya küçük olma durumu	62
3.6.4	Çok periyotlu değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli	65
3.6.5	Çok periyotlu değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli sayısal uygulaması	73
3.7	Dinamik Enkaz Temizleme Yaklaşımı.....	88
3.7.1	Dinamik enkaz temizleme yaklaşımı ile çok periyotlu değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli sayısal uygulaması	89
4.	UYGULAMA VE ANALİZ	101
4.1	Çalışmanın Uygulama Alanı	101
4.2	Uygulama Verisi: İstanbul Afet Planlama Veri Setinin Üretilmesi	101
4.3	Modelin GAMS ile Kodlanması.....	105
4.4	Çok Periyotlu Değiştirilmiş Deterministik Eşlenikli İki Seviyeli Stokastik Programlama Modeli ile İstanbul Veri Seti Uygulaması	105
4.5	Analiz ve Değerlendirme.....	112
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	115
5.1	Sonuç	115
5.2	Bulgular ve Tartışma	117
5.3	Gelecek Çalışma Alanları.....	121
KAYNAKLAR.....		123
EKLER.....		135
ÖZGEÇMİŞ.....		137

KISALTMALAR

AFAD	: T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ALAN	: American Logistics Aid Network (Amerikan Lojistik Yardım Ağı)
DDEİSSPM	: Değiştirilmiş Deterministik Eşlenikli İki Seviyeli Stokastik Programlama Modeli
EEV	: Expected of Expected Value (Beklenen Değerin Bekleneni)
EVPI	: Expected Value of Perfect Information (Mükemmel Bilginin Beklenen Değeri)
FEMA	: Federal Emergency Management Agency (Amerikan Federal Acil Durum Yönetim Kurumu)
FSTC	: First Stage Transportation Costs (İlk Aşama Ulaştırma Maliyetleri)
HSC	: Humanitarian Supply Chain (İnsani Yardım Tedarik Zinciri)
OC	: Original Costs (Orijinal Maliyetler)
SLC	: Service Level Costs (Hizmet Seviyesi Maliyetleri)
SSTC	: Second Stage Transportation Costs (İkinci Aşama Ulaştırma Maliyetleri)
TC	: Transportation Costs (Ulaştırma Maliyetleri)
TSK	: Türk Silahlı Kuvvetleri
UD	: Unsatisfied Demand (Karşılanamayan Talep)
VSS	: Value of Stochastic Solution (Stokastik Çözümün Değeri)
WS	: Wait-and-See (Bekle ve Gör)
YA	: Yöneylem Araştırması
YB	: Yönetim Bilimi



SEMBOL LİSTESİ

Ω_1	: İlk Aşama Rassal Miktarlarının Örneklem Uzayı
Ω_2	: İkinci Aşama Rassal Miktarlarının Örneklem Uzayı
ε	: Beklenen Maliyet veya Miktar; Hizmet Seviyesi Farkı Eşiği, Çok Küçük Ancak Sıfırdan Farklı





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	: Yardım malzemesi ve acil durum lojistiği üzerine yöneylem araştırması/yönetim bilimi incelemeleri.	13
Çizelge 2.2	: Yöneylem araştırması/yönetim bilimi konularında afet kurtarma safhası için araştırma soruları.	16
Çizelge 2.3	: İnsani yardım tedarik zinciri malzeme dağıtım ve rotalama modellerinin amaç fonksiyonu, dönem, veri tipi ve seviyelerine göre sınıflandırması.	30
Çizelge 2.4	: Afet yardım malzemesi rotalama ve dağıtım literatüründe amaç fonksiyonları.	32
Çizelge 2.5	: İnsani yardım tedarik zinciri afet yardım malzemesi lojistik araştırmalarının mevcut durumu.	32
Çizelge 3.1	: Değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli deterministik ve rassal veri tanımları.	38
Çizelge 3.2	: Değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli karar değişkeni tanımları.	38
Çizelge 3.3	: Deprem senaryoları için olasılıklar.	46
Çizelge 3.4	: Etki katsayısı ve koşullu olasılık durumu.	46
Çizelge 3.5	: Değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli çözümleri.	49
Çizelge 3.6	: Değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli doğrulama sonuçları.	50
Çizelge 3.7	: Hizmet seviyesi uygulaması için ilave notasyon ve tanımlar.	53
Çizelge 3.8	: Pragmatik hizmet seviyesi değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli sonuçları (x1.000).	54
Çizelge 3.9	: Eşitlikçi hizmet seviyesi değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli sonuçları (x1.000).	55
Çizelge 3.10	: Deprem senaryolarının karşılaştırma özeti (x10.000).	56
Çizelge 3.11	: Talep noktalarında gerçekleşen hizmet seviyeleri.	57
Çizelge 3.12	: Kurgusal arz ve talep gerçeklemeleri için Monte-Carlo simülasyon sonuçları.	63
Çizelge 3.13	: Afetten 99 gün sonrasında seçilmiş yardım malzemeleri için 2011 Van depremi arz ve talep gerçeklemeleri.	63
Çizelge 3.14	: Çok periyotlu değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli deterministik ve rassal veri tanımları.	67
Çizelge 3.15	: Çok periyotlu değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli karar değişkeni tanımları.	68
Çizelge 3.16	: Deprem senaryosu olasılıkları.	74
Çizelge 3.17	: Etki senaryosu olasılıkları ve çarpanlar.	74
Çizelge 3.18	: Hesaplama performansı.	75

Çizelge 3.19 : Dinamik enkaz temizleme modeli deterministik veri tanımlamaları..	89
Çizelge 3.20 : Dinamik enkaz temizleme modeli hesaplama performansı.	90
Çizelge 4.1 : Düğüm noktaları arz/talep miktarı, ulaştırma modları ve adresleri..	107



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: İnsani yardım tedarik zinciri acil afet sonrası dönemi.....	8
Şekil 2.2	: İnsani yardım tedarik zinciri uzun vadeli afet sonrası dönemi.....	9
Şekil 2.3	: Yardım malzemesi ve acil durum lojistiği üzerine yöneylem araştırması/yönetim bilimi incelemeleri.....	12
Şekil 3.1	: Afet yönetimi dağıtım, ulaştırma ve tahsis planlamasında iki seviyeli stokastik programlama yapısı (Barbarosoğlu ve Arda, 2004).....	35
Şekil 3.2	: Avcılar bölgesi ağı gösterimi (Barbarosoğlu ve Arda, 2004).....	45
Şekil 3.3	: Değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli bekle ve gör (WS) sonuçları.....	48
Şekil 3.4	: Hizmet seviyesi uygulama hiyerarşisi (Aardal, Jonsson ve Jonsson, 1989).....	51
Şekil 3.5	: Etki senaryolarına göre maliyetlerin yüzde dağılımı: (a) Pragmatik, (b) Eşitlikçi.....	56
Şekil 3.6	: Etki senaryolarına göre maliyetlerin dağılımı (x10.000): (a) Pragmatik, (b) Eşitlikçi.....	56
Şekil 3.7	: Talep noktalarında gerçekleşen hizmet seviyeleri: (a) Pragmatik, (b) Eşitlikçi.....	57
Şekil 3.8	: Müşteri hizmet seviyesi ve karşılanamayan talebin sabit arz ve talep, $arz \leq$ talep durumunda davranışı: (a) Sayısal. (b) Grafikselsel.....	60
Şekil 3.9	: Müşteri hizmet seviyesi ve karşılanamayan talebin azalan arz (%10) ve sabit talep, $arz \leq$ talep durumunda davranışı: (a) Sayısal. (b) Grafikselsel.....	60
Şekil 3.10	: Müşteri hizmet seviyesi ve elde kalan envanterin sabit arz ve talep, $arz \geq$ talep durumunda davranışı: (a) Sayısal. (b) Grafikselsel.....	61
Şekil 3.11	: Müşteri hizmet seviyesi ve elde kalan envanterin sabit arz, azalan talep (%10), $arz \geq$ talep durumunda davranışı: (a) Sayısal. (b) Grafikselsel.....	61
Şekil 3.12	: 2011 Van depremine ait arz/talep değerlerinin kısmi 99 günlük zamana bağlı arz/talep değişimleri ve doğrusal denklemleri: (a) Grafikselsel. (b) Sayısal.....	64
Şekil 3.13	: Talep faktörünün değişimi halinde karşılanamayan talep ve elde kalan envanterin değişimi.....	64
Şekil 3.14	: Talep faktörünün değişimi durumunda hizmet seviyesinin değişimi.....	64
Şekil 3.15	: Periyotlara göre beklenen arz durumları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.....	76
Şekil 3.16	: Periyotlara göre beklenen talep durumları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.....	76
Şekil 3.17	: Periyotlara göre beklenen elde kalan envanter durumları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.....	77

Şekil 3.18	: Periyotlara göre beklenen karşılanamayan talep durumları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.	77
Şekil 3.19	: Periyotlara göre gerçekleşen hizmet seviyeleri: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.	78
Şekil 3.20	: Karşılanamayan talebin periyot bazında değişimi – eşitlikçi yaklaşım.	79
Şekil 3.21	: Karşılanamayan talebin periyot bazında değişimi – pragmatik yaklaşım.	79
Şekil 3.22	: Periyot bazında ilk seviye taşıma maliyetleri – eşitlikçi yaklaşım.	80
Şekil 3.23	: Periyot bazında ilk seviye taşıma maliyetleri – pragmatik yaklaşım.	80
Şekil 3.24	: Periyot bazında ikinci aşama taşıma maliyetleri – eşitlikçi yaklaşım.	81
Şekil 3.25	: Periyot bazında ikinci aşama taşıma maliyetleri – pragmatik yaklaşım.	81
Şekil 3.26	: Periyot bazında hizmet seviyesi maliyetleri – eşitlikçi yaklaşım.	82
Şekil 3.27	: Periyot bazında hizmet seviyesi maliyetleri – pragmatik yaklaşım.	82
Şekil 3.28	: Periyot bazında orijinal maliyetler – eşitlikçi yaklaşım.	83
Şekil 3.29	: Periyot bazında orijinal maliyetler – pragmatik yaklaşım.	83
Şekil 3.30	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında beklenen arz değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.	91
Şekil 3.31	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında beklenen talep değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.	92
Şekil 3.32	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında beklenen elde kalan miktar değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.	92
Şekil 3.33	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında beklenen kısa kalma miktarı değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.	93
Şekil 3.34	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında hizmet seviyesi değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.	93
Şekil 3.35	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında karşılanamayan talebin değişimi – eşitlikçi yaklaşım.	94
Şekil 3.36	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında karşılanamayan talebin değişimi – pragmatik yaklaşım.	94
Şekil 3.37	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında ilk seviye taşıma maliyetlerinin değişimi – eşitlikçi yaklaşım.	95
Şekil 3.38	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında ilk seviye taşıma maliyetlerinin değişimi – pragmatik yaklaşım.	95
Şekil 3.39	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında ikinci seviye taşıma maliyetlerinin değişimi – eşitlikçi yaklaşım.	96
Şekil 3.40	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında ikinci seviye taşıma maliyetlerinin değişimi – pragmatik yaklaşım.	96
Şekil 3.41	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında hizmet seviyesi maliyetlerinin değişimi – eşitlikçi yaklaşım.	97
Şekil 3.42	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında hizmet seviyesi maliyetlerinin değişimi – pragmatik yaklaşım.	97
Şekil 3.43	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında orijinal maliyetlerinin değişimi – eşitlikçi yaklaşım.	98
Şekil 3.44	: Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında orijinal maliyetlerinin değişimi – pragmatik yaklaşım.	98
Şekil 4.1	: Avcılar kurgusal veri seti ve İstanbul veri seti karşılaştırması.	102
Şekil 4.2	: Google Maps API mesafe ölçüm programı ekran görüntüsü.	104
Şekil 4.3	: 25 düğümlü İstanbul veri seti harita görünümü.	106

Şekil 4.4	: Uygulama veri seti beklenen arz miktarları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.....	108
Şekil 4.5	: Uygulama veri seti beklenen talep miktarları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.....	108
Şekil 4.6	: Uygulama veri seti beklenen envanter fazlası miktarları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.	109
Şekil 4.7	: Uygulama veri seti beklenen kısa kalma miktarları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.....	109
Şekil 4.8	: Uygulama veri seti hizmet seviyesi değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.....	110
Şekil 4.9	: Uygulama veri seti ilk seviye ulaştırma maliyetleri değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.....	110
Şekil 4.10	: Uygulama veri seti ikinci seviye ulaştırma maliyetleri değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.....	111
Şekil 4.11	: Uygulama veri seti hizmet seviyesi maliyetleri değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.	111
Şekil 4.12	: Uygulama veri seti toplam maliyet değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.....	111



AFET TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE STOKASTİK, ÇOK PERİYOTLU, ÇOK-MODLU, ÇOK MALZEMELİ, İKİ-SEVİYELİ YARDIM MALZEMESİ DAĞITIM MODELİ

ÖZET

Yapılan çalışma ile afet tedarik zinciri yönetimi yardım malzemesi dağıtım problemlerinde daha önce çalışılmamış alanlar üzerinde yoğunlaşmış, bu kapsamda Gülay Barbarosoğlu ve Yasemin Arda'nın 2004 yılında yayımlamış oldukları “afet müdahalesinde iki seviyeli, senaryoya dayalı, çoklu ulaştırma modlu, çoklu malzemeli, stokastik programlama minimum maliyet ağ akış ulaştırma modeli (SP-MCM)” temel alınmıştır. SP-MCM'den yola çıkılarak geliştirilen model öncelikle deterministik eşleniği oluşturulmak suretiyle çözülmüş, yeni çözüm modeli geçmiş stokastik literatüre uygun olarak valide edilmiş, valide edilen modele sırasıyla eşitlikçi ve pragmatik bakış açısıyla hizmet seviyesi yaklaşımı, çok periyotluluk ve dinamik enkaz temizleme varsayımları uygulanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Son olarak tez araştırması kapsamında, gerçek verilerden faydalanılarak İstanbul afet yönetimi dağıtım ağı verileri üretilmiş ve üretilen veri kullanılarak model çözümü tekrarlanmış, gerçek hayata uygulanabilir çıkarımlar irdelenmiştir.

Tez araştırması, afet riski yüksek olan bölgelerde meydana gelebilecek bir afete yönelik olumsuz etkilerin azaltılması, seçilen problem ve probleme katılan kısıtlar ile gerçek hayat şartları altında yardım malzemesi dağıtım karar ortamına en yakın benzetimin yapılması, geleneksel amaç fonksiyonunda değişiklik yapılarak, insan hayatının lojistik maliyetlerden daha ön planda tutulduğu bir model sunulması, hizmet seviyesi kısıtının modele katılarak modelin eşitlikçi ve pragmatik olmak üzere iki farklı yaklaşımla incelenmesi, modele, zaman değişkeninin katılarak geliştirilmesi suretiyle çok periyotluluğun sağlanması ve bu alanda ilk çalışmanın yapılması, böylelikle literatürde açık olan ve daha önce çalışma yapılmamış birden fazla alana ilk katkıyı yapacak olması, belirsizliğin fazla olması nedeniyle daha az tercih edilen ve kısıtlı miktarda çalışma yapılan afet sonrası döneme yönelik araştırmalara katkıda bulunulacak olması, çoklu ulaştırma modlu ve çoklu malzeme çeşidinin modellenmesiyle, aynı zamanda afet durumu kara ve hava ulaştırma ağının birlikte kullanımının optimizasyonuna katkı sağlayacak olması yönünden önem arz etmektedir.

Algoritmanın geliştirilmesinde doğrusal optimizasyon probleminin çözülmesi maksadıyla GAMS programı ve CPLEX çözücüsünden faydalanılmıştır. Yöntemin aşamaları tez içeriğinde de detaylı açıklanmış olup, özetle literatür araştırması ve literatür taramasının derinleştirilmesi, problemin tanımlanması, varsayımların yapılması ve parametrelerin belirlenmesi, matematiksel modelin oluşturulması, modele uygun algoritmanın dizayn edilmesi ve kodlanması, modelin ve algoritmanın bilinen veri setleri ile geçerliliğinin sınanması ve ön sonuçların alınması, veri seti sonuçlarına göre modelin ve algoritmanın geliştirilmesi, veri setlerinin oluşturulması / veri toplanması, problemin çözümü ve sonuçların değerlendirilmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Araştırmanın sonucunda, iki seviyeli stokastik programlama kullanılarak deterministik eşlenikli bir afet yönetim ulaştırma ve dağıtım planlama modeli üretilmiş ve valide edilmiş, emsal çalışmalardan daha kısa sürede kesin çözüm sağlanmış, üretilen model sayesinde etki senaryolarının yanı sıra, deprem senaryolarının da tek seferde modele katılmasına imkân tanınmış, modele hizmet seviyesi, çok periyotluluk ve enkaz temizleme yaklaşımları katılarak, üretilen sonuçlarda gerçek hayata daha yakın çıkarımlar sağlanmış, ayrıca AFAD ve Kandilli Rasathanesinden elde edilen bilgiler doğrultusunda 159 düğümlük yeni bir dağıtım ağı veri seti üretilmiş ve yöneylem araştırması literatürüne kazandırılmıştır.



A TWO-STAGE STOCHASTIC, MULTI-PERIOD, MULTI-MODAL AND MULTI-COMMODITY MODEL FOR THE DISASTER-RELIEF SUPPLY CHAIN DISTRIBUTION AND PLANNING

SUMMARY

Before the study, we conduct a complementary review of recent post-disaster stage relief item logistics researches, trends and practical solutions on humanitarian supply chains' (HSC) post-disaster stage, focusing on gaps and future research directions. We first present a definition of HSC and its stages; emphasize its difference from a commercial supply chain; and continue with a presentation of a post-disaster HSC map. Then, based on an updating literature review and evaluation of ongoing studies, we conclude with main findings and gaps, and suggestions about future research directions. Our literature review serves as an update on previous literature reviews in humanitarian logistics. Also, our analysis shows that there are still considerable gaps in practical applications; in the incorporation of vulnerability and safety aspects of relief item distribution such as robbery and despoliation; in the effects of dynamic road availability updates; in multi-period, multi-level, and multi-objective relief item distribution; in the considerations of social costs; in the incorporation of human behavior; and in the needs of cross-services.

Along with this research, we focus on unattended fields of disaster-relief supply chain distribution problems' considerable gaps we define above. After examining the literature, we start by replicating the pioneering studies in this fields such as the one of Barbarosoğlu ve Arda (2004), which is named as "a two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response". Their proposed model is abbreviated as SP-MCM. We first present a deterministic equivalent solution approach to a single objective, single period, multi-modal, multi-commodity, two-stage stochastic programming, disaster-relief supply chain transportation and distribution problem minimizing the overall costs consisting of the expected first-stage and second stage (recourse) transportation and the service level costs. Since a disaster creates randomness in resources such as arc capacities and supply/demand amounts, a finite set of disaster location and impact scenarios have been considered to model this uncertainty and vulnerability in the distribution network. Transportation decisions under uncertainty have been optimized by determining the mode-commodity specific routing paths. The approach has been discussed and validated by established relations of stochastic programming value of stochastic solution (VSS) and expected value of perfect information (EVPI) derived from the new model, its wait-and-see, and expected value problem solutions.

We then improve our model by implementing service level applications such as egalitarian and pragmatic approaches. We deeply analyze and provide inferences upon this improvement. Following to that, we convert our model by applying multi-periodicity and analyze the effects of dynamic debris cleaning per period. Finally, we solve our model with the new 159-node distribution network data set of Istanbul region which we produced based on the information acquired from AFAD and

Kandilli Observatory. We obtain solutions and inferences close to the real-life conditions with the assumptions and improvements applied to our model.

Our research has importance on various aspects by diminishing negative effects of disasters on regions having high risk of disasters, by providing the most appropriate and close to real life estimations on disaster-relief item distribution problems by implementing the right constraints, by presenting more humanitarian model having service level parameters on the objective function, by having the first multi-period model and by contributing the time parameter to the problem and also by contributing to the literature selecting post-disaster stage which is rarely studied as it is more uncertain.

We develop the algorithm using the CPLEX solver of GAMS software to solve the linear optimization problem, and we prefer operations research problem solving approach. The steps of this approach is explained in details within the dissertation manuscript, however in summary, it includes the literature review, the problem definition, the determination of assumptions and required parameters, building the mathematical model, the design of the appropriate algorithm, the coding step, the validation with known data sets, obtaining preliminary results and the improvement of the model and the algorithm based on the preliminary results, the collection and the production of the data set to be used, solving the problem and finally the assessment of the results.

As a result of our research, we build a new deterministic equivalent disaster-relief item distribution and transportation planning model using two-stage stochastic programming approach, validate it, provide faster and exact solution compared with the similar studies in the existing literature. With the help of the new model, we contribute the effects of earthquake scenarios at once, instead of solving each scenario separately. We also provide a new contribution by assessing the service level, multi-periodicity and dynamic debris cleaning effects in the model. Therefore, we produce solutions close to the real-life conditions. Moreover, we create a 159-node distribution and transportation data set of the city of Istanbul based on the information acquired from AFAD and Kandilli Observatory. To build the data set, we use the open source mapping and distance measurement tools with the help of third party software we code. This data set generation study also makes another contribution to the operations research field, by both empowering the use of open-source libraries and by providing real life data for the future researches.

1. GİRİŞ

Bu bölümde sırasıyla tezin amacı ve kapsamı belirtilecek, takiben problemin tanımı yapılarak belirlenen hipotezler açıklanacaktır.

1.1 Tezin Amacı

Yapılacak olan çalışma ile afet tedarik zinciri yönetimi yardım malzemesi dağıtım ve ulaştırma problemlerinde daha önce çalışılmamış alanları üzerinde yoğunlaştırılması, bu kapsamda gerçek hayat problemlerine çözüm ışığı tutacak, uygulanabilir bir optimizasyon modelinin sunulması amaçlanmıştır.

1.2 Tezin Kapsamı

Üretilen modelin uygulama alanı her ne kadar afet yönetimi konu alanının kendisine özgü kısıtlarını ve gereksinimlerini içermeyi hedefliyor olsa da, genel anlamda tüm dağıtım ve ulaştırma problemlerinin çalışma sahasını kapsamaktadır. Ancak modelin kurgulanması ve örnek uygulamanın konu alanı olarak, afet sonrası dönemde ihtiyaç duyulan dağıtım ve ulaştırma planlama problemlerinin gereksinimlerinin gerçek hayata en yakın şekilde karşılanması hedeflenmiştir.

1.3 Problemin Tanımı

Afet yönetiminde, yardım malzemesi dağıtım, ulaştırma ve tahsis kararlarının doğru olarak verilmesi YA/YB sahasında ilgi çekici bir çalışma alanıdır. Özellikle, yokluğu halinde insan hayatını riske sokabilecek acil durum malzemesi ihtiyaçlarının (su, ilaç, çadır, vb.) zamanında, etkin, ihtiyaç duyulan miktarda ve en düşük maliyetle karşılanabilmesi afet ve sonuçları ile mücadelede önemli bir yapıtaşdır. Dağıtım, ulaştırma ve tahsis kararlarının tespiti için yapılan araştırmalarda, karara etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Arz ve talep miktarı, ulaştırma alternatifleri ve kolaylıkları, dağıtıma etki eden diğer dış faktörler, belirsizlik, dağıtım ve talep noktalarının yerleşimi bu parametrelerden birkaçı olarak sayılabilir.

Bu tez çalışmasında, tek amaçlı, çok malzemeli, çok ulaştırma modlu, çok periyotlu afet yardım ağı ortamında, yardım malzemesinin dağıtım, tahsis ve ulaştırma planlama kararlarının tespiti probleminin çözümü için iki seviyeli stokastik programlama yaklaşımı kullanan uygun, etkin ve deterministik eşlenikli minimum maliyet ağı akış modeli geliştirilmesi hedeflenmiştir. Özellikle Türkiye’de ekseriyetle tecrübe edilen deprem afet türü üzerinde yoğunlaşılacak problem tanımında, ilk seviye ve ikinci seviye kararlarının sınırlı sayıdaki deprem ve etki senaryolarından etkileneceği kabulü yapılmıştır.

Çalışmada afetler belirsiz, nadir ve yüksek etkili olaylar olarak kabul edilmekte ve belirsizlik etkilerini azaltmak için yollar aranmaktadır. Belirsizlik ile savaştan çift taraflı kör bir süreçte, rasgeleliği temsil etmek için senaryoya dayalı olasılık tahminleri üzerinde durulmaktadır. Bu olasılık senaryoları, sürekli olasılık dağılımları veya sonlu bir dizi olabilmektedir.

Barbarosoğlu ve Arda (2004) bileşenlerin rasgeleliği sebebiyle deprem sorunu için kademeli iki senaryo türü üzerinde durmaktadır: İlki deprem senaryoları (*ES*) olarak adlandırılan merkez üssü ve büyüklüğünün belirlenmesi, ikincisi ise oluşan depremin yarattığı etki senaryolarıdır (*IS*). Onlara göre bir depremin merkez üssü ve büyüklüğü hakkında doğru bilgiler, uzaktan sensörler, geleneksel ve Doppler radar ve uydu görüntüleri sistemleri gibi hızlı iletişim kanallarından alınan sinyallerin yardımı ile deprem öncesinde tespit edilebilir. Böylelikle, afet müdahale planlaması ve müdahalesi için daha önceden üretilen yeterli sayıda *ES* ve bunlara bağımlı *IS* ile belirsizlik azaltılabilir. Bu çalışmada da benzer bir yaklaşımla, deprem ve etki senaryolarının varlığı altında araştırma yapılacaktır.

Problem, deprem ve etki senaryolarında çalışan kaynaklara yönelik en etkin yönetim kararları için kısıtlı ve rassal arz, talep ve ark kapasitesi altında toplam minimum sistem maliyetinin ne olması gerektiğidir. Burada, sistem maliyetinin bileşenleri, ulaştırma maliyeti, ulaştırma modu aktarma maliyeti, karşılanamayan talep ve envanter elde tutma maliyetidir.

1.4 Hipotez

Ortaya konulan probleme yönelik olarak birden fazla hipotezin doğruluğu araştırılmaktadır. Bu hipotezler aşağıda sunulmuştur:

1. Deprem ve etki senaryoları model içerisinde tek seferde ele alınabilir.
2. Kaynakların talep noktalarına tahsis ve ulaştırma kararları başlangıç şartlarına göre değişkenlik gösterebilir.
3. Problemin tek periyot yerine çok periyotlu olarak çözülmesi, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesini sağlar.





2. AFET YÖNETİMİNDE ULAŞTIRMA VE DAĞITIM PLANLAMASI

2.1 Giriş

Filipinleri vuran son doğal afet vakası olan Haiyan Tayfunu, insani yardım konusunda dünyanın hazırlık durumu hakkında bizlere yakın zaman bilgisi vermektedir. Filipinler'deki Médecins Sans Frontières'in (Sınırları Olmayan Doktorlar) acil durum koordinatörü Caroline Séguin, afet bölgesine ulaştıktan hemen sonra lojistik zorlukların ne kadar belirgin bir şekilde ön plana çıktığından bahsetmektedir. Gözlemlerinin bir özetini sunacak olursak, yardım çabalarını engelleyen kötü hava koşulları ve enkazdan dolayı oluşan yol tıkanıklığı ile başlanabilir. İnsanların tahliyesinde afet bölgesinde yaralananların yanı sıra Filipin ordusuna öncelik verildiğinden, uçaktaki malzemelerin ve personelin oluşturduğu sıkışıklık problemleri; ticari ve özel uçuşlar başlar başlamaz yardım akışının tıkanıklığı; etkilenmiş bölgelere ulaşmak için 30-40 saati bulan su ulaşımı dâhil alternatif ulaşım yollarının kullanımı; gelen büyük kargo miktarını tahliye ve depolama için altyapı ihtiyacı; yakıt problemi, cankurtaran botu, vb. aracılığıyla çevrelerden getirilen yakıt tedarik çabası; sterilize etmeden ameliyat ve sezaryen yapan hastaneler; antibiyotik başta olmak üzere ilaç eksikliği; hijyenik olmayan koşullar ve temiz su ulaşımı eksikliği yüzünden artmakta olan ishal; sağlık hizmeti eksikliği ve sadece bir kaç kilometre uzak yerlerde hemen hemen hiç yardım yok iken bir bölgede yoğunlaşmış yardım çalışmaları; hayatta kalmak için sığınak, su ya da yemeği olmayan, yaklaşık 5.800 evsiz aile; psikolojik destek servislerinin gerekliliği ve benzeri birçok problem sahası sayılabilmektedir.

Diğer yandan, yardım işinde aslan payını alan Filipin halkının büyüyen ama yönetilemeyen gönüllü servisi de başka bir problem sahasıdır (Séguin, 2013).

İlave belirsizlik ortamı ve dolaylı olarak, iletişim ve koordinasyon eksikliği gibi durumların sebep olduğu kısıtlı kaynakların etkili ve zamanında kullanımının zorluğu, ticari lojistik planlamasını, acil lojistik planlamadan ayırt eden önemli unsurlardır (Balcık ve diğ., 2010). Müşterek yardım koordinatörü Kim Ketterhagen,

afet lojistiğinin görev gücü, güvenilirlik, rehabilitasyon kısmı ve kaynak birimlerinin koordinasyonu gibi önemli unsurları olduğunu öne sürer (Ketterhagen, 2012). Dağıtımın etkili ve zamanında yapılması oldukça zor olduğu gibi, kısıtlı kaynakların doğru kullanımı çoğu zaman olayın şiddetinden etkilenmektedir (Balcık ve Beamon, 2008; J.-B. Sheu, 2007b). Fakat teknoloji ilerledikçe, özellikle pratik akademik araştırmalarla, eksikliklerin bulunarak uygun şekilde tamamlanmasıyla daha güvenli sonuçlar elde edilmesi beklenmektedir. Kontrol edilemeyen faktörlerden biri, afetlerin insan kaynaklı ya da doğal olma olasılığıdır. Hiç bir toplum, afet riskine bağımsız değildir (Afshar ve Haghani, 2012). Bununla birlikte, afetin üç aşaması olan afet öncesi aşama, müdahale aşaması ve afet sonrası aşama için yeterli önlemler alınarak belli bir ölçüde negatif etkilerin azaltılma şansına sahip olduğu söylenebilir.

Son zamanlarda afet üzerine araştırma alanlarına yönelik ilgi seviyesinde bir artış bulunmaktadır. Afet aşamalarını kontrol etmek için kabul gören yollardan biri de insani eylemler, insani lojistik ya da afet yönetimi sahasındaki Yönetim Bilimi (YB) / Yöneylem Araştırması (YA) uygulamalarını kullanmaktır. Özellikle, afet yönetimi üzerindeki özel sektör lojistik problemleri YA ve YB sahasında kapsamlı bir şekilde araştırılmaktadır (Altay, 2008).

‘Herhangi bir insani acil durumda en ölümcül katil, dehidrasyon, kızamık, kötü beslenme ya da hava değildir, kötü yönetimdir. . .’

John Telford, Eski Acil Durum Hazırlık ve Müdahale Birimi,
Birleşmiş Milletler Mülteciler Yüksek Temsilcisi (Altay, 2008)

Bu alanda birçok araştırma sahası fırsatı bulunmaktadır, ancak insani lojistik ağının tasarımında oldukça karmaşık zorluklarla karşılaşılabilir (Biederman, 2012). Afetlerin belirsiz, düşük frekanslı ve etkisi büyük olaylar olması beklenir, ancak bazı bölgelerde öngörülebilir izler bırakan, yüksek frekanslı afetler olabilmektedir. Örneğin, Türkiye 1900-2013 döneminde her yıl 5,0 şiddeti üzerinde bir deprem deneyimi yaşamıştır (Disaster&Emergency Management Presidency (AFAD), 2013a). 1999-2005 döneminde Vietnam ve Filipinlerde her yıl ciddi sel olayları, 2005’te Orta Amerika ve Karayipler’de otuzdan fazla kasırga, her yıl Birleşik Devletler’de 1.000’den fazla tornado olayı görülmektedir (Altay, 2008). Bu olaylar dizisi, afetlerin belirsiz ancak bir seviyeye kadar tahmin edilebilir olduğunu

göstermektedir. Tedarik zincirinde iyi bir hazırlık düşük maliyete, kaynakların dağıtım noktalarının yerinin doğru saptanmasına, tedarik zinciri yönetimi ve fonksiyonel paydaşları arasında bilgi akışının kolaylık seviyesine bağlıdır. Örnek olarak dağıtım noktalarının yer tespiti ile araç rotalama planlamasının önemi eşit ağırlığa sahip olabilir. Huang, Smilowitz ve Balcik (2012), yardım malzemesi dağıtımı araç rotalama ve kaynak tahsisine yönelik optimizasyon modellerini etkinlik, eşitlik ve fayda yönünden karşılaştırmış, hangisinin problem çözme doğasında daha faydalı olabileceğine yönelik yaklaşımlar sunmuşlardır. Zhan, Liu ve Ye (2013) ise, benzer bir çalışma yaparak, çok tedarikçili, etkilenen birden fazla bölge, çok malzemeli, çok araçlı, çok amaçlı yardım malzemesi tahsis problemi üzerinde yardım lojistiğine yönelik çıkarımlarda bulunmuşlardır. Diğer taraftan Wilson, Hawe, Coates ve Crouch (2014) daha farklı bir öneri ile öne çıkmakta ve tahmin temelli optimizasyon çalışması yapılacak ise, bilginin birlikte paylaşılabileceği ve öğrenilebileceğinden hareketle araç rotalama kararlarının afetzedelerin kendilerine bırakılmasının daha faydalı olabileceğini savunmaktadır.

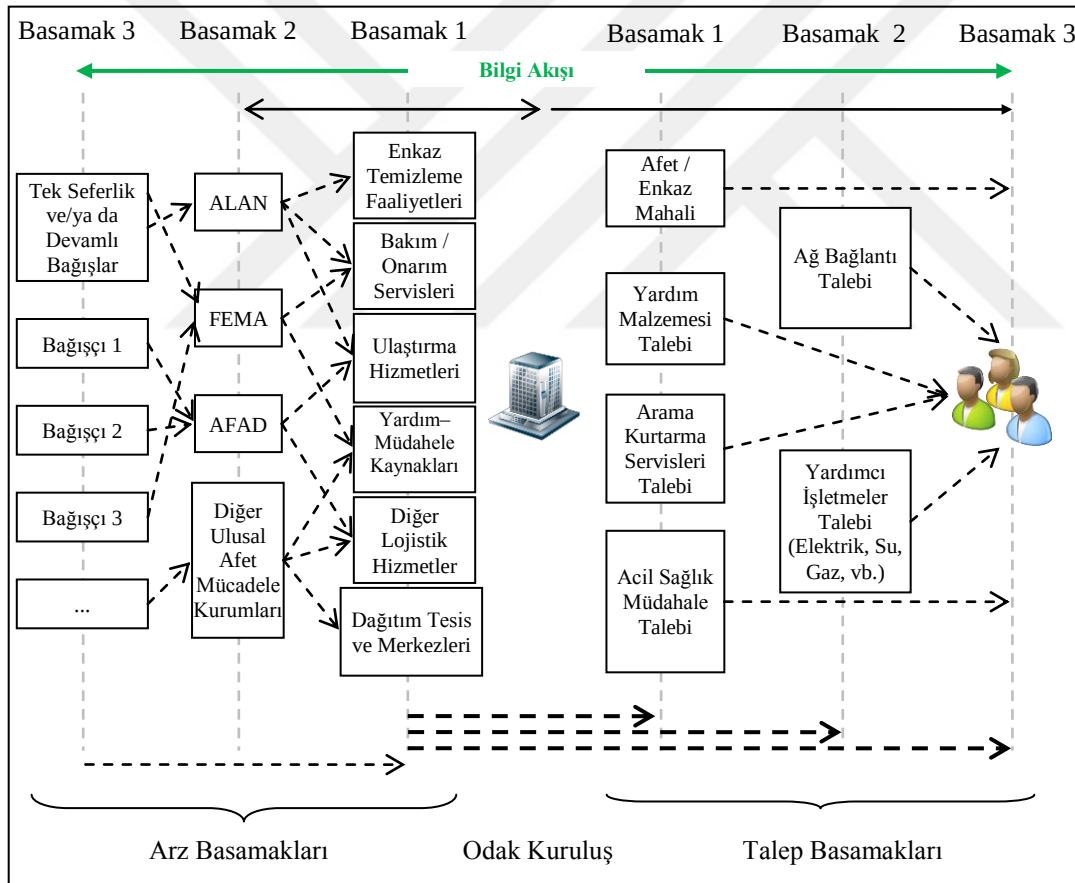
Eğer problem sahaları kategorize edilecek olunursa; para ve bütçe ihtiyacı, ihtiyacın tespiti ve planlaması, tedarik, bilgi yönetimi, koordinasyon meseleleri, ulaşım altyapısı, ağ tasarımı ve yardım standardizasyonu tedarik zinciri yönetimi altında toplanabilirken; kaynak tahsisi, ulaştırma planlaması, çizelgeleme ve kısıt altında rotalama, yönetsel ve fonksiyonel meseleler altına toplanabilir.

2.2 İnsani Yardım Tedarik Zincirlerinde Afet Sonrası Aşamanın Önemi

Afet öncesi aşamada hazırlık, müdahale aşamasında reaksiyon etkinliği, afet sonrası aşamada ise kurtarma ve yenilenme çalışmaları ile ilgilenilmektedir. Bu aşamalar acil durum yönetiminin devamlılığını sağlar. Acil durum lojistiği planlama, yönetme ve etkilenen insanlara yardım sağlamak amacıyla kaynakların akışını kontrol etme süreci olarak tanımlanabilir (J.-B. Sheu, 2007b). Bu süreçler arasında uzman planlaması büyük bir öneme sahiptir. Acil durumlarda, bazı entegre lojistik firmaları ve yardım kuruluşları yardım malzemesi dağıtım, ulaşım ve planlama aşamasında zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu kuruluşlar tedarik zincirlerinde karışık bir lojistik yapıya sahiptirler. Amerikan Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (FEMA) bunlardan biridir ve her biri farklı sorumlulukta olan yedi ana bileşene sahiptir. FEMA'nın yapısının betimlendiği temsili şema için okuyucu Afshar ve Haghani'nin

araştırmasına başvurabilir (Afshar ve Haghani, 2012). Başka bir örnek olarak, Türkiye Cumhuriyeti yardım kuruluşu olan AFAD verilebilir. Bu kurum yedi temel ve otuz tamamlayıcı bileşene sahiptir (Disaster&Emergency Management Presidency (AFAD), 2013b).

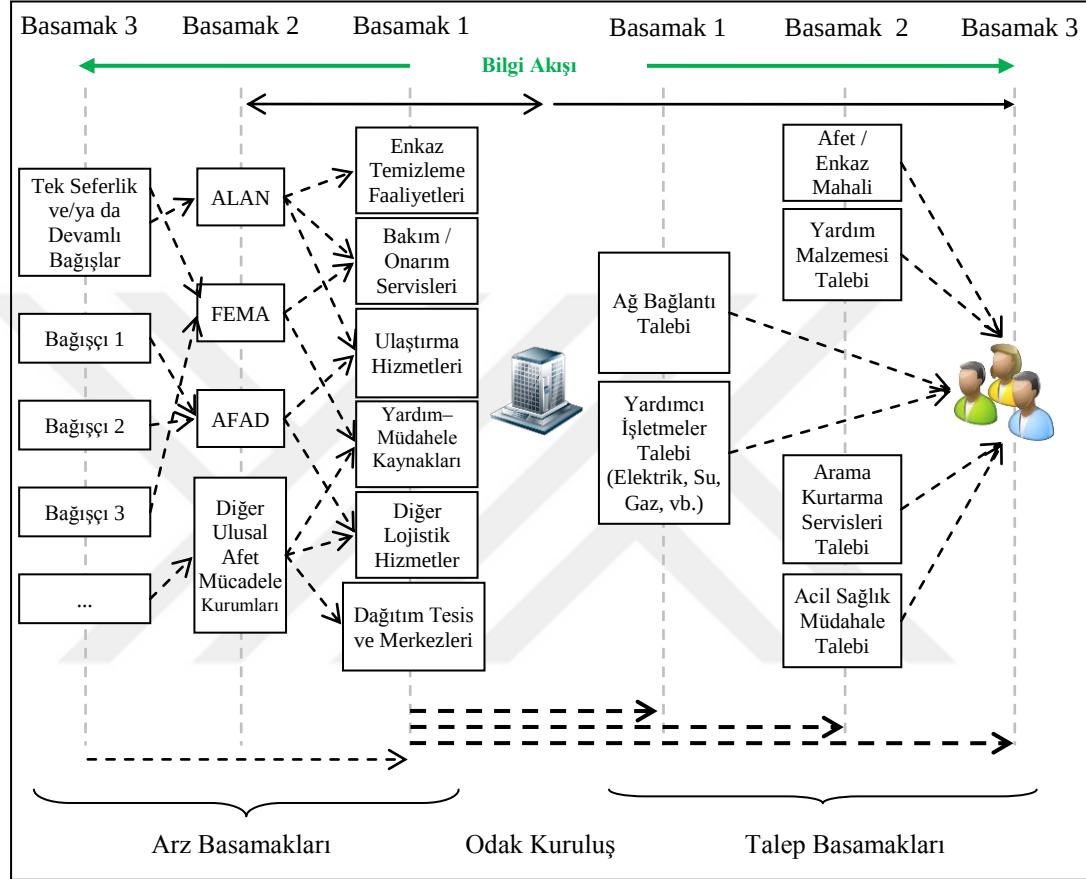
Eğer hükümetin ya da görevlendirilmiş ulusal makamların afet sonrası HSC üzerinde ana sorumlu kuruluşlar olarak davrandıklarını farz edecek olursak, bu kuruluşlar için dinamik bir tedarik zinciri haritası çizilebilir. Bu tedarik zincirinin dinamik olarak anılmasının sebebi afet sonrası aşamanın iki döneme ayrılabilmesidir: Afet Sonrası Acil Dönem ve Uzun Vadeli Afet Sonrası Dönem. Uzmanlar ile yapılan görüşmeler ve AFAD planlama bölümlerince onaylanmış olan değerlendirmelere göre bu iki dönem aşağıdaki gibi tanımlanabilir:



Şekil 2.1 : İnsani yardım tedarik zinciri acil afet sonrası dönem.

Acil Afet Sonrası Dönem, müdahale aşamasının henüz tamamlandığı ve acil eylem talebinin ortaya çıktığı zaman aralığıdır. Kaos ve döneme özgü tekil problemler bu dönemde görülebilir. Deprem afeti ile örneklendirilirse, enkaz altında kalan afetzedeler, ilk yardıma ve su gibi hayati besine ihtiyacı olan yaralıları, yol tıkanıklığı

ve enkaz temizliği, temel talep kaynaklarıdır ve müdahale edilme önceliğine sahiptirler. Bu dönemin uzunluğu afetin şiddetine göre değişir ve büyük ölçüde hazırlık seviyesine bağlıdır. Bu aşamada HSC içerisindeki odak şirketi ya da kuruluş, tedarikçilerini enkaz bölgesindeki yardım maddesi ve acil durum sağlık ihtiyaçları üzerinde yoğunlaştırır (Şekil 2.1).



Şekil 2.2 : İnsani yardım tedarik zinciri uzun vadeli afet sonrası dönemi.

Uzun Vadeli Afet Sonrası Dönemi, acil afet sonrası dönemin sona erdiği zaman başlar, kaos ve ilk etki kontrol altına alınır ve tam kurtulma tamamlanana kadar sürer. Bu aşamadaki ana işlemler afet etkilerini temizlemek için enkaz temizleme, bakım, ağ bağlantısının onarımı ve diğer lojistik faaliyetler olabilir. Bu dönemin uzunluğu afetin kuvvetine göre değişebilir ve azalan farkındalık seviyesi ile yıllar sürebilir. Odak şirketi ya da kuruluş, tedarikçileri ile anlaşma yapar ve bu aşamada, ağ bağlantısı ve yardımcı işletmelerin (elektrik, su, gaz temini) onarımını ve yeniden tesis sürecini yönetir. Eğer HSC bakış açısı ile bu dönem incelenecek olunursa, uzun vadede dinamik tedarik zinciri haritasında belli bir zaman aralığından sonra, talep

tarafının Aşama 1 ve Aşama 2'sinin birbirleri ile yer değiştireceği söylenebilir (Şekil 2.2).

Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de resmedilen HSC haritasının bağlayıcı çizgileri ve okları yönetim çeşitlerini ve odak şirketinin arz talep basamakları arasındaki denetim yapısını temsil eder. Ok yönleri ($\leftarrow$ / $\leftrightarrow$ / $\rightarrow$) yönetim ve ilişki yönünü temsil eder. Kesikli çizgiler (- - -), odak şirketinin sadece denetlediği basamaklar iken, kesiksiz çizgiler (—) odak şirketinin doğrudan yönettiği ve ilgilendiği basamaklardır. Ayrıca, kalınlığı inceden kalına doğru artan çizgiler yönetim ve denetleme seviyesini göstermektedir ($-$ / $-$ / $-$ / $-$ / $-$). Kalın çizgi, yoğun yönetim ve denetim anlamına gelmektedir.

HSC'ler bir odak şirketi (kuruluşu) ve altı temel basamaktan oluşur. Bu basamakların sayısı tedarik zincirinin boyutuna bağlı olarak artabilir. Basamakların sol tarafı arz basamakları ve sağ tarafı talep basamaklarıdır. Ticari tedarik zincirinden farklı olarak, bir HSC'nin ana tedarikçisi bağışçıdır ve doğası gereği farklıdır (Tomasini ve Van Wassenhove, 2009). Ticari tedarik zincirleri kârı en yüksek düzeye çıkarma amacı ile ilgilenirken, HSC'ler hak sahiplerinin tatmini ile ilgilidirler (Balcık ve diğ., 2008). Sivil toplum örgütlerinin (STÖ), ordunun, medyanın desteklerinin yanı sıra hükümet bütçeleri bu tedarik zincirlerini desteklemek için de kullanılırlar, fakat genellikle söz konusu bütçeler ulusal insani şirketlerin çalışmalarını sürdürülebilmesi için üçüncü tüzel kişilere yönlendirilir. Lojistik hizmet sağlayıcıların potansiyel rolleri, ayrı bir araştırmada detaylı olarak incelenmiştir (Vega ve Roussat, 2015). Eğer tedarik zincirinin ham maddesinin 'para ve gönüllü servisleri' olduğu kabul edilirse, Basamak 2 tedarikçileri yani insani yardım kuruluşları, üçüncü parti lojistik ve işletme firmaları olan Basamak 1 fonksiyonel hizmet tedarikçilerini planlar, yönetir ve takip eder. Bu firmalar, odak şirketleri ile doğrudan bir ilişkiye sahip olmamalarına rağmen, talep basamakları ile ilişkileri sıkı bir şekilde takip edilir. Odak şirketi, son kullanıcılar, yani vatandaşlar üzerinde doğrudan etkiye sahip olurken, aynı zamanda Basamak 1 tedarikçi firmaların yardımıyla Basamak 3 talep kaynakları ile de dolaylı bir bağlantıya sahiptir.

Afet gerçekleştiği ve müdahale aşaması eyleme geçtiği zaman, afet sonrası aşamanın ilk dönemi başlar. Bu dönemde, odak şirketi düşük ve uzun dönem öncelikli taleplerin yanı sıra hayati talepler üzerine yoğunlaşır. Büyük yıkıcı depremlerden edinilen geçmiş tecrübe, üç günden sonra depremzedenin hayatta kalma olasılığı

ciddi bir şekilde azalacağı için, depremi takip eden yaklaşık olarak üç günün, yardım çabaları açısından en büyük öneme sahip olunan zaman olduğunu göstermektedir (Fiedrich ve diğ., 2000). Afet/enkaz yeri, acil sağlık durumu, arama ve kurtarma ve yardım malzemesi talebi, afet vurduktan hemen sonra düşünülecek öncelikte talep kaynaklarıdır; bu yüzden tedarik zincirinde Basamak 1 olarak konumlandırılır ve belirsiz zaman aralığı içinde ele alınır. Sonrasında, uzun vadeli afet sonrası dönem için birinci ve ikinci talep basamakları yer değiştirir. Eski Basamak 1 talepleri Basamak 2 yerine konumlandırılır. Basamak 2 talepleri aynı zamanda fakat düşük öncelikte ele alınırken, ağ bağlantısı, yardımcı hizmetlerin (su, elektrik, gaz, telefon, vs.) sağlanması gibi talepler bu dönemde karşılanır. Bu değişiklik, dinamik bir tedarik zinciri yaratır ve bu dinamizm karar verme aşamasında ele alınmalıdır. Bu nedenle, tedarik zincirinin optimize edilmesi için, çok periyotluluğun hesaba katılması değerlendirilmelidir. Söz konusu dinamik tedarik zincirini gerçekleyen en önemli ve hayati unsur, basamaklar ve odak şirketi arasındaki bilgi akışında yatar. Ancak kesintisiz ve etkin bilginin sağlanmasıyla, tedarik zinciri doğru şekilde yönetilebilir. Yakın geçmişte yer alan YA/YB çalışmaları, yukarıda belirtilen hususları göz önünde bulundurmak suretiyle, daha doğru ve gerçekçi modeller oluşturabilmektedir.

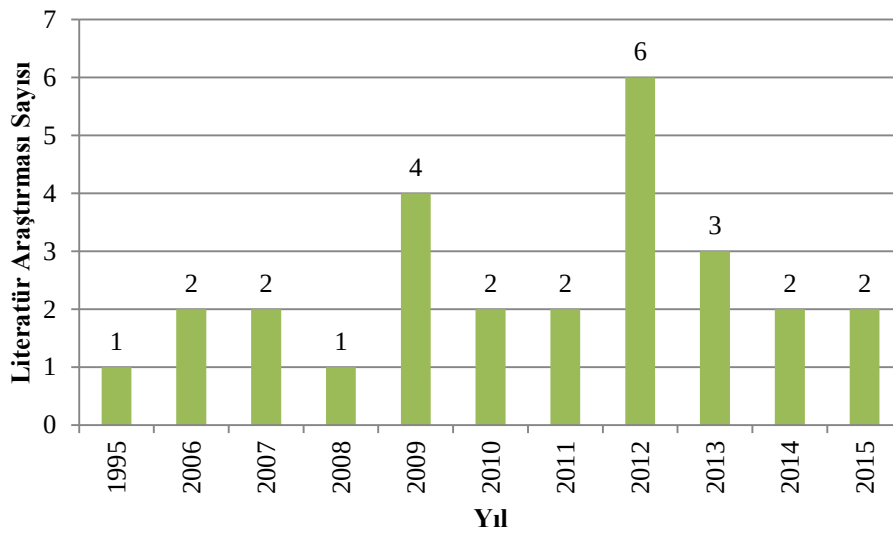
Takip eden bölümlerde, yardım malzemesi lojistiği üzerine yapılan araştırmaların incelemesi, mevcut eğilimler ve geleceğe yönelik çalışmalar hakkında tamamlayıcı özet sunulacak, özetle, yakın geçmişte yapılan literatür araştırmaları temel alınacaktır.

2.3 Seçici Literatür Taraması: Bu Zamana Kadar Ne Yapıldı?

Araştırma kapsamında, anlatım tarzında bir literatür araştırması metodolojisi takip edilmiş, bu şekilde okuyucuya konu hakkında kapsayıcı ve yeni araştırmaların önemini ön plana çıkaran bir altyapı sağlanması amaçlanmıştır. Sayısal çalışmalara daha çok odaklanmak suretiyle, ABI Complete, Web of Science, EBSCOhost, Google Scholar, ScienceDirect, TRID Online, Compendex ve DTIC Online veritabanları incelenmiştir. Arama yapılan anahtar kelimeler, *yardım malzemesi dağıtımı*, *dağıtım yönetimi*, *insani yardım tedarik zinciri*, *insani yardım lojistiği*, *afet*, *kesinti*, *afet yönetiminde belirsizlik*, *insani yardım tedarik zincirinde belirsizlik*, *stokastik insani yardım tedarik zinciri*, *yardım malzemesi tedarik zinciri*, *çok*

periyotlu tedarik zinciri, modüler (ulaştırma modu) tedarik zinciri ve çok basamaklı tedarik zinciridir.

Önceki bölümlerde, tedarik zincirlerinin yapısal farklılığının yanı sıra, HSC üzerine yapılan işlevsel ve pratik araştırmaların önemi ve gereği üzerinde durulmuştur. İnsani yardım lojistiği üzerinde yapılan araştırmalar artan bir hızla devam ederken, bu araştırmalara yönelik güncellenen literatür araştırmaları da aynı şekilde hızını kesmemektedir (Şekil 2.3). Bu nedenle, tekrarlardan kaçınmak için literatür araştırması mevcut incelemelerden yola çıkılarak, tamamlayıcı ve güncelleyici bir yaklaşımla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.3 : Yardım malzemesi ve acil durum lojistiği üzerine yöneylem araştırması/yönetim bilimi incelemeleri.

