

TC.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİMÜLASYON MODELİ İLE DEPREM SENARYOSU OLUŞTURULMASI VE  
KAYIP TAHMİN ANALİZİ: KIRIKKALE İLİ UYGULAMASI

ZEYNEP ÇAKIRER

ŞUBAT 2021

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında** Zeynep ÇAKIRER tarafından hazırlanan “SİMÜLASYON MODELİ İLE DEPREM SENARYOSU OLUŞTURULMASI VE KAYIP TAHMİN ANALİZİ: KIRIKKALE İLİ UYGULAMASI” adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylıyorum.

Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Ümit Sami SAKALLI  
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Burak BİRGÖREN \_\_\_\_\_  
Üye (Danışman) : Prof. Dr. Ümit Sami SAKALLI \_\_\_\_\_  
Üye : Doc. Dr. Hakan ÇERÇİOĞLU \_\_\_\_\_

../.../....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### SİMÜLASYON MODELİ İLE DEPREM SENARYOSU OLUŞTURULMASI VE KAYIP TAHMİN ANALİZİ: KIRIKKALE İLİ UYGULAMASI

ÇAKIRER, Zeynep

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ümit Sami Sakallı

Şubat 2021, 78 sayfa

Afetler, insanlığın oluşumundan itibaren doğal ve insani/teknolojik kaynaklı afetler olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir. Doğal afetlerin en sık görülenlerinden biri olan depremler yıkıcı hasarlara ve yüksek can kayıplarına neden olabilir. İlerleyen teknolojiye rağmen günümüzde; depremlerin yeri, zamanı, büyüklüğü ve yaratacağı etki hala bilinmemekte sadece tahmin edilmektedir. Bu tahminler bazı teknikler kullanılarak yapılır ve sonucunda deprem senaryoları üretilir. Deprem senaryoları olası bir depremde, depremden önce yapılmış planlamaların, depremden sonraki etkililiği ve gerçekliği açısından oldukça önemlidir. Bu planlamaların gerçekçi ve etkili olması meydana gelecek can ve mal kayıplarını azaltmada önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada Kırıkkale ili için deprem senaryosu üretilmiştir. Deprem senaryosu, Arena simülasyon yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Simülasyon modelinde zemin profil ve bina kat bilgileri girdi olarak kullanılmıştır. Model çıktısı olarak acil durumlarda kullanılan triyaj işleminin sınıflandırma grupları (ağır, hafif, geciktirilebilir yaralı ve ölü) referans alınarak can kaybı analizi yapılmıştır. Geliştirilen model, yapısında bulunan esneklik faktörü sayesinde farklı zamanlarda ve yerlerde meydana gelebilecek çeşitli büyüklükteki depremlerin etkilerini tahmin etmek içinde kolaylıkla kullanılabilir. Ayrıca, bu çalışma Kırıkkale ili için üretilen ilk deprem senaryosu ve can kaybı analizi çalışmasıdır.

**Anahtar kelimeler:** Deprem, Deprem Senaryosu, Kayıp tahmini, Simülasyon Modeli, Triyaj, Markov Zinciri, Geçiş olasılıkları,



## ABSTRACT

### A SIMULATION MODEL FOR EARTHQUAKE SCENARIO GENERATION AND LOSS PREDICTION ANALYSIS: APPLICATION IN KIRIKKALE

ÇAKIRER, Zeynep

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, Master Science Thesis

Supervisor: Ümit Sami Sakallı

February 2021, 78 pages

Disasters can be classified into two groups according to causative source: natural and human/technological disasters. Earthquakes, one of the frequently seen natural disasters, can cause devastating damages and a high number of deaths. It is not possible to know precisely the location, time, magnitude and impact of earthquakes despite the today's high-level technology; it only can be estimated. The prediction techniques are used to generate earthquake scenarios. These scenarios are very important to make effective plans to minimize the damages. In this study, an earthquake scenario has been developed for Kırıkkale province. The earthquake scenario has been modeled by using Arena simulation software. In the simulation model, ground profile and the floor number of buildings were used as input. As an output of model, life losses analysis has been made by using to the classification groups (heavy, light, delayed injured and dead) of the triage process which uses in emergencies. The developed model can be easily adopted to predict the effects of earthquakes of different magnitudes that may occur at different times and locations, due to the flexibility factor in its structure. In addition, this study is the first earthquake scenario and loss of life analysis study produced for Kırıkkale province.

**Key Words:** Earthquake, Earthquake Scenario, Loss Estimation, Transition Probability, Simulation Model, Triage, Markov Chain



## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Prof. Dr. Ümit Sami SAKALLI' ya tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm Sayın Doç. Dr. Barış ERDİL' e, büyük fedakarlıklarla bana destek olan arkadaşım Sema ÇİFTÇİ' ye tezimin birçok aşamasında yardım gördüğüm Hekim Faik Hüseyin BÜYÜKDERE' ye ve son olarak bana birçok konuda olduğu gibi, tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen aileme teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	i
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. AFET YÖNETİMİ.....	5
2.1. Afet Kavramı.....	5
2.2. Afet Türleri.....	6
2.2.1. Doğal Afetler.....	6
2.2.1.1. Deprem.....	8
2.2.2. Teknolojik/İnsan Kaynaklı Afetler.....	8
2.3. Afetlerin Tarihselliği.....	9
2.3.1. Dünya Afet Tarihi.....	9
2.3.2. Türkiye Afet Tarihi.....	12
2.4. Afet Yönetim Sistemleri.....	14
2.4.1. Geleneksel Afet Yönetim Sistemi.....	14
2.4.1.1. Hafifletme Aşaması.....	15
2.4.1.2. Hazırlık Aşaması.....	16
2.4.1.3. Müdahale Aşaması.....	16
2.4.1.4. İyileştirme Aşaması.....	17
2.4.2. Modern Afet Yönetim Sistemi.....	18
2.4.2.1. Risk Yönetimi.....	19



2.4.2.2. Kriz Yönetimi.....	20
2.4.3. Türkiye’ de Afet Yönetimi.....	21
3. DEPREM SENARYOSU.....	24
3.1. Deterministik Yöntem .....	25
3.2. Stokastik (Olasılıksal) Yöntem .....	26
3.3. Kurgusal Yöntem .....	28
4. LİTERATÜR TARAMASI .....	29
5. SİMÜLASYON MODELİ İLE DEPREM SENRAYOSU OLUŞTURMA.	32
5.1. Simülasyon Modelinde Kullanılan Arena Programının Modülleri.....	32
5.1.1. Create Modülü.....	33
5.1.2. Process Modülü.....	33
5.1.3. Decide Modülü.....	34
5.1.4. Record Modülü.....	35
5.1.5. Singal Modülü.....	36
5.1.6. Delay Modülü .....	36
5.1.7. Hold Modülü.....	37
5.1.8. Station Modülü .....	37
5.1.9. Assing Modülü .....	38
5.1.10. Batch Modülü .....	38
5.1.11. Separate Modülü .....	39
5.1.12. Dispose Modülü .....	39
5.2. Deprem Senaryosu Oluşturmak için Simülasyon Modeli Kurulumu ..	40
5.3. Simülasyon Modelinin ARENA Programına Uygulanması .....	45
6. KIRIKKALE İLİ UYGULAMASI.....	50
6.1. Kırıkkale İli .....	50
6.2. Simülasyon Modelinin Girdileri.....	53

<b>6.3. Simülasyon Modelinin Çıktıları .....</b>	<b>60</b>
<b>7. SONUÇ.....</b>	<b>68</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>71</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 2.1.</b> 1980-1999 ve 2000/2019 yıllarında afetlerin oluşturduğu etki (UNDRR, 2020' den düzenlenmiştir).....	10
<b>Çizelge 2.2.</b> Türkiye' de yaşanan ve hasar oluşturan büyük depremler (KOERİ' den düzenlenerek).....	13
<b>Çizelge 2.3.</b> Geleneksel ve modern afet yönetim sistemlerinin karşılaştırılması (Kadioğlu, 2011' dan düzenlenerek) .....	19
<b>Çizelge 2.4.</b> Deprem Dönemlerine göre afet politikalarının ve stratejilerin gelişimi (Özden, 2013' den düzenlenerek) .....	23
<b>Çizelge 5.1.</b> Triyaj işleminde kullanılan sınıflandırma tablosu .....	43
<b>Çizelge 6.1.</b> 2018 yılı çalışma kapsamında ele alınan 28 mahallenin nüfus bilgileri	53
<b>Çizelge 6.2.</b> Çalışma kapsamında ilgili mahallelerin zemin profil oranları.....	54
<b>Çizelge 6.3.</b> İlgili mahallelerde bulunan binaların kat sayıları .....	55
<b>Çizelge 6.4.</b> Simülasyon ağ yapısındaki 5. aşamanın değerleri .....	57
<b>Çizelge 6.5.</b> Çalılıöz Mahallesi' nin hasar ve kayıp tahmin sonuçlarının ARENA programı raporu .....	60
<b>Çizelge 6.6.</b> Çalılıöz Mahallesi'nin hasar ve kayıp tahmin sonuçları .....	61
<b>Çizelge 6.7.</b> Kırıkkale ili için üretilen deprem senaryosunun sonuçları .....	62
<b>Çizelge 6.8.</b> 72 saatlik deprem senaryosunun 6' şar saatlik sonuçları.....	63
<b>Çizelge 6.9.</b> Çalılıöz mahallesinin yarım saatlik deprem senaryosu sonuçları .....	65

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
<b>Şekil 2.1.</b> Afet Tipine Göre Doğa kaynaklı afetlerin sınıflandırılması (EM-DAT, 2020' den düzenlenerek) .....	7
<b>Şekil 2.2.</b> Teknolojik afetlerin sınıflandırılması (Sınıflandırma   EM-DAT).....	9
<b>Şekil 2.3.</b> 2000-2019 yılları arasında meydana gelen afetlerin türlerinin yüzdesi (UNDRR, 2020' den düzenlenerek) .....	10
<b>Şekil 2.4.</b> 2000-2019 yılları arasında meydana gelen büyük afetlerden insanların etkilenme durumu (UNDRR 2020' dan düzenlenerek ) .....	11
<b>Şekil 2.5.</b> 2000-2019 yılları arasında meydana gelen büyük afetlerden ölen insanları grafiği (UNDRR 2020' dan düzenlenerek ) .....	11
<b>Şekil 2.6.</b> Türkiye' de bulunun plakalar arasındaki göreceli hareketler (Okay vd., 2000) .....	12
<b>Şekil 5.1.</b> ARENA programının ekran görüntüsü .....	32
<b>Şekil 5.2.</b> Create modülü ve özellik penceresi .....	33
<b>Şekil 5.3.</b> Process modülü ve özellik penceresi .....	34
<b>Şekil 5.4.</b> Decide modülü ve özellik penceresi.....	35
<b>Şekil 5.5.</b> Record modülü ve özellik penceresi .....	35
<b>Şekil 5.6.</b> Signal modülü ve özellik penceresi.....	36
<b>Şekil 5.7.</b> Delay modülü ve özellik penceresi .....	36
<b>Şekil 5.8.</b> Hold modülü ve özellik penceresi.....	37
<b>Şekil 5.9.</b> Station modülü ve özellik penceresi.....	37
<b>Şekil 5.10.</b> Assign modülü ve özellik penceresi .....	38
<b>Şekil 5.11.</b> Batch modülü ve özellik penceresi.....	38
<b>Şekil 5.12.</b> Separate modülü ve özellik penceresi .....	39
<b>Şekil 5.13.</b> Dispose modülü ve özellik penceresi .....	39
<b>Şekil 5.14.</b> Simülasyon modelinin ağ yapısının olasılıksal şematik gösterimi.....	42
<b>Şekil 5.15.</b> Deprem sonrası yaşanacak sürecin şematik gösterimi .....	44
<b>Şekil 5.16.</b> Markov zinciri geçiş olasılıkları değerleri (Wilson vd., 2013).....	45
<b>Şekil 5.17.</b> Deprem senaryosu için oluşturulan ağ yapısının ARENA programına uygulanması (1, 2 ve 3. aşama) .....	46

<b>Şekil 5.18.</b> Deprem sonrası yaşanacak sürecin ARENA programına uygulanması (giriş kısmı).....	46
<b>Şekil 5.19.</b> Deprem sonrası yaşanacak sürecin 1. dalın giriş kısmı ve 2. dalın tamamının ARENA programına uygulanması.....	47
<b>Şekil 5.20.</b> Deprem sonrası yaşanacak sürecin 1. dalının tamamının ARENA programına uygulanması.....	48
<b>Şekil 5.21.</b> Geciktirilebilir yaralı (T2) grubundaki kişilerin yarım saat aralıklarla triyajlarının tekrarlanması.....	49
<b>Şekil 5.22.</b> Her 6 saatte bir Signal ve Delay modülleriyle sisteme yeni bir kurtarıma zamanının tanımlanması .....	49
<b>Şekil 6.1.</b> Kırıkkale ilinin haritadaki konumunun gösterimi .....	50
<b>Şekil 6.2.</b> Kırıkkale ilinin depremselliği için fayların gösterimi.....	51
<b>Şekil 6.3.</b> Kırıkkale ilinin depremselliği için fayların gösterimi (MTA yer bilimlari haritasından düzenlenmiştir) .....	52
<b>Şekil 6.4.</b> 6' şar saatlik zaman dilimlerine göre elde edilen triyaj grupları dağılımının grafiği .....	64

## KISALTMALAR DİZİNİ

CRED	Afet Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi
AFAD	Afet ve Acil Durum Dairesi Yönetimi Başkanlığı
TAMP	Türkiye Afet Müdahale Planlama
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
JICA	Japonya Uluslararası İş Birliği Ajansı
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
IFRC	Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Dernekleri Federasyonu
BM	Birleşmiş Milletler
ELER	Deprem Kayıp Tahmin Rutini
KOERİ	Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü

## 1. GİRİŞ

Afetler toplumların normal seyrini değiştirebilen, etkisi yıkıcı, insanların canlarını ve mallarını yok eden, hayatta kalan insanlara da büyük acılar yaşatan olaylardır. Kaynağı fark etmeksizin afetler, toplumların ekonomisinde ve sosyal yapısında ağır etkilere neden olabilir ve bu etkinin ne kadar süreceği sorusunun cevabı toplumların gelişmişlik düzeyiyle yakından ilişkilidir (Caunhye vd., 2012; Değerliyurt, 2009; Ergünay, 2006)

Az gelişmiş ve gelişmemiş toplumların, afet öncesi hazırlıklarda ve afet sonrası yanıtlarda başarısız olması, afetlerin şehirleri yok etmesi gibi kötü sonuçlar doğurmasının en temel nedenleri arasındadır. Buna karşılık gelişmiş toplumların afetlere iyi hazırlanması afetlerin etkisinin en aza inmesindeki en büyük faktördür (Pektaş, 2012). Afetlerin verdiği can ve mal kayıplarını en aza indirilebilmek için, daima hazırlıklı olmak, afet anında ve sonrasında başarılı bir yönetim sürecine sahip olmak gerekir. Afet hazırlıklarının afete özgü ve dinamik süreçlere sahip olması gerekmektedir. Çünkü her afetin; büyüklüğü, çeşidi, meydana geldiği zaman dilimi ve coğrafi şartlara bağlı olarak çok farklı etkilere sahip olması; afet planlamaları, hazırlıkları ve yanıtı için önceden yapılmış tatbikatlar üzerinde sürekli çalışılması gereken konular olmuştur. Bu nedenle riskin sürekli ölçümü, güncel sonuçların elde edilmesi ve planlamaların revizyonu gerekmektedir (Önsüz & Atalay, 2016). Bu şekilde başarılı bir afet yönetim sistemi oluşturulabilir ve afetlerde daha az kayıp yaşanabilir (Ozen & Krishnamurthy, 2020)

Afetin yıkıcı etkilerinden dolayı, ilk 72 saatlik sürecin çok kritik olduğu etkilenen alanlara erişimin zor olduğu varsayılmaktadır (Sebatli vd., 2017). Bu kritik süreçte sistemlerinin planlı ve etkin ilerleyebilmesi için afet yönetim sistemi kavramı iyi anlaşılmalıdır. Afet yönetim sistemi: hafifletme, hazırlık, müdahale ve iyileştirme dört aşamada gerçekleşir (Değerliyurt, 2009). Afetlerin belirsizliği, çeşitli insan ihtiyaçları ve organizasyon sistemlerindeki farklılıklar nedeniyle çeşitli afet yönetimi sistemlerinin oluşmasını zorunlu kılmıştır (Pektaş, 2012). Dolayısıyla her ülkenin ve her afetin yürütülen afet yönetim sistemi farklı organizasyonlar, stratejiler ve politikalar içermektedir. Bahsedilen stratejiler ve politikalar afetlerin daha başarılı yönetilmesine ve dolayısıyla oluşacak can kayıplarının azalmasını sağlayabilir.

Afetlerin bölgesel ve küresel bazda ekonomik sorunlara ve dolayısıyla toplumlarda sosyal ve psikolojik problemlere sebep olduğu bilinen bir gerçektir (Tanyaş vd., 2013). Bu nedenle afetlerin sebep olduğu: sosyal, psikolojik, ekonomik, problemlerin farklı boyutlarının üzerinde durulması ve bu problemlere stratejiler ve politikalar geliştirilebilmesi oldukça önemlidir. Ayrıca; afet öncesi stratejiler ile afet sırasında ve sonrasında kaynakların etkin kullanımı, açısından pek çok disiplinin bir arada ve sistemli bir şekilde hareket etmesi gerekmektedir (Babaoglu, 2020).

Afetlerin belirsiz doğasına rağmen, yıkıcı etkileri ve insan topluluklarının farklı gereksinimleri, afet anında kullanılması gereken organizasyon sistemlerinin planlanmasını gerekli kılmıştır. Önceden belirti vermeyen deprem gibi olaylarda tam anlamıyla hazırlıklı olmak, nasıl etkileyeceğini ve ne zaman meydana geleceğini belirlemek güçtür. Fakat gelecekte ne kadar büyüklükte bir depremin meydana geleceği ve yerleşim merkezlerinin bu depremden nasıl etkilenebileceği sağlıklı bir şekilde belli teknikler kullanılarak tahmin edilebilir. Yapılan tahminler doğrultusunda afet anında kullanılmak üzere planlamalar oluşturulur (Çiftçi vd., 2020). 1999’ da 7,4 büyüklüğündeki Kocaeli Depremi’ nde ve 7,2 büyüklüğündeki Düzce Depremi’ nden sonra Türkiye, bu planlamaların ve dolayısıyla kayıp tahmin analizlerinin eksikliğini acı bir şekilde tecrübe etmiştir. Kayıp tahmini analiz sistemleri, Türkiye’ de ilk olarak 1999’ daki depremlerden sonra afetlerde acil müdahale ve hızlı bilgi sistemlerinin gerekliliğinden ortaya çıkmıştır (Zulfikar vd., 2012). Bu tür sistemler; risk azaltıcı politikaların belirlenmesinde, afetlerin müdahale planlamalarında kullanılmaktadır. Sistemlerin zarar azaltma planlarında oluşturacağı başarı için; riskleri, güvenilirlikleri ve doğrulukları en önemli faktörler arasındadır (Karaman, 2019). Afetlerin olası etkilerinin tahmin edilmesi; hem kayıp analiz edilebilmesi açısından hem de kurtarma ekiplerinin organize olması açısından önemlidir (Zulfikar vd., 2012).

Bu çalışmanın amacı, Kırıkkale ilinde hasar oluşturabilecek bir deprem sonucunda, çalışma kapsamında belirlenen 28 mahallede meydana gelecek hasar ve kayıpların tahmin edilmesidir. Deprem sonucunda oluşacak hasar ve kaybı tahmin edebilmek için: stokastik temelleri olan kurgusal yapıda bir yöntem kullanılarak, simülasyon modeli kurulmuş ve ardından deprem senaryosu üretilmiştir. Simülasyon yapısı, temel olarak birbirinden farklı stokastik (olasılıksal) durumlarla işlemler yapmaya izin verir. Farklı durumlara göre üretilen sonuçların analiz raporları da mümkündür. Dolayısıyla deprem gibi birçok belirsizliği (zamanı, büyüklüğü, konumu vb.) içinde barındıran karmaşık durumlarda simülasyon kullanılması,



kayıp tahmini ve analizi yapmak için avantajlıdır. Deprem literatüründe senaryo üretmek için bulunan diğer tekniklere bakıldığında, simülasyon modeli kullanmak çalışmaya; hızlı sonuç elde edilmesi, az maliyet, sonuçların istatistiksel açıdan analizi ve farklı olasılık değerleriyle farklı sonuçlar üretmek gibi birçok avantaj sağlamıştır. Kayıp tahmini ve analizi sonucunda üretilen deprem senaryosunda kayıp olarak insan hayatı baz alınmıştır. Çünkü diğer faktörler göz önüne alındığında insan hayatı bütün faktörlerin birkaç adım ilerisindedir. Deprem senaryosunun sonuçları elde edilirken, acil durumlarda kullanılan yaralı önceliklendirmesi (triyaj) referans alınmıştır. Oluşturulan senaryonun sonucunda, ilgili 28 mahalleden; ağır (T1), geciktirilebilir (T2), hafif (T3) yaralı sağlık durumuna sahip kişiler ve ölü (T4) kişiler olmak üzere 4 farklı sınıflandırma ile deprem sonrası oluşabilecek hasar ve kayıplar tahmin edilmiştir. Bu tez çalışmasının en önemli hedefleri; Kırıkkale ilinde yapılmış ilk deprem senaryosu olması ve hem simülasyon modeli ile deprem senaryosu üretilmesi açısından hem de çalışmada kullanılan yöntem açısından literatüre farklı bir bakış açısı sunmaktır.

Bu tez çalışması sekiz bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümüdür ve çalışmanın konusunun neleri etkilediği, hangi temellere sahip olduğu ve önemi vurgulanmıştır. Literatürde yer alan diğer tekniklere göre çalışmada kullanılan yöntemin avantajlarına değinilmiştir. Çalışmanın amacından, yönteminden ve hedeflerinden bahsedilmiştir.

Bu tez çalışmasında; genel olarak değinilen afetler ve özel olarak ele alınan depremler, insanoğlunun hayatında çok önemli bir yere sahiptir. Dolayısıyla ikinci bölümde, afetler, özellikleri ve yönetim sistemleri hakkında detaylıca bilgiler verilmiş, çalışmada kullanılan ifadeler hakkında açıklamalar ve tanımlamalar yer almıştır. Genel başlıklar altında Türkiye'nin durumuna değinilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmanın temellerini oluşturan deprem senaryosunun ne olduğu ve literatürde deprem senaryosu oluşturmak için kullanılan yöntemlere anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, deprem senaryosu literatürü taranmış ve ilgili konuda literatüre katkı sağlayan çalışmalardan bahsedilmiştir.

Bu tez çalışmasında; ARENA Simülasyon Programı kullanılarak bir simülasyon modeli geliştirilmiş ve bu simülasyon modelinin sonuçlarında Kırıkkale ilinde olası bir depremin meydana gelmesi halinde belirlenen 28 mahalleden çıkacak ağır, geciktirilebilir, hafif yaralı kişilerin ve ölümlerin sayısı bulunmuştur. Bu çalışma kullanılarak afet yönetim sisteminde bulunan planlamalar daha etkin ve gerçekçi yapılabilir. Kurulan simülasyon modelinin; girdilerine, çıktıklarına, parametrelerine ve modelde kullanılan modüllerin açıklamalarına

beşinci modülde yer verilmiştir. Bu bölümde okuyuculara çalışmada kullanılan yöntemin bütün bilgi ve donanımları verilmeye çalışılmıştır.

Altıncı bölümde uygulamanın yapıldığı örnek il olan Kırıkkale ili hakkında çalışmada kullanılan teknik bilgilere ve Kırıkkale ilinin genel özellikleri hakkında bilgilere yer verilmiştir.

Uygulamanın ve sonuçlarının anlatıldığı yedinci bölümde çıkan sonuçlara göre çalışma bazında bir değerlendirme yapılmış sonuçların iyimserliği tartışılmıştır. Çalışmanın sekizinci bölümü olan sonuç bölümünde; çalışmanın amacı, önemi ve sonuçları tartışılmış, literatüre sağlanan katkılardan bahsedilmiş ve gelecekte deprem senaryosu için yapılabilecek çalışmalar hakkında öneriler sunulmuştur.

## 2. AFET YÖNETİMİ

Bu bölümde çalışmada sıklıkla kullanılan afet, afet türleri, afet yönetim sistemleri gibi temel kavramların tanımlarına yer verilmiştir. Ayrıca geleneksel ve modern afet yönetim sistemlerine önemli vurgular yapılmış ve afet türleri dikkate alınarak geçmişten günümüze dünya ve Türkiye afet tarihi incelenmiştir.

### 2.1. Afet Kavramı

Afet kavramının birden fazla tanımı mevcuttur. Bu tanımlardan birkaçından aşağıda bahsedilmiştir.

Afet, insanlar ve insanların yerleştikleri yerler üzerinde farklı (fiziksel, çevresel, ekonomik ve sosyal) kayıplara sebep olan, günlük yaşamın işleyişini ve insanların faaliyetlerini kesintiye uğratarak toplumları etkileyen doğal, teknolojik/insan kökenli olayların sonuçlarıdır (Ergünay, 2007).

Afet olgusu ile ilgili kabullenilen başka bir genel tanım; tüm canlıların yaşamsal eylemlerini bir noktada durdurarak ya da kesintiye uğratarak, maddi ve manevi büyük kayıplara sebep olan, mevcut imkânlar ile baş edilemeyen ve aniden meydana gelen, durum ya da olay olarak ifade edilmektedir (CRED, 2007).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)' nün afet tanımı ise, toplumların düzenini bozan, dışardan yardıma ihtiyaç duyulacak kadar büyük, ani ve acil olaylardır. Ek olarak Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Dernekleri Federasyonu (IFRC)' nin hazırladığı bir raporda afet; yüzden fazla insanın etkilenmesine ve ondan fazla insanın ölümüne yada yardım için resmi organizasyonların devreye girdiği, savaş dışındaki olaylar olarak tanımlanmaktadır (Akyel, 2007). Fakat Birleşmiş Milletler (BM)' in kabul ettiği en genel afet tanımı: toplumlar için fiziksel, sosyal ve ekonomik kayıplara sebep olan, günlük yaşamı durdurarak toplumları etkileyen ve yerel imkanlar ile başa çıkılamayan her çeşit doğal, teknolojik/insan kaynaklı olayların tümüne denilmektedir. Bu tanımlara bakıldığında afetlerin insanlarda ve toplumlarda oluşturduğu kayıpların yanında afetlere karşı yerel imkanların yetersiz kalacağı gibi küçük bir topluluk da üstesinden gelebilir (Börühan, 2012) .

## 2.2. Afet Türleri

Afetlerin tarihi en az insanlık tarihi kadar eski zamanlara dayanır. Fakat afet türleri için aynı şey söylenemez. Çünkü afet türleri, insan faaliyetleri ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte artış ve farklılık göstermiştir. Çok önceden olmayan teknolojik/insan kaynaklı afetler günümüzde sıklıkla meydana gelmektedir. Örneğin artan enerji ihtiyaçları doğrultusunda, önceden insan hayatında yer almayan fakat günümüzde birçok ülkede bulunan nükleer santraller ve bu santrallerde oluşan kazalar afet niteliği taşımaktadır.

