

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YAPAY ZEKA VE ROBOTİK ANABİLİM DALI

AFET YÖNETİMİ İÇİN SAHRA HASTANELERİNİN, GEÇİCİ BARINMA
ALANLARININ VE TOPLANMA NOKTALARININ ENTEGRE OLARAK YER
SEÇİMİ OPTİMİZASYONU

İhsan DEMİR

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat ÖKSÜZ

TEZ JÜRİ ÜYELERİ

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat ÖKSÜZ

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk GÜRCAN

Dr. Öğr. Üyesi Eyyüp YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERZİNCAN, 2025

© 2025 [İhsan DEMİR]. Tüm hakları saklıdır.

Kabul ve Onay Sayfası

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat ÖKSÜZ danışmanlığında, İhsan DEMİR tarafından hazırlanan bu çalışma 04/07/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yapay Zeka ve Robotik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk GÜRCAN İmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat ÖKSÜZ İmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Eyyüp YILDIZ İmza:

Yukarıdaki Yüksek Lisans Tezi Enstitü Yönetim Kurulunun / / 20.... tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Kemal Volkan ÖZDOKUR
Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Bilimsel Etięe Uygunluk Sayfası

“Afet Yönetimi İçin Sahra Hastanelerinin, Geçici Barınma Alanlarının ve Toplanma Noktalarının Entegre Olarak Yer Seçimi Optimizasyonu” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiğı gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 04/07/2025

(İmza)

İhsan DEMİR

ÖZET

AFET YÖNETİMİ İÇİN SAHRA HASTANELERİNİN, GEÇİCİ BARINMA ALANLARININ VE TOPLANMA NOKTALARININ ENTEGRE OLARAK YER SEÇİMİ OPTİMİZASYONU

İhsan DEMİR

Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

Yapay Zeka ve Robotik Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat ÖKSÜZ

2025, 46 sayfa

Doğal afetler, can ve mal kaybına sebebiyet veren, çoğunlukla insan kontrolü dışında gerçekleşen ve önlenmesi zor olaylardır. Dünyanın her tarafında zaman zaman doğal afetler meydana gelmektedir. Meydana gelen bu afetler sonucunda maddi ve manevi birçok kayıp gerçekleşebilmektedir. Toplanma ve geçici barınma alanları ile sahra hastanelerinin yerlerinin belirlenmesi, bu afetler sonucunda yaralıların hastanelere sevki doğal afet yönetiminde kilit konulardır. Toplanma alanlarının afet öncesinde belirlenmesi afet sonrasında yaşanacak panik ortamının engellenmesini sağlayacaktır. Doğru yerlere kurulacak olan geçici barınma alanları afetten etkilenen vatandaşların barınma ihtiyaçlarının karşılanması için önem arz etmektedir. Olası bir deprem sonucu oluşabilecek yaralı sayısı hastanelerde hızlı müdahaleyi zorlaştırabilmektedir. Yaralılara en kısa sürede tıbbi müdahalede bulunulması gerekmektedir. Bu çalışmada, olası bir afet durumunda sahra hastanesi, geçici barınma ve toplanma alanlarının yerlerinin belirlenmesi problemleri bir arada ele alınarak stokastik optimizasyon yöntemi ile çözülmüştür. Bu kapsamda, Erzincan ili için olası deprem senaryolarına göre vaka çalışması yapılmış ve farklı senaryolar üzerinden stokastik optimizasyon yöntemi kullanılarak en uygun yerler belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Afet yönetimi, deprem, yer seçimi problemi, stokastik optimizasyon

ABSTRACT

INTEGRATED LOCATION OPTIMIZATION OF FIELD HOSPITALS, TEMPORARY SHELTERS, AND COLLECTION POINTS FOR DISASTER MANAGEMENT

İhsan DEMİR

**Master's Thesis, Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Science and
Technology,**

Department of Artificial Intelligence and Robotics

Advisor: Assist. Prof. Mehmet Kürşat ÖKSÜZ

2025, 46 pages

Natural disasters are events that typically occur beyond human control, are difficult to prevent, and often result in loss of life and property. Natural disasters occur from time to time all over the world. As a result of these disasters, significant physical and psychological losses can occur. Determining the location of collection points and temporary shelter areas and field hospitals, and the transfer of the injured to hospitals as a result of these disasters are key issues in natural disaster management. Determining the collection points before the disaster will prevent the panic environment that will be experienced after the disaster. Temporary shelters to be established in the right places are important to meet the shelter needs of the casualties. The number of casualties that may occur as a result of a possible earthquake can complicate the rapid intervention in hospitals. The injured should be treated as soon as possible. In this study, it is aimed to determine the location of the field hospital, temporary shelter and collection points in case of a possible disaster. In this study, the problems of determining the location of field hospital, temporary shelter and assembly areas in a possible disaster situation were solved together by stochastic optimization method. In this context, a case study was made according to possible earthquake scenarios for Erzincan province and the most suitable locations were determined by using stochastic optimization method over different scenarios.

Keywords: Disaster management, earthquake, facility location problem, stochastic optimization

TEŞEKKÜR

Kendimi farklı bir alanda geliőtirmek için başladığım bu süreç boyunca benden desteklerini esirgemeyen ve bana her zaman yardımcı olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat ÖKSÜZ'e ve her zaman yanımda olan sevgili eşim Aysel DELİKTAŐ DEMİR'e sonsuz teőekkürü borç bilirim.

İhsan DEMİR

Temmuz, 2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Araştırmanın Amacı	2
1.2. Araştırmanın Önemi	3
1.3. Varsayımlar	3
1.4. Sınırlılıklar.....	4
1.5. Çalışmanın Özgün Yönü	4
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	6
2.1. Deterministik Optimizasyon.....	7
2.2. Stokastik Optimizasyon.....	7
2.3. Literatür Araştırması.....	8
2.3.1. Sahra hastanesi	11
2.3.2. Toplanma alanı	12
2.3.3. Geçici barınma alanı.....	13
2.3.4. Diğer tesis yeri seçimi çalışmaları.....	14
2.3.5. Genel değerlendirme.....	15
3. YÖNTEM.....	16
3.1. Stokastik Programlama.....	17
3.2. Matematiksel Model	17
3.3. Vaka Çalışması	22
4. BULGULAR	23
4.1. Sahra Hastanelerinin Senaryolara Göre Kurulumu	23
4.2. Ağır Yaralıların Hastanelere Atanması	24
4.3. Hastane ve Sahra Hastanesi Kapasite Kullanımı.....	25
4.4. Afetzedelerin Toplanma ve Barınma Alanlarına Atanması	26
4.5. Atanamayan Afetzedede ve Yaralılar.....	29
4.6. Olası Senaryo için Sonuçların Analizi.....	30
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	32
5.1. Öneriler.....	33

5.2. Gelecek Çalışmalar.....	34
KAYNAKÇA	35
EKLER	40
Ek A. Her Bir Senaryoya Göre Afet Bölgelerindeki Tahmini Afetzedeki Sayısı	41
Ek B. Potansiyel Sahra Hastanesi Koordinatları	42
Ek C. Potansiyel Geçici Barınma Alanı Koordinatları.....	43
Ek D. Potansiyel Toplanma Alanı Koordinatları.....	44
Ek E. Matematiksel Modelin GAMS Kodu.....	45

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Literatürdeki çalışmalar.....	9
----------------------------------------	---

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Afettede dağılım mekanizması	16
Şekil 2. Senaryolara göre açılan sahra hastaneleri	23
Şekil 3. Hastane ve sahra hastanelerinde tedavi edilen yaralıları	26
Şekil 4. Senaryolara göre barınabilen ve barınamayan afettede sayısı	27
Şekil 5. Senaryolara göre toplanma alanlarına atanan afettede sayısı	28
Şekil 6. Senaryolara göre toplanma alanlarına atanamayan afettede sayısı.....	29
Şekil 7. Senaryo 4'e göre barınma durumu	31

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
GBA	Geçici Barınma Alanı
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
TMMOB	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TOPSIS	The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
VIKOR	Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje

1. GİRİŞ

Doğal afetler; can ve mal kaybına sebebiyet veren, çoğunlukla insan kontrolü dışında gerçekleşen ve önlenmesi zor olaylardır. Dünyanın her tarafında zaman zaman doğal afetler meydana gelmektedir. Meydana gelen bu afetler sonucunda maddi ve manevi birçok kayıp gerçekleşebilmektedir. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (Afetlerin Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi) verilerine göre sadece 2022 yılında 185 milyon kişiyi etkileyen, 30.704 kişinin yaşamını yitirmesine neden olan 387 doğal afet meydana gelmiştir. Afetlerin gerçekleşmesi önlenemese de afet sonrası oluşabilecek kayıplar ve meydana gelecek sorunlar için önlemler alınabilmektedir.

Ülkemizde meydana gelen afetlerden can ve mal kaybına en çok neden olanlarından biri depremdir. Yakın zamanda ülkemizde meydana gelen 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ın Pazarcık ve Elbistan ilçeleri merkezli 7,7 ve 7,6 büyüklüğündeki depremlerde 53.537 vatandaşımız yaşamını yitirmiş, 107.213 vatandaşımız da yaralanmıştır (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2024). Bu depremlerde 300.000'den fazla bina yıkılmış veya ağır hasar almıştır (Kunt, 2025). Meydana gelen afetlerden sonra hızlı aksiyon alabilmek için afet sonrasına yönelik çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu çalışmaların önemli bir kısmı sahra hastaneleri, toplanma alanları ve geçici barınma alanı üzerinedir. Afet sonrası yaralılara hızlı müdahale can kaybının azalmasını önleyecek, toplanma alanları afetzedelerin ilk anda güvenli bir alanda toplanmasına yardımcı olacak, geçici barınma alanları ise kalıcı konutların inşası öncesinde afetzedelerin barınma ihtiyaçlarının kısa sürede giderilmesini sağlayacaktır.

Erzincan ilinde 1939 ve 1992 yıllarında iki büyük deprem yaşanmıştır. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) Jeoloji Mühendisleri Odası Fay Üzerinde Yaşayan İllerimiz: Erzincan Raporu-17'ye göre Erzincan ili Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerine yer almaktadır. Erzincan kent merkezi zemini alüvyondur. Deprem dalgaları bu tür zeminler tarafından büyütülerek binalara iletilir. Zemin büyütmesi olarak tanımlanan bu durum bir deprem olduğu takdirde, Erzincan kent merkezinin kaya üzerinde yer alan bölgelere oranla çok daha şiddetli olarak sarsılacağı, bunun sonucunda da hasar oranının fazla olacağı anlamına gelmektedir (Jeoloji Mühendisleri Odası, 2021). Olası bir deprem sonucu oluşabilecek yaralı sayısı hastanelerde hızlı müdahaleyi zorlaştıracak olup yaralılara en kısa sürede tıbbi müdahalede bulunulması gerekmektedir. Erzincan ilinde bulunan mevcut hastanelerin oluşabilecek bu afet

sonrası yeterli olamayacağı tahmin edildiği için, inşa süresi hızlı olan sahra hastanelerinin yerlerinin belirlenmesi ve kurulumunun yapılması önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında, Erzincan ili özelinde olası bir deprem senaryosu kapsamında sahra hastanelerinin, geçici barınma alanlarının ve toplanma noktalarının entegre biçimde yer seçimi problemi ele alınmıştır. Afet yönetiminin üç temel bileşeni olan sağlık müdahalesi, geçici barınma ve güvenli toplanma süreçlerinin bir arada optimize edilmesi, afet sonrası hızlı, etkili ve kaynakların verimli kullanıldığı bir müdahale planlaması açısından kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda, nüfusa dayalı olasılık senaryoları oluşturularak, stokastik optimizasyon yaklaşımıyla farklı senaryolar altında en uygun alanlar belirlenmiştir. Geliştirilen karma tam sayılı stokastik programlama modelinin çıktıları, afet müdahale kapasitesinin sınırlarını, darboğazlarını ve öncelikli müdahale alanlarını ortaya koyarak karar vericilere stratejik düzeyde destek sunmaktadır. Çalışmanın özgün yönü, sahra hastaneleri, geçici barınma alanları ve toplanma noktalarının birlikte değerlendirildiği, entegre ve senaryo temelli bir yer seçimi modelinin önerilmiş olmasıdır.

Bu tez çalışmasının giriş bölümünde, çalışmanın amacı, önemi, varsayımları, sınırlılıkları ve özgün katkısı açıklanmıştır. Ardından gelen kavramsal çerçeve ve ilgili çalışmalar bölümünde, deterministik ve stokastik optimizasyon kavramları tanıtılmış, mevcut literatürde sahra hastanesi, toplanma ve barınma alanları üzerine yapılmış araştırmalar değerlendirilmiştir. Yöntem bölümünde, modelde kullanılan veriler, senaryo temelli yaklaşım ve geliştirilen stokastik optimizasyon modeli ayrıntılı biçimde sunulmuş, matematiksel modelin GAMS yazılımı ile nasıl kodlandığı açıklanmıştır. Bulgular bölümünde, oluşturulan senaryolar doğrultusunda model çıktıları analiz edilmiş; sağlık tesislerinin kapasite kullanımı, yaralıların ve afetzedelerin atama durumları, barınma ve toplanma alanlarının yeterliliği gibi unsurlar senaryo bazında değerlendirilmiştir. Son olarak, tartışma ve sonuç bölümünde bulgular yorumlanmış, afet planlamasına yönelik somut öneriler sunulmuş ve gelecek çalışmalara yönelik geliştirme alanları belirtilmiştir.

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın temel amacı, Erzincan ilinde meydana gelebilecek olası bir depremin ardından, afet yönetimi kapsamında hızlı ve etkili müdahalenin sağlanabilmesi için sahra hastaneleri, geçici toplanma alanları ve geçici barınma alanlarının optimum yerleşimlerinin belirlenmesidir. Afet sonrası yaşanabilecek can kayıplarını en aza indirmek ve yaralılara en kısa sürede tıbbi müdahaleyi mümkün kılmak için, hızlı kurulum avantajı sunan sahra hastanelerinin stratejik

olarak konumlandırılması gerekmektedir. Bununla birlikte, afetzedelerin güvenli bir şekilde toplanabilecekleri alanların ve sonrasında barınma ihtiyaçlarının karşılanabileceği geçici barınma alanlarının planlaması da hayati öneme sahiptir. Bu bağlamda çalışma, afetin etki büyüklüğü düşünülerek 10 farklı senaryo üzerinden Stokastik Optimizasyon yöntemi kullanarak en uygun yerleşim yerlerini belirlemeyi hedeflemektedir.

1.2. Araştırmanın Önemi

Depremler, Türkiye'nin büyük bir bölümünü etkileyen ve ciddi can ve mal kayıplarına neden olan doğal afetlerdendir. Özellikle 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler, mevcut afet yönetimi sistemlerinin ve sağlık altyapısının kriz anlarında nedenli zorlandığını açıkça göstermiştir. Erzincan ili de Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde yer almakta olup, tarihsel olarak büyük yıkımlara yol açan depremler yaşamıştır. Alüvyon zemin yapısı nedeniyle sismik dalgaların büyütülerek iletilmesi, olası bir depremde Erzincan kent merkezinde ciddi yıkımlara ve yüksek yaralı sayısına neden olabilecektir (Jeoloji Mühendisleri Odası, 2021). Bu nedenle, mevcut hastanelerin yetersiz kalabileceği öngörüsüyle, sahra hastanelerinin hızlı ve doğru şekilde konuşlandırılması büyük bir gerekliliktir.

Ayrıca, afet sonrası ilk saatlerde güvenli toplanma alanlarının belirlenmesi ve bu alanlardan geçici barınma bölgelerine tahliyelerin planlı biçimde gerçekleştirilmesi, afetzedelerin güvenliği ve psikolojik durumu açısından kritik öneme sahiptir. Bu araştırma, afetlere hazırlık kapsamında Erzincan özelinde geliştirilecek yerleşim planlarıyla, afet yönetimi stratejilerine bilimsel bir katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda benzer risk taşıyan bölgeler için örnek teşkil edecek sürdürülebilir ve uygulanabilir bir model sunması açısından da önem arz etmektedir.

1.3. Varsayımlar

Bu çalışmada bazı varsayımlar kabul edilmiştir. Afetzedelerin hangi toplanma alanına gideceğinin belirlenmesinde mahalle merkezleri afetzedelerin ortak konumu olarak kabul edilmiştir. Afet bölgesindeki nüfusun senaryolara göre belirlenen belli bir oranını afetzede olduğu varsayılmıştır. Buna göre iyimser senaryoda (S1) bu oran %35, kötümser senaryoya (S10) göre ise %80 olarak belirlenmiştir. Afetzedelerin ise %30'unun yaralı olduğu kabul edilmiştir. Yaralıların toplanma alanlarında triaj kategorilerine ayrıldığı ve %10'unun ağır yaralı, %30'unun orta yaralı, %60'ının ise hafif yaralı olduğu kabul edilmiştir (Oksuz ve Satoglu, 2024). Ağır yaralı olanların ileri düzeyde sağlık hizmeti alması gerektiği için sadece

mevcut hastanelere sevk edilebileceği varsayılmıştır. Toplanma alanında bulunan yaralı olmayan afetzedelerin ise toplanma alanlarından geçici barınma alanlarına atandığı varsayılmıştır.

