Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 38:2 (2023) 1203-1216

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University

Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

A mathematical modelling approach for planning health resources after earthquake: Kırıkkale city example

Sema Çiftçi[1]*, Ümit Sami Sakallı[2]

[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ostim Technical University, 06374 Ostim, Ankara, Türkiye
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kırıkkale University, 71450 Yahşihan, Kırıkkale, Türkiye

Highlights:

- Multi-period model approach
- The Markov chain
- Comprehensive assignment of health resources

Keywords:

- Earthquake
- Resource allocation
- Planning
- Mathematical model
- Mixed integer programming

Article Info:

Research Article
Received: 23.03.2022
Accepted: 20.05.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1092469

Correspondence:

Author: Sema Çiftçi
e-mail: sema.ciftci@ostimteknik.edu.tr
phone: +90 312 386 10 92

Graphical/Tabular Abstract

Earthquakes are the most common type of disasters with high effects. The chaotic states that occur after the earthquake complicate the intervention and recovery process. The effective management of this difficult process depends on the successful allocation of available resources (material, health personnel etc.) to the affected areas. Intervention of the injured in the first hours after the earthquake, according to the severity of injury (severe, delayed) are more likely to survive. It is necessary to intervene the injured who are taken out from under the rubble and transfer them to the hospital urgently. Thus, health resources planning is major in reducing ruinous effects of earthquake. In this study, a 0-1 mixed integer mathematical model has been developed aiming to minimize the number of deaths. The model determines how many health units (doctor, nurse, etc.) and ambulance assign to the affected areas for performing on-scene triage and to which hospitals they will be directed to. Integrating three decisions in a multi- period mathematical model and evaluating changes in the health status of the injured as a Markov process are the contribution of this study to the literature. The proposed model has been performed for a possible earthquake scenario in Kırıkkale/Turkey by using GAMS/CPLEX solver. The results show that it can be used as an effective planning tool for the allocation of health resources for earthquakes.

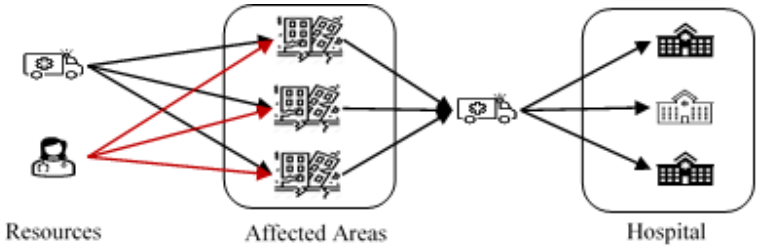


Figure A. Process flow of the problem

Purpose:
In this study, it is aimed to allocate health resources and ambulances to the affected areas and to assign the injured to hospitals simultaneously in order to minimize the loss of life after the earthquake.

Theory and Methods:
There are two objectives in this study, as seen in Figure A. The first objective is to allocate health resources to the post-earthquake-affected areas. The second aim is to assign the seriously injured people who received medical treatment in the wreckage areas to the hospitals in the region. In this context, 0-1 Mixed Integer Programming method was used as a method in the study. GAMS/CPLEX solver was used to solve the model.

Results:
When the results of the developed model were evaluated, it was seen that there was no shortage of resources as a result of the assignments of health units and ambulances to more than one region after the earthquake, but the empty bed capacity of the hospital reached 100% occupancy rate as a result of the assignments.

Conclusion:
It is thought that the developed model will be effective in the dynamic allocation of health resources after the earthquake.

Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 38:2 (2023) 1203-1216

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University
Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Deprem sonrası sağlık kaynakları planlamasına yönelik matematiksel model önerisi: Kırıkkale kent örneği

Sema Çiftçi[1]*, Ümit Sami Sakallı[2]
[1]Ostim Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06374 Ostim, Ankara, Türkiye
[2]Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450 Yahşihan, Kırıkkale, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Deprem sonrası süreci çok periyodlu olarak matematiksel modelleme yaklaşımı
- Depremden etkilenmiş birden fazla bölge için sağlık birimi ve ambulans ataması
- Yaralıların geçiş olasılıklarını markov zinciri olarak analiz

Makale Bilgileri
Araştırma Makalesi
Geliş: 23.03.2022
Kabul: 20.05.2022

DOI:
10.17341/gazimmfd.1092469

Anahtar Kelimeler:
Deprem,
kaynak tahsisi,
planlama,
matematiksel programlama,
karışık tam sayılı programlama

ÖZ

Depremler can ve mal kaybına neden olan, en sık görülen, etkileri oldukça büyük afet türüdür. Deprem sonrası kaotik koşullar müdahale ve kurtarma sürecini zorlaştırır. Bu sürecin yönetilebilmesinde, eldeki kaynakların (sağlık, barınma, AFAD ekipleri vb.) başarılı bir şekilde enkaz bölgelerine tahsisi gerekmektedir. Depremlerden sonraki ilk saatlerde yaralıların, yaralanma şiddetlerine göre (ağır ve geciktirilebilir yaralı) ve geçen süreyle doğru orantılı olarak hayatta kalma olasılıkları daha fazladır; zaman ilerledikçe bu ihtimal azalır. Dolayısıyla enkazdan çıkarılan yaralılara ilk müdahalelerinin yapılması, ihtiyaç görülenlerin acilen hastaneye sevk edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle sağlık kaynakları planlaması depremin yıkıcı etkilerinin azaltılmasında son derece önemlidir. Bu çalışmada 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 ve yaralıların sağlık durumlarındaki değişimin markov zinciri olarak modellemesi literatüre katkı olarak öne çıkmaktadır. Geliştirilen model, Kırıkkale ili için olası bir deprem senaryosu verileriyle GAMS CPLEX çözücüsü kullanılarak test edilmiştir. Test sonuçları, geliştirilen modelin sağlık kaynakları tahsisi için etkin bir planlama aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

A mathematical modelling approach for planning health resources after earthquake: Kırıkkale city example

HIGHLIGHTS

- Mathematical modeling of the post-earthquake process in a multi-period approach
- Assignment of medical units and ambulances for more than one earthquake-affected area
- Analyzing the transition probabilities of the injured as a markov chain

Article Info
Research Article
Research Article
Received: 23.03.2022
Accepted: 20.05.2022

DOI:
10.17341/gazimmfd.1092469

Keywords:
Earthquake,
resources allocation,
planning,
mathematical model,
mixed integer programming

ABSTRACT

Earthquakes are the most common type of disaster, which causes life and property loss. After the earthquake, chaotic conditions make the intervention and recovery process difficult. In the management of this process, the resources available (health, shelter, AFAD teams, etc.) it is necessary to successfully allocate it to the debris areas. In the early hours after the earthquakes, the injured are more likely to survive in relation to the severity of injury (heavy and detertable wounded) and in the correct proportion of the time elapsed; as time progresses, this is less likely. Therefore, the first intervention of the injured from the wreckage must be carried out and those in need must be rushed to the hospital. Therefore, health resources planning is crucial to reducing the devastating effects of the earthquake. In this study, a mathematical model of 0-1 mixed numbers was developed, aimed at minimizing the number of injured people who lost their lives after the earthquake. In the model, it is requested to assign health units (doctors, nurses, equipment) to perform crime scene triage to the debris areas, assign ambulances to the hospital for the transfer of injured people who have been triyed at the crime scene, and to decide which hospitals the ambulances should be directed to. The modeling of the model as a markov chain of health changes in the multi-period and injured people is a contributor to literature. The developed model was tested using the GAMS CPLEX solver with possible earthquake scenario data for the Kirikkale province. The test results show that the model developed can be used as an effective planning tool for healthcare allocation.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *sema.ciftci@ostimteknik.edu.tr, ssakalli@kku.edu.tr / Tel: + 90 312 386 10 92

1. Giriş (Introduction)

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 [1]. Depremler en yaygın afetler arasındadır. Yılda 500.000' den fazla, deprem meydana gelmektedir [2]. Deprem, yeryüzünün üst katmanlarında meydana gelen ani bir kırılmadır. Depremler binaların çökmesine, can ve malın tahrip olmasına neden olmaktadır [3]. 1998 ile 2018 yılları arasında deprem sebebiyle 752.498 kişi hayatını kaybetmiştir [4]. Türkiye'de ise 20. yüzyılda deprem sebebiyle 110.000 ölüm ve 250.000 yaralanmayla birlikte büyük can ve mal kaybına neden olmuştur [5]. Deprem sonrası yaşanan süreç oldukça karmaşıktır; gıda, barınma gibi çeşitli temel ihtiyaçlara, sağlık personeli ve ekipmanına, arama-kurtarma ekiplerine olan olağanüstü talep ve bunların temininde karşılaşılan hasarlı ulaşım ağları gibi birçok sorunu bünyesinde bulunmaktadır [6]. Depremlerde yaşanan can ve mal kayıplarını azaltmak için afet öncesi ve afet sonrası süreci ifade eden afet yönetim sisteminin etkin bir şekilde kullanılarak bu sorunların üstesinden gelinmesi gerekmektedir [7]. Afet yönetim sistemi; hazırlık aşaması, hafifletme aşaması, müdahale aşaması ve kurtarma aşaması olmak üzere dört grupta sınıflandırılır [8].