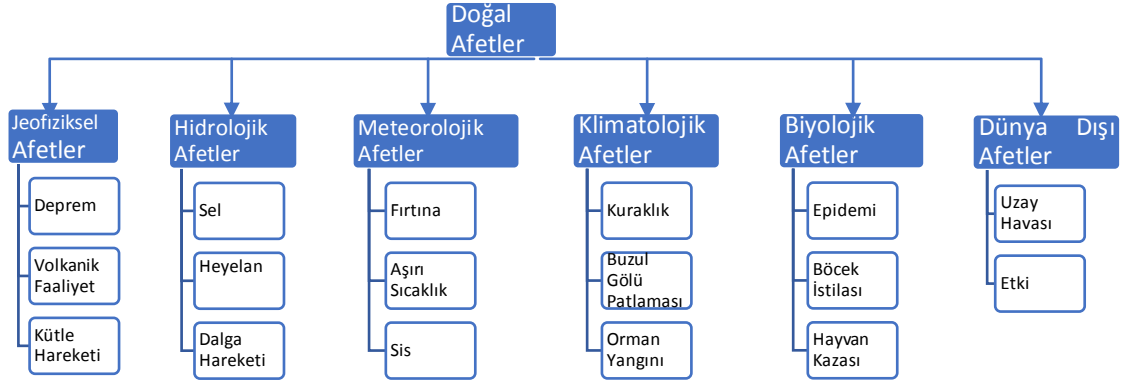
Afet türleri ile ilgili, ikili, üçlü dörtlü veya daha fazla sınıflandırmalar yapılabilmektedir. Ancak bu tez çalışmasında, afetler kökenlerine göre;

- I. Doğal Afetler,
- II. Teknolojik/İnsan Kaynaklı Afetler

iki başlık altında sınıflandırılmıştır (Ergünay, 2007).

### 2.2.1. Doğal Afetler

Günlük hayatta karşılaşılan ve yaşamı önemli ölçüde etkileyen, yıkıcı etkilere sahip olan doğa olaylarına doğal afet denir. Uluslararası afet veri tabanı olan Afet Epidemiyoloji Merkezi (CRED) doğal afetleri Şekil 2.1' de görüldüğü üzere; jeofiziksel, hidrolojik, meteorolojik, klimatolojik, biyolojik ve dünya dışı (uzay) kaynaklı afetler olmak üzere altı başlıkta sınıflandırmıştır (*Sınıflandırma | EM-DAT*).



**Şekil 2.1.** Afet Tipine Göre Doğa kaynaklı afetlerin sınıflandırılması (EM-DAT, 2020' den düzenlenerek)

Jeolojik afetler, deprem gibi aniden gelişen ve meydana gelmeden önce belirti vermeyen bir doğal afet türüdürken, klimatolojik afetler, orman yangınları, kuraklık, gibi hava şartlarıyla doğrudan ilişkili olan afet türleridir. (Türkeş & Deniz, 2010). Bununla birlikte, birçok hidro-meteorolojik afetler son yıllarda artan şiddetle ve çok sık meydana gelmektedir. Günümüzde sanayileşme, doğaya zarar verecek şekilde yanlış yerleşim yerlerinin yapılması ve küresel iklim değişimi doğal afetlerin oluş sıklığını arttırmaktadır (Okuyama, 2003).

Doğal afetlerin türleri ve önem sıraları bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Örneğin, Akdeniz Bölgesinde görülen en sık doğal afetler kuraklık, orman yangınları, heyelan, dolu fırtınaları ve donlardır. Türkiye geneline bakıldığında ise en sık görülen doğal afetler sel, taşkın, orman yangınları, dolu, kuraklık, çığ, şiddetli rüzgâr, kar ve fırtınalardır (Kadioğlu, 2007). Birçok afet beraberinde ikinci bir afeti tetikler ve dolayısıyla afetlerin yarattığı etki ikiye katlanır. Örneğin, ormanların tahribatı ve dolayısıyla oluşan şiddetli erozyon, hem çevre sorunları ve ekonomik kayıplara yol açmakta hem de mevcut tehlikeleri ve riskleri çoğaltmaktadır (Ergünay, 2007).

### **2.2.1.1. Deprem**

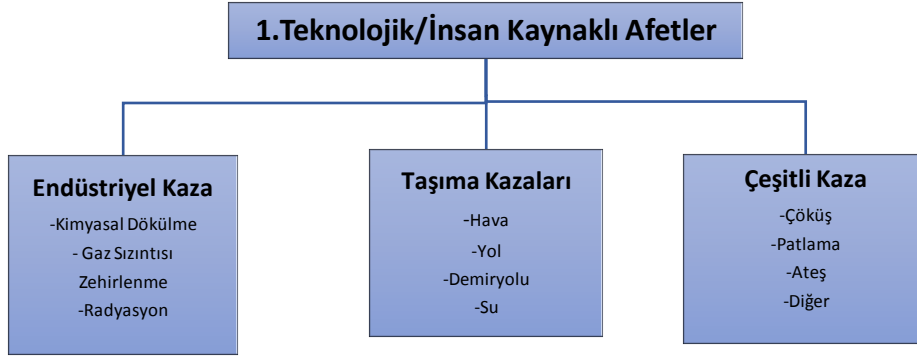
Bu tez çalışmasında Kırıkkale ilinde olası bir deprem olması durumunda kayıplar tahmin edildiği için depremler alt başlık şeklinde bu bölümde genel tanımları itibariyle anlatılmıştır.

Afet ve Acil Durum Dairesi Yönetimi Başkanlığı (AFAD) depremleri “Tektonik kuvvetlerin veya volkan faaliyetlerinin etkisiyle yer kabuğunun kırılması sonucunda ortaya çıkan enerjinin sismik dalgalar hâlinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzünü kuvvetle sarsması olayı” olarak tanımlanabilmektedir.

Depremin yeraltından çıktığı noktaya, sismik odak noktası denilmektedir. Bu noktanın üzerinde doğrudan bulunan yeryüzündeki nokta da merkez üssü olarak adlandırılmaktadır. Genellikle can ve mal kaybına yol açan depremlerde çöküş, yangınlar, tsunamiler (sismik deniz dalgaları) ve yanardağlar gibi tetikledikleri ikincil olaylarda meydana gelmektedir. Oluşan bu kayıpların ve ikincil olayların bazıları iyi planlama, erken uyarı, iyi yapılmış binalar ve güvenlik sistemleri ile önlenabilir durumdadır (Gökçekuş, vd. 2018).

### **2.2.2. Teknolojik/İnsan Kaynaklı Afetler**

Teknolojik/insan kaynaklı afetler, genel işleyişin devam ettiği durumlarda, kasıtlı veya kasıtsız hataların sonucunda gelişen başarısız sistem savunmasının, ön planda olduğu olaylar bütünüdür. Bu afet türlerinde, insanların iyi niyetli olmasına rağmen, teknolojik sistemlerin güvenli şekilde işleyişini bazı gündelik yaşam süreçleri bozabildiği için, örgütsel bilişimin bir başarısızlığı ve risklerin değerlendirilmesini güçleştiren sosyal süreçlerin bozulduğu bilinmektedir (Gökçekuş, vd. 2018). CRED, 2020 ‘e göre teknolojik /insani afetlerin sınıflandırılma şekli aşağıda Şekil 2.2’ de gösterilmiştir.



**Şekil 2.2.** Teknolojik afetlerin sınıflandırılması (Sınıflandırma | EM-DAT)

Teknolojik/İnsan kaynaklı afetlerin tek sınıf olarak bu çalışmada ele alınmasının sebebi; teknolojik afetler, insanların yaptığı hatalar sonucu meydana gelmekte ve sonucunda oluşan zararları büyük ölçeği etkilemektedir. Bu afet türünün Şekil 2.2’ de görüldüğü gibi farklı sınıfları vardır fakat en kapsamlıları genelde, ateşli silahlar ile saldırı, asit yağışları, ayaklanma ve isyan, grev, protesto, tünel ve maden kazaları, biyolojik silah saldırıları, bombalama, ev ve bina yangınları, gaz ve kimyasal kaçaklar, ve göç olayları, kıtlık, iç savaşlar, pilotaj kaynaklı deniz, hava, kara, ve demiryolu kazaları, kıtlık, iklim değişikliği, radyoloji ve radyasyon kazaları vb. olaylar insan kaynaklı afetlere örnek olarak verilebilir (Kadioglu, 2011). Bunlara ek olarak, insan kaynaklı afetlerde bakteriler terörizm hedefleri doğrultusunda kullanılabilir. Örneğin; biyolojik saldırı amacı ile hastalık yapıcı bakteriler, insanların yaşam kaynaklarına bulaştırılabilir (Akyel, 2007). Bu şekilde gerçekleşen salgın saldırılarının tarihi çok eskilere dayanmaktadır.

### 2.3. Afetlerin Tarihselliği

Bu bölümde, dünya genelinde ve Türkiye’ de meydana gelen, insanları etkileyen afetler tarihsel bir şekilde ele alınmış ve analizleri yapılmıştır.

#### 2.3.1. Dünya Afet Tarihi

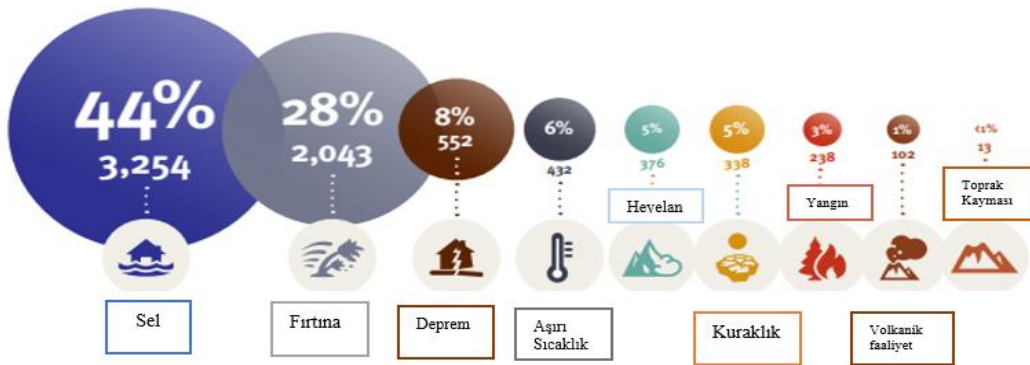
Afetler, doğası gereği meydana geldiğinde oluşturacağı olumsuz etkilere karşı dünyanın birçok yerinde bazı stratejiler ve politikalar geliştirilecek kadar önemli bir hal almıştır. EM-DAT

verilerine göre son yirmi gerçekleşen 7,348 afet olayı ve etkileri Çizelge 1’ de verilmiştir (UNDRR, 2020). Çizelge 2.1’ e göre yıllar geçtikçe toplam ölüm, etkilenen kişi sayısı ve ekonomik kayıp artmaktadır. Son yıllarda afetlerin sıklığına ve etkilerinin artmasına örnek olarak; 2010 yılında Şili ve Haiti Depremleri beraberinde ikincil afet olarak tsunamiyi tetiklemesi, 2011 yılında Fukushima Depremi ülkede tsunamiye ve bir nükleer probleme neden olmuştur. 2012 yılında Sandy Kasırgası, Guatemala ve Myanmar depremleri, 2019 yılında oluşan salgın gibi birçok afet, dünyanın afetlerle sürekli karşı karşıya kalacağı ve meydana getireceği kayıpları en aza çekmek için faaliyetlerde bulunması gerektiğinin en büyük kanıtıdır (Farahani vd., 2020).

**Çizelge 2.1.** 1980-1999 ve 2000/2019 yıllarında afetlerin oluşturduğu etki (UNDRR, 2020’ den düzenlenmiştir)

Etki Türü	Bildirilen Afet Sayısı	Toplam Ölüm	Toplam Etkilenen	Ekonomik Kayıp (\$)
Yıl				
1980-1999	4.212	1.190.000	3.250.000.000	1.630.000.000.000
2000-2019	7.348	1.230.000	4.030.000.000	2.970.000.000.000

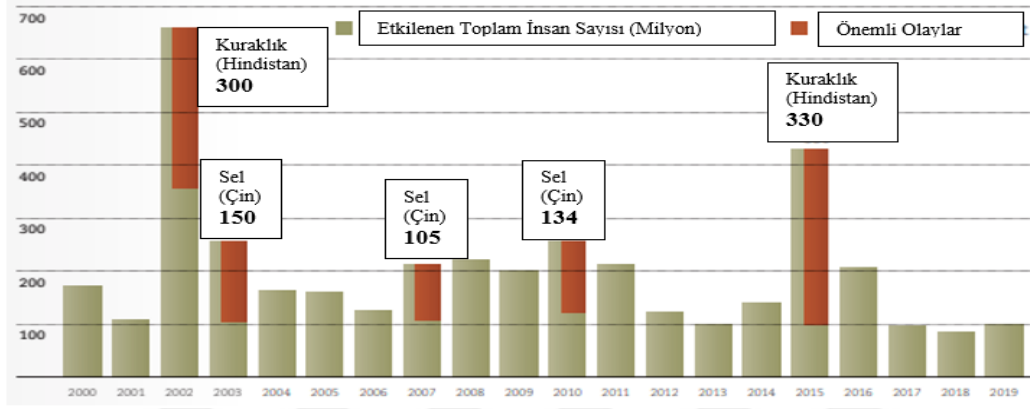
Aşağıda yer alan Şekil 3’ te Bölüm 2.2.’ de anlatılan afet türlerinin 2000-2019 yılları arasında meydana gelme yüzdeleri verilmiştir. Bu durumda %44 lük oranla sel en çok olan afet türü olmakla birlikte fırtına ikinci sıradaki afet türü olduğu Şekil 2.3’ te açıkça görülmektedir.



**Şekil 2.3.** 2000-2019 yılları arasında meydana gelen afetlerin türlerinin yüzdesi (UNDRR, 2020’ den düzenlenerek)

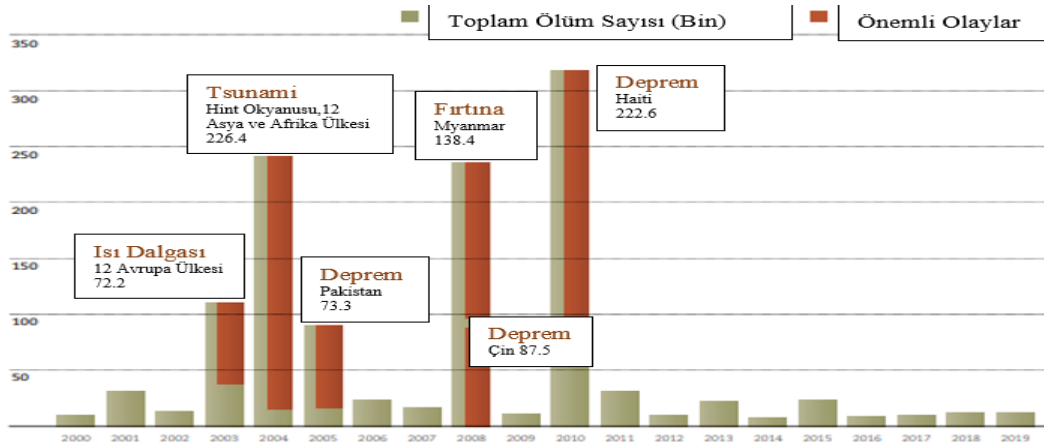


Şekil 2.4' te , 2000-2019 yılları arasında çok sayıda insanın etkilendiği ve dünyada yankı uyandıran önemli olaylar, meydana geldikleri ülkeler ve milyon bazında etkilenmiş kişi sayısı verilmiştir (UNDRR, 2020). Bu noktada sel ve kuraklık afetleri ön plana çıkmaktadır. Bu afetler Çin ve Hindistan ülkelerini ciddi oranlarda etkilemiştir.



Şekil 2.4. 2000-2019 yılları arasında meydana gelen büyük afetlerden insanların etkilenme durumu (UNDRR 2020' dan düzenlenerek )

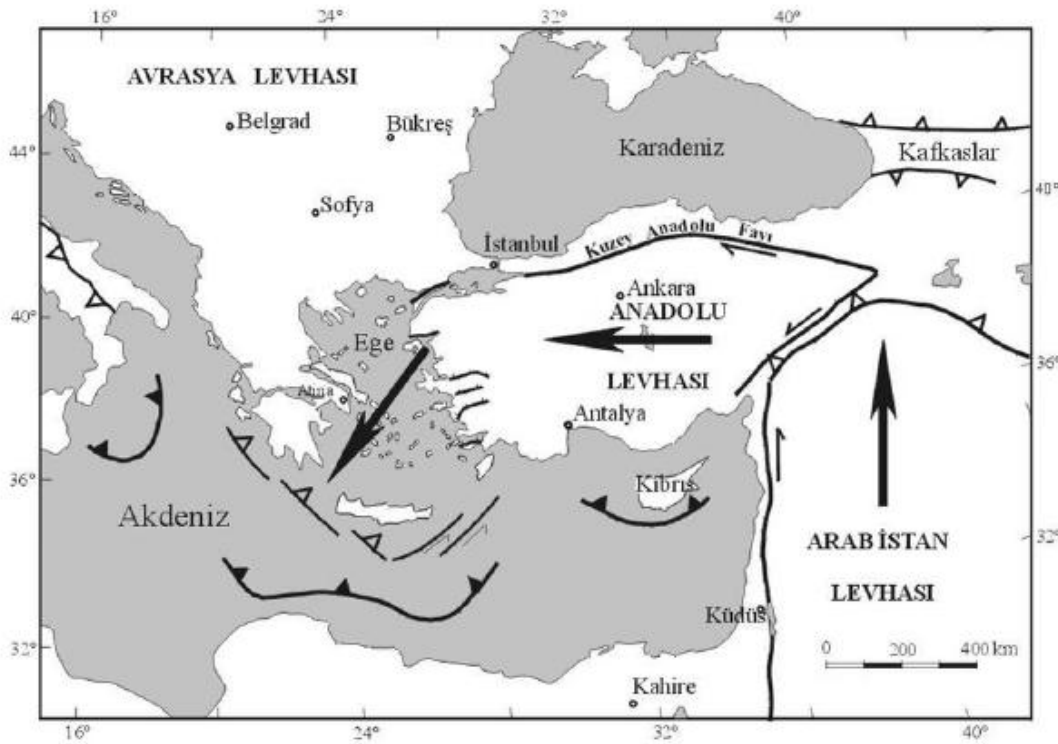
Şekil 2.4' te gösterilen, dünya genelinde en çok olan afetlerin kuraklık ve sel olmasına rağmen, Şekil 2.5' te görüldüğü üzere toplam ölüm oranına bakıldığında deprem, tsunami gibi afet türleri ön plana çıkmaktadır. Dolayısıyla sel veya kuraklık gibi afet türleri sık sık meydana gelse, deprem ve tsunami gibi afetlerin öldürücülüğünün daha yüksek olduğu açıktır.



Şekil 2.5. 2000-2019 yılları arasında meydana gelen büyük afetlerden ölen insanları grafiği (UNDRR 2020' dan düzenlenerek )

### 2.3.2. Türkiye Afet Tarihi

Türkiye, jeolojik biçim, tektonik oluşum, topografya ve meteorolojik özellikler gibi farklı nedenlerle, her zaman çeşitli doğal afet tehlikelerine sahip olan bir ülke olmuştur (Yaprak, 2015). Bunun yanında Türkiye sismik açıdan dünyanın en aktif deprem kuşaklarından birinde bulunmaktadır. Kuzeyden Avrasya Plakası, güneyden Afrika ve Arap Plakaları, batı tarafından Ege Bloğu ve doğu tarafından Doğu Anadolu bloğu ile çevrilidir. Bu plaka ve bloklarının hareketleri sonucunda Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu Fay Hatları aktif şekilde Türkiye’ de deprem üretmektedir.



Şekil 2.6. Türkiye’de bulunan plakalar arasındaki göreceli hareketler (Okay vd., 2000)

Ek olarak, Türkiye’deki büyük sanayi kuruluşları ve barajların ciddi çoğunlukta kısmı deprem açısından çok aktif olan bölgeler içerisinde yer almaktadır (Ergünay, 2007). Bu durum da meydana gelebilecek olası bir doğal afet beraberinde teknolojik/insani bir afeti de getireceği gerçeğini gözler önüne sermektedir. Ülkenin sosyal ve fiziki şekilde zarar görebilirliğinin oldukça yüksek olduğu düşünüldüğünde meydana gelen afetler büyük ölçüde kayıplara (can, mal sosyal, fiziksel vb.) neden olmaktadır (Yaprak, 2015). Türkiye başta depremler, seller ve çığ düşmeleri olmak üzere erozyon, orman yangınları ve heyelanlar gibi birçok doğal afet birlikte veya tek şekilde meydana gelmektedir. Örneğin orman

yangınlarında ki tahribat ve ardından oluşan şiddetli erozyon ekonomik ve çevre sorunlarına sebep olurken diğer afetlerin meydana gelmesinin önünü açmaktadır (Ergünay, 2007).

Türkiye' nin önemli ve aktif deprem kuşaklarında yer alması ve bu tez çalışmasında ele alınan temel afet konusunun deprem olması sebebiyle Türkiye' de meydana gelen önemli depremler Çizelge 2.2' de detaylıca analiz edilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Türkiye' de yaşanan ve hasar oluşturan büyük depremler (KOERİ' den düzenlenerek)

TARİH	YER	BÜYÜKLÜK	CAN KAYBI	HASARLI SAYISI	BİNA
29.04.1903	Malazgirt (MUŞ)	6,7	600	450	
04.10.1914	BURDUR	8,4	300	6000	
22.10.1926	KARS - ERMENİSTAN	6	355	-	
07.05.1930	TÜRK - İRAN SINIRI	7,6	2514	-	
19.04.1938	KIRŞEHİR	6,6	160	4066	
22.09.1939	Dikili (İZMİR)	6,6	60	1235	
27.12.1939	ERZİNCAN	7,9	32968	116720	
10.09.1941	Erciş (VAN)	5,9	192	600	
27.11.1943	Ladik (SAMSUN)	7,2	4000	40000	
20.12.1942	Erbaa (TOKAT)	7	3000	32000	
01.02.1944	Gerede-Çerkeş (BOLU)	7,2	3959	20865	
31.05.1946	Varto-Hınıs (MUŞ)	5,9	839	3000	
17.08.1949	Karlıova (BİNGÖL)	6,7	450	3500	
18.03.1953	Yenice (ÇANAKKALE)	7,2	265	6750	
19.08.1966	Varto (MUŞ)	6,9	2396	20007	
28.03.1970	Gediz (KÜTAHYA)	7,2	1086	19291	
22.05.1971	BİNGÖL	6,8	878	9111	
06.09.1975	Lice (DİYARBAKIR)	6,6	2385	8149	
24.11.1976	Muradiye (VAN)	7,5	3840	9232	
30.10.1983	ERZURUM - KARS	6,9	1155	3241	
13.03.1992	ERZİNCAN	6,8	653	8057	
17.08.1999	Gölcük (KOCAELİ)	7,4	17480	73342	
12.11.1999	DÜZCE	7,2	763	35519	
01.05.2003	BİNGÖL	6,8	176	6000	
23.10.2011	Van	7,2	644	17005	
09.11.2011	Edremit (VAN)	5,6	40	/	
26.09.2019	İstanbul (Silivri Açıkları)	5,7	/	/	
24.01.2020	Elazığ (Sivrice)	6,8	41	1287	
30.10.2020	İzmir (Seferihisar)	6,6	117	986	

Çizelge 2.2' de yer alan bilgilerden de anlaşılacağı gibi Türkiye geçmişinde olduğu gibi hala büyük depremleri büyük etkilerle yaşamakta olup son yaşanan depremler: 26 eylül 2019' da İstanbul' da Silivri açıklarında 5,7 büyüklüğünde olan deprem Türkiye tarihinde olan 1999 Marmara Depremine akıllara getirmiş neyse ki aynı tabloyla karşılaşılmamıştır fakat 24 Ocak 2020 tarihinde Elazığ' ın Sivrice ilçesinde meydana gelen 6,8 büyüklüğündeki depremde üzere 41 kişi ve 30 Ekim 2020 tarihinde İzmir Seferihisar açıklarında 6,6 büyüklüğünde meydana gelen depremde 117 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu sonuçlar göstermektedir ki deprem Türkiye' nin gerçeğidir fakat bu gerçeğin kötü sonuçlar doğurmaması afet öncesi, sonrası ve sırasında yapılacak planlamalar organizasyonlar, iş birlikleri ve iyi bir afet yönetimi ile mümkün hale gelebilir.

## **2.4. Afet Yönetim Sistemleri**

Günümüzde bilgi ve teknoloji düzeyinde yaşanan inanılmaz ilerlemeye rağmen doğal afetlerin; ne zaman, nasıl, nerede ve hangi etkilere sahip olacağı sorularına hala cevap verilememekte ve sadece bu durumlar sadece tahmin edilmektedir. Özellikle doğal afetlerin engellenebilmesi için insanoğlunun yapabilecekleri sınırlıdır. Gelecekte olabilecek afetler karşısında yapılabilecek en etkili eylemlerden biri bu afetlerin etkilerini olabildiğince azaltmak için çeşitli araştırmalar yapmak, planlamalar ve stratejiler geliştirmek ve son olarak bunların uygulamasını yapmaktır. Bu etkilerin azaltılması için bahsedilen kavramların bir arada olmasına afet yönetimi denilmektedir (Altay ve Green, 2006; Börühan, 2012.)

Daha geniş tanımı ile afet yönetimi; meydana gelen doğal afetleri hissetmeyen kişilerin haberdar olması, 72 saatlik kritik varsayılan sürenin yönetimin iyi yapılması, afet öncesi yapılan planlamaların etkili bir şekilde yürütülmesi, birden fazla disiplinin bir arada yapılan organizasyonlar doğrultusunda çalışmasının sağlanması durumlarının tümüdür (Kovacs ve Moshtari, 2019; Ortuno vd., 2013).

### **2.4.1. Geleneksel Afet Yönetim Sistemi**

Afet yönetimi sisteminde, geçmişten beri yürütülen çalışmalar ve düzenlemeler: hafifletme, hazırlık, müdahale ve iyileştirme şeklinde dört aşamada ele alınmıştır. Bu şekilde kullanılan

afet yönetim sistemi literatürde geleneksel afet yönetim sistemi olarak adlandırılmaktadır (Kadioğlu, 2007).

Geleneksel afet yönetim sistemine göre afet öncesinde, sırasında ve sonrasında yapılması gereken temel işler vardır. Doğal afetler genel olarak meydana geldiği coğrafi bölgelerde sürekli tekrarlandığı için yapılacak işler bir döngüsel model halini almıştır. Bu döngü dört farklı aşamada ayrı uzmanlıklar gerektiren çalışma türlerini ve işleri tanımlamaktadır. Fakat bu döngü kişilere, kurumlara ve topluma afetler için dört ayrı aşama şeklinde çaba sarf edilmesi gerektiğini ifade etmektedir.

#### **2.4.1.1. Hafifletme Aşaması**

Toplumların fiziki altyapısında, yapılaşmalar için yüksek yer seçimi standartlarının oluşturulması, bunların kontrolünü sağlamak için yasal ve ekonomik stratejilerin geliştirilmesi; toplumun her kesiminden kişilere, toplumlara ve kuruluşlara olası afetlerin zarar ve kayıplarını en aza indirmek amacıyla eğitimlerin verildiği ve alınabilecek önlemlerin hemen uygulamaya koyulduğu afet yönetim sistemi aşamasıdır. (Kurita, 2004)

Hafifletme çalışmaları;

- Geçmiş afetlerden oluşturulan bilgi sistemi,
- Afetlerin oluşturabileceği en büyük ve en küçük tehlikelerin/risklerin belirlenmesi,
- İmar planları esas alınarak jeolojik/jeoteknik etüt raporlarının ve analizlerinin yapıp onaylanması,
- Kuvvetli yer hareketi kayıt şebekesi ve Türkiye ulusal telemetrik kayıt ağı kurulumu
- Heyelan ve kaya düşmesi çığ tehlike ve riskinin önlenmesine yönelik tedbirlerin düzenlenmesi
- Deprem bölgeleri haritası ve afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmelik afet kanunlarının oluşturulması
- Deprem zararlarının azaltılması için araştırma merkezlerinin kurulumu
- Güçlendirme yönetmeliğinin oluşturulması
- Afete maruz kalabilecek bölgelerin belirlenmesi

vb. konulardan oluşmaktadır (Özmen vd., 2005).

