



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM SONRASI SAĞLIK KAYNAKLARININ
OPTİMİZASYON YAKLAŞIMIYLA PLANLANMASI:
KIRIKKALE KENT ÖRNEĞİ**

**SEMA ÇİFTÇİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Ümit Sami SAKALLI**

KIRIKKALE-2021

Sema ÇİFTÇİ tarafından hazırlanan “DEPREM SONRASI SAĞLIK KAYNAKLARININ OPTİMİZASYON YAKLAŞIMIYLA PLANLANMASI: KIRIKKALE KENT ÖRNEĞİ” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ümit Sami SAKALLI

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,

İmza.....

Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Burak BİRGÖREN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,

İmza.....

Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Doç. Dr. Ramazan ŞAHİN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,

İmza.....

Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 25/06/2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- o Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- o Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- o Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- o Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- o Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

(İmza)

(Adı Soyadı)

(Tarih)

ÖZET

DEPREM SONRASI SAĞLIK KAYNAKLARININ OPTİMİZASYON YAKLAŞIMIYLA PLANLANMASI: KIRIKKALE KENT ÖRNEĞİ

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ümit Sami SAKALLI

Haziran 2021, 105 sayfa

Afetler can ve mal kaybına neden olan, toplumlar üzerinde olumsuz etkiler oluşturan olaylardır. Depremeler ise en sık görülen ve etkileri oldukça büyük olan afet türüdür. Deprem sonrası ortaya çıkan kaotik koşullar (zarar görmüş insan sayısı, zaman baskısı, iletişim problemi vb.) müdahale ve kurtarma sürecini zor hale getirir. Bu zor sürecin etkin yönetilebilmesi için eldeki kaynakların (malzeme, sağlık, barınma, ulaşım, AFAD ekipleri) başarılı bir şekilde enkaz bölgelerine tahsis edilmesi gerekmektedir. Depremelerden sonraki ilk saatlerde yaralıların, yaralanma şiddetlerine göre (ağır ve geciktirilebilir yaralı) ve geçen süre ile doğru orantılı olarak hayatta kalma olasılıkları daha fazladır; zaman ilerledikçe bu ihtimal giderek azalır. Dolayısıyla enkaz altından çıkarılan yaralılara ilk müdahalelerinin yapılması ve ihtiyaç görülenlerin acilen hastaneye sevk edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle sağlık kaynakları planlaması depremin yıkıcı etkilerini azaltma açısından son derece önemlidir. Bu tez çalışmasında deprem sonrası hayatını kaybeden yaralı sayısının en aza indirilmesini amaçlayan 0-1 karışık tam sayılı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Model içerisinde enkaz bölgelerine olay yeri triyajını gerçekleştirecek sağlık birimlerinin (doktor, hemşire, ekipman) tahsis edilmesi, olay yeri triyajı görmüş yaralıların hastaneye sevk işlemi için ambulans ataması yapılması ve ambulansların hangi hastanelere yönlendirilmesi gerektiği kararları verilmek istenmektedir. Geliştirilen modelin çok periyodlu olarak modellenmesi ve yaralıların sağlık durumlarındaki değişimin markov zinciri olarak ele

alınması literatüre katkı olarak öne çıkmaktadır. Geliştirilen model, Kırıkkale ili için olası bir deprem senaryosundan elde edilen veriler ile GAMS CPLEX çözücüsü kullanılarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar geliştirilen modelin sağlık kaynakları tahsisi için etkin bir planlama aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Deprem, Kaynak Tahsisi, Optimizasyon, Planlama, Matematiksel Model, Karışık Tam Sayılı Programlama



ABSTRACT

PLANNING HEALTH RESOURCES AFTER EARTHQUAKE WITH OPTIMIZATION APPROACH: KIRIKKALE CITY EXAMPLE

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, Master' s Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ümit Sami SAKALLI

June 2021, 105 pages

Disasters that have negative effects on societies are extraordinary events causing loss of life and property. Earthquakes, on the other hand, are type of disasters that the most common and the effects of which are quite large. Chaotic conditions (the number of affected people, time pressure, communication problem, etc.) after an earthquake make it difficult the response and recovery process. In order to manage this difficult process effectively, available resources (supplies, health, housing, transportation, AFAD teams) needs to be successfully allocated to the affected areas. In the first hours after earthquakes, survival probabilities of the injured are more in direct proportion to the severity of the injury (severe and delayed injured) and the passing time. This possibility gradually decreases as time progresses. There for, first interventions needs to be done to the injured who taken out from under the wreckage and those who are immediately deemed necessary should be referred to the hospital. For this reason, health resource planning is extremely significant in terms of reducing the destructive effects of the earthquake. In this thesis work a 0-1 mixed integer mathematical model has been developed aimed at minimizing the number of died after the earthquake. Within the framework of the model, it is desired to allocate medical units (doctors, nurses, equipment) that will perform scene of accident triage to the affected areas and assign ambulances for the transfer of injured people who have seen the crime scene triage to the hospital, and make decisions about which hospitals ambulances should be

directed to. The fact that the developed model is modeled on a multi-period basis and treats the change in the health status of the injured as the markov chain stands out as its contribution to the literature. The developed model was tested using GAMS CPLEX solvent with the data obtained from a possible earthquake scenario for Kırıkkale province. Obtained the results shows that the developed model can be used as an effective planning tool for health resource allocation.

Keywords: Earthquake, Resource Allocation, Optimization, Planning, Mathematical Model, Mixed Integer Programming



TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Prof. Dr. Ümit Sami SAKALLI' ya, büyük fedakarlıklarla bana destek olan arkadaşım Erinç AVANOĞLU 'ya, tezimin birçok aşamasında yardım gördüğüm iş arkadaşım Arş. Gör. Aybüke BOZKURT' a ve son olarak başta annem Filiz ÇİFTÇİ olmak üzere bana birçok konuda olduğu gibi, tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen kıymetli aileme teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Afet Yönetim Sistemi	1
1.2. Deprem ve Deprem Sonrası Yaşanan Zorluklar	3
1.3. Türkiye’ de Depremler	4
1.4. Afet Lojistiği.....	5
1.5. Sağlık Kaynaklarının Tahsis Edilmesi.....	6
1.6. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	12
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
2.1. Doğrusal Programlama	16
2.2. Tam Sayılı Programlama	17
2.2.1. Karışık Tam Sayılı Programlama.....	17
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	19
3.1. Problemin Tanımı	19
3.1.1. Kaynak Tahsisi Model Varsayımları	20
3.2. Problemin Matematiksel Modeli	23
3.2.1. Değişkenlerin ve Parametrelerin Tanımlanması	24
3.2.2. Amaç Fonksiyonu	27
3.2.3. Kısıtlar.....	27
3.3. Vaka Analizi	31
3.3.1. Parametre Değerlerinin Elde Edilmesi.....	31
3.3.2. Parametrelerin Analiz Edilmesi	37
3.3.3. Vaka Analizi Sonuçları.....	39

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	49
4.1. Sonuçlar.....	49
4.2. Öneriler.....	50
KAYNAKÇA.....	52
EKLER	61
ÖZGEÇMİŞ	93



ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

1.1. : Türkiye tarihindeki yıkıcı depremler	5
1.2. : Sağlık kaynaklarının tahsisi literatür araştırması	8
3.1. : Mahalleri bölgelere ayırma sonuçları	32
3.2. : Zaman periyodları ve bölgelere göre enkazdan çıkartılan yaralı sayıları	33
3.3. : Mahalle hastane uzaklıkları	34
3.4. : Bölgelerden hastanelere yapılabilecek sefer sayısı.....	35
3.5. : Farklı RPM skorlarına göre yaralı gruplarının acil bakım süreleri.....	35
3.6. : Mevcut kaynak kapasiteleri	38
3.7. : Parametre değerleri kullanım oranları	38
3.8. : Senaryolara göre parametre değerleri	39
3.9. : 5. senaryo t=1 zaman periyodu GAMS program çıktıları	40
3.10. : 5. senaryo t=2 zaman periyodu GAMS program çıktıları	40
3.11. : 5. senaryo t=3 zaman periyodu GAMS program çıktıları	41
3.12. : 5. senaryo t=4 zaman periyodu GAMS program çıktıları	41
3.13. : Senaryolara göre bölgelere atanan sağlık birimi sonuçları	42
3.14. : 5. senaryoya göre bölgelere atanan sağlık birimlerinin kapasite kullanım sonuçları	43
3.15. : Senaryolara göre bölgelere atanan ambulans sonuçları	43
3.16. : 5. senaryoya göre bölgelere atanan ambulansların kapasite kullanım sonuçları	44
3.17. : 5. senaryoya göre bölgelerden üç farklı hastaneye yatışı gerçekleştirilmiş toplam yaralı sayısı	45
3.18. : Senaryolara göre hastane yatak kapasitesi kullanım sonuçları	46
3.19. : 5. senaryo sonucunda bölgelere göre ölüm tipleri dağılım sonuçları	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Sayfa

1.1.: Afet yönetim sisteminde gerçekleştirilen faaliyetler	2
3.1: Problemin süreç akışı.....	19
3.2.: Yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıkları markov zinciri.....	24
3.3.: Ağır yaralı grubundaki kişilerin, ölü grubuna geçişi	26
3.4.: Geciktirilebilir yaralı grubundaki kişilerin, ağır yaralı grubuna geçişi.....	26
3.5.: 1. bölge - hastane haritası	32
3.6.: Yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıkları	37
3.7.: Senaryolara göre amaç fonksiyonu değerleri.....	48

1. GİRİŞ

Afetler, toplulukların ve ulusların nüfuslarını ve altyapılarını etkin bir şekilde koruma, can ve mal kaybını azaltma ve hızla iyileşme yeteneklerini test eden büyük ve zorlu sorunlardır (Altay and Green, 2006). Bu nedenle etkilenen toplumun yalnızca kendi kaynaklarını kullanarak başa çıkma yeteneğini aşarak, toplumun işleyişinde ciddi bozulmalara neden olur (Shaluf, 2007).

Afetler, doğal ve insan kaynaklı olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Doğal afetler, insanların üzerinde hiçbir kontrolünün olmadığı deprem, sel, heyelan, çığ, toprak kayması gibi doğal nedenlerden kaynaklanan olaylardır (Shaluf and Ahmadun, 2006). İnsan kaynaklı afetler ise, kimyasal sızıntılar, kömür madeni patlamaları gibi oldukça çeşitlidir (Feng and Cui, 2021).

Son yıllarda afetlerin sayısının ve ciddiyetinin bütün dünyada artış gösterdiği görülmüştür. 2008 – 2018 yılları arasında, sel, deprem, toprak kayması, tsunami gibi 3751 doğal afet tespit edilmiştir. Yaşanan bu afetler sonucunda, 1.658 milyar dolar ekonomik kayıp yaşanmıştır (Khan, Gupta and Gupta, 2020). Doğal afet sebebiyle, 1998 ve 2017 yılları arasında 1,3 milyon kişi hayatını kaybetmiştir ve 4,4 milyar kişi yaralanmış veya evsiz kalmıştır (Farahani, Lotfi, Baghaian, Ruiz and Rezapour, 2020).

1.1. Afet Yönetim Sistemi

Afetlerde yaşanan can ve mal kayıplarını en aza indirmek için afet öncesi ve afet sonrası süreci ifade eden afet yönetim sisteminin etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Afet öncesi yapılan çalışmalar risk yönetimi, afet sonrası yapılan çalışmalar ise kriz yönetim sürecini oluşturmaktadır. Afet yönetim sisteminde yer alan risk yönetim süreci; hazırlık aşaması, hafifletme aşaması, kriz yönetim süreci ise müdahale aşaması ve kurtarma aşaması olmak üzere dört grupta sınıflandırılabilir.

konusunda büyük bir fikir birliği bulunmaktadır (French and Geldermann, 2005; Ajami ve Fattahi, 2009; Wex, Schryen, Feuerriegel and Neumann, 2014).

Sistemin hazırlık aşaması; eğitim, erken uyarı ve gerekli acil durum hizmetlerinin planlanması ve kurulmasıyla ilgilidir (De Silva, 1999; Pollak, Falash, Ingraham and Gottesman, 2004). Hafifletme aşaması, afet olasılığını veya hasarın boyutunu azaltan faaliyetlerden oluşmaktadır (Paul and Hariharan, 2012). Müdahale aşamasında tehlikeden korunmak ve hayatta kalanların durumunun dengelenmesi esastır (Kovács ve Spens, 2011). Kurtarma aşamasında ise, zayıt bulma, altyapı onarımı ve acil durum hizmetlerinin sağlanması kilit görevlerdir (Sherali, Carter and Hobeika, 1991). Afet yönetim sisteminde yer alan faaliyetlerin dört aşamaya göre dağılımı (Altay and Green, 2006) aşağıdaki Şekil 1.1.' de verilmiştir.

Hazırlık
• Acil durum planlamasının hazırlanması • Afet müdahale personelinin eğitiminin gerçekleştirilmesi • Araç ve ekipman için bütçe oluşturma ve satın alma faaliyetleri • Acil durum malzemelerinin bakımının yapılması • Afet personelinin, yetkinliklerinin analizi için afet tatbikatları yapılması
Hafifletme
• Yüksek tehlikeli alanların yıkımını önlemek için imar ve arazi kullanım kontrollerinin yapılması • Afet etkilerinin azaltılması için gerekli yerlere bariyer yapılarının kurulması • Vergi teşvikleri veya caydırıcı faaliyetlerin yürütülmesi
Müdahale
• Acil durum operasyon planının etkinleştirilmesi • Acil durum operasyon merkezinin etkinleştirilmesi • Kentsel arama ve kurtarma çalışmalarının gerçekleştirilmesi • Acil durum altyapı koruması ve cankurtaran hizmetlerinin kurulması
Kurtarma
• Afet enkazlarının temizlenmesi • Yolların, köprülerin ve önemli tesislerin yeniden inşa edilmesi • Yerinden edilmiş insan ve hayvan popülasyonları için sürekli iyileştirici bakımın yapılması • Bireylere ve hükümetlere mali yardım sağlanması

Şekil 1.1.: Afet yönetim sisteminde gerçekleştirilen faaliyetler

Afet yönetim sistemine yönelik gerçekleştirilen faaliyetler ülkelere göre farklılık göstermektedir. Türkiye’ de, Türkiye Afet Yönetim Sisteminde (TAMP) yer alan planlara göre il bazlı oluşturulmaktadır. Bu planlamalarda afet ve acil durumlara ilişkin müdahale çalışmalarında görev alacak hizmet grupları ve koordinasyon birimlerine ait rolleri ve sorumlulukları tanımlamak, afet öncesi, sırası ve sonrasındaki temel prensipleri içeren görevleri belirlemektir. TAMP, afet ve acil durumlara ilişkin müdahale çalışmalarında görev alacak, hizmet grupları ve koordinasyon birimlerine ait rolleri ve sorumlulukların belirlenmesini içerir (Türkiye Afet Müdahale Planı [TAMP], 2013).

1.2. Deprem ve Deprem Sonrası Yaşanan Zorluklar

Deprem, yeryüzünün üst katmanlarında meydana gelen ani bir kırılmadır. Bazen yüzeyi kırarak, yeterince güçlü olan yerlerde binaların çökmesine ve can ve malın tahrip olmasına neden olan zeminin titreşimi ile sonuçlanır (Shaluf, 2007). Depremler en yaygın doğal afetler arasındadır. Yılda 500.000’ den fazla, farklı büyüklüklerde depremler meydana gelmektedir (Xiong, Zhang, Shen and Battiston, 2021). Güçlü depremlerin etkileri yıkıcı olabilir. Tüm dünyada ağa bağlı binlerce sismograf istasyonu kurulmuş ve güçlü bilgisayarlar bu istasyonlar tarafından üretilen verileri sürekli olarak analiz etse bile, depremlerin tam olarak ne zaman ve nerede olacağı tahmin edilememektedir (Tzeng, Cheng and Huang, 2007). Depremlerin bu öngörülemez karakteri, hasarları ve kayıpları azaltmak için deprem müdahalesi için kapsamlı planlar geliştirmeyi zorunlu hale getirir (Yi and Özdamar, 2007).

Küresel olarak depremler büyük ekonomik kayıplara ve binlerce ölüme sebep olmuştur. 1998 ile 2018 yılları arasında deprem sebebiyle 752.498 kişi hayatını kaybetmiştir ve yaklaşık 1.574.000 kişi yaralanmıştır (Yildiz, Teeuw, Dickinson and Roberts, 2020). 2015 Nepal Depremi (7,8 Mw) yaklaşık 9000 kişinin ölümüne, 23.000 kişiyi yaralanmasına neden olmuştur ve deprem sonucunda 250.000’den fazla bina yıkılmıştır (Liang ve Zhou, 2016); 2010 Haiti depremi (7 Mw) sonucunda yaklaşık 316.000 kişi hayatını kaybetmiştir, 300.000 kişi yaralanmıştır, 2008 Wenchuan Depremi ise en az 69.195 kişinin hayatını kaybetmesine ve 374.177 kişinin yaralanmasına neden olmuştur (Yildiz et al., 2020).

Deprem sonrası yaşanan süreç, oldukça karmaşıktır. Çünkü depremin doğası, gerçekleştiği zaman (gece/gündüz) ve büyüklüğüyle ilgili belirsizlikler, mağdurların yeri ve ihtiyaçları hakkında bilgi eksiklikleri, rastgele yapılan bağışlar, güvencesiz ulaşım bağlantıları gibi farklı açılardan sorunlar mevcuttur (Çiftçi, Çakırer ve Sakallı, 2020). Bu sorunlara hasarlı ulaşım ağı, sağlık, gıda, barınma gibi çeşitli kaynaklara olağanüstü talep, kaynak kıtlığı, çok talepli alanlar, sınırlı ulaşım kapasitesi örnek verilebilir (Kaveh, Javadi and Moghanni, 2020).

1.3. Türkiye’ de Depremler

Türkiye, Avrasya, Afrika ve Arap levhalarının sınırlarında yer almaktadır. Ülkede Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı ve Batı Anadolu Fayı gibi bir dizi aktif fay bulunmaktadır. Bu aktif faylar, Türkiye’ yi deprem tehlikesi açısından dünyadaki en riskli ülkelerden biri yapmaktadır (Günaydin et al., 2021). Türkiye 1900’ den beri her yedi yılda bir büyük ölçekli bir depreme maruz kalmaktadır. Yaşanan bu depremler, nüfus ve altyapı üzerinde büyük etki oluşturmuşlardır. Türkiye’ de yaşanan doğal afetler sonucunda can ve mal kayıplarının %55’ ini depremler, %30’ unu heyelanlar, %8’ ini sel olayları oluşturmuştur (Yildiz et al., 2020).

Türkiye tarihindeki yıkıcı depremler, 600’ den fazla kişinin ölümüne, 2000’ den fazla kişinin yaralanmasına ve 49.000’ den fazla binanın hasar görmesine neden olmuştur. Yıkıcı depremler arasında; 1999 Marmara ve 2011 Van depremi 17.000’ den fazla ölüme, 43.953 yaralanmaya ve 12 milyar dolardan fazla maliyete neden olmuştur (Yildiz et al., 2020). Türkiye’ de yaşanan hasar yapıcı depremlerle ilgili detaylı bilgiler (Şenol, 2020) Çizelge 1.1.’ de verilmiştir.

Çizelge 1.1.: Türkiye tarihindeki yıkıcı depremler

Yıl	İl	Büyükölük	Can Kaybı	Yaralı Sayısı
1939	Erzincan	7,9	30.000	100.000
1976	Çaldıran	7,5	3.840	497
1999	Kocaeli (Gölcük)	7,6	17.480	18.373
1999	Düzce	7,1	710	2.679
2003	Bingöl	6,4	176	625
2011	Van	7,1	644	1.966
2020	Elâzığ	6,8	41	1.466
2020	İzmir	6,6	116	1.034

1.4. Afet Lojistiğı

Afet lojistiğı; afetzedelerin acılarını azaltmak için mal, hizmet ve ilgili bilgilerin menşee noktasından son tüketim noktasına etkin ve uygun maliyetle taşınması ve depolanmasının planlanması, icra edilmesi ve kontrolünün sağlanmasıdır (Thomas and Kopczak, 2015).

Afet yönetim sisteminin her aşamasında lojistik faaliyetler oldukça önemlidir. Afetlerin yol açacağı can ve mal kayıpları ancak afet lojistik operasyonlarının etkinliğı ve verimliliğinin artışı ile azaltılabilir (Cozzolino, 2012). Afet lojistiğinde; insani yardım faaliyetleri, arama ve kurtarma çalışmaları, tıbbi yardım, gıda ve barınma ihtiyaçlarının temin edilmesi, dağıtım, ulaştırma, araç rotalama, yer seçim problemleri, talep tahmini çalışmaları gibi çeşitli faaliyetler yer almaktadır.