1980 yılından 2006 yılına kadar araştırmalar sosyal bilimlere, özellikle afet sonuçları üzerine sosyolojik ve psikolojik etkilere, iletişime, iş birliğine ve planlama problemlerine odaklanır. Bununla birlikte, afet yönetiminde gereken YA/YB uygulamalarının gerekliliğinin kabulü de belirgin bir artış eğilimindedir. Bu bölümde, 2004’e kadar Altay ve Green (2006) ve 2005’e kadar ise Kovács ve Spens (2007) tarafından incelenen araştırmalar temel alınarak incelenen en son gelişmeler 2006 yılına kadar özetlenecektir. 2013 yılında yapılan başka bir yayın ile ise Galindo and Batta (2013), 2005-2010 dönemi arasındaki çalışmalar üzerinde durmuş, açık alan ve gelecekte muhtemel araştırma alanları üzerinde önemli bir çalışma yürütmüşlerdir. 2006’dan 2012’ye kadar olan ve 2012 sonrası dönem ise Caunhye, Nie ve Pokharel (2012) ve bizim araştırmamıza dayanılarak tamamlayıcı ve kapsamlı

bir biçimde incelenecektir. Ayrıca, 2006 yılı sonrası yapılan afet sonrası dönemi insani yardım tedarik zincirine yönelik operasyonel ve uygulanabilir çalışmalar, incelemenin odak noktasını oluşturacaktır. İnsani yardım lojistiği eğitimi ve görevlerine yönelik Kovács ve Spens'in (2011) yaptığı inceleme, kapsam dışı bırakılmış ve ihmal edilmiştir. İnceleme ilgi alanının anahtar kelimeleri: *afet yönetimi, insani tedarik zinciri, insani lojistik, afet, afet nedenli duraklama, afet yönetiminde belirsizlikler, HSC'de belirsizlikler, olasılıksal HSC, afet-yardım tedarik zinciri, zaman bazlı tedarik zinciri, çok dönemli tedarik zinciri, çok ulaştırma modlu tedarik zinciri ve çok basamaklı tedarik zinciridir*. YA ve YB alanlarında yapılan ve inceleme konusu olan literatür araştırmaları Çizelge 2.1 'de incelenebilir.

Çizelge 2.1 : Yardım malzemesi ve acil durum lojistiği üzerine yöneylem araştırması/yönetim bilimi incelemeleri.

Yazar Yıl	Kapsam
(Abdelgawad ve Abdulhai, 2009)	Acil durum tahliyesi
(Alexander, 2013)	Acil durum operasyonlarında entegrasyon
(Altay, 2008)	Afet yardım lojistiğinde yaşanan zorlukların araştırılması
(Altay ve Green, 2006)	Afet üzerine YA/YB çalışmaları ve bir meta analizi
(Altay ve Labonte, 2011)	Birleşmiş Milletler'in küme yaklaşımı stratejisi ve uygulamaları
(Anaya-Arenas ve diğ., 2014)	Yardım dağıtım ağları üzerinde çalışmalara yönelik sistematik inceleme
(Balcık ve diğ., 2010)	İnsani yardım zincirlerinde koordinasyona yönelik zorluklar
(Bhattacharya ve diğ., 2012)	HSC'lerde farklı malzeme aktarım mekanizmalarının etkinliği
(Caunhye ve diğ., 2012)	İçerik analizi, acil durum lojistiğinde optimizasyon modelleri
(de la Torre ve diğ., 2012)	Saha kullanıcıları ve akademisyenlerin perspektifinden YA modellerinin kullanımının analizi
(Ergun ve diğ., 2010)	HSC'lerde karşılaşılan zorluklar ve YA araçlarının kullanımı
(Galindo ve Batta, 2013)	Altay ve Green (2006) çalışmasının devamı niteliğinde, açık kalan alanların değerlendirmesi ve meta analiz
(Holguín-Veras ve diğ., 2013)	Afet sonrası dönem insani yardım lojistik modellerinde sosyal maliyetlerin amaç fonksiyonlarında kullanımı
(Hoyos ve diğ., 2015)	Stokastik bileşenli YA modellerinin afet araştırmalarında uygulamaları
(Karunasena ve diğ., 2012)	Sri Lanka'da afet sonrası atık yönetim stratejileri ve zorluklarına yönelik bulgular
(Kovács ve Spens, 2007)	Yardım malzemesi faaliyetlerinde insani yardım lojistiği
(Kovács ve Spens, 2011)	İnsani yardım lojistiği eğitimi ve görevleri üzerine analiz
(Kunz ve Reiner, 2012)	Mevcut insani yardım lojistiği araştırmaları literatürünün karakteristikleri
(Leiras ve diğ., 2014)	İnsani yardım lojistiği üzerine literatür araştırması, yedi yeni sınıflandırma kriterinin sunulması
(Natarajarathinam ve diğ., 2009)	Krizdeki tedarik zincirlerinin yönetimine yönelik uygulama ve araştırma eğilimleri
(Özdamar ve Ertem, 2015)	Mevcut modellerin yapısı, kısıtları, amaçlarını sunmak suretiyle afet reaksiyon ve yenileme süreçlerine odaklanmış inceleme ve çözümler
(J.-B. Sheu, 2007b)	Afet lojistik yönetiminde zorluklar ve sorunlar

Yazar Yıl	Kapsam
(Simpson ve Hancock, 2009)	Afete yönelik acil durumlar dâhil afet acil durum reaksiyonunda YA kurumu
(Tomasini ve Van Wassenhove, 2009)	İnsani yardım lojistiğinde üçüncü parti hizmet sağlayıcıların rolü
(Van Wassenhove ve Pedraza Martinez, 2012)	İnsani yardımda araç filo yönetimi üzerine iki YA uygulaması vakası ve inceleme
(Wright ve diğ., 2006)	İç güvenlik hususları odaklı afet yönetiminde YA çalışmaları
(Young ve Jaspars, 1995)	Acil durumlarda gıda dağıtım sorunları incelemesi

Yayınlar afet yönetiminin dört işlevsel aşaması olan ve afetin yaşam döngüsü olarak adlandırılan toparlanma, hazırlık, müdahale ve kurtarma aşamaları ile sınıflandırılabilir (Ergun ve diğ., 2010; Godschalk, 1991; Green, 2005; Waugh ve Hy, 1990; Waugh, 1997). Bu dört döngü arasında, araştırmaların çoğunluğu toparlanma aşaması üzerine yoğunlaşırken, düşük sayıda çalışma kurtarma aşaması, diğer bir ifadeyle, afet sonrası dönem üzerine yoğunlaşır (Altay ve Green, 2006; Galindo ve Batta, 2013). Bu araştırmalarda kullanılan yöntemler matematiksel programlama, olasılık, istatistik, benzetim-simülasyon, bulanık mantık, karar teorisi ve çok nitelikli fayda teorisi, kuyruk teorisi, stokastik programlama, uzman sistemler ve yapay zekâ, sistemler dinamiği, kısıt programlama ve yöneylem teknikleridir. Sezgisel yöntemleri içeren matematiksel programlama en sık kullanılan yöntemdir (Altay ve Green, 2006; Caunhye ve diğ., 2012; Ergun ve diğ., 2010). Afet yaşam döngüsünün müdahale ve kurtarma aşamaları üzerine yoğunlaşan model ve çözüm metotları Özdamar ve Ertem tarafından incelenmiştir. Çalışmalarında, mevcut model ve çözümlerin bilgi sistemlerine entegrasyonu üzerinde durulmuştur (Özdamar ve Ertem, 2015).

Her bir afet yaşam döngüsünün kısa bir tanımı yapılacak olursa, toparlanma, etkilenmemek ya da etkiyi en aza indirmek için veya ani afet etkilerini hafifletmek için alınan önlemler serisi olarak tanımlanabilir. Hazırlık aşaması, afete zamanında ve yeterli müdahale sağlayabilmek için yapılan toplumsal eylemlerden oluşur. Müdahale aşaması, planlanan işlev ve süreçlerin uygulanmasından oluşur ve insan yaşamı, mülk, çevre, vb. hususların idamesi için etkili kaynak dağıtımını hedefler. Son olarak, kurtarma aşaması ise normal yaşam koşulları ve stabilizasyona ulaşma amacıyla olup, kısa dönem ve uzun dönem olarak ele alınabilir.

Altay ve Green'in çalışmasına göre, yapılan araştırmalar açısından en az miktarda ele alınan aşama %11 oranıyla afet kurtarma safhasıdır. Literatürdeki çalışmaların yaklaşık %44'ü toparlanmaya hitap ederken, hazırlık ve müdahale aşamalarının oranı

ise sırasıyla %21,1 ve %23,9'dur. Literatürde yer alan çalışmaların, afet yaşam döngü safhalarına göre sınıflandırılmaları hakkında detaylı bilgi için Altay ve Green (2006) çalışmasına başvurulabilir. Ergun ve diğ. afet tedarik zincirinin temel özelliklerini tanımlar, bunlarla ilgili özel sorunları vurgular ve pratiğe yönelik araştırma araçlarının etkili karar vermede nasıl kullanılabileceğini gösterir (Ergun ve diğ., 2010). Pratiğe yönelik araştırma modellerinin, yardım malzemesi ulaşımında ve araçları sevk etmede nasıl kullanılacağı, yardım kuruluşlarının ve literatür derlemelerinin röportaj ve yayınları yolu ile incelenerek de la Torre ve diğ. tarafından sunulmuştur (de la Torre ve diğ., 2012). Bu analiz, hem uygulama makamlara, hem de akademisyenlere bakış açıları sağladığı için öneme sahiptir. Derlemelerini dört farklı başlık altında sınıflandırır: 1) Maliyeti azaltmayı, karşılanamayan talepleri azaltmayı, geç varış süresini azaltmayı, toplam müdahale süresini azaltmayı ya da toplam ulaşım güvenilirliğini arttırmayı amaçlayan amaç fonksiyonları, 2) Olasılıksal arz/talep ya da çoklu malzeme taşıma kısıtı gereksinimleri, 3) Çok/tek/sıfır depo, heterojen ve homojen araçların kullanımı, olasılıksal seyahat süresi ile rotalama ve 4) Test için kullanılan verilerin gerçek afetlerden alınıp alınmadığı. Bulgularından biri çok dönemli rotalamanın hala yardım malzemesi rotalama literatüründe çalışılmamış olmasıdır.

Caunhye ve diğ, 2006 sonrası dönemde yapılan çalışmaları afet öncesi ve sonrası hedefli çalışmalar ve diğer olarak üç bölümde sınıflandırır: tesis yeri seçimi, yardım malzemesi dağıtımı ve yaralı taşıma ve diğer işlemler (Caunhye ve diğ., 2012). Abdelgawad ve Abdulhai'nin çalışmasında detaylı olarak incelendiğinden, afet sonrası tahliye çalışmaları incelemenin kapsamı dışında bırakılmıştır (Abdelgawad ve Abdulhai, 2009).

Konu üzerinde yapılan literatür araştırmaları göstermektedir ki, afet sonrası ve kurtarma dönemi lojistik üzerine YA/YB araştırmaları pratik ihtiyaçlar ve gerçek yaşam problemine cevap arayan anahtar sorulardan kaynaklanmaktadır. Bunlardan bazıları Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 : Yöneylem araştırması/yönetim bilimi konularında afet kurtarma safhası için araştırma soruları.

Araştırma Sorusu
• Enkaz temizleme önceliklendirme yönetimi nasıl yapılmalıdır? • Kurtarma operasyonunda bireysel ve resmi kaynakların en iyi dağıtımı nasıl olmalıdır? • Su deposu, ulaşım merkezi, elektrik, lağım suyu yardımcı tesisleri için en uygun yer nedir? Yardım malzemesi dağıtım noktaları tarafından desteklenmesi için kaç sığınak planlanmalıdır? • Evsiz kalan insan ve hayvan nüfusunun yaşamını devam ettirmek için en iyi lojistik dağıtım kararı nedir? • Enkaz kaldırma, bakım, onarım tedarikçileri, yollar, köprüler ve ana tesisler için en iyi acil durum müdahale yerleşimleri nedir ve bunların güvenilirlik seviyesi ne olmalıdır? • Ulaşım yolu, ulaştırma modları ve dağıtım tesislerinin güvenilirliği ne kadardır? • Doğru kontrol ve yapıdaki bir harekât merkezi için en iyi yer seçimi nedir? (Eğer afet bölgesine yakın konumlandırıldıysa, harekât merkezi etkilenebilir; eğer afet bölgesinden uzakta konumlandırıldıysa, lojistik destek eksik kalabilir) • Yaşam döngüsünün devam ettirilebilmesi kararı için en iyi zamanlama ne olmalıdır? • Eğer afet sonrası dönemini, ‘acil afet sonrası’ ile ‘uzun vadeli afet sonrası’ olarak iki aşamaya ayırırsak, her birinin süreleri ne olmalıdır? Bu süreler afet şiddetine göre değişir mi? • Belirsizlik HSC tesislerinin yerini ve ulaşım kararlarını nasıl etkiler? • Afet durumunda, geçici olarak planlanmış, dinamik şartlara uygun yedek merkezler gerekir mi, ne sayıda olmalı ve nereye yerleştirilmelidir? • HSC içerisinde bütünsel lojistik nasıl düzenlenmeli ve yönetilmelidir?

Afet yönetiminde en büyük zorluklardan biri de belirsizliktir. Öngörülebilirlik, müdahale kapasitesi, koordinasyon ve acil durumda sorumluluk ve afet yönetimine dair hususlar Birleşmiş Milletler Küme Yaklaşımı gibi devamlı ve uluslararası çabalarla güçlendirilmesine rağmen (Altay ve Labonte, 2011; Jury ve De Maio, 2007; Stoddard ve diğ., 2007), HSC’ler, ticari ve askeri tedarik zincirlerinden belirsizlik açısından halen büyük ölçüde farklılaşmaktadır (Peng ve Chen, 2012). Hemen hemen her vaka belirsiz bir paternde ortaya çıkar ve bu paternin öngörülmesi oldukça zordur. Bu yüzden, literatür belirsizlik ile de ilgilenmektedir. Kentsel sel türü afetler için, Chang ve diğ. belirsizlik altında lojistik hazırlık planlamalarına yönelik bir araç geliştirir (Chang ve diğ., 2007). Bilgi işlem ve ağ analizi işlevine başvurarak, kurtarma talep noktalarının olası yerlerini ve kurtarma ekipleri için gerekli miktarı tahmin etmeye yönelik iki olasılıksal programlama modeli sunar. Lodree ve Taskin, afet yardım kaynaklarının uygun envanter seviyesi kararında,

olayların doğası kaynaklı ortaya çıkan belirsizlikleri, belirsizlik talebi üzerine çalışılan klasik gazete satıcısı problem türü ile birleştirerek, yeni bir model önerir. Optimum seviye ile gazete satıcısı çözümü arasındaki farkın ilgili risk ve yararları ölçülerek, kabul edilebilir bir tolerans miktarı değerlendirmesi altında karar vericilere pratik bir yaklaşım sağlanmaktadır (Lodree Jr ve Taskin, 2008). Lodree ve Taskin 'in çalışmasına benzer olarak, Campbell ve Jones tedarik noktalarının yıkım olasılığını belirleyerek, kaynakları yerleştirmede uygun envanter seviyelerini ve onların nereye yerleştirileceğini belirlemek için olası risklerin belirsizliklerini modelleme ile ilgilenmiştir. Tek ve çok tedarik zinciri modeli üzerinde çoklu parametreleri değiştirerek, kritik oran üzerinde hassasiyet analizi yapılmaktadır. Çalışmalarında, tedarik noktalarının birbirleri arasında risk bağımlılığı ve tek bir dağıtım merkezi yerine yedek tedarik noktaları kullanılabileceği varsayımı ihmal edilmiştir (Ann Melissa Campbell ve Jones, 2011). Daha sonra, Peng ve Chen statik/dinamik teslim süresi etkisi ve HSC'deki sabit/rastgele talebi değerlendirmek ve dört envanter planlama stratejisi çeşidini karşılaştırmak suretiyle ticari tedarik zincirleri arasındaki farklar üzerinde durur. Dinamik teslim süresi hem akış hem de envanter dalgalanma modunu değiştirmekteyken, rastgele talebin ise tedarik sisteminde daha fazla dalgalanma oluşturduğunu ortaya çıkarmaktadırlar (Peng ve Chen, 2012). Son zamanlarda, dinamik en iyileme problemleri üzerine araştırmalar da gözlemlenmektedir. Araç rotalama probleminin kolu olan toplama ve dağıtım problemlerinde çok aşamalı karışık tam sayı problemleri, acil durumlarda değişebilen seyahat süresi ve bilinmeyen sipariş altında dinamik olarak optimize edilmektedir (Wohlgemuth ve diğ., 2012). Bilinen en son çalışma Camacho-Vallejo ve diğ. tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında, 2010 Şili depremi üzerine bir vaka analizi yaparak iki seviyeli tek amaçlı bir model önerirler.

Olasılıksal, dinamik ve adaptif ortamlarda HSC sistemini tamamen kapsayan modellere ihtiyaç olduğu açıktır. HSC'deki yüksek belirsizlikleri ele almak için, olasılıksal bir model kullanılabilir, fakat bazı modellerde belirsizlik altında çalışılabilmesine rağmen, literatürdeki modellerin çoğu deterministiktir. Ancak, her bir afet yaşam döngüsü safhasında tercihlerin getireceği sonuçların hesaba katılması, bu kararların birbiri arasındaki güçlü etkileşimleri dolayısıyla küçümsenemeyecek bir öneme sahiptir. Barbarasoğlu ve Arda, talep, tedarik ve ulaştırma yol kapasitelerini rassal kabul ederek ve çok seviyeli stokastik karar aşamalarından

oluşan senaryo tabanlı, çok malzemeli, çoklu ulaştırma modlu, tek amaçlı minimum maliyetli ağ akış formülasyonu üzerine çalışmıştır (Barbarosoğlu ve Arda, 2004). Güler ve Ermiş bu çok seviyeli stokastik probleme, performans, geniş ağ kapsamı, problemde daha önce ele alınmayan ilk aşama belirsizliğini de göz önüne alarak, daha gerçekçi çözümler sunma amacıyla deterministik eşlenikli yeni bir çözüm yaklaşımı sunar (Güler ve Ermiş, 2014). Hinojosa ve diğ., modelin daha basit bir halini ulaştırma modu ve bağlantı yollarında kapasite kısıtı olmadan, ayrıca belirsiz parametre sayısını azaltarak sunarlar (Hinojosa ve diğ., 2014). Ergun ve diğ., yeni bilgiyi değerlendirmek için önerilen modellerin aynı zamanda adaptif olması gerektiğini belirtir ve afet çerçevesi içinde beliren bir değişiklik meydana geldiğinde bilginin genellikle başlangıçta kısıtlı, zaman geçtikçe daha kesin ve erişilebilir olduğunu öne sürer (Ergun ve diğ., 2010). Geniş ölçülü doğal afetler için, Sheu hatalı bilgi durumları altında acil durum lojistik işlemleri için dinamik bir yardım-talep yönetim modeli sunar (J.-B. Sheu, 2010). Bu çalışmada, üç adım yaklaşımı kullanılır. Bu yaklaşıma göre öncelikle, birden fazla alan veri füzyonu ile tahmin edilir, ikinci olarak bu talepleri gruplar halinde sınıflandırmak için bulanık kümeleme kullanılır ve son olarak önceliklendirme, çok kriterli karar verme ile gerçekleşir. Önerilen model üzerinde %10'dan daha az tahmin hatası gözlemlenmiştir. Acil yardım malzemesi dağıtımında bulanık kümeleme aynı yıl içinde başka bir çalışmayla daha ele alınmıştır (C. Wang ve Xi, 2012). Son olarak, Bhattacharya ve diğ., farklı kazanç transfer mekanizmalarının etkisini analiz etme, kaynak ve altyapı merkezileştirmesi üzerine bir çalışma sunar ve HSC'lerin tasarımı için prensip olabilecek tavsiyelerde bulunurlar (Bhattacharya ve diğ., 2012).

Müdahale aşamasının yerleşim/tahsis/dağıtım kararı diğer bir zorluk alanıdır ve birçok araştırmada hedeflenir. Sheu doğal afetten sonra zorunlu yardım kaynaklarının etkili acil durum lojistiği dağıtımını araştırır ve acil durum lojistiği ve dağıtımının işlevsel işbirliğine karışık bulanık kümeleme optimizasyonu ile bir yaklaşım sunar. Yaklaşım tekrar eden ardışık iki mekanizma içerir: (1) afetten etkilenen bölge gruplandırması ve (2) yardım lojistiği ve dağıtım işbirliğinin olası avantaj ve dezavantajlarının belirlenmesi (J.-B. Sheu, 2007a). Çalışma göstermektedir ki, her grubun zamanla değişen yardım talebi, kısa süreli dinamik yardım talebi tahmin modeliyle tahmin edilmiş ve dağıtım zamanlama planlamasında etkilenen ve etkilendiği belirsiz olan alan kesişimine öncelik verilmiştir. Balçık ve

diğ. insani yardım zinciri ile ilgili, karışık tam sayı modeli olan “Son mil dağıtım problemi”ni önermiş, kaynak tahsisi ve rotalama kararlarını optimize etmiştir (Balcik ve diğ., 2008). Özdamar ve Demir son mil dağıtım problemi tanımını dağıtım ve toplamayı içine katacak şekilde genişleterek, ismini son mil dağıtım ve toplama problemi olarak yenilemişlerdir. Çalışan etkili bir ağ akış modeli ve paralel hiyerarşik optimizasyon temelli toplama ve yönlendirme prosedürü (HOGCR), 900 düğümlük büyük bir afet ağı üzerinde uygulanarak sunulmuştur (Özdamar ve Demir, 2012). Daha sonra Rennemo ve diğ., afet müdahale planlamasında son mil dağıtım problemini kullanarak üç seviyeli ve karışık tamsayılı stokastik programlama modeli geliştirir (Rennemo ve diğ., 2014). Bazı araştırmacılar insani yardım lojistiği üzerine yalnızca araç, filo gibi ulaşım yönetimi ve filo büyüklüğü optimizasyonu gibi ulaşım sorunları üzerine odaklanırken (Van Wassenhove ve Pedraza Martinez, 2012), diğerleri sadece lojistik merkezlerinin seçimi ve depoların yerleşimi üzerinde odaklanmaktadır (Gözaydın ve Can, 2013; Roh ve diğ., 2013). Afshar ve Haghani afet yönetimi entegre lojistiği için araç rotalama, toplama ve dağıtım zaman planlaması, çoklu kapasite kısıtlı geçici tesis yeri seçimi, ulaşım sistemi ve afetzedeler arasında eşit mesafe gibi hususları kapsayan matematiksel bir model önerir (Afshar ve Haghani, 2012). Bununla birlikte Aman ve diğ., lojistik talep sıkıntısını en aza indirmek için tamsayı doğrusal programlama yaklaşımıyla bir kaynak dağıtım modeli önerir ve ceza maliyetini en aza indirmek amacı ile modeli geliştirirler. Formülasyonlarını Mt. Merapi felaketi verileri üzerinde kurgulamışlardır (Aman ve diğ., 2012). Bildiğimiz kadarıyla, felaket sonrası ağ tesisi ve ulaşım planlama üzerine en güncel araştırmalar (Nakanishi ve diğ., 2013) ile Aksu ve Özdamar (Tuzun Aksu ve Ozdamar, 2014) tarafından yapılmıştır. Nakanishi ve diğ. afet sonrası toparlanma döneminde metropol şehirlerdeki bölgesel toplulukların ulaşım talebine odaklanırken, Tuzun Aksu ve Ozdamar ise, yol tıkanıklığının kritikliğini ve bu tıkanıklıkların metropol şehirlerdeki kısıtlı kaynaklar kullanılarak açılmasının işlevselliğini göz önünde bulunduran, dinamik yol temelli matematik bir model sunar. Felaket sonrası moloz ve enkaz kaldırma çalışmalarında müteahhit ataması problemi de sorunlu bir alandır. Fetter ve Rakes, bu konuda karar mercileri için çok amaçlı, karışık tamsayı programlamalı bir karar modeli önerir (Fetter ve Rakes, 2013).

Sezgisellik açısından, Yuan ve Wang acil lojistik yönetimi için iki adet tek ve çok amaçlı model önerir. Modelleri çözmek için, modifiye edilmiş Dijkstra ve karınca kolonisi optimizasyonu algoritmalarına başvurulmuştur (Yuan ve Wang, 2009). Afet yönetimi alanındaki geliştirilen bir diğer sezgisel yaklaşım, hızlı ve yüksek kaliteli acil taşıma durum planlama olası çözümlerden optimuma yakın sonuç veren ve Berkoune ve diğ. tarafından kullanılan genetik algoritmadır (Berkoune ve diğ., 2012). Aynı yıl, Lin ve diğ. tarafından geçici depoların yerini saptamak ve afet yardım malzemelerini tahsis etmek için sağlanmış olan iki evreli sezgisel yaklaşım sunulmuştur. Bu çalışma, aynı yazar grubunun merkez depo ve talep düğümlerinin uzun seyahat mesafelerini optimize etmek suretiyle geliştirilmiştir (Lin ve diğ., 2012). Barzinpour ve diğ. ise benzer birçok amaçlı problem üzerinde durarak, yerleşim ve tahsis kararlarını birlikte ele almışlardır. Modellerini genetik algoritma ve tavlama benzetim algoritma ile yapılan çözümleri karşılaştırmak suretiyle çözmektedirler (Barzinpour ve diğ., 2014). Diğer bir çalışma Wang ve diğ. tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında yardım malzemesi dağıtım problemi için domine edilmeyen sıralı genetik algoritma ve domine edilmeyen sıralı diferansiyel evrim algoritması kullanmış ve doğrusal olmayan tam sayılı açık yerleşim-rotalama modeline çözüm aramışlardır (H. Wang ve diğ., 2014).

Son zamanlarda, gerçek hayat şartlarına yakın pratik sonuçlar veren çalışmalar kayda geçerken, bunlardan birini de, Holguín-Veras ve diğ. afet sonrası insani yardım zinciri modelleri için uygun amaç fonksiyonların seçimi üzerine çalışarak sunmuşlardır. Bu çalışmada, ekonomik refahın uygun tahminini yapmak için kullanılan lojistik maliyetlerin yanı sıra sosyal maliyetlerin de hesaba katılması tavsiye edilmektedir. Uygulanan deneysel çalışmalarla, örneğin su için ödeme istekliliği ele alınarak mevcut modeller zaman bağlı bir fonksiyon olarak değerlendirilir (Holguín-Veras ve diğ., 2013). Bu çalışmanın önemli bir sonucu, tek dönem modellerinin afet sonrası insani lojistik modellemesine uygun olmamasıdır. Bununla birlikte 1995’de Young ve Jaspars tarafından yapılan çalışma ile belirtilen ve planlama ve teknik maliyetlerin tek başına modellerde ele alınmasının yeterli olmayacağı çıkarımını da destekler (Young ve Jaspars, 1995). Söz konusu çalışmanın ayrıntılı değerlendirilmesi ayrı bir başlık altında ele alınacaktır. Yukarıda belirtilen çalışmalara ek olarak, Hu ve Sheu’nun 2013’teki psikolojik maliyeti azaltmayı öngören çalışması da yine bu çıkarımla uyumludur (Hu ve Sheu, 2013).

2.4 Devam Eden Çalışmalar

Özellikle 2006'dan sonra, HSC'lerdeki çalışmalar artan bir hıza sahiptir. Bu bölümde, stokastik optimizasyonu geliştirmeyi amaçlayan birkaç araştırmaya değinilecektir. Stokastik çözümler, olasılıkları düşünen ve katı varsayımlara dayanan deterministik çözümlerden ziyade beklenen değerleri incelediği için, belirsizliği ile öne çıkan afete yönelik araştırmalarda tercih edilmektedir.

Çoğu afet senaryosunda, yerel ulaşım altyapısı sıklıkla ağır şekilde zarar görür. Alternatif ulaşım araçları ve ulaştırma rotalarının keşfedilmesi gerekir. Stokastik programlama ile optimizasyon kullanan Arsik, Hassin, Ravi ve Salman, afet öncesi aşama için yol bağlantılarının doğrusal bir güvenilirlik kısıtı altında, yatırım kararlarını güçlendirmek ve ağ altyapısına katkı sağlamak için bir çalışma yaparlar. Aynı zamanda çalışmalarını acil durum müdahale tesis yerleşim kararları ve yol ağı risk değerlendirmesi ile de birleştirirler (Peeta ve diğ., 2010). Genellikle araştırmalarda sıkça kabul edilen düğümler arası yol arızalarının birbirinden bağımsız olduğu varsayımının aksine, bağımlı yol arızalarını göz önüne alan orijinal bir model sunarlar (Günneç ve Salman, 2011). Bu çalışmalar, odak noktası yardım malzemesi dağıtımı olmamasına rağmen, yatırım kararları ve afet hasar olasılıklarını göz önüne almaları ile Barbarosoğlu ve Arda'nın çalışmasının bir adım daha ileriye gitmiş hali olarak kabul edilebilir.

Konferans yayınları ve çevrimiçi açık kaynaklar üzerine yapılan incelemeler göstermektedir ki, afet sonrası acil durum müdahale safhası için tesis yerleşimi kararları Salman ve Gül tarafından çalışılmaktadır. Aynı zamanda Salman, Karaman ve Elmaghraby tarafından ise, acil müdahale şirketleri arasında yatay kaynak aktarımının olduğu varsayımı ile gazete satıcısı modeline dayanan yardım malzemesi envanter ve stoklama karar çalışmaları üzerinde durulmuştur. Salman, Gel ve Tanriooven tarafından ise mevcut afet durumu cankurtaran tahsis politikaları mukayesesi araştırmaları ile literatüre katkıda bulunmaktadır (Salman, 2011). Diğer devam eden stokastik optimizasyon yaklaşımları, Celik, Ergun ve Keskinocak tarafından kısmen gözlemlenebilen Markov karar süreci modeli ile formülize edilen ve enkaz hakkında kısıtlı bilgi sahibi olunan, stokastik enkaz kaldırma problemi yaklaşımı ve Kara tarafından çalışılan müdahale aşaması enkaz kaldırma problemi

çalışmasıdır. Son olarak Kibar ve Salman, afetten sonra ağ bağlantısı onarımı için lojistik planlama üzerine çalışmaktadır (Kibar ve Salman, 2013).

2.5 Ana Bulgular ve Eksiklikler

Öncelikle, lojistiğin afet planlama ve araştırmalarındaki öneminin halen küçümsendiği ve araştırmacıların planlama yerine daha çok bağış ve kaynak toplama faaliyetlerine yöneldikleri gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, HSC çalışmaları üç ana sınıf altında toplanabilir: (1) Tesis yerleşimi (2) yardım malzemesi ve yaralı taşıma ve (3) Diğerleri.

Tesis yeri seçimi problemi üzerine araştırmalar temel olarak afet öncesi dönemi ele almaktadır. Araştırmalar temel olarak maksimum kapsama problemleri altında kapsamın kalitesi ve miktarı gereksinimlerinin üzerine odaklanan tamsayı değişkenli karmaşık tamsayı programlama modellerinden oluşmaktadır. P-medyan ve p-merkez gibi formülasyonlar yaygın değildir. Deterministik ve olasılık dağılımları ya da önceden tanımlı senaryolara dayanan stokastik modeller bulunmaktadır ve hemen hemen tüm incelenmiş modeller konu itibarıyla afet öncesi aşama için tek dönem olarak çalışılmıştır. Afet sonrası aşama çoğunlukla kapsam dışıdır ve yine çok dönemli araştırmalar nadirdir. Hoyos ve diğ., çok periyotlu çalışmalara doğru bir eğilim olduğundan, ancak halen bu yaklaşımı uygulayan az sayıda model bulunduğu bahsetmektedir (Hoyos ve diğ., 2015). Bu bulgu Kunz ve Reiner'in içerik analizinde belirttiği insani yardımın sürekliliği konusundaki eksiklikler ile de uyumludur (Kunz ve Reiner, 2012). Bunlara ek olarak, stokastik, tek ve iki seviyeli, çok amaçlı çalışmaların yanı sıra deterministik çalışmaların eksikliği de gözlemlenmektedir. Burada yer alan “seviye” terimi farklı karar aşamalarında, lider ve takipçi karar verme tekniği ya da farklı bilgi mevcudiyeti altında karar değişimi için oluşan aşamalı ortamları ifade etmektedir. HSC araştırmaları stratejik karar seviyelerine ilham verirken, taktik ve operasyonel karar seviyelerini hedef alan çalışmalara ihtiyaç da devam etmektedir (Leiras ve diğ., 2014).

Yardım malzemesi dağıtımı ve stokların önceden konumlandırılması kararlarında çok amaçlı tesis yeri seçimi modelleri ihtiyacı bulunduğu açıktır. Birkaç modelde hem zaman hem de maliyet birlikte optimize edilmiştir. Görmez ve diğ. çalışması, iki amacı olan çalışmalara örnek olarak verilebilir: Bir mülteciye hizmet vermek için kat edilen ortalama mesafe ve yeni kurulan tesis miktarı (Görmez ve diğ., 2011). Ayrıca,

bir kısıt olarak modele eklenerek zamanı ya da maliyeti göz önüne alan çalışmalar da bulunmaktadır. Maliyetler ulaşım, tesis açma, genişleme, ekipman kiralaması, para cezaları, kurtarma teçhizatının taşınması, talep karşılayamama, depo operasyonları, tedarik, borç bekler ve gecikme maliyetleri biçiminde modellerde ele alınabilmektedir.

Tesis yeri seçimi çalışmaları ile birlikte, yardım malzemesi ve yaralı ulaşım ve dağıtım çalışmaları da ele alınmaktadır. Haiyan tayfunu olayında, Séguin özellikle hava ulaşımında yaralı taşınmasının önceliği yüzünden yardım dağıtımının geciktiğini belirtmiştir (Séguin, 2013). Gerçek hayatta, yardım malzemesi dağıtım ve yaralı taşınması birbirlerini önemli şekilde etkilemelerine rağmen, araştırmaların çoğunluğu sadece yardım malzemesi dağıtım üzerinedir (Caunhye ve diğ., 2012). Eğer yardım malzemesi dağıtım ve yaralı ulaştırma modelleri planlama zamanı, veri türü, seviye ve amaç fonksiyonu türüne göre sınıflandırılacak olunursa, deterministik ya da stokastik, iki seviyeli, çok amaçlı, çok dönemli planlama zamanını ele alan hiçbir sağlam optimizasyon modelinin ve araştırmanın olmadığı görülebilir. Sheu'nun üç seviyeli, çok dönemli, çok amaçlı ve olasılıksal modelleri çalıştığı söylenebilir, ancak çalışmada çok kriterli karar verme ve bulanık mantığı kullanmayı seçtiği gözlemlenmiştir (J.-B. Sheu, 2007a, 2010). Çalışması daha çok zaman planlaması üzerine yoğunlaşır ve yardım malzemesi dağıtım ve/veya dağıtım kararlarını ele almaz. Literatürün bu alanındaki bir diğer boşluk, tek dönemli, tek seviyeli ve çok amaçlı stokastik araştırmalar üzerinedir fakat afet sonrası durumlar tekli dönemden ibaret olarak düşünülmediği için, bu boşluğun mevcudiyeti gerçek hayata yakın ve mantıklı olabilir. Çok dönemli modellerin nadiren stokastik olduğu fark edilmiştir. Tek seviyeli karar verme ile stokastik, çok dönemli, tek amaçlı olan tek çalışma Friedrich ve diğ. tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, ALLOCATE ismi verilen dinamik bir optimizasyon modeli arama kurtarma operasyonları kaynakları zaman planlaması üzerine sunulmaktadır (Fiedrich ve diğ., 2000). Bununla birlikte, yardım malzemesi dağıtım konusu üzerine yapılan diğer bir çalışma Horner and Downs'a aittir (Horner ve Downs, 2010). Araştırmalarında, afet yardım bölgelerindeki, alternatif malzeme dağıtım stratejilerinin etkilerini keşfetmek için senaryo incelemesini model olarak ele alır ve değerlendirirler. Lejeune ise çok periyotlu hizmet seviyesini, doluluk oranı ve koşullu stok dışı kalma envanter politikaları için geliştirilen stokastik hizmet seviyesi kısıtları için formülize eder

(Lejeune, 2013). Son olarak Bozorgi-Amiri ve diğ., belirsizlik altında afet yardımı lojistik planlamalarını çok amaçlı ve sağlam bir stokastik programlama modeli ile incelerler. Çalışmalarındaki çok amaçlılık, maliyet optimizasyon parametreleri ve belirsizlikten kaynaklanan olursuzluğun cezalandırılması, dolaylı olarak hizmet seviyesinin maksimizasyonu şeklinde kendini gösterir (Bozorgi-Amiri ve diğ., 2012, 2013).

Yukarıda tanımlanan alanların yanı sıra, afet öncesi ve sonrası dönemi birlikte ele alan, afet yönetim kabiliyetlerinin, afet öncesi yardım malzemesi envanter politikaları ile karşılaştırılması (Kunz ve diğ., 2013) ya da afet sonrası dönemde kısa zamanda yaşam şartlarının sağlanması gibi örneklerle dayanan çalışmalar da bulunmaktadır (Feng ve Wang, 2003). Bu gibi ilginç çalışmalar, hiç dokunulmamış yeni araştırma sahaları oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, çözülmesi daha kolay olduğundan dolayı, çalışmaların çoğunun tek amaç fonksiyonlu modeller ile ilgilenmekte olduğu söylenebilir. Ancak, çok amaçlı çalışmalar amaçların ağırlıklandırılmasını göz önüne aldıkları için gerçek yaşam koşullarına daha yakındır (Brent, 1984). Amaç fonksiyonlarında, mesafe, lojistik ve uygulama maliyetleri, müdahale zamanı optimize edilmektedir. İnsan davranışının etkileri henüz herhangi bir çalışmada göz önüne alınmamıştır.

2.6 Afet Sonrası İnsani Yardım Tedarik Zinciri Modelleri İçin Uygun Amaç Fonksiyonu

Bu bölüm, insani ve afet lojistiği araştırma modellerinde en uygun amaç fonksiyonunun kullanılmasının gerekliliği ve önemini vurgulamak için ayrılmıştır. Literatür temel olarak, gerek maliyet açısından gerekse zaman açısından modellerde tekil amaç fonksiyonu kullanımının yaygın olduğunu göstermekte ve bir afetin sosyal etkilerinin görmezden gelindiğini ifade etmektedir. Ancak, kısa süreli ve uzun süreli afet sonrası dönemler arasındaki geçiş dönemi, zamana bağlı bir değişimle gerçekleşmekte ve bu zaman aralığı ile birlikte öne çıkan sosyal ve bunaltıcı etkiler daha karmaşık ve dikkat çekici hale gelmektedir. Bu açıdan bakıldığında, ortaya çıkan esas maliyetin afetzedelerden kaynaklanan sosyal ve depresif maliyetler olacağı kabul edilebilir ve dikkate alınması daha iyi olur. Afetten zarar gören nüfusun acısının hafifletilmesi, hem refahı, hem de hizmet seviyesi performansını artırmaktadır.

Örneğin, kritik kaynakların, su, çadırlar, vb. dağıtımı ele alınabilir. Eğer kaynakların bekleme zamanı daha uzun sürerse, suyun yokluğunun negatif etkileri katlanarak artar (Holguín-Veras ve diğ., 2013). Ya da, eğer afet kış sezonunda meydana gelirse, çadır gerekliliğinin etkisi zamanla doğru orantılı olarak artar. Ticari çevredeyken öncelikli amaç, lojistik maliyetini düşürmektir, ancak insani yardım tedarik zinciri koşullarında, insanın acı çekmesi, yani yoksunluk maliyeti, daha çok önem kazanır ve ihmal edilemez.

Yoksunluk ve lojistik maliyetleri birlikte çok amaçlı bir fonksiyonda düşünülürse, uygun ve gerçekçi bir amaç fonksiyonu gerçekleşmiş olacaktır. Bu yaklaşım, yalnızca maliyet ve zamanı çok amaçlılık çatısı altında birleştirerek dahi, afet yönetimi literatürünün rutin çok-amaçlı modelleme çabalarının ötesine geçer. Amaç fonksiyonları üzerine yapılan kapsamlı bir literatür incelemesi için, okuyucu sosyal maliyetlerin, lojistik ve yoksunluk maliyetlerinin özeti olarak tanımlandığı Holguín-Veras ve diğ. makalesine başvurabilir (Holguín-Veras ve diğ., 2013). Çalışmalarında, temel olarak maliyet karakteristiğine zaman boyutu ile yaklaşarak vurgu yaparlar. Yoksunluk maliyeti fonksiyonunun değer limiti -bir kişinin yoksunluğunun 5 gününden sonra öldüğü nokta- 5 milyon ABD Doları olarak farz edilir (Weisbrod ve diğ., 2009). Afet sonrası kısa dönemde, bütün ihtiyaç noktalarına yeterli sevkiyat neredeyse imkânsızdır ve bazı noktalar ikinci sevkiyata bırakılır. Sonuç olarak yoksunluk sebebi ile çekilen acı, ilk seferde sevkiyat yapılamamışlarda yükselen bir eğilimle artacaktır. Bu nedenle, fırsat maliyetlerinin doğru hesap edilmesi, optimizasyon çabalarında genel olarak varsayılan tek dönemlilik yaklaşımından uzaklaşmadığı sürece, zamansallıktan ve gerçek hayattan uzak kalacaktır.

Bu değerlendirmeler gerçek hayat koşulları üzerine yerel afet yönetim birimleri ve acil durum planlama otoriteleri ile yapılan görüşmelerde elde edilen sonuçlar ile uyum göstermektedir (Disaster&Emergency Management Presidency (AFAD), 2013b). Geçmiş tecrübelerle göre, sorunlu alanların en önemlilerinden biri, yardım malzemeleri tedariklerinin yeterliliği ve sırasıyla, komşu şehirlerden, daha sonra komşu ülkelerden, taleplerin oluşması ile birlikte aralıksız olarak yapılması üzerinedir. Tam tedarik ve tüm taleplerin karşılanması işlemi gerçekleşene kadar, diğer bir ifadeyle afetzedeler tam tatmin oluncaya kadar bir gecikme süresi yaşanması kaçınılmazdır.

Holguín-Veras ve diğ. yoksunluk maliyetlerini, bir mal veya hizmete erişim eksikliği nedeniyle oluşan yoksunluğun zamanın bir fonksiyonu ve sosyo-ekonomik

karakteristiklerden (ör. yaş, cinsiyet, fiziksel koşul) kaynaklanan insanın çektiği acının ekonomik değeri olarak tanımlarlar. Yoksunluk maliyetleri fonksiyonunun monoton, doğrusal olmayan, konveks ve histeretik (geçmişteki süreçleri de hafızalarında muhafaza eden) olduğunu öne sürerler.

Sonuç olarak, karşılanmamış taleplerin minimizasyonunun yanı sıra yazarlar üç ceza-temelli matematiksel model (katı kısıt, sabit ceza ve değişken ceza modelleri) üzerine odaklanır. Bunlar arasından değişken ceza modellerinin yapısal olarak birkaç değişiklikle gerçek hayatı yansıtmaya daha yakın olduğuna karar verirler. Çalışmalarını bir kaç sayısal örnekle tamamlar ve ileri bir araştırma konusu olabilecek, yoksunluk ve sosyal maliyetlerin tespitinin bir araştırma sorusu olarak önemle incelenmesi gerekliliği üzerine düşünceleri ile sonuçlandırır.

Amaç fonksiyonunun incelenmesi çalışmasına benzer olarak, Campbell ve diğ. çok araçlılığın ve araç kapasitelerinin bulunduğu rotalama problemleri için iki alternatif amaç fonksiyonu tipi üzerinde çalışırlar (A. M. Campbell ve diğ., 2008). Huang ve diğ. etkinlik, etkililik ve eşitliği temel alan amaç fonksiyonlarını karakterize eden formülasyonlar sunmaktadır. Çalışmalarında her bir amaç fonksiyonunun rotalama çözümlerindeki performansını resimlemek için örnekler sağlamaktadırlar (Huang ve diğ., 2012).

Dolayısıyla, tek bir tip ve genel bir amacın her bir afet dağıtım durumu için doğru olmayabileceği söylenebilir. Amaç fonksiyonun seçimi duruma bağlı olup, yanlış seçilmesi araştırma modellerinde çözüme yönelik hataya sevk edebilmektedir.

2.7 Sonuçlar ve Gelecekteki Araştırmalar

Yaptığımız seçici inceleme göstermektedir ki, HSC yönetimine dair yapılan araştırmalar parçalı bir yapıda bulunmakta, işlev ve süreçler arası çapraz etkileşimler ele alınmamakta ve lojistik süreçler üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Acil duruma yönelik operasyonlarda entegrasyon temel bir ihtiyaçtır, ancak entegrasyon, yardım organizasyonlarının teşkilat yapılarını geliştirmek yerine, organizasyonel fonksiyonel bağlantıların doğru kontrolü ile başarılabilmektedir (Alexander, 2013). Bu nedenle, bütün lojistik bileşenler birbiri ile bağlı iken, bileşenlerin doğru kullanılmaması ve yönetilmemesi nedeniyle, optimizasyon çabaları her zaman genel optimumun altında sonuçlanacaktır. Parça parça çalışmalar

hesap performansına yönelik yeterliliği arttırmakta, ancak problemin doğasına olan bütünlük bir yaklaşım ihtiyacı ihmal edilmektedir (Caunhye ve diğ., 2012).

Entegre lojistik çok-amaçlılığı doğasında barındırmaktadır, ancak görülen odur ki; literatürde devam eden ve geçmiş araştırmalar, çok amaçlı problemlerin çözülmesinin zor olduğundan hareketle çok-seviyeli, çok-amaçlı modellerden özellikle kaçınılmaktadırlar (Barbarosoğlu ve diğ., 2002). Bu alandaki çok-amaçlı, çok-modlu, çok malzemeli ve çok periyotlu nadir araştırmalardan biri Najafi ve diğ. tarafından yapılmıştır (Najafi ve diğ., 2013). Ayrıca eğer amaç genel optimuma ulaşmaksa, çok-amaçlılığı sadece maliyet ve zaman optimizasyonu bakımından değerlendirmek tatmin edici olmayacaktır. Yoksunluk maliyetlerini de hesaba katmak gerekmektedir. Öte yandan, gönüllü grupların entegrasyonunun organizasyonu yanı sıra, afetlerdeki koordinasyon etkinliği de modellerde ele alınabilir. Tecrübe edilmiştir ki gönüllüler, afetzedeler ve afetten etkilenmemiş insanlar dinamik olarak yardım iş gücüne katılabilmekte veya terk edebilmektedirler (Caunhye ve diğ., 2012). Söz konusu dinamizmin modele katılması, insan gücünün etkin yönetimi açısından ele alınması gereken ve ilginç bir amaç daha oluşturur. Najafi ve diğ., zaman içinde gelen bilgi güncellemelerine göre dağıtım ve rotalama kararlarını dinamik olarak güncelleyerek, bahse konu bu ilginç amacın araştırılmasına yönelik bir adım atmıştır (Najafi ve diğ., 2014).

Özetle, entegre lojistik ve operasyonların çapraz etkileşimini ele alan modellerin eksikliği, zamana bağlı yoksunluk maliyetlerinin göz önüne alınmadığı sınırlı sayıdaki çok amaçlı model, afet yönetimi ve HSC çalışmalarında odaklanılması gereken en cazip boşluklar olarak değerlendirilebilir.

İlave olarak, dağıtım merkezleri arasında yatay yönlü afet yardım malzemesi aktarımı da henüz çalışılmamıştır. Kibar ve Salman'ın (Kibar ve Salman, 2013) geçici dağıtım ve tedavi merkezi üzerine devam eden bir çalışması olmasına rağmen, deterministik bir yaklaşım yürütmekte ve afet-öncesi dönemdeki olası yerleşim kararlarını göz önünde bulundurmaktadırlar.

Yaralı taşıma üzerine yapılan araştırmaların da oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Bu alandaki çalışmalar, taşıma zamanı, yaralanmanın ciddiyeti, yerinde tedavi, tıp merkezi konumunun afet bölgesine etkileri (en yakın merkez, daha ciddi

yaralanmaların alımı vb.) gibi birleştirici unsurların da hesaba katılması ile artırılabilir.

Lojistik optimizasyon çabaları, acil durum ortamının sosyo-ekonomik yanlarını dikkate almayarak, varsayım yapmayı tercih eder. Ama bu varsayımlar mantıksız ve pratik olmayan sonuçlara neden olabilir. Afet-sonrası çevrelerdeki insan davranışlarının yok sayılması varsayımları optimizasyon başarısızlığının bir faktörü olabilecektir. Çünkü duruma göre değişen insan davranışı, afet-öncesi ortamda karar verilmiş herhangi bir optimum lojistik planı etkileyebilir. Örneğin, tahliye planları insanlara acil durumlarda önceden tanımlanmış tahliye yollarının kullanılması suretiyle rehberlik etmeyi amaçlar, ancak bir afet veya acil durum ortamında, insanlar kendi tahliyelerinden önce ailelerini, arkadaşlarını ve/veya akrabalarını bulma eğilimindedir. Bu nedenle önceden planlanmış ve varsayılan tahliye yollarını takip etmezler. Bir diğer örnek afet yardım paket dağıtım olayı için verilebilir. Genellikle ve pratik amaçlarla, dağıtımlar kamyonların arkasından kalabalık ve güçlkle ilerleyen topluma gelişi güzel bir şekilde yapılır. Özellikle, dağıtımcı paketi istekli ve hevesli görünen kimseye verir. Böylelikle, çoğu zaman bazı afetzede ailelerde ihtiyaç fazlası ve/veya eksik dağıtım durumu ortaya çıkar; sonuç olarak yoksunluk maliyetleri artar ve eşitlik sağlanamamış olur. İnsan davranışlarından etkilenen bu belirsizliklerin üstesinden gelmek için, daha gürbüz optimizasyonlar kullanılabilir. Bu nedenle, lojistik maliyetler ve zamanında müdahale edilebilirliğin yanı sıra, yardım planlamasının gürbüzlüğü amaç fonksiyonunun bünyesine dâhil edilebilir (Caunhye ve diğ., 2012). İnsani yardım kuruluşlarının kaynak tahsisine yönelik afet sonrası dönemde daha geniş ve disiplinler arası bir yaklaşım ve inceleme için Pantuliano'nun çalışmasına başvurulabilir (Pantuliano, 2009).

Geleneksel araç rotalama modelleri, malzemelerin tek depodan başlayan ve tek depoda sonlanan rotalar üzerinde deterministik dağıtım olacağı varsayımında bulunur (de la Torre ve diğ., 2012). Ancak, yardım malzemesi rotalama modelleri dört farklı şekilde sınıflandırılabilir; tekli depo, taşıtların orijinal depolarından yola çıktığı ve orijinal depolarına döndüğü çoklu depo, taşıtların yola çıktıkları ve varış yerinden yeni bir varış noktasına doğru ilerlediği, kendi orijinal depolarına dönmediği çoklu depo ve depo konsepti olmayanlar. Çoklu başlama ve sonlanma noktası olan modeller daha gerçekçi olduğundan, bu varsayımı modellerde kullanmak daha doğru olacaktır. Bir diğer ortak varsayım, afet döneminde iletişimin sınırlı olduğu ve

yalnızca birkaç kamyon ağıında ilkel telsiz yöntemler ile iletişim kurulabildiğidir. Nakliye ağıındaki herhangi bir duraklama noktasında araçların sonraki talimatlarını bekleme kabiliyetini modelleyen sınırlı ama ilginç çalışmalar da vardır (Özdamar ve diğ., 2004).

Literatür araştırmasında, HSC yardım malzemesi dağıtım çalışmalarının çoğunun afet öncesi dönemde malzeme ve hizmetin yerleşim ve tahsisi üzerinde odaklandığı ve afet sonrası dönemde çok periyotlu bir ortam içinde bağış ile gelen malzeme ve hizmetin idamesi ile ilgilendiğı fark edilmiştir. Ayrıca anlaşılmaktadır ki, tek seferlik dağıtım, afet olaylarında yeterli olmamakta ve çok periyotlu, çok amaçlı rotalama ve dağıtım problemlerinin çözülmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Caunhye ve diğ. tarafından gerçekleştirilen acil durum lojistiğinde optimizasyon modelleri üzerine olan incelemesi ve de la Torre'nin afet yardım malzemesi rotalama problemleri üzerine literatür araştırması, HSC yönetiminde yapılan araştırmaların sınıflandırılmasına ışık tutmaktadır (Caunhye ve diğ., 2012; de la Torre ve diğ., 2012).

HSC yönetimi üzerine yapılan YA/YB çalışmaları sınıflandırıldığında yardım malzemeleri rotalama ve dağıtım problemlerinin ana iskeleti oluşturduğu görülmektedir. Bu nedenle, söz konusu çalışmaların literatürü üzerine odaklanan Altay ve Green, Kovács ve Spens ile Caunhye ve diğ. araştırmalarına, kendi tamamlayıcı incelememiz de eklenerek güncel bir tablo oluşturulabilir (Altay ve Green, 2006; Caunhye ve diğ., 2012; Kovács ve Spens, 2007). HSC yardım malzemesi dağıtım ve rotalama modellerinin amaç fonksiyonu, planlama dönemi, veri tipi ve seviyelerine göre yapılmış sınıflandırması Çizelge 2.3'te sunulmuştur.

Çizelge 2.3: İnsani yardım tedarik zinciri malzeme dağıtım ve rotalama modellerinin amaç fonksiyonu, dönem, veri tipi ve seviyelerine göre sınıflandırması.