Afet lojistiği; afetzedelerin acılarını azaltmak için mal, hizmet ve ilgili bilgilerin etkin ve uygun maliyetle taşınması ve depolanmasının planlanması, icra edilmesi ve kontrolünün sağlanmasıdır [9]. Afet yönetim sisteminin her aşamasında lojistik faaliyetler oldukça önemlidir. Afetlerin yol açacağı can ve mal kayıplarının azaltılması, afet lojistik operasyonlarının verimliliğinin artışıyla azaltılabilir [10]. 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 lojistiğiyle ilgili çalışmalar, tesis yer seçimi ve depolama problemleri [11, 12], talep tahmini modelleri [13, 14] ve kaynak planlaması [15, 16] olmak üzere üç alt başlık altında yoğunlaşmıştır. Kaynak planlaması çalışmaları afet sonrası yaşanan can ve mal kayıplarının azaltılması açısından kritiktir Afetlerde kaynakların planlanması çalışmaları acil yardım malzemelerinin (gıda, su, ilaç, barınak) tahsisi [17, 18], arama kurtarma ekiplerinin tahsisi [19, 20] ve sağlık kaynaklarının tahsisi olmak üzere üç ana başlık üzerinde değerlendirilmiştir. Büyük ölçekte meydana gelen bir afet sonrasında, mevcut kaynaklar afetlerin etkilerine cevap vermek için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, ölüm ve yaralanmaları azaltan tutarlı, erişilebilir ve koordineli sağlık hizmetleri almak afetler sırasında ilk ve en önemli taleptir [21]. Temel tıbbi kaynakların yetersizliğine neden olan afetlerin etkilerinin azaltılmasında, operasyonlarının kalitesini iyileştirmek için kaynak tahsisini optimize etmek çok önemlidir [22]. 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, afet lojistiğiyle ilgili literatür gözden geçirildiğinde, öncelikli olarak tesis yer seçimi, yardım malzemelerin tahsisi vb. konulara daha fazla ilgi gösterildiği görülmektedir [23, 24]. Tıbbi kaynak tahsisi problemleri ise oldukça az ilgi görmüştür [25, 26]. Bu amaçla literatürde yer alan afetlerde sağlık kaynaklarının (doktor, ambulans, ekipman, hastane vb.) tahsis edilmesi çalışmaları incelenmiştir. Çalışmalar, yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıkları (YGO), hastane ataması (HA), ambulans ataması (AA), sağlık birimi ataması (SBA), zaman periyodu (DS), yaralıların hayatta kalma/kaybetme fonksiyonları (HKF), olay yeri triyaj müdahalesi (OYT), etkilenmiş bölge sayısı (EBS), afet tipi (AT) gibi problem özellikleri ve önerilen çözüm yöntemleri olmak üzere on ana başlık üzerinde değerlendirilmiştir. İnceleme sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. İncelenen çalışma değerlendirme kriterini içeriyorsa "√", içermiyorsa "×" simgesiyle belirtilmiştir.

Tablo 1'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 [37], bazıları ise sadece hastane atamasına [28, 31] 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 değerlendirerek, olay yeri için sağlık personeli, hastaneye sevk için ambulans ataması ve kapsamlı tedavi için hastane atamasının yapılması, deprem sonrası yaşanan kayıpların azaltılması açısından kritiktir.

Afetlerde enkazzedeler kademeli olarak kurtarılırlar. Zaman ilerledikçe enkazlardan kurtarılan yaralı sayısı artış gösterir. Tablo 1'de yer alan kaynak tahsis çalışmaları zaman açısından tek periyodlu [30, 34] ve statik parametrelerin (talep, arz vb.) kullanıldığı modeller geliştirilmiştir [42]. Bu çalışma çıktıları optimal kaynak tahsisini

Tablo 1. Sağlık kaynaklarının tahsis edilmesi literatür araştırması (Literature search on allocation of health resources)

Çalışmalar	AT	EBS	OYT	HKF	DS	SBA	AA	HA	YGO	ÇY
[27]	Deprem	Çok	×	×	Çok	×	√	√	×	MIP
[28]	Deprem	Çok	×	×	Çok	×	×	√	×	VF
[29]	Genel	Tek	√	×	Çok	×	×	×	×	SY
[30]	Genel	Çok	√	×	Tek	×	×	√	√	SY
[31]	Uçak Kazası	Tek	√	√	Çok	×	×	√	×	MIP
[32]	Deprem	Çok	×	×	Çok	×	×	√	×	MIP
[33]	Mağaza Çöküntüsü	Çok	√	√	Çok	×	√	√	×	MIP
[34]	Genel	Tek	×	√	Tek	×	√	√	×	MIP
[35]	Genel	Tek	×	×	Tek	×	×	×	√	SY
[36]	Genel	Çok	√	×	Çok	×	×	√	√	SY
[37]	Deprem	Çok	√	√	Tek	√	√	×	×	NLP
[38]	Deprem	Çok	×	√	Tek	×	√	√	×	PO - KY
[39]	Deprem	Çok	×	×	Tek	×	×	√	×	GA
[40]	Deprem	Çok	×	√	Tek	×	×	√	×	SO
[41]	Deprem	Çok	√	√	Tek	×	×	√	×	KY
Bu Çalışma	Deprem	Çok	√	√	Çok	√	√	√	√	MIP

ÇY: Çözüm Yöntemi, SY: Sezgisel Yöntem, MIP: Karışık Tam Sayılı Programlama, VF: Veri Füzyonu,
NLP: Doğrusal Olmayan Programlama, PO: Pareto Optimal, KY: Kısıtlama Yöntemi.

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 veya bir süre sonra fazlalığı söz konusu olacaktır. Kaynak tahsisi yapılırken zaman unsurunun çok periyodlu olarak değerlendirilmesi, kaynak yönetiminde etkili kararların alınmasını sağlayacaktır.

Tablo 1'de yer alan çalışmalar çoğunlukla birden fazla yaralı grubunu (ağır, geciktirilebilir, hafif) içerecek şekilde geliştirilmiştir [27-29]. Yaralıların zaman ilerledikçe sağlık durumlarının kötüleşmesi, canlı ya da ölü olmasını belirleyen hayatta kalma / kaybetme fonksiyonu ile değerlendirilmiştir [31, 33, 37]; bu durum gerçek hayat ile çelişmektedir. Gerçek hayat problemlerinde hafif yaralı grubunda yer alan bir kişi, ağır yaralı grubuna geçiş yapmadan hayatını kaybedemez. Bu nedenle yaralı grupları arasındaki geçişlerin hayatta kalma / kaybetme fonksiyonu ile birlikte ele alınması, geliştirilen modellerin teoride kalmayarak, gerçek bir vaka durumunda kullanılabilirliğini artıracaktır. Ancak yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıkları oldukça az ilgi görmüştür [30, 35, 36].