Bu kapsamda afet lojistiğıyle ilgili çalışmaları, tesis yer seçimi ve depolama problemleri (Gao, Zhou, Amir, Rosyidan and Lee, 2018; Shi, Zhai, Xu, Zhu and Deng, 2019; Yang , Yin, Ye, She and Yu, 2020; Oksuz and Satoglu, 2020), talep tahmini modelleri (Sheu, 2010; Widener, Horner and Ma, 2015; Nikolopoulos, Petropoulos, Rodrigues, Pettit and Beresford, 2020; Patra and Jha, 2021) ve kaynak planlaması (Chou, Tsai, Chen and Sun, 2014; Dhingra and Roy, 2015; Shin and Lee, 2020; Jat and Rafique, 2020), olmak üzere üç temel başlık altında yoğunlaşmıştır.

Kaynak planlaması çalışmaları afet sonrası yaşanan can ve mal kayıplarının azaltılması açısından kritiktir. Afet öncesi yapılan kaynak planlamalarının, afet esnasında

kullanılabilirliği oldukça zordur. Bu nedenle kaynak planlaması çalışmalarının gerçek bir afet durumunda kullanılabilirliği için yapılan çalışmaların etkinliği ve verimliliği önemlidir. Afetlerde kaynakların planlanması çalışmaları acil yardım malzemelerinin (gıda, su, ilaç, barınak) tahsisi (Wang, Huang and Guo, 2017; Liu, Guo, Jiang, Jiang and Wang, 2018; Yu et al., 2018; W. Chen, Zhai, Ren, Shi and Zhang, 2018; Sakiani, Seifi and Khorshiddoust, 2020), arama kurtarma ekiplerinin tahsisi (S. Zhang, Guo, Zhu, Yu and Liu, 2017; Berawi et al., 2019) ve sağlık kaynaklarının tahsisi olmak üzere üç ana başlık üzerinde değerlendirilmiştir. Ancak doktor, ambulans, ilaç, ekipman, hastane gibi sağlık kaynaklarının planlanması çalışmaları oldukça az ilgi görmüştür. Bu nedenle Bölüm 1.6.' da afet lojistiği faaliyetlerinden kaynak planlamasında yer alan, sağlık kaynaklarının tahsisine yönelik yapılan çalışmalar incelenmiştir.

1.5. Sağlık Kaynaklarının Tahsis Edilmesi

Büyük ölçekte meydana gelen bir afet sonrasında, mevcut kaynaklar afetlerin etkilerine cevap vermek için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, ölüm ve yaralanmaları azaltan tutarlı, bütünleşmiş, erişilebilir ve koordineli sağlık hizmetleri almak afetler sırasında ilk ve en önemli taleptir (Yousefian, Sohrabizadeh and Jahangiri, 2021).

Temel tıbbi kaynakların eksikliğine neden olan afetlerin etkilerinin azaltılmasında, operasyonlarının kalitesini iyileştirmek için kaynak tahsisini optimize etmek çok önemlidir (Najafi, Eshghi and Leeuw, 2014). Can kaybını en aza indirmek ve kurtarma operasyonlarının verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için mevcut tıbbi kaynakların daha iyi tahsis edilmesi ve planlanması ihtiyacına rağmen, Bölüm 1.4.' de verilen afet lojistiğiyle ilgili literatür gözden geçirildiğinde, öncelikli olarak tesis yer seçimi, yardım malzemelerin tahsisi vb. konulara daha fazla ilgi gösterildiği görülmektedir (Özdamar, Ekinci and Küçükyazici, 2004; Yi and Kumar, 2007; Sheu, 2010; Coles, Zhuang and Yates, 2012). Tıbbi kaynak tahsisi problemleri ise oldukça az ilgi görmüştür (Fiedrich, Gehbauer and Rickers, 2000; Gong and Batta, 2007). Bu amaçla literatürde yer alan afetlerde sağlık kaynaklarının (doktor, ambulans, ekipman, hastane vb.) tahsis edilmesi çalışmaları incelenmiştir.

Çalışmalar incelenirken; çözüm yöntemleri, yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıkları, hastane ataması, ambulans ataması, sağlık birimi ataması, zaman periyodu

açısından dönem sayısı, yaralıların hayatta kalma / kaybetme fonksiyonları, olay yeri triyaj müdahalesi, etkilenmiş bölge sayısı, afet tipi olmak üzere on ana başlık üzerinde değerlendirilmiştir. İnceleme sonuçlar Çizelge 1.2.' de verilmiştir. İncelenen çalışma değerlendirme kriterine yönelik bilgiler içeriyorsa “√”, içermiyorsa “×” simgesiyle belirtilmiştir. Sonrasında Çizelge 1.2.' de verilen her bir çalışma, ilgili kriteri değerlendirmesi açısından detaylı olarak anlatılmıştır.



Çizelge 1.2.: Sağlık kaynaklarının tahsisi literatür araştırması

Çalışmalar	Afet Tipi	Etkilenmiş Bölge Sayısı	Olay Yeri Triyajı	Hayatta Kalma Fonksiyonu	Dönem Sayısı	Sağlık Birimi Ataması	Ambulans Ataması	Hastane Ataması	Yaralı Grupları Arasındaki Geçiş Olasılıkları	Çözüm Yöntemleri
(Fiedrich et al., 2000)	Deprem	Çok	×	√	Çok	×	×	√	×	Sezgisel Yöntem
(Yi and Özdamar, 2007)	Deprem	Çok	×	×	Çok	×	√	√	×	MIP
(Jotshi, Gong and Batta, 2009)	Deprem	Çok	×	×	Çok	×	×	√	×	Veri Füzyonu
(Cotta, 2011)	Genel	Tek	√	×	Çok	×	×	×	×	Meta Sezgisel
(Wilson, Hawe, Coates and Crouch, 2013)	Genel	Çok	√	×	Tek	×	×	√	√	Meta Sezgisel
(Dean and Nair, 2014)	Uçak Kazası	Tek	√	√	Çok	×	×	√	×	MIP
(Najafi et al., 2014)	Deprem	Çok	×	×	Çok	×	×	√	×	MIP
(Jin, Jeong, Kim and Kim, 2015)	Mağaza Çökmesi	Çok	√	√	Çok	×	√	√	×	MIP
(Sung and Lee, 2016)	Genel	Tek	×	√	Tek	×	√	√	×	MIP
(Xiang and Zhuang, 2016)	Genel	Tek	×	×	Tek	×	×	×	√	Sezgisel Yöntem
(Wilson, Hawe, Coates and Crocuh, 2016)	Genel	Çok	√	×	Çok	×	×	√	√	Meta Sezgisel
(Rezapour et al., 2018)	Deprem	Çok	√	√	Tek	√	√	×	×	Doğrusal Olmayan Programlama
(J. Zhang, Liu, Yu, Ruan and Chan, 2019)	Deprem	Çok	×	√	Tek	×	√	√	×	Pareto Optimal, ϵ -Kısıtlama Yöntemi
(K. Liu, 2020)	Deprem	Çok	×	×	Tek	×	×	√	×	Genetik Algoritma
(Sun, Wang, Zhang and Cao, 2021a)	Deprem	Çok	×	√	Tek	×	×	√	×	Sağlam Optimizasyon
(Sun, Wang and Xue, 2021b)	Deprem	Çok	√	√	Tek	×	×	√	×	ϵ - Kısıtlama Yöntemi
Bu Çalışma	Deprem	Çok	√	√	Çok	√	√	√	√	MIP

Fiedrich et al., (2000), depremlerden sonra arama kurtarma ekipleri ve ulaşım araçları gibi mevcut kaynakların optimal tahsisi için, dinamik bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Modelde dinamiklik; çok periyodlu sistemdeki her bir periyodun değişken uzunluğu ve dönemlere göre değişen toplam ölüm sayısı şeklinde değerlendirilmiştir. Modelin amaç fonksiyonu toplam ölüm sayısının en aza indirilmesi şeklindedir. Geliştirilen modelin çözümü için simüle edilmiş tavlama ve tabu arama sezgisel yöntemlerini kullanmışlardır.

Yi and Özdamar, (2007), depremlerden sonra etkilenen alanlara yardım malzemelerinin hızlı dağıtımı ve yaralıların hastanelere zamanında teslimi için bütünleşmiş bir konum yönlendirme problemi geliştirmişlerdir. Problemin çözümü için karışık tam sayılı programlama yöntemi kullanmışlardır. Geliştirilen model, araçların bilgi güncellemelerine göre yeniden yönlendirilmesi ve hizmet kapasitelerinin (hastanelerdeki doktor sayısı) yeniden tahsisine göre güncellenmesi konusunda dinamiklik içermektedir. Model depremden sonra ilk 8 saati içerek şekilde 2 dönem şeklinde formüle edilmiştir. Bu nedenle mevcut bilgilerin güncellenmesi 1 kere gerçekleştirilmiştir.

Jotshi et al., (2009), depremlerden sonra kazazedelerin hastaneye sevkinin gerçekleştirilmesinde sürenin kısaltılabilmesi ve kazazedelerin hayatta kalma ihtimallerini artırabilmek için mevcut kaynaklarının optimize edilmesi problemini incelemişlerdir. Problemin amacı yaralıların en yakın hastaneye atamasının yapılmasıdır. Problem dinamik araç yönlendirme problemi olarak formüle edilerek, ulaşım esnasında kullanılabilecek rotaların güncellenmesini içermektedir. Deprem sonrası ilk 24 saati içerecek şekilde, problemin çözümü için veri füzyonu kullanmışlardır.

Cotta, (2011), kitlesel kazazede olaylarında etkili hasta önceliklendirilmesi için çevrimiçi bir model geliştirmiştir. Modelin amacı, hastanelerde tedavi edilen hasta sayısını en üst düzeye çıkartmak ve ölen hasta sayısını minimum yapmaktır. Model çok periyodlu ve birden fazla yaralı grubunu kapsayacak şekilde formüle edilmiştir. Bu kapsamda model bir sonraki dönemde, ameliyat edilecek hastanın hangi gruptan olabileceğini belirlemek için çevrimiçi kararlar alımını içerir.

Wilson et al., (2013), kitlesel kazazede olayları esnasında acil servislere karar desteği sağlamaya yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında birden fazla yaralı grubu mevcuttur ve zaman ilerledikçe yaralıların sağlık durumlarında bozulmalar meydana gelebilir. Bu amaçla çalışma her bir yaralı grubunun en yakın ve donanımlı hastaneye sevkiniin sağlanması için hastane atama problemini ele almışlardır. Problem çözümü için meta sezgisel yaklaşım kullanmışlardır. Problemden hastanelerin boş yatak kapasitesi dinamik olarak formüle edilmiştir.

Dean and Nair, (2014), toplu yaralanma olaylarında, yaralıların yaralanma şiddetlerine göre, en yakın hastaneye sevkiniin gerçekleştirilmesi problemini ele almışlardır. Problem karışık tam sayılı programlama olarak formüle edilmiştir. Çalışma kapsamında hastaların hayatta kalma fonksiyonu ilk 6 saati içerecek şekilde, 15 zaman periyodu olarak değerlendirilmiştir. Sağlık durumu daha iyi olan hastaların daha uzak hastaneye atanması yaklaşımı benimsenmiştir.

Najafi et al., (2014), deprem müdahalesi sırasında lojistik planların dinamik olarak güncellenmesi için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Modelde dinamiklik mevcut duruma göre ağ yapısının güncellenmesi olarak değerlendirilmiştir. Modelin amacı yardım malzemelerinin enkaz bölgelerine, yaralıların ise hastaneye sevki için gereken süreyi en aza indirmektir. Modelin çözümü için karışık tam sayılı programlama metodunu kullanmışlardır.

Jin et al., (2015), kitlesel yaralanma olaylarında acil durum lojistiği ve tıbbi kaynak tahsisi için bir karışık tam sayılı optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Model kapsamında birden fazla yaralı grubu mevcuttur ve her yaralı grubuna özgü bir hayatta kalma olasılığı bulunmaktadır. Modelin amacı yaralı gruplarına göre ölüm sayısını en aza indirilmesidir. Modelde afet bölgelerinde bulunan yaralıların saha kliniklerine ve hastanelere sevki için ambulans tahsisi, yaralı tiplerine göre uygun tedaviyi görmeleri için ise hastane tahsisi yapılmıştır. Afet bölgelerinde gerçekleştirilecek ilk tıbbi müdahale işlemi model kapsamında değerlendirilmemiştir.

Sung and Lee, (2016), kitlesel yaralanma olaylarında acil tıbbi kaynakların en uygun şekilde tahsis edilebilmesi problemini ambulans yönlendirme problemi olarak modellemişlerdir. Modelde, yaralıların sayısı ve triyaj sınıfları dikkate alınarak, beklenen hayatta kalma sayısını en üst düzeye çıkarmak için ulaşım ve varış

hastanesinin sırasını belirlemişlerdir. Çözüm yönteminde, problem küme bölümlene sorunu olarak modellenerek ve bir sütun oluşturma yaklaşımıyla çözümlenmiştir.

Xiang and Zhuang, (2016), büyük çaplı felaketlerden sonra, önemli tıbbi kaynakların tahsisini optimize etme problemini, bir felaketin ardından yaralıların sağlık durumlarının kötüleşmesini değerlendirecek bir model geliştirmişlerdir. Modelde, kırmızı ve sarı triyaj gruplarının tedavi sürecine öncelik vermek ve programlamak için iki öncelikli bir kuyruk sistemi ağı geliştirmişlerdir. Çalışmalarındaki amaç, toplam beklenen ölüm oranını ve toplam bekleme süresini en aza indirmektir. Problemin çözümü için sezgisel yöntem kullanmışlardır.

Wilson et al., (2016), kitlesel yaralanma olayları için önceden hesaplanmış görev süreleri ve nakil süreleri düşük performans göstereceğini kabul ederek, iki amaçlı dinamik bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Sistemde dinamiklik, dönemlere göre hastanelere gelen yaralı sayısı ve ekiplerin görev sürelerindeki değişim olarak ele alınmıştır. Modelin çözümü için meta sezgisel yöntem kullanmışlardır.

Rezapour et al., (2018), depremlerden sonra birden fazla afet bölgesine arama kurtarma ve tıbbi ekiplerin tahsisi için optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model tek dönemlidir. Modelin amacı deprem sebebiyle yaralananların hayatta kalma olasılığını artırmaktır. Modelin çözümü için doğrusal olmayan programlama kullanmışlardır.

Y. Liu et al., (2019), deprem sonrası geçici tıbbi servis yerlerini belirlemek ve deprem sonrası yaralıların hayatta kalma olasılığını artırmak için bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Model kapsamında yaralıları geçici tıbbi servislere ve hastanelere sevk etmek için farklı ulaşım araçlarının (ambulans, helikopter) kullanımı yer almaktadır. Model tek dönemli olarak formüle edilerek, Pareto Optimal ve ϵ -Kısıtlama Yöntemi kullanılarak çözülmüştür.

K. Liu, (2020), deprem sonrası tıbbi tahliye sisteminin optimizasyonu için bir model geliştirmişlerdir. Modelin amacı, birden fazla etkilenmiş bölge için optimum hastane eşleşmesinin sağlanmasıdır. Geliştirilen modelin çözülmesinde genetik algoritma yöntemi kullanmışlardır.

Sun, et al., (2021a), deprem sonrası yaralı sayısındaki belirsizliği dikkate alarak, yaralıların nakliyesi ve geçici tıbbi tesislerin yeri için çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Model kapsamında yaralılar ağır ve geciktirilebilir olmak üzere iki gruba ayırarak, ağır yaralı grubundaki kişiler helikopterlerle hastanelere, hafif yaralı grubundakiler ise diğer ulaşım araçlarıyla geçici tıbbi tesislere sevk edilmesini amaçlamışlardır.

Sun, et al., (2021b), deprem sonrası tıbbi hizmeti optimize etmek için acil durum lojistik problemini ele almışlardır. Problemden iki tür yaralanma mevcuttur. Ağır yaralı grubu hastanelere, geciktirilebilir yaralılar ise geçici tıbbi tesislere sevk edilir. Çalışma kapsamında iki tür yaralı grubu için, yaralıların dinamik değişimi ele alınmıştır. Yaralı gruplarına göre hastanelere ve geçici tıbbi tesislere yaralı sevki yapılmıştır. Problemin çözümü için ϵ - Kısıtlama Yöntemi kullanılmışlardır.

1.6. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Deprem sonrası yaşanan zorluklar, sağlık ve ulaşım gibi insan hayatıyla yakından ilişkili sektörleri olumsuz yönde etkilemektedir. Örneğin, deprem sonrası sağlık kaynaklarının (doktor, hemşire, ambulans vb.) kullanılabilirliği, yaşanan can kayıplarının azaltılması açısından oldukça önemlidir. Çünkü deprem sonrası gerekli koşullarda yapılacak olan sağlık müdahalelerinin, yaralanmış insanların hayatta kalmasını sağlamak veya geçici ya da kalıcı sakatlıkların engellenmesi açısından kritiktir (Korkmaz, 2012). Bu doğrultuda bu çalışmada deprem sonrası sağlık kaynaklarının tahsisi problemi ele alınmıştır.

Çizelge 1.2.' de yer alan afetlerde sağlık kaynaklarının tahsisi çalışmaları değerlendirildiğinde, afet sonrası ihtiyaç duyulabilecek bütün sağlık kaynaklarını (sağlık birimi, ambulans, hastane) değerlendiren çalışma bulunmamaktadır. Bazı çalışmalar sadece sağlık birimlerinin atanması (Rezapour et al., 2018), bazıları ise sadece hastane atamasına (Fiedrich et al., 2000; Jotshi et al., 2009) odaklanmışlardır. Örneğin deprem gibi olası bir afet sonrası kaynak tahsis süreci kademelidir. Tek başına olay yeri sağlık müdahalesi için sağlık ekiplerinin atanması, depremin etkilerinin azaltılmasında yetersiz kalacaktır. Bu nedenle sistem bütünsel olarak değerlendirilerek, olay yeri için sağlık personeli, hastaneye sevk için ambulans ataması ve kapsamlı

tedavi için hastane atamasının yapılması, deprem sonrası yaşanan kayıpların azaltılması açısından kritiktir.

Bir afet sonrası ilk zamanlarda, kaynaklara olan talep oldukça fazladır. Ancak zaman ilerledikçe talep azalmaktadır (Jabbarzadeh, Fahimmia and Seuring, 2014). Bu nedenle, özellikle hızlı ve kararlı eylemlerle ilgili olarak zaman, afet yönetiminde en önemli unsurdur. Herhangi bir gecikme ve kararsız eylem kötü bir durum ile ilgili bir başka olumsuz etki oluşturabilir (Arain, 2015; Lovreglio, Ronchi and Nilsson, 2015; Waring, 2015). Afetlerde enkaz zedeler kademeli olarak kurtarılırlar. Zaman ilerledikçe enkazlardan kurtarılan yaralı sayısı artış gösterir. Literatürde yaygın olarak kaynak tahsis çalışmalarında zaman açısından tek periyodlu (Sung and Lee, 2016; Rezapour et al., 2018; Y. Liu et al., 2019) ve statik parametrelerin (talep, arz vb.) kullanıldığı modeller geliştirilmiştir (Galindo and Batta, 2013). Bu çalışma çıktıları optimal kaynak tahsisini sağlasa bile, gerçek bir afet durumunda kullanım için elverişli ve pratik değildir. Çünkü zaman ilerledikçe kaynak gereksinimleri ve yaralı sayıları değişkenlik gösterir. Dolayısıyla afet yönetim sisteminde yer alan tahsis kararlarında zaman unsuru dahil edilmediği taktirde kaynakların kıtlığı ve bir süre sonra fazlalığı söz konusu olacaktır. Kaynak tahsisi yapılırken zaman unsurunun çok periyodlu olarak değerlendirilmesi, kaynak yönetiminde etkili kararların alınmasını sağlayacaktır.

Çizelge 1.2.' de yer alan çalışmalar çoğunlukla birden fazla yaralı grubunu içerecek şekilde geliştirilmiştir (Yi and Özdamar, 2007; Jotshi et al., 2009; Cotta, 2011). Yaralıların zaman ilerledikçe sağlık durumlarının kötüleşmesi çalışmalara göre farklılıklar içerebilen hayatta kalma / kaybetme fonksiyonunun kullanımı şeklinde değerlendirilmiştir (Dean and Nair, 2014; Jin et al., 2015; Rezapour et al., 2018). Ancak yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıkları oldukça az ilgi görmüştür (Wilson et al., 2013; Wilson et al., 2016; Xiang and Zhuang, 2016). Gerçek hayat problemlerinde hafif yaralı grubunda yer alan bir kişi, ağır yaralı grubuna geçiş yapmadan hayatını kaybedemez. Bu nedenle yaralı grupları arasındaki geçişlerin ele alınması, geliştirilen modellerin teoride kalmayıp, gerçek bir vaka durumunda kullanılabilirliğini artıracaktır.