Yazar - Yıl	Amaç		Dönem (Periyot)		Veri Tipi		Seviye	
	Tek	Çoklu	Tek	Çoklu	Deterministik	Stokastik	Tek	Çoklu
(Afshar ve Haghani, 2012)	✓		✓		✓		✓	
(Aman ve diğ., 2012)	✓		✓		✓		✓	
(Balcik ve Beamon, 2008)	✓		✓		✓			✓
(Balcik ve diğ., 2008)		✓	✓		✓		✓	
(Barbarosoğlu ve diğ., 2002)		✓	✓		✓			✓
(Barbarosoğlu ve Arda, 2004)	✓		✓			✓		✓
(Barzinpour ve diğ., 2014)		✓	✓		✓		✓	
(Berkoune ve diğ., 2012)	✓		✓		✓		✓	
(Bozorgi-Amiri ve diğ., 2012)	✓		✓			✓	✓	
(Bozorgi-Amiri ve diğ., 2013)		✓	✓			✓	✓	
(Brown ve Vassiliou, 1993)	✓		✓		✓		✓	
(Camacho-Vallejo ve diğ., 2014)	✓		✓		✓			✓
(Ann Melissa Campbell ve Jones, 2011)	✓		✓			✓	✓	
(Charnes ve diğ., 1976)	✓		✓		✓		✓	
(Charnes ve diğ., 1979)	✓			✓	✓		✓	
(Chang ve diğ., 2007)	✓		✓			✓		✓
(Dessouky ve diğ., 2006)	✓		✓			✓	✓	
(Feng ve Wang, 2003)		✓	✓		✓		✓	
(Fetter ve Rakes, 2013)		✓	✓		✓		✓	
(Fiedrich ve diğ., 2000)	✓			✓		✓	✓	
(Gkonis ve diğ., 2007)	✓		✓		✓		✓	
(Güler ve Ermiş, 2014)	✓		✓		✓	✓		✓
(Haghani ve Oh, 1996)	✓			✓	✓		✓	
(Hinojosa ve diğ., 2014)	✓		✓			✓		✓
(Horner ve Downs, 2010)	✓		✓		✓		✓	
(Holguín-Veras ve diğ., 2013)		✓		✓	✓		✓	
(Hu ve Sheu, 2013)		✓		✓	✓		✓	
(Knott, 1987)	✓		✓		✓		✓	
(Knott, 1988)	✓		✓		✓		✓	
(Kunz ve diğ., 2013)	✓			✓	✓		✓	
(Lejeune, 2013)	✓			✓		✓	✓	
(Liberatore ve diğ., 2014)	✓		✓			✓	✓	
(Lin ve diğ., 2012)	✓			✓	✓			✓
(Mate ve Zabinsky, 2010)		✓	✓			✓		✓
(Najafi ve diğ., 2013)		✓		✓		✓	✓	
(Najafi ve diğ., 2014)		✓		✓	✓		✓	
(Noyan, 2012)	✓		✓			✓		✓
(Ozguven ve Ozbay, 2013)	✓		✓			✓	✓	
(Özdamar ve diğ., 2004)	✓		✓		✓		✓	
(Özdamar ve Demir, 2012)	✓		✓		✓		✓	
(Peeta ve diğ., 2010)	✓		✓			✓		✓

Yazar - Yıl	Amaç		Dönem (Periyot)		Veri Tipi		Seviye	
	Tek	Çoklu	Tek	Çoklu	Deterministik	Stokastik	Tek	Çoklu
(Peng ve Chen, 2012)	✓		✓			✓	✓	
(Peng ve diğ., 2014)	✓		✓			✓	✓	
(Psaraftis ve Ziogas Bo, 1985)	✓			✓	✓		✓	
(Rawls ve Turnquist, 2010)		✓	✓			✓	✓	
(Ray, 1987)	✓		✓		✓		✓	
(Rennemo ve diğ., 2014)	✓		✓			✓		✓
(Roh ve diğ., 2013)		✓	✓		✓		✓	
(Salman ve Yücel, 2014)	✓		✓			✓	✓	
(Shen, Dessouky ve diğ., 2009)	✓		✓			✓		✓
(Shen, Ordóñez ve diğ., 2009)		✓	✓			✓	✓	
(J. B. Sheu ve diğ., 2005)	✓		✓		✓		✓	
(J.-B. Sheu, 2007a)	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
(J.-B. Sheu, 2010)		✓	✓			✓	✓	
(Srinivasa ve Wilhelm, 1997)	✓			✓	✓		✓	
(Tuzun Aksu ve Ozdamar, 2014)	✓			✓	✓		✓	
(Tzeng ve diğ., 2007)		✓		✓	✓		✓	
(Viswanath ve Peeta, 2003)		✓	✓		✓		✓	
(Vitoriano ve diğ., 2011)		✓	✓		✓		✓	
(C. Wang ve Xi, 2012)	✓		✓		✓		✓	
(H. Wang ve diğ., 2014)		✓	✓		✓		✓	
(Wilhelm ve Srinivasa, 1997)	✓			✓	✓		✓	
(Wohlgemuth ve diğ., 2012)	✓			✓	✓		✓	
(Yi ve Kumar, 2007)	✓			✓	✓		✓	
(Yi ve Özdamar, 2007)	✓			✓	✓		✓	
(Van Hentenryck ve diğ., 2010)		✓	✓			✓		✓
(Yan ve Shih, 2009)		✓		✓	✓		✓	
(Yuan ve Wang, 2009)		✓		✓	✓		✓	
(Zhan ve diğ., 2013)		✓	✓			✓	✓	

Tekli dönem, afet-öncesi dönemi göz önüne alırken, çoklu dönem afet sonrası kısa ve uzun dönem olarak tanımladığımız iki dönemi kapsar. Deterministik ve stokastik başlıkları veri türünü tanımlar. Deterministik çalışmalarda, durumlar arasındaki bilinen bağıntılar sayesinde sonuçlar kesin olarak belirlenir ve bir girdi her zaman aynı sonucu üretir. Stokastik veride ise parametreler olasılıksal veya senaryo tabanlı olabilmektedir. Seyahat zamanı, afet konumu, arz, talep veya her ikisi de stokastik olabilir. Amaç fonksiyonları ya tekli ya da çok-kriterlidir ve ayrıca tahsis kararları tüm talep edenlere eşit dağıtımı öngören eşitlikçi politikada ya da talep noktalarındaki toplam hizmet seviyelerini tatmin etmeye yönelik faydacı politikada olabilir. Çok

amaçlı çalışmalarda birden fazla amaç tek bir modele entegre edilirken, tek amaçlı modeller yalnızca tek bir amacı en iyileştirmeyi göz önüne alır. Operasyonel HSC araştırmalarında kullanılan minimizasyon ve maksimizasyon amaç parametreleri Çizelge 2.4'te görülebilir. Son olarak, seviyelerin sayısı optimizasyonun kaç basamakta ya da seviyede yapıldığını belirtir. Çok seviyeli optimizasyonda, bir optimizasyon problemi bir diğer optimizasyon problemi içinde yuvalanmıştır ve karar verme sürecinde bir lider ile bir takipçi vardır. Bilgi mevcudiyetinin farklı seviyelerde farklı olduğu modellerde karar verme süreci çok seviyeli araştırmalar grubuna aittir.

Çizelge 2.4: Afet yardım malzemesi rotalama ve dağıtım literatüründe amaç fonksiyonları.

Minimizasyon			Maksimizasyon
Ulaştırma maliyeti	Kurtarma ekipman maliyeti	Karşılammış talep	Seyahat
güvenilirliği	Operasyon maliyeti	Son varış zamanı	Hakkaniyet
Tesis açılış maliyeti	Kıtlık maliyeti	Toplam tepki zamanı	Verimlilik
Ekipman kira maliyeti	Tedarik maliyeti	Ulaştırma zamanı	Teslimat
Ceza maliyeti miktarı	Elde tutma maliyeti	Ölüm sayıları	Teslimat Hızı
Gecikme maliyeti	Lojistik maliyeti	Sevkiyat mesafesi	İşbirliği
Yoksunluk maliyeti			

Yukarıdaki yapısal sınıflandırmaya dayanarak, HSC'ler üzerine yapılan afet yardım malzemeleri lojistik araştırmalarının mevcut durumları özetlenebilir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5 : İnsani yardım tedarik zinciri afet yardım malzemesi lojistik araştırmalarının mevcut durumu.

		Tekli Dönem		Çoklu Dönem	
		Deterministik	Stokastik	Deterministik	Stokastik
Tek amaçlı	Tek Seviyeli	✓ (15)	✓ (8)	✓ (11)	⌚ (2)
	Çok Seviyeli	⌚ (3)	✓ (8)	⌚ (1)	✗ (0)
Çok amaçlı	Tek- Seviyeli	✓ (9)	✓ (5)	✓ (7)	⌚ (1)
	Çok Seviyeli	⌚ (1)	⌚ (2)	✗ (0)	✗ (0)

✓: çalışma var (≥5) ✗: çalışma yok ⌚: sınırlı (<5)

Literatürdeki açık noktaları kapatmak adına çok amaçlı, çok seviyeli, çok-dönemli ve stokastik yardım malzemeleri dağıtımı ve lojistik modellere yönlendirilmesi, aynı zamanda yoksunluk ve lojistik maliyetlerin bütününden meydana gelen sosyal maliyetlerin de model içerisinde minimize edilerek daha pratik sonuçlar üreten çalışmalara odaklanılması önerilebilir. Aynı zamanda, modelde ihtiyacı olunan kadar

değişken ceza fonksiyonu kullanımı ile daha gerçekçi sonuçlar elde etmek mümkün olabilir.

Ayrıca ihtiyaç analizi de oldukça elzemdir ve gerçekçi olması tercih edilir. Bu nedenle, modellerin oluşturulmasında yerel afet yönetim planlamacıları ve otoriteleri ile koordinasyon kurulması daha gürbüz sonuçlar sağlayacaktır. İhtiyaç analizi amacıyla gönüllü organizasyonlar, afet döneminde periyodik olarak analiz verileri toplayabilmek için afetten etkilenmiş bölgelere geziler yapmaktadırlar. Bununla birlikte, bilimsel çalışmalarda araştırmacıların, BM, Dünya Besin Programı (WFP), WHO ve FEMA'nın HAZUS altyapı zarar modelleme yazılımı gibi bilgi haritalarından faydalanabilirse daha etkili araştırmalar yapılabilecektir.

Belirsizlikle mücadele edebilmek için, geçmiş yardım malzemesi arz ve talep bilgileri ile yapılan ve geçmişi temsil edecek en yakın olasılık fonksiyonlarının tespit edilmesi amacını taşıyan girdi analizi veya rassal olayları temsil edecek senaryoların kullanılması tercih edilebilir. Yerel otoriteler raporlarında afetzedelerin bir felaket bölgesinden diğerine geçerek daha iyi kaynaklara ulaşmaya veya ölüme sebep olan salgınlardan uzaklaşmaya çalıştıklarını raporlamışlardır. Bu örnek durum dahi yeni bir belirsizlik kaynağı yaratmaktadır. Çok seviyeli karar vermede, iki veya üç aşamalı dağıtım deposu tahsisi ve dinamik, mobil dağıtım merkezlerinin mevcudiyetinin modele katılması araştırmalara katma değer ekleyebilir ve stokastik bir yaklaşım ile uyum sağlayabilir. İlave olarak, yeni oluşacak gönüllü kamyonculuk hizmetleri için kamyon ağları tesis edilebilir, terk edişler ve filo kapasiteleri de benzer şekilde modele katılabilir. Dağıtım noktalarında harcanan zaman da modellere eklenebilecek ayrı bir unsurdur ve kuşkusuz ki optimizasyon sonuçlarına etki edecektir. Bu ve benzeri unsurların da değerlendirmeye alınması, arz ve talep belirsizliğinin yanı sıra literatürde hesaba katılmayan yeni belirsizlikleri de hesaba katacak ve daha gerçekçi yaklaşımlar üretilebilecektir.

Son olarak güvenlik açısından yaklaşıldığında, modellere yemek ve su gibi kolaylıkla satılabilen maddelerin hırsızlığa karşı korunmasızlığı ve bunlar üzerindeki yağmacılığın getirdiği etkiler de modele eklenebilir. Güvenlik henüz modellenmemiştir. 2010'da Haiti'deki sürücüler, kötü güvenlik şartları nedeniyle noktadan noktaya durmaksızın doğrudan seyahatler gerçekleştirmiştir. Ayrıca, yakın tarihte New Orleans'ta meydana gelen felakette, şiddet raporlarından sonra birçok sürücü yardım malzemesi dağıtım görevini terk etmiştir. Konvoylaşma, malzeme

teslimi ve ulaştırmada gecikmeye sebep olabilmekte ve yerel şoförlerin kullanılması zorunluluğu ek bir kısıt oluşturabilmektedir. Diğer güvenilirlik hususu ise araçlar için uygun yolların mevcudiyetinin olup olmayışıdır. Ellerinde güncel haritalar bulunmadığından dolayı, çoğu zaman, araç sürücöleri enkaz ve molozdan kaynaklanan yol kapanışlarını, yolu kat ettikten sonra keşfetmek zorunda kalmaktadır. Felaketlerde ulaşım altyapısı performansı hakkında daha geniş bir incelemeye Faturechi ve Miller-Hooks (2014)'dan ulaşılabilecektir.

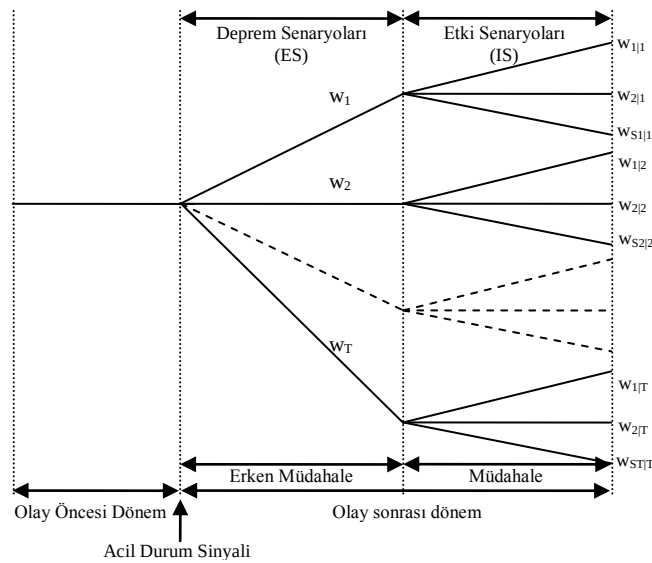


3. AFET YÖNETİMİNDE STOKASTİK PROGRAMLAMA

3.1 Afet Yönetiminde İki Seviyeli Stokastik Programlama

Afetler doğaları gereği belirsiz olaylar olduğundan, stokastik programlamanın kullanımı optimuma yakın kararları elde edebilmek için gereklidir. Deprem ve buna bağlı etki senaryolarının davranışı üzerine şekillenen iki seviyeli stokastik problemin yapısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir. İki aşamalı stokastik programlamada, genellikle birinci aşamada parametreler rassal değil, ikinci aşamada rassaldır. İkinci aşama kararları, birinci aşamada gerçekleşen olaylar gözlemlendikten sonra belirlenir.

İlk aşamanın rassal parametreleri (Ω_1, P_1) olasılık uzayında, ikinci aşama rassal parametreleri ise $(\Omega_{2|t}, P_{2|t})$ koşullu olasılık uzayında tanımlanmaktadır. Burada, $\Omega_1 = \{w_1, w_2, \dots, w_T\}$ ilk aşama rassal miktarlarının örneklem uzayını, $\Omega_{2|t} = \{w_{1|t}, w_{2|t}, \dots, w_{S_t|t}\}$ ise ikinci aşamanın rassal miktarlarının örneklem uzayını ifade eder. $T = |\Omega_1|$ ve w_t , tüm $t = 1, 2, \dots, T$ için Ω_1 içinde bir deprem senaryosudur (ES). Aynı şekilde, $S_t = |\Omega_{2|t}|$ ve $w_{S_t|t}$, tüm $s = 1, 2, \dots, S_t$ için $\Omega_{2|t}$ içinde bir etki senaryosudur (IS).



Şekil 3.1 : Afet yönetimi dağıtım, ulaştırma ve tahsis planlamasında iki seviyeli stokastik programlama yapısı (Barbarosoğlu ve Arda, 2004).

Her bir ES 'nin olasılığı $p(w_t)$ olarak tanımlanır ve $\sum_{t=1}^T p(w_t) = 1$ 'dir; benzer şekilde her bir IS 'nin koşullu olasılığı $p(w_s|w_t)$ olarak tanımlanmakta ve $\sum_{s=1}^{S_t} p(w_s|w_t) = 1$ olmaktadır.

İki seviyeli stokastik programlama probleminde, genel stokastik programlama uygulamalarının aksine, ilk ve ikinci aşamada rassal parametreler tanımlanmakta ve düğümler arası bağlantı (ark) kapasitesi, arz ile talep parametreleri rassal vektörler olarak kabul edilmektedir.

$\varepsilon_1(w_t) = \{K_{ij}^v(1, w_t), U_i^k(1, w_t)\}$, sırasıyla ilk aşama ark kapasitesi ve arz parametrelerinin vektörleri, $\varepsilon_2(w_{s|t}) = \{K_{ij}^v(2, w_{s|t}), D_i^k(2, w_{s|t})\}$ ise aynı sırayla ikinci aşama bileşik kapasite ve talep vektörlerini ifade eder. Buradaki kapasite parametreleri K_{ij}^v ile gösterilmekte ve v ulaştırma modu için (i, j) arkının kapasitesini temsil etmektedir. Benzer şekilde U_i^k ve D_i^k sırasıyla arz ve talep parametrelerini göstermekte olup, i düğümündeki k malzemesine ait arz ve talep miktarlarını temsil eder.

3.2 Deterministik Eşlenikli Stokastik Programlama Modelinin Geliştirilmesi

İki seviyeli stokastik programlama modelinin en temel karar değişkenleri, düğüm noktaları arasındaki akış miktarıdır. Modelde kullanılan akış değişkenleri (l, m) yolunun, l arz düğüm noktasından m talep düğüm noktasına, her bir k malzemesi için ayrı (i, j) arkını v ulaştırma modunu kullanarak taşınan miktarı ifade eder. Geleneksel akış miktarı anlayışından farklı olarak problemde, gerçek hayata yakınlık ve malzeme-mod uyumluluğuna uygun detaylı akış bilgisinin elde edilebilmesi amaçlanır ve bu akış X_{lmij}^{kv} temsil edilir.

Başlangıç arz miktarının birinci aşamanın sonunda, talep ve ark akış kapasiteleri rassal olan ikinci aşama gerçekleşmeden önce, tam ve en uygun maliyetle diğer düğümlere tahsis edilmesi beklenir. Bu malzeme hareketini sağlamak için, iki aşama arasında her bir düğüm noktasının malzeme miktarını ifade eden bir durum değişkeni olarak R_i^k kullanılmakta, değişkenin iki aşama arasındaki iletişimi sağlaması ve ilk aşamanın sonunda genel resmi vermesi amaçlanmaktadır. Başlangıçta sistemde mevcut talebi karşılayacak kadar çok arz bulunmaktadır. Ancak, rassallıktan doğan sebeplerle talebin artması nedeniyle ilk aşama sonrası olurlu olmayan sonuçlar

beklenebilir. İkinci aşamada ise, envanter fazlası ve karşılanamayan talep durumları oluşabilecektir. Bu miktarlar, miktarın doğrusal bir fonksiyonu olan bir ceza maliyeti ile maliyetlendirilirler. Çalışmanın sonunda, söz konusu miktarların ceza davranışına yönelik durumlar da ayrıca analiz edilecektir. Modelin kurulumundaki temel varsayımlar aşağıda sunulmuştur:

- Her düğüm, bir arz ya da talep düğümü ya da her ikisi olabilir ve bir veya daha fazla K tip malzeme bulundurabilir. Aynı zamanda, geçiş düğümü olarak kullanılabilir.
- Sistemde saf geçiş düğümü olarak davranan düğüm noktaları vardır ve bu düğümlerde malzeme bulunamaz.
- Hiç bir aşamada sistem dışından ek arza izin verilmez.
- Arkalar, düğümler arası V adet ulaştırma modunu temsil eder. Bu arkalar üzerinden taşınan malzemeler, ulaştırma moduna ve taşınan malzeme miktarına göre doğrusal olarak değişen taşıma maliyeti ile maliyetlendirilirler.
- Her bir malzeme için birden fazla kaynak, birden fazla talep düğümü ve birden fazla örüntü olabilir.
- Ulaştırma modları arası geçişler, daha önceden belirlenmiş düğümlerde ve miktara göre doğrusal olarak değişen bir maliyet altında yapılabilmektedir. Geçiş düğümlerinde uygun fiziksel şartlar bulunmaktadır.
- Her ulaştırma modunda her malzeme taşınamaz. Mod-malzeme uyumluluğu bulunmaktadır.
- Deprem şiddeti ve yeri alınan erken ikazlar ile belirlendikten sonra, ilk aşama ark kapasitesi ve arz miktarlarının deterministik olarak belli olduğu varsayılır.

Modelimiz, çok malzemeli, çok modlu dağıtım ve ulaştırma probleminin “değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli (DDEİSSPM)” olarak adlandırılmaktadır. Modelde kullanılan deterministik ve rassal değişkenler ile parametreler Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.1 : Değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli deterministik ve rassal veri tanımları.

Notasyon	Tanım
<i>Deterministik Veri</i>	
G	(N, A)
N	düğüm seti
A	ark seti
K	malzeme seti
V	ulaştırma mod seti
T	ES w_t durum değişkeni ile deprem senaryoları seti
S	IS w_s durum değişkeni ile etki senaryoları seti
SM_{ij}^k	k malzemesi için $ark(i, j)$ yolu üzerinden ulaştırma modları seti
SO^k	k malzemesi için başlangıç düğümleri seti
SD^k	k malzemesi için varış düğümleri seti
S^k	$SO^k \cup SD^k$
TR^k	k malzemesi için aktarım düğümleri seti
C_v	elde tutma maliyeti
C_w	kısa kalma maliyeti
C_{ms}	her bir birim malzemenin mod değişim sabit maliyeti
C_{ij}^{kv}	bir birim k malzemesini i düğümünden j düğümüne v ulaştırma modu ile taşıma maliyeti
<i>Rassal Veri</i>	
$\tilde{U}_i^k(1)$	i düğümünde ilk aşamada k malzemesinden rassal arz miktarı
$U_i^k(1, w_t)$	$\tilde{U}_i^k(1)$ 'in bir gerçekleştirilmesi
$\tilde{K}_{ij}^v(1)$	birinci aşamada v ulaştırma modunun $ark(i, j)$ 'de rassal kapasitesi
$K_{ij}^v(1, w_t)$	$\tilde{K}_{ij}^v(1)$ 'nin bir gerçekleştirilmesi
$\tilde{K}_{ij}^v(2)$	ikinci aşamada v ulaştırma modunun $ark(i, j)$ 'de rassal kapasitesi
$K_{ij}^v(2, w_{s t})$	$\tilde{K}_{ij}^v(2)$ 'nin bir gerçekleştirilmesi
$\tilde{D}_i^k(2)$	ikinci aşama i düğümü k malzemesi rassal talebi
$D_i^k(2, w_{s t})$	$\tilde{D}_i^k(2)$ 'nin bir gerçekleştirilmesi

Çizelge 3.2 : Değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli karar değişkeni tanımları.

Notasyon	Tanım
<i>Karar Değişkenleri</i>	
$R_i^k(1, w_t)$	birinci aşamada ES w_t 'ye uygun verilen kararlar sonucu ikinci seviye başında oluşan i düğümü, k malzemesi arz miktarı (durum değişkeni)
$X_{lmj}^{kv}(1, w_t)$	birinci aşama ES w_t , k malzemesi, $ark(i, j)$, v ulaştırma modu, l kaynak düğümünden m varış düğümüne taşınan miktar
$X_{lmj}^{kv}(2, w_{s t})$	ikinci aşama IS $w_{s t}$, k malzemesi, $ark(i, j)$, v ulaştırma modu, l kaynak düğümünden m varış düğümüne taşınan miktar
$P_{lmj}^{kv}(1, w_t)$	birinci aşama ES w_t , k malzemesi, (l, m) paterni, j düğümünde herhangi bir ulaştırma modundan v moduna aktarılan miktar
$P_{lmj}^{kv}(2, w_{s t})$	ikinci aşama IS $w_{s t}$, k malzemesi, (l, m) paterni, j düğümünde herhangi bir ulaştırma modundan v moduna aktarılan miktar
$Q_{lmj}^{kv}(1, w_t)$	birinci aşama ES w_t , k malzemesi, (l, m) paterni, j düğümünde v ulaştırma modundan herhangi bir ulaştırma moduna aktarılan miktar
$Q_{lmj}^{kv}(2, w_{s t})$	ikinci aşama IS $w_{s t}$, k malzemesi, (l, m) paterni, j düğümünde v ulaştırma modundan herhangi bir ulaştırma moduna aktarılan miktar
$V_i^k(2, w_{s t})$	IS $w_{s t}$ için i talep düğümünde k malzemesi envanter fazlası miktarı
$W_i^k(2, w_{s t})$	IS $w_{s t}$ için i talep düğümünde k malzemesi karşılanamayan miktarı

İki seviyeli stokastik programlamanın amaç fonksiyonu, birden fazla malzemeyi, rassal arz ve rassal talebi bulunan bir tedarik zincirinde, yine rassal taşıma kapasitesi olan yollar vasıtasıyla taşımak için gerekli taşıma maliyetlerini minimize etmek amacını taşımaktadır. Böyle bir amaç fonksiyonu, stokastik programlama için geniş bir doğrusal programlama modeli sunar. Her iki seviyede de sınırlı sayıda senaryo uygulandığı takdirde, bilinen stokastik modellerin yanı sıra deterministik bir form sunulabilir. DDEİSSPM'nin amaç fonksiyonu da sınırlı sayıda senaryo varsayımı ile aynı yaklaşımla deterministik eşlenikli olarak oluşturulmuştur.

Amaç fonksiyonu:

$$\begin{aligned}
& \min E_{\varepsilon_1} [Q_1(\varepsilon_1(w_t))] \\
= & \min \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{v \in V} \sum_{l \in SO^k} \sum_{m \in S^k} \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} \sum_{j \in N} p(w_t) [C_{ij}^{kv} X_{lmij}^{kv}(1, w_t) \\
& + C_{ms} (P_{lmj}^{kv}(1, w_t) + Q_{lmj}^{kv}(1, w_t))/2] \\
& + \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} \sum_{v \in V} \sum_{l \in S^k} \sum_{m \in S^k} \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} \sum_{j \in N} p(w_t) p(w_s | w_t) [C_{ij}^{kv} X_{lmij}^{kv}(2, w_{s|t}) \quad (3.1) \\
& + C_{ms} (P_{lmj}^{kv}(2, w_{s|t}) + Q_{lmj}^{kv}(2, w_{s|t}))/2 + C_v V_i^k(2, w_{s|t}) \\
& + C_w W_i^k(2, w_{s|t})]
\end{aligned}$$

(3.1) amaç fonksiyonunun ilk terimi ilk aşamanın beklenen maliyetini ifade eder. İlk aşama beklenen maliyeti ise, ulaştırma ve mod aktarım maliyetlerinden oluşmaktadır. İkinci terim ise, ulaştırma, mod aktarım, envanter fazlası miktar ve kısa kalma ceza maliyetinden oluşan ikinci seviye beklenen (yönlenme) maliyetini temsil etmektedir. Envanter fazlası miktar ve kısa kalma miktarı cezaları, toplam maliyet hesabına düğümlerde kalan miktar ve karşılanamayan talebin doğrusal bir fonksiyonu olarak dâhil edilmektedir. Problemin ele aldığı kısıtlar aşağıda listelenmiştir.

Kısıtlar:

$$\begin{aligned}
& \sum_{k \in K} \sum_{l \in SO^k} \sum_{m \in S^k} X_{lmij}^{kv}(1, w_t) \leq K_{ij}^v(1, w_t) \\
& \forall v \in SM_{ij}^k, (i, j) \in A \quad (3.2)
\end{aligned}$$

$$\sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmi}^{kv}(1, w_t) - \sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmji}^{kv}(1, w_t) = 0 \quad (3.3)$$

$$\forall k \in K, l \in SO^k, m \in S^k, i \in N, (i, j) \in A \text{ ve } l \neq i, m \neq i$$

$$\sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmi}^{kv}(1, w_t) - \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmji}^{kv}(1, w_t) = P_{lmi}^{kv}(1, w_t) - Q_{lmi}^{kv}(1, w_t) \quad (3.4)$$

$$\forall k \in K, v \in SM_{ij}^k, l \in SO^k, m \in S^k, i \in TR, (i, j) \in A \text{ ve } l \neq i, m \neq i$$

$$\sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{m \in S^k} \sum_{j \in N} X_{lmi}^{kv}(1, w_t) = U_i^k(1, w_t) \quad (3.5)$$

$$\forall k \in K, i \in SO^k, (i, j) \in A \text{ ve } i = l$$

$$\sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{l \in SO^k} \sum_{j \in N} X_{lmji}^{kv}(1, w_t) = R_i^k(1, w_t) \quad (3.6)$$

$$\forall k \in K, i \in S^k, (j, i) \in A \text{ ve } i = m$$

$$\sum_{i \in SO^k} U_i^k(1, w_t) = \sum_{i \in S^k} R_i^k(1, w_t) \quad (3.7)$$

$$\forall k \in K$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in S^k} \sum_{m \in S^k} X_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}) \leq K_{ij}^v(2, w_{s|t}) \quad (3.8)$$

$$\forall v \in SM_{ij}^k \text{ ve } (i, j) \in A$$

$$\sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}) - \sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmji}^{kv}(2, w_{s|t}) = 0 \quad (3.9)$$

$$\forall k \in K, l \in S^k, m \in S^k, i \in N, (i, j) \in A \text{ ve } l \neq i, m \neq i$$

$$\sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}) - \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmji}^{kv}(2, w_{s|t}) = P_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}) - Q_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}) \quad (3.10)$$

$$\forall k \in K, v \in SM_{ij}^k, l \in S^k, m \in S^k, i \in TR, (i, j) \in A \text{ ve } l \neq i, m \neq i$$

$$\sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{m \in S^k} \sum_{j \in N} X_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}) \leq R_i^k(1, w_t) \quad (3.11)$$

$$\forall k \in K, i \in S^k, (i, j) \in A \text{ ve } i = l$$

$$\sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{l \in S^k} \sum_{j \in N} X_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}) - D_i^k(2, w_{s|t}) = V_i^k(2, w_{s|t}) - W_i^k(2, w_{s|t}) \quad (3.12)$$

$$\forall k \in K, i \in S^k, (i, j) \in A \text{ ve } i = m$$

$$\begin{aligned} \sum_{i \in S^k} V_i^k(2, w_{s|t}) - \sum_{i \in S^k} W_i^k(2, w_{s|t}) \\ = \sum_{i \in S^k} R_i^k(1, w_t) - \sum_{i \in S^k} D_i^k(2, w_{s|t}) \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\forall k \in K$$

$$X_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}) \geq 0 \quad (3.14)$$

$$\forall k \in K, v \in SM_{ij}^k, l \in S^k, m \in S^k, (i, j) \in A$$

$$P_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}) \geq 0, \quad Q_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}) \geq 0 \quad (3.15)$$

$$\forall k \in K, v \in SM_{ij}^k, l \in S^k, m \in S^k, i \in TR$$

$$V_i^k(2, w_{s|t}) \geq 0, \quad W_i^k(2, w_{s|t}) \geq 0 \quad (3.16)$$

$$\forall k \in K, i \in N$$

$$X_{lmij}^{kv}(1, w_t) \geq 0 \quad (3.17)$$

$$\forall k \in K, v \in SM_{ij}^k, l \in SO^k, m \in S^k \text{ ve } (i, j) \in A$$

$$P_{lmi}^{kv}(1, w_t) \geq 0, \quad Q_{lmi}^{kv}(1, w_t) \geq 0 \quad (3.18)$$

$$\forall k \in K, v \in SM_{ij}^k, l \in SO^k, m \in S^k \text{ ve } i \in TR$$

$$X_{lmij}^{kv}(2, w_{s|t}) \geq 0 \quad (3.19)$$

$$\forall k \in K, v \in SM_{ij}^k, l \in S^k, m \in S^k \text{ ve } (i, j) \in A$$

$$P_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}) \geq 0, \quad Q_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}) \geq 0 \quad (3.20)$$

$$\forall k \in K, v \in SM_{ij}^k, l \in S^k, m \in S^k, i \in TR \text{ ve } (i, j) \in A$$

$$V_i^k(2, w_{s|t}) \geq 0, \quad W_i^k(2, w_{s|t}) \geq 0 \quad (3.21)$$

$$\forall k \in K \text{ ve } i \in N$$

Modelde envanter fazlası miktar yalnızca arz düğümü olan SO^k setlerinde, kısa kalma durumu ise yalnızca talep düğümü olan SD^k setlerinde oluşabilmektedir. Model çalıştırıldığında, ilk seviye başlangıç arz miktarının, ikinci seviye rassal ark kapasite ve talep miktarları belli olmadan önce arz düğümlerinden, S^k setinde olan diğer düğümlere aktarılması beklenir. Bu nedenle, $R_i^k(1, w_t)$ durum değişkeni, ikinci seviyede yapılacak malzeme tahsisini gerçekleştirmeden önce, ilk seviye sonunda görüntülenen düğüm-malzeme eşleşmesinin resmini ortaya koymak amacını taşır. $R_i^k(1, w_t)$ durum değişkeninin alacağı değerlerin, sistemde yer alan toplam malzeme miktarı ile tutarlı olması için, (3.7) denge kısıtı kullanılmaktadır. Bu şekilde, kısıt (3.7) ve (3.13), sistemin bir seviyeye ait başlangıç malzeme miktarının, seviye sonunda tekrar tahsis edilen toplam malzeme miktarına eşit ve tutarlı olmasını sağlar.

(3.2) ve (3.8), (3.3) ve (3.9) ile (3.4) ve (3.10) kısıt çiftleri sırasıyla, birinci ve ikinci aşamanın ark kapasitesi, akış muhafaza ve mod aktarım kontrol kısıtlarıdır. (3.5), (3.6) ve (3.11) kısıtları ise birlikte, her bir seviyenin başlangıç arz miktarlarının

başka bir düğüme taşınmasını ya da yerlerinde korunmasını sağlamaktadır. Kısıt (3.12), ikinci seviye sonunda gerçekleşen envanter fazlası ve kısa kalma miktarlarını belirler. Son olarak, (3.14) ve (3.21) arasında kalan kısıtlar ise pozitiflik kısıtlarıdır ve karar değişkenlerinin her zaman sıfır veya pozitif değer almalarını sağlar.

Başlangıçta, sistemdeki talebi karşılayacak yeterli miktarda arz olmasına rağmen, dengeli olan modelde, en kötü senaryo durumlarındaki rassal ark kapasitelerinden dolayı bir düğümün tüm dağıtım çıkış yolları kapanabileceğinden, ikinci seviye sonunda olumsuz sonuçlar elde edilme ihtimali her zaman mevcuttur. Bu durum, arz ve talep düğümleri arasında yüksek maliyetli ve sınırsız kapasiteli sanal arklar oluşturmak suretiyle aşılabılır.

3.3 Değiştirilmiş Deterministik Eşlenikli İki Seviyeli Stokastik Programlama Modelinin Stokastik Formdan Farkları

Deterministik eşlenikli modelin emsal olarak aldığı ve esinlendiği stokastik formda olan model Barbarosoğlu ve Arda tarafından sunulmuştur (Barbarosoğlu ve Arda, 2004). Sunulan model, üç sıralı amaç fonksiyonundan oluşmaktadır.

Olay öncesi dönem amaç fonksiyonu:

$$\min E_{\varepsilon_1}[Q_1(\varepsilon_1(w_t))] = \min \sum_{t \in T} p(w_t) Q_1(\varepsilon_1(w_t)) \quad (3.22)$$

Her bir w_t deprem senaryosu için, ilk aşama düğüm-ark formülasyonu amaç fonksiyonu:

$$\begin{aligned} Q_1(\varepsilon_1(w_t)) = \min & \sum_{k \in K} \sum_{v \in V} \sum_{l \in SO^k} \sum_{m \in S^k} \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} \sum_{j \in N} [C_{ij}^{kv} X_{lmi}^{kv}(1, w_t) \\ & + C_{ms}(P_{lmi}^{kv}(1, w_t) + Q_{lmi}^{kv}(1, w_t))/2] + \bar{Q}_2(R(1, w_t)) \end{aligned} \quad (3.23)$$

Amaç fonksiyonu (3.23)'de kullanılan beklenen yönlenme fonksiyonu:

$$\begin{aligned} \bar{Q}_2(R(1, w_t)) &= E_{\varepsilon_2} [Q_2(R(1, w_t), \varepsilon_2(w_{s|t}))] \\ &= \sum_{s=1}^{S_t} p(w_s | w_t) Q_2(R(1, w_t), \varepsilon_2(w_{s|t})) \end{aligned} \quad (3.24)$$

Senaryo $w_{s|t}$ için ikinci aşama problemi amaç fonksiyonu ise aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
Q_2(R(1, w_t), \varepsilon_2(w_{s|t})) \\
= \min \sum_{k \in K} \sum_{v \in V} \sum_{l \in S^k} \sum_{m \in S^k} \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} \sum_{j \in N} [C_{ij}^{kv} X_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}) \\
+ C_{ms}(P_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}) + Q_{lmi}^{kv}(2, w_{s|t}))/2 + C_v V_i^k(2, w_{s|t}) \\
+ C_w W_i^k(2, w_{s|t})] \tag{3.25}
\end{aligned}$$

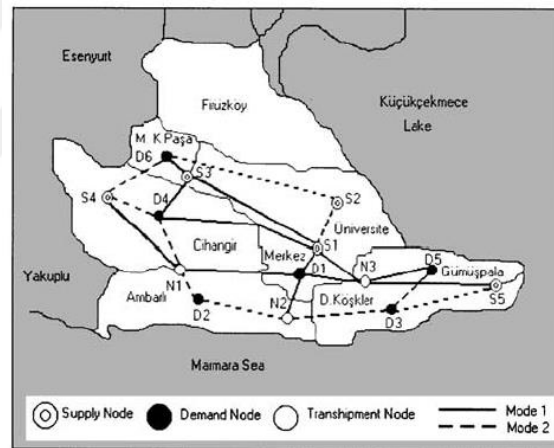
Eğer, olay öncesi dönem amaç fonksiyonu (3.22) ele alınırsa, bu fonksiyonunun birinci aşama amaç fonksiyonu beklenen değeri (3.23) ve yönlenme maliyet fonksiyonu (3.24)'ten oluşan bir beklenen değer maliyet fonksiyonu olduğu görülecektir. Problemimizin sınırlı sayıda senaryosu olduğu ve kesikli durumda rassal değişkenlerin beklenen değerlerinin bütünleşik bir amaç fonksiyonu ile hesaplanabileceği bilinmektedir. Eğer X bir kesikli rassal değişken ve yığın olasılık fonksiyonu $p(x)$ ise, o halde X 'in beklenen değeri $E[X] = \sum_{x:p(x)>0} xp(x)$ olarak ifade edilir (Ross, 2006). Olay öncesi dönem amaç fonksiyonundan (3.22) başlayarak ve ilk aşama amaç fonksiyonu olan (3.23)'te yer alan beklenen yönlenme fonksiyonu (3.24), ikinci aşama amaç fonksiyonu (3.25) ile değiştirilirse, yeni, geniş ve bütünleşik bir deterministik doğrusal programlama amaç fonksiyonu oluşturulabilir (3.1). Pratik olarak bu amaç fonksiyonu, beklenen yönlenme fonksiyonunun beklenen değerini ifade etmektedir.

DDEİSSPM'de Barbarosoğlu ve Arda'nın çalışmasından farklı olarak, modele seviye başındaki arz miktarının tamamen tahsis edildiğini garanti edecek denge kısıtları eklenmiştir. Ayrıca, problem boyutunu daha küçük tutabilmek amacıyla bir de yeni bir kısıt seti tanımlanmış ve tüm kısıtlara $(i, j) \in A$ sınırlaması getirilmiştir. Böylelikle, arkı mevcut olmayan bir karar değişkeni hiç değerlendirmeye alınmayacak ve çözüm matrisi küçülecektir. Barbarosoğlu ve Arda'nın çalışmasında ise bunun aksine mevcut olmayan arklara büyük M ceza değerleri atanmış ve problem boyutu gereksiz yere büyütülmüştür. Son olarak, (3.4) ve (3.10) mod aktarım kısıtları için i seti $i \in N$ 'den $i \in TR$ olacak şekilde değiştirilmiştir. Bu yeni set tanımı ise, problemin çözüm matrisini küçültmektedir. Ayrıca, deterministik eşlenik kullanılan model, stokastik çözücülere ihtiyaç duymaksızın çözülebilmektedir.

3.4 Modelin Geçerlenmesi

Oluşturulan yeni modelin geçerlenmesi için Barbarosoğlu ve Arda (2004)'nın çalışmasında kullandığı veri seti kullanılarak küçük bir uygulama yapılmış ve stokastik programlamada validasyon yöntemi olarak kabul edilen bekle ve gör (wait-and-see, WS) ve beklenen değerin beklenen sonuç (expected value of expected value problem, EEV) problemleri çözülerek, hesaplanan validasyon parametrelerinin literatürde belirlenen aralıklar içinde olup olmadığı kontrol edilmiştir. İlave olarak, maliyet değerleri hesaplanmış ve maliyetin değişim davranışı Barbarosoğlu ve Arda (2004)'nın çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Barbarosoğlu ve Arda'nın modeli $M = 7,4$ şiddetindeki Ağustos 1999 Türkiye Marmara depreminden esinlenilerek üretilen verilerle doğrulandığından, DDEİSSPM'de de aynı veri seti kullanılmış ve Avcılar bölgesi ele alınmıştır. Bölgenin ağ dağılımı Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 : Avcılar bölgesi ağı gösterimi (Barbarosoğlu ve Arda, 2004).

Uygulama uzayı altı talep düğümü (D1'den D6'ya), üç saf mod aktarım düğümü (N1'den N3'e) ve beş arz düğümünden (S1'den S5'e) oluşmakta, bu düğümler iki farklı ulaştırma modunu temsil eden arklar ile birbirine bağlanmaktadır. Söz konusu ulaştırma modları kamyon ve helikopter taşımaları temsil etmektedir. Arz verisinin tüm ES'ler için sabit olduğu kabul edilmekte ve uygulamada yalnız bir tip malzeme bulunduğu varsayılmaktadır. Ulaştırma modu aktarımına yalnızca (S1, S4 ve S5) arz düğümünde izin verilir ve bu düğümlerde hem helikopter pisti, hem de karayolu bağlantısı olduğu varsayılır. Ulaştırma maliyeti taşınan miktar-mesafenin doğrusal bir fonksiyonudur ve hava ulaştırmasının kara ulaştırmasından iki kat daha fazla

maliyeti olduğu kabul edilir. Başlangıç arz ve talep miktarları, ulaştırma maliyetleri ve ark kapasitelerine ulaşılabilmesi için Barbarosoğlu ve Arda (2004) çalışmasında verilen ürün bağlantı yolu kırık olduğundan, yazarlar ile doğrudan koordine kurulmuş ve çalışmayı tekrarlamak için ihtiyaç duyulan veriye %80 oranında ulaşılabilmiştir. Validasyon uygulamasında kullanılacak olan bu söz konusu veriye EK-A'dan ulaşılabilir. Ulaştırma modu aktarım ve talep kısa kalma maliyetleri sırasıyla birim başına 35 ve 50 para birimi olarak tanımlanmıştır. Elde kalma maliyeti ihmal edilmiştir. Model, sekiz deprem senaryosu (ES) ve dokuz etki senaryosu (IS) için çözülmüştür. ES olasılıkları Barbarosoğlu ve Arda (2004)'da tanımlanmadığından dolayı uygulamada, olası bir Marmara bölgesi depremi üzerine yapılan tahminlere yönelik bir araştırma olan Parsons, Toda, Stein, Barka ve Dieterich (2000) incelenmiş ve $M = 7$ üzeri depremlere ortalama %65'lik bir olasılık atanarak kullanılmıştır. Parsons ve diğ. çalışmasına göre gelecek 30 yıl içerisinde, Marmara bölgesinde $M = 7$ üzerinde bir deprem beklenmekte olup, depreme yönelik üretilen olasılıklar Çizelge 3.3'te sunulmuştur. Koşullu IS senaryoları için ise yine Barbarosoğlu ve Arda (2004)'da verilen olasılık değerleri ve etki katsayıları kullanılmıştır. Her bir senaryoda gerçekleşecek etki katsayısı ve koşullu olasılık durumu Çizelge 3.4'te sunulmuştur. İkinci aşama senaryolarında kullanılacak olan talep ve ark kapasite değerleri bu etki tablosunda verilen katsayılar kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.3: Deprem senaryoları için olasılıklar.

Senaryolar	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8
$p(w_t)$	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.65

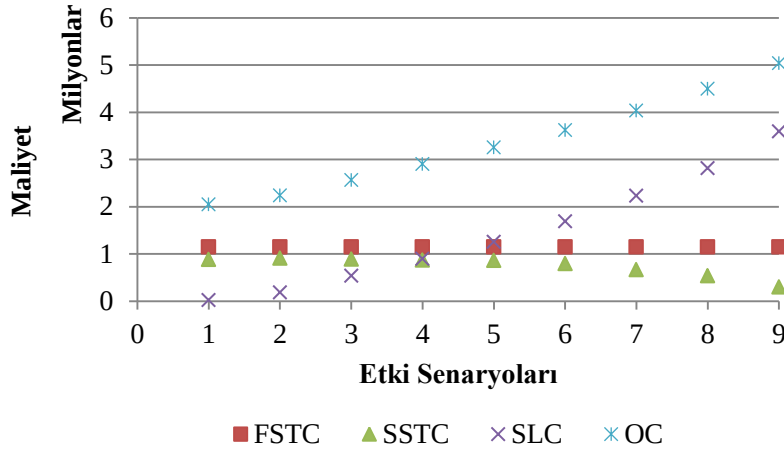
Çizelge 3.4: Etki katsayısı ve koşullu olasılık durumu.

IS	% Kapasite	% Talep	Deprem Senaryosu (ES) Koşullu Olasılıkları							
			w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8
1	0,90	1,3	0,03	0,02	0,01	0,03	0,04	0,08	0,25	0,45
2	0,80	1,4	0,045	0,05	0,025	0,03	0,06	0,06	0,23	0,225
3	0,70	1,5	0,03	0,08	0,05	0,08	0,3	0,3	0,04	0,04
4	0,60	1,6	0,025	0,03	0,03	0,02	0,045	0,2	0,225	0,075
5	0,50	1,7	0,08	0,075	0,25	0,4	0,4	0,25	0,075	0,08
6	0,40	1,8	0,075	0,225	0,2	0,045	0,02	0,03	0,03	0,025
7	0,30	1,9	0,04	0,04	0,3	0,3	0,08	0,05	0,08	0,03
8	0,20	2,0	0,225	0,23	0,06	0,06	0,03	0,025	0,05	0,045
9	0,10	2,1	0,45	0,25	0,075	0,04	0,025	0,01	0,02	0,03

Verilen senaryo etki katsayılarına göre, *IS 1*'in en yüksek ark kapasitesi ve en düşük talep artışı ile en iyi, tam tersi durumda olan *IS 9*'un ise en kötü senaryo olduğu görülmektedir.

DDEİSSPM, Barbarosoğlu ve Arda'nın her bir *ES* için modeli ayrı ayrı çözdüğü ve daha sonra beklenen değer hesabı yaptığı yaklaşımın aksine, GAMS/CPLEX kullanılarak ve deterministik eşlenikli yaklaşım sayesinde tek seferde kodlanmış ve çözülmüştür. Çalışmada kullanılan çözüm matrisi 63.073 satır ve 917.113 sütundan oluşmaktadır. Bulunan optimal sonuçlar yaklaşık 11 saniye içerisinde 3.946 iterasyon ile Core 2 Duo 2,5 Ghz 3GB RAM bilgisayar konfigürasyonunda üretilmiştir. Karşılaştırma ve doğrulama amacıyla, bekle ve gör (*WS*) ve beklenen değerin beklenen sonuç (*EEV*) problemi de çözülmüş ve elde edilen sonuçlar ayrı ayrı analiz edilmiştir. Karşılanamayan talep (*UD*) ve buna bağlı hizmet seviyesi maliyetleri (*SLC*), ilk aşama ulaştırma maliyetleri (*FSTC*), ikinci aşama ulaştırma maliyetleri (*SSTC*), *FSTC* ve *SSTC*'nin toplamından oluşan toplam ulaştırma maliyetleri (*TC*) ve *FSTC*, *SSTC* ile *SLC*'nin toplamından oluşan orijinal maliyetler (*OC*) de ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Validasyon amacıyla, gerçek mükemmel bilginin ulaşılabilir olduğu varsayımıyla *WS* problemi çözülmüş ve mükemmel bilginin beklenen değeri ($EVPI = DDEİSSPM - WS$) hesaplanmıştır. *EVPI* bir karar vericinin ödemeyi kabul edeceği maksimum miktar olarak tanımlanır. *WS* çözümünün doğası nedeniyle en düşük amaç fonksiyonu değerini vermesi beklenir, ancak gerçek mükemmel bilgiye ulaşımın neredeyse imkânsız olduğu bilindiğine göre, *WS*'in pratikte mümkün olmayacağı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, *WS* çözümü, sonuçlarımızın doğrulanması ve maliyet değerlerinin azalış/artış davranışının (eğiliminin) modelimiz ile uyumlu olup olmadığının anlaşılması için incelenmiştir. *WS* sonuçlarının grafiksel eğilimi Şekil 3.3'de sunulmuştur.



Şekil 3.3 : Değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli bekle ve gör (WS) sonuçları

Grafik incelendiğinde *FSTC*'nin tüm senaryolarda sabit kaldığı, *SSTC*'nin ise en kötü senaryoya doğru ilerledikçe azaldığı görülmektedir. Bu durum sezgisel olarak da beklenen bir durumdur. Ayrıca, *OC*'nin *SLC*'den kaynaklanan sabit artışı söz konusudur. Bu durum ise *IS* kötüleştikçe talep karşılamada kısa kalmaların olmasından kaynaklanmakta ve yine sezgisel olarak beklenmektedir. Gözlemlenen maliyet eğilimleri *FSTC*'deki sabit durum hariç Barbarosoğlu ve Arda'nın tüm sonuçları ile uyum içindedir. *FSTC*'nin durumu, Barbarosoğlu ve Arda (2004) çalışmasında sezgisel olarak beklenmeyen bir sonuç olarak belirtilmesine rağmen modelimizde gözlemlenen sonuç sezgisel olarak beklenen bir sonuçtur. DDEİSSPM'de de *WS* ile benzer bir eğilim beklenmelidir. Validasyonun bir diğer aşaması olarak, daha yüksek amaç fonksiyonu değerleri beklenen *EEV* probleminin beklenen sonuçları da stokastik sonucun değerini ($VSS = EEV - DDEİSSPM$) tespit etmek için hesaplanmıştır. *EEV* probleminde, iki aşamalı stokastik programlama problemi ikinci aşama rassal parametrelerinin beklenen değerleri için $\{E[\tilde{K}_{ij}^v(2)], E[\tilde{D}_i^k(2)]\}$ kullanılmak suretiyle çözülmüş, daha sonra, elde edilen durum değişkeni $R_i^k(1, w_t)$ kullanılarak DDEİSSPM tekrar optimize edilmiştir.

DDEİSSPM sonuçları Çizelge 3.5'te, *EEV* sonuçlarını da içeren, ortalama optimum *OC* ve *TC* karşılaştırmalarının *EVPI* ve *VSS* değerleri eşliğinde verildiği doğrulama değer hesapları ise Çizelge 3.6'da sunulmuştur. Yüksek *EVPI* ve *VSS* değerleri DDEİSSPM'nin kullanımın gerekliliğini ispatlar niteliktedir.

Çizelge 3.5: Değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli çözümleri.

<i>ES</i>	<i>IS</i>	<i>UD</i>	<i>FSTC</i>	<i>SSTC</i>	<i>ES</i>	<i>IS</i>	<i>UD</i>	<i>FSTC</i>	<i>SSTC</i>
1	1	3099	1143763	923793	5	1	3099	1143763	923793
	2	6046	1143763	957346		2	6046	1143763	957346
	3	12765	1143763	942248		3	10665	1143763	943755
	4	19666	1143763	928295		4	19666	1143763	932457
	5	25067	1143763	922571		5	25067	1143763	891615
	6	33708	1143763	853380		6	34908	1143763	886956
	7	45464	1143763	743519		7	45464	1143763	708507
	8	56260	1143763	554765		8	56860	1143763	592910
	9	71910	1143763	297938		9	72248	1143763	324263
2	1	3099	1143763	923793	6	1	3099	1143763	923793
	2	6046	1143763	957346		2	6046	1143763	957346
	3	10665	1143763	963529		3	10665	1143763	931526
	4	19666	1143763	928295		4	18341	1143763	935820
	5	26567	1143763	917828		5	25067	1143763	918484
	6	33708	1143763	845393		6	34908	1143763	886956
	7	45464	1143763	743519		7	45464	1143763	745601
	8	56260	1143763	559865		8	56860	1143763	592910
	9	71910	1143763	300038		9	72248	1143763	324263
3	1	3099	1143763	923793	7	1	399	1143763	929158
	2	6046	1143763	957346		2	3821	1143763	969326
	3	12765	1143763	942248		3	12765	1143763	942248
	4	19666	1143763	932457		4	19666	1143763	918837
	5	25067	1143763	914978		5	26567	1143763	917828
	6	33708	1143763	861424		6	34908	1143763	886956
	7	44564	1143763	682106		7	45464	1143763	702513
	8	56860	1143763	589648		8	56860	1143763	589648
	9	72210	1143763	324469		9	72248	1143763	324263
4	1	3099	1143856	923793	8	1	399	1143763	911480
	2	6046	1143856	957346		2	3821	1143763	971601
	3	12765	1143856	942248		3	12765	1143763	942248
	4	19666	1143856	932457		4	19666	1143763	927120
	5	25067	1143856	874856		5	26567	1143763	917828
	6	34908	1143856	884181		6	34908	1143763	886956
	7	44564	1143856	697788		7	45464	1143763	745601
	8	56860	1143856	589648		8	56860	1143763	589648
	9	72210	1143856	324469		9	72210	1143763	324469

Çizelge 3.5 göstermektedir ki, DDEİSSPM maliyet eğilimi, *WS* sonuçları ve Barbarosoğlu ve Arda (2004) ile bulunan sonuçlar ile uyumludur. Karşılanamayan talep en iyi senaryodan en kötü senaryoya doğru beklenen şekilde artan bir eğilime sahiptir. *FSTC* sabit kalmakta, *SSTC* ise stokastik programlamanın ikinci aşama beklentilerine uygun olarak arzu edildiği gibi adım adım kötü senaryoya doğru azalmaktadır.

