

**DEPREM RİSKİNİN AFET LOJİSTİĞİ DEPO
YERLEŞİMİNE ETKİSİ: BURSA İLİ ÖRNEĞİ**

Enis ABBASOĞLU



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM RİSKİNİN AFET LOJİSTİĞİ DEPO YERLEŞİMİNE ETKİSİ:
BURSA İLİ ÖRNEĞİ**

Enis ABBASOĞLU
Orcid: 0000-0003-4123-5466

Prof. Dr. Erdal EMEL
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

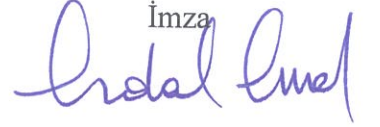
BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Enis ABBASOĞLU tarafından hazırlanan “Deprem Riskinin Afet Lojistiği Depo Yerleşimine Etkisi: Bursa İli Örneği” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Erdal EMEL

Başkan: Prof. Dr. Erdal EMEL
Mühendislik Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Orcid: 0000-0002-9220-7353

İmza


Üye: Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN
Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Orcid: 0000-0002-1867-7103

İmza


Üye: Doç. Dr. Fatih ÇAVDUR
Mühendislik Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Orcid: 0000-0001-8054-5606

İmza


Üye: Doç. Dr. Aytaç YILDIZ
Bursa Teknik Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Orcid: 0000-0002-0729-633X

İmza


Üye: Dr. Öğr. Üyesi Duygu YILMAZ EROĞLU
Mühendislik Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Orcid: 0000-0002-7730-2707

İmza


Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. HÜSEYİN AKSEL EREN
Enstitü Müdürü

.....

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

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

beyan ederim.

23./09/2019.

Enis ABBASOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEPREM RİSKİNİN AFET LOJİSTİĞİ DEPO YERLEŞİMİNE ETKİSİ: BURSA İLİ ÖRNEĞİ

Enis ABBASOĞLU

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Erdal EMEL

Ülkemizde meydana gelen afetler arasında en başta depremler yer almaktadır. Depremler, zaman ve konum açısından tahmin edilemez ve engellenemezler. Bu nedenle, afet sonucunu kontrol edebilmek amacıyla etkin bir afet yönetim planlaması yapmak gereklidir. Afet müdahalesi için kurulacak tesislerinin en uygun şekilde konumlandırılması afet yönetiminin en temel çalışmalarındandır. Bu tez çalışmasında afet sonrası gereken yiyecek, ilaç ve barınma gibi yardım malzemelerinin depolanacağı yerlerin seçilmesine, deprem büyüklüğünün etkisi incelenmiştir. Ele alınan problemin çözümü üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama, seçilen bir bölgenin geçmiş deprem kayıtları dikkate alınarak Gutenberg – Richter deprem modeline göre gelecekteki deprem risklerinin belirlenmesidir. İkinci aşama, bu kayıtlardan yıkıcı etki yaratabileceklerin sismik etkisini değerlendirerek, yerleşim bölgelerinde olumsuz etkilenecek kişi sayılarının tahmin edilmesidir. Üçüncü aşama, kademeli kapsama modeli ele alınarak iki aşamalı bir afet tedarik lojistiği oluşturulmasıdır. Önerilen model, Bursa ilinde afet yönetim hazırlık aşamasında lojistik depolarının yer seçim problemine uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Afet yönetimi, Gutenberg – Richter deprem modeli, Kademeli kapsama modeli

2019, vii + 59 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

THE EFFECT OF EARTHQUAKE RISK ON HUMANITARIAN LOGISTICS: BURSA

Enis ABBASOĞLU

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineer

Supervisor: Prof. Dr. Erdal EMEL

Earthquakes are one of the most devastating disasters in Turkey and being unpredictable and unavoidable in terms of time and location; effective disaster management planning is, therefore, necessary to control the implications of disasters. Optimal positioning of the humanitarian aid facilities is a significant study area for disaster management. In this thesis study, the effects of earthquake magnitude on the selection of locations where the necessary supplies are stored are analyzed. The problem addressed consists of three stages. The first stage is to estimate the number of people who will be affected by the seismic impacts in a selected region by taking into account the past earthquake records. The second stage is to determine the future earthquake risks from these records according to Gutenberg–Richter method. The third stage is to create a two-stage disaster supply logistics by considering the level coverage model. The proposed model has been applied to the location problem of logistics warehouses during the disaster management preparation stage in Bursa.

Key words: Disaster management, Poisson earthquake model, Level coverage model
2019, vii + 59 pages.

ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanma sürecinde hiçbir yardımını esirgemeyen, değerli katkı ve eleştirileri ile çalışmalarına yön veren ve bana her açıdan destek olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Erdal Emel'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Beni attığım her adımda destekleyen, yanımda olan ve hep olacağını bildiğim başta eşim Semra Abbasoğlu ve aileme çok teşekkür ederim.

Enis ABBASOĞLU

.../.../....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1.Sismik Tehlike Analizi.....	7
2.2. Afet Lojistiğinde Tesis Yerleşim Modelleri	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. Materyal	17
3.1.1. Etkilenen Nüfusun Belirlenmesi	17
3.1.2. Deprem Oluşumunda Poisson Modeli	20
3.1.3. Deprem Oluşumunda Büyüklük Sıklık İlişkisi	22
3.1.4. Çok Amaçlı Karma Tamsayılı Programlama ve Çözüm Yöntemleri	24
3.2. Yöntem.....	27
3.2.1. Önerilen Matematiksel Model.....	29
4. BULGULAR.....	35
4.1. Etkilenen İnsan Sayısının Tahmin Edilmesi	36
4.2. Bursa Deprem Risk Analizi	37
4.3. Önerilen Model'in Çözümü	41
5. SONUÇ.....	48
KAYNAKLAR	50
EKLER.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Doğal Afetlerin Oluşum Mekanizması (Asian Disaster Reduction Center 2005)	3
Şekil 1.2. Afet Yönetim Evreleri.....	3
Şekil 2.1. Tesis Yerleşim Modelleri Sınıflandırılması.....	8
Şekil 3.1. Deprem Şiddeti – Mesafe İlişkisi.....	18
Şekil 3.2. Ortalama Etkilenen Kişi Hesaplama Örneği.....	20
Şekil 3.3. Deprem Olasılık Dağılımları.....	21
Şekil 3.4. Pareto Optimal Çözüm Kümesi	26
Şekil 3.5. Yöntem Girdi – Çıktı İlişkisi	28
Şekil 3.6. Matematiksel Model için Örnek Çözüm.....	34
Şekil 4.1. Deprem Noktaları ($M \geq 6$).....	36
Şekil 4.2. Deprem Büyüklüğüne göre Deprem Sayıları.....	37
Şekil 4.3. Büyüklük – Sıklık İlişkisi	38
Şekil 4.4. Talep Karşılama Seviyeleri Sonuçları	44
Şekil 4.5. Yerel/Bölgesel Depo Tedarik Yapısı	44
Şekil 4.6. Deprem riski etkisi sonrası Talep Karşılama Seviyeleri Sonuçları	45
Şekil 4.7. Deprem riski etkisi sonrası Yerel/Bölgesel Depo Tedarik Yapısı	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Afetlerin Sınıflandırılması (Wassenhove 2006)	1
Çizelge 1.2. Zarar Gören İnsan Sayısına Göre Afetler (Gökçe ve ark. 2008)	2
Çizelge 2.1. İnsani Yardım Lojistiği Tesis Yerleşim Problem Tipleri	9
Çizelge 3.1. Nüfus yoğunluğu farklılıklarına göre regresyon katsayısı c ve d değerleri (Samardjieva ve Badal 2002)	18
Çizelge 4.1. Depremlerin Büyüklük Sıklık İlişkisi	37
Çizelge 4.2. Poisson Yöntemine göre Deprem Riskleri.....	39
Çizelge 4.3. İlçe Deprem Riski ve Etkilenecek Kişi Sayıları	40
Çizelge 4.5. Model Atama Sonuçları	46
Çizelge 4.6. Deprem riski etkisi sonrası Model Atama Sonuçları	47

1. GİRİŞ

Afet, normal hayatımızdaki faaliyetleri durduran ya da kesintiye uğratan acil müdahaleyi gerektiren olaylar bütünüdür (Türkiye Afet Müdahale Planı 2013). Afetler, doğal ve insan kaynaklı afetler olmak üzere ikiye ayrılabilir (Çizelge 1.1). Wassenhove (2006) çalışmasında, doğal ve beşeri afetleri ani ve yavaş başlayan olmak üzere iki sınıfa ayırmıştır. Doğal afetler, önlenmesi insan elinde olmayan olaylardır. Ani olarak gelişen deprem, kasırga ve hortum buna örnek olarak verilebilir. Buna rağmen kıtlık, kuraklık, yoksulluk oluşması ve ilerlemesi yavaş gelişen doğal afetlerdendir. Beşeri afetler ise insan unsurunun etkin olduğu dikkatsizlik, tedbirsizlik ya da isteyerek yapılan olaylardır. Terörist saldırıları, darbe, kimyasal sızıntı gibi beşeri faaliyetler ani olarak ortaya çıkan ve gelişen olaylardır. Politik ve mülteci krizleri ortaya çıkış süreci olarak yavaş ilerleyen beşeri afetlerdendir.

Çizelge 1.1. Afetlerin Sınıflandırılması (Wassenhove 2006)

	Doğal	Beşeri
Ani Başlayan	Deprem Kasırga Hortum	Terörist Saldırısı Darbe Kimyasal Sızıntı
Yavaş Başlayan	Kıtlık Kuraklık Yoksulluk	Politik Kriz Mülteci Krizi

Çizelge 1.2’de Türkiye’de meydana gelen afetlerde etkilenen afetzede ve zarar gören yerleşim birimi sayılarının dağılımı gösterilmiştir. Buna göre ülkemizde meydana gelen doğal afetler incelendiğinde, afetten etkilenen insan sayısı bakımından birinci sırada %58 ile depremler oluşturmaktadır. Depremleri sırasıyla heyelanlar, su baskınları, kaya düşmesi ve çığ olayları takip etmektedir (Altun 2018). Bu analiz, Türkiye’de afet denince akla depremin geldiğini göstermektedir. Türkiye’nin deprem tehlike haritası incelendiğinde aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya kıvrım sisteminin Akdeniz deprem kuşağında yer aldığı görülmektedir. Türkiye’nin %92’si, nüfusumuzun %95’i, büyük sanayi merkezlerinin %98’i ve barajlarımızın %93’ü deprem bölgesinde

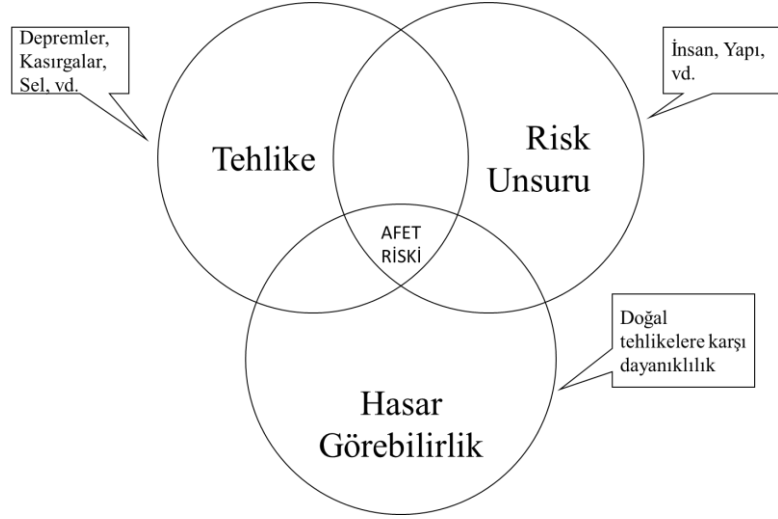
bulunmaktadır (Tanyaş ve ark. 2013). Bu çalışmada, Bursa ilinde oluşabilecek depremlere odaklanılmıştır. Bursa ili aktif deprem üreten önemli bir tektonik kuşak bölgesinde ve Marmara Bölgesi'nin güneyinde yer almaktadır (Yalçın ve ark. 2013).

Çizelge 1.2. Zarar Gören İnsan Sayısına Göre Afetler (Gökçe ve ark. 2008)

Afet Türü	Afettede Sayısı	Afettede Yüzde (%)	Zarar Gören Yerleşim Birimi Sayısı
Deprem	158.241	%58	3.942
Heyelan	59.345	%22	5.472
Su Baskını	22.157	%8	2.924
Kaya Düşmesi	19.422	%7	1.703
Çığ	4.384	%2	605
Diğer Afetler	9.237	%3	992

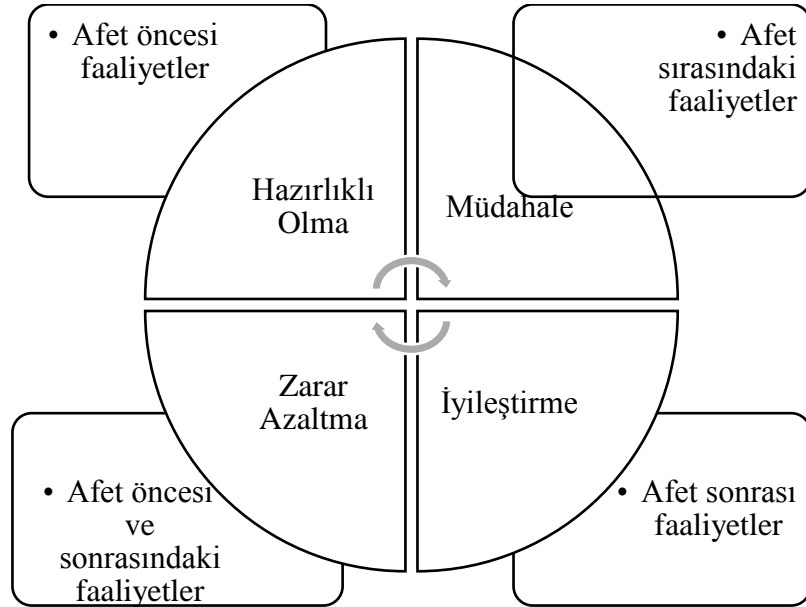
Şekil 1.1'de afet riskini oluşturan risk unsuru, tehlikesi ve hasar görebilirlik arasındaki ilişki gösterilmektedir. Afete yol açabilecek tehlikelerin yerleri, etkileyebileceği alanlar, hangi afetlerin etkin olabileceği, geçmiş afet oluş sıklıkları ve büyüklüklerini ifade eder. Bu tehlikelerden etkilenecek nüfus, yapı, altyapı, ekonomik ve sosyal değerler olmak üzere risk unsurlarını oluşturmaktadır. Ayrıca, tehlikenin gerçekleşmesi halinde bu belirlenen risk unsurlarının fiziksel, sosyal, ekonomik ve çevresel kayıpların tümü hasar görebilirlik olarak ifade edilmektedir. Tüm bu açıklanan unsurların birlikte oluşması ile afet riski ortaya çıkmaktadır (Asian Disaster Reduction Center 2005).

Bu çalışmada, deprem riskine odaklanılmıştır. Deprem riski, deprem olmadan önce istatistiksel olarak tahmin edilmesi anlamına gelmektedir. Yerleşim bölgelerindeki bina yapı ve yaşayan insan sayısının artması deprem riskini aynı oranda arttırmaktadır. (Balyemez ve Berköz 2005).



Şekil 1.1. Doğal Afetlerin Oluşum Mekanizması (Asian Disaster Reduction Center 2005)

Günümüzde afet zararlarını ve kayıplarını azaltacak etkin ve verimli afet yönetimi planları yapılabilmesi düşüncesiyle afet yönetim sistemleri geliştirilmiştir (Akyel 2007). Afet olmadan önce ve afet sonrasında yapılması gereken faaliyetlerin önceden tespit edilerek planlanması etkili bir afet yönetimi için çok önemlidir. (Akdağ 2002).



Şekil 1.2. Afet Yönetim Evreleri

Şekil 1.2’de görülen afet yönetimi evrelerinden hazırlıklı olma ve zarar azaltma faaliyetleri risk yönetimine girerken; müdahale ve iyileştirme faaliyetleri ise kriz yönetimi kapsamına girmektedir. Hazırlıklı olma evresi planlama ve eğitim faaliyetlerini kapsamaktadır. Müdahale evresi arama kurtarma, barınma, yardım malzemesi tedarik süreci gibi faaliyetlerin gerçekleştiği evredir. Afet gerçekleştikten sonra yeniden yapılanma ve yenilenme evresi iyileştirme olarak adlandırılır. Hem afet öncesini hem de afet sonrası faaliyetleri kapsayan zarar azaltma evresi uzun dönemde yapılacak mimari ve teknolojik çalışmaları kapsamaktadır. (Özbek 2011).

Ülkemizde afet müdahalesi, Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Başkanlığı ile ilgili kurum ve kuruluşlar ile belirlenen Türkiye Afet Müdahale Planı doğrultusunda yürütülmektedir. Türkiye Afet Müdahale Planı’nın amacı; afet ve acil durumlara ilişkin müdahale çalışmalarında görev alacak hizmet grupları ve koordinasyon birimlerine ait rolleri ve sorumlulukları tanımlamak, afet öncesi, sırası ve sonrasındaki müdahale planlamasının temel prensiplerini belirlemektir. Türkiye Afet Müdahale Planı, ülkemizde yaşanabilecek her tür ve ölçekte, afet ve acil durumlara müdahalede görev alacak, bakanlık, kurum ve kuruluşlar, özel kuruluşlar, sivil toplum kuruluşları ve gerçek kişileri kapsamaktadır (Türkiye Afet Müdahale Planı 2013).

İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığınca ülkemizde yaptırılan lojistik depolarından biri de ilimiz Karacabey ilçesinde yer almaktadır. Depo çadır, yatak, battaniye, yastık, yastık kılıfı ve çarşaf seti bulunmaktadır. Bursa’da her ilçede depo konumları belirlenmiştir. Belirlenen depolar, afet ve acil durum meydana geldiği andan itibaren kullanılacağından içerisinde normal zamanda herhangi bir malzeme depolanmamaktadır. Depolar, genel olarak normal depolar ve soğuk hava depoları olarak ayrılmaktadır. Depo olarak belirlenen yerler, havalandırma durumu, ebatları, binaya ulaşılabilirlik ve bina giriş-çıkışları gibi kriterler ile afet ve acil durumdan etkilenebilecek nüfus sayısı ve yoğunluğu göz önüne alınarak belirlenmiştir. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığınca depo yönetim ve dağıtım iş akışı tedarik, nakliye, depolama ve dağıtım olmak üzere 4 süreçten oluşmaktadır (EK - 1). Tedarik sürecinde afet bölgesindeki ihtiyaçlar belirlenerek gerekli malzemelerin yüklemeleri yapılır. Böylece, ana depolara nakliye süreci başlamış olur. Afet bölgesine yakın olan ana

depolar ve tampon depolara gönderilen malzemeler öncelikle buralarda depolanır. Yardım malzemeleri afet bölgesine yakın geçici depolara dağıtılarak ihtiyaç sahiplerine ulaştırılması sağlanır. (Bursa İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, 2019).

Afet yönetiminde, lojistik en temel süreçlerdendir. Afet lojistiği, ilk yardım malzemeleri, yiyecek, ekipman ya da kurtarma ekiplerinin afet bölgesine ulaştırılması ve bu belirlenen malzemelerin depolanması faaliyetlerini kapsamaktadır. Bu faaliyetlerin planlaması, uygulanması ve kontrolü afet lojistiğini oluşturmaktadır (Ersoy ve Börühan 2013).

Bir lojistik süreci içerisinde tedarik zinciri yapısı stok miktarının belirlenmesi, tesis yeri seçimi ve ağ/akış tasarımı olarak üç ana başlık altında sınıflandırılabilir. Bu unsurların optimal olarak belirlenmesinde matematiksel modeller kullanılır. Bu çalışmada, afet lojistiğinde tesis yerleşim modellerine çalışılmıştır. Literatürde afet lojistiğinde birçok tesis yerleşim modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerde yardım malzemesi dağıtım depolarının bulunduğu bölgede en uygun konuma yerleştirilmesi amaçlanırken talebin maksimum karşılanması ya da mesafenin minimum seviyede tutulması hedeflenebilir.

Afet lojistiği kapsamında yardım malzemesi dağıtım depolarının konumlarının doğru seçimi, hızlı ve etkili bir müdahale için çok önemlidir. Bu çalışmanın temel amacı önemli afet türlerinden olan depremlere yönelik olarak Bursa'da kurulabilecek yardım malzemesi dağıtım depolarının yer seçiminin yapılmasıdır. Bu çalışma, deprem sismik etkisini afet lojistiği tesis yerleşim modeli ile ilişkilendirerek kurulacak dağıtım depolarının sayısı, konumu ve talep karşılama seviyelerini belirleyecek bir matematiksel model oluşturmaktır. Çalışmanın Bursa'da yapılması planlanan afet malzemesi dağıtım noktalarının konumlandırılması aşamasında katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma beş bölüme ayrılmıştır. Birinci bölüm, çalışmanın giriş bölümü olup burada genel bilgilere yer verilmiştir. İkinci bölüm de depo seçimi ve kullanılan metotlar ile ilgili önceki çalışmalar ve sonuçları özetlenmiştir. Üçüncü bölüm bu çalışmaya özgü metodu üç adımda tanımlamaktadır. Birinci adım, her bir bölgedeki insani yardım talebinin hesaplama yöntemini vermektedir. İkinci adımda, bölgelerin deprem riskleri

hesaplanmaktadır. Üçüncü adımda, geliştirilen çok amaçlı maksimum kapsama modeli sunulmuştur. Dördüncü bölüm de bu çalışma için oluşturulan yöntemin üç ana adımı için uygulama ve analiz sonuçları ortaya konulmuştur. Son olarak, beşinci bölüm de son açıklamalar ve gelecekteki araştırma düşüncelerine yer verilmiştir.

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1.Sismik Tehlike Analizi

Deprem riskinin belirlenmesinde kullanılan iki yöntem bulunmaktadır. Birincisi tüm deprem senaryolarını analiz ederek istatistiksel bir sonuç ortaya koyan olasılıksal deprem risk analizidir. İkinci yöntem, deterministik deprem risk analizidir. Deterministik yöntem en kötü yer hareketi koşuluna göre doğrusal bir sonuç ortaya koyar. Olasılıksal yöntem deprem büyüklüğü, yeri ve tekrarlanma aralığı gibi belirsizlikler için bir analiz ortaya koymaktadır. Depremlerin, yer, zaman ve büyüklük olarak belirsizlik göstermesi risk analizinde olasılıksal modellerin kullanımını daha uygun hale getirmektedir (Erdik ve ark. 2003, C. Allin Cornell 1968).

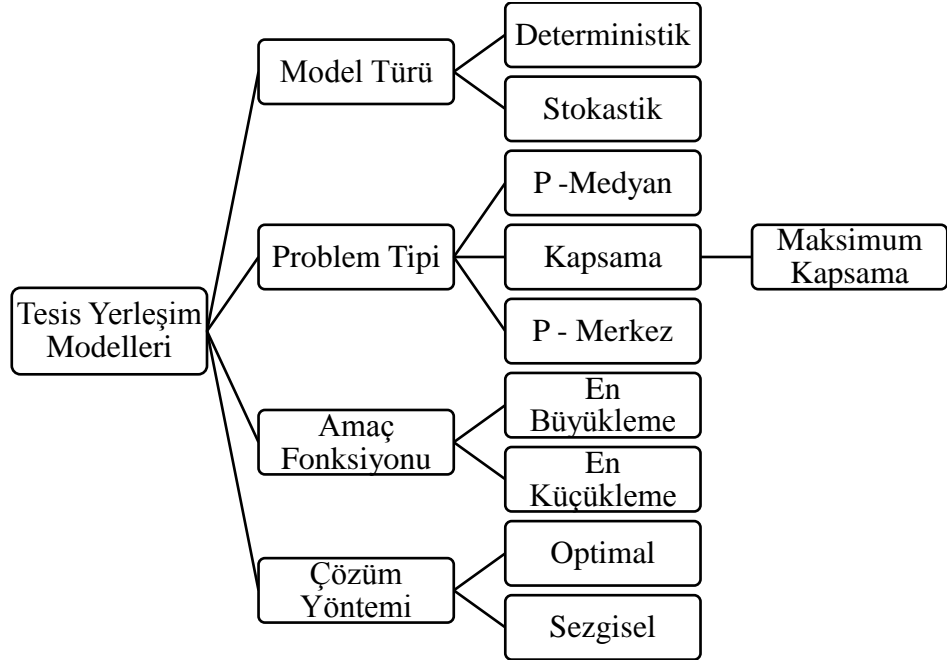
Depremlerin zamana göre oluşumu gelişigüzel bir süreç olarak alınır. Deprem riskinin tahmin edilmesi temel olarak iki modele göre yapılmaktadır. Bunlar Poisson ve Markov modelleridir. Poisson, depremlerin birbirinden bağımsız ve zaman uzayında bir Poisson süreci olarak oluştuğu varsayılır. Markov modelinde, gelecekte olabilecek depremler geçmişte olan depremlere bağlıdır (Öncel 2016). Deprem riskinin saptanmasında Poisson modeline dayanan ve geçmiş deprem verilerini genel bilgilerle birleştiren sismik risk analiz yöntemleri, ilk defa Cornell (1968), Milne ve Davenport (1969) tarafından geliştirilmiştir. Daha sonraki araştırmalarda, Cornell (1968) tarafından ortaya konan yöntemi geliştirmek için çeşitli değişiklikler önerilmiştir. Bunlar arasında deprem oluşumunun bir Markov süreci olarak alınması, büyüklük-sıklık bağıntısı, olasılıksal azalım ilişkisi ve farklı deprem oluşum modelleri yer almaktadır.

Ölçülen yer hareketleri, kuvvetli yer hareketi parametreleri için tahmin ilişkilerinin geliştirilmesini kolaylaştırmak amacıyla bir veri tabanında toplanmaktadır. Yer hareketi parametrelerinin tahmini, yaygın olarak azalım ilişkileri ile yapılmaktadır. Azalım ilişkileri, zemin koşulları, kaynak mesafesi ve büyüklüğün yanı sıra, sismik dalgaların enerji kaybını göz önünde bulundurarak yer hareketi değişiminin analitik ifadesidir. Yer hareketi azalım ilişkileri, hem deprem kayıtlarını kullanarak deneysel olarak hem de sismolojik modelleri uygularken sentetik yer hareketleri oluşturmak için teorik olarak türetilmektedir (Elnashai ve Sarno, 2008).

2.2. Afet Lojistiğinde Tesis Yerleşim Modelleri

Afet yönetiminde, lojistik en temel süreçlerdendir. Bir lojistik süreci içerisinde tedarik zinciri yapısı stok miktarının belirlenmesi, tesis yeri seçimi ve ağ/akış tasarımı olarak üç ana başlık altında sınıflandırılabilir. Bu unsurların optimal olarak belirlenmesinde matematiksel modeller kullanılır. Bu çalışmada, tesis yerleşim modellerinin afet lojistiğine uyarlanması konusuna çalışılmıştır. Literatürde afet lojistiğinde birçok tesis yerleşim modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerde yardım malzemesi dağıtım depolarının bulunduğu bölgede optimal konuma yerleştirilmesi amaçlanırken talebin maksimum karşılanması ya da mesafenin minimum düzeye getirilmesi hedeflenebilir. Bu tez çalışmasında, afet lojistiğinde tesis yerleşim modelleri ele alınmıştır.

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, bu çalışmada problem tipleri öncelikli olarak model türü ve çözüm yöntemi başlıkları altında değerlendirilmiştir. Çözüm yöntemi optimal ve sezgisel olarak sınıflandırılmıştır. Model türü parametre ve değişkenlerin belirsizlik bakımından deterministik ve stokastik modeller olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.1. Tesis Yerleşim Modelleri Sınıflandırılması

Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar, Şekil 2.1’de belirtilen tesis yerleşim modellerinin sınıflandırma metoduna göre Çizelge 2.1 elde edilmiştir.

Çizelge 2.1. İnsani Yardım Lojistiği Tesis Yerleşim Problem Tipleri

Yazarlar	Yıl	Amaç Fonksiyonu Açıklaması	Amaç Fonk.		Tesis Yerleşim Problemlerinin Sınıflandırılması				Model Tipi	Çözüm Metodu
			Enb	Enk	P-Medyan	Kapsama	Enb. Kapsama	P-Merkez		
Balçık ve Beamon	2008	Talep karşılama	×					×	Stokastik	Optimal
Battarra ve ark.	2018	Kapsama	×					×	Deterministik	Optimal
Bozorgi-Amiri ve ark.	2013	Toplam maliyeti		×	×				Stokastik	Sezgisel
Chang ve ark.	2007	Toplam maliyeti		×	×				Stokastik	Sezgisel
Chanta ve Sangsawang	2012	Talep karşılama Mesafe	×	×				×	Deterministik	Optimal
Das	2018	Kapsama Mesafe	×	×				×	Deterministik	Optimal
Dekle ve ark.	2005	Tesis sayısı		×		×			Deterministik	Sezgisel
Duran ve ark.	2011	Talep karşılama süresi		×	×				Deterministik	Optimal
Garrido ve ark.	2015	Maliyet ve süre		×	×				Stokastik	Optimal
Görmez ve ark.	2011	Tesis sayısı		×	×				Deterministik	Optimal
Hong ve ark.	2015	Toplam maliyeti		×	×				Deterministik	Optimal
Kongsomsaksakul ve ark.	2005	Süre		×	×				Deterministik	Sezgisel
				×						

Çizelge 2.1. İnsani Yardım Lojistiği Tesis Yerleşim Problem Tipleri (devam)

Yazarlar	Yıl	Amaç Fonksiyonu Açıklaması	Amaç Fonk.		Tesis Yerleşim Problemlerinin Sınıflandırılması				Model Tipi	Çözüm Metodu
			Enb	Enk	P-Medyan	Kapsama	Enb. Kapsama	P-Merkez		
Li ve ark.	2018	Kapsama	×					×	Deterministik	Optimal
Lim ve ark.	2016	Kapsama	×					×	Deterministik	Optimal
Naji-Azimi ve ark.	2012	Mesafe		×		×			Deterministik	Sezgisel
Rawls and Tumquist	2010	Maliyet		×	×				Stokastik	Sezgisel
Rawls and Tumquist	2011	Maliyet		×	×				Stokastik	Sezgisel
Tzeng ve ark.	2007	Maliyet ve süre Memnuniyet	×	×					Stokastik	Optimal
Uluğ	2003	Talep karşılama Tesis sayısı	×	×				×	Deterministik	Optimal
Yiğit	2010	Maliyet		×		×			Deterministik	Optimal
Önerilen Model		Talep karşılama Mesafe Deprem riskinin nüfus üzerindeki etkisi	×					×	Deterministik	Optimal

Literatür taraması yapılırken makaleler ve tezler dikkate alınmıştır. 2000 – 2019 yılları arasında yer alan ve aşağıdaki anahtar kelimeler kullanılarak yapılan incelemelerden elde edilen çalışmalar değerlendirilmiştir. Kullanılan anahtar kelimeler:

- Humanitarian Logistics (İnsani Yardım Lojistiği)
- Disaster Management (Afet Yönetimi)
- Disaster Logistics (Afet Lojistiği)
- Emergency Logistics (Acil Durum Lojistiği)

Balcik ve Beamon (2008) maksimum küme kapsama modeli kullanarak, dağıtım merkezlerinin sayısını, konumunu ve açılacak dağıtım merkezlerinde bulunması gereken yardım malzemelerinin miktarını belirleyen bir model geliştirmişlerdir. Önerilen model bütçe, kapasite ve çoklu ürün tipini dikkate almaktadır. Dağıtım merkezlerinin ürün tipine göre kapsama seviyeleri dikkate alınarak oluşturulan modelde depoda stok miktarları belirlenmiştir. Talep olarak mevcut bölgelerdeki nüfus ele alınmıştır. Geçmiş deprem verileri analiz edilerek deprem etki seviyelerine göre farklı senaryolar oluşturulmuştur. Farklı mesafelere göre değişken talep karşılama oranı belirlenmiştir. Ancak tüm nüfus kapsanmamıştır. Model çözümü, karışık tamsayı programlama modeli ele alınarak deterministik olarak çözülmüştür.

Battarra ve ark. (2018) maksimum kademeli kapsama modeli ile Kızılay depolarındaki malzeme stok miktarını eniyilemeyi amaçlamışlardır. Deprem sonrası etkilenecek kişilerin belirsizliğini, deprem büyüklüğü ve nüfus yoğunluğu ile ilişkilendirerek modelde talep olarak kullanılmıştır. Deprem büyüklüğünü, mesafeye göre azalım ilişkisini ele alarak bunu afet lojistiği ile ilişkilendiren ilk çalışmadır. Bu çalışmada, ele alınan talep karşılama oranı için farklı seviyeler oluşturulmuştur. Tüm talebin karşılanması sağlanmamıştır.

Bozorgi-Amiri ve ark. (2013), tedarik ve taşıma maliyetlerine odaklanan belirsizlik altında afet lojistiği için çok amaçlı bir stokastik model geliştirmişlerdir. Önerilen model toplam maliyeti minimum yapmayı amaçlayarak açılan dağıtım merkezi için uygun yerleşimi hedeflemiştir. Çok amaçlı matematiksel model uzlaşık programlama

(compromise programing) ile tek amaçlı bir matematiksel modele dönüştürülerek deterministik yöntem ile çözülmüştür.

Chang ve ark. (2007), çalışmalarında kentsel sel felaketleri kurtarma organizasyon yapısı da dâhil olmak üzere yardım dağıtım planı için iki aşamalı stokastik programlama modeli kurularak toplam maliyeti en küçüklemeyi amaçlamışlardır. Modelde stok ve talep kısıtını ceza maliyeti ile ilişkilendirmiş, bölgesel ve yerel depolar ile talep noktalarından oluşan bir tedarik zinciri yapısı oluşturulmuştur. Talepleri belirlenen bölgelerdeki nüfus yoğunluğu ile ilişkilendirilen model sezgisel yöntemlerden ortalama örneklem yakınsaması ile çözülmüştür.

Chanta ve Sangsawang (2012), çalışmasında sel felaketlerinde oluşturulacak barınma alanlarının kurulumu ve etkilenen kişilerin kurulan barınma alanlarına atanacağı iki amaçlı bir model geliştirmişlerdir. Önerilen model bölgede etkilenen kişileri maksimum seviyede kapsayacak ve kurulan tesisler arası ağırlıklı mesafeleri minimum düzeyde tutacak tesis yerleşimini ortaya koymaktadır. Çok amaçlı matematiksel model epsilon kısıt yaklaşımı ile tek amaçlı bir matematiksel modele dönüştürülerek deterministik yöntem ile çözülmüştür.

Das (2018), çalışmasında oluşacak bir afet anında bölgesel ve yerel depoların yer aldığı iki aşamalı tedarik zinciri sürecinden oluşan bir model önermiştir. Önerilen model hem tesisler arası hem de yerel depolar ile talep noktaları arası maksimum kapsama mesafesi ile ilişkilendirilmiştir. Aynı zamanda tesisler arası bağlantı ilişkileri ortaya konulmuştur. Model talep noktalarının maksimum kapsanmasını ve aynı zamanda tesisler arası mesafenin minimum olmasını amaçlar. Ancak modelde talep miktarına yer verilmemiştir. Amaç fonksiyonları bir arada çözülmüştür. Elde edilen çözümde amaç fonksiyonlarının etkileri analiz edilmiştir.

Dekle ve ark. (2005), ortalama seyahat süresini, en büyük seyahat mesafesinin ve toplam tesis sayısının minimum olmasını hedeflemişlerdir. Problem iki aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada tesis konumları belirlenmiş, ikinci aşamada ise belirlenen tesis yerleri belirlenen kriterler ile değerlendirilerek sezgisel algoritma

kullanılarak çözülmüştür. İlk aşamada elde edilen tesis sayısı ve konumları ikinci aşamaya girdi olarak eklenmiştir.

Duran ve ark. (2011), çalışmalarında doğal afetlerden insanlara zamanında ve etkili yardım için önceden konumlandırılacak en uygun depo sayısı ve yerini bulmak için karışık tam sayılı programlama modeli kurmuşlardır. Model içerisinde talep belirsizliğini son 10 yılın afetlerden etkilenen kişileri ile ilişkilendirmişlerdir. Matematiksel modele deterministik yöntem ile çözülmüştür.