Bu çalışmada, depremlerden sonra, hayatını kaybeden sayısını en aza indirmek ve kurtarma operasyonlarının verimliliğini en üst seviyeye çıkarmak için; olay yeri ilk

tıbbi müdahaleyi gerçekleştirecek sağlık kaynakları (doktor, hemşire, ekipman, ilaç vb.), olay yeri ilk tıbbi müdahalesi gerçekleştirilen yaralıları hastaneye sevk etmek için ambulans ataması ve kapsamlı tedavi görebilmeleri için hastane ataması problemi ele alınmaktadır. Olay yerlerine ilk tıbbi müdahaleyi gerçekleştirecek sağlık kaynaklarının atanması sonucunda, olay yeri triyaj işlemi yaralıların hayatta kalma olasılıklarını artırarak, hastanede yapılacak operasyonların verimliliğini artıracaktır. Böylelikle hastaneye başvuran yaralı sayısı azalacak, sadece ciddi boyutta yaralanmaların hastanelerde tedavileri gerçekleştirilecektir. Bu durumda kaynakların etkin kullanımını sağlayacaktır.

Bu doğrultuda çalışma kapsamında, deprem sonrası sağlık kaynaklarının tahsis edilmesi problemi için 0-1 karışık tam sayılı bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Geliştirilen modelin:

- ✓ Deprem sonrası ilk saatleri çok periyodlu olarak,
- ✓ Yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıklarını markov zinciri olarak değerlendirilmesi,
- ✓ Deprem sonrası ihtiyaç duyulan sağlık kaynaklarının bütünsel olarak tahsis edilmesi,

Kriterlerini değerlendirmesi açısından yapılan araştırmalara göre, literatürde konuyla ilgili sınırlı çalışmalar arasında yer aldığı düşünülmektedir. Çünkü deprem sonrası oldukça kritik olan ilk saatlerin çok periyodlu olarak ele alınması, kaynak tahsisinin ve yaralı yönetiminin verimliliğini artıracaktır. Yaralı grupları arasındaki geçişlerin markov zinciri olarak ele alınmasıyla, yaralıların yaralanma ciddiyetine göre tedavi süreleri, hastaneye sevk edilme öncelikleri ve hayatta kalma olasılıklarının değerlendirilmesi sağlanacaktır. Deprem sonrası ihtiyaç duyulacak bütün sağlık kaynaklarının tahsis edilmesi ise, gerekli tıbbi tedavi işlemlerinin verimli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayarak, yaşanan can kayıplarını azaltacaktır.

Çalışmanın devamında, Bölüm 2’ de deprem sonrası sağlık kaynaklarının optimal tahsisinde kullanılan materyal ve yöntem, Bölüm 3’ de geliştirilen modelin tanımı, matematiksel gösterimi ve bir deprem senaryosu üzerindeki uygulama sonuçları, Bölüm 4’ de ise modelden elde edilen sonuçlar ve gelecek çalışmalar için öneriler verilerek çalışma sonlandırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Mühendislik, finans, eğitim vb. gibi farklı sektörlerde karşılaşılan problemlerin tanımlanabilmesi için matematiksel modeller kullanılmaktadır. Geliştirilen matematiksel modellerin çözülmesinde ise yaygın olarak yöneylem araştırması kullanılmaktadır. Yöneylem Araştırması, karar verici konumundaki kişilerin, karar vermelerine yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiş bir problem çözme yaklaşımı olmakla birlikte sınırlı miktardaki kaynakların çeşitli faaliyetlere en iyi şekilde paylaştırılmasına yönelik problemlerin çözümünde kullanılır. Yöneylem araştırması model parametrelerindeki değişikliklere duyarlı olması, esneklik ve kullanım kolaylığı sağlaması bakımından oldukça kullanışlıdır (Taghavi et al., 2021).

Yöneylem araştırmasının bilinen en eski tarihinin II. Dünya Savaşındaki askeri faaliyetlerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Bouyssou, 2006). Yöneylem araştırması teori ve yöntemleri 1940 yılında, fizikçi Blackett liderliğindeki ilk ameliyathanenin İngiltere’de kurulmasıyla birlikte, savaşta ve savaştan sonraki dönemde, ameliyathane grubundan uzmanlar tarafından, ekonomi ve yönetimde başarıyla uygulamışlardır. Son on yılda yöneylem araştırması büyük bir gelişim yaşayarak, bu kapsamda birçok yaklaşım ve algoritma geliştirilmiştir (Liao et al., 2019). Geliştirilen algoritmalar ile farklı tür ve boyuttaki problemlerin çözülebilmesi pratik ve hızlı bir hale gelmiştir.

Yöneylem araştırması teknikleri oldukça çeşitlidir. Matematiksel programlamalar, sezgisel yöntemler ve simülasyon uygulamaları yöneylem araştırması yöntemleri arasında yer almaktadır. Afet operasyonlarına etkili çözümler geliştirilmesinde, matematiksel programlamaların kullanılması oldukça yaygındır (Altay and Green, 2006).

Deprem sonrası sağlık kaynaklarının optimal tahsis edilmesi çalışmasında, 0-1 karışık tam sayılı matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bu kapsamda bu bölümde, öncelikle

doğrusal programlama yöntemi, sonrasında ise tam sayılı programlama türlerinden olan 0-1 karışık tam sayılı programlama yöntemi açıklanmıştır.

2.1. Doğrusal Programlama

Analitik karar vermenin çoğunun temeli doğrusal programlamadır. Doğrusal bir programda değişkenler, kısıtlamalar ve bir amaç işlevi vardır. Değişkenler veya kararlar sayısal değerler alır. Kısıtlamalar, değerleri uygun bir bölgeyle sınırlandırmak için kullanılır. Bu kısıtlamalar karar değişkenlerinde doğrusal olmalıdır. Amaç fonksiyonu, değişkenlere hangi belirli uygun değer atamasının optimal olduğunu tanımlar: amaç fonksiyonunu maksimize / minimize eden işlevdir. Amaç fonksiyonu değişkenleri de doğrusal olmalıdır. Doğrusal programlar, pratik açıdan ilgi çekici birçok sorunun modellenmesini sağlayarak, yüz binlerce kısıtlama ve değişken içeren sorunlara en uygun çözümleri bulabilir. Doğrusal programlamayı bu kadar önemli kılan, modelleme gücü ve çözülebilirliğin birleşimidir (Bosch and Trick, 2005).

Doğrusal programlama kıt kaynakların optimum dağılımını belirlemek için bir organizasyonda yürütülen planlama faaliyetlerinden kaynaklanır. Doğrusal programlamanın temeli, ilk kez Fourier'nin (1768-1830) çalışmasında ortaya çıkan doğrusal eşitsizliklerin incelenmesinde atılmıştır. Kantorovich (1939, 1942), planlama kaynaklarını optimize etmek için ekonomi alanında doğrusal programlamanın kullanımı ilk uygulayanlar arasındadır. Doğrusal programlama standart gösterimi şu şekildedir (Puler, Mula and Díaz-Madroñero, 2014):

- Maksimum $C^T x$ (2.1.)

- $Ax \leq b$ (2.2.)

- $x \geq 0$ (2.3.)

Burada x karar değişkenlerinin vektörünü temsil eder. C ve b gerçekte sayılar olup, bilinen katsayıların vektörleridir. A ise bilinen bir katsayı matrisidir. Amaç fonksiyonu $C^T x$ problem tipine göre maksimum ya da minimum yapılabilir. Negatif olmama kısıtı ise Formül 2.3. ile ifade edilmiştir.

2.2. Tam Sayılı Programlama

Tam sayı programlama, doğrusal programlamaya ek kısıtlamalar ekler. Bir tam sayı programı doğrusal bir programlamayla başlar ve değişkenlerin bazılarının veya tümünün tam sayı değerleri alması koşulunu ekler (Bosch and Trick, 2005). 60 yıldan fazla süredir, tam sayı programlama alanı, gelecek vaat eden modelleme yeteneği ve esnekliği nedeniyle matematik topluluğunda kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Son yıllarda (özellikle son yirmi yılda), çoğunlukla artan hesaplama yeteneklerine bağlı olarak, tam sayı programlama büyük ilgi görmüştür (Ioan, Prodan, Olaru, Stoican and Niculescu, 2020). Tam sayı programlama modelleri, çizelgeleme, kaynak atama, planlama, tedarik zinciri tasarımı dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda kullanılır. Genel olarak tam sayılı doğrusal programlama modeli sembolik olarak şu şekilde gösterilebilir (Bosch and Trick, 2014):

- Maksimum Cx (2.4.)

- Kısıtlayıcılar $Ax \leq b$ (2.5.)

- $x \geq 0$ ve tam sayı (2.6.)

Burada C satır, b ise sütun vektörüdür. A ise $m \times n$ boyutunda $A=(a_{ij})$ matrisidir. Toplam x_1 ' den x_n ' e kadar değişken vardır.

2.2.1. Karışık Tam Sayılı Programlama

Karışık tam sayılı programlama, amacın doğrusal, ikinci dereceden bir fonksiyon veya bazen küçültülecek veya maksimize edilecek daha genel bir kriter olduğu, kısıtlamaların doğrusal (veya doğrusal olmayan) eşitlikler olduğu matematiksel bir optimizasyon problemini temsil eder. Değişkenlerin bazılarının tam sayı olduğu matematiksel bir optimizasyon yöntemidir. Karışık tam sayılı programlamanın standart gösterimi şu şekildedir (Jünger et al., 2010):

- Maksimum $Cx + hy$ (2.7.)

- $Ax + Gy \leq b$ (2.8.)

- $x \geq 0$ ve tam sayı (2.9.)

- $y \geq 0$ (2.10.)

Burada C satır vektörü, G sütun vektörü, A ise $m \times n$ boyutunda bir matrisi ifade etmektedir. Formül 2.9. ve 2.10.' da görüleceği üzere bazı değişkenlerin sıfırdan büyük ve tam sayı olması şartı aranırken, bazılarının ise sadece sıfırdan büyük olması istenmektedir.

2.2.1.1. 0-1 Karışık Tam Sayılı Programlama

0-1 Karışık tam sayılı programlama, bazı değişkenler üzerindeki eşitlik veya eşitsizlik kısıtlamalarına ve ikili seçim kısıtlamalarına tabi olan doğrusal bir fonksiyonun maksimize edilmesi veya minimize edilmesinden oluşur. 0-1 karışık tam sayılı programlamanın standart gösterimi şu şekildedir (Lazic, Hanafi, Mladenovic and Urošević, 2009):

$$\text{Min } C^T x \quad (2.11.)$$

$$Ax \geq b \quad (2.12.)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in B \neq \emptyset \quad (2.13.)$$

$$x_j \geq 0 \quad \forall j \in C \quad (2.14.)$$

Yukarıda verilen 2.13. ve 2.14. formüllerinde, indeksler kümesi $N = \{1, 2, \dots, n\}$ iki alt kümeye bölünmüştür. $B = \{1, 2, \dots, p\}$ ve $C = \{p+1, p+2, \dots, n\}$ sırasıyla ikili ve sürekli değişkenlere karşılık gelmektedir.

Bu kapsamda bu tez çalışmasında, deprem sonrası sağlık kaynaklarının tahsis edilmesi için 0-1 karışık tam sayılı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Model geliştirilmesiyle ilgili detaylı bilgiler Bölüm 3.' den itibaren açıklanmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

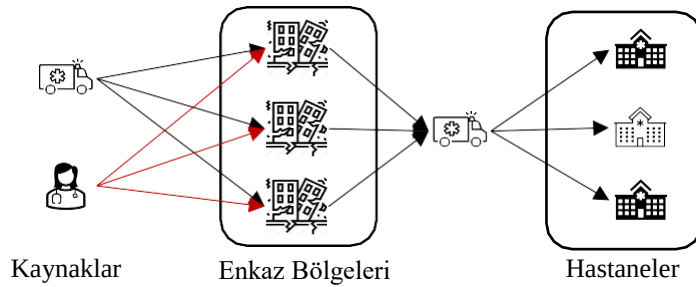
Kaynak tahsisi, sektörlere göre değişkenlik gösterecek çeşitli talep noktalarına ihtiyaç olan malzeme/hizmet gibi kaynakların dağıtılması işlemidir. Bu tez çalışmasında deprem sonrası sağlık kaynaklarının tahsis edilmesi konusu ele alınmıştır. Bu doğrultuda, bu bölümden itibaren deprem sonrası sağlık kaynaklarının tahsis edilmesine yönelik geliştirilen matematiksel modelle ilgili detaylar anlatılmıştır.

3.1. Problemin Tanımı

Bu bölümde deprem sonrası sağlık kaynaklarının optimal tahsis edilmesi için bir model önerisi sunulmuştur. Modelde yer alan kaynak tahsis kararları şu şekildedir:

1. Enkaz bölgelerine olay yeri triyajını gerçekleştirecek sağlık ekiplerinin atamasının yapılması,
2. Olay yeri triyajı gerçekleştirilen yaralıların, hastaneye sevkini sağlayacak ambulans atamasının yapılması,
3. Hastaneye sevk edilmesi gereken yaralıların, hastaneye atamasının yapılması şeklindedir.

Aşağıdaki Şekil 3.1.' de geliştirilen modele yönelik süreç akışı ve kaynak tahsis operasyonu gösterilmiştir.



Şekil 3.1.: Problemin süreç akışı

3.1.1. Kaynak Tahsisi Model Varsayımları

Çalışma kapsamında geliştirilen model için literatürde yaygın olarak kullanılan genel varsayımlar (Mills et al., 2013; Na and Banerjee, 2015; Sung and Lee, 2016) ve modele özgü varsayımlar şu şekildedir:

Genel Varsayımlar:

1. Depreme maruz kalmış bölgede bulunan hastanelerin deprem sonrası kullanılabilir durumda olacağı,
2. Deprem gerçekleşikten sonra $t=0$ anından itibaren AFAD ekiplerinin olay yerinde bulunacağı,
3. Yaralıların triyaj işlemlerinde yanlış sınıflandırma yapılmayacağı,
4. AFAD ekiplerinin enkaz alanından yaralıları; ağır ve geciktirilebilir yaralı olmak üzere iki grupta çıkarabileceği ve hafif yaralıların enkaz bölgelerinde bulunmayacağı,
5. Enkaz bölgeleri ve hastanelerdeki sağlık personellerinin yeteneklerinin homojen olduğu,
6. Her yaralı sınıflandırmasındaki kayıpların, bilinen bir zaman fonksiyonu tarafından tanımlanan bir ölüm olasılığını izlediği ve olasılığın zamanla artması,
7. Hastaneye sevk için kullanılacak ambulansların özelliklerinin homojen olduğu ve her seferde 1 yaralıya hizmet verebileceği,
8. Enkaz bölgeleri ile hastane güzergahı üzerindeki yolların açık olacağı,
9. Hastanelerin bakım kapasiteleri aynı, sadece büyüklüklerinin farklı olacağı,
10. Hastanelerde deprem sonucu yaralanmalara müdahale için yeterli sayıda doktor bulunacağı,
11. İkincil bir afet olmayacağı varsayılmaktadır.

Tez çalışmasında kullanılan genel varsayımlar değerlendirildiğinde, Varsayım 1' e göre hastanelerin deprem sonrası kullanılabilir olduğu kabul edilmiştir. Çünkü hastaneler imar edilirken, olası deprem etkilerini gözeterek şekilde yapılması için yürürlükte olan kanunlar bulunmaktadır. Varsayım 2' ye göre AFAD ekipleri deprem gerçekleşikten sonraki ilk andan itibaren, olay yerlerinde bulunurlar. Bu varsayım deprem sonrası sağlık müdahalelerin ilk andan itibaren yürütülmesi için gereklidir. Varsayım 3' e göre, yaralıların triyaj müdahalelerinde yanlış sınıflandırma

yapılmayacağı kabul edilmiştir. Çünkü triyaj işlemi oldukça pratik bir işlem olup, sağlık ekiplerinin kolaylıkla gerçekleştirebileceği bir tıbbi müdahaledir.

Varsayım 4' e göre, acil durumlarda yaralıların sağlık durumlarının ciddiyetinin belirlenmesi için kullanılan triyaj sistemine göre yaralılar; ağır, geciktirilebilir, hafif ve ölü şeklinde sınıflandırılır. Bu sınıflandırmanın amacı, yaralıların aciliyet durumlarının belirlenerek, durumu daha acil olan yaralılara öncelik verilmesi içindir. Böylelikle yaralıların olağanüstü durumlarda, yaralanma ciddiyetlerine göre uygun tedaviyi alabilmeleri sağlanarak yaşanan kayıplar en aza indirilecektir. Çalışması kapsamında yaralılar triyaj sistemine göre, ağır ve geciktirilebilir olmak üzere iki grupta değerlendirilmiştir. Çünkü hafif yaralı kişilerin kendi imkanlarıyla enkaz bölgelerinden ayrılacak, ölülerin ise herhangi bir tıbbi müdahaleye ihtiyaç duymayacaktır.

Varsayım 5' e göre enkaz bölgelerine atanan ve hastanelerde bulunan sağlık ekiplerinin yeteneklerinin homojen olduğu kabul edilmiştir. Çünkü deprem sonrası yaralanma tipleri genellikle aynıdır. Spesifik tedaviler gerektirmeyecekleri düşünülmektedir. Varsayım 6' ya göre yaralıların hayatta kalma olasılıkları zamanla azalmaktadır. Bu varsayım gerçek hayat problemleriyle uyumludur. Varsayım 7' ye göre, hastanelere sevki gerçekleştirecek ambulansların özelliklerinin homojen olduğu ve her seferde 1 yaralıya hizmet verebileceği kabul edilmiştir. Çünkü deprem sonrasında yaralılar genel olarak kademeli olarak enkazlardan çıkartılırlar. Hastaneye sevk için, bir sonraki yaralının enkazdan çıkartılmasını beklemek, bir önceki hastanın ölüm olasılığını artırabilir.

Varsayım 8' e göre, hastaneler ve enkaz bölgeleri arasındaki yolların açık olacağı kabul edilmiştir. Çünkü deprem sonrası enkaz kaldırma ekipleri, hastane güzergahlarının kullanılabilir olması için gerekli bütün çalışmaları yürütecektir.

Varsayım 9' a göre, hastanelerin bakım kapasiteleri aynı, büyüklüklerinin farklı olacağı kabul edilmiştir. Çünkü mevcutta hastanelerin yatak kapasiteleri, doktor sayıları farklıdır ve doktorların branşları bu tez çalışmasının kapsamında yer almamaktadır. Varsayım 10' a göre, hastanelerde deprem sonrası yaralanmalar için yeterli sayıda doktor bulunmaktadır. Çünkü hastanelerin acil birimleri 7/24 hizmete açık olup, hastanelerin olağanüstü durumlar için personel artışına yönelik planlamaları

bulunmaktadır. Varsayım 11' e göre ise, ikincil bir afet olmayacağı varsayılmıştır. Çünkü çalışmanın kapsamı olası bir deprem sonrası kaynak tahsis kararlarıyla ilgilidir.

Özel Varsayımlar:

1. Depremden etkilenen bölgenin kendi kaynaklarını kullanarak ilk saatlerde afet müdahalesi gerçekleştireceği,
2. AFAD ekiplerinin enkaz bölgelerine gelerek, yaralıları çıkarma işlemlerini gerçekleştireceği,
3. Ölülerin sevk işlemlerinin yetkililer tarafından gerçekleştirileceği,
4. Hastane yatak kapasitesi yetersiz olduğu için hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen hastaların, hastanelere yakın alanlarda bekletileceği,
5. Deprem sebebiyle hastaneye yatışı gerçekleştirilen hastaların, hastanede kalış süresinin minimum 24 saat olacağı,
6. Hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen geciktirilebilir yaralıların, ağır hasta grubuna geçişinin ihmal edileceği varsayılmıştır.

Modele özgü varsayımlar değerlendirildiğinde, Varsayım 1' e göre deprem sonrası ilk saatler ele alınmıştır. Çünkü çevre illerden destek gelene kadar ilin, deprem sonrası ilk saatlerde kendi kaynaklarıyla afetin etkileriyle mücadele etmesi gerekecek, zaman ilerledikçe kaynak miktarı artacağı için kıt kaynak durumu söz konusu olmayacaktır. Varsayım 2' ye göre deprem gerçekleşikten sonraki ilk andan itibaren ($t=0$), AFAD ekiplerinin enkaz bölgelerine gelerek, arama kurtarma çalışmalarını gerçekleştireceği varsayılmıştır. Varsayım 3' e göre ölülerin sevk işlemleri yetkililer tarafından gerçekleştirilecektir. Çünkü sağlık birimi, ambulans, ekipman vb. gibi herhangi bir sağlık kaynağına ihtiyaç duyulmayacaktır.