1.4. Sınırlılıklar

Bu çalışmada olası bir deprem sonrasında Erzincan ili Merkez ilçesinde bulunan 43 Mahalle için toplanma alanı, geçici barınma alanı ve sahra hastanelerinin yerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Söz konusu alanlar için parklar, sahalar, boş alanlar, otopark alanları vb. alanlar seçilmiştir.

Bu çalışma, yalnızca Erzincan ili Merkez ilçesinde yer alan 43 mahalleyi kapsamaktadır. Çalışmada toplanma alanı, geçici barınma alanı ve sahra hastanesi yerleri, Google Earth Pro ve çevrimiçi harita uygulamaları kullanılarak belirlenmiş; sahada fiziki inceleme yapılmamıştır. Ayrıca, modelde kullanılan nüfus verileri ve afet senaryoları belirli varsayımlara dayandığından, gerçek afet durumlarında farklılık gösterebilecek belirsizlikler modelin dışında tutulmuştur. Tezde yalnızca deprem senaryosu ele alınmış, diğer afet türleri kapsam dışı bırakılmıştır.

1.5. Çalışmanın Özgün Yönü

Bu çalışma, afet yönetimi alanında sahra hastaneleri, geçici barınma alanları ve toplanma noktalarının entegre biçimde yer seçimini aynı model içinde ele alması açısından literatürdeki pek çok çalışmadan ayrılmaktadır. Mevcut literatürde bu üç bileşenin çoğunlukla ayrı ayrı incelendiği görülmekteyken (Brown vd., 2007; Vafaei, 2014; Razaeei, 2014; Kılıcı vd., 2014; Nappi ve Souza, 2015; Hosseini vd., 2016; Zhao vd., 2017; Palazca ve Partigöç 2018; Çal ve Aydemir, 2018; Nappi vd., 2019; Öztürk ve Kaya, 2020; Öksüz ve Satoğlu, 2020; Geng vd., 2020; Şekkeli, 2020; Barutçu, 2021; Ömürgönülşen ve Menten, 2021; Geng vd. 2021; Dayanır vd., 2021; Savaş vd., 2021; Gharib vd., 2022; Erdin vd., 2024; Özlemiş ve Eren, 2024; Müsüroğlu, 2025), bu tez çalışması bu bileşenleri birlikte optimize eden bütünlük bir yaklaşım sunmaktadır. Ayrıca stokastik optimizasyon yaklaşımıyla, farklı şiddetteki olası deprem senaryoları dikkate alınarak belirsizlik faktörü gerçekçi bir biçimde modele entegre edilmiştir.

Çalışmanın uygulama bölgesi olarak Erzincan ili seçilmiştir. Erzincan, hem tarihsel olarak büyük depremler yaşamış bir şehir olması hem de Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde bulunması sebebiyle, bu tür bir afet modellemesi için kritik bir örnek teşkil etmektedir. Geliştirilen modelin stokastik programlama kullanılarak optimize edilmesi, çözümün akademik

geçerliliğini ve uygulama kabiliyetini artırmaktadır. Model çıktılarında ise yalnızca teorik yer seçiminden öte, senaryo bazlı atama sonuçları, kapasite analizleri ve darboğaz tespitleri detaylı bir biçimde sunulularak karar vericilere yönelik pratik öneriler sunulmuştur.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Büyük ölçekli afetlerden sonra mevcut hastanelerin yeterli olmayacağı düşünülmektedir. 2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu'na göre bölgede hizmet vermeye devam eden sağlık tesislerine ilave olarak 35 sahra hastanesi teşkil edilmiştir (Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023). Bu nedenle mevcut hastanelere ek olarak Sahra Hastanelerine ihtiyaç duyulacaktır. Afet sonrası meydana gelecek olan yaralanmalara karşı uygun yerlere Sahra Hastanelerinin kurulması gerekmektedir. Yaralı kişilerin durumu ilk yardım sağlık ekipleri tarafından belirlenecek ve duruma uygun olarak mevcut hastanelere ve Sahra Hastanelerine ataması yapılacaktır. Uygun yerlere atama yapılarak hastalara en doğru ve en hızlı müdahale gerçekleştirilebilecektir.

Ayrıca afetten yara almadan etkilenen kişilerin de doğru yerlerde toplanmasının sağlanması da büyük önem arz etmektedir. Uygun yerlere yapılan toplanma alanları sayesinde bu kişilere daha hızlı ulaşılabilecek ve gerekli insani yardımların en iyi şekilde ulaştırılabilmesi sağlanacaktır. Meydana gelen büyük ölçekli afetlerden sonra afetzedelerin barınma ihtiyacı meydana gelmektedir. Oluşan bu ihtiyacın kısa sürede çözülmesi elzemdir. Kalıcı barınma alanlarının oluşturulması uzun süre alabilmektedir. Afetzedelerin mağduriyetinin hızlıca çözülebilmesi için Geçici Barınma Alanları (çadır, konteyner gibi.) oluşturulmalıdır.

Bu çalışmada, afet sonrası durumu etkileyebilecek olan faktörler göz önüne alınarak Stokastik Optimizasyon kullanılarak Toplanma Alanları, Sahra Hastaneleri ve Geçici Barınma Alanlarının yerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Stokastik Optimizasyon rassallık veya belirsizlik içeren problemleri çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Deprem ve afetler birçok belirsizlik barındırmaktadır. Şimsek (2022) deprem riskinin belirlendiği bir çok çalışmada nüfus, bina sayısı, bağımsız birim sayısı, binaların genel durumu, binaların ortalama yaşı, ortalama kat sayısı, zemin durumu ve sosyo ekonomik durum kriterlerinin göz önüne alındığını bunlara ek olarak binaların taşıyıcı sistem durumu, zemin katın ticari amaçlı kullanılıp kullanılmadığı, mahallenin bitişik nizam ayırık nizam ile inşa edilme durumu ve mahallelerdeki ortalama yer altı suyu seviyesi kriterlerinin de bir bölgenin deprem riskinin belirlenmesinde birer kriter olarak belirlediklerini söylemiştir.

2.1. Deterministik Optimizasyon

Deterministik optimizasyon, belirsizlik veya rastgele değişkenlerin olmadığı, tamamen kesin ve önceden bilinen parametrelerle tanımlanan optimizasyon problemlerini çözmeyi amaçlayan bir matematiksel yöntemdir. Bu tür problemlerde hedef fonksiyonu ve kısıtların tüm parametreleri kesin bir şekilde belirlenir (Khare, 2024). Deterministik optimizasyon problemleri, genellikle matematiksel programlama olarak adlandırılan bir çerçeve içinde modellenebilir. Matematiksel programlama, bir hedef fonksiyonun maksimum veya minimum değerini elde etmek için verilen kısıtlar altında en iyi çözümleri bulma problemidir. Tam sayılı programlama (Köse Küçük, 2016; Setiawan vd., 2018), karma tam sayılı programlama (Mete ve Zabinsky, 2010; Kılıcı vd., 2014), çok kriterli karar verme (Nappi ve Souza, 2015; Palazca ve Partigöç, 2018) gibi yöntemleri barındırmaktadır.

2.2. Stokastik Optimizasyon

Stokastik optimizasyon, stokastik süreçler ve optimizasyon problemlerini birleştiren bir matematiksel ve hesaplamalı bir alandır. Stokastik süreçler, rastgele değişimlere tabi olan matematiksel süreçlerdir ve belirli bir geleceği tahmin etmek veya optimize etmek için kullanılırlar. Optimizasyon ise belirli bir hedefi en iyi şekilde gerçekleştirmek için en iyi çözümleri bulma sürecidir. Stokastik optimizasyon, rastgele değişkenlere veya belirsizliğe sahip optimizasyon problemlerini çözmek için stokastik süreçleri kullanır. Bu tür problemler genellikle belirsizlik içeren gerçek dünya problemleriyle ilgilidir. Örneğin, ekonomik modellerde, finansal piyasalarda veya tedarik zinciri yönetiminde belirsizlikler bulunabilir. Stokastik optimizasyon, bu belirsizlikleri ve rastgele değişimleri dikkate alarak en iyi çözümleri bulmaya çalışır.

Stokastik optimizasyonda kullanılan matematiksel modelleme türleri, belirsizlik içeren problemlerin yapısına göre farklılık gösterir. Bu tür modellemeler, karar verme sürecinde rastlantısal (stokastik) değişkenlerin etkisini dikkate alır. Temel modelleme türleri şunlardır (Birge & Louveaux, 2011):

1. Stokastik Programlama (Stochastic Programming):

Bu modelde belirsizlik, genellikle senaryolarla ya da olasılık dağılımlarıyla ifade edilir. Amaç, tüm senaryolarda beklenen maliyeti en aza indirmek veya kazancı en yükseğe çıkarmaktır. Örneğin, iki aşamalı stokastik programlamada kararlar önce belirlenir, sonra rastgele olaylara göre uyarlanır.

2. Markov Karar Süreçleri (Markov Decision Processes):

Sistem durumu zamanla değişir ve her karar, bir sonraki durumu etkiler. Geçişler belirli olasılıklarla tanımlanır. Bu yapı, özellikle ardışık karar problemleri için uygundur.

3. Stokastik Yaklaşım Fonksiyonu (Stochastic Approximation):

Amaç fonksiyonunun tam biçimi gözlemlenemediğinde veya ölçümler gürültülü olduğunda, yaklaşık değerlerle iteratif olarak çözüm aranır. Stochastic Gradient Descent bu yöntemin bilinen bir örneğidir.

4. Şans Kısıtlamalı Programlama (Chance-Constrained Programming):

Kararların, belirli bir olasılıkla kısıtları sağlaması beklenir. Örneğin, bir kısıtın %95 güven düzeyinde sağlanması istenebilir. Bu yaklaşım özellikle risk yönetimi için uygundur.

5. Bayeşçi Optimizasyon (Bayesian Optimization):

Değerlendirilmesi pahalı olan veya kapalı formda tanımlanamayan fonksiyonlar için uygundur. Fonksiyonun bilinmeyen kısmı olasılıksal bir modelle (örneğin Gaussian Process) temsil edilir ve tahminler bu modelle yönlendirilir.

2.3. Literatür Araştırması

Afet yönetimi kapsamında tesis yer seçimi problemini ele alan çalışmalar Tablo 1’de yöntem, afet türü, rassallık ve problem türüne göre sınıflandırılmıştır. Tablo 1’deki çalışmalar incelendiğinde, deterministik yaklaşımların ağırlıkta olduğu görülmektedir; çalışmaların büyük çoğunluğu (%70’ten fazlası) kesin ve sabit verilere dayalı olarak modellenmiştir. Buna karşın stokastik modeller, özellikle sağlık kaynakları planlaması, sahra hastanesi yer seçimi ve yaralı ataması gibi belirsizliğin yüksek olduğu alanlarda tercih edilmiştir. Yöntem açısından incelendiğinde, en yaygın kullanılanlar arasında Çok Kriterli Karar Verme (AHP, Topsis, Vikor, Promethee) ve Tam Sayılı Programlama türevleri öne çıkmaktadır. Afet türü olarak ise çalışmaların çoğu deprem odaklıdır; bu da Türkiye gibi deprem riski yüksek ülkelerdeki uygulama eğilimini yansıtmaktadır. Problem türüne göre değerlendirildiğinde ise, geçici barınma alanı yer seçimi en sık çalışılan konudur; bunu sahra hastanesi yer seçimi ve yardım lojistiği planlamaları takip etmektedir. Entegre çözümler ise daha az sayıda çalışmada ele alınmıştır, bu durum söz konusu problemlerin birlikte modellenmesine olan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Genel olarak, tablo afet yönetimi literatüründe yöntemsel çeşitlilik olsa da entegre, dinamik ve belirsizlik temelli modellere duyulan ihtiyacın sürdüğünü göstermektedir.

Tablo 1. Literatürdeki çalışmalar

Yazar	Yıl	Yöntem	Afet Türü	Rassallık	Problem Türü
Brown vd.	2007	En Yakın Komşu Analizi, Korelasyon Analizi	Kasırga	Deterministik	Geçici Barınma Alanı Yer Seçimi
Mete ve Zabinsky	2010	Karma Tam Sayılı Programlama	Deprem	Stokastik	Sağlık Kaynakları Planlaması
Çiçekdağı ve Kırış	2012	Kümeleme Analizi	Deprem	Deterministik	Afet İstasyonu Yer Seçimi, Toplanma Alanı Yer Seçimi
Topkara vd.	2013	Mantık Ağacı	Deprem	Stokastik	Deprem Tahmini
Vafaei	2014	Çok Kriterli Karar Verme, Analitik Hiyerarşi Prosesi	Deprem	Deterministik	Sahra Hastanesi Yer Seçimi
Rezaei	2014	Çok Kriterli Karar Verme, Analitik Hiyerarşi Prosesi	Deprem	Deterministik	Geçici Barınma Alanı Yer Seçimi
Kılıcı vd.	2014	Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama	Deprem	Deterministik	Geçici Barınma Alanı Yer Seçimi
Nappi ve Souza	2015	Çok Kriterli Karar Verme, Analitik Hiyerarşi Prosesi	Genel	Deterministik	Geçici Barınma Alanı Yer Seçimi
Ergin	2016	P-medyan, Tam Sayılı Programlama, K-means, Kümeleme Analizi	Genel	Deterministik	Depo Yeri Seçimi
Köse Küçük	2016	İki Aşamalı Stokastik Programlama, Tam Sayılı Programlama	Genel	Stokastik	Geçici Afet Müdahale Tesisi Yer Seçimi
Hosseini vd.	2016	Çok Kriterli Karar Verme	Deprem	Deterministik	Geçici Barınma Alanı Yer Seçimi
Zhao vd.	2017	Çapraz Entropi-Bölgesel Arama Hibrit Modeli	Deprem	Deterministik	Geçici Barınma Alanı Yer Seçimi
Salehi vd.	2017	İki Aşamalı Çok Dönemli Stokastik Programlama	Deprem	Stokastik	Kan Tedarik Ağı Tasarımı
Gao vd.	2017	Genetik Algoritma, Modifiye Edilmiş Bulanık C-Ortalama	Deprem	Stokastik	Sahra Hastanesi Yer Seçimi, Yaralı Ataması
Tekin Temur vd.	2018	Analitik Hiyerarşi Prosesi, P-Medyan	Deprem	Deterministik	Yardım Lojistiği
Kaya	2018	Tam Sayılı Doğrusal Programlama, Küme Kapsama	Deprem	Deterministik	Geçici Tesis Yeri Seçimi
Setiawan vd.	2018	Tam Sayılı Programlama	Deprem	Deterministik	Afetzede Tahliyesi, Yardım Lojistiği
Kokaji ve Kainuma	2018	Tam Sayılı Programlama	Deprem	Deterministik	Yardım Lojistiği

Tablo 1. (Devamı)

Yazar	Yıl	Yöntem	Afet Türü	Rassallık	Problem Türü
Çal ve Aydemir	2018	Gri Kümeleme Yöntemi	Genel	Deterministik	Toplanma Alanı Yer Seçimi
Liu vd.	2019	İki Amaçlı Optimizasyon Modeli	Deprem	Stokastik	Sahra Hastanesi Yer Seçimi, Yaralı Ataması
Nappi vd.	2019	Çok Kriterli Karar Verme	Genel	Deterministik	Geçici Barınma Alanı Yer Seçimi
Alizadeh vd.	2019	İki Aşamalı Stokastik Programlama	Gaz Sızıntısı	Stokastik	Yaralı Toplanma Alanı Yer Seçimi
Arslan	2020	Çok Kriterli Karar Verme, Topsis, Vikor	Genel	Deterministik	Afet İstasyonu Yer Seçimi
Kömürcü	2020	Genetik Algoritma	Deprem	Stokastik	Sahra Hastanesi Yer Seçimi, Yaralı Ataması
Öztürk ve Kaya	2020	Çok Kriterli Karar Verme, Promethee	Genel	Deterministik	Toplanma Alanı Yer Seçimi
Öksüz ve Satoğlu	2020	İki Aşamalı Stokastik Programlama	Deprem	Stokastik	Sahra Hastanesi Yer Seçimi
Geng vd.	2020	Bulanık Topsis, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi	Deprem	Deterministik	Geçici Barınma Alanı Yer Seçimi
Şekkeli	2020	Çok Kriterli Karar Verme, Analitik Hiyerarşi Prosesi	Deprem	Deterministik	Toplanma Alanı Yer Seçimi
Barutçu	2021	Çok Kriterli Karar Verme, Vikor	Deprem	Deterministik	Sahra Hastanesi Yer Seçimi
Ömürgönülşen ve Menten	2021	Çok Kriterli Karar Verme, Bulanık Topsis	Genel	Deterministik	Geçici Barınma Alanı Yer Seçimi
Soyöz ve Özyörük	2021	Üç Aşamalı Karma Tam Sayılı Programlama	Deprem	Deterministik	Afetzede Tahliyesi, Yardım Lojistiği
Geng vd.	2021	İki Aşamalı Programlama Modeli, Bulanık Vikor	Deprem	Deterministik	Geçici Barınma Alanı Yer Seçimi
Mardaninejad ve Nastaran	2021	İkili Karşılaştırma Yöntemi	Deprem	Deterministik	Geçici Barınma Alanı ve Sahra Hastanesi Yer Seçimi
Dayanır vd.	2021	Delphi Yöntemi	Deprem	Deterministik	Geçici Barınma Alanı Yer Seçimi
Seraji vd.	2021	İki Aşamalı Çok Amaçlı Programlama	Deprem	Stokastik	Yardım Lojistiği
Savaş vd.	2021	Analitik Hiyerarşi Prosesi	Deprem	Deterministik	Toplanma Alanı Yer Seçimi

