



## Analysis of relief supplies distribution operations via simulation

Aslı Sebatlı<sup>1</sup>, Fatih Çavdur\*<sup>2</sup>

Department of Industrial Engineering, Bursa Uludag University, Bursa, 16059, Turkey

### Highlights:

- Development of a simulation model for analysis of post-disaster relief supplies distribution operations
- Estimation of earthquake intensity using a comprehensive disaster database and an artificial neural network
- Analysis of simultaneous usage of central and local resources via the developed simulation model

### Keywords:

- Disaster operations management
- Humanitarian logistics
- Relief supplies distribution
- Artificial neural networks
- Simulation

### Article Info:

Research Article  
Received: 12.05.2018  
Accepted: 12.02.2019

### DOI:

10.17341/gazimmfd.423091

### Acknowledgement:

This research was supported by TUBITAK, the Scientific and Technological Research Council of Turkey (115M020). We also thank to the personnel of Bursa Provincial Directorate of Disaster and Emergency for their contributions.

### Correspondence:

Author: Fatih Çavdur  
e-mail:  
fatihcavdur@uludag.edu.tr  
phone: +90 224 294 2077

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, we develop a simulation model to analyze the simultaneous usage of both local and global resources in relief supplies distribution operations. In order to generate the scenarios of the simulation model, we use the significant earthquakes archive of the United States Geological Survey. We estimate earthquake intensity using the magnitude, depth and distance to the epicenter of an earthquake via an artificial neural network. In relation to the estimated earthquake intensity, we determine the affected population rate and disaster level. In addition to these two parameters, the number of pre-positioned Temporary-Disaster-Response facilities is presented as another scenario parameter for the simulation model. Our simulation model includes two main components as global and local, where we model the arrivals of the resources of central humanitarian organizations and local relief supplies distribution operations, respectively. Using the simulation model, inventory levels of Temporary-Disaster-Response facilities are controlled simultaneously with the relief supplies distribution operations of central humanitarian organizations. Proposed simulation model is run with the scenarios generated and the results are analyzed in terms of some performance variables.

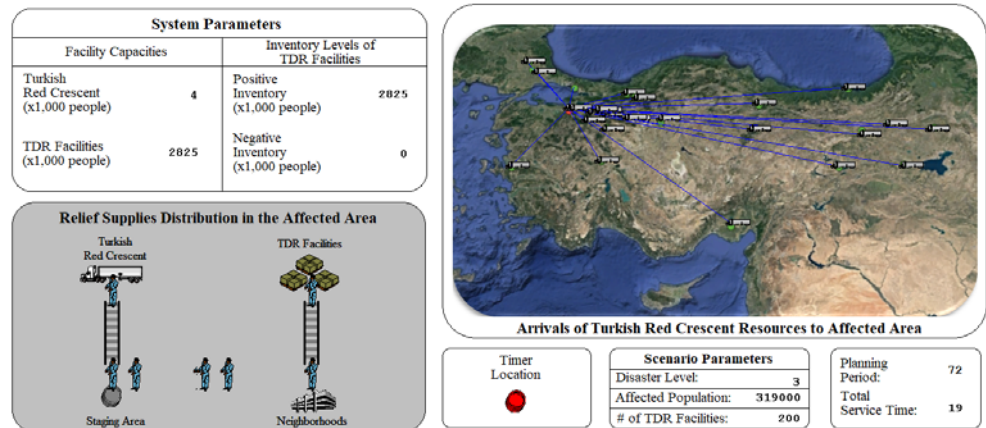


Figure A. Run-time layout of the simulation model

**Purpose:** The purpose of the study is to illustrate the utilization of simulation for analyzing relief supply distribution operations in disaster operations management.

**Theory and Methods:** A simulation model is developed to analyze the simultaneous usage of both local and global resources in relief supplies distribution operations. An artificial neural network is designed to estimate earthquake intensity using the magnitude, depth and distance to the epicenter of an earthquake, which is then used to determine the affected population rate and disaster level.

**Results:** Using the simulation model, inventory levels of Temporary-Disaster-Response facilities are controlled simultaneously with the relief supplies distribution operations of central humanitarian organizations. Proposed simulation model is run with the scenarios generated and the results are analyzed in terms of some performance variables.

**Conclusion:** This study illustrates the utilization of simulation for analyzing relief supply distribution operations in disaster operations management. A simulation model is developed to analyze the simultaneous usage of both local and global resources in relief supplies distribution operations. Although it is illustrated for a particular case, it can be extended to consider other general real-life problems.



## Yardım malzemesi dağıtım operasyonlarının simülasyon ile analizi

Aslı Sebatlı<sup>1D</sup>, Fatih Çavdur\*<sup>2D</sup>

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, 16059, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Afet sonrası yardım malzemesi dağıtım operasyonlarının analizi için simülasyon modeli geliştirilmesi
- Kapsamlı bir afet veri tabanı ve yapay sinir ağı kullanılarak deprem şiddeti tahmini
- Geliştirilen simülasyon modeli ile merkezi ve yerel kaynakların eş-zamanlı kullanımının analizi

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 12.05.2018

Kabul: 12.02.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.423091

#### Anahtar Kelimeler:

Afet operasyonları yönetimi,  
insani lojistik,  
yardım malzemesi dağıtım,  
yapay sinir ağları,  
simülasyon

#### ÖZET

Bu çalışmada, olası bir deprem sonrası kısa vadede gerçekleştirilen, yardım malzemesi dağıtım operasyonlarında merkezi ve yerel kaynakların eş-zamanlı kullanımının analiz edilmesi amacıyla bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen simülasyon modelinin senaryolarını üretmek amacıyla Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'nun veri tabanında yer alan önemli depremlere ilişkin bilgiler dikkate alınmıştır. Depremin büyüklüğü, derinliği ve afetzedelerin deprem merkez üssüne olan uzaklıklarına bağlı olarak bir yapay sinir ağı aracılığıyla deprem şiddeti tahmin edilmiştir. Söz konusu deprem şiddeti ile ilişkili olarak etkilenen nüfus oranı ile afet seviyesi belirlenmektedir. Bu iki parametreye ek olarak, önceden konumlandırılan Geçici-Afet-Müdahale tesisi sayıları da bir diğer senaryo parametresi olarak dikkate alınmıştır. Simülasyon modeli ise kendi içerisinde global ve lokal olmak üzere iki alt bileşenden oluşmakta ve global bileşende merkezi kaynakların afet bölgesine gelişleri modellenirken, lokal bileşende ise afet bölgesinde yürütülen yardım malzemesi dağıtım operasyonları ele alınmaktadır. Simülasyon modeli kullanılarak, merkezi kuruluşların yardım malzemesi dağıtım faaliyetleri ile eş-zamanlı olarak, bu kuruluşlar afet bölgesine ulaşmaya kadar geçen süreçte Geçici-Afet-Müdahale tesislerindeki envanter seviyelerinin kontrolü gerçekleştirilmektedir. Önerilen simülasyon modeli oluşturulan senaryolar altında çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar çeşitli performans değişkenleri açısından analiz edilmiştir.

## Analysis of relief supplies distribution operations via simulation

### H I G H L I G H T S

- Development of a simulation model for analysis of post-disaster relief supplies distribution operations
- Estimation of earthquake intensity using a comprehensive disaster database and an artificial neural network
- Analysis of simultaneous usage of central and local resources via the developed simulation model

#### Article Info

Research Article

Received: 12.05.2018

Accepted: 12.02.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.423091

#### Keywords:

Disaster operations  
management,  
humanitarian logistics,  
relief supplies distribution,  
artificial neural networks,  
simulation

#### ABSTRACT

In this study, we develop a simulation model to analyze the simultaneous usage of both local and global resources in relief supplies distribution operations. In order to generate the scenarios of the simulation model, we use the significant earthquakes archive of the United States Geological Survey. We estimate earthquake intensity using the magnitude, depth and distance to the epicenter of an earthquake via an artificial neural network. In relation to estimated earthquake intensity, we determine the affected population rate and the disaster level. In addition to these two parameters, the number of pre-positioned Temporary-Disaster-Response facilities is presented as another scenario parameter. Our simulation model includes two main components as global and local, where we model the arrivals of the resources of central humanitarian organizations and local relief supplies distribution operations in the global and local components, respectively. Using the simulation model, inventory levels of Temporary-Disaster-Response facilities are controlled simultaneously with the relief supplies distribution operations of central humanitarian organizations. Proposed simulation model is run with the scenarios generated and the results are analyzed in terms of some performance measures.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: aslisebatli@gmail.com, fatihcavdur@uludag.edu.tr / Tel: +90 224 294 2077  
2080

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Afet, en genel haliyle birtakım doğa olaylarının veya insani aktivitelerin sonucunda meydana gelen yıkım olarak tanımlanabilir. Afetin şiddetinin, meydana geliş zamanının ve yerinin rassallığı, afet olayının tekrarlanmayan ve bir kereye mahsus meydana geliyor oluşu ve bunlara bağlı olarak oluşabilecek potansiyel etkilerinin belirsizliği sebebiyle, afet öncesi ve sonrasında yürütülen faaliyetlerin yönetimi oldukça zor ve önemli bir konudur. Söz konusu rassallık ve belirsizliklerin yanı sıra son yıllarda artan dünya nüfusu ve altyapı karmaşıklığı da afet öncesi ve sonrası yönetilen birtakım operasyonları daha karmaşık ve kontrolü zor bir noktaya ulaştırmıştır. Bu kapsamda dinamik, gerçek zamanlı, etkili ve maliyet açısından da etkin çözümlerin üretilmesine duyulan ihtiyaç; söz konusu faaliyetlerinin başta yöneylem araştırması ve yönetim bilimleri olmak üzere, mühendislik alanındaki araştırmalara çok uygun bir çalışma alanı olarak ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Afet öncesinde, esnasında ve sonrasında yürütülen can ve mal kaybını önlemeyi, ekonomi ve çevre üzerindeki etkisini azaltmayı ve normal düzene dönmeyi amaçlayan çalışmalar afet operasyonları yönetimi olarak tanımlanmaktadır [1, 2]. Afet operasyonları yönetimi açısından bakıldığında ise afet, lokal kuruluşlar tarafından standart prosedürler doğrultusunda ele alınamayan insani, ekonomik ve çevresel hasara neden olarak toplumun işleyişini ciddi şekilde bozan şok edici bir olay olarak tanımlanabilir [3]. Sheu [4] ise afetin genellikle lokalde yer alan mevcut kaynakların miktarını aşan aşırı talepler ile sonuçlandığını belirtmiştir. Söz konusu kaynakların afetzedelerin ihtiyacını karşılamak amacıyla yönetiminin planlanması, akışının sağlanması ve kontrolünün gerçekleştirilmesine ilişkin sürece ise insani lojistik denmektedir. Fakat daha önce de belirtilen ve afetin kendi yapısından kaynaklanan rassallık içeren unsurlar ile oluşan talebin belirsizliği, afet sonrası kullanılmayan yollar, güvenlik zafiyeti, iletişimdeki kopukluklar ve kaynaklara erişimdeki güçlükler bu insani lojistik faaliyetlerini zorlaştırmaktadır [5]. Bu bağlamda, gerçek hayatta karşılaşılan belirsizlik ve düzensizlik içeren unsurları yansıtılabilmek amacıyla; insani lojistik faaliyetlerinin simülasyon bazlı bir yaklaşımla optimizasyonuna oldukça uygun bir yapı vardır.

Literatürde yer alan genel bir kabul ise afet sonrası *kritik süreç* olarak da adlandırılan ilk 72-saatlik süreçte, afet bölgesine ulaşamaması ve insani lojistik faaliyetlerinin standart bir şekilde yürütülememesidir. Olası bir afet durumunda, Xu vd. [6] tarafından yapılan çalışmada da belirttiği gibi, meydana gelen talep düzensiz ve dalgalanmalar içermekte ve bu nedenle insani lojistik faaliyetlerinin yönetimi zorlaşmaktadır. Özellikle ciddi hasar almayan bölgelerde, 2011 yılında Japonya'da meydana gelen Tohoku depreminde de olduğu gibi, aniden yüksek miktarda su ve yiyecek ihtiyacı oluşabilmektedir [7, 8].

Söz konusu insani lojistik faaliyetlerini organize eden ve yardım malzemesi dağıtımı, evsiz kalan kişilerin tahliyesi,

afetzedelerin tedavi amacıyla taşınması gibi aktivitelerden sorumlu birtakım kamu kurumları ve özel kuruluşlar bulunmaktadır. Bu kurum ve kuruluşların dünyadaki örnekleri arasında Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (Federal Emergency Management Agency – FEMA) ve Kızıllaç (Red Cross) bulunurken, bunların Türkiye'deki karşılıkları ise Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) ve Türk Kızılayı olarak gösterilebilir. Öte yandan, yukarıda da bahsedildiği gibi afet sonrası 72-saatlik kritik süreçte bu kurum ve kuruluşların afet bölgesine ulaşması ile ilgili meydana gelen gecikmeler nedeniyle, afet öncesinde yerel kaynakların kullanımı yüksek önem kazanmaktadır. Bu kaynakların kullanımına örnek olarak, afetzedelerin temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, yerel yönetimlerce çeşitli tesislerin konumlandırılması ve bu tesislerde depolanan su, yiyecek gibi yardım malzemelerinin dağıtım faaliyetleri gösterilebilir. Bu kapsamda, Cavdur vd. [9] tarafından yapılan çalışmada, merkezi kaynaklar afet bölgesine ulaşmaya kadar geçen süreçte, afetzedelerin temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yardım malzemelerinin depolandığı Geçici-Afet-Müdahale (GAM) tesislerinin yerleşimi problemi ele alınmıştır. Öte yandan, yerel kaynakların etkin kullanımı, bu kaynakların merkezi kaynaklar ile koordinasyonunun sağlanması ile mümkün olabilmektedir. Holguin-Veras vd. [7] de yapmış oldukları çalışmada, afet sonrası gerçekleştirilen çeşitli lojistik faaliyetlerinde, bu amaca hizmet veren kamu ve özel kuruluşlar arasındaki koordinasyonun sağlanması için destekleyici sistemlere ihtiyaç duyulduğunu vurgulamışlardır.

