



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**DEPREM SENARYOSU SİMÜLASYONU İLE KAYIP TAHMİN ANALİZİ
İSTANBUL BAKIRKÖY İLÇESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FURKAN GENÇ

DANIŞMAN: DOÇ. DR. İBRAHİM SABUNCU

**YALOVA
ARALIK 2024**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

DEPREM SENARYOSU SİMÜLASYONU İLE KAYIP TAHMİN ANALİZİ
İSTANBUL BAKIRKÖY İLÇESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FURKAN GENÇ
228106016

DANIŞMAN: DOÇ. DR. İBRAHİM SABUNCU

YALOVA
ARALIK 2024

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım “Deprem Simülasyonu ile Kayıp Tahmin Analizi İstanbul Bakırköy İlçesi” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Furkan GENÇ



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitim sürecimde desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. İbrahim SABUNCU'ya teşekkürlerimi sunarım. Hayatım boyunca her koşulda yanımda olan ve desteklerini hissettiğim babam Mesut GENÇ'e, annem Gülay GENÇ'e ve abim Mustafa Burak GENÇ'e teşekkür ederim.

Aralık – 2024

Furkan GENÇ



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
İÇİNDEKİLER.....	iv
KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
2. AFETLER	5
2.1. Doğal Afetler	5
2.2. Beşerî Afetler.....	5
2.3. Afet Yönetimi	6
2.3.1. Risk ve zarar azaltma	7
2.3.2. Afet hazırlık dönemi	8
2.3.3. Afet müdahale dönemi.....	8
2.4. Deprem Türleri	11
2.5. Deprem Parametreleri.....	11
2.5.1. Deprem şiddeti	11
2.5.2. Deprem büyüklüğü	13
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	15
4. METODOLOJİ.....	19
4.1. Benzetim.....	19
4.2. Simülasyon Modellerindeki Bileşenler	19
4.3. Simülasyon Modelleri	19
4.3.1. Statik simülasyon modeli	19
4.3.2 Dinamik simülasyon modeli	20
4.3.3. Deterministik simülasyon modeli	20
4.3.4. Stokastik simülasyon modeli	20
4.3.5. Kesikli simülasyon modeli.....	20
4.3.6. Sürekli simülasyon modeli.....	21
4.4. Simülasyon Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları	21
4.5. Arena Simülasyon Programı.....	25
4.5.1. Proje barında yer alan modüller.....	27

5. DEPREM SENARYOSUNUN OLUŞTURULMASI	35
5.1. Bakırköy İlçesi.....	35
5.2. Bakırköy İlçesi Jeoloji Bilgileri.....	35
5.3. Bakırköy İlçesi Bina Bilgileri.....	38
5.4. Bakırköy İlçesi Nüfus Bilgileri.....	42
6. UYGULAMA.....	43
6.1. ARENA Programında Simülasyon Senaryosunun Oluşturulması	47
7. SONUÇ VE �NER�LER	51
KAYNAKLAR.....	56
�ZGE�M�Ő	59



KISALTMALAR LİSTESİ

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DASK	: Doğal Afetler Sigorta Kurumu
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İİJH	: İstanbul İli Jeoloji Haritası
İRAP	: İl Afet Risk Azaltma Planı
İSMEP	: İstanbul Sismik Riskin Azaltılması ve Acil Durum Hazırlık Projesi
JPMM	: Joint Poisson Mixed Model
KAFH	: Kuzey Anadolu Fay Hattı
KJP	: Kent Jeolojisi Projesi
KOERİ	: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
mW	: Moment Büyüklüğü
Tçb	: Bakırköy Üyesi Formasyon
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
YSA	: Yapay Sinir Ağı
Qal	: Alüvyon Zeminler

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Odak Derinliği (AFAD, 2019)	11
Tablo 2.2. Deprem Şiddet ve Richter Magnitüdü Değer Tablosu (AFAD, 2019)	12
Tablo 2.3. Deprem Büyüklüğünü Ölçen Yöntemler (KOERİ, 2024)	13
Tablo 2.4. Türkiye Tarihindeki 6,5 ve Üzeri Büyüklükte Gerçekleşen Depremler ve Etkileri (KOERİ'den düzenlenmiştir.)	14
Tablo 5.1. Bakırköy İlçesi Yapım Yıllarına Göre Bina Sayıları (İBB Veri Portalından derlenmiştir.)	38
Tablo 5.2. Bakırköy İlçesi Mahallelere Göre Bina Kat Sayıları (İBB Veri Portalından derlenmiştir.)	40
Tablo 5.3. Bakırköy İlçesi Mahalle Bazlı Nüfus (TÜİK'ten derlenmiştir.)	42
Tablo 6.1. Deprem Büyüklüğüne Bağlı Olarak Bina Hasar Düzeyi Olasılıkları (%) (Ren vd., 2024).....	43
Tablo 6.2. Bina Hasar Durumlarına Göre Triyaj Tespiti (Ren vd., 2024)	44
Tablo 6.3. Triyaj Sınıflandırması ve Açıklamaları	44

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. KAFH ile Bakırköy İlçesi Arasındaki Mesafe (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yer Bilimleri Portalından derlenmiştir.)	4
Şekil 2.1. Afet Genel Şeması	5
Şekil 2.2. Afet Yönetimi Aşamaları (Tezcan vd., 2023).....	7
Şekil 2.3. Türkiye’de Afet Etkileri (Gökçe vd., 2008).....	9
Şekil 2.4. Türkiye’de Gerçekleşen Deprem Sayıları 2000-2023 Yılları Arası (AFAD’ dan derlenmiştir.).....	9
Şekil 2.5. İstanbul’da Gerçekleşen Deprem Sayıları 2000-2023 Yılları Arası (AFAD’ dan derlenmiştir.).....	10
Şekil 4.1. Kesikli Simülasyon Modeli Örneği.....	20
Şekil 4.2. Sürekli Simülasyon Modeli Örneği.....	21
Şekil 4.3. Modelleme Sınıflandırmaları (Söyler ve Koç, 2014).....	23
Şekil 4.4. Benzetim Adımları (Melamed ve Altıok, 2007)	24
Şekil 4.5. Arena Simülasyon Programı Başlangıç Ekranı.....	26
Şekil 4.6. Arena Simülasyon Programı Üst Menü	26
Şekil 4.7. Create Modülü.....	27
Şekil 4.8. Process Modülü.....	28
Şekil 4.9. Decide Modülü.....	29
Şekil 4.10. Assign Modülü.....	30
Şekil 4.11. Record Modülü	30
Şekil 4.12. Batch Modülü.....	31
Şekil 4.13. Seperate Modülü	32
Şekil 4.14. Leave Modülü	33
Şekil 4.15. Enter Modülü	34
Şekil 5.1. Bakırköy İlçesi Jeoloji Özellikleri (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yer Bilimleri Portalından derlenmiştir.)	36
Şekil 5.2. Bakırköy İlçesi Formasyonu (Dalgıç vd., 2009).....	36
Şekil 5.3. Formasyonlar ve Etkilenme Alanları (Dalgıç vd., 2009).....	37
Şekil 5.4. Bakırköy İlçesi Formasyon Dağılımı (İstanbul İli Jeoloji Haritasından derlenmiştir.).....	38
Şekil 5.5. Yapım Türlerine Göre Bina Dağılımları (İBB, 2019).....	40
Şekil 6.1. Deprem Senaryosu Triyaj Tespiti Aşamaları.....	44
Şekil 6.2. Deprem Senaryosu Tahliye İşlemleri.....	45
Şekil 6.3. Mahalle Bazlı Ağ Diyagramı	46
Şekil 6.2. Deprem Senaryosu Genel Akışı.....	47