Tablo 1. (Devamı)

Yazar	Yıl	Yöntem	Afet Türü	Rassallık	Problem Türü
Gharib vd.	2022	Çok Amaçlı Ateş Böceği Algoritması, Baskın Olmayan Sıralanmış Genetik Algoritma	Orman Yangını	Deterministik	Geçici Barınma Alanı Yer Seçimi
Çiftçi ve Sakallı	2023	Karma Tam Sayılı Programlama, Markov Zinciri	Deprem	Stokastik	Sağlık Kaynakları Planlaması
Zamani ve Parvaresh	2023	Tam Sayılı Programlama	Deprem	Deterministik	Sahra Hastanesi Yer Seçimi, Sağlık Personeli Tahsisi, İlaç Tahsisi
Öksüz ve Satoğlu	2023	Stokastik Programlama Temelli Dinamik Modelleme, Markov Zinciri	Deprem	Stokastik	Sahra Hastanesi Yer Seçimi, Yaralı Ataması, Sağlık Personeli Tahsisi
Chang vd.	2023	İki Aşamalı Programlama Modeli	Deprem	Stokastik	Yaralı Toplanma Alanı Yer Seçimi, Sağlık Kaynakları Planlaması
Erdin vd.	2024	Analitik Hiyerarşi Prosesi, Standartlaştırılmış Ağırlık Matrisi	Deprem	Deterministik	Toplanma Alanı Yer Seçimi
Özlemiş ve Eren	2024	Çok Kriterli Karar Verme, Analitik Hiyerarşi Prosesi, Topsis, Promethee	Deprem	Deterministik	Geçici Barınma Alanı Yer Seçimi
Müsüroğlu	2025	Çok Kriterli Karar Verme, Analitik Hiyerarşi Prosesi, Topsis	Genel	Deterministik	Sahra Hastanesi Yer Seçimi

2.3.1. Sahra hastanesi

Meydana gelen afetlerden sonra kurulacak olan Sahra Hastaneleri afetlerin etkilerini azaltmada büyük rol oynar. Bu etkileri minimuma indirmek için kurulacak sahra hastanelerinin uygun yerleri belirlenmelidir. Sahra hastanelerinin yerlerini belirlemek için birçok farklı çalışmalar bulunmaktadır. Vafaei (2014), Çok Kriterli Karar Verme, Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemlerini kullanarak Beşiktaş/İstanbul bölgesi için kurulacak olan Sahra Hastanelerinin yerlerini belirlemeye çalışmış, en doğru sonuçlara ulaşabilmek için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nden faydalanmıştır. Benzer bir çalışmayı İstanbul'un Kartal ilçesi için gerçekleştiren Öksüz ve Satoğlu (2020), İki Aşamalı Stokastik Programlama yöntemi ile kurulacak sahra

hastanelerinin kurulum maliyetlerini ve toplam ulaşım maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Barutçu (2021) ise Ankara ili için yaptığı çalışmasında Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan Vikor (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemini kullanarak en uygun yerleri belirlemeye çalışmıştır. Bazı çalışmalarda ise Sahra Hastaneleri yerlerini belirlemenin yanı sıra buna ek olarak konuyla ilişkili başka çalışmalar da ele alınmıştır.

Gao vd. (2017) Genetik Algoritma, Modifiye Edilmiş Bulanık C-Ortalama, Liu vd. (2019) İki Amaçlı Optimizasyon Modeli ve Kömürcü (2020) Genetik Algoritma yöntemlerini kullanarak Sahra Hastanesi Yer Seçimi, Yaralı Ataması problemlerini bir arada çözmeye çalışmışlardır. Zamani ve Parvaresh (2023) çalışmalarında Sahra Hastanesi yer seçiminin yanı sıra sağlık personeli ve ilaç tahsisi planlamasını da Tam sayılı programlama modeli ile ele almışlardır. Öksüz ve Satoğlu ise Stokastik Programlama Temelli Dinamik Modelleme ve Markov Zinciri yöntemlerini bir arada kullanarak Sahra Hastanesi yer seçimi ile birlikte Yaralı ataması ve Sağlık personeli tahsisi problemlerini de ele almışlardır. Müsüroğlu (2025) yapmış olduğu bu çalışmada Bilecik ili Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Topsis (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemlerinin kullanarak olası bir afet sonrasında kurulacak olan Sahra Hastaneleri için en uygun yerleri belirlemiştir.

2.3.2. Toplanma alanı

Toplanma Alanları; afet ve acil durumlar sonrasında geçici barınma merkezleri hazır olana kadar geçecek süre içerisinde yaşanacak paniği önlemek ve sağlıklı bilgi alışverişini sağlamak amacıyla halkın tehlikeli bölgeden uzaklaşarak toplanabileceği güvenli alanlardır (Afad). Toplanma alanları sayesinde afetzedelere rahatlıkla ulaşılacak ve daha güçlü bir iletişim sağlanabilecektir. Bu yüzden toplanma alanlarının yerlerinin doğru olarak seçilebilmesi büyük önem arz etmektedir. Literatürde toplanma alanlarının yerlerinin belirlenmesi amacıyla birçok çalışma olduğu görülmektedir. Palazca ve Partigöç (2018) çalışmalarında, Denizli İli Pamukkale İlçesi'nde seçilen 5 mahallede bulunan açık ve yeşil alanların afet esnasında ve sonrasında toplanma alanı olarak kullanılabilme potansiyelini incelemiş ve seçilen mahallelerde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanarak potansiyel toplanma alanı niteliği taşıyan toplanma alanlarını tespit etmeye çalışmışlardır. Şekkel (2020) de benzer bir çalışmayı Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan AHP'yi kullanarak Kahramanmaraş On İki Şubat ilçesi için yapmıştır.

Çiçekdağı ve Kırış (2012) Kümeleme Analizi kullanarak Dumlupınar Üniversitesi yerleşkesi içinde afet istasyonu ve deprem sonrası toplanma merkezi yer seçimi problemini birlikte ele almışlardır. Benzer bir çalışmayı Çal ve Aydemir (2018) Gri Kümeleme Yöntemi ile Isparta ilinde bulunan Süleyman Demirel Üniversitesi yerleşkesi içinde toplanma merkezlerini belirlemek için gerçekleştirmişlerdir. Savaş vd. (2021) AHP yöntemi kullanarak olası bir İstanbul depremine karşı Gaziosmanpaşa ilçesi için Toplanma Alanlarının yerlerini belirlemeye çalışmışlardır. Öztürk ve Kaya (2020) çalışmalarında İstanbul'un bir ilçesindeki mevcut toplanma alanlarının uygunluğunu Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) metodu ile belirledikleri yedi kriter altında incelemişlerdir. Erdin vd. (2024) İzmir ilindeki toplanma alanlarının yeterli olup olmadığını Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Standartlaştırılmış Ağırlık Matrisi yöntemlerini kullanarak ortaya çıkarmışlardır.

2.3.3. Geçici barınma alanı

Geçici barınma alanları, kalıcı konutların hazır olmasına kadar geçen sürede afetzedelerin her türlü ihtiyaçlarını karşılayabilecekleri alt yapısı hazır olan alanlar olarak ifade edilebilir. Bu yüzden geçici barınma alanları kurulurken afetzedelere maksimum fayda sağlayabilecek uygun yerlerin seçilmesine dikkat edilmelidir. Geçici barınma alanlarının belirlenmesi için birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Brown vd. (2007) kasırga felaketi sonrası ihtiyaç duyulacak olan geçici barınma alanlarının yerlerini belirlemek için En Yakın Komşu Analizi ve Korelasyon Analizi'ni kullanmışlardır. Geçici Barınma Alanlarının yerini belirlemek için Rezaei (2014) ile Nappi ve Souza (2015) Çok Kriterli Karar Verme, Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemlerini kullanırken Hosseini vd. (2016) ise Çok Kriterli Karar Verme, Sürdürülebilir Değerlendirme İçin Entegre Değer Modeli yöntemlerini kullanmışlardır. Zhao vd. (2017) çalışmalarında Çin'in Şangay bölgesindeki olası bir deprem için geliştirdikleri modelde Çapraz Entropi-Bölgesel Arama Hibrit Modeli'ni kullanmışlardır. Nappi vd. (2019) Santa Catarina/Brezilya için Çok Kriterli Karar Verme yöntemi ile geliştirdikleri bu model ile geçici barınakların seçimini ve yerleşimi problemlerini bir arada ele almışlardır. Geng vd. (2020) Çin'in Sichuan eyaletindeki gerçek verilerle test ettikleri bu çalışmalarında geçici barınma alanı yerlerini belirlemek için Bulanık Topsis, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemlerini kullanmışlardır.

Geng vd. (2021) başka bir çalışmalarında ise İki Aşamalı Programlama Modeli, Bulanık Vikor ile en iyi sonuca ulaşmaya çalışmışlardır. Ömürgönülşen ve Menten (2021) çalışmalarında Çok

Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan Bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak Ankara ili için belirledikleri beş aday ilçe arasından Afet sonrası geçici barınma alanı için en uygun olan ilçeyi kriterler çerçevesinde belirlemişlerdir. Gharip vd. (2022) bu araştırmada kümelenmiş ve kesintili bir araç rotalama modeli önererek operasyonların toplam seyahat süresini ve karşılanmayan talebi (eksikliği) en aza indirmeye ve eş zamanlı olarak rotanın güvenilirliğini maksimuma çıkarmayı amaçlamış. Birden fazla depodan gelen heterojen araçların kara ve hava modunda yardım operasyonlarını başlattığı ve etkilenen bölgelere geçici barınaklar sağladığı bir sistem tasarlamışlardır. Ayrıca Çok Amaçlı Ateş Böceği Algoritması, Baskın Olmayan Sıralanmış Genetik Algoritma'nın kullanıldığı bu model, başta Avustralya olmak üzere birçok ülkede yaygın olan orman yangınları gibi diğer felaketlere de kolaylıkla uyarlanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kılıcı vd. (2014) İstanbul'un Kartal ilçesindeki Geçici Barınma Alanlarını belirlemek için geliştirmiş oldukları Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama modelini Türk Kızılayı'nın 2011 Van depremi uygulamasının gerçek verileriyle de uygulayarak çözümün doğruluğunu test etmişlerdir.

Yapılan bazı çalışmalarda söz konusu problemlerin bir arada çalışıldığı görülmektedir. Mardaninejad ve Nastaran (2021) ikili karşılaştırma yöntemini kullandıkları bu modelde Geçici barınma alanı ve Sahra hastanesi yer seçim problemlerini bir arada ele almışlardır. Şenik ve Uzun (2020) ise çalışmalarında Düzce ili için Geçici Barınma Alanı ve Toplanma Alanı yer seçim problemlerini birlikte ele alarak bu sorunlara çözüm bulmaya çalışmışlardır. Özlemiş ve Eren (2024) çalışmalarında Adana ili Çukurova ilçesindeki mevcut geçici barınma alanlarının seçimi ve uygunluğunu Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden AHP, TOPSIS ve PROMETHEE kullanarak çözümlenmişlerdir.

2.3.4. Diğer tesis yeri seçimi çalışmaları

Sahra hastanesi, toplanma alanı ve geçici barınma alanı dışında afet sonrası için yapılmış başka çalışmalar da mevcuttur. Mete ve Zabinsky (2010) ile Çiftçi ve Sakallı (2023) çalışmalarında Karma Tam Sayılı Programlama yöntemini kullanarak Sağlık Kaynakları Planlamasını ele almışlardır. Ergin (2016) depo yeri belirlemek için P-Medyan, Tam Sayılı Programlama, K-Means Algoritması ve Kümeleme Analizi yöntemlerini kullanmıştır. Köse Küçük (2016) Geçici Afet Müdahale Yer Seçimi problemini İki Aşamalı Stokastik Programlama, Tam Sayılı Programlama yöntemleri ile ele almıştır. Salehi vd. (2017) Kan Tedarik Ağı Tasarımını ele almış ve problemi İki Aşamalı Çok Dönemli Stokastik Programlama yöntemi ile çözmeye çalışmıştır. Tekin Temur vd. (2018) Analitik Hiyerarşi Prosesi ve P-Medyan, Kokaji ve

Kainuma (2018) Tam Sayılı Programlama, Seraji vd. (2021) İki Aşamalı Çok Amaçlı Programlama yöntemleri kullanarak Yardım Lojistiği konusunu ele alırken Setiawan vd. (2018) ile Soyoz ve Özyörük (2021) Tam Sayılı Programlama yöntemleri ile Afetzedede Tahliyesi ve Yardım Lojistiği problemini bir arada ele almıştır. Arslan (2020) Çok Kriterli Karar Verme, Topsis ve Vikor yöntemlerini kullanarak Afet İstasyonu yerini belirlemeye çalışmıştır. Chang vd. (2023) Yaralı Toplanma Alanı Yer Seçimi ve Sağlık Kaynakları Planlaması problemlerinin bir arada ele alarak İki Aşamalı Programlama Modeli ile çözmeye çalışmıştır.

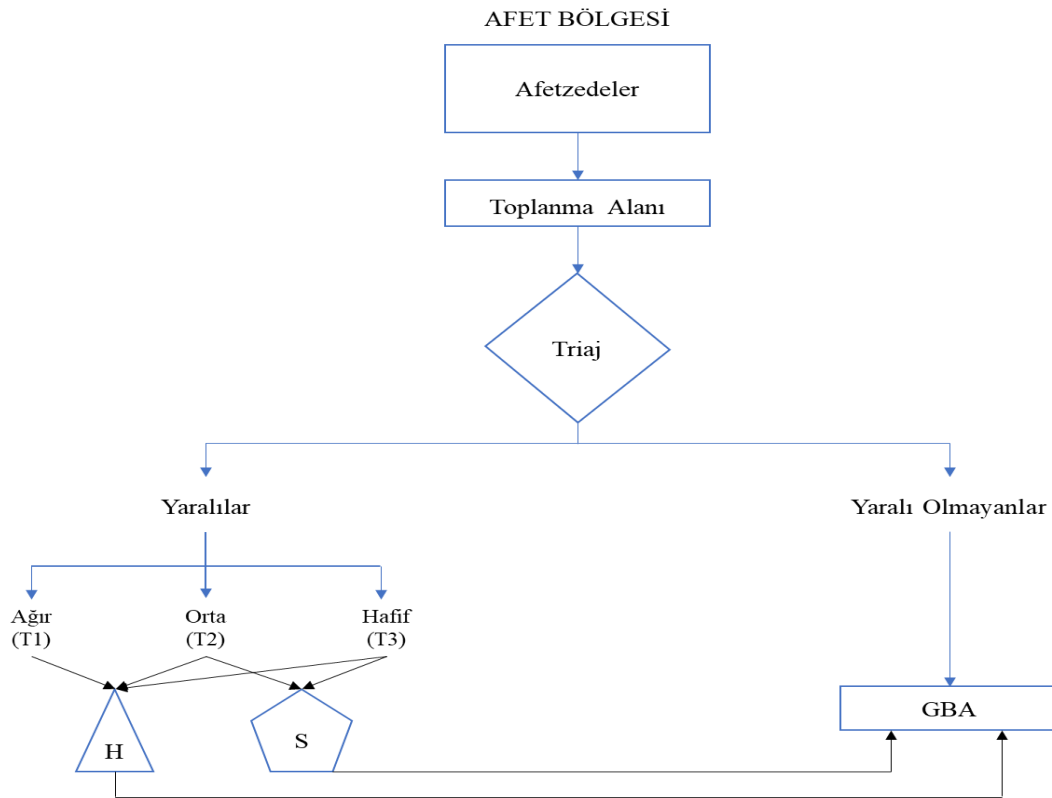
2.3.5. Genel değerlendirme

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, kullanılan yöntem açısından Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin (Analitik Hiyerarşi Prosesi, Topsis, Vikor, Promethee) en sık kullanılan yöntemler olduğu görülmüştür. İncelenen çalışmalar çoğunlukla afet türlerinden depremi ele almış ve deterministik modeller çoğunlukla kullanılmıştır. Çalışmaların büyük çoğunluğunda tek bir problem ele alınırken birden fazla problemi aynı anda ele alan çalışmalar da mevcuttur. İncelenen çalışmalarda Sahra Hastanesi, Toplanma Alanı ve Geçici Barınma Alanı konularını bir arada ele alan çalışmaya rastlanmamıştır.

3. YÖNTEM

Bu bölümde öncelikle stokastik programlama yöntemi genel hatlarıyla açıklanmıştır. Daha sonra, tez çalışmasında ele alınan tesis (sahra hastanesi, toplanma ve geçici barınma alanı) yer seçimi problemi için önerilen senaryo bazlı stokastik karma tamsayılı programlama modeli tanıtılmıştır. Bölümün devamında ise, söz konusu modelin matematiksel formülasyonu ayrıntılı olarak sunulmuş ve vaka çalışmasına ilişkin uygulama detaylarına yer verilmiştir.