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 gibi üç alt problem birlikte 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 süreci çok periyodlu olarak, yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıklarını markov zinciri olarak değerlendirilmesi, deprem sonrası ihtiyaç duyulan sağlık kaynaklarının bütünsel olarak tahsis edilmesi literatüre katkısı olarak ön plana çıkmaktadır. 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 değerlendirilmesi, 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 geliştirilen modelin tanımı, matematiksel gösterimi, Bölüm 3'de bir deprem senaryosu üzerindeki uygulama sonuçları, Bölüm 4' de ise modelden elde edilen sonuçlar ve gelecek çalışmalar için öneriler verilerek çalışma sonlandırılmıştır.

2. Problemin Tanımı (Definition of the Problem)

Bu bölümde deprem sonrası sağlık kaynaklarının optimal tahsis edilmesi için bir model önerisi sunulmuştur. Modelde yer alan kaynak tahsis kararları; enkaz bölgelerine olay yeri triyajını gerçekleştirecek sağlık ekiplerinin atamasının yapılması, olay yeri triyajı gerçekleştirilen yaralıların, hastaneye sevkini sağlayacak ambulans atamasının yapılması, hastaneye sevk edilmesi gereken yaralıların hangi hastaneye yönlendirileceğinin yapılması şeklindedir. Aşağıdaki Şekil 1'de geliştirilen modele yönelik süreç akışı ve kaynak tahsis operasyonu gösterilmiştir.

2.1. Kaynak Tahsisi ve Model Varsayımları (Resource Allocation and Model Assumptions)

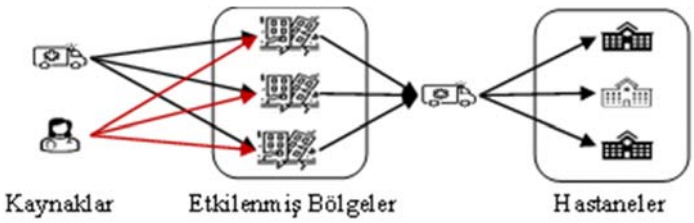
Çalışma kapsamında geliştirilen model için literatürde yaygın olarak kullanılan genel varsayımlar [43] ve modele özgü varsayımlar şu şekildedir:

Genel Varsayımlar:

1. Depreme maruz kalmış bölgede bulunan hastanelerin deprem sonrası kullanılabilir durumda olacağı,
2. Deprem gerçekleştikten sonra arama-kurtarma ekiplerinin olay yerinde bulunacağı,
3. Yaralıların triyaj işlemlerinde yanlış sınıflandırma yapılmayacağı,
4. Arama-kurtarma ekiplerinin enkaz alanından yaralıları; ağır, geciktirilebilir ve hafif yaralı olmak üzere üç grupta çıkarabileceği ve hafif yaralıların hastane sevkine ihtiyaç duymayacağı,
5. Enkaz bölgeleri ve hastanelerdeki sağlık personellerinin yeteneklerinin homojen olduğu,
6. Ağır ve geciktirilebilir yaralı sınıflarındaki ölümlerin, bilinen bir zaman fonksiyonu tarafından tanımlanan bir ölüm olasılığını izlediği (hayatta kalma / kaybetme fonksiyonu) 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 arasındaki güzergahta hasar almamış bir rotanın olacağı,
9. Hastanelerin müdahale yeteneklerinin aynı, sadece kapasitelerinin farklı olacağı,
10. Hastanelerde deprem sonucu yaralanmalara müdahale için yeterli sayıda doktor bulunacağı,
11. İkincil bir afet olmayacağı varsayılmaktadır

Özel Varsayımlar:

1. Depremden etkilenen bölgenin kendi kaynaklarını kullanarak ilk saatlerde afet müdahalesi gerçekleştireceği,
2. Ölülerin sevk işlemlerinin yetkililer tarafından gerçekleştirileceği,



Şekil 1. Problemin süreç akışı (The process flow of the problem)

3. Hastane yatak kapasitesi yetersiz olduğu için hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen hastaların, hastanelere yakın alanlarda bekletileceği,
4. Hastaneye yatışı gerçekleştirilen hastaların, hastanede kalış süresinin minimum 24 saat olacağı,
5. Hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen geciktirilebilir yaralıların, ağır hasta grubuna geçişinin ihmal edileceği varsayılmıştır.
6. Yaralıların olay yeri tiryaj almadan hastaneye sevk edilmeyeceği

Modele özgü varsayımlar değerlendirildiğinde, Varsayım 1'e göre deprem sonrası ilk saatler ele alınmıştır. Çünkü ulusal/uluslararası 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 ölülerin sevk işlemleri yetkililer tarafından gerçekleştirilecektir. Çünkü sağlık birimi, ambulans, ekipman vb. gibi herhangi bir sağlık kaynağına ihtiyaç duyulmayacaktır. Varsayım 3'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 4'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 5'e göre, hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen geciktirilebilir durumundaki yaralıların ağır yaralı grubuna geçişi ihmal edilmiştir. Çünkü hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen bu yaralılar yine Varsayım 3' e benzer şekilde hastane bahçelerinde gözetim altında tutulacağı düşünülmektedir. Varsayım 6'ya göre ise, olay yerlerine atanan sağlık birimleri triyaj işlemini gerçekleştireceği için, yaralıların olay yeri triyajı almadan hastaneye sevk edilmeyeceği kabul edilmiştir.

2.2. Problemin Matematiksel Modeli
(Mathematical Model of the Problem)

Geliştirilen modelin amacı, deprem sonrası hayatını kaybeden yaralı sayısının en aza indirilmesidir. Bu doğrultuda çalışma kapsamında üç farklı nedenle yaralılar hayatını kaybedebilir. Ölüm tipleri; olay yeri triyajı alamayan, olay yeri triyajı almış, ancak hastaneye sevki gerçekleştirilemeyen, hastaneye sevk edilmiş, ancak hastaneye yatışı gerçekleştirilemeyen ağır yaralı grubundaki kişilerin hayatını kaybetmesi şeklindedir. Çalışma kapsamında yer alan ölüm tipleri Bölüm 1'de açıklandığı üzere, yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıkları markov zinciri [30, 36] olarak ele alınmıştır. Yaralı grupları arasında geçiş olasılıkları üç farklı durumda 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 sevki gerçekleştirilen yaralıların hastaneye yatışları gerçekleştirilmezse; geciktirilebilir yaralı grubundaki kişiler ağır yaralı grubuna, ağır yaralı grubundaki kişiler ise ölü grubuna geçiş yaparlar.

2.3. Değişkenlerin ve Parametrelerin Tanımlanması
(Defining Variables and Parameters)

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

2.3.1. İndisler (Indices)

t : zaman periyodu (t=1, 2, …, T)
i : yaralı tipi (i=1, 2, …, I)
j : bölge numarası (j=1, 2, …, J)
p : hastane numarası (p=1, …, P)

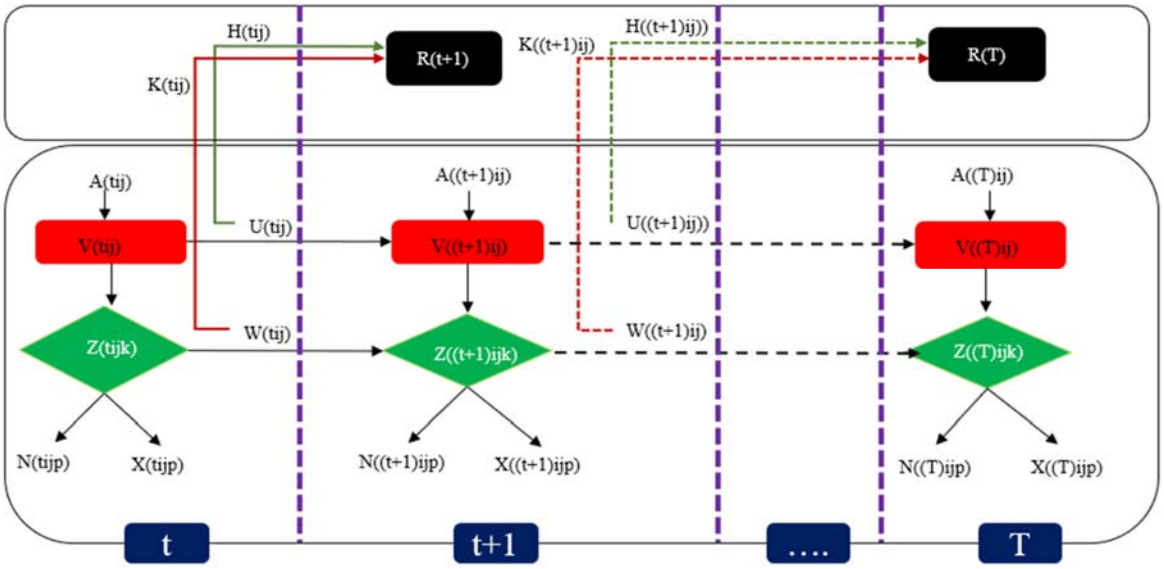
2.3.2. Parametreler (Parameters)