Çizelge 3.6 : Değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli doğrulama sonuçları.

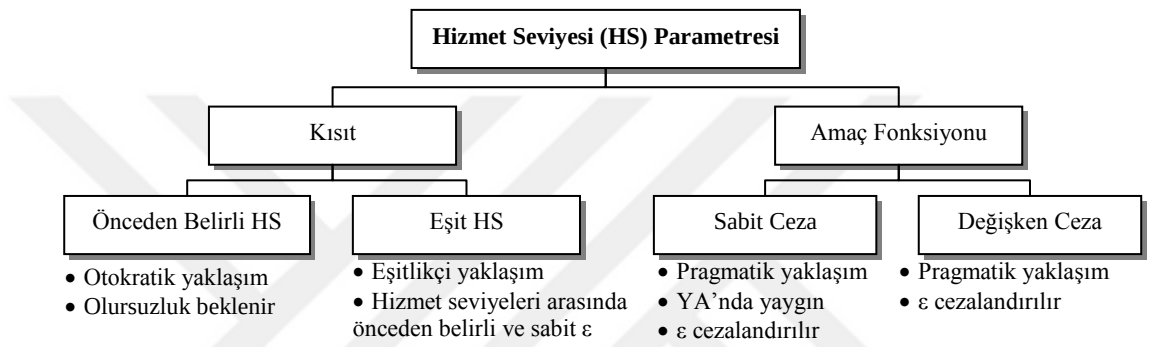
<i>ES</i>	<i>DDEİSSPM</i>		<i>WS</i>		<i>EEV</i>	
	<i>OC</i>	<i>TC</i>	<i>OC</i>	<i>TC</i>	<i>OC</i>	<i>TC</i>
1	3457438	1935302	3355759	1888623	3556248	2070223
2	3455855	1937052	3355759	1888623	3566460	2060435
3	3457950	1935814	3355759	1888623	3574159	2053689
4	3464524	1935721	3355759	1888623	3572133	2061108
5	3461840	1939496	3355759	1888623	3589159	2067023
6	3460601	1945618	3355759	1888623	3587035	2074690
7	3456610	1941626	3355759	1888623	3565821	2066810
8	3460421	1945646	3355759	1888623	3585970	2072168
<i>OC</i>			<i>TC</i>			
<i>ES</i>	<i>EVPI</i>	<i>VSS</i>	<i>EVPI</i>	<i>VSS</i>		
1	101679	98810	46679	134921		
2	100095	110606	48429	123383		
3	102191	116208	47191	117875		
4	108765	107608	47098	125386		
5	106081	127319	50873	127527		
6	104842	126433	56995	129072		
7	100850	109212	53003	125184		
8	104661	125550	57022	126522		

Doğrulama sonuçlarını incelediğimizde ise *TC* ve *OC* değerlerinin bir ortalama etrafında dalgalandığı görülmektedir. Bu dalgalanma koşullu *IS*'ler için atanan koşullu olasılık değerleri ile açıklanabilir. DDEİSSPM, *WS* ve *EEV* sonuçlarının *TC* ve *OC* değerleri Birge ve Louveaux (2011)'de belirtilen ispatlar ile uyumludur. Buna göre, $WS \leq SP \leq EEV$, $EVPI \geq 0$, ve $VSS \geq 0$ olmalıdır. Hâlbuki referans alınan Barbarosoğlu ve Arda (2004) çalışmasında elde edilen *TC* değerleri incelendiğinde, bu ispat ile uyumlu olmadığı görülmektedir. Çalışmada aynı zamanda her üç çözüm yaklaşımının *UD* değerleri de karşılaştırılmıştır. Görülmektedir ki, *EEV* çözümünün *UD* değerleri tüm *IS*'lerde DDEİSSPM'den çok küçük bir farkla daha düşüktür. Bu sonuç, talep karşılama oranının modelimizde önemsenmeyecek kadar küçük bir farkla fazla tahmin edildiğini göstermektedir.

Yakın tarihte yayımlanan ve afet yardım malzemesi ulaştırma ve dağıtım planlama çalışmaları üzerine yapılan YA/YB uygulamalarını inceleyen en son literatür araştırma makalelerine ve bilgimize göre, DDEİSSPM ilk stokastik (deterministik fom), iki seviyeli, tek dönemli, tek amaç fonksiyonlu, çok modlu ve çoklu malzemeli çalışma olup, gelecek çok dönemli ve çok amaçlı çalışmalar için bir kapı açmaktadır. Performans parametreleri yönünden incelendiğinde ise, üretilen yeni modelin optimal

sonuçlarının, Barbarosoğlu ve Arda (2004) çalışmasının sonuç bulma zamanının yaklaşık doksanda bir zamanında ve daha sıkı bir çözüm matrisi kullanılarak bulunduğu görülmektedir. Bu nedenle DDEİSSPM, stokastik programlama uygulamasının geniş ölçekli problem uygulamalarındaki karmaşıklık ve çözüm zorluğu dezavantajını ortadan kaldırmaktadır. Eğer mantıklı ve gerçeğe yakın *IS*'ler tahmin edilebilir ise yaklaşımın etkin ve gerçekçi bir araç olarak geniş çaplı yardım malzemesi dağıtım planlamalarında kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

3.5 Modele Hizmet Seviyesi Kısıtı Uygulanması



Şekil 3.4 : Hizmet seviyesi uygulama hiyerarşisi (Aardal ve diğ., 1989).

Hizmet seviyesi yaklaşımları matematik modellere iki ana şekilde katılırlar: (i) Kısıt olarak veya (ii) amaç fonksiyonunda. Şekil 3.4 hizmet seviyesi uygulamalarının en yaygın hiyerarşik kırılım yapısını sunmaktadır. Kısıt olarak kullanıldığında, arzu edilen hizmet seviyesi modele önceden belirlenerek veya düğümler arasında eşitliği sağlayacak şekilde etkir. Optimizasyon olmadan, önceden belirlenen bir hizmet seviyesi yaklaşımı otokrasinin bir özelliğini yansıtmakta olup, düğümler arası eşitlik durumu ise eşitlikçi yaklaşımı yansıtmaktadır. Diğer taraftan, amaç fonksiyonunda hizmet seviyesi gereksinimi sabit veya değişken formda ceza fonksiyonu olarak uygulanabilmektedir. Hizmet seviyesine yönelik bir kısıt mevcut olmadığından, uygulamada faydacı özellikler önce çıkmaktadır.

İki seviyeli stokastik ulaştırma probleminin varsayılan problem formu, hizmet seviyesi yaklaşımını karşılanamayan talep maliyetinin ikinci seviye amaç fonksiyonunda hesaplanması ile ele almakta olup, bu maliyet tüm sistemdeki toplam talebi karşılanamayan kişi miktarı ile ilintilidir. Bununla birlikte, karşılanamayan talep miktarı bir yüzde değer olmadığından, minimize edilen ilgili maliyet değerleri

talep düğümlerinin önemi ve önceliği hakkında herhangi bir denge gözetmeksizin hesaplanmaktadır.

Gerçek hayat şartlarında, hizmet seviyesi uygulamasına yönelik üç ana yaklaşım ele alınabilir: (i) Otokratik, (ii) Eşitlikçi ve (iii) Pragmatik (Faydacı).

Otokratik yaklaşım afet zamanında eşitlik ya da faydacılığa dikkat etmez (Tullock, 1987). Kaynaklarını dikkate almak suretiyle, önceden bir hizmet seviyesi belirler ve ihtiyaç ne olursa olsun, bu hizmet seviyesini gerçeklemeye yönelik uygulama yapar. Olursuzluk beklentisi oldukça yüksektir ve çoğu zaman yönetici otorite ile rassal olarak talebi karşılananlar haricinde kimse mutlu olmaz. Diğer taraftan eşitlikçi yaklaşım temel değer ve ahlak durumunu dikkate alarak tüm insanların eşit olduğunu savunur (Arneson, 2002). Eşitlikçi yaklaşımda, talep düğümlerinin hizmet seviyelerinin eşit tutulması hedeflenir. Son olarak pragmatik yaklaşım ise “pratikte gerçekleşen sonuçlar” ile ilgilenmektedir (Hookway, 2008) ve herhangi bir eşitlik ya da marjinal kâr amacı gütmeksizin karşılanabilecek en fazla talebi karşılamayı hedeflemesiyle gerçek hayat problemlerinin en çok tercih edilen yaklaşımıdır. Toplam maliyete odaklanması, en iyisinin en kolayı kurtarmak olduğu varsayımına dayanır.

Çok periyotlu bir afette, değişken ceza fonksiyonu uygulanan pragmatik yaklaşımın daha doğru olabileceği savunulmaktadır (Holguín-Veras ve diğ., 2013). Bununla birlikte, tek periyotlu bir afet durumunda ise, insan hayatının nerede yaşadığı, ne iş yaptığı ya da hangi yaşam durumuna sahip olduğuna bakılmaksızın eşit olduğu düşünülerek, eşitlikçi bir yaklaşım uygulanmasına karar verilmekte ve sonuçları elde edilen hizmet seviyesi ile anlamlandırılmaktadır.

Tüm yaklaşım durumlarında, hizmet seviyesi uygulaması ile duplikasyon oluşturmaya rağmen, karşılanamayan talep maliyeti parametresi problem bünyesinde tutulmaya devam edilmektedir. Tüm hizmet seviyesi gerçeklemelerini birbirine yeteri kadar yakın tutabilmek için öncelikle yeteri kadar küçük ve sabit bir ε değeri kullanmak ve gerçekleşen hizmet seviyeleri arasında oluşan farklar için bir eşik değeri oluşturmak suretiyle, problemin ikinci seviyesine bir kısıt olarak eklemek yöntemi seçilmiştir (3.26). ε değerinin davranışı farklı bir analiz konusu olabilecektir ancak araştırmada kapsam dışında bırakılmıştır. Böyle bir yöntemde, n adet varış düğümü ve her bir malzeme türü için toplam $\binom{n}{2}$ adet olmak üzere kısıt eklenmesi

gerekmektedir. Hizmet seviyesi uygulaması için gereken ilave notasyon ve tanım Çizelge 3.7’de sunulmuştur.

Çizelge 3.7 : Hizmet seviyesi uygulaması için ilave notasyon ve tanımlar.

Notasyon	Tanım
<i>Deterministik Veri</i>	
E	Varış düğümü kombinasyonları seti, $\{SD^k, SD^k\}$
ε	Hizmet seviyesi farkı eşiği, çok küçük ancak sıfırdan farklı

DDEİSSPM’nin amaç fonksiyonunda bir değişiklik olmayacaktır, ancak yeni bir kısıtın tanımlanması gerekir **(3.26)**:

$$\left| \frac{D_i^k(2, w_{s|t}) - W_i^k(2, w_{s|t})}{D_i^k(2, w_{s|t})} - \frac{D_j^k(2, w_{s|t}) - W_j^k(2, w_{s|t})}{D_j^k(2, w_{s|t})} \right| \leq \varepsilon \quad (3.26)$$

$$\forall k \in K, \quad (i, j) \in E, \quad i \neq j$$

Kısıt **(3.26)** için, ε değeri yeteri kadar küçüktür ancak bu yaklaşım problemi doğrusal olmayan problem haline getirmektedir. Bu nedenle, söz konusu eşitsizliğin eşitlik haline getirilmesine formülasyonun aşağıdaki şekilde değiştirilmesine karar verilmiştir **(3.27)**;

$$\frac{D_i^k(2, w_{s|t}) - W_i^k(2, w_{s|t})}{D_i^k(2, w_{s|t})} = \frac{D_j^k(2, w_{s|t}) - W_j^k(2, w_{s|t})}{D_j^k(2, w_{s|t})} \quad (3.27)$$

$$\forall k \in K, \quad (i, j) \in E, \quad i \neq j$$

Kısıt **(3.27)**’nin mevcudiyeti problem doğasını eşitlikçi yaparken, bu kısıtın problemde olmaması ise problemi pragmatik hale dönüştürmektedir. Her iki yaklaşım, daha önce validasyon için kullanılan Barbarosoğlu ve Arda (2004) veri seti kullanılmak suretiyle analiz edilecek ve sonuçlar tartışılacaktır.

Çizelge 3.8 : Pragmatik hizmet seviyesi değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli sonuçları (x1.000).

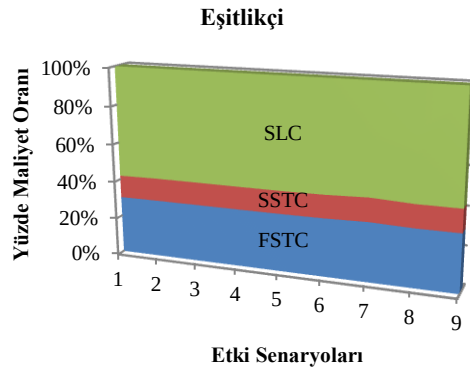
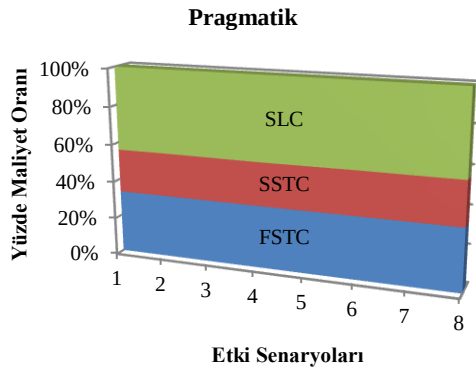
ES	IS	UD	FSTC	SSTC	SLC	ES	IS	UD	FSTC	SSTC	SLC
1	1	3.099	1.143.763	923.793	154.925	5	1	3.099	1.143.763	923.793	154.925
	2	6.046	1.143.763	957.346	302.300		2	6.046	1.143.763	957.346	302.300
	3	12.765	1.143.763	942.248	638.250		3	10.665	1.143.763	943.755	533.250
	4	19.666	1.143.763	928.295	983.300		4	19.666	1.143.763	932.457	983.300
	5	25.067	1.143.763	922.571	1.253.350		5	25.067	1.143.763	891.615	1.253.350
	6	33.708	1.143.763	853.380	1.685.400		6	34.908	1.143.763	886.956	1.745.400
	7	45.464	1.143.763	743.519	2.273.200		7	45.464	1.143.763	708.507	2.273.200
	8	56.260	1.143.763	554.765	2.813.000		8	56.860	1.143.763	592.910	2.843.000
	9	71.910	1.143.763	297.938	3.595.500		9	72.248	1.143.763	324.263	3.612.375
2	1	3.099	1.143.763	923.793	154.925	6	1	3.099	1.143.763	923.793	154.925
	2	6.046	1.143.763	957.346	302.300		2	6.046	1.143.763	957.346	302.300
	3	10.665	1.143.763	963.529	533.250		3	10.665	1.143.763	931.526	533.250
	4	19.666	1.143.763	928.295	983.300		4	18.341	1.143.763	935.820	917.050
	5	26.567	1.143.763	917.828	1.328.350		5	25.067	1.143.763	918.484	1.253.350
	6	33.708	1.143.763	845.393	1.685.400		6	34.908	1.143.763	886.956	1.745.400
	7	45.464	1.143.763	743.519	2.273.200		7	45.464	1.143.763	745.601	2.273.200
	8	56.260	1.143.763	559.865	2.813.000		8	56.860	1.143.763	592.910	2.843.000
	9	71.910	1.143.763	300.038	3.595.500		9	72.248	1.143.763	324.263	3.612.375
3	1	3.099	1.143.763	923.793	154.925	7	1	399	1.143.763	929.158	19.925
	2	6.046	1.143.763	957.346	302.300		2	3.821	1.143.763	969.326	191.050
	3	12.765	1.143.763	942.248	638.250		3	12.765	1.143.763	942.248	638.250
	4	19.666	1.143.763	932.457	983.300		4	19.666	1.143.763	918.837	983.300
	5	25.067	1.143.763	914.978	1.253.350		5	26.567	1.143.763	917.828	1.328.350
	6	33.708	1.143.763	861.424	1.685.400		6	34.908	1.143.763	886.956	1.745.400
	7	44.564	1.143.763	682.106	2.228.200		7	45.464	1.143.763	702.513	2.273.200
	8	56.860	1.143.763	589.648	2.843.000		8	56.860	1.143.763	589.648	2.843.000
	9	72.210	1.143.763	324.469	3.610.500		9	72.248	1.143.763	324.263	3.612.375
4	1	3.099	1.143.856	923.793	154.925	8	1	399	1.143.763	911.480	19.925
	2	6.046	1.143.856	957.346	302.300		2	3.821	1.143.763	971.601	191.050
	3	12.765	1.143.856	942.248	638.250		3	12.765	1.143.763	942.248	638.250
	4	19.666	1.143.856	932.457	983.300		4	19.666	1.143.763	927.120	983.300
	5	25.067	1.143.856	874.856	1.253.350		5	26.567	1.143.763	917.828	1.328.350
	6	34.908	1.143.856	884.181	1.745.400		6	34.908	1.143.763	886.956	1.745.400
	7	44.564	1.143.856	697.788	2.228.200		7	45.464	1.143.763	745.601	2.273.200
	8	56.860	1.143.856	589.648	2.843.000		8	56.860	1.143.763	589.648	2.843.000
	9	72.210	1.143.856	324.469	3.610.500		9	72.210	1.143.763	324.469	3.610.500

Çizelge 3.9: Eşitlikçi hizmet seviyesi değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli sonuçları (x1.000).

ES	IS	UD	FSTC	SSTC	SLC	ES	IS	UD	FSTC	SSTC	SLC
1	1	10.900	1.143.763	765.446	545.006	5	1	10.900	1.143.763	765.446	545.006
	2	18.057	1.143.763	698.932	902.862		2	18.057	1.143.763	702.532	902.862
	3	28.205	1.143.763	595.347	1.410.227		3	20.817	1.143.763	696.105	1.040.851
	4	36.857	1.143.763	510.298	1.842.838		4	36.857	1.143.763	510.298	1.842.838
	5	40.232	1.143.763	495.151	2.011.608		5	40.232	1.143.763	494.984	2.011.608
	6	49.940	1.143.763	398.947	2.496.986		6	54.161	1.143.763	340.198	2.708.058
	7	62.813	1.143.763	255.149	3.140.669		7	59.647	1.143.763	308.309	2.982.365
	8	69.355	1.143.763	197.993	3.467.743		8	71.466	1.143.763	170.099	3.573.279
	9	79.062	1.143.763	88.197	3.953.122		9	80.118	1.143.763	85.050	4.005.890
2	1	10.900	1.143.763	765.446	545.006	6	1	10.900	1.150.650	765.446	545.006
	2	19.552	1.143.763	680.397	977.617		2	19.552	1.150.650	680.397	977.617
	3	20.817	1.143.763	707.921	1.040.851		3	20.817	1.150.650	692.977	1.040.851
	4	36.857	1.143.763	510.298	1.842.838		4	30.525	1.150.650	616.111	1.526.229
	5	42.959	1.143.763	459.231	2.147.925		5	40.232	1.150.650	498.349	2.011.608
	6	49.940	1.143.763	395.987	2.496.986		6	54.161	1.150.650	340.198	2.708.058
	7	62.813	1.143.763	255.149	3.140.669		7	62.813	1.150.650	255.149	3.140.669
	8	69.355	1.143.763	197.993	3.467.743		8	71.466	1.150.650	170.099	3.573.279
	9	79.062	1.143.763	98.997	3.953.122		9	80.118	1.150.650	85.050	4.005.890
3	1	10.900	1.143.763	765.446	545.006	7	1	1.402	1.172.400	902.971	70.094
	2	19.552	1.143.763	680.397	977.617		2	11.109	1.172.400	811.517	555.472
	3	26.709	1.143.763	617.482	1.335.472		3	28.205	1.172.400	595.347	1.410.227
	4	36.857	1.143.763	510.298	1.842.838		4	30.525	1.172.400	608.638	1.526.229
	5	40.232	1.143.763	495.151	2.011.608		5	45.509	1.172.400	425.248	2.275.448
	6	49.940	1.143.763	398.947	2.496.986		6	54.161	1.172.400	340.198	2.708.058
	7	59.647	1.143.763	296.990	2.982.365		7	62.813	1.172.400	255.149	3.140.669
	8	69.355	1.143.763	205.539	3.467.743		8	71.466	1.172.400	170.099	3.573.279
	9	79.062	1.143.763	102.770	3.953.122		9	80.118	1.172.400	85.050	4.005.890
4	1	10.900	1.143.763	765.446	545.006	8	1	1.402	1.146.300	891.739	70.094
	2	19.552	1.143.763	680.397	977.617		2	11.109	1.146.300	811.218	555.472
	3	20.817	1.143.763	705.297	1.040.851		3	28.205	1.146.300	595.347	1.410.227
	4	36.857	1.143.763	510.298	1.842.838		4	36.857	1.146.300	510.298	1.842.838
	5	40.232	1.143.763	494.984	2.011.608		5	45.509	1.146.300	425.248	2.275.448
	6	54.161	1.143.763	340.162	2.708.058		6	54.161	1.146.300	340.198	2.708.058
	7	59.647	1.143.763	297.158	2.982.365		7	62.813	1.146.300	255.149	3.140.669
	8	69.970	1.143.763	194.451	3.498.524		8	71.466	1.146.300	170.099	3.573.279
	9	80.118	1.143.763	85.050	4.005.890		9	80.118	1.146.300	85.050	4.005.890

Çizelge 3.10 : Deprem senaryolarının karşılaştırma özeti (x10.000).

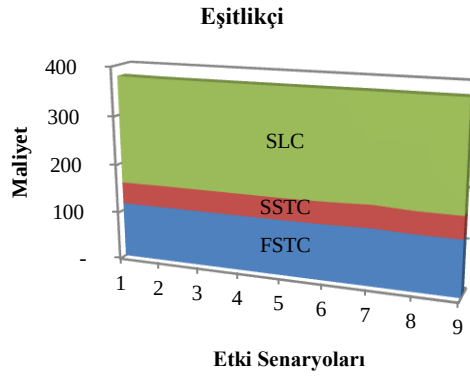
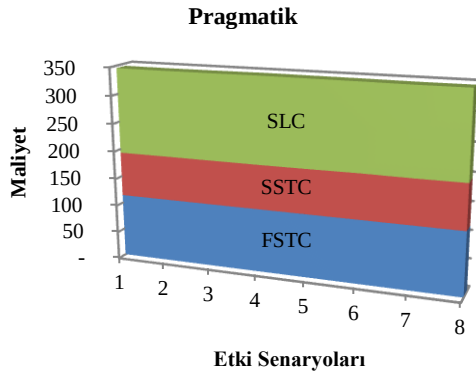
Pragmatik					Eşitlikçi				
ES	UD	FSTC	SSTC	SLC	ES	UD	FSTC	SSTC	SLC
1	3,04	114,38	79,15	152,21	1	4,39	114,38	44,51	219,68
2	3,04	114,38	79,33	151,88	2	4,36	114,38	45,24	217,92
3	3,04	114,38	79,21	152,21	3	4,36	114,38	45,26	217,92
4	3,06	114,39	79,19	152,88	4	4,36	114,38	45,26	217,92
5	3,04	114,38	79,57	152,23	5	4,36	114,38	45,26	217,92
6	3,03	114,38	80,19	151,50	6	4,34	115,07	45,60	216,99
7	3,03	114,38	79,79	151,50	7	4,28	117,24	46,60	214,06
8	3,03	114,38	80,19	151,48	8	4,35	114,63	45,38	217,58
Ort	3,04	114,38	79,58	151,99	Ort	4,35	114,85	45,39	217,50



(a)

(b)

Şekil 3.5 : Etki senaryolarına göre maliyetlerin yüzde dağılımı: (a) Pragmatik, (b) Eşitlikçi.



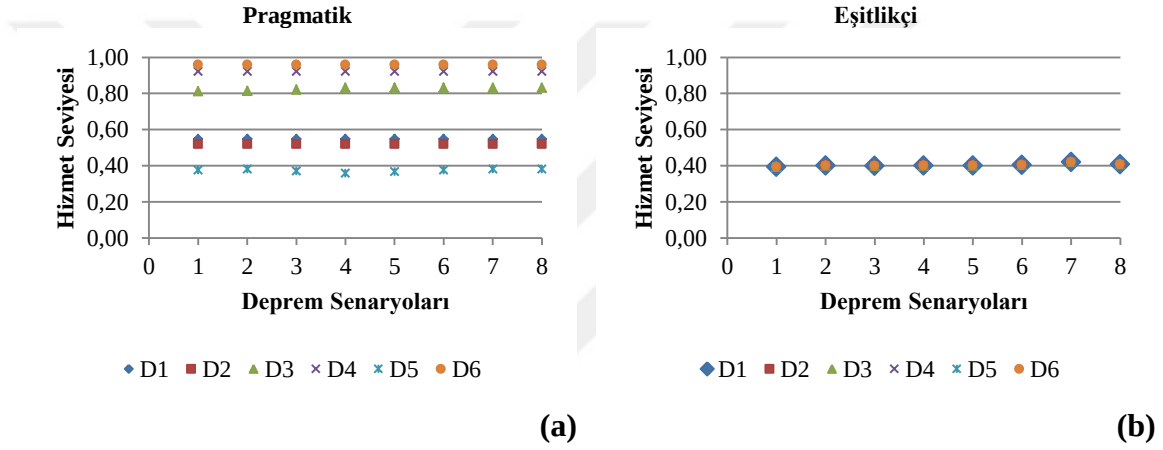
(a)

(b)

Şekil 3.6 : Etki senaryolarına göre maliyetlerin dağılımı (x10.000): (a) Pragmatik, (b) Eşitlikçi.

Çizelge 3.11 : Talep noktalarında gerçekleşen hizmet seviyeleri.

PRAGMATİK							EŞİTLİKÇİ						
ES	D1	D2	D3	D4	D5	D6	ES	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	0,55	0,52	0,81	0,92	0,38	0,96	1	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
2	0,55	0,52	0,81	0,92	0,38	0,96	2	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
3	0,55	0,52	0,82	0,92	0,37	0,96	3	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
4	0,55	0,52	0,83	0,92	0,36	0,96	4	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
5	0,55	0,52	0,83	0,92	0,37	0,96	5	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
6	0,55	0,52	0,83	0,92	0,38	0,96	6	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
7	0,55	0,52	0,83	0,92	0,38	0,96	7	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
8	0,55	0,52	0,83	0,92	0,38	0,96	8	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
Ort	0,55	0,52	0,83	0,92	0,37	0,96	Ort	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40



Şekil 3.7 : Talep noktalarında gerçekleşen hizmet seviyeleri: (a) Pragmatik, (b) Eşitlikçi.

Uygulama kapsamında, en optimum tahsis ve ulaştırma kararları arandığından dolayı otokratik yaklaşım incelemeye alınmamıştır. Bunun sebebi, otokratik yaklaşımın sonuçlarının önceden sezgisel olarak belli olmasıdır. Sonuçlarda ilk göze çarpan unsur, toplam ulaştırma maliyetinin eşitlikçi yaklaşımda, pragmatik yaklaşımdan daha düşük oluşudur (Çizelge 3.10). Buna rağmen, ilk aşama ulaştırma maliyeti incelenecek olunursa, ulaştırma maliyetinin her iki yaklaşımda da neredeyse aynı seviyede gerçekleştiği, eşitlikçi yaklaşım değerlerinin hafif daha yüksek olduğu da dikkat çekicidir. Ulaştırma maliyetindeki asıl fark ikinci aşama maliyetlerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 3.6).

Bununla birlikte, sistemi yalnızca ulaştırma maliyeti açısından değerlendirmek doğru olmayabilir. Karşılanamayan talep ile doğrudan ilişkili olan hizmet seviyesinden kaynaklanan maliyetin de katıldığı toplam maliyet incelenecek olunursa, bu sefer de

ulaştırma maliyetinde düşük olan eşitlikçi yaklaşımın toplam maliyetinin pragmatik yaklaşımdan daha fazla olduğu görülecektir. Anlaşılan odur ki, eşitlikçi yaklaşımda daha az ulaştırma hareketi yapılmış ve ulaştırma maliyeti düşürülmüş, ancak sistem çapında istenilen hizmet seviyesi başarısı elde edilememiştir. Bu durum, sistem genelinde incelenen karşılanamayan talep miktarı incelendiğinde de teyit edilmektedir. Eşitlikçi yaklaşımın karşılanamayan talep miktarı faydacı yaklaşımdan daha yüksektir.

Sonuçlar gerçekleşen hizmet seviyesi yönünden incelendiğinde ise düğümler arasında dikkat çekici bir durum daha göz önüne çıkmakta ve hizmet seviyesi yaklaşımlarının birbirlerinden teorik olarak farklarını belirginleştirmektedir. Pragmatik yaklaşımda en fazla %96 seviyesinde, en az %37 seviyesinde talep karşılama gerçekleşmekte ve düğümler arasında belirgin bir hizmet seviyesi farkı olduğu gözlemlenmektedir. Buna rağmen talep noktalarının yarısı %55 seviyesini geçmiştir. Eşitlikçi yaklaşımda ise, tüm düğümlerin hizmet seviyeleri aynı miktarda (ortalama %40) gerçekleşmiştir (Çizelge 3.11 ve Şekil 3.7).

Ulaştırma ve dağıtım planlamasının uygulandığı ağ yapısına göre bahse konu sonuçların değişmesi beklenmektedir. Problemi daha karmaşık hale getirmemek için uygulamada kullanılan elde tutma maliyetinin sıfır olduğu varsayılmıştır.

3.6 Çok Periyotluluğun Modele Katılması

Yardım malzemesi dağıtım ağı planlama araştırmalarının çok periyotlu bir ortamda yapılması gerektiğine dair önemli gerçek hayat kanıtları bulunmaktadır. Bunlardan biri, yakın tarih olan 23 Ekim 2011 tarihinde Türkiye'nin Güneydoğu bölgesinde gerçekleşen ve 7,2Mw (Moment Şiddeti) hissedilen Van Depremi olayı ve bu olayın toparlanma sürecidir. Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD), afetin ilk gününün ilk 6 saati içerisinde 20 jeneratör, 95 mobil tuvalet, 2.471 çadır, 7.046 battaniye, 1.120 yiyecek paketi ve 10.041 yiyecek kutusunu afet bölgesine göndermiştir. Sonrasında, bölgeye gönderilen battaniye sayısı toplamda 76.802'ye kadar yükselmiştir ("Things Have Been done for Van in 7 Days 24 Hours", 2012).

Afet sonrasında toplam 175 bin insan 31 adet konteynır kentte yaşamaya başlamıştır. Bununla birlikte afetten iki yıl sonra 2013 yılında dahi, depremin etkilerinin

tamamen kaybolmadığına ve dört adet konteynır kentin halen aktif olduğuna şahit olunmaktadır (“Why are the Van Earthquake Victims Go Hunger Strike?”, 2013). Bu tür örneklerin sayısı artırılabilir, ancak tek periyotlu yardım malzemesi dağıtım planlamasının yeterli olmayabileceği ve planlamanın çok periyotta yapılmasının daha anlamlı sonuçlar üretebileceği değerlendirilmektedir.

DDEİSSPM problemi tek periyotlu bir problem olup, tek amaçlı, çok seviyeli, stokastik ortamları hedef almaktadır. Aynı zamanda, senaryo uygulamasının problemin bütününden kaldırılması durumunda da, aynı türdeki deterministik problem sahalarına yönelik sonuç üretebilmektedir (Güler ve Ermiş, 2014). Literatür araştırması bölümünde yer alan Çizelge 2.5’te görüldüğü üzere, literatürde henüz çok periyotlu, tek amaçlı ve çok seviyeli araştırma bulunmamaktadır (Güler ve Ermiş, 2016). Bu boşluğu doldurmak amacıyla, DDEİSSPM problem tanımı çok periyotlu olacak şekilde geliştirilmiştir.

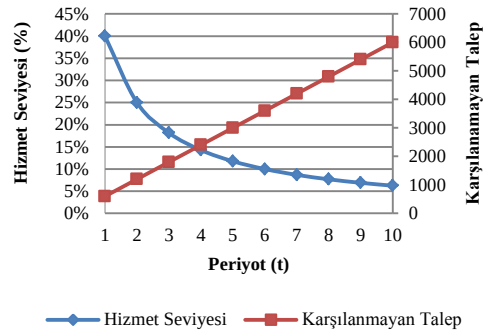
DDEİSSPM problemi, ilk seviyede dengeli, ikinci seviyede ise dengesiz bir ulaştırma problemi davranışı gösteren iki seviyeli bir ulaştırma ve dağıtım problemidir. Bu nedenle, arz ve talep açısından yaklaşıldığında melez bir ulaştırma ortamı olduğu düşünülebilir. Bu şekilde karmaşık bir yaklaşım yapısı oluşturmasının temel nedeni ise arz, talep ve ark kapasitelerindeki belirsizlik durumudur. Rassallık, problemde dikkate alınan düğümlerde envanter fazlası veya kısa kalmaya sebep olabilmektedir. Çalışmamızda öncelikle çok periyotluluk etkileri arz ve talep arasında üç ana denge durumuna göre incelenmiştir. Bu durumlar, başlangıç şartlarında arz ve talebin sabit ve arzın talepten eşit ya da az olması durumu; başlangıç şartlarında arz ve talebin sabit ve arzın talepten eşit ya da büyük olması durumu; son olarak ise başlangıç şartlarında arz ve talebin rassal ve arzın talepten eşit ya da az olması durumudur. Her üç durumda da, DDEİSSPM aksine ark kapasitelerinin sınırsız ve her zaman kullanıma hazır olduğu varsayılacaktır.

3.6.1 Arz/talebin sabit ve arzın talepten eşit veya küçük olma durumu

Arz ve ortalama talep miktarlarının sabit olduğu ve arzın her bir periyotta talebe eşit veya az olduğu varsayılacak olunursa, teorik olarak sistemin hiç bir zaman doyuma ulaşamayacağı beklenebilir. Böyle bir durumda, hizmet seviyesi ve karşılanamayan talebin beklenen davranışı Şekil 3.8’de görüldüğü gibi olacaktır. Grafik

incelendiğinde karşılanamayan talep miktarı doğrusal olarak artarken müşteri hizmet seviyesinin üssel olarak azaldığı görülecektir.

t	Arz	Talep	Güncel Talep	Karşılanan Talep	Karşılanamayan Talep	Hizmet Seviyesi
1	400	1000	1000	400	600	0,40
2	400	1000	1600	400	1200	0,25
3	400	1000	2200	400	1800	0,18
4	400	1000	2800	400	2400	0,14
5	400	1000	3400	400	3000	0,12
6	400	1000	4000	400	3600	0,10
7	400	1000	4600	400	4200	0,09
8	400	1000	5200	400	4800	0,08
9	400	1000	5800	400	5400	0,07
10	400	1000	6400	400	6000	0,06



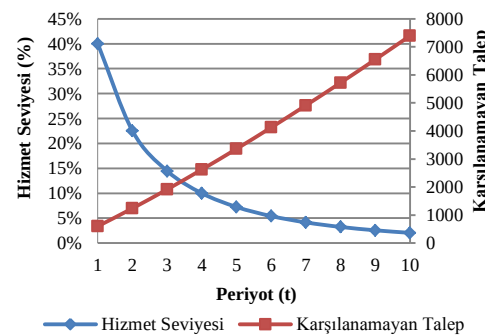
(a)

(b)

Şekil 3.8 : Müşteri hizmet seviyesi ve karşılanamayan talebin sabit arz ve talep, $arz \leq talep$ durumunda davranışı: (a) Sayısal. (b) Grafiksel.

Bununla birlikte, eğer arz miktarının %10'luk sabit bir oranla her bir yeni periyotta azaldığı varsayılacak olursa, müşteri hizmet seviyesinde sert bir düşüş ve karşılanamayan talep miktarında hafif üssel bir artış beklenecektir. Bu durum, rassal kapasiteli arklara sahip bir ulaştırma ağı ile benzerlik gösterir. Eğer probleme rassal kapasiteli ark limitleri eklenecek olunursa, karşılanamayan talebin daha güçlü üssel bir artış göstermesi beklenir. Şekil 3.9, ark kapasitelerinin olmadığı 10 periyotluk bir ağın benzetimini sunmaktadır.

t	Arz	Talep	Güncel Talep	Karşılanan Talep	Karşılanamayan Talep	Hizmet Seviyesi
1	400	400	0	1000	1000	400
2	360	360	0	1000	1600	360
3	324	324	0	1000	2240	324
4	292	292	0	1000	2916	292
5	262	262	0	1000	3624	262
6	236	236	0	1000	4362	236
7	213	213	0	1000	5126	213
8	191	191	0	1000	5913	191
9	172	172	0	1000	6722	172
10	155	155	0	1000	7550	155



(a)

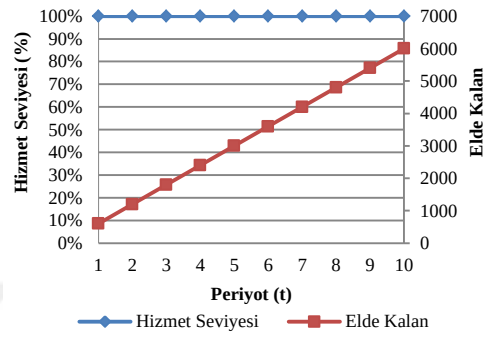
(b)

Şekil 3.9 : Müşteri hizmet seviyesi ve karşılanamayan talebin azalan arz (%10) ve sabit talep, $arz \leq talep$ durumunda davranışı: (a) Sayısal. (b) Grafiksel.

3.6.2 Arz/talebin sabit ve arzın talepten eşit veya büyük olma durumu

Böyle bir durumda, karşılanamayan talepten ziyade, sezgisel olarak elde kalan envanter miktarı oluşması beklenecektir. Şekil 3.10'da görüleceği üzere, müşteri hizmet seviyesi her zaman %100 seviyesindeyken, elde kalan envanter miktarı periyot artışı ile birlikte doğrusal olarak artmaktadır.

t	Arz	Talep	Elde Kalan	Karşılanaan Talep	Karşılanaanmayan Talep	Hizmet Seviyesi
1	1000	400	600	400	0	1,00
2	1600	400	1200	400	0	1,00
3	2200	400	1800	400	0	1,00
4	2800	400	2400	400	0	1,00
5	3400	400	3000	400	0	1,00
6	4000	400	3600	400	0	1,00
7	4600	400	4200	400	0	1,00
8	5200	400	4800	400	0	1,00
9	5800	400	5400	400	0	1,00
10	6400	400	6000	400	0	1,00



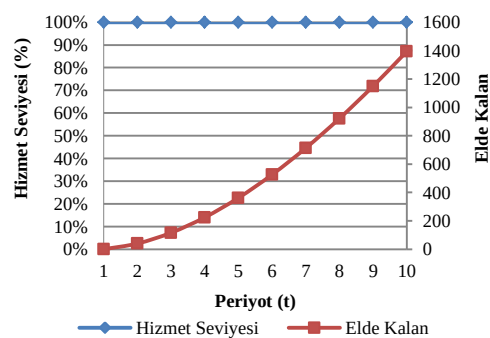
(a)

(b)

Şekil 3.10 : Müşteri hizmet seviyesi ve elde kalan envanterin sabit arz ve talep, $arz \geq talep$ durumunda davranışı: (a) Sayısal. (b) Grafiksel.

Bununla birlikte, eğer talep miktarının her bir yeni periyotta azaldığı varsayılacak olunursa, bir önceki durumun elde kalan envanter davranışının benzeri beklenir. Böyle bir durumda, müşteri hizmet seviyesi sabit kalmaya devam ederken, elde kalan envanter miktarının artışı üssel bir davranış gösterir. Talep azalış oranı arttıkça, elde kalan envanter miktarı artar. Şekil 3.11 beklenen elde kalan envanter miktarının davranışını resmetmektedir.

t	Arz	Talep	Elde Kalan	Karşılanaan Talep	Karşılanaanmayan Talep	Hizmet Seviyesi
1	400	400	0	400	0	1,00
2	400	360	40	360	0	1,00
3	440	324	116	324	0	1,00
4	516	292	224	292	0	1,00
5	624	262	362	262	0	1,00
6	762	236	526	236	0	1,00
7	926	213	713	213	0	1,00
8	1113	191	922	191	0	1,00
9	1322	172	1150	172	0	1,00
10	1550	155	1395	155	0	1,00



(a)

(b)

Şekil 3.11 : Müşteri hizmet seviyesi ve elde kalan envanterin sabit arz, azalan talep (%10), $arz \geq talep$ durumunda davranışı: (a) Sayısal. (b) Grafiksel.

3.6.3 Arz/talebin rassal ve arzın talepten eşit veya küçük olma durumu

Yukarıda belirtilen her iki durum da, yardım malzemesi dağıtımında arzu edilmeyen durumlardır. İkisinde de lojistik maliyetler oldukça yüksektir ve gerçekleşen elde kalan envanter miktarı ya da karşılanamayan talep nedeniyle optimum tahsisin yapılamadığı görülecektir. Eğer özellikle sosyal ve depresif maliyetler de model içerisine katılacak olunursa, gerçekleşen maliyetlerin çok daha yüksek olması beklenir.

Üçüncü durum gerçek hayat örneklerine biraz daha yakındır. Afet sonrası dönemin en başında, yardım malzemesi ihtiyacı ve afetzedeleri desteklemeye yönelik sosyal farkındalık seviyesi çok yüksektir. Bu yüksek farkındalık durumu, ilk arzdan sonra devam eden destekleme sürecinin uzamasını sağlar. Bununla birlikte, toparlanma döneminin süresi uzadıkça, bu farkındalık bilinç seviyesi azalmakta ve arz miktarı derece derece düşmeye başlamaktadır. Bu sırada, talep de azalır, ancak genellikle talebin azalma oranı arzın azalma oranından çok daha düşüktür. Azalma oranı arz veya talep miktarının artmadığı anlamına gelmemektedir. Artmaya devam etmesi, ancak azalan bir oranla artması beklenmektedir.

Bu durum küçük boyutlu bir Monte-Carlo simülasyonu ile simüle edilebilir. Başlangıçta arz miktarının talep miktarından hafifçe daha büyük olduğu, her iki değer de rassal ve periyot bazında azalan bir orana sahip olduğu ve arzın azalış oranının talebin azalış oranından daha yüksek olduğu bir model koşturulacak olunursa ortalama hizmet seviyesinin hiçbir zaman %100 olmayacağı gözlemlenecektir. Elde kalan envanter miktarı ve karşılanamayan talep önemli ölçüde söz konusu bu azalma oran farklılıklarına bağlıdır. Azalma oranları arasındaki fark büyüdükçe, müşteri hizmet seviyesi üssel olarak sifıra yakınsar. Bu durum ise, çok periyotlu bir ortamda, her periyotta yeterli miktarda arz sisteme katılmazsa yalnız lojistik maliyetlerin değil, olumsuz sosyal etkilerin de artacağını gösterir. Unutulmamalıdır ki, bu küçük analizde dahi her periyotta sisteme sabit miktarda arzın katıldığı varsayılmasına rağmen, gerçek hayatta yardım çabaları bu kadar uzun sürmemektedir.

450 - 500 arasında değişen kurgusal ve rassal arz ile 400 - 500 arasında değişen kurgusal ve rassal talep, yardım malzemesi dağıtımı için toplam 12 periyot boyunca, arz için %60'lık, talep için ise %50'lik azalan bir oran uygulanarak 1.000 koşum için

çalıştırılmış ve simülasyon sonucu Çizelge 3.12’de sunulmuştur. Visual Basic for Applications (VBA) kullanılmak suretiyle, 12 periyodun ortalaması her bir koşum için MS Excel 2007™’ de kaydedilmiştir.

Karşılanamayan talep, elde kalan envanter miktarı ve müşteri hizmet seviyelerinin global ortalamaları listelenmiştir. Ortalama elde kalan envanter ve karşılanamayan talep miktarı sırasıyla ortalama arz ve ortalama talebin yaklaşık %3 ve %12’sine tekabül etmektedir. Bu yüzdesel miktarlar sezgisel olarak mantıklıdır. Bunun sebebi, ortalama arz miktarının ortalama talep miktarından daha fazla olması durumunda dahi, arz azalış oranının talep azalış oranından daha yüksek olduğu durumlarda, yüksek karşılanamayan talep beklentisi içinde olunmasıdır.

Çizelge 3.12 : Kurgusal arz ve talep gerçeklemeleri için Monte-Carlo simülasyon sonuçları.

	Karşılanamayan Talep	Elde Kalan	Hizmet Seviyesi
Global Ortalama	54	17	45%
Min	0	0	17%
Maks	205	296	100%
Mod	0	0	100%
Medyan	41	7	32%

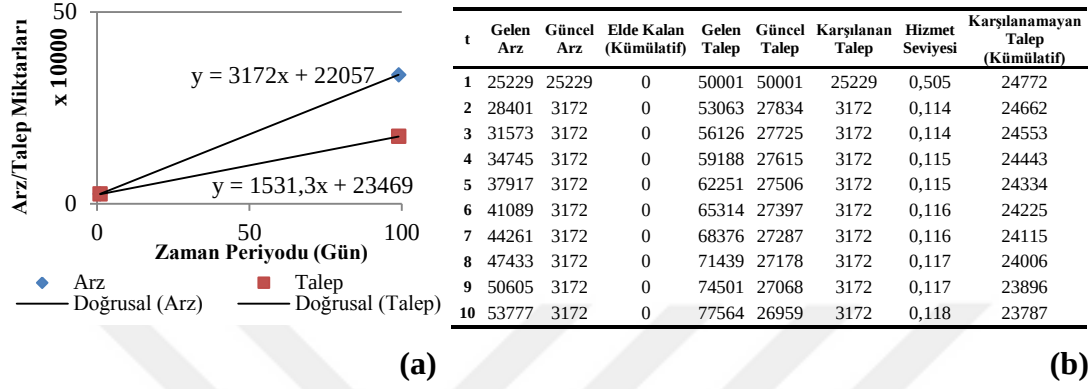
Bununla birlikte, yukarıdaki kurgusal yaklaşım, kullanılacak stokastik formülasyon olan DDEİSSPM için yeteri kadar temsil edici olmadığından, yardım malzemesi dağıtımı için bir gerçek hayat problemi olan 23 Ekim 2011 Van/Türkiye deprem verilerinin kullanılması kararlaştırılmıştır. Bu uygulama aynı zamanda ulaşılabilecek çözüm için güvenilir bir teorik taban da sağlayacaktır. AFAD, afete ait oluşan talep ile ilk 24 saat içinde yapılan arz miktarını yayımlamıştır. Ayrıca, 99 gün sonunda gerçekleşen sayısal figürlere ait bir özet de verilmiştir (“Things Have Been done for Van in 7 Days 24 Hours”, 2012). Bu özet değerlerin bazıları Çizelge 3.13’te görülebilir.

Çizelge 3.13 : Afetten 99 gün sonrasında seçilmiş yardım malzemeleri için 2011 Van depremi arz ve talep gerçeklemeleri.

	Battaniye		Çadır	
	Arz	Talep	Arz	Talep
23 Ekim 2011	25.229	25.000	8.544	25.000
30 Ocak 2012	336.089	175.070	76.802	175.070

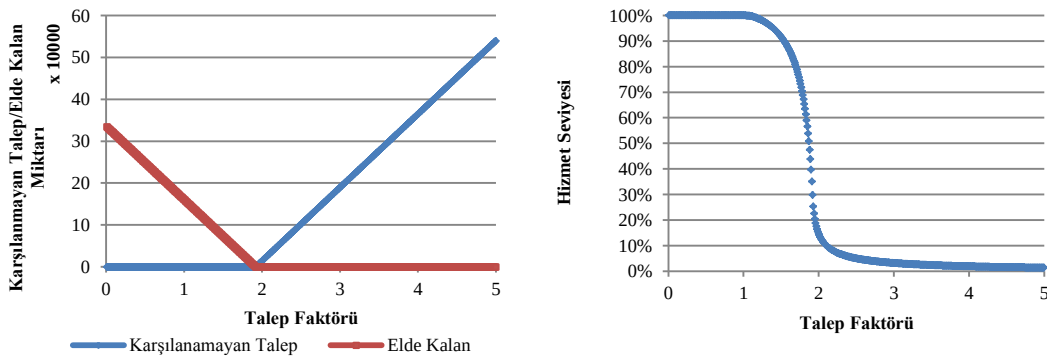
Battaniye ele alınacak olursa, zamana bağlı battaniye arz ve talebinin doğrusal olacağı varsayımıyla, 99 günlük zaman periyodu arz ve talep değerleri için doğrusal

bir denklem oluşturulabilir. Daha sonra, 99 günlük bir zaman tablosu oluşturmak ve doğrusal denklemler ile üretilen arz ve talep bilgilerini kullanmak suretiyle, kümülatif karşılanamayan talep, elde kalan envanter miktarı ve günlük müşteri hizmet seviyesi hesaplanır. Bu zaman tablosunun bir kısmı ile üretilen doğrusal arz ve talep fonksiyonu Şekil 3.12’de görülebilir.



Şekil 3.12 : 2011 Van depremine ait arz/talep değerlerinin kısmi 99 günlük zamana bağlı arz/talep değişimleri ve doğrusal denklemleri: (a) Grafiksel. (b) Sayısal.

Bu hesaplamaadaki stokastik talep değişim etkilerini analiz edebilmek için, 0 ile 5 arasında değer alan bir talep faktörü olduğu varsayılmış ve her gün için 0,01 artırılan talep faktörü, talep değerleri ile çarpılarak simülasyon çalıştırılmıştır. Dolayısıyla, talep faktöründen etkilenmiş olan gerçek talep simüle edilebilmiştir. Bu işlem için VBA kullanılmış ve karşılanamayan talebin, elde kalan envanterin ve müşteri hizmet seviyesinin davranışı incelenmiştir. Grafik analiz Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’te görülebilir.



Şekil 3.13 : Talep faktörünün değişimi halinde karşılanamayan talep ve elde kalan envanterin değişimi. **Şekil 3.14** : Talep faktörünün değişimi durumunda hizmet seviyesinin değişimi.

Şekil 3.13'te görüldüğü üzere, başlangıç arz miktarı yaklaşık 1,92'lik talep faktörü değerine kadar yeterli iken, bu noktadan başlamak üzere, talep hiçbir şekilde karşılanamamaktadır. Hizmet seviyesi yönünden ise, talep faktörü 1,0 seviyesini geçtikten hemen sonra ani bir düşüş görülmekte, düşme oranı özellikle talep faktörünün 1,5 ve 2,0 arasında olduğu durumlarda çok daha dik olmaktadır. 2,0 değerinden sonra ise hizmet seviyesi sıfıra yaklaşır.

Bu analiz bize senaryo etkilerinin beklenen davranışını göstermektedir. Eğer, DDEİSSPM'nin validasyon için kullanılan ilk uygulaması incelenecek olunursa, hiçbir senaryoda elde kalan envanter olmadığı ve tüm senaryolarda sistemde karşılanamayan talep olduğu görülmektedir. Bu durum ise, nümerik çalışmamızın talep faktörünün 1,92'den büyük olduğu Van Depremi örneği ile benzerlik taşıdığı anlamına gelmektedir.

Eğer her bir periyot için ayrı bir etki senaryosu üretilmez veya karşılanamayan talep için değişken maliyet fonksiyonu uygulanmaz ise, toplam maliyetin doğrusal olarak büyümesi beklenir. Bu durum modelimize neden değişken sosyal maliyetlerin uygulanması gerektiğine ışık yakmaktadır, ancak buna rağmen sosyal maliyetleri dâhil etmeyerek, modeli çok periyotlu hale dönüştürmekle başlanacaktır.

DDEİSSPM formülasyonunda, talep faktörünün uygulanışı hem stokastik senaryolar ile talep düğümlerinde hem de ulaştırma arklarındaki uygulaması ile gerçekleşmektedir. Hizmet seviyeleri ise hem eşitlikçi yaklaşım ile tüm düğümlerde eşit tutulacak, hem de pragmatik yaklaşım ile herhangi bir sınırlamaya tabi olmayacaktır. Sosyal ve depresif maliyetler ihmal edilecektir. Daha sonra alınan ilk sonuçlar, yukarıda yapılan teorik analizle karşılaştırılacaktır. Arz ve talep miktarları ile senaryolar farklı olduğundan mükemmel bir eşleşme beklenmemektedir, ancak teorik analiz stokastik bir ortamda incelenen parametrelerin nasıl davranacağı hakkında bir fikir vermektedir. Yukarıdaki analizlerde ark kapasitelerinin hesaba katılmadığı unutulmamalıdır. Bununla birlikte, doğrusal yerine üssel bir artış/azalış oranı beklenmektedir.

3.6.4 Çok periyotlu değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli

Bir önceki aşamalarda DDEİSSPM problemine hizmet seviyesi kısıtları eklenmiş ve amaç fonksiyonu buna göre yeniden düzenlenmiştir. Ancak, probleme çok

periyotluluk kazandırabilmek için tüm formülasyon, veri ve değişkenler, periyotları temsil eden ve $\forall t \in T$ olan t parametresi kullanılarak yeniden yapılandırılmalıdır. Yeni formülasyonda, bir önceki periyottaki güncel envanter durumu ve karşılanamayan talebi bir sonraki periyoda taşımak için geçiş değişkenleri ve denge kısıtı tanımlamalarına da ihtiyaç duyulacaktır. Her bir periyodun yenilenen girdiler ile yeniden değerlendirileceği ve toplam maliyeti minimize etmek için bu değerler doğrultusunda optimize edileceği varsayılmaktadır.