Varsayım 4' e göre, hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen yaralıların hastane bahçelerinde, tıbbi gözetim altında tutulacağı varsayılmıştır. Bu varsayıma göre yaralılar hastane bahçelerinde bekletilerek, durumu kötüleşen yaralılara anında müdahalenin sağlanacağı düşünülmektedir. Varsayım 5' e göre hastaneye yatışı gerçekleştirilen yaralıların, hastane kalış süresinin minimum 24 saat olacağı kabul edilmiştir. Çünkü gerçek hayat problemlerinde hastalar minimum 24 saat hastanelerde doktor gözetimi altında tutulmaktadır. Varsayım 6' ya göre ise, hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen geciktirilebilir durumundaki yaralıların ağır yaralı grubuna geçişi ihmal edilmiştir. Çünkü hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen bu yaralılar yine

Varsayım 5' e benzer şekilde hastane bahçelerinde gözetim altında tutulacağı düşünülmektedir.

3.2. Problemin Matematiksel Modeli

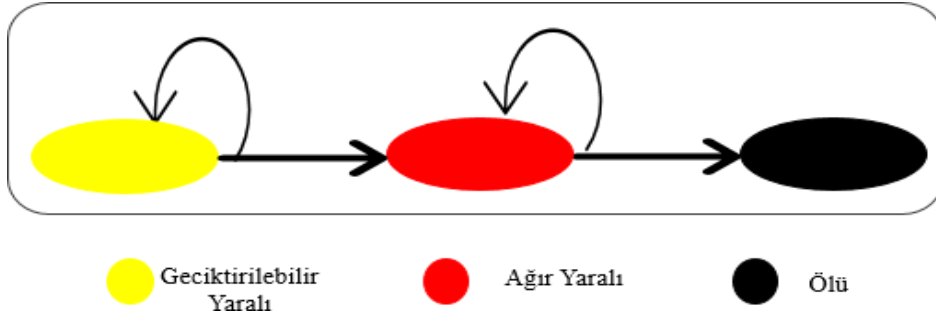
Tez çalışması kapsamında geliştirilen modelin amacı, deprem sonrası hayatını kaybeden yaralı sayısının en aza indirilmesidir. Bu doğrultuda çalışma kapsamında üç farklı nedenle yaralılar hayatını kaybedebilir. Ölüm tipleri şu şekildedir:

1. Olay yeri triyajı alamayan,
2. Olay yeri triyajı almış ancak hastaneye sevkı gerçekleştirilemeyen,
3. Hastaneye sevk edilmiş, ancak hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen ağır yaralı grubundaki kişilerin hayatını kaybetmesi şeklindedir.

Çalışma kapsamında yer alan ölüm tipleri Bölüm 1.6.' da açıklandığı üzere, yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıkları markov zinciri (Wilson et al., 2013; Wilson et al., 2016) olarak ele alınmıştır. Yaralı grupları arasında geçiş olasılıkları üç farklı noktada yaşanabilir:

1. Olay yeri triyajı alamayan, geciktirilebilir grubundaki yaralılar, ağır yaralı grubuna; ağır yaralı grubunda yer alan kişiler ise ölü yaralı grubuna geçiş yaparlar.
2. Olay yeri triyajı almış geciktirilebilir yaralı grubundaki kişilerin hastaneye sevkleri gerçekleştirilmezse ağır yaralı grubuna, ağır yaralı grubundaki kişiler ise ölü yaralı grubuna geçiş yaparlar.
3. Hastaneye sevkı gerçekleştirilen yaralıların hastaneye yatışları gerçekleştirilmezse; geciktirilebilir yaralı grubundaki kişiler ağır yaralı grubuna, ağır yaralı grubundaki kişiler ise ölü grubuna geçiş yaparlar.

Yukarıda açıklanan üç farklı olaya göre, yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıkları markov zinciri şeklinde ifade edilmiştir. Markov zincirinin şekilsel gösterimi Şekil 3.2.' de verilmiştir.



Şekil 3.2.: Yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıkları markov zinciri

3.2.1. Değişkenlerin ve Parametrelerin Tanımlanması

Bu bölümde model kapsamında kullanılan indisler, parametreler ve karar değişkenleriyle ilgili detaylar açıklanmıştır. Deprem sonrası ilk saatleri içerecek şekilde çok dönemli bir model geliştirilmiştir.

İndisler:

t: zaman periyodu ($t=1, 2, \dots, T$)

i: yaralı tipi ($i=1, 2, \dots, I$)

j: bölge numarası ($j=1, 2, \dots, J$)

p: hastane numarası ($p=1, \dots, P$)

Parametreler:

A_{tj} : t zaman periyodunda, j. bölgede enkazdan çıkartılmış i tipi toplam yaralı sayısı

F_i : Olay yeri triyajı alamayan i tipi yaralıların kötüleşme olasılığı

G_i : Hastaneye sevk edilemeyen i tipi yaralıların kötüleşme olasılığı

KO_i : Hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen i tipi yaralıların kötüleşme olasılığı

B_i : i tipi yaralı için gereken olay yeri triyaj süresi

C_{jp} : t zaman periyodu boyunca, j. bölgeden p. hastaneye yapılabilecek sefer sayısı

SBS: İlde bulunan toplam sağlık birimi sayısı

M: İlde bulunan toplam ambulans sayısı

HBK_p : p. hastanenin boş yatak kapasitesi

BM: Çok büyük bir sayı

ZP: Bir zaman periyodunun toplam süresi

Değişkenler:

V_{tij} : t zaman periyodunda, j. bölgede triyaj alan i tipi toplam yaralı sayısı

U_{tij} : t zaman periyodunda, j. bölgede triyaj alamayan i tipi toplam yaralı sayısı

Z_{tjip} : t zaman periyodunda, j. bölgeden p. hastaneye sevk edilen i tipi toplam yaralı sayısı

W_{tij} : t zaman periyodunda, j. bölgede hastaneye sevk edilemeyen i tipi toplam yaralı sayısı

R_t : t zaman periyodunda hayatını kaybeden toplam yaralı sayısı

ASB_j : j. bölgeye atanan sağlık birimleri sayısı

AAS_j : j. bölgeye atanan ambulans sayısı

X_{tjip} : t zaman periyodunda j. bölgeden p. hastaneye gönderilip hastane kapasitesi yetersiz olduğu için yatırılmayan toplam i tipi yaralı sayısı

N_{tjip} : t zaman periyodunda, j. bölgeden p. hastaneye sevk edilerek, yatışı gerçekleştirilen toplam i tipi yaralı sayısı

H_{tij} : t zaman periyodunda j. bölgede triyaj alamayıp durumu (i-1)' e kötüleşen toplam yaralı sayısı

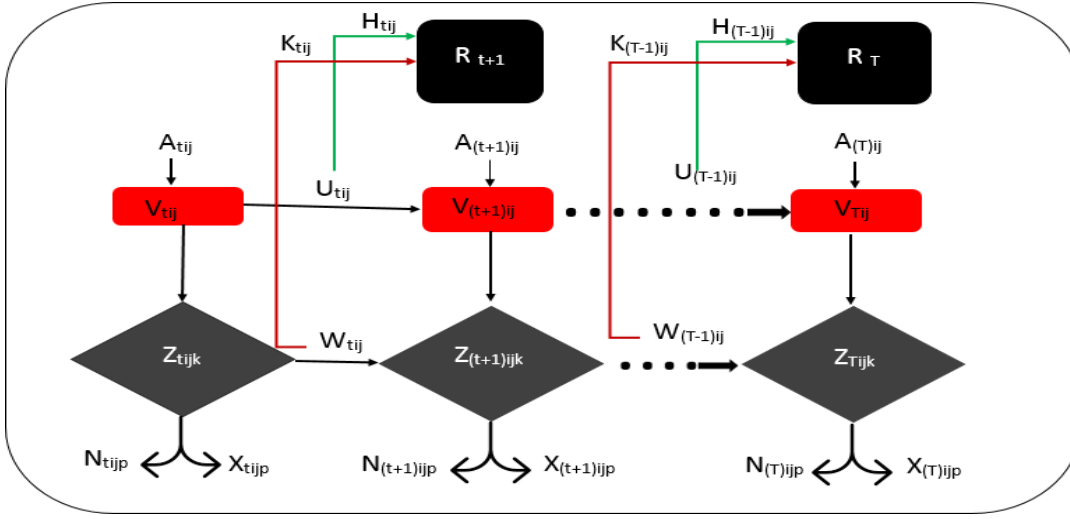
K_{tij} : t zaman periyodunda j. bölgede triyaj alıp durumu (i-1)' e kötüleşen toplam yaralı sayısı

HW_{tjip} : t zaman periyodunda j. bölgeden p. hastaneye sevki gerçekleştirilmiş ancak hastaneye yatışı gerçekleşmediği için durumu (i-1)' e kötüleşen toplam yaralı sayısı

Y_{tjp} : t zaman periyodunda j. bölgede bulunan yaralılar p. hastaneye atanırsa 1, aksi durumda 0 değerini alır.

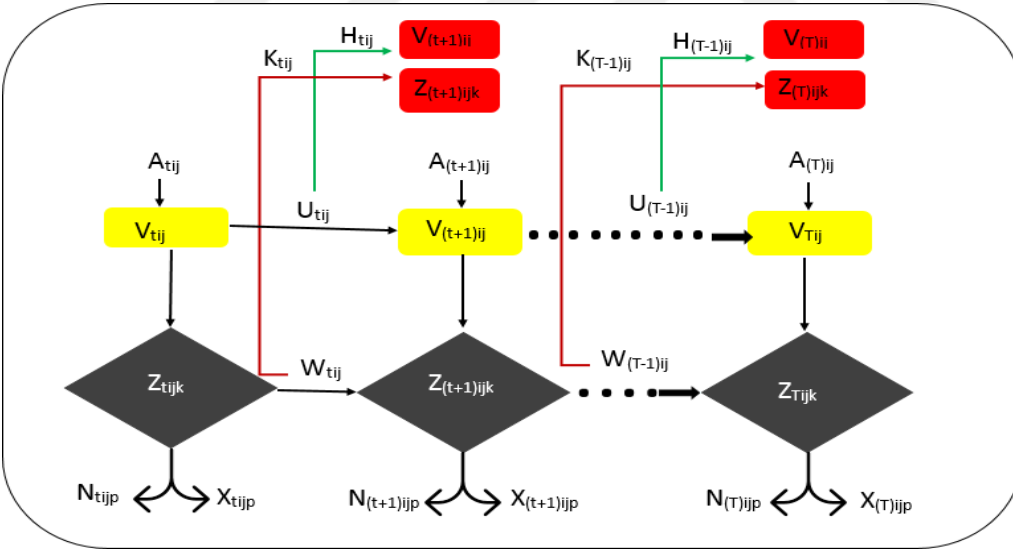
Yukarıda verilen parametre ve karar değişkenlerinin kullanılmasıyla oluşturulan matematiksel modelin şekilsel gösterimi Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.' de gösterilmiştir.

Şekil 3.3.' de ağır yaralı grubunda yer alan yaralıların, ölü yaralı grubuna geçiş durumunu göstermektedir. Örneğin (T-1) zaman periyodunda olay yeri triyajı alamayan ($U_{(T-1)ij}$) yaralıların belli bir kısmı T periyoduna ölü olarak geçerken ($H_{(T-1)ij}$), kalan kısmı ise T zaman periyodunda triyaj alır. Aynı şekilde (T-1) zaman periyodunda hastaneye sevki gerçekleştirilmeyen ($W_{(T-1)ij}$) ağır yaralıların belli bir kısmı T zaman periyoduna ölü olarak geçerken ($K_{(T-1)ij}$), kalan kısmı ise T zaman periyodunda hastaneye sevk edilir.



Şekil 3.3.: Ağır yaralı grubundaki kişilerin, ölü grubuna geçişi

Şekil 3.4. ise geciktirilebilir yaralı grubunda yer alan yaralıların, ağır yaralı grubuna geçiş durumunu göstermektedir.



Şekil 3.4.: Geciktirilebilir yaralı grubundaki kişilerin, ağır yaralı grubuna geçişi

3.2.2. Amaç Fonksiyonu

Modelin amacı deprem sonrası, hayatını kaybeden yaralı sayısının en aza indirilmesidir. Formül 3.1. ' de modelin amaç fonksiyon verilmiştir.

$$\text{Minimum} \sum_{t=1}^T R_t \quad (3.1.)$$

3.2.3. Kısıtlar

Geliştirilen modelde kapasite, denge ve mantık olmak üzere üç farklı kısıt tipi bulunmaktadır.

Kapasite Kısıtları: Modelde yer alan sağlık birimi, ambulans, hastane yatak kapasitesi gibi kaynakların miktarıyla ilgili kısıtlardan oluşmaktadır.

$$\sum_{i=1}^I B_i * V_{tij} \leq ZP * ASB_j \quad \forall_{t,j} \quad (3.2.)$$

$$\sum_{i=1}^I Z_{tjip} \leq AAS_j * C_{jp} \quad \forall_{t,j,p} \quad (3.3.)$$

$$\sum_{j=1}^J ASB_j \leq SBS \quad (3.4.)$$

$$\sum_{j=1}^J AAS_j \leq M \quad (3.5.)$$

$$HBK_p - \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J N_{tjip} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J N_{Tijp} \quad \forall_p \quad (3.6.)$$

Kısıt (3.2.), her bir zaman periyodu için, zaman periyodu süresince (ZP) olay yeri triyajı alan toplam yaralı sayısı, o bölgeye atanmış sağlık birimi ile her bir yaralı grubunun triyaj süresinin çarpımından büyük olmayacağını ifade etmektedir. Kısıt (3.3.), her bir zaman periyodunda hastaneye sevk edilen ağır ve geciktirilebilir yaralı hasta sayısı toplamı (Z_{tjip}), j. bölgeden p. hastaneye yapılacak (C_{jp}) sefer sayısı ile j. bölgeye atanmış toplam ambulans sayısı çarpımından büyük olamayacağını ifade etmektedir.

Kısıt (3.4.), sağlık birimleri kapasite kısıtını ifade etmekte olup, her bir bölgeye atanan sağlık birimi sayısı toplamı, sağlık birimi kapasitesinden (SBS) fazla olamayacağını

ifade etmektedir. Kısıt (3.5.) ise, ambulans kapasite (M) kısıtını ifade etmekte olup, her bir bölgeye atanan ambulans sayısı toplam ambulans kapasitesinden fazla olamayacağını ifade etmektedir.

Kısıt (3.6.), her bir zaman periyodunda hastaneye yatışı gerçekleştirilen toplam hasta sayısının (N_{tijp}), mevcut hastane boş yatak kapasitesinden fazla olamayacağını ifade etmektedir.

Denge Kısıtları: Birden fazla zaman periyodu için giren ve çıkan hasta sayısını kontrolünün sağlanması amacıyla geliştirilen kısıtlardan oluşmaktadır. (i=1 ağır yaralı grubu, i=2 geciktirilebilir yaralı grubunu ifade etmektedir.)

$$U_{t1j} - H_{t1j} + H_{t2j} + K_{t2j} + A_{(t+1)1j} = V_{(t+1)1j} + U_{(t+1)1j} \quad \forall_{t,j} \quad (3.7.)$$

$$U_{t2j} - H_{t2j} + A_{(t+1)2j} = V_{(t+1)2j} + U_{(t+1)2j} \quad \forall_{t,j} \quad (3.8.)$$

$$\sum_{p=1}^P Z_{(t+1)1jp} + W_{(t+1)1j} = V_{(t+1)1j} + (W_{t1j} - K_{t1j}) + K_{t2j} \quad \forall_{t,j} \quad (3.9.)$$

$$\sum_{p=1}^P Z_{(t+1)2jp} + W_{(t+1)2j} = V_{(t+1)2j} + (W_{t2j} - K_{t1j}) \quad \forall_{t,j} \quad (3.10.)$$

$$H_{tij} = F_i * U_{tij} \quad \forall_{t,i,j} \quad (3.11.)$$

$$K_{tij} = G_i * W_{tij} \quad \forall_{t,i,j} \quad (3.12.)$$

$$HW_{tij} = KO_i * X_{tijp} \quad \forall_{t,i,j,p} \quad (3.13.)$$

$$R_t = \sum_{j=1}^J H_{t1j} + K_{t1j} + HW_{t1jp} \quad \forall_{t,j,p} \quad (3.14.)$$

$$Z_{tijp} = X_{tijp} + N_{tijp} \quad \forall_{t,i,j,p} \quad (3.15.)$$

Kısıt (3.7.) ve Kısıt (3.8.) enkazdan çıkartılan yaralıların olay yeri triyaj işlemleri için kullanılmıştır. Kısıt (3.7.) her bir zaman periyodunda olay yeri triyajı alan ve alamayan ağır yaralı sayısı toplamının ($V_{(t+1)1j} + U_{(t+1)1j}$) hesaplanması için tanımlanmıştır. t zaman periyodunda triyaj alamayıp t+1 zaman periyodunda triyaj alacak yaralı sayısından (U_{t1j}), t zaman periyodunda triyaj alamadığı için hayatını kaybeden ağır yaralı sayısının (H_{t1j}) çıkarılmasına, t zaman periyodunda triyaj alamadığı için durumu geciktirilebilir yaralıdan ağır yaralıya geçen sayısına (H_{t2j}), t+1 zaman periyodunda enkaz çıkartılan ağır yaralı sayısının ($A_{(t+1)1j}$) eklenmesine eşittir. Kısıt (3.8.) ise, Kısıt (3.7.)' ye benzer şekilde her bir zaman periyodunda olay yeri triyajı alan ve alamayan

geciktirilebilir yaralı sayısı toplamının ($V_{(t+1)2j} + U_{(t+1)2j}$) hesaplanması için tanımlanmıştır.

Kısıt (3.9.) ve Kısıt (3.10.) olay yeri triyaj işlemi almış yaralıların hastaneye sevk edilmeleri için kullanılmıştır. Kısıt (3.9.), her bir zaman periyodunda hastaneye sevk edilen ve edilemeyen ağır yaralı sayısı toplamının ($\sum_{p=1}^P Z_{t1jp} + W_{t1j}$) hesaplanması için tanımlanmıştır. Aynı zaman periyodunda triyaj alıp hastaneye sevk edilmesi gereken ağır yaralılar ($V_{(t+1)1j}$) ve t zaman periyodunda hastaneye sevk edilemediği için t+1 zaman periyodunda hastaneye sevk edilmesi gereken ağır yaralı hastalar (W_{t1j}) ve t zaman periyodunda hastaneye sevk edilemediği için geciktirilebilir yaralı ($i=2$) grubundan, ağır yaralı grubuna geçen hasta sayısı (K_{t2j}) toplamından, t zaman periyodunda hastaneye sevk edilemediği için hayatını kaybeden ağır yaralı kişilerin (K_{t1j}) çıkartılmasına eşittir. Kısıt (3.10.) ise Kısıt (3.9.)' a benzer şekilde her bir zaman periyodunda hastaneye sevk edilen ve edilemeyen geciktirilebilir yaralı sayısı ($\sum_{p=1}^P Z_{t2jp} + W_{t2j}$) toplamının hesaplanması için tanımlanmıştır.

Kısıt (3.11.), Kısıt (3.12.) ve Kısıt (3.13.), çalışma kapsamında ele alınan üç farklı ölüm tipinin hesaplanması için kullanılmıştır. Kısıt (3.11.), her bir zaman periyodunda olay yeri triyajı alamayan her bir yaralı grubunun (H_{tij}), F_i oranında ($i-1$) yaralı grubuna geçeceğini ifade etmektedir. Burada ($i-1$) grubuna geçiş ifadesi, ağır yaralı grubundaki kişilerin hayatını kaybetmesi, geciktirilebilir yaralı grubundaki kişilerin ise ağır yaralı grubuna geçmesini göstermektedir. Kısıt (3.12.), Kısıt (3.11.)' e benzer şekilde her bir zaman periyodunda hastaneye sevk edilemeyen, her bir yaralı grubunun ($i-1$) yaralı grubuna geçeceğini ifade etmektedir. Kısıt (3.13.) ise, her bir zaman periyodunda hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen her bir yaralı grubunun (X_{tijp}), KO_i oranında ($i-1$) yaralı grubuna geçeceğini ifade etmektedir.