Garrido ve ark. (2015), çalışmalarında sel sonrası acil yardım malzemeleri için stok seviyeleri gibi araçlarla belirli bir olasılık ile taleplerin karşılanması konusuna çalışmışlardır. Talep, sel afetinin şiddeti ile stokastik bir ilişki kurularak ihtiyaç olacak yardım malzemelerinin miktarı olarak hesaplanmıştır. Karışık tam sayılı programlama ile kurulan model, iki lojistik parametresi olan maliyet ve süreyi minimum yapmayı amaçlamıştır. Talepteki belirsizliği Monte – Carlo benzetim yöntemi ile elde etmişlerdir. Doğrusal bir modele dönüştürülerek deterministik yöntemler ile çözülmüştür.

Görmez ve ark. (2011) çalışmasında İstanbul'da oluşabilecek bir depremde önceden konumlandırılacak yardım malzemelerinin minimum tesiste konumlandırılmasını sağlayacak bir matematiksel model oluşturmuşlardır. Model aynı zamanda deprem sonrası oluşacak hasar görebilirliği dikkate almaktadır. Talepler bölgedeki oluşacak hasar görebilirlik olasılığı ve nüfus ile birlikte ele alınarak hesaplanmıştır. Ancak oluşturulan iki farklı deprem senaryosuna göre bölgelerdeki etkilenen kişiler ile ilişkilendirilmemiştir.

Hong ve ark. (2015), çalışmalarında acil durum lojistiğinde stratejik ve operasyonel planlamayı ele alan bir lojistik yapısı oluşturmuşlardır. Oluşturulan model, Güney Carolina'da daha önce oluşan yıkıcı etkideki bir depremin verileri kullanılarak çözülmüştür. Talep, bölgelerdeki nüfus ile ilişkilendirilmiştir. Model, toplam lojistik maliyetini ve açılacak tesislerden atanacak malzemelerin zarar görme olasılıklarını en küçükmeyi amaçlar.

Kongsomsaksakul ve Yang (2005), çalışmalarında sel tahliye planlaması için uygun barınma yer seçimini ele alarak iki aşamalı programlama modeli kurmuşlardır. Kurulan model tahliye süresini minimum yapmayı amaçlamıştır. Önerilen modelin uygulanabilirliğini göstermek için gerçek veriler ile test edilmiştir. Çözüm, genetik algoritma kullanılarak elde edilmiştir.

Li ve ark. (2018), çalışmalarında maksimum kapsama problemini ele almışlardır. Afet bölgesinde oluşacak talebi üç farklı senaryoda değerlendirmişlerdir. Bu senaryolarda bölgedeki nüfusun belli bir oranının etkilendiği varsayılarak senaryolar oluşturulmuştur. Afetler şiddetine göre bölgeleri etkilemektedir. Bu afet sonrası oluşacak talep belirsizliğini ortaya koymaktadır. Oluşturulan modelde farklı talep senaryoları için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Lim ve ark. (2016), çalışmalarında aşı merkezlerinin hangi bölgedeki nüfusu kapsayacağını belirledikleri dört farklı model geliştirmişlerdir. Geliştirilen modellerde kapsama seviyesine göre sağlık merkezlerinden kapsama oranlarının farklılık göstermesi modellere özgünlük sağlamaktadır. Ancak hizmet almayan nüfusun açıkta kalması ve tesislerin sabit tutulması modellerin eksikliğini ortaya çıkarmaktadır.

Naji-Azimi ve ark. (2012), bir afet alanında etkilenen kişilere yardım malzemesi temin edecek depoların konum ve sayılarını belirleyecek bir model geliştirmişlerdir. Önerilen model, aynı zamanda depolara malzeme temin edecek araç rotalarının belirlenmesini içermektedir. Depoların sabit kapsama mesafesi içinde kalan en çok talebin karşılanmasını amaçlamaktadır. Merkez depoların talep noktalarına yürüme mesafesi içerisinde olduğu varsayılmıştır. Talep belirsizliğinin dikkate alınmadığı model yerel arama metoduyla sezgisel olarak çözülmüştür.

Rawls ve Turnquist (2010), çalışmalarında fırtına ya da hortum felaketi için bir acil müdahale planı geliştirmişlerdir. İki aşamadan oluşan çalışmada depo yerleri ve stok seviyelerinin belirlenmesinde stokastik karışık tam sayılı programlama modeli kurularak en az maliyet amaçlanmıştır. İhtiyaç duyulan su, yiyecek ve tıbbi malzemelerin talepleri farklı senaryolar ile farklılaştırılmıştır. Bina ve yolların hasar

görebilirlik durumlarının yönetime dahil edilmesi özgünlüğü oluşturmaktadır. Rawls ve Turnquist (2011), bir önceki çalışmalarında kullandıkları modelin uzantısı olarak kabul edilen modele hizmet kalite kısıtları eklemiştir. Önceki çalışmada bulunan çözümler, ek hizmet kalite kısıtları eklendiğinde bulunan çözümler ile farklılık göstermektedir.

Tzeng ve ark. (2007), çok amaçlı doğrusal programlama ile kurulan modelde maliyet ve ulaşım süresini minimize etmeyi, aynı zamanda taleplerin karşılanmasını maksimize etmeyi amaçlamıştır. Problemi gerçek bir örnek üzerinde bulanık çok amaçlı lineer programlamadan yararlanarak çözmüşlerdir.

Ulug (2003), Ankara'da bulunan bir adet arama ve kurtarma birliğine ek olarak dört farklı arama ve kurtarma tesisinin en iyi şekilde yerleştirmeyi amaçlamıştır. Bu tesislerin en çok insan sayısını kapsayarak konumlandırılacak bir model geliştirmişlerdir. Model deprem ve sel afetleri için hava ya da kara yolu ile kurtarma faaliyetleri analiz edilmiştir.

Yiğit (2010), çalışmasında farklı afet türlerine göre yardım malzemelerinin stoklanacağı depoların ve bu depoların hizmet sağlayacağı bölgeleri belirlemek için çok senaryolu tam sayılı programlama modeli kurarak maliyeti minimum yapmayı amaçlamıştır. Böylece, farklı afetlerin oluşturacağı hasarların modelde yer alması özgünlüğü oluşturmaktadır.

Afet lojistiği kapsamında yardım malzemesi dağıtım depolarının konumlarının doğru seçimi, hızlı ve etkili bir müdahale için çok önemlidir. Bu çalışmada, deprem şiddetine bağlı sismik etkinin afet lojistiğinde yardım malzemesi dağıtım depolarının kurulumuna etkisi araştırılmıştır. Depremin sismik etkisi, azalım fonksiyonları ile hesaplanmaktadır. Bu yöntemler, deprem noktasının uzaklığı ve büyüklük dışında derinlik, faya olan uzaklık ve zemin tiplerine göre hesaplama yapabilmektedir. Sonuçlar en büyük ivme ve spektral ivme olarak elde edilebilmektedir. Ancak bu çalışmada, Bursa ili ve ilçelerine geniş bir açıdan değerlendirildiği için mevcut ilçelerdeki zemin koşulları ile ilgili bilgiler kullanılmamıştır. Bu yüzden deprem büyüklüğü – mesafe ilişkisi kullanılarak sismik etki olarak deprem şiddeti elde edilmiştir (Musson 2000).

Das (2018) ve Lim ve ark. (2016)'ının oluşturduğu model temel olarak alınmıştır. Bu modellere bölgelerin talepleri ve kademeli talep karşılanma seviyeleri/oranları girdi olarak eklenmiştir. Talep, deprem sonrası etkilenen kişi sayısı ile orantılı olarak dikkate alınmıştır. Çalışmada, Samardjieva ve Badal (2002)'in geliştirdiği depremde etkilenen kişi sayısının tahmin yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem afet lojistiği literatürün de ilk kez Battarra ve ark. (2018)'inin çalışmasında kullanılmıştır. Ayrıca, Gutenberg ve Richter (1954) tarafından geliştirilen yöntem kullanılarak bölgelerdeki deprem riskleri hesaplanmıştır. Çalışmada, bölgesel ve yerel depoların yer aldığı iki aşamalı tedarik zinciri sürecinden oluşan bir model önerilmiştir. Modelde talep karşılanma seviyesi/oranı kademeli olarak ele alınması ve Bursa ilçelerinin ortalama deprem risklerinin depo yerleşimindeki etkisinin karşılaştırılması çalışmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır. Ele alınan kademeli talep karşılanma seviyesi depoların talep noktalarına olan uzaklıkları ile ilişkilendirilmiş ve bu tedarik süresi olarak ele alınmıştır. Böylece, birinci talep karşılanma seviyesinde yer alacak bölgelerin maksimum kapsanması önem kazanmaktadır. Ayrıca, depolar arası mesafenin en az olması amaçlanmıştır. Bunun yanında çalışmanın özgünlüğünü de oluşturan deprem riskinin düşük olduğu ilçelere depo kurulmasının amaçlanması bir kısıt olarak eklenerek modeller yeniden çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, afet yönetimi kapsamında, yardım malzemesi dağıtım depolarının yerleşimi, sayısı ve kapsama seviyesinin belirlenmesi problemlerinde deprem riskinin etkisi ele alınmıştır. Yardım malzemelerinin afet sonrası etkilenen kişilere ulaştırılması kritik bir durumdur. Bu yüzden, bu malzemelerin saklanacağı depoların konumu tedarik süresi açısından önemli bir rol oynar. Kurulan depoların hangi bölgeleri kapsayacağını önceden belirlenmesi etkin bir afet yönetim planlaması gerekliliğidir. Ancak, bu afet depolarının yerleşim probleminde kademeli bir kapsama seviyesi belirlenerek bölgelerin birinci kapsama seviyesinde kalmasına odaklanılmıştır. Böylece, tedarik süresinin kritikliği incelenmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Etkilenen Nüfusun Belirlenmesi

Bu tez çalışmasında, talep tahmini olarak deprem sonrası bölgedeki etkilenen kişi sayısı ele alınmıştır. Literatürde, birçok makale etkilenen kişilerin belirlenmesi ile ilgili incelemeler yapmıştır (Erdik ve ark. 2014, Jaiswal ve ark. 2009, So ve Spence 2013). Etkilenen kişi sayısının belirlenmesi için geliştirilen yöntemlerden uygulanabilirliği basit ve pratik olmasından dolayı Samardjieva ve Badal (2002) çalışması ele alınmıştır. Bu yöntem daha önce Battarra ve ark. (2018) tarafından çalışmalarında kullanmıştır.

$$\log N_c = c(P) + d(P) * M \quad (3.1)$$

$$\log \left(\frac{N_{inj}}{N_c} \right) = -0,99 + 0,21 * M \quad (3.2)$$

N_c ve N_{inj} sırasıyla ölü ve yaralı sayısını belirtmektedir. Deprem büyüklüğünü M ifade etmektedir. c ve d katsayıları etkilenen bölgedeki P ortalama nüfus yoğunluğuna bağlı regresyon parametrelerini göstermektedir. Samardjieva ve Badal (2002) çalışmasında, dünya çapında elde edilen veriler analiz edilerek farklı nüfus yoğunlukları için M deprem büyüklüğüne göre 5 – 8 aralığındaki depremlerin neden olduğu etkilenen kişi

sayısına ilişkin log – lineer regresyon analizi yapmışlardır. Bunun sonucunda farklı nüfus yoğunlukları için c ve d regresyon katsayı değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3.1).

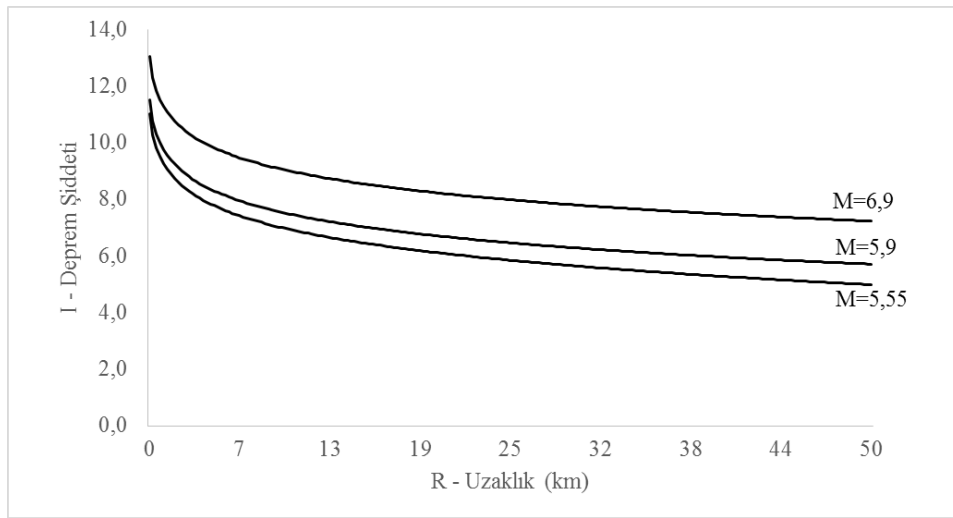
Çizelge 3.1. Nüfus yoğunluğu farklılıklarına göre regresyon katsayısı c ve d değerleri (Samardjieva ve Badal 2002)

	c	d
$P < 25$	-3,1	0,67
$25 \leq P < 50$	-3,3	0,75
$50 \leq P < 100$	-3,1	0,84
$200 \leq P < 200$	-3,2	0,92
$P \geq 200$	-3,2	0,97

Musson (2000), Ambraseys (1988a, 1988b) tarafından derlenen son 100 yılda Türkiye’de meydana gelen hasar yapıcı depremlerin şiddet dağılımlarını kullanarak en küçük kareler yöntemi ile deprem büyüklüğü ve merkez üstüne bağlı olarak şiddet azalım denklemi elde etmiştir. Elde edilen Denklem (3.3) aşağıda açıklanmıştır:

$$I = 1,063 + 1,522 * M - 1,102 * \ln R - 0,0043 * R \quad (3.3)$$

I , deprem şiddetini, M deprem büyüklüğü ve R incelenen yerin depremin merkezine uzaklığını temsil etmektedir. Şekil 3.1’de üç farklı deprem büyüklüğüne göre deprem şiddeti – mesafe ilişki eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 3.1. Deprem Şiddeti – Mesafe İlişkisi

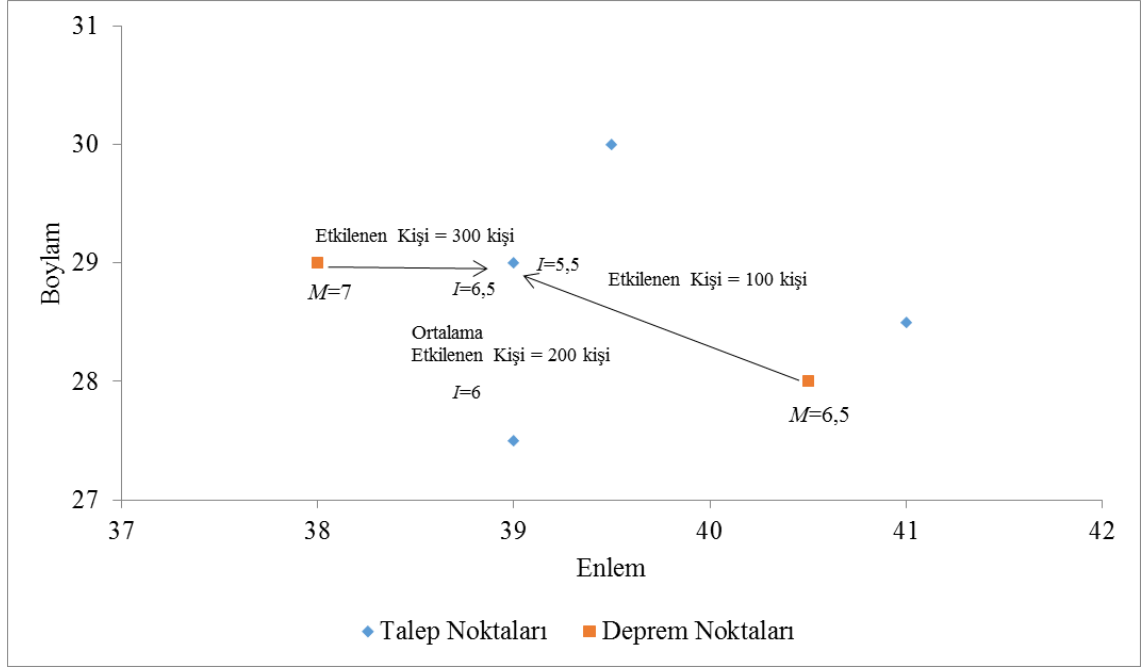
Bu bölümde, bir merkezde oluşan deprem büyüklüğünün sismik etkisi sonucu bölgelerde ortaya çıkacak etkilenen kişilerin tahmin edilmesi ele alınmıştır. Oluşturulan deprem veri setinden yıkıcı etki yaratabilecek $M \geq 6$ büyüklüğündeki depremlerin konum ve deprem büyüklükleri belirlenmiştir. Belirlenen bu deprem merkezleri Denklem (3.3) deprem büyüklüğü – mesafe ilişkisi ile sismik deprem şiddeti hesaplanmıştır.

Yöntemin açıklanması için kullanılan göstergeler de m indisi talep noktalarını, i indisi deprem noktalarını ifade etmektedir. Ortalama etkilenen kişi sayısı e_m , ortalama deprem şiddeti I_m ve I_{im} i deprem noktasının m talep noktasına olan sismik deprem şiddeti olarak belirtilmiştir. Önce Denklem (3.3) ile I_{im} tüm deprem noktalarının talep noktalarına olan sismik deprem şiddetleri elde edilir. I_m için Denklem (3.4) oluşturularak her bir talep noktasındaki ortalama deprem şiddetleri bulunur. Toplam deprem noktası N olarak gösterilmiştir.

$$I_m = \sum_{i=1}^N \frac{I_{im}}{N} \quad \forall m \quad (3.4)$$

Denklem (3.5) ortalama etkilenen kişi sayısının bulunması için elde edilmiştir. Bu denkleme göre deprem büyüklüğünün sismik etkisini Denklem (3.16)'da şiddet olarak elde ettiğimizden Denklem (3.14) ve Denklem (3.15)'de deprem büyüklüğü olarak belirtilen M yerine sismik deprem şiddeti I_{im} kullanılmıştır. Böylece her bir deprem noktasının talep noktalarında oluşturacağı etki sonucu ortaya çıkacak etkilenen kişi sayısı ortalaması alınmıştır.

$$e_m = \sum_{i=1}^N \frac{N_{inj}(I_{im})}{N} \quad \forall m \quad (3.5)$$



Şekil 3.2. Ortalama Etkilenen Kişi Hesaplama Örneği

Şekil 3.2’de örnek bir ortalama etkilenen kişi sayısı hesaplaması gösterilmiştir. Buna göre $M = 7$ ve $M = 6,5$ büyüklüğünde iki deprem noktası ele alınmıştır. Bu deprem noktalarının bir talep noktasına olan uzaklıkları sonucu sismik deprem şiddetleri sırasıyla $I = 6,5$ ve $I = 6$ olarak elde edilir. Bu değerlere ve o talep noktasının nüfus yoğunluğuna göre etkilenecek kişi sayıları sırasıyla 300 ve 100 kişi olarak elde edilir. Bu talep noktasının ortalama etkilenen kişi sayısı 200 olarak bulunur.