Geliştirilen ve çok periyotluluk özelliği katılan bu yeni modele “Çok Periyotlu Değiştirilmiş Deterministik Eşlenikli İki Seviyeli Stokastik Programlama Modeli (ÇP-DDEİSSPM)” adı verilecektir. Modelde kullanılan deterministik ve rassal veriler ile karar değişkenleri Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15’te sunulmuştur. Ayrıca, modeldeki çok periyotluluğun daha kolay anlaşılabilmesi amacıyla, periyotlar t parametresi ile ifade edileceğinden, DDEİSSPM’de t indeksini kullanan diğer parametreler farklı indeks kullanacak şekilde güncellenmiştir.

DDEİSSPM probleminde kullanılan varsayımlara ilave olarak, çok periyotlu modelde aşağıdaki varsayımlar da kullanılmıştır:

- Düğüm, ark, malzeme ve ulaştırma modu setleri zaman periyotlarından bağımsızdır,
- Maliyet parametreleri sabit ve zaman periyotlarından bağımsızdır,
- Deprem ve etki senaryoları, her bir periyotta tekrar eder ve periyottan bağımsızdır,
- Her yeni periyot için rassal ve sürekli arz olduğu varsayılır,
- Bir önceki periyottan devreden arz düğümlerindeki beklenen elde kalan envanter miktarının, her bir periyot başındaki arz gerçekleştirmesinin üzerine ekleneceği ve periyot başındaki arz miktarını güncelleyeceği kabul edilir,
- Her yeni periyot için rassal ve sürekli talep olduğu varsayılır,
- Bir önceki periyottan devreden talep düğümlerindeki beklenen karşılanamayan miktarının, her bir periyot başındaki talep gerçekleştirmesine ekleneceği ve periyot başındaki talep miktarını güncelleyeceği kabul edilir,
- Ark kapasitelerinin her bir periyot başında rassal olacağı kabul edilir.

Çizelge 3.14 : Çok periyotlu değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli deterministik ve rassal veri tanımları.

Notasyon	Tanım
<i>Deterministik Veri</i>	
G	(N, A)
N	düğüm seti
A	ark seti
K	malzeme seti
V	ulaştırma mod seti
E	$ES w_e$ durum değişkeni ile deprem senaryoları seti
S	$IS w_s$ durum değişkeni ile etki senaryoları seti
SM_{ij}^k	k malzemesi için $arc(i, j)$ yolu üzerinden ulaştırma modları seti
SO^k	k malzemesi için başlangıç düğümleri seti
SD^k	k malzemesi için varış düğümleri seti
F	varış düğüm kombinasyonları seti, $\{SD^k, SD^k\}$
TR^k	k malzemesi için aktarım düğümleri seti
S^k	$SO^k \cup SD^k$
C_v	elde tutma maliyeti
C_w	kısa kalma maliyeti
C_{ms}	her bir birim malzemenin mod değişim sabit maliyeti
C_{ij}^{kv}	bir birim k malzemesini i düğümünden j düğümüne v ulaştırma modu ile taşıma maliyeti
$C_{ij}^{k(v+1)}$	bir birim k malzemesini i düğümünden j düğümüne temizlenmiş $v + 1$ ulaştırma modu ile taşıma maliyeti
$K_{ij}^{(v+1)t}$	eğer i en yüksek beklenen elde kalan envanter ya da en yüksek beklenen karşılanamayan talep düğümüne bağlı olan düğüm ise periyot t 'nin her iki aşamasında $arc(i, j)$ 'nin mod $v + 1$ için kapasitesi
<i>Rassal Veri</i>	
$\tilde{U}_i^{kt}(1)$	t periyodu i düğümünde ilk aşamada k malzemesinden rassal arz miktarı
$U_i^{kt}(1, w_e)$	$\tilde{U}_i^{kt}(1)$ 'in bir gerçekleşmesi
$\tilde{K}_{ij}^{vt}(1)$	t periyodu birinci aşamada v ulaştırma modunun $arc(i, j)$ 'de rassal kapasitesi
$K_{ij}^{vt}(1, w_e)$	$\tilde{K}_{ij}^{vt}(1)$ 'nin bir gerçekleşmesi
$\tilde{K}_{ij}^{vt}(2)$	t periyodu ikinci aşamada v ulaştırma modunun $arc(i, j)$ 'de rassal kapasitesi
$K_{ij}^{vt}(2, w_{s e})$	$\tilde{K}_{ij}^{vt}(2)$ 'nin bir gerçekleşmesi
$\tilde{D}_i^{kt}(2)$	t periyodu ikinci aşama i düğümü k malzemesi rassal talebi
$D_i^{kt}(2, w_{s e})$	$\tilde{D}_i^{kt}(2)$ 'nin bir gerçekleşmesi

Çizelge 3.15 : Çok periyotlu değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli karar değişkeni tanımları.

Notasyon	Tanım
<i>Karar Değişkenleri</i>	
$Sup_i^{kt}(1, w_e)$	$t - 1$ periyodunda verilen kararlar nedeniyle t periyodu ilk aşama i düğümünde k malzemesi için güncel arz miktarı
$Dem_i^{kt}(2, w_{s e})$	$t - 1$ periyodunda verilen kararlar nedeniyle t periyodu ikinci aşama i düğümünde k malzemesi için güncel talep miktarı
$R_i^{kt}(1, w_e)$	t periyodu birinci aşamada ES w_e 'ye uygun verilen kararlar sonucu ikinci seviye başında oluşan i düğümü, k malzemesi arz miktarı (durum değişkeni)
$X_{lmij}^{kvt}(1, w_e)$	t periyodu birinci aşama ES w_e , k malzemesi, $ark(i, j)$, v ulaştırma modu, l kaynak düğümünden m varış düğümüne taşınan miktar
$X_{lmij}^{kvt}(2, w_{s e})$	t periyodu ikinci aşama IS $w_{s e}$, k malzemesi, $ark(i, j)$, v ulaştırma modu, l kaynak düğümünden m varış düğümüne taşınan miktar
$P_{lmj}^{kvt}(1, w_e)$	t periyodu birinci aşama ES w_e , k malzemesi, (l, m) paterni, j düğümünde herhangi bir ulaştırma modundan v ulaştırma moduna aktarılan miktar
$P_{lmj}^{kvt}(2, w_{s e})$	t periyodu ikinci aşama IS $w_{s e}$, k malzemesi, (l, m) paterni, j düğümünde herhangi bir ulaştırma modundan v ulaştırma moduna aktarılan miktar
$Q_{lmj}^{kvt}(1, w_e)$	t periyodu birinci aşama ES w_e , k malzemesi, (l, m) paterni, j düğümünde v ulaştırma modundan herhangi bir ulaştırma moduna aktarılan miktar
$Q_{lmj}^{kvt}(2, w_{s e})$	t periyodu ikinci aşama IS $w_{s e}$, k malzemesi, (l, m) paterni, j düğümünde v ulaştırma modundan herhangi bir ulaştırma moduna aktarılan miktar
$V_i^{kt}(2, w_{s e})$	t periyodu IS $w_{s e}$ için i talep düğümünde k malzemesi envanter fazlası miktarı
$W_i^{kt}(2, w_{s e})$	t periyodu IS $w_{s e}$ için i talep düğümünde k malzemesi karşılanamayan miktarı

Amaç fonksiyonu:

$$\begin{aligned}
\min & \sum_{e \in E} \sum_{k \in K} \sum_{v \in V} \sum_{l \in SO^k} \sum_{m \in S^k} \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} \sum_{j \in N} p(w_e) [C_{ij}^{kv} X_{lmij}^{kvt}(1, w_e) \\
& + C_{ms} (P_{lmj}^{kvt}(1, w_e) + Q_{lmj}^{kvt}(1, w_e)) / 2] \\
& + \sum_{e \in E} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} \sum_{v \in V} \sum_{l \in S^k} \sum_{m \in S^k} \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} \sum_{j \in N} p(w_e) p(w_{s|e}) [C_{ij}^{kv} X_{lmij}^{kvt}(2, w_{s|e}) \\
& + C_{ms} (P_{lmj}^{kvt}(2, w_{s|e}) + Q_{lmj}^{kvt}(2, w_{s|e})) / 2 + C_v V_i^{kt}(2, w_{s|e}) \\
& + C_w W_i^{kt}(2, w_{s|e})]
\end{aligned} \tag{3.28}$$

Güler ve Ermiş (2014)'te takip edilen iki seviyeli rassallık değerlendirilerek, her bir periyodun $\forall t \in T$ tedarik zinciri maliyetini ayrı ayrı minimize edecek şekilde çok periyotlu, iki seviyeli stokastik programlama için amaç fonksiyonu kurulmuştur. Modelde, birden fazla malzeme türünü rassal kapasiteli arz düğümlerinden yine

rassal talebi olan düğümlerin talebini karşılamak için rassal kapasiteli birden fazla ulaştırma modunun kullanıldığı kabul edilmektedir. Bu amaç fonksiyonu, stokastik programlama için geniş bir LP yapısı sunmakta ve her iki seviyede de sınırlı sayıda senaryo söz konusu olduğundan deterministik eşlenik kullanmaktadır.

(3.28) amaç fonksiyonunun ilk terimi, ulaştırma ve aktarım maliyetlerini içeren ilk aşama beklenen maliyetini, ikinci terim ise ikinci aşama ulaştırma, aktarım, envanter fazlası, karşılanamayan talep ve yönlenme (recourse) maliyetlerinden oluşmaktadır. Elde kalma ve karşılanamayan talep maliyetleri toplam maliyet hesabına sırasıyla beklenen elde kalan miktar ve beklenen karşılanamayan miktarın doğrusal bir fonksiyonu olarak etkilemektedir.

Modelde kullanılan akış değişkenleri t periyodunda, (l, m) yolunun, l arz düğüm noktasından m talep düğüm noktasına, her bir k malzemesi için ayrı (i, j) arkını v ulaştırma modunu kullanarak taşınan miktarı ifade eder ve X_{lmij}^{kvt} ile temsil edilir. $p(w_e)$ ve $p(w_s|w_e)$ sırasıyla deprem senaryosu olasılıklarını ve bunlara bağlı etki senaryoları olasılıklarını ifade eder. Her bir ES 'nin olasılığı $p(w_e)$ olarak tanımlanır ve $\sum_{e=1}^E p(w_e) = 1$ 'dir; benzer şekilde her bir IS 'nin koşullu olasılığı $p(w_s|w_e)$ olarak tanımlanmakta ve $\sum_{s=1}^{S_t} p(w_s|w_e) = 1$ olmaktadır.

Başlangıçta $t - 1$ periyodundan gelen karşılanamayan talep ve elde kalan envanter miktarı olmadığı varsayılır. Bununla birlikte, diğer periyotlarda bir önceki periyottan kalan envanter fazlası ya da karşılanamayan talep olabilir ve yeni periyodun toplam başlangıç arz ve talep miktarının rassal arz/talebin gerçekleşmesi ile bir önceki periyottan kalan miktarların toplamından oluştuğu kabul edilir. Bu toplamlar, arz ve talep için sırasıyla $Sup_i^{kt}(1, w_e)$ ve $Dem_i^{kt}(2, w_{s|e})$ olarak ifade edilmektedir. Elde kalan envanter yalnızca arz düğümleri olan SO^k 'da, karşılanamayan talep miktarları ise yalnızca talep düğümleri olan SD^k 'da gerçekleşebilir. Aynı zamanda periyotlar arasında, ikinci aşama rassal ark kapasitesi ve talep miktarları gerçekleşmeden önce, başlangıç arz miktarlarının arz düğümlerinden diğer düğümlere, S^k aktarılması beklenir. Bu nedenle, aşamalar arasında iletişim kurabilmek ve her bir düğüm-malzeme çifti için $R_i^{kt}(1, w_e)$ geçiş değişkeni oluşturulmuştur. İkinci aşama problemi ilk aşamanın çözümü için yapılan tahsis durumuna göre ele alınır.

En kötü durum senaryolarındaki rassal ark kapasiteleri nedeniyle, sistemin başlangıcında yeterli miktarda arz olmasına rağmen, ilk aşama sonunda olursuz

sonuçlar beklenebilir. Bunun sebebi, ilk aşama ulaştırma modelinin dengeli bir problem olması ve arz düğümlerinden gerçekleşecek akış kaldırılamaz ise olursuzluk gerçekleşebileceğidir. Bu durumun üstesinden, arz düğümlerinden talep düğümlerine olacak şekilde yüksek maliyetli ve sınırsız kapasiteli sanal arklar oluşturularak gelinebilir.

Kısıtlar:

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in SO^k} \sum_{m \in S^k} X_{lmi}^{kvt}(1, w_e) \leq K_{ij}^{vt}(1, w_e) \quad (3.29)$$

$$\forall v \in SM_{ij}^k, \forall t \in T \text{ ve } (i, j) \in A$$

$$\sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmi}^{kvt}(1, w_e) - \sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmji}^{kvt}(1, w_e) = 0 \quad (3.30)$$

$$\forall k \in K, l \in SO^k, m \in S^k, i \in N, \forall t \in T \text{ ve } l \neq i, m \neq i$$

$$\sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmi}^{kvt}(1, w_e) - \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmji}^{kvt}(1, w_e) = P_{lmi}^{kvt}(1, w_e) - Q_{lmi}^{kvt}(1, w_e) \quad (3.31)$$

$$\forall k \in K, v \in SM_{ij}^k, l \in SO^k, m \in S^k, i \in TR, (i, j) \in A, \forall t \in T \text{ ve } l \neq i, m \neq i$$

$$Sup_i^{kt}(1, w_e) = U_i^{kt}(1, w_e) \text{ eğer } t = 1 \quad (3.32)$$

$$\forall k \in K, i \in SO^k \text{ ve } \forall t \in T$$

$$Sup_i^{k(t+1)}(1, w_e) = U_i^{kt}(1, w_e) + \sum_{e \in E} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} p(w_e) p(w_s | w_e) V_i^{kt}(2, w_{s|e}) \quad (3.33)$$

$$\forall k \in K, i \in SO^k \text{ ve } \forall t \in T$$

$$\sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{m \in S^k} \sum_{j \in N} X_{lmi}^{kvt}(1, w_e) \leq Sup_i^{kt}(1, w_e) \quad (3.34)$$

$$\forall k \in K, i \in SO^k, (i, j) \in A, \forall t \in T \text{ ve } i = l$$

$$\sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{l \in SO^k} \sum_{j \in N} X_{lmji}^{kvt}(1, w_e) = R_i^{kt}(1, w_e) \quad (3.35)$$

$$\forall k \in K, i \in S^k, (i, j) \in A, \forall t \in T \text{ ve } i = m$$

$$\sum_{i \in SO^k} Sup_i^{kt}(1, w_e) = \sum_{i \in S^k} R_i^{kt}(1, w_e) \quad (3.36)$$

$$\forall k \in K \text{ ve } \forall t \in T$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in S^k} \sum_{m \in S^k} X_{lmi}^{kvt}(2, w_{s|e}) \leq K_{ij}^{vt}(2, w_{s|e}) \quad (3.37)$$

$$\forall v \in SM_{ij}^k, \forall t \in T \text{ ve } (i, j) \in A$$

$$\sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmi}^{kvt}(2, w_{s|e}) - \sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmj}^{kvt}(2, w_{s|e}) = 0 \quad (3.38)$$

$$\forall k \in K, l \in S^k, m \in S^k, i \in N, (i, j) \in A, \forall t \in T \text{ ve } l \neq i, m \neq i$$

$$\sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmi}^{kvt}(2, w_{s|e}) - \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmj}^{kvt}(2, w_{s|e}) = P_{lmi}^{kvt}(2, w_{s|e}) - Q_{lmi}^{kvt}(2, w_{s|e}) \quad (3.39)$$

$$\forall k \in K, v \in SM_{ij}^k, l \in S^k, m \in S^k, i \in TR, (i, j) \in A, \forall t \in T \text{ ve } l \neq i, m \neq i$$

$$Dem_i^{kt}(2, w_{s|e}) = D_i^{kt}(2, w_{s|e}) \quad \text{eğer } t = 1 \quad (3.40)$$

$$\forall k \in K, i \in SD^k \text{ ve } \forall t \in T$$

$$\begin{aligned} Dem_i^{k(t+1)}(2, w_{s|e}) &= Dem_i^{kt}(2, w_{s|e}) \\ &+ \sum_{e \in E} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} p(w_e) p(w_s | w_e) W_i^{k(t-1)}(2, w_{s|e}) \end{aligned} \quad (3.41)$$

$$\forall k \in K, i \in SD^k \text{ ve } \forall t \in T$$

$$\sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{m \in S^k} \sum_{j \in N} X_{lmi}^{kvt}(2, w_{s|e}) \leq R_i^{kt}(1, w_e) \quad (3.42)$$

$$\forall k \in K, i \in S^k, \forall t \in T \text{ ve } i = l$$

$$\begin{aligned} \sum_{i \in SO^k} V_i^{kt}(2, w_{s|e}) - \sum_{i \in SD^k} W_i^{kt}(2, w_{s|e}) &= \sum_{i \in S^k} R_i^{kt}(1, w_e) - \sum_{i \in SD^k} Dem_i^{kt}(2, w_{s|e}) \end{aligned} \quad (3.43)$$

$$\forall k \in K \text{ ve } \forall t \in T$$

$$\begin{aligned} \sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{l \in S^k} \sum_{j \in N} X_{lmi}^{kvt}(2, w_{s|e}) - Dem_i^{kt}(2, w_{s|e}) \\ = V_i^{kt}(2, w_{s|e}) - W_i^{kt}(2, w_{s|e}) \end{aligned} \quad (3.44)$$

$$\forall k \in K, i \in SD^k, (i, j) \in A, \forall t \in T \text{ ve } i = m$$

$$\frac{Dem_i^{kt}(2, w_{s|e}) - W_i^{kt}(2, w_{s|e})}{Dem_i^{kt}(2, w_{s|e})} = \frac{Dem_j^{kt}(2, w_{s|e}) - W_j^{kt}(2, w_{s|e})}{Dem_j^{kt}(2, w_{s|e})} \quad (3.45)$$

$$\forall k \in K, (i, j) \in F, \forall t \in T \text{ ve } i \neq j$$

$$X_{lmi}^{kvt}(1, w_e) \geq 0 \quad (3.46)$$

$$\forall k \in K, v \in SM_{ij}^k, l \in SO^k, m \in S^k, \forall t \in T \text{ ve } (i, j) \in A$$

$$P_{lmi}^{kvt}(1, w_e) \geq 0, \quad Q_{lmi}^{kvt}(1, w_e) \geq 0 \quad (3.47)$$

$$\forall k \in K, v \in SM_{ij}^k, l \in SO^k, m \in S^k, \forall t \in T \text{ ve } i \in TR$$

$$X_{lmi}^{kvt}(2, w_{s|e}) \geq 0 \quad (3.48)$$

$$\forall k \in K, v \in SM_{ij}^k, l \in S^k, m \in S^k, \forall t \in T \text{ ve } (i, j) \in A$$

$$P_{lmi}^{kvt}(2, w_{s|e}) \geq 0, \quad Q_{lmi}^{kvt}(2, w_{s|e}) \geq 0 \quad (3.49)$$

$$\forall k \in K, v \in SM_{ij}^k, l \in S^k, m \in S^k, i \in TR, \forall t \in T \text{ ve } (i, j) \in A$$

$$V_i^{kt}(2, w_{s|e}) \geq 0, \quad W_i^{kt}(2, w_{s|e}) \geq 0 \quad (3.50)$$

$$\forall k \in K, \forall t \in T \text{ ve } i \in N$$

$$Sup_i^{kt}(1, w_e) \geq 0, \quad Dem_i^{kt}(2, w_{s|e}) \geq 0 \quad (3.51)$$

$$\forall k \in K, i \in S^k, \forall t \in T$$

Kısıt çiftleri (3.29) ve (3.37), (3.30) ve (3.38) ile (3.31) ve (3.39) sırasıyla her bir t periyodu birinci ve ikinci aşamasındaki ark kapasitesi, akış koruma ve malzeme aktarım kontrol kısıtlarıdır. (3.32) ve (3.40) kısıtları, yalnızca birinci periyot için geçerli olup sırasıyla periyotlar arasındaki arz/talep durumunu belirtir. Bu kısıtlar, $t - 1$ periyodundan kalan ve başlangıç periyoduna devredilen envanter fazlası ya da karşılanamayan talep olmadığını ifade eder. Diğer periyotlar için ise başlangıç arzı o periyodun rassal arzı ile bir önceki $t - 1$ periyodundan kalan beklenen envanter fazlasının toplamına, başlangıç talebi ise o periyodun rassal talebi ile bir önceki $t - 1$ periyodundan kalan beklenen karşılanamayan talebin toplamına eşittir. Kısıt (3.33)

ve (3.41) sırasıyla bu şartı sağlamaktadır. Kısıt (3.34), (3.35) ve (3.42) birlikte, her bir aşamada başlangıç arz miktarının diğer düğümlere gönderilmesi ya da saklanmasını sağlar. $R_i^{kt}(1, w_e)$ durum değişkeni ilk aşama sonrası gerçekleşen sistem arz durumunun ikinci aşamaya yansıtılması için kullanılmaktadır. Kısıt (3.36) ve (3.43) her bir aşamada tutarlılık kontrolü yapmak için kullanılmakta ve aşamanın başlangıcındaki toplam sistem arz miktarının aşama sonunda tahsis edilen toplam miktara eşit olmasını sağlamaktadır. Kısıt (3.44) her bir t periyodunun ikinci aşaması sonundaki elde kalan envanter ve karşılanamayan talep miktarının tespit edilmesini sağlamaktadır. Kısıt (3.45) tüm düğümlerde eşitlikçi yaklaşım kullanılması halinde hizmet seviyesinin aynı olmasını gerektirirken, bu kısıtın modelde bulunmaması modelin pragmatik yaklaşımla çalıştığı anlamına gelmektedir. Son olarak, (3.46)'dan (3.51)'e kadar olan kısıtlar negatif olmama kısıtları olarak kullanılmaktadır.

3.6.5 Çok periyotlu değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli sayısal uygulaması

DDEİSSPM problemi 7,4 M şiddetindeki Marmara depremi olarak da bilinen 1999 Ağustos deprem verileri kullanılarak geçerlenmiştir. Geçerleme için kullanılan küçük ölçekli veri seti ÇP-DDEİSSPM'ye de uygulanacak ve Avcılar bölgesi üzerine uygulamanın sonuçları incelenecektir.

Küçük ölçekli Avcılar veri setinde $D1$ 'den $D6$ 'ya kadar 6 adet talep düğümü, $N1$ 'den $N3$ 'e 3 adet aktarım terminali düğümü ve $S1$ 'den $S5$ 'e 5 adet arz düğümü yer almaktadır. Tüm düğümler birbirine bağlı olmamakla birlikte (eksik ağ yapısı) düğümler arasında ulaştırma ark bağlantıları bulunmaktadır. Arklar iki farklı ulaştırma modunu temsil eder. Bunlar kara ve havayolu ulaştırmasıdır.

Yerel otoritelerden faydalanılarak geliştirilen arz verisi ile beklenen talep verilerine Barbarosoğlu ve Arda (2004) çalışmasından erişilebilmektedir. Arz verisinin tüm ES 'lerdeki miktarının sabit olduğu varsayılmaktadır. Modelde yalnız bir tip malzeme olduğu kabul edilmektedir. Malzeme aktarımına yalnızca üç arz düğümünde ($S1$, $S4$, ve $S5$) müsaade edilir. Ulaştırma maliyeti mesafenin doğrusal bir fonksiyonudur ve havayolu ulaştırmasının karayolu ulaştırmasından iki kat daha maliyetli olduğu varsayılmaktadır. Uygulama kapsamında Güler ve Ermiş (2014) çalışmasında kullanılan ark kapasite ve ulaştırma maliyet değerleri kullanılacaktır. Ulaştırma modu aktarım ve kısa kalma maliyetleri sırasıyla birim başına 35 ve 50 olarak

kullanılmaktadır. Elde kalan envanter miktarının maliyetlendirmesi ihmal edilmiştir. ÇP-DDEİSSPM problemi sekiz deprem senaryosu (*ES*) ve dokuz etki senaryosu (*IS*) için on periyot boyunca çalıştırılmıştır. Deprem senaryosu olasılıkları Çizelge 2.16’da, koşullu etki senaryosu olasılıkları ise Çizelge 3.16’da sunulmuştur. İkinci aşama talepleri ve ark kapasiteleri, etki senaryolarında verilen yüzde çarpanlarla çarpılmak suretiyle belirlenmektedir. Çizelge 3.17 incelenecek olunursa, en yüksek kapasite ve en düşük talebi oluşturmasıyla en iyi durumun *IS* 1, tam tersi durumda olan en kötü senaryonun ise *IS* 9 olduğu görülecektir.

Çizelge 3.16 : Deprem senaryosu olasılıkları.

Senaryolar	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8
$p(w_e)$	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,65

Çizelge 3.17 : Etki senaryosu olasılıkları ve çarpanlar.

Etki Senaryoları (<i>IS</i>)	% Gerçek Kapasite	% Gerçek Talep	Deprem Senaryolarının (<i>ES</i>) Koşullu Olasılıkları							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	90	130	0,03	0,02	0,01	0,025	0,04	0,075	0,25	0,45
2	80	140	0,045	0,05	0,025	0,03	0,06	0,06	0,23	0,225
3	70	150	0,03	0,08	0,05	0,08	0,3	0,3	0,04	0,04
4	60	160	0,025	0,03	0,03	0,02	0,045	0,2	0,225	0,075
5	50	170	0,08	0,075	0,25	0,4	0,4	0,25	0,075	0,08
6	40	180	0,075	0,225	0,2	0,045	0,02	0,03	0,03	0,025
7	30	190	0,04	0,04	0,3	0,3	0,08	0,05	0,08	0,03
8	20	200	0,225	0,23	0,06	0,06	0,03	0,025	0,05	0,045
9	10	210	0,45	0,25	0,075	0,04	0,025	0,01	0,02	0,03

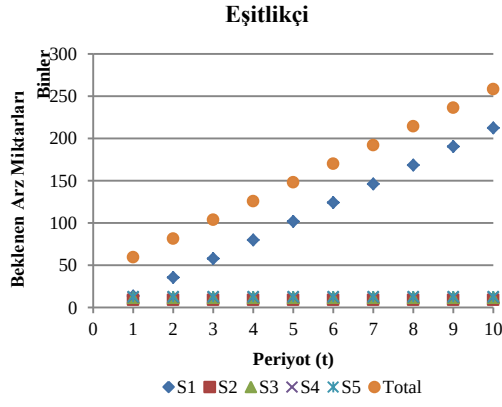
ÇP-DDEİSSPM modeli, doğrusal program olarak her iki hizmet seviyesi yaklaşımı için GAMS/CPLEX ile kodlanmış ve çözülmüştür. İlk çözümde eşitlikçi, ikinci çözümde ise pragmatik yaklaşım uygulanmıştır. Pragmatik yaklaşımda tüm talep düğümleri arasında eşitlik aranmazken, eşitlikçi yaklaşımda aranmıştır. Bu çalışmada yapılan hesaplama pragmatik yaklaşım için ortalama 98.041 satır ve 1.447.905 sütun içerirken, eşitlikçi yaklaşım için ortalama 100.201 satır ve 1.447.905 sütun içermiştir. Core 2 Duo 2,5 Ghz 3GB RAM özelliklere sahip bilgisayar ile GAMS’te elde edilen optimal sonuçlar aşağıda gösterilmektedir. Hesaplama performans değerleri ise Çizelge 3.18’de sunulmaktadır. Her bir periyot için güncellenen, beklenen arz ve talep miktarları, elde kalan envanter miktarı, karşılanamayan talep (*UD*) ve buna bağlı hizmet seviyesi maliyetleri (*SLC*), ilk aşama ulaştırma maliyetleri (*FSTC*), ikinci aşama ulaştırma maliyetleri (*SSTC*), *FSTC* ve *SSTC*’nin toplamından oluşan

toplam ulaştırma maliyetleri (*TC*), hizmet seviyeleri ve *FSTC*, *SSTC* ile *SLC*'nin toplamından oluşan orijinal maliyetler (*OC*) ayrı ayrı hesaplanmıştır.

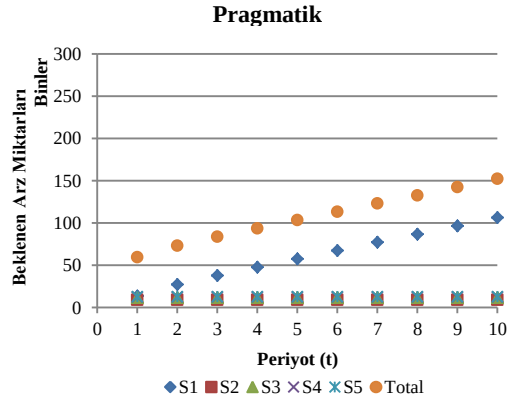
Çizelge 3.18 : Hesaplama performansı.

Zaman Periyotları	Eşitlikçi Yaklaşım				Pragmatik Yaklaşım			
	Üretim Zamanı (sn)	Hesap Zamanı (sn)	Toplam Çözüm Zamanı (sn)	İterasyon Sayısı	Üretim Zamanı (sn)	Hesap Zamanı (sn)	Toplam Çözüm Zamanı (sn)	İterasyon Sayısı
Periyot 1	38,5	38,5	77,0	3.245	27,8	27,8	55,6	4.633
Periyot 2	37,1	53,5	90,6	194	36,1	45,5	81,5	371
Periyot 3	38,1	52,7	90,7	1.912	34,0	44,3	78,3	1.414
Periyot 4	39,7	58,0	97,7	1.212	33,4	47,8	81,2	1.931
Periyot 5	38,9	51,4	90,3	1.261	33,8	47,1	80,9	2.270
Periyot 6	37,4	50,7	88,1	1.238	38,7	52,7	91,4	1.344
Periyot 7	41,0	53,1	94,1	1.526	35,3	50,7	86,0	1.516
Periyot 8	39,8	54,4	94,2	3.363	36,3	50,7	87,0	1.313
Periyot 9	28,1	45,4	73,5	3.413	35,0	45,7	80,7	1.329
Periyot 10	29,9	46,9	76,8	3.409	34,7	49,5	84,2	1.509
Min	28,1	38,5	73,5	194	27,8	27,8	55,6	371
Maks	41,0	58,0	97,7	3.413	38,7	52,7	91,4	4.633
Ort	36,8	50,5	87,3	2.077	34,5	46,2	80,7	1.763
Toplam	368,5	504,6	873,0	20.773,0	345,0	461,8	806,8	17.630,0

Problem kapsamını daha karmaşık hale getirmemek için tek malzeme türü ele alınmıştır. Bu varsayım, afet döneminde dağıtımın paketler halinde olması nedeniyle gerçek hayatla da uyumludur. Her bir periyotta gerçekteşen beklenen arz ve beklenen talep miktarları Şekil 3.16 ve Şekil 3.16'da sunulmuştur. Hem arz, hem de talep periyot artarken artmaktadır. Arz doğrusal olarak artarken, talep üssel olarak artmaktadır. Görölmektedir ki, her iki yaklaşımda da ilk periyot aynı arz ve talep miktarı ile başlamasına rağmen, eşitlikçi yaklaşımın en son durumdaki arz ve talep miktarı daha büyük bir artış oranı ile pragmatik yaklaşımın yaklaşık iki katı miktarına eşişmektedir. Arzdaki artış temel olarak *S1* düğümündeki elde kalan envanter miktarından kaynaklanmaktadır. Talepteki artışın başlıca sebebi ise *D1* ve *D5* düğümlelerinden periyotlara aktarılan karşılanamayan talep miktarından kaynaklanmaktadır.

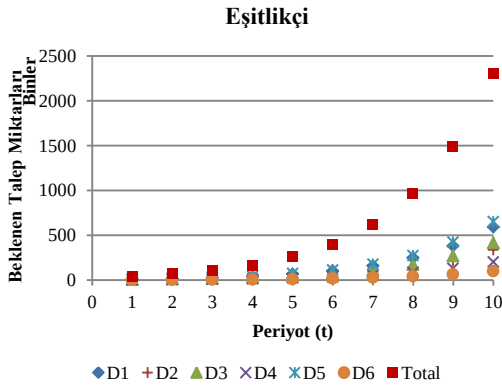


(a)

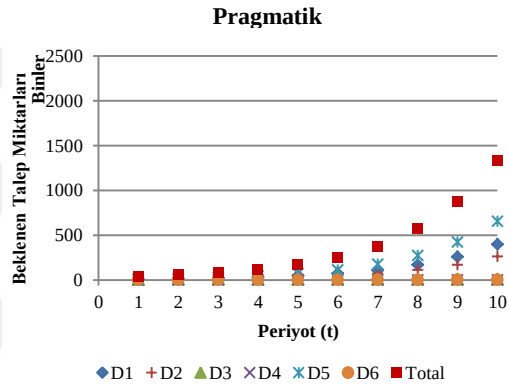


(b)

Şekil 3.15 : Periyotlara göre beklenen arz durumları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.



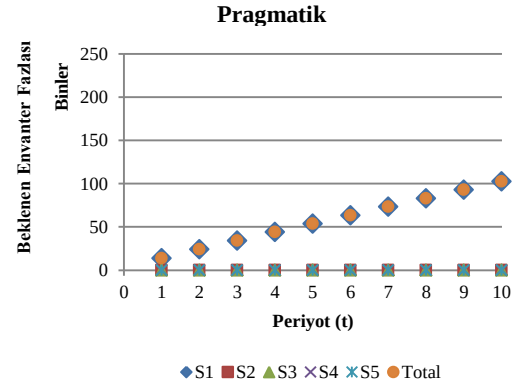
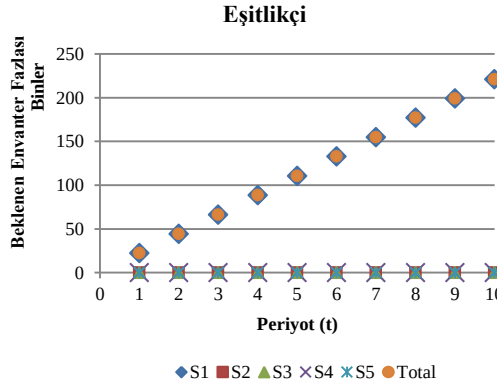
(a)



(b)

Şekil 3.16 : Periyotlara göre beklenen talep durumları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.

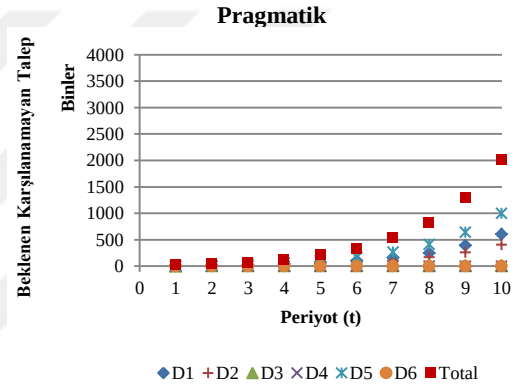
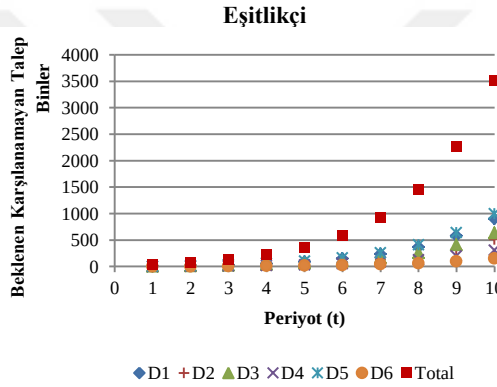
Periyot bazında beklenen elde kalan envanter ve beklenen karşılanamayan talep durumları Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de sunulmaktadır. Görülmektedir ki, toplam elde kalan envanter miktarı $S1$ düğümündeki elde kalan envanter miktarına eşittir. Diğer tüm düğümlerdeki miktarlar periyot sonlarında tamamen dağıtılmaktadır. Toplam beklenen karşılanamayan talep miktarı aslen $D1$ ve $D5$ düğümlerinden kaynaklanmaktadır. Sistemin beklenen karşılanamayan talebi zamanla üssel olarak artmaktadır. Elde kalan envanter ise doğrusal olarak büyümektedir.



(a)

(b)

Şekil 3.17 : Periyotlara göre beklenen elde kalan envanter durumları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.

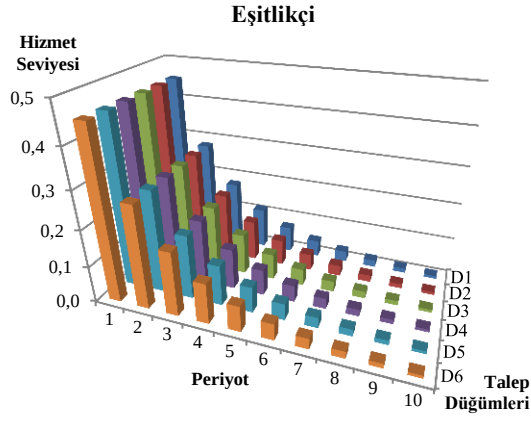


(a)

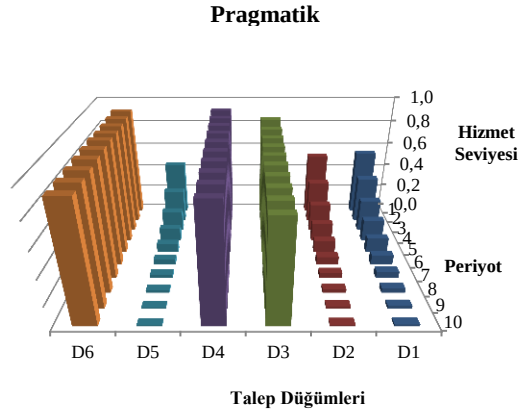
(b)

Şekil 3.18 : Periyotlara göre beklenen karşılanamayan talep durumları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.

Talep düğümlerinde gerçekleşen hizmet seviyelerinin periyot bazında gösterimi Şekil 3.19'da gösterilmektedir. Eşitlikçi yaklaşımda tüm talep düğümlerindeki hizmet seviyeleri eşit iken, pragmatik yaklaşımda talep düğümleri arasında dikkate değer farklılıklar bulunmaktadır. Eşitlikçi yaklaşımın en iyi hizmet seviyesi %45, pragmatik yaklaşımın ise %92'dir. Eşitlikçi yaklaşımda hizmet seviyeleri periyotla birlikte üssel olarak azalırken ve onuncu periyotta sıfıra yaklaşırken, pragmatik yaklaşımda talep düğümlerinin yarısı %80'in üzerinde desteklenmektedir. Bununla birlikte, pragmatik yaklaşımda talep düğümlerinin diğer yarısı dikkate değer bir azalış oranı ile desteklenmeye devam edilmekte ve bu düğümlerdeki hizmet seviyeleri de onuncu periyoda yaklaşırken sıfıra yakınsamaktadır.



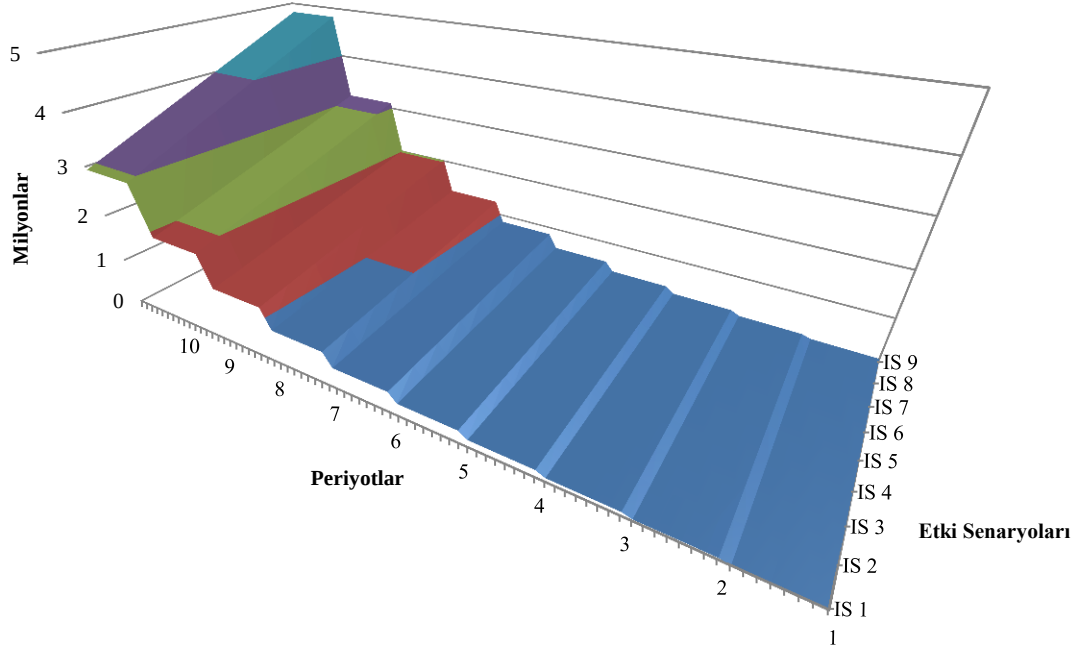
(a)



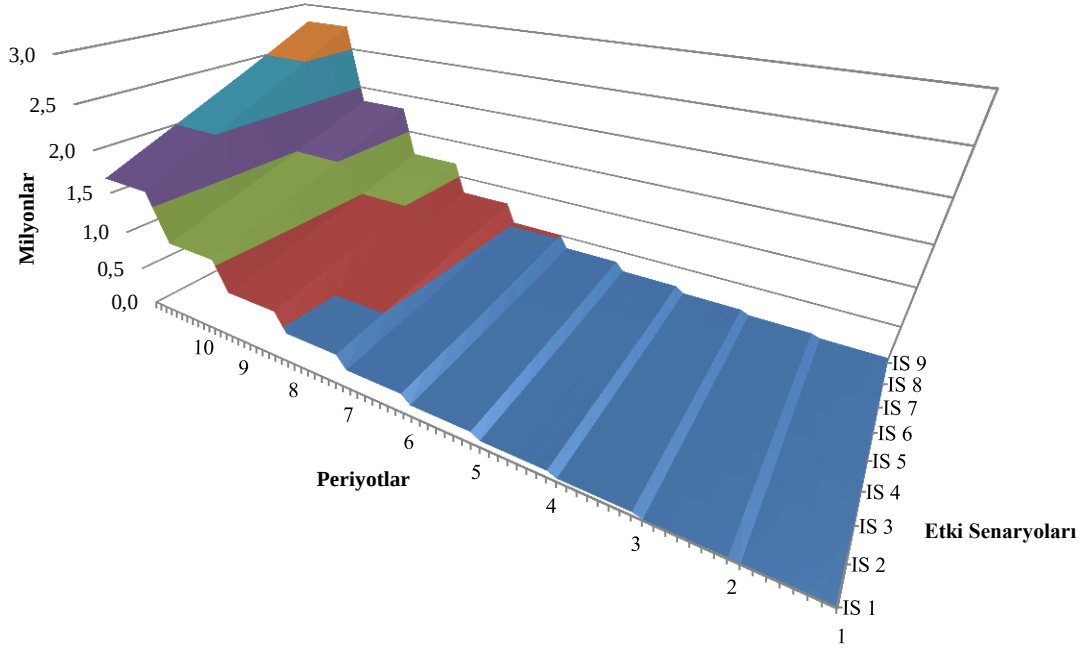
(b)

Şekil 3.19 : Periyotlara göre gerçekleşen hizmet seviyeleri: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.

Periyot bazında gerçekleşen hizmet seviyeleri senaryolardan kaynaklı karşılanamayan talep miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de periyot bazında karşılanamayan talebin davranışı incelenebilir. *IS 1*’den *IS 9*’a doğru etki senaryolarının kötüye gittiğine dikkat edilmelidir. Karşılanamayan malzeme miktarı etki senaryosunun şiddetine doğrudan bağlı olup, senaryo şartları kötüleştikçe miktar artmaktadır. En son periyoda gelindiğinde, karşılanamayan talep miktarları arasındaki fark incelendiğinde en belirgin olanının eşitlikçi yaklaşım olduğu görülmektedir. Pragmatik yaklaşımda bu miktar 1 milyon birim civarındayken, eşitlikçi yaklaşımda 2 milyon civarında gerçekleşmiştir. Her iki yaklaşımda da, karşılanamayan talebin dağılımı merdiven tipinde olup, üssel biçimde artmaktadır. Ayrıca, en yüksek karşılanamayan talep miktarı son periyodun en kötü senaryosunda görülmektedir.



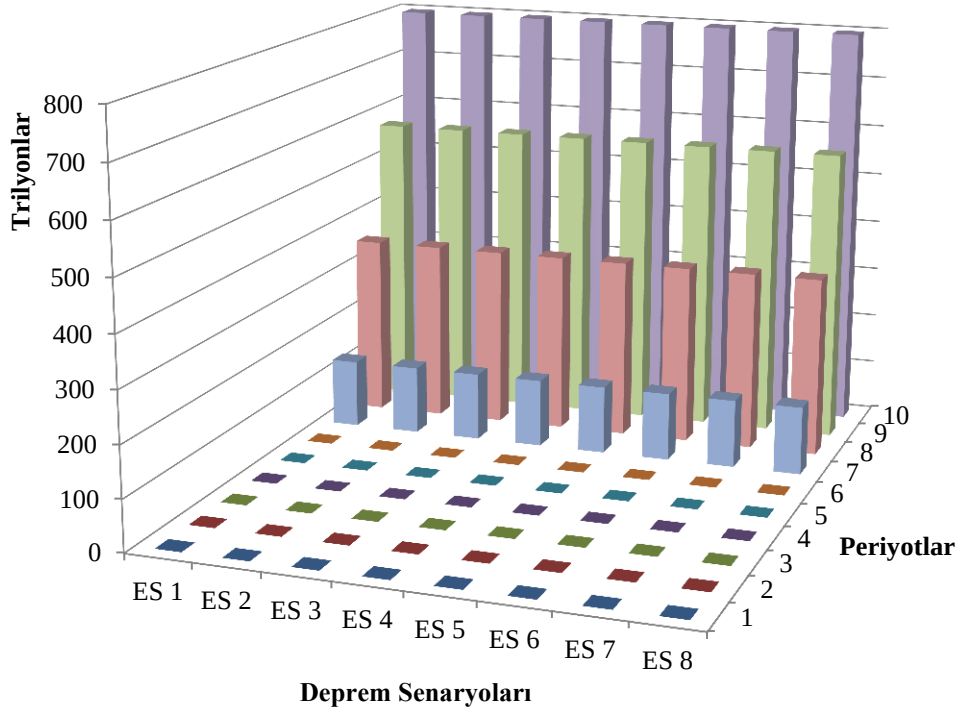
Şekil 3.20 : Karşılanamayan talebin periyot bazında değişimi – eşitlikçi yaklaşım.



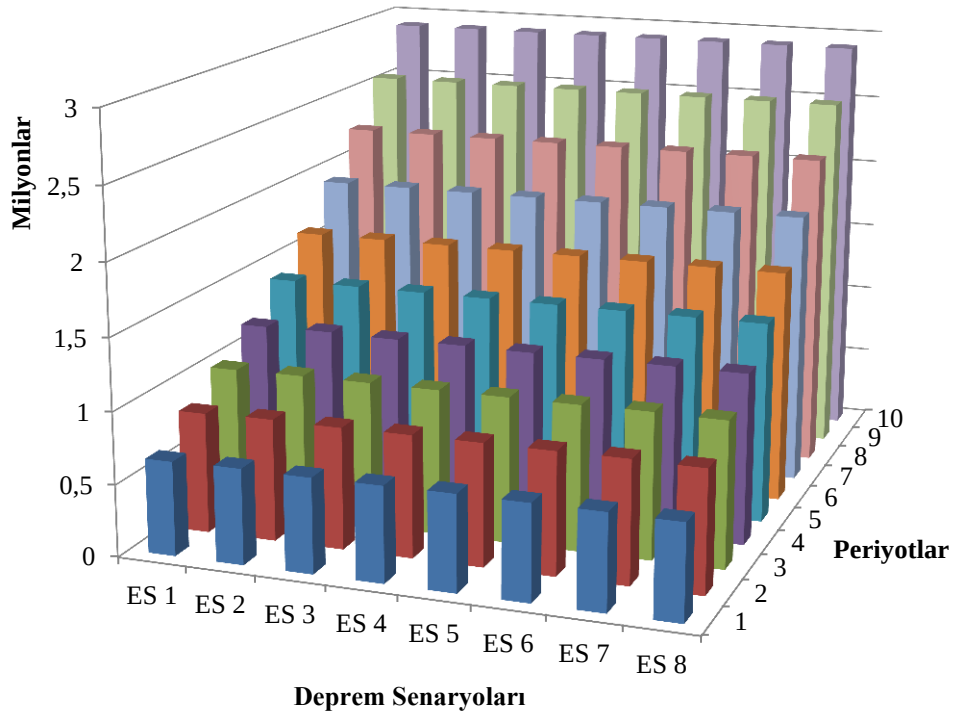
Şekil 3.21 : Karşılanamayan talebin periyot bazında değişimi – pragmatik yaklaşım.

Aşağıda sunulan Şekil 3.22 ve Şekil 3.29 arası grafiklerde maliyet gerçeklemeleri ve eğilimler incelenmektedir:

İlk Aşama Taşıma Maliyetleri (FSTC)

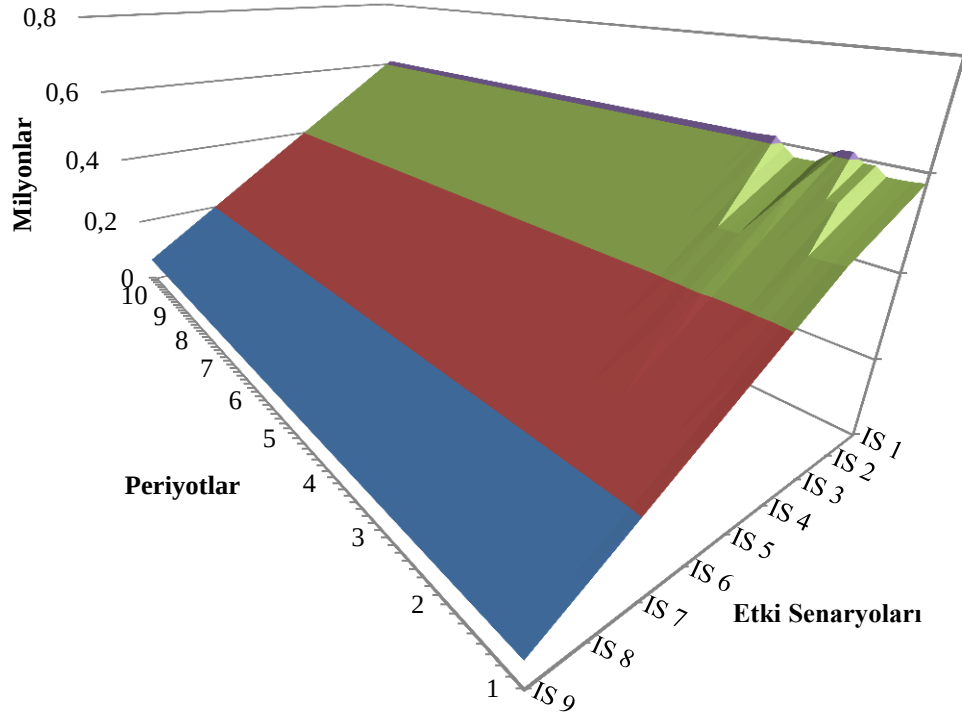


Şekil 3.22 : Periyot bazında ilk seviye taşıma maliyetleri – eşitlikçi yaklaşım.

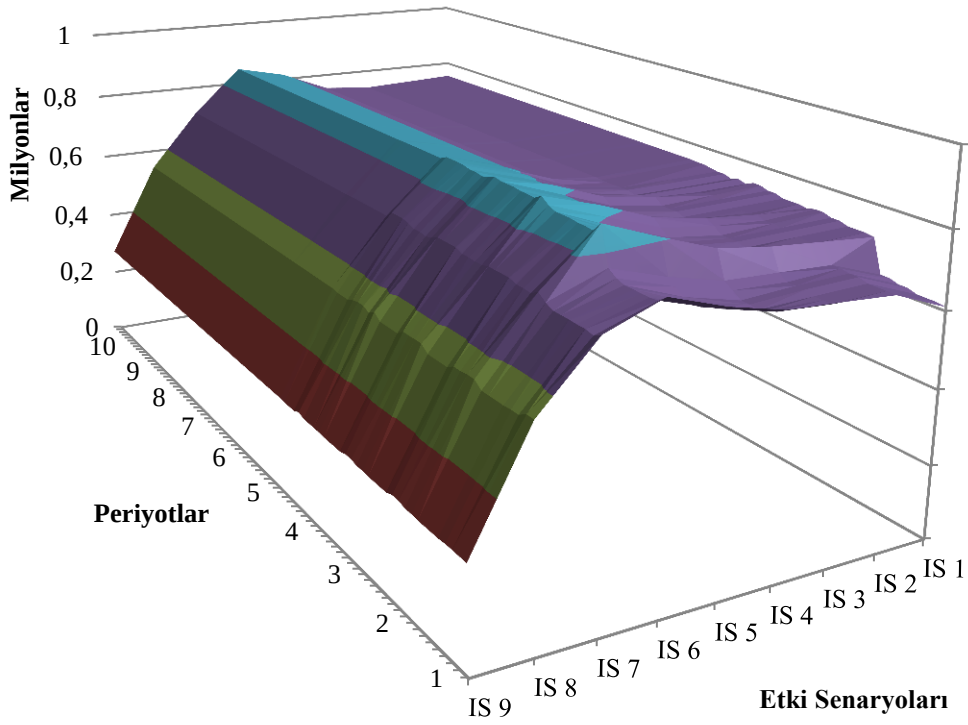


Şekil 3.23 : Periyot bazında ilk seviye taşıma maliyetleri – pragmatik yaklaşım.