A_{tij} : 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

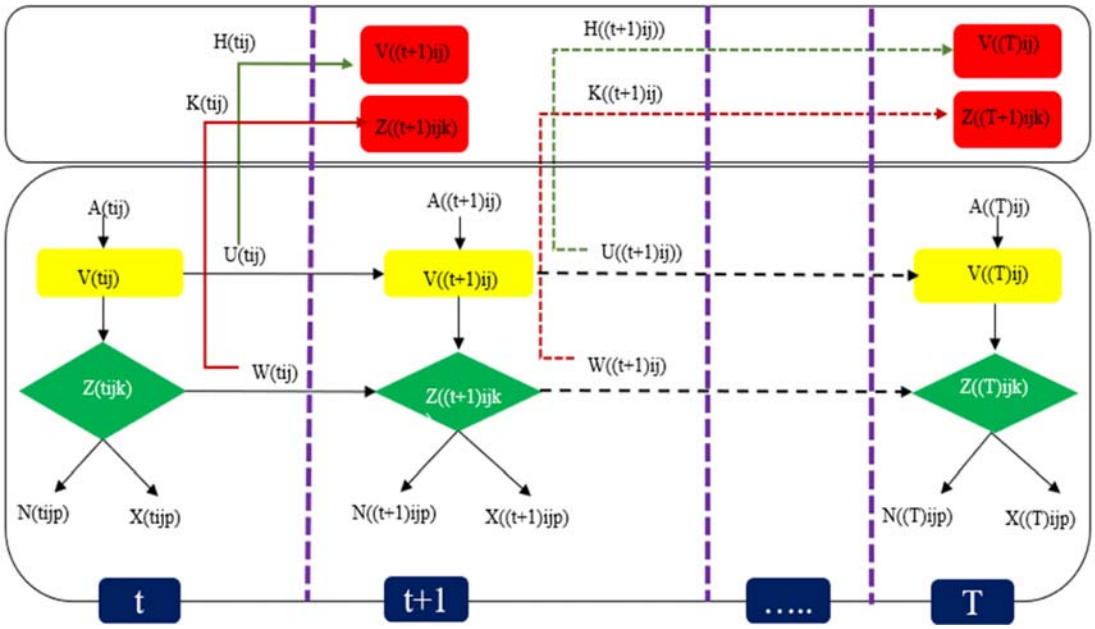
2.3.3. Değişkenler (Variables)

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_{tijp} : 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_{tijp} : t zaman periyodunda j. bölgeden p. hastaneye gönderilip hastane kapasitesi yetersiz olduğu için yatırılamayan toplam i tipi yaralı sayısı
N_{tijp} : 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_{tijp} : 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 2 ve Şekil 3' te gösterilmiştir. Şekil 2' de ağır yaralı grubunda yer alan yaralıların ölü yaralı grubuna (Kırmızıdan siyaha), Şekil 3 ise geciktirilebilir yaralıların ağır yaralı grubuna (Sarıdan kırmızıya) 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



Şekil 2. Ağır yaralı grubundaki kişilerin, ölü grubuna geçişi (Transition of people in the seriously injured group to the dead group)



Şekil 3. Geciktirilebilir yaralı grubundaki kişilerin, ağır yaralı grubuna geçişi
(Transition of persons in the delayed group to the severely injured group)

periyodunda hastaneye sevk edilir. Şekil 3 ise geciktirilebilir yaralı grubunda yer alan yaralıların, ağır yaralı grubuna geçiş durumunu göstermektedir.

Amaç Fonksiyonu

Modelin amacı deprem sonrası, hayatını kaybeden enkazzede sayısının en aza indirilmesidir. Eş.1'de modelin amaç fonksiyon verilmiştir.

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

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{İ}(B_i * V_{tij}) \leq ZP * ASB_j \qquad \forall_{t,j} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{İ} Z_{tijp} \leq AAS_j * C_{jp} \qquad \forall_{t,j,p} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{J} ASB_j \leq SBS \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{J} AAS_j \leq M \quad (5)$$

$$HBK_p - \sum_{t=1}^{T-1}\sum_{i=1}^{İ}\sum_{j=1}^{J} N_{tijp} = \sum_{i=1}^{İ}\sum_{j=1}^{J} N_{Tijp} \quad \forall_p \quad (6)$$

$$U_{t1j} - H_{t1j} + H_{t2j} + K_{t2j} + A_{(t+1)1j} = V_{(t+1)1j} + U_{(t+1)1j} \quad \forall_{t,j} \quad (7)$$

$$U_{t2j} - H_{t2j} + A_{(t+1)2j} = V_{(t+1)2j} + U_{(t+1)2j} \qquad \forall_{t,j} \qquad (8)$$

$$\sum_{p=1}^{P} Z_{(t+1)1jp} + W_{(t+1)1j} = V_{(t+1)1j} + (W_{t1j} - K_{t1j}) + K_{t2j} \qquad \forall_{t,j} \qquad (9)$$

$$\sum_{p=1}^{P} Z_{(t+1)2jp} + W_{(t+1)2j} = V_{(t+1)2j} + (W_{t2j} - K_{t1j}) \quad \forall_{t,j} \qquad (10)$$

$$H_{tij} = F_i * U_{tij} \qquad \forall_{t,i,j} \qquad (11)$$

$$K_{tij} = G_i * W_{tij} \qquad \forall_{t,i,j} \qquad (12)$$

$$HW_{tij} = KO_i * X_{tijp} \qquad \forall_{t,i,j,p} \qquad (13)$$

$$R_t = \sum_{j=1}^{J} H_{t1j} + K_{t1j} + HW_{t1jp} \qquad \forall_{t,j,p} \qquad (14)$$

$$Z_{tijp} = X_{tijp} + N_{tijp} \qquad \forall_{t,i,j,p} \qquad (15)$$

$$AAS_j \geq 1 \qquad \forall_j \qquad (16)$$

$$ASB_j \geq 1 \qquad \forall_j \qquad (17)$$

$$\sum_{p=1}^{P} Y_{tjp} = 1 \qquad \forall_{t,j} \qquad (18)$$

$$Z_{tijp} \leq BM * Y_{tjp} \qquad \forall_{t,i,j,p} \qquad (19)$$

$$V_{tij}, U_{tij}, W_{tij}, H_{tij}, K_{tij} \geq 0 \qquad \forall_{t,i,j} \qquad (20)$$

$$Z_{tijp}, X_{tijp}, N_{tijp}, HW_{tijp} \geq 0 \text{ ve tam sayı} \qquad \forall_{t,i,j,p} \qquad (21)$$

$$ASB_j, AAS_j, \ R_t \geq 0 \quad \text{ve tam sayı} \qquad \forall_{t,j} \qquad (22)$$