Bu çalışmada, yardım malzemesi dağıtım operasyonlarında merkezi ve yerel kaynakların eş zamanlı kullanımının analizi amacıyla bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Uygulama aşamasında, Türkiye'nin büyük şehirlerinden Bursa ilinin merkez ilçelerinden biri olan Yıldırım ilçesinde meydana gelebilecek olası bir deprem sonrası yardım malzemesi dağıtım faaliyetleri ele alınmaktadır. Bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesinde hem merkezi kaynakların (Türk Kızılayı) hem de merkezi kaynaklar afet bölgesine ulaşmaya kadar geçen süreçte, yerel kaynakların (GAM tesisleri) kullanımı söz konusudur. Geliştirilen simülasyon modelinin senaryolarını oluşturmak amacıyla, bir yapay sınır ağı kullanılarak deprem şiddeti tahmin edilmekte ve söz konusu deprem şiddeti ile ilişkili olarak *etkilenen nüfus oranı* ile *afet seviyesi* belirlenmektedir. Bu iki parametreye ek olarak, farklı GAM tesisi sayıları da bir diğer senaryo parametresi olarak dikkate alınmıştır. Böylelikle, (i) etkilenen nüfus oranı, (ii) afet seviyesi ve (iii) konumlandırılan GAM tesisi sayısı cinsinden farklı senaryolar ele alınmaktadır. Geliştirilen simülasyon modeli kendi içerisinde global ve lokal olmak üzere iki alt bileşenden oluşmaktadır. Global bileşen olarak adlandırılan yapıda, Türkiye'nin farklı illerinde yer alan afet yönetim merkezlerindeki Kızıllaç kaynaklarının afet bölgesine ulaşmaları dikkate alınırken; lokal bileşende ise afet bölgesindeki yardım malzemesi dağıtım süreci modellenmektedir. Global ve lokal bileşenlerdeki bu yapılar

birbiri ile senkronize bir şekilde çalışmakta ve detayları ilerleyen bölümlerde sunulan birtakım kontrol parametrelerine göre afetzedelerin hizmet alacağı birime karar verilmektedir. Afetzedeler belirli aralıklarla temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, GAM tesisleri ve Kızılay olmak üzere iki farklı lokasyona yönlendirilmektedirler.

Makalenin ilerleyen bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: İkinci bölümde, kaynak araştırması sunulmaktadır. Üçüncü bölümde, çalışma kapsamında ele alınan problem tanımı yapılmaktadır. Geliştirilen simülasyon modelinin detayları dördüncü bölümde açıklanmıştır. Söz konusu simülasyon modelinin senaryolarının oluşturulması amacıyla geliştirilen yapay sinir ağı temelli senaryo kurgusu beşinci bölümde anlatılmaktadır. Altıncı bölümde ise simülasyon modelinin uygulanması ve elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Yedinci ve son bölümde ise çalışmaya dair genel sonuç ve önerilerden bahsedilmektedir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Afetin yapısından kaynaklanan ve önceki bölümde bahsi geçen diğer çevresel faktörlerden dolayı, gerçek hayatta karşılaşılan belirsizlik ve değişkenlik içeren unsurları yansıtılabilmek amacıyla; afet operasyonları yönetimi başlığı altında ele alınan insani lojistik operasyonlarının simülasyon bazlı bir yaklaşımla optimizasyonuna oldukça uygun bir yapı vardır [10]. Bankes [11] yapmış olduğu çalışmada, afete ilişkin bilginin eksik olduğu ve/veya belirsizlik içeren, kolaylıkla çözümlenemeyen durumlar için simülasyonun kullanılmasını önermektedir. Özdamar ve Ertem [12] ise yapmış oldukları çalışmada insani lojistik faaliyetlerinde karşılaşılan iki temel problemden bahsetmişlerdir. Bunlardan ilki, büyük boyutlu problemleri çözmek için kabul edilemeyecek uzunluktaki çözüm süreleri iken; ikincisi ise afetleri çok basit veya çok karmaşık olmadan analiz eden sistemlerin eksikliğidir. Söz konusu problemlerle başa çıkmak için simülasyon kullanımının önemini vurgulamışlardır. Steward ve Wan [13] ise afet operasyonlarının yapısının, afet gerçekleşmeden önce sistemin davranışlarına ilişkin yapılan tahminlere ve bu operasyonların paydaşlarının amaçlarına bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Bu operasyonların ise simülasyon yaklaşımıyla geliştirilmesine oldukça uygun bir yapının olduğu ifade edilmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, simülasyon temelli yaklaşımların yoğun olarak tahliye operasyonlarının modellenmesinde ele alındığı görülmektedir. Söz konusu bu tahliye operasyonları ise Wagner ve Agrawal [14] tarafından yapılan çalışmada, (i) binalardan afetzedelerin tahliyesi, (ii) kentsel karayolları üzerinde afetzedelerin tahliyesi ve (iii) tahliye operasyonları boyunca afetzedelerin davranışlarının incelenmesi olmak üzere üç kategoride ele alınmıştır. Söz konusu çalışmada olası bir yangın durumunda afetzedelerin bir konser salonundan tahliyesi için ajan-tabanlı modelleme kullanan bir karar destek sistemi önerilmiştir. Ha ve Lykotrafitis [15] tarafından yapılan çalışma, bina tahliyesi ve afettede davranışlarının ele alındığı çalışmalara örnek

verilebilir. Söz konusu çalışmada kat planlarının, bina tahliyesi ve operasyonlarına olan etkisi araştırılmıştır. Simülasyon temelli bazı çalışmaların ise karar destek sistemi olarak tasarlandığı görülmektedir. Örneğin, Pidd vd. [16] tarafından yapılan çalışmada coğrafi bilgi sistemi ile de entegre bir şekilde, tahliye çalışmalarının planlanması amacıyla bir karar destek sistemi prototipi geliştirilmiştir. Coğrafi bilgi sisteminden gerçek zamanlı bilgiler alınarak, geliştirilen ayrık-olay sistem simülasyonu modeli çalıştırılmaktadır. Benzer şekilde, De Silva ve Eglese [17] simülasyon tekniklerini konumsal veri işleme ve coğrafi bilgi sisteminin görüntüleme yetenekleri ile birleştirerek, tahliye faaliyetlerinin planlanması için bir karar destek sistemi önermişlerdir.

Bir diğer tahliye operasyonu kategorisi olan ve kentsel karayolları üzerinden afetzedelerin tahliyelerinin ele alındığı çalışmalar incelendiğinde ağ-tabanlı trafik akışlarının modellendiği görülmektedir. Trafik simülasyon modelleri ise mikro, makro ve mezo olmak üzere farklı çözünürlüklerde ele alınmaktadır [18]. Chen ve diğerlerinin [19] yapmış oldukları çalışmada, Florida'nın olası bir kasırga durumunda tahliyesinin mümkün olup olmadığını, tahliye işlemleri için gereken süreyi ve tahliye yollarının hasar görmesi durumunda karşılaşılabilecek durumları analiz etmek amacıyla ajan-tabanlı bir mikro simülasyon modeli geliştirilmiştir. Chen ve Zhan [20] tarafından yapılan ajan-tabanlı simülasyon çalışmasında ise farklı senaryolar altında, tahliye stratejilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Burada eş zamanlı ve aşamalı olmak üzere iki farklı tahliye stratejisinin verimliliği analiz edilmiştir. Kimms ve Maassen [21] tarafından yapılan çalışmada, olası bir afet sonrası kentsel alanların tahliye edilmesi esnasında karmaşık bir yapının var olduğu vurgulanmıştır. İki aşamalı çözüm yaklaşımının ilk aşamasında, minimum ağırlıklı (riskli) toplam atanan araç sayısı ile trafik akışlarının rotalanması amaçlanmaktadır. Fakat gerçek hayatta dinamik bir ortam olduğundan, ikinci aşamada geliştirilen model ile söz konusu gerçek hayat problemindeki trafik akışları simüle edilmektedir. Zou vd. [22] ise yalnızca planlama aşamasında değil, afet esnasında gerçek zamanlı olarak da tahliye operasyonlarının optimizasyonuna imkan sunan simülasyon temelli bir sistem önermişlerdir.

Bazı çalışmalarda ise tahliye faaliyetleri ile kaynak tahsisi birbirine paralel olarak ele alınmaktadır. Söz konusu çalışmalara örnek vermek gerekirse, Albores ve Shaw [23, 24] tarafından, bir terör saldırısı örnek olayı için iki aşamalı bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. İlk aşamada, tahliye faaliyetleri için gerekli kaynak gereksinimleri ele alınırken, ikinci aşamada ise merkezi ve merkezi olmayan kaynakların bölgeler arası atamaları gerçekleştirilmektedir. Tahliye faaliyetlerinin yanı sıra, yaralıların ilgili tesislere (acil servislere) taşınmalarını ele alan birtakım simülasyon çalışmaları da mevcuttur [25]. Yukarıda örnekleri verilen tahliye faaliyetlerinden farklı olarak Chiu ve Mirchandani'nin [26] çalışmasında, tahliye yolları arasındaki dağılımı dengelemek ve tahliye personelinin daha iyi yönlendirilebilmesi amacıyla gerçek-zamanlı veri ile

çalışan ve olası rota seçimlerinin tahliye faaliyetlerine etkisinin ele alındığı bir model ve geri bildirim sistemi önerilmiştir. Sheffi vd. [27] tarafından yapılan çalışmada ise bir nükleer enerji santralinin etkisinde kalan alanın tahliye edilmesine ilişkin operasyonlar boyunca trafik durumunun analiz edilmesi amacıyla bir makro simülasyon geliştirilmiştir.

Birtakım çalışmalarda ise simülasyon temelli yaklaşımlar, direkt olarak bir optimizasyon modülü olarak kullanılmayıp, farklı yöntemlerle elde edilen sonuçların geçerliliğinin sınanması veya gerçek hayattaki belirsizlik içeren unsurlar altında incelenmesi amacıyla ele alınmaktadır. Fikar vd. [8] tarafından yapılan çalışmada, ajan-tabanlı bir simülasyon modeli geliştirilmiş olup; bir karışık tamsayılı programlama modeli sonucunda optimize edilen yardım faaliyetlerinin birçok talep kümesi üretilerek incelenmesi, rotalanması, çizelgelenmesi ve çözümlerin gösterilmesi amaçlanmıştır. Fikar vd. [28] tarafından sunulan bir başka çalışmada ise geliştirilen ajan-tabanlı simülasyon modeli, bir deprem örnek olayı için farklı senaryolar altında test edilmiştir. Tovia [29] ise önermiş olduğu müdahale modelinin mevcut durumla karşılaştırılması için bir ayrık-olay simülasyonu geliştirmiştir. Veri tabanından geçmiş kasırgalara ilişkin bilgileri alarak, söz konusu parametreler altında tahliye faaliyetlerini simüle etmektedir.

Literatürde Monte Carlo simülasyonu temelli yaklaşımların da afet operasyonları yönetiminde kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, Afshar vd. [30] tarafından yapılan çalışmada ise iki-aşamalı bir optimizasyon yaklaşımı önerilmiştir. Sel afeti için araç rotalama problemi ele alınmış olup; sel şiddeti ve su basıncındaki stokastik yapının tahmin edilmesinde ve selin seyrine ilişkin hidrolojik belirsizliklerin etkisinin incelenmesinde Monte Carlo simülasyonu tekniği kullanılmıştır. Beklenen hasar maliyetini ve ilk inşaat maliyetini en aza indirmek amacıyla bir gürbüz genetik algoritma kullanılmıştır. Mahecha ve Akhavan-Tabatabaei [31] tarafından yapılan çalışmada ise bir tesis konumlandırma problemi için minimum maliyet ile en az belirli bir oranda afetzedeyi kapsamayı amaçlayan bir tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Söz konusu bu model ile elde edilen sonuçlar, bir Monte Carlo simülasyonu aracılığıyla mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Banomyong ve Sopadang [32] ise müdahale faaliyetlerinin planlanması ve iyileştirilmesi için genel bir Monte Carlo simülasyonu temelli model önermişlerdir. Tong vd. [33] tarafından sunulan çalışmada geleneksel  $p$ -medyan modeli tabanlı bir tesis yeri seçimi problemi ele alınmış, stokastik yol hasarı durumunu simüle etmek için Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır.