### **2.4.1.2. Hazırlık Aşaması**

Meydana gelebilecek olası afetlere karşı hazırlıklı olmak, yaşanacak kayıpları en aza indirmede çok önemlidir (Gazozcu, 2006). Olası bir afetin oluşturacağı kayıp, tehlike ve risklerin en aza indirilmesi veya yok edilmesi için acil yardım ihtiyaçlarının karşılanması, arama kurtarma yetilerinin çoğaltılıp genişletilmesi gerekmektedir. Ek olarak sağlık, barınma vb., gibi afet sonrasında hemen ihtiyaç duyulacak gereksinimler için stok oluşturma, gerekli yerlere en uygun şekilde dağıtım planlamalarının yapıldığı hazırlık aşaması afet yönetim sisteminin ikinci aşamasıdır (Akyel, 2007)

Hazırlık aşaması, afet anlarında gereksinim duyulacak malzeme ve ekipmanın doğru noktalara konumlandırma planlarının yapılması işlerini kapsar. Ayrıca birden fazla kurum ve kuruluşun multidisipliner şekilde eğitim ve donanım çalışmaları, arama kurtarma ve sağlık personellerinin planlaması ve denetimi de bu aşamada yapılır (Gülkan, vd., 2003). Bu evrede tahmin ve erken uyarı faaliyetleri önemlidir. Dünyada önde gelen çalışma konuları arasında afetlerin tahmini için farklı metotların geliştirilmesi ve doğru zamanda uyarı sistemlerinin oluşturulması yer almaktadır. Bu durumda hazırlık aşamasını afet yönetim sisteminde daha önemli kılmaktadır (Akyel, 2007)

Hazırlık aşamasında;

- Afet yönetimi ile ilgili planların hazırlanması,
- İl düzeyinde hazırlanmış olan kurtarma ve acil yardım planları ile ilgili görüş ve önerilerin hazırlanması,
- Deprem senaryolarının üretilmesi,
- Dağıtım hizmetlerine ilişkin ilkelerin belirlenmesi ve uygulamaların yapılması

gibi vb. çalışma konuları yer almaktadır (Özmen vd., 2005).

### **2.4.1.3.Müdahale Aşaması**

Afet yönetim sisteminde yer alan müdahale aşaması; afet durumunda ortaya çıkan gereksinimlerin hızlı bir şekilde tespitinin yapılması, yeterli sayıda personeli, malzeme ve ekipmanları afet yerine en kısa sürede ulaştırma çalışmalarının tamamlanmasını

kapsamaktadır (Ergünay, 2007). Müdahale aşamasında kişilere psikolojik destek de sağlamak son derece önemlidir. Çünkü afetler yaş ekonomik statü veya cinsiyet ayrımı yapmaksızın herkesi etkiler. Kişileri, afetlerin yarattığı etkilerden kurtarmakta müdahale aşamasının kapsamı arasında yer almaktadır (Guzman, 2003).

Müdahale aşaması;

- Deprem büyüklüğü, yeri vb. bilgilerini tespit etmek,
- Hasar tahmini yapmak,
- Afet hakkında daha detaylı bilgiler elde etmek için olay mahalline giderek rapor hazırlamak,
- Deprem bölgesi etkililik olurunun oluşturulması,
- Acil yardım ödeneği çıkarılması,
- Hasar tespit çalışmaları,
- Geçici iskan çalışmaları,
- Hak sahipliği çalışmaları,
- Enkaz kaldırma çalışmaları

konularını kapsamaktadır (Özmen vd., 2005).

#### **2.4.1.4. İyileştirme Aşaması**

Afetlerden sonra iyileştirme aşaması, toplumun, bireylerin, kurumların ve yönetsel altyapıların işleyişinin artık kendi kendine yetebilir duruma gelmesi ve gelecekte meydana gelebilecek afetlere karşı daha hazır hale getirilebilmesidir (Gülkan, vd., 2003). Bu tanımdan yola çıkılarak iyileştirme aşaması için çok yönlü olduğu ve çoklu yaklaşımlarla yürütülebileceğine sonucuna varılabilir. Bu aşamada afet yönetim sisteminin detaylı analizi ve raporlaması yapılabilir. Analizler ve raporlamalar sayesinde gelecekte olası afetlere karşı daha yüksek standartlar ve daha güçlü bir toplum elde edilebilmektedir.

Afetlerden sonra acil durumlar ortadan kaldırıldıktan sonra artık iyileştirme aşaması devreye girer ve ekonomik canlılığın tekrar kazanılması, altyapı düzenlemelerinin yapılması, toplumun psikolojik ve sosyal eğitiminin tamamlanması gibi faktörlerle eski düzen sağlanmaya çalışılır (Özmen, 2002).

İyileştirme aşaması kapsamında

- Alt yapı çalışmaları,
- Yer seçimi ve planlama çalışmaları,
- İmar çalışmaları,
- Kalıcı konut çalışmaları,
- Afetler merkez koordinasyon kurulunun sekretarya görevini yapmak dış yardımların kabul edileceğinin dışişleri bakanlığına bildirilmesi

gibi konular yer almaktadır (Özmen vd., 2005).

Dünyanın her yerinde geleneksel afet yönetim sisteminin dört aşaması kullanılarak farklı yönetim sistemleri geliştirilmiş fakat bu yönetim sistemlerinin birçoğunda müdahale aşamasının ön planda tutulduğu görülmektedir (Gülkan vd., 2003). Geçmişte yaşanan afet deneyimlerine bakılarak geleneksel afet yönetim sisteminin etkililiği ve yeterliliği az gelmiş ve buna bağlı olarak afet yönetim sisteminin yeniden şekillendirilmesine ihtiyaç duyulmuştur (Özmen ve Özden, 2013). Dolayısıyla zaman ilerledikçe modern afet yönetim sistemi kavramı ortaya çıkmıştır (Kadioğlu, 2007). Bu kavram ile afet yönetimin her aşaması ile bütünlük bir sistem elde etmek hedeflenmiştir.

#### **2.4.2. Modern Afet Yönetim Sistemi**

Modern afet yönetim anlayışına göre: insanları enkaz altından çıkarabilmek, yangınları söndürmek, sel veya taşkınları tahliye etmek gibi müdahale aşamasındaki çalışmalar kadar, olması muhtemel tehditlere karşı insanları koruyabilmek ve riskleri afetler olmadan önce ortadan kaldırmak gibi afet öncesi durum çalışmaları da kritik noktadadır. Ek olarak müdahale aşamasında ise duyulacak ihtiyacı en aza indirmek modern afet yönetim sistemi kavramının hedefleri arasındadır (Kadioğlu ve Özdamar, 2005).

Geleneksel afet yönetim sisteminde bulunan dört aşama (hafifletme, hazırlık, müdahale ve iyileştirme) modern afet yönetim sisteminde iki ana başlıkta (risk ve kriz yönetimi) ele alınmıştır. Kayıp ve zararların azaltılması, hazırlıklı olma, tahmin ve erken uyarılar, afetlerin doğasına göre davranmak gibi afetlerden önce, daha çok korunmaya yönelik çalışmalar ve araştırmalar risk yönetimi başlığında yer almaktadır. Kriz yönetimi ise; afet sonrası yapılan müdahale ve iyileştirme işlemlerini kapsayan başlıktır. (Kadioğlu, 2008). Bu bağlamda



modern afet sistemi afet öncesinde, sırasında ve sonrasında ihtiyaç duyulan her şeyi kapsadığı için daha etkin bir afet yönetimi elde edileceği belirtilmektedir (Demirci ve Karakuyu, 2004).

**Çizelge 2.3.** Geleneksel ve modern afet yönetim sistemlerinin karşılaştırılması (Kadıoğlu, 2011’ dan düzenlenerek)

<b>Geleneksel Afet Yönetim Sistemi</b>	<b>Modern Afet Yönetim Sistemi</b>
Önlem yaklaşımı	Kapsamlı ve yönetsel politika yaklaşımları
Önceden belirlenmiş planlamalar	Uyarlanabilir yönetim
Önlem talimatları yaklaşımı ve müdahale	Korumacı yaklaşım
Acil durum yönetimi ve kriz yönetimi	Sürdürülebilir risk yönetimi

#### **2.4.2.1. Risk Yönetimi**

Modern afet yönetim sisteminde bulunan risk yönetimi kavramı geleneksel afet yönetim sisteminde yer alan hafifletme ve hazırlık aşamalarının birleştirilmesine karşılık gelmektedir. Dolayısıyla risk yönetiminde afet politika ve stratejileri için iki farklı çalışma alanı bulunmaktadır. Bu alanlarda, afet zamanları ve günlük zaman yönetimi ayrı ayrı tanımlanmakta, bu zamanlara ilişkin kullanılan teknikler ve yönetsel konular detaylı şekilde ele alınmalıdır. Afetlerden sonra sürdürülebilir bir kalkınma için risk yönetimi çok kritik bir noktada yer almaktadır (Kurita, 2004).

Afet yönetimi sisteminde, afet öncesi dönemin önemini vurgulayan risk yönetimi afetlerin yatacağı tehlikeleri ve kayıpları azaltmak için yapılan çalışmaların tümünü kapsamaktadır (Yaprak, 2015). Bu çalışmalar bir stratejik plan dahilinde yürütülmeli ve afet öncesinde uygulamalarının yapılması gerekmektedir. Örneğin; kentlerde yerleşim alanları için yer seçimi yapılırken, yapılaşma standartlarına ve yer seçim prensiplerine bağlı kalarak kaliteli yapılar üretilmeli ve teknik düzenlemeler olası afetler dikkate alınarak yapılmalıdır. Afet zararlarının azaltılması çalışmalarında mevcut kapasiteyi artırma ve kurumlar arasındaki disiplinin ve iş birliğinin sağlanması konuları ön plandadır.

Afet yönetiminde gerçek bir etkililiğin yakalanabilmesi için hem yerel hem de ulusal bazda yüksek oranda katılım sağlanmalı ve kriz yönetiminde olduğu kadar risk yönetimine de gerekli önem verilmelidir (Doğan, 2015).

Risk yönetimi kapsamında;

- Afet yönetimi kapsamında, merkezi düzey planlamaların hazırlanması,
- İl bazında “Afet Acil Yardım Planlarının” hazırlanması ve geliştirilmesi,
- Hazırlanan planlarda görev alan personellere gerekli eğitimlerin verilmesine ek olarak uygulama ve tatbikatlarla desteklenmesi,
- Acil durum malzemelerinin stoklarının hazır olması,
- Arama-Kurtarma faaliyetlerinin olası senaryolar dikkate alınarak örgütlenmesi ve topluma ekiplerin işini zorlaştırmayacak şekilde planlamanın duyurulması,
- Tahmin-erken uyarı sistemlerinin kurulmasının tamamlanması, aktif hale getirilmesi

gibi konular ana konular sayılabilir (Ergünay, 2006)

#### **2.4.2.2. Kriz Yönetimi**

Afet yönetiminin dinamik olması gerektiği düşünüldüğünde geleneksel afet yönetiminde bulunan müdahale ve iyileştirme aşamalarının karşılığı modern afet yönetim sisteminde kriz yönetimidir (Kelle, 2009). Afetlerin yarattığı olumsuz ve karmaşık durumların her birinin meydana getirdiği krizler için bu aşamada daha önceden planlanmış sistemler senaryolar ve stratejiler yürürlüğe girmelidir. Bu aşamada enkazda bulunan kişiler kurtarılmalı ve en kısa sürede sağlıklı hale getirilmeye çalışılmalı, sağlıklı kişilerin acil ihtiyaçları gerekli fon sağlanarak karşılanmalı, hasar tespiti yapılmalı ve enkaz bertaraf işlemleri yapılmalıdır. Meydana gelen afet için öngörülen kritik süre dolduktan sonra hasarların en kısa sürede onarımına başlanmalı ve olası afetler için daha güçlü bir altyapı oluşturulmalıdır.

Kriz yönetimi çalışma kapsamında;

- Depremin büyüklüğünün belirlenmesi, haber alma ve ulaşım,
- Acil ihtiyaçların belirlenmesi ve temini
- Arama ve kurtarma organizasyonunun sağlanması
- Acil sağlık hizmetleri ve tedavi,
- Tahliye ve barınma için geçici iskân,
- Güvenlik ve çevre sağlığı ve korunmasına yönelik tedbirler,
- Hasar tespit çalışmaları,

- Tehlikeli yıkıntıların kaldırılması ve enkazların bertaraf edilmesi,
- Yeni altyapının oluşturulması,
- Ekonominin canlılığı

gibi konular bulunmaktadır (Ergünay, 2006).

### **2.4.3. Türkiye’ de Afet Yönetimi**

Afet yönetim sisteminin Türkiye’ de geçirdiği süreç uluslararası yaşanan süreçle paralel olarak ilerlemektedir. 1999 Marmara Depremi ile Türkiye afetlere karşı yetersiz ve sistemsiz altyapısını en acı şekilde tecrübe etmiştir (Ergünay, 2007; Okay vd., 2000).

Türkiye afetlerle ilgili politikalar ve çalışmalara ilk olarak;1939 yılında meydana gelen Erzincan depremi, 1942 yılında Niksar-Erbaa, 1943 yılında Adapazarı-Hendek, 1943 Tosya-Ladik, bir yıl sonra meydana gelen Bolu-Gerede depremlerinin ardarda oluşu ve çok sayıda kayıplara neden olması ile başlamıştır. İlk düzenleme 1944 tarihinde “Yersarsıntılarında Evvel ve Sonra Alınacak Tedbirler Hakkında Kanun” ile yürürlüğe girmiştir (Özmen, 2012). Bu süreçte Türkiye’ de özellikle depremlerin beraberinde getirdiği can kayıpları yüzünden yapılaşma sistemleri için farklı kanunlar, mevzuatlar ve yönetmelikler çıkarılmıştır (Özmen ve Özden, 2013). 1999 Marmara Depremleri’ nde karşılaşılan ağır bilanço sonrasında ise farklı afet türleri için 38 kanun ve kanun hükmünde kararname, 6 yönetmelik, 28 kararname, 9 genelge ve 17 tebliğ çıkarılmıştır (Tercan, 2018).

Ek olarak 2018 yılında afetler ile ilgili görev yapan kurumlar; Başbakanlık’a bağlı olan Türkiye Acil Durum Yönetimi Genel Müdürlüğü, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı’ na bağlı Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve İçişleri Bakanlığı’ na bağlı olan Sivil Savunma Genel Müdürlüğü kapatılmıştır. Afet yönetimindeki birden fazla kurumun sistematik karmaşıklığını önlemek amacıyla 2009 yılında kabul edilen 5902 sayılı “Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkındaki Kanun” ile görevler ve sorumluluklar 2018 yılında Cumhurbaşkanlığı Yönetim Sistemi’ ne geçiş aşamasında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile AFAD adı altında tek bir kurumda toplanmıştır. (Özmen ve Özden, 2013)

Türkiye de bir afet gerçekleştiğinde; o afetin seviyesinin belirlenmesi, kurum ve kuruluşların birbiri arasındaki entegrasyonun sağlanması o afete müdahalede bulunma çabası için evrensel

düzeyde tanımlanmış Türkiye Afet Müdahale Planlama (TAMP) adında bir taktiksel ve operasyonel bir planlama mevcuttur.

*AFAD*'ın tanımına göre TAMP; yaşanabilecek her tür ve ölçekteki afetlerde ve acil durumlarda uygulanan müdahale aşamasında; özel sektör, kamu kuruluşları, sivil toplum kuruluşları ve gerçek kişiler arasında etkili bir organizasyonun sağlanabilmesi kapsamaktadır. Ayrıca TAMP bütünleşik planlama yaklaşımı ve kısımlara ayrılmış yapısıyla afet anındaki operasyon riskleri minimum yapacak bir sistemdir.

Çizelge 2.4' e bakıldığında Türkiye' de afetlere yaklaşım şekillerinin değişmesinin en büyük sebebi ülkede meydana gelen ve büyük can kayıplarına sebep olan depremlerdir. Bölüm 2.3.2' de de bahsedildiği üzere Türkiye konum olarak aktif deprem kuşaklarında yer almakta, dolayısıyla bu durum ülkede maddi ve manevi birçok kayba neden olmaktadır. Hem depremlerin Türkiye' yi ciddi anlamda etkilemesi açısından hem de bu tez çalışmasında afet türü olarak depremin ele alınmış olması açısından çalışmanın bu kısmından itibaren afetler daha özele indirgenerek depremler bazında değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.4' te gösterildiği üzere depremler için geliştirilen politika ve stratejilerin birçoğu depremlerden sonra müdahale ve iyileşme aşaması için geçerlidir. Fakat Van Depremi' nden sonra hafifletme ve hazırlık aşamaları da önem kazanmış ve modern afet yönetim sistemi benimsenmiştir. 1999 Marmara depremlerinin önce meydana gelen depremler daha çok ilahi güce ve kaderci anlayışla karşılanmakta ve dolayısıyla alınacak tedbirlerin fayda göstermeyeceği düşünülmektedir. Fakat 1999 Marmara depremlerinin ardından bu anlayış yerini daha doğa kaynaklı anlayışa bırakmış ve depremlerin etkisini azaltabilmek için çalışmaların temeli atılmıştır. 2012 yılına kadar ülkede geleneksel afet yönetim sistemi anlayışı sürdürülüyorken 2012 yılında Van depreminin meydana gelmesinin ardından modern afet yönetim sistemi anlayışı ülkede hakim olmaya başlamıştır.

**Çizelge 2.4.** Deprem Dönemlerine göre afet politikalarının ve stratejilerin gelişimi (Özden, 2013' den düzenlenerek)

<b>Dönem</b>	<b>Afet Politikaları ve stratejileri</b>
1944 Öncesi (1509 İstanbul Depremi' nin ardından başlayan dönem)	Müdahale aşamalarına ağırlık + yeniden yapılandırma ve az sayıda iyileşme politikası ve stratejileri, Afetlerin meydana gelmesini daha çok ilahi güce ve kaderci anlayışa bağlanma eğilimi,
1944 – 1958 (depremlerden önce ve sonra alınacak tedbirler hakkında kanun ile başlayan dönem)	Daha çok afet sonrası yaklaşımlar + az sayıda afet öncesi çalışmalar: Geleneksel afet yönetim sisteminin modellenmesi, Afetlerin meydana gelmesini daha çok ilahi güce ve kaderci anlayışa bağlanma eğilimi,
1958 – 1999 (İmar ve İskan Bakanlığı'nın kuruluşu ile imar çalışmalarının başladığı dönem)	Daha çok afet sonrası yaklaşımlar + Gelişmekte olan afet öncesi çalışmaları: Geleneksel afet yönetim sisteminin uygulanmaya çalışılması, Afetleri meydana gelmesini doğaya ve insana bağlama anlayışına doğru evrilme
1999 – 2012 (1999 Marmara depremleri ile başlayan dönem)	Afet sonrası daha etkin politikalar oluşturma + Afet öncesi politikaların önem kazanması + etkili bir afet yönetim sistemi oluşturma çabası: risk yönetimi anlayışına doğru bir evrim başlangıcı, afetlerin hem doğa hem de insan kaynaklı olduğu anlayışının benimsenmesi.
2012 – Günümüz (Van depremi ile başlayan dönem)	Afet sonrası daha etkin politikalar oluşturma + Afet öncesi çalışmalar yapılması + modern afet yönetim sistemi oluşturma çabası: risk yönetimi anlayışıyla stratejiler üretmek afetlerin.

### 3. DEPREM SENARYOSU

Olası afetlere en iyi şekilde hazırlanabilmek için toplumların afetlerden; fiziksel, ekonomik, sosyal ve psikolojik anlamda nasıl etkilenebileceğini belirlemek gerekir (Karaman ve Şahin, 2009). Afetlerin meydana geleceği zaman, yer, büyüklük ve oluşturacağı kayıp çoğunlukla belirsizdir (Çakırer ve Sakallı, 2020). Bu belirsizlikler, deprem sonrası kriz yönetim sürecinde; mağdurların yerinin ve ihtiyaçlarının belirlenmesi, güvenli olup olmadığı bilinmeyen yollardan ulaşım nasıl sağlanması gerektiği gibi hem karmaşık hem de acil karar vermeyi gerektiren durumlar olduğu için, afet yönetim sisteminde taktiksel ve operasyonel anlamda birçok sorun yaratmaktadır.

Deprem öncesi alınacak tedbirlerle deprem sonrası kriz yönetim sürecinde meydana gelebilecek zorluklar azaltılabilmektedir. Zorlukların azaltılabilmesi için yapılabilecek en önemli faaliyetlerden biri farklı bölgeler için birçok durumu göz önünde bulunduran deprem senaryoları oluşturmak ve bu senaryoları baz alarak bölgelerin olası bir depremden, hangi oranda etkileneceğini bilgisini elde ettikten sonra hem kriz hem de risk yönetim süreçleri için planlamalar oluşturulmaktadır. Oluşturulan planlamalar ile gerekli önlemlerin alınıp meydana gelmesi muhtemel zararların azalması beklenmektedir (Yaprak, 2015; Çiftçi vd., 2020).

Deprem senaryolarının üretilmesindeki temel amaç; bir afetin meydana geldiği bölgede oluşturacağı hasarın (fiziksel, sosyal, ekonomik) sayısal anlamda tahmin edilmesi temellerine dayanmaktadır. Bu sayede kayıpların azaltılması için gerekli önlemler artırılabilir (Işık vd., 2017). Ek olarak hasar kayıp tahmini ve deprem senaryoları; yönetici pozisyonundaki kişilere, afetlerin yaratacağı risklerin azaltılmasında, hazırlık aşamasında yapılan ve müdahale aşamasında kullanılan afet planlama çalışmaları için gerekli araçları ve esneklik payını belirlemede büyük katkı sağlar (Fema, 2005).

Afet yönetim sistemlerinde senaryo yaklaşımı kullanmanın avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Avantajı; parametrelerin yaklaşım açısından gerçekçi bir karakteristiksel durumu ve istatistiksel anlamda hesaplanabilir olması ve gelecekteki belirli durumları dikkate alma yetisinin olmasıdır. Dezavantajı ise, senaryolar ile olası olayların sayısında bir sınırlama olması ve “senaryo yaklaşımları daha genel, sıradan ve izlenebilir olduğu için gerçekçiliğinin sorgulanması gerektiği düşünülmektedir (Snyder, 2006).

Deprem senaryoları sayesinde; sismik tehlike çalışmaları ile herhangi bir yerleşim yerinde olabilecek depremlerin büyüklüklerinin tahmin edilebilmesi, olası bir depremin bina altyapı envanterinde oluşturacağı hasarın ve kaybın geçmiş veriler kullanarak ekonomik açıdan tahmin edilebilmesi veya meydana gelmesi olası bir depremin; hangi bölgeleri, hangi yapı tiplerini etkileyeceğinin tahmin edilmesi elde edilebilecek bilgilere örnek olarak verilebilir (Erdik ve Durukal, 2007; Karaman, 2019; Özmen ve Can, 2016).

Literatürde deprem senaryolarını üretebilmek için farklı başlıklarda sınıflandırılmış teknikler mevcuttur. Bu tez çalışmasında literatür de yer alan teknikler;

- Deterministik yöntemler,
- Stokastik (Olasılıksal) yöntemler,
- Kurgusal yöntemler

şeklinde üç başlıkla sınıflandırılmıştır.

### **3.1.Deterministik Yöntem**

Deterministik yöntemle; oluşmalarına dair olasılığın kesin olmadığı ve tam olarak belirli etkileri olamayan bazı senaryoları ve tehlike modellerini referans alan senaryolar oluşturulabilir (Crozi ve vd., 2005). Çalışma çerçevesinde yapılan araştırmalarda deterministik yöntemler diğer yöntemlere göre daha fazla kullanıldığı bilinmektedir.

Afet yönetim sistemlerinde özellikle hazırlık aşamasında bilgiyi yararlı ve kullanılabilir hale getiren başlıca araçlardan biri fiziksel ve ekonomik zararı tahmin edebilen yapay, uzman ve simüle sistemlerdir. Afetlerin yaratacağı kayıpları tahmin etmek oldukça karmaşık ve istatistiksel açıdan analizi zordur. Deterministik yöntemlerle deprem senaryosu üretebilmek için; tehlike yaratacak riskleri hesaplama, sigortalı değerlerin ve konumun belirlenmesine ek olarak mühendislik, bilimsel ve finansal modelleri simüle eden karmaşık bilgisayar programları birbirine entegre eden uzman sistemlerin kullanılması gerekmektedir (Walker, 1999).

Deterministik yöntemle modellenen bir deprem senaryosunda; diri fay hatları ve geçmiş deprem verilerinden faydalanarak, deprem üretme açısından potansiyeli yüksek yerler belirlenir ve yine geçmişte yıkıcı hasara neden olmuş depremleri baz alarak olası depremler

için büyüklük-sıklık ilişkisi kurulur ve maksimum deprem büyüklüğü hesaplanabilir. Ardından uygun birkaç azalım ilişkisi belirlenerek maksimum yer ivmesi değerleri hesaplanabilir. Bu şekilde belirlenen bölgenin depremselliği ve depreme olan yatkınlığı ilişkiler kurulup hesaplanıp analiz edilebilir (Özmen & Can, 2016)

Deterministik yöntemlerle temel seviyede bir deprem senaryosu oluşturmak için

- Deprem kaynaklarının tümünün karakterizasyon tanımının yapılması,
- En yakın fay hatlarının yerleşim yerlerine olan uzaklık hesaplarının yapılması,
- Yer hareketi parametrelerine (tepe zemin ivmesi, tepe zemin hızı, tepe zemin yer değiştirmesi, spektral ivme, spektral yer değiştirme) bakılarak en kritik yerin seçimi ve
- İlgili yerlerin tehlike modellerinin oluşturulması ve risklerin açıklanması

aşamalarının metodolojik sırasıyla tamamlanması gerekmektedir (Saygı, 2012).

Deterministik yöntemler ile üretilen deprem senaryolarında öngörülen en büyük eksiklik zaman boyutundan bağımsız olması, gelecekte olması muhtemel depremlerin meydana geleceği yer ve oluşumunda modellenemeyen birkaç öznelikselle durumun belirsizlik içermesidir. Bu nedenle deprem senaryosu literatüründe bahsedilen durumların modellendiği Stokastik yöntemler de mevcuttur (Koeri, 2003; Taşlıova, 2010).

### **3.2.Stokastik (Olasılıksal) Yöntem**

Stokastik yöntemlerle oluşturulan deprem senaryoları ile, hasar yapıcı yer hareketlerinin belli bir konumda ve belli bir zaman içerisinde meydana gelebilme olasılığı belirlenmeye çalışılır. Ayrıca stokastik yöntemlerle belirlenen bölgeye etki eden birçok durum ve etkinin bütün olasılıklarını dikkate alan tehlike bazlı modelleri ve oluşum için üretilen yüzlerce ya da binlerce simülasyonu referans alır. (Crozi vd., 2005). Stokastik yöntemlerle üretilen senaryoların bir kısmını coğrafi bilgi sistem (CBS) tabanlı hasar ve kayıp modelleri oluşturmaktadır. Bu modellerde elde edilen çıktının en iyi sonuç olabilmesi için; hesaplama yordamları içeren ek deterministik bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çıktılar sadece ekonomi ile alakalı değil insan canı ile alakalı da olabilir ve kayıpların sigortalama işleri ve finansal açıdan etkileri hesaplanabilir (Walker, 1999; Fema, 2005).



Stokastik yöntemlerin uygulandığı deprem senaryolarında, afetler ve doğuracağı belirsiz sonuçları temsil eden olasılıksal durumlar hazırlık aşamasında oluşturulan planlamalar için deterministik yöntemlere göre daha uygun ve gerçekçi bir araçtır (Barbarosoglu ve Arda, 2004). Stokastik yöntemlerde kullanılmak istenen değerler deterministik yöntemlerdeki gibi net değerler olmamakla birlikte istenilen bütün parametrelerin eksiksiz sisteme işlenmiş olması gerekmektedir ve verilen parametreler için tanımlanmış tolerans aralığı değerleri mevcuttur. Bu değerler arasında kurulan ilişkiler ile oluşum olasılıklarını hesaplanabilir (Baker, 2013).

Stokastik yöntemler kullanılarak izlenmesi gereken akış

- Yer hareketlerinin oluşturulan tolerans aralığının dışına çıkabilecek bütün kaynak parametreleri tanımlanır,
- Deprem büyüklüklerinin dağılımını karakterize edilir (çeşitli büyüklükteki depremlerin meydana gelebileceği oranlar),
- Potansiyel depremlere ilişkin fay hattı-yer dağılımı karakterize edilir,
- Deprem büyüklüğü, uzaklık vb bilgiler fonksiyon olarak yer hareketi yoğunluğundan elde edilir,
- Toplam olasılık teoremi ile fonksiyonlaştırılmış deprem büyüklüğü, konumu ve yer hareket yoğunluğundaki belirsizlikler giderilmeye çalışılır, tehlike modelleri ve riskler açıklanır

metodoloji sonlandırılır. Bu akış tamamlandığında, temel çıktılar olarak; bir deprem durumunda zeminin hangi şiddetle sallanacağı yoğunluğunun seviyeleri ve aşılma oranlarının tam bir dağılımı elde edilebilir. Hasar yapıcı bir deprem ile yer hareketinin yanılması yok edilecek ve sonuç olarak ilgili bölgelerde olması muhtemel depremlerin büyüklüğü, konumu ve zamanı için tahminler elde edilecektir (Baker, 2013).