İkinci Aşama Taşıma Maliyetleri (SSTC)

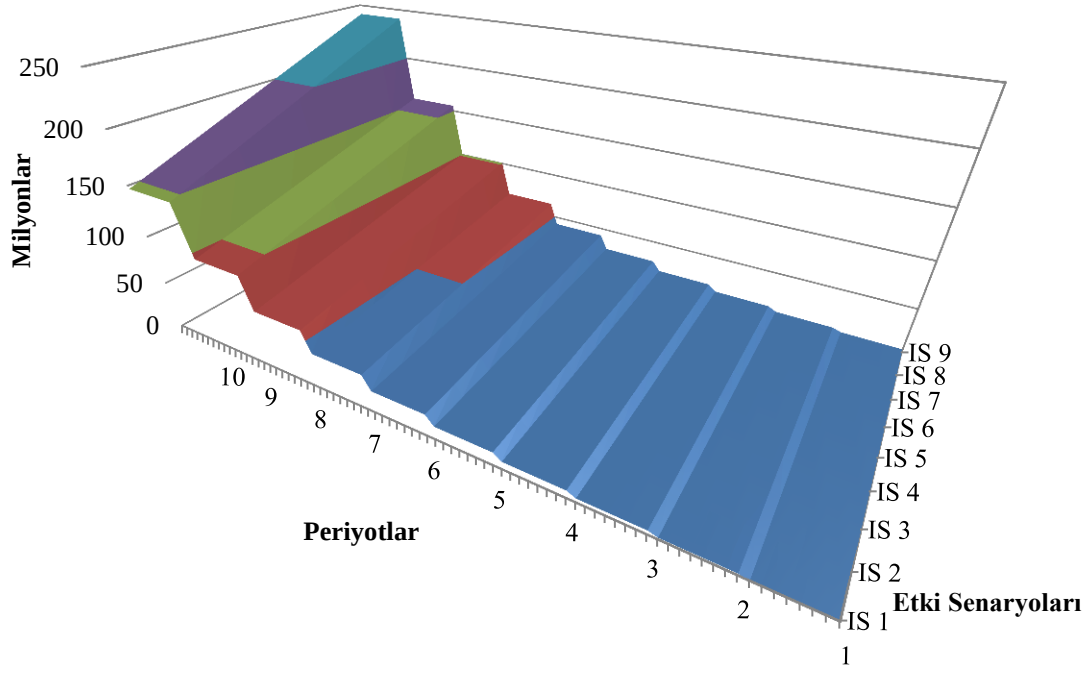


Şekil 3.24 : Periyot bazında ikinci aşama taşıma maliyetleri – eşitlikçi yaklaşım.

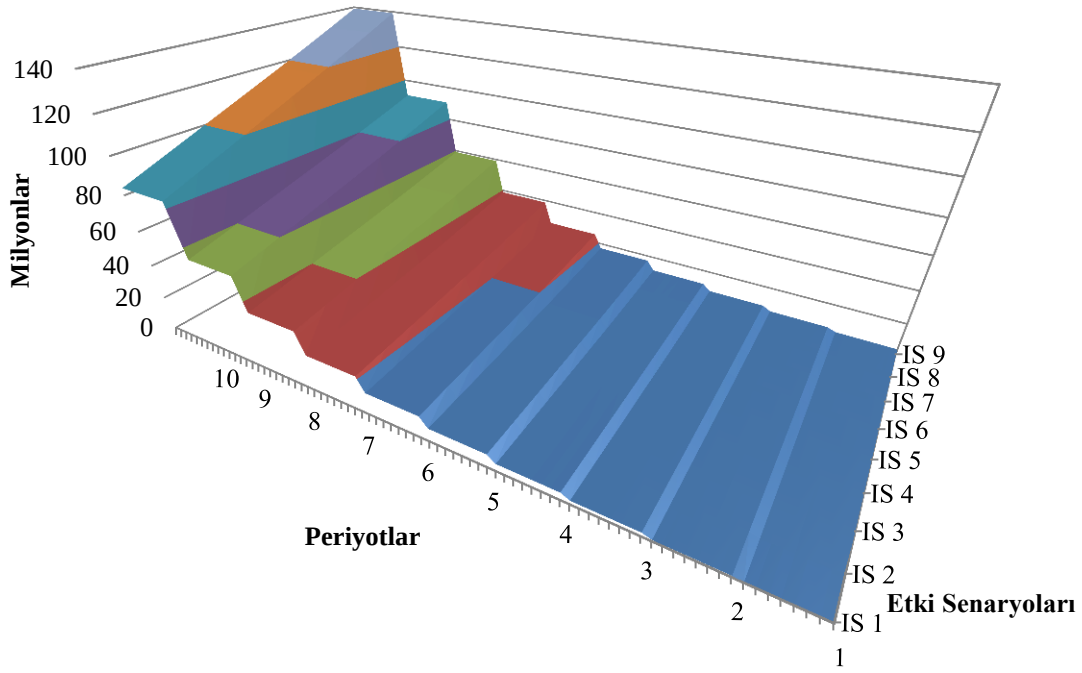


Şekil 3.25 : Periyot bazında ikinci aşama taşıma maliyetleri – pragmatik yaklaşım.

Hizmet Seviyesi Maliyetleri (SLC)

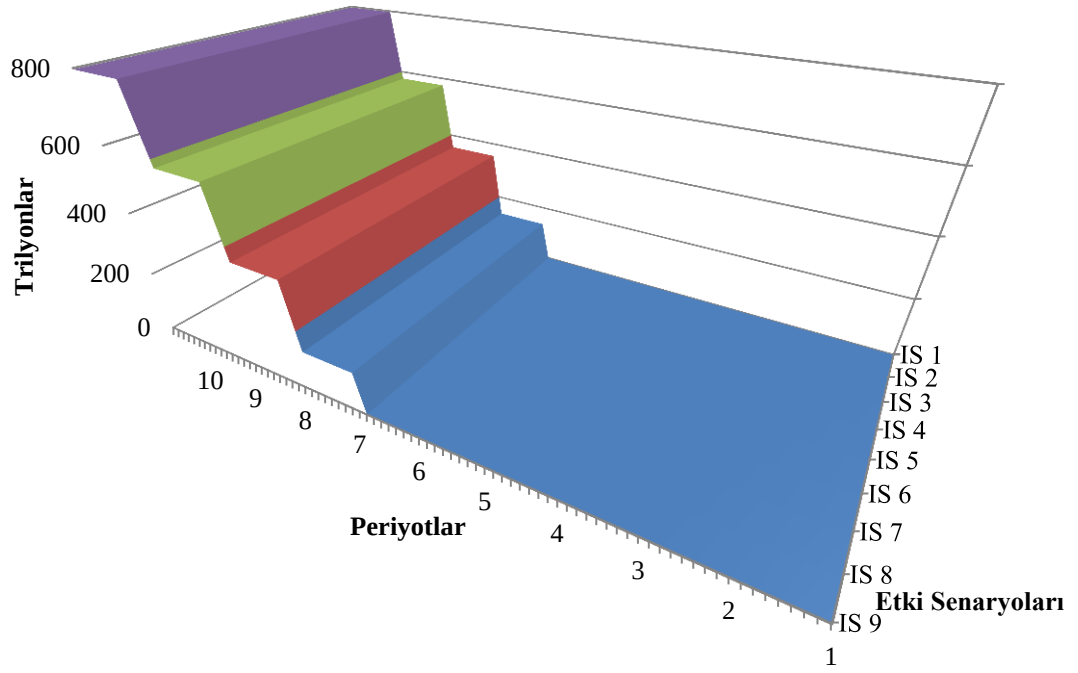


Şekil 3.26 : Periyot bazında hizmet seviyesi maliyetleri – eşitlikçi yaklaşım.

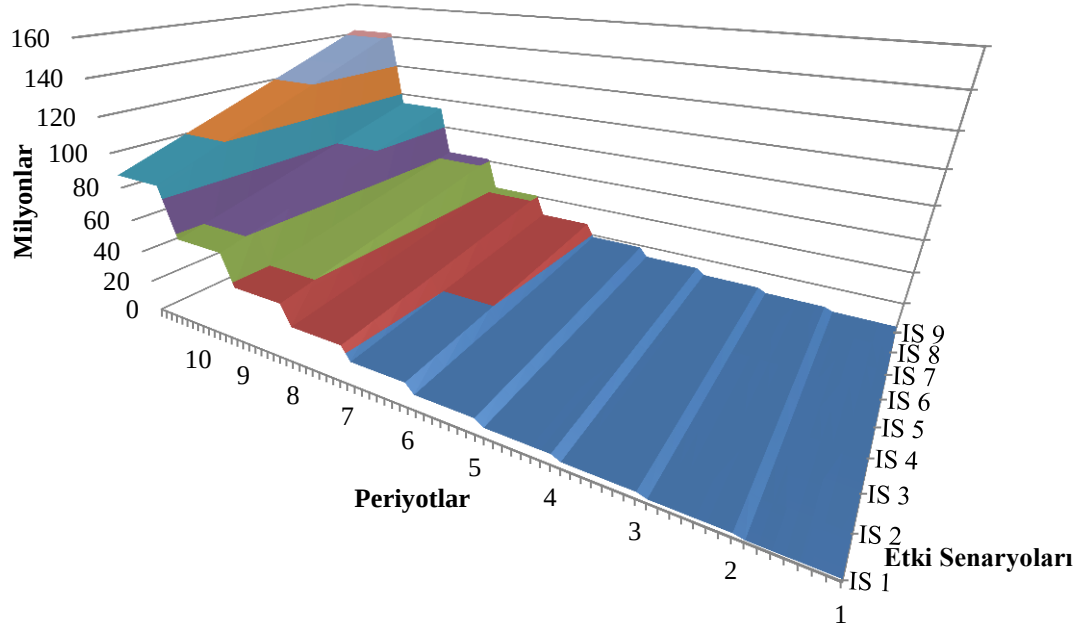


Şekil 3.27 : Periyot bazında hizmet seviyesi maliyetleri – pragmatik yaklaşım.

Orijinal Maliyetler (FSTC+SSTC+SLC)



Şekil 3.28 : Periyot bazında orijinal maliyetler – eşitlikçi yaklaşım.



Şekil 3.29 : Periyot bazında orijinal maliyetler – pragmatik yaklaşım.

Bu analizle on zaman periyodu sürececek bir afet olayı simüle edilmiştir. Sistemin başlangıç şartlarında, sistemde bulunan arz miktarı talep miktarından daha fazladır. Arz miktarı, rassal kapasiteli ulaştırma arkları kullanılarak rassal talepli düğümlere iletmeye çalışılmıştır. Görülmektedir ki, tüm arz miktarı ulaştırma arklarındaki limitlerden dolayı talep düğümlerine aktarılamamakta ve sistemde elde kalan envanter ve karşılanamayan talep büyümesi oluşmaktadır. Geçmişte yaşanan Van Depreminde de tecrübe edilen, talebin tam toparlanma gerçekleşene kadar mevcut olduğu ve dolayısıyla böyle bir dağıtım modelinin çok periyotlu olarak ele alınması gerektiği gerçeği, model ile geçirilmiştir.

Problemde iki farklı yaklaşımın doğal sonuçları sorgulanmıştır. Bunların ilki tüm talep düğümleri arasında eşitliği arayan eşitlikçi yaklaşım, diğeri ise modelin diğer kısıtlarını göz önünde bulunduracak şekilde eşitlik yerine mümkün olan en fazla miktarı karşılayabilme ve diğer taraftan da toplam maliyeti minimize etme amacını taşıyan pragmatik yaklaşımdır. Sonuç olarak, on periyotlu bir model koşumu için eşitlikçi yaklaşımın olurlu ve optimum sonuçları 873 saniyede, pragmatik yaklaşımın sonuçları ise 806,8 saniyede elde edilebilmiştir.

Küçük uygulama ve sayısal analiz yapılmadan önce, üç farklı arz ve talep denge durumu için teorik bir analiz yapılmış ve ÇP-DDEİSSPM ile elde edilebilecek sonuçların karşılaştırmalı analiz edilebilmesi için çıkarımlarda bulunulmuştur. Özellikle arzın talepten düşük olarak başladığı model dikkat çekici sonuçlar üretmiştir. Böyle bir durumda teorik olarak karşılanamayan talep doğrusal olarak artarken, müşteri hizmet seviyesinin de üssel olarak azalması beklenmektedir. Ark kapasiteleri limitsiz olduğu varsayımı altında elde kalan envanter beklentisi yoktur. Rassal ve limitli ark kapasitesi, rassal arz ve talep altında da, sezgisel olarak periyot bazında elde kalan envanter ve karşılanmayan talep oluşması beklenecektir. Ayrıca, uzun dönemde, müşteri hizmet seviyesinin de azalması ve rassallığın arttığı durumlarda çok daha sert düşüş beklenmektedir. Bu parametrelerde, senaryonun şiddetinin artmasına göre üssel düşüş etkileri de beklenebilmektedir. Küçük sayısal analiz daha önce yaptığımız teorik analizin ışığında gerçekleştirilmiştir.

Yapılan varsayımlar doğrultusunda modelin çok periyotlu çözümü, periyotları bir bütün olarak değil, ayrı ayrı ele alacak şekilde yapılmıştır. Ele alınan örnek problemde her periyot yaklaşık yüz bin satır ve bir buçuk milyon sütun genişliğinde çözüm matrisi üretmektedir. Eğer problem bütünsel bir yaklaşım ile çözülmüş

olsaydı, özellikle çözüm performansı yönünden zorluk çıkartması muhtemel yaklaşık on kat daha büyük bir problem boyutu ile karşı karşıya kalınacaktı. Bu kapsamda, karşılanamayan talep ve elde kalan envanter miktarı bir sonraki periyoda taşınarak o periyodun arz ve talep miktarları güncellenirken, periyotlara ait diğer tüm operatif şartlar periyot bağımsız olarak ele alınmıştır. Ayrıca, hibrit ve dengeli tek periyot modelinin aksine, dengesiz ulaştırma modelinde eşitliklerin bir kısmının eşitsizlik haline dönüştürülerek modele katılması gerekmiştir.

Hesaplama performansı olarak, eşitlikçi yaklaşım toplam 873 saniyede, pragmatik yaklaşım ise toplam 806,8 saniyede çözülebilmiştir. Eşitlikçi yaklaşım, optimum sonuç elde edebilmek için pragmatik yaklaşımdan 3.143 iterasyon daha fazla yapılmasını gerektirmiştir. Her iki yaklaşımda da çözüm zamanı model parametrelerinin üretim zamanından yaklaşık 1,3 kat daha fazladır.

Periyot bazında modeldeki arz ve talep miktarının artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Artışta ise özellikle bir arz düğümü ve iki talep düğümünün daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. Arz eğilimi kapsamında, bir arz düğümünün bağlantı arklarının maliyetinin daha düşük olduğu ve/veya ark kapasitesinin diğerlerinden daha yüksek olduğu söylenebilir. Diğer taraftan talep eğilimi incelendiğinde ise, iki talep düğümünün artan talepteki büyük katkısının yanı sıra, geride kalan dört talep düğümünün talebinin tam olarak karşılandığı ya da bahse konu diğer iki talep düğümüne kıyasla daha düşük talebi olduğu söylenebilir. Üssel artış eğilimi, modeldeki rassal talep ve/veya ark kapasitesinden kaynaklanmaktadır. Modeldeki rassallık, artışın şiddetini daha da artırmaktadır.

Periyot bazında gerçekleşen beklenen elde kalan envanter ve beklenen karşılanamayan talep davranışı, arz/talep davranışı ile benzerlik göstermektedir. Bu durum sezgisel olarak da beklenen bir durumdur. Çünkü bir sonraki periyotta oluşan arz ve talebin asli unsuru bir önceki periyottan devredilen miktardır. Sistemin beklenen elde kalan envanter miktarı doğrusal bir artış sergilerken, beklenen karşılanamayan talep miktarı üssel bir artış sergilemektedir. Yukarıda da bahsedildiği üzere, beklenen elde kalan envanter miktarı aslen bir arz düğümünde gerçekleşirken, beklenen karşılanamayan talep miktarı da benzer şekilde iki talep düğümünden kaynaklanmaktadır. Karar verici böyle bir durumda, elde kalan envanter miktarı olmayan ve ulaştırma arklarının kapasitesi müsait olan arz düğümlerine tahsis edilecek arz miktarını artırmayı ya da elde kalan envanterin talep düğümlerine

gönderilemediği arz düğümünün ulaştırma ark kapasitelerini artırmaya yönelik tedbirler üzerinde yoğunlaşabilir. Ayrıca, yüksek miktarda talebi olmasına rağmen karşılanamayan talep düğümlerinin yakın mesafesine, talebi karşılayacak arz düğümleri oluşturmak da bir alternatif olabilir.

Tüm durumlarda, eşitlikçi yaklaşımın arz ve talep miktarı ile toplam karşılanamayan talep ve elde kalan envanter miktarları periyotların tamamında, pragmatik yaklaşımın değerlerinden daha yüksektir. Bunun asıl sebebi, sistemin tüm düğümlere eşit yaklaşımı zorlamasından kaynaklanan etkin olmayan dağıtım durumudur. Bu değerlendirme, talep düğümlerinin beklenen hizmet seviyeleri incelenerek de yapılabilmektedir. Eşitlikçi yaklaşımın talep düğümü hizmet seviyeleri %45 sınırını geçemezken, pragmatik yaklaşımda talep düğümlerinin yarısını hizmet seviyeleri bu oranın yaklaşık iki katında gerçekleştirmektedir. Ayrıca, eşitlikçi yaklaşımda periyot 4'ten sonra tüm hizmet seviyelerinin %10'un altında olduğu görülmektedir. Periyotlarda gerçekleşen hizmet seviyeleri senaryolardaki karşılanamayan talep sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Etki senaryoları-zaman periyodu matrisine dayalı karşılanamayan talep davranışları incelendiğinde, özellikle altıncı periyottan başlamak üzere daha belirgin sonuçlar görülebilmektedir. Her iki yaklaşımda da, karşılanamayan talep periyot 6'dan sonra üssel olarak artmaktadır. Altıncı periyottan sonrası en düşük talebin en iyi senaryo, en yüksek talebin de en kötü senaryo olduğu etki senaryolarının arasındaki farklılığı da öne çıkarmaktadır. Bu durum sezgisel olarak doğrudur ve ağdaki darboğazların zaman içerisinde belirginleşmesini açıklamaktadır. Eşitlikçi yaklaşımın miktar değerleri yine yüksek olarak gerçekleşmektedir.

Son olarak, maliyet değerleri grafiksel olarak incelenmiştir. İlk seviye taşıma maliyetleri her periyodun kendi içinde etkiyen deprem senaryolarında eşit olarak gerçekleşmesine rağmen, periyot arttıkça üssel olarak büyümektedir. Dikkat çekici olan, maliyet değerlerinin eşitlikçi yaklaşımda trilyon değerlerine yaklaşıyor olmasıdır. Bunun sebebi, büyük M maliyeti ile üçüncü ulaştırma modu alternatifi olarak probleme eklenen moddur. Normal şartlar altında böyle bir mod bulunmamaktadır. Bununla birlikte, böyle bir modun varlığı karar vericiye afetten sonra hangi ulaştırma modu üzerinde enkaz temizleme çalışmalarının daha öncelikli yoğunlaşması gerektiği hakkında bilgi verir. Eğer bu arklar yeterli kapasite ile zamanında mevcut olsaydı, periyotların ilk aşamasında bu denli yüksek taşıma

maliyetleri gerçekleşmeyecekti. Aynı değerlendirme ikinci aşama için de yapılabilecektir. Ancak diğer taraftan, ikinci aşama maliyet değerleri açısından, tek periyotlu model sonuçlarına benzer bir azalma gözlemlenmektedir. Bu durum karar vericiler için arzu edilen bir durum olabilir. En iyi maliyet değerleri en kötü durum senaryosunda gerçekleşmiştir. Bu azalış, eşitlikçi yaklaşımda doğrusal bir eğilimle gerçekleşirken, pragmatik yaklaşımda konkav üssel bir eğilim ile gerçekleşir. İki seviyeli stokastik programlama formülasyonun asıl kullanım amaçlarından biri ikinci seviye taşıma maliyetlerini azaltabilmektir. Görülmektedir ki, hem tek periyot, hem de çok periyotlu modelde bu amaca başarıyla ulaşılabilir. Sezgisel olarak beklendiği şekilde, hizmet seviyesi maliyetleri karşılanamayan talebin periyot bazındaki davranışı ile birebir benzerlik taşımaktadır. Son olarak, ilk seviye taşıma maliyeti, ikinci seviye taşıma maliyeti ve hizmet seviyesi maliyetinden oluşan orijinal maliyetler her iki yaklaşım için zaman içinde kendilerine has davranışlar göstermektedir. Eşitlikçi yaklaşımın maliyet değerleri yedinci periyottan başlamak üzere ilk seviye taşıma maliyetleri kaynaklı olarak oldukça yüksektir. Maliyet değerleri periyot bazında merdiven yapısında bir artış göstermekte ve etki senaryoları kaynaklı maliyet farklılıkları periyot bazında dikkat çekici olmamaktadır. Toplam maliyet davranışı pragmatik yaklaşımda da benzer şekilde merdiven yapısı gösterir. Ancak, eşitlikçi yaklaşımın aksine, en kötü durum senaryosunun getirdiği yüksek maliyet değerleri arasında belirgin bir farklılık gözlemlenmektedir. Bu durum, hizmet seviyesi maliyetlerinin ilk ve ikinci aşama taşıma maliyetlerinden büyük ölçüde farklı ve büyük olduğunun göstergesidir.

Bu bölümde, literatür araştırmamıza göre ilk tek amaçlı, çok seviyeli, çok periyotlu formülasyon hem stokastik hem de deterministik yardım malzemesi dağıtım ve ulaştırma problemi için sağlanmış olmaktadır. Model bütünleyici olmayan bir yaklaşımla, hesaplama performansını artırmak için, her periyot kendi içinde optimize edilecek şekilde ele alınmıştır. Ancak, bütünleyici bir yaklaşımla, örneğin dinamik programlama benzeri yöntemlerle daha farklı ve gerçekçi sonuçlar üretilebileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, sosyal maliyetler henüz çalışma kapsamına alınmamıştır. Bununla birlikte, sezgisel olarak, zaman içerisinde modele katılacak sosyal maliyetlerin pragmatik bir yaklaşımda malzeme tahsis ve dağıtım kararlarını belirgin biçimde etkileyebileceği değerlendirilmektedir. Gelecek araştırmalarda,

değişken maliyet fonksiyonu ile maliyet figürlerinin modele doğrusal ve parçalı fonksiyonlar halinde katkı sağlamasının getireceği sonuçlar araştırılabilir.

3.7 Dinamik Enkaz Temizleme Yaklaşımı

Enkaz temizleme çabaları ihmal edilen çok periyotlu problem ortamında, hem sistemdeki elde kalan envanter ve arz miktarının, hem de karşılanamayan talep ve talep miktarının arttığı gözlemlenir. Sistemdeki karşılanamayan talep için yeterli miktarda karşılık gelen arz bulunmakta, ancak ulaştırma arklarının kapasiteleri yetersiz olduğundan bu arz miktarı taşınmamaktadır. Bu nedenle, modele adaptif ve dinamik enkaz temizleme yaklaşımı uygulanarak model geliştirilecektir.

Model çok periyotlu olduğundan, ulaştırma modelinde aktif olmayan bir ulaştırma modu daha olduğu varsayılabilir. Başlangıçta bu mod pasif olduğundan, normal olarak bu mod ulaştırma için seçilemeyecektir. Daha sonra, kurgulanan yaklaşıma göre, periyotların sonunda en fazla beklenen elde kalan envanter ve beklenen karşılanamayan talep miktarına sahip düğümler dinamik olarak tespit edilerek, daha önce pasif olarak bu arklara bağlı olan ulaştırma modlarının etkinleştirilmesine karar verilecektir. Bu arkların taşıma maliyetinin, ilgili düğüme bağlı olan arkların maliyetlerinin minimumu ile maliyetlendirileceği, kapasite olarak da, yine bağlı arklardan kapasitesi en yüksek olanın kapasitesinin atanacağı varsayılacaktır. Bu şekilde, mevcut ulaştırma modlarının hangisinin ilk temizleneceğine de melez bir karar verme öngörüsü sağlanması amaçlanmıştır.

Enkaz temizleme yaklaşımı modele ulaştırma mod setleri olan v 'nin $v + 1$ olarak tanımlanmasıyla gerçekleştirilecektir. Ark kapasite ve maliyet parametreleri de bu indeks kullanılarak yeniden tanımlanacaktır. Kullanılacak yeni deterministik parametreler Çizelge 3.19'da verilmiştir.

(3.52)'den (3.57)'ye kadar olan formülasyon tanımlamaları, yukarıda ifade edilen açıklamanın matematiksel ifadesini vermektedir. Buna göre, beklenen envanter fazlası miktar ve beklenen karşılanamayan talep olan düğümler her periyot sonrasında tespit edilerek, bunlara bağlı arkların en yüksek kapasitesi ile en düşük maliyeti belirlenip, enkaz temizleme uygulanan ulaştırma moduna tanımlanmak suretiyle yeni periyot koşturulur.

$C_{ij}^{k(v+1)}$ ve $K_{ij}^{(v+1)t}$ aşağıdaki gibi tanımlanır:

Çizelge 3.19 : Dinamik enkaz temizleme modeli deterministik veri tanımlamaları.

Notasyon	Tanımlama
<i>Deterministik Veri</i>	
$C_{ij}^{k(v+1)}$	Bir birim k malzemesinin temizlenen ulaştırma modu $v + 1$ kullanılarak i düğümünden j düğümüne taşıma maliyeti
$K_{ij}^{(v+1)t}$	Eğer en yüksek beklenen elde kalan envanter ve beklenen karşılanamayan talebin gerçekleştiği düğüm ise, periyot t 'de her iki aşamada bu düğümüne bağlı, $ark(i, j)$ 'ye ait $v + 1$ modunun kapasitesi

Eğer

$$V_i^{kt}(2, w_{s|e}) = maks(E[V_l^{kt}(2, w_{s|e})]) \quad (3.52)$$

$$\forall k \in K, l \in SO^k, i \in N, \forall t \in T, t > 1 \text{ ve } E[V_l^{kt}(2, w_{s|e})] > 0$$

O halde

$$C_{ij}^{k(v+1)} = C_{ji}^{k(v+1)} = \min(C_{ij}^{kv}) \quad (3.53)$$

$$\forall k \in K, (i, j) \in A, (j, i) \in A, v \in SM_{ij}^k \text{ ve } C_{ij}^{kv} > 0$$

$$K_{ij}^{(v+1)t} = K_{ji}^{(v+1)t} = maks(K_{ij}^{vt}) \quad (3.54)$$

$$\forall k \in K, (i, j) \in A, (j, i) \in A, v \in SM_{ij}^k, \forall t \in T, t > 1 \text{ ve } K_{ij}^{vt} > 0$$

Eğer

$$W_i^{kt}(2, w_{s|e}) = maks(E[W_m^{kt}(2, w_{s|e})]) \quad (3.55)$$

$$\forall k \in K, m \in SD^k, i \in N, \forall t \in T, t > 1 \text{ ve } E[W_m^{kt}(2, w_{s|e})] > 0$$

O halde

$$C_{ij}^{k(v+1)} = C_{ji}^{k(v+1)} = \min(C_{ij}^{kv}) \quad (3.56)$$

$$\forall k \in K, (i, j) \in A, (j, i) \in A, v \in SM_{ij}^k \text{ ve } C_{ij}^{kv} > 0$$

$$K_{ij}^{(v+1)t} = K_{ji}^{(v+1)t} = maks(K_{ij}^{vt}) \quad (3.57)$$

$$\forall k \in K, (i, j) \in A, (j, i) \in A, v \in SM_{ij}^k, \forall t \in T, t > 1 \text{ ve } K_{ij}^{vt} > 0$$

3.7.1 Dinamik enkaz temizleme yaklaşımı ile çok periyotlu değiştirilmiş deterministik eşlenikli iki seviyeli stokastik programlama modeli sayısal uygulaması

Küçük sayısal uygulamada ÇP-DDEİSSPM uygulaması için kullanılan veri setinin birebir aynısı kullanılmıştır. Model GAMS/CPLEX ile kodlanmış ve her iki hizmet seviyesi yaklaşımı için bir kez daha çözülmüştür. Analiz maksadıyla beklenen arz ve beklenen talep, beklenen karşılanamayan talep, beklenen elde kalan envanter miktarı,

hizmet seviyesi maliyetleri, ilk seviye taşıma maliyetleri, ikinci seviye taşıma maliyetleri, orijinal maliyetler ve hizmet seviyeleri hesaplanmıştır.

Bu çalışmada yapılan hesaplama pragmatik yaklaşım için ortalama 103.161 satır ve 2.264.263 sütunluk çözüm matrisi oluştururken, eşitlikçi yaklaşım için ortalama 105.321 satır ve 2.008.007 sütunluk çözüm matrisi oluşturmaktadır. Aşağıda raporlanan sonuçlar Core 2 Duo 2,5 Ghz 3GB RAM bilgisayarda çalışan GAMS ile üretilmiştir. Hesaplama performansı verileri Çizelge 3.20’de sunulmuştur. Çözüm zamanı yönünden eşitlikçi yaklaşım dinamik enkaz temizlemenin olmadığı duruma göre daha iyi performans sergilemektedir. Ayrıca ortalama çözüm zamanı pragmatik yaklaşımdan yaklaşık 5 dakika daha kısadır. Hesaplama zamanı performansı her bir periyottaki iterasyon sayısı ile de uyumluluk göstermektedir. Eşitlikçi yaklaşım ortalama 2.754 iterasyon gerektirirken, pragmatik yaklaşım 561 iterasyon daha fazla farkla, ortalama 3.315 iterasyon gerektirmiştir.

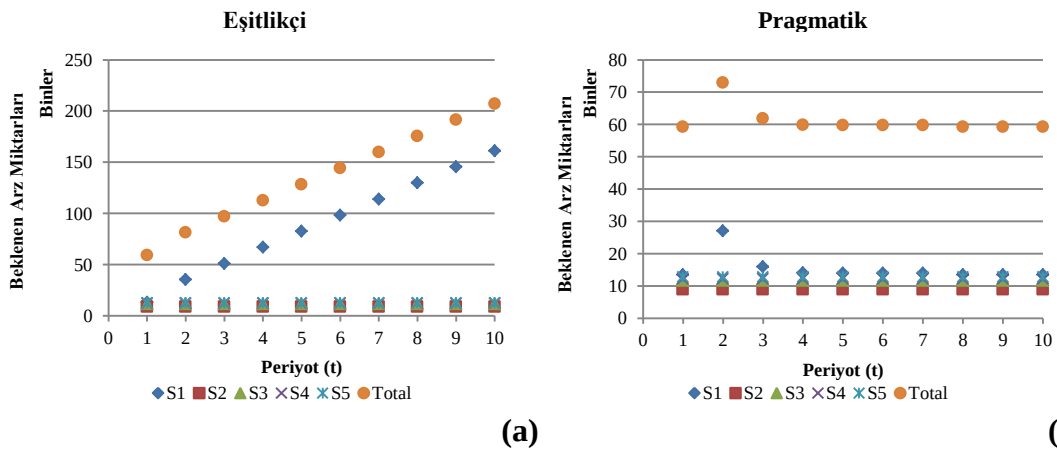
Çizelge 3.20 : Dinamik enkaz temizleme modeli hesaplama performansı.

Zaman Periyotları	Eşitlikçi Yaklaşım				Pragmatik Yaklaşım			
	Üretim Zamanı (sn)	Hesap Zamanı (sn)	Zaman Periyotları	Üretim Zamanı (sn)	Hesap Zamanı (sn)	Zaman Periyotları	Üretim Zamanı (sn)	Hesap Zamanı (sn)
Periyot 1	40,8	40,8	81,5	3.362	42,7	42,7	85,5	4.602
Periyot 2	48,9	50,1	99,0	2.400	47,0	48,2	95,2	3.708
Periyot 3	52,8	54,9	107,7	2.486	50,7	52,7	103,4	2.837
Periyot 4	44,6	45,7	90,3	2.568	49,9	53,4	103,4	2.874
Periyot 5	54,9	57,0	111,9	2.714	50,3	52,4	102,7	3.046
Periyot 6	52,0	53,1	105,1	2.786	47,066	50,2	97,2	3.072
Periyot 7	47,9	49,4	97,3	2.804	55,2	58,1	113,3	3.097
Periyot 8	46,2	47,3	93,5	2.805	60,6	62,7	123,4	3.017
Periyot 9	47,9	51,1	99,0	2.805	48,8	53,2	102,0	3.200
Periyot 10	51,5	54,3	105,8	2.810	57,3	60,9	118,1	3.695
Min	40,8	40,8	81,5	2.400	42,7	42,7	85,5	2.837
Maks	54,9	57,0	111,9	3.362	60,6	62,7	123,4	4.602
Ort	48,7	50,4	99,1	2.754	51,0	53,5	104,4	3.314,8
Toplam	487,4	503,7	991,1	2.7540,0	509,6	534,6	1044,1	33.148,0

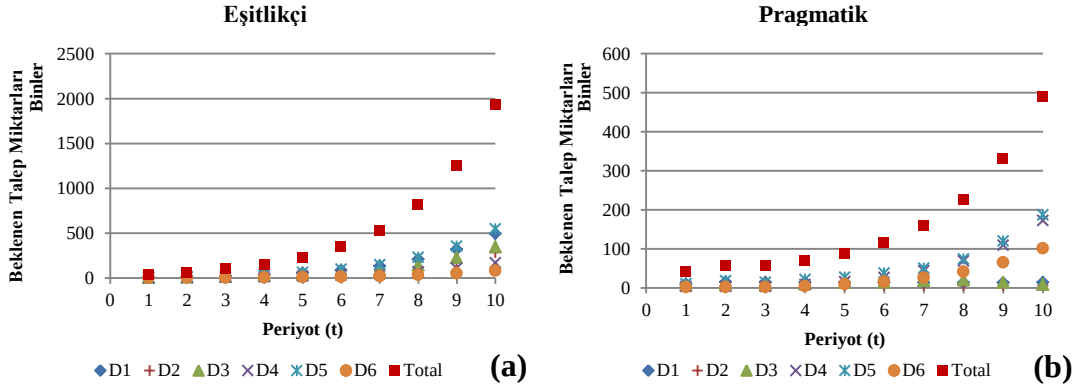
Her bir periyottaki beklenen arz ve beklenen talep miktarı Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de sunulmuştur. Beklenen arz miktarı periyot değişimi ile birlikte doğrusal olarak artmaktadır. Bu eğilim, dinamik enkaz temizlemenin mevcut olmadığı durum ile benzerdir. Tek farklılık periyotlar arasında taşınan malzeme miktarındaki değişimdir.

Dinamik enkaz temizleme varken, malzeme taşıma miktar kısıtları gevşetilmektedir, ancak halen arz düğümlerinde beklenen elde kalan envanter gözlemlenebilmektedir. Bu durum, özellikle eşitlikçi yaklaşımdaki düğümler arasında eşitlik sağlama olgusunun, arzın hareket ettirilmeyerek arz düğümlerinde bırakılmasına sebebiyet verebileceğini göstermektedir. Diğer taraftan beklenen arz miktarları pragmatik yaklaşımda stabil hale gelmiştir. Yalnızca ikinci periyotta, S1 arz düğümünden kaynaklanan ani bir yükseliş görülmektedir. Ancak bu yükseliş, ulaştırma modu temizliğinin önceliklendirme algoritması ile hemen dinamik olarak dengelenmektedir. Pragmatik yaklaşımdaki toplam beklenen arz miktarları eşitlikçi yaklaşımdan daha düşüktür.

Beklenen talep miktarlarında hem eşitlikçi hem de pragmatik yaklaşım için üssel bir yükseliş bulunmaktadır. Enkaz temizlemenin mevcudiyeti dağıtım çabaları yönünden belirgin şekilde performansı artırmakta, beklenen talep miktarını azaltmaktadır. Pragmatik versiyonda gerçekleşen beklenen talep miktarının eşitlikçi yaklaşımdan yaklaşık 4 kat daha düşük oluşu dikkat çekicidir. Dinamik enkaz temizleme uygulanmadığı zamandaki miktar değerleri, enkaz temizlemenin mevcut olduğu eşitlikçi yaklaşım miktar değerlerine yakındır. Ancak bu durum pragmatik yaklaşım için geçerli değildir. Dinamik enkaz temizleme açıkça beklenen talep miktarlarını etkilemekte olup, yaklaşık üç kat daha az talep değerleri vermektedir.

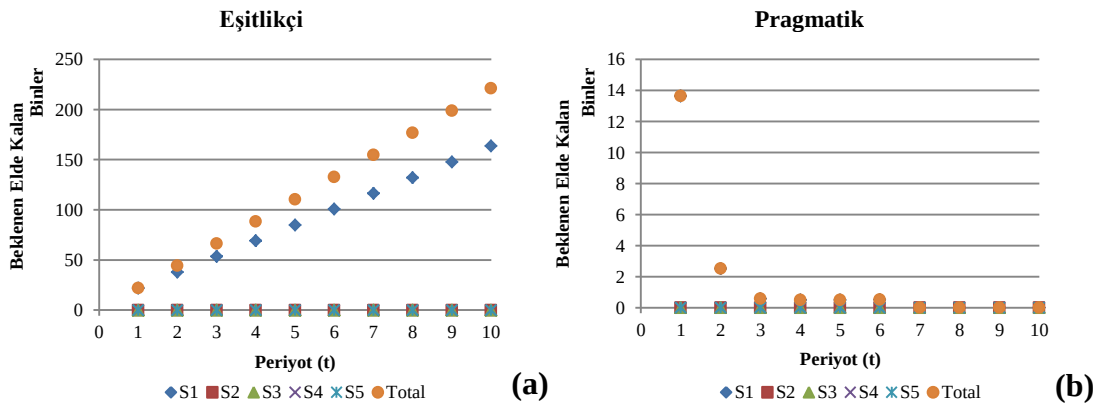


Şekil 3.30 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında beklenen arz değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.

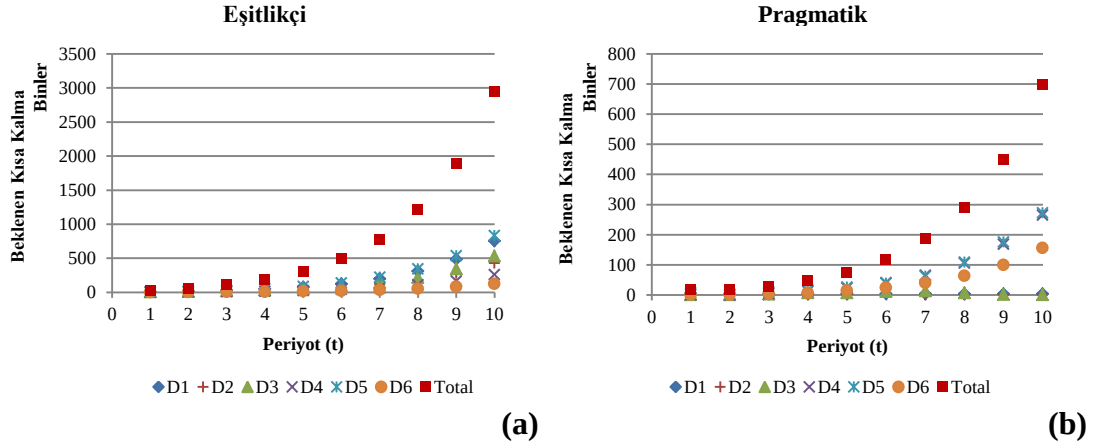


Şekil 3.31 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında beklenen talep değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.

Toplam beklenen elde kalan envanter miktarı, eşitlikçi yaklaşımda miktar artış eğilimi yönünden değişim göstermemektedir. Ancak Şekil 3.36'de de görüldüğü üzere dinamik enkaz temizlemenin mevcut olmadığı durumla karşılaştırıldığında, elde kalan envanter miktarının diğer arz düğümlerine kaydığı gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, periyot bazında beklenen elde kalan envanter miktarının davranışı, pragmatik yaklaşımda belirgin şekilde değişiklik göstermektedir. Dinamik enkaz temizleme yokken doğrusal olarak artış gösteren toplam beklenen elde kalan envanter miktarı, dinamik enkaz temizleme mevcutken üssel olarak azalmaktadır (Şekil 3.33). Diğer taraftan, periyot bazında beklenen karşılanamayan talep miktarı eğilimi, dinamik enkaz temizleme olsun ya da olmasın değişmemektedir. Miktar özellikle pragmatik yaklaşımda keskin bir düşme göstermektedir, ancak yine de, sistemde beklenen karşılanamayan talep bulunuyor olması, halen sistemin tüm periyotlarını karşılayacak kadar yeterli arza sahip olmadığını göstermektedir. Eğer her bir periyodun başında yeterli miktarda sabit arz olsaydı, bu miktardaki beklenen kısa kalmanın gerçekleşmemesi durumu olabileceği değerlendirilmektedir.

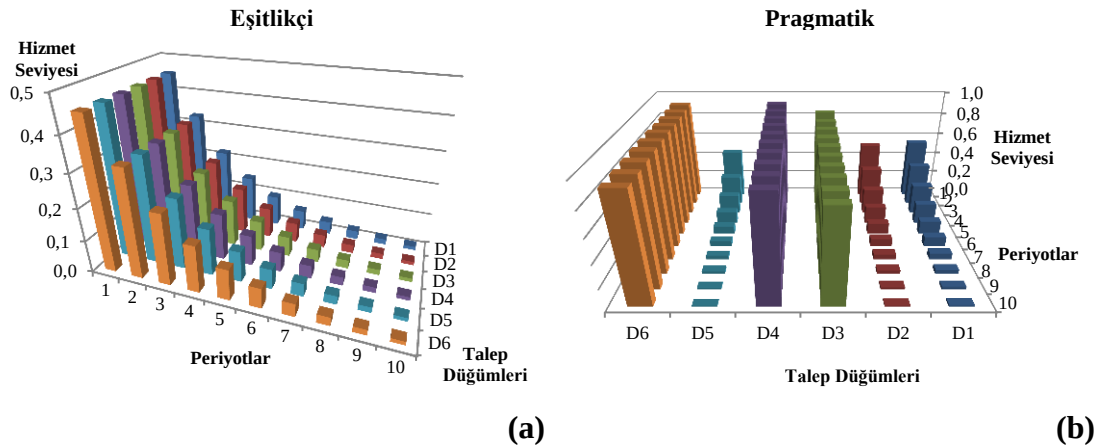


Şekil 3.32 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında beklenen elde kalan miktar değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.



Şekil 3.33 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında beklenen kısa kalma miktarı değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.

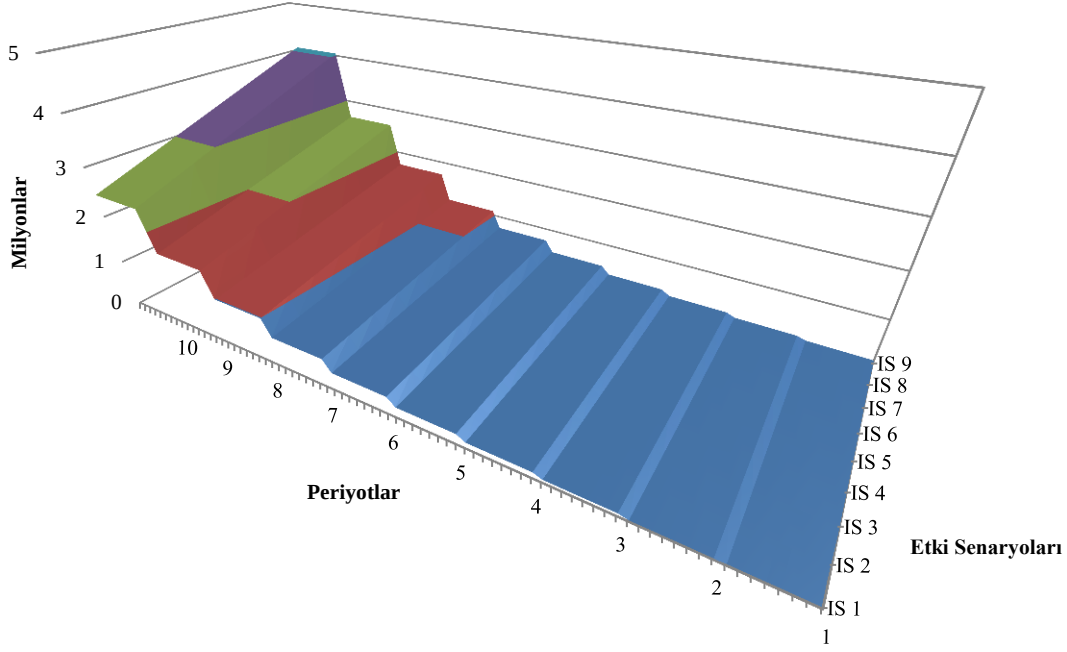
Dinamik enkaz temizlemenin mevcudiyetinde Şekil 3.34’da görüldüğü üzere hizmet seviyesi gerçeklemlerinde değişiklik olmamaktadır. Eşitlikçi yaklaşımda tüm talep düğümlerinin hizmet seviyelerinin eşit olması beklenirken, pragmatik yaklaşımda talep düğümleri arasında önemli farklar bulunabilmektedir. Eşitlikçi yaklaşımda hizmet seviyesi değerleri düşüş göstererek sıfıra yakınsarken, pragmatik yaklaşımın bazı talep düğümlerinde, örneğin D3, D4 ve D6’da, sabit kalmaktadır. Bu durum sezgisel olarak da beklenen bir durumdur. Bunun nedeni, hizmet seviyesinin enkaz temizleme olsun ya da olmasın değişmemesi ve aslen, hizmet seviyesi parametresinin modelin performansını gösteren önemli bir unsur olabileceğidir.



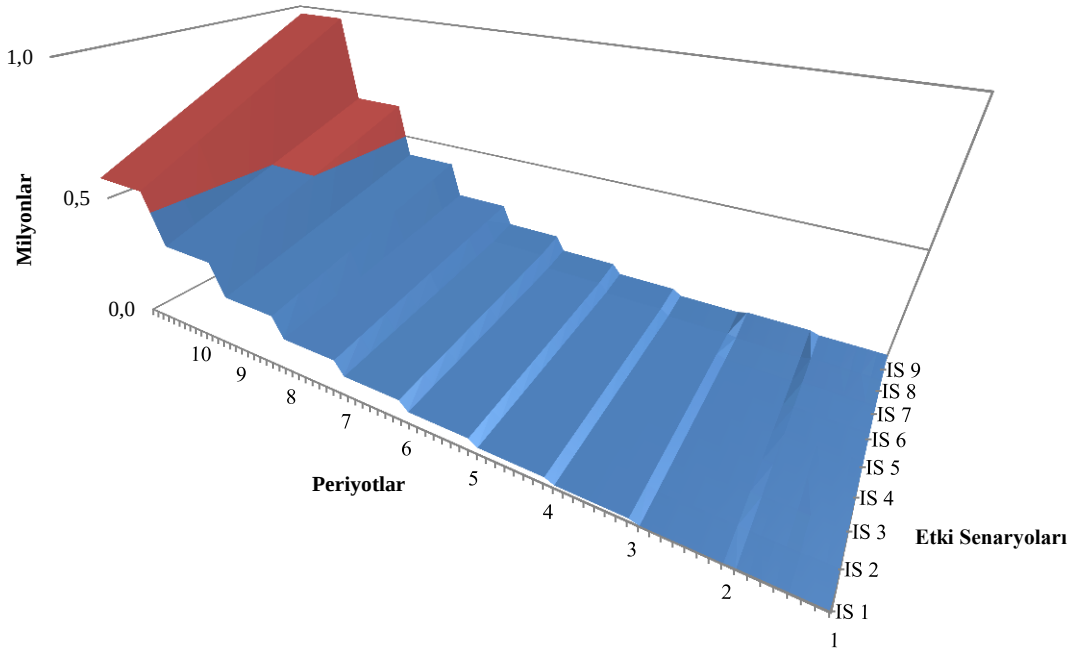
Şekil 3.34 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında hizmet seviyesi değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.

Periyot bazındaki karşılanmayan talep, dinamik enkaz temizleme olsun ya da olmasın, aynı artış eğilimini göstermektedir. Ancak yine Şekil 3.35 ve Şekil 3.36’da görüldüğü üzere hem eşitlikçi hem de pragmatik yaklaşımda miktarlar önemli

derecede düşüktür. Gerçeklenen miktarların her iki yaklaşıma göre karşılaştırması yapılacak olunursa, pragmatik yaklaşımın eşitlikçi yaklaşımdan yaklaşık dört kat daha düşük değerlerde gerçekleştiği gözlemlenmektedir.

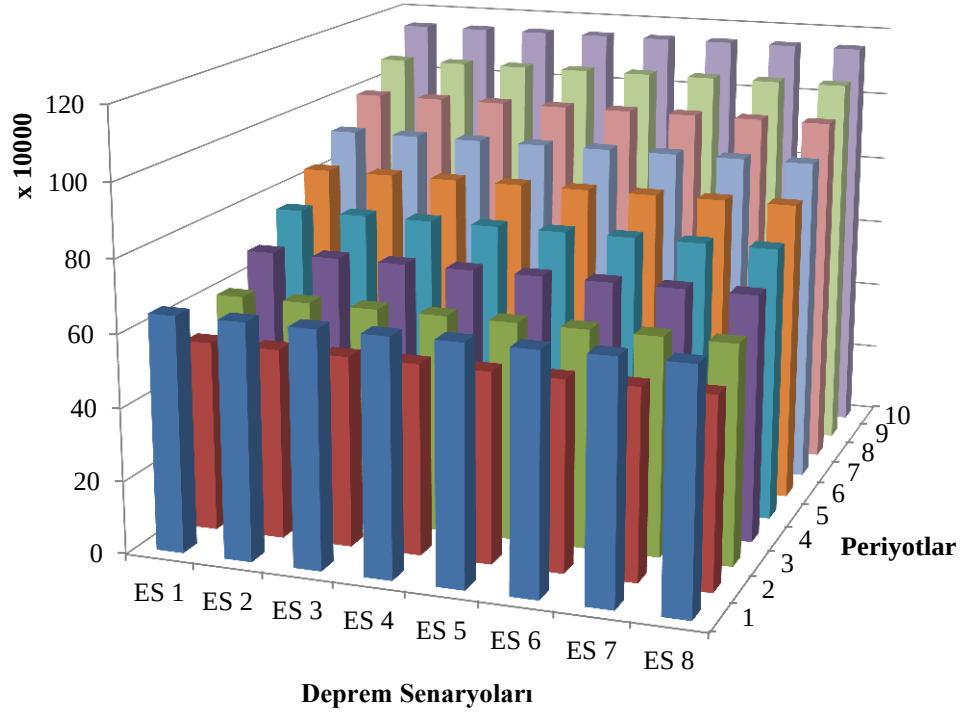


Şekil 3.35 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında karşılanamayan talebin değişimi – eşitlikçi yaklaşım.

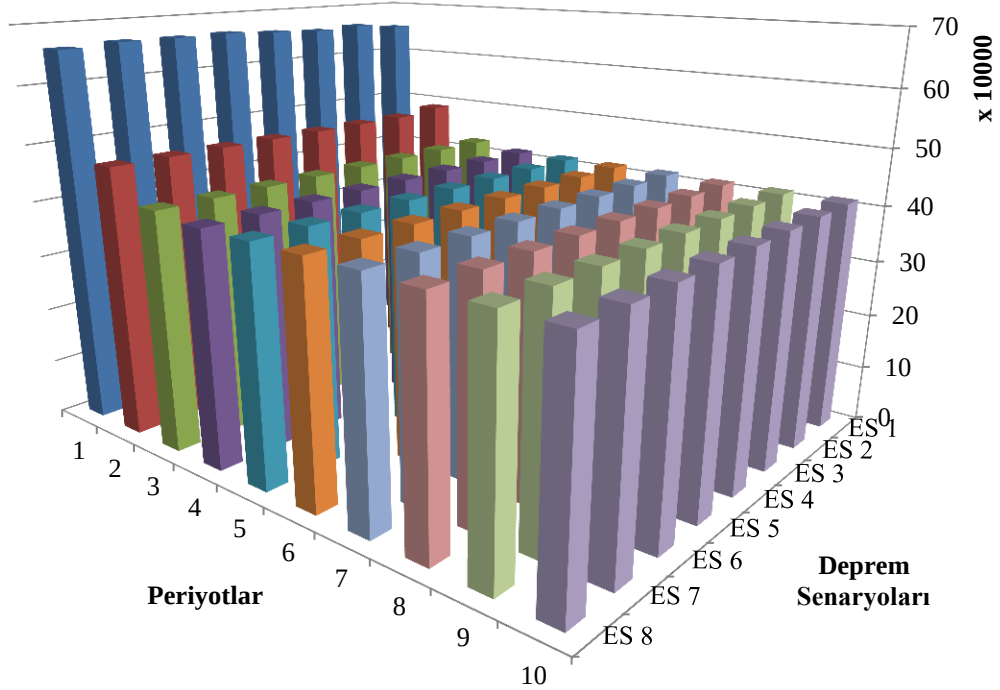


Şekil 3.36 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında karşılanamayan talebin değişimi – pragmatik yaklaşım.