Tez kapsamında önerilen afet müdahale modeli, afetzedelerin durumuna göre sistematik olarak yönlendirildiği bir yapıyı esas almaktadır. Şekil 1’de gösterilen akışa göre, afet alanında etkilenen nüfus ilk olarak güvenli toplanma alanlarına tahliye edilmekte, burada triaj işlemi uygulanmaktadır. Triaj sürecinde afetzedeler sağlık durumlarına göre üç gruba ayrılmaktadır: ağır yaralılar (T1), orta yaralılar (T2) ve hafif yaralılar (T3). Ağır yaralılar yalnızca mevcut hastanelere (H) yönlendirilirken, orta ve hafif yaralılar hızlı müdahale imkânı sunan sahra hastanelerine (S) sevk edilmektedir. Deprem sonucunda yaralanmamış bireyler ise doğrudan geçici barınma alanlarına (GBA) aktarılmaktadır. Ayrıca, tedavi süreci tamamlanan yaralılar da barınma ihtiyacının karşılanabilmesi için GBA’lara yönlendirilmektedir. Bu yapı, sağlık hizmetlerinin önceliklendirilmesini sağlarken, aynı zamanda barınma planlamasının da triaj sonuçlarıyla entegre biçimde işlemesine olanak tanımaktadır. Böylece, afet sonrası kaynakların etkin kullanımı ve müdahale sürecinin koordineli yürütülmesi hedeflenmektedir.



Şekil 1. Afetzedede dağılım mekanizması

3.1. Stokastik Programlama

Stokastik programlama, belirsizlik içeren karar verme problemlerinin matematiksel olarak modellenmesinde kullanılan etkili bir yaklaşımdır. Bu yöntem, gelecekteki bazı değişkenlerin kesin olarak bilinmediği durumlarda, farklı olasılıklar altında ortaya çıkabilecek senaryoları dikkate alarak kararların optimize edilmesini sağlar. Her bir senaryo, ilgili belirsizliklerin farklı gerçekleştirmelerini temsil eder ve belirli bir olasılık değeri ile tanımlanır. Amaç genellikle, tüm senaryolar altında ortaya çıkan sonuçların beklenen değerini minimize etmek ya da maksimize etmektir. Bu sayede, karar verici yalnızca tek bir duruma göre değil, olası tüm durumları göz önünde bulundurarak daha esnek ve sürdürülebilir çözümler geliştirebilir. Stokastik programlama özellikle tedarik zinciri, enerji planlaması ve finans gibi belirsizliğin yüksek olduğu alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Birge & Louveaux, 2011).

Bu çalışmada, belirsizlik içeren bir karar problemine yönelik olarak senaryo bazlı bir stokastik karma tamsayı programlama (stochastic mixed-integer programming) modeli önerilmiştir. Modelde geleceğe yönelik belirsizlikler, her biri belirli bir olasılıkla gerçekleşebilecek farklı senaryolar aracılığıyla temsil edilmiştir. Amaç fonksiyonu, bu senaryolar altında oluşabilecek maliyetlerin olasılık ağırlıklı beklenen değerini minimize etmektedir.

3.2. Matematiksel Model

Afet yönetimi kapsamında, sahra hastaneleri, geçici barınma alanları ve toplanma noktalarının birlikte planlandığı entegre bir yer seçimi ve yönlendirme problemine yönelik geliştirilen senaryo bazlı stokastik karma tamsayı programlama modelinin matematiksel formülasyonu aşağıda sunulmuştur.

Önerilen model, çok sayıda olası afet senaryosu altında, farklı triaj kategorilerine göre afetzedelerin uygun sağlık ve barınma tesislerine yönlendirilmesini kapsamaktadır. Model, yalnızca tesis yer seçimi değil, aynı zamanda afetzedelerin toplanma, tedavi ve barınma noktalarına atanmasına ilişkin kararları da içermektedir. Bu yönüyle, karar verme sürecini hem mekânsal hem de işlevsel açıdan bütüncül bir yaklaşımla ele almaktadır.

Modelin matematiksel yapısı, afet bölgesinden başlayarak afetzedelerin uygun toplanma alanlarına, sağlık tesislerine ve geçici barınma alanlarına yönlendirilmesini sağlayan çok aşamalı bir ağ yapısı üzerine kurulmuştur. Amaç fonksiyonu, senaryolara özgü toplam mesafeyi ve sağlık hizmeti alamayan bireyler için uygulanan ceza maliyetini minimize etmektedir.

Kısıtlar, kapasite, mesafe, triaj ve yönlendirme kurallarını dikkate alarak uygulanabilir çözümleri garanti altına almaktadır.

İndeksler ve Kümeler:

$i \in I$: Afetten etkilenen bölgeler (mahalleler)

$j \in J$: Toplanma alanı aday lokasyonları

$k \in K$: Geçici barınma alanı aday lokasyonları

$m \in M$: Mevcut hastaneler

$n \in N$: Sahra hastanesi aday lokasyonları

$s \in S$: Senaryolar

$t \in T$: Triaj kategorileri (1: ağır yaralı, 2: orta yaralı, 3: hafif yaralı)

Parametreler:

A_i^s : s senaryosuna göre i afet bölgesindeki tahmini afetzede sayısı (yaralı ve yaralı olmayan)

Cap_j : Toplanma alanı j 'nin kapasitesi

Cap_k : Geçici barınma alanı k 'nin kapasitesi

Cap_m : Mevcut hastane m 'nin kapasitesi

Cap_n : Sahra hastanesi n 'nin kapasitesi

$DistLim$: Ağır yaralıların hastaneye atanmasındaki mesafe limiti

$dist_{ij}$: i afet bölgesinden j toplanma alanına olan mesafe

$dist_{jk}$: j toplanma alanından k geçici barınma alanına olan mesafe

$dist_{jm}$: j toplanma alanından m mevcut hastaneye olan mesafe

$dist_{jn}$: j toplanma alanından n sahra hastanesine olan mesafe

$dist_{mk}$: m mevcut hastaneden k geçici barınma alanına olan mesafe

$dist_{nk}$: n sahra hastanesinden k geçici barınma alanına olan mesafe

M : Çok büyük bir sayı

P_s : s senaryosunun gerçekleşme olasılığı

P_t : t kategorisindeki yaralı oranı

Karar Değişkenleri:

X_{ij}^s : s senaryosuna göre, i afet bölgesinden j toplanma alanına atanan afetzedede sayısı

XN_i^s : s senaryosuna göre, i afet bölgesinden toplanma alanına atanamayan afetzedede sayısı

X_{jk}^s : s senaryosuna göre, j toplanma alanından k geçici barınma alanına atanan afetzedede sayısı

XN_j^s : s senaryosuna göre, j toplanma alanından geçici barınma alanına atanamayan afetzedede sayısı

Y_{jmt}^s : s senaryosu p periyodunda, j toplanma alanından m hastanesine atanan t kategorisindeki yaralı sayısı

Y_{jnt}^s : s senaryosu p periyodunda, j toplanma alanından n sahra hastanesine atanan t kategorisindeki yaralı sayısı

W_t^s : s senaryosuna göre t kategorisindeki sağlık hizmeti alamayan yaralı sayısı

Z_{mk}^s : s senaryosu p periyodunda, m hastanesinden k geçici barınma alanına atanan tedavi edilmiş sayısı

Z_{nk}^s : s senaryosu p periyodunda, n sahra hastanesinden k geçici barınma alanına atanan tedavi edilmiş sayısı

Q_{jmt}^s : s senaryosu p periyodunda, mevcut hastane m' 'ye atanan t kategorisinde yaralı varsa 1; diğer durumlarda 0

Amaç Fonksiyonu:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{s \in S} P_s \left(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \text{dist}_{ij} X_{ij}^s + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \text{dist}_{jk} X_{jk}^s + \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} \text{dist}_{jm} Y_{jmt}^s \right. \\ & + \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} \sum_{t \in T} \text{dist}_{jn} Y_{jnt}^s + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \text{dist}_{mk} Z_{mk}^s + \sum_{n \in N} \sum_{k \in K} \text{dist}_{nk} Z_{nk}^s \sum_{t \in T} W_t^s \\ & \left. * CP + \sum_{i \in I} XN_i^s * CP + \sum_{j \in J} XN_j^s * CP \right) \end{aligned}$$

Amaç fonksiyonu, çok senaryolu bir afet sonrası müdahale planlamasında, afetzedelerin toplanma alanlarına, geçici barınma noktalarına ve hastanelere yönlendirilmesi sırasında oluşan toplam mesafeyi minimize etmeyi hedeflemektedir. Bu hedef, aynı zamanda toplam müdahale süresini minimize etmektedir. Ayrıca, atanamayan afetzede ve yaralı sayıları bir ceza puanıyla (CP) ağırlıklandırılarak minimize edilmeye çalışılmaktadır. Her senaryo, gerçekleşme olasılığıyla çarpılarak stokastik optimizasyondaki beklenen değer minimizasyonu yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yapı, olasılık temelli planlama yaklaşımı ile çözümün senaryo belirsizliğine karşı daha dengeli olmasını sağlamaktadır.

Kısıtlar:

Afetzede atama kısıtı: Her bir senaryoya göre afet bölgelerindeki toplam afetzede sayısı, toplanma alanlarına atanan ve atanamayan afetzede sayısının toplamına eşit olmalıdır. Afetzedelerin triaj sınıflandırmasının toplanma alanlarında yapıldığı varsayılmaktadır. Bu nedenle, modelde öncelikle afetzedelerin toplanma alanlarına ataması yapılmaktadır.

$$\sum_{i \in I} A_i^s = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ij}^s + \sum_{i \in I} XN_i^s, \quad \forall s$$

Toplanma alanı kapasite kısıtı: Her bir senaryoya göre toplanma alanına atanan toplam afetzede sayısı, ilgili toplanma alanının kapasitesine eşit ve küçük olmalıdır.

$$\sum_{i \in I} X_{ij}^s \leq Cap_j, \quad \forall j, s$$

Geçici barınma alanı atama kısıtı: Her bir senaryoya göre toplanma alanları, mevcut hastaneler ve sahra hastanelerinden geçici barınma alanına atanan toplam afetzede sayısı, her bir senaryoya göre toplam afetzede sayısına eşit veya küçük olmalıdır. Afetzedelerin P_{nc} oranı (0,7) kadarının yaralı olmadığı varsayılmıştır.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ij}^s * P_{nc} = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} X_{jk}^s + \sum_{j \in I} XN_j^s, \quad \forall s$$

Geçici barınma alanı kapasite kısıtı: Her bir senaryoya göre toplanma alanları, mevcut hastaneler ve sahra hastanelerinden barınma alanına atanan afetzede sayısı, geçici barınma alanının kapasitesine eşit veya küçük olmalıdır.

$$\sum_{j \in J} X_{jk}^s + \sum_{m \in M} Z_{mk}^s + \sum_{n \in N} Z_{nk}^s \leq Cap_k, \quad \forall k, s$$

Ağır yaralı atama kısıtı: Her bir senaryoya göre toplam ağır yaralı sayısı, mevcut hastanelere atanan ve atanamayan toplam yaralı sayısına eşit olmalıdır. Afetzedelerin P_c oranı (0,3) kadarının yaralı olduğu ve yaralılardan da P_t oranlarına göre ağır, orta veya hafif yaralı olduğu varsayılmıştır.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ij}^s * P_c * P_t + \sum_{i \in I} XN_i^s * P_c * P_t = \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} Y_{jmt}^s + \sum_{t \in T} W_t^s, \quad \forall s$$

Orta ve hafif yaralı atama kısıtı: Her bir senaryoya göre toplam orta ve hafif yaralı sayısı, sahra hastanelerine atanan ve atanamayan toplam yaralı sayısına eşit olmalıdır.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ij}^s * P_c * \sum_{t \in \{2,3\}} P_t + \sum_{i \in I} XN_i^s * P_c * \sum_{t \in \{2,3\}} P_t = \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} Y_{jnt}^s, \quad \forall s$$

Mevcut hastane kapasite kısıtı: Her bir senaryoya göre hastanelere atanan toplam ağır yaralı sayısı, ilgili hastanenin kapasitesini aşmamalıdır.

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} Y_{jmt}^s \leq Cap_m, \quad \forall m, s$$

Sahra hastanesi kapasite kısıtı: Her bir senaryoya göre sahra hastanelerine atanan toplam orta ve hafif yaralı sayısı, ilgili sahra hastanesinin kapasitesini aşmamalıdır.

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in \{2,3\}} Y_{jnt}^s \leq Cap_n, \quad \forall n, s$$

Hastaneden geçici barınma alanına atama kısıtı: Hastanelerden taburcu edilen afetzedelerin geçici barınma alanlarına atanmaları sağlanmalıdır.

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} Y_{jmt}^s = \sum_{k \in K} Z_{mk}^s + XN_m^s, \quad \forall m, s$$

Sahra hastanesinden geçici barınma alanına atama kısıtı: Sahra hastanelerinde tedavi edilen afetzedelerin geçici barınma alanlarına atanmaları sağlanmalıdır.

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} Y_{jnt}^s = \sum_{k \in K} Z_{nk}^s + XN_n^s, \quad \forall n, s$$

Ağır yaralıları için mesafe limiti kısıtları: Ağır yaralıların tedaviye hızlı erişiminin sağlanabilmesi amacıyla, toplanma alanı ile mevcut hastane arasındaki mesafe belli bir eşik

değeri (DistLim) ile sınırlandırılmıştır. Bu kısıt ile, ağır yaralılar yalnızca ulaşılabilir mesafe içinde yer alan hastanelere yönlendirilebilmektedir.

$$dist_{jm}Q_{jmt}^s \leq DistLim, \quad \forall j, m, s, t \in 1$$

$$Y_{jmt}^s \leq Q_{jmt}^s M, \quad \forall j, m, s, t \in 1$$

$$Y_{jmt}^s \geq Q_{jmt}^s, \quad \forall j, m, s, t \in 1$$

3.3. Vaka Çalışması

Önerilen modeli test etmem amacıyla Erzincan ili için vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. 2024 yılı Erzincan nüfus verileri Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından her yıl yayınlanan Adrese Dayalı Nüfus Kayıt İstatistiklerinden alınmıştır (TÜİK, 2025). Tapu ve Kadastro Müdürlüğünün Parsel Sorgu Uygulaması üzerinden Erzincan iline ait mahallelerin parsel sınırlarına bakılmıştır. Bu mahalleler içindeki yerlerin belirlenmesi, bu yerlerin alanlarının ve koordinatlarının belirlenmesi işlemleri ise Google Earth Pro uygulaması üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Toplanma alanı için belirlenen alanlarda her bir afettede için 2 m² alan ayrılmıştır (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2020). Sahra hastaneleri için her 520 m²'lik alana 400 kişi kapasite belirlenmiştir (Öksüz ve Satoğlu, 2020). Geçici barınma alanları için ise her 50 m²'lik alana çadır veya konteyner konulacağı ve her birinde 4 kişinin barınabileceği varsayılmıştır.

Vaka çalışmasında toplam 10 farklı senaryo üretilmiş ve senaryolar iyimserden kötümserere doğru sıralanmıştır. Senaryoya bağlı olarak nüfus içindeki afettede oranları sırasıyla 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70, 0.75 ve 0.80 olarak alınmıştır.

Deprem sonrasında, afetzedelerin %30'unun yaralı olduğu varsayılmıştır. Bu %30'luk yaralının triaj kategorilerine göre dağılımı ağır yaralı (t=1) %10, orta yaralı (t=2) %30, hafif yaralı (t=3) %60 olarak alınmıştır (Oksuz ve Satoglu, 2024). Afetzedelerin triaj sınıflandırmasının toplanma alanlarında yapıldığı varsayılmaktadır.

Ağır yaralıların hastanelere atanmasında mesafe limiti 5 km olarak alınmıştır. Böylece, modelde toplanma alanı ile hastane arasındaki mesafenin 5 km'nin altında olduğu hastanelere ağır yaralıların atanması sağlanmaktadır.