Kısıt (3.14.), model kapsamında değerlendirilen 3 farklı ölüm tipinin toplamını ifade etmektedir. Bu değer R_t karar değişkeni ile hesaplanarak, amaç fonksiyonunun her bir zaman periyodundaki değerinin hesaplanması sağlamaktadır.

Kısıt (3.15.), hastaneye sevki gerçekleştirilen yaralıların, hastaneye yatışlarının gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Hastaneye yatışı gerçekleştirilen hasta sayısı (N_{tijp}) ve hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen hasta sayısının (X_{tijp})

toplamının, hastaneye sevk edilen hasta sayısına (Z_{tjp}) eşit olacağını ifade etmektedir.

Mantıksal Kısıtlar: Geliştirilen modelin, mantıklı sonuçlar üretmesi için kullanılan kısıtlardan oluşmaktadır.

$$AAS_j \geq 1 \quad \forall_j \quad (3.16.)$$

$$ASB_j \geq 1 \quad \forall_j \quad (3.17.)$$

$$\sum_{p=1}^P Y_{tjp} = 1 \quad \forall_{t,j} \quad (3.18.)$$

$$Z_{tjp} \leq BM * Y_{tjp} \quad \forall_{t,i,j,p} \quad (3.19.)$$

Kısıt (3.16.), her bir bölgeye en az 1 sağlık birimi atanması ve Kısıt (3.17.), her bir bölgeye en az 1 ambulans atanması gerektiğini ifade etmektedir.

Kısıt (3.18.), ağır ve geciktirilebilir grubunda bulunan her bir yaralı için, depreme uğramış bölgede bulunan P tane hastaneden sadece birine sevk edilebileceğini ifade etmektedir. Kısıt (3.19.), p. hastaneye sevk edilen her bir yaralı grubundaki hasta sayısı (Z_{tjp}), p. hastaneye sevk için atanan (Y_{tjp}) hasta sayısından fazla olamayacağını ifade etmektedir. Yani p. hastaneye atama olduğu zaman $Y_{tjp} = 1$ değerini alacak olup kısıt aktif hale gelecektir. p. hastaneye atama olmadığı zaman ise, $Y_{tjp} = 0$ değerini alacak olup BM karar değişkeni çok büyük bir sayı olup, Z_{tjp} değerinin 0 olmasını sağlayacaktır.

Değişkenlerin tam sayı ve 0' dan küçük olmamasını sağlayan kısıtlar:

$$V_{ij} \geq 0 \text{ ve tam sayı} \quad \forall_{t,i,j} \quad (3.20.)$$

$$U_{ij} \geq 0 \text{ ve tam sayı} \quad \forall_{t,i,j} \quad (3.21.)$$

$$Z_{tjp} \geq 0 \text{ ve tam sayı} \quad \forall_{t,i,j,p} \quad (3.22.)$$

$$W_{ij} \geq 0 \text{ ve tam sayı} \quad \forall_{t,i,j} \quad (3.23.)$$

$$R_t \geq 0 \text{ ve tam sayı} \quad \forall_t \quad (3.24.)$$

$$ASB_j \geq 0 \text{ ve tam sayı} \quad \forall_j \quad (3.25.)$$

$$AAS_j \geq 0 \quad \text{ve tam sayı} \quad \forall_j \quad (3.26.)$$

$$X_{tjp} \geq 0 \quad \text{ve tam sayı} \quad \forall_{t,i,j,p} \quad (3.27.)$$

$$N_{tjp} \geq 0 \quad \text{ve tam sayı} \quad \forall_{t,i,j,p} \quad (3.28.)$$

$$H_{tj} \geq 0 \quad \text{ve tam sayı} \quad \forall_{t,i,j} \quad (3.29.)$$

$$K_{tj} \geq 0 \quad \text{ve tam sayı} \quad \forall_{t,i,j} \quad (3.30.)$$

$$HW_{tjp} \geq 0 \quad \text{ve tam sayı} \quad \forall_{t,i,j,p} \quad (3.31.)$$

$$Y_{tjp} = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall_{t,j,p} \quad (3.32.)$$

3.3. Vaka Analizi

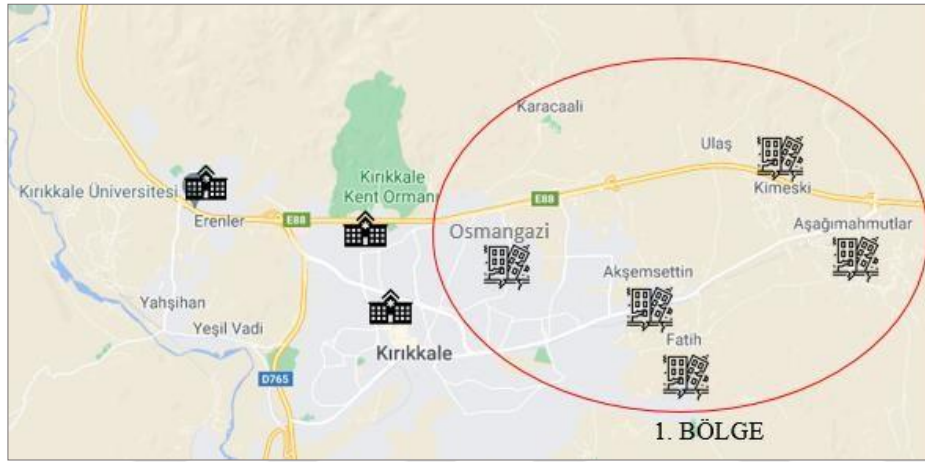
Tez çalışmasında geliştirilen model, depremden sonraki ilk 24 saat için, Kırıkkale ilinde gerçekleşebilecek olası bir deprem senaryosu üzerinde analiz edilmiştir. Analizin gerçekleştirilebilmesi için ilk aşamada Bölüm 3.2.1.' de verilen parametre değerlerinin (A_{tij} , C_{jp} , B_i , F_i , G_i , KO_i , ZP) açıklaması yapılmıştır. İkinci aşamada ise Bölüm 3.3.2.' de sağlık birimi (SBS), ambulans sayısı (M) ve hastane boş yatak kapasitesi (HBK_p) parametre değerleri için kapasite kullanım oranlarına göre farklı senaryolar oluşturulması anlatılmıştır. Bölüm 3.3.3.' de ise oluşturulan senaryolara göre model sonuçları aktarılmıştır.

3.3.1. Parametre Değerlerinin Elde Edilmesi

Parametre değerlerinin elde edilmesinde birinci olarak, problemin matematiksel modelinde yer alan enkazdan çıkartılan yaralı sayısı (A_{tij}) değerleri Çiftçi vd., (2020) tarafından geliştirilen Kırıkkale ilinde yer alan 28 mahalle için olası bir deprem senaryosu çalışmasından alınmıştır. Kırıkkale ili; Kırıkkale-Sungurlu Fay Hattı, Tuz Gölü Fay Hatları, Keskin Fayı, Seyfe Fay Hattı, Bala ve Karakeçili Fayları, Kuzey Anadolu Fay Hattı ile çevrilmiş durumdadır (Sönmezer, 2015). Çalışma kapsamında ele alınan, deprem senaryosuna göre, Kırıkkale ilinde merkez üssü Keskin ilçesi olan Keskin Fay hattı üzerinde 6,7 (Mw) büyüklüğünde bir deprem gerçekleştiği, deprem

sonrası Kırıkkale merkez mahallerindeki binaların ağır hasar alması sonucunda birçok kişinin enkaz altında kaldığı varsayılmıştır.

Tez çalışmasında kullanılmak üzere Kırıkkale merkezinde yer alan 28 mahalle, birbirlerine yakınlıklarına göre bölgelere ayrılmıştır. Örneğin 1. bölgede Kimeski, Fatih, Aşağımahmutlar, Akşemsettin, Osmangazi mahalleleri yer almaktadır. Çünkü mahalleler birbirlerine yakın konumlarda bulunması nedeniyle, mahallelerden ilde bulunan hastanelere ulaşım için aynı güzergahlar kullanılmaktadır. 1. bölge ve hastanelerin konum noktaları Şekil 3.5.' de verilmiştir.



Şekil 3.5.: 1. bölge - hastane haritası

Mahallerin birbirlerine yakınlıklarına göre bölgelere ayırma işlemi sonucunda 28 mahalleden 9 farklı bölge ($j=1,2, \dots, 9$) elde edilmiştir. Mahallelerin yer aldığı bölgeler aşağıdaki Çizelge 3.1.' de verilmiştir.

Çizelge 3.1.: Mahalleri bölgelere ayırma sonuçları

Bölgeler	1	2	3	4	5
Mahalleler	Kimeski Fatih Aşağımahmutlar Akşemsettin Osmangazi	Fabrikalar Yenimahalle Bahçelievler	Kaletepe Etiler	Gürler Kurtuluş Yenidoğan	Sanayi Gündoğdu

Çizelge 3.1. (Devam): Mahalleri bölgelere ayırma sonuçları

Bölgeler	6	7	8	9
Mahalleler	Hüseyinkahya Ovacık Tepebaşı	Güzeltepe Yaylacık	Bağlarbaşı Kırıkköyü Çalılıöz	Yuva Çullu Selimözer Karşıyaka Kızılırmak

Mahalleleri bölgelere ayırma işleminden sonra, her bir zaman periyodu ve bölgeler için kullanılan Çiftçi vd., (2020) çalışmasından alınan, ağır ve geciktirilebilir grubundaki yaralı sayısı (A_{tij}) değerleri aşağıdaki Çizelge 3.2.' de verilmiştir.

Çizelge 3.2.: Zaman periyodları ve bölgelere göre enkazdan çıkartılan yaralı sayıları

Bölgeler	t=1		t=2		t=3		t=4	
	i=1	i=2	i=1	i=2	i=1	i=2	i=1	i=2
1	3	4	5	5	5	5	5	7
2	16	19	22	26	23	27	24	29
3	12	14	16	19	17	19	18	22
4	9	11	12	14	12	14	13	16
5	11	13	15	18	16	18	17	20
6	11	14	15	18	16	18	17	20
7	13	15	17	20	19	21	20	23
8	20	24	27	32	29	33	30	36
9	9	11	13	14	14	15	13	15

Parametre değerlerinin elde edilmesinde ikinci olarak, deprem sonrası ilk 24 saat için, toplam periyod sayısı (T) ve periyodların toplam süresi (ZP) değerleri belirlenmiştir. Toplam periyod sayısı 4 olarak ($t=1,2, \dots, 4$), her bir zaman periyodu süresi ZP değeri ise 360 olarak belirlenmiştir.

Parametre değerlerinin elde edilmesi aşamasında üçüncü olarak, bölgelerden hastanelere gerçekleştirilebilecek sefer sayısı (C_{jp}) değerlerinin hesaplaması yapılmıştır. Hesaplama işleminde öncelikle, çalışma kapsamında Kırıkkale ilinde bulunan üç farklı hastanenin ($p=1,2,3$) bölgelere uzaklıkları ve bölgelerde yer alan mahaller Çizelge 3.3.' de verilmiştir. Sonrasında C_{jp} değerlerinin hesaplanması anlatılmıştır.

Çizelge 3.3.: Mahalle hastane uzaklıkları

Bölge	Mahalle	1. Hastane (km)	2. Hastane (km)	3. Hastane (km)
1	Kimeski	12,6	17	13,5
	Fatih	12,5	16,9	15,9
	Aşağımahmutlar	12,8	17,2	16,9
	Akşemsettin	5,9	10,3	12
	Osmanгази	8,5	12,9	11
2	Fabrikalar	4,7	9,1	2,9
	Yenimahalle	6,2	10,6	3,4
	Bahçelievler	7,2	11,6	5,4
3	Kaletepe	4,2	8,6	2,4
	Etiler	4,9	9,3	2,5
4	Gürler	4	8,4	2,6
	Kurtuluş	5,4	9,8	2,2
	Yenidoğan	4,6	9	1,7
5	Sanayi	6,4	10,8	4,9
	Gündoğdu	11,2	15,6	7,6
6	Hüseyinkahya	3,6	8	0,95
	Ovacık	3,7	8,1	0,85
	Tepebaşı	3,8	8,2	1,9
7	Güzeltepe	3	7,4	0,65
	Yaylacık	3,7	8,1	2
8	Bağlarbaşı	3,8	8,2	3,1
	Kırıkköyü	4,7	9,1	2,7
	Çalılıöz	2,4	6,8	2,2
9	Yuva	12,9	17,3	6,3
	Çullu	16,5	20,9	9,7
	Selimözer	7,1	11,5	5,9
	Karşıyaka	9,5	13,9	5,7
	Kızılırmak	8,5	12,9	9,4

Farklı bölgelerden, hastanelere yapılabilecek sefer sayısı (C_{jp}) değerleri, Çizelge 3.3.’ de verilen bölgelerin hastanelere uzaklık değerleri kullanılarak, her bir zaman periyodu süresince yapabilecekleri sefer sayısı hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken, kötümser bir senaryo ele alındığı için, hastanelere ulaşım için kullanılan yollarda enkazların oluşması, ambulansların hasar alması vb. olumsuz nedenler sebebiyle, deprem sonucu yolların kullanım kapasitesinin %50 olarak kabul edilmiştir. Böylelikle bir zaman periyodu ($ZP=360$ dakika) süresinin %50 oranda kullanılmasıyla bölgelerden hastanelere 180 dakika boyunca ulaşım gerçekleştirileceği kabul edilmiştir.

C_{jp} değerinin elde edilmesinde “toplam süre/toplam mesafe (hastanelere gidiş-geliş süresi toplamı)” formülü kullanılmıştır. Örneğin 1. bölgede bulunan Kimeski mahallesinden 1. hastaneye yapılabilecek sefer sayısı için “ $180 / 25,2 = 7$ ” değeri elde

edilmiştir. Aynı hesaplamaların 1. bölgede yer alan diğer mahalleler için de uygulanmasıyla sırasıyla; 7, 7, 15 ve 11 sefer sayıları elde edilmiştir. Bu durumda 1. bölgeden 1. hastaneye bir zaman periyodu süresince yapılabilecek ortalama sefer sayısı $(7+7+7+15+11) / 5 = 9$ şeklinde hesaplanmıştır. Aynı hesaplamaların diğer bölgeler içinde yapılması sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelge 3.4.' de verilmiştir.

Çizelge 3.4.: Bölgelerden hastanelere yapılabilecek sefer sayısı

Bölgeler/ Hastaneler	p=1	p=2	p=3
j=1	9	6	6
j=2	15	9	25
j=3	20	10	37
j=4	20	10	43
j=5	11	7	15
j=6	24	11	83
j=7	27	12	92
j=8	27	11	34
j=9	9	6	14

Parametre değerlerinin elde edilmesinde dördüncü olarak, her bir yaralı grubu için gerekli olan triyaj süreleri (B_i) Rezapour et al., (2018) çalışmasından alınmıştır. Yaralılar için gereken bakım süreleri; solunum hızı, nabız hızı ve motor yanıtını içeren üç RPM dağıtım örüntüsüne göre hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları aşağıdaki Çizelge 3.5.' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5.: Farklı RPM skorlarına göre yaralı gruplarının acil bakım süreleri (Rezapour et al., 2018)

Yaralı Grupları	RPM Skorları								
	i=1							i=2	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acil Bakım Süresi (dk.)	2	3	4	3	4	4	3	3	2

Çizelgeye 3.5.' e göre ağır yaralı grubundaki kişiler için, gereken tıbbi bakım süreleri 7 farklı skora sahiptir. Aynı şekilde geciktirilebilir yaralı grubundaki kişiler için, gereken tıbbi bakım süresi ise 2 farklı skora sahiptir. Çizelgedeki değerlere göre ağır

yaralı grubundaki kişilerin ortalama triyaj süresi 3,3 dakika, geciktirilebilir yaralı grubundakilerin ise 2.5 dakikadır. Çalışma kapsamında kötümser bir senaryoyu göstermesi için bu değerlerin 10 katı triyaj süresi olarak kabul edilmiştir. Çünkü ağır yaralı grubu ve geciktirilebilir yaralı grubundaki kişiler için belirlenen triyaj süreleri, hastanelerde kullanılan triyaj bakım sürelerini temsil etmektedir. Ancak depremlerde, önceden belirlenen bu standart işlem süreleri, depremin yıkıcı etkileri, deprem sonrası iş verimliliğin düşmesi, uygulamanın zorlaşması ve triyaj uygulamasının enkaz bölgelerinde gerçekleştirilmesi gibi farklı olumsuz nedenler sebebiyle artış göstermektedir.

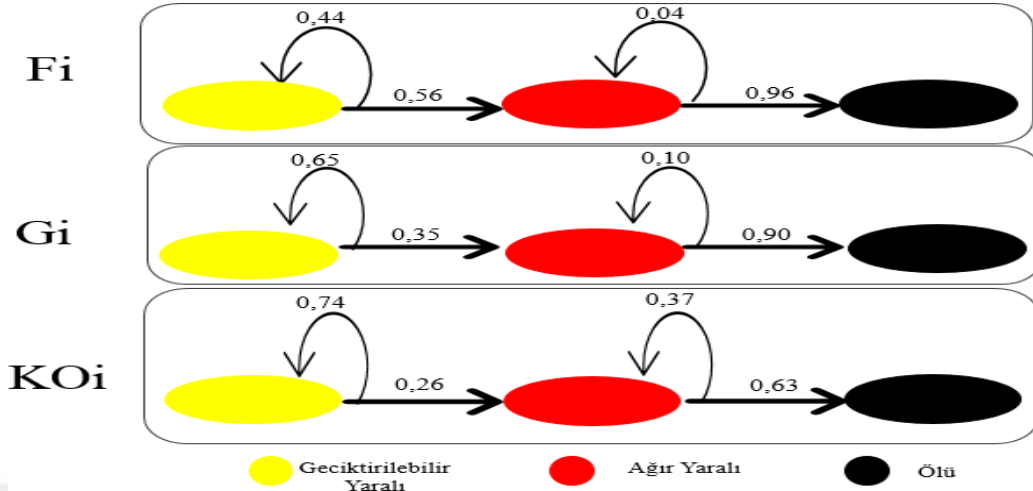
Parametre değerlerinin elde edilmesi aşamasında beşinci olarak, yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıkları için, Mills et al., (2013) tarafından geliştirilen hayatta kalma fonksiyonu kullanılmıştır. Fonksiyon üç parametrelidir olup, Sacco et al., (2007) tarafından geliştirilen RPM (solunum, nabız, motor yanıtı) değerlerinin kullanımı ile hesaplanmıştır. Fonksiyon Formül 3.33.' de verilmiştir.

$$f_s(t) = \frac{\beta_{0,s}}{(t/\beta_{1,s})^{\beta_{2,s}+1}}, \quad \forall s \in S \quad (3.33.)$$

Çalışmanın amacı, deprem sonrası hayatını kaybeden yaralı sayısının en aza indirilmesidir. Mills et al., (2013), tarafından geliştirilen fonksiyon hayatta kalma fonksiyonudur. Ancak çalışmanın amacı hayatını kaybeden sayısını en aza indirmek olduğu için bu fonksiyon “1-hayatta kalma fonksiyonu” şeklinde kullanılmıştır.

Çalışmada üç farklı ölüm tipi bulunduğu için, her bir yaralı grubu ve ölüm tipi için farklı olasılık değerleri kullanılmıştır. Olasılık değerleri; olay yeri triyajı görmemiş yaralı gruplarının kötüleşme olasılığı (F_i parametresi) hastaneye sevki gerçekleştirilemeyen yaralı gruplarının kötüleşme olasılığından (G_i parametresi) ve hastaneye sevki gerçekleştirilmeyen yaralı gruplarının kötüleşme olasılığı ise hastaneye yatışı gerçekleştirilmeyen yaralı gruplarının kötüleşme olasılığından (KO_i parametresi) büyük olacak şekilde kullanılmıştır. Çünkü hiçbir tıbbi tedavi almayan bir yaralının (A_{ij}) kötüleşme olasılığı, olay yeri triyajı almış bir kişinin (V_{ij}) kötüleşme olasılığından daha fazla olacaktır. Çalışma kapsamında Mills et al., (2013) tarafından hesaplanan parametre değerleri Şekil 3.6.' da verilmiştir. Şekilde yer alan değerlere göre olay yeri triyajı alamayan bir kişinin, ağır yaralı grubundan ölü grubuna geçiş

olasılığı 0,96 (F_1), geciktirilebilir yaralı grubundan ağır yaralı grubuna geçiş olasılığı ise 0,56 (F_2)' tır.