Şekil 6.3. Deprem Senaryosunun Arena Programında Modellenmesi 1’inci Aşama	48
Şekil 6.4. Modelin 2’nci Aşaması Basıncöy Örneği	49
Şekil 6.5. Modelin 2’nci Aşaması Basıncöy Örneği Devamı	49
Şekil 7.1. Binaların Depremden Etkilenme Düzeyleri	52
Şekil 7.2. Yaralı Depremzedelerin Sayısı	52
Şekil 7.3. Depremde Ölen Nüfusun Sayısı.....	53
Şekil 7.4. Arama-Kurtarma Ortalama Faaliyet Süreleri.....	53
Şekil 7.5. İlk Yardım Faaliyetlerinin Ortalama Süresi.....	54
Şekil 7.6. Binaların Etkilenme Düzeyleri.....	54



DEPREM SENARYOSU SİMÜLASYONU İLE KAYIP TAHMİN ANALİZİ İSTANBUL BAKIRKÖY İLÇESİ

ÖZET

Afetler, doğal ve beşerî olmak üzere iki ayrı grupta incelenmektedir. Maddi ve manevi yıkıcı etkiye sahip afetler arasında olan depremler, büyük can kayıplarına ve yaralanmalara sebebiyet vermektedir. Günümüzde teknolojideki gelişimlere rağmen depremlerin sebep olacağı etkiler öngörülememekte, tahmin edilmektedir. Tahmin yöntemleri arasında simülasyonun kullanılması farklı senaryolar oluşturulmasına ve güvenilirliği yüksek sonuçlar elde edilmesine imkân tanımaktadır. Oluşturulan deprem senaryoları ile depremin yıkıcı etkilerini en aza indireyecek tedbirlerin alınması, arama-kurtarma faaliyetleri başta olmak üzere depremzedelere tıbbi yardım sağlanması ve temel ihtiyaçlarının kapasite planlaması mümkün olmaktadır. Bu kapsamda, İstanbul ilinde beklenen deprem için Arena Simülasyon Paket programında simülasyon modeli oluşturulmuştur. Model iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, İstanbul ilinin Bakırköy ilçesinde büyüklüğü 6 ile 7.5 aralığında değişen stokastik deprem senaryoları oluşturulmuş ve Bakırköy ilçesinde yer alan binaların depremde etkilenme düzeyine bağlı olarak nüfus; ölü, yaralı veya depremde etkilenmeyen olmak üzere üç grupta sınıflandırılarak kayıp tahmin analizi gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada, Bakırköy ilçesindeki mahallelere arama-kurtarma ve ilkyardım ekipleri planlanmış, ekiplerin mevcut konumlarındaki görevlerini tamamladıktan sonra en yakın mahalleye sevk edilmeleri sağlanarak depremzedelerin tahliye süreleri hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular neticesinde ortalama 6.7 büyüklüğünde bir depremin gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bakırköy ilçesi mahallelerinde yer alan binaların %42 oranında depremde etkilenmediği, %25 oranında az hasar gördüğü, %23 oranında orta hasarlı, %7 oranında ağır hasarlı ve %3 oranında yıkıldığı tespit edilmiştir. Depremde etkileri açısından Bakırköy ilçesinde yer alan mahalle nüfusunun %61 oranında depremde etkilenmediği, %38 oranında yaralı ve %1 oranında ölümlerle sonuçlandığı analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Afet, Deprem, Simülasyon, Kayıp Tahmin Analizi

LOSS ESTIMATION ANALYSIS WITH EARTHQUAKE SIMULATION ISTANBUL BAKIRKOY DISTRICT

ABSTRACT

Disasters are analysed in two different groups as natural and human. Earthquakes, which are among the disasters with material and moral destructive effects, cause great loss of life and injuries. Today, despite the developments in technology, the effects of earthquakes cannot be predicted, but are estimated. The use of simulation among the prediction methods allows different scenarios to be created and high reliability results to be obtained. With the earthquake scenarios created, it is possible to take measures to minimise the destructive effects of the earthquake, to provide medical assistance to earthquake victims, especially search and rescue activities, and to plan the capacity of their basic needs. In this context, a simulation model has been created in Arena Simulation Package programme for the expected earthquake in Istanbul. The model consists of two stages. In the first stage, stochastic earthquake scenarios with a magnitude ranging between 6 and 7.5 were created in Bakırköy district of Istanbul province, and loss estimation analysis was carried out by classifying the population into three groups as dead, injured or unaffected depending on the level of earthquake impact of the buildings in Bakırköy district. In the second stage, search and rescue and first aid teams were planned for the neighbourhoods in Bakırköy district, and the evacuation times of the earthquake victims were calculated by ensuring that the teams were dispatched to the nearest neighbourhood after completing their duties at their current location. As a result of the findings obtained, it was determined that an earthquake with an average magnitude of 6.7 occurred. It was determined that 42% of the buildings in the neighbourhoods of Bakırköy district were not affected by the earthquake, 25% were slightly damaged, 23% were moderately damaged, 7% were heavily damaged and 3% were destroyed. In terms of the effects of the earthquake, it was analysed that 61% of the neighbourhood population in Bakırköy district was not affected by the earthquake, 38% were injured and 1% died.

Keywords: Natural Disaster, Earthquake, Simulation, Loss Estimation Analysis, Evacuation

1. GİRİŞ

Afetler; dünyanın her bölgesinde meydana gelen, hayatın normal akışını durduran veya kesintiye uğratan, doğal yaşam üzerinde ciddi fiziksel, ekonomik, sosyal kayıplara neden olan, doğa veya beşerî kaynaklı olaylardır. Afetlerin ne zaman ne şekilde ve nerede gerçekleşeceği belirsizlik içeren bir durumdur (Şen ve Esmer, 2017).

Yer kabuğunda yer alan levhaların sıkışması veya gerilmesi sonucu ortaya enerji çıkabilmektedir. Yer kabuğunda yer alan hareketli kısımlara fay adı verilmektedir. Fayların sıkışması sonucu zayıf olan fayın ani ve şiddetli kırılma gerçekleştirmesi deprem olarak tanımlanmaktadır (Karagöz ve Sezgin, 2023). Depremlerin etkisi, büyüklüğüne ve gerçekleştiği derinliğe göre değişmektedir. Derinliği yüksek ve büyüklük derecesi daha düşük şiddetlerde gerçekleşen depremlerin daha geniş alanlarda hissedildiği ve bıraktıkları hasarın daha az olduğu ifade edilmektedir. Büyüklüğü yüksek şiddetlerde ve derinliği daha az olan depremlerin yıkıcı etkisi de yüksek olmaktadır (Çakırer, 2020).

Dünya genelinde insanlar ve çevre üzerinde yıkıcı etkisi olan birçok deprem gerçekleşmiştir. Son yıllarda; depremin yol açtığı olumsuz etkileri anlamak, toplumu olası bir depreme karşı hazır hale getirmek ve depremin risklerini değerlendirmek amacıyla oluşturulan deprem simülasyonları değer kazanmıştır.