Stokastik yöntemlerin kullanımındaki en büyük eksiklik veya zorluk sisteme elde edilmesi zor ve zaman gerektiren bilgilerin istenmesidir. Stokastik yöntem kullanıldığında sistemin akışsal olarak isteyeceği parametrelere; ilgili bölgede daha önceden hasar yapıcı bir depremde meydana gelen ekonomik ve fiziksel kayıplarının tolerans değerleri, mevcut zamanda ilgili bölgede yer alan bina envanter yapı stok bilgileri, zemin etütlerinin bilgileri gibi birden fazla ve bir araya getirilmesi zor bilgiler örnek olarak verilebilir (Çiftçi vd., 2020).

### 3.3.Kurgusal Yöntem

Deprem senaryosu oluşturabilmek için kullanılan bir diğer yöntem ise kurgusal yöntemdir. Bu yöntem daha çok depremin etkilerini sosyal anlamda ifade eden, istatistiksel veri içermeyen matematiksel ifadelerden oldukça uzaktır. Matematiksel ifadeler kullanılmadığı için bu senaryo oluşturma yönteminde sayısal anlamda gerçekçi bir analiz mümkün değildir. Fakat bazı çalışmalarda; afet sırasında yaşanan kriz durumunu sözel olarak ifade etmek için, varsayımların fazla olduğu, stokastik ve deterministik yöntemlerde istenen bilgilerin elde edilemediği durumlarda başvurulan bir yöntem olarak yer almaktadır (Çiftçi vd., 2020; Doğan, 2015).

Bu tez çalışmasında deprem senaryosu oluşturmak için stokastik temelleri olan kurgusal yapıda bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem literatürde ayrı ayrı kullanılan iki farklı yöntemin beraber kullanılması ile elde edilmiştir. Çalışmada deterministik yöntemin kullanılmamasının nedeni çalışmanın uygulamasının yapıldığı yerin Kırıkkale ili olması ve buna bağlı olarak deterministik yöntemlerde istenen net değerlerin elde edilememesidir.

Çalışmada tamamıyla stokastik yöntemlerin kullanılmamasının nedenleri arasında uygulamanın yapıldığı Kırıkkale ilinde geçmişte meydana gelmiş hasar yapıcı bir depremin bulunmaması, il genelinde yapılmış bir zemin etüdü çalışmalarının ve bina envanter yapı stok çalışmalarının yapılmış olmamasıdır. Tamamıyla kurgusal yöntemin kullanılmamasının nedeni ise bu yöntemin gerçekçi sonuçlar üretmemesidir.

Stokastik ve kurgusal yöntemlerin birleştirilmesi bu tez çalışmasına birçok fayda sağlamıştır. Bu faydalar arasında; kurgusal yöntem sayesinde çalışmada elde edilemeyen birkaç değer varsayım olarak kullanılması, stokastik yöntem sayesinde ise bazı değerlerin olasılıksal olarak ifade edebilmenin mümkün olmasıdır. Yapılan bu tez çalışması ile yöntemlerin birleştirilmesi açısından deprem senaryosu literatürüne farklı bakış açılarının sunarak katkı sağlamak edinilen hedefler arasındadır.

#### 4. LİTERATÜR TARAMASI

Özmen (2002), çalışmasında deterministik bir yöntem kullanarak İstanbul ili için deprem senaryosu oluşturmuştur. Deterministik yöntemi kullanabilmek için 1999 Marmara depremlerinden gerekli kaynak parametreleri hesaplanmış ve 1999 da meydana gelen İzmit depreminin bazı gerçek değerleri değiştirilmeden kullanılmıştır. Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF) boyunca geçmişten beri olan depremler incelenerek geçmiş ile gelecek arasında bir azalım ilişkisi kurulmuştur. Referans alınan 1999 depreminden farklı şekillerde etkilenen yapıların hasar durumları senaryoda tahmin edilecek hasar durumu için bir oran oluşturmuştur. Çalışmada oluşturulan senaryo sonucunda; ölü ve yaralı sayısı, yıkılmış, ağır ve orta hasarlı bina sayısı tahmin edilmiştir.

Küçükçoban (2004), JICA' nın oluşturduğu bir senaryoyu İstanbul da olası bir depremin hasarlarını tahmin etmek için kullanmıştır. Kapasite eğrileri ve bina hasar fonksiyon bilgileri kullanılarak uygun bir azalım ilişkisi hesaplanmıştır. Çalışmada deterministik ve stokastik yöntemlerde bulunan tüm zorlu hesaplamaları yapan bir program geliştirilmiştir ve sonuç olarak bu program ile İstanbul ilinde olası bir depremde oluşacak hasarlar tahmin edilmiştir.

Tüzün (2008), olası depremlerin mevcut yapı stoğunda yaratacağı hasarın tahmini için deterministik bir yöntem önermiş ve hasar düzeylerinin tanımlanması, yapı stoğu veriler ve deprem hareketlerinin özellikleri şeklinde üç farklı değerden her bina sınıfına ait hasar görülebilirlik parametreleri oluşturulmuştur. Bina envanter bilgileri Bolu Belediyesi' nden elde edilmiş ve çalışmanın gerçekliği arttırılmıştır.

Karaman ve Şahin (2009), çalışmaları itibariyle, stokastik bir yöntem kullanarak ve dolayısıyla ilgili bölgenin tüm olası durumları dikkate alarak olası depremin birçok boyuttaki (fiziksel, ekonomik vb.) sonuçlarını tahmin etmek için HAZTURK adında bir uzman sistem yazılım programı geliştirmişlerdir. Çalışma İstanbul ilinin Zeytinburnu ilçesinde yapılan bir uygulama ile desteklenmiştir. Geliştirilen programda sisteme tanımlanan ve elde edilmesi zor olan parametre değerlerini ise saha çalışması ile hesaplanmıştır.

Taşlıova (2010), HAZTURK programı kullanılarak Esenler ilçesi için olası bir depremin oluşturacağı hasar tahmin edilmiştir. Oluşturulan deprem senaryosunda programa girilen

veriler Esenler Belediyesi'nden, ve JICA (2002), Karaman (2009) çalışmalarından elde edilmiş ve bu veriler arasında azalım ilişkisi kurulmuştur.

Saygı (2012), hem deterministik hem de stokastik yöntemleri kullanarak Marmara Denizi'nde yer alan ve bir sismik kayıp tahmini uygulaması yapmıştır. İstanbul'daki yerleşim merkezlerine en yakın mesafedeki diri faylar kullanılarak İstanbul ilinin depremsellik riski değerlendirip analiz edilmiştir. Bu riskler bağlamında İstanbul ilinin Kadıköy ilçesinde bulunan bir binanın olası bir deprem durumunda hasar görülebilirlik durumu hesaplanmış ve elde edilen değerler belediyelerin, sigorta ve tasarım şirketlerinin parametreleri arasında yer almaktadır.

Pektaş (2012), iki farklı deprem senaryosunu İstanbul ilinin Başakşehir ilçesi için oluşturmuştur. Özmen (2002)'nin çalışmasından elde edilen sonuçlar birinci senaryoda kullanarak olası bir depremin yaratacağı hasarın tahmin edilmiştir. İkinci senaryoda ise; bazı varsayımlar altında Japonya Uluslararası İş Birliği Ajansı (JICA) ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi ortaklığıyla yürütülen bir programdan nüfus ve bina sayısı değerlerinden faydalanılarak İstanbul ilinin Başakşehir ilçesinde yapılan bir uygulama ile olası bir depremin oluşturacağı hasar tahmin edilmiştir. İki senaryo sonucunda da ; ölü, ağır ve hafif yaralı sayısı, ağır, hafif ve orta hasarlı bina sayısı tahmini bilgileri hesaplanmıştır.

Fahjan, vd. (2015), AFAD-RED programı kullanılarak stokastik yöntem tabanlı Gebze ilçesinde yapılan bir uygulama ile deprem senaryoları elde edilmişlerdir. Bu senaryoların risk durumuna karşı yapısı ve ayrıca deprem yer parametrelerinin (deprem kaynağı, yer zemin hareketleri, zamanı vb.) riske karşı etkisi değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler neticesinde ihtiyaç duyulacak barınak, yapı hasarları ve oluşacak can kaybı oranları elde edilmiştir. Ek olarak her mahalle için ayrı ayrı analiz yapıp yapmamanın risk durumu üzerindeki etkisi CBS kullanılarak haritalarda gösterilmiştir.

Balkasoğlu (2018), tekrarlı yapay sinir ağlarını kullanarak yeni bir deprem tahmini sistemi önermiştir. Uygulama kısmında Bingöl ilinin verileri ele alınmış olup elde edilen sonuçlar depremlerin oluşum modellerini zamansal ve mekânsal anlamda gerçekçi kılacak niteliktedir.

Işık, vd. (2019) stokastik yöntem ile Kırşehir ili için Earthquake Loss Estimation Routine (ELER) programını kullanarak üç farklı deprem senaryosu elde etmişlerdir. Çalışma üç

aşamadan oluşmakta ve ilk aşamada Kırşehir ilinin tamamı düşünülerek alan analizleri yapılmıştır. İkinci aşama da deprem tehlike modelleri oluşturulmuş ve son aşamada ise elde edilen bilgiler ELER programına girilmiştir. Bu şekilde bu üç aşama üç farklı fay hattı ve büyüklükte oluşabilecek üç farklı deprem ve hasar üretilmiştir.

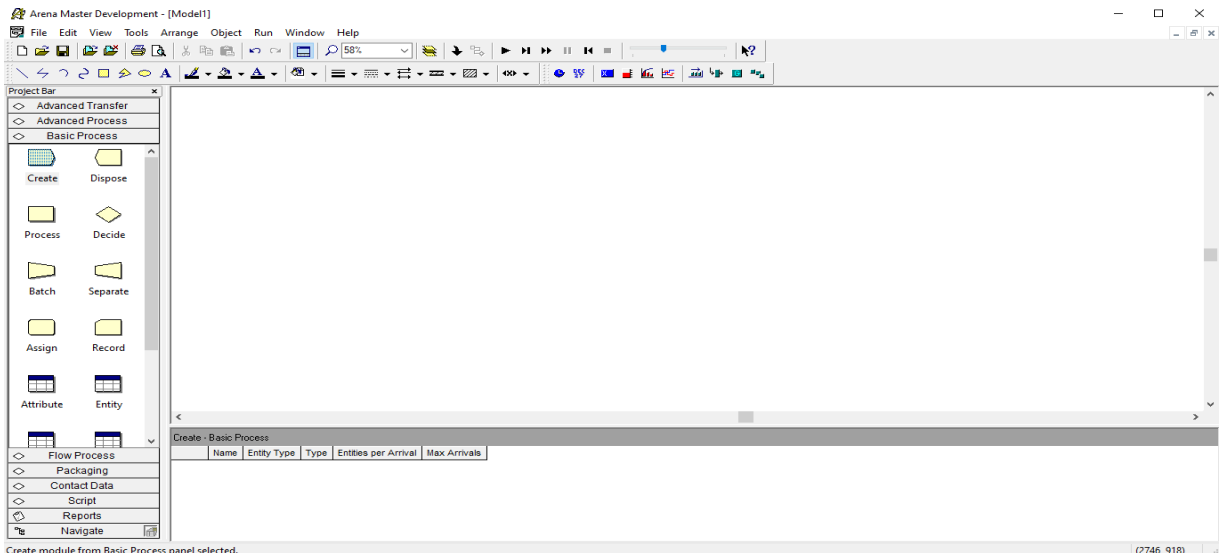
Temur vd. (2019), İstanbul ilinin Ümraniye ilçesi için dört farklı deprem senaryo oluşturulmuş ve bu senaryolar ile deprem sonrası için lojistik ağ tasarımı yapılmıştır. Çalışmanın asıl amacı farklı deprem senaryoları altında ve kaos durumunda çok kısa bir süre içinde temel insani ihtiyaçlara ulaşımın sağlanmasıdır. Senaryolar oluşturulurken; Ümraniye ilçesi 35 bölgeye ayrılarak ve bu bölgelerde fay hattının bulunup bulunmaması durumuna göre çok hafif-çok şiddetli (1-5 arasında değerler) aralık değerleri verilmiştir. Bu şekilde fay hatlarının ilçede tam olarak nerede bulunduğu bilgisi senaryo oluşturmayı mümkün kılmıştır. Örneğin ilk deprem senaryosuna göre, her bölge eşit şekilde etkilenmiş ve hesaplanan deprem şiddeti 3 olarak tanımlanmıştır. Dördüncü senaryo ise, fay hattının çalışma kapsamında belirlenen ikinci ve üçüncü bölgelere yakın olduğu kabul edilmiş ve deprem şiddeti 4 olarak tanımlanmıştır.

## 5. SİMÜLASYON MODELİ İLE DEPREM SENRAYOSU OLUŞTURMA

Bu tez çalışmasında, simülasyon modeli kurularak deprem senaryosu oluşturulmuştur. Oluşturulan simülasyon modeli ARENA programı kullanılarak çalıştırılmış ve nihai sonuçlara varılmıştır. Bu bölümde, simülasyon modeli kurmak için; kullanılan parametreler, varsayımlar, ağ yapısı ve kurulan simülasyon modelinin ARENA programında uygulaması anlatılmaktadır. Simülasyon modeli ARENA programına uygulanırken kullanılan program modüllerinin açıklaması da bu bölümde yer almaktadır.

### 5.1. Simülasyon Modelinde Kullanılan Arena Programının Modülleri

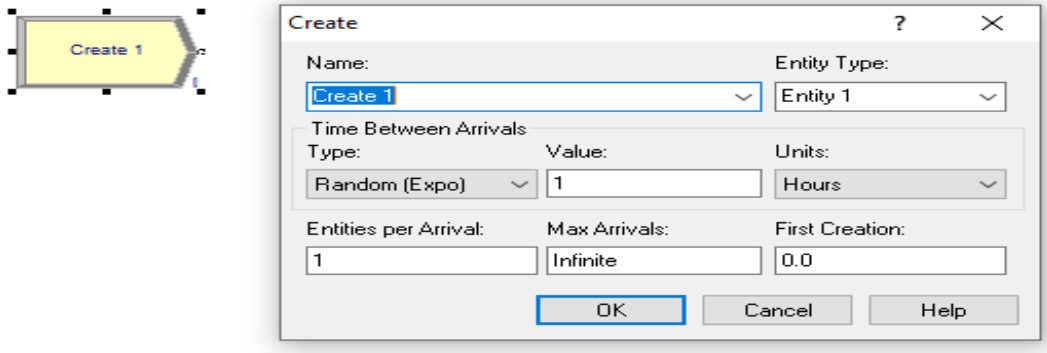
Bu tez çalışmasında simülasyon yapısını oluşturmak için ARENA Rockwell programı kullanılmıştır. Arena programı, Rockwell Automation Şirketi tarafından geliştirilmiş bir otomasyon ve simülasyon yazılımıdır. SIMAN işlemcisi ve simülasyon dilini kullanarak, mevcut performansı ve olası alternatif çalışma modlarını analiz etmek için bir üretim veya hizmet sürecini simüle etmek için yaygın olarak kullanılır. Bir sürecin modellemesini simüle ederek, kaynak tahsisini doğruya yakın ayarlayabilir ve ardından sistem davranışını gözlemlenebilir. Ayrıca sonradan oluşabilecek olayların önceden tahminini sağlayabilir (Wang vd., 2009). Şekil 5.1' de çalışmada kullanılan ARENA programının arayüzü bulunmaktadır. Arayüzde yer alan modüller ve işlevleri tez çalışmasının daha iyi anlaşılabilmesi açısından aşağıdaki başlıklarda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 5.1. ARENA programının ekran görüntüsü

### 5.1.1. Create Modülü

Create modülü bir simülasyon modeline başlamak için gerekli modül olmakla birlikte simülasyon sisteminde hareket eden unsurların tanımlandığı modüldür. Sistem içerisinde hareket eden unsurlara gezen birim denilmektedir. Gezen birimler; belirlenen rota doğrultusunda varışlar arası zamana göre oluşturulabilir (Türker, 2015). Gezen birimler oluşturulduktan sonra sistem içerisinde farklı modüllere uğrayarak işlemlerden geçer. Şekil 5.2' de gösterilen entity type kısmında gezen birime tipi belirlenmektedir.

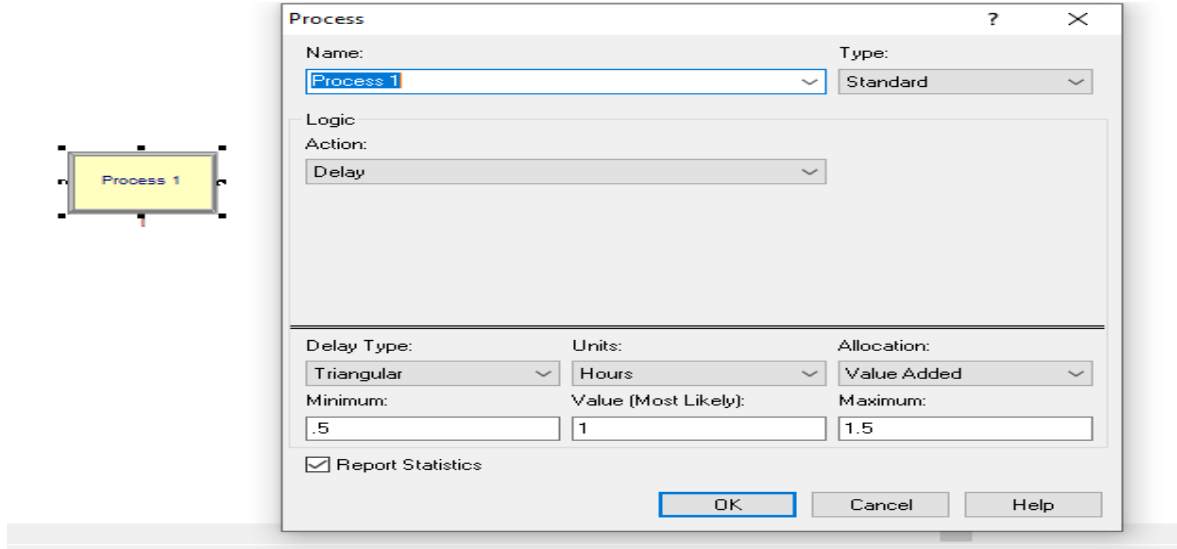


Şekil 5.2. Create modülü ve özellik penceresi

### 5.1.2. Process Modülü

Simülasyon sistemindeki gezen birimler; belirli bir yerde, belirli bir süre geçirerek herhangi bir işlem bulunuyorsa bu durum sistemde process modülünün standart kullanımıyla modellenebilir. Üretim ve hizmet sistemlerinde herhangi bir işlemin olmaması mümkün değildir. Bu modül ile iki işlem işlem yapılabilir. Birinci işlem; hiç kaynak kullanmadan işlemler yapılabilir. İkinci işlem ise; herhangi bir kaynak kullanarak işlem yapılabilir (Türker, 2015). Bu durum Şekil 5.3' te verilen logic action kısmı ile gerçekleştirilebilir. Ek olarak, Şekil 5.3' te type kısmı ile standart ya da submodel (alt model) seçilerek modülün ne amaçla kullanılacağı seçilebilir. Proses modülü ile; zamanı, İşlem önceliğini tanımlanabilir ve duruma göre modül gezen birimleri işlem sırası gelene kadar kuyrukta tutar. Eğer simge üzerinde bir çizgi varsa bu sistemde kuyruk olduğunu belirtmektedir (Şimşek, 2016).

Şekil 5.3' te gösterilen type kısmında standart seçeneği kullanıldığında gezen birimler bu modülde bekletilir ve bir kaynakta işleme tabii tutulur. Type kısmı standart olarak seçildiğinde program Şekil 5.3' te görüldüğü gibi birden fazla opsiyon sunacaktır. Bu opsiyonlar gezen birime yapılacak işlem için kullanılacak kaynak hakkında detaylı bilgileri içermektedir.

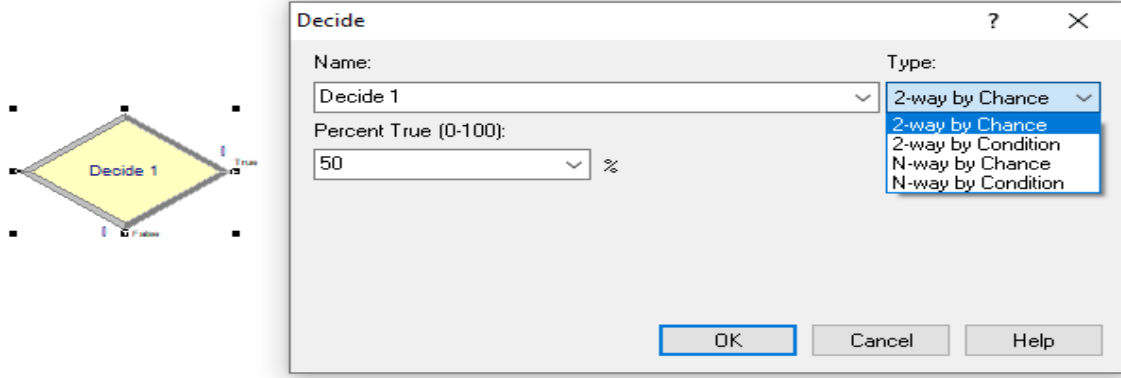


Şekil 5.3. Process modülü ve özellik penceresi

### 5.1.3. Decide Modülü

Gerçek hayatta yapılan işlemlerin sonucuna varabilmek için sürekli birden fazla seçenek arasında tercih ve karar durumları söz konusudur. Bu durum Decide modülü ile Şekil 5.4' te gösterildiği gibi simülasyon sistemlerinde de mevcuttur. Bu modül ile gezen birimler sistem içerisinde olasılıksal veya şarta bağlı olarak bir seçeneğe yönlendirilebilirler. Gezen birim bu modüle ile geldiğinde Şekil 5.4' te bulunan type kısmından seçenek sayısı ve percent true kısmı ile olasılıklar veya şartlar belirlenir. Belirlenen alternatif yollardan birini seçer ve akışına devam ederek sistem içerisinde belirlenen rotada ilerler (Türker, 2015).

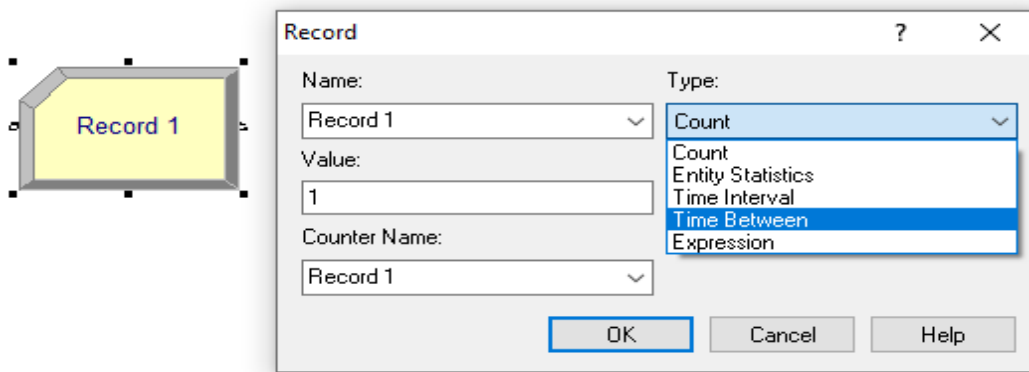




Şekil 5.4. Decide modülü ve özellik penceresi

#### 5.1.4. Record Modülü

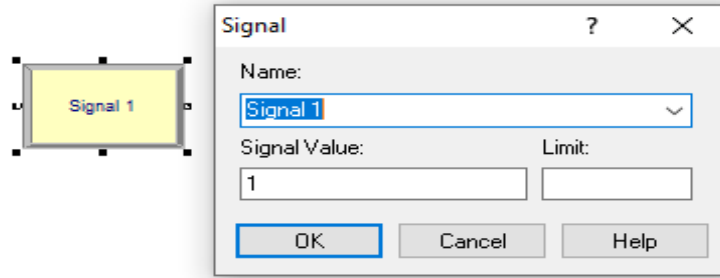
Record modülü sisteme eklendiğinde, sistemde gezen birimler ile ilgili; adet, zaman, maliyet vb. faktörlerinin verilerini elde etmek, performanslarını ölçmek veya istenilen çıktı miktarlarını belirlemek için kullanılan modüldür. Record modülü sayaç niteliindedir ve verileri hafızada tutar. Kullanıcı bu modül ile Şekil 5.5’ te verilen type kısmını kullanarak beş istatistik tipini seçerek; gezen birimin sistemde harcadıkları zamanı, adedini, performanslarını, maliyetlerini veya bir modülden bir modüle geçene kadar harcadığı zamanın raporu tutulabilir (Türker, 2015; Şimşek, 2016).



Şekil 5.5. Record modülü ve özellik penceresi

### 5.1.5. Singal Modülü

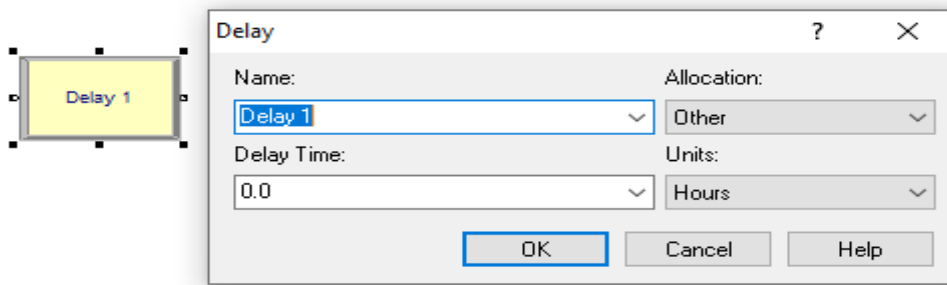
Gezen birimler Signal modülüne uğradığı zaman, Şekil 5.6'da verilen signal value kısmı ile bir sinyal kodu verilir. Wait for Signal şeklinde kurulmuş olan ve Holt modülüne bu sinyal kodu gönderilir ve belirlenen sayıda gezen birimin Holt modülünden bırakılması amaçlanır (Türker, 2015).



Şekil 5.6. Signal modülü ve özellik penceresi

### 5.1.6. Delay Modülü

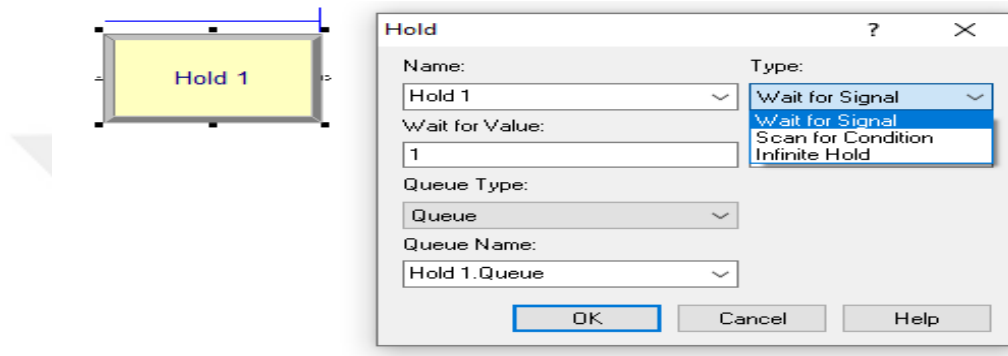
Modüle gelen gezen birimi belirli bir süre boyunca oyalar, başka bir deyişle, sistemde Delay modülü kullanılıyorsa gezen birimin belli bir süre zaman kaybetmesi istenir (Şimşek, 2016). Gezen birim Delay modülüne uğradığı zaman, modülde Şekil 5.7' de verilen delay time kısmında belirlenen zaman boyunca kalır. Burada gezen birim herhangi bir kaynak tahsis edilmez herhangi bir kuyrukta oluşmaz. Hemen hemen kaynaksız kullanılan Process modülü ile aynı işlemlere sahiptir.