Şekil 3.6.: Yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıkları

3.3.2. Parametrelerin Analiz Edilmesi

Olağanüstü olaylarda sağlık birimi, ambulans ve hastane boş yatak kapasiteleri yaşanan kayıpların azaltılabilmesi için oldukça kritiktir. Bu doğrultuda mevcut kaynaklara talepteki artışı kontrol edebilmek için, kaynakların optimum tahsis edilmesi önemlidir. Deprem sonrası, depreme maruz kalmış bölgede bulunan sağlık birimleri belirli oranda enkaz zede haline gelebilir. Aynı şekilde ambulanslar enkazlar da kullanılmayacak hale gelebilirler. Son olarak mevcut hastanelerin yatakları, deprem dışı sağlık problemleriyle belli oranda dolu olabilirler.

Bu kapsamda çalışmada Kırıkkale ilinde 6,7 (Mw) büyüklüğünde gerçekleşen deprem sonucunda, ağır ve geciktirilebilir yaralı sayıları sabit tutularak, modellemede kullanılan SBS, ASB ve HBK_p parametrelerinin kapasite kullanım oranlarındaki değişimler analiz edilebilerek, amaç fonksiyonuna etkileri değerlendirilmiştir. Öncelikle Çizelge 3.6.' da ilin mevcut doktor sayısı (SBS), ambulans sayısı (M) ve her bir hastanenin boş yatak kapasitesi (HBK_p) değerleri verilmiştir. Toplam ambulans, sağlık birimi kapasitesi ve hastanelerin yatak kapasitesi Kırıkkale İl Sağlık Müdürlüğünden alınmıştır.

Çizelge 3.6.: Mevcut kaynak kapasiteleri

Kaynaklar	Kapasiteler
Toplam ambulans sayısı (M):	37
Toplam doktor sayısı (SBS):	73
1.hastanenin toplam yatak kapasitesi (HBK ₁):	710
2.hastanenin toplam yatak kapasitesi (HBK ₂):	464
3.hastanenin toplam yatak kapasitesi (HBK ₃):	75

Parametre analizinin gerçekleştirilebilmesi için 5 farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryolardan 1 en iyi, 5 ise en kötüyü temsil etmektedir. Senaryolara göre değerler belirlenirken, hastane boş yatak kapasitesi oranı için Türkiye Sağlık Bakanlığı 2019 Sağlık İstatistikleri raporuna göre (Widgery, 2019), hastane yatak doluluk oranları ortalama %60,9 ‘dur. Bu nedenle en kötü senaryo (5.senaryo) için hastane boş yatak kapasitesi %40 olacak şekilde değerler verilmiştir. Sağlık birimi kullanım oranı için hastane boş yatak kapasitesi ile aynı oranlar kullanılmıştır. Ambulans kullanım oranı ise, deprem sonrası diğer kaynaklara göre kullanım oranı daha yüksek olabileceği için, daha yüksek oranlar verilmiştir. Senaryolara göre parametre kullanım oranı değerleri aşağıdaki Çizelge 3.7.’ de verilmiştir.

Çizelge 3.7.: Parametre değerleri kullanım oranları

Senaryo/ Parametreler	Sağlık Birimi Kullanım Oranı (SBS)	Ambulans Kullanım Oranı (ASB)	Hastane Boş Yatak Kapasitesi Kullanım Oranı (HBK)
1	80%	60%	60%
2	75%	55%	55%
3	70%	50%	50%
4	65%	45%	45%
5	60%	40%	40%

Parametre analizinin gerçekleştirilmesinde, çalışma kapsamında ele alınan 5 farklı senaryo için Çizelge 3.6.’ da verilen mevcut kapasiteye Çizelge 3.7.’ de verilen oranlar uygulanmıştır. Hesaplama sonucunda Çizelge 3.8. elde edilmiştir.

Çizelge 3.8.: Senaryolara göre parametre değerleri

Senaryolar/ Parametre Değerleri	Ambulans Kapasitesi	Doktor Kapasitesi	1. Hastane Boş Yatak Kapasitesi	2. Hastane Boş Yatak Kapasitesi	3. Hastane Boş Yatak Kapasitesi
1	30	44	426	278	45
2	28	40	391	255	41
3	26	37	355	232	38
4	24	33	320	209	34
5	22	29	284	186	30

3.3.3. Vaka Analizi Sonuçları

Çalışma kapsamında geliştirilen matematiksel model, Çizelge 3.8.' de yer alan değerlere göre her bir senaryo için, GAMS programı CPLEX çözücüsü ile karışık tam sayılı programlama modeli olarak, INTEL(R) Core (TM) i7-5500 CPU ve 8 GB belleğe sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. GAMS program çıktıları öncelikle her bir senaryo ve periyod olarak verilmiştir. Sonrasında bölgelere yapılan sağlık birimi ve ambulans ataması sonucunda, kaynakların kullanım oranları, hastanelere yatışı gerçekleştirilen yaralıları sonucu hastanelerin boş yatak kapasitelerinin kullanım oranları hesaplanmıştır. Son olarak 5 farklı senaryo sonucunda amaç fonksiyonuyla ilgili sonuçlar verilerek vaka analizi sonuçlarının değerlendirilmesi tamamlanmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 3.9.' da 5. senaryonun t=1 zaman periyodu, GAMS program çıktıları verilmiştir. Çizelgedeki sütunlar modelde yer alan değişkenlerin ağır ve geciktirilebilir yaralı toplamalarını göstermektedir. Örneğin 1. zaman periyodunda ağır ve geciktirilebilir yaralı grubundan, toplam 229 kişi olay yeri triyajı almıştır. Bölgelere göre değerlendirme yapıldığında 8. bölgede olay yeri triyajı alan hasta sayısı en fazladır. 1. bölgede ise en azdır. 8. bölgede yaralı sayısı daha fazla olduğu için hayatını kaybeden sayısı da en yüksek bu bölgede çıkmıştır. Diğer senaryolar için GAMS program çıktıları EKLER (Bkz. EK 1: EK 16) bölümünde verilmiştir.

Çizelge 3.9.: 5. senaryo t=1 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler / Değişkenler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	7	0	7	0	7	0	0
2	35	0	35	0	20	15	9
3	26	0	26	0	16	10	6
4	20	0	20	0	15	5	3
5	24	0	24	0	14	10	6
6	25	0	15	10	15	0	9
7	28	0	28	0	28	0	0
8	44	0	24	20	4	20	12
9	20	0	20	0	15	5	3
Toplam	229	0	199	30	134	65	48

Aşağıdaki Çizelge 3.10.’ da 5. senaryonun t=2 zaman periyodu ağır ve geciktirilebilir yaralı gruplarına ait GAMS program çıktıları verilmiştir. Çizelgede yer alan değerler incelendiğinde, hastaneye sevk gerçekleştirilmiş toplam 254 yaralının, 124’ ünün hastaneye yatışı gerçekleştirilirken, 130 yaralının hastane boş yatak kapasitesi yetersiz olduğu için hastaneye yatışları gerçekleştirilememiştir.

Çizelge 3.10.: 5. senaryo t=2 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler / Değişkenler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	10	0	10	0	10	0	0
2	48	0	48	0	3	45	12
3	35	0	35	0	20	15	9
4	26	0	16	10	16	0	9
5	33	0	33	0	18	15	9
6	33	0	34	0	19	15	9
7	37	0	17	20	17	0	0
8	34	25	34	20	4	30	27
9	27	0	27	20	17	10	6
Toplam	283	25	254	70	124	130	81

Aşağıdaki Çizelge 3.11.’ de 5. senaryonun t=3 zaman periyodu ağır ve geciktirilebilir yaralı gruplarına ait GAMS program çıktıları verilmiştir. Çizelgede yer alan değerler

incelendiğinde, çalışma kapsamında ele alınan üç farklı ölüm tipi nedeniyle 87 kişi hayatını kaybetmiştir.

Çizelge 3.11.: 5. senaryo t=3 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler / Değişkenler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	11	0	11	0	11	0	0
2	26	25	26	0	16	10	6
3	37	0	17	20	17	0	0
4	27	0	28	0	18	10	6
5	35	0	25	10	20	5	12
6	35	0	35	0	20	15	9
7	41	0	61	0	11	50	15
8	39	25	29	30	4	25	33
9	30	0	30	0	20	10	6
Toplam	281	50	262	60	137	125	87

Aşağıdaki Çizelge 3.12.' de 5. senaryonun t=4 zaman periyodu ağır ve geciktirilebilir yaralı gruplarına ait GAMS program çıktıları verilmiştir. Çizelgede yer alan değerler incelendiğinde Çizelge 3.9., Çizelge 3.10. ve Çizelge 3.11. yorumlarıyla, benzer yorumların yapılabilmesi mümkündür.

Çizelge 3.12.: 5. senaryo t=4 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler / Değişkenler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	11	0	11	0	11	0	0
2	53	25	13	40	13	0	24
3	40	0	60	0	10	50	15
4	29	0	29	0	19	10	6
5	37	0	18	20	3	15	9
6	37	0	17	20	12	5	3
7	43	0	23	20	8	15	9
8	42	25	33	30	8	25	24
9	28	0	28	0	18	10	6
Toplam	320	50	232	130	102	130	96

Çalışma kapsamında geliştirilen matematiksel modelin, 5 farklı senaryo için, her bir bölgeye atanan sağlık birimi sonuçları aşağıdaki Çizelge 3.13.' de verilmiştir.

Çizelgede yer alan değerler incelendiğinde her bir senaryo sonucunda en çok sağlık biriminin 2. bölgeye atandığı görülmektedir. Bu durum 2. bölgede bulunan yaralı sayısının fazlalığı ve hastanelere gerçekleştirilebilecek sefer sayısının az olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 3.13.: Senaryolara göre bölgelere atanan sağlık birimi sonuçları

SENARYOLAR	BÖLGELER								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	17	4	3	3	3	4	6	3
2	1	13	4	3	3	3	4	6	3
3	1	10	4	3	3	3	4	6	3
4	1	6	4	3	3	3	4	6	3
5	1	4	4	3	3	3	4	4	3

Bölgelere atanan sağlık birimlerinin 4 zaman periyodu sonucunda, kapasite kullanım sonuçları 5. senaryo için aşağıdaki Çizelge 3.14.' de verilmiştir. Diğer senaryolar için kapasite kullanım sonuçları EKLER (bkz. EK 17: EK 20) bölümünde verilmiştir. Kapasite kullanım oranlarının hesaplanmasında Çizelge 3.13.' de verilen 5. senaryo için bölgelere atanan sağlık birimi sonuçları kullanılmıştır. Her bir zaman periyodunun 360 dakika sürmesi nedeniyle ($ZP=360$) mevcut kapasite “bölgeye atanan sağlık birimi sayısı * 360 * zaman periyodu sayısı” formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan kapasite miktarı ise, “bölgede yer alan ağır yaralı sayısı * ağır yaralı için gerekli triyaj süresi + bölgede yer alan geciktirilebilir yaralı sayısı * geciktirilebilir yaralı için gerekli triyaj süresi” formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Örneğin 1. bölgeye 1 sağlık birimi atanmış olup, 4 zaman periyodu toplamında 1440 ($360*4$) mevcut kapasiteye sahiptir. Kullanılan kapasite ise 1. bölgede bulunan ağır yaralı toplamı 18 (Çizelge 3.2.) olup, olay yeri toplam triyaj süresi toplam 594 ($18*33$) dakikadır. 1. bölgede bulunan geciktirilebilir yaralı toplamı 21 (Çizelge 3.2.) olup, olay yeri triyaj süresi toplam 525 ($21*25$) dakikadır. Hesaplamalar sonucunda kullanılan kapasite miktarı 1119 dakika olarak bulunmuştur. Son olarak “kullanılan kapasite / mevcut kapasite” formülü kullanılarak kapasite kullanım oranı %78 olarak hesaplanmıştır. Bütün bölgeler için atanan sağlık birimlerinin 4 zaman periyodu sonucunda, kapasite kullanım oranı hesaplama sonuçları Çizelge 3.14.' de verilmiştir.

Çizelge 3.14.: 5. senaryoya göre bölgelere atanan sağlık birimlerinin kapasite kullanım sonuçları

Bölgeler/ Değişkenler	Atanan Sağlık Birimi Sayısı	Mevcut Kapasite	Kullanılan Kapasite	Kapasite Kullanım Oranı
1	1	1440	1119	78%
2	4	5760	4642	81%
3	4	5760	3954	69%
4	3	4320	2918	68%
5	3	4320	3697	86%
6	3	4320	3722	86%
7	4	5760	4277	74%
8	4	5760	4439	77%
9	3	4320	3017	70%

Çizelge 3.14.’ de yer alan sağlık birimi kapasite kullanım oranları incelendiğinde, senaryolara göre bölgelere atanan sağlık birimleri sayıları yeterli olup, kaynak kıtlığı oluşmamıştır. Kapasite kullanım oranı sütunu incelendiğinde en fazla %86 oranında bölgelere atanan sağlık birimleri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında geliştirilen matematiksel modelin, 5 farklı senaryo için, her bir bölgeye atanan ambulans sayısı sonuçları aşağıdaki Çizelge 3.15.’ de verilmiştir. Çizelge 3.15.’ de yer alan değerler incelendiğinde senaryoların 1’ den 5’ e kötüleşmesi nedeniyle, her bir zaman periyodunda hastanelerden bölgelere yapılabilecek sefer sayısı (C_{jp}) ve bölgelerde yer alan hasta yoğunluğuna orantılı olarak ambulans ataması gerçekleştirilmiştir. Örneğin 1. senaryo sonuçları incelendiğinde 7. bölgeden hastanelere yapılabilecek sefer sayısı değerleri (Çizelge 3.4.) oldukça fazladır. Bu nedenle 7. bölgeye diğer bölgelere oranla daha az ambulans ataması yapılmıştır.

Çizelge 3.15.: Senaryolara göre bölgelere atanan ambulans sonuçları

SENARYOLAR	BÖLGELER								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	6	3	2	4	2	2	4	5
2	2	4	3	3	4	3	1	3	5
3	2	4	2	2	4	2	2	4	4
4	2	4	2	2	3	2	2	3	4
5	2	2	2	2	4	2	2	2	4

Bölgelere atanan ambulansların 4 zaman periyodu toplamında, kapasite kullanım sonuçları 5. senaryo için aşağıdaki Çizelge 3.16.' da verilmiştir. Diğer senaryolar için atanan ambulans kapasite kullanım hesaplamaları EKLER (Bkz. EK-21: EK-24) bölümünde verilmiştir. Kapasite kullanım oranlarının hesaplanmasında Çizelge 3.15.' de verilen 5. senaryo için bölgelere atanan ambulans sayısı sonuçları kullanılmıştır. Mevcut kapasitenin hesaplanmasında “bölgeye atanmış ambulans sayısı * bölgeden hastaneye dört zaman periyodu süresince yapılabilecek sefer sayısı” formülü kullanılmıştır. Kullanılan kapasite ise, “bölgeden dört zaman periyodu süresince hastaneye sevk edilmiş toplam yaralı sayısı” formülüyle hesaplanmıştır. Örneğin 1. bölgeye 2 tane ambulans atanmış olup, 1. bölgede yer alan yaralıların 2. hastaneye atanması sebebiyle (Çizelge 3.17.), 2. hastaneye gerçekleştirilebilecek sefer sayısının çarpılmasıyla 48 (6*2*4) mevcut kapasite değeri elde edilmiştir. Kullanılan kapasite ise, 1. bölgeden 4 zaman periyodu toplamında 2. hastaneye toplam 39 yaralının yatışı gerçekleştirilmiştir. Son olarak “kullanılan kapasite / mevcut kapasite” formülü kullanılarak kapasite kullanım oranı %81 olarak hesaplanmıştır. Bütün bölgeler için atanan ambulansların 4 zaman periyodu sonucunda, kapasite kullanım oranı hesaplama sonuçları Çizelge 3.16.' da verilmiştir.

Çizelge 3.16.: 5. senaryoya göre bölgelere atanan ambulansların kapasite kullanım sonuçları

Bölgeler/ Değişkenler	Atanan Ambulans Sayısı	Mevcut Kapasite	Kullanılan Kapasite	Kapasite Kullanım Oranı
1	2	48	39	81%
2	3	174	122	70%
3	2	174	138	79%
4	2	140	93	66%
5	3	120	100	83%
6	2	140	101	72%
7	3	189	129	68%
8	1	129	120	93%
9	4	144	105	73%

Çizelge 3.16.' da yer alan 5. senaryoya göre bölgelere atanan ambulansların kapasite kullanım sonuçları değerlendirildiğinde, kaynak yetersizliği oluşmamıştır. 8. bölgede yaralı sayısı en fazla olduğu için %93 oranında, bölgeye atanan ambulanslar kullanılmıştır. Diğer bölgelerde ambulans kapasite kullanım oranı daha düşüktür.

5. senaryoya göre 4 zaman periyodu sonucunda, bölgelerden hastanelere atanan ağır ve geciktirilebilir yaralı toplamı sayısı aşağıdaki Çizelge 3.17.' de verilmiştir. Diğer senaryolar için bölgelerden hastanelere atanan ağır ve geciktirilebilir yaralı toplamı sonuçları EKLER (Bkz. EK-25: EK-28) bölümünde verilmiştir. Çizelgede yer alan değerler incelendiğinde 1. bölgede bulunan yaralıların 2. hastaneye atamasının yapıldığı, 2. ve 3. bölgede yer alan yaralıların 1. ve 2. hastanelere atamalarının yapıldığı görülmektedir. Bütün bölgelerin 4 zaman periyodu sonucunda, hangi hastanelere atamasının yapıldığı sonuçları Çizelge 3.17.' de verilmiştir.

Çizelge 3.17.: 5. senaryoya göre bölgelerden üç farklı hastaneye yatışı gerçekleştirilmiş toplam yaralı sayısı

Bölgeler / Değişkenler	1. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı	2. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı	3. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı
1	0	39	0
2	20	29	3
3	36	17	10
4	52	16	0
5	52	3	0
6	39	27	0
7	11	53	0
8	4	0	16
9	70	0	0
Toplam	284	184	29

5 farklı senaryoya göre, yaralıların hastanelere yatışı gerçekleştirilmesi sonucunda hastane boş yatak kapasitelerinin kullanım oranı Çizelge 3.18.' de verilmiştir. Kapasite kullanım oranlarının hesaplanabilmesi için örneğin 5. senaryo için 1. hastaneye toplam 284, 2. hastaneye 184, 3. hastaneye ise 29 yaralının yatışı gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.8.' de 5. senaryo için her bir hastanenin boş yatak kapasitelerine bakıldığında; 1. hastanenin 284, 2. hastanenin 186, 3. hastanenin ise, 30 olduğu görülmektedir. Bu durumda “hastanelere yatışı gerçekleştirilmiş toplam yaralı sayısı / hastanenin mevcut boş yatak kapasite” formülünün her bir hastane için uygulanması sonucunda 1. hastanenin $(284/284) \%100$, 2. hastanenin $(184/186) \%99$, 3. hastanenin $(29/30) \%97$ doluluk oranına ulaştığı sonucu elde edilmiştir. 5 farklı senaryoda, hastanelere yapılan

yaralı ataması sonucunda, hastanelerinin boş yatak kapasitesi kullanım sonuçları Çizelge 3.18.' de verilmiştir.

Çizelge 3.18.: Senaryolara göre hastane yatak kapasitesi kullanım sonuçları

Senaryolar/ Hastaneler	1. Hastane	2. Hastane	3. Hastane
1	100%	100%	93%
2	100%	100%	100%
3	100%	99%	97%
4	100%	100%	100%
5	100%	99%	97%

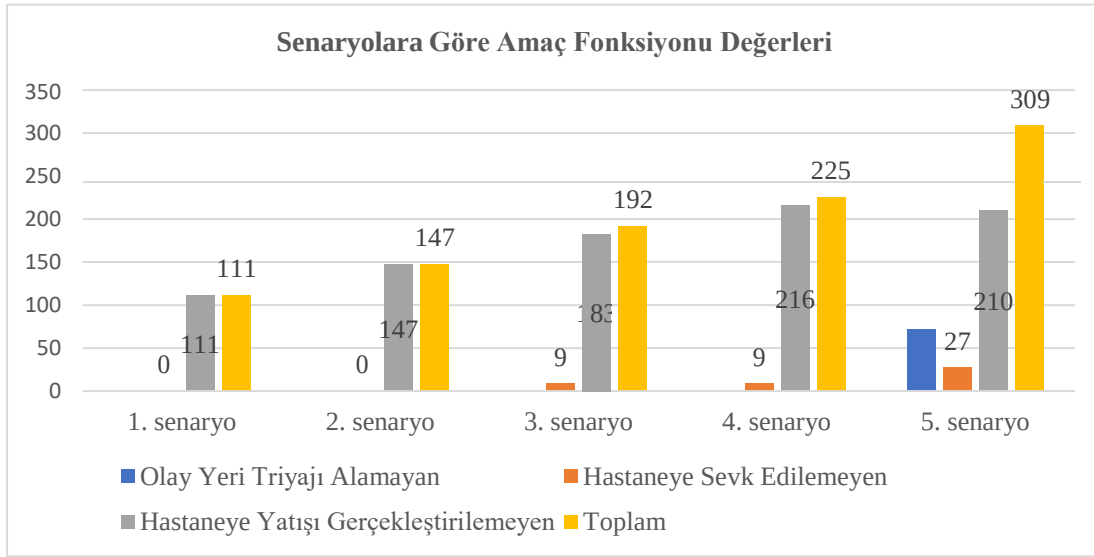
Çizelge 3.18.' de yer alan senaryolara göre hastane boş yatak kapasitesi kullanım sonuçları değerlendirildiğinde, hastane boş yatak kapasitelerinin, yapılan atamalar sonucunda çoğunlukla %100 doluluk oranına ulaştığı görülmüştür. Bu durumda hastane boş yatak kapasitesinde kaynak yetersizliği oluşmuştur.