Simülasyon temelli çalışmaların uygulandığı bir diğer afet operasyonları yönetimi çalışma alanı ise lojistik faaliyetlerinin ele alındığı tesis konumlandırma, yardım malzemesi dağıtımı ve yaralıların taşınması gibi problemlerdir. Bazı çalışmalarda bu problemler entegre bir şekilde ele alınırken, bazı çalışmalarda ise genel bir kaynak konumlandırma problemi olarak sunulmaktadır. Hawe vd. [34] tarafından yapılan çalışmada, yaralıların hastaneye

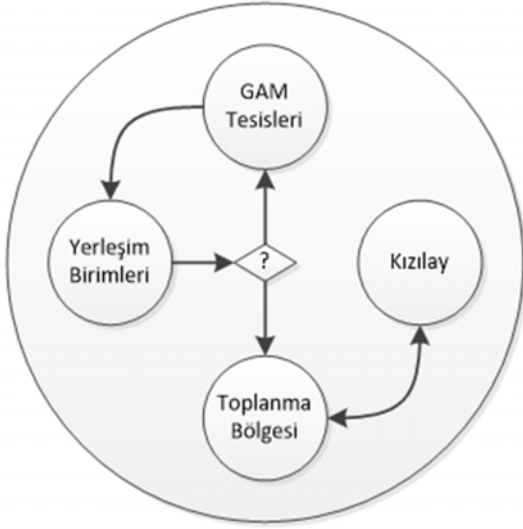
taşınma süreçlerinde en son ulaştırılan hastanın ulaşma süresini minimize etmeyi amaçlayan ajan-tabanlı bir simülasyon aracılığıyla kaynak ataması yapılmaktadır. Norena vd. [35] yaralıların geçici ve devamlı hastanelere taşınma süreçlerinin modellenmesi için ayrık-olay simülasyonu geliştirmişlerdir. Kılıç vd. [36] ise afet sonrası yaralıların taşınması ve sonrasında acil servislerde tedavi uygulamalarının entegre bir şekilde ele alındığı bir simülasyon modeli önermişlerdir. Parwanto vd. [37] tarafından yapılan çalışmada ise afet sonrası su, gıda ve tıbbi malzeme gibi yardım malzemelerinin minimum ulaşma süresi ile dağıtım problemi ele alınmıştır. Gerçek hayatta karşılaşılan belirsizlik unsurlarının yansıtılabilmesi amacıyla Monte Carlo simülasyon tekniğinden yararlanılmıştır. Lee vd. [38] tarafından ele alınan çalışmada ise beslenme gibi temel insani ihtiyaçları karşılamak amacıyla, afet bölgesinde yerel düzeyde dağıtım yapılan malzemelerin ilk tedarikçiden son kullanıcıya kadar olan akışı çeşitli senaryolar altında analiz edilmiştir. Krejci [39] insani tedarik zincirindeki birtakım koordinasyon mekanizmalarının verimliliği ve etkinliği sağlayıp sağlamadığını belirlemek için ajan-tabanlı simülasyon ve ayrık-olay simülasyonu kullandığı hibrit bir çalışma sunmuştur. Wu vd. [40] tarafından yapılan çalışmada ise diğer kaynak atama çalışmalarından farklı olarak kullanma tarihi bulunan kaynakların yenilenmesi de dikkate alınmıştır.

### 3. PROBLEM TANIMI (PROBLEM DEFINITION)

Bu çalışmada afet sonrası kısa vadede gerçekleştirilen müdahale faaliyetleri kapsamında; merkezi ve yerel kaynakların kullanımı analiz edilmektedir. Bu kapsamda, merkezi kaynakların (Kızılay'ın) afetzedelerin temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yardım malzemesi dağıtım faaliyetlerine paralel olarak, Kızılay'ın afet bölgesine ulaşmasına kadar geçen süreçte, söz konusu yardım malzemelerinin depolandığı ve yerel yönetimlerce önceden konumlandırılan GAM tesislerinden yapılan yardım malzemesi dağıtım faaliyetleri ele alınmaktadır. Çalışma kapsamında deprem olayı ele alınmış olup; Türkiye'nin büyük şehirlerinden Bursa ilinin merkez ilçelerinden biri olan Yıldırım ilçesinde meydana gelebilecek olası bir afet sonrası yardım malzemesi dağıtım faaliyetleri analiz edilmiştir. Şekil 1'de afet bölgesinde yürütülen yardım malzemesi dağıtım süreçlerinin gösterimi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi afetzedeler belirli aralıklarla temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, ilerleyen bölümde detayları verilen birtakım kontrol parametrelerine göre GAM tesisleri veya Kızılay olmak üzere iki farklı lokasyona yönlendirilmektedirler.

Simülasyon modelinde hizmet alınabilecek merkezi kaynakların kapsamı ise afet seviyesi kavramına bağlı olarak belirlenmektedir. Burada bahsi geçen afet seviyesi ve ona bağlı olarak meydana gelen etkinin derecesi AFAD tarafından hazırlanan Türkiye Afet Müdahale Planı'nda (TAMP) yer aldığı gibi ele alınmış olup; Tablo 1'de gösterilmektedir [41]. Bu kapsamda 1 seviyesinde bir afet meydana geldiğinde herhangi bir merkezi kaynak

çağırılmamaktadır. Bir başka deyişle, lokal yönetimce önceden konumlandırılmış GAM tesislerinden talebin karşılandığı bir yapı söz konusudur. 2 seviyesinde bir afet meydana geldiğinde destek il(ler)deki kaynaklar çağırılırken, 3 ve 4 seviyesinde bir afet meydana geldiğinde ise tüm Türkiye'deki kaynaklar çağırılmaktadır. Kızılay'ın tüm Türkiye'deki afet yönetim merkezlerinde yer alan mevcut mobil mutfaklarına ilişkin bilgiler Bursa İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'nce hazırlanan Bursa Yerel Düzey Beslenme Hizmet Grubu Operasyon Planı'ndan elde edilmiş olup, söz konusu afet yönetim merkezleri global modelde birer tedarikçi lokasyon olarak ele alınmaktadır. Afet bölgesi ise talep lokasyonu olarak nitelendirilebilir.



**Şekil 1.** Yardım malzemesi dağıtım sürecinin gösterimi  
(Representation of the relief supplies distribution process)

**Tablo 1.** Afet seviyesi-etki derecesi tablosu  
(Disaster level-effect level table from ) [41]

Afet Seviyesi	Etki Derecesi
1	Yerel imkanlar yeterlidir.
2	Destek illerin takviyesine ihtiyaç vardır.
3	Ulusal desteğe ihtiyaç vardır.
4	Uluslararası desteğe ihtiyaç vardır.

Simülasyon modelinde dikkate alınan birtakım varsayımlar ise aşağıdaki gibidir:

- Uygulama aşamasında afet bölgesi olarak Bursa ilinin Yıldırım ilçesi dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla bütün kaynaklar bu bölgeye yönlendirilmektedir.
- GAM tesisleri, afetzedelerin mahallelerinde yürüyüş mesafesinde yer almakta ve afetzedeler belirli aralıklarla buldukları konumlardan GAM tesislerinin yer aldığı konumlara gidip gelmektedirler.
- Kızılay kaynakları, yerel yönetimlerce yeri önceden belirlenen toplanma bölgelerine yakın bir lokasyona gelmekte ve GAM tesislerinin her mahallede bulunan dağınık yapılarının aksine, belirli bir konumda

bulunmaktadırlar. Bir başka deyişle, Kızılay kaynakları toplanma bölgesi ve/veya çadır kentler gibi yerleşik yapıdaki lokasyonlara gelmektedirler.

- Kızılay kaynaklarının afet bölgesine ulaşmaya başlaması ile birlikte Kızılay lokasyonunun kapasitesi güncellenerek, mevcut Kızılay kapasitenin hizmet verebileceği sayıda afetzede GAM tesisinden hizmet almayı bırakarak toplanma bölgesine yönlendirilmektedir.
- Afet bölgesine ulaşmaya başlayan Kızılay kaynakları, uygulamanın yapıldığı ilçedeki mahallelerin taleplerini homojen olarak karşılamaktadır. Gerekli bilgi akışı yerel yönetimce sağlanmakta ve tam olarak Kızılay'ın hizmet verebileceği sayıda afetzede Kızılay'dan hizmet almak üzere ilgili birime yönlendirilmektedir.
- Afet seviyesi 4 için ihtiyaç duyulan uluslararası kaynakların varlığı göz ardı edilmektedir.
- Afet sonrası 72-saatlik kritik süreçteki yardım malzemesi dağıtım faaliyetleri ele alınmaktadır.
- Afetzedeler 8-saatlik aralıklarla hizmet almaktadır. (Afetzedelerin öğün mantığı ile planlama periyodu (72 saat) boyunca 8-saatlik döngüler ile beslenme ihtiyaçlarını karşılamak üzere talep üretilmektedir.)
- 1 afetzede varlığı ile 1.000 kişi temsil edilmektedir.
- 1 birimlik hizmet birimi (kaynak) ile 1.000 birimlik hizmet temsil edilmektedir.

İlk maddede belirtilen tüm kaynakların sadece uygulamanın yapıldığı ilçeye yönlendirildiği varsayımının, gerçek hayatta uygulanabilirliği düşük olmakla birlikte, bu durum yalnızca geliştirilen modelin ele alınan örnek olay için kurgulanmış şeklidir. Öte yandan, geliştirilen simülasyon modeli afet bölgesine yönlendirilecek kaynakların istenen şekilde ve adette belirleneceği esnek bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla gerekli olması durumunda, farklı bölgelere farklı kaynaklar gönderilerek uygulamanın yapıldığı bölgeye gönderilen kaynaklar düzenlenebilir. Simülasyon modelinin esnek yapısı ile gerçek hayattaki koşullar yönetilebilir.

#### 4. SİMÜLASYON MODELİ (SIMULATION MODEL)

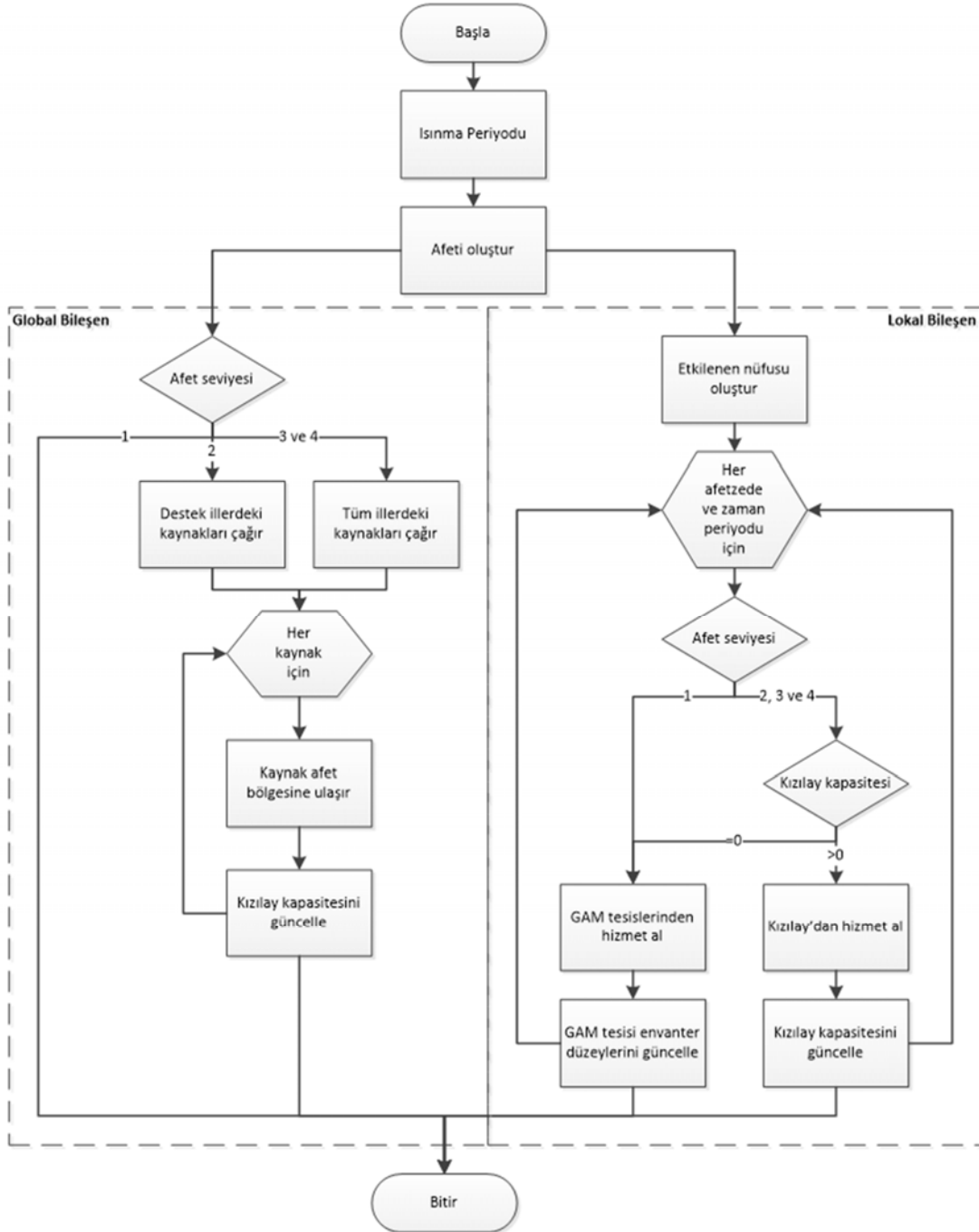
Çalışma kapsamında geliştirilen simülasyon modelinde, yardım malzemesi dağıtım faaliyetlerinde merkezi ve yerel kaynakların kullanımı analiz edilmektedir. Bu kapsamda, merkezi kaynakların (Kızılay'ın) afetzedelerin temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yardım malzemesi dağıtım faaliyetlerine paralel olarak, Kızılay'ın afet bölgesine ulaşmasına kadar geçen süreçte, söz konusu yardım malzemelerinin depolandığı ve yerel yönetimlerce önceden konumlandırılan GAM tesislerinden yapılan yardım malzemesi dağıtım faaliyetleri dikkate alan bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Buna ek olarak, geliştirilen simülasyon modelinde söz konusu tesislerdeki envanter seviyeleri de merkezi kuruluşların yardım malzemesi dağıtım operasyonları ile eş-zamanlı olarak takip edilmektedir.