Şekil 5.7. Delay modülü ve özellik penceresi

### 5.1.7. Hold Modülü

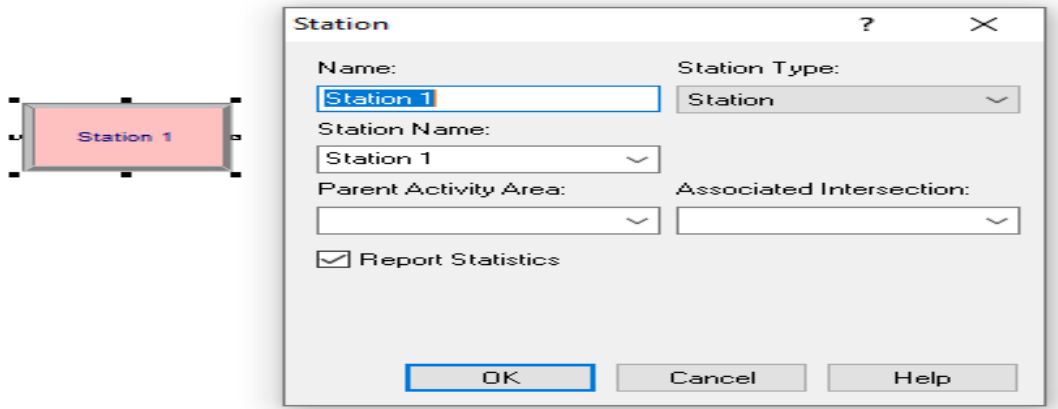
Hold modülünde gezen birimler Şekil 5.8’ daki type kısmında bulunan 3 farklı seçenek şeklinde sistemde bekletilebilirler. Eğer gezen birim Şekil 5.8’ de verilen; Wait for Signal seçeneği ile tutuluyorsa, sisteme Signal modülü eklenerek gezen birime izin vermek için kullanılır. Gezen birim Scan for Condition ile modülde tutuluyorsa sistemde koşulan şartın modülde sağlanması gerekmektedir. Eğer Infinite Hold ile sistemde bekletiliyorsa gezen birim sistemde sonsuza kadar tutulabilir (Türker, 2015).



Şekil 5.8. Hold modülü ve özellik penceresi

### 5.1.8. Station Modülü

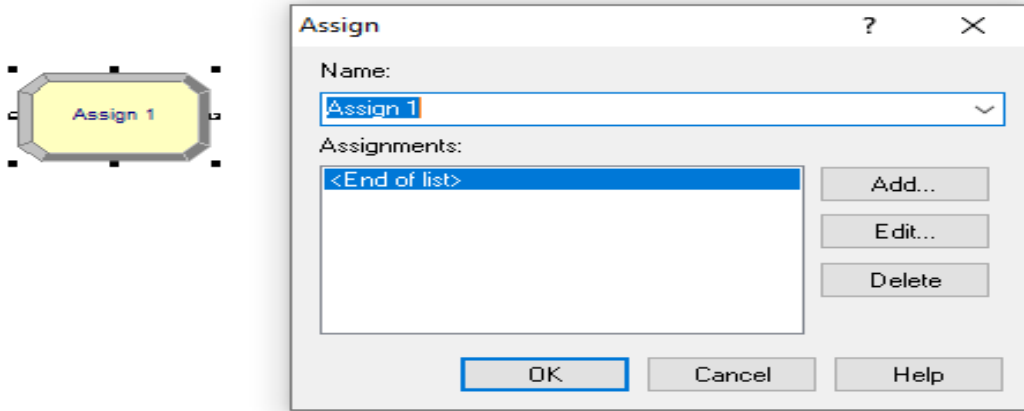
Station modülü gezen birimlerin nakledileceği yerleri belirlemek için kullanılır (Şimşek, 2016) Şekil 5.9’ daki Station modülünün Station Type kısmı ile tanımlanacak istasyonun set mi yoksa tek bir istasyon olup olmadığı belirlenebilir



Şekil 5.9. Station modülü ve özellik penceresi

### 5.1.9. Assign Modülü

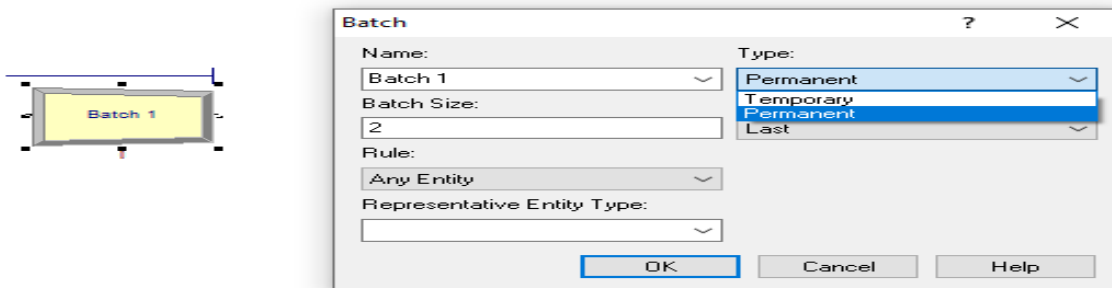
Assign modülü ile sistemin tanımlanmış; değişkenlerine (Variables), gezen birimin; özelliklerine (attributes), özelliklerine, tipine (entity types), resmine (entity pictures) veya diğer sistem elemanlarına değer atayabilmek için kullanılmaktadır (Türker, 2015). Bahsedilen bu değerler Şekil 5.10'da verilen Assign modünde, add sekmesine tıklanarak yapılabilir. Tek bir assign modülü ile birden fazla özellik ataması yapılabilmektedir.



Şekil 5.10. Assign modülü ve özellik penceresi

### 5.1.10. Batch Modülü

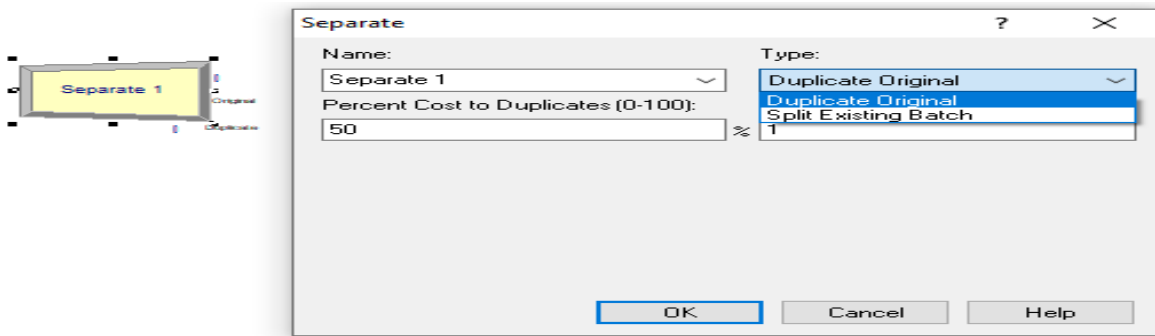
Batch modülü ile simülasyon modellerinde gruplama mekanizmasını sağlar (Şimşek, 2016). Bu modül sistemde tanımlanan gezen birimler Şekil 5.11' de gösterildiği üzere type kısmından geçici ya da kalıcı olarak gruplamayı amaçlar



Şekil 5.11. Batch modülü ve özellik penceresi

### 5.1.11. Separate Modülü

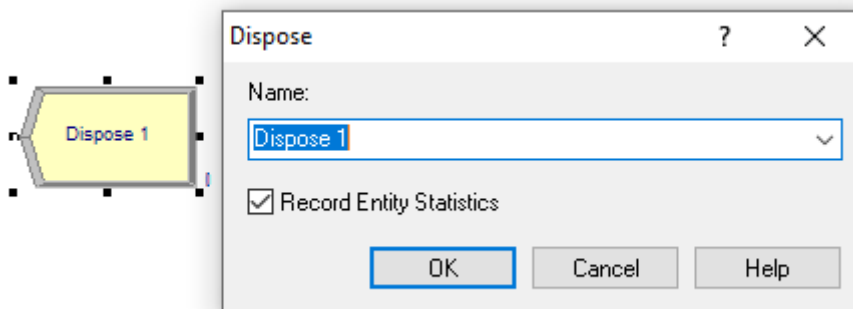
Separate modülü ile, sistemde tanımlanan gezen birimlerin belirlenen miktarlar doğrultusunda kopyası oluşturulabilir. Yani gezen birim istenilen miktara bölünebilir. Orijinal gezen birim ve oluşturulan kopyalar farklı çıkış yerlerinden ayrı ayrı modülü terk ederler (Türker, 2015). Şekil 5.12’ de bulunan type kısmı ile gezen birimin ayırıştırmak ya da kopyalamak için kullanılacak yöntem seçilebilir.



Şekil 5.12. Separate modülü ve özellik penceresi

### 5.1.12. Dispose Modülü

Dispose modülü; ile simülasyon modelinde tanımlanan gezen birimlerin işleminin sonlandığı ve sistemi ter etmesi gerektiği anlamına gelmektedir (Şimşek, 2016). Şekil 5.13’ te verilen Record Entity Statistics seçeneği ile gezen birimlere ait istatistiksel bilgilerin kaydedilmesi sağlanabilir.



Şekil 5.13. Dispose modülü ve özellik penceresi

## 5.2. Deprem Senaryosu Oluşturmak için Simülasyon Modeli Kurulumu

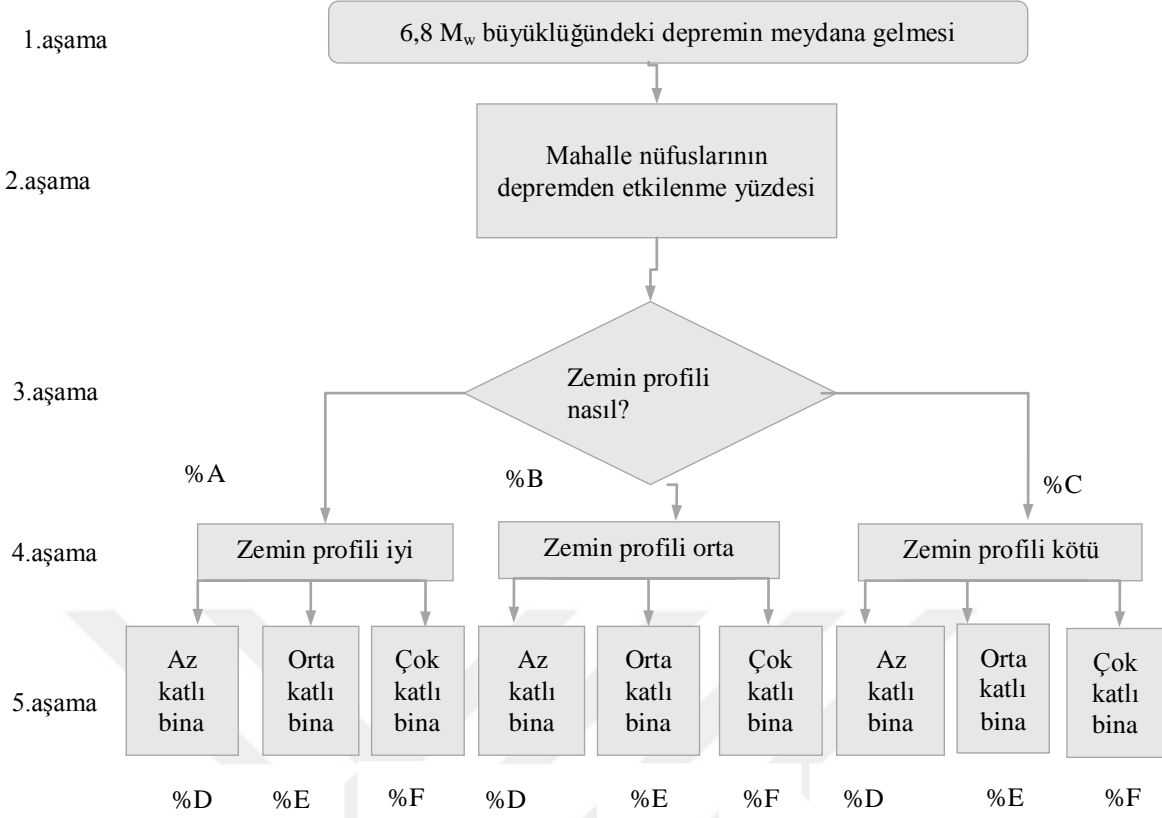
Bu tez çalışmasında ARENA programı ile stokastik temelleri olan kurgusal yapıda bir yöntem kullanılarak deprem senaryosu üretilmiş ve oluşabilecek hasar ve kayıplar tahmin edilmiştir. Deprem senaryosu; stokastik özellikler taşıyan ve depremin oluşum belirsizlikleri arasında yer alan bina kat sayısı, zemin profil bilgisi ve çalışma kapsamında bulunan ilgili mahallelerin nüfus bilgileri temelleri üzerine oluşturulmuştur.

Olası bir deprem durumunda yapıların etkilenme dereceleri, zeminlerin jeolojik yapısıyla veya kalınlığı doğrudan ilişkili olduğu (Sönmezer vd., 2015) için çalışma kapsamında bulunan ilgili mahallelerin zemin profilleri birincil parametre olarak simülasyon modelinde tanımlanmıştır. Uygulamanın yapıldığı Kırıkkale ilinde daha önceden yapılmış detaylı bir zemin profili çalışması mevcut değildir. Dolayısıyla çalışma kapsamında zemin profilleri iyi-orta-kötü şeklinde sınıflara ayrılmıştır.

Simülasyon modelinde kullanılan ikincil parametre ise ilgili mahallelerde bulunan binaların kat sayılarıdır. Olası bir deprem durumunda binaların; yüksek katlı olması daha fazla hasar alabilmesine ve daha fazla insan yaşadığı için etkilenmenin daha fazla olmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla çalışma kapsamında bina kat sayıları az-orta-çok katlı şeklinde sınıflara ayrılmıştır. Çalışmanın spesifik noktalarından bir tanesi de az-orta-çok katlı sınıflandırma şeklinin her mahalle için farklı oranlarda olmasıdır. Çünkü her mahallede bulunan kat sayısı eşit değildir, örneğin; ilgili bazı mahallelerde en yüksek kat sayısı 8 iken bazı mahallelerde 3, bazı mahallelerde ise 13 tür. Çalışmada bir diğer spesifik noktalardan biri ise; depremlerin oluşum belirsizliklerinden olan deprem büyüklüğü çalışmada en kötümser durum olarak ele alınmış ve Kırıkkale ilinde gündüz saatlerinde 6,8  $M_w$  büyüklüğünde bir depremin meydana geldiği varsayılmıştır.

Kırıkkale ilinde genel anlamda yapı türü olarak betonarme yapıların bulunması nedeniyle çalışma kapsamında ilgili binaların türü betonarme yapılar olarak kabul edilmiştir. Binaların yapım yılı vb. diğer bilgilerin çalışmada ihmal edilmesinin nedeni ise Bölüm 3.3' te bahsedildiği üzere Kırıkkale ilinde yapılmış bina envanter yapı stokları ile ilgili detaylı bir çalışmanın bulunmamasıdır.

Deprem senaryosu için kurulacak simülasyon modelinde parametrelerin belirlenmesinin ardından bu parametreler arasında ilişkiler -çok katlı bir bina, ilgili mahallelerde zemin profili iyi-orta-kötü yerlerin hepsinde mevcut olabilir- kurulmuştur. Parametreler arasında kurulan ilişki simülasyon ağ yapısı şeklinde Şekil 5.14' te olasılıksal anlamda harflerle ifade edilmiştir. Şekil 5.14' te görülen ilk aşamaya belirlenen bölgede hasar yapıcı büyüklükte bir depremin meydana geldiği bilgisi girilmiştir. Şekil 5.14' teki 2. Aşamaya meydana geldiği varsayılan depremin; ilgili bölgenin nüfusunun yüksek çoğunluğunu fiziksel, sosyal, psikolojik ve ekonomik anlamda etkilediği varsayılmıştır. 3. aşamada hasarın yüksek çoğunluğunun nerede olduğunu belirleyebilmek adına zemin profillerinin durumuna bakılır. Şekil 5.14' te bulunan 4. aşamada ilgili mahallelerin zemin profili; % A olasılıkla iyi, %B olasılıkla orta ve %C olasılıkla kötü olabileceği belirlenmiştir. Ve son aşama olan 5. aşamada; ilgili mahalleler farklı zemin profiline sahip olsalar bile her mahalle %D olasılığı ile az katlı, %E olasılığı ile orta katlı ve %F olasılığı ile çok katlı binaya sahiptir. Bu değerler olasılıksal anlamda aynı harfler ile ifade edilse de her mahalleye verilen az-orta-çok katlı bina sayısı verisel olarak farklıdır. Sonuç olarak 4. aşamada üç ana daldan oluşan ağ yapısı 5. aşamada 9 dala ayrılmıştır.



**Şekil 5.14.** Simülasyon modelinin ağ yapısının olasılıksal şematik gösterimi

Deprem senaryosu oluşturmak için kurulan simülasyon modelinin çıktısı ise, ilgili mahallelerde bulunan ve depremden etkilenen kişilerin sağlık durumlarının bilgisidir. Çünkü depremlerden sonra unutulmayan en büyük hasar depremlerin kişileri, fiziksel boyutta nasıl etkilediğidir. Deprem senaryosunun çıktılarının gerçeğe en yakın sonuçlar olması afet öncesinde hazırlanıp afet sonrasında kullanılan planlamaların etkililiği açısından çok önemlidir. Dolayısıyla Şekil 5.14' te bulunan ağ yapısının simülasyon sistemine tanımlandığında; 5. aşamanın sonucunda, depremden etkilenen kişilerin sağlık durumları yaralı önceliklendirme sistemi olan triyaj sınıfları ile elde edilir. Triyaj işleminde; acil durumlarda veya kaos ortamlarında bulunan kişilerin sağlık durumlarının ciddiyetine göre sınıflandırma yapılmaktadır. Afetlerden sonra triyaj işleminin yapılmasının sebebi ise kaynakların kısıtlı olması ve kurtarılabilecek en fazla sayıda insanı kurtarma çabasıdır. Triyaj işlemi yapıldıktan sonra kişiler; ağır (T1), geciktirilebilir (T2),



hafif yaralı (T3) şeklinde sağlık durumlarına sahip olabilirler veya ölü (T4) olabilirler. Şekil 5.14' te bulunan 5. aşamadaki dokuz farklı değerdeki dalların her birinin sonucunda; ağır (T1), geciktirilebilir (T2), hafif yaralı (T3) ölü (T4) şeklindeki triyaj sınıfında bulunan kişiler çıkmaktadır. Literatürde bulunan ve çalışmalarda çok sık kullanılan triyaj sınıflandırma tablosu aşağıda Çizelge 5.1' de verilmiştir (Wilson vd., 2013, 2016).

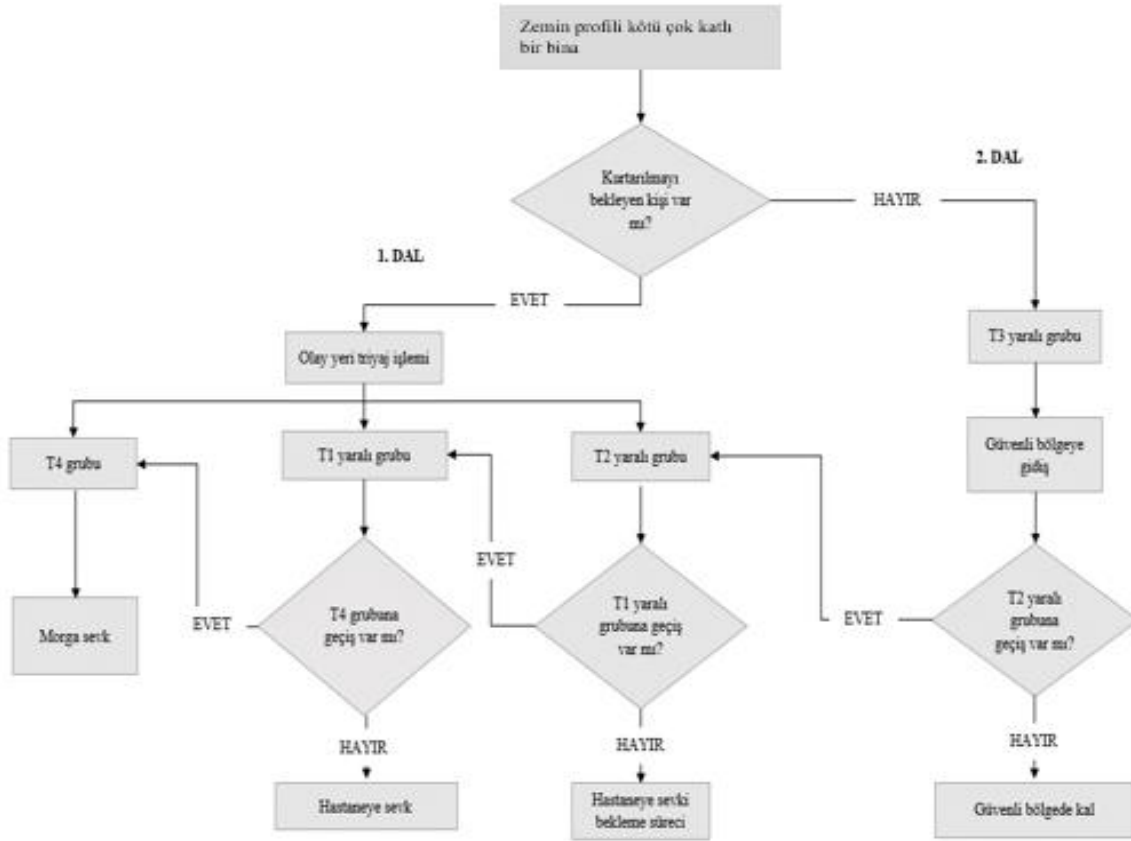
**Çizelge 5.1.** Triage işleminde kullanılan sınıflandırma tablosu

<b>Triage sınıfı</b>	<b>Açıklama</b>	<b>Beklenen müdahale</b>
T1	Ağır yaralı	Acil müdahale ile hastaneye sevk sağlanmalı
T2	Geciktirilebilir yaralı	Duruma göre 2-4 saat aralığında toleransla hastaneye sevk sağlanmalı
T3	Hafif yaralı	4 saatten daha fazla toleransa sahip acil müdahale gerekmeyen
T4	Ölü	Morga sevk sağlanması

Simülasyon modelinde tanımlanan triyaj işleminin ardından gelişen süreç aşağıdaki Şekil 5.15' te verilmiştir. Şekil 5.15' te; Şekil 5.14' te verilen 9 daldan örnek olarak, zemin profil durumu kötü ve çok katlı binalarda yaşayan kişilerin, hasarlı binalardan oluşan enkazlarda bulunup bulunmadığı sorgulanır. Şekil 5.15' e göre kişi enkazda ise ulaşıldığı ilk anda sağlık durumunu anlayabilmek için triyaj işlemi yapılır ve olması gerektiği sınıfa (T1, T2, T3, T4) karar verilir.

Şekil 5.15' in 1. dalında gösterildiği üzere; ölü (T4) kişiler morga, ağır yaralı (T1) kişiler bekletilmeden doğrudan hastaneye ve geciktirilebilir yaralı (T2) kişilerin, 2-4 saat kadar bekleme toleransına sahip şekilde en kısa sürede hastaneye sevk sağlanmalıdır. Her triyaj sınıfında bulunan kişiler için (T4 hariç), zaman geçtikçe ve müdahale geciktikçe sağlık durumunun kötüleşmesi olasılığı söz konusudur. Bu durum Şekil 5.15' te geçiş var mı soruları ile simülasyon modeline tanımlanmıştır. Şekil 5.15' in 2. dalında yer alan hafif

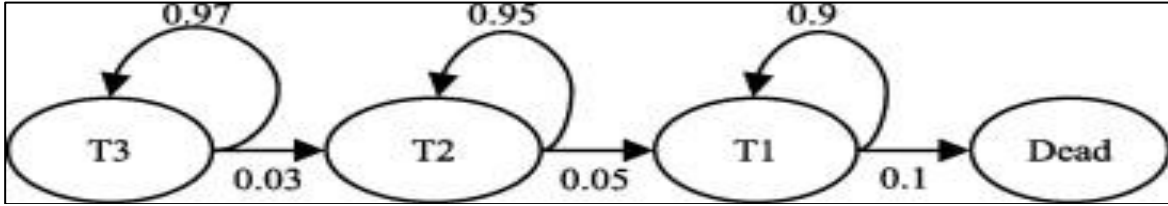
yaralı (T3) sınıftaki kişilerin durumu acil müdahaleyi gerektirmeyen ve hasarlı bölgelerden kendi imkanlarıyla uzaklaşabilecek kadar iyidir. Bu kişilerin zaman ilerledikçe sağlık durumlarında kötüleşme olup geciktirilebilir yaralı grubuna geçiş olasılıkları mevcuttur ve T2 grubuna geçiş durumunda verilen tolerans aralığında bekleyip hastaneye başvuru yapabilirler.



Şekil 5.15. Deprem sonrası yaşanacak sürecin şematik gösterimi

Şekil 5.15’ te bulunan triyaj grupları arasında bir geçiş durumu mevcuttur. Örneğin ağır yaralı (T1) bir kişiye yapılacak olan müdahalede geç kalındığı takdirde durumu kötüleşip ölü sınıfına geçebilmektedir veya geciktirilebilir yaralı sınıfında yer alan bir kişi zaman ilerledikçe sağlık durumu ağır yaralı sınıfına yer alabilir. Bahsedilen bu durum, markov zincirleri referans alınarak geçiş olasılıkları şeklinde, çalışmada yer almıştır. Markov

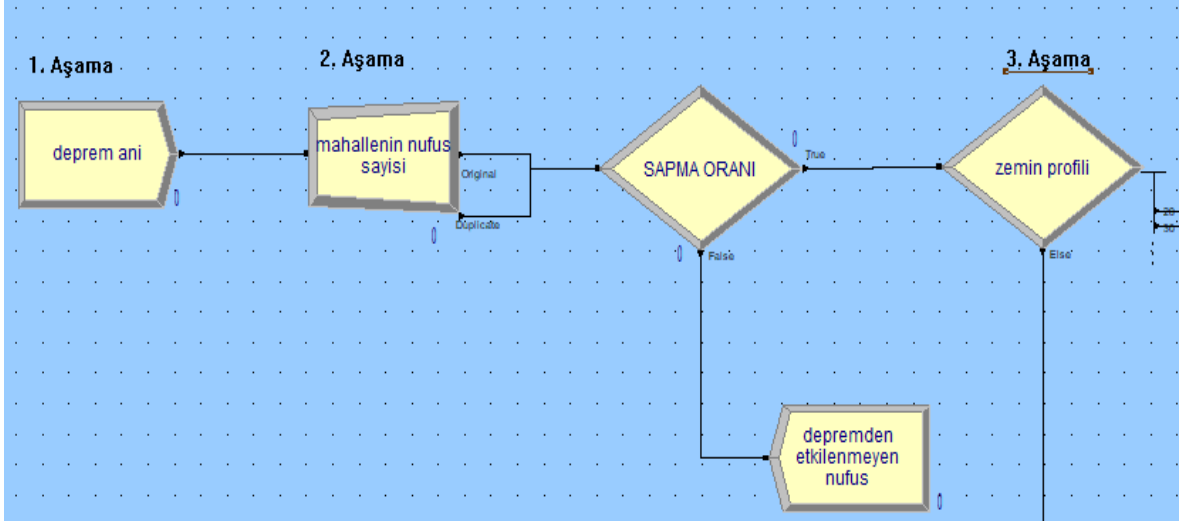
stokastik (olasılıksal) süreçlere sahiptir ve hafıza sistemi mevcut değildir. Yani markov zincirlerinde, geçmiş süreçler yer almaz sadece o an bulunulan mevcut durumdan ve gelecekteki olasılık içeren süreçlerden bahsedilebilir. Bu mevcut ve gelecekteki süreçlerde meydana gelen değişimler markov geçişleri olarak nitelendirilir. Çalışmada referans alınan ve stokastik süreç içeren geçiş olasılıkları için kullanılan markov zinciri değerleri Şekil 5.16' da verilmiştir (Wilson vd., 2013).