3.1.2. Deprem Oluşumunda Poisson Modeli

Poisson dağılımı birbiri ile ilgisi olmayan olayların oluş sayısını modellemek için kullanılan bir yöntemdir. Denklem (3.6) ile Poisson dağılım fonksiyonu gösterilmiştir.

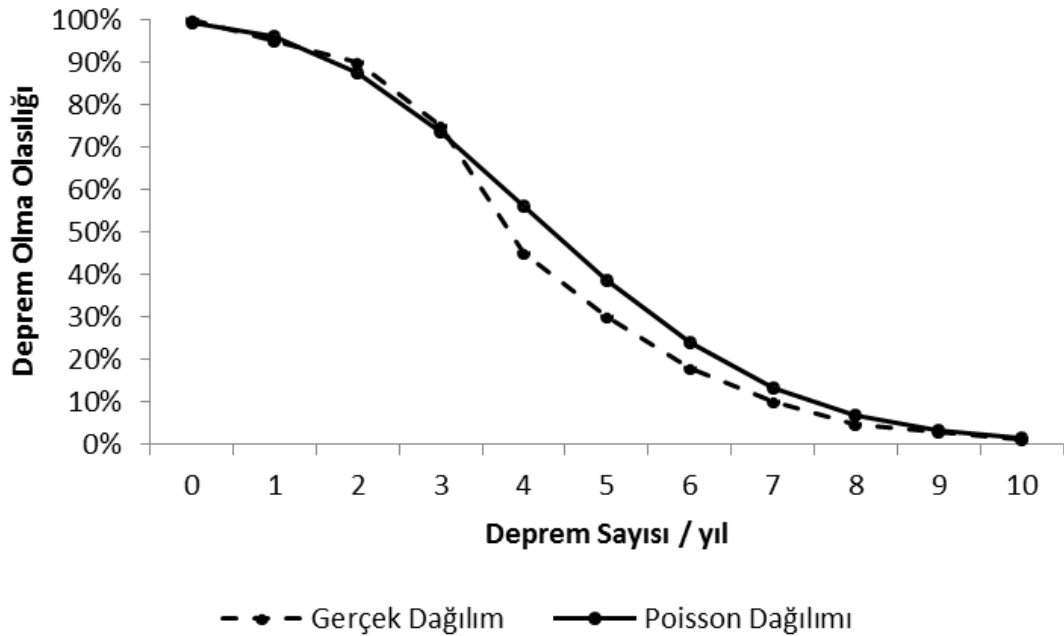
$$f(k; \lambda) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (3.6)$$

Denklem (3.6)’da, k istenen olayların meydana gelme sayısıdır. Poisson dağılımı tek parametrelili bir dağılım olarak bilinmektedir ve dağılımın parametresi λ ’dir.

Depremlerin olma olasılıkları, konum ve zaman açısından birbirinden bağımsız olduğu varsayılarak Poisson olasılık dağılımı ile basit bir şekilde elde edilebilir (Cornell 1968). En yaygın olarak kullanılan deprem oluşum modeli Poisson dağılım modelidir. Bu modelde deprem oluşumunun bir Poisson süreci olduğu ve M deprem büyüklüğünün birbirinden bağımsız olarak dağıldığı varsayılır. Bu varsayımlar altında, δt zaman aralığında deprem büyüklükleri M 'den büyük N adet depremin meydana gelmesi olasılığı Denklem (3.7) ile tanımlanmaktadır. Burada λ , birim zamandaki deprem sayısıdır.

$$P(N; \delta t) = \frac{\lambda t^N e^{-\lambda \delta t}}{N!} \quad (3.7)$$

Gerçek dağılım maksimum değeri çevresinde Poisson dağılımının altında uzanmakta ve eğrinin uç kısımlarında ise onu kesmektedir. Bundan dolayı, gerçek dağılımın Poisson dağılımından sapması veya her iki dağılım arasındaki farklılık ortalama değer çevresinde pozitif ve her iki uçta negatif olmaktadır. Böylece, bir deprem olduğunda başka depremlerin olma olasılığı artmakta veya bazı bilinmeyen nedenlerle depremlerin bir grup veya deprem fırtınası şeklinde olma olasılıkları ortaya çıkmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Deprem Olasılık Dağılımları

Poisson dağılım modelinde birikimli olasılık dağılımı; yani δt zaman aralığında N veya daha az deprem bulunması olasılığı Denklem (3.8) ile ifade edilir;

$$F(n; \delta t) = \sum_{k=0}^N \frac{(\lambda \delta t)^k}{k!} e^{-\lambda \delta t} \quad (3.8)$$

Poisson sürecinde deprem oluşları arasındaki zamanlar negatif üssel dağılım gösterirler:

$$P(t) = -\lambda e^{-\lambda t} dt \quad (3.9)$$

Denklem (3.9)'de P , λ deprem büyüklüğündeki bir depremin, $(t, t + dt)$ zaman aralığı içerisinde olma olasılığıdır. Buna karşılık gelen yığınsal dağılım fonksiyonu Denklem (3.10) ile tanımlanmaktadır. $F(t)$, λ deprem büyüklüğündeki veya daha küçük depremlerin verilen bir zaman aralığında t olma olasılığıdır.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3.10)$$

3.1.3. Deprem Oluşumunda Büyüklük Sıklık İlişkisi

Deprem büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak depremlerin oluş sıklıklarını belirlemekte yaygın olarak Gutenberg ve Richter (1954) tarafından geliştirilen Denklem (3.11) kullanılmaktadır. Bu yöntemde elde edilen deprem olma olasılığı ya da deprem riski fonksiyonu Poisson dağılımı ile elde edilmiştir.

$$\text{Log } N(M) = a - bM \quad (3.11)$$

Burada $N(M)$ birikimli frekansları, M deprem büyüklüğünü ifade etmektedir. Bu yöntemde Denklem (3.3)'de elde edilen talep noktalarındaki I_m ortalama deprem şiddeti kullanılmıştır. Gutenberg ve Richter (1954) tarafından geliştirilen bağıntı her deprem büyüklük aralığı için lineer özellik göstermemektedir. Bağıntıda ifade edilen a ve b parametrelerinin hesaplanmasında genel olarak En Küçük Kareler yöntemi

kullanılmaktadır. Bu yöntemle göre a ve b parametreleri Denklem (3.12) ve Denklem (3.13) ile hesaplanır.

$$\sum_{i=1}^n \log N_i = an - b \sum_{i=1}^n M_i \quad (3.12)$$

$$\sum_{i=1}^n M_i \cdot \log N_i = a \sum_{i=1}^n M_i - b \sum_{i=1}^n M_i^2 \quad (3.13)$$

Burada n deprem büyüklüklerinin sınıflandırılması sonucu ortaya çıkan toplam grup sayısını, i indisi grupları ifade etmektedir. Birikimli ve normal frekans arasındaki ilişkiden a' Denklem (3.14) elde ediliyor. Deprem büyüklüğü ve sıklık arasındaki ilişkinin belirli bir T_1 zaman periyoduna bölünmesinden Denklem (3.15) oluşturulur. Bu denklemin her iki tarafının logaritması alınarak Denklem (3.16) ve Denklem (3.17) elde edilir (Sayıl ve Osmanşahin 2008).

$$a' = a - \log(b \ln 10) \quad (3.14)$$

$$\frac{N(M)}{T_1} = \frac{10^{a-bM}}{T_1} \quad (3.15)$$

$$\log(N(M)T_1) = a - bM - \log T_1 \quad (3.16)$$

$$N(M > M_1) = 10^{a-bM-\log T_1} \quad (3.17)$$

$$a'_1 = a' - \log(T_1) \quad (3.18)$$

$$N(M) = 10^{a'_1-bM} \quad (3.19)$$

Son ifadeden Denklem (3.18) ile a'_1 hesaplanır. Elde edilen Denklem (3.19) belirli bir dönem içinde verilen bir M magnitüdüne eşit veya büyük olan depremlerin yıllık ortalama oluş sayılarını ifade etmek için kullanılır. Aynı zamanda Poisson dağılımında

λ 'yı ifade etmektedir. Bir bölgedeki T zaman periyodunda herhangi bir M magnitüde sahip bir depremin oluşturacağı sismik riski belirlemek için Denklem (3.20) kullanılmaktadır. O bölgedeki meydana gelecek depremlerin tekrarlanma sıklığı ise Denklem (3.21) ile hesaplanmaktadır.

$$R(M) = 1 - e^{-N(M)T} \quad (3.20)$$

$$Q = \frac{1}{N(M)} \quad (3.21)$$

3.1.4. Çok Amaçlı Karma Tamsayı Programlama ve Çözüm Yöntemleri

Karar değişkenlerinin tümünün birinci dereceden olması ve sürekli olmasına doğrusal programlama modeli denirken; bu değişkenlerin tümünün tamsayı olmasına tamsayı programlama modeli adı verilir. Karar değişkenlerinden bir kısmının tam sayı, bir kısmının sürekli olmasına karma tamsayı programlama denir. Karar değişkenleri sadece 0 veya 1 değerlerini alacak ise, 0-1 programlama modeli ikili tamsayı programlama modeli denir (Winston 1991).

Tamsayı programlama modelinin standart formunun oluşturulması için aşağıdaki gösterim kullanılmıştır:

i, j, k : indis

Z_k : Amaç fonksiyonu

x_j : Karar değişkenleri

c_j : Karar değişkenlerinin amaç fonksiyonu maliyet katsayısı

e_j : Karar değişkenlerinin amaç fonksiyonu stok katsayısı

a_{ij} : Karar değişkenlerinin girdi katsayısı

b_i : Sınırlı kaynak miktarı

m : kısıt sayısı

n : değişken sayısı

Aşağıdaki modelde çok amaçlı bir karma tamsayı programlama modeli örneği gösterilmiştir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{En küçük } Z_1 = \sum_{j=1}^n e_j x_j \quad (3.22)$$

$$\text{En küçük } Z_2 = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (3.23)$$

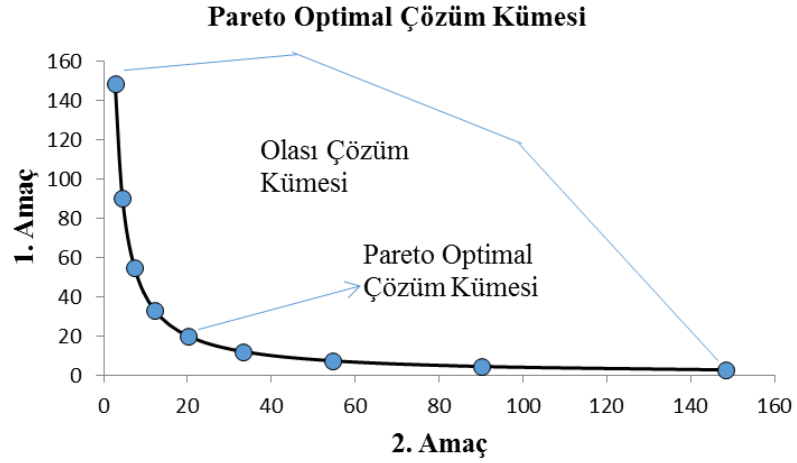
Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \{ \geq, =, \leq \} b_i, \quad \forall i (i = 1, \dots, m) \quad (3.24)$$

$$x_j \geq 0; x_j \in \mathbb{Z} \quad \forall j (j = 1, \dots, p) \quad (3.25)$$

$$x_j \geq 0 \quad \forall j (j = p, \dots, n) (p \leq n) \quad (3.26)$$

Çok amaçlı programlama modelleri birden fazla amacın eş zamanlı optimize edilmesini amaçlamaktadır. Çoğu zaman bu amaçlar, tüm kısıtları eş zamanlı olarak çözemez. Bu nedenle, bir optimal çözümler kümesi oluşur. Bu küme pareto optimal küme olarak adlandırılır (Şekil 3.4). Tek amaçlı problemlerde bir tek en iyi çözüm vardır. Çözümler iyiden kötüye sıralanabilir. Ancak, çok amaçlı programlama modellerinde pareto optimal çözüm elde edilir. Çözüm kümesinde bir amaca göre iyi olan çözüm, diğer amaca göre kötü olabilir. Asıl amaç, pareto kümesini elde ederek karar vericiye alternatif çözümler sunmaktır (Ergül 2010).



Şekil 3.4. Pareto Optimal Çözüm Kümesi

Çok amaçlı matematiksel modellerde pareto noktalarının bulunmasında uygulanan bir diğer yöntem epsilon kısıt yöntemidir. Bu yöntemde, amaç fonksiyonlarından bir tanesi ana amaç fonksiyonu seçilerek diğer amaç fonksiyonları kısıta eklenmektedir. Yukarıda belirtilen çok amaçlı karma tamsayı programlama modelinin epsilon kısıt yöntemine göre gösterimi matematiksel olarak aşağıda gösterilmiştir:

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{En küçük } Z_1 = \sum_{j=1}^n e_j x_j \quad (3.27)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \{ \geq, =, \leq \} b_i, \quad \forall i (i = 1, \dots, m) \quad (3.28)$$

$$x_j \geq 0; x_j \in \mathbb{Z} \quad \forall j (j = 1, \dots, p) \quad (3.29)$$

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \leq \varepsilon \quad (3.30)$$

$$x_j \geq 0 \quad \forall j (j = p, \dots, n) (p \leq n) \quad (3.31)$$

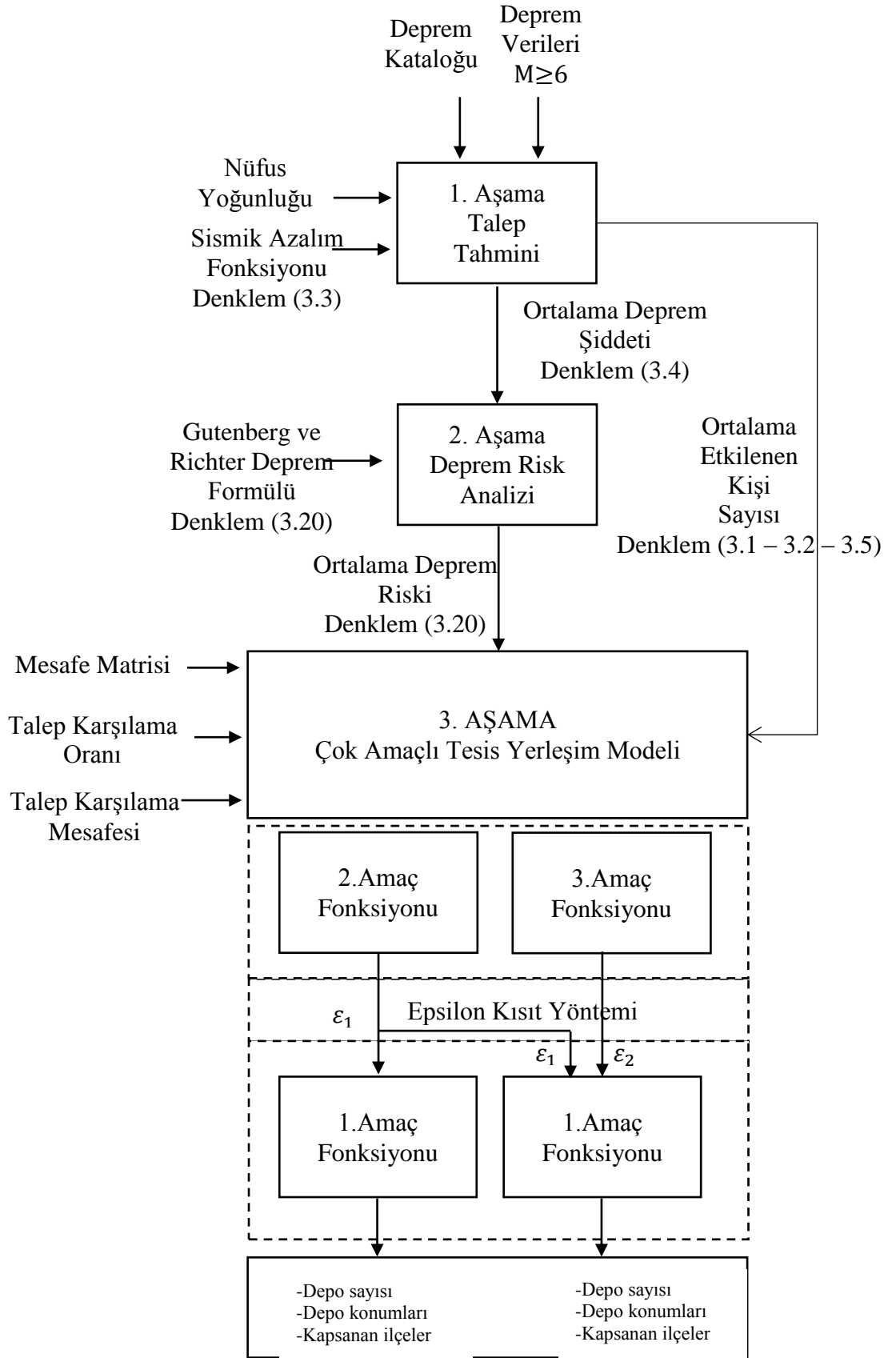
Belirtilen modelde Z_1 ana amaç fonksiyonu seçilmiştir. Buna göre öncelikle Z_2 amaç fonksiyonu modelde tek olarak çözümlenerek elde edilen sonuç ε sınırı ile kısıta eklenir. Sonrasında eklenen kısıt ile birlikte Z_1 amaç fonksiyonu ile model yeniden çözülür.