$$Y_{tjp} = 0 \text{ veya } 1 \qquad \forall_{t,j,p} \qquad (23)$$

Eş. 2, her bir zaman periyodunda, triyaj işlemi için harcanan toplam sürenin, o bölgeye atanmış sağlık birimi kapasitesini geçemeyeceğini ifade eder. Eş 3, her bir zaman periyodunda hastaneye sevk edilen toplam yaralı sayısının, o bölgeye atanmış ambulans kapasitesini geçemeyeceğini ifade eder. Eş. 4, her bir bölgeye atanmış sağlık birimi sayısının, toplam sağlık birimi kapasitesini geçemeyeceğini ifade eder. Eş. 5, he bir bölgeye atanmış ambulans sayısının, toplam ambulans kapasitesini geçemeyeceğini ifade eder. Eş. 6, her bir zaman periyodunda hastaneye yatışı gerçekleştirilen hasta sayısının, mevcut hastane boş yatak kapasitesini geçemeyeceğini ifade eder. Eş. 7 ve Eş. 8 olay yeri triyajı alan yaralı sayılarının, toplam yaralı sayısını geçemeyeceğini ifade etmektedir. Eş. 9 ve Eş. 10 hastaneye sevk edilen ve edilemeyen yaralı sayısının, olay yeri triyaj işlemi alan toplam yaralı sayısına eşit olduğunu ifade etmektedir. Eş. 11, her bir zaman periyodunda olay yeri triyaj işlemi alamadığı için hayatını kaybeden yaralı sayısı, Eş. 12, her bir zaman periyodunda hastaneye sevk edilemediği için hayatını kaybeden yaralı sayısı ve Eş. 13, her bir zaman periyodunda hastaneye yatışı gerçekleştirilemediği için hayatını kaybeden yaralı sayısı toplamını ifade etmektedir. Eş. 14, her bir zaman periyodunda üç farklı ölüm tipine bağlı hayatını kaybeden yaralı sayısını ifade etmektedir. Eş, 15, her bir zaman periyodunda, hastaneye yatışı gerçekleştirilen ve gerçekleştirilemeyen yaralı sayısının, hastaneye sevki gerçekleştirilen yaralı sayısına eşit olacağını ifade etmektedir. Eş. 16, her bir bölgeye en az 1 sağlık birimi atanması ve Eş. 17, her bir bölgeye en az 1 ambulans atanması gerektiğini ifade etmektedir. Eş. 18, ağır ve geciktirilebilir grubunda bulunan her bir yaralı için, depreme uğramış bölgede bulunan hastanelerden sadece birine sevk edilebileceğini ifade etmektedir. Eş. 19. her bir zaman periyodunda, hastaneye yatışı gerçekleştirilen hasta sayısının, hastaneye sevk edilen hasta sayısını geçemeyeceğini ifade etmektedir. Eş. 20 - Eş. 23 değişkenlerin problemin tipine uygun olacak şekilde, tam sayı ve 0' dan küçük olmamasını sağlayan kısıtlardır.

3. Vaka Analizi (Case Analysis)

Çalışmada geliştirilen model, Kırıkkale ilinde gerçekleşebilecek olası bir deprem senaryosu üzerinde ilk 24 saat için analiz edilmiştir. Analizin gerçekleştirilebilmesi için Bölüm 3.1.' de, Bölüm 2.3.' de verilen parametre değerlerinin (A_{tij}, C_{jp}, B_i, F_i, G_i, KO_i, ZP) elde edilmesiyle ilgili açıklamalar yapılmıştır. Bölüm 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.' de ise oluşturulan senaryolara göre model sonuçları aktarılmıştır.

3.1. Parametre Değerlerinin Elde Edilmesi (Obtaining Parameter Values)

Parametre değerlerinin elde edilmesinde birinci olarak, problemin matematiksel modelinde yer alan enkazdan çıkartılan yaralı sayısı (Atij) değerleri [44] tarafından geliştirilen Kırıkkale ili 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 [45]. 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. Her bir zaman periyodu (6 saatlik) ve 9 merkez bölgesi için ağır ve geciktirilebilir grubundaki yaralı sayısı (Atij) değerleri aşağıdaki Tablo 2'de verilmiştir [42].

İkinci olarak, deprem sonrası ilk 24 saat, her biri 360 dk. olan toplam 4 periyoda ayrılmıştır. Parametre değerlerinin elde edilmesinde

Tablo 2. Zaman periyodları ve bölgelere göre enkazdan çıkartılan yaralı sayıları
(The number of injured people removed from the wreckage according to time periods and regions)

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

Tablo 3. Bölgeler ve hastaneler arasındaki uzaklık (Distance between regions and hospitals)

Bölgeler	Birinci Hastaneye Uzaklık (km)	İkinci Hastaneye Uzaklık (km)	Üçüncü Hastaneye Uzaklık (km)
1	10,46	14,86	13,86
2	6,03	10,43	3,60
3	4,55	8,95	3,60
4	4,50	9,06	2,10
5	8,80	13,20	6,20
6	3,70	8,10	1,09
7	3,35	7,75	0,98
8	3,63	8,03	2,67
9	10,50	15,30	6,30

üçüncü olarak, her bir zaman periyodu süresince bölgelerden hastanelere gerçekleştirilebilecek sefer sayısı (C_{jp}) değerlerinin hesaplaması yapılmıştır. Hesaplama işleminde; Tablo 3'de verilen bölgelerin hastanelere uzaklık değerleri kullanılmıştır.

Hesaplama yapılırken, kötümser bir senaryo ele alındığı için, hastanelere ulaşım için kullanılan yollarda enkazların oluşması, ambulansların hasar alması vb. olumsuz nedenler sebebiyle, 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 birinci bölgede hastaneye yapılabilecek sefer sayısı için "180 / 20,92 = 9" değeri elde edilmiştir. Hesaplama sonuçları aşağıdaki Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Bölgelerden hastanelere yapılabilecek sefer sayısı
(Number of trips from regions to hospitals)

Bölgeler (j)/ Hastaneler (p)	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 (Bi) Rezapour vd. [37] çalışmasından alınmıştır. Yaralılar için gereken bakım süreleri; solunum hızı, nabız hızı ve motor yanıtını içeren üç RPM dağıtım örüntüsüne göre hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları aşağıdaki Tablo 5'de gösterilmiştir.

Tablo 5. Farklı RPM skorlarına göre yaralı gruplarının acil bakım süreleri [35]
(Emergency care times of injured groups according to different RPM scores)

	RPM Skoru								
Yaralı Grupları	i=1							i=2	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Süre (min.)	2	3	4	3	4	4	3	3	2

Tablo 5'e göre ağır yaralı grubundaki kişiler için, gereken tıbbi bakım süreleri 7 farklı skora sahiptir (i=1, 2, ...,7). Aynı şekilde geciktirilebilir yaralı grubundaki kişiler için, gereken tıbbi bakım süresi ise 2 farklı skora (i=8, 9) sahiptir. Tablodaki değerlere göre ağır yaralı grubundaki kişilerin ortalama triyaj süresi 3,3 dakika, geciktirilebilir yaralı grubundakilerin ise 2,5 dakikadır. Ağır yaralı grubu ve geciktirilebilir yaralı grubundaki kişiler için belirlenen bu 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. Bu nedenle çalışma kapsamında ortalama triyaj süresi değerlerinin 10 katına çıkacağı gibi kötümser bir senaryo kabul edilmiştir.

Parametre değerlerinin elde edilmesi aşamasında beşinci olarak, yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıkları için, [46] tarafından geliştirilen hayatta kalma fonksiyonu $f_s(t)$ kullanılmıştır. Burada S hasta tiplerini ifade etmektedir. Fonksiyon üç parametreli olup (β_0, β_1 ve β_2), [47] tarafından geliştirilen RPM (solunum, nabız, motor yanıtı) değerlerinin kullanımı ile hesaplanmıştır. Fonksiyonda yer alan β_0 solunum, β_1 nabız ve β_2 motor yanıtını ifade etmektedir. Fonksiyon Eş. 24'de verilmiştir.

$$f_s(t) = \frac{\beta_{0,s}}{\left(t/\beta_{1,s}\right)^{\beta_{2,s}}+1}, \quad \forall s \in S \tag{24}$$

Mills vd. [46] 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. Mills vd. [46] tarafından geliştirilen hayatta kalma fonksiyonunda β0, β1 ve β2 parametre değerleri beş farklı senaryoya göre (iyimser, olası ve kötü) değişkenlik göstermektedir. Çalışmada kullanılan Fi, Gi ve KOi parametre değerleri Eş. 24 kullanılarak hesaplanmıştır. Örneğin Fi parametresi için Mills vd. [46] tarafından önerilen 5 farklı senaryodan kötümser senaryo değeri kullanılmıştır. Çünkü hiçbir tıbbi tedavi almayan bir yaralının (Atij) kötüleşme olasılığı, olay yeri triyajı almış bir kişinin (Vtij) kötüleşme olasılığından daha fazla olacaktır. Bu amaçla olasılık değerleri; Fi değeri > Gi değeri> KOi değeri şeklinde kullanılmıştır. Çalışma kapsamında Mills vd. [46] tarafından hesaplanan parametre değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Şekilde yer alan değerlere göre olay yeri triyajı alamayan bir kişinin, ağır yaralı grubundan ölü grubuna geçiş olasılığı 0,96 (F1), geciktirilebilir yaralı grubundan ağır yaralı grubuna geçiş olasılığı ise 0,56 (F2)' tır.