İki alt bileşenden oluşan simülasyon modelinin global bileşen olarak adlandırılan yapısında birtakım belirsizlik unsurları altında, Kızılay'ın afet bölgesine ulaşması

modellenmektedir. Diğer bileşen olan ve lokal bileşen olarak adlandırılan yapıda ise afetzedelerin temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yapılan yardım malzemesi dağıtım faaliyetleri simüle edilmektedir. Simülasyon modelinin lokal bileşeninde, (i) Kızılay ve (ii) GAM tesisleri olmak üzere iki farklı hizmet birimi ele alınmaktadır. Yardım malzemesi dağıtım faaliyetleri kapsamında, etkilenen nüfus olarak, ağır yaralı ve can kaybı dışında kalan gündelik yaşamına devam etmekte olan afetzedeler ele alınmış olup; afetzedelerin temel ihtiyaçlarını (örneğin, beslenme) karşılamak amacıyla Kızılay'a ait mobil mutfaklar, GAM tesislerinde

konumlandırılmak üzere ise yardım malzemesi kitleri ele alınmaktadır.

Geliştirilen simülasyon modelinin mantıksal akış şeması Şekil 2'de verilmiştir. İlerleyen sayfalarda detayları anlatılan başlangıç koşullarının oluşturulmasının ardından, global bileşende, afet bölgesinde afetin meydana gelmesi ile birlikte, hayali bir varlık oluşturulmaktadır. Bu varlık kullanılarak, meydana gelen afetin seviyesine bağlı olarak tedarikçi lokasyonlarda yer alan Kızılay kaynakları (mobil mutfakları) afet bölgesine çağırılmaktadır.



Şekil 2. Simülasyon modelinin akış şeması (Flow chart of the simulation model)

Kaynakların afet bölgesine çağırılması ile birlikte afetin yapısı gereği gerçek hayatta meydana gelebilecek birtakım değişkenlik ve belirsizlik içeren unsurları yansıtmak amacıyla gecikmeler oluşturulmaktadır. Burada gecikmeye neden olan (i) hazırlık, (ii) yolculuk ve (iii) kurulum olmak üzere üç farklı süreç ele alınmaktadır. Bir başka şekilde ifade etmek gerekirse; Kızılay kaynağının afet bölgesine çağırıldığı andan itibaren hizmet vermeye başlayıncaya kadar geçen sürenin hesaplanmasında üç farklı gecikme unsuru ele alınmaktadır. Bunlardan ilki, hazırlık olup; afetin meydana geldiği zamanın belirsizliği, iletişimde meydana gelebilecek aksaklıklar dolayısıyla ilgili kaynağın tedarikçi lokasyondaki hazırlık faaliyetlerini içeren gecikmeleri ifade etmektedir. Bir diğeri olan yolculuk, ilgili kaynağın tedarikçi lokasyon ile afet bölgesi arasındaki yolda geçirdiği süreyi ifade etmektedir. Kurulum ise ilgili kaynağın afet bölgesine ulaştıktan sonra afet bölgesindeki belirsizlikler ve kaos ortamı nedeniyle kurulumunun gerçekleştirilmesine ilişkin gecikmeleri içermektedir. Söz konusu gecikmelerin meydana gelmesinin ardından ilgili Kızılay kaynağı hizmet vermeye hazır durumdadır ve lokal modelde temsili olarak ele alınan “Kızılay” lokasyonunun kapasitesi söz konusu kaynağın hizmet kapasitesi kadar arttırılmaktadır. Simülasyon modeli boyunca söz konusu global ve lokal bileşenler eş zamanlı olarak çalışmaktadır. Bu işlem tüm Kızılay kaynakları afet bölgesine ulaşıncaya kadar devam etmekte ve Kızılay kaynaklarının afet bölgesine ulaşmasına bağlı olarak eş-zamanlı olarak güncellenmektedir.

Lokal bileşende ise afet bölgesinde afetin meydana gelmesi ile afetzedelerin konumlarını temsilen tanımlanan bir lokasyonda etkilenen nüfus oluşturulmaktadır. Afetzedeler lokasyon kapasiteleri ve afet seviyesi gibi birtakım parametreler doğrultusunda taleplerini karşılamak üzere ilgili lokasyona yönlendirilmektedirler. Global bileşende, yukarıda da anlatıldığı gibi, Kızılay'a ait kaynakların afet bölgesinde hizmet vermeye hazır duruma gelmeleri ile birlikte, lokal bileşende yer alan Kızılay lokasyonunun kapasitesi, ilgili kaynağın hizmet kapasitesi kadar arttırılmaktadır. Bu kapasiteye bağlı olarak afetzedelerin taleplerini Kızılay lokasyonu veya GAM tesislerinden karşılamalarına ilişkin karar verilmektedir. Burada daha önce de bahsedildiği gibi, 1 seviyesindeki bir afet için afet bölgesinde lokal kaynaklar kullanılarak talep karşılanmaktadır. Bir başka deyişle, Kızılay kaynakları çağırılmaksızın yalnızca GAM tesislerinden talebin karşılandığı bir yapı söz konusudur. Diğer seviyelerde ise afetzedelerin izleyecekleri rotalar belirlenirken Kızılay lokasyonunun kapasitesi doğrultusunda karar verilmektedir. Bununla birlikte, tanımlanan model değişkenleri ile GAM tesislerinin envanter takibi yapılmakta ve GAM tesislerinde yeterli kapasite bulunmaması durumunda karşılanamayan talep miktarı negatif envanter ile ilişkilendirilmektedir. Böylelikle olası bir afet senaryosu için meydana gelen talebin ne kadarının Kızılay'ın kaynakları tarafından, ne kadarının GAM tesislerince karşılandığı ve ne kadarının karşılanmadığı bilgisine ulaşılmaktadır. Şekil 3'te lokal bileşende, afetzedelerin yönlendirilmesine ilişkin izlenen adımlar özetlenmiş olup; daha önce de bahsedildiği gibi,

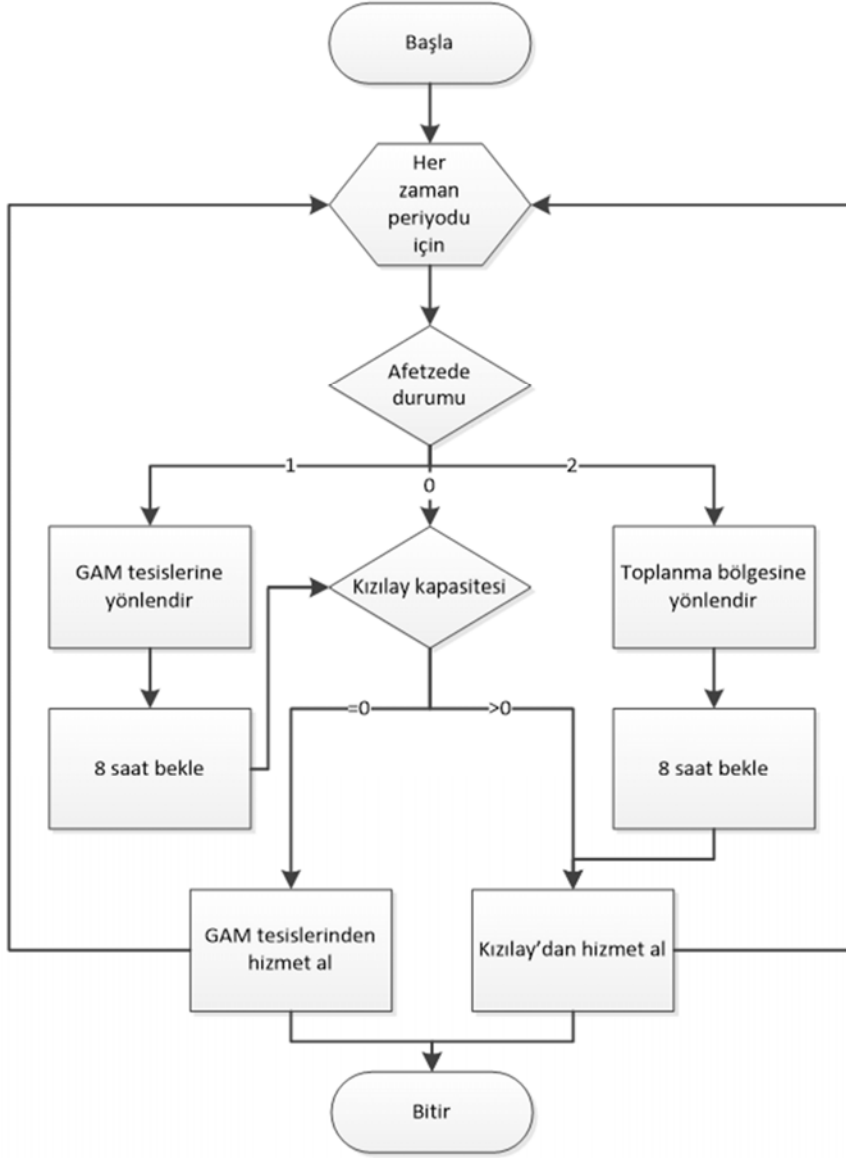
öğün mantığı ile planlama periyodu (72 saat) boyunca 8-saatlik döngüler ile afetzedelerin talepleri oluşturulmaktadır. Afet ilk meydana geldiğinde direkt olarak afetzedeler taleplerini karşılayacakları rotalara yönlendirilirken, sonraki öğünlerde izleyecekleri rotalara karar vermek amacıyla afetzede varlığına tanımlanan bir özellik kullanılmıştır. Bu özellik afetzedelerin; (i) hiç hizmet almamış olmak, (ii) en az bir kez GAM tesislerinden hizmet almış olmak ve (iii) en az bir kez Kızılay'dan hizmet almış olmak üzere üç farklı durumuna göre sırasıyla 0, 1 ve 2 değerlerini almakta ve buna bağlı olarak da afetzedelerin izleyecekleri rota belirlenmektedir. Örneğin; afet meydana geldikten hemen sonra afetzedeler hiç hizmet almadıkları için direkt olarak hizmet alacakları birime yönlendirilirken, GAM tesislerinden veya Kızılay'dan hizmet aldıktan sonra bir sonraki öğüne kadar 8 saat bekletilecekleri (toplanma bölgesi gibi) lokasyonlara yönlendirilmektedirler.

Şekil 3'te de görüldüğü gibi, GAM tesisleri merkezi kaynaklar afet bölgesine ulaşıncaya kadar geçen süreçte afetzedelerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere hizmet veren ve merkezi kaynaklar afet bölgesine ulaşmaya başlayınca görevini tamamlayan geçici tesislerdir. Kızılay kaynaklarının afet bölgesine ulaşmaya başlamaları ile birlikte, GAM tesislerinin tüketimi gelen Kızılay kaynağının kapasitesi kadar azalmaktadır. Kızılay kaynakları ise sürekli dinamik olarak beslenen bir yapıda ve GAM tesislerinin aksine kalıcı olarak afetzedelere yardım malzemesi dağıtımını yapan kaynaklardır. Dolayısıyla Kızılay lokasyonuna yönlendirilmiş bir afetzede, 72-saatlik planlama periyodu boyunca buradan talebini karşılamaktadır. Kızılay'ın kapasitesinin azalması durumunda ise çeşitli özel kuruluşlardan malzeme satın alınması, sivil toplum kuruluşlarınca bağış yapılması vb. şekillerde dinamik olarak bu lokasyona besleme yapılmaktadır.

Geliştirilen bu simülasyon modelinde durdurma kriteri olarak toplam hizmet süresi ele alınmış olup, bu süre afet sonrasındaki kritik süreç olan ilk 72-saatlik zaman dilimini ifade etmektedir. Bununla birlikte, söz konusu 72-saatlik zaman diliminin doğrudan simülasyon zamanı olarak dikkate alınması, başlangıç koşullarının oluşturulması ile ilgili sürecin modellenmesindeki sıra dışı durum nedeniyle, sistemin doğru modellenmesi açısından uygun olmamaktadır.

Simülasyon modelinden elde edilen çıktıların afet meydana geldiği andan itibaren dikkate alınması gerekmektedir. Normal koşullarda afetin meydana geldiği zamana kadar geçen süre, bir ısınma (warmup) periyodu olarak tanımlanarak bu gerçekleştirilebilir. Bu şekilde tanımlanmış olan bir ısınma periyodu, genel olarak sistemin kararlı hale ulaşmasını sağlamak amacıyla ısınma periyodu tanımlamaktan farklı olarak, çalışma kapsamında simülasyon başlangıç koşullarını oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. Öte yandan, geliştirilen simülasyon modelinde, afetin meydana gelme zamanı da Kızılay kaynaklarının Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde yer alan afet yönetim merkezlerine konumlandırılmalarının





Şekil 3. Lokal bileşen akış şeması (Flow chart of the local component)

tamamlanmasına ve kaynak hızlarına bağlıdır. Bu nedenle, söz konusu başlangıç koşullarını oluşturma süreci çeşitli rassal değişkenlere bağlı olmakta ve sabit bir ısınma periyodunun kullanımı uygun olmamaktadır. Bu başlangıç koşullarını oluşturma sürecini doğru bir şekilde tanımlamak amacıyla, Şekil 4'te görüldüğü gibi afet gerçekleşmeden önce Türkiye'deki afet yönetim merkezlerine ilgili kaynakların atanmasının tamamlanması gerekmektedir.