3.2. Yöntem

Bu tez çalışmasında, afet lojistiği yardım malzemesi dağıtım depolarının yerleşimi, sayısı ve kapsama seviyesinin belirlenmesi problemine çalışılmıştır. Deprem mühendisliğinin ilgilendiği iki farklı konuyu afet lojistiğine uyarlamaya odaklanılmıştır. Birinci konu, bölgelerin deprem risklerinin o bölgede depo açılmasına etkisinin araştırılmasıdır. İkinci konu, deprem bölgesinde etkilenen kişi sayılarının tahmin edilmesidir. Yardım malzemelerinin afet sonrası etkilenen kişilere ulaştırılması kritik bir durumdur. Bu yüzden, bu malzemelerin stoklanacağı depoların konumu tedarik süresi açısından önemli bir rol oynamaktadır. Kurulan depoların hangi bölgeleri kapsayacağını önceden belirlenmesi etkin bir afet yönetim planlaması gerektirmektedir. Ancak, bu çalışılan afet depoları yerleşim probleminde kademeli bir kapsama seviyesi belirlenerek bölgelerin birinci kapsama seviyesinde kalmasına odaklanılmıştır. Böylece, tedarik süresinin kritikliği incelenmiştir. Çalışmada önerilen yöntemin ana başlıkları aşağıda açıklanmıştır:

1. Talep Tahmini: Meydana gelen depremin büyüklüğü ve o bölgedeki nüfus yoğunluğuna bağlı olarak o bölgede etkilenecek kişi sayısının tahmin edilmesi sağlanır.
2. Deprem Risk Analizi: Bir depremden potansiyel olarak etkilenebilecek her bölge için deprem riski hesaplanır (Bir bölgede oluşan deprem sayısı, sıklığı ve büyüklüğü o bölgenin deprem riskini oluşturur).
3. Tesis Yerleşim Modeli: Oluşturulan tesis yerleşim modeline, önceki adımda hesaplanan deprem riskleri ve etkilenen kişi sayısı eklenmiştir. Çok amaçlı bir karma tamsayılı programlama modeli oluşturulmuştur.

Belirtilen yöntemdeki aşamaların girdi ve çıktı ilişkilerinin özeti Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için öncelikle incelenecek bölgenin deprem veri setinin oluşturulması gerekmektedir.



Şekil 3.5. Yöntem Girdi – Çıktı İlişkisi

3.2.1. Önerilen Matematiksel Model

Bu bölümde, afet lojistiğinde yardım malzemesi vb. dağıtım depolarının yerleşim modeli açıklanmıştır. Modelde önerilen yöntem ile talep tahmin ve bölgelerin deprem riskleri ele alınmıştır.

Bu çalışmada, çok amaçlı bir matematiksel model oluşturulmuştur. Bölgelerin talepleri o bölgede ortalama etkilenen kişi sayısı ile ilişkilendirilmiştir. Modelde, birinci talep karşılama seviyesinde yer alacak talebin maksimum karşılanması, bölgesel ve yerel depolar arası mesafeler ve depoların kurulacağı ilçelerin talep ağırlıklı deprem riskinin minimum olması amaçlanmıştır.

Bu amaçla, Das (2018) ve Lim ve ark. (2016)'ı tarafından önerilen matematiksel modeller ele alınmıştır. Lim ve ark. (2016)'ının önerdikleri modelde kapsama seviyesine göre talebin karşılanma oranının mesafelere göre değişkenlik göstermesi sonucu tüm talebi karşılanmayan bölgelerin bulunması ve Das (2018)'de talep göz ardı edilmesi konuları birleştirilerek yeni bir model oluşturulmuştur. Modele, etkilenen kişilerin ihtiyaçlarının karşılanacağı depo ve talep karşılama seviyesini belirleyecek değişken eklenmiştir.

Matematiksel model varsayımları:

- Sınırlar ile birbirinden ayrılmış ilçelerin her birine potansiyel olarak bir depo kurulabileceği,
- Her bir ilçenin aynı zamanda bir bölgesel talebe karşılık geldiği,
- Deponun ilçenin herhangi bir yerine kurulabilse de deponun ilçe merkezine kurulacağı,
- Uzaklık olarak ilçelerin merkezleri arasındaki karayolu uzaklığının esas alınacağı,
- İlçelerin nüfus yoğunluğunun merkezlerde olduğu,
- Modelde ele alınan kademeli talep karşılama seviyeleri gruplandırılarak;
 - $D_1 < D_2 < \dots < D_k$ mesafeleri için talep karşılama oranı $1 = \alpha_1 > \alpha_2 > \dots > \alpha_k$ şeklinde oluşturulur.

- Eğer kurulacak deponun kendisi ile D_1 mesafesi arasında talep noktası var ise talep bu depodan karşılanacak ise α_1 talep karşılama oranını alır.
- Eğer kurulacak deponun D_1 ile D_2 mesafesi arasında talep noktası var ise talep bu tesisten karşılanacak ise α_2 talep karşılama oranını alır.
- Eğer kurulacak deponun D_{k-2} ile D_{k-1} mesafesi arasında talep noktası var ise talep bu depodan karşılanacak ise α_{k-1} talep karşılama oranını alır.
- Eğer kurulacak deponun D_{k-1} ile D_k mesafesi arasında talep noktası var ise talep bu depodan karşılanacak ise α_k talep karşılama oranını alır.
- Eğer kurulacak deponun D_k mesafesi dışında kalan talep noktalarını kapsamıyor.
- İlçelerin tüm taleplerinin karşılanacağı,
- Birinci talep karşılama seviyesi dışında kalan ilçelerin taleplerinin birden fazla depodan karşılanacağı varsayılmıştır.

İndis:

i : ilçe/depo indisi, $i = 1 \dots N$

j : ilçe/depo indisi, $j = 1 \dots N$

m : ilçe/talep indisi, $m = 1 \dots N$

k : kapsama seviyesi, $k = 1 \dots K$

Parametreler:

d_{ij} : i ilçesindeki depo ile j ilçesindeki depo arasındaki karayolu uzaklığı (km)

e_m : m ilçesindeki ortalama etkilenen kişi sayısı

D_k : k . talep karşılama seviyesi (km)

p_j : j ilçesinin ortalama deprem riski

α_k : $D_k - D_{k-1}$ karşılama seviyesi arasında kapsadığında talep karşılama oranı

C : yerel/bölgesel depolar arası maksimum ulaşım mesafesi (km)

Karar Değişkenleri:

$l_j = \begin{cases} 1, & j \text{ ilçesine yerel depo açılıyor ise} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}$

$$r_j = \begin{cases} 1, j \text{ ilçesine bölgesel depo açılıyor ise} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$$

$$o_{ij} = \begin{cases} 1, i \text{ ilçesindeki yerel/bölgesel depo, } j \text{ ilçesindeki yerel depo ile bağlantılı ise} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$$

$$y_{mjk} = \begin{cases} 1, m \text{ ilçesindeki talep } y \text{ ilçesindeki depodan } k \text{ seviyesinde karşılanıyor ise} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases}$$

$$z_j^1 = j \text{ ilçesinde kurulan deponun 1. seviyede talep karşılama miktarı}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{En Büyük } \sum_j^N z_j^1 \quad (3.32)$$

$$\text{En Küçük } \sum_j^N \sum_j^N d_{ij} o_{ij} \quad (3.33)$$

$$\text{En Küçük } \sum_j^N \left[p_j \left(\sum_m^N e_m (l_j + r_j) \right) \right] \quad (3.34)$$

Kısıtlar:

$$\sum_j^N \sum_k^K y_{mjk} \alpha_k = 1 \quad \forall m \quad (3.35)$$

$$\sum_j^N r_j = 1 \quad (3.36)$$

$$l_j + r_j \leq 1 \quad \forall j \quad (3.37)$$

$$y_{mjk} \leq l_j \quad \forall k \quad \forall D_{k-1} \leq d_{mj} \leq D_k \quad (3.38)$$

$$l_j + r_j \leq \sum_{i \in N | d_{ij} \leq C} l_i \quad \forall j \quad (3.39)$$

$$o_{ij} \leq l_j \quad \forall d_{ij} \leq C \quad (3.40)$$

$$o_{ij} \leq l_i + r_i \quad \forall d_{ij} \leq C \quad (3.41)$$

$$o_{ij} \geq l_i + l_j + r_i - 1 \quad \forall d_{ij} \leq C \quad (3.42)$$

$$l_j \leq \sum_i^N o_{ij} \quad \forall j \quad (3.43)$$

$$r_j \leq \sum_i^N o_{ij} \quad \forall j \quad (3.44)$$

$$z_j^1 = \sum_m^N e_m y_{mjk} \alpha_k \quad \forall j, \forall m, k = 1 \quad (3.45)$$

$$l_j, r_j, o_{ij}, y_{mjk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, \forall j, \forall m \quad (3.46)$$

$$z_j^1 \geq 0 \quad \forall j \quad (3.47)$$

Model üç farklı amaç fonksiyonundan oluşmaktadır. (3.32) ile verilen amaç fonksiyonu, açılacak depoların birinci talep karşılama seviyesinde maksimum etkilenen kişiyi kapsanmasını amaçlamaktadır. (3.33) ifadesinde verilen amaç fonksiyonu ile konumlandırılan depolar arası mesafenin minimize edilmesi hedeflenmektedir. Oluşturulan modele (3.34) ifadesi eklenerek ilçelerin ortalama deprem risklerinin tesis yerleşimine etkisini göstermek için Hong ve ark. (2015) tarafından oluşturulan amaç fonksiyonu uyarlanmıştır. Yerel ve bölgesel depoların kurulacağı ilçelerin daha az deprem riski olan ilçelere kurulmasını amaçlamaktadır. Böylece, deprem riski daha az olan ilçeye depo kurulması hedeflenmektedir. Denklem (3.35), ilçelerde oluşan talebin hangi oranda hangi ilçeden karşılanacağını belirler. Denklem (3.36), oluşturulan iki aşamalı bir tedarik yapısı içinde sadece bir bölgesel deponun olmasını sağlar. (3.37) kısıtı, yerel depoların bölgesel depo ile aynı ilçeye konumlandırılmamasını sağlar. (3.38) kısıtı, kurulan bir deponun talep karşılama seviyelerinde hangi ilçeleri kapsayabileceğini belirler. (3.39) kısıtı, kurulacak bir yerel ya da bölgesel deponun diğer depo ile arasında maksimum 2 saatlik ya da 100 km ulaşım süre/mesafesinde olmasını sağlar. (3.40 - 3.42) kısıtları, ulaşım kısıtlarını sağlar. Eğer i ilçesindeki yerel ya da bölgesel depo, j ilçesindeki depo arasında 2 saatlik ulaşım süresinden düşük ise bu iki depo arasında bağlantı kurulabilir. (3.43) ve (3.44) kısıtları, oluşturulan tedarik ağının depolar arası bağlantısını garanti etmektedir. Denklem (3.45), depoların 1.

seviyede talep karşılama miktarını ifade etmektedir. (3.46) ve (3.47) ifadeleri, karar değişkenlerini göstermektedir.

Önerilen çok amaçlı model epsilon kısıt metodu kullanılarak yeniden formüle edilmiştir. Epsilon kısıt yöntemi Haimes ve ark. (1971) tarafından geliştirilmiştir. Literatürde çok kullanılan yöntemlerden biridir. Modeldeki birincil amacımız açılacak bir afet malzeme deposunun birinci talep karşılama seviyesinde maksimum etkilenen kişiyi kapsamasıdır. Bu yüzden, birinci amaç fonksiyonu sabit tutularak diğer amaç fonksiyonları epsilon kısıt metoduna göre düzenlenmiştir.

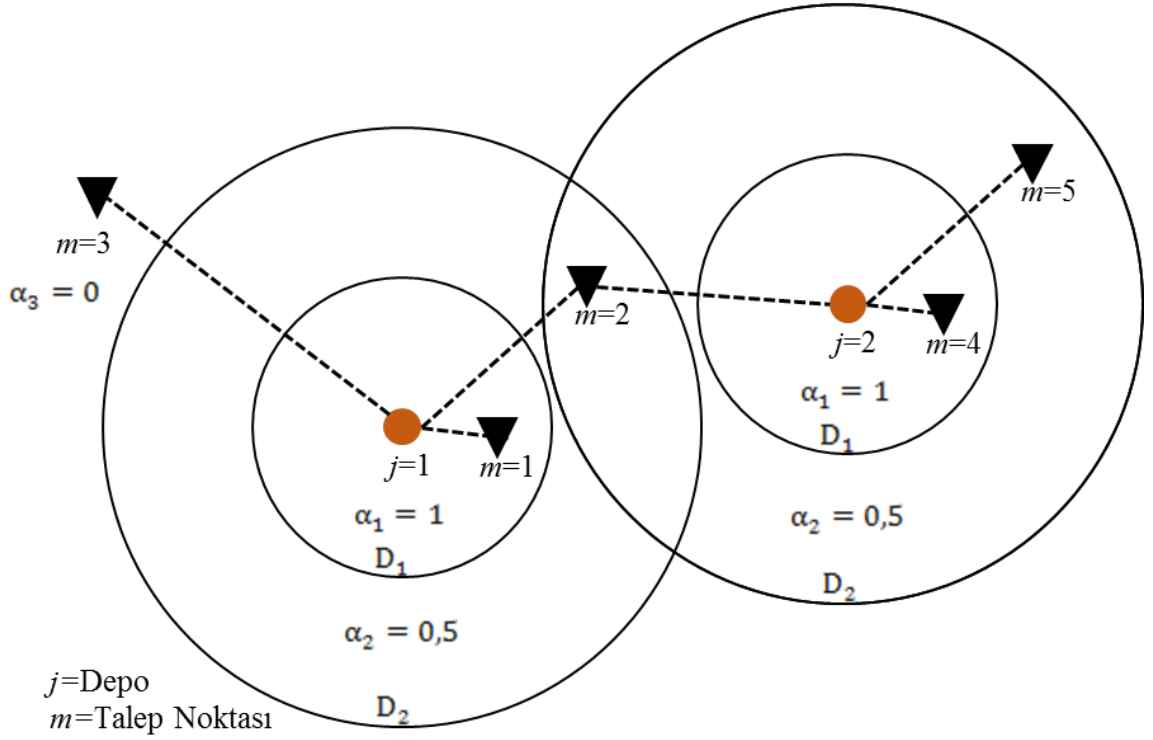
Çözüm metodu aşağıda yer almaktadır;

1. Önce ikinci amaç fonksiyonunu en küçüklenecek model çözülür.
2. Sonra üçüncü amaç fonksiyonu en küçüklenecek model çözülür. Böylece üçüncü amaç fonksiyonunun minimum değeri elde edilir.
3. Bu iki amaç fonksiyonu için başlangıç ε sınırları minimum değerler alınarak oluşturulan Denklem (3.48) ve (3.49) kısıtları modele eklenir.
4. Yeni kısıtlar ile birlikte birinci amaç fonksiyonu en büyüklenecek model çözülür.
5. Uygun bir çözüm çıkmıyor ise adım 3'e geri dönülür ve ε sınırları artırılarak model yeniden çözülür.

Böylece, uygun çözüm kümesi içinde depolar arası mesafenin ve talep ağırlıklı deprem risklerinin en küçüklediği birinci kapsama seviyesinde en çok talebin karşılanacağı çözüm elde edilmiş olur. Model, önce (3.48) kısıt olarak eklenerek çözülür. Sonra (3.48) ile birlikte (3.49) kısıt olarak eklenerek deprem riskinin depo yerleşimine etkisi bulunmuş olur.

$$\sum_j^N \sum_j^N d_{ij} o_{ij} \leq \varepsilon_1 \quad (3.48)$$

$$\sum_j^N \left[p_j \left(\sum_m^N e_m (l_j + r_j) \right) \right] \leq \varepsilon_2 \quad (3.49)$$



Şekil 3.6. Matematiksel Model için Örnek Çözüm

Yukarıdaki varsayımları dikkate alarak Şekil 3.6'da D_1 ile D_2 gibi iki talep karşılama seviyesinden oluşan bir model ele alınmıştır. Model tüm taleplerin karşılanmasını garanti etmektedir. Bu yüzden model içerisinde $m = 2$ talep noktası $\alpha_2 = 0,5$ ikinci seviye talep karşılama seviyesinde olmasından dolayı talep iki farklı depodan karşılanmaktadır. Bunun dışında, $m = 3$ talep noktası Şekil 3.6'deki iki depo tarafından da kapsanmadığı için başka bir depodan karşılanması gerekmektedir. Bu yüzden yeni bir depo açılması gerekir. Birinci kapsama seviyesinde yer alan $m = 1$ ve $m = 4$ talep noktalarının tüm talepleri bir depodan karşılanmaktadır.