Çalışma kapsamında ele alınan 3 farklı ölüm tipinin 5. senaryo için bölgelere göre dağılım sonuçları aşağıdaki Çizelge 3.19.' da verilmiştir. Diğer senaryolar için bölgelere göre ölüm tipi dağılım sonuçları EKLER (Bkz. EK-29: EK-32) bölümünde verilmiştir. Çizelgede yer alan değerler incelendiğinde 4 zaman periyodu toplamında ölüm tiplerinden, olay yeri triyajı alamayan 72 kişinin, hastaneye sevk edilemeyen 45 kişinin ve hastane yatak kapasitesi yetersiz olması nedeniyle 195 kişinin hayatını kaybettiği görülmüştür. Bütün ölüm tiplerine göre 8. bölgede hayatını kaybeden yaralı sayısı en fazladır. Bütün bölgelerde yaşanan üç farklı ölüm tipine göre hayatını kaybeden yaralı sayısı Çizelge 3.19.' da verilmiştir.

Çizelge 3.19.: 5. senaryo sonucunda bölgelere göre ölüm tipleri dağılım sonuçları

Bölgeler/ Ölüm Tipleri	Olay Yeri Trijayı Alamayan	Hastaneye Sevk Edilemeyen	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen	Toplam
1	0	0	0	0
2	24	0	27	51
3	0	0	30	30
4	0	9	15	24
5	0	9	27	36
6	0	9	21	30
7	0	0	24	24
8	48	18	30	96
9	0	0	21	21
Toplam	72	45	195	312

Çalışma kapsamında ele alınan 5 farklı senaryoda, üç farklı ölüm tipinin senaryolara göre dağılım sonuçları aşağıdaki Şekil 3.7.' de verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde her bir senaryo sonucunda en fazla ölüm tipinin hastane boş yatak kapasitesi yetersizliğinden kaynaklandığı görülmektedir. Bunun nedeni ise Çizelge 3.18.' de verilen hastane boş yatak kapasitelerinin %100 doluluk oranına ulaşarak, kaynak yetersizliği oluşmasıdır. Ölüm tiplerinden olay yeri triyajı alamadığı için hayatını kaybeden yaralı sayısı, bütün senaryolar için en az değere sahiptir. Çünkü bölgelere atanan sağlık birimi sayısı yeterli olup, kaynak kıtlığı söz konusu değildir.



Şekil 3.7.: Senaryolara göre amaç fonksiyonu değerleri

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında deprem sonrası sağlık kaynaklarının optimal tahsisi problemi ele alınarak, 0-1 karışık tam sayılı matematiksel bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model Kırıkkale deprem senaryosu üzerinde test edilmiştir. Uygulama sonuçları değerlendirildiğinde, Kırıkkale ili için deprem sonrası ilk 24 saatlik süreç, 4 periyodlu olarak ele alınmıştır. Birden fazla bölgeye yapılan sağlık birimi ve ambulans atamaları sonucunda kaynak yetersizliği oluşmadığı, ancak hastane boş yatak kapasitelerinin yapılan atamalar sonucunda %100 doluluk oranına ulaştıkları görülmüştür. Bu durumda hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen yaralıların durumunun kötüleşmesine neden olarak amaç fonksiyonuna yansımıştır. Genel olarak geliştirilen modelin, Kırıkkale ilinde olası bir deprem senaryosu üzerinden test edilmesi sonuçlarına göre; deprem sonrası sağlık kaynaklarının dinamik bir şekilde tahsis edilmesi konusunda etkili olacağı düşünülmektedir.

4.1. Sonuçlar

Deprem sonrası sağlık kaynaklarının tahsis problemi için optimizasyon yaklaşımının kullanılması, kıt kaynakların tahsis edilmesi açısından etkili ve verimli olmuştur. Konuyla ilgili literatür araştırması yapılarak, konunun ele alınış biçimleri, sınırları ve çözüm yöntemleri analiz edilmiştir. Analiz sonucunda literatürde yer alan çalışmaların deprem sonrası sürecin dinamikliğinin (arz ve talep değişimi vb.) değerlendirilmesi konusuna oldukça az rastlanmıştır. Bu nedenle geliştirilen modeller afet sonrası süreci zamandan bağımsız olarak değerlendirerek, kaynak tahsisi genel düzeyde gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda literatür çalışmalarında, deprem sonrası farklı yaralı grupları arasındaki geçiş durumları da oldukça az ilgi görmüştür. Bu durum geliştirilen modellerin gerçek hayat problemlerinde kullanım verimliliğini düşürecektir. Bu doğrultuda bu tez çalışmasında, deprem sonrası sağlık kaynaklarının

tahsis problemi, deprem sonrası ilk 24 saati çok dönemli, yaralı grupları arasındaki geçiş ihtimallerini markov zinciri olarak değerlendirerek ve deprem sonrası ihtiyaç duyulabilecek kritik sağlık kaynaklarının tahsisine yönelik optimizasyon yaklaşımıyla bir model geliştirilmiştir.

Yapılan tez çalışması literatürde tek dönemli modellerin sıklıkla çalışılması, yaralı grupları arasındaki geçişlerin ihmal edilmesi konusuna çözüm sunarak, sıklıkla ihmal edilen bu konular için etkili bir çözüm yaklaşımı geliştirildiği düşünülmektedir.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen modelin deprem sonrası sağlık kaynaklarının optimal tahsisi için etkin bir araç olacağı düşünülmektedir. Çok dönemli olarak formüle edilen problem, kaynakların gerçek ihtiyaçlara cevap verecek şekilde sağlanması konusunda ön plana çıkmaktadır. Deprem sonrası kritik öneme sahip olan bütün sağlık kaynaklarının (doktor, hemşire, ambulans vb.) tahsis edilmesi, deprem sonrası yaşanan can kayıplarının azaltılmasında etkili olacaktır. Olay yeri triyajı için enkaz bölgelerine sağlık personelinin atanması ise, hastanede yaşanacak yoğunluğun azaltılmasını sağlayarak, hastane kaynaklarının ağır yaralanmalar için kullanılmasına olanak tanıyacaktır. Model kapsamında ele alınan bu kriterler, gerçek hayat problemleriyle oldukça uyumludur. Aynı zamanda Kırıkkale ili için gerçekleştirilen uygulama, farklı şehirler ve bölgeler için kullanım açısından da elverişlidir.

4.2.Öneriler

Bu bölümde deprem sonrası kaynak tahsis konusuyla ilgili yapılabilecek gelecek çalışmaları için önerilerde bulunulmuştur.

- Vakaların boyutu (depremin yıkım gücünün artmasına bağlı olarak; yaralanan kişi sayısında artış vb.) büyüdüğü zaman çözüm yöntemi için sezgisel algoritmaların kullanılması gerekli olabilir. Çünkü sezgisel algoritmalar büyük boyutlu problemlerin çok kısa zamanda sonuçlanmasını sağlarlar.
- Deprem sonrası ilk 24 saat için gerçekleştirilen uygulamanın boyutları artırılarak, çevre illerden gelecek ilave kaynaklarla, kaynak miktarının güncellenmesini baza alarak kapsamlı bir kaynak tahsis uygulaması yapılabilir.
- Geliştirilen modelde kullanılan varsayımlar değiştirilerek, model sonuçlarının verimliliği artırılabilir.

- Farklı afet türleri için çalışma kapsamında, uygulanan deprem sonrası ilk saatler yerine; meydana gelen afetin doğasına özgü olacak şekilde farklı zamanlar için planlamalar geliştirilebilir. Örneğin Covid-19 salgını gibi aylarca süren afetler için uzun dönemli kaynak tahsis modellemelerinin geliştirilmesi günümüzde zorunluluk haline gelmiştir.

Gelecek çalışmalar için genel olarak deprem sonrası sağlık kaynaklarının tahsis edilmesi konusu farklı disiplinler açısından, geliştirilmeye açık bir konudur.



KAYNAKÇA

- Ajami, S., & Fattahi, M. (2009). The role of earthquake information management systems (EIMSs) in reducing destruction: A comparative study of Japan, Turkey and Iran. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 18(2), 150–161.
- Altay, N., and Green, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475–493.
- Arain, F. (2015). Knowledge-based Approach for Sustainable Disaster Management: Empowering Emergency Response Management Team. *Procedia Engineering*, 118, 232–239
- Berawi, M. A., Leviakangas, P., Muhammad, F., Sari, M., Gunawan, Yatmo, Y. A., and Suryanegara, M. (2019). Optimizing search and rescue personnel allocation in disaster emergency response using fuzzy logic. *International Journal of Technology*, 10(7), 1416–1426.
- Bosch, R., and Trick, M. (2005). Integer programming. In *Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques* (pp. 69–95).
- Bosch, R., and Trick, M. (2014). Integer programming. In *Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques, Second Edition* (Vol. 271, pp. 67–92).
- Bouyssou, D. (2006). An Annotated Timeline of Operations Research, An Informal History. *European Journal of Operational Research*, 174(1), 671–674.
- Chen, A. Y., and Yu, T. Y. (2016). Network based temporary facility location for the Emergency Medical Services considering the disaster induced demand and the transportation infrastructure in disaster response. *Transportation Research Part B: Methodological*, 91, 408–423.
- Chen, W., Zhai, G., Ren, C., Shi, Y., and Zhang, J. (2018). Urban resources selection and allocation for emergency shelters: In a multi-hazard environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6).
- Chou, J. S., Tsai, C. F., Chen, Z. Y., and Sun, M. H. (2014). Biological-based genetic

- algorithms for optimized disaster response resource allocation. *Computers and Industrial Engineering*, 74(1), 52–67.
- Çiftçi, S., Çakırer, Z., and Sakallı, Ü. (2020). Simülasyon Çalışması ile Deprem Senaryosu Oluşturulması ve Kırıkkale İli Kayıp Tahmin Analizi. *Uluslararası Muhendislik Arastırma ve Gelistirme Dergisi*, 12(2), 603–617.
- Coles, J. B., Zhuang, J., and Yates, J. (2012). Case study in disaster relief: A descriptive analysis of agency partnerships in the aftermath of the January 12th, 2010 Haitian earthquake. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 67–77.
- Cotta, C. (2011). Effective patient prioritization in mass casualty incidents using hyperheuristics and the pilot method. *OR Spectrum*, 33(3), 699–720.
- Cozzolino, A. (2012). *Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* (pp. 5–16).
- De Silva, F. N. (1999). Providing spatial decision support for evacuation planning: A challenge in integrating technologies. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 10(1), 11–20.
- Dean, M. D., and Nair, S. K. (2014). Mass-casualty triage: Distribution of victims to multiple hospitals using the SAVE model. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 363–373.
- Dhingra, V., and Roy, D. (2015). Modeling emergency evacuation with time and resource constraints: A case study from Gujarat. *Socio-Economic Planning Sciences*, 51, 23–33.
- Farahani, R. Z., Lotfi, M. M., Baghaian, A., Ruiz, R., and Rezapour, S. (2020). Mass casualty management in disaster scene: A systematic review of OR&MS research in humanitarian operations. *European Journal of Operational Research*, 287(3), 787–819.
- Feng, Y., and Cui, S. (2021). A review of emergency response in disasters: present and future perspectives. In *Natural Hazards* (Vol. 105, Issue 1, pp. 1109–1138).
- Fiedrich, F., Gehbauer, F., and Rickers, U. (2000). Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. *Safety Science*, 35(1–3), 41–57.

- French, S., and Geldermann, J. (2005). The varied contexts of environmental decision problems and their implications for decision support. *Environmental Science and Policy*, 8(4), 378–391.
- Galindo, G., and Batta, R. (2013). Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 230(2), 201–211.
- Gao, X., Zhou, Y., Amir, M. I. H., Rosyidah, F. A., and Lee, G. M. (2018). A Hybrid Genetic Algorithm for Multi-emergency Medical Service Center Location-allocation Problem in Disaster Response. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, 24(6).
- Gong, Q., and Batta, R. (2007). Allocation and reallocation of ambulances to casualty clusters in a disaster relief operation. *IIE Transactions*, 39(1), 27–39.
- Günaydin, M., Atmaca, B., Demir, S., Altunışık, A. C., Hüsem, M., Adanur, S., Ateş, Ş., and Angin, Z. (2021). Seismic damage assessment of masonry buildings in Elazığ and Malatya following the 2020 Elazığ-Sivrice earthquake, Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(6), 2421–2456.
- Ioan, D., Prodan, I., Olaru, S., Stoican, F., and Niculescu, S. I. (2021). Mixed-integer programming in motion planning. In *Annual Reviews in Control*, 51, 65–87.
- Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., and Seuring, S. (2014). Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 70(1), 225–244.
- Jat, M. N., and Rafique, R. A. (2020). Mass-Casualty Distribution for Emergency Healthcare: A Simulation Analysis. *International Journal of Disaster Risk Science*, 11(3), 364–377.
- Jin, S., Jeong, S., Kim, J., and Kim, K. (2015). A logistics model for the transport of disaster victims with various injuries and survival probabilities. *Annals of Operations Research*, 230(1), 17–33.
- Jotshi, A., Gong, Q., and Batta, R. (2009). Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion. *Socio-Economic Planning*

Sciences, 43(1), 1–24.

- Jünger, M., Naddef, D., Pulleyblank, W. R., Rinaldi, G., Liebling, T. M., Nemhauser, G. L., Reinelt, G., and Wolsey, L. A. (2010). 50 years of integer programming 1958-2008: From the early years to the state-of-the-art. In *50 Years of Integer Programming 1958-2008: From the Early Years to the State-of-the-Art*.
- Kaveh, A., Javadi, S. M., and Moghanni, R. M. (2020). Emergency management systems after disastrous earthquakes using optimization methods: A comprehensive review. In *Advances in Engineering Software* (Vol. 149, p. 102885).
- Khan, A., Gupta, S., and Gupta, S. K. (2020). Multi-hazard disaster studies: Monitoring, detection, recovery, and management, based on emerging technologies and optimal techniques. In *International Journal of Disaster Risk Reduction* (Vol. 47, p. 101642).
- Korkmaz, E. (2012). Deprem Sonrası Geçici Sağlık Yapılarının Planlanmasına Yönelik Bir Model Önerisi. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 2012.
- Kovács, G., & Spens, K. M. (2011). Trends and developments in humanitarian logistics - a gap analysis. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 41(1), 32–45.
- Lazic, J., Hanafi, S., Mladenovic, N., and Urošević, D. (2009). Solving 0-1 mixed integer programs with variable neighbourhood decomposition search. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 13(PART 1), 2012–2017.
- Liang, G., and Zhou, N. (2016). Background and reflections on Gorkha earthquake of April 25, 2015. *Natural Hazards*, 81(2), 1385–1392.
- Liao, H., Tang, M., Li, Z., and Lev, B. (2019). Bibliometric analysis for highly cited papers in operations research and management science from 2008 to 2017 based on Essential Science Indicators. *Omega (United Kingdom)*, 88, 223–236.
- Liu, J., Guo, L., Jiang, J., Jiang, D., and Wang, P. (2018). Emergency material allocation with time-varying supply-demand based on dynamic optimization

- method for river chemical spills. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(18), 17343–17353.
- Liu, K. (2020). Post-earthquake medical evacuation system design based on hierarchical multi-objective optimization model: An earthquake case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101785.
- Liu, Y., Cui, N., and Zhang, J. (2019). Integrated temporary facility location and casualty allocation planning for post-disaster humanitarian medical service. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 128, 1–16.
- Lovreglio, R., Ronchi, E., and Nilsson, D. (2015). A model of the decision-making process during pre-evacuation. *Fire Safety Journal*, 78, 168–179.
- Mills, A. F., Argon, N. T., and Ziya, S. (2013). Resource-based patient prioritization in mass-casualty incidents. *Manufacturing and Service Operations Management*, 15(3), 361–377.
- Na, H. S., and Banerjee, A. (2015). A disaster evacuation network model for transporting multiple priority evacuees. *IIE Transactions*, 47(11), 1287–1299.
- Najafi, M., Eshghi, K., and de Leeuw, S. (2014). A dynamic dispatching and routing model to plan/ re-plan logistics activities in response to an earthquake. *OR Spectrum*, 36(2), 323–356.
- Nikolopoulos, K., Petropoulos, F., Rodrigues, V. S., Pettit, S., and Beresford, A. (2020). A disaster response model driven by spatial-temporal forecasts. *International Journal of Forecasting*.
- Oksuz, M. K., and Satoglu, S. I. (2020). A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44, 101426.
- Özdamar, L., Ekinci, E., and Küçükyazici, B. (2004). Emergency logistics planning in natural disasters. *Annals of Operations Research*, 129(1–4), 217–245.
- Patra, T. D. P., and Jha, J. K. (2021). A two-period newsvendor model for prepositioning with a post-disaster replenishment using Bayesian demand update. *Socio-Economic Planning Sciences*, 101080.

- Paul, J. A., and Hariharan, G. (2012). Location-allocation planning of stockpiles for effective disaster mitigation. *Annals of Operations Research*, 196(1), 469–490.
- Poler, R., Mula, J., and Díaz-Madroñero, M. (2014). Linear Programming. In *Operations Research Problems* (pp. 1–48).
- Pollak, E., Falash, M., Ingraham, L. ve Gottesman, V. (2004). Operational analysis framework for emergency operations center preparedness training. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 1, 839–847.
- Rezapour, S., Naderi, N., Morshedlou, N., and Rezapourbehnagh, S. (2018). Optimal deployment of emergency resources in sudden onset disasters. *International Journal of Production Economics*, 365–382.
- Sacco, W. J., Navin, D. M., Waddell, R. K., Fiedler, K. E., Long, W. B., and Buckman, R. F. (2007). A new resource-constrained triage method applied to victims of penetrating injury. *Journal of Trauma - Injury, Infection and Critical Care*, 63(2), 316–325.
- Sakiani, R., Seifi, A., and Khorshiddoust, R. R. (2020). Inventory routing and dynamic redistribution of relief goods in post-disaster operations. *Computers and Industrial Engineering*, 140, 106219.
- Şenol, C. (2020). Türkiye’de Meydana Gelen Büyük Depremlerin Yerleşme Ve Demografik Yapı Üzerindeki Etkileri (1927-2020). *Uluslararası Sosyal Bilimler Akademi Dergisi*, 2(4), 2687–2641.
- Shaluf, I. M. (2007). Disaster types. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 16(5), 704–717.
- Shaluf, I. M., and Ahmadun, F. R. (2006). Disaster types in Malaysia: An overview. In *Disaster Prevention and Management: An International Journal* (Vol. 15, Issue 2, pp. 286–298).
- Sherali, H. D., Carter, T. B., and Hobeika, A. G. (1991). A location-allocation model and algorithm for evacuation planning under hurricane/flood conditions. *Transportation Research Part B*, 25(6), 439–452.
- 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.
- Shi, Y., Zhai, G., Xu, L., Zhu, Q., and Deng, J. (2019). Planning emergency shelters for urban disasters: A multi-level location-allocation modeling approach. *Sustainability (Switzerland)*, 11(16).
- Kyohong Shin & Taesik Lee (2020) Emergency medical service resource allocation in a mass casualty incident by integrating patient prioritization and hospital selection problems, *IIE Transactions*, 52:10, 1141-1155.
- Sönmezer, B. Y., & Akbaş, S. O., and Işık N. S. (2015). Kirikkale ili yerleşim alanı için en büyük ivme, zemin büyütmesi ve hakim titreşim periyodu özelliklerinin değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(4), 711-721.
- Sun, H., Wang, Y., and Xue, Y. (2021b). A bi-objective robust optimization model for disaster response planning under uncertainties. *Computers and Industrial Engineering*, 155, 107213.
- Sun, H., Wang, Y., Zhang, J., and Cao, W. (2021a). A robust optimization model for location-transportation problem of disaster casualties with triage and uncertainty. *Expert Systems with Applications*, 175, 114867.
- Sung, I., and Lee, T. (2016). Optimal allocation of emergency medical resources in a mass casualty incident: Patient prioritization by column generation. *European Journal of Operational Research*, 252(2), 623–634.
- Taghavi, M., Johnston, G., Urquhart, R., Henderson, D., Tschupruk, C., and Tupala, B. (2021). Workforce Planning for Community-Based Palliative Care Specialist Teams Using Operations Research. *Journal of Pain and Symptom Management*, 61(5), 1012–1022.
- Thomas, A. S.; Kopczak, L. R. (2015). *From logistics to supply chain management: the path forward for the humanitarian sector | ALNAP*, 1-17.
- TAMP, Türkiye Afet Müdahale Planı, Aralık 2013 Dosyası, <https://www.afad.gov.tr/turkiye-afet-mudahale-plani>, (Erişim Tarihi: 07.05.2021)

- Tzeng, G. H., Cheng, H. J., and 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.
- Wang, W., Huang, L., and Guo, Z. (2017). Optimization of emergency material dispatch from multiple depot locations to multiple disaster sites. *Sustainability (Switzerland)*, 9(11).
- Waring, A. (2015). Managerial and non-technical factors in the development of human-created disasters: A review and research agenda. In *Safety Science* (Vol. 79, pp. 254–267).
- Wex, F., Schryen, G., Feuerriegel, S., and Neumann, D. (2014). Emergency response in natural disaster management: Allocation and scheduling of rescue units. *European Journal of Operational Research*, 235(3), 697–708.
- Widener, M. J., Horner, M. W., and Ma, K. (2015). Positioning disaster relief teams given dynamic service demand: A hybrid agent-based and spatial optimization approach. *Transactions in GIS*, 19(2), 279–295.
- Widgery, D. (2019). Health Statistics. In *Science as Culture* (Vol. 1, Issue 4).
- Wilson, D. T., Hawe, G. I., Coates, G., and Crouch, R. S. (2013). A multi-objective combinatorial model of casualty processing in major incident response. *European Journal of Operational Research*, 230(3), 643–655.
- Wilson, D. T., Hawe, G. I., Coates, G., and Crouch, R. S. (2016). Online optimization of casualty processing in major incident response: An experimental analysis. *European Journal of Operational Research*, 252(1), 334–348.
- Xiang, Y., and Zhuang, J. (2016). A medical resource allocation model for serving emergency victims with deteriorating health conditions. *Annals of Operations Research*, 236(1), 177–196.
- Xiong, P., Tong, L., Zhang, K., Shen, X., Battiston, R., Ouzounov, D., Iuppa, R., Crookes, D., Long, C., and Zhou, H. (2021). Towards advancing the earthquake forecasting by machine learning of satellite data. *Science of the Total Environment*, 771, 145256.