3.2. Parametrelerin Analiz Edilmesi (Analyzing Parameters)

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 enkazzede haline gelebilir. Aynı şekilde ambulanslar enkazlar da kullanılmayacak hale gelebilirler. Son olarak mevcut hastanelerin yatakları, deprem dışı sağlık problemleriyle belli oranda dolu

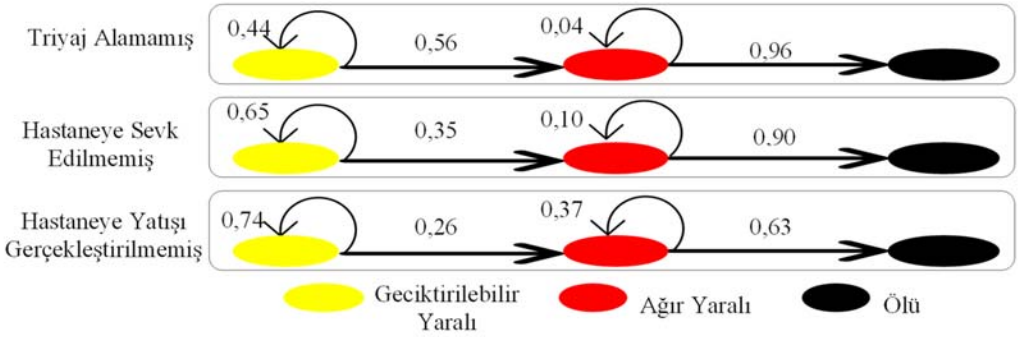
olabilirler. Bu kapsamda çalışmada Kırıkkale ilinde 6,7 (Mw) büyüklüğünde gerçekleşen deprem sonucunda, ağır ve geciktirilebilir yaralı sayıları sabit tutularak, modellemede kullanılan SBS, ASB ve HBK_p parametrelerinin kapasite kullanım oranlarındaki değişimler analiz edilebilerek, amaç fonksiyonu üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Parametre analizinin gerçekleştirilebilmesi için 5 farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryolardan 1 en iyimseri, 5 ise en kötümseri temsil etmektedir. Senaryolara göre değerler belirlenirken, örneğin hastane boş yatak kapasitesi oranı için Türkiye Sağlık Bakanlığı 2019 Sağlık İstatistikleri raporuna göre [48], hastane yatak doluluk oranları ortalama %60,9 'dur. Bu nedenle en kötü senaryo (beşinci senaryo) için hastane boş yatak kapasitesi %40 olacak şekilde değerler verilmiştir. Tablo 6' da ilin mevcut doktor sayısı (SBS), ambulans sayısı (M) ve ilde bulunan üç farklı hastanenin (p=1, 2, 3) boş yatak kapasiteleri (HBK_p) değerleri ve senaryolara göre kullanılabilecek kaynak miktarları verilmiştir.

3.3. Vaka Analizi Sonuçları (Case Analysis Results)

Geliştirilen model, Tablo 6'da yer alan senaryolar 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. Program çıktıları öncelikle örnek olarak beşinci senaryo, 24 saat sonundaki sonuçları verilmiştir. Sonrasında bölgelere yapılan sağlık birimi ve ambulans ataması sonucunda, kaynakların kullanım oranları, hastanelere yatışı gerçekleştirilen yaralılar 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 Tablo 7'de beşinci senaryonun 24 saat sonundaki ağır ve geciktirilebilir yaralı gruplarına ait GAMS program çıktıları verilmiştir. Örneğin birinci zaman periyodunda ağır ve geciktirilebilir yaralı grubundan, toplam 320 kişi olay yeri triyajı almıştır. Bölgelere göre değerlendirme yapıldığında ikinci, yedinci ve sekizinci bölgelerde olay yeri triyajı alan hasta sayısı diğer bölgelere göre daha fazladır. Bu bölgelerde yaralı yoğunluğu daha fazla olduğu için, triyaj alan yaralı sayısı fazla olmuştur. Yaralı yoğunluğuyla orantılı olarak ikinci ve sekizinci bölgelerde hayatını kaybeden sayısı daha fazla olmuştur.

Çalışma kapsamında geliştirilen matematiksel modelin, 5 farklı senaryo için, her bir bölgeye atanan sağlık birimi sonuçları aşağıdaki Tablo 8'de verilmiştir. Tabloda yer alan değerler incelendiğinde her bir senaryo sonucunda en çok sağlık biriminin ikinci bölgeye atandığı görülmektedir. Bu durum bölgede bulunan yaralı sayısının fazlalığı ve hastanelere gerçekleştirilebilecek sefer sayısının az olmasından kaynaklanmaktadır. Bölgelere atanan sağlık birimlerinin 4 zaman periyodu (24 saat sonunda) sonucunda, kapasite kullanım sonuçları beşinci senaryo için aşağıdaki Tablo 9'da verilmiştir. Kapasite kullanım oranlarının hesaplanmasında Tablo 9'da verilen beşinci



Şekil 4. Yaralı grupları arasındaki geçiş olasılıkları (Transition probabilities between injured groups)

Tablo 6. Senaryolara göre kaynak kapasiteleri (Resource capacities by scenarios)

Senaryolar / Parametreler	Mevcut Kapasite	Birinci Senaryo	İkinci Senaryo	Üçüncü Senaryo	Dördüncü Senaryo	Beşinci Senaryo
M	37	30	28	26	24	22
SBS	73	44	40	37	33	29
HBK_1	710	426	391	355	320	284
HBK_2	464	278	255	232	209	186
HBK_3	75	45	41	38	34	30

Tablo 7. Beşinci senaryo t=4 zaman periyodu GAMS program çıktıları (Fifth scenario t=4 time period GAMS program outputs)

Bölge / Değişken	Vtij	Utij	Ztijp	Wtij	Ntijp	HWtijp	Rt
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

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 birinci bölgeye 1 sağlık birimi atanmış olup, 4 zaman periyodu (24 saat sonunda) toplamında 1440 (360*4) mevcut kapasiteye sahiptir. Kullanılan kapasite ise birinci bölgede bulunan ağır yaralı toplamı 18 (Tablo 2) olup, olay yeri toplam triyaj süresi toplam 594 (18*33) dakikadır. birinci bölgede bulunan geciktirilebilir yaralı toplamı 21 (Tablo 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 24 saat sonunda, kapasite kullanım oranı hesaplama sonuçları Tablo 9' da verilmiştir.

Tablo 9'da 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.

Geliştirilen matematiksel modelin, 5 farklı senaryo için, her bir bölgeye atanan ambulans sayısı sonuçları aşağıdaki Tablo 10'da verilmiştir. Tabloda yer alan değerler incelendiğinde senaryoların birden beşe 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 birinci senaryo sonuçları incelendiğinde yedinci bölgeden hastanelere yapılabilecek sefer sayısı değerleri (Tablo 4) oldukça fazladır. Bu nedenle yedinci bölgeye diğer bölgelere oranla daha az ambulans ataması yapılmıştır.