4. BULGULAR

Bu tez çalışmasında, geliştirilen yöntem ve model için uygulama alanı olarak Bursa ili ve ilçeleri dikkate alınmıştır (Şekil 4.1). Geliştirilen modelin uygulanması için gerekli veriler:

- Deprem kataloğu – Deprem Verileri
- İlçeler
- İlçe nüfusları
- İlçe nüfus yoğunluğu
- İlçe koordinatları (EK - 3)
- İlçeler arası karayolu uzaklık matrisi (EK - 2)
- İlçeler ve deprem üssü arası uzaklık matrisi (EK - 3)
- Deprem senaryosu sonucu oluşan sismik etki diyagramı (mesafe – şiddet)

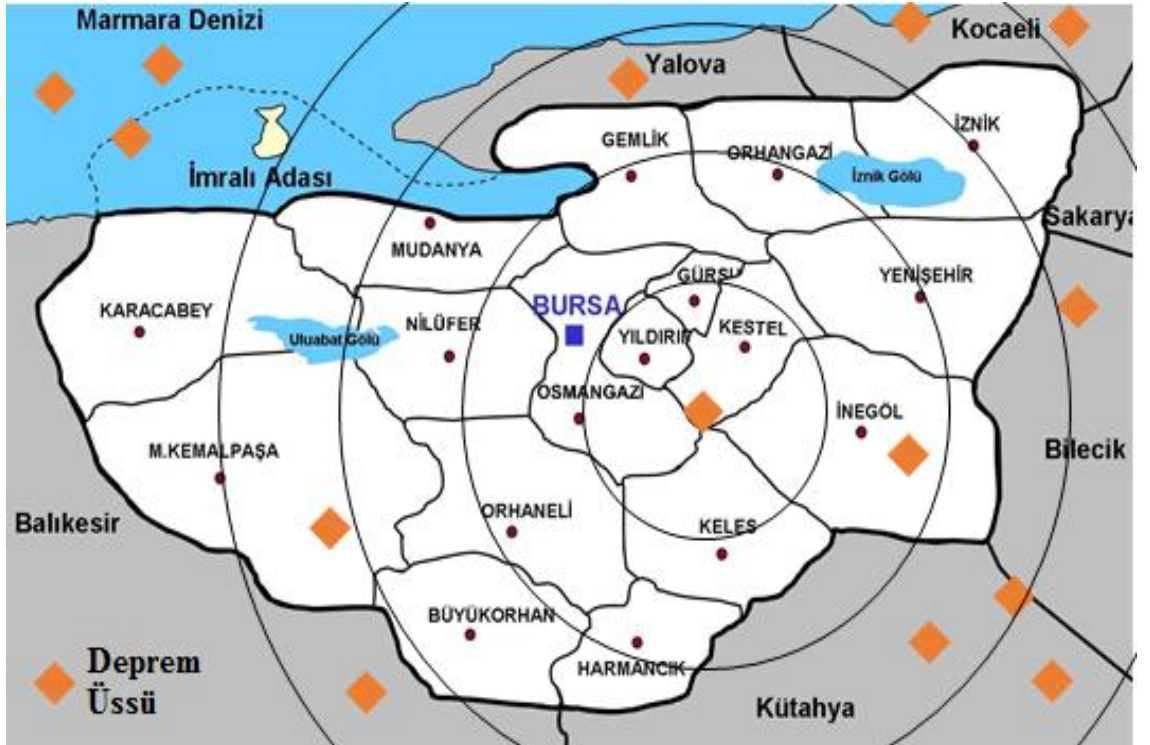
Çalışmada, Bursa'nın deprem risk tahmini için oluşturulan deprem kataloğu Boğaziçi Üniversitesi – Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden elde edilmiştir (<http://www.koeri.boun.edu.tr>). Deprem riskinin sadece incelenen yerde olabilecek depremlere bağlı olmayacağı, aynı zamanda yakın çevrede meydana gelebilecek depremlerden de etkileneceği açıktır. Bu nedenle coğrafi koordinat olarak 29,06° boylamı ile 40,26° enlemi kesişiminde bulunan Bursa il merkezinin 150 km yakınlığında 01.01.1900 – 21.04.2019 tarihleri arasında meydana gelen $M \geq 3,5$ büyüklüğünde bütün depremler dikkate alınmıştır. Veri seti 1638 adet deprem hareketinden oluşmaktadır.

Bölüm 4.1'de oluşturulan deprem kataloğundan Bursa'yı etkileyebilecek $M \geq 6$ büyüklüğünde depremlerin ilçelerde etkileyeceği kişi sayıları hesaplanmıştır. Böylece, ilçelerde etkilenen ortalama kişi sayıları tespit edilmiştir. Bölüm 4.2'de Bursa ilinin ve ilçelerinin deprem riskleri belirlenmiştir. Bölüm 4.3'de önerilen model çözümü ve sonuçlar gösterilmiştir.

4.1. Etkilenen İnsan Sayısının Tahmin Edilmesi

Bursa'yı etkileyebilecek $M \geq 6$ büyüklüğünde depremler seçilerek ilçe merkezlerine olan sismik etkileri incelenmiştir. Bunun sonucunda oluşturulan deprem kataloğundan 14 adet deprem seçilmiştir. Bu depremlerin büyüklük ve konumları dikkate alınarak ilçe merkezlerine olan etkileri hesaplanmıştır. Bu sismik etki için Denklem (3.16) kullanılmıştır (Şekil 4.1).

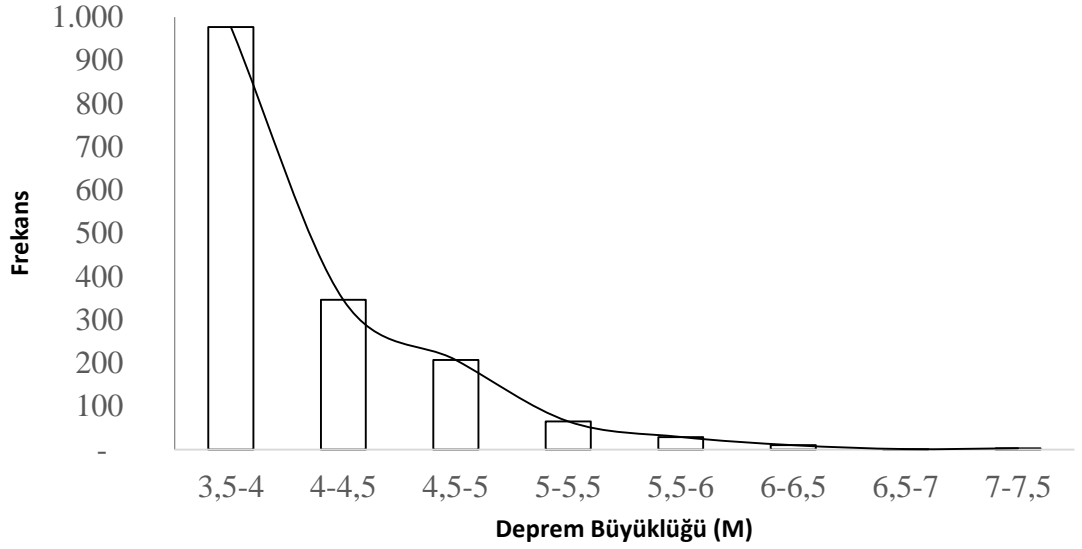
Denklem (3.3) ile ilçelerdeki 14 farklı deprem noktası için deprem sismik etkileri hesaplanarak elde edilen deprem şiddeti ve ilçelerin nüfus yoğunluklarına göre Çizelge 3.1'de c ve d regresyon katsayı değerleri Denklem (3.1) ve Denklem (3.2)'de kullanılmıştır. Böylece 14 farklı deprem noktasının Bursa'nın 17 ilçesi için etkilenen kişi sayıları hesaplanmıştır. Denklem (3.5) ile her bir ilçenin ortalama etkilenen kişi sayısı elde edilerek modelde talep olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4.3).



Şekil 4.1. Deprem Noktaları ($M \geq 6$)

4.2. Bursa Deprem Risk Analizi

Bu tez çalışmasında, 1900 – 2019 yıllarını kapsayan dönem boyunca $M \geq 3,5$ deprem büyüklüğü verileri incelenmiştir. Toplam 1638 adet deprem hareketi Şekil 4.2’de olduğu gibi sınıflandırılmıştır. İncelenen deprem büyüklükleri 3,5 – 5 arasında yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 4.2).

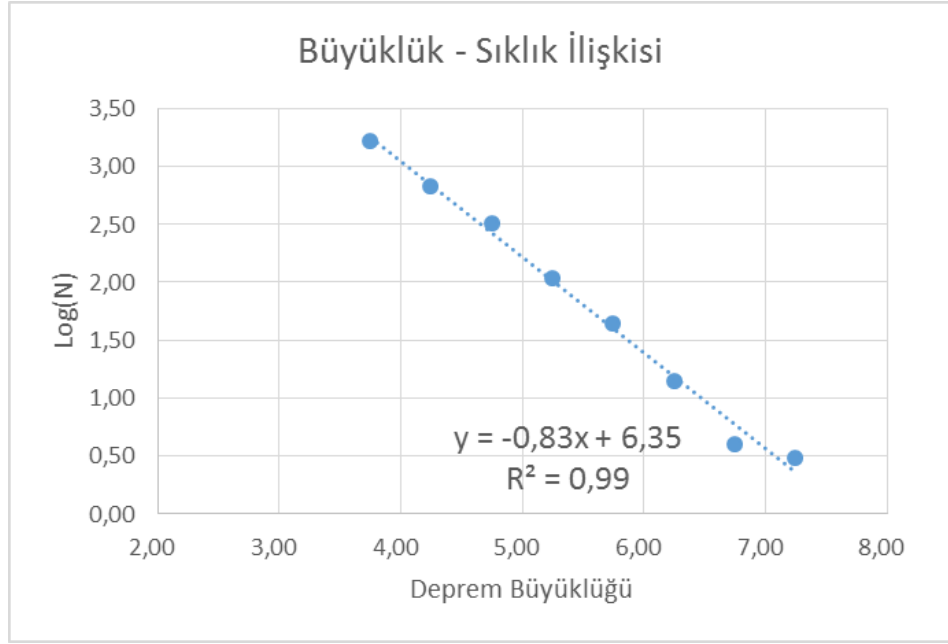


Şekil 4.2. Deprem Büyüklüğüne göre Deprem Sayıları

Çizelge 4.1. Depremlerin Büyüklük Sıklık İlişkisi

Deprem Büyüklüğü (M)	Frekans	Birikimli Frekans (N)	Log N
$3,5 \leq M < 4$	977	1.638	3,21
$4 \leq M < 4,5$	346	661	2,82
$4,5 \leq M < 5$	207	315	2,50
$5 \leq M < 5,5$	65	108	2,03
$5,5 \leq M < 6$	29	43	1,63
$6 \leq M < 6,5$	10	14	1,15
$6,5 \leq M < 7$	1	4	0,60
$7 \leq M < 7,5$	3	3	0,48

Çizelge 4.1’de belirtilen bilgiler ile deprem büyüklük – sıklık ilişkisine göre Şekil 4.3’de grafik olarak gösterilmiştir. Bölüm 3.1.3’de verilen büyüklük – sıklık denklemlerine göre a ve b değerleri sırasıyla 6,35 ve 0,83 dür. Büyüklük –sıklık bağıntısına ait regresyon belirleme katsayısı $R^2 = 0,99$ ’dur. Bu katsayının üst sınırı 1’dir ve buna yakın olması elde edilen fonksiyonun gerçeği temsil ettiğinin göstergesidir.



Şekil 4.3. Büyüklük – Sıklık İlişkisi

Bölüm 3.1.3’ de belirtilen yöntemler ile farklı büyüklüklerdeki depremlerin Bursa ili ve çevresinde olma olasılıkları ve yeniden meydana gelme periyotları hesaplanmıştır (Çizelge 4.2). Bursa ilinde $M \geq 5$ büyüklüğündeki depremlerin 5 yıl içerisinde olma olasılığı %98 ve yeniden oluşma periyodu 1,2 yıl olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. Poisson Yöntemine göre Deprem Riskleri

Büyüklik (M)	Yıllık Oluş Sayısı ($N(M)$)	Deprem Oluşma Yılı (T)						Geri Dönüş (Q)
		5	10	15	20	40	50	
		Deprem Olma Olasılığı (R)						
3	37,9	%100	%100	%100	%100	%100	%100	0,0
3,5	14,5	%100	%100	%100	%100	%100	%100	0,1
4	5,6	%100	%100	%100	%100	%100	%100	0,2
4,5	2,1	%100	%100	%100	%100	%100	%100	0,5
5	0,8	%98	%100	%100	%100	%100	%100	1,2
5,5	0,3	%80	%96	%99	%100	%100	%100	3,1
6	0,1	%46	%71	%84	%91	%99	%100	8,2
6,5	0,05	%21	%38	%51	%61	%85	%91	21,2
7	0,02	%9	%17	%24	%30	%52	%60	55,1

Poisson modelinde λ ya da deprem büyüklüğü – sıklık ilişki yönteminde $n(M)$ ortalama deprem sayısı Çizelge 4.2’de yıllık oluş sayısını ifade etmektedir. Deprem büyüklüklerine göre değişkenlik göstermektedir. Deprem riski hesaplamalarında $t = 5$ yıl tüm ilçelerde ortak olarak alınmıştır. Oluşturulan veri setinden Bursa’yı etkileyebilecek $M \geq 6$ deprem büyüklüğünde 14 adet deprem belirlenmiştir. Depremlerin ilçe merkezlerine olan sismik etkileri Denklem (3.4) ile ortalama deprem şiddeti, I olarak elde edilmiştir. İlçelerin deprem riski elde edilen ortalama deprem şiddetine göre hesaplanmıştır (Çizelge 4.3). Bu risk, Bursa’nın herhangi bir noktasında oluşabilecek bir deprem sonrası ilçeleri etkileyebilecek ortalama deprem riskini ifade etmektedir.

Çizelge 4.3. İlçe Deprem Riski ve Etkilenecek Kişi Sayıları

İlçe	Ortalama Deprem Riski	Ortalama Etkilenecek kişi Sayısı	Nüfus Yoğunluğu (kişi/km²)
Büyükorhan	%19,5	8	19,8
Gemlik	%68,3	2391	278
Gürsu	%54,2	1368	861,6
Harmancık	%18,7	8	16,4
İnegöl	%51,7	1700	239,8
İznik	%32,0	1994	57,5
Karacabey	%13,4	27	71,7
Keles	%27,4	12	20
Kestel	%54,4	155	164,7
Mudanya	%37,9	823	253,9
Mustafakemalpaşa	%14,2	23	61,3
Nilüfer	%37,9	823	799,4
Orhaneli	%16,3	9	23,2
Orhangazi	%54,4	538	155
Osmangazi	%37,5	855	1388,9
Yenişehir	%52,9	712	74,5
Yıldırım	%35,1	1115	5936,4

4.3. Önerilen Model'in Çözümü

Bu bölümde, geliştirilen model MPL ortamında (Maximal Software) kodlanarak, Gurobi çözücüsü ile çözülmüş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

İlçelerdeki depolar i ve j , talep m ve talep karşılama seviyesi k indisiyle temsil edilmiştir. Mesafe matrisi oluşturulurken d_{ij} ilçeler arası karayolu mesafeleri kilometre olarak alınmıştır. Bölüm 3.2' de elde edilen bilgiler ile her bir ilçede e_m ortalama etkilenen kişi sayıları talep ile ilişkilendirilmiştir. Bölüm 3.1' de p_j ilçelerin ortalama deprem riskleri elde edilmiştir. Talep karşılama seviyesi α_k ilçelerin taleplerinin kurulan depolarda hangi oranda karşılanacağını belirtir. Bu talep karşılama seviyesi tedarik süreleri ile ilişkilendirilmiştir. Yerel/Bölgesel depolar arası maksimum ulaşım süresi 2 saattir. Tedarik süresi hesaplanırken şehir içi ortalama hız 50 km/saat olarak alınmıştır.

Çizelge 4.4. Talep Karşılama Seviyesi

Seviye 1		Seviye 2		Seviye 3		Seviye 4	
Talep Karşılama Oranı	Talep Karşılama Seviyesi (saat)	Talep Karşılama Oranı	Talep Karşılama Seviyesi (saat)	Talep Karşılama Oranı	Talep Karşılama Seviyesi (saat)	Talep Karşılama Oranı	Talep Karşılama Seviyesi (saat)
%100	$D \leq 0,5$	%50	$0,5 \leq D \leq 1$	%25	$1 \leq D \leq 2$	%0	$D > 2$

Çizelge 4.4'de talep karşılama seviyeleri sınırları ve talep karşılama oranları yer almaktadır. Üç farklı talep karşılama oranı ve seviyesi tanımlanmıştır. Seviye 1, 0,5 saat ya da 25 km tedarik mesafesinde yer alan ilçeleri kapsamaktadır. Seviye 2, 0,5 saat ile 1 saat ya da 25 km ile 50 km tedarik mesafesinde yer alan ilçeleri kapsamaktadır. Belirtilen çözüm yöntemi sonucu ε_1 ve ε_2 değerleri sırasıyla 880, 18.990 olarak bulunmuştur.

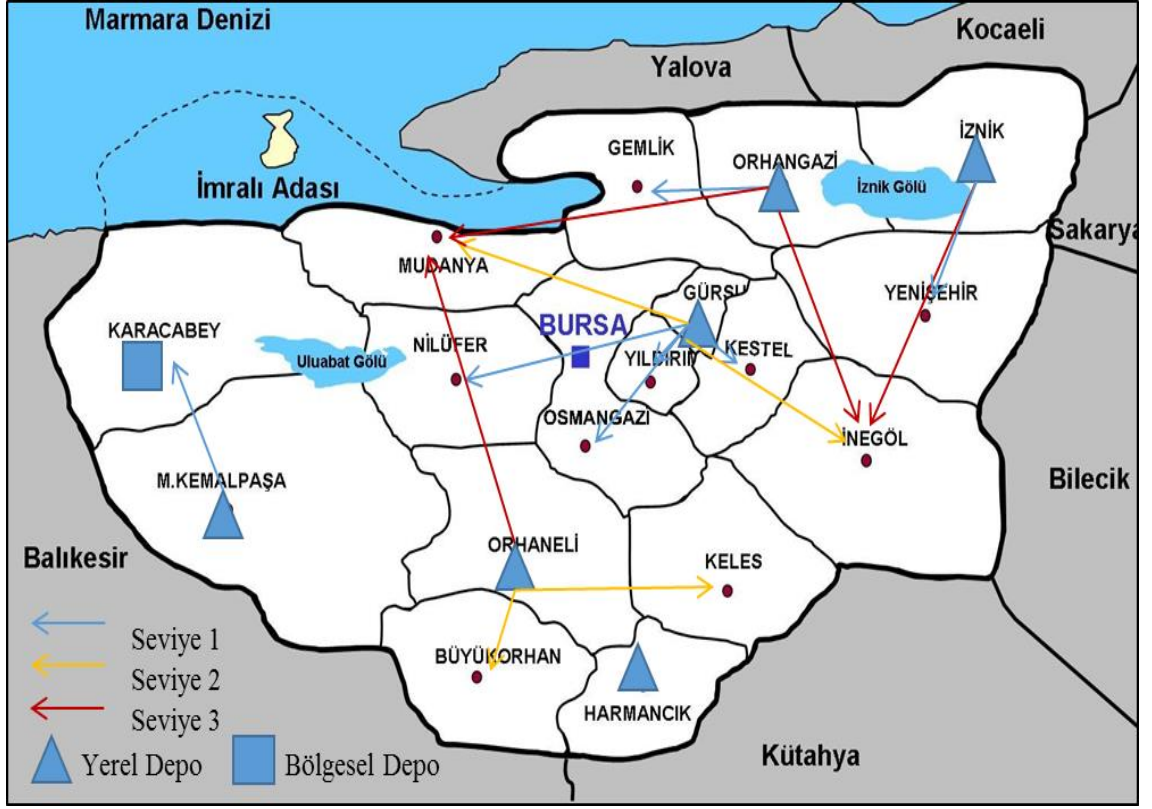
Çözülen modelin sonuçları Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Önerilen model, (3.48) kısıtı ile çözüldükten sonra, (3.49) kısıtları ile yeniden çözülmüştür. Böylece depo yerleşiminde deprem risklerinin etkisi gözlenmiştir.