- Yang, Y., Yin, J., Ye, M., She, D., and Yu, J. (2020). Multi-coverage optimal location model for emergency medical service (EMS) facilities under various disaster scenarios: A case study of urban fluvial floods in the Minhang district of Shanghai, China. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(1), 181–195.
- Yi, W., and Kumar, A. (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 660–672.
- Yi, W., and 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.
- Yildiz, A., Teeuw, R., Dickinson, J. and Roberts, J. (2020). Children’s earthquake preparedness and risk perception: A comparative study of two cities in Turkey, using a modified PRISM approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, 101666.
- Yousefian, S., Sohrabizadeh, S., and Jahangiri, K. (2021). Identifying the components affecting intra-organizational collaboration of health sector in disasters: Providing a conceptual framework using a systematic review. In *International Journal of Disaster Risk Reduction* (Vol. 57, p. 102146).
- Yu, J., Zhang, C., Wen, J., Li, W., Liu, R., and Xu, H. (2018). Integrating multi-agent evacuation simulation and multi-criteria evaluation for spatial allocation of urban emergency shelters. *International Journal of Geographical Information Science*, 32(9), 1884–1910.
- Zhang, J., Liu, H., Yu, G., Ruan, J., and Chan, F. T. S. (2019). A three-stage and multi-objective stochastic programming model to improve the sustainable rescue ability by considering secondary disasters in emergency logistics. *Computers and Industrial Engineering*, 135, 1145–1154.
- Zhang, S., Guo, H., Zhu, K., Yu, S., and Li, J. (2017). Multistage assignment optimization for emergency rescue teams in the disaster chain. *Knowledge-Based Systems*, 137, 123–13.

EKLER

EK-1: 1.senaryo t=1 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	7	0	7	0	7	0	0
2	35	0	35	0	35	0	0
3	26	0	26	0	26	0	0
4	20	0	20	0	15	5	3
5	24	0	24	0	14	10	6
6	25	0	25	0	15	10	6
7	28	0	28	0	18	10	6
8	44	0	24	20	24	0	0
9	20	0	20	0	20	0	0
Toplam	229	0	209	20	174	35	21

EK-2: 1. Senaryo t=2 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	10	0	10	0	5	5	3
2	48	0	48	0	23	25	0
3	35	0	35	0	35	0	0
4	26	0	26	0	16	10	6
5	33	0	33	0	18	15	9
6	33	0	33	0	18	15	9
7	37	0	17	20	2	15	9
8	59	0	59	20	34	25	0
9	27	0	27	0	27	0	0
Toplam	308	0	288	40	178	110	36

EK-3: 1.senaryo t=3 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	11	0	11	0	11	0	0
2	51	0	51	0	26	25	0
3	37	0	17	20	17	0	0
4	27	0	27	0	27	0	0
5	35	0	35	0	35	0	0
6	35	0	35	0	35	0	0
7	41	0	61	0	11	50	15
8	63	0	63	20	13	50	15
9	30	0	30	0	30	0	0
Toplam	330	0	330	40	205	125	30

EK-4: 1. senaryo t=4 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	11	0	11	0	6	5	3
2	28	25	28	0	28	0	0
3	40	0	60	0	10	50	15
4	29	0	29	0	19	10	6
5	37	0	17	20	17	0	0
6	37	0	17	20	17	0	0
7	43	0	23	20	23	0	0
8	41	25	41	20	41	0	0
9	28	0	28	0	28	0	0
Toplam	294	50	254	80	189	65	24

EK-5: 2. senaryo t=1 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	7	0	7	0	7	0	0
2	35	0	35	0	20	15	9
3	26	0	26	0	26	0	0
4	20	0	20	0	20	0	0
5	24	0	24	0	14	10	6
6	25	0	25	0	15	10	6
7	28	0	28	0	18	10	6
8	44	0	24	20	24	0	0
9	20	0	20	0	20	0	0
Toplam	229	0	209	20	164	45	27

EK-6: 2. senaryo t=2 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	10	0	10	0	5	5	3
2	48	0	48	0	3	45	12
3	35	0	35	0	20	15	9
4	26	0	26	0	26	0	0
5	33	0	33	0	18	15	9
6	33	0	33	0	33	0	0
7	37	0	17	20	17	0	0
8	59	0	59	20	34	25	0
9	27	0	27	0	17	10	6
Toplam	308	0	288	40	173	115	39

EK-7: 2. senaryo t=3 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	11	0	11	0	11	0	0
2	51	0	51	0	6	45	12
3	37	0	17	20	17	0	0
4	27	0	27	0	27	0	0
5	35	0	35	0	35	0	0
6	35	0	35	0	20	15	9
7	41	0	61	0	11	50	15
8	63	0	63	20	38	25	0
9	30	0	30	0	30	0	0
Toplam	330	0	330	40	195	135	36

EK-8: 2. senaryo t=4 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	11	0	11	0	6	5	3
2	28	25	28	0	28	0	0
3	40	0	60	0	10	50	15
4	29	0	29	0	19	10	6
5	37	0	17	20	17	0	0
6	37	0	17	20	2	15	9
7	43	0	23	20	3	20	12
8	66	0	66	20	41	25	0
9	28	0	28	0	28	0	0
Toplam	319	25	279	80	154	125	45

EK-9: 3. senaryo t=1 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	7	0	7	0	7	0	0
2	35	0	35	0	35	0	0
3	26	0	26	0	16	10	6
4	20	0	20	0	20	0	0
5	24	0	24	0	14	10	6
6	25	0	25	0	15	10	6
7	28	0	18	10	18	0	9
8	44	0	24	20	19	5	3
9	20	0	20	0	15	5	3
Toplam	229	0	199	30	159	40	33

EK-10: 3. senaryo t=2 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	10	0	10	0	10	0	0
2	48	0	48	0	3	45	12
3	35	0	35	0	20	15	9
4	26	0	26	0	26	0	0
5	33	0	33	0	18	15	9
6	33	0	33	0	18	15	9
7	37	0	18	20	3	15	9
8	59	0	59	20	34	25	0
9	27	0	27	0	27	0	0
Toplam	308	0	289	40	159	130	48

EK-11: 3. senaryo t=3 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	11	0	11	0	11	0	0
2	51	0	51	0	6	45	12
3	37	0	17	20	17	0	0
4	27	0	27	0	17	10	6
5	35	0	35	0	20	15	9
6	35	0	35	0	20	15	9
7	41	0	61	0	11	50	15
8	63	0	63	20	38	25	0
9	30	0	30	0	30	0	0
Toplam	330	0	330	40	170	160	51

EK-12: 3. senaryo t=4 için GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	11	0	11	0	11	0	0
2	28	25	28	0	28	0	0
3	40	0	40	20	15	25	15
4	29	0	29	0	19	10	6
5	37	0	17	20	17	0	0
6	37	0	17	20	2	15	9
7	43	0	23	20	3	20	12
8	66	0	66	20	11	55	18
9	28	0	28	0	28	0	0
Toplam	319	25	259	100	134	125	60

EK-13: 4. senaryo t=1 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	7	0	7	0	7	0	0
2	35	0	35	0	35	0	0
3	26	0	26	0	16	10	6
4	20	0	20	0	20	0	0
5	24	0	24	0	24	0	0
6	25	0	25	0	15	10	6
7	28	0	18	10	18	0	9
8	44	0	24	20	24	0	0
9	20	0	20	0	20	0	0
Toplam	229	0	199	30	179	20	21

EK-14: 4. senaryo t=2 zaman periyodu GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	10	0	10	0	10	0	0
2	48	0	48	0	3	45	12
3	35	0	35	0	20	15	9
4	26	0	26	0	16	10	6
5	33	0	33	0	18	15	9
6	33	0	33	0	18	15	9
7	37	0	18	20	18	0	0
8	59	0	59	20	4	55	18
9	27	0	27	0	17	10	6
Toplam	308	0	289	40	124	165	69

EK-15: 4. senaryo t=3 için GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	11	0	11	0	11	0	0
2	51	0	51	0	6	45	12
3	37	0	17	20	17	0	0
4	27	0	27	0	17	10	6
5	35	0	35	0	20	15	9
6	35	0	35	0	20	15	9
7	41	0	61	0	11	50	15
8	63	0	63	20	13	50	15
9	30	0	30	0	30	0	0
Toplam	330	0	330	40	145	185	66

EK-16: 4. senaryo t=4 için GAMS program çıktıları

Bölgeler	Triyaj Alan Yaralı Sayısı	Triyaj Alamayan Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Sevk Edilemeyen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilen Yaralı Sayısı	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen Yaralı Sayısı	Hayatını Kaybeden Sayısı
1	11	0	11	0	11	0	0
2	28	25	28	0	8	20	12
3	40	0	60	0	10	50	15
4	29	0	29	0	24	5	3
5	37	0	17	20	12	5	3
6	37	0	17	20	17	0	0
7	43	0	23	20	3	20	12
8	66	0	66	20	6	60	21
9	28	0	28	0	23	5	3
Toplam	319	25	279	80	114	165	69

EK-17: 1. senaryoya göre bölgelere atanan sağlık birimlerinin kapasite kullanım sonuçları

Bölgeler/ Değişkenler	Atanan Sağlık Birimi Sayısı	Mevcut Kapasite	Kullanılan Kapasite	Kapasite Kullanım Oranı
1	1	1440	1119	78%
2	17	24480	4730	19%
3	4	5760	3954	69%
4	3	4320	2918	68%
5	3	4320	3697	86%
6	3	4320	3722	86%
7	4	5760	4277	74%
8	6	8640	6023	70%
9	3	4320	3017	70%

EK-18: 2. senaryoya göre bölgelere atanan sağlık birimlerinin kapasite kullanım sonuçları

Bölgeler/ Değişkenler	Atanan Sağlık Birimi Sayısı	Mevcut Kapasite	Kullanılan Kapasite	Kapasite Kullanım Oranı
1	1	1440	1119	78%
2	13	18720	4730	25%
3	4	5760	3954	69%
4	3	4320	2918	68%
5	3	4320	3697	86%
6	3	4320	3722	86%
7	4	5760	4277	74%
8	6	8640	6648	77%
9	3	4320	3017	70%

EK-19: 3. senaryoya göre bölgelere atanan sağlık birimlerinin kapasite kullanım sonuçları

Bölgeler/ Değişkenler	Atanan Sağlık Birimi Sayısı	Mevcut Kapasite	Kullanılan Kapasite	Kapasite Kullanım Oranı
1	1	1440	1119	78%
2	5	7200	4730	66%
3	4	5760	3954	69%
4	3	4320	2918	68%
5	3	4320	3697	86%
6	3	4320	3722	86%
7	4	5760	4277	74%
8	11	15840	6648	42%
9	3	4320	3017	70%

EK-20: 4. senaryoya göre bölgelere atanan sağlık birimlerinin kapasite kullanım sonuçları

Bölgeler/ Değişkenler	Atanan Sağlık Birimi Sayısı	Mevcut Kapasite	Kullanılan Kapasite	Kapasite Kullanım Oranı
1	1	1440	1119	78%
2	6	8640	4730	55%
3	4	5760	3954	69%
4	3	4320	2918	68%
5	3	4320	3697	86%
6	3	4320	3722	86%
7	4	5760	4277	74%
8	6	8640	6648	77%
9	3	4320	3017	70%

EK-21: 1. senaryoya göre bölgelere atanan ambulansların kapasite kullanım sonuçları

Bölgeler/ Değişkenler	Atanan Ambulans Sayısı	Mevcut Kapasite	Kullanılan Kapasite	Kapasite Kullanım Oranı
1	2	60	39	65%
2	6	252	162	64%
3	3	180	138	77%
4	2	160	102	64%
5	4	160	109	68%
6	2	166	110	66%
7	2	416	129	31%
8	4	396	187	47%
9	5	165	105	64%

EK-22: 2. senaryoya göre bölgelere atanan ambulansların kapasite kullanım sonuçları

Bölgeler/ Değişkenler	Atanan Ambulans Sayısı	Mevcut Kapasite	Kullanılan Kapasite	Kapasite Kullanım Oranı
1	2	60	39	65%
2	4	296	162	55%
3	3	180	138	77%
4	3	180	102	57%
5	4	160	109	68%
6	3	171	110	64%
7	1	303	129	43%
8	3	276	212	77%
9	5	165	105	64%

EK-23: 3. senaryoya göre bölgelere atanan ambulansların kapasite kullanım sonuçları

Bölgeler/ Değişkenler	Atanan Ambulans Sayısı	Mevcut Kapasite	Kullanılan Kapasite	Kapasite Kullanım Oranı
1	2	48	39	81%
2	4	256	162	63%
3	2	140	118	84%
4	2	140	102	73%
5	3	132	109	83%
6	2	192	110	57%
7	1	238	120	50%
8	6	264	212	80%
9	4	144	105	73%

EK-24: 4. senaryoya göre bölgelere atanan ambulansların kapasite kullanım sonuçları

Bölgeler/ Değişkenler	Atanan Ambulans Sayısı	Mevcut Kapasite	Kullanılan Kapasite	Kapasite Kullanım Oranı
1	2	48	39	81%
2	4	216	162	75%
3	2	174	138	79%
4	2	140	102	73%
5	4	144	109	76%
6	2	166	110	66%
7	1	173	120	69%
8	3	297	212	71%
9	4	132	105	80%

EK-25: 1. senaryoya göre bölgelerden üç farklı hastaneye yatışı gerçekleştirilmiş
toplam yaralı sayısı

Bölgeler / Değişkenler	1. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı	2. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı	3. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı
1	11	18	0
2	23	89	0
3	45	43	0
4	77	0	0
5	67	17	0
6	68	17	0
7	0	25	29
8	58	41	13
9	77	28	0

EK 26: 2. senaryoya göre bölgelerden üç farklı hastaneye yatışı gerçekleştirilmiş
toplam yaralı sayısı

Bölgeler / Değişkenler	1. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı	2. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı	3. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı
1	11	18	0
2	20	28	9
3	30	43	0
4	46	46	0
5	67	17	0
6	20	50	0
7	17	0	32
8	113	24	0
9	67	28	0

EK-27: 3. senaryoya göre bölgelerden üç farklı hastaneye yatışı gerçekleştirilmiş
toplam yaralı sayısı

Bölgeler / Değişkenler	1. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı	2. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı	3. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı
1	0	39	0
2	34	35	3
3	51	17	0
4	62	20	0
5	32	17	20
6	55	0	0
7	21	0	14
8	0	102	0
9	100	0	0

EK-28: 4. senaryoya göre bölgelerden üç farklı hastaneye yatışı gerçekleştirilmiş
toplam yaralı sayısı

Bölgeler / Değişkenler	1. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı	2. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı	3. Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı
1	0	39	0
2	17	35	0
3	36	17	10
4	57	20	0
5	38	36	0
6	53	17	0
7	39	0	11
8	10	24	13
9	70	20	0

EK-29: 1. senaryo sonucunda bölgelere göre ölüm tipleri dağılım sonuçları

Bölgeler/ Ölüm Tipleri	Olay Yeri Trijaji Alamayan	Hastaneye Sevk Edilemeyen	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen	Toplam
1	0	0	6	6
2	0	0	0	0
3	0	0	15	15
4	0	0	15	15
5	0	0	15	15
6	0	0	15	15
7	0	0	30	30
8	0	0	15	15
9	0	0	0	0
Toplam	0	0	111	111

EK-30: 2. senaryo sonucunda bölgelere göre ölüm tipleri dağılım sonuçları

Bölgeler/ Ölüm Tipleri	Olay Yeri Triage Alamayan	Hastaneye Sevk Edilemeyen	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen	Toplam
1	0	0	6	6
2	0	0	33	33
3	0	0	24	24
4	0	0	6	6
5	0	0	15	15
6	0	0	24	24
7	0	0	33	33
8	0	0	0	0
9	0	0	6	6
Toplam	0	0	147	147

EK-31: 3. senaryo sonucunda bölgelere göre ölüm tipleri dağılım sonuçları

Bölgeler/ Ölüm Tipleri	Olay Yeri Trijaji Alamayan	Hastaneye Sevk Edilemeyen	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen	Toplam
1	0	0	0	0
2	0	0	24	24
3	0	0	30	30
4	0	0	12	12
5	0	0	24	24
6	0	0	33	33
7	0	9	36	45
8	0	0	21	21
9	0	0	3	3
Toplam	0	9	183	192

EK-32: 4. senaryo sonucunda bölgelere göre ölüm tipleri dağılım sonuçları

Bölgeler/ Ölüm Tipleri	Olay Yeri Triyajı Alamayan	Hastaneye Sevk Edilemeyen	Hastaneye Yatışı Gerçekleştirilemeyen	Toplam
1	0	0	0	0
2	0	0	36	36
3	0	0	30	30
4	0	0	15	15
5	0	0	21	21
6	0	0	24	24
7	0	9	27	36
8	0	0	54	54
9	0	0	9	9
Toplam	0	9	216	225

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sema Çiftçi

Doğum Tarihi :

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu :

Lisans : Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği
(2014-2018)

Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği
(2018-2021)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Ostim Teknik Üniversitesi Araştırma Görevlisi
(2020-2021)

Yayınları (Diğer) :

1. Çiftçi, S , Çakırer, Z , Sakallı, Ü . (2020). Simülasyon Çalışması ile Deprem Senaryosu Oluşturulması ve Kırıkkale İli Kayıp Tahmin Analizi . International Journal of Engineering Research and Development , 12 (2) , 603-617.
2. Çiftçi, S, Sakallı, Ü. (2021). Deprem Sonrası Sağlık Kaynaklarının Optimizasyon Yaklaşımıyla Planlanması. Ankara International Conference On Scientific Research – IV April 10-11, 2021 / Ankara-Turkey

Araştırma Alanları : Yöneylem Araştırması, Simülasyon,
Optimizasyon, Bulanık Mantık,
Yalın Üretim Teknikleri