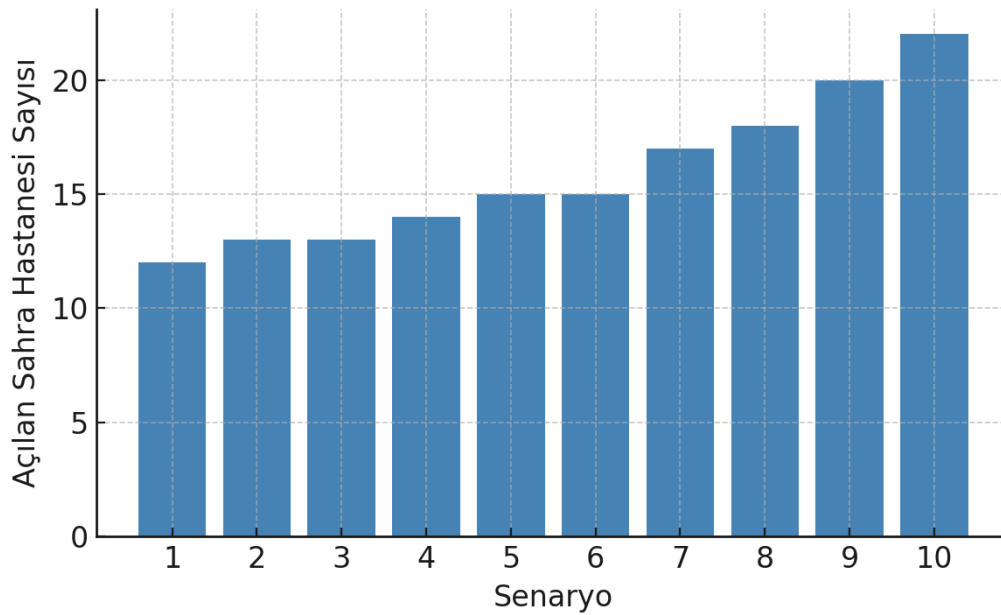
4. BULGULAR

Bu çalışmada önerilen stokastik optimizasyon modeli Erzincan ilinde gerçekleşmesi beklenen olası deprem için 10 farklı senaryo dikkate alınarak test edilmiştir. Vaka çalışması kapsamında, her bir senaryoya göre nüfusun ne kadarının afetzede olduğuna dair afetzede oranları belirlenmiştir.

Bu bölümde, geliştirilen stokastik optimizasyon modelinin 10 farklı senaryo altında ürettiği çıktılar değerlendirilmiştir. Özellikle sahra hastanesi yer seçimleri, toplanma ve geçici barınma alanlarının kapasite yeterlilikleri ve atama sonuçları incelenmiştir. Buna ek olarak, en olası afet senaryosu olarak tanımlanan Senaryo 4 için detaylı analiz yapılmıştır.

4.1. Sahra Hastanelerinin Senaryolara Göre Kurulumu

Her bir afet senaryosu altında sahra hastanesi kurulumu incelendiğinde, talep artışına paralel olarak daha fazla sayıda sahra hastanesine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir (Şekil 2). Senaryo 1’de 12 adet sahra hastanesi kurulurken, senaryo 10’da bu sayı tüm potansiyel sahra hastaneleri kullanılarak 22’ye ulaşmıştır. Senaryolar ilerledikçe açılan sahra hastanelerinin sayısında düzenli bir artış gözlemlenmektedir. Özellikle yüksek etkili senaryolarda (7 ve sonrası) hemen hemen tüm sahra hastanelerinin devreye alındığı ve kapasite kullanımının maksimum seviyeye yaklaştığı görülmektedir. Bu durum, afetin ciddiyeti arttıkça mevcut hastane kapasitesinin yetersiz kalması nedeniyle sahra hastanelerine olan ihtiyacın dramatik biçimde yükseldiğini göstermektedir.



Şekil 2. Senaryolara göre açılan sahra hastaneleri

Tüm senaryolarda kullanılabilir durumdaki sahra hastanelerinin tamamı belirli bir noktada açılmaktadır. Özellikle en kötü durum olarak tanımlanabilecek senaryolarda (örneğin senaryo 10), mevcut tüm sahra hastaneleri kurulmuş olmasına rağmen yaralı talebi ancak karşılanabilmiştir. Model sonuçlarına göre, incelenen tüm senaryolarda yaralıların tamamının bir sağlık kuruluşuna atanabildiği görülmüştür. Yani, her senaryoda ağır veya orta dereceli hiçbir yaralı, kapasite yetersizliği nedeniyle açıkta kalmamıştır. Bu bulgu, modelin yaralı atamalarını önceliklendirerek hastane ve sahra hastanesi kapasitesini maksimum düzeyde kullandığını ve gerekirse tüm sahra hastanelerini devreye sokarak yaralıların tamamına müdahale edilebildiğini göstermektedir. Ancak, kapasite sınırlarına ulaşılan senaryolarda, mevcut sağlık altyapısının sınırlarının zorlandığı da görülmektedir. Özellikle tüm sahra hastaneleri açıldığı halde yaralı sayısının çok yüksek olduğu senaryolarda, ek sahra hastanesi ihtiyacı veya yaralı bakımında farklı çözümlere (komşu bölge desteği, geçici sağlık üniteleri vb.) gereksinim duyulabileceği yorumu yapılabilir. Sonuç olarak, model çözümleri her senaryoda tüm yaralıları bir sağlık tesisine yönlendirmeyi başarmış, atanamayan yaralı bırakmamıştır. Bu durum afet planlamasında sağlık altyapısının kritik önemini vurgulamaktadır.

4.2. Ağır Yaralıların Hastanelere Atanması

Elde edilen sonuçlara göre, her bir senaryoda oluşan ağır yaralıların mevcut hastanelere (mevcut kapasite dahilinde) başarılı bir şekilde atandığını görülmektedir. Senaryolara göre ağır yaralı sayıları incelendiğinde, örneğin senaryo 1’de modelde 800 ağır yaralı olduğu, senaryo 3 ve 5’te 1000 ağır yaralı, senaryo 9’da ise 1400 ağır yaralı bulunduğu tespit edilmiştir. Model, mevcut hastane kapasitesini öncelikle ağır yaralıları için tahsis etmiştir. Her bir senaryoda, ağır yaralıların tamamı mevcut hastanelere yönlendirilmiş ve hiçbiri açıkta kalmamıştır. Bu atamalar sonucunda, hastane kapasitesi tüm senaryolarda tam veya tama yakın kullanılmıştır. Senaryo 10 gibi en yüksek ağır yaralı sayısına sahip durumda bile, model ağır yaralıların tamamını hastanelere atayarak tedavi altına almıştır. Bu sonuç, afet sonrası ağır yaralıların hızla hastanelere ulaştırılabildiğini, ancak senaryonun şiddeti arttıkça hastanelerin kapasite sınırına dayandığını ortaya koymaktadır. Yine de model, ağır yaralıların tedavisini birinci öncelik olarak ele almış ve hiçbir senaryoda ağır yaralıların tedavisiz kalmasına izin vermemiştir. Dolayısıyla, “atanamayan ağır yaralı” sayısı tüm senaryolar için sıfırdır. Bu bulgu, afet planlamasında en kritik grubu oluşturan ağır yaralıların mevcut kapasite ile karşılanabildiğini, ancak kapasite kullanım oranlarının çok yüksek olduğunu ve afet yönetiminde ağır yaralıların

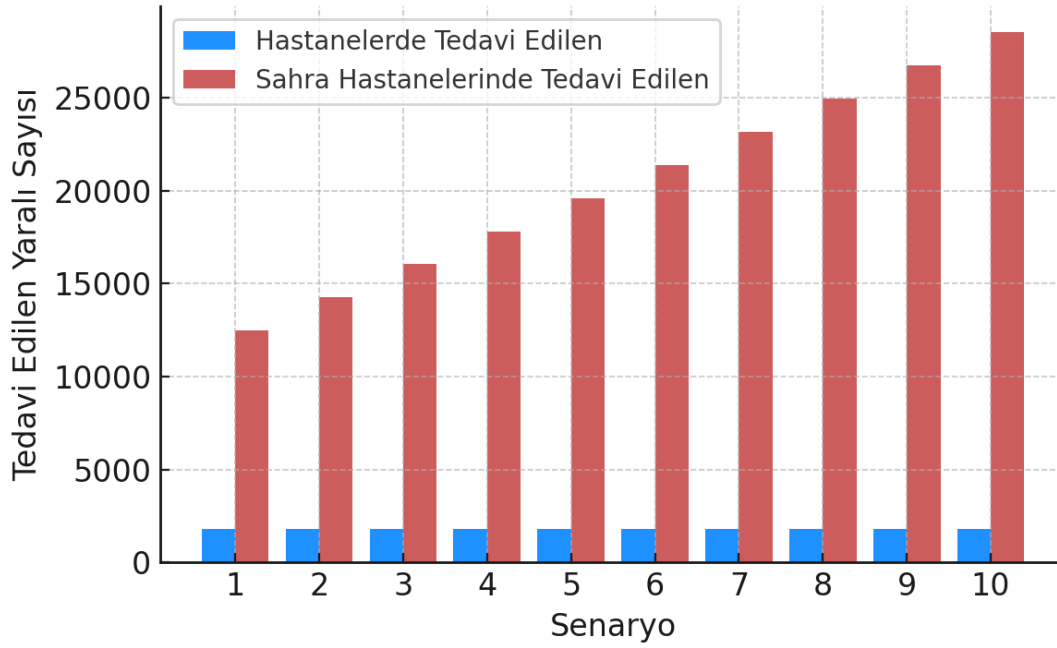
tahliyesi konusunda kapasite artırıcı önlemlerin (yedek hastane kapasitesi, seyyar hastane vb.) önemini vurgulamaktadır.

4.3. Hastane ve Sahra Hastanesi Kapasite Kullanımı

Model sonuçları, mevcut hastaneler ile sahra hastanelerinin kapasite kullanımını senaryolar bazında nicel olarak ortaya koymaktadır. Hastaneler, sınırlı kapasitelerine rağmen her senaryoda tam kapasiteyle çalışmış ve mümkün olduğunca yaralı kabul etmiştir. Örneğin, her bir senaryoda hastanelerde tedavi edilen yaralı sayısı yaklaşık 1.813 kişi ile sabit kalmıştır. Şekil 3, senaryolar ilerledikçe sahra hastanelerinde tedavi edilen yaralı sayısındaki büyük artışı ve buna kıyasla hastanelerde tedavi edilen yaralı sayısının sınırlılığını göstermektedir.

Şekil 3'teki grafikten de görüleceği üzere, hafif ve orta yaralıların büyük kısmı sahra hastanelerine yönlendirilmiştir. Senaryo 1'de yaklaşık 12.500 kişi sahra hastanelerinde tedavi edilirken, senaryo 10'da bu sayı 28.500'ün üzerine çıkmıştır. Buna karşın hastanelerde tedavi edilebilen yaralı sayısı, kapasite kısıtları nedeniyle her senaryoda yaklaşık 1.800 civarında kalmıştır. Bu durum, afetin büyüklüğü arttıkça sağlık hizmeti yükünün büyük ölçüde sahra hastaneleri üzerinden taşındığını, mevcut hastanelerin kapasitesinin ise hızla dolduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle, hastaneler ilk etapta en kritik vakaları (ağır yaralıları) alıp kapasitelerini doldurmakta, geri kalan binlerce yaralı ise sahra hastanelerine dağıtılmaktadır. Sahra hastanelerinin kapasite kullanımının senaryo ilerledikçe çok yüksek oranlara ulaştığı görülmüştür. Özellikle senaryo 8-10 gibi vaka sayısının en yüksek olduğu durumlarda, tüm sahra hastaneleri tam kapasiteyle çalışmasına rağmen dahi ancak ihtiyaç duyulan tedaviyi karşılayabilmişlerdir.

Sonuç olarak, afet senaryolarında sağlık sistemi üzerindeki yükün büyük kısmını sahra hastaneleri sırtlanmakta; mevcut hastaneler kritik vakalara odaklanırken sahra hastaneleri on binlerce hafif ve orta yaralıya hizmet sunmaktadır. Bu bulgu, afet yönetiminde sahra hastanelerinin kritik rolünü ve planlamada yeterli sayıda sahra hastanesinin hazır bulundurulmasının önemini doğrulamaktadır.



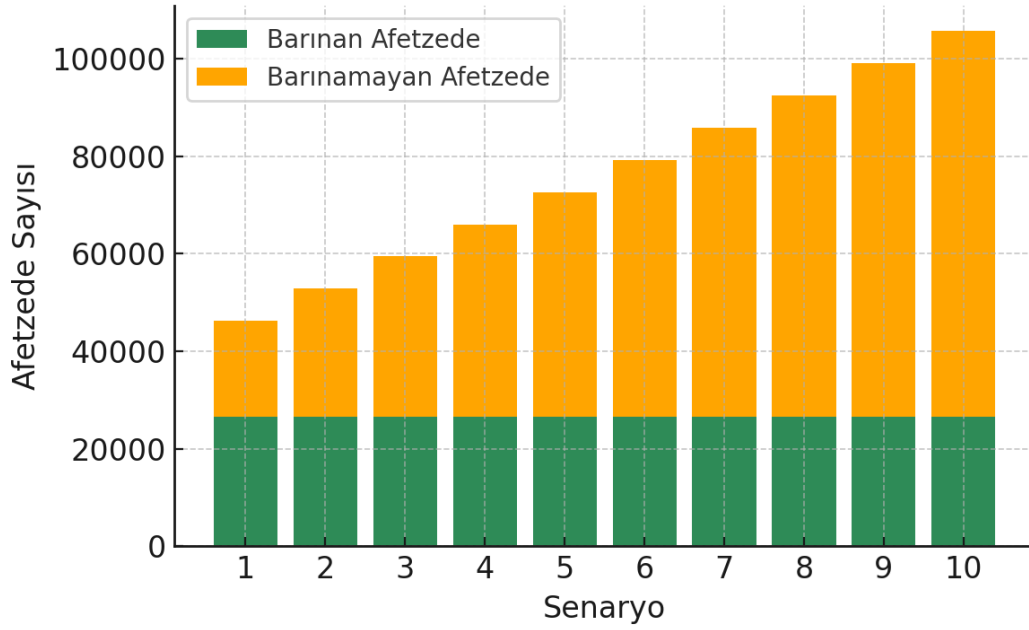
Şekil 3. Hastane ve sahra hastanelerinde tedavi edilen yaralıları

4.4. Afetzedelerin Toplanma ve Barınma Alanlarına Atanması

Afetzedelerin tahliyesi ve barınma alanlarına yerleştirilmesi sonuçları, modelin toplanma alanı kapasiteleri ve geçici barınma alanı kapasiteleri tarafından kısıtlandığını göstermektedir. Her senaryoda belirli sayıda toplanma alanı aktif hale gelmiş ve buralara kapasiteleri oranında afetzede kabul edilmiştir. Ancak, özellikle yüksek nüfus etkisi olan senaryolarda toplanma alanlarının kapasiteleri yetersiz kaldığından, tüm afetzedelerin toplanma noktalarına ulaştırılması mümkün olmamıştır. Modelde, her senaryoya ait toplam afetzede sayısının yalnızca bir kısmı toplanma alanlarına atanabilmiş, kapasite aşan kısım ise toplanma alanlarına erişememiş olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, afet sonrası bazı afetzedelerin güvenli toplanma alanlarına ulaşmadan bölgede kalmak zorunda kalabileceğine işaret etmektedir.

Benzer şekilde, geçici barınma alanlarının kapasitesi de afetzedelerin barındırılmasında kritik bir kısıt olarak ortaya çıkmıştır. Modelde seçilen geçici barınma alanlarının toplam kapasitesi 26.464 kişi ile sınırlıdır ve bu kapasite tüm senaryolarda tamamen dolmuştur. Senaryolar arası karşılaştırma, afetzede sayısı artsa bile barınma kapasitesinin sabit kaldığını, dolayısıyla daha fazla afetzedenin açıkta kaldığını göstermektedir. Şekil 4, her bir senaryoda barınma imkanı bulan ve bulamayan afetzede sayılarını özetlemektedir. Düşük etkili senaryolarda afetzedelerin yaklaşık yarısı barınma alanlarına yerleştirilebilirken, senaryo 10'da afetzedelerin sadece dörtte biri barınma olanağı bulabilmiştir. Örneğin, senaryo 1'de toplam ~46.236 afetzedenin %57'si (26.464 kişi) barınma alanlarına alınabilirken, senaryo 10'da ~105.659 afetzedenin

yalnızca %25'i (yine 26.464 kişi) barındırılabilmiştir. Her iki durumda da barınma kapasitesi tamamen kullanılmıştır.