Depremler meydana gelmeden önce hazırlık yapılmalıdır. Bireysel ve toplumsal olarak yapılabilecek hazırlıklar arasında deprem çantasının hazırlanması, deprem anında yapılması gereken davranışların eğitimi depremden kaynaklanabilecek zararları minimum seviyede olmasına yarar sağlayacaktır. Deprem öncesinde afetlere dirençli imar planlamasının yapılması, aile afet planının hazırlanması depreme hazırlık açısından önem arz etmektedir. Deprem sırasında panik yapılmaması ve çök-kapan-tutun hareketlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Deprem sonrasında ise olası yangınlara hazırlıklı olmak, ilk yardım bilgisine sahip olmak ve bina tahliye planını hazırlamak depremden kaynaklanabilecek zararı minimize etmesi beklenmektedir. Depreme hazırlık yapmanın aşamalarından birisi deprem çantasının hazırlanması ve erişilebilir bir yerde konumlandırılmasıdır. Deprem esnasında zayıyatın en aza indirgenmesi amacıyla uygulanabilecek diğer bir depreme hazırlık adımı ise deprem anında sarsıntının etkisiyle devrilmesi beklenen dolapların konumunun sabitleştirilmesidir.

Deprem gerçekleştikten sonra kriz yönetiminin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Deprem gerçekleştikten sonraki ilk 72 saat “altın saatler” olarak ifade edilmektedir ve depremzedelerin altın saatleri yalnız geçireceği varsayılmaktadır. İlk 72 saatin

yalnız geçirileceği göz önünde bulundurulduğunda depremzedenin temel ihtiyaçlarını giderebileceği şekilde deprem çantasının hazırlanması gerekmektedir (İSMEP, 2009).

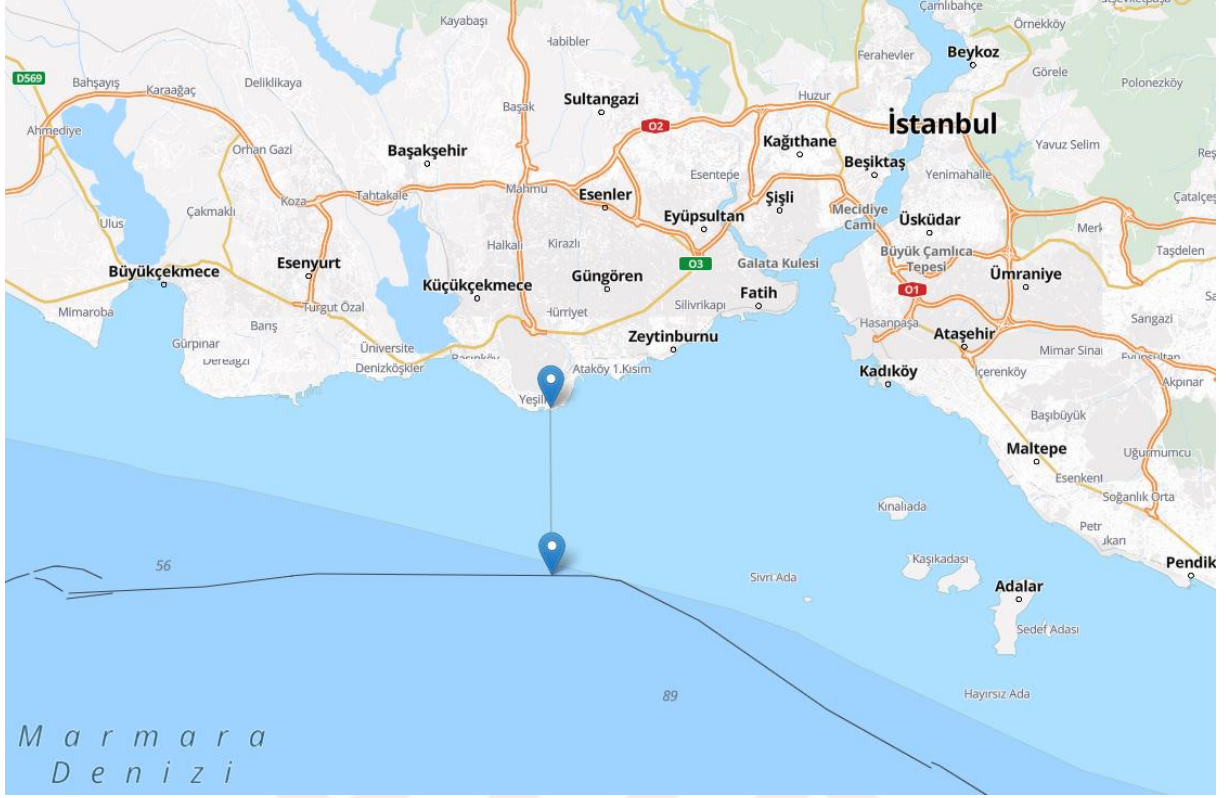
İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin (İBB) 2019 yılının aralık ayında İstanbul Kongre Merkezi'nde gerçekleştirdiği Deprem alıştayında gün içerisinde 6 milyon vatandaşın hanelerde bulunduğu, gece ise 15 milyon vatandaşın hanelerde bulunduğu ifade edilmiştir. Gece saatlerinde gerçekleşebilecek depremin, depreme maruz kalacak nüfusun sayıca fazla olması sebebiyle daha yıkıcı sonuçlara yol açabileceği göz önünde bulundurulmaktadır. Bu duruma ek olarak; altın saatler olarak adlandırılan ilk 72 saatin başlangıcında arama-kurtarma faaliyetlerinin de sekteye uğrayabileceği söz konusudur. Dolayısıyla deprem öncesi hazırlık ve organizasyon minimum süre içerisinde müdahale edilmesi ve kayıpların azaltılması açısından büyük önem arz etmektedir. Olası bir 7,5 büyüklüğündeki bir deprem senaryosuna göre yolların %30'unun kapanabileceği, 463 hasarlı içme suyu noktasının olabileceği, 355 hasarlı doğalgaz noktasının ve 1045 hasarlı atık suyu noktasının bulunabileceği belirtilmiştir. Mali açıdan gerçekleşebilecek ekonomik kayıp miktarının 125 milyar lira olacağı çalıştayda ifade edilmiştir.

1.1.Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

İstanbul ili 2000 yıldan daha fazla süredir deprem geçmişine sahiptir. Tarih boyunca yaşanan en büyük deprem olarak ifade edilen 1766 yılı İstanbul Depremi'nde 6 metrelik tsunaminin oluştuğu ifade edilmektedir (İRAP, 2020). Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın Bakırköy ilçesinin Yeşilköy mahallesine yaklaşık olarak 9 km mesafede bulunması, bu fay hattında gerçekleşebilecek olası bir depremin Bakırköy ilçesi açısından önemini ifade etmektedir. Arada geçen süre içerisinde İstanbul'dan geçen fay hatlarında enerjinin sıkışmış olabileceği belirtilmektedir (İBB JICA, 2002). İBB'nin 2019 yılında gerçekleştirdiği Deprem Çalıştayına göre; ortalama 250 senede bir tekrarlanan büyük bir depremin gerçekleşmemiş olması İstanbul için deprem beklentisini arttırmaktadır. Adalar bölgesinin 10 km derinliğinde yer alan 40 km uzunluğunda bir fay hattının bulunması potansiyel bir depremin gerçekleştirilebileceği ve depremin tetiklenme merkezi olabileceği ifade edilmektedir.