Bölgelere atanan ambulansların 24 saat sonunda, kapasite kullanım sonuçları beşinci senaryo için aşağıdaki Tablo 11'de verilmiştir. Kapasite kullanım oranlarının hesaplanmasında Tablo 11'de verilen beşinci 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 birinci bölgeye 2 tane ambulans atanmış olup, birinci bölgede yer alan yaralıların ikinci hastaneye atanması sebebiyle (Tablo 10), ikinci hastaneye gerçekleştirilebilecek sefer sayısının çarpılmasıyla 48 (6*2*4) mevcut kapasite değeri elde edilmiştir. Kullanılan kapasite ise, birinci bölgeden 24 saat sonunda ikinci hastaneye toplam 39 yaralının yatışı gerçekleştirilmiştir. Son olarak "kullanılan kapasite / mevcut kapasite" formülü kullanılarak kapasite kullanım oranı %81 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 11'de yer alan beşinci senaryoya göre bölgelere atanan ambulansların kapasite kullanım sonuçları değerlendirildiğinde, kaynak yetersizliği oluşmamıştır. Sekizinci bölgede yaralı sayısı en fazla olduğu için %93 oranında, bölgeye atanan ambulanslar kullanılmıştır. Diğer bölgelerde ambulans kapasite kullanım oranı daha düşüktür. Beşinci senaryoya göre 24 saat sonunda, bölgelerden hastanelere atanan ağır ve geciktirilebilir yaralı toplamı sayısı

Tablo 8. Senaryolara göre bölgelere atanan sağlık birimi sonuçları (Health unit results assigned to regions according to scenarios)

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

Tablo 9. Beşinci senaryoya göre bölgelere atanan sağlık birimlerinin kapasite kullanım sonuçları
(Capacity utilization results of health units assigned to regions according to the fifth scenario)

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%

Tablo 10. Senaryolara göre bölgelere atanan ambulans sonuçları (Ambulance results assigned to regions according to scenarios)

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

aşağıdaki Tablo 12'de verilmiştir. Tabloda yer alan değerler incelendiğinde birinci bölgede bulunan yaralıların ikinci hastaneye atamasının yapıldığı, ikinci ve üçüncü bölgede yer alan yaralıların birinci ve ikinci hastanelere atamalarının yapıldığı görülmektedir.

5 farklı senaryoya göre, yaralıların hastanelere yatışı gerçekleştirilmesi sonucunda hastane boş yatak kapasitelerinin kullanım oranı Tablo 13'de verilmiştir. Kapasite kullanım oranlarının hesaplanabilmesi için örneğin beşinci senaryo için birinci hastaneye toplam 284, ikinci hastaneye 184, üçüncü hastaneye ise 29 yaralının yatışı gerçekleştirilmiştir. Tablo 6'da beşinci senaryo için her bir hastanenin boş yatak kapasitelerine bakıldığında; 1. hastanenin 284, ikinci hastanenin 186, üçüncü 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 birinci hastanenin (284/284) %100, ikinci hastanenin (184/186) %99, üçüncü hastanenin (29/30) %97 doluluk oranına ulaştığı sonucu elde edilmiştir.

Tablo 13'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 beşinci senaryo için bölgelere göre dağılım sonuçları aşağıdaki Tablo 14'de

Tablo 11. Beşinci senaryoya göre bölgelere atanan ambulansların kapasite kullanım sonuçları
(Capacity utilization results of ambulances assigned to regions according to the fifth scenario)

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%

Tablo 12. Beşinci senaryoya göre bölgelerden üç farklı hastaneye yatışı gerçekleştirilmiş toplam yaralı sayısı
(According to the fifth scenario, the total number of injured who have been hospitalized in three different regions from the regions)

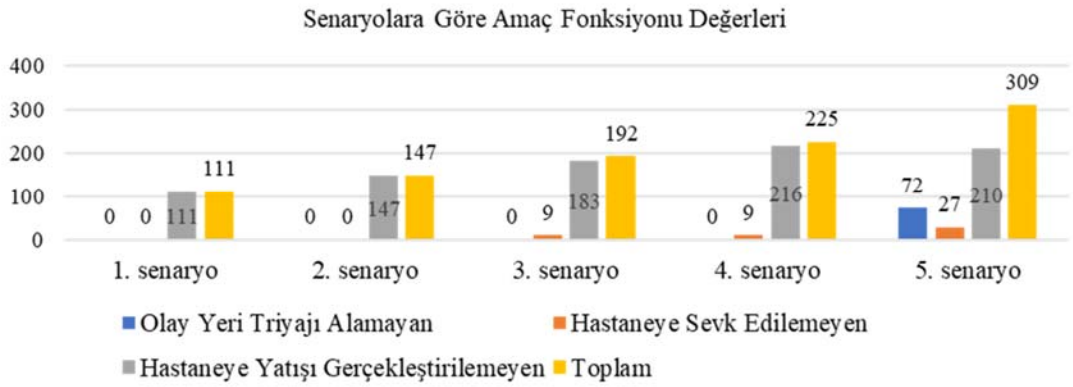
Bölgeler / Değişkenler	Birinci Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı	İkinci Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı	Üçüncü Hastaneye Atanan Toplam Yaralı Sayısı
1	0	39	0
2	20	29	3
3	36	17	10
4	52	16	0
5	52	3	0
6	39	27	0
7	11	53	0
8	4	0	16
9	70	0	0
Toplam	284	184	29

Tablo 13. Senaryolara göre hastane yatak kapasitesi kullanım sonuçları (Hospital bed capacity utilization results according to scenarios)

Senaryolar/ Hastaneler	Birinci Hastane	İkinci Hastane	Üçüncü Hastane
1	100%	100%	93%
2	100%	100%	100%
3	100%	99%	97%
4	100%	100%	100%
5	100%	99%	97%

Tablo 14. Beşinci senaryo sonucunda bölgelere göre ölüm tipleri dağılım sonuçları
(As a result of the fifth scenario, the distribution of death types according to regions)

Bölgeler/ Ölüm Tipleri	Olay Yeri Triyajı 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



Şekil 5. Senaryolara göre amaç fonksiyonu değerleri (Objective Function Values According to Scenarios)

verilmiştir. Tabloda yer alan değerler incelendiğinde 24 saat sonunda 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 sekizinci bölgede hayatını kaybeden yaralı sayısı en fazladır.

Çalışma kapsamında ele alınan 5 farklı senaryoda, üç farklı ölüm tipinin senaryolara göre dağılım sonuçları aşağıdaki Şekil 5'de verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde her bir senaryo sonucunda en fazla ölüm tipinin hastane boş yatak kapasitesi yetersizliğinden kaynaklandığı görülmektedir. Bunun nedeni ise Tablo 13'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.

4. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Bu çalışmada deprem sonrası sağlık kaynaklarının optimal tahsisi problemi ele alınarak, 0-1 karışık tam sayılı matematiksel bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model Türkiye/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. Sonuç (Result)

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 çalışmada, 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 çalışma ile 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.

Çalışma 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.Tartışma (Discussion)

Bu bölümde deprem sonrası kaynak tahsis konusuyla ilgili yapılabilecek gelecek çalışmaları için önerilerde bulunulmuştur. Problemin boyutu (bölge ve/veya hastane sayılarında artış, zaman periyodunun büyümesi vb.) büyüdüğü zaman çözüm yöntemi için meta-sezgisel algoritmaların kullanılması gerekli olabilir. Çünkü meta-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.