Çizelge 4.5’de önerilen modelin sadece depolar arası mesafenin en küçükleendiği kısıt dikkate alınarak elde edilen çözüm yer almaktadır. Bölgesel deponun Karacabey ve yerel depoların sırasıyla Gürsu, Harmancık, İznik, Mustafakemalpaşa, Orhaneli ve Orhangazi ilçelerinde açıldığı görülmektedir (Şekil 4.4). Söz konusu depoların birinci talep karşılama seviyesinin toplam talebe olan oranı incelendiğinde sırasıyla %34,4, %0,1, %21,5, %0,4, %0,1, %23,3 olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sonuca göre toplam talebin %79,8’inin kapsandığı görülmektedir. Ancak sonuca göre etkili olan depoların toplam birinci talep karşılama seviyesindeki oranı değerlendirildiğinde %79,2 ile Gürsu, İznik ve Orhangazi’ye açılan depolar olduğu görülmektedir. Söz konusu depoların tüm kapsama yüzdesi incelendiğinde etkin ve verimli olan depoların sırasıyla %44,4, %24,9 ve %28,3 olarak Gürsu, İznik ve Orhangazi’ye açılan depolar olduğu görülmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda bu üç ilçeye depo açılarak toplam %97,6 kapsama yüzdesine ulaşacağı söylenebilir.

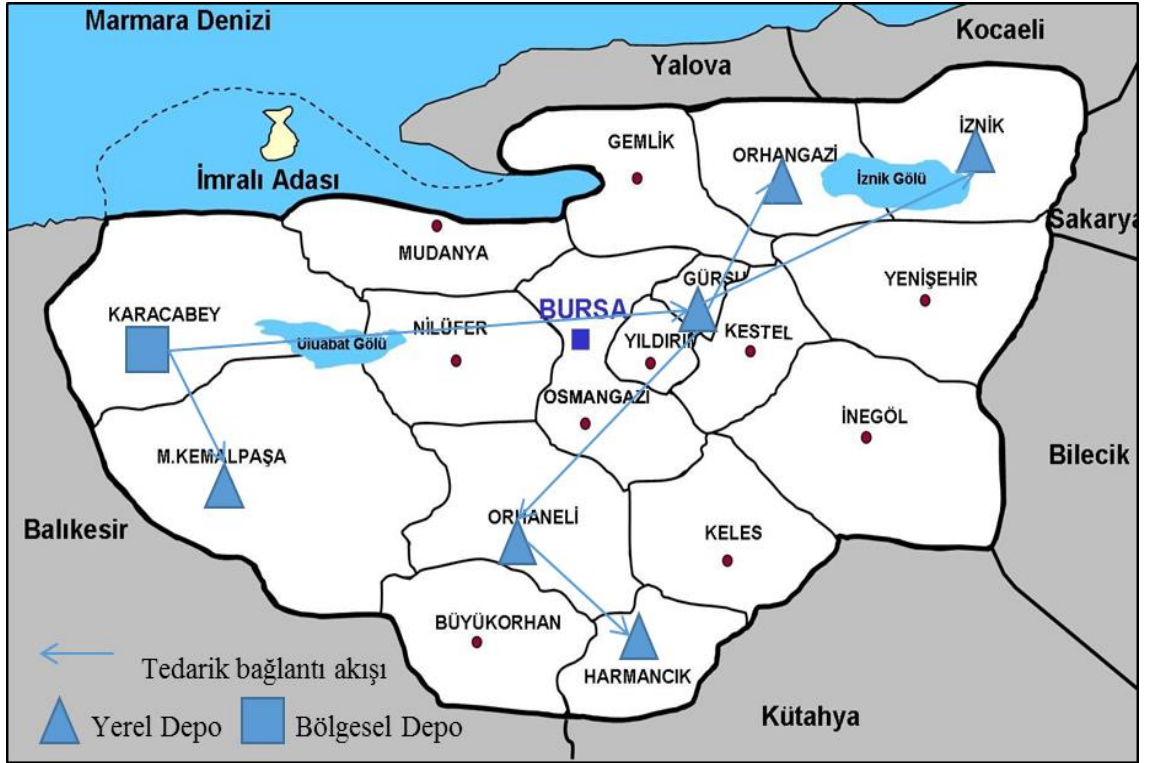
Deprem riski ele alınarak model yeniden çözüldüğünde Çizelge 4.6’daki sonuçlar elde edilmiştir. İlçelerin ortalama deprem risklerinin modele etkisi eklendiğinde bölgesel depo Karacabey ve yerel depolar sırasıyla Harmancık, İznik, Mustafakemalpaşa, Osmangazi ve Yıldırım olarak elde edilmiştir (Şekil 4.6). Depoların birinci talep karşılama seviyesinin toplam talebe olan oranı incelendiğinde sırasıyla %0,1, %21,5, %0,4, %6,6, %27,8 olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sonuca göre toplam talebin %56,4’ünün kapsadığı görülmektedir. Ancak etkili depoların toplam birinci talep karşılama seviyesindeki oran değerlendirildiğinde %49,3 ile İznik ve Yıldırım’a açılan depolar olduğu görülmektedir. Depoların tüm kapsama yüzdeleri incelendiğinde etkin ve verimli olan depolar sırasıyla %23,7, %34,8 ve %37,6 olarak İznik, Osmangazi ve Yıldırım ilçelerine açılan depolar olduğu görülmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda bu üç ilçeye depo açılarak toplam %96,1 kapsama yüzdesine ulaşacağı söylenebilir.

İlk çözümde, birinci talep karşılama seviyesinde etkilenen kişileri en büyüklerken depolar arası mesafe en küçüklenmek istenmiştir. İkinci çözümde, ilk çözüme ek olarak nüfusun yoğun olduğu ilçelerin deprem risklerinin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. İki durum karşılaştırıldığında depoların bulunduğu konumların deprem riskinin daha az olduğu bölgelere kaydığı gözlenmiştir. Birinci durumda, 6 adet yerel depo ile %79,8

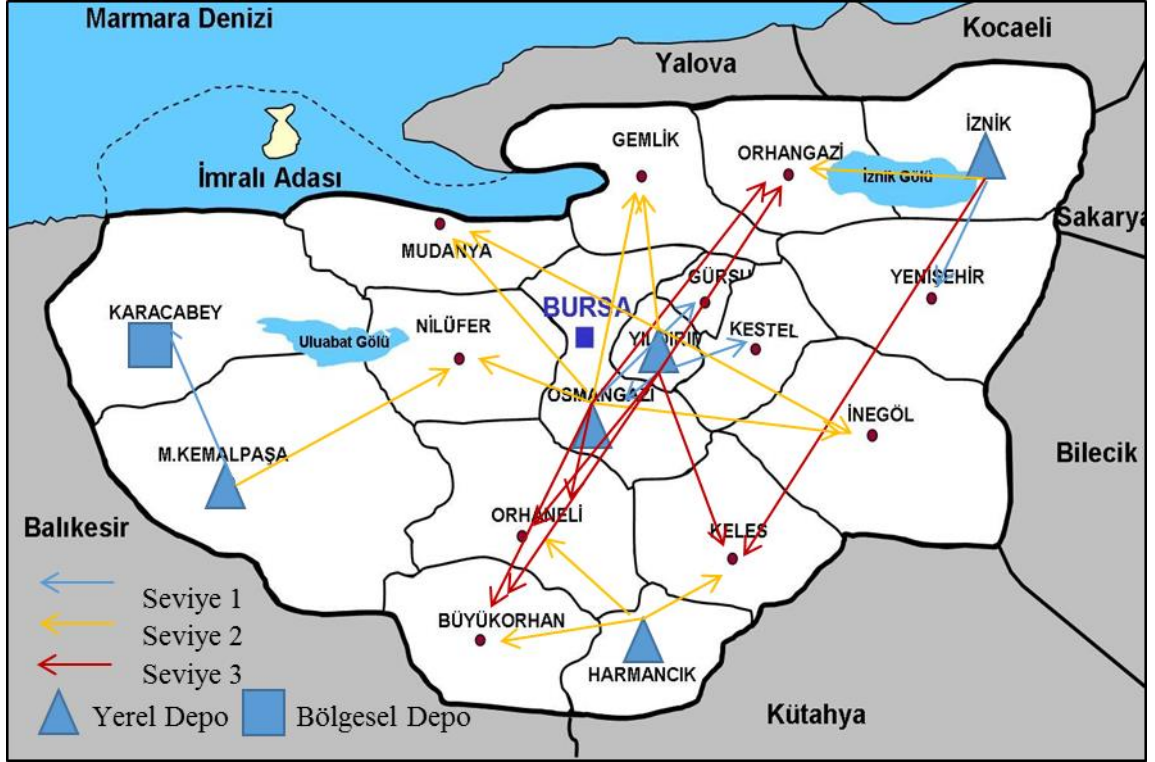
birinci seviyedeki talep karşılama oranı sağlanmasına rağmen ikinci durumda 5 adet yerel depo ile %56,4 karşılama oranı ortaya çıkmaktadır. Depoların deprem riski daha az olan ilçelere kurulmasını sağlayarak etkilenme riskini azaltmamıza rağmen ilçelerdeki afet merkezlerine olan malzeme tedarik süresi uzamıştır. Yerel ve bölgesel depolar arası ilişki birinci durumda 827 km'den ikinci durumda 880 km'ye çıkmıştır (Şekil 4.5 ve Şekil 4.7).



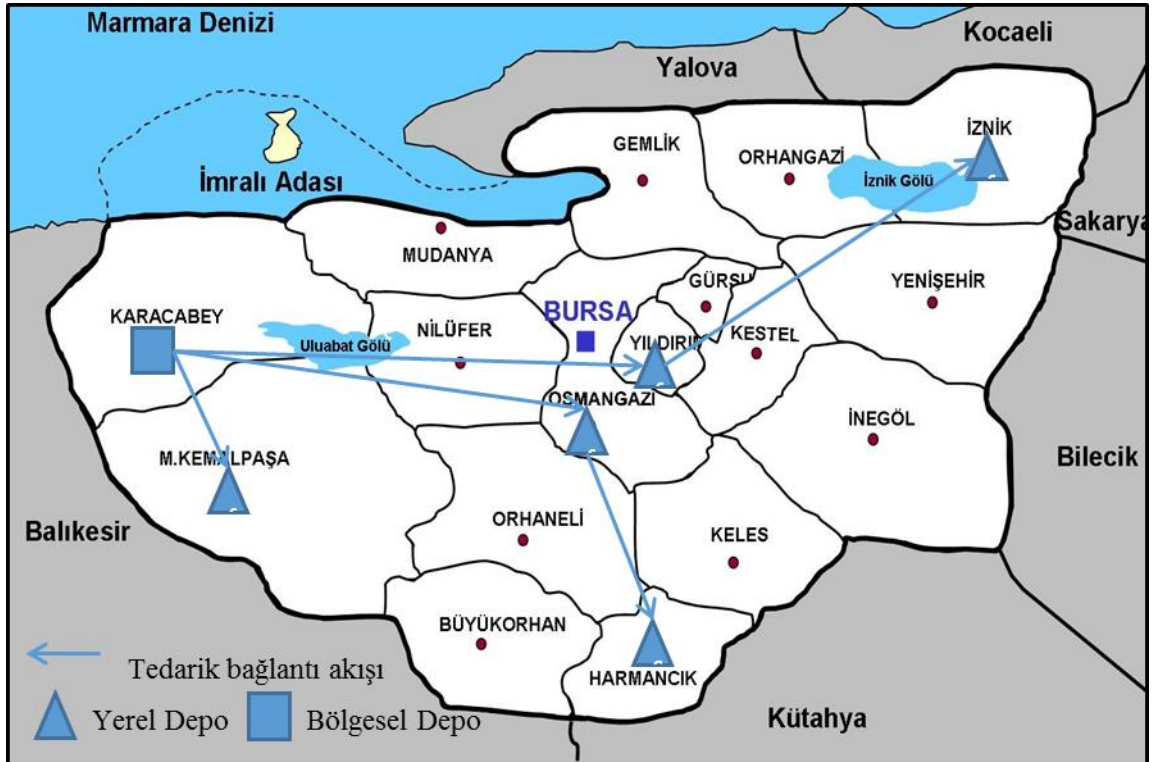
Şekil 4.4. Talep Karşılama Seviyeleri Sonuçları



Şekil 4.5. Yerel/Bölgesel Depo Tedarik Yapısı



Şekil 4.6. Deprem riski etkisi sonrası Talep Karşılama Seviyeleri Sonuçları



Şekil 4.7. Deprem riski etkisi sonrası Yerel/Bölgesel Depo Tedarik Yapısı

Çizelge 4.5. Model Atama Sonuçları

Bölgesel Depo	Yerel Depo	Kapsanan Bölgeler (Kapsandığı Seviyeler)			Seviye 1 kişi sayısı Toplam kişi sayısı	Tüm Seviyelerdeki kişi sayısı Toplam kişi sayısı	1. Amaç Fonksiyonu	2. Amaç Fonksiyonu
		1	2	3				
Karacabey	Gürsu	Gürsu Kestel Nilüfer Osmangazi Yıldırım	İnegöl Mudanya		%34,4	%44,4	10.028	827
	Harmancık	Harmancık	Büyükorhan Keles		%0,1	%0,2		
	İznik	İznik Yenişehir		İnegöl	%21,5	%24,9		
	M.Kemalpaşa	Karacabey M.Kemalpaşa			%0,4	%0,4		
	Orhaneli	Orhaneli	Büyükorhan Keles	Mudanya	%0,1	%1,8		
	Orhangazi	Gemlik Orhangazi		İnegöl Mudanya	%23,3	%28,3		

Çizelge 4.6. Deprem riski etkisi sonrası Model Atama Sonuçları

Bölgesel Depo	Yerel Depo	Kapsanan Bölgeler (Kapsandığı Seviyeler)			Seviye 1 kişi sayısı Toplam kişi sayısı	Tüm Seviyelerdeki kişi sayısı Toplam kişi sayısı	1. Amaç Fonksiyonu	2. Amaç Fonksiyonu	3. Amaç Fonksiyonu
		1	2	3					
Karacabey	Harmancık	Harmancık	Büyükorhan Keles Orhaneli		%0,1	%0,2	6.265	880	1.360
	İzник	İzник Yenişehir	Orhangazi	Keles	%21,5	%23,7			
	M.Kemalpaşa	Karacabey M.Kemalpaşa	Nilüfer		%0,4	%3,7			
	Osmangazi	Gürsu	Gemlik İnegöl Mudanya Nilüfer	Büyükorhan Orhaneli Orhangazi	%6,6	%34,8			
	Yıldırım	Kestel Osmangazi Yıldırım	Gemlik İnegöl Mudanya	Büyükorhan Keles Orhaneli Orhangazi	%27,8	%37,6			

5. SONUÇ

Bu çalışmanın çıkış noktası, Bursa gibi deprem riski altında bulunan bir şehirde afet lojistiğinde yardım malzemesi dağıtımını yapacak depoların en uygun konumunu ve kapsama alanlarını belirleme yönünde bir çalışma sunmaktır. Olası bir deprem yalnızca olduğu alana değil, aynı zamanda afet depolarının bulunduğu noktalara da zarar verebilir. Bu da o bölgede oluşturulmuş acil müdahale ve yardım sistemine zarar vererek gecikmelere neden olabilir. Bu yüzden ele alınan model deprem risklerini dikkate alarak iki farklı durumu karşılaştırmıştır. Modeli geliştirebilmek için depo ulaşım sürelerini kademeli olarak ele alarak talep karşılama oranı ile aynı bölgeyi farklı depolara kapsanmasıyla tüm talebin karşılanması hedeflenmiştir.

Problem iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama, bölgelerin geçmiş deprem kayıtları ele alınarak Gutenberg ve Richter deprem modeline göre deprem risklerinin belirlenmesi ve geçmiş yıkıcı etki yaratabilecek deprem kayıtlarının sismik etkisi değerlendirilerek bölgelerdeki etkilenecek kişi sayılarının belirlenmesidir. Talep, deprem sonrası etkilenen kişi sayısı ile orantılı olarak dikkate alınmıştır. Etkilenen kişi sayısının, bölgenin nüfus yoğunluğu ve deprem sismik etkisi sonucu oluşan şiddet ile ilişkilendirmesinden dolayı b bir yapı oluşturulmuştur. İkinci aşama, kademeli kapsama modeli ele alınarak iki aşamalı bir afet tedarik lojistiği oluşturulmuştur. Ele alınan modelde depo ulaşım sürelerinin kademeli olarak ele alınması afet müdahale sürecinin kritikliğinin değerlendirilmesini sağlamıştır. Model her iki durum çözümünde de Karacabey'e bölgesel depo kurulmuştur. Bu durum mevcut durumda Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığınca kurulan deponun Karacabey'de olması ile örtüşmektedir. Afet lojistiğinde deprem riskinin, depo yerleşimi ve kapsanan nüfusu etkilediği görülmektedir. Böylece, yardım malzemesi dağıtım depolarının seçim ya da kurulum sürecinde deprem riski ve etkilenebilecek nüfus bir kriter olarak değerlendirilebileceği ortaya çıkmaktadır.

Gelecek çalışmalarda, bu çalışmada geliştirilen yöntem farklı afet türleri için uygulanabilir. Farklı afet türleri için bulunan sonuçlar karşılaştırılarak ortak bir yardım malzemesi tedarik ağı oluşturulabilir. Aynı zamanda afet bölgesine malzeme tedarik edecek araçlar eklenerek model geliştirilebilir. Depoların, afet bölgesine malzeme

teminini etkileyebilecek yol, bina vb. yapılarda oluşacak hasar görülebilirlik seviyeleri modele eklenebilir. Ayrıca depo kapasite kısıtı bu model kapsamında değerlendirilmemiştir. Modele, depo ve araç kapasite kısıtları eklenebilir.