Bu kapsamda, hazırlanan tez çalışmasında İstanbul ilinin Bakırköy ilçesinde yer alan 15 mahallede büyüklüğü 6 ve 7.5 aralığında stokastik değişen bir deprem senaryosu ARENA Simülasyon programında modellenmiş, deprem sonucunda depremzedelerin triyaj durumları ve kayıp analizi gerçekleştirilmiştir. Bakırköy ilçesinde yer alan her mahalleye Arama-kurtarma ve ilkyardım ekipleri atanmış, görev yaptıkları mahallelerde faaliyetlerini tamamladıktan sonra en yakın mahalleye destek sağlamak amacıyla ekipler sevk edilerek depremzedelerin tahliye süreleri hesaplanmıştır.

Tez çalışması toplamda yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, çalışmanın önemi, amacı ve kapsamı ifade edilmiştir. İkinci bölümde, çalışmanın genel çerçevesi ve kavramsal ifadeler yer verilmiştir. Üçüncü bölümde literatürde yapılan çalışmalara değinilmiştir. Dördüncü bölüm tez çalışmasında kullanılan metodun geniş tanımlarını içermektedir. Beşinci bölüm deprem senaryosunun oluşturulmasını teorik boyutlarını ve çalışmada kullanılan verileri tanımlamaktadır. Çalışmanın altıncı bölümünde uygulama adımları anlatılmıştır. Yedinci bölüm çalışmada elde edilen sonuçları ve önerileri içermektedir. Tez çalışmasında kullanılan yöntem Bakırköy ilçesinde gerçekleşebilecek olası bir deprem açısından literatüre farklı bir yaklaşım sunmuştur.

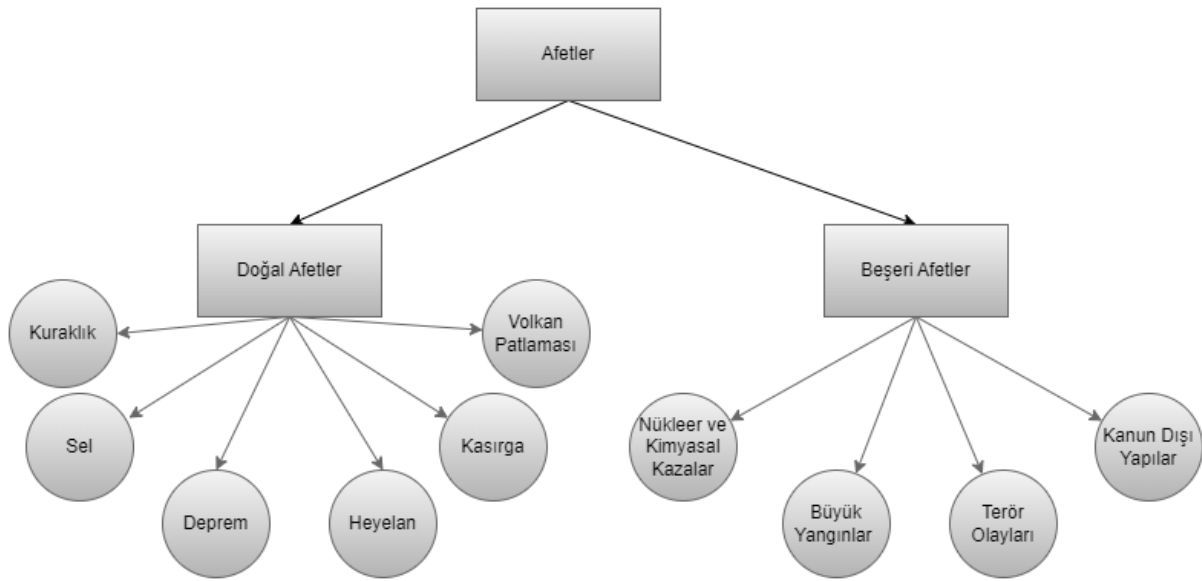


Şekil 1.1. KAFH ile Bakırköy İlçesi Arasındaki Mesafe (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yer Bilimleri Portalından derlenmiştir.)

2. AFETLER

Doğal afetler dünyanın her bölgesinde meydana gelen insanların yaşamlarının son bulmasına sebebiyet verdiği gibi maddi olarak da yıkıcı etkileri olan olaylardır. Afetler; insanlar ve çevre üzerindeki tesir durumu ile gerçekleştiği zaman dilimine göre sınıflandırıldığında kuraklık, sel ve kasırga olarak görülmektedir. Türkiye’de en fazla gerçekleşen doğal afet depremlerdir (Tezcan vd., 2023).

Afetler; gerçekleşme türüne göre iki sınıfta incelenir. Bu afet türleri doğal ve beşerî afetlerdir.



Şekil 2.1. Afet Genel Şeması

2.1. Doğal Afetler

Doğa olayları kaynaklı gerçekleşen afetlerdir. Bu afetler de jeolojik kökenli ve meteorolojik kökenli olmak üzere iki kısma ayrılır. Yer hareketlerinden kaynaklı olarak gerçekleşen doğal afetler jeolojik kökenli (Kuraklık, deprem, sel, heyelan, kaya düşmesi, volkan patlaması vb.) olarak adlandırılırken, doğa olaylarının atmosferden kaynaklı gerçekleşmesi meteorolojik kökenli (kasırga, sıcaklık, yağış, vb.) doğal afet olarak tanımlanır (Işık vd., 2013).

2.2. Beşerî Afetler

Teknolojik veya insan etkisi sonucu ortaya çıkan afetlerdir. Bu afetler arasında nükleer ve kimyasal kazalar, yangın, savaş ve terör olayları örnek olarak gösterilebilir.