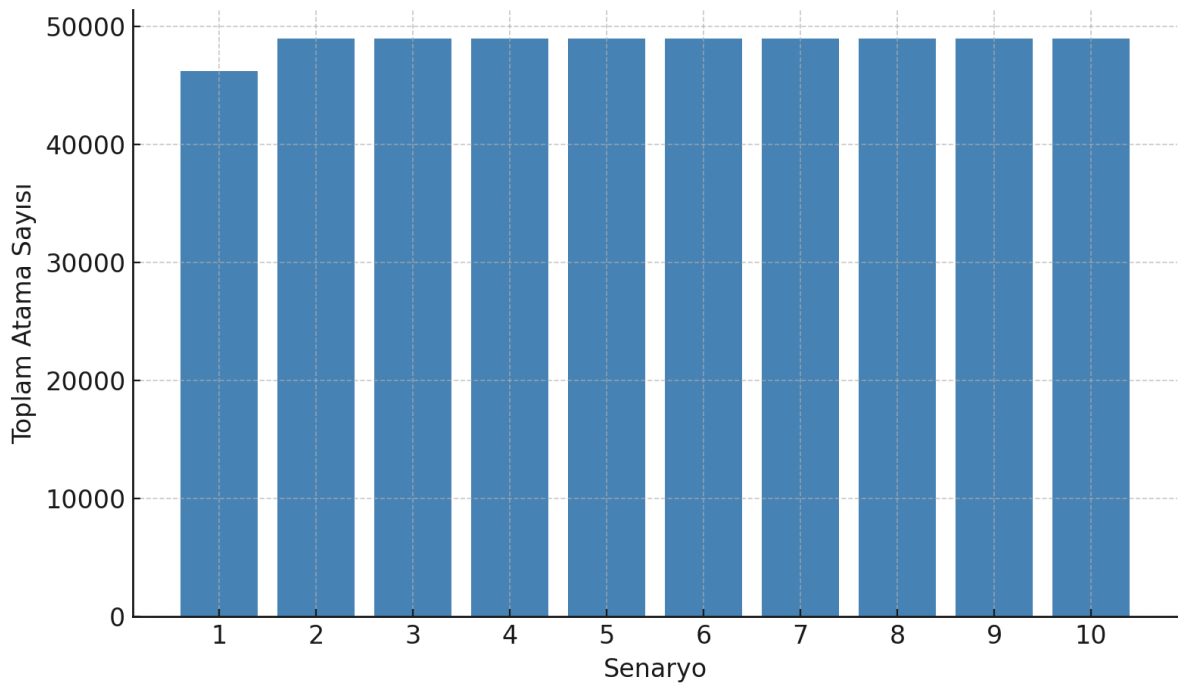
Şekil 4. Senaryolara göre barınabilen ve barınamayan afetzedede sayısı

Yukarıdaki bulgular ışığında, atanamayan afetzedede sayısının senaryonun şiddetine bağlı olarak ciddi boyutlara ulaştığı görülmektedir. Senaryo 1’de yaklaşık 19.772 kişi barınma imkanı bulamazken, senaryo 10’da barınmasız kalan afetzedede sayısı 79.195’e ulaşmaktadır. Bu kişiler ya toplanma alanlarında uzun süre kalmak zorunda kalacak ya da uygun barınma alanı bulunana dek açıkta kalacaktır. Bu durum, afet sonrası barınma ihtiyacının ne denli büyük olabileceğini ve mevcut planlanan kapasitenin yetersizliği halinde on binlerce kişinin barınma sorunu yaşayabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, sonuçlar geçici barınma alanlarının sayısının ve kapasitesinin artırılmasının, afet planlamasında kritik bir gereklilik olduğunu ortaya koymaktadır.

Ayrıca, model sonuçları afetzedelerin hangi toplanma alanlarından hangi barınma alanlarına yönlendirildiğini de senaryolar bazında ortaya koymaktadır. Genel olarak, her barınma alanına belirli toplanma noktalarından tahliye gerçekleşmiştir. Örneğin, merkezdeki büyük bir barınma alanı olan K2 (kapasite 8000 kişi), senaryoların ilk aşamalarında ağırlıklı olarak en yakın toplanma noktasından (örneğin J19) afetzedede almıştır. İlerleyen senaryolarda ise bu barınma alanı dolmasına rağmen afetzedede sayısı arttığı için farklı toplanma alanlarından gelen akışlarla kapasitesini tam olarak kullanmaya devam etmiştir. Benzer şekilde, diğer barınma alanlarına

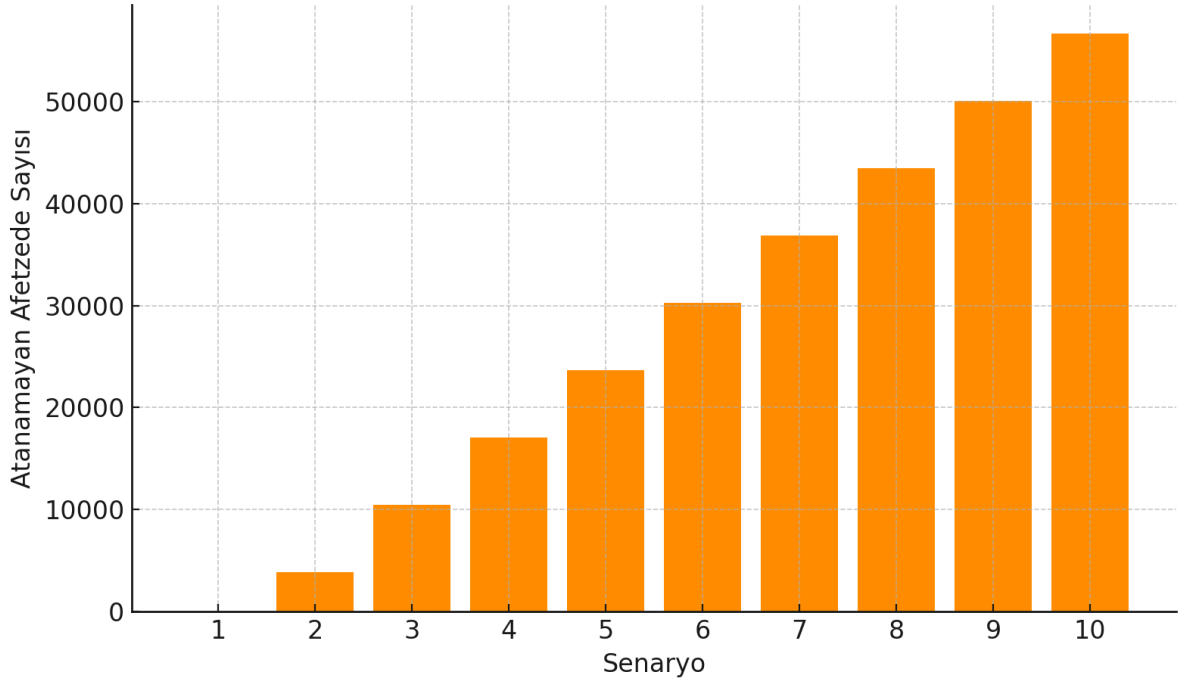
da coğrafi yakınlık ve kapasite durumuna göre birden fazla toplanma noktasından afetlerde yönlendirilmiştir. Bu yönlendirmelerin optimizasyonu sayesinde, her barınma alanının olabildiğince dolması sağlanmış ve toplam 26.464 kişilik kapasite her senaryoda tam olarak kullanılmıştır. Ancak kapasite üstü talepler karşılanamamıştır.

Şekil 5’te her bir senaryoya göre afet bölgelerinden toplanma alanlarına atanan toplam afetlerde sayısı gösterilmektedir. Buna göre, Senaryo 1’de toplanma alanlarına atanan afetlerde sayısı 46.236 kişi iken, Senaryo 2 ile 10 arasındaki tüm senaryolarda bu sayı sabit olarak 48.981 kişidir. Bu sonuç, modelin toplanma alanlarının toplam kapasitesini senaryo 2’den itibaren tamamen kullandığını, yani 48.981 kişinin sistemde toplanma alanlarına ulaştırılabildiğini göstermektedir. Daha fazla afetlerde olması durumunda ise toplanma alanlarının kapasitesi yetersiz kalmıştır. Senaryo 1’de ise 76 toplanma alanından 75’i açılmıştır.



Şekil 5. Senaryolara göre toplanma alanlarına atanan afetlerde sayısı

Senaryo 1’de tüm afetzedeler başarıyla toplanma alanlarına atanmıştır. Senaryo 2’den itibaren toplanma alanlarının toplam kapasitesi dolmuş ve kapasite aşımı nedeniyle afetlerde ataması yapılamamıştır (Şekil 6). Büyük senaryolarda (özellikle 8, 9 ve 10), kapasite yetersizlikleri çok ciddi düzeye ulaşmıştır. Bu sonuç, mevcut toplanma altyapısının büyük çaplı afetler karşısında yetersiz kaldığını ve genişletilmesi gerektiğini göstermektedir.



Şekil 6. Senaryolara göre toplanma alanlarına atanamayan afetzedede sayısı

4.5. Atanamayan Afetzedede ve Yaralılar

Model, her ne kadar yaralıların tamamını bir sağlık kuruluşuna atayarak tedavi etmeyi başarsa da, atanamayan afetzedede sorunu açık bir şekilde ortaya çıkmıştır. Yukarıda belirtildiği gibi, geçici barınma kapasitesi tüm senaryolarda sabit kaldığından, afetzedelerin önemli bir bölümü barınma hizmeti alamamıştır. Bu da barınma hizmeti alamayan afetzedeler (yani açıkta kalanlar) olarak tanımlanabilir. Senaryo 10'da yaklaşık 79 bin kişi geçici barınma alanı bulamadığı için bu kategoridedir. Atanamayan afetzedelerin oranı senaryo şiddetiyle doğru orantılı olarak artmakta, örneğin senaryo 5'te afetzedelerin %63'ü, senaryo 10'da ise %75'i barınma olanağına erişememektedir. Bu bulgu, afet yönetim planlarında barınma kapasitesinin kritik bir zayıf nokta olduğunu, büyük ölçekli afetlerde on binlerce kişinin uygun barınma sağlanmadan kalabileceğini göstermektedir.

Diğer taraftan, atanamayan yaralı sayısı model sonuçlarında sıfırdır. Tüm ağır ve orta dereceli yaralılar hastane veya sahra hastanesi imkanlarıyla tedaviye alınmıştır. Hafif yaralılar ise genellikle ilk yardım sonrası barınma alanlarına yönlendirilmesi planlanan gruptur. Model, hafif yaralıların bir kısmını sahra hastanelerinde stabilizasyon amaçlı tedavi etmiş, ancak kapasite sınırı nedeniyle tedavi edilmeyen hafif yaralı bırakmamıştır, bunlar da barınma alanlarına gönderilmek üzere afetzedede kategorisinde değerlendirilmiştir. Dolayısıyla, hiçbir senaryoda tedavisiz kalan yaralı bulunmamaktadır. Özellikle ağır yaralılar açısından

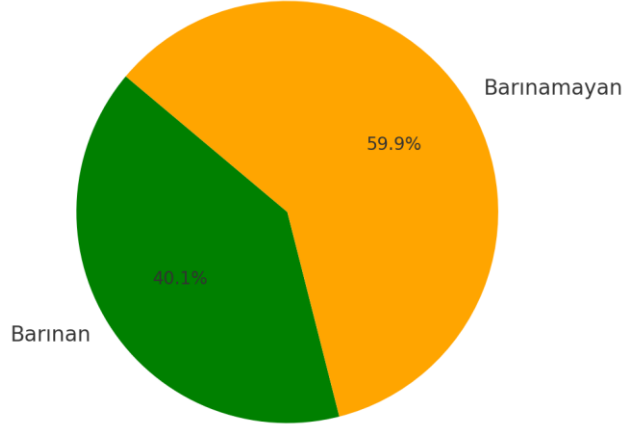
bakıldığında, model önceliği bu gruba vererek hastane kapasitesini tamamen kullanmış ve tüm ağır yaralıları sağlık sistemine entegre etmiştir. Orta ve hafif yaralılar da sahra hastanelerine dağıtılarak tedavi edilmiştir. Sonuç olarak, sağlık hizmetleri boyutunda model bütün yaralıları kapsayabilmiş, ancak barınma hizmetleri boyutunda önemli açıklar tespit edilmiştir. Bu bulgular genel bir değerlendirme ile ele alındığında, afet senaryolarında sağlık hizmet sunumu kapasitesinin sınırına dayandığı, ancak yine de tüm yaralılara yetişebildiği; buna karşılık barınma hizmetleri kapasitesinin ise ciddi ölçüde yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır.

Afet planlamasında, yaralıların etkin tahliyesi ve tedavisi için sahra hastanelerinin kritik olduğu, fakat aynı zamanda afetzedelerin barınma ihtiyacını karşılamak için mevcut kapasitenin çok ötesinde bir talep olduğu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, öneri olarak, afet öncesi planlamalarda geçici barınma alanı sayısının ve kapasitelerinin artırılması, alternatif barınma çözümlerinin (çadır kentler, konteyner kentler vb.) hazır bulundurulması gerekmektedir. Aynı şekilde, bölgesel ölçekte hastane ve sahra hastanesi planlamasının gözden geçirilerek gerekirse kapasite artışına gidilmesi, özellikle en kötü senaryolarda yaşanabilecek aşırı yüklenmenin önüne geçilmesi için önem arz etmektedir. Model sonuçları, farklı senaryolarda sistemin hangi bileşenlerinde darboğazlar oluştuğunu net bir biçimde göstermiş ve afet yönetimi stratejilerinin bu bulgular ışığında iyileştirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

4.6. Olası Senaryo için Sonuçların Analizi

Ele alınan 10 farklı senaryo içinden Senaryo-4'ün en olası deprem senaryosu olduğu kabul edilmiştir. Bu senaryo, orta şiddette bir afet senaryosu olarak değerlendirilmektedir ve model çıktıları afet yönetimi açısından şu önemli sonuçları ortaya koymaktadır:

- Toplam 14 sahra hastanesi devreye alınmış ve 17.829 kişi bu tesislerde tedavi edilmiştir.
- Mevcut hastaneler 1.813 kişiyi tedavi ederek tam kapasite ile kullanılmıştır.
- 66.034 afetzedenin 48.981'i toplanma alanlarına yönlendirilebilmiş, geri kalan %25'i açıkta kalmıştır.
- Barınma kapasitesi sabit kaldığı için yalnızca 26.464 kişiye barınma hizmeti verilebilmiş, 39.570 kişi barınma hizmeti alamamıştır.
- Toplam afetzede nüfusunun yaklaşık üçte ikisi barınma alanı bulamamıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Senaryo 4'e göre barınma durumu

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, afet yönetimi sürecinde kritik öneme sahip olan sahra hastaneleri, geçici barınma alanları ve toplanma noktalarının entegre biçimde yer seçimlerini optimize eden bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen stokastik optimizasyon modeli, Erzincan ili özelinde belirlenen 10 farklı senaryo üzerinden değerlendirilmiştir. Bu senaryolar aracılığıyla modelin esnekliği, karar destek potansiyeli ve kapasite kullanım etkinliği ölçülmüştür. Elde edilen bulgular, afet sonrası müdahale ve barınma süreçlerinde karşılaşılabilecek darboğazları açık biçimde ortaya koymaktadır.

Senaryo analizleri sonucunda elde edilen temel bulgulara göre, sağlık hizmeti sunumu açısından sistemin genel olarak başarılı olduğu görülmüştür. Model, her bir senaryoda tüm ağır ve orta yaralıları bir sağlık tesisine yönlendirmeyi başarmış, herhangi bir senaryoda tedavi edilmeyen yaralı bırakmamıştır. Mevcut hastane kapasiteleri senaryoların çoğunda tam kapasite ile kullanılmış, kapasite sınırına ulaşıldığında ise sahra hastaneleri devreye alınmıştır. Sahra hastanelerinin sayısı senaryonun şiddetine bağlı olarak artmakta, büyük senaryolarda neredeyse tüm sahra hastanelerinin açıldığı ve tam kapasiteyle çalıştığı görülmektedir. Bu durum, afet şiddeti arttıkça sahra hastanelerinin sağlık sistemi üzerindeki yükü büyük ölçüde üstlendiğini göstermektedir.

Barınma hizmetleri açısından sistemin yetersiz kaldığı anlaşılmıştır. Geçici barınma alanlarının toplam kapasitesi sabit olup (26.464 kişi), senaryolar büyüdükçe bu kapasite büyük oranda aşılmıştır. Özellikle senaryo 10 gibi yüksek etki senaryolarında yaklaşık 79.000 afetzedenin barınma hizmeti alamadığı tespit edilmiştir. Bu sonuç, afet sonrası barınma ihtiyacının mevcut planlamaların çok ötesinde bir düzeye ulaşabileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, toplanma alanlarının toplam kapasitesi senaryo 2'den itibaren sınırına ulaşmış ve sonraki senaryolarda daha fazla afetzedenin toplanma alanlarına ulaşamaması söz konusu olmuştur. Bu da toplanma altyapısının da benzer şekilde gözden geçirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

En olası senaryo olarak ele alınan senaryo 4'ün sonuçları incelendiğinde ise şu çıkarımlar yapılmıştır: Toplam 66.034 afetzededen yalnızca 26.464'ü geçici barınma alanlarına yerleştirilebilmiş, yaklaşık 39.570 kişi barınma hizmeti alamamıştır. Bu senaryoda toplam 14 sahra hastanesi açılmış ve 17.829 kişi bu tesislerde tedavi edilmiştir. Mevcut hastaneler ise kapasitesini tam kullanarak 1.813 kişiyi tedavi etmiştir. Bu değerler, orta şiddetteki bir afet

senaryosunda dahi sahra hastanelerine ve ek barınma kapasitesine ciddi ölçüde ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

5.1. Öneriler

Çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda afet yönetimi uygulamalarına yönelik aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

1. **Sahra Hastanesi Planlaması:** Afet sonrası sağlık hizmetinin kesintisiz sürdürülebilmesi için sahra hastanelerinin yalnızca yerlerinin değil, aynı zamanda sayılarının ve kapasite planlarının da detaylı biçimde hazırlanması gerekmektedir.
2. **Geçici Barınma Kapasitesinin Artırılması:** Mevcut geçici barınma alanlarının sayısı ve kapasitesi, büyük ölçekli afet senaryolarını karşılayacak düzeyde değildir. Bu nedenle, alternatif barınma çözümleri (konteyner kentler, mobil barınaklar vb.) geliştirilerek planlamalara entegre edilmelidir.
3. **Toplanma Alanı Altyapısının Geliştirilmesi:** Toplanma alanlarının sayısının artırılması ve her biri için erişim kolaylığı, kapasite ve güvenlik kriterlerinin güncellenmesi büyük önem arz etmektedir.
4. **Entegre Afet Lojistik Yönetimi:** Sahra hastaneleri, barınma ve toplanma alanlarının birbiriyle entegre biçimde planlanması, lojistik süreklilik ve müdahale etkinliği açısından hayati öneme sahiptir. Bu çalışmada sunulan entegre model bu ihtiyaca yanıt verebilecek yapıda tasarlanmıştır.
5. **Senaryo Bazlı Planlama:** Farklı afet senaryolarına göre ihtiyaç analizleri yapılarak, kapasite planlaması dinamik hale getirilmeli; normal, orta ve yüksek etki düzeylerine göre esnek müdahale planları oluşturulmalıdır.
6. **Modelin Yaygınlaştırılması:** Geliştirilen bu optimizasyon modeli, yalnız Erzincan değil benzer risk taşıyan diğer şehirlerde de uygulanabilir şekilde ölçeklendirilmeli ve karar vericiler için bir karar destek aracı olarak kullanılmalıdır.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında geliştirilen stokastik optimizasyon modeli afet yönetiminde karar vericilere sistematik ve veri temelli bir yaklaşım sunmakta, sınırlı kaynakların en etkin biçimde kullanımını desteklemektedir. Elde edilen bulgular, özellikle afet öncesi hazırlık sürecinde kaynak tahsisi ve yer seçimi kararlarının bilimsel temellerle desteklenmesi gerektiğini güçlü bir biçimde ortaya koymuştur.