Şekil 5.16. Markov zinciri geçiş olasılıkları değerleri (Wilson vd., 2013)

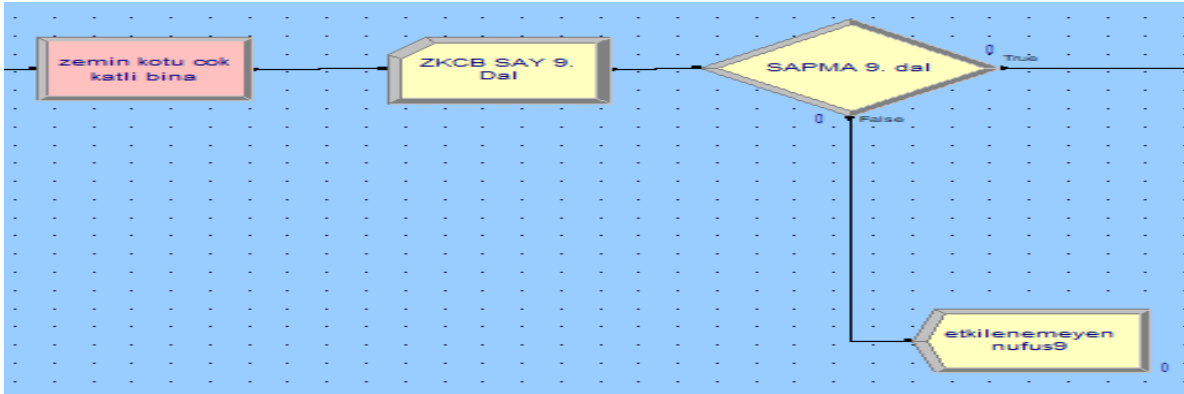
### 5.3. Simülasyon Modelinin ARENA Programına Uygulanması

Şekil 5.14' te yer alan ve simülasyon modeli kurulurken oluşturulan ağ yapısının ilk üç aşaması ARENA programına Şekil 5.17' deki gibi uygulanmıştır. Şekil 5.17' de çalışmada bulunan ilgili bir mahallenin hasar tahmini için ARENA programı ile simülasyon modelinin giriş kısmı gösterilmiştir. Şekil 5.17' de görüldüğü üzere 1. aşamada Create modülüyle 6,8  $M_w$  büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiş ve çalışma kapsamında bulunan bir mahallenin nüfusu sisteme tanımlanarak yüzde kaçının etkilendiği bulunmuştur. 3. Aşama olarak zemin profilinin durumu sorgulanmıştır. Ardından sisteme 4. aşama olarak üç farklı profil (iyi-orta-kötü) oranları tanımlanmış ve Şekil 5.14' te verilen 5. aşama ile dokuz dallanma oluşturulmuştur.



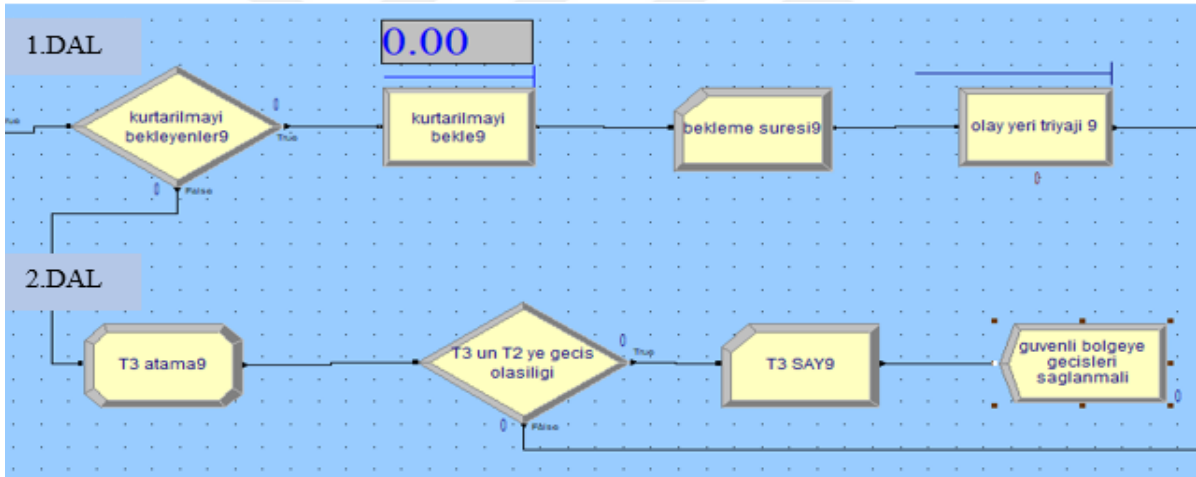
**Şekil 5.17.** Deprem senaryosu için oluşturulan ağ yapısının ARENA programına uygulanması (1, 2 ve 3. aşama)

Aşağıda bulunan Şekil 5.18; Şekil 5.14' ün son aşaması ve Şekil 5.15' in giriş kısmının ARENA programına uygulanmasının gösterimidir. Şekil 5.18' de, zemin profili kötü çok katlı binaları ifade edebilmek için Station modülü kullanılmış ve bu binalarda yaşayan ve depremden etkilenebilecek nüfusun kaydı Record modülü ile hafızada tutulmuştur. Ardından fiziksel olarak etkilenecek kişileri, etkilenecek kişilerden ayırabilmek için Decide modülü ile bir sapma oranı eklenmiştir.



**Şekil 5.18.** Deprem sonrası yaşanacak sürecin ARENA programına uygulanması (giriş kısmı)

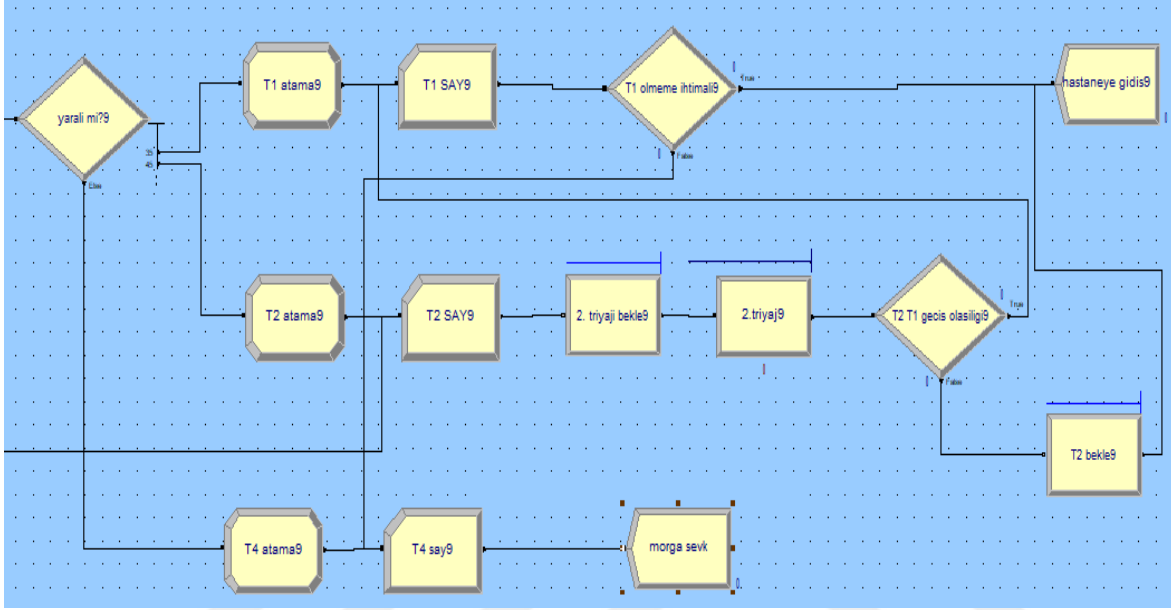
Şekil 5.15' in ARENA programına uygulanması gösterilen Şekil 5.19' da fiziksel olarak zarar görmüş kişilerin sağlık durumlarının nasıl olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 5.19' da gösterildiği gibi meydana gelen depremden etkilenmiş kişilerin enkaz altında olup olmadığını belirleyebilmek için Decide modülü kullanılmıştır. Şekil 5.15' te bulunan 1. dalın süreç olarak modellenebilmesi için öncelikle sisteme enkaz altından kurtarılmayı ifade eden sürelerin tanımlandığı Hold modülü eklenmiştir. Record modülü ile bekleme süresi kaydedilmiş ve kurtarılan kişilerin Process modülü ile triyaj işlemi gerçekleştirilmiştir. Enkaz altında olmayan kişilerin Şekil 5.15' in 2. dalında gösterildiği gibi sağlık durumları hafif yaralı olarak Assign atama modülü ile ifade edilmiştir. Hafif yaralı kişileri hafızada tutabilmek için Record modülü ile sayım yaptırılmıştır. Şekil 5.19' da ayrıca hafif yaralı kişilerin geciktirilebilir yaralı (T2) kişi durumuna geçiş olasılığı için Şekil 5.16' da verilen markov geçiş olasılık değerleri Decide modülüne girilmiş ve ardından Dispose modülü ile sistemden çıkışları sağlanmıştır.



**Şekil 5.19.** Deprem sonrası yaşanacak sürecin 1. dalın giriş kısmı ve 2. dalın tamamının ARENA programına uygulanması

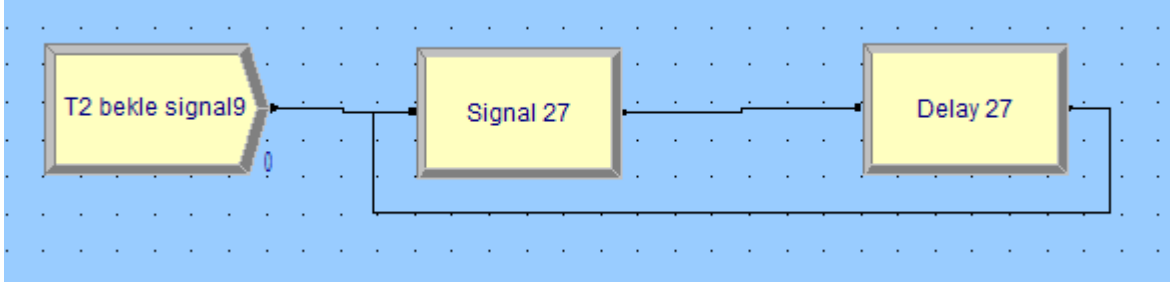
Şekil 5.15' te bulunan 1. dalın ARENA programına uygulanması Şekil 5.20' de gösterildiği gibidir. Şekil 5.19' da yapılan olay yeri triyajı sonrası Şekil 5.20' de kişilerin sağlık durumları belirlenmiş ve Assign modülü ile T1, T2, ve T4 şeklinde entity type gezen birim olarak atanmıştır. Üç triyaj sınıfı da Record modülüyle saydırılmış ve ardından

birbiri arasında geçiş olasılığına, Şekil 5.16’ daki değerler kullanılarak Decide modülü ile karar verilmiştir. Şekil 5.20’ de gösterilen geciktirilebilir yaralı (T2) grubuna, Çizelge 5.1’ de belirtilen bekleme süresi boyunca ikinci bir triyaj işlemi Process modülü ile yapılmıştır. Decide modülü kullanılarak Şekil 5.16’ daki değerler ile geçiş olasılığına karar verilmiş ve Dispose modülü ile sistemden çıkışları hastane veya morg şeklinde sağlanmıştır.



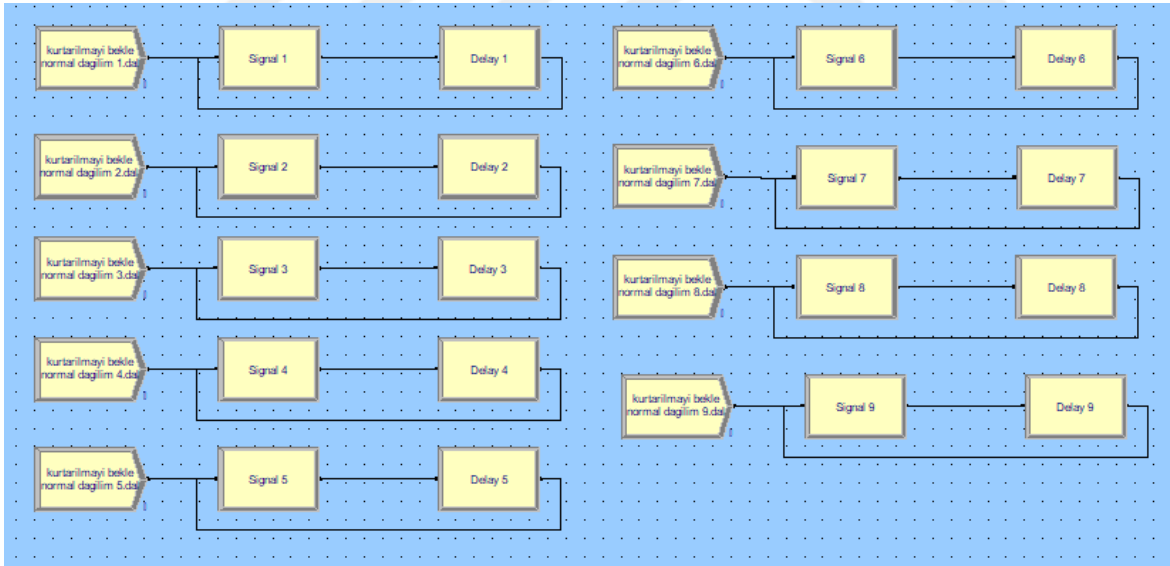
**Şekil 5.20.** Deprem sonrası yaşanacak sürecin 1. dalının tamamının ARENA programına uygulanması

Spesifik olarak geciktirilebilir yaralı (T2) grubundaki kişiler, Çizelge 5.1’ den de bilindiği üzere 2-4 saat bekleme toleransına sahiptir. Her yarım saatte bir ikinci triyaj yapıлып geçiş durumu kontrol edilir ve bu durum Şekil 5.21’ de gösterilmiştir. Şekil 5.21’ de bulunan, Signal ve Delay modülleri sistemin dışında ve Şekil 5.14’ teki ağ yapısında bulunan 9 dal için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Şekil 5.21’ de sadece bir dalın örneği gösterilmiştir. Sonuçlar, Şekil 5.20’de bulunan Hold modülü ile ana simülasyon modeline dahil edilmiştir.



**Şekil 5.21.** Geciktirilebilir yaralı (T2) grubundaki kişilerin yarım saat aralıklarla triyajlarının tekrarlanması

Simülasyon modelinin ARENA programındaki gösterimlerinden Şekil 5.19’ da kullanılan Hold modülü işlevini tam olarak yerine getirebilmesi için ana simülasyon modelinin dışında dönen Signal ve Delay modülleriyle kurtarılmayı bekleme süresi sisteme tanımlanmıştır. Şekil 5.19’ da ki Hold modülüyle her 6 saatte yeni bir kurtarma dönemi (yeni ekiplerin-vardiyaların başlaması) başlamıştır ve sisteme 72 saat arama-kurtarma çalışmalarının süreceği eklenmiştir. Şekil 5.14’ te ki 5. aşamada bulunan 9 dalın her biri için ayrı ayrı yapılan bu işlem aşağıdaki Şekil 5.22’ de gösterilmiştir.



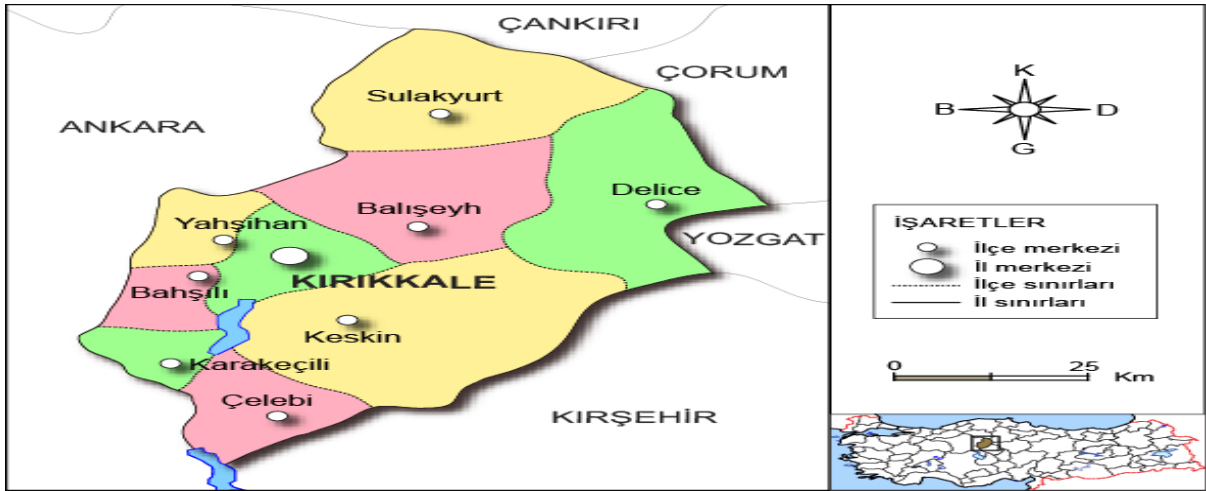
**Şekil 5.22.** Her 6 saatte bir Signal ve Delay modülleriyle sisteme yeni bir kurtarıma zamanının tanımlanması

## 6. KIRIKKALE İLİ UYGULAMASI

Bu bölümde Kırıkkale ilinin verileri kullanılarak Bölüm 5’ te oluşturulan simülasyon modelinin uygulaması yapılmıştır. Deprem senaryosunun sonuçları; Bölüm 5’ te anlatıldığı şekilde ARENA programında üretilmiştir. Son olarak uygulamanın sonuçları bölümün sonunda tartışılmıştır.

### 6.1. Kırıkkale İli

Bu tez çalışmasının veri seti Kırıkkale ilinin bilgilerinden oluşmaktadır. Şekil 6.1. görüldüğü üzere Kırıkkale ili Türkiye’ de İç Anadolu Bölgesi’ nde yer almaktadır ve başkent Ankara’ nın 70 km uzaklığında sınır komşusudur. İl konum olarak doğu ve batı bölgeleri arasında bir köprü niteliği taşımaktadır. Çünkü 46 ilin geçiş notası olmakla birlikte Doğu Anadolu Bölgesi’ nde yer alan birçok ili batı illerine bağlamaktadır. Dolayısıyla ulaşım ağlarının merkezi illerinden biridir. Türkiye’ nin önemli silah ve petrokimya sanayi kuruluşları Kırıkkale ilinde bulunmaktadır ve dolayısıyla olası bir deprem durumunda Türkiye’ nin savunma sanayisinin hasar alması söz konusu olabilir (Sönmezer, vd. 2012).



Şekil 6.1. Kırıkkale ilinin haritadaki konumunun gösterimi

Depremsellik açısından Kırıkkale ilinde kuvaterner faylar ve olası kuvarterner faylar bulunmaktadır. Bahsedilen fayların mevcutta bulunduğu yerler Şekil 6.2’ de verilmiştir.



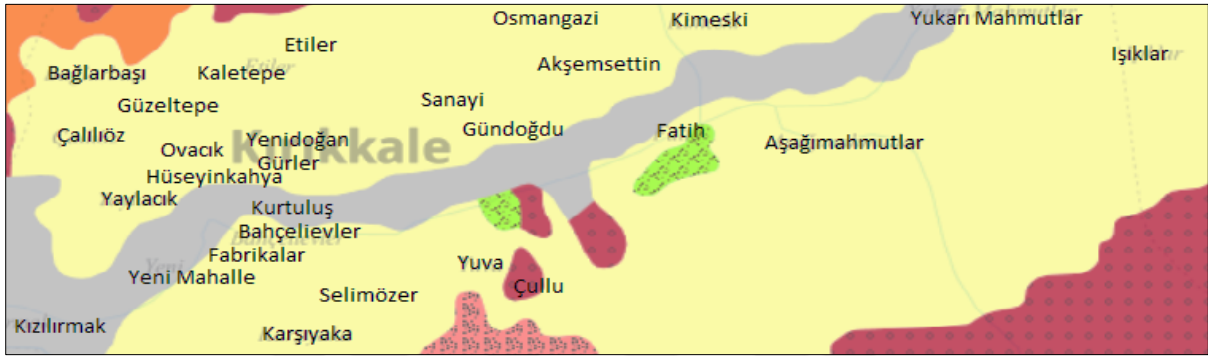
Şekil 6.2’ de mor çizgilerle gösterilen alanlar kuvaterner fayları ve siyah çizgili alanlar olası kuvarterner faylarını ifade etmektedir. Çevre illerde ise kırmızı çizgilerle belirtilen holosen faylar ve sarı çizgiler ile gösterilen yüzey kırıkları bulunmaktadır. Bu faylar ve bulunduğu yerler, olası bir deprem durumunda Kırıkkale ilinin etkilenme derecesiyle doğrudan ilişkilidir.



Şekil 6.2. Kırıkkale ilinin depremselliği için fayların gösterimi

Depremlerden sonra oluşan hasarın az veya çok olmasını etkileyen en önemli faktörlerden biri de şüphesiz zeminlerin jeolojik özellikleridir. Yani depremin yeryüzüne enerji aktarımı zeminin yapısına bağlıdır (Çiftçi vd., 2020). Dolayısıyla çalışma kapsamında Kırıkkale ili jeolojik açıdan incelenmiştir ve yüzey biriminin en altında Bozçaldağ formasyonundan oluşan mermer yapılar bulunmakta olduğu ve genelde açık/koyu yeşil renkte bazalt ve kalınlık olarak 5 metreyi geçmeyen volkanosedimenterden oluşan Çiçekdağ formasyonu bulunduğu bilgilerine ulaşılmıştır. Bu formasyonlar (Çiçekdağ ve Bozçaldağ) farklı türlerdeki kayalardan oluşmaktadır. Orta Anadolu granitoidleri olarak bilinen İntirizyonlar ile kesilmektedir ve kuzey tarafında kalan kısımda ise Ankara grubu olarak bilinen birim yüzeyler bulunmaktadır (Akyürek vd., 1984). Bahsedilen bu yüzeyler kil, çakıl ve kumdan oluşan kuvaternerlere aittir ve alüvyon yapıyla örtülüdür (Sönmezer vd., 2015). Çalışma kapsamında ele alınan 28 mahallenin zemin yapısını gösteren ve Maden Teknik Arama’ dan (MTA) alınıp düzenlenen temel jeoloji ve formasyon haritası Şekil 6.3’ te gösterilmiştir.

Şekil 6.3' te mavi renk boyunca yer alan mahalleler çoğunlukla alüvyon zemin profiline sahiptir. Alüvyon zeminler, akarsular tarafından taşınmış çakıl taşı, kil veya kum gibi tortuların birikmesiyle oluşan tortulu yapılardır. Dolayısıyla bu zemin profiline sahip mahallelerin (Selim Özer, Fabrikalar Yuva, Çalılıöz, Sanayi ve Bahçelievler mahalleleri) olası bir deprem durumunda alacağı hasar çalışma boyunca diğer mahallelere göre daha fazla olması gerektiği varsayılmış ve sonuç olarak bu mahallelerin zemin profillerinin kötü oranları yüksek hesaplanmıştır.



**Şekil 6.3.** Kırıkkale ilinin depremselliği için fayların gösterimi (MTA yer bilimlari haritasından düzenlenmiştir)

Şekil 6.3' te sarı renk ile gösterilen alanlarda karasal çökeller çoğunluktadır. Çökeltme, zeminde taşınma, bozunma süreçleri neticesinde kayaç parçacıkları ve minerallerin birikmesi olayıdır (Sönmezer vd., 2015). Bu bilgiler ışığında karasal çökelt zeminine sahip mahallelerin (Işıklar, Aşağımahmutlar, Yukarımahmutlar, Kimeski, Osmangazi, Akşemsettin, Etiler vb.) zeminin kısmen iyi varsayılabilir yerler olmakta ve dolayısıyla zemin profil orta oranı yüksek verilmiştir.

Şekil 6.3' te pembe renk ile ifade edilen alanlar (Çullu mahallesi vb.) çoğunlukla Granadiyorit, Granit gibi kaya veya kayaç türünden oluşan diğer zeminlere göre çok daha dayanıklı zemin profiline sahiptir ve bu alanlarda yer alan mahallelerin zemin profil iyi oranları diğer mahallelere nispeten yüksek alınmıştır. Şekil 6.3' te yeşil renk ile ifade edilen alanlar; kireçtaşı, bazalt gibi zeminlere sahiptir ve bu alanlarda taşkın, sel gibi yüksek oranda suya ile temas halinde kimi yerlerinde çökme veya çökeltler oluşabilir. Bu

bilgiler doğrultusunda yeşil renkte yer alan mahallelerin (Fatih vb.) zemin profill orta oranları yüksek alınmıştır.

## 6.2.Simülasyon Modelinin Girdileri

Bu tez çalışmasında deprem senaryosu üretmek için oluşturulan simülasyon modeli Bölüm 5.2' de yer alan ağ yapısının akışına uygun şekilde kurulmuştur Şekil 5.14'te bulunan 1. aşama için merkez üssü Kırıkkale ilinin Keskin ilçesi olan 6,8 M<sub>w</sub> büyüklüğünde hasar yapıcı bir deprem meydana geldiği varsayılmıştır. 2. aşamada çalışma kapsamında yer alan ilgili mahallelerin Çizelge 6.1'de verilen 2018 yılına ait nüfus sayıları girilmiş ve üstel dağılıma uygun bir şekilde sapma oranıyla etkilenebilecek nüfus elde edilmiştir.

**Çizelge 6.1.** 2018 yılı çalışma kapsamında ele alınan 28 mahallenin nüfus bilgileri

Yıl	İlçe	Mahalle Adı	Mahalle Nüfusu
2018	Merkez	Akşemsettin Mahallesi	214
2018	Merkez	Aşağımahmutlar Mahallesi	1785
2018	Merkez	Bağlarbaşı Mahallesi	12132
2018	Merkez	Bahçelievler Mahallesi	9189
2018	Merkez	Çalılıöz Mahallesi	22525
2018	Merkez	Çullu Mahallesi	947
2018	Merkez	Etiler Mahallesi	9245
2018	Merkez	Fabrikalar Mahallesi	2632
2018	Merkez	Fatih Mahallesi	218
2018	Merkez	Gündoğdu Mahallesi	5688
2018	Merkez	Gürler Mahallesi	8377
2018	Merkez	Güzeltepe Mahallesi	8670
2018	Merkez	Hüseyin Kahya Mahallesi	4336
2018	Merkez	Kaletepe Mahallesi	15738
2018	Merkez	Karşıyaka Mahallesi	6265
2018	Merkez	Kırıkköyü Mahallesi	965
2018	Merkez	Kızılırmak Mahallesi	391
2018	Merkez	Kimeski Mahallesi	787
2018	Merkez	Kurtuluş Mahallesi	4708
2018	Merkez	Osmangazi Mahallesi	3937
2018	Merkez	Ovacık Mahallesi	6580
2018	Merkez	Sanayi Mahallesi	12582
2018	Merkez	Selim Özer Mahallesi	4699
2018	Merkez	Tepebaşı Mahallesi	7494
2018	Merkez	Yaylacık Mahallesi	13876
2018	Merkez	Yenidoğan Mahallesi	1999
2018	Merkez	Yenimahalle Mahallesi	17569
2018	Merkez	Yuva Mahallesi	5161

Şekil 5.14' te bulunan 4. aşamada Çizelge 6.2' te verilen zemin profil oranlarını elde etmek için; Şekil 6.2' de bulunan fayların, ilgili mahallelere mesafe açısında uzaklığı, MTA yer bilimleri haritasından elde edilen Şekil 6.3' teki zemin profilleri ve Kırıkkale AFAD İl Müdürlüğü' nde çalışan personellerden çalışma kapsamında ele alınan ilgili mahallelerin jeolojik yapısı hakkında alınan detaylı bilgilerden oluşan üç faktörün birbirine entegrasyonu sağlanmış ardından hesaplamalar yapılmıştır. Her mahalle için hesaplanan oran farklıdır. Bu oranlamalar iyi-orta- kötü alt sınıflar halinde hesaplanmış ve Çizelge 6.2' te gösterilmiştir. Örneğin; Çizelge 6.2' e göre Çalılıöz Mahallesi %50 oranında çoğunlukla kötü, %30 oranında orta ve %20 oranında iyi zemin profiline sahip olduğu yukarıda verilen faktörler ışığında hesaplanmıştır. Hesaplanan bu oranlar Şekil 5.14' ün 4. aşamasının ve Şekil 5.17' de verilen Decide modülünün girdi verileridir.