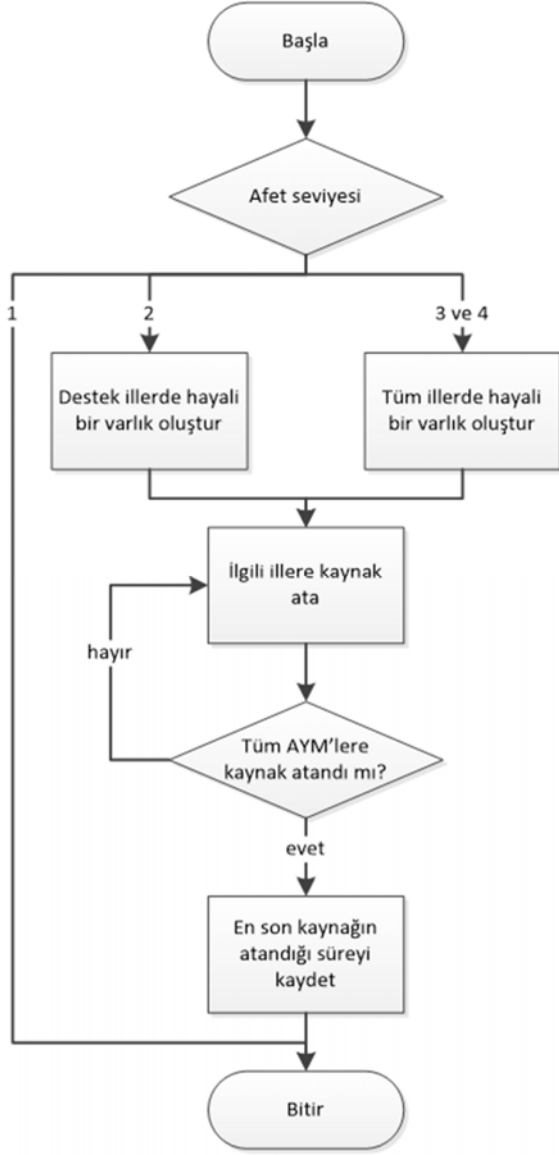
Bu amaçla, simülasyon modeli çalıştırılmadan önce test koşulları yapılarak, Kızılay kaynaklarının ilgili lokasyonlara konumlandırılması süreci bu koşulların her biri için kaydedilerek, bütün tamamlanma süreleri arasındaki en büyük süre tespit edilmiş ve bu süre ısınma periyodu olarak ele alınmıştır. Bir başka deyişle, ısınma periyodunun bu şekilde belirlenmesi ile afet gerçekleşmeden önce bütün Kızılay kaynaklarının ilgili afet yönetim merkezlerine ulaşmaları sağlanarak, afet gerçekleştiği anda simülasyon

modelinin başlangıç koşulları doğru bir şekilde yansıtılmaktadır. Söz konusu ısınma periyodunun belirsizliğine bağlı olarak, 72 saat olarak planlanan simülasyon çalışma süresi de standart bir süre ile ifade edilememektedir. Bu amaçla, temsili bir zamanlayıcı lokasyon tanımlanmış olup, simülasyon modelinin çalışmaya başladığı andan itibaren bu lokasyona 8-saatlik aralıklarla hayali bir varlık gönderilerek; simülasyon zamanı kontrol edilmekte ve bu süre ısınma periyodu ile 72-saatlik planlama periyodunun toplamına ulaştığı an simülasyon modeli sonlandırılmaktadır.

### 5. SENARYO OLUŞTURMA SÜRECİ (SCENARIO CONSTRUCTION PROCESS)

Simülasyon modelinin senaryolarının oluşturulması amacıyla Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'nun (United States Geological Survey – USGS)

Önemli Depremler Arşivi'nde (Significant Earthquakes Archive) yer alan depremler kullanılmıştır [42]. Gerek Türkiye'deki önemli depremleri (örneğin, Van depremini) gerekse dünyadaki önemli depremleri (örneğin, Tohoku depremini) içermesi ve farklı büyüklükteki depremlerin varlığı sebebiyle 2011 yılı verileri kullanılmıştır.



**Şekil 4.** Isınma periyodunun belirlenmesi için akış şeması  
(Flow chart for determination of the warm-up period)

USGS'nin internet sitesi üzerinde afetzedelere sorulan "Depremi hissettiniz mi? (Did you feel it?)" başlığı altında yer alan afetzedelerin vermiş oldukları cevaplar doğrultusunda, deprem şiddetlerine ilişkin bilgiler elde edilmiştir. Burada, deprem şiddeti ve deprem büyüklüğünün iki farklı kavram olarak tanımlanmış olduğuna dikkat edilmelidir. Deprem şiddeti olarak adlandırılan kavram, herhangi bir derinlikte olan depremin yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak

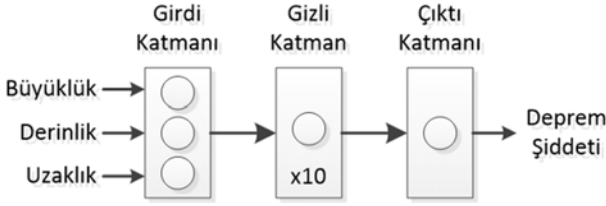
tanımlanırken; deprem büyüklüğü deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanır ve büyüklük değeri Richter tarafından bulunan bir yöntemle hesaplanır. Bu bağlamda geliştirilen bağıntılar hakkında detaylı bilgi edinmek isteyen okuyucular Richter'in çalışmasını inceleyebilirler [43]. Söz konusu çalışmada da sunulduğu gibi depremlerin şiddetleri ve büyüklükleri arasında birtakım ampirik bağıntılar çıkarılmıştır. Deprem şiddeti kavramı, depremin yeryüzündeki etkilerini ifade etmekle birlikte, deprem şiddetine etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Deprem esnasında bulunulan konum, içinde bulunulan binanın yapısı, zeminin durumu, uyanık olup olmama gibi birçok faktör deprem şiddetini etkilemektedir. Bu çalışmada ise deprem şiddeti ile Tablo 2'de yer alan depremin büyüklüğü, derinliği ve ilgili soruya cevap veren afetzedenin deprem merkez üssüne olan uzaklığı ilişkilendirilerek deprem şiddet tahmini yapılmaktadır. Bu kapsamda uluslararası standartlara uygun olarak tabloda görüldüğü gibi büyüklük ve derinlik kavramlarına ilişkin altı kategoriden oluşan bir sınıflandırma baz alınmıştır. Uzaklık değeri ise benzer şekilde, deprem şiddeti açısından anlamlı sonuçların elde edildiği altı kategoriye ayrılmıştır. Böylelikle 216 farklı kategori oluşturulmuş ve USGS'nin veri tabanında yer alan 2011 yılına ait önemli depremlere ilişkin büyüklük, derinlik ve uzaklık değerlerine ilişkin deprem şiddeti değerleri ilgili veri tabanından elde edilmiştir.

Bu kapsamda USGS'nin "Depremi hissettiniz mi?" sayfasında afetzedelerin deprem esnasında buldukları konuma, sarsıntıyı tanımlama biçimlerine, etrafındaki insanların ve nesnelerin durumuna, vermiş oldukları reaksiyona ve çevrede meydana gelen hasara ilişkin birtakım cevaplara bağlı olarak söz konusu depreme ilişkin şiddet değeri hesaplanmaktadır. Deprem Şiddet Cetveli'nde, deprem şiddeti ile meydana gelen sarsıntı ve hasar arasında direkt olarak bir ilişkinin varlığından bahsedilebilir [44]. Bu kapsamda Wood ve Neumann [45] tarafından geliştirilen 12 sınıflık tanımlama kullanılırken, USGS [44] tarafından kullanılan cetvelde 10 ve üzeri şiddet değerleri tek bir sınıfta ele alınmaktadır. En genel haliyle, 5 ve üzeri şiddet değerine sahip depremler için talebin meydana geldiği, 7 şiddetindeki bir depremde tüm afetzedelerin buldukları binalardan dışarı çıktığı, 10 ve üzerindeki şiddet değerine sahip depremlerden sonra coğrafyanın değiştiği ve nüfusun büyük ölçüde yok olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, USGS'nin veri tabanında en büyük şiddet değeri olarak 9 değeri yer almaktadır.

USGS veri tabanından elde edilen veriler bir yapay sinir ağı aracılığıyla senaryolaştırılmış ve yukarıda yer alan bilgiler doğrultusunda birtakım ön işlemlerden geçirilerek simülasyon modelinin girdisi olarak ele alınmıştır. Şekil 5'te yer alan yapay sinir ağının yapısı incelendiğinde; (i) depremin büyüklüğü, (ii) depremin derinliği ve (iii) afetzedenin deprem merkez üssüne olan uzaklığı olmak üzere üç adet girdi ve deprem şiddeti olmak üzere bir adet çıktıyı içermektedir. Oluşturulan yapay sinir ağı on nörondan oluşan bir gizli katman içermektedir. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağı ileri beslemeli (feed forward) bir ağ olup;

eğitiminde geriye yayılım (back propagation) algoritması kullanılmıştır.

Yapay sinir ağı sonucunda her kategori için deprem şiddetleri elde edilmiş olup, yukarıda anlatılan bilgiler doğrultusunda bu senaryolar birtakım ön işlemlerden geçirilerek simülasyon modeline girdi oluşturabilecek senaryolar olarak ele alınmıştır. Bu kapsamda elde edilen senaryolar ve uygulamaya ilişkin esaslar Bulgular ve Tartışmalar başlığı altında sunulmuştur.



Şekil 5. Yapay sinir ağının yapısı (The structure of the artificial neural network)

Çalışma kapsamında geliştirilen metodolojinin uygulanmasına ilişkin detaylar Şekil 6'da gösterilmiş olup; öncelikle USGS veri tabanından elde edilen deprem şiddeti değerleri birtakım veri ön işlemlerinden geçirilerek yapay sinir ağının girdisi olarak ele alınmaktadır. Yapay sinir ağı sonucunda her bir büyüklük, derinlik ve uzaklık kategorisi için elde edilen şiddet değerleri ise birtakım varsayımlar altında senaryolaştırılmaktadır. Ardından, simülasyon modeli çalıştırılarak elde edilen sonuçlar yorumlanmaktadır.

Simülasyon modelinin senaryolarını oluşturmak amacıyla, USGS veri tabanından, 2011 yılında meydana gelmiş ve Önemli Depremler olarak tanımlanmış 161 adet depreme ait "Depremi hissettiniz mi?" raporları elde edilmiştir. Önceki bölümde bahsedildiği gibi, söz konusu depremlere ait

büyüklik ve derinlik değerlerinin yanı sıra, depreme ilişkin soruları yanıtlayan afetzedelerin deprem merkez üssüne olan uzaklıkları ve ilgili uzaklık değeri için kaç adet afetzedenin yanıt verdiği de girdi parametreleri arasında yer almaktadır. Söz konusu 161 adet depreme ilişkin 30.263 adet veri; depremin büyüklüğü, derinliği ve afetzedelerin uzaklıklarına göre önceden tanımlanan 216 kategoride gruplandırılarak ve ilgili kategoriye ait nihai deprem şiddeti değeri yanıt sayısı ile ilişkilendirilerek hesaplanmıştır. Örneğin, toplam cevap sayısının 106 olduğu; 1 büyüklük kategorisi, 1 derinlik kategorisi ve 1 uzaklık kategorisindeki bir deprem için kaç kişinin hangi şiddet değerini verdiği Tablo 3'te gösterilmiştir. Bu deprem için nihai deprem şiddeti, toplam cevap sayısına göre ağırlıklı ortalaması alınarak 4,73 olarak hesaplanmıştır.

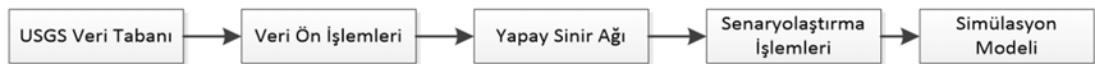
Benzer şekilde tüm kategorilere ait nihai deprem şiddeti değerleri, toplam cevap sayısı ile ilişkilendirilerek hesaplanmış ve oluşturulan yapay sinir ağına girdi olarak sunulmuştur. Yapay sinir ağının eğitimi için farklı başlangıç koşulları kullanılarak, performans açısından tatmin edici sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Yapay sinir ağının eğitiminde kullanılan veri eğitim, test ve doğrulama amacıyla üç sınıfa ayrılarak yapay sinir ağının eğitim sürecinde kullanılmıştır. Her üç sınıfta ve genel olarak tatmin edici ( $R > 0,9$ ) sonuçlar elde edilmiştir. Böylelikle, yapay sinir ağının eğitimi tamamlanmış olup kullanıma hazır hale gelmiştir. Bir başka deyişle, eğitimi tamamlanmış olan yapay sinir ağı önceki bölümde bahsedilen 216 farklı girdi kombinasyonu için deprem şiddeti değerleri tahmin etmeye hazır durumdadır ve bu girdilere ait deprem şiddeti değerleri yapay sinir ağından elde edilmiştir.