Kaynaklar (References)

1. Altay N., Green W.G., OR/MS research in disaster operations management, Eur. J. Oper. Res., 175 (1), 475–493, 2006.
2. Xiong P., Tong L., Zhang K., Shen X., Battiston R., Ouzounov D., Luppa R., Crookes D., Long C., Zhou H., Towards advancing the earthquake forecasting by machine learning of satellite data, Sci. Total Environ., 771, 145256, 2021.
3. Shaluf I.M., Disaster types, Disaster prevention and management: An international journal, 16 (5), 704–717, 2007.
4. Yildiz A., Teeuw R., Dickinson J., Roberts J., Children's earthquake preparedness and risk perception: A comparative study of two cities in Turkey, using a modified PRISM approach, Int. J. Disaster Risk Reduct., 49, 101666, 2020.
5. Sağlam A.S., Çavdur F., Earthquake intensity estimation via an artificial neural network: Examination of different network designs and training algorithms, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 37 (4), 2133–2146, 2022.
6. Kaveh A., Javadi S.M., and Moghanni R.M., Emergency management systems after disastrous earthquakes using optimization methods: A comprehensive review, Adv. Eng. Software, 149, 102885, 2020.
7. Çavdur F., Sebatlı-Sağlam A., Köse-Küçük M., Geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi için senaryo-tabanlı bir karar destek sistemi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 36 (3), 1499–1514, 2021.
8. French S., Geldermann J., The varied contexts of environmental decision problems and their implications for decision support, Environmental Science and Policy, 8 (4), 378–391, 2005.
9. Thomas L.R., Kopczak A.S., From logistics to supply chain management: the path forward for the humanitarian sector, Fritz Institute, 15 (1), 1-15, 2005.
10. Cozzolino A., Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, In Humanitarian logistics, Springer, Berlin, 5-16, 2012.
11. Yang Y., Yin J., Multi-coverage Optimal location model for emergency medical services (EMS) facilities under various disaster scenarios: A case study of urban fluvial floods in the Minhang District of Shanghai China, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., 20 (1), 181–195, 2019.
12. Shi Y., Zhai G., Xu L., Zhu Q., Deng J., Planning emergency shelters for urban disasters: A multi-level location–allocation modeling approach, Sustainability, 11 (16), 4285, 2019.
13. Patra T. D. P., Jha J. K., A two-period newsvendor model for prepositioning with a post-disaster replenishment using Bayesian demand update, Socio-Economic Planning Sciences, 78, 101080, 2021.
14. Nikolopoulos K., Petropoulos F., Rodrigues V.S., Pettit S., Beresford A., A disaster response model driven by spatial–temporal forecasts, Int. J. Forecasting, 38 (3), 1214-1220, 2022.
15. Jat M.N., Rafique R.A., Mass-Casualty distribution for emergency healthcare: a simulation analysis, Int. J. Disaster Risk Sci., 11 (3), 364-377, 2020.
16. Shin K., Lee T., Emergency medical service resource allocation in a mass casualty incident by integrating patient prioritization and hospital selection problems, IISE Transactions, 52 (10) , 1141–1155, 2020.
17. Sakiani R., Seifi A., Khorshiddoust R.R., Inventory routing and dynamic redistribution of relief goods in post-disaster operations, Comput. Ind. Eng., 140, 106219, 2020.
18. Chen W., Zhai G., Ren C., Shi Y., Zhang, J., Urban resources selection and allocation for emergency shelters: In a multi-hazard environment, Int. J. Environ. Res. Public Health, 15 (6), 1261, 2018.
19. Berawi M.A., Leviakangas P., Muhammad F., Sari M., Yatmo Y.A., Suryanegara M., Optimizing search and rescue personnel allocation in disaster emergency response using fuzzy logic, Int. J. Technol, 10, 1416-1426, 2019.
20. Zhang S., Guo H., Zhu K., Yu S., Li J., Multistage assignment optimization for emergency rescue teams in the disaster chain, Knowledge-based systems, 137, 123-137, 2017.
21. Yousefian S., Sohrabizadeh S., Jahangiri K., Identifying the components affecting intra-organizational collaboration of health sector in disasters: Providing a conceptual framework using a systematic review, Int. J. Disaster Risk Reduct., 57, 102146, 2021.
22. Najafi M., Eshghi K., de Leeuw S., A dynamic dispatching and routing model to plan/re-plan logistics activities in response to an earthquake, OR spectrum, 36 (2), 323-356, 2014.
23. Coles J.B., Zhuang J., Yates J., 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, 2012.
24. Yi W., Kumar A., Ant colony optimization for disaster relief operations, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 43 (6), 660-672, 2007.
25. Gong Q., Batta R,, Allocation and reallocation of ambulances to casualty clusters in a disaster relief operation, IIE Trans., 39 (1), 27-39, 2007.
26. Fiedrich F., Gehbauer F., Rickers U., Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters, Safety Science, 35 (1-3), 41-57, 2000.
27. Yi W., Özdamar L., A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities, Eur. J. Oper. Res., 179 (3), 1177-1193, 2007.
28. Jotshi A., Gong Q., Batta R., Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion, Socio-Economic Planning Sciences, 43 (1), 1-24, 2009.
29. Cotta C., Effective patient prioritization in mass casualty incidents using hyperheuristics and the pilot method, OR spectrum, 33 (3), 699-720, 2011.
30. Wilson D.T., Hawe G.I., Coates G., Crouch R.S., A multi-objective combinatorial model of casualty processing in major incident response, Eur. J. Oper. Res., 230 (3), 643-655, 2013.
31. Dean M.D., Nair S.K., Mass-casualty triage: Distribution of victims to multiple hospitals using the SAVE model, Eur. J. Oper. Res., 238 (1), 363-373, 2014.
32. Najafi M., Eshghi K., de Leeuw S., A dynamic dispatching and routing model to plan/re-plan logistics activities in response to an earthquake, OR spectrum, 36 (2), 323-356, 2014.
33. Jin S., Jeong S., Kim J., Kim K., A logistics model for the transport of disaster victims with various injuries and survival probabilities, Annals of Operations Research, 230 (1), 17-33, 2015.
34. Sung I., Lee T., Optimal allocation of emergency medical resources in a mass casualty incident: Patient prioritization by column generation, Eur. J. Oper. Res., 252 (2), 623-634, 2016.
35. Xiang Y., Zhuang J., A medical resource allocation model for serving emergency victims with deteriorating health conditions, Annals of Operations Research, 236 (1), 177-196, 2016.
36. Wilson D.T., Hawe G.I., Coates G., Crouch R.S., Online optimization of casualty processing in major incident response: An experimental analysis, Eur. J. Oper. Res., 252 (1), 334-348, 2016.
37. Rezapour S., Naderi N., Morshedlou N., Rezapourbehnagh S., Optimal deployment of emergency resources in sudden onset disasters, Int. J. Prod. Econ., 204, 365-382, 2018.
38. Zhang J., Liu H., Yu G., Ruan J., Chan F.T., A three-stage and multi-objective stochastic programming model to improve the sustainable rescue ability by considering secondary disasters in emergency logistics, Comput. Ind. Eng., 135, 1145-1154, 2019.
39. Liu K., Post-earthquake medical evacuation system design based on hierarchical multi-objective optimization model: An earthquake case study, Int. J. Disaster Risk Reduct., 51, 101785, 2020.
40. Sun H., Wang Y., Zhang J., Cao W., A robust optimization model for location-transportation problem of disaster casualties with triage and uncertainty, Expert Syst. Appl., 175, 114867, 2021.
41. Sun H., Wang Y., Xue Y., A bi-objective robust optimization model for disaster response planning under uncertainties, Comput. Ind. Eng., 155, 107213, 2021.
42. Galindo G., Batta R., Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management, Eur. J. Oper. Res., 230 (2), 201-211, 2013.
43. Liu Y., Cui N., Zhang J., 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, 2019.
44. Çiftçi S., Çakirer Z., Sakalli, Ü., Simülasyon çalışması ile deprem senaryosu oluşturulması ve Kırıkkale ili kayıp tahmin analizi,

International Journal of Engineering Research and Development, 12 (2), 603-617, 2020.

45. Akbaş S.O., Sönmezer Y.B., Işık N.S., Assessment of the peak acceleration, amplification ratio and fundamental period properties for the Kirikkale province settlement area, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30 (4), 711–721, 2015.

46. Mills A.F., Argon N.T., Ziya S., Resource-based patient prioritization in mass-casualty incidents, Manufacturing & Service Operations Management, 15 (3), 361-377, 2013.

47. Sacco W.J., Navin D.M., Waddell R.K., Fiedler K.E., Long W.B., Buckman Jr R.F., A new resource-constrained triage method applied to victims of penetrating injury, Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 63 (2), 316-325, 2007.

48. Widgery D., Health Statistics, Science as Culture, 1 (4), 146-147, 2019.