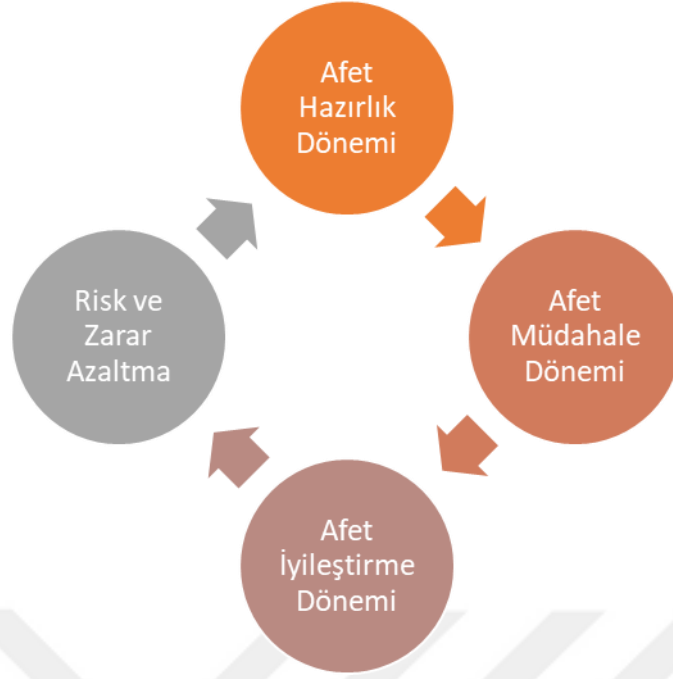
2.3. Afet Yönetimi

Afetlerin yıkıcı etkisini en aza indirmek, afete hazırlıklı olmak, afet esnasında uygulanması gereken davranışları sergilemek ve afet sonrası iyileştirme süreçlerinin planlamasının yapılması ile sağlanabilir. Bu sebepten ötürü afetler meydana gelmeden önce önlem almak gerekir. Bu önlemler afet hazırlık dönemi olarak geçmiş zamanlarda gerçekleşen afetlerde karşılaşılan olumsuz durumlar için çözüm yöntemlerinin oluşturulması ve bu yöntemlerin gerçekleştirilmesi olarak ifade edilebilmektedir. Afet esnasında uygulanması gereken davranışlar afetin olumsuz etkilerini azaltacak yönde olmalıdır. Söz konusu afet türü deprem olduğunda, çok kapan tutun hareketlerinin gerçekleştirilmesi münferit olarak yapılması gereken davranışlardan birisidir. Deprem başta olmak üzere afetler gerçekleştikten hemen sonra ivedilikle yardım ekiplerinin bölgeye intikal etmesi gerekmektedir. Afetler gerçekleştikten sonra iyileştirme dönemi olarak adlandırılan süreç başlamaktadır. İyileştirme döneminde afetzedelerin barınma ihtiyacı başta olmak üzere temel yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmeleri sağlanmalıdır. Afet yönetiminde yer alan aşamalar Şekil 2.2’de ifade edilmektedir. Afet yönetimi her aşamada temkinli olarak uygulanması ile oluşabilecek kayıpların en aza indirgenmesi sağlanabilir.

Etkin bir afet yönetiminin gerçekleştirilmesi insanların yaşamlarını sürdürebilmelerini desteklemek amacı taşımaktadır. Hazırlık, planlama, depolama gibi faaliyetler afet lojistiğinin önemini vurgulamaktadır.

Afet yönetimi temel olarak dört aşamadan meydana gelmektedir. Bu aşamalar;

- Risk ve zarar azaltma dönemi,
- Afet hazırlık dönemi,
- Afet müdahale dönemi,
- Afet iyileştirme dönemi olmak üzere dört aşamaya ayrılmaktadır (Tezcan vd., 2023).



Şekil 2.2. Afet Yönetimi Aşamaları (Tezcan vd., 2023)

2.3.1. Risk ve zarar azaltma

Afetler gerçekleşmeden önce önlem alınmalıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalar risk ve zarar azaltma faaliyetleri olarak adlandırılmaktadır. Bireylere eğitimlerin verilmesi toplumun afetlere karşı duyarlı ve bilinçli hale gelmesini sağlamaktadır. Gerçekleşebilecek afetlere yönelik ayrı ayrı risklerin ve zararları azaltacak faaliyetlerin planı etkin bir şekilde gerçekleştirilmelidir. (Örneğin deprem sonrasında yangın riski, atık su riski vb.)

Afet riskine karşı önleyici tedbirler alınmasını ve meydana gelebilecek bir afetin etkilerini en aza indirgeyecek hazırlık çalışmaları bu aşamada gerçekleştirilir (Altınsoy, 2018).

Afetlerin insanlar üzerindeki maddi ve manevi kayıpları azaltmaya yönelik gerçekleştirilebilecek önemli bir risk ve zarar azaltma unsuru ise sigortalardır. Özellikle zorunlu deprem sigortası ile deprem meydana geldikten sonra depremzedelerin zararlarını azaltacak bir imkân tanımaktadır. Doğal Afet Sigortaları Kurumu'nun (DASK) 2022 yılı faaliyet raporuna göre Marmara bölgesi %63 sigortalılık oranına sahip olurken, İstanbul şehrinin sigortalılık oranı %61 olarak gerçekleşmiştir.

2.3.2. Afet hazırlık dönemi

Olası bir afet durumunda yıkıcı etkileri en aza indirgeyecek planlama, dağıtım, lojistik gibi faaliyetlerin hazırlanması sürecidir. Afet meydana gelmeden önce hazırlık yapılması kayıp ve zararları azaltacaktır. Afetlere hazırlıklı olunması konusunda yapılabilecek birtakım faaliyetler bulunmaktadır. Bu faaliyetler;

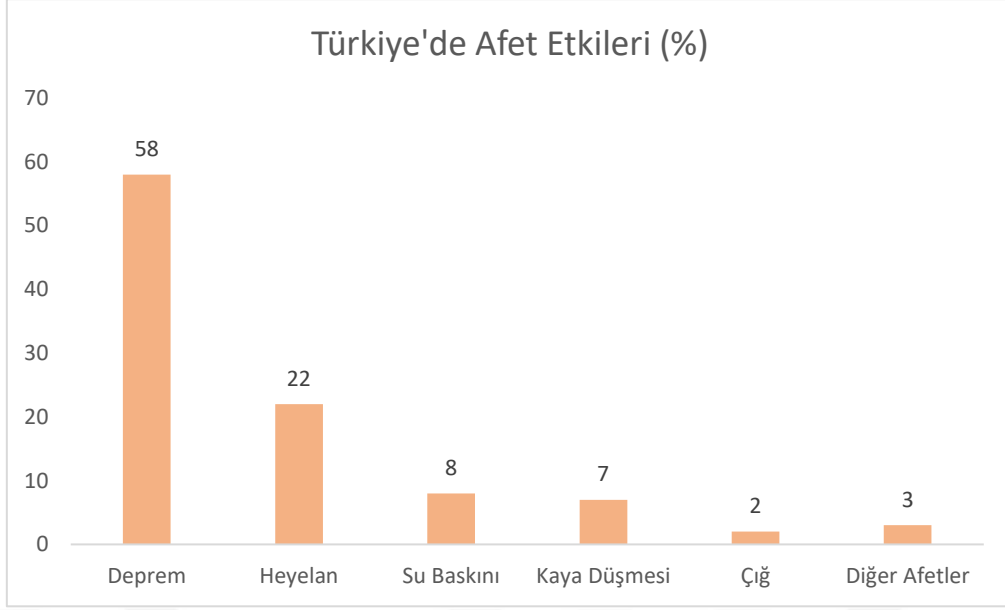
- Afetlere karşı duyarlılığı arttırmak amacıyla toplumu bilinçlendirecek eğitim faaliyetlerinin düzenlenmesi,
- Afet durumunda toplanma alanlarının belirlenmesi,
- Afet eylem planlarının oluşturulması,
- Afet sonrası ihtiyaçların (tıbbi malzemeler, gıda, su, çadır vb.) tedarik ve lojistik planlarının yapılması gibi faaliyetler afet hazırlık dönemi kapsamında değerlendirilmektedir (Tezcan vd., 2023).