Yapay sinir ağından elde edilen deprem şiddeti değerleri simülasyon modelinde senaryo parametresi olarak tanımlanan, afet seviyesi ve etkilenen nüfus kavramları ile ilişkilendirilerek simülasyon senaryoları oluşturulmuştur.

Tablo 2. Deprem şiddetini etkileyen faktörler ve kategorileri (Factors affecting earthquake intensity and their categories)

Büyüklik Kategorisi	Büyüklik Değeri (mww)	Derinlik Kategorisi	Derinlik Değeri (km)	Uzaklık Kategorisi	Uzaklık Değeri (km)
1	$B < 3$	1	$D \leq 5$	1	$U \leq 50$
2	$3 \leq B < 4$	2	$5 < D \leq 10$	2	$50 < U \leq 100$
3	$4 \leq B < 5$	3	$10 < D \leq 20$	3	$100 < U \leq 200$
4	$5 \leq B < 6$	4	$20 < D \leq 40$	4	$200 < U \leq 400$
5	$6 \leq B < 7$	5	$40 < D \leq 80$	5	$400 < U \leq 800$
6	$B \geq 7$	6	$D > 80$	6	$U > 800$

B: Büyüklük, D: Derinlik, U: Uzaklık



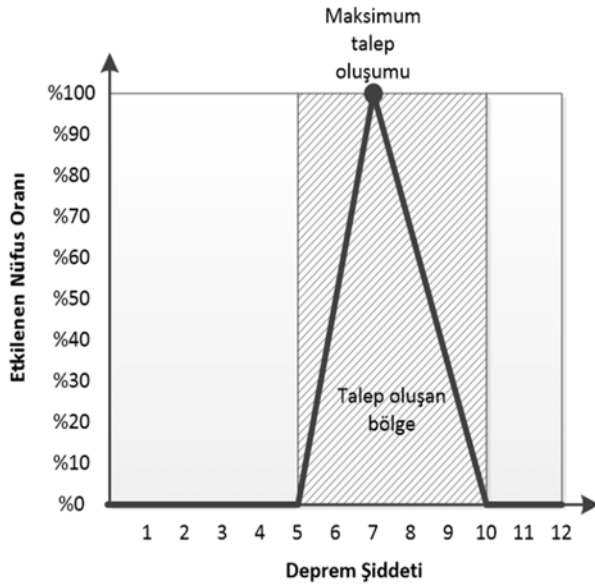
Şekil 6. Önerilen metodoloji için akış şeması (Flow chart for the proposed methodology)

Tablo 3. 1/1/1 kategorisindeki örnek bir deprem için yanıtların gösterimi (Representation of the responses for an earthquake in the 1/1/1 category)

Deprem Şiddeti	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Toplam Cevap Sayısı	0	7	4	37	30	19	9	0	0

Benzer şekilde, Cavdur vd. [9] tarafından yapılan GAM tesisleri konumlandırma ve yardım malzemesi dağıtım çalışmasında elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bir başka senaryo parametresi olan GAM tesisi sayısı ile ilişkilendirilerek simülasyon senaryoları tanımlanmıştır.

Yapay sinir ağı sonucunda deprem şiddetlerinin elde edilmesinin ardından, bu şiddet değeri ile ilişkili etkilenen nüfus oranı hesaplanmaktadır. Deprem şiddet cetvelinde yer alan ifadelerden de bilindiği üzere 5 ile 10 arasındaki deprem şiddetine sahip depremler için talep oluşumundan bahsedilebilir [42]. Bir diğer ifadeyle, deprem şiddetinin 5'in altında ve 10'un üzerinde olduğu durumlarda yardım malzemesi talebi oluşmadığı söylenebilir. Bu çalışma kapsamında ise daha önce de belirtildiği gibi etkilenen nüfus olarak ağır yaralı ve can kaybı dışında kalan, geçici barınma ihtiyacı olan ve gündelik yaşamına devam eden afetzedeler dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla, deprem şiddet cetvelinde yer alan 7 şiddetindeki bir deprem için tüm nüfusun buldukları binalardan dışarı çıktığı bilgisi doğrultusunda, etkilenen nüfusun söz konusu şiddet değeri için maksimum düzeye ulaştığı varsayılmaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda, yapay sinir ağından elde edilen 216 kategoriye ait sonuçlar arasından şiddet değeri 5 ile 10 arasında yer alan depremler filtrelenmiştir. Ardından, deprem şiddet cetvelinde yer alan ifadeler doğrultusunda, Şekil 7'de görüldüğü gibi 7 şiddetindeki bir deprem için etkilenen nüfus oranı %100; 5'ten küçük ve 10'dan büyük değerler içinse %0 olarak ele alınmıştır. Ara değerler için Şekil 7'de görüldüğü gibi doğrusal bir ilişkinin olduğu varsayılmıştır.



**Şekil 7.** Deprem şiddeti ile etkilenen nüfus oranı arasındaki ilişkinin gösterimi

(Representation of the relationship between earthquake intensity and affected population rate)

Etkilenen nüfus oranının hesaplanmasının ardından, deprem şiddetiyle ilişkili olarak şiddet değeri 5 ile 10 arasında olan depremler için afet seviyeleri belirlenmiştir. Burada

varsayımsal olarak 4 eşit aralık ele alınmış olup, her bir aralığa ait afet seviyesi Tablo 4'te yer almaktadır.

**Tablo 4.** Deprem şiddeti ile afet seviyesi arasındaki ilişki (Relationships between earthquake intensity and disaster level)

Deprem Şiddeti	Afet Seviyesi
5 – 6,25	1
6,25 – 7,5	2
7,5 – 8,75	3
8,75 – 10	4

Tablo 5'te görüldüğü gibi deprem şiddet değeri 5 ile 10 arasında olan örnek durumlar arasından anlamlı talep miktarlarının meydana geleceği ve etkilenen nüfus oranının %50'nin üzerinde olan yapay sinir ağından elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır.

Burada aynı afet seviyesine sahip senaryolar arasında etkilenen nüfus oranları birbirine çok yakın olan ve anlamlı farklılıklara neden olmayacak 4, 5, 6 ve 7 numaralı senaryolar için aritmetik ortalama alınarak tablonun son sütununda yer alan 4. birleştirilmiş örnek durum elde edilmiştir. Benzer şekilde 8, 9, 10 ve 11 numaralı örnek durumlar için de etkilenen nüfus oranının aritmetik ortalaması alınarak 5. birleştirilmiş örnek durum elde edilmiştir. Söz konusu etkilenen nüfus oranları uygulamanın yapıldığı Yıldırım ilçesinin nüfusu ile çarpılarak etkilenen nüfus miktarları hesaplanmıştır. Bir diğer senaryo parametresi olan lokal yönetimlerce önceden konumlandırılan GAM tesisi sayısı ise Cavdur vd. [9] tarafından geliştirilen stokastik modelin sonucunda elde edilen adetlerle ilişkilendirilerek 75 ve 200 olmak üzere iki farklı değer ele alınmıştır. Böylelikle, Tablo 6'da yer alan simülasyon senaryoları elde edilmiştir.

## 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Simülasyon modeli ProModel ortamında geliştirilmiştir. Modelde ele alınan lokasyonlar, global bileşende Türkiye'nin farklı illerinde yer alan Kızılay'a ait afet yönetim merkezleri ve afet bölgesi iken; lokal bileşende ise afetzedelerin buldukları konumu ifade eden temsili yerleşim birimi lokasyonu, GAM tesisleri lokasyonu, toplanma bölgesi lokasyonu ve Kızılay'ı temsil eden lokasyondur. Bunun yanı sıra, başlangıç koşullarının oluşturulmasının ardından durdurma kriteri olan 72 saat boyunca 8-saatlik öğün mantığı ile yardım malzemesi dağıtımının yönetilebilmesi için zamanlayıcı bir lokasyon tanımlanmıştır.

Simülasyon modelinde ele alınan varlıklar ise afetzedeler ve birtakım hayali varlıklardır. Söz konusu bu hayali varlıklar simülasyonun başlamasını sağlayan afet hayali varlığı, Kızılay kaynaklarının Beslenme Hizmet Grubu Operasyon Planı'na göre atanmasını sağlayan hayali varlık, Kızılay kaynaklarının afet bölgesine çağırılmasını sağlayan hayali varlık ve durdurma kriterinin kontrolü için zamanlayıcı lokasyona gönderilen zamanlayıcı hayali varlıktır.

**Tablo 5.** Yapay sinir ağı kullanılarak oluşturulan örnek durumlar (Cases obtained using the artificial neural network)

Örnek Durum	Deprem Şiddeti	Afet Seviyesi	Etkilenen Nüfus Oranı	Birleştirilmiş Örnek Durum
1	6,17971	1	0,58986	1
2	6,33420	2	0,66710	2
3	6,57607	2	0,78803	3
4	6,86128	2	0,93064	
5	6,92059	2	0,96030	
6	6,94412	2	0,97206	4
7	6,96102	2	0,98051	
8	8,11381	3	0,62873	
9	8,37927	3	0,54024	
10	8,40447	3	0,53184	5
11	8,48388	3	0,50537	

**Tablo 6.** Simülasyon senaryoları (Simulation scenarios)

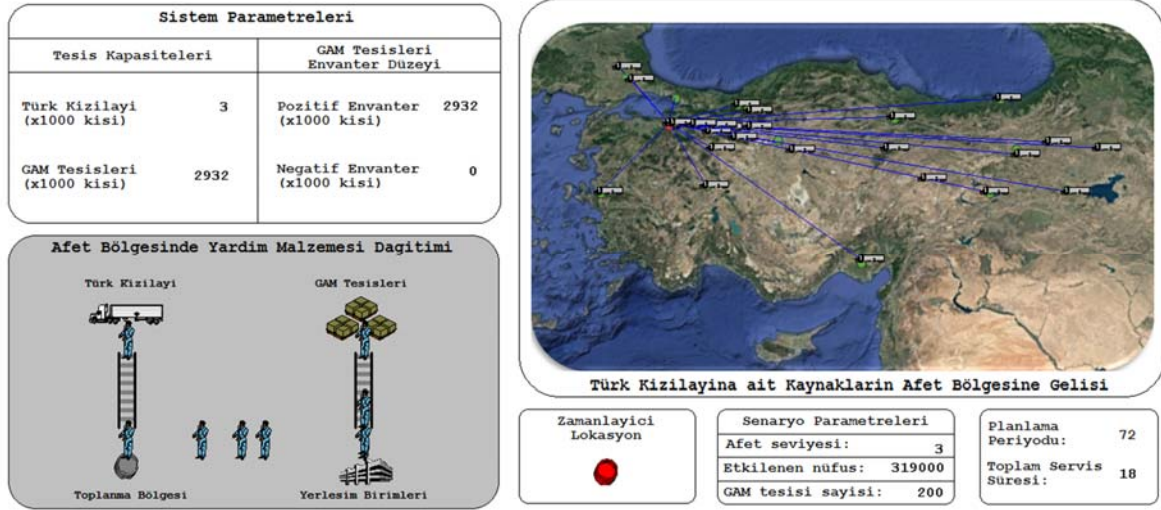
Senaryo	Deprem Şiddeti	Afet Seviyesi	Etkilenen Nüfus (x1.000)	GAM Tesisi Sayısı
S1	6,18	1	340	75
S2	6,33	2	385	75
S3	6,58	2	454	75
S4	6,92	2	554	75
S5	8,35	3	319	75
S6	6,18	1	340	200
S7	6,33	2	385	200
S8	6,58	2	454	200
S9	6,92	2	554	200
S10	8,35	3	319	200

Simülasyon modelinde ele alınan kaynaklar ise Kızılay'a ait mobil mutfaklardır. Söz konusu kaynakların her birinin 1.000 kişilik hizmet kapasitesine sahip olduğu varsayılmakta ve bir afettede varlığı ile 1.000 kişilik nüfus temsil edilmektedir. Afetin içerdiği belirsizlikler ve afet sonrası oluşabilecek kaos ortamını yansıtabilmek amacıyla kaynakların üstel dağılıma göre sırasıyla ortalama 3 saat ve 1 saat hazırlık ve kurulum süreleri olduğu varsayılmaktadır. Yolculuk zamanları Google Haritalar'dan elde edilmiş olup, kaynak hızlarında düzgün dağılıma göre 30 km/h'lik sapmalar varsayılmıştır.