5.2. Gelecek Çalışmalar

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen entegre yer seçimi modeli, özellikle Erzincan ili özelinde afet yönetimi için önemli çıktılar sunmuştur. Ancak gelecek çalışmalar için modelin farklı boyutlarda geliştirilmesi mümkündür. Öncelikle, model sadece kapasite ve mesafe gibi nicel kriterlere odaklanmıştır. Bu kriterlere ek olarak sosyal, çevresel ve psikolojik etmenlerin de dikkate alındığı çok kriterli karar verme yöntemleriyle model daha bütüncül bir hale getirilebilir.

Bu tez çalışmasında statik bir afet sonrası planlama yaklaşımı sunulmaktadır. Gelecekteki araştırmalarda zaman boyutunun da dahil edildiği dinamik afet yönetimi modelleri geliştirilebilir. Örneğin, tahliye süreleri, trafiğin yoğunluğu ya da ikincil afet riskleri (yangın, salgın hastalık vb.) gibi zamana bağlı değişkenlerin dikkate alındığı simülasyon temelli yaklaşımlar uygulanabilir.

Ayrıca, önerilen modelin farklı şehirlerde ya da kırsal alanlarda test edilerek genele uygulanabilir olup olmadığının sınanması, modelin farklı demografik ve coğrafi koşullara göre nasıl performans gösterdiğini değerlendirmek açısından önemlidir. Son olarak, karar destek sistemleriyle entegre edilecek web tabanlı bir arayüz geliştirilmesi, belediyeler ve afet yönetimi kurumlarının bu modeli gerçek zamanlı olarak kullanabilmesini mümkün kılacaktır.

KAYNAKÇA

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (2020, Kasım 15). *Toplanma Alanları Hakkında Basın Açıklaması*. T.C. İçişleri Bakanlığı. <https://www.afad.gov.tr/toplanma-alanlari-hakkinda-basin-aciklamasi-15112020>
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (2024, Şubat 02). İçişleri Bakanımız Sayın Ali Yerlikaya, 6 Şubat tarihinde Kahramanmaraş merkezli gerçekleşen depremler ile ilgili AFAD Başkanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Merkezinde açıklamalarda bulundu. <https://tinyurl.com/8pn4r9sd>
- Alizadeh, M., Amiri-Aref, M., Mustafee, N., & Matilal, S. (2019). A robust stochastic Casualty Collection Points location problem. *European Journal of Operational Research*, 279(3), 965-983.
- Arslan, H. M. (2020). Afet Yönetimi Kapsamında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Afet İstasyonlarının Optimum Yerleştirilmesi. *Düzce Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(2), 188-203.
- Barutçu, İ. (2021). Afet durumunda insani yardım faaliyetlerinin modellenmesi: Sahra hastanesi için Ankara'da yer seçimi.
- Birge, J. R., & Louveaux, F. (2011). *Introduction to stochastic programming*. Springer Science & Business Media.
- Brown, S. R., Comer, J. C., & Wikle, T. A. (2007). The Locations of Temporary Shelters after Hurricane Katrina. In *PAPERS AND PROCEEDINGS OF APPLIED GEOGRAPHY CONFERENCES* (Vol. 30, p. 298). [np]; 1998.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (2023). *2022 Disasters in Numbers*. Institute Health and Society. https://www.cred.be/sites/default/files/2022_EMDAT_report.pdf
- Chang, K. H., Chen, T. L., Yang, F. H., & Chang, T. Y. (2023). Simulation optimization for stochastic casualty collection point location and resource allocation problem in a mass casualty incident. *European Journal of Operational Research*, 309(3), 1237-1262.
- Çal, D. Y., & Aydemir, E. (2018). Yerleşke içi acil durum toplanma yerlerinin belirlenmesi: Süleyman Demirel Üniversitesi örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 520-531.
- Çiçekdağı, H. İ., & Kırış, Ş. (2012). Afet istasyonu ve toplanma merkezi için yer seçimi ve bir uygulama. *Journal Of Science And Technology Of Dumlupınar University*, (028), 67-76.
- Çiftçi, S., & Sakallı, Ü. S. (2023). A mathematical modelling approach for planning health resources after earthquake: Kırıkkale city example. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(2), 1203-1216.

- Dayanır, H., Çınar, A. K., Akgün, Y., & Çorumluoğlu, Ö. (2022). Delphi yöntemi kullanarak afet sonrası geçici barınma alanı seçimi ve planlaması ölçütlerinin belirlenmesi: İzmir/Seferihisar örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(1), 87-102.
- Erdin, H. E., Partigöç, N. S., Çelik, H. Z., & Aydın, M. B. S. (2024). İzmir Kenti'nin deprem durumunda kullanılacak toplanma alanlarının belirlenmesine yönelik değerlendirme. *Geomatik*, 9(3), 391-407.
- Ergin, C. (2016). *Afet Lojistiğinde Depo Yeri Seçim Probleminin Optimizasyon ve Kümeleme Teknikleri İle Çözülmesi* (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).
- Gao, X., Zhou, Y., Amir, M. I. H., Rosyidah, F. A., & Lee, G. M. (2017). A hybrid genetic algorithm for multi-emergency medical service center location-allocation problem in disaster response. *International Journal of Industrial Engineering*, 24(6).
- Geng, S., Hou, H., & Zhang, S. (2020). Multi-criteria location model of emergency shelters in humanitarian logistics. *Sustainability*, 12(5), 1759.
- Geng, S., Hou, H., & Zhou, Z. (2021). A hybrid approach of VIKOR and bi-objective decision model for emergency shelter location-allocation to respond to earthquakes. *Mathematics*, 9(16), 1897.
- Gharib, Z., Tavakkoli-Moghaddam, R., Bozorgi-Amiri, A., & Yazdani, M. (2022). Post-disaster temporary shelters distribution after a large-scale disaster: An integrated model. *Buildings*, 12(4), 414.
- Hosseini, S. A., De la Fuente, A., & Pons, O. (2016). Multicriteria decision-making method for sustainable site location of post-disaster temporary housing in urban areas. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(9), 04016036.
- Jeoloji Mühendisleri Odası (2021, Nisan 26). *Erzincan'ın Depremselliği*. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/685aa313a28ffe8_ek.pdf
- Kaya, S. (2018). Afetlerde geçici tesis yeri seçimi: Üsküdar ilçesi için bir uygulama.
- Khare, Y. (2024, Aralık 23). *Deterministic vs Stochastic – Machine Learning Fundamentals*. Analytics Vidhya. <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2023/12/deterministic-vs-stochastic/>
- Kılıcı, F., Kara, B. Y., & Bozkaya, B. (2015). Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey. *European journal of operational research*, 243(1), 323-332.
- Kokaji, K., & Kainuma, Y. (2018). Development of a disaster relief logistics model minimizing the range of delivery time. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 11(2), 66-72.

- Kömürcü, Y. (2020). *Afet sonrası sahra hastanelerinin yerleşimi için genetik algoritma uygulaması: İstanbul vakası* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Köse Küçük, M. (2016). Geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim problemi için stokastik optimizasyon bazlı çözüm yaklaşımları geliştirilmesi.
- Kunt, R. (2025, Şubat 5). *6 Şubat Depremlerinin Ardından: Yıkımın Maliyeti ve Demografik Değişim*. Doğrulukpayı. <https://www.dogrulukpayi.com/bulten/6-subat-depremlerinin-ardindan-yikimin-maliyeti-ve-demografik-degisim>
- Liu, Y., Cui, N., & 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.
- Mardaninejad, F., & Nastaran, M. (2021). Mathematical modeling of the problem of locating temporary accommodation centers and assigning victims after a possible earthquake to safe places and solving using meta-heuristic algorithms. *Frontiers in Health Informatics*, 10(1).
- Mete, H. O., & Zabinsky, Z. B. (2010). Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. *International journal of production economics*, 126(1), 76-84.
- Müsüroğlu, B. (2025). Sahra hastanesi kuruluş yeri seçiminde TOPSIS yönteminin uygulanması: Bilecik'te bir lokasyon analizi (Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- Nappi, M. M. L., & Souza, J. C. (2015). Disaster management: hierarchical structuring criteria for selection and location of temporary shelters. *Natural Hazards*, 75, 2421-2436.
- Nappi, M. M. L., Nappi, V., & Souza, J. C. (2019). Multi-criteria decision model for the selection and location of temporary shelters in disaster management. *Journal of International Humanitarian Action*, 4, 1-19.
- Oksuz, M. K., & 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.
- Oksuz, M. K., & Satoglu, S. I. (2024). Integrated optimization of facility location, casualty allocation and medical staff planning for post-disaster emergency response. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 14(3), 285-303.
- Ömürgönülşen, M., & Menten, C. (2021). Bulanık TOPSIS yöntemi ile Ankara ili için olası afet sonrası geçici barınma alanlarının seçimi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 159-175.

- Özlemiş, Ş., & Eren, T. (2024). Afet sonrası kullanılacak geçici barınma alanlarının çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak seçilmesi üzerine bir uygulama. *International Journal of Engineering Research and Development*, 16(2), 861-880.
- Öztürk, F., & Kaya, G. K. (2020). Afet Sonrası Toplanma Alanlarının Promethee Metodu ile Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1239-1252.
- Palazca, A., & Partigöç, N. S. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Kullanılarak Afet Sonrası Potansiyel Toplanma Alanlarının Yer Seçimi: Denizli Kenti Örneği.
- Rezaei, S. (2014). *Development of a decision support model for the optimum shelter location following a disaster* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Salehi, F., Mahootchi, M., & Husseini, S. M. M. (2019). Developing a robust stochastic model for designing a blood supply chain network in a crisis: a possible earthquake in Tehran. *Annals of operations research*, 283, 679-703.
- Seraji, H., Tavakkoli-Moghaddam, R., Asian, S., & Kaur, H. (2022). An integrative location-allocation model for humanitarian logistics with distributive injustice and dissatisfaction under uncertainty. *Annals of Operations Research*, 319(1), 211-257.
- Setiawan, E., Liu, J., & French, A. (2019). Resource location for relief distribution and victim evacuation after a sudden-onset disaster. *IIE transactions*, 51(8), 830-846.
- Soyöz, H., & Özyörük, B. (2021). Afet Lojistiğinde Üç Aşamalı Karma Tamsayılı Bir Model Önerisi. *Journal of Turkish Operations Management*, 5(1), 641-661.
- Strateji ve Bütçe Başkanlığı (2023, Mart 17). *2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu*. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı. <https://www.sbb.gov.tr/2023-kahramanmaras-ve-hatay-depremleri-raporu/>
- Şekkeli, Z. H. (2020). Afet ve acil durum lojistiği kapsamında acil durum toplanma merkezi seçiminde AHP yöntemi: Kahramanmaraş on iki şubat belediyesinde bir uygulama. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 903-930.
- Şenik, B., & Uzun, O. (2021). An assessment on size and site selection of emergency assembly points and temporary shelter areas in Düzce. *Natural Hazards*, 105, 1587-1602.
- Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (2025). *Parsel Sorgu Uygulaması*. <https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/>
- Temur, G. T., Turgut, Y., Yılmaz, A., Arslan, Ş., & Camcı, A. (2019). Deprem sonrası planlamaya yönelik lojistik ağ tasarımı: Ümraniye bölgesinde farklı deprem senaryoları için bir uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(1), 98-105.
- Topkara, N., Yüccemen, M. S., Yılmaz, N., & Deniz, A. (2013). Antakya ve Yakın Çevresi için Deprem Tehlikesinin Stokastik Yöntemler İle Tahmini.

- Türkiye İstatistik Kurumu (2025). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları*.
<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>
- Vafaei, N. (2014). *Selecting the field hospital location for disasters: a case study in Istanbul* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Zamani, H., & Parvaresh, F. (2023). Locating Selection and Resource Allocation After a Possible Earthquake in Amol City. *Disaster Prevention and Management Knowledge (quarterly)*, 13(2), 164-183.
- Zhao, L., Li, H., Sun, Y., Huang, R., Hu, Q., Wang, J., & Gao, F. (2017). Planning emergency shelters for urban disaster resilience: An integrated location-allocation modeling approach. *Sustainability*, 9(11), 2098

EKLER

Ek A. Her Bir Senaryoya Göre Afet Bölgelerindeki Tahmini Afetzedede Sayısı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	764	873	982	1091	1200	1309	1418	1527	1636	1745
2	1880	2148	2417	2685	2954	3222	3491	3759	4028	4296
3	1603	1832	2061	2290	2519	2748	2977	3206	3435	3664
4	1302	1488	1674	1860	2046	2232	2418	2604	2790	2976
5	710	812	913	1014	1116	1217	1319	1420	1521	1623
6	1527	1745	1963	2181	2399	2617	2835	3053	3271	3489
7	910	1040	1170	1299	1429	1559	1689	1819	1949	2079
8	136	155	174	193	213	232	251	271	290	309
9	2791	3190	3589	3987	4386	4785	5184	5582	5981	6380
10	295	337	379	421	464	506	548	590	632	674
11	1304	1490	1676	1862	2048	2234	2420	2607	2793	2979
12	2577	2945	3313	3681	4050	4418	4786	5154	5522	5890
13	326	372	419	465	512	558	605	651	698	744
14	1188	1358	1528	1697	1867	2037	2207	2376	2546	2716
15	487	556	626	695	765	834	904	973	1043	1112
16	465	532	598	664	731	797	864	930	996	1063
17	1175	1343	1511	1678	1846	2014	2182	2350	2517	2685
18	1165	1332	1498	1664	1831	1997	2164	2330	2496	2663
19	557	636	716	795	874	954	1033	1113	1192	1272
20	2023	2312	2601	2890	3179	3468	3757	4046	4335	4624
21	222	254	286	317	349	381	413	444	476	508
22	889	1016	1143	1270	1397	1524	1651	1778	1905	2032
23	135	154	173	192	211	230	249	269	288	307
24	814	930	1047	1163	1279	1395	1512	1628	1744	1860
25	1160	1326	1492	1657	1823	1989	2155	2320	2486	2652
26	395	451	508	564	620	677	733	789	846	902
27	1969	2250	2531	2812	3094	3375	3656	3937	4218	4500
28	1247	1425	1603	1781	1959	2137	2315	2493	2671	2849
29	3693	4220	4748	5275	5803	6330	6858	7385	7913	8440
30	1182	1351	1520	1689	1858	2027	2196	2364	2533	2702
31	205	234	263	292	322	351	380	409	438	468
32	1756	2006	2257	2508	2759	3009	3260	3511	3762	4012
33	255	292	328	364	401	437	474	510	546	583
34	193	220	248	275	303	330	358	385	413	440
35	239	273	307	341	375	409	443	477	511	545
36	525	600	675	750	825	900	975	1050	1125	1200
37	159	182	204	227	250	272	295	318	340	363
38	601	687	773	858	944	1030	1116	1202	1287	1373
39	1452	1660	1867	2074	2282	2489	2697	2904	3111	3319
40	2723	3112	3501	3890	4279	4668	5057	5446	5835	6224
41	206	235	265	294	323	353	382	411	441	470
42	924	1056	1188	1319	1451	1583	1715	1847	1979	2111
43	2107	2408	2709	3010	3311	3612	3913	4214	4515	4816