2.3.3. Afet müdahale dönemi

Afet gerçekleştiği andan itibaren müdahale faaliyetlerinin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Afet türüne ve şiddetine bağlı olarak;

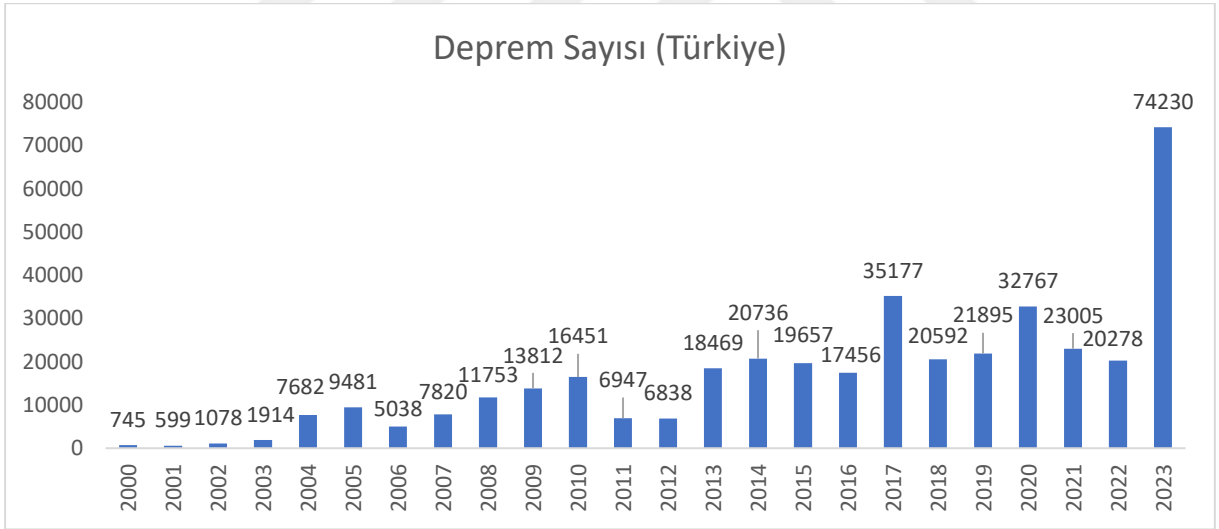
- Arama-kurtarma faaliyetlerine katılacak personellerin belirlenmesi ve gerekli durumlarda il dışında görev yapan personellerin plana dahil edilmesi-
- Yaralıların tahliyesi,
- Afetzedelerin sağlık durumu ile ilgili sağlık hizmetlerinin tahsis edilmesi,
- Afetzedeler için barınma alanlarının oluşturulması,
- Afet hasar durumunun tespit edilmesi,
- Afetzedelerin temel ihtiyaçlarını giderecek dağıtım kanallarının harekete geçirilmesi afet müdahale döneminde uygulanması gereken faaliyetler arasında yer almaktadır.

Türkiye açısından doğal afetlerin etkisi Şekil 2.3.'de gösterilmektedir.



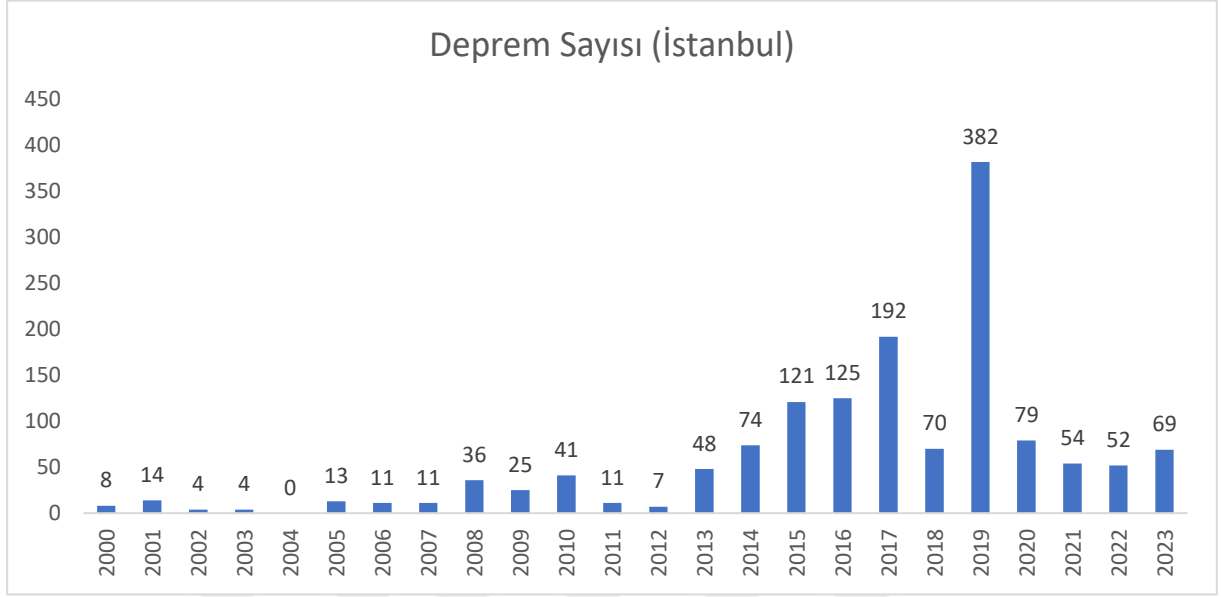
Şekil 2.3. Türkiye’de Afet Etkileri (Gökçe vd., 2008)

Geçmiş yıllarda olduğu gibi günümüzde de insan yaşamına negatif bağlamda yüksek etki oluşturan büyüklükte depremler gerçekleşmektedir. Şekil 2.4.’te Türkiye’de yıllara göre yaşanmış deprem sayıları yer almaktadır.



Şekil 2.4. Türkiye’de Gerçekleşen Deprem Sayıları 2000-2023 Yılları Arası (AFAD’ dan derlenmiştir.)

Çalışma kapsamında ele alınan İstanbul ilinde gerçekleşen deprem sayıları Şekil 2.5.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. İstanbul’da Gerçekleşen Deprem Sayıları 2000-2023 Yılları Arası (AFAD’ dan derlenmiştir.)

2.4. Deprem Türleri

Deprem, fay hatlarında yaşanan kırılmaların gerçekleşmesiyle yaşandığı bölge itibariyle yeryüzünü sarsan doğal afetlerden birisidir. Büyük bir deprem gerçekleşmeden önce oluşan yer sarsıntıları öncü deprem olarak tanımlanmaktadır. Büyük bir depremin ardından gerçekleşen ve zamanla azalan depremler ise Artçı deprem olarak tanımlanmaktadır. Depremler oluş nedenlerine göre farklı gruplarda nitelendirilebilir. Bu depremler Tektonik, Volkanik ve Çöküntü depremlerdir.

- Tektonik Depremler: Fay hatlarındaki hareketler sonucu levhaların sınırlarında oluşan depremlere “Tektonik Depremler” adı verilir.
- Volkanik Depremler: Isı etkisiyle sıvı durumuna geçmiş maddenin yeryüzüne çıkışı esnasında fiziksel ve kimyasal olaylar neticesinde volkanların püskürmesi ile gerçekleşen depremlerdir. Türkiye’de aktif yanardağ bulunmamasından ötürü bu türde bir deprem olmamaktadır.
- Çöküntü Depremler: Özellikle yer altındaki boşlukların tavan bloklarında gerçekleşen çöküntü sonucu oluşan depremlerdir. Enerjisi diğer deprem türlerine göre daha düşük seviyede gerçekleşir, etkisi yerel alanda hissedilir (AFAD, 2019).

2.5. Deprem Parametreleri

Odak Derinliği, depremin gerçekleştiği alan içerisinde açığa çıkan enerjinin yer kabuğuna en yakın mesafesidir. Tektonik depremler için odak derinliği depremin gerçekleştiği derinlik açısından sığ, orta ve derin deprem olmak üzere gruplandırılır.