ProModel ortamında geliştirilen simülasyon modeli, Bursa ilinde meydana gelecek olası deprem senaryoları için çalıştırılmıştır. Şekil 8'de simülasyon modeli çalışır durumda iken elde edilen bir ekran görüntüsü verilmiştir. Yerleşim planında sağ üst bölümde Türkiye haritası ile gösterilen kısım global bileşene ait olup, burada afet bölgesi ile Türk Kızılayı'na ait afet yönetim merkezleri arasındaki mesafeler Google Haritalar aracılığıyla elde edilmiştir. Sol alt köşede lokal bileşene ait detaylar yer almaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi sol üst köşede yer alan parametreler aracılığıyla simülasyon boyunca envanter takibi gerçekleştirilmektedir. Şeklin sağ alt kısmında hayali bir zamanlayıcı lokasyon, ilgili senaryoda senaryo parametrelerinin aldığı değerleri ve 72 saatlik planlama periyodunun anlık olarak kaçınıcı saatinde bulunulduğunu

gösteren parametreler yer almaktadır. Her bir senaryo için, simülasyon modelinin 100 koşum boyunca çalıştırılmasından elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir. Senaryoların yorumlanması esnasında, takibi kolaylaştırmak amacıyla, her bir senaryo için parantez içerisinde senaryo parametreleri verilmiştir. Bu değerler sırasıyla; afet seviyesi, etkilenen nüfus miktarı (x1.000) ve önceden konumlandırılan GAM tesisi sayısıdır. Tabloda da görüldüğü gibi, sonuçlar birtakım performans değişkenleri açısından minimum, maksimum ve ortalama değerler ele alınarak karşılaştırılmıştır. Bunlar; (i) Kızılay tarafından karşılanan talep oranı, (ii) GAM tesisleri tarafından karşılanan talep oranı, (iii) karşılanamayan talep oranı, (iv) envanter tüketimi, (v) Kızılay kaynaklarının yalnızca yolda geçirdiği süreyi ifade eden geliş süreleri ve (vi) Kızılay'ın çağırıldığı andan itibaren afet bölgesine gelip, hizmet vermeye başlayıncaya kadar geçen süreyi ifade eden servise başlama süreleridir.

Tabloda da görüldüğü gibi afet seviyesi 1 olan senaryolar (S1 ve S6) için, Kızılay kaynaklarının afet bölgesine çağırılması söz konusu olmadığından, Kızılay tarafından karşılanan talep, Kızılay kaynaklarının geliş ve servise başlama süreleri gibi kavramlardan bahsetmek mümkün değildir. Buna ilave olarak, karşılanamayan talep ve envanter tüketimi kavramları arasında ise mantıksal bir ilişki bulunmaktadır. Envanter tüketiminin %100 değerinden küçük olduğu bir



Şekil 8. Simülasyon modelinin çalışma-anı yerleşimi (Run-time layout of the run-time simulation model)

durumda karşılanamayan talebin varlığından söz edilemezken, karşılanamayan talebin oluşması durumunda ise envanter tüketimi %100 olacaktır. Söz konusu karşılanamayan talepler, daha önce de bahsedildiği gibi, karşılanamayan talep oranında hizmet verebilecek ek GAM tesisi konumlandırılmasına veya birtakım kamu ve özel kuruluşlardan hizmet alımına ihtiyaç duyulması şeklinde yorumlanabilir.

Afet seviyeleri 1 olan ve yalnızca GAM tesisi sayısı bakımından farklılık içeren S1 ve S6 senaryoları karşılaştırıldığında, kurulan tesis sayısı 75 olan S1 senaryosunda afetzedelerin talebinin ortalama %47,69 oranında GAM tesisleri tarafından karşılandığı ve %52,31 oranında karşılanamayan talebin olduğu; dolayısıyla envanterin %100 oranında tüketildiği gözlenmiştir. GAM tesisi sayısı 200 olan S1 senaryosunda ise afetzedelerin talebinin %100 oranında GAM tesisleri tarafından karşılandığı ve bu tesislerdeki envanterin ortalama %78,64 oranında tüketildiği görülmüştür.

Afet seviyesi 2 olan ve yalnızca etkilenen nüfus miktarı açısından aralarında fark bulunan S2, S3 ve S4 senaryoları karşılaştırıldığında ise yalnızca komşu il(ler)deki (bu çalışma için, İstanbul'daki) kaynakların çağırılması nedeniyle, Kızılay tarafından talep karşılama oranlarının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Etkilenen nüfusun söz konusu bu senaryolar arasında artışıyla beraber, karşılanamayan talebin arttığı gözlenmiştir. Benzer şekilde, bu senaryolara karşılık gelen ve GAM tesisi sayısı bakımından söz konusu senaryolardan farklılık içeren S7, S8 ve S9 senaryolarında da etkilenen nüfusun artışı ile birlikte envanter tüketiminin arttığı ve karşılanamayan talebin meydana geldiği gözlenmiştir. S2, S3 ve S4 senaryolarındaki GAM tesislerinden karşılanan talep oranlarının, S7, S8 ve S9 senaryolarındaki adetlere göre azalması, ilgili senaryolarda GAM tesisi sayısının daha düşük (75) adette ele alınması ile açıklanabilir. Buna ilave olarak, ilgili senaryolarda Kızılay tarafından talep karşılama oranlarının S7, S8 ve S9

senaryoları ile önemli oranda benzerlik göstermesi, yalnızca komşu il(ler)deki kaynakların çağırılması ile açıklanmaktadır.

Afet seviyesi 2 olan S4 senaryosu ile afet seviyesi 3 olan S5 senaryosu karşılaştırıldığında afet seviyesinin artması durumunda Türkiye'deki tüm afet yönetim merkezlerindeki Kızılay kaynaklarının çağırılması nedeniyle, Kızılay tarafından karşılanan talebin büyük ölçüde arttığı ve karşılanamayan talebin önemli ölçüde azaldığı bir yapı söz konusudur. Aynı afet seviyesi (3) için oluşturulan bir başka senaryo olan S10 senaryosu ise söz konusu S5 senaryosundan farklı olarak yalnızca GAM tesisi sayısı bakımından farklılık göstermesi nedeniyle, ilgili senaryoda GAM tesisleri tarafından karşılanan talep oranının %50,42 değerinden %68,71 değerine yükseldiği ve tesislerdeki envanterin %100 oranında tüketildiği gözlenmiştir. Buna bağlı olarak, S10 senaryosunda karşılanamayan talep söz konusu değilken, S5 senaryosunda ortalama %18,30 oranında karşılanamayan talep meydana gelmiştir.

Tablo 7'de verilen performans değişkenlerinin gerçekleştirilen 100 koşum sonucunda önemli oranda değişim göstermedikleri gözlenmektedir. Gözlenen düşük değişim oranları, bu performans değişkenlerinin, değişim oranları yine nispeten düşük olan Kızılay kaynaklarının servise başlama süreleri ile doğrudan ilişkili olmaları ile açıklanabilir. Kızılay kaynaklarının servise başlama sürelerinde değişkenlik ise daha önce de belirtildiği gibi (i) hazırlık, (ii) yolculuk ve (iii) kurulum süreçlerindeki değişkenliklere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Afet bölgesine çağırılan her bir Kızılay kaynağı bu üç rassal süreçten geçerek servise hazır hale geldiğinden, kaynakların servise başlama sürelerindeki değişkenlik, simülasyon modelinde söz konusu süreçlerin tanımlanmasında kullanılan rassal değişkenlerin varyansları toplamı şeklinde oluşmaktadır. Bununla birlikte, genel olarak herhangi bir kaynağın servise başlama süresinin en önemli kısmını yolculukta geçirdiği süre oluşturmakta ve bu süre de düzgün

**Tablo 7.** Simülasyon sonuçları (Simulation results)

Senaryo		Kızılay Taraından Karşılanan Talep (%)	GAM Tesisleri Taraından Karşılanan Talep (%)	Karşılanamayan Talep (%)	Envanter Tüketimi (%)	Kızılay'ın Geliş Süreleri (hr)	Kızılay'ın Servise Başlama Süreleri (hr)
S1 (1-340-75)	Ort.	-	% 47,69	% 52,31	% 100,00	-	-
	Min.	-	% 47,30	% 51,97	% 100,00	-	-
	Mak.	-	% 48,03	% 52,70	% 100,00	-	-
S2 (2-385-75)	Ort.	% 3,62	% 42,07	% 54,34	% 100,00	1,52	5,56
	Min.	% 3,42	% 41,82	% 53,96	% 100,00	1,35	3,89
	Mak.	% 3,75	% 42,31	% 54,66	% 100,00	1,72	7,94
S3 (2-454-75)	Ort.	% 3,07	% 35,66	% 61,30	% 100,00	1,53	5,50
	Min.	% 2,90	% 35,41	% 61,10	% 100,00	1,33	3,58
	Mak.	% 3,20	% 35,85	% 61,54	% 100,00	1,71	7,95
S4 (2-554-75)	Ort.	% 2,51	% 29,23	% 68,28	% 100,00	1,52	5,59
	Min.	% 2,36	% 29,01	% 68,09	% 100,00	1,32	3,63
	Mak.	% 2,61	% 29,40	% 68,58	% 100,00	1,66	8,97
S5 (3-319-75)	Ort.	% 31,32	% 50,42	% 18,30	% 100,00	7,40	11,42
	Min.	% 30,81	% 50,13	% 17,56	% 100,00	7,05	10,37
	Mak.	% 31,77	% 50,79	% 18,98	% 100,00	7,81	12,12
S6 (1-340-200)	Ort.	-	% 100,00	% 0,00	% 78,64	-	-
	Min.	-	% 100,00	% 0,00	% 78,08	-	-
	Mak.	-	% 100,00	% 0,00	% 79,28	-	-
S7 (2-385-200)	Ort.	% 3,62	% 96,41	% 0,00	% 85,94	1,52	5,56
	Min.	% 3,42	% 96,27	% 0,00	% 85,33	1,35	3,89
	Mak.	% 3,75	% 96,58	% 0,00	% 86,44	1,72	7,94
S8 (2-454-200)	Ort.	% 3,07	% 95,09	% 1,86	% 100,00	1,53	5,50
	Min.	% 2,90	% 94,44	% 1,41	% 100,00	1,33	3,58
	Mak.	% 3,20	% 95,59	% 2,52	% 100,00	1,71	7,95
S9 (2-554-200)	Ort.	% 2,51	% 77,96	% 19,55	% 100,00	1,52	5,59
	Min.	% 2,36	% 77,37	% 19,11	% 100,00	1,32	3,63
	Mak.	% 2,61	% 78,40	% 20,22	% 100,00	1,66	8,97
S10 (3-319-200)	Ort.	% 31,32	% 68,71	% 0,00	% 51,11	7,40	11,42
	Min.	% 30,81	% 68,26	% 0,00	% 50,47	7,05	10,37
	Mak.	% 31,77	% 69,23	% 0,00	% 51,69	7,81	12,12

Ort: Ortalama, Min: Minimum, Mak: Maksimum

dağıldığı varsayılan araç hızlarına bağlı olarak değişmektedir. Geliştirilen simülasyon modeli kapsamında, Kızılay kaynaklarının servise başlama sürelerini domine eden yolculuk sürelerinin nispeten düşük varyansla düzgün olarak dağılması ve ayrıca kaynak ve koşum sayısının artmasıyla birlikte beklenen değerlerine yakınsaması, sonuç olarak Tablo 7'de gözlemlenen nispeten düşük değişkenliğin oluşmasında etkili olmaktadır.

Geliştirilen simülasyon modelinin validasyonu ve verifikasyonu için çeşitli işlemler gerçekleştirilmiştir. Modelin validasyonu amacıyla, gerçek sistemdeki afet sonrası süreçler uzman kişiler yardımıyla analiz edilerek, simülasyon analizi için gerekli olan bütün detayların modelde dikkate alındığı görülmüştür. Bunlar arasında, afetzedelerin GAM tesislerine ve toplanma bölgesine yönlendirilme süreçlerinin (örneğin, GAM tesislerine ve toplanma bölgesine olan farklı ulaşım süreleri gibi) doğru bir şekilde tanımlanması, Kızılay kaynaklarının afet bölgesine yaklaşık olarak beklenen zamanlarda ulaşmaları

gösterilebilir. Simülasyon modelinin validasyonu amacıyla, Kızılay kaynaklarının çağırılmadığı ve taleplerin tümüyle GAM tesisleri tarafından karşılanacağı bir örnek durum oluşturulmuştur. Etkilenen nüfus oranının %50 (etkilenen nüfusün 289.000) olduğu bu durum için afetzedelerin temel ihtiyaçlarının karşılanabilmesi amacıyla yaklaşık 143 adet GAM tesisine ihtiyaç duyulduğu hesaplanmıştır. Etkilenen nüfus oranının %50 olduğu bu senaryo için simülasyon modelinde, senaryo parametresi olarak 75 adet GAM tesisi konumlandırılmıştır. Dolayısıyla 143 adet GAM tesisine ihtiyaç duyulurken, 75 adet GAM tesisi konumlandırılması nedeniyle; toplam talebin yaklaşık %52,45'inin GAM tesisleri tarafından karşılanması, bu tesislerdeki tüm envanterin tüketilmesi ve %47,55 oranında karşılanamayan talebin oluşması beklenmektedir. Simülasyon modelinin 100 koşum boyunca çalıştırılması sonucunda, söz konusu senaryo için GAM tesisleri tarafından karşılanan talep miktarı ortalama %56,10 ve envanter tüketimi %100 olurken; ortalama %43,90 karşılanamayan talep gözlemlenmiştir. Simülasyon sonucu ile hesaplanan değerlerin

farklı olması, simülasyon modelindeki stokastik unsurlar ile açıklanabilir. Modelin verifikasyonu amacıyla, geliştirilen simülasyon modeli farklı koşullar altında çalıştırılarak model bileşenlerinin doğru bir şekilde çalıştığı gösterilmiştir. Kaynakların afet gerçekleşme zamanına bağlı olarak doğru bir şekilde afet bölgesine yönlendirildikleri ve afetzedelerin, Kızılay kaynaklarının afet bölgesine ulaşım servise hazır hale geldikleri anda, bu kaynaklardan hizmet almaya başlama süreçlerinin doğru bir şekilde modellendiği test edilmiştir. Buna ek olarak, modelin verifikasyonu için model bileşenlerinin (değişkenler vb.) simülasyon çalışma anında dinamik olarak kontrolü gerçekleştirilmiş ve doğrulukları test edilmiştir.