**Çizelge 6.2.** Çalışma kapsamında ilgili mahallelerin zemin profil oranları

<b>Mahalle/ Zemin Profil Oranı</b>	<b>İyi</b>	<b>Orta</b>	<b>Kötü</b>
Akşemsettin Mahallesi	90%	5%	5%
Aşağımahmutlar Mahallesi	90%	5%	5%
Bağlarbaşı Mahallesi	60%	20%	20%
Bahçelievler Mahallesi	15%	25%	60%
Çalılıöz Mahallesi	20%	30%	50%
Çullu Mahallesi	60%	25%	15%
Etiler Mahallesi	60%	25%	15%
Fabrikalar Mahallesi	10%	15%	75%
Fatih Mahallesi	60%	25%	15%
Gündoğdu Mahallesi	60%	25%	15%
Gürler Mahallesi	30%	30%	40%
Güzeltepe Mahallesi	50%	30%	20%
Hüseyin Kahya Mahallesi	45%	30%	25%
Kaletepe Mahallesi	90%	5%	5%
Karşıyaka Mahallesi	60%	25%	15%
Kırıkköyü Mahallesi	50%	25%	25%
Kızılırmak Mahallesi	60%	25%	15%
Kimeski Mahallesi	90%	5%	5%
Kurtuluş Mahallesi	30%	30%	40%
Osmangazi Mahallesi	50%	25%	25%
Ovacık Mahallesi	15%	25%	60%
Sanayi Mahallesi	10%	15%	75%
Selim Özer Mahallesi	15%	25%	60%
Tepebaşı Mahallesi	30%	30%	40%
Yaylacık Mahallesi	30%	30%	40%
Yenidoğan Mahallesi	60%	20%	20%
Yenimahalle Mahallesi	60%	20%	20%
Yuva Mahallesi	20%	20%	60%

Çizelge 6.2’ te ki gibi zemin profil oranları belirlenen mahallelerde, bulunan binaların kat sayıları Çizelge 6.3’ te verilmiştir. Çizelge 6.3’ te yer alan veriler Kırıkkale Belediyesi’nden alınmıştır ve her mahallede bulunan en çok katlı bina sayısı Bölüm 5.2’ de bahsedildiği üzere birbirinden farklıdır. Örneğin; Çizelge 6.3’ e bakılarak Aşağımahmutlar Mahallesi’nde 3 katlı binalar mahalle genelinde en yüksek katlı binalarıdır ve 3 katlı binalardan mahallede adet bulunmaktadır. Fakat Fabrikalar Mahallesi’ne bakıldığı zaman en yüksek 11 katlı 3 adet bina bulunmaktadır.

**Çizelge 6.3.** İlgili mahallelerde bulunan binaların kat sayıları

Mahalleler/ Bina Kat Sayısı	1 kat	2 kat	3 kat	4 kat	5 kat	6 kat	7 kat	8 kat	9 kat	10 kat	11 kat	12 kat	13 kat	Toplam Bina Sayısı
Akşemsettin Mah.	36	12	3											51
Aşağımahmutlar Mah.	523	77	11											611
Bağlarbaşı Mah.	1038	489	188	107	53	16	5	1	4					1901
Bahçelievler Mah.	682	297	215	135	34	7	1	1						1372
Çalılıöz Mah.	977	306	167	129	121	77	42	7	4	7	4			1841
Çullu Mah.	173	37	3											213
Etiler Mah.	1137	386	207	87	47	10	2			1	1			1878
Fabrikalar Mah.	106	19	22	25	15	17	1	5	1	7	3			221
Fatih Mah.	86	29	1	3										119
Gündoğdu Mah.	907	378	157	42	27	6	1							1518
Gürler Mah.	326	147	92	78	67	26	14	3	1	2	1	1		758
Güzeltepe Mah.	54	18	31	56	113	71	23	6	1	1				374
Hüseyin Kahya Mah.	44	16	30	41	39	52	24	4	2		1			253
Kaletepe Mah.	1124	492	207	80	195	48	6	3		1				2156
Karşıyaka Mah.	976	423	124	38	21	1								1583
Kırıkköyü Mah.	157	56	16	9	3									241
Kızılırmak Mah.	167	18	3											188
Kimeski Mah.	101	211	2											314
Kurtuluş Mah.	264	65	32	39	42	25	6	6	1					480
Osmangazi Mah.	517	404	138	153	11							1		1224
Ovacık Mah.	36	24	32	83	117	59	10	5					1	367
Sanayi Mah.	2186	809	281	122	45	14	2	3					1	3463
Selim Özer Mah.	857	288	85	38	12	2								1282
Tepebaşı Mah.	96	60	48	50	81	42	12	4						393
Yaylacık Mah.	198	103	63	95	119	102	35	12	3	1	2			733
Yenidoğan Mah.	158	35	41	73	62	29	3	3		2				406
Yenimahalle Mah.	1602	507	184	162	105	55	21	9	3	1				2649
Yuva Mah.	926	291	86	41	15	2								1361
Toplam Bina Sayısı	15454	5997	2469	1686	1344	661	208	72	20	23	12	2	2	27636

Bölüm 5.2’ de bahsedildiği şekilde Çizelge 6.3’ te verilen kat sayıları az-orta-çok katlı şekilde sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma şekli aşağıda verilen Çizelge 6.4’ te yer alan mahallelerin bulunduğu satırlarda ifade edilmiştir. Çalışma kapsamında, Çizelge 6.1’ de verilen değerler ile mahallelerin nüfusları bilinmemektedir. Fakat mahallelerde bulunan binalarda ayrı ayrı kaç kişinin yaşadığı bilinmemektedir. Gerçekçi bir şekilde kayıp tahmini yapmak ve deprem senaryosu üretebilmek için bu bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla Çizelge 6.4’ te her bina tek katlı bina olarak ele alınmış ve mahalle nüfusunun toplam bina sayısına bölümü şeklinde yapılan hesaplama ile tek katlı bir binada yaşayan kişi sayısı elde edilmiştir.

Mahalle nüfuslarının binalara dağıtım hesabının daha açık anlatması gerekirse Aşağımahmutlar Mahallesi’ nde; Çizelge 6.3’ e göre; 523 adet tek katlı bina, 77 adet iki katlı bina ve 11 adet üç katlı bina bulunmaktadır, toplamda 1233 adet ( $523*1+77*2+11*3=1233$ ) tek katlı binaya tekabül etmektedir. Çizelge 6.1’ ye göre Aşağımahmutlar Mahallesi’ de 1785 kişi yaşamakta, mahallede bulunan 1233 tek katlı binada yaşayan ortalama insan sayısı belirlenebilir. Örneğin Çizelge 6.4’ e göre; Aşağımahmutlar Mahallesi %90 oranında iyi bir zemin profiline sahiptir dolayısıyla 1233 tek katlı binanın %90’ ı iyi profildeki yerlerde bulunmaktadır, bu binaların %74’ ü az katlı, %22’ si orta ve %4’ ü çok katlı binalardır. Çizelge 6.4’ te gösterilen mahallelerin iyi-orta - kötü yüzdeleriyle binalarda yaşayan ortalama insan sayıları oransal olarak birleştirilmiş ve bir mahalleden 9 farklı nüfus dağılımı sonucu elde edilmiştir. Çizelge 6.4’ te yer alan değerler Şekil 5.14’ te bulunan 5. aşamadaki dokuz dalın girdi değerleri olarak ARENA programına girilmiştir.

**Çizelge 6.4.** Simülasyon ağ yapısındaki 5. aşamanın değerleri

Zemin Profili	İYİ (%90)			ORTA (%5)			KÖTÜ (%5)		
Bina Kat Sayıları	AZ KATLI	ORTA KATLI	YÜKSEK KATLI	AZ KATLI	ORTA KATLI	YÜKSEK KATLI	AZ KATLI	ORTA KATLI	YÜKSEK KATLI
<b>Akşemsettin Mahallesi</b>	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı
Nüfus Dağılımı	52%	35%	13%	52%	35%	13%	52%	35%	13%
Zemin Profili	İYİ (%90)			ORTA (%5)			KÖTÜ (%5)		
<b>Aşağımahmutlar Mahallesi</b>	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı
Nüfus Dağılımı	74%	22%	4%	74%	22%	4%	74%	22%	4%
Zemin Profili	İYİ (%60)			ORTA (%20)			KÖTÜ (%20)		
<b>Bağlarbaşı Mahallesi</b>	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9 Katlı
Nüfus Dağılımı	75%	23%	2%	75%	23%	2%	75%	23%	2%
Zemin Profili	İYİ (%15)			ORTA (%25)			KÖTÜ (%60)		
<b>Bahçelievler Mahallesi</b>	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8 Katlı	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8 Katlı	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8 Katlı
Nüfus Dağılımı	47%	50%	3%	47%	50%	3%	47%	50%	3%
Zemin Profili	İYİ (%20)			ORTA (%30)			KÖTÜ (%50)		
<b>Çalhöz Mahallesi</b>	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-10-11Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-10-11Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-10-11Katlı
Nüfus Dağılımı	50%	38%	12%	50%	38%	12%	50%	38%	12%
Zemin Profili	İYİ (%60)			ORTA (%25)			KÖTÜ (%15)		
<b>Çullu Mahallesi</b>	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı
Nüfus Dağılımı	68%	29%	4%	68%	29%	4%	68%	29%	4%
Zemin Profili	İYİ (%60)			ORTA (%25)			KÖTÜ (%15)		
<b>Etiler Mahallesi</b>	1-2-3 Katlı	4-5 Katlı	6-7-10-11 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5 Katlı	6-7-10-11 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5 Katlı	6-7-10-11 Katlı
Nüfus Dağılımı	79%	18%	3%	79%	18%	3%	79%	18%	3%
Zemin Profili	İYİ (%10)			ORTA (%15)			KÖTÜ (%75)		
<b>Fabrikalar Mahallesi</b>	1-2-3 Katlı	4-5 Katlı	6-7-10-11 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5 Katlı	6-7-10-11 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5 Katlı	6-7-10-11 Katlı
Nüfus Dağılımı	33%	27%	40%	33%	27%	40%	33%	27%	40%
Zemin Profili	İYİ (%60)			ORTA (%25)			KÖTÜ (%15)		
<b>Fatih Mahallesi</b>	1 Katlı	2-3Katlı	4 Katlı	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı

**Çizelge 6.4. (devam) Simülasyon ağ yapısındaki 5. aşamanın değerleri**

Nüfus Dağılımı	54%	38%	8%	54%	38%	8%	54%	38%	8%
Zemin Profili	İYİ (%60)			ORTA (%25)			KÖTÜ (%15)		
<b>Gündoğdu Mahallesi</b>	1-2 Katlı	3-4 Katlı	5-6-7 Katlı	1-2 Katlı	3-4 Katlı	5-6-7 Katlı	1-2 Katlı	3-4 Katlı	5-6-7 Katlı
Nüfus Dağılımı	67%	26%	7%	67%	26%	7%	67%	26%	7%
Zemin Profili	İYİ (%30)			ORTA (%30)			KÖTÜ (%40)		
<b>Gürler Mahallesi</b>	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8-9-10-11 Katlı	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8-9-10-11 Katlı	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8-9-10-11 Katlı
Nüfus Dağılımı	33%	49%	18%	33%	49%	18%	33%	49%	18%
Zemin Profili	İYİ (%50)			ORTA (%30)			KÖTÜ (%20)		
<b>Güzeltepe Mahallesi</b>	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-10 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-10 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-10 Katlı
Nüfus Dağılımı	11%	75%	14%	11%	75%	14%	11%	75%	14%
Zemin Profili	İYİ (%45)			ORTA (%30)			KÖTÜ (%25)		
<b>Hüseyin Kahya Mahallesi</b>	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-11 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-11 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-11 Katlı
Nüfus Dağılımı	16%	63%	21%	16%	63%	21%	16%	63%	21%
Zemin Profili	İYİ (%90)			ORTA (%5)			KÖTÜ (%5)		
<b>Kaletepe Mahallesi</b>	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9 Katlı
Nüfus Dağılımı	62%	36%	2%	62%	36%	2%	62%	36%	2%
Zemin Profili	İYİ (%60)			ORTA (%25)			KÖTÜ (%15)		
<b>Karşıyaka Mahallesi</b>	1-2 Katlı	3-4 Katlı	5-6 Katlı	1-2 Katlı	3-4 Katlı	5-6 Katlı	1-2 Katlı	3-4 Katlı	5-6 Katlı
Nüfus Dağılımı	74%	21%	5%	74%	21%	5%	74%	21%	5%
Zemin Profili	İYİ (%50)			ORTA (%25)			KÖTÜ (%25)		
<b>Kırıkköyü Mahallesi</b>	1 Katlı	2-3 Katlı	4-5 Yüksek	1 Katlı	2-3 Katlı	4-5 Yüksek	1 Katlı	2-3 Katlı	4-5 Yüksek
Nüfus Dağılımı	79%	17%	4%	79%	17%	4%	79%	17%	4%
Zemin Profili	İYİ (%60)			ORTA (%25)			KÖTÜ (%15)		
<b>Kızılırmak Mahallesi</b>	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı
Nüfus Dağılımı	79%	17%	4%	79%	17%	4%	79%	17%	4%
Zemin Profili	İYİ (%90)			ORTA (%5)			KÖTÜ (%5)		
<b>Kimeski Mahallesi</b>	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı	1 Katlı	2 Katlı	3 Katlı
Nüfus Dağılımı	19%	80%	1%	19%	80%	1%	19%	80%	1%
Zemin Profili	İYİ (%30)			ORTA (%30)			KÖTÜ (%40)		
<b>Kurtuluş Mahallesi</b>	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8-9-10 Katlı	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8-9-10 Katlı	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8-9-10 Katlı
Nüfus Dağılımı	36%	42%	23%	36%	42%	23%	36%	42%	23%
Zemin Profili	İYİ (%50)			ORTA (%25)			KÖTÜ (%25)		



Çizelge 6.4. (devam) Simülasyon ağ yapısındaki 5. aşamanın değerleri

<b>Osmangazi Mahallesi</b>	1-2 Katlı	3-4-Katlı	5-12 Katlı	1-2 Katlı	3-4-Katlı	5-12 Katlı	1-2 Katlı	3-4-Katlı	5-12 Katlı
Nüfus Dağılımı	55%	42%	3%	55%	42%	3%	55%	42%	3%
Zemin Profili	İYİ (%15)			ORTA (%25)			KÖTÜ (%60)		
<b>Ovacık Mahallesi</b>	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9 Katlı
Nüfus Dağılımı	11%	81%	8%	11%	81%	8%	11%	81%	8%
Zemin Profili	İYİ (%10)			ORTA (%15)			KÖTÜ (%75)		
<b>Sanayi Mahallesi</b>	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8-13 Katlı	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8-13 Katlı	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8-13 Katlı
Nüfus Dağılımı	69%	28%	3%	69%	28%	3%	69%	28%	3%
Zemin Profili	İYİ (%15)			ORTA (%25)			KÖTÜ (%60)		
<b>Selim Özer Mahallesi</b>	1-2 Katlı	3-4 Katlı	5-6 Katlı	1-2 Katlı	3-4 Katlı	5-6 Katlı	1-2 Katlı	3-4 Katlı	5-6 Katlı
Nüfus Dağılımı	75%	21%	4%	75%	21%	4%	75%	21%	4%
Zemin Profili	İYİ (%30)			ORTA (%30)			KÖTÜ (%40)		
<b>Tepebaşı Mahallesi</b>	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8 Katlı	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8 Katlı	1-2 Katlı	3-4-5 Katlı	6-7-8 Katlı
Nüfus Dağılımı	16%	56%	36%	16%	56%	36%	16%	56%	36%
Zemin Profili	İYİ (%30)			ORTA (%30)			KÖTÜ (%40)		
<b>Yaylacık Mahallesi</b>	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-10-11 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-10-11 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-10-11 Katlı
Nüfus Dağılımı	23%	62%	15%	23%	62%	15%	23%	62%	15%
Zemin Profili	İYİ (%60)			ORTA (%20)			KÖTÜ (%20)		
<b>Yenidoğan Mahallesi</b>	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-10 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-10 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-10 Katlı
Nüfus Dağılımı	29%	65%	6%	29%	65%	6%	29%	65%	6%
Zemin Profili	İYİ (%60)			ORTA (%20)			KÖTÜ (%20)		
<b>Yenimahalle Mahallesi</b>	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-10 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-10 Katlı	1-2-3 Katlı	4-5-6 Katlı	7-8-9-10 Katlı
Nüfus Dağılımı	64%	31%	5%	64%	31%	5%	64%	31%	5%
Zemin Profili	İYİ (%20)			ORTA (%20)			KÖTÜ (%60)		
<b>Yuva Mahallesi</b>	1-2 Katlı	3-4 Katlı	5-6 Katlı	1-2 Katlı	3-4 Katlı	5-6 Katlı	1-2 Katlı	3-4 Katlı	5-6 Katlı
Nüfus Dağılımı	75%	21%	4%	75%	21%	4%	75%	21%	4%

### 6.3.Simülasyon Modelinin Çıktıları

Çalışma kapsamında belirlenen 28 mahallenin her biri için Bölüm 5’ te anlatılan ARENA programı 72 saatlik çalıştırılmış ve 50 kez tekrarlanarak simülasyonun sonuçları kaydedilmiştir. ARENA programına çalıştırılan ve simülasyon modelinden elde edilen, mahallelerden çıkacak T1,T2,T3 ve T4 kişilerin sayısı programda Record modülü ile kaydedilmiştir. Simülasyon sonuçlarının bir örneği olan Çizelge 6.5’ de Çalılıöz Mahallesi’ nin ARENA programında üretilen hasar ve kayıp tahmin sonuçlarıdır. Çizelge 6.5’ e göre her yaralı grubu ve Şekil 5.14’ te bulunan 9 dal için ayrı ayrı en yüksek ve en düşük ortalama değerler hesaplanmıştır.

**Çizelge 6.5.** Çalılıöz Mahallesi’ nin hasar ve kayıp tahmin sonuçlarının ARENA programı raporu

Yaralı Grubu	9 Dal	Ortalama	En Düşük Ortalama	En Yüksek Ortalama
T1	SAY1	8,42	1	18
T1	SAY2	6,68	2	13
T1	SAY3	2,46	0	7
T1	SAY4	18,84	8	30
T1	SAY5	15,06	8	23
T1	SAY6	5,26	1	10
T1	SAY7	39,38	27	51
T1	SAY8	31,58	22	46
T1	SAY9	10,14	5	19
T2	SAY1	8,22	3	15
T2	SAY2	7,38	2	15
T2	SAY3	2,64	0	5
T2	SAY4	20,16	12	34
T2	SAY5	17,64	10	27
T2	SAY6	5,42	0	10
T2	SAY7	46,54	35	63
T2	SAY8	35,06	22	52
T2	SAY9	11,66	5	20
T3	SAY1	49,7	36	66
T3	SAY2	34,4	21	51
T3	SAY3	10,7	7	17
T3	SAY4	58,9	745	72
T3	SAY5	41,56	29	54
T3	SAY6	12,72	3	21
T3	SAY7	75,5	59	95
T3	SAY8	50,88	35	63
T3	SAY9	13,6	6	25
T4	SAY1	1,44	0	6
T4	SAY2	1,5	0	4
T4	SAY3	0,56	0	3
T4	SAY4	3,72	0	9
T4	SAY5	4,74	1	9
T4	SAY6	2,88	0	10
T4	SAY7	13,02	5	26

T4	SAY8	14,46	6	23
T4	SAY9	6,24	2	13

Simülasyon çalışmasının sonuçları Çalılıöz Mahallesi üzerinden değerlendirilecektir. Çalılıöz Mahalle' sinin nüfus sayısı Çizelge 6.1' e göre 22.525 kişidir ve mahalle için belirlenen Çizelge 6.2' de verilen zemin profil oranları; %20 oranında iyi, %30 oranında orta ve %50 oranında kötü olarak hesaplanmıştır. Çalılıöz Mahallesi' nde T1, T2, T3 ve T4 grubunda yer alan kişilerin yoğunluk olarak hangi alanlardan çıktığının sonuçları Çizelge 6.6' da gösterilmiştir. Çizelge 6.6, Çizelge 6.5 doğrultusunda elde edilmiştir. Çizelge 6.6' ya göre en fazla kaybın, zemin profili kötü yerlerde bulunan çok katlı binalardan, en az hasar ve kayıp ise zemin profili iyi yerlerde bulunan az katlı binalardan çıkmıştır. Çizelge 6.6' da bulunan sonuçlar değerlendirildiğinde, bu sonuçlar; çalışmanın başlarında üretilen varsayımları desteklemekte ve simülasyonun, belirlenen varsayımlar doğrultusunda doğru çıktılar ürettiğini göstermektedir.

#### Çizelge 6.6. Çalılıöz Mahallesi'nin hasar ve kayıp tahmin sonuçları

ZEMİN PROFİLİ	BİNA KAT SAYISI	T1	T2	T3	T4	TOPLAM	TOPLAM ETKİ	YÜZDELİK
İYİ	AZ	6	8	41	2	57	115	20%
	ORTA	6	8	28	1	43		
	ÇOK	2	3	9	1	15		
ORTA	AZ	16	18	48	3	85	171	30%
	ORTA	12	16	34	4	66		
	ÇOK	4	5	9	2	20		
KÖTÜ	AZ	33	39	61	10	143	290	50%
	ORTA	28	30	41	13	112		
	ÇOK	9	10	11	5	35		
	TOPLAM	116	137	282	41	576	Toplam Nüfus: 22254	

Çalışma kapsamında yer alan ilgili 28 mahallenin oluşturulan deprem senaryosu sonuçları Çizelge 6.7' de gösterilmiştir. Çizelge 6.7' de verilen simülasyon modeli sonucunda toplamda; 880 ağır yaralı (T1), 1057 geciktirilebilir (T2) yaralı, 2588 hafif yaralı(T3) ve 289 ölü (T4) değerleri elde edilmiştir. Çizelge 6.7' de görüldüğü üzere oluşturulan deprem senaryosunda en çok kayıp; zemin profil oranı yüksek yoğunlukta kötü olarak hesaplanan ve Kırıkkale ilinin en kalabalık mahallesi olan Çalılıöz Mahallesi' nden çıkmıştır. Çizelge 6.4' e göre Çalılıöz Mahallesi' nde bulunan binaların %12' si yüksek katlıdır.

**Çizelge 6.7.** Kırıkkale ili için üretilen deprem senaryosunun sonuçları

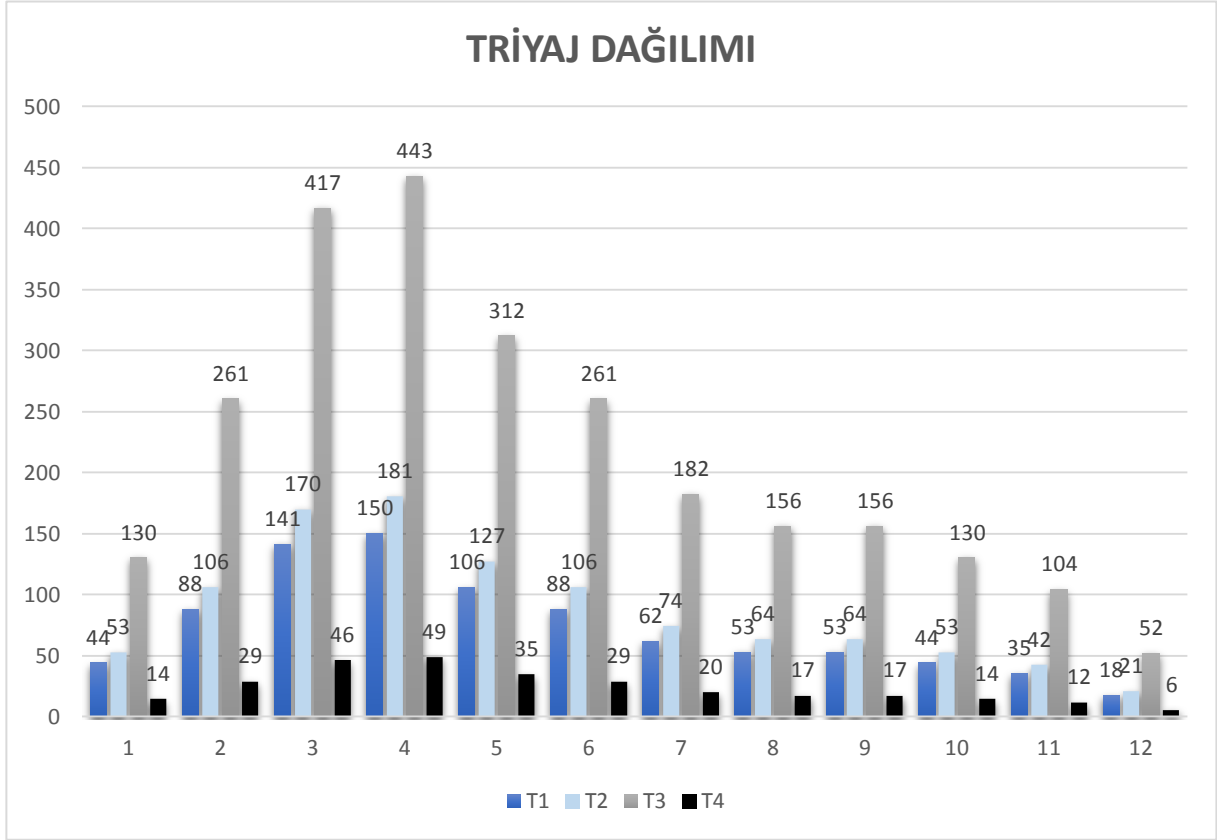
MAHALLE ADI	T1	T2	T3	T4	TOPLAM	TOPLAM NÜFUS
ÇALILIÖZ MAHALLESİ	116	137	282	41	576	22254
BAĞLARBAŞI MAHALLESİ	49	59	191	13	312	12132
AKŞEMSETTİN MAHALLESİ	1	1	4	0	6	214
BAHÇELİEVLER MAHALLESİ	49	58	113	18	238	9189
ÇULLU MAHALLESİ	4	4	15	1	24	947
AŞAĞIMAHMUTLAR MAHALLESİ	6	7	31	1	45	1785
ETİLER MAHALLESİ	36	44	148	10	238	9245
FABRİKALAR MAHALLESİ	15	18	28	7	68	2632
FATİH MAHALLESİ	1	1	4	0	6	218
GÜNDOĞDU MAHALLESİ	22	28	90	6	146	5688
GÜRLER MAHALLESİ	41	50	110	15	216	8377
GÜZELTEPE MAHALLESİ	39	47	125	13	224	8670
HÜSEYİNKAHYA MAHALLESİ	20	24	62	6	112	4336
KALETEPE MAHALLESİ	63	76	248	17	404	15738
KARŞIYAKA MAHALLESİ	24	21	49	6	100	6265
KIRIKKÖYÜ MAHALLESİ	4	5	15	1	25	965
KIZILIRMAK MAHALLESİ	2	2	6	1	11	391
KİMESKİ MAHALLESİ	3	4	13	1	21	787
KURTULUŞ MAHALLESİ	23	29	62	8	122	4708
OSMANGAZİ MAHALLESİ	18	20	59	5	102	3937
OVACIK MAHALLESİ	35	44	77	14	170	6580
SANAYİ MAHALLESİ	70	83	148	25	326	12582
SELİM ÖZER MAHALLESİ	24	30	60	8	122	4699
TEPEBAŞI MAHALLESİ	39	45	96	15	195	7494
YAYLACIK MAHALLESİ	70	81	181	26	358	13876
YENİDOĞAN MAHALLESİ	8	10	30	3	51	1999
YENİMAHALLE MAHALLESİ	71	86	274	19	450	17569
YUVA MAHALLESİ	27	33	66	9	135	5161
<b>TOPLAM</b>	<b>880</b>	<b>1047</b>	<b>2587</b>	<b>289</b>	<b>4803</b>	<b>188438</b>

Bölüm 5.3’ te bahsedildiği üzere arama kurtarma çalışmalarını kapsayan 72 saatlik süreç 6 saatlik dinamik sürelerle bölünmüştür. Her bir mahallenin 72 saatlik simülasyon sonuçları kendi içerisinde 12’ye ayrılarak değerler üretilmiştir. Toplam 72 saat çalıştırılan ARENA programının 6’ şar saatlik aralık simülasyon değerleri Çizelge 6.8’ de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.8.** 72 saatlik deprem senaryosunun 6' şar saatlik sonuçları

<b>Zaman Aralıkları (Saat)/ Yaralı Grubu</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>Toplam</b>
0 6	44	53	130	14	242
6 12	88	106	261	29	484
12 18	141	170	417	46	775
18 24	150	181	443	49	823
24 30	106	127	312	35	580
30 36	88	106	261	29	484
36 42	62	74	182	20	339
42 48	53	64	156	17	291
48 54	53	64	156	17	291
54 60	44	53	130	14	242
60 66	35	42	104	12	194
66 72	18	21	52	6	97
<b>Toplam</b>	<b>884</b>	<b>1062</b>	<b>2605</b>	<b>290</b>	<b>4841</b>

Çizelge 6.8' de yer alan sonuçlar aynı zamanda grafikte değerlendirilerek Şekil 6.4 elde edilmiştir. Şekil 6.4' e göre Kırıkkale ilinde meydana gelen depremden sonra etkilenen kişi sayısının 1.gün, diğer günlere göre daha yoğun olduğu, 4. gün ise en az etkinin olduğu gündür. En fazla T1, T2, T3 ve T4' ün çıktığı zaman dilimi 4. yarımşar saatlik zaman dilimi olduğu Şekil 6.4' te açıkça gösterilmektedir. Şekil 6.4 incelendiğinde gerçek bir deprem durumunda olduğu gibi ilk günün ilk saatlerde afet organizasyonu daha yeni kurulur ve dolayısıyla ilk saatler etkililik açısından yeterli olamaz. Fakat 1. Günün sonuna gelindiğinde organizasyon düzeni oturmuştur ve en çok kişiye yardımın yapıldığı zaman dilimlerine ulaşılmaktadır. 3. Günün sonunda artık kurtarılabilecek çok kişi kalmamış ve arama kurtarma çalışmalarının sonuna gelinmiştir.