Tablo 2.1. Odak Derinliği (AFAD, 2019)

Deprem Türü	Derinlik (km)
Sığ	0-60
Orta	70-300
Derin	+300

2.5.1. Deprem şiddeti

Deprem şiddeti; insanlar, hayvanlar, araziler ve yapılar gibi canlı veya cansız varlıkların depremden etkilenmesinin bir ölçüsüdür. Genel itibariyle depremin gerçekleştiği derinlik doğrultusunda hissedilen etkinin ölçüsü depremin şiddetini ifade etmektedir. Hissedilen etki depremin büyüklüğüne, yapıların durumuna ve odak derinliğine göre değişkenlik

göstermektedir. Depremi şiddetini ölçmek üzere şiddet cetvelleri oluşturulmuştur. Bu cetvel canlı ve cansız varlıkların depremden etkilenme durumlarını ifade etmektedir. Günümüzde kullanılan deprem cetvelleri romen rakamlarıyla tanımlanmaktadır. Depremi şiddeti, deprem oluşuktan sonra elde edilen bulguların şiddet cetvelindeki karşılığına göre değerlendirilmektedir (AFAD, 2019).

Tablo 2.2. Deprem Şiddet ve Richter Magnitüdü Değer Tablosu (AFAD, 2019)

Deprem Şiddet Değeri	Richter Magnitüdü
IV	4
V	4.5
VI	5.1
VII	5.6
VIII	6.2
IX	6.6
X	7.3
XI	7.8
XII	8.4

2.5.2. Deprem büyüklüğü

Deprem gerçekleşirken ortaya çıkardığı enerji düzeyinin ölçümü olarak ifade edilmektedir. Depremlerin büyüklük ölçüsü olarak magnitüd tanımı 1930’lu yıllarda Prof. C. Richter tarafından yapılmıştır. Deprem büyüklüğünü ölçmek için deprem esnasında ortaya çıkan enerjinin sebep olduğu kırıklar yüzeyin derinliklerinde veya yüzeye yakın olduğu durumlar söz konusu olması sebebiyle tahmin geliştirilmektedir (AFAD, 2019).

Deprem büyüklüğünü ölçen birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler; Süreye bağlı büyüklük (Md), Yerel (Lokal) büyüklük (MI), Yüzey dalgası büyüklüğü (Ms), Cisim dalgası büyüklüğü (Mb) ve Moment Büyüklüğü (Mw) olmak üzere sınıflandırılmaktadır. (KOERİ, 2024)

Tablo 2.3. Deprem Büyüklüğünü Ölçen Yöntemler (KOERİ, 2024)

Yöntem	Kullanım Durumu
Süreye Bağılı Büyüklük (Md)	Bu yöntem deprem büyüklüğü $M < 5,0$ ve 300 km’den daha yakın depremler için kullanılır.
Yerel (Lokal) Büyüklük (MI)	Bu yöntem deprem büyüklüğü $M < 6,0$ ve 700 km’den daha yakın depremler için kullanılır
Yüzey Dalgası Büyüklüğü (Ms)	Bu yöntem deprem büyüklüğü $M > 6,0$ ve yüzeyde yayılan dalgaların en yüksek genliğini ölçmek amacıyla kullanılır. Uzak mesafeden yapılan ölçümlerde daha etkili sonuç vermektedir.
Cisim Dalgası Büyüklüğü (Mb)	Bu yöntem Yüzey Dalgası Büyüklüğü yöntemine benzerdir, ancak yüzeyden yayılan dalgalar yerine derinde ilerleyen dalgaların genliğini ölçmek amacıyla kullanılır.
Moment Büyüklüğü (Mw)	Matematiksel modellemeye dayanan temeli ile diğer yöntemlere kıyasla en güvenilir yöntemdir. $M > 4,0$ büyüklüğündeki depremler için moment büyüklüğü ölçülebilir.

Doğal afetler içerisinde deprem %58 oranında etkili olmuştur (Gökçe vd., 2008). Yıllar içerisinde Türkiye’de tarihinde 6,5 ve üzeri büyüklükteki depremlere ait bilgiler Tablo 2.4.’te yer almaktadır.

Tablo 2.4. Türkiye Tarihindeki 6,5 ve Üzeri Büyüklükte Gerçekleşen Depremler ve Etkileri
(KOERİ’den düzenlenmiştir.)

Tarih	Saat	Lokasyon	Büyüklük	Can Kaybı
29.04.1903	01:46	Malazgirt (MUŞ)	6,7	600
9.08.1912	03:29	Mürefte (TEKİRDAĞ)	7,3	216
4.10.1914	00:07	BURDUR	6,9	300
13.09.1924	16:34	Horasan (ERZURUM)	6,8	60
7.05.1930	00:34	Hakkari - Türk -İran Sınırı	7,1	2514
19.04.1938	12:59	KIRŞEHİR	6,6	160
22.09.1939	02:36	Dikili (İZMİR)	6,6	60
27.12.1939	01:57	Erzincan	7,9	32968
20.12.1942	16:03	Erbaa (TOKAT)	7	3000
20.06.1943	17:32	Hendek (ADAPAZARI)	6,6	336
27.11.1943	00:20	Ladik (SAMSUN)	7,2	4000
1.02.1944	05:22	Gerede - Çerkeş (BOLU)	7,2	3959
6.10.1944	04:34	Ayvalık (BALIKESİR)	6,8	30
23.07.1949	17:03	Karaburun (İZMİR)	6,6	7
17.08.1949	20:44	Karlıova (BİNGÖL)	6,7	450
13.08.1951	20:33	Kurşunlu (ÇANKIRI)	6,9	50
18.03.1953	21:06	Yenice (ÇANAKKALE)	7,2	265
16.07.1955	09:07	Söke - Balat (AYDIN)	6,8	23
25.04.1957	04:25	Fethiye (MUĞLA) - RODOS	7,1	67
26.05.1957	08:33	Abant (BOLU)	7,1	52
6.10.1964	16:31	Manyas (BALIKESİR)	7	23
19.08.1966	14:22	Varto (MUŞ)	6,9	2396
22.07.1967	18:56	Mudurnu (ADAPAZARI)	6,8	89
28.03.1970	23:02	Gediz (KÜTAHYA)	7,2	1086
22.05.1971	18:43	BİNGÖL	6,8	878
6.09.1975	12:20	Lice (DİYARBAKIR)	6,6	2385
24.11.1976	14:22	Muradiye (VAN)	7,5	3840
30.10.1983	07:12	ERZURUM - KARS	6,9	1155
7.12.1988	09:41	KARS - ERMENİSTAN	6,9	4
13.03.1992	19:08	ERZİNCAN	6,8	653
17.08.1999	03:01	Gölcük (KOCAELİ)	7,8	17480
12.11.1999	18:57	DÜZCE	7,5	763
24.01.2020	17:55	Sivrice (ELAZIĞ)	6,8	41
30.10.2020	11:51	EGE DENİZİ	6,9	50096
6.02.2023	04:17	Pazarcık (KAHRAMANMARAŞ)	7,7	
6.02.2023	13:24	Elbistan (KAHRAMANMARAŞ)	7,6	

3. LİTERATÜR TARAMASI

Özmen (2002), çalışmasında İstanbul ili için deterministik metot kullanarak deprem senaryosu oluşturmuştur. İstanbul ve çevre illerde oluşabilecek maksimum şiddet değerlerini; azalım ilişkisi kullanarak hesaplamış, elde ettiği değerler birleştirilerek sert zemin koşullarında oluşabilecek şiddet değerlerini belirlemiştir. Deprem senaryosunun girdileri olarak 17 Ağustos 1999 yılında İzmit'te gerçekleşen depremde ölen vatandaşlar ile ağır hasarlı bina sayılarına bölünmesi ile elde edilen 2.51 rakamı kullanarak, dışarıda kalan insan sayısını ise hasarlı konut sayılarının (orta ve ağır hasar) toplanıp hane halkı sayısı ile çarpımı sonucu hesaplamıştır. Senaryo sonucu elde ettiği bulgular neticesinde 32.536 vatandaşın hayatını kaybedeceğini, 81.828 vatandaşın ise yaralı olacağını tespit etmiştir. Dışarıda kalan vatandaşlar için 294.610 adet aile çadırına ihtiyaç olacağını belirtmiştir.