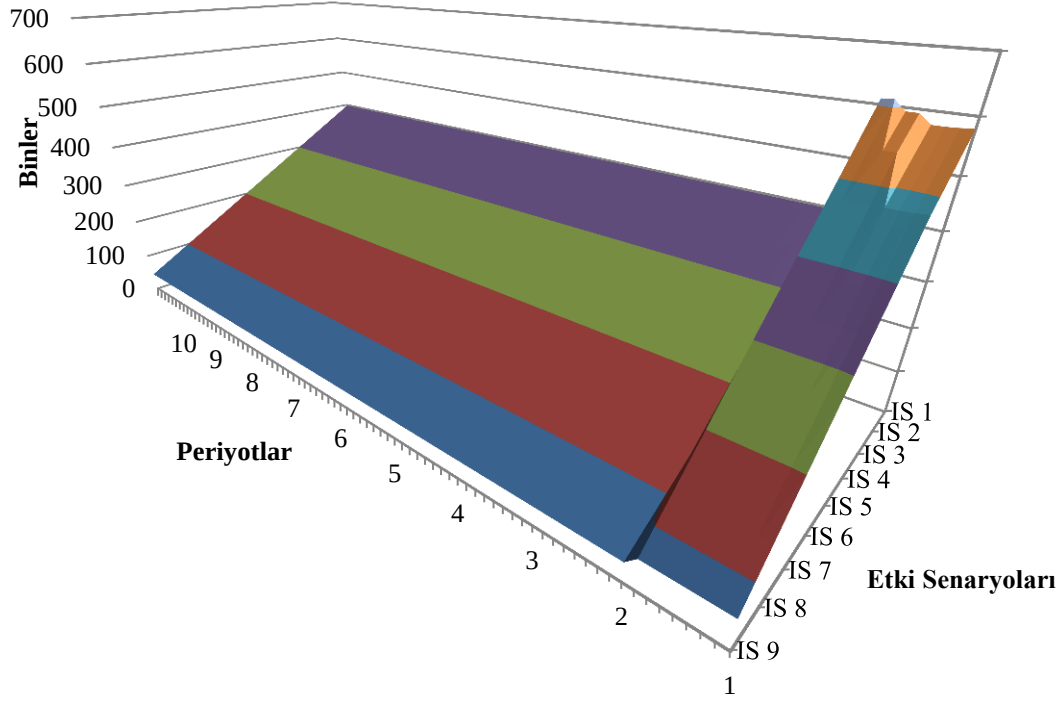
Şekil 3.37 ve Şekil 3.44 arasındaki grafiklerde maliyet değişimleri gösterilmektedir.



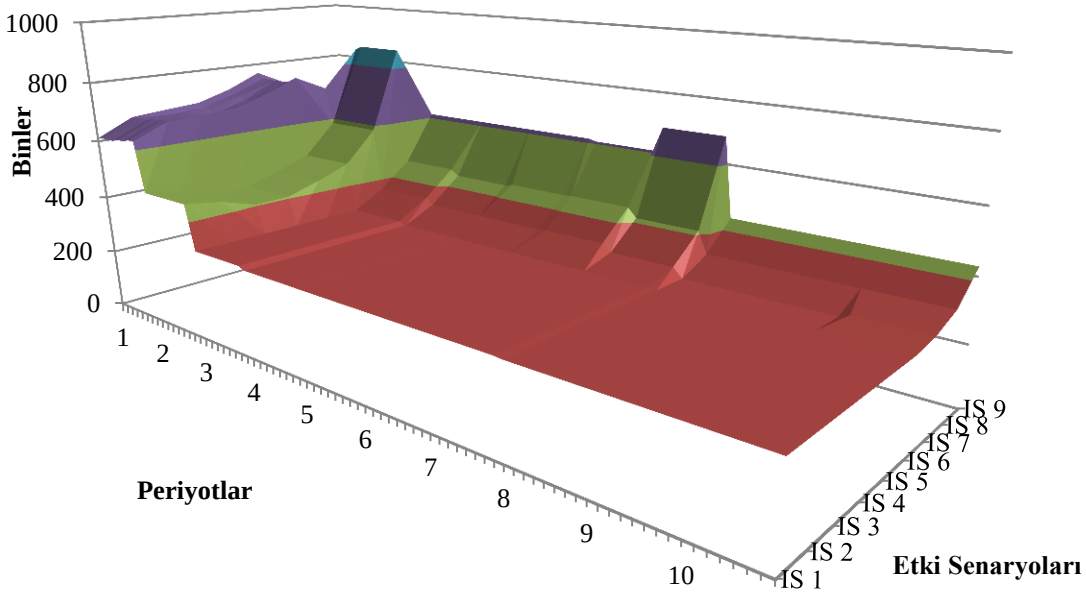
Şekil 3.37 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında ilk seviye taşıma maliyetlerinin değişimi – eşitlikçi yaklaşım.



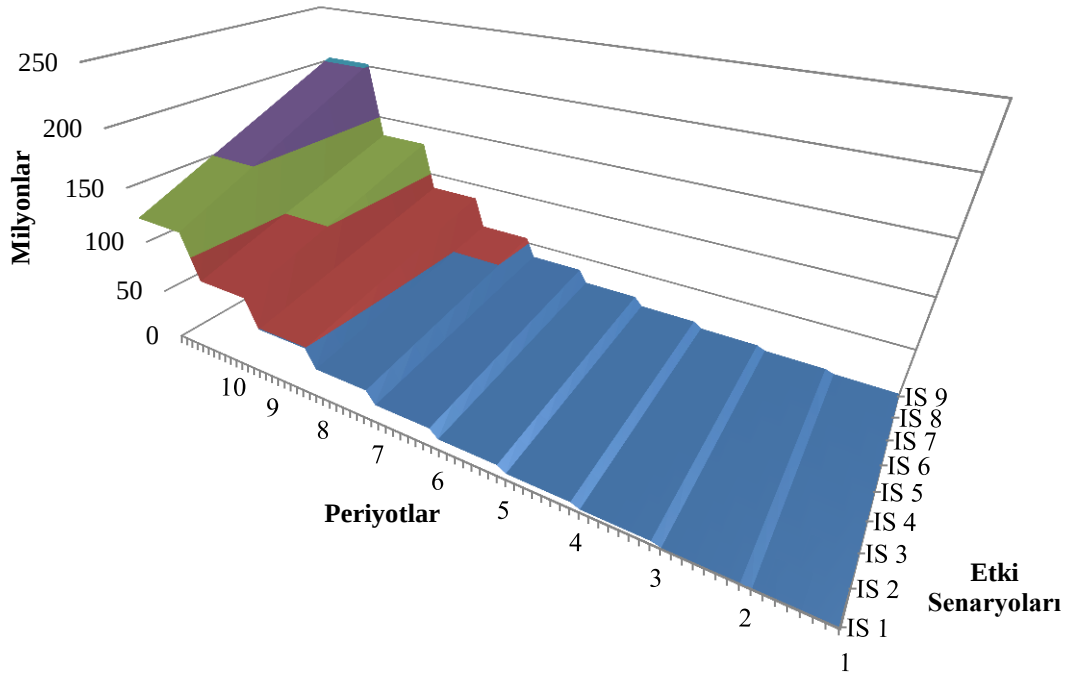
Şekil 3.38 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında ilk seviye taşıma maliyetlerinin değişimi – pragmatik yaklaşım.



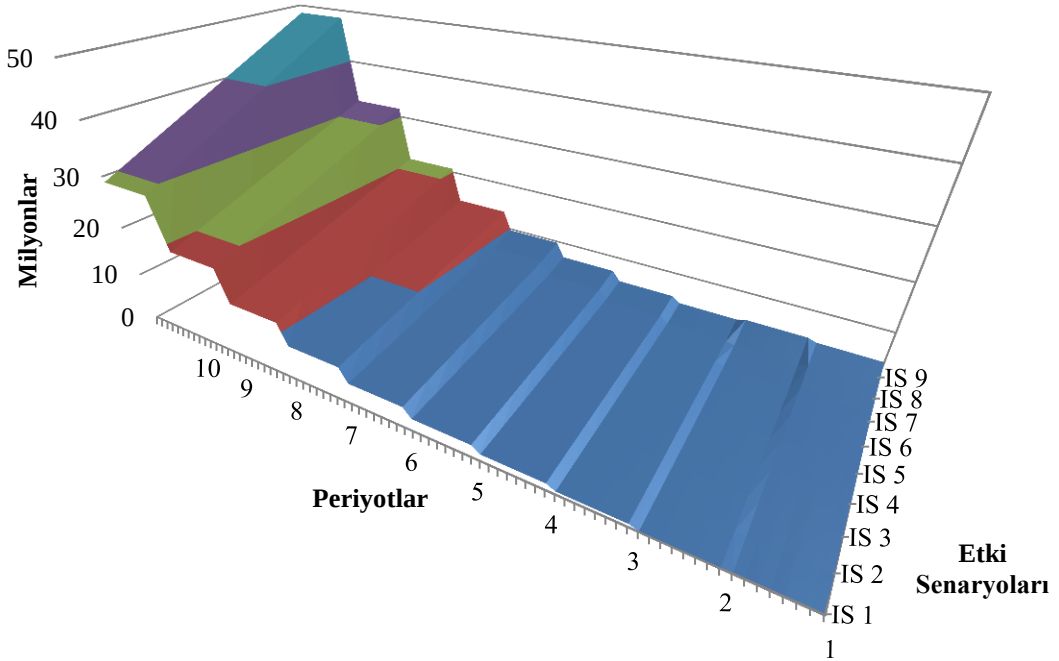
Şekil 3.39 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında ikinci seviye taşıma maliyetlerinin değişimi – eşitlikçi yaklaşım.



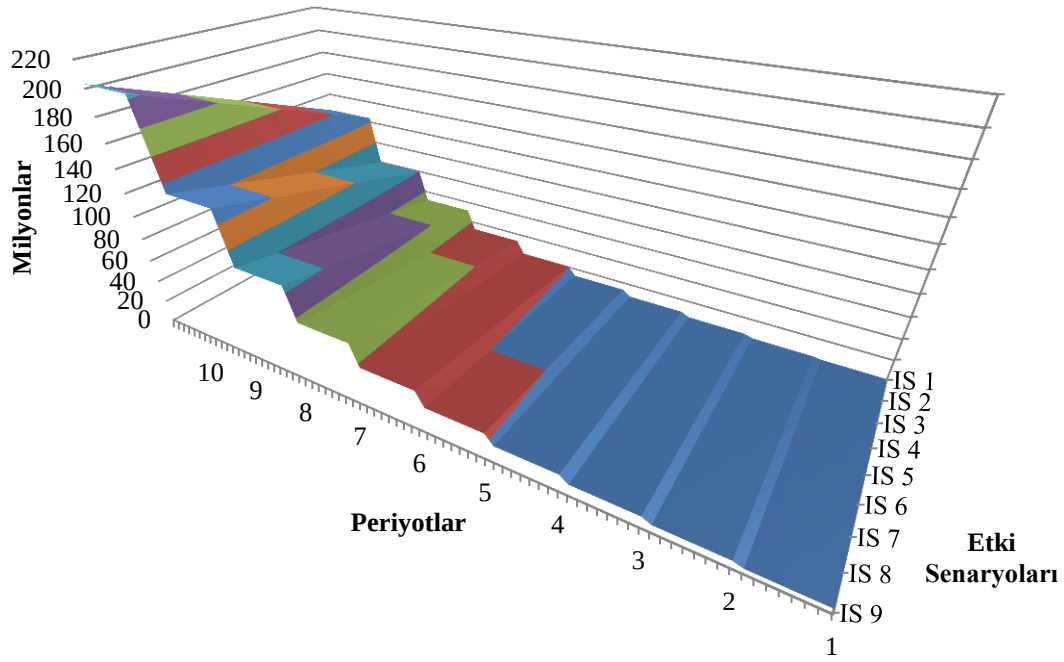
Şekil 3.40 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında ikinci seviye taşıma maliyetlerinin değişimi – pragmatik yaklaşım.



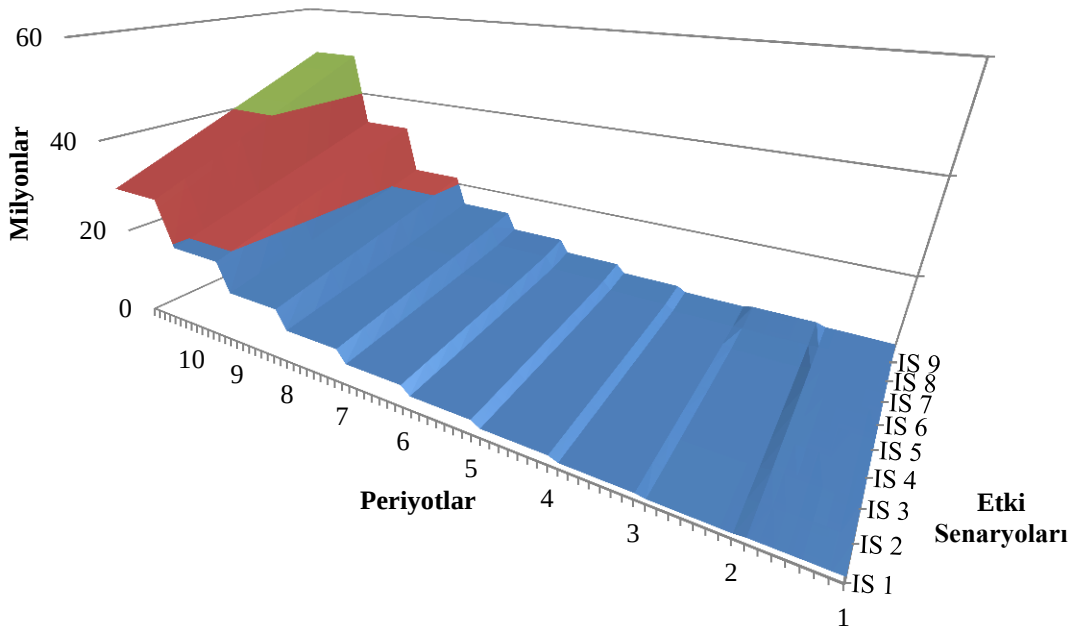
Şekil 3.41 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında hizmet seviyesi maliyetlerinin değişimi – eşitlikçi yaklaşım.



Şekil 3.42 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında hizmet seviyesi maliyetlerinin değişimi – pragmatik yaklaşım.



Şekil 3.43 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında orijinal maliyetlerinin değişimi – eşitlikçi yaklaşım.



Şekil 3.44 : Dinamik enkaz temizleme ile periyot bazında orijinal maliyetlerinin değişimi – pragmatik yaklaşım.

Çok periyotlu iki seviyeli stokastik programlama modeline dinamik enkaz temizleme uygulanmıştır. Enkaz temizlemenin var olmadığı durumla kıyaslama yapıldığında en

dikkat çekici farklılık, beklenen elde kalan envanter miktarı ve beklenen karşılanamayan talep miktarındaki keskin düşüştür. Bu düşüş, paralel olarak sistemdeki ulaştırma ve hizmet seviyesi maliyetlerine de yansımıştır. Özellikle ilk aşama taşıma maliyetlerindeki azalma dikkat çekicidir. Bununla birlikte, enkaz temizlemenin varlığındaki ikinci aşama parasal değerleri düşük olmasına rağmen, pragmatik yaklaşımın en kötü senaryo durumunda beklenen azalmayı sağlamadığı görülmektedir. Bu durumda, uzun dönem için iki seviyeli stokastik programlama modelinin, enkaz temizleme uygulaması fırsatını değerlendirmek için uygun olmayabileceği söylenebilir. Hizmet seviyesi maliyetleri beklenildiği gibi düşük olup, periyot değişimi ile birlikte aynı artış eğilimini göstermektedir. Ayrıca, orijinal maliyetlerin eğilimi enkaz temizlemenin mevcut olmadığı durum ile benzerlik göstermektedir.

Bu bölümde, literatür araştırmamıza göre ilk tek amaçlı, çok seviyeli, çok periyotlu formülasyon hem stokastik hem de deterministik yardım malzemesi dağıtım ve ulaştırma problemi için dinamik enkaz temizleme yaklaşımı uygulanarak çözülmüştür. Model bütünleyici olmayan bir yaklaşımla, hesaplama performansını artırmak için, her periyot kendi içinde optimize edilecek şekilde ele alınmıştır. Ancak, bütünleyici bir yaklaşımla, örneğin dinamik programlama benzeri yöntemlerle daha farklı ve gerçekçi sonuçlar üretilebileceği değerlendirilmektedir.



4. UYGULAMA VE ANALİZ

4.1 Çalışmanın Uygulama Alanı

Afet yönetiminde temel sorunlardan biri belirsizlikle mücadele etmektir. Afet yönetimi dağıtım ve ulaştırma planlamasında deterministik modeller kullanılması, bahse konu belirsizliğe sebebiyet verebilecek parametre kombinasyonlarından yalnızca bir tanesinin gerçekleşeceğini varsaymak suretiyle çözüme götürdüğünden, etkin sonuçlar üretilmemektedir. Bu nedenle, probleme stokastik yaklaşımlar ile çözüm aranması, çözümün gerçek hayata uygulanabilirliğini artırabilmektedir.

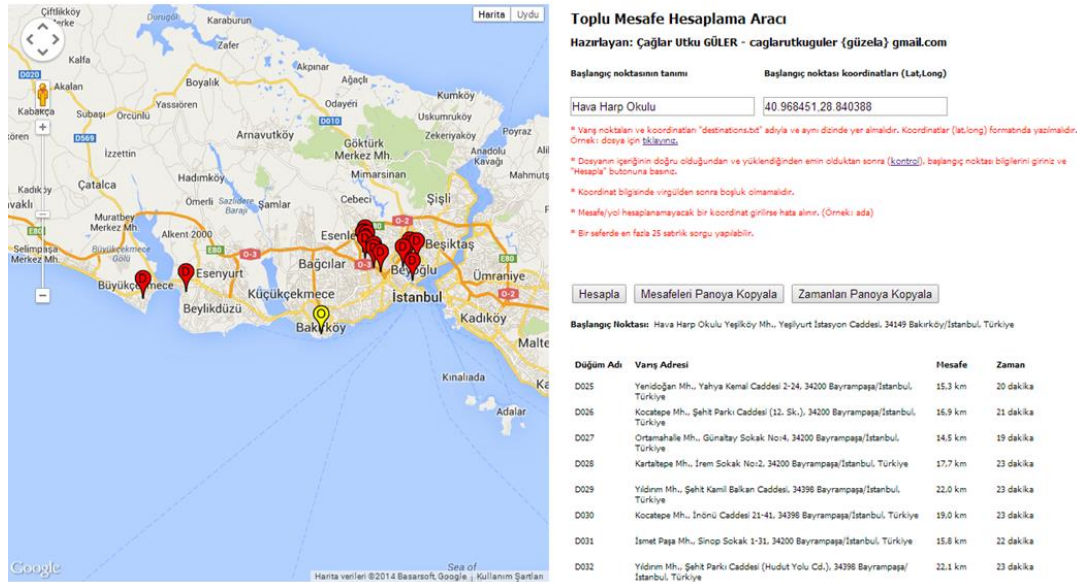
Çok periyotlu, çok modlu, iki seviyeli stokastik programlama modelinin özellikle deprem benzeri afet bölgelerinin lojistik dağıtım ve tahsis kararlarının verilmesinde kullanılması, maliyetlerde azalma ve hizmet seviyelerinde artış sağlayabilecektir. Bu amaçla, Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı ile Kandilli Rasathanesi ile koordine kurulmuş ve gelecek 30 yıl içerisinde olması beklenen bir Marmara depremine yönelik planlama yapabilmek için uygulama verisi talep edilmiştir. Kaymakamlıklardan AFAD'a iletilen veriler doğrultusunda çalışılarak, uygulama amacıyla "İstanbul Afet Planlama Veri Seti" üretilmiştir (Güler ve Ermiş, 2015).

4.2 Uygulama Verisi: İstanbul Afet Planlama Veri Setinin Üretilmesi

Çalışma kapsamında, daha önce 11 düğüm noktası ile küçük ölçekli ve kurgusal bir deneysel çalışma olarak çözülen problemin daha gerçekçi veriler ile çözülebilmesi amacıyla, en az 7M şiddetinde olası bir deprem tehlikesinin gündeminden düşmediği İstanbul şehrine yönelik bir uygulama planlanmıştır. Uygun veri setinin üretilmesi için İstanbul Valiliği Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı ile görüşülmüş, İstanbul ilçe kaymakamlıklarının muhtemel çadır kent olarak belirledikleri alanların detay bilgileri ve bu alanlar üzerinde uzman görüşleri alınmış, yapılacak bir lojistik planlama için göz önünde bulundurulması gereken faktörler ve kısıtlar öğrenilmiştir. Ayrıca bu doğrultuda, Hava Kuvvetleri Arama Kurtarma

- Helikopter sahası olan her çadır kentte 400 m²'lik bir alan helikopter için ayrılmıştır. Normalde 30x30 m²'lik bir mânia kriteri (obstacle clearance) UH-1H helikopteri için yeterliyken, Sikorsky ve Cougar helikopterlerinin motor güçlerinin daha kuvvetli olacağı ve iniş/kalkış anında çevrede bulunan çadırları yıkabileceği düşünülerek bu alan 40x40 m'ye çıkarılmıştır.
- Aktarma terminallerinde kapasite sınırı yoktur. Hava, kara ve deniz ulaşım modları ve kolaylıklarının tümü mevcuttur.
- En az 100 çadır veya uygun çadır alanı helikopter sahası dâhil 6.000 m² altında olan bölgeler değerlendirme dışı bırakılmıştır.
- Demiryolu ulaşımı değerlendirmeye alınmamıştır.
- D090, D123, D124, D125 ağaçlık olduğundan veya arazi şartları müsait olmadığından (ör: eğim) veya üzerinde tesisler bulunduğu 50 m² hesabına göre değil, belediyeler tarafından ibraz edilen alanlara göre çadır planlamasına alınmıştır.
- Su, yol, elektrik veya kanal bağlantısı olmayan tüm çadır alanları ile ilgili belediyelerden atanmış uzman personelin çadır alanı olması için olumsuz veya şartlı uygun olarak görüş bildirdikleri tüm alanlar değerlendirme dışı bırakılmıştır. Buna rağmen ilgili bağlantısı olmayan, ancak açıklaması ile birlikte uygun olduğu değerlendirilen alanlar ise muhtemel çadır alanı olarak kabul edilmiştir.
- Dağıtım noktaları belirlenirken, İstanbul Proje Koordinasyon Biriminin en güncel "Güçlendirme ve Onarım İnşaatı Tamamlanan Eğitim Yapıları" listesinden faydalanılmıştır. AFAD'dan alınan bilgiye göre, güçlendirilen eğitim kurumları, ana dağıtım noktalarından dağıtım yapılacak ikinci seviye dağıtım noktası olarak atanacaktır. Çalışmamızda bu atama, eğer ilçede güçlendirilmiş bina var ise, ilçede gözle yapılan incelemede çevre yolu, aktarma istasyonu ve çadır kentlere en yakın olan tesis seçilecek şekilde yapılmıştır. İlçede uygun okul yoksa atanmamıştır.
- Çatalca ilçesinde belirlenen çadır kentlere yakın mesafede güçlendirilmiş okul bulunmadığından, bu ilçeye dağıtım noktası ataması yapılmamıştır.

Veri seti tamamen açık kaynak veri üretim imkânları kullanılarak üretilmiş, bu bağlamda, dağıtım ağının ulaştırma bağlantılarının zaman (dk.) ve mesafe (km.) cinsinden ölçülebilmesi için öncelikle koordinatlar belirlenmiş ve asimetrik akış varsayımında ölçüm yapılabilmesi için örün tabanlı Google Maps API ile özel bir kodlama yapılmıştır. Google Maps API, Google firmasının ücretsiz olarak sunduğu harita motoru altyapısını kullanan bir program parçasıdır. Google tarafından, harita motorunun Şubat 2016 itibariyle kullanımdan kaldırılacağı bildirilmektedir. Mesafe ölçümü için geliştirilen programın örnek ekran görüntüsü Şekil 4.2’de verilmiştir. EK-B’de kaynak kodu zip dosya formatında verilen program kolaylığı ile ölçülen veriler MS Excel formatında kaydedilmiş ve EK-C’de sunulmuştur.



Şekil 4.2 : Google Maps API mesafe ölçüm programı ekran görüntüsü.

Üretilen 159 düğümlük İstanbul afet dağıtım ağı, toplamda 128 talep noktası, 20 dağıtım noktası ve 11 aktarma terminalinden oluşmaktadır. Karayolu için 128 talep düğümü, 20 arz düğümü, 11 aktarma düğümü (asimetrik akış), su yolu için 8 talep düğümü, 9 aktarma düğümü (simetrik akış) ve son olarak hava yolu için 11 talep düğümü, 8 arz noktası ve 11 aktarma noktası (simetrik akış) bulunmaktadır.

Daha önce teorik altyapısı kurgusal veri kullanılarak çalışma yapılan DDEİSSPM ve ÇP-DDEİSSPM modeli, üretilen İstanbul veri seti ile çözülerek, gerçek hayata yönelik yapılabilecek olası planlamalar üzerinde tartışma yapılacak ve sonuçlar incelenecektir.

4.3 Modelin GAMS ile Kodlanması

Ham modelin üretilmesinden sonra geçerleme için model Core 2 Duo 2,5 Ghz 3GB RAM özelliklere sahip bilgisayar ile GAMS/CPLEX kullanılarak kodlanmış ve çözülmüştür. Çözümler için GAMS'in 24.1.3 r41464 sürümü kullanılmıştır. Model üzerinde yapılan tüm geliştirmeler (hizmet seviyesi eklenmesi, çok periyotluluk eklenmesi, dinamik enkaz temizleme yaklaşımı ve İstanbul veri seti için modelin değiştirilmesi) yine GAMS/CPLEX ile kodlanarak çalışılmıştır. Çözümlerde kullanılan kod parçacıklarına EK-Ç ve EK-Ğ arasında ulaşılabilecektir. DDEİSSPM GAMS kodlaması EK-Ç'de, DDEİSSPM'nin EEV çözümü GAMS kodu EK-D'de, DDEİSSPM'nin Bekle ve Gör çözümü GAMS kodlaması EK-E'de, DDEİSSPM'ye hizmet seviyesi uygulaması için yapılan GAMS kodlaması EK-F'de, çok periyotluluğun incelendiği ÇP-DDEİSSPM GAMS kodu eşitlikçi yaklaşım için EK-G'de, pragmatik yaklaşım için EK-Ğ'de, ÇP-DDEİSSPM eşitlikçi dinamik enkaz temizleme yaklaşımı uygulaması GAMS kodu EK-H'de ve pragmatik uygulama GAMS kodu EK-I'da verilmiştir.

İstanbul veri seti uygulaması aşamasında ise, kodlanan model öncelikle 32 bit Microsoft Windows ortamında çalıştırılmış, hafıza (memory) hatası alındığından, 64 bit bilgisayar memory artırımı yapılarak denenmiş, ancak 159 düğümlük veri seti bu konfigürasyon ile de memory/zaman hatası aldığından, bilgisayarın kaldırabileceği minimum veri seti büyüklüğünden (10 düğüm) yola çıkılarak veri seti artırılarak çözüme devam edilmiştir.

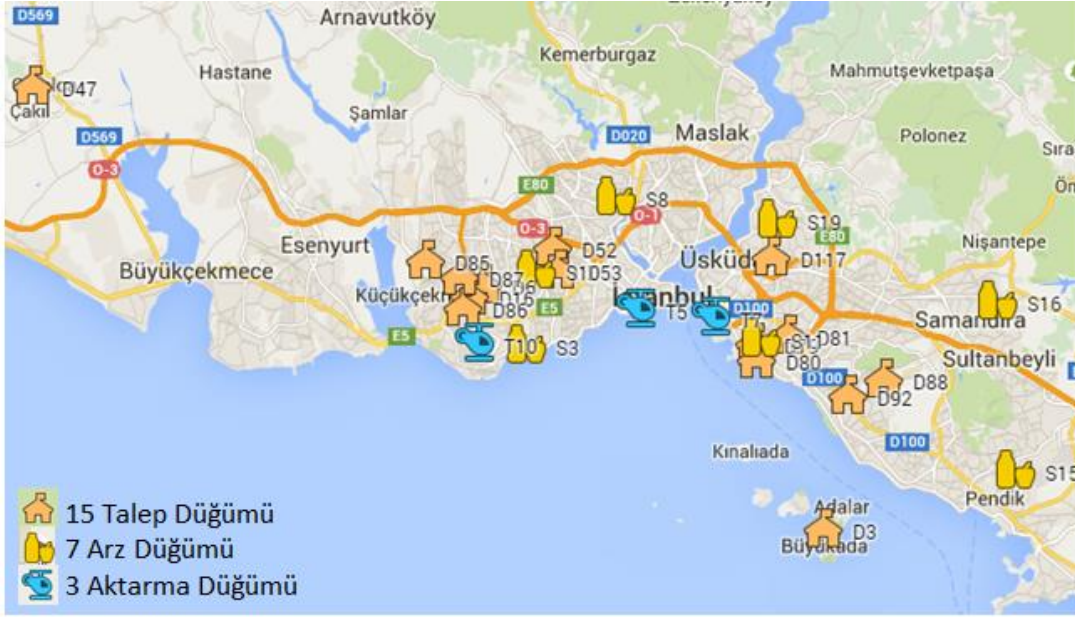
Alınan çözümler doğrultusunda iteratif olarak tekrar eden süreçte son olarak, modelin Hava Harp Okulu GNGPU bilgisayarlarda çalışması için düzen alınmış ve 25 düğüm ve 10 periyot için çalıştırılmıştır. Analiz sonuçları bir sonraki bölümde sunulacaktır.

4.4 Çok Periyotlu Değiştirilmiş Deterministik Eşlenikli İki Seviyeli Stokastik Programlama Modeli ile İstanbul Veri Seti Uygulaması

Üretilen 159 düğümlük İstanbul veri setinin ÇP-DDEİSSPM modelinde kullanılarak, gerçek hayata uygun sonuçlar üretilebilmesi ve şimdiye kadar kurgusal veriler ile yapılan analizlerin, gerçek hayat verileri kullanılarak yapılması amaçlanmıştır. Hesaplama zamanının makul değerlerde tutulabilmesi için, geneli temsil edeceği

değerlendirilen 25 düğüm seçilmiştir. Düğümler seçilirken, Adalar üzerinden en az bir düğüm, düğümlerin öbeklendiği bölgeden mesafe olarak uzakta en az bir talep ve bir arz düğümü seçilmesine ve aktarım terminallerinden en az birinin deniz kenarında olmasına dikkat edilmiştir.

Düğümlerin on beşi talep düğümü, yedisi arz düğümü ve üçü aktarım düğümüdür. Seçilen düğümlerin harita görünümü Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : 25 düğümlü İstanbul veri seti harita görünümü.

Başlangıç şartlarında sistemde bulunan arz miktarı, toplam talep miktarından yaklaşık %15 daha fazladır. Bununla birlikte, düğüm noktalarının ulaştırma modu kabiliyetleri farklıdır. Uygulamada kullanılacak düğümlerin arz/talep miktarı, ulaştırma modu kabiliyetleri ve açık adresleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

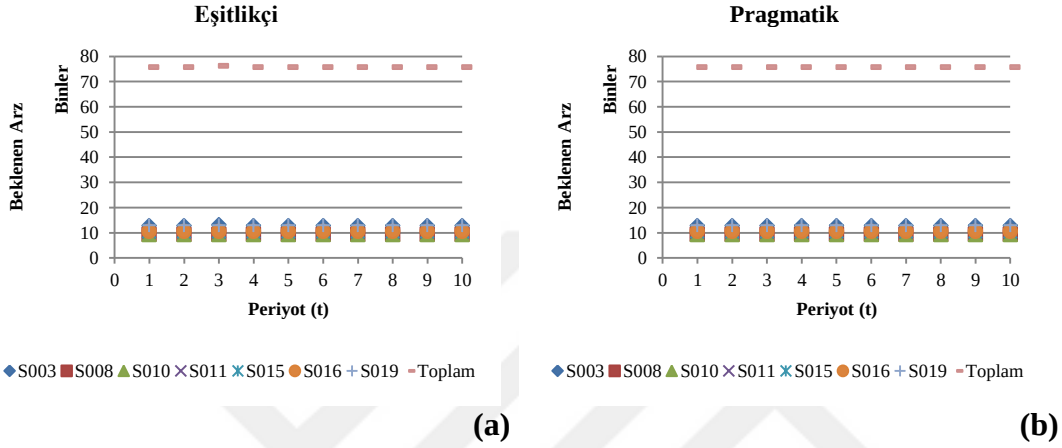
Problem dinamik enkaz temizleme yaklaşımı ile 10 periyot için çalıştırılmış ve iki farklı hizmet seviyesi yaklaşımı için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Sonuçlara yönelik analiz grafikleri Şekil 4.4 ve Şekil 4.12 arasında sunulmuş olup, GAMS kodlarına EK-İ’den ulaşılabilir.

Çizelge 4.1: Düğüm noktaları arz/talep miktarı, ulaştırma modları ve adresleri.

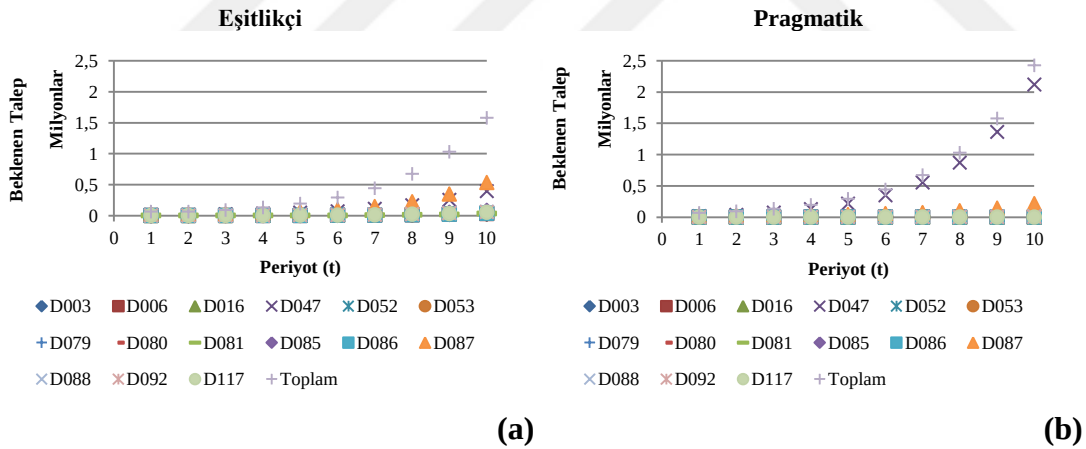
Düğüm	Arz/Talep Miktarı	Havayolu	Denizyolu	Karayolu	Açık Adres
D003	1080	X	X		Büyükkada Dilburnu Mevkii
D006	1500			X	Yeni Bosna Merkez Mah. Radar Mevkii
D016	3192	X		X	Yeni Bosna Merkez Mah. Çıraklık eğitim okulu Değirmenbahçe Caddesine kadar olan yol
D047	16572,48	X		X	Ferhatpaşa Mh. Havuz Mevkii
D052	1400			X	Fevzi Çakmak Mh. İstanbul Ulaşım AŞ iç kısmı
D053	1492	X		X	Davutpaşa Mh. Yıldız Teknik Üniversitesi içi kısmı
D079	2392	X		X	Göztepe Mh. Selamiçeşme Özgürlük Parkı
D080	1800			X	Caddebostan Mh. Göztepe Parkı
D081	1400			X	Sahrayıcedid Mah. Atatürk Cd. Cebe Sk.
D085	3550,9	X		X	Mega Eğitim Kampüs Alanı - Halkalı 853 Ada 1 Parsel
D086	1593			X	Kartalteppe Mahallesi 782 ada ve 783 ada 1 ve 2 parsel
D087	22388,3			X	İnönü Mahallesi Çınaryolu Mevki
D088	2830	X		X	Başbüyük mah. B.Bakkalköy Cad. Kuyular Düzü Mevkii
D092	2472,96			X	Aydınevler Mah. Başbüyük Samandıra Yolu ile Büyükbakkalköy yolu arası
D117	2392	X		X	Ferah Mahallesi Çamlıca TV vericisinin Ferah Mahallesi Bakan Kısım
S003	12761			X	Ataköy İÖO
S008	9333	X		X	Alibeyköy İÖO
S010	9235			X	Güngören İÖO
S011	10502	X		X	Faik Reşit Unat İÖO
S015	10550			X	Pendik T.L. ve E.M.L.
S016	10503			X	Mevlana İÖO
S019	12879	X		X	4. Murat İÖO
T005		X	X	X	Yenikapı Feribot İskelesi, Katip Kasım Mh.
T007		X	X	X	Haydarpaşa Garı
T010		X		X	Atatürk Havalimanı

Hem eşitlikçi hem de pragmatik yaklaşımda, her bir periyotta sistemi besleyen başlangıç arz miktarları eşittir. Bu durum, ilk bakışta hiçbir periyotta envanter fazlası

miktar kalmadığı yönünde bilgi vermektedir. Ancak beklenen talep miktarı için aynı değerlendirmeyi yapmak mümkün değildir. Hem eşitlikçi, hem de pragmatik yaklaşımda, özellikle beşinci periyottan sonra sistem beklenen talep miktarının üssel olarak arttığı, artışın ise belirli talep düğümlerinden kaynaklandığı görülmektedir. Bu düğümler, eşitlikçi yaklaşımda *D047* ve *D087* iken, pragmatik yaklaşımda *D047* belirgin olarak tek başına göze çarpmaktadır.



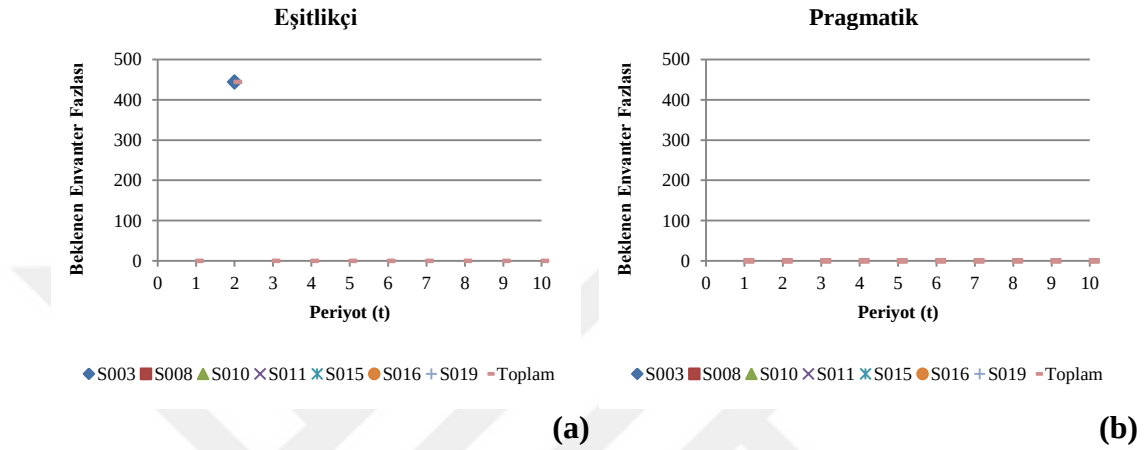
Şekil 4.4 : Uygulama veri seti beklenen arz miktarları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.



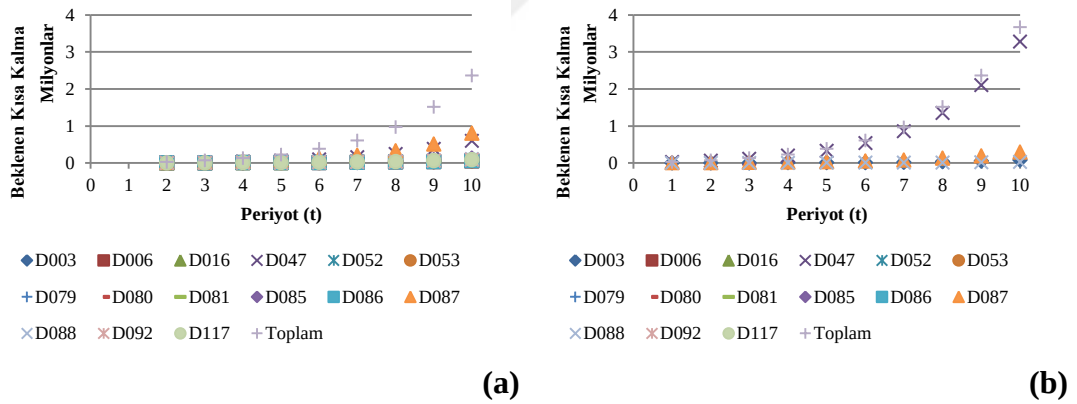
Şekil 4.5 : Uygulama veri seti beklenen talep miktarları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.

Beklenen envanter fazlası miktar grafikleri incelendiğinde, eşitlikçi yaklaşımda yalnız tek bir düğümden bir periyot için envanter fazlası miktarın mevcut olduğu görülmektedir. Diğer periyotlarda envanter fazlası miktar yoktur. Fazla olan miktar, beklenen kısa kalma miktarları ile karşılaştırıldığında ise kısa kalma miktarına oranla çok düşük bir mertebede olduğu görülmektedir. Faydacı yaklaşımda ise hiç bir periyotta envanter fazlası miktar yoktur.

Beklenen kısa kalma miktarları incelenecek olunursa, hem eşitlikçi yaklaşım, hem de faydacı yaklaşımda üssel artış olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle eşitlikçi yaklaşımda toplam kısa kalma miktarı daha düşük olmakta ve her bir düğümde kısa kalma gerçekleşmektedir. Ancak, faydacı yaklaşımda yalnızca dört düğümde kısa kalma mevcutken ve toplam kısa kalma miktarı eşitlikçi yaklaşıma oranla çok daha fazladır.

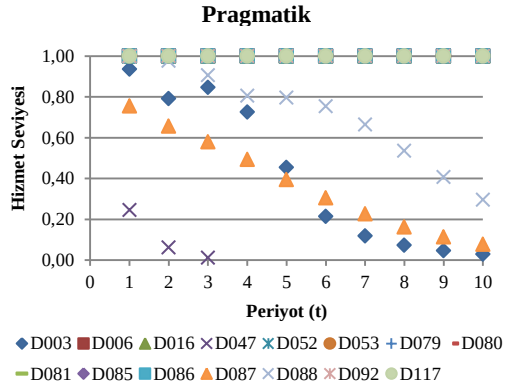
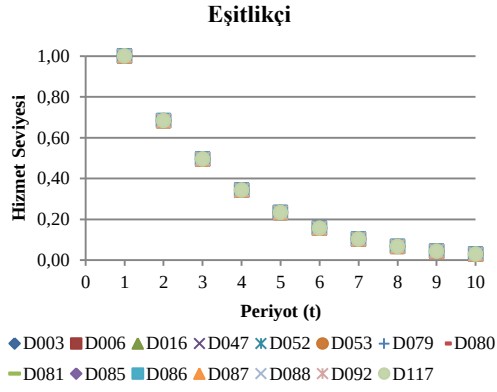


Şekil 4.6 : Uygulama veri seti beklenen envanter fazlası miktarları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.



Şekil 4.7 : Uygulama veri seti beklenen kısa kalma miktarları: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.

Hizmet seviyelerinin davranışı her iki yaklaşımda belirgin olarak farklıdır. Eşitlikçi yaklaşımda hizmet seviyeleri %100'den başlayarak her bir periyotta üssel olarak azalmakta ve onuncu periyotta %0'a yakınsamakta iken, pragmatik yaklaşımda dört düğüm haricinde tüm düğümler, tüm periyotlarda %100 olarak gerçekleşmektedir. Özellikle *D047* düğümünün talebinin üçüncü periyottan sonra hiç bir şekilde karşılanamadığı açıkça görülebilmektedir. *D03*, *D087* ve *D088* düğümlerinin hizmet seviyeleri ise her bir periyotta azalan bir eğilim ile hareket etmektedir.

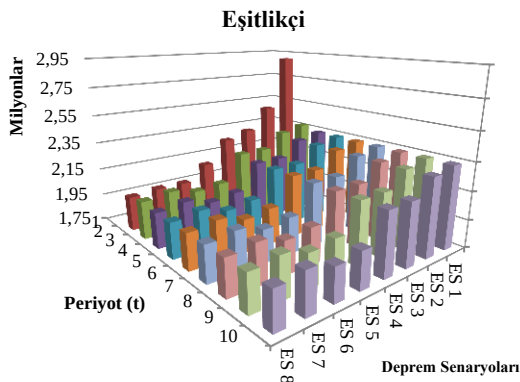


(a)

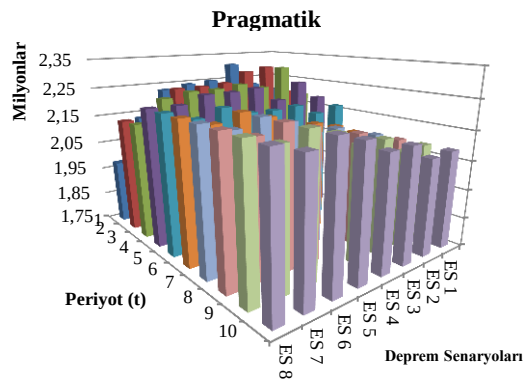
(b)

Şekil 4.8 : Uygulama veri seti hizmet seviyesi değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.

Periyotlara göre ilk seviye maliyetleri incelendiğinde, eşitlikçi yaklaşımda en kötü senaryoya doğru maliyetlerin azaldığı görülürken, pragmatik yaklaşımda ilk periyot haricinde arttığı izlenmektedir. Eşitlikçi yaklaşımdaki bu azalma, malzemenin hareket edememesi nedeniyle de açıklanabileceken, pragmatik yaklaşımdaki artışın, ikinci seviye ulaştırma maliyetleri ile birlikte değerlendirilmesi daha doğru olacaktır. Eğer artış, ikinci seviyede gerçekleşebilecek ulaştırma maliyetini önceden telafi etmeye yönelik ise, böyle bir maliyet davranışı afet planlamacıları için tercih edilir bir durum ortaya çıkaracaktır. İkinci seviye ulaştırma maliyetleri incelendiğinde, pragmatik yaklaşımın maliyetlerinin en kötü senaryoya doğru artış gösterdiği, ancak ilk yedi senaryoya kadar düşük değerlerde seyrettiği, ayrıca ortalamaya bakıldığında eşitlikçi yaklaşımdan daha düşük değerlerde gerçekleştiği görülmektedir. O halde, ilk seviye ulaştırma maliyetlerinin yüksek olmasının, ikinci seviye maliyetlerini düşürmeye yönelik önleyici bir tedbir olduğu söylenebilir.

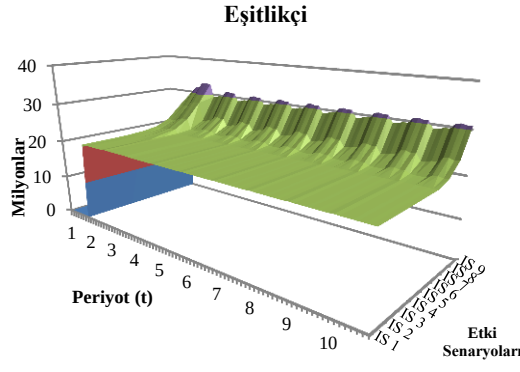


(a)

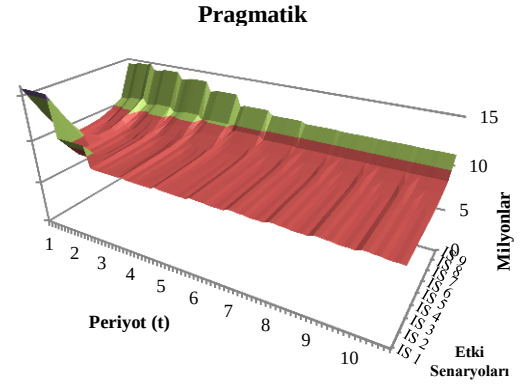


(b)

Şekil 4.9 : Uygulama veri seti ilk seviye ulaştırma maliyetleri değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.

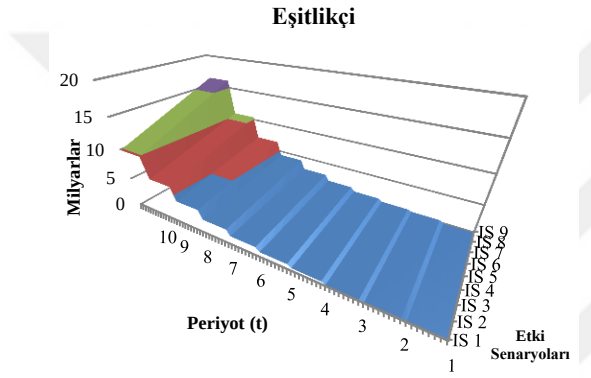


(a)

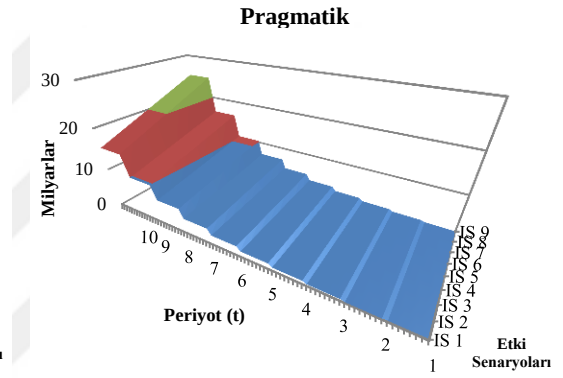


(b)

Şekil 4.10: Uygulama veri seti ikinci seviye ulaştırma maliyetleri değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.

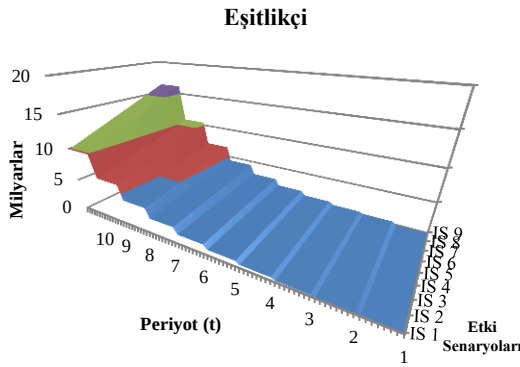


(a)

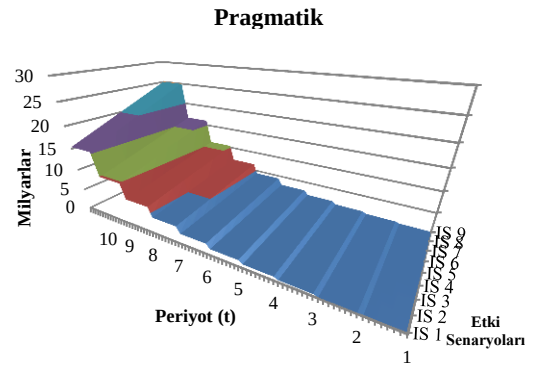


(b)

Şekil 4.11: Uygulama veri seti hizmet seviyesi maliyetleri değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.



(a)



(b)

Şekil 4.12: Uygulama veri seti toplam maliyet değişimi: (a) Eşitlikçi, (b) Pragmatik.

4.5 Analiz ve Değerlendirme

Problem için kullanılan 25 düğümlük veri setinin başlangıç koşullarında beklenen arz miktarı beklenen talepten %15 daha fazla olmasına rağmen, hem pragmatik hem de eşitlikçi yaklaşımda kısa kalma meydana gelmektedir. Bu nedenle, başlangıç şartları için envanter planlamasının da ayrı olarak incelenmesi ve analiz edilmesinin önemli olduğu görülmektedir.

Enkazın dinamik olarak temizlendiği varsayılmasına rağmen, her iki hizmet seviyesi yaklaşımında da kısa kalma gerçekleşmektedir. Ayrıca her hizmet seviyesi yaklaşımında da kısa kalma miktarında periyot bazında üssel artış vardır. Eşitlikçi yaklaşımda toplam kısa kalma miktarı daha az olmasına rağmen her bir düğümde kısa kalma mevcuttur. Ancak, pragmatik yaklaşımda, yalnızca 4 düğümde kısa kalma olmasına rağmen sistemdeki toplam kısa kalma eşitlikçi yaklaşıma nazaran çok daha fazladır (~6,2 Milyon /~10 Milyon). Bu şartlar altında eşitlikçi bir dağıtım yaklaşımı tercih edilebilir.

Bununla birlikte, pragmatik yaklaşımda en fazla kısa kalan *D3* (Büyükkada), *D47* (Çatalca), *D87* (Sefaköy) ve *D88* (Büyükbakkalköy) düğümlerinin planlı ya da plansız bir dağıtım önceliği var ise, seçilecek dağıtım yaklaşımının yeniden gözden geçirilmesi gerekecektir.

Ortalama ilk seviye ulaştırma maliyetleri her iki yaklaşımda birbirine yakinken, eşitlikçi yaklaşımda daha kötü senaryoda daha düşük maliyet elde edilmektedir. Böyle bir durumda, afet öncesi planlama için eşitlikçi yaklaşım tercih edilmelidir kararı çıkabilir. Ancak, ikinci seviye maliyetlerde eşitlikçi yaklaşımda ortalama maliyet, pragmatik yaklaşımdan ~2,4 kat daha fazladır. Maliyetteki bu değişim, kararın yalnızca tek seviyeye değil, her iki seviyenin de birlikte değerlendirilmesi halinde daha doğru olacağını göstermektedir.

Bununla birlikte, ikinci seviye ulaştırma maliyetlerinde, maliyet davranışı her iki yaklaşımda da birbirine benzemekte ve en kötü senaryoda daha yüksek sonuçlar vermektedir. Ancak eşitlikçi yaklaşımda ve kötü senaryoda, periyot artsa da maliyet sabit kalmakta, buna rağmen faydacı yaklaşımda periyot arttıkça maliyet azalmaktadır.

Dikkat çekici bir diğer sonuç, pragmatik yaklaşımda ortalama toplam maliyetin eşitlikçi yaklaşımın $\sim 1,4$ katı olmasıdır. Tüm senaryolarda ve tüm periyotlarda pragmatik yaklaşımın ortalama toplam maliyeti daha yüksektir.