KAYNAKLAR

- Akdağ, S. E. 2002.** Mali Yapı ve Denetim Boyutlarıyla Afet Yönetimi. *Sayıştay Dergisi*, 44–45:, 35–65.
- Akyel, R. 2007.** Afet Yönetim Sistemi: Türk Afet Yönetiminde Karşılaşılan Sorunların Tespit ve Çözümüne İlişkin Bir Araştırma, Çukurova Üniversitesi.
- Altun, F. 2018.** Afetlerin Ekonomik ve Sosyal Etkileri: Türkiye Örneği Üzerinden Bir Değerlendirme. *Sosyal Çalışma Dergisi*, 2 (1):, 1–15.
- Ambraseys, N. N. 1988a.** Engineering seismology: Part I. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*.
- Ambraseys, N. N. 1988b.** Engineering seismology: Part II. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*.
- Anonim, 2013.** Türkiye Afet Müdahale Planı 2013. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Yayınları, 2013, Ankara.
- Anonim, 2019. Yazılı Görüşme.** Bursa İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Bursa, (Görüşme Tarihi: 06.09.2019), bursamdr@afad.gov.tr.
- Asian Disaster Reduction Center 2005.** Total Disaster Risk Management: Good Practices.
- Balcık, B., Beamon, B. M. 2008.** Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 11 (2):, 101–121.
- Balyemez, S., Berköz, L. 2005.** Hasar görülebilirlik ve kentsel deprem davranışı (Vulnerability and urban earthquake behaviour). *İTÜ Dergisi/A Mimarlık, Panlama, Tasarım*, 4 (1):, 3–14.
- Battarra, M., Balcık, B., Xu H. 2018.** Disaster preparedness using risk-assessment methods from earthquake engineering. *European Journal of Operational Research*, 269 (2):, 423–435.
- Boğaziçi Üniversitesi KRDAE (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü),** <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/> (Son erişim tarihi: 21 Nisan 2019).
- Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S., Al-e-Hashem, S. M. 2013.** A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty. *OR Spectrum*, 35 (4): 905–933.
- Chang, M. S., Tseng, Y. L., Chen, J. W. 2007.** A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty. *Transportation*

- Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43 (6): 737–754.
- Chanta, S., Sangsawang, O. 2012.** Shelter-site selection during flood disaster. *Lecture Notes in Management Science*, 4: 282–288.
- Cornell, C. A. 1968.** Engineering Seismic Risk Analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 58, 1583–1606.
- Das, R. 2018.** Disaster preparedness for better response: Logistics perspectives. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 31: 153–159.
- Dekle, J. ve ark. 2005.** A Florida County Locates Disaster. *Interface*,. 35 (2): 133–139.
- Duran, S., Gutierrez, M. A., Keskinocak, P. 2011.** Pre-Positioning of Emergency Items Worldwide for CARE International. *Interface*, 41 (3): 223–237.
- Elnashai, A.S. and Sarno, L.D., 2008.** Fundamentals of Earthquake Engineering, John Wiley & Sons, Ltd, United Kingdom.
- Erdik, M., Durukal, E., Siyahi, B., Fahjan, Y., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M., Akman, H. 2003.** Depreme dayanıklı yapı tasarımında deprem yer hareketinin belirlenmesi. 5. Ulusal Deprem Konferansı, 26 - 30 Mayıs 2003, İstanbul
- Erdik, M., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M. B., Zülfikar, C., Hancılar, U., Tüzün, C., Harmandar, E. 2014.** Rapid Earthquake Loss Assessment After Damaging Earthquakes. *Sprinter International Publishing. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering*, 34: 53-95.
- Ergül, E. U. 2010.** Çok Amaçlı Genetik Algoritmalar: temelleri ve Uygulamaları. *Doktora Tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun
- Ersoy, P., Börühan, G. 2013.** Lojistik Süreçler Açısından Afet Lojistiğinin Önemi. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, 50 (578): 75–86.
- Garrido, R. A., Lamas, P., Pino, F. J. 2015.** A stochastic programming approach for floods emergency logistics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75: 18–31.
- Gökçe, O., Özden, Ş., Demir, A. 2008.** Türkiye’de Afetlerin Mekansal Ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri.
- Görmez, N., Köksalan, M., Salman, F. S. 2011.** Locating disaster response facilities in Istanbul. *Journal of the Operational Research Society*, 62 (7): 1239–1252.
- Gutenberg, B., Richter, C. F. 1954.** Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and

- Acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 32 (3): 162–191.
- Haimes, Y. Y., Lasdon, L. S., Wismer, D. A. 1971.** Bicriterion Formulation of Problems of Integrated System Identification and System Optimization. *IEEE Transactions On Systems Man And Cybernetics*.
- Hong, J., Jeong, K., Xie, Y. 2015.** A Multi-Objective Approach To Planning in Emergency Logistics Network Design. *International Journal of Industrial Engineering*, 22 (4):, 412–425.
- Jaiswal, K., Wald, D. J., Hearne, M. 2009.** Estimating casualties for large earthquakes worldwide using an empirical approach. *U.S. Geological Survey Open-File Report 1136. Technical Report. US Geological Survey*, 78.
- Kongsomsaksakul, S., Yang, C. 2005.** Shelter location-allocation model for flood evacuation planning. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6: 4237–4252.
- Li, X., Ramshani, M., Huang, Y. 2018.** Cooperative maximal covering models for humanitarian relief chain management. *Computers and Industrial Engineering*, 119: 301–308.
- Lim, J., Claypool, E., Norman, B. A., Rajgopal, J. 2016.** Coverage models to determine outreach vaccination center locations in low and middle income countries. *Operations Research for Health Care*, 9: 40–48.
- Milne, W. G., Davenport, A. G. 1969.** Distribution of earthquake risk in Canada. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 59 (2): 729–754.
- Musson, R. M. W. 2000.** Intensity-based seismic risk assessment. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 20: 353–360.
- Naji-Azimi, Z., Renaud, J., Ruiz, A., Salari, M. 2012.** A covering tour approach to the location of satellite distribution centers to supply humanitarian aid. *European Journal of Operational Research*, 222 (3): 596–605.
- Öncel, T. 2016.** Türkiye'nin Güncel Depremselliği ve Deprem Tehlikesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Özbek, Ö. 2011.** Afet Yönetiminin Etkin Müdahale Yönünden Bayes Ağları ile Modellenmesi ve Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.

- Rawls, C. G., Turnquist, M. A. 2010.** Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44 (4): 521–534.
- Rawls, C. G., Turnquist, M. A. 2011.** Pre-positioning planning for emergency response with service quality constraints. *OR Spectrum*, 33 (3): 481–498.
- Samardjieva, E., Badal, J. 2002.** Estimation of the Expected Number of Casualties Caused by Strong Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92 (6): 2310–2322.
- Sayıl, N., Osmanşahin, İ. 2008.** An investigation of seismicity for western Anatolia. *Natural Hazards*, 44 (1): 51–64.
- So, E., Spence, R. 2013.** Estimating shaking-induced casualties and building damage for global earthquake events: A proposed modelling approach. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11: 347 -363.
- Tanyaş, M., Günalay, Y., Aksoy, L., Küçük B. 2013.** İstanbul ili afet lojistik planı kılavuzu, İstanbul.
- Tzeng, G. H., Cheng, H. J., 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.
- Ulug, M. 2003.** Location of Natural Disasters Search and Rescue (Sar) Units in Sectors. *Master Thesis*, The Institute of Engineering And Science Of Bilkent University, Industrial Engineering, Ankara.
- Wassenhove, L. N. V. 2006.** Blackett memorial lecture humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 57 (5): 475–489.
- Winston, W. L. 1991.** Operations Research: Applications and Algorithms, PWS - Kent Publishing.
- Yalçın, H., Kutanis, M., Özbayraktar, G. 2013.** Bursa Şehri Yerel Tasarım Spektrumunun Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi ile Elde Edilmesi. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27 Eylül 2013, Hatay.
- Yiğit, Ö. E. 2010.** Farklı afet tiplerine ve oluşma olasılıklarına göre optimal depo seçimi ve malzeme miktarının belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, İzmir.

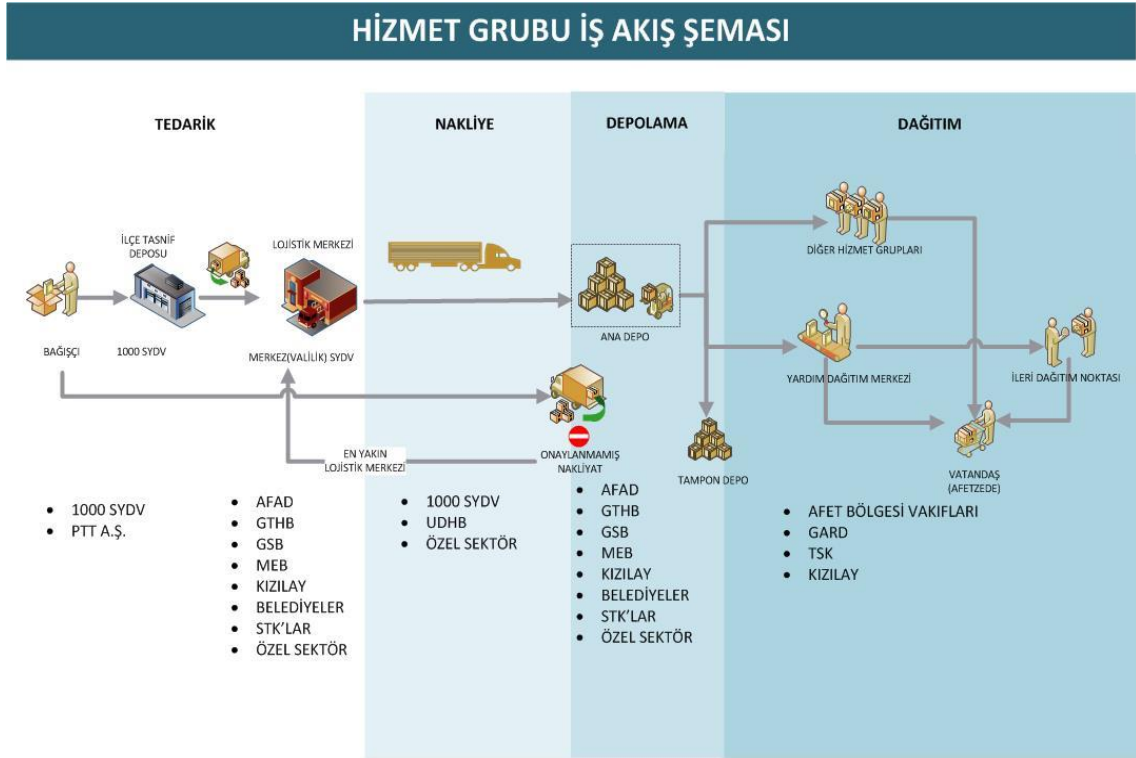
EKLER

EK – 1 Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Depo Yönetim ve Dağıtım İş Akış Şeması

EK – 2 İlçe merkezleri arası karayolu mesafe matrisi

EK – 3 İlçe merkezleri ile $M \geq 6$ deprem noktaları arası mesafe matrisi

EK -1 Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığınca Depo Yönetim ve Dağıtım İş Akış Şeması



EK -2 İlçe merkezleri arası karayolu mesafe matrisi

İlçe	Büyükorhan	Gemlik	Gürsu	Harmancık	İnegöl	İznik	Karacabey	Keles
Büyükorhan	0	117	97	38	132	171	140	109
Gemlik	117	0	41	126	71	53	89	94
Gürsu	97	41	0	105	35	66	78	73
Harmancık	38	126	105	0	107	155	149	41
İnegöl	132	71	35	107	0	51	125	45
İznik	171	53	66	155	51	0	154	95
Karacabey	140	89	78	149	125	154	0	117
Keles	109	94	73	41	45	95	117	0
Kestel	99	43	2	107	34	62	94	75
Mudanya	102	44	38	112	79	113	78	79
M.Kemalpaşa	156	105	111	164	141	169	23	132
Nilüfer	80	39	14	95	47	111	69	63
Orhaneli	29	88	70	39	113	141	111	35
Orhangazi	134	16	65	140	95	37	110	108
Osmangazi	85	31	14	95	47	76	69	63
Yenişehir	140	66	43	132	32	23	131	74
Yıldırım	88	32	8	105	41	70	92	73

EK -2 İlçe merkezleri arası karayolu mesafe matrisi (devam)

İlçe	Kestel	Mudanya	M.Kemalpaşa	Nilüfer	Orhaneli	Orhangazi	Osmangazi	Yenişehir	Yıldırım
Büyükorhan	99	102	156	80	29	134	85	140	88
Gemlik	43	44	105	39	88	16	31	66	32
Gürsu	2	38	111	14	70	65	14	43	8
Harmanlı	107	112	164	95	39	140	95	132	105
İnegöl	34	79	141	47	113	95	47	32	41
İznik	62	113	169	111	141	37	76	23	70
Karacabey	94	78	23	69	111	110	69	131	92
Keles	75	79	132	63	35	108	63	74	73
Kestel	0	50	111	14	70	65	31	42	8
Mudanya	50	0	92	29	73	65	37	86	46
M.Kemalpaşa	111	92	0	45	86	124	83	145	106
Nilüfer	14	29	45	0	58	70	26	64	42
Orhaneli	70	73	86	58	0	102	57	121	68
Orhangazi	65	65	124	70	102	0	62	49	62
Osmangazi	31	37	83	26	57	62	0	75	24
Yenişehir	42	86	145	64	121	49	75	0	48
Yıldırım	8	46	106	42	68	62	24	48	0

EK – 3 İlçe merkezleri ile $M \geq 6$ deprem noktaları arası mesafe matrisi

Dep. Nok.	1	2	3	4	5	6	7
Dep. Büy.	7,4	6	6	6	7	6,1	7
Enlem	40,76	39,1	39,68	39,05	39,21	39,25	40,3
Boylam	29,97	29,9	29,42	29,71	29,51	28,44	28,23

İlçe	Deprem Mer.Uzak.	Deprem Mer.Uzak.	Deprem Mer.Uzak.	Deprem Mer.Uzak.	Deprem Mer.Uzak.	Deprem Mer.Uzak.	Deprem Mer.Uzak.
Büyükorhan	143,4	114,5	46,6	106,7	82,0	69,3	81,3
Gemlik	77,7	161,3	86,7	160,9	139,3	145,1	79,9
Gürsu	89,4	137,9	62,5	136,8	114,9	125,1	82,3
Harmancık	139,0	90,6	22,7	84,4	60,1	77,6	105,0
İnegöl	84,7	114,0	45,4	115,9	96,9	130,4	111,8
İznik	44,4	146,2	84,9	150,9	134,4	169,0	127,0
Karacabey	149,2	180,5	107,8	173,1	148,4	106,9	15,0
Keles	113,1	107,2	30,7	104,5	81,9	100,1	95,2
Kestel	89,9	135,1	59,8	134,1	112,3	124,0	84,2
Mudanya	101,2	166,4	89,9	163,6	140,3	130,8	56,0
M.Kemalpaşa	154,6	164,6	94,7	156,2	131,4	87,4	33,2
Nilüfer	101,2	154,7	78,1	151,8	128,6	122,9	61,1
Orhaneli	126,2	119,0	44,7	113,6	89,4	86,9	77,9
Orhangazi	62,6	163,7	91,8	164,9	144,6	157,7	94,2
Osmangazi	100,3	144,9	68,4	142,2	119,2	118,4	68,1
Yenişehir	61,3	131,2	68,0	135,1	117,9	153,2	120,8
Yıldırım	94,1	135,6	59,6	134,0	111,7	120,3	80,3

EK – 3 İlçe merkezleri ile $M \geq 6$ deprem noktaları arası mesafe matrisi (devam)

Dep. Nok.	8	9	10	11	12	13	14
Dep. Büy.	6,3	6,4	6,6	6,1	6,3	6,4	6,1
Enlem	40,77	39,89	40,85	39,55	40,3	40,4	39,64
Boylam	29,12	30,49	30,51	28,58	27,45	27,49	29,14

İlçe	Deprem Mer.Uzak.	Deprem Mer.Uzak.	Deprem Mer.Uzak.	Deprem Mer.Uzak.	Deprem Mer.Uzak.	Deprem Mer.Uzak.	Deprem Mer.Uzak.
Büyükorhan	113,0	137,5	182,7	35,9	135,8	138,0	26,0
Gemlik	37,6	128,4	123,2	109,8	145,3	141,1	88,2
Gürsu	62,1	116,1	131,8	90,5	148,2	145,9	64,0
Harmancık	121,7	116,5	173,9	51,2	161,0	163,0	4,2
İnegöl	83,5	85,8	120,0	99,3	177,0	175,4	58,6
İznik	64,9	87,0	82,7	136,2	192,9	189,0	98,7
Karacabey	89,5	184,7	195,1	75,7	77,9	76,8	91,8
Keles	95,7	107,6	150,4	68,7	157,3	157,4	31,4
Kestel	64,6	113,9	131,8	89,6	150,0	147,8	61,9
Mudanya	48,1	146,9	147,1	95,5	121,8	118,0	84,8
M.Kemalpaşa	101,3	177,9	199,3	55,8	86,9	88,1	76,2
Nilüfer	56,0	138,1	146,1	87,4	127,2	124,4	73,3
Orhaneli	96,6	128,1	166,2	52,9	138,0	138,7	32,4
Orhangazi	34,0	121,0	108,3	122,7	159,1	154,5	96,8
Osmangazi	62,2	129,9	144,0	83,1	134,0	131,8	64,7
Yenişehir	72,0	82,5	97,4	121,2	186,9	184,0	82,1
Yıldırım	65,8	117,5	136,2	85,8	146,0	144,0	59,9

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Enis ABBASOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi : Kırcaali – 13.11.1989
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Gazi Anadolu Lisesi
Lisans : Osmangazi Üniversitesi – Endüstri Mühendisliği
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi – Endüstri Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar :

İletişim (e-posta) : enisabbasoglu@gmail.com

Yayınları :

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	Enis ABBASOĞLU
Tez Adı	Deprem Riskinin Afet Lojistiği Depo Yerleşimine Etkisi: Bursa İli Örneği
Enstitü	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Endüstri Mühendisliği
Tez Türü	Yüksek Lisans Tezi
Tez Danışman(lar)ı	Prof. Dr. Erdal EMEL
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	<input checked="" type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimin sadece içindekiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	<input checked="" type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin veriyorum

Hazırlamış olduğum tezimin belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Bursa Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih : 23.09.2019

İmza : 