**Şekil 6.4.** 6' şar saatlik zaman dilimlerine göre elde edilen triyaj grupları dağılımının grafiği

Çalışma kapsamında, deprem senaryosu oluştururken dinamik bir modelleme geliştirebilmek için ilk olarak 72 saatlik ARENA programı çalıştırılmıştır. İkinci etapta ise 6' şar saatlik zaman dilimlere ayrılan 12 süreç elde edilmiş ve son olarak Bölüm 5.3' te bahsedildiği üzere her yarım saatte bir geciktirilebilir yaralı (T2) sınıfındaki kişilerin triyaj geçişlerini kontrol etmek adına 12' ye ayrılan süreç kendi içinde yarımşar saatlik dilimlere ayrılarak toplamda 144 zaman dilimi elde edilmiştir. Bu işlemlerin her biri, her mahalle için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar baz alınarak, bir deprem sonrası ilgili mahallelere bu zaman dilimlerine göre kaynak ataması yapılması beklenmektedir. Yarım saatlik zaman dilimleri sonuçlarının örneği Çalılıöz mahallesi için Çizelge 6.9' da gösterilmiştir.

Sonuç olarak; afet öncesi hazırlanıp, afet sonrası kullanılacak planlamalarda yapılan kaynak tahsisleri Çizelge 6.9 referans alınarak yapılırsa daha etkili ve gerçekçi sonuçlar ortaya çıkacağı öngörülmektedir.

**Çizelge 6.9.** Çalılıöz mahallesinin yarım saatlik deprem senaryosu sonuçları

ZAMAN ARALIKLARI (DK)		T1	T2	T3	T4	ZAMAN ARALIKLARI (DK)		T1	T2	T3	T4
0	30	0	0	0	0	2160	2190	1	1	2	1
30	60	0	0	0	0	2190	2220	1	1	2	1
60	90	0	0	0	0	2220	2250	1	1	2	1
90	120	0	0	1	0	2250	2280	1	1	2	0
120	150	0	0	1	0	2280	2310	1	1	2	0
150	180	0	1	1	0	2310	2340	1	1	2	0
180	210	1	1	1	0	2340	2370	1	1	2	0
210	240	1	1	2	0	2370	2400	1	1	2	0
240	270	1	1	2	0	2400	2430	0	1	1	0
270	300	1	1	2	0	2430	2460	0	1	1	0
300	330	1	1	2	1	2460	2490	0	0	1	0
330	360	1	1	2	1	2490	2520	0	0	1	0
360	390	1	1	2	0	2520	2550	1	1	2	1
390	420	1	1	2	0	2550	2580	1	1	2	1
420	450	1	1	2	0	2580	2610	1	1	2	0
450	480	1	1	2	0	2610	2640	1	1	2	0
480	510	1	1	2	0	2640	2670	1	1	2	0
510	540	1	1	2	0	2670	2700	1	1	1	0
540	570	1	1	2	0	2700	2730	1	1	1	0
570	600	1	1	2	0	2730	2760	0	1	1	0
600	630	1	1	3	1	2760	2790	0	0	1	0
630	660	1	1	3	1	2790	2820	0	0	1	0
660	690	1	2	3	1	2820	2850	0	0	1	0
690	720	1	2	3	1	2850	2880	0	0	1	0

Çizelge 6.9.. (devam)Çalılıöz mahallesinin yarım saatlik deprem senaryosu

720	750	1	1	2	0	2880	2910	1	1	2	1
750	780	1	1	2	0	2910	2940	1	1	2	1
780	810	1	2	3	0	2940	2970	1	1	2	0
810	840	1	2	4	0	2970	3000	1	1	2	0
840	870	1	2	4	0	3000	3030	1	1	2	0
870	900	2	2	4	1	3030	3060	1	1	1	0
900	930	2	2	4	1	3060	3090	1	1	1	0
930	960	2	2	4	1	3090	3120	0	1	1	0
960	990	2	2	4	1	3120	3150	0	0	1	0
990	1020	2	2	4	1	3150	3180	0	0	1	0
1020	1050	2	2	5	1	3180	3210	0	0	1	0
1050	1080	2	2	5	1	3210	3240	0	0	1	0
1080	1110	2	2	4	0	3240	3270	1	1	2	1
1110	1140	2	2	4	0	3270	3300	1	1	2	1
1140	1170	2	2	4	0	3300	3330	1	1	1	0
1170	1200	2	2	4	0	3330	3360	1	1	1	0
1200	1230	2	2	4	0	3360	3390	1	1	1	0
1230	1260	2	2	4	1	3390	3420	1	1	1	0
1260	1290	2	2	4	1	3420	3450	1	1	1	0
1290	1320	2	2	4	1	3450	3480	0	1	1	0
1320	1350	1	2	4	1	3480	3510	0	0	1	0
1350	1380	1	2	4	1	3510	3540	0	0	1	0
1380	1410	1	2	4	1	3540	3570	0	0	1	0
1410	1440	1	1	4	1	3570	3600	0	0	1	0
1440	1470	2	2	3	1	3600	3630	1	1	1	1
1470	1500	2	2	3	1	3630	3660	1	1	1	1
1500	1530	1	2	3	1	3660	3690	1	1	1	0
1530	1560	1	2	3	1	3690	3720	1	1	1	0
1560	1590	1	1	3	1	3720	3750	1	1	1	0



*Çizelge 6.9. (devam)Çalılıöz mahallesinin yarım saatlik deprem senaryosu*

1590	1620	1	1	3	0	3750	3780	0	0	1	0
1620	1650	1	1	3	0	3780	3810	0	0	1	0
1650	1680	1	1	3	0	3810	3840	0	0	1	0
1680	1710	1	1	3	0	3840	3870	0	0	1	0
1710	1740	1	1	3	0	3870	3900	0	0	1	0
1740	1770	1	1	2	0	3900	3930	0	0	1	0
1770	1800	1	1	2	0	3930	3960	0	0	0	0
1800	1830	1	2	3	1	3960	3990	1	1	1	1
1830	1860	1	2	3	1	3990	4020	1	1	1	0
1860	1890	1	1	3	1	4020	4050	0	1	1	0
1890	1920	1	1	3	1	4050	4080	0	0	1	0
1920	1950	1	1	3	0	4080	4110	0	0	1	0
1950	1980	1	1	2	0	4110	4140	0	0	1	0
1980	2010	1	1	2	0	4140	4170	0	0	0	0
2010	2040	1	1	2	0	4170	4200	0	0	0	0
2040	2070	1	1	2	0	4200	4230	0	0	0	0
2070	2100	1	1	2	0	4230	4260	0	0	0	0
2100	2130	1	1	2	0	4260	4290	0	0	0	0
2130	2160	1	1	1	0	4290	4320	0	0	0	0

## 7. SONUÇ

Tarihin her döneminde, depremler meydana geldiğinde birçok yeri etkilemekte, oldukça çok hasara ve kayba yol açmaktadır. Başta fiziki kayıplar olmak üzere, depremler; sosyal, ekonomik ve psikolojik kayıplara da sebebiyet vermektedir. Türkiye jeolojik konumu itibarıyla yüksek etki yaratacak sığ depremlerle sık sık karşı karşıya kalmaktadır. Ülke de meydana gelen hasar yapıcı depremlerin en sonuncusu 30 Ekim 2020 tarihinde, merkez üssü Sisam Adası açıkları olan İzmir ilinde 6.8 Mw büyüklüğünde meydana gelmiştir. Depremin etkilerine fiziki kayıp olarak bakıldığında; 117 can kaybı ve 1034 yaralı vardır. AFAD verilerine göre deprem ekonomik açıdan değerlendirildiğinde; 449 binada ağır hasar, 511 binada orta hasar ve 24 bina da yıkılmıştır.

Meydana gelen depremler sonucunda oluşacak hasarın azaltılabilmesi için iyi bir afet yönetim süreci geçirebilmek çok önemlidir. Dolayısıyla kriz yönetim sürecinde bulunan çalışmalar ve etkililiklerini arttırmak gerekir. Kriz yönetim sürecinde etkili çalışmalardan biri; bölgelerde, kişilerde ve yapılarda oluşacak zararı tespit edebilmek için deprem olmadan önce yapılan hasar tahmini çalışmalarıdır. Bu tahmin çalışmaları ile; deprem sonrası hızlı, koordineli, yerinde ve bilinçli müdahalelerle daha doğru ve etkili kaynak tahsisleri yapılabilir, toplumların ve ekonomilerin erken toparlanmasına ve iyileştirme süreçlerinin hızlı olmasına önemli katkılar sağlanabilir. Dolayısıyla meydana gelen bir deprem sonucunda oluşabilecek hasarın gerçeğe en yakın şekilde tahmin edilmesi deprem sonrası müdahale ve iyileşme aşamaları için önem taşımaktadır. Öngörülen bu durum ışığında bu tez çalışması ile, deprem sonrası oluşacak hasarın kayıpların tahmin edilmesinin önemi ve bilimsel çalışmaların gerekliliği ortaya koyulmuştur.

Bu çalışmada Kırıkkale ilinde meydana gelen 6.8 Mw büyüklüğünde bir depremde oluşacak kayıplar tahmin edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen kayıp tahmini sonuçları insan canı temellidir. Çünkü olası bir durumda, yürütülen müdahale çalışmalarının en temel amacı can kayıplarını en aza indirmek ve zarar görmüş insanların temel ihtiyaçlarını karşılamaktır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında oluşturulan deprem senaryosu çıktıları; ağır, geciktirilebilir, hafif yaralı ve ölü

sayıları, çalışma kapsamında belirlenen 28 mahalle için hem ayrı ayrı hem de toplu şekilde tahmin edilmiştir.

Bu tez çalışmasında yöntem olarak, stokastik temelleri olan kurgusal yapıda bir yöntem kullanılmıştır. Çalışmada net değerler olarak elde edilemeyen bilgiler örneğin; depremin büyüklüğünün 6,8 Mw olması, meydana gelen depremde nüfusun çok büyük bir kısmının etkilenmesi, ilgili mahallelerdeki binalarda yaşayan kişi sayısının varsayımlar dahilinde hesaplanması gibi faktörler çalışma kapsamında varsayımlar yapılarak aşılmıştır. Bu varsayımlar literatürde bulunan kurgusal yöntem referans alınarak yapılmıştır. Çalışmada bulunan parametrelerde (zemin profil bilgisi ve bina kat sayısı) olasılıkların olması ise stokastik yöntem referans alınarak yapılmıştır.

Çalışma kapsamında deprem senaryosu oluşturabilmek için simülasyon modeli kurulmuştur. Bu modelin oluşturulmasındaki en temel amaç: zemin profil oranlarının ve bina katsayılarının birbirine entegre bir şekilde sistemde yer almasına ek olarak, farklı tipteki yaralı gruplarının aynı zaman periyodunda paralel bir şekilde hizmet alabilmesini sağlamaktır. Simülasyon modelinin çalışmaya sağladığı en önemli avantajlardan biri de esnekliktir. Yani Kırıkkale ili baz alınarak oluşturulan modelin başka yerlerde uygulamasının yapılması, çalışmada kullanılan parametreler elde edildiği sürece oldukça kolaydır. Çalışma boyunca yapılan araştırmalar itibariyle, deprem sonrası oluşacak hasar ve kayıpların tahmin edildiği çalışmalarda simülasyon modeli kurularak ARENA programı kullanılmamıştır. Yapılan araştırmalar itibariyle elde edilen bir diğer sonuç ise uygulamanın yapıldığı Kırıkkale ilinde daha önce bir deprem senaryosu çalışması bulunmadığıdır. Bu durumlar çalışmanın özgün niteliği açısından önemlidir ve deprem senaryosu literatürüne farklı bir bakış açısı sunarak katkı sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasından elde edilen çıktılar doğrultusunda, Kırıkkale ilinde gelecekte meydana gelmesi olası depremler için ilgili mahallelerde enkazda bulunanların sayısı ya da çıkan kişilerin sağlık durumları dikkate alınarak kriz anında kurtulan arama kurtarma ve sağlık kaynakları daha etkili planlanabilir. Bu çalışma sayesinde ayrıca, depremden fiziksel olarak etkilenmemiş güvenli bölgeye ulaşan kişilerin acil

ihtiyaçlarının da daha hızlı ve yeterli sayıda sağlanabilmesi için doğru bir deprem lojistiği planlamasının oluşturulabileceği öngörülmektedir.

Gelecek çalışmalarda; çalışma kapsamında kullanılan parametrelere ek olarak, depremin şiddeti, meydana geldiği derinlik ve odak noktası vb. diğer parametreler elde edilip simülasyon modeline eklendiği takdirde daha gerçekçi ve kapsamlı sonuçlar üretilebilir. Eklenen her bir parametrenin deprem hasarına etki durumu sayısal açıdan ayrı ayrı, daha kapsamlı değerlendirilebilir. Çalışmanın olasılıksal durum taşıyan parametrelerinin genişletilmesine ek olarak kurgusal bazda örneğin; depremin gece veya gündüz zamanlarında, yaz veya kış mevsimlerinde ya da bölgede gerçek anlamda tehlike yaratacak olayların (fabrikalarda patlamalar, önemli köprülerin yıkılması veya ikincil felaketler) dikkate alındığı her durum gelecek çalışmalar için birer fırsattır.

## KAYNAKLAR

Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağır, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H., ve Hakyemez, Y., Ankara Elmadağ-Kalecik dolayının temel jeoloji özellikleri. Jeoloji Mühendisliğı Dergisi, No 20, 31-46, 1984

Altay, N., Green, W. G., OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475–493, 2006.

Anonim, Türkiye Afet Müdahale Planı, <https://www.afad.gov.tr/turkiye-afet-mudahale-plani> (Erişim tarihi: 17.01.2021)

Anonim, Yıllık Afet İstatistikleri İncelemesi: Sayılar ve Eğilimler 2007, <https://www.cred.be/node/316> (Erişim Tarihi: 10.11.2020)

Anonim, Deprem Nedir? <https://www.afad.gov.tr/deprem-nedir>, (Erişim tarihi: 25.12.2020).

Babaoglu, C., Memiş, L., Afet Yönetimi ve Teknoloji. Farklı Boyutlarıyla Afet Yönetimi. 163-178. Ed: M. Yaman ve E. Çakır. Nobel, Ankara, 2020.

Baker, J. W., Probabilistic Seismic Hazard Analysis. *White Paper Version 2.0.1*, 1-79, 2013.

Börühan, G., Ersoy, P., Tek, Ö.B., Afet yönetiminde lojistik planlama ve kontrol listesi yönetiminin önemi. *Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi*, Konya, 10-12 Mayıs 2012.

Caunhye, A. M., Nie, X., Pokharel, S., Optimization models in emergency logistics: A literature review. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 4–13, 2012.

Classification | EM-DAT., <https://www.emdat.be/classification> (Erişim tarihi: 25.11.2020)

Cred, C., Disaster\* Year in Review 2019, CRED, Issue No. 58, 2020.

Crozi, M., Galetto, R., Spalla, A., A Web GIS for Managing Post-Earthquake. *Geo-information for Disaster Management*, 1255-1270, 2005.

C. Tüzün, A Seismic Vulnerability Analysis Procedure For Urban Loss Assessment. Doktora Tezi. Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 2008.

Çakırer, Z., Sakallı Ü. S., Simülasyon ile Kayıp Tahmin Analizi; Kırıkkale Kent Örneği. *Uluslararası Mühendislik Sempozyumu*, s:189, İzmir, 5-13 Aralık 2020

Çiftçi, S., Çakırer, Z., Sakallı, Ü. S., Simülasyon Çalışması ile Deprem Senaryosu Oluşturulması ve Kırıkkale İli Kayıp Tahmin Analizi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve. Geliştirme Dergisi*, 12(2), 603-617, 2020.

De Guzman, E. M., Towards Total Disaster Risk Management Approach. *United National Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, Asian Disaster Response Unit*, 2003.

Değeriuyurt, M., Türkiye' de Afet Yönetimi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 14(22): 147-164, 2009.

Demirci, A., Karakuyu, M., Afet Yönetiminde Coğrafi Bilgi Teknolojilerinin Rolü. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 9(12): 67-100, 2004.

Erdik, M., Aydinoglu, N., Fahjan Y., Sesetyan K., Demircioglu M., Siyahi, B., Durukal, E., Ozbey, C., Biro, Y., Akman, H., ve Yuzugullu, O.,

Earthquake Risk Assessment For Istanbul Metropolitan Area, *Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERİ)*, 2(1), June 2003.

Erdik, M., Durukal E., Earthquake risk and its mitigation in Istanbul, *Springer Science Business Media B.V.*, No: 44, 181-197, 2007.

Ergünay, O., Afet yönetiminde İşbirliği ve Koordinasyonun Önemi. *TC İçişleri Bakanlığı-JICA*, 1, 10, 2006.

Ergünay, O., Türkiye'nin Afet Profili. *TMMOB Afet Sempozyumu*, 5-7, 1-14, 2007.

Fahjan, Y., Pakdamar, F., Eryılmaz, Y., Kara, İ., Afet Planlamasında Deprem Riski Belirsizliklerinin Değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler ve Araştırma Dergisi*, 1(1-2): 21-39, 2015.

Farahani, R. Z., Lotfi, M. M., Baghaian, A., Ruiz, R., & Rezapour, S., Mass casualty management in disaster scene: A systematic review of OR&MS research in humanitarian operations. *European Journal of Operational Research*, 287(3): 787-819, 2020

Fema, Hazus Annual Progress And Utilization Report For Fiscal Year 2004, 2005.

Gazozcu, S., Evlerde Uygulamalı Deprem Eğitimi Projesi. *Sivil Savunma*, 184, 16-18, 2006.

Gökçekuş, H., Barlas, C., Almuhsen, M., Eyni, N., Doğal ve İnsan Kaynaklı Afetler, Sonuçları ve Afet Yönetimi. *Yakın Doğu Üniversitesi*, 2018.

G. Şimşek., Üretim Süreçlerinin Simülasyon Yöntemi İle Yeniden Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Maltepe Üniversitesi, İstanbul, 2016.

Gülkan, P., Balamir, M., Yakut, A., Afet Yönetiminin Stratejik İlkeleri: Türkiye ve Dünyadaki Politikalara Genel Bakış. *Ortaoğu Teknik Üniversitesi Afet Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi*, 30-32, 2003.

Işık, E., Kutanis, M., Bal, E. İ., Estimated Loss And Rating Of Earthquake Risk İn Eastern Turkey. *Gradevinar*, 69(7): 581-592, 2017.

Işık, E., Sağır, Ç., Tozlu Z., Usttaoğlu Ü. S., Farklı Deprem Senaryolarına Göre Kırşehir İli Kayıp Tahmin Analizleri. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, ; 5(1), 80-93, 2019.

JICA, The Study on A Disaster Prevention / Mitigation Basic Plan in Istanbul including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey, Japan International Cooperation Agency, Aralık Final Raporu, December 2002.

Kadioğlu, M., Afet Yönetimi Beklenilmeyeni Beklemek, En Kötüsünü Yönetmek. *TC. Marmara Belediyeler Birliği Yayını*, 44-45, 2011.

Kadioğlu, M., Sel, Heyelan ve Çığ için Risk Yönetimi; Kadioğlu, M. ve Özdamar, E., Ed: "Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri"; s. 251-276, JICA Türkiye Ofisi Yayınları No: 2, Ankara, 2008.

Kadioğlu, M., Özdamar, E., Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri. *JICA Türkiye Ofisi*, Yayın No: 2, Mart 2008.

Kadioğlu, M., Modern, Bütünleşik Afet Yönetiminin Temel İlkeleri. *JICA Türkiye Ofisi Yayınları*, ss. 1-34, 2008.

Karaman, H., Sonuç Bazlı Risk Yönetimi ve Deprem Kayıp Tahmin Analizi. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2008.

Karaman, H., Şahin, M., Zeytinburnu İlçesi İçin Deprem Hasar Tahmini Çalışması. *İTÜDERGİSİ/d* 8(3), 91-101, 2009.



KOERİ BOUN, Büyük Depremler, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/buyuk-depremler/> (Erişim tarihi: 17.01.2021)

Kovacs, G., Moshtari, M., A roadmap for higher research quality in humanitarian operations: A methodological perspective. *European Journal of Operational Research* 276(2), 395–408, 2019.

Kurita, T., Total Disaster Risk Management and The Importance of International Cooperation, *Asian Disaster Reduction Center, Japan*, 2004.

K. Taşlıova, İstanbul İli Esenler İlçesi Deprem Hasar Tahmin Analizi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2010.

Küçükçoban, S.,2004. Development of a Software for Seismic Damage Estimation:CaseStudies. Doktora Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2004.

Lemmen, C., Oosterom, P.V., Zlatanova, S., Fendel E., The First International Symposium on Geo-information for Disaster Management (Gi4DM). The First International Symposium, Delft, The Netherlands, S. 1269-1270, 21-23 March 2005.

Okay, A. I., Kaşlılar-Özcan, A., Imren, C., Boztepe-Güney, A., Demirbag, E., Kuşçu, I., Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, Northwest Turkey: A multichannel seismic reflection study. *Tectonophysics*, 321(2), 189–218, 2000

Okuyama, Y., Economics of Natural Disasters: A Critical Review. *Regional Research Institute Publications and Working Papers*, 131, 2013.

Oosterom, P. V., Zlatanova S., Fendel E. M., Geo-information for Disaster Management. 1255-1270. Ed: Crozi, M., Galetto R., ve Spalla, A., A Web GIS for Managing Post-Earthquake Emergencies, Italy, 2005.

Ortuno, M. T., Cristobal, P., Ferrer, J. M., Martín-Campo, F. J., Muñoz, S., Tirado, G., Vitoriano, B., Decision Aid Models and Systems for Humanitarian Logistics. A Survey. *In Decision Aid Models For Disaster Management And Emergencies*, Atlantis Press, Paris, s.17–44, 2013.

Önsüz, M. F., Atalay, B. I., Afet Lojistiği. *Osmangazi Tıp Dergisi*, 37(3), 1–6, 2016.

Ozen, M., Krishnamurthy, A., Resource Allocation Models For Material Convergence. *International Journal Of Production Economics*, 228, 107646, 2020.

Özmen, B., İstanbul İli İçin Deprem Senaryosu. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 417, 17-28, 2002.

Özmen, B., Türkiye Deprem Bölgeleri Haritalarının Tarihsel Gelişimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 55(1): 43-55, 2012.

Özmen, B., Can, H., Ankara İçin Deterministik Deprem Tehlike Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1): 9–18, 2016.

Özmen, B., Nurlu, M., Kuterdem, K., ve Temiz, A., Afet Yönetimi Ve Afet İşleri Genel Müdürlüğü. Deprem Sempozyumu, Kocaeli, s.1472-1474, 23-25 Mart 2005.

Özmen, B. ve Tolga Özden, A., Türkiye'nin Afet Yönetim Sistemine İlişkin Eleştirel Bir Değerlendirme, İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi No:49, s.1-28, Ekim 2013.

<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/06/20090617-1.htm> (Erişim Tarihi: 17.01.2020)

S. Saygı, Seismic Loss Estimation Methodology: A Case Study In. Yüksek Lisans Tezi. Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul 2015.

Sebatli, A., Cavdur, F., Ve Kose-Kucuk, M., Determination Of Relief Supplies Demands And Allocation Of Temporary Disaster Response Facilities. Transportation Research Procedia, 22, 245–254, 2017.

Sönmezer, Y.B., Çeliker M., Ve Kılınç, M. Y., Kırıkkale İli Bahçelievler Ve Fabrikalar Mahallelerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Analizi. International Journal of Engineering Research and Development, Vol.4, No.1, 33-40, January 2012.

Sönmezer, Y. B., Oğuzhan, S., Nihat, A., ve Işık, S., Assessment Of The Peak Acceleration, Amplification Ratio And Fundamental Period Properties For The Kırıkkale Province Settlement Area, C:30 No:4, 711-721, 2015.

Snyder, L. V., Facility location under uncertainty: a review. IIE transactions, 38(7): 547-564, 2006.

Temur, G. T., Turgut, Y., Yılmaz, A., Arslan, Ş., ve Camcı, A., Deprem sonrası planlamaya yönelik lojistik ağ tasarımı: Ümraniye bölgesinde farklı deprem senaryoları için bir uygulama. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, Vol. 25, Issue 1, 98-105, 2019.

Tercan, B., Türkiye’de Afet Politikaları Ve Kentsel Dönüşüm, Abant Kültürel Araştırmalar Dergisi Vol. 3, Issue 5, 63-74, 2018.

T. Pektaş, İlçe Bazında Afet Lojistiği: Başakşehir Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. Başakşehir Üniversitesi, İstanbul, 2012.

Türker, A. K., Üretim ve Hizmet Sistemlerinde Simülasyon ve Arena. Kırıkkale, 2015.

Türkeş, M., ve Deniz, Z. A., Klimatolojik/Meteorolojik Ve Hidrolojik Afetler Ve Sigortacılık Sektörü, Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi, Cilt:7, Sayı:2, 997-1017, 2010.

U. Kelle, Afet Yönetiminde Triyaj Alanı Olarak İlköğretim Okullarının Değerlendirilmesi ve Beşiktaş İlçesi Uygulama Çalışması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.

UNDRR, The Human Cost of Disasters - An overview of the last 20 years 2000-2019. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, <https://reliefweb.int/report/world/human-cost-disasters-overviewlast-20-years-2000-2019> , (Erişim Tarihi:12.10.2020).

Walker, G., Flood Loss Estimation – It Can Be Done, All Flood Seminar, GRW Aon Re Australia, 21 Mayıs 1999.