Daha düşük maliyetler için tedbirler araştırılabilir. Bunlardan ilki, her periyotta bir arkın temizlenmesi yerine birden fazla arkın temizlenmesi olabilir. Bu şekilde, akış limitine takıldığı için dağıtılamayan miktarın dağıtılması sağlanacaktır. İkinci olarak, talep noktaları arasında yatay dağıtım olmadığı varsayımı ihmal edilerek, talep düğümlerinin arasındaki akış debisi artırılabilir. Bu tedbir de, aynı şekilde dağıtılamayan miktarın dağıtılmasını sağlayacaktır. Dağıtım noktası için seçilen düğümlerin yerleşiminin yeniden değerlendirilmesi de bir başka çözümdür. Talebin yoğun ve akış limitinin düşük olduğu düğümlere yakın dağıtım noktaları planlanabilir. Son olarak, tüm periyotların ardışık optimizasyonu yerine bütünleşik optimizasyon yöntemi kullanılabilir. Bu şekilde, daha tutarlı ve maliyet etkin sonuçlar elde edilebilecektir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde, araştırma kapsamında oluşturulan modelin aşama aşama gelişimi, literatüre katkıları ve gerçek hayat problemleri yönünden değerlendirmesi yapılacak, elde edilen bulgular tartışılacak ve muhtemel gelecek çalışma alanları belirtilecektir.

5.1 Sonuç

Çalışmaya afet yardım malzemesi dağıtım ve ulaştırma problemlerine yönelik olarak yapılan yöneylem araştırması ve yönetim bilimi çalışmaları incelenerek başlanmış ve Barbarosoğlu ve Arda (2004)'nın afet yardım malzemesi ulaştırma problemi için ürettiği iki seviyeli stokastik programlama modeline odaklanılarak devam edilmiştir. Literatür incelemesi sonunda, iki seviyeli stokastik programlamanın deterministik eşlenik modeli bulunmadığı, ayrıca yardım malzemesi dağıtım modellerinde çok periyotlu stokastik programlamanın, hizmet seviyesi yaklaşımlarının ve enkaz temizleme varsayımlarının ele alınmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, mevcut çalışmaların uygulama adımlarında kurgusal veri kullanıldığı ve üretilen sonuçların gerçek hayat problemlerinin çözümüne hizmet etmediği de görülmüştür.

Bu nedenle, öncelikle Barbarosoğlu ve Arda (2004)'nın modelinin deterministik eşleniği üretilmiş, iki seviye arasında tutarlılık sağlamak için ilave denge kısıtları eklenmiştir. Takiben, yeni setler tanımlanarak model sıkılaştırılmış ve deprem senaryoları da modele eklenerek sonuçların daha tutarlı hale getirilmiş, iki seviyeli stokastik programlama problemlerinin stokastik çözücülere ihtiyaç olmaksızın doğrusal olarak tek seferde çözümüne olanak sağlanmıştır. Barbarosoğlu ve Arda (2004)'nın modelinde, her bir deprem senaryosu için problemin ayrı ayrı çözülmesi gerektiğinden, önerilen model ile çözüm performansında belirgin bir artış sağlanmıştır. Üretilen yeni deterministik eşlenik modeli, bilinen stokastik programlama geçerleme eşitsizlik kurallarına uygun olarak geçerlenmiş, bu kapsamda problemin “beklenen değer beklenen problemi (EEV)” ve “bekle ve gör (WS)” tiplerinin çözümleri de yapılmıştır. Ayrıca, yeni modelin ürettiği maliyet

parametrelerinin davranışları da sezgisel olarak incelenmiş, elde edilen bulgular geçerleme amacı ile kullanılmıştır.

DDEİSSPM olarak adlandırılan model, senaryo olasılıkları çıkarıldığında deterministik, senaryo olasılıkları kullanıldığında ise stokastik olmaktadır. Dolayısıyla, yardım malzemesi dağıtım ve ulaştırma literatürüne hem stokastik hem de deterministik problem türü modelleri ile katkıda bulunulabilmiştir.

İkinci aşamada, pragmatik (faydacı) ve eşitlikçi hizmet yaklaşımlarının modele uygulanması üzerine DDEİSSPM’de geliştirme yapılmış ve problem her iki yaklaşım için ayrı ayrı çözülerek davranışı analiz edilmiştir. Bilindiği kadarıyla, yardım malzemesi dağıtım ve ulaştırma problemleri iki seviyeli stokastik programlama modellerinde ilk kez hizmet seviyesi yaklaşımları analiz edilmiş olup, literatüre yeni bir katkı daha sağlanmış olmaktadır.

Takip eden aşamada, tek periyot için üretilen sonuçların neden gerçeği yansıtmayacağı üzerine teorik çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar farklı analiz yöntemleri ile desteklendikten sonra, DDEİSSPM’nin tek periyot yerine çok periyotlu olarak çözümü üzerine model değiştirilmiştir. Yeni model, iki seviyeli stokastik programlama probleminin iteratif olarak çözülmesi halinde çok periyotluluk incelemesinin yapılabileceği varsayımı üzerine kurgulanmıştır.

Dördüncü aşamada ise, çok periyotlu ÇP- DDEİSSPM’ye dinamik enkaz temizleme yaklaşımı uygulanır ise ne gibi sonuçlar elde edilebileceği araştırılmış ve model iyileştirilerek, sonuçlar bir uygulama üzerinden analiz edilmiştir.

Son aşamada ise, literatüre, tamamen açık kaynak veri kullanılmak suretiyle 159 düğümlük yeni bir ulaştırma ve dağıtım veri seti kazandırılmış, veri setinin muhtemel bir İstanbul depremi için yapılması gereken tahsis, ulaştırma ve dağıtım planlamasında mümkün olduğunca gerçeği yansıtmak amacını sağlaması hedeflenmiştir. Üretilen veri setinin, ÇP-DDEİSSPM ile bir uygulamada kullanılması ve sonuçların analiz edilmesi suretiyle çalışma tamamlanmıştır.

Çalışma başlangıcında belirlenen hipotezler üzerinde değerlendirme yapmak gerekirse; her üç hipotezin de gerçekleştiği, diğer bir ifadeyle “deprem ve etki senaryolarının model içerisinde tek seferde ele alınabildiği”, “kaynakların talep noktalarına tahsisi ve ulaştırma kararlarının, başlangıç şartlarına göre değişkenlik

gösterebildiği”, son olarak ise “problemin tek periyot yerine çok periyotlu olarak çözülmesinin, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesini sağladığı” görülmüştür.

Tez çalışmasında özet olarak, yardım malzemesi dağıtım ve ulaştırma problemleri literatürüne ilk deterministik eşlenikli, tek periyotlu, tek amaçlı, çok malzemeli, çok modlu, iki seviyeli stokastik programlama modeli kazandırılmış; söz konusu model üzerinde ilk kez hizmet seviyeleri yaklaşımları ve davranışları incelenmiş; modele ilk kez çok periyotluluk kazandırılmış ve çok periyotlu bir modelde enkazın dinamik (adaptif) olarak temizlendiği varsayılırsa, dağıtım ve ulaştırma kararlarının nasıl etkileneceği incelenmiş; son olarak ise literatüre 159 düğümlük yeni bir veri seti kazandırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgular ve bu bulgular üzerinde tartışmalar bir sonraki kısımda, modelin üzerinde daha farklı ne gibi geliştirmeler yapılabileceği ve gelecek çalışma alanları üzerinde ise son kısımda değinilecektir.

5.2 Bulgular ve Tartışma

DDEİSSPM’de elde edilen ilk bulgu şüphesiz ki deprem ve etki senaryoları kötüleştikçe, sistemdeki beklenen kısa kalma ve beklenen envanter fazlası miktarlarının artıyor olmasıdır. Dolayısıyla, ulaştırma maliyetlerinin kısa kalma ve elde tutma maliyetlerinden düşük olduğu bir problemde, en kötü senaryo toplam maliyeti yüksek çıkacaktır. Kötü senaryoda ulaştırma gerçekleşmediğinden ötürü kısa kalma ve elde tutma miktarı arttığından, dolaylı maliyetler de artmaktadır. Model ile varılan bu sonuç gerçek hayatla da uyumluluk göstermektedir.

Bununla birlikte, ilk seviye ulaştırma maliyetleri sabit kalırken, ikinci seviye ulaştırma maliyetlerinin kötü senaryoya doğru düşüş göstermesi, iki seviyeli stokastik programlama modellerinde aranan lider-takipçi kararlarının doğru verildiğinin göstergesi olmaktadır. İki seviyeli stokastik programlamada, ikinci seviye maliyetlerini azaltmak için ilk seviyede en doğru kararların verilmesi beklenir. Ancak, böyle bir beklentinin tam anlamıyla sağlanabilmesi için, yukarıda bahsedildiği üzere kısa kalma ve elde tutma maliyetlerinin de ulaştırma maliyetleri ile bir denge oluşturması önem arz etmektedir.

Modele hizmet seviyesi yaklaşımları eklendiğinde ise problemin doğası ve üretilen kararların belirgin ölçüde değiştiği gözlemlenmektedir. Planlamada hangi yaklaşımın

seçilmesi gerektiği kararı, ahlaki ve insani unsurlar da değerlendirilerek sosyal bilimler disiplini altında ayrıca incelenebilir. Ancak toplam maliyet açısından incelendiğinde, kısa kalma maliyetinin ulaştırma maliyetlerinden yüksek olduğu birim maliyet tanımı altında, faydacı yaklaşımın tercih edilmesi gerektiği açıktır. Gerçek hayat şartlarında da kısa kalmanın doğurduğu sonuçların maliyetlerinin ulaştırma maliyetlerine kıyasla önemli ölçüde yüksek olması beklenir. Eşitlikçi bir yaklaşımda, tüm gruplar arasında eşitlik sağlanmaya çalışılırken, imkân varken karşılanabilecek bir düğümün karşılanması sistemsel olarak engellenmektedir. Bu durum hizmet seviyesi performansına da gözle görülür şekilde etki etmekte ve eşitlikçi bir yaklaşımda hizmet seviyelerinin oldukça düşük kalmasına sebebiyet vermektedir. Pragmatik yaklaşımın hizmet seviyeleri ile eşitlikçi yaklaşımın hizmet seviyeleri arasındaki farkı tolere etmek için eşitlikçi yaklaşımdaki başlangıç arz miktarı ve taşıma kapasiteleri artırılabilir, ancak böyle bir durum gerçeği yansıtmaktan uzak olacaktır.

Hizmet seviyesi yaklaşımlarının doğurduğu temel sonuçlar çok periyotlu bir model de önemli bir fark oluşturmamaktadır, ancak modelin çok periyotlu bir ortamda değerlendirilmesi gerektiği hem gerçek hayat problemleri ile uyumlu (Ör: Van Depremi), hem de sezgisel olarak açıktır. Bu nedenle, modelin çok periyotluluğu ele alacak şekilde düzenlenmesi sağlanmıştır.

Çok periyotlu bir modelde, öncelikle model davranışının başlangıç arz ve talep durumuna göre değişmesi gerektiği üzerinde teorik bir çalışma yapılmış ve sezgisel olarak ne beklenmesi gerektiği incelenmiştir. Buna göre özet olarak, arz ve talebin başlangıç durumunun doğru kararlar verebilmek için bir hassasiyet analizinden geçmesinin faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

Eşitlikçi bir yaklaşımda, tek periyotlu modeldekine benzer şekilde hem arz hem de talep artış göstermektedir. Özellikle beklenen kısa kalma miktarından kaynaklı beklenen talep miktarı, periyot bazında daha sert bir artış oluşturmaktadır. Pragmatik yaklaşımda da periyot bazında beklenen kısa kalma miktarında artış olması, sistemde doyumu sağlayabilmek için başka çözümler de aranması gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Bu durumda, sistemde yeterli arz olmasına rağmen, yine de bazı düğümler beslenemeyebilmektedir. Böyle bir durum, malzemenin ulaştırılabileceği bir kanal bulamamasından kaynaklanabilir. O halde, ulaşım imkânlarının artırılması ve enkaz nedeniyle kapalı yolların açılması bir çözüm olabilecektir. İlave olarak, tüm

düğümlemler arasında bağlantı sağlayarak tam bağılı bir ağ oluşturulması da değerlendirilebilir.

Hizmet seviyeleri gerçektelemesi yönünden çok periyotlu bir model incelenecek olunursa, sonuçların tek periyotlu bir modelin senaryo bazındaki değişimi ile benzeştirilebilecektir. En iyi senaryodan en kötü senaryoya doğru değişen modelin davranışında, başlangıç periyodu en iyi senaryo, sonuncu periyot ise en kötü senaryonun özelliklerini taşımaktadır. Bununla birlikte, en son periyodun en kötü senaryosunda maliyetler artış eğilimine girmektedir. Bu durum sezgisel olarak da doğrudur. Çok periyotluluğun kurgusal veri seti ile yapılan uygulamasında ilk seviye ulaştırma maliyetlerinin eşitlikçi yaklaşım için belirgin oranda pragmatik yaklaşımdan daha büyük olduğu gözlenebilir. Bu durum, tüm düğümlerin taleplerinin eşit şekilde karşılanabilmesi amacıyla, yüksek maliyetli (büyük M) ulaştırma arklarının da maliyetinin ne olduğuna bakılmaksızın kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Eğer, modelde bir üst maliyet sınırı belirlenecek olunursa, yüksek taşıma maliyetleri ile taşınan bu miktarın taşınmadan arz düğümlerinde kalmaya zorlanması beklenebilir. Dolayısıyla, daha tutarlı sonuçlar üreten bir model için probleme bir bütçe üst limitinin konulmasının faydalı olabileceği değerlendirilebilir.

Modelde dinamik enkaz temizleme imkânının olması durumu değerlendirildiğinde ise, eşitlikçi yaklaşım için beklenen arz/talep ile beklenen kısa kalma ve elde kalma miktarlarında, dinamik enkaz temizlemenin olmadığı durumdaki miktar davranışı ile benzerlik görülmüştür. Pragmatik yaklaşımda ise daha önce sevk edilemeyen arz miktarı artık sevk edilebilmekte ve sistemde halen beklenen kısa kalma miktarı olmasına rağmen, bu miktarın belirgin seviyede düşük olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumda, başlangıç arzının başlangıç talebinden yeteri kadar yüksek olduğu bir planlamanın pragmatik yaklaşımla yapılması halinde, hizmet seviyelerinde tek periyotlu bir modelde görülen durum elde edilebilir. Eşitlikçi yaklaşım da aynı şekilde tek periyotlu modeldeki davranışını yinelemektedir. Hangi yaklaşımın tercih edilmesi gerektiği ayrı bir başlık altında incelenmelidir. Bununla birlikte, dinamik enkaz temizleme yaklaşımı olan modelde, ulaştırma maliyetleri arasında enkaz temizlemenin olmadığı duruma benzer derin farklılıklar bulunmamakta, ancak maliyetin etki senaryolarına göre değişimi farklılık göstermektedir. Bu durumun yine

eşitlikçi yaklaşımda imkân olmasına rağmen hareket edemeyen malzemeden kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

Çalışmanın sonunda, gerçek hayat problemlerine ışık tutabilmek için olası bir İstanbul depremi için yapılması gereken dağıtım ve ulaştırma planlaması üzerine odaklanılmıştır. Üretilen İstanbul veri seti 1'inci ve 2'nci derece deprem bölgesinde bulunan ilçeler temel alınarak 159 düğüm için hazırlanmasına rağmen, hesaplama zamanının yönetilebilir olması maksadıyla 25 düğümlük bir çözüm kümesi incelemeye alınmıştır. Elde edilen sonuçlar 159 düğümlük bir çalışma için de temsil edici olmasına rağmen, daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için 159 düğümlü bir problemin ele alınması faydalı olabilecektir. Ayrıca, İstanbul deprem senaryosu probleminin temel varsayımlarından biri olan yatay malzeme akışının olmaması kısıtı, benzer şekilde gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesine engel olabilir. Bir diğer husus, sistemin başlangıcında seçilen arz miktarının detaylı bir analize dayalı olmaması ve kurgusal örneklemeler için yapılan çözüm şartlarını sağlamak amacıyla arzın başlangıç şartlarında talepten yüksek olduğu durumun incelenmesi amacıyla bu değerde seçilmesidir. Söz konusu değer artması ya da azalmasının etkileri de problem kapsamında ayrıca incelenebilir.

Ancak, yukarıda belirtilen varsayımlar ile problem çözüldüğünde, olası bir İstanbul depremine hazırlık için çeşitli çıkarımlar yapılabilmektedir. Öncelikle, seçilen problem setinde periyot başlarında envanter fazlası olmaması, ele alınan düğümler için kullanılan ulaştırma yollarının, seçilen deprem senaryosu, arz ve talep durumunda, dağıtım planlamasının gerçekleştirilebilmesi için yeterli olacağı anlamına gelmektedir. Şu halde, beklenen talebin periyot bazında artıyor olması, yukarıda bahsedildiği üzere sistemi besleyen arzın yetersiz olduğunu ifade etmektedir. Başlangıç şartlarında 25 düğümlük bir veri seti için arzın talepten %15 fazla olması, ilerleyen periyotlarda talebin tam olarak karşılanmasını sağlayamamaktadır. Dolayısıyla karar vericilerin, deprem öncesi planlamalarda arz miktarını artırmasının önemli olduğu belirtilebilir. Talebin özellikle belirli düğümlerden kaynaklanması ise, bu talep noktalarının yakın bölgelerine dağıtım merkezi kurulması için işaret verebilir.

Bununla birlikte, hizmet seviyeleri yönünden inceleme yapıldığında, sistem başlangıcında yeterli miktarda arz olmamasından kaynaklı beklenen talep artışına rağmen, pragmatik yaklaşımda dört düğüm haricinde diğer düğümlerin talebinin her

zaman tam olarak karşılanabiliyor olması, eşitlikçi yaklaşımın daha tercih edilebilir olabileceği çıkarımını sağlayabilir. Sonuçların eşitlikçi olmayacağı bir dağıtım planlamasından haberdar olabilecek halk, arz desteğinin daha yüksek olduğu toplanma bölgelerine geçiş yaparak dağıtım planlamasının tutarlılığını kaybetmesine ve yeniden planlama ihtiyacı doğmasına sebep olabilir. Ayrıca, pragmatik yaklaşımda, yalnızca dört düğümde kısa kalma olmasına rağmen sistemdeki toplam kısa kalma eşitlikçi yaklaşıma nazaran çok daha fazladır (~6,2 Milyon /~10 Milyon). Bu durum, pragmatik yaklaşımın her zaman en doğru olmayabileceği çıkarımını desteklemelidir. Her vaka kendi şartları içerisinde ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Kurgusal veriler kullanılan çalışmada pragmatik yaklaşım daha performanslı sonuçlar vermiş olmasına rağmen, gerçek hayat şartlarında eşitlikçi yaklaşımın daha tercih edilir olabileceği görülmektedir. Eşitlikçi yaklaşımın daha tercih edilir olması, maliyet verileri ile de desteklenmektedir.

Sonuç olarak, hizmet seviyesi, dinamik enkaz temizleme, bütünleşik veya iteratif çok periyotlu problem çözme yaklaşımlarının probleme katılmasının, elde edilen sonuçlarda ve model davranışlarında belirgin farklılıklar oluşturduğu görülmektedir. Söz konusu yaklaşımların olmadığı ham modellerin çözümü, gerçek hayat şartlarından uzak sonuçlar üretilmesine sebebiyet verebilecektir.

5.3 Gelecek Çalışma Alanları

Tez çalışması sayesinde, literatüre yukarıda belirtilen katkılarla birlikte Çizelge 2.5'te belirtilen ve az sayıda çalışma olan tek amaçlı, çok seviyeli, tek dönemli deterministik araştırmalara; tek amaçlı, çok seviyeli, çok dönemli deterministik araştırmalara ve şimdiye kadar hiç çalışma yapılmamış olan tek amaçlı, çok seviyeli, çok dönemli, stokastik araştırmalara da katkıda bulunulmuştur. Ancak, çok amaçlı, çok seviyeli ve tek dönemli deterministik ve stokastik alanda halen az sayıda çalışma bulunmakta olup, çok amaçlı, çok seviyeli, çok dönemli çalışma alanında ise hiçbir çalışma bulunmamaktadır. Dolayısıyla, gelecek çalışmalar, çok amaçlı alana odaklanarak bu açık kapatılabilir.

İlave olarak uygulama için kullanılan İstanbul veri setinde talep düğümleri arası yatay malzeme akışına izin verilmesi, çok periyotluluğun modele katılmasının iteratif yaklaşım yerine dinamik stokastik programlama yaklaşımı ile yapılması ve modelin Bellman denklemleri kullanılarak düzenlenmesi, dağıtım ve ulaştırma kararları yanı

sıra, tesis yerleşim veya rotalama çözümlerinin de modele katılması, ayrıca özellikle 25 düğümden sonra belirgin ölçüde azalan hesaplama performansı sorununu aşmak için modelin sezgisel ve meta sezgisel yöntemler kullanılarak yeniden oluşturulması gelecek çalışma alanları için örnek teşkil edebilir.



KAYNAKLAR

- Aardal, K., Jonsson, O. ve Jonsson, H.** (1989). Optimal Inventory Policies with Service-Level Constraints, *The Journal of the Operational Research Society*, **40**(1), 65–73. Doi: <http://doi.org/10.2307/2583078>
- Abdelgawad, H. ve Abdulhai, B.** (2009). Emergency evacuation planning as a network design problem: a critical review, *Transportation Letters: the International Journal of Transportation Research*, **18**(1), 41–58.
- Afshar, A. ve Haghani, A.** (2012). Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations, *Socio-Economic Planning Sciences*, **46**(4), 327–338. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.seps.2011.12.003>
- Alexander, D.** (2013). İçinde D. E. Alexander, E. Masini, & L. Mugnai (Ed.), *Integrated Emergency Management for Mass Casualty Emergencies* (ss. 1–11). Amsterdam, Holland: IOS Press
- Altay, N.** (2008). İçinde *Large-Scale Disasters: Prediction, Control, and Mitigation* (ss. 120–146) Adres: http://works.bepress.com/nezih_altay/1/
- Altay, N. ve Green, W. G.** (2006). OR/MS research in disaster operations management, *European Journal of Operational Research*, **175**(1), 475–493. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.016>
- Altay, N. ve Labonte, M.** (2011). İçinde *Humanitarian Logistics: Meeting the Challenge of Preparing for and Responding to Disasters* (ss. 85–101) Alındığı tarih: 09.12.2013, adres: http://works.bepress.com/nezih_altay/4/
- Aman, A., Bakhtiar, T., Hanum, F. ve Tri Supriyo, P.** (2012). OR / MS Applications in Mt . Merapi Disaster Management, *Journal of Mathematics and Statistics*, **8**(2), 264–273.
- Anaya-Arenas, A. M., Renaud, J. ve Ruiz, A.** (2014). Relief distribution networks: a systematic review, *Annals of Operations Research*, (April), 53–79. Doi: <http://doi.org/10.1007/s10479-014-1581-y>
- Arneson, R.** (2002). Egalitarianism, Alındığı tarih: 10.08.2014, adres: <http://plato.stanford.edu/entries/egalitarianism/>
- Balcik, B. ve Beamon, B. M.** (2008). Facility location in humanitarian relief, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, **11**(2), 101–121.
- Balcik, B., Beamon, B. M., Krejci, C. C., Muramatsu, K. M. ve Ramirez, M.** (2010). Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities, *Intern. Journal of Production Economics*, **126**(1), 22–34. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.09.008>

- Balcik, B., Beamon, B. M. ve Smilowitz, K. R.** (2008). Last Mile Distribution in Humanitarian Relief, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, **12**(2), 51–63. Doi: <http://doi.org/10.1080/15472450802023329>
- Barbarosoğlu, G. ve Arda, Y.** (2004). A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response, *Journal of the Operational Research Society*, **55**(1), 43–53. Doi: <http://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601652>
- Barbarosoğlu, G., Özdamar, L. ve Çevik, A.** (2002). An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations, *European Journal of Operational Research*, **140**(1), 118–133. Doi: [http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00222-3](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00222-3)
- Barzinpour, F., Saffarian, M., Makoui, A. ve Teimoury, E.** (2014). Metaheuristic algorithm for solving biobjective possibility planning model of location-allocation in disaster relief logistics, *Journal of Applied Mathematics*, **2014**, 1–17. Doi: <http://doi.org/10.1155/2014/239868>
- Berkoune, D., Renaud, J., Rekik, M. ve Ruiz, A.** (2012). Transportation in disaster response operations, *Socio-Economic Planning Sciences*, **46**(1), 23–32. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.seps.2011.05.002>
- Bhattacharya, S., Hasija, S. ve Van Wassenhove, L. N.** (2012). *Designing Efficient Infrastructural Investment and Asset Transfer Mechanisms in Humanitarian Supply Chains INSEAD Working Papers Collection* (C. 86)
- Biederman, D.** (2012). The New Logistics of Disaster Relief | JOC, **5**, 1–6. Alındığı tarih: 10.09.2013, adres: http://www.joc.com/new-logistics-disaster-relief_20120421.html
- Birge, J. R. ve Louveaux, F.** (2011). *Introduction to Stochastic Programming* (2. baskı). New York Dordrecht Heidelberg London: Springer Science+Business Media, LLC
- Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S., Alinaghian, M. ve Heydari, M.** (2012). A modified particle swarm optimization for disaster relief logistics under uncertain environment, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **60**(1-4), 357–371. Doi: <http://doi.org/10.1007/s00170-011-3596-8>
- Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S. ve Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J.** (2013). A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty, *OR Spectrum* Doi: <http://doi.org/10.1007/s00291-011-0268-x>
- Brent, R. J.** (1984). A three-objective social welfare function for cost–benefit analysis, *Applied Economics* Doi: <http://doi.org/10.1080/00036848400000044>
- Brown, G. G. ve Vassiliou, A. L.** (1993). Optimizing disaster relief: real-time operational and tactical decision support, *Naval Research Logistics*, **40**(1), 1–23.
- Camacho-Vallejo, J.-F., González-Rodríguez, E., Almaguer, F.-J. ve González-Ramírez, R. G.** (2014). A bi-level optimization model for aid

- distribution after the occurrence of a disaster, *Journal of Cleaner Production* Doi: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.069>
- Campbell, A. M. ve Jones, P. C.** (2011). Prepositioning supplies in preparation for disasters, *European Journal of Operational Research*, **209**(2), 156–165. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.08.029>
- Campbell, A. M., Vandenbussche, D. ve Hermann, W.** (2008). Routing for Relief Efforts, *Transportation Science*, **42**(2), 127–145. Doi: <http://doi.org/10.1287/trsc.1070.0209>
- Caunhye, A. M., Nie, X. ve Pokharel, S.** (2012). Optimization models in emergency logistics: A literature review, *Socio-Economic Planning Sciences*, **46**(1), 4–13. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.seps.2011.04.004>
- Chang, M.-S., Tseng, Y.-L. ve Chen, J.-W.** (2007). A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **43**(6), 737–754. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.tre.2006.10.013>
- Charnes, A., Cooper, W. W., Harrold, J., Karwan, K. R. ve Wallace, W. A.** (1976). A goal interval programming model for resource allocation in a marine environmental protection program, *Journal of Environmental Economics and Management*, **3**(4), 347–362.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Karwan, K. R. ve Wallace, W. A.** (1979). A chance-constrained goal programming model to evaluate response resources for marine pollution disasters, *Journal of Environmental Economics and Management*, **6**(3), 244–274.
- de la Torre, L. E., Dolinskaya, I. S. ve Smilowitz, K. R.** (2012). Disaster relief routing: Integrating research and practice, *Socio-Economic Planning Sciences*, **46**(1), 88–97. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.seps.2011.06.001>
- Dessouky, M., Ordóñez, F., Jia, H. ve Shen, Z.** (2006). İçinde R. Hall (Ed.), *Delay management in health care systems* (ss. 309–338). New York: Springer
- Disaster&Emergency Management Presidency (AFAD)** (2013a). **Turkey Earthquakes Database since 1900** <<http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/Default.aspx>>, alındığı tarih:19.09.2013.
- Disaster&Emergency Management Presidency (AFAD)** (2013b). **Turkey's Disaster Intervention Plan (in Turkish)** <[https://www.afad.gov.tr/UserFiles/File/PLANLAR/Türkiye afet müdahale planı 30_05_2013.pdf](https://www.afad.gov.tr/UserFiles/File/PLANLAR/Türkiye_afet_müdahale_planı_30_05_2013.pdf)>, alındığı tarih:
- Ergun, O., Karakus, G., Keskinocak, P., Swann, J. ve Villarreal, M.** (2010). İçinde J. Cochran, T. Cox, P. Keskinocak, J. Kharoufeh, & C. Smith (Ed.), *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*. John Wiley & Sons, Inc.
- Faturechi, R. ve Miller-Hooks, E.** (2014). Measuring the Performance of Transportation Infrastructure Systems in Disasters: A Comprehensive Review, *Journal of Infrastructure Systems* Doi:

[http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000212](http://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000212)

- Feng, C. ve Wang, T.** (2003). Highway Emergency Rehabilitation Scheduling in Post-Earthquake 72 Hours, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 3276–3285.
- Fetter, G. ve Rakes, T. R.** (2013). An equity approach to contractor assignment in post-disaster debris disposal operations, *International Journal of Emergency Management*, 9(2), 170–186.
- Fiedrich, F., Gehbauer, F. ve Rickers, U.** (2000). Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters, *Safety Science*, 35(1-3), 41–57. Doi: [http://doi.org/10.1016/S0925-7535\(00\)00021-7](http://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00021-7)
- Galindo, G. ve Batta, R.** (2013). Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management, *European Journal of Operational Research*, 230(2), 201–211. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.01.039>
- Gkonis, K. G., Ventikos, N. P. ve Psaraftis, H. N.** (2007). A decision-making model for oil spill response at the tactical level, İçinde *International symposium on maritime safety, security and environmental protection*. Athens, Greece
- Godschalk, D.** (1991). İçinde E. D. Thomas & G. J. Hoetmer (Ed.), *Emergency Management: Principles and Practice for Local Government* (ss. 131–160). Washington, DC: International City Management Association
- Görmez, N., Köksalan, M. ve Salman, F. S.** (2011). Locating disaster response facilities in Istanbul, *Journal of the Operational Research Society*, 62(7), 1239–1252. Doi: <http://doi.org/10.1057/jors.2010.67>
- Gözaydın, O. ve Can, T.** (2013). Selecting logistics center for earthquake help stations: Case of Turkey, *Aeronautics and Space Technologies Journal*, 6(2), 17–31.
- Green, W. G.** (2005). **The Electronic Encyclopaedia of Civil Defense and Emergency Management**
<<https://facultystaff.richmond.edu/~wgreen/encyclopedia.htm>>, alındığı tarih:
- Güler, Ç. U. ve Ermiş, M.** (2014). A Deterministic Model to the Two-Stage Stochastic Programming of Disaster-Relief Supply Chain Transportation and Distribution Planning, İçinde *Proceedings of the World Congress on Engineering 2014* (ss. 1063–1068). London, UK
- Güler, Ç. U. ve Ermiş, M.** (2015). **The Disaster Response Network Data Set for the City of Istanbul**
<<http://www.hho.edu.tr/Akademik/Dekanlik/EndustriMuhendisligi/Arastirma.aspx>>, alındığı tarih:10.12.2016.
- Güler, Ç. U. ve Ermiş, M.** (2016). OR/MS studies on post-disaster stage relief item logistics: Complementary review, *HUTEN Journal (Under Review)*
- Günneç, D. ve Salman, F. S.** (2011). Assessing the reliability and the expected performance of a network under disaster risk, *OR Spectrum*, 33(3), 499–523. Doi: <http://doi.org/10.1007/s00291-011-0250-7>

- Haghani, A. ve Oh, S. C.** (1996). Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **30**(3), 231–250.
- Hinojosa, Y., Puerto, J. ve Saldanha-da-Gama, F.** (2014). A two-stage stochastic transportation problem with fixed handling costs and a priori selection of the distribution channels, *Top*, **22**(3), 1123–1147. Doi: <http://doi.org/10.1007/s11750-014-0321-4>
- Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N. ve Aros-Vera, F.** (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models, *Journal of Operations Management*, **31**(5), 262–280. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.jom.2013.06.002>
- Hookway, C.** (2008). Pragmatism, Alındığı tarih: 10.08.2014, adres: <http://plato.stanford.edu/entries/pragmatism/>
- Horner, M. W. ve Downs, J. A.** (2010). Optimizing hurricane disaster relief goods distribution: model development and application with respect to planning strategies., *Disasters*, **34**(3), 821–44. Doi: <http://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2010.01171.x>
- Hoyos, M. C., Morales, R. S. ve Akhavan-Tabatabaei, R.** (2015). OR models with stochastic components in disaster operations management: A literature survey, *Computers & Industrial Engineering*, **82**, 183–197. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.cie.2014.11.025>
- Hu, Z.-H. ve Sheu, J.-B.** (2013). Post-disaster debris reverse logistics management under psychological cost minimization, *Transportation Research Part B: Methodological*, **55**, 118–141. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.trb.2013.05.010>
- Huang, M., Smilowitz, K. ve Balcik, B.** (2012). Models for relief routing: Equity, efficiency and efficacy, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **48**(1), 2–18. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.tre.2011.05.004>
- Jury, A. ve De Maio, G.** (2007). Cluster approach – a vital operational tool, *Forced Migration Review*, **29**, 37–38.
- Karunasena, G., Amaratunga, D. ve Haigh, R.** (2012). Post-disaster construction & demolition debris management: a Sri Lanka case study, *Journal of Civil Engineering and Management*, **18**(4), 457–468. Doi: <http://doi.org/10.3846/13923730.2012.699913>
- Ketterhagen, K. L.** (2012). Logistics in managing disasters and emergencies, *Minnesota Fire Chief*, **48**(3), 10.
- Kibar, A. N. ve Salman, F. S.** (2013). **The International IIE (Institute of Industrial Engineers) Conference** <<http://www.iieistanbul.org/>>, alındığı tarih: 10.09.2013.
- Knott, R.** (1987). The logistics of bulk relief supplies, *Disasters*, **11**(2), 113–115.
- Knott, R.** (1988). Vehicle scheduling for emergency relief management: a knowledge-based approach, *Disasters*, **12**(4), 285–293.

- Kovács, G. ve Spens, K. M.** (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations, *International Journal Of Physical Distribution & Logistics Management*, **37**(2), 99–114.
- Kovács, G. ve Spens, K. M.** (2011). Trends and developments in humanitarian logistics – a gap analysis, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **41**(1), 32–45. Doi: <http://doi.org/10.1108/09600031111101411>
- Kunz, N. ve Reiner, G.** (2012). A meta-analysis of humanitarian logistics research, *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, **2**(2), 116–147. Doi: <http://doi.org/10.1108/20426741211260723>
- Kunz, N., Reiner, G. ve Gold, S.** (2013). Investing in Disaster Management Capabilities versus Pre-positioning Inventory: A New Approach to Disaster Preparedness, *Intern. Journal of Production Economics*, *Accepted M* Doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.11.002>
- Leiras, A., Jr, I. D. B., Peres, E. Q., Bertazzo, T. R. ve Yoshizaki, H. T. Y.** (2014). Literature review of humanitarian logistics research: trends and challenges, *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, **4**(1), 95–130. Doi: <http://doi.org/10.1108/JHLSCM-04-2012-0008>
- Lejeune, M. a.** (2013). Probabilistic modeling of multiperiod service levels, *European Journal of Operational Research*, **230**(2), 299–312. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.04.028>
- Liberatore, F., Ortuño, M. T., Tirado, G., Vitoriano, B. ve Scaparra, M. P.** (2014). A hierarchical compromise model for the joint optimization of recovery operations and distribution of emergency goods in Humanitarian Logistics, *Computers and Operations Research*, **42**, 3–13. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.cor.2012.03.019>
- Lin, Y.-H., Batta, R., Rogerson, P. a., Blatt, A. ve Flanigan, M.** (2012). Location of temporary depots to facilitate relief operations after an earthquake, *Socio-Economic Planning Sciences*, **46**(2), 112–123. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.seps.2012.01.001>
- Lodree Jr, E. J. ve Taskin, S.** (2008). An insurance risk management framework for disaster relief and supply chain disruption inventory planning, *Journal of the Operations Research Society*, **59**, 674–684. Doi: <http://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602377>
- Mete, H. O. ve Zabinsky, Z. B.** (2010). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management, *International Journal of Production Economics*, **126**(1), 76–84.
- Najafi, M., Eshghi, K. ve de Leeuw, S.** (2014). A dynamic dispatching and routing model to plan/ re-plan logistics activities in response to an earthquake, *OR Spectrum*, **36**, 323–356. Doi: <http://doi.org/10.1007/s00291-012-0317-0>
- Najafi, M., Eshghi, K. ve Dullaert, W.** (2013). A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation*

- Review*, **49**(1), 217–249. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.tre.2012.09.001>
- Nakanishi, H., Matsuo, K. ve Black, J.** (2013). Transportation planning methodologies for post-disaster recovery in regional communities: the East Japan Earthquake and tsunami 2011, *Journal of Transport Geography*, **31**, 181–191. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.07.005>
- Natarajathinam, M., Capar, I. ve Narayanan, A.** (2009). Managing supply chains in times of crisis: a review of literature and insights, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **39**(7), 535–573. Doi: <http://doi.org/10.1108/09600030910996251>
- Noyan, N.** (2012). Risk-averse two-stage stochastic programming with an application to disaster management, *Computers & Operations Research*, **39**(3), 541–559. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.cor.2011.03.017>
- Ozguven, E. E. ve Ozbay, K.** (2013). A secure and efficient inventory management system for disasters, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, **29**, 171–196. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.trc.2011.08.012>
- Özdamar, L. ve Demir, O.** (2012). A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **48**(3), 591–602. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.tre.2011.11.003>
- Özdamar, L., Ekinci, E. ve Küçükyazici, B.** (2004). Emergency Logistics Planning in Natural Disasters, *Annals of Operations Research*, **129**(1-4), 217–245. Doi: <http://doi.org/10.1023/B:ANOR.0000030690.27939.39>
- Özdamar, L. ve Ertem, M. A.** (2015). Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics, *European Journal of Operational Research*, **244**(1), 55–65. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.11.030>
- Pantuliano, S.** (2009). *Uncharted Territory, Land, conflict and humanitarian action* (S. Pantuliano, Ed.). Warwickshire, UK: Practical Action Publishing
- Parsons, T., Toda, S., Stein, R., Barka, a ve Dieterich, J.** (2000). Heightened odds of large earthquakes near istanbul: An interaction-based probability calculation, *Science (New York, N.Y.)*, **288**(5466), 661–5. Adres: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10784447>
- Peeta, S., Salman, F. S., Gunnec, D. ve Viswanath, K.** (2010). Pre-disaster investment decisions for strengthening a highway network, *Computers & Operations Research*, **37**(10), 1708–1719. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.cor.2009.12.006>
- Peng, M. ve Chen, H.** (2012). The Impact of Uncertainty in Lead Time and Demand in Disaster Relief Supply Chains, *Journal of Convergence Information Technology*, **7**(6), 304–313. Doi: <http://doi.org/10.4156/jcit.vol7.issue6.36>
- Peng, M., Peng, Y. ve Chen, H.** (2014). Post-seismic supply chain risk management: A system dynamics disruption analysis approach for

- inventory and logistics planning, *Computers and Operations Research*, **42**, 14–24. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.cor.2013.03.003>
- Psaraftis, H. N. ve Zogas Bo, A.** (1985). Tactical decision algorithm for the optimal dispatching of oil spill cleanup equipment, *Management Science*, **31**(12), 1475–1491.
- Rawls, C. G. ve Turnquist, M. A.** (2010). Pre-positioning of emergency supplies for disaster response, *Transportation Research Part B: Methodological*, **44**(4), 521–534.
- Ray, J. A.** (1987). *Multi-period linear programming model for optimally scheduling the distribution of food-aid in West Africa*. University of Tennessee, Knoxville, TN
- Rennemo, S. J., Rø, K. F., Hvattum, L. M. ve Tirado, G.** (2014). A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **62**, 116–135. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.tre.2013.12.006>
- Roh, S., Jang, H. ve Han, C.** (2013). Warehouse Location Decision Factors in Humanitarian Relief Logistics, *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, **29**(1), 103–120. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.ajsl.2013.05.006>
- Ross, S. M.** (2006). *Introduction to Probability Models* (9. baskı). Orlando, FL, USA: Academic Press, Inc.
- Salman, F. S.** (2011). *Ağ Planlaması için Stokastik Optimizasyon Metodları Geliştirilmesi ve Afet Yönetiminde Uygulanması Proje No : 105M316*. İstanbul
- Salman, F. S. ve Yücel, E.** (2014). Emergency facility location under random network damage: Insights from the Istanbul case, *Computers & Operations Research*, Accepted manuscript. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.cor.2014.07.015>
- Séguin, C.** (2013). Typhoon Haiyan: an account of post-disaster relief, *The Guardian*, s. 1. Tacloban, Philippines Adres: <http://www.theguardian.com/global-development-professionals-network/2013/nov/25/typhoon-haiyan-msf-logistical-challenges>
- Shen, Z., Dessouky, M. ve Ordóñez, F.** (2009). A two-stage vehicle routing model for large- scale bioterrorism emergencies, *Networks*, **54**, 255–269.
- Shen, Z., Ordóñez, F. ve Dessouky, M.** (2009). İçinde *Optimization and Its Applications* (ss. 349–371). Boston, MA: Springer
- Sheu, J. B., Chen, Y. H. ve Lan, L. W.** (2005). A novel model for quick response to disaster relief distribution, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, **5**, 2454–2462.
- Sheu, J.-B.** (2007a). An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **43**(6), 687–709. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.tre.2006.04.004>
- Sheu, J.-B.** (2007b). Challenges of Emergency Logistics Management: Editorial,

Transportation Research: Part E: Logistics and Transportation Review, **43**(6), 655–659.

- Sheu, J.-B.** (2010). Dynamic relief-demand management for emergency logistics operations under large-scale disasters, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **46**(1), 1–17. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.tre.2009.07.005>
- Simpson, N. C. ve Hancock, P. G.** (2009). Fifty years of operational research and emergency response, *Journal of the Operational Research Society*, **60**, S126–S139. Doi: <http://doi.org/10.1057/jors.2009.3>
- Srinivasa, A. V. ve Wilhelm, W. E.** (1997). A procedure for optimizing tactical response in oil spill clean up operations, *European Journal of Operational Research*, **102**(3), 554–574.
- Stoddard, A., Harmer, A., Haver, K., Salomons, D. ve Wheeler, V.** (2007). **Cluster Approach Evaluation, Final** <<http://www.odi.org.uk/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/4955.pdf>>, alındığı tarih:10.01.2013.
- Things Have Been done for Van in 7 Days 24 Hours** (2012). <<https://www.afad.gov.tr/TR/IcerikDetay1.aspx?ID=107&IcerikID=571>>, alındığı tarih:16.08.2014.
- Tomasini, R. ve Van Wassenhove, L. N.** (2009). *Humanitarian Logistics[Electronic Book]* Adres: [http://www.palgraveconnect.com/pc/busman2009/browse/inside/inline/9780230233485.pdf?chapterDoi=\\${chapter.getDoiWithoutPrefix\(\)}](http://www.palgraveconnect.com/pc/busman2009/browse/inside/inline/9780230233485.pdf?chapterDoi=${chapter.getDoiWithoutPrefix()})
- Tullock, G.** (1987). *Autocracy* (XII). Dordrecht: Springer Netherlands Doi: <http://doi.org/10.1007/978-94-015-7741-0>
- Tuzun Aksu, D. ve Ozdamar, L.** (2014). A mathematical model for post-disaster road restoration: Enabling accessibility and evacuation, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **61**, 56–67. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.tre.2013.10.009>
- Tzeng, G. H., Cheng, H. J. ve Huang, T. D.** (2007). Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **43**(6), 673–686.
- Van Hentenryck, P., Bent, R. ve Coffrin, C.** (2010). İçinde *Integration of AI and OR techniques in constraint programming for combinatorial optimization problems* (ss. 318–333). Springer
- Van Wassenhove, L. N. ve Pedraza Martinez, A. J.** (2012). Using OR to adapt supply chain management best practices to humanitarian logistics, *International Transactions in Operational Research*, **19**(1-2), 307–322. Doi: <http://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2010.00792.x>
- Vega, D. ve Roussat, C.** (2015). Humanitarian logistics: the role of logistics service providers, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **45**(4), 352–375.
- Viswanath, K. ve Peeta, S.** (2003). The multicommodity maximal covering network design problem for planning critical routes for earthquake response,

Transportation Research Record, **1857**, 1–10.

- Vitoriano, B., Ortuño, M. T., Tirado, G. ve Montero, J.** (2011). A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution, *Journal of Global Optimization*, **51**(2), 189–208. Doi: <http://doi.org/10.1007/s10898-010-9603-z>
- Wang, C. ve Xi, C.** (2012). Emergency Relief Item Allocation Model Based on Grouping Disaster Spots, *Advances In Information Sciences & Service Sciences*, **4**(1), 274–282. Doi: <http://doi.org/10.4156/AISS.vol4.issue1.35>
- Wang, H., Du, L. ve Ma, S.** (2014). Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **69**, 160–179. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.tre.2014.06.006>
- Waugh, W. L.** (1997). *Living with Hazards, Dealing with Disasters: Introduction to Emergency Management*. M.E. Sharpe
- Waugh, W. L. ve Hy, R. J.** (1990). *Handbook of Emergency Management: Programs and Policies Dealing with Major Hazards and Disasters*. New York, NY: Greenwood Publishing Group
- Weisbrod, G., Lynch, T. ve Meyer, M.** (2009). Extending monetary values to broader performance and impact measures: Transportation applications and lessons for other fields, *Evaluation and Program Planning*, **32**, 332–341. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2009.06.011>
- Why are the Van Earthquake Victims Go Hunger Strike?** (2013). <http://www.bbc.co.uk/turkce/haberler/2013/09/130925_van_depremez_edeler.shtml>, alındığı tarih:16.08.2014.
- Wilhelm, W. E. ve Srinivasa, A. V.** (1997). Prescribing tactical response for oil spill clean up operations, *Management Science*, **43**(3), 386–402.
- Wilson, D. T., Hawe, G. I., Coates, G. ve Crouch, R. S.** (2014). Evaluation of centralised and autonomous routing strategies in major incident response, *Safety Science*, **70**, 80–88. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.05.001>
- Wohlgemuth, S., Oloruntoba, R. ve Clausen, U.** (2012). Dynamic vehicle routing with anticipation in disaster relief, *Socio-Economic Planning Sciences*, **46**(4), 261–271. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.seps.2012.06.001>
- Wright, P. D., Liberatore, M. J. ve Nydick, R. L.** (2006). A Survey of Operations Research Models and Applications in Homeland Security, *Interfaces*, **36**(6), 514–529. Doi: <http://doi.org/10.1287/inte.1060.0253>
- Yan, S. ve Shih, Y. L.** (2009). Optimal scheduling of emergency roadway repair and subsequent relief distribution, *Computers & Operations Research*, **36**(6), 2049–2065.
- Yi, W. ve Kumar, A.** (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **43**(6), 660–672.

- Yi, W. ve Özdamar, L.** (2007). A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities, *European Journal of Operational Research*, **179**(3), 1177–1193.
- Young, H. ve Jaspars, S.** (1995). Food distribution in emergencies, from nutritional needs to political priorities, *Good Practice Review*, **3**
- Yuan, Y. ve Wang, D.** (2009). Path selection model and algorithm for emergency logistics management, *Computers & Industrial Engineering*, **56**(3), 1081–1094. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.cie.2008.09.033>
- Zhan, S. L., Liu, N. ve Ye, Y.** (2013). Coordinating efficiency and equity in disaster relief logistics via information updates, *International Journal of Systems Science*, **45**(8), 1607–1621. Doi: <http://doi.org/10.1080/00207721.2013.777490>





EK A : Avcılar Veri Seti (.xlsx dosyası/CD)
EK B : Google Maps API Dğümler Arası Mesafe ve Zaman Ölçüm Programı (.zip dosyası/CD)
EK C : İstanbul Veri Seti(.xlsx dosyası/CD)
EK Ç : DDEİSSPM GAMS Kodlaması (.gms dosyası/CD)
EK D : DDEİSSPM EEV Modeli GAMS Kodlaması (.gms dosyası/CD)
EK E : DDEİSSPM Wait-and-See Modeli GAMS Kodlaması (.gms dosyası/CD)
EK F : DDEİSSPM Hizmet Seviyesi Uygulaması GAMS Kodlaması (.gms dosyası/CD)
EK G : ÇP-DDEİSSPM Eşitlikçi Yaklaşım GAMS Kodlaması (.gms dosyası/CD)
EK Ğ : ÇP-DDEİSSPM Pragmatik Yaklaşım GAMS Kodlaması (.gms dosyası/CD)
EK H : ÇP-DDEİSSPM Eşitlikçi Dinamik Enkaz Temizleme Yaklaşımı GAMS Kodlaması (.gms dosyası/CD)
EK I : ÇP-DDEİSSPM Pragmatik Dinamik Enkaz Temizleme Yaklaşımı GAMS Kodlaması (.gms dosyası/CD)
EK İ : ÇP-DDEİSSPM İstanbul Veri Seti Uygulaması GAMS Kodlaması ve İlgili Materyalleri (.zip dosyası/CD)



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Çağlar Utku GÜLER

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara 07 Şubat 1980

Adres: Akpınar Mah. 857 Sok. No:4/1 Dikmen/Çankaya Ankara

E-Posta: caglarutkuguler@gmail.com



Lisans: Havacılık Mühendisliği/Hava Harp Okulu, İstanbul

Yüksek Lisans: Lojistik Yönetimi/ Hava Kuvvetleri Teknoloji Enstitüsü, OH, ABD

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- Hava Harp Okulu, Sınıf Yedinciliği, 2003
- Hava Harp Okulu, Havacılık Mühendisliği, Bölüm İkinciliği, 2003
- AIAA Uluslar arası Tasarla/Yap/Uçur Yarışması Altıncılığı, 2003
- Özel Ödül, Avrupa Hava Harp Okulları Deneme Yarışması, 2003
- Maltepe Askeri Lisesi, Sınıf Onunculuğu, 1999

Yayın ve Patent Listesi:

- 2002 European Air Force Academies (EUAFA) Essay Contest Paper, “What Can Be The Role of Air Power in The Future?”, **Güler, Caglar U.**, published in EUAFA Essay Contest Book, 2002.
- 2010 Johnson, Alan W., Miller, John O. and **Güler, Caglar U.**, “Energy Industry Economic Impacts from Ohio River Transportation Disruption”, *Industrial Engineering Research Conference, IERC 2010*. June 5- June 9, 2010. Cancun, Mexico.
- 2012 **Güler, Caglar U.** “Featured Researches on Industrial Engineering”, *Industrial Engineer Magazine*, September 1.
- 2012 **Güler, Caglar U.**, Johnson, Alan W., and Cooper M., “Case Study: Energy Industry Economic Impacts from Ohio River Transportation Disruption”, *The Engineering Economist*, Taylor & Francis, Vol.57, Issue 2, p.77-100.
- 2012 **Güler, Caglar U.** “Türk Hava Kuvvetlerinde Malzeme İhtiyaç Planlaması (Material Requirements Planning in Turkish Air Force)”, *HUTEN (ASTIN) Journal*, Vol. 5 Issue 3, p.35-45.
- 2013 **Güler, Caglar U.**, Toydas, M., Guzey, Refika R., Topaloglu, I., Gecer, A., and Guclu H., “Manual for the Material Requirements Planning (MRP) in Turkish

Air Force”, *Turkish Air Force*, August 2013, Ankara, Turkey.

▪ 2015 **Guler, Caglar U.** and Yagli, Ugur, “Case Study: Material Interchangeability and Substitutibility on Turkish Air Force”, *HUTEN Journal*, (under preparation)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

▪ 2014 **Guler, Caglar U.**, and Ermis, M., “A Deterministic Model to the Two-Stage Stochastic Programming of Disaster-Relief Supply Chain Transportation and Distribution Planning”, *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2014 Vol II WCECS 2014*, 02-04 July, 2014, London, UK.

▪ 2015 **Guler, Caglar U.**, and Ermis, “Service Level Implementation of Two-Stage Stochastic Programming of Disaster Management Transportation Planning (Afet Yönetimi Ulaştırma Planlaması İki Seviyeli Stokastik Programlama Modelinde Hizmet Seviyesi Uygulaması)”, *The 35th National Operations Research and Industrial Engineering Congress*, September 9-11, 2015, Ankara, TURKEY.

▪ 2015 **Guler, Caglar U.**, and Ermis M., “An Improved Two-Stage Stochastic Programming Model for Relief Item Transportation Framework and Service Level Effects”, *Computers&Industrial Engineering* (inceleme aşamasında)

▪ 2015 **Guler, Caglar U.**, and Ermis, M., “OR/MS Studies On Post-Disaster Stage Relief Item Logistics: Complementary Review”, *HUTEN Journal* (inceleme aşamasında)

▪ 2016 **Guler, Caglar U.**, and Ermis, “Dynamic Debris Cleaning Approach Implementation of Two-Stage Stochastic Programming of Disaster Management Transportation Planning (Afet Yönetimi Ulaştırma Planlaması İki Seviyeli Stokastik Programlama Modelinde Dinamik Enkaz Temizleme Yaklaşımı Uygulaması)”, *The 36th National Operations Research and Industrial Engineering Congress*, July 13-15, 2016, İzmir, TURKEY (hazırlık aşamasında)

▪ 2016 **Guler, Caglar U.**, and Ermis, “Multi-period Two-Stage Stochastic Programming of Disaster Management Transportation Planning (Çok Periyotlu Afet Yönetimi Ulaştırma Planlaması İki Seviyeli Stokastik Programlama Modeli)”, *INFORMS Meeting*, November 13-16, 2016, Nashville/Tennessee (hazırlık aşamasında)