Ek B. Potansiyel Sahra Hastanesi Koordinatları

	ENLEM	BOYLAM		ENLEM	BOYLAM
SH-1	39°45'7.27"K	39°30'37.73"D	SH-41	39°45'21.12"K	39°27'48.66"D
SH-2	39°44'59.68"K	39°30'37.96"D	SH-42	39°45'1.94"K	39°28'3.34"D
SH-3	39°44'5.12"K	39°29'11.83"D	SH-43	39°44'2.13"K	39°30'28.64"D
SH-4	39°44'22.14"K	39°29'19.62"D	SH-44	39°44'1.48"K	39°30'24.93"D
SH-5	39°44'47.96"K	39°29'12.05"D	SH-45	39°44'39.95"K	39°30'38.39"D
SH-6	39°46'8.40"K	39°28'39.90"D	SH-46	39°44'48.96"K	39°31'0.76"D
SH-7	39°45'2.10"K	39°29'48.23"D	SH-47	39°45'27.33"K	39°26'50.52"D
SH-8	39°44'42.79"K	39°30'0.63"D	SH-48	39°45'21.94"K	39°27'20.66"D
SH-9	39°44'15.64"K	39°28'55.84"D	SH-49	39°44'31.64"K	39°29'28.28"D
SH-10	39°45'28.22"K	39°28'8.84"D	SH-50	39°44'12.09"K	39°29'39.93"D
SH-11	39°45'34.44"K	39°27'49.45"D	SH-51	39°44'51.13"K	39°28'21.19"D
SH-12	39°45'28.45"K	39°26'43.82"D	SH-52	39°44'27.23"K	39°28'47.16"D
SH-13	39°44'44.05"K	39°29'16.26"D	SH-53	39°46'1.74"K	39°26'43.72"D
SH-14	39°44'29.78"K	39°31'17.27"D	SH-54	39°46'1.68"K	39°27'23.50"D
SH-15	39°46'19.92"K	39°28'18.32"D	SH-55	39°44'29.83"K	39°29'7.03"D
SH-16	39°44'52.00"K	39°29'39.07"D	SH-56	39°44'25.81"K	39°29'22.42"D
SH-17	39°44'36.90"K	39°29'51.46"D	SH-57	39°45'2.95"K	39°29'11.71"D
SH-18	39°44'33.21"K	39°27'56.70"D	SH-58	39°45'9.44"K	39°29'3.65"D
SH-19	39°45'24.20"K	39°28'39.76"D	SH-59	39°47'1.61"K	39°28'16.53"D
SH-20	39°45'51.38"K	39°27'47.63"D	SH-60	39°46'50.19"K	39°28'4.57"D
SH-21	39°45'3.46"K	39°26'38.27"D	SH-61	39°44'32.39"K	39°30'17.36"D
SH-22	39°44'17.47"K	39°31'27.63"D	SH-62	39°44'13.04"K	39°30'41.46"D
SH-23	39°45'26.99"K	39°28'44.51"D	SH-63	39°46'22.51"K	39°27'40.69"D
SH-24	39°45'28.27"K	39°28'57.29"D	SH-64	39°46'43.12"K	39°27'42.88"D
SH-25	39°45'2.59"K	39°28'29.41"D	SH-65	39°45'46.95"K	39°29'15.17"D
SH-26	39°45'2.91"K	39°28'50.14"D	SH-66	39°45'54.44"K	39°29'28.99"D
SH-27	39°45'22.78"K	39°30'1.50"D	SH-67	39°45'21.29"K	39°32'32.96"D
SH-28	39°45'20.61"K	39°30'20.20"D	SH-68	39°45'16.73"K	39°32'14.15"D
SH-29	39°45'40.40"K	39°30'15.73"D	SH-69	39°44'50.49"K	39°27'29.57"D
SH-30	39°45'26.16"K	39°30'32.83"D	SH-70	39°44'28.38"K	39°27'29.56"D
SH-31	39°44'19.20"K	39°29'37.82"D	SH-71	39°45'2.04"K	39°26'56.89"D
SH-32	39°44'17.79"K	39°29'22.31"D	SH-72	39°44'40.77"K	39°27'12.17"D
SH-33	39°46'44.42"K	39°26'1.47"D	SH-73	39°46'10.89"K	39°27'37.42"D
SH-34	39°46'25.39"K	39°25'37.38"D	SH-74	39°46'18.12"K	39°27'22.22"D
SH-35	39°45'12.87"K	39°29'32.61"D	SH-75	39°45'53.23"K	39°26'8.74"D
SH-36	39°45'50.27"K	39°29'44.91"D	SH-76	39°46'30.60"K	39°26'21.09"D
SH-37	39°45'3.10"K	39°31'13.02"D	SH-77	39°43'36.31"K	39°31'18.81"D
SH-38	39°44'48.32"K	39°31'10.78"D	SH-78	39°43'13.24"K	39°30'59.37"D
SH-39	39°46'0.13"K	39°27'49.11"D	SH-79	39°47'31.21"K	39°25'25.72"D
SH-40	39°46'22.15"K	39°27'59.16"D	SH-80	39°47'30.93"K	39°25'37.83"D
SH-81	39°44'48.24"K	39°31'28.56"D	SH-84	39°45'33.68"K	39°29'25.94"D
SH-82	39°44'58.01"K	39°31'39.89"D	SH-85	39°45'16.72"K	39°30'41.51"D
SH-83	39°45'15.35"K	39°29'28.42"D	SH-86	39°45'9.32"K	39°31'3.23"D

Ek C. Potansiyel Geçici Barınma Alanı Koordinatları

	ENLEM	BOYLAM
GBA-1	39°47'25.53"K	39°25'47.57"D
GBA-2	39°44'9.06"K	39°28'31.79"D
GBA-3	39°42'26.69"K	39°30'8.43"D
GBA-4	39°42'33.61"K	39°30'1.05"D
GBA-5	39°44'55.36"K	39°31'2.71"D
GBA-6	39°45'13.86"K	39°30'41.00"D
GBA-7	39°44'43.65"K	39°31'12.81"D
GBA-8	39°44'44.69"K	39°31'0.12"D
GBA-9	39°44'35.56"K	39°28'36.64"D
GBA-10	39°46'18.46"K	39°29'39.71"D
GBA-11	39°45'4.56"K	39°26'35.23"D
GBA-12	39°38'55.50"K	39°33'46.63"D
GBA-13	39°47'42.27"K	39°25'19.20"D
GBA-14	39°47'40.58"K	39°25'18.44"D
GBA-15	39°44'28.51"K	39°30'46.66"D
GBA-16	39°45'17.38"K	39°31'15.51"D

Ek D. Potansiyel Toplanma Alanı Koordinatları

	ENLEM	BOYLAM		ENLEM	BOYLAM
TA-1	39°45'10.49"K	39°31'7.90"D	TA-39	39°44'40.53"K	39°28'28.98"D
TA-2	39°45'15.79"K	39°30'44.54"	TA-40	39°45'57.28"K	39°27'5.28"D
TA-3	39°45'16.32"K	39°30'27.27"D	TA-41	39°45'38.65"K	39°27'17.73"D
TA-4	39°45'24.07"K	39°30'26.12"D	TA-42	39°45'42.87"K	39°27'11.50"D
TA-5	39°45'10.06"K	39°30'24.14"D	TA-43	39°44'26.48"K	39°30'37.99"D
TA-6	39°44'58.78"K	39°30'51.39"D	TA-44	39°44'26.84"K	39°30'25.49"D
TA-7	39°44'36.42"K	39°30'56.35"D	TA-45	39°44'47.06"K	39°29'29.21"D
TA-8	39°44'45.83"K	39°30'35.13"D	TA-46	39°44'44.77"K	39°30'2.10"D
TA-9	39°44'36.09"K	39°31'24.55"D	TA-47	39°45'49.66"K	39°29'27.76"D
TA-10	39°44'13.58"K	39°29'48.98"D	TA-48	39°45'55.03"K	39°29'18.85"D
TA-11	39°45'43.14"K	39°28'57.09"D	TA-49	39°44'39.83"K	39°29'7.07"D
TA-12	39°45'28.27"K	39°29'0.55"D	TA-50	39°45'50.68"K	39°28'29.58"D
TA-13	39°45'20.78"K	39°28'41.90"D	TA-51	39°44'36.09"K	39°31'24.55"D
TA-14	39°45'18.57"K	39°28'20.00"D	TA-52	39°44'34.57"K	39°31'6.88"D
TA-15	39°45'10.45"K	39°27'47.63"D	TA-53	39°45'17.04"K	39°32'7.30"D
TA-16	39°45'3.74"K	39°27'51.64"D	TA-54	39°45'13.41"K	39°32'10.64"D
TA-17	39°44'59.43"K	39°28'1.86"D	TA-55	39°45'15.59"K	39°32'16.43"D
TA-18	39°44'59.28"K	39°27'46.00"D	TA-56	39°45'19.31"K	39°32'12.91"D
TA-19	39°44'25.54"K	39°28'27.99"D	TA-57	39°44'50.82"K	39°27'39.80"D
TA-20	39°44'21.35"K	39°27'52.51"D	TA-58	39°45'36.58"K	39°28'3.10"D
TA-21	39°44'32.00"K	39°28'0.52"D	TA-59	39°45'33.59"K	39°27'41.85"D
TA-22	39°44'37.20"K	39°28'11.14"D	TA-60	39°44'57.36"K	39°26'57.89"D
TA-23	39°44'28.12"K	39°28'1.22"D	TA-61	39°46'13.84"K	39°27'18.53"D
TA-24	39°44'26.99"K	39°27'51.94"D	TA-62	39°46'18.45"K	39°27'28.75"D
TA-25	39°45'0.83"K	39°29'33.11"D	TA-63	39°43'35.05"K	39°31'51.39"D
TA-26	39°44'47.43"K	39°30'2.42"D	TA-64	39°43'35.29"K	39°31'47.90"D
TA-27	39°44'54.62"K	39°28'28.32"D	TA-65	39°47'25.66"K	39°25'39.82"D
TA-28	39°45'8.14"K	39°28'43.35"D	TA-66	39°47'27.58"K	39°25'41.24"D
TA-29	39°45'9.67"K	39°30'7.34"D	TA-67	39°44'21.49"K	39°29'15.82"D
TA-30	39°45'18.07"K	39°30'7.53"D	TA-68	39°44'14.21"K	39°29'15.25"D
TA-31	39°45'45.98"K	39°30'15.92"D	TA-69	39°44'22.35"K	39°29'11.30"D
TA-32	39°45'56.43"K	39°29'46.70"D	TA-70	39°45'18.48"K	39°26'28.10"D
TA-33	39°45'14.47"K	39°29'59.76"D	TA-71	39°44'43.10"K	39°31'34.36"D
TA-34	39°44'50.22"K	39°31'8.48"D	TA-72	39°44'28.93"K	39°29'16.15"D
TA-35	39°45'6.52"K	39°31'18.11"D	TA-73	39°45'25.37"K	39°29'25.66"D
TA-36	39°46'33.27"K	39°27'54.14"D	TA-74	39°45'3.28"K	39°29'27.01"D
TA-37	39°45'58.01"K	39°27'49.25"D	TA-75	39°45'10.45"K	39°29'1.18"D
TA-38	39°45'46.38"K	39°26'32.20"D	TA-76	39°44'49.52"K	39°29'25.65"D

Ek E. Matematiksel Modelin GAMS Kodu

```
Sets
i  afet_bolgeleri /1*43/
j  toplanma_alani /1*76/
k  gecici_barinma /1*16/
m  mevcut_hastane /1*3/
n  sahra_hastanesi /1*86/
s  senaryo /1*10/
t  triaj /1*3/
sub(t) orta_ve_hafif_yarali /2*3/
b  kapasite_kategorisi /1*2/;
parameter Capj(j)
$call GDXXRW data.xlsx par=Capj rng=Capj!A2:B77 rdim=1
$GDXIN data.gdx
$LOAD Capj
$GDXIN
parameter Capk(k)
$call GDXXRW data.xlsx par=Capk rng=Capk!A2:B17 rdim=1
$GDXIN data.gdx
$LOAD Capk
$GDXIN
parameter Capn(n)
$call GDXXRW data.xlsx par=Capn rng=Capn!A2:B87 rdim=1
$GDXIN data.gdx
$LOAD Capn
$GDXIN
parameter Ps(s)
$call GDXXRW data.xlsx par=Ps rng=Ps!A1:B10 rdim=1
$GDXIN data.gdx
$LOAD Ps
$GDXIN;
Table dist_ij
$call =xls2gms r=dist_ij!A1:BY44 i=data.xlsx o=dist_ij.inc
$include dist_ij.inc;
Table dist_jk
$call =xls2gms r=dist_jk!A1:Q77 i=data.xlsx o=dist_jk.inc
$include dist_jk.inc
Table dist_jm
$call =xls2gms r=dist_jm!A1:D77 i=data.xlsx o=dist_jm.inc
$include dist_jm.inc
Table dist_jn
$call =xls2gms r=dist_jn!A1:CI77 i=data.xlsx o=dist_jn.inc
$include dist_jn.inc
Table dist_mk
$call =xls2gms r=dist_mk!A1:Q4 i=data.xlsx o=dist_mk.inc
$include dist_mk.inc
Table dist_nk
$call =xls2gms r=dist_nk!A1:Q87 i=data.xlsx o=dist_nk.inc
$include dist_jn.inc
```

```

Table A(i,s)
$call =xls2gms r=SayfaA!A1:K44 i=data.xlsx o=A.inc
$include A.inc
Table Capm(m,b)
$call =xls2gms r=Capm!A1:C4 i=data.xlsx o=Capm.inc
$include Capm.inc
parameter
PP(t) /1 0.1, 2 0.3, 3 0.6/;
Scalars
DistLim /5/
MA /10000/
PC/0.3/
PNC/0.7/
CP/10000/;
Variables
Z, X(i,j,s), X2(j,k,s), Y1(j,m,t,s), Y2(j,n,t,s)
Z1(m,k,s), Z2(n,k,s), Q(j,m,t,s), W(t,s)
XN1(i,s), XN2(j,s), XN3(m,s), XN4(n,s);
Positive Variables X,X2,XN1,XN2,XN3,XN4,W,Y1,Y2,Z1,Z2;
Binary Variable Q;
Equations
obj, afetzede_toplanma(s),
kap_toplanma(j,s), afetzede_barinma(s),
kap_barinma(k,s), yarali_atama1(s),
kap_hastanel(m,s), kap_hastane2(m,s),
yarali_atama2(s), kap_sahra(n,s),
hastane_barinma(m,s), sahra_barinma(n,s),
y1_ust(j,m,s), y1_alt(j,m,s),
agir_yarali_dist(j,m,s);
obj..Z=e=sum(s, Ps(s)*(sum((i,j), dist_ij(i,j)*X(i,j,s))
+sum((j,k), dist_jk(j,k)*X2(j,k,s))+sum((j,m,t), dist_jm(j,m)*Y1(j,m,t,s))
+sum((j,n,t), dist_jn(j,n)*Y2(j,n,t,s))
+sum((m,k), dist_mk(m,k)*Z1(m,k,s))+sum((n,k), dist_nk(n,k)*Z2(n,k,s))
+sum((t), W(t,s))*CP+sum(i, XN1(i,s))*CP
+sum(j, XN2(j,s))*CP+sum(m, XN3(m,s))*CP+sum(n, XN4(n,s))*CP));
afetzede_toplanma(s).. sum(i, A(i,s)) =e= sum((i,j), X(i,j,s))+sum(i, XN1(i,s));
kap_toplanma(j,s).. sum(i, X(i,j,s)) =l= Capj(j);
afetzede_barinma(s).. sum((i,j), X(i,j,s))*PNC =e= sum((j,k), X2(j,k,s))
+sum(j, XN2(j,s));
kap_barinma(k,s).. sum(j, X2(j,k,s)) + sum(m, Z1(m,k,s))
+ sum(n, Z2(n,k,s))=l= Capk(k);
yarali_atama1(s)..sum((i,j), X(i,j,s))*PC*PP('1')+sum(i, XN1(i,s))*PC*PP('1')
=e=sum((j,m), Y1(j,m,'1',s))+W('1',s);
kap_hastanel(m,s).. sum((j,t), Y1(j,m,'1',s)) =e= Capm(m,'1');
kap_hastane2(m,s).. sum(j, sum(t$sub(t), Y1(j,m,t,s)))=e= Capm(m,'2');
yarali_atama2(s).. sum((i,j), X(i,j,s))*PC*sum(t$sub(t), PP(t))+
sum(i, XN1(i,s))*PC*sum(t$sub(t), PP(t))=e=sum((j,n), sum(t$sub(t), Y2(j,n,t,s)));
kap_sahra(n,s).. sum(j, sum(t$sub(t), Y2(j,n,t,s))) =l= Capn(n);
hastane_barinma(m,s)..sum((j,t), Y1(j,m,t,s)) =e= sum(k, Z1(m,k,s))+XN3(m,s);
sahra_barinma(n,s)..sum(j, sum(t$sub(t), Y2(j,n,t,s))) =l=
sum(k, Z2(n,k,s))+XN4(n,s);
y1_ust(j,m,s).. Y1(j,m,'1',s) =l= Q(j,m,'1',s)*MA;
y1_alt(j,m,s).. Y1(j,m,'1',s) =g= Q(j,m,'1',s);
agir_yarali_dist(j,m,s).. dist_jm(j,m)*Q(j,m,'1',s) =l= DistLim;
model afet_model /all/;
afet_model.optcr=0 ;
Solve afet_model using mip minimizing Z;
execute unload "results_afet.gdx"
execute 'gdxrw.exe results_afet.gdx o=results_afet.xls var=Y1.1'

```