## 7. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, olası bir deprem sonrası kısa vadede gerçekleştirilen, yardım malzemesi dağıtım operasyonlarında merkezi ve yerel kaynakların eş zamanlı kullanımının analiz edilmesi amacıyla bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen simülasyon modelinin senaryolarını oluşturmak amacıyla, öncelikle bir yapay sinir ağı kullanılarak çeşitli parametre (depremin büyüklüğü, derinliği ve afetzedenin deprem merkez üssüne olan uzaklığı) kategorileri için deprem şiddeti tahmini gerçekleştirilmiş ve tahmin edilen deprem şiddetine ilişkin etkilenen nüfus oranı ve afet seviyesi belirlenmiştir. Söz konusu bu iki parametreye ek olarak, farklı GAM tesisi sayıları dikkate alınmış olup, böylelikle farklı etkilenen nüfus oranları, afet seviyeleri ve GAM tesisi sayılarına karşılık gelen on farklı afet sonrası durum oluşturulmuştur. Oluşturulan söz konusu on farklı durum, geliştirilen simülasyon modelinin senaryoları olarak ele alınmıştır. Geliştirilen simülasyon modeli kendi içerisinde global ve lokal olmak üzere iki alt bileşenden oluşmaktadır. Global bileşende Türkiye'deki afet yönetim merkezlerinde bulunan Kızılay kaynaklarının afet bölgesine ulaşmaları dikkate alınırken, lokal bileşende ise afet bölgesinde afetzedelere yardım malzemesi dağıtım operasyonları simüle edilmektedir. Öte yandan, global ve lokal bileşenlerdeki bu yapılar birbiri ile senkronize şekilde çalışmakta ve afet yönetim merkezlerindeki kaynakların gelişine bağlı olarak lokal modeldeki Kızılay kaynaklarının kapasiteleri eş-zamanlı olarak güncellenmektedir.

Geliştirilen simülasyon modeli, farklı senaryolar için çalıştırılmış ve sonuçlar farklı performans değişkenleri açısından analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçlarından, oluşturulan senaryolara ilişkin anlamlı çıkarımlar yapılabildiği gözlenmiştir. Örneğin, afet seviyesine bağlı olarak farklı lokasyonlardan afet bölgesine çağırılan Kızılay kaynakları değişiklik göstermekte ve bunun Kızılay tarafından karşılanan, GAM tesisleri tarafından karşılanan ve karşılanamayan talep oranlarına olan etkisi simülasyon sonuçlarında açıkça gözlenmektedir.

Geliştirilen simülasyon modelinin daha büyük boyutlu ve gerçekçi veri setleri ile çalıştırılmasıyla, global bileşende hangi bölgedeki hangi Kızılay kaynaklarının çağırılması, lokal bileşende yerel yönetimlerce önceden konumlandırılan

GAM tesisleri sayısının belirlenmesi ve gerekli olması durumunda birtakım kamu ve özel kuruluşlardan destek alınması konusunda bir karar verme aracı olarak kullanımı mümkün olabilecektir. Bu amaçla, gelecek çalışmalarda farklı senaryolar ve alternatif sistem tasarımları oluşturulup, geliştirilen simülasyon modelinin bahsedildiği gibi bir karar verme aracı için kullanımı planlanmaktadır. Benzer şekilde, TAMP'ta yer alan uluslararası destek kavramı da simülasyon modeline entegre edilebilir. Buna ek olarak, mevcut simülasyon modelinde dikkate alınmamış olan bağlantı yollarındaki hasarlara bağlı olarak, Kızılay kaynaklarının gecikmeleri ve/veya GAM tesislerinin kullanılamaz duruma gelmesi gibi unsurlar da gelecek çalışmalarda dikkate alınabilir. Afetzedelerin özellikle yürüme mesafelerine bağlı olarak GAM tesislerinden veya Kızılay'dan hizmet almaları durumundaki konfor koşullarının da simülasyon modeli ile analiz edilmesi bu çalışmaya gelecekte farklı bir boyut kazandırabilir. Mevcut modelde, afet bölgesine yönlendirilen kaynakların tümünün uygulamanın yapıldığı ilçeğe gittiğini varsayılmaktadır. Bu durumun gerçek hayatta uygulanabilirliği düşük olmakla birlikte, geliştirilen modelde afet bölgesine gönderilen kaynak sayısının esnek yönetilebildiği bir yapı vardır. Söz konusu merkezi kaynakların sayısının azaltılması ile yalnızca Yıldırım bölgesine hizmet edecek olan kaynaklar modele adapte edilebilir ve bu yapı gelecek çalışmalarda ele alınabilir. Buna ek olarak, merkezi kaynakların afet bölgesine ulaştıktan sonra afet bölgesindeki belirsizlikler ve kaos ortamı nedeniyle kurulumunun gerçekleştirilmesine ilişkin gecikmeleri içeren kurulum süresi, gelecek çalışmalarda afet seviyesi ile ilişkili olarak dikkate alınabilir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 115M020 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Katkılarından dolayı başta Nurdan İlhan olmak üzere Bursa İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Altay, N., Green, W.G., OR/MS research in disaster operations management, *European Journal of Operational Research*, 175, 475-493, 2006.
2. Natarajarathinam, M., Capar, I., Narayanan, A., Managing supply chains in times of crisis: a review of literature and insights, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39 (7), 535-573, 2009.
3. Galindo, G., Batta, R., Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management, *European Journal of Operational Research*, 230, 201-211, 2013.
4. Sheu, J. B., Challenges of emergency logistics management, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43 (6), 655-659, 2007.
5. Caunhye, A. M., Nie, X., Pokharel, S., Optimization models in emergency logistics: A literature review, *Socio-economic planning sciences*, 46 (1), 4-13, 2012.



6. Xu, X., Qi, Y., Hua, Z. Forecasting demand of commodities after natural disasters, *Expert Systems with Applications*, 37 (6), 4313-4317, 2010.
7. Holguin-Veras, J., Taniguchi, E., Jaller, M., Aros-Vera, F., Ferreira, F., Thompson, R. G., The Tohoku disasters: Chief lessons concerning the post disaster humanitarian logistics response and policy implications, *Transportation research part A: policy and practice*, 69, 86-104, 2014.
8. Fikar, C., Gronalt, M., Hirsch, P., A decision support system for coordinated disaster relief distribution, *Expert Systems with Applications*, 57, 104-116, 2016.
9. Cavdur, F., Kose-Kucuk, M., Sebatli, A., Allocation of temporary disaster response facilities under demand uncertainty: An earthquake case study, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 19, 159-166, 2016.
10. Jain, S., McLean, C., Simulation for emergency response: a framework for modeling and simulation for emergency response, 35th Winter Simulation Conference, New Orleans-LA-ABD, 1068-1076, 07-10 Aralık, 2003.
11. Banks, S., Exploratory modeling for policy analysis, *Operations Research* 41 (3), 435-449, 1993.
12. Özdamar, L., Ertem, M. A., Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics, *European Journal of Operational Research*, 244 (1), 55-65, 2015.
13. Steward, D., Wan, T. T., The role of simulation and modeling in disaster management, *Journal of medical systems*, 31 (2), 125-130, 2007.
14. Wagner, N., Agrawal, V., An agent-based simulation system for concert venue crowd evacuation modeling in the presence of a fire disaster, *Expert Systems with Applications*, 41 (6), 2807-2815, 2014.
15. Ha, V., Lykotrafitis, G., Agent-based modeling of a multi-room multi-floor building emergency evacuation, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391 (8), 2740-2751, 2012.
16. Pidd, M., De Silva, F. N., Eglese, R. W., A simulation model for emergency evacuation, *European Journal of operational research*, 90 (3), 413-419, 1996.
17. De Silva, F. N., Eglese, R. W., Integrating simulation modelling and GIS: spatial decision support systems for evacuation planning, *Journal of the Operational Research Society*, 423-430, 2000.
18. Southworth, F., Regional evacuation modeling: a state-of-the-art review, 1991.
19. Chen, X., Meaker, J. W., Zhan, F. B., Agent-based modeling and analysis of hurricane evacuation procedures for the Florida Keys, *Natural Hazards*, 38 (3), 321, 2006.
20. Chen, X., Zhan, F. B., Agent-based modelling and simulation of urban evacuation: relative effectiveness of simultaneous and staged evacuation strategies, *Journal of the Operational Research Society*, 59 (1), 25-33, 2008.
21. Kimms, A., Maassen, K. C., Optimization and simulation of traffic flows in the case of evacuating urban areas, *OR spectrum*, 33 (3), 571-593, 2011.
22. Zou, N., Yeh, S. T., Chang, G. L., Marquess, A., Zezeski, M. Simulation-based emergency evacuation system for Ocean City, Maryland, during hurricanes, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1922), 138-148, 2005.
23. Albores, P., Shaw, D., Responding to terrorist attacks and natural disasters: a case study using simulation, 37th Winter Simulation Conference, Orlando-Florida-ABD, 886-894, 4-7 Aralık, 2005.
24. Albores, P., Shaw, D., Government preparedness: Using simulation to prepare for a terrorist attack, *Computers & Operations Research*, 35 (6), 1924-1943, 2008.
25. Christie, P. Maria Joseph, and Reuven R. Levary., The use of simulation in planning the transportation of patients to hospitals following a disaster, *Journal of medical systems*, 22 (5), 289-300, 1998.
26. Chiu, Y. C., Mirchandani, P. B., Online behavior-robust feedback information routing strategy for mass evacuation, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 9 (2), 264-274, 2008.
27. Sheffi, Y., Mahmassani, H., Powell, W. B., A transportation network evacuation model, *Transportation research part A: general*, 16 (3), 209-218, 1982.
28. Fikar, C., Hirsch, P., Nolz, P. C., Agent-based simulation optimization for dynamic disaster relief distribution, *Central European Journal of Operations Research*, 26(2), 423-442, 2018.
29. Tovia, F., An emergency logistics response system for natural disasters, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 10 (3), 173-186, 2007.
30. Afshar, A., Rasekh, A., Afshar M. H., Risk-based optimization of large flood-diversion systems using genetic algorithms, *Engineering Optimization*, 41 (3), 259-273, 2009.
31. Mahecha, R. S. M., Akhavan-Tabatabaei, R., A location model for storage of emergency supplies to respond to technological accidents in Bogota, *Winter Simulation Conference, Berlin-Almanya*, 2413-2424, 9-12 Aralık, 2012.
32. Banomyong, R., Sopadang, A., Using Monte Carlo simulation to refine emergency logistics response models: a case study, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40 (8/9), 709-721, 2010.
33. Tong, Z., Zhang, Q., Zhu, J., Liu, X., Yan, F., A Stochastic Distribution Center Location Model for Earthquake Relief Supplies Based on Monte Carlo Simulation, *The Open Cybernetics & Systemics Journal*, 11(1), 24-35, 2017.
34. Hawe, G. I., Coates, G., Wilson, D. T., Crouch, R. S., Agent-based simulation of emergency response to plan the allocation of resources for a hypothetical two-site major incident, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 46, 336-345, 2015.

35. Norena, D., Akhavan-Tabatabaei, R., Yamín, L., Ospina, W., Using discrete event simulation to evaluate the logistics of medical attention during the relief operations in an earthquake in Bogota, Winter Simulation Conference, Phoenix-AZ-ABD, 2666-2678, 11-14 Aralık, 2011.
36. Kılıç, A., Gökçe, M. A., Dinçer, M. C., Integrated Modeling of Disaster Emergency Response Activities Using Simulation: Bornova Case Study, Anadolu University Journal of Science and Technology–A Applied Sciences and Engineering, 17 (2), 337-356, 2016.
37. Parwanto, N. B., Morohosi, H., Oyama, T., Applying Network Flow Optimization Techniques to Improve Relief Goods Transport Strategies under Emergency Situation, American Journal of Operations Research, 5 (03), 95, 2015.
38. Lee, Y. M., Ghosh, S., Ettl, M., Simulating distribution of emergency relief supplies for disaster response operations, Winter Simulation Conference, Austin-TX-ABD, 2797-2808, 13-16 Aralık, 2009.
39. Krejci, C. C., Hybrid simulation modeling for humanitarian relief chain coordination, Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, 5(3), 325-347, 2015.
40. Wu, D. D., Liu, J., Olson, D. L., Simulation Decision System on the Preparation of Emergency Resources Using System Dynamics, Systems Research and Behavioral Science, 32 (6), 603-615, 2015.
41. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Türkiye Afet Müdahale Planı. Yayın tarihi Aralık, 2013.
42. Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu. Önemli Depremler Arşivi. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/significant.php>. Erişim tarihi Nisan 11, 2017.
43. Richter, C. F., An instrumental earthquake magnitude scale, Bulletin of the Seismological Society of America, 25 (1), 1-32, 1935.
44. Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu. The Severity of an Earthquake, USGS General Interest Publication 1989-288-913. <https://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>. Erişim tarihi Nisan 11, 2017.
45. Wood, H. O., Neumann, F., Modified Mercalli intensity scale of 1931, Bulletin of the Seismological Society of America, 21 (4), 277-283, 1931.