Gülüm (2021), İstanbul ili için gerçekleştirdiği çalışmada Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi kullanarak deprem sonrası yangın risklerine yönelik İnsansız Hava Araçlarını (İHA) organize eden haritalar oluşturmuştur. Deprem sonrası yangın risklerini değerlendirmek amacıyla Pisagor Bulanık AHP-TOPSIS ve Aralık değerli Nötrosofik AHP-TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır. Buna ek olarak insansız hava araçları için yapay sinir ağlarına dayalı bir kümeleme yaklaşımında bulunmuştur.

Çakırer (2021), çalışmasında Kırıkkale ili için $M_w=6,5$ büyüklüğünde deprem senaryosunun modelini oluşturarak kayıp tahmin analizi yapmıştır. Simülasyon modelinin girdileri olarak zemin profil yapısı, nüfus bilgisi ve bina kat girdilerini ele almıştır. Elde ettiği bulguları triyaj işleminin sınıflandırma gruplarını dört ana grupta (ağır yaralı, geciktirilebilir yaralı, hafif yaralı ve ölü) referans alarak gerçekleştirmiştir.

Çiftçi (2021), çalışmasında deprem sonrası sağlık hizmetlerini optimizasyonunun sağlanması amacıyla tam sayılı matematiksel bir model geliştirmiştir. Bu modelde deprem sonrası sağlık birimlerinin tahsis edilmesi, yaralıların hastaneye sevk edilmesi için ambulansların tahsis edilmesi ve ambulansların kullanacağı güzergahın optimize edilmesi amaçlanmıştır. GAMS CPLEX çözücüsü kullanarak elde ettiği bulgular neticesinde geliştirilen modelin sağlık birimlerinin tahsisi açısından etkin bir planlama aracı olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Göktaş ve diğ. (2017), çalışmalarında deprem yaşamış insanların depreme hazırlık algılarını araştırmıştır. Çalışmanın temel amacı deprem deneyimini yaşamış insanların deprem için gerekli önlemlerin tespitini sağlamaktır. Depremzedelerin depremlere hazırlık aşamasında

herhangi bir önlem almadıkları, eğitim bilgilerinin yetersiz olduğu ve deprem sonrasında depreme dair yaşadıkları zorlukların zamanla kaybolduğunu belirtmişlerdir.

Abbasoğlu (2019), Bursa ili için gerçekleştirdiği çalışmasında doğal afetlerden biri olan depremin, lojistik faaliyetlerde depo yerleşimine etkisini araştırmıştır. Üç aşamadan oluşan çalışmada geçmiş deprem verilerini dikkate alarak Gutenberg – Richter deprem modeline göre gelecekteki depremlerin riskini, yerleşim bölgelerinde olumsuz etkilenecek nüfus sayısını ve afet tedarik lojistiğinin oluşturulması gerekliliğini belirtmiştir. Geliştirilen model, Bursa’da afet yönetim hazırlık aşamasında lojistik depoların konumlandırılması için kullanılmıştır.

Şen (2021), çalışmasında Sakarya ilinde aralık ayının öğlen saatlerinde meydana gelebilecek deprem senaryosunu ele almıştır. Kış şartlarında depremzedelerin ihtiyaçlarını en kısa sürede giderebilecek materyalleri ulaştırmak çalışmasının amacını oluşturmaktadır. Sakarya ili içerisinde iki farklı dağıtım merkezi için denemeler yapmıştır.

Altınsoy (2018), yapmış olduğu çalışmada Türkiye’de meydana gelebilecek depremlere karşı afet yönetim sistemi ve acil durum yönetimi performansını ÇKKV tekniklerinden Veri Zarflama analizi ile değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda Türkiye’de meydana gelebilecek depremler için afet yönetim sisteminin yetersiz olduğunu, sistemde yer alan eksikliklerin tespit edilerek eksikler için geliştirilmesi gereken tedbirleri vurgulamıştır.

Fahjan ve diğ. (2015), çalışmalarında afet planlamasında deprem risk belirsizliklerini araştırmıştır. Deprem risk değerlendirmesi, yer hareketi, yapı envanteri ve yöntem bileşenlerindeki belirsizlikler incelenmiştir. Çalışma Kocaeli ilinin Gebze ilçesi seçilmiş ve deprem senaryolarıyla risk yapısı değerlendirilmiştir. Risk değerlendirme sonuçlarına göre bina hasarı, can kaybı ve barınak ihtiyacı ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çiçekdağı (2013), çalışmasında deprem verilerinin analizini veri madenciliği kullanarak değerlendirmiştir. Kütahya ili ve çevresindeki 250 km yarıçaplı çemberi kapsayan alan için 1900’lü yıllardan günümüze kadar gerçekleşen depremlerin büyüklüğü, derinliği, zamanı, toprak çeşidi ve Kütahya merkezine uzaklık verilerini kullanarak analizi gerçekleştirmiştir. Çalışmada deprem verilerini sınıflandırmak için farklı yöntemler denenmiş ve çok katmanlı algılayıcı YSA modeli %87 doğruluk sağlamıştır.

Küçük (2016), çalışmasında Geçici afet müdahale tesislerinin yerleşimi için stokastik optimizasyon modeli geliştirmiştir. Çalışma Bursa ilinin Yıldırım ilçesindeki 64 mahalleden oluşan bir bölgeyi kapsamaktadır. Geçici afet müdahale tesisleri için yerleşim modeli,

ilkyardımcı ekiplerinin afetzedelerin ihtiyaçlarını mümkün olan en kısa sürede karşılayacak tesis yerleşimini temel almaktadır.

Tınal, (2017), alışmasında İzmir ilinde gerçekleşen depremlerin tarihçesini incelemiştir. alışmasında geçmişte yaşanan depremleri göz önünde bulundurarak fay hatlarının etkili olduğu bölgelerde zemin özelliklerinin dikkate alınmaması sonucu yapılaşma riskinin arttığını belirtmiştir.

Aghamohammadi ve diğ. (2013), çalışmalarında geri yayılımlı bir yapay sinir ağı modeli oluşturarak deprem kayıp tahmin analizi gerçekleştirmiştir. Triyaj durumunu sağ, l ve yaralı olarak sınıflandırmışlardır. Bu modeli eğitmek için 2003 yılında Bam (İran) depremin verilerini kullanmışlardır. Model diğer depremler için triyaj tespitinde iyi sonuçlar elde etmiştir.

Samardjieva ve Badal (2002), alışmalarında İspanya’da gerçekleşebilecek büyük bir deprem öncesinde triyaj durum tespiti yapabilmek amacıyla dünyada gerçekleşen depremlere ait verileri kullanarak bir model geliştirmişlerdir. Model kapsamında 60 km derinliğe sahip depremler için insan kayıplarının sayısı (N_k); nüfus yoğunluğu (D) ve deprem büyüklüğü (M , Magnitde değeri) parametrelerine bağlı olarak Denklem 3.1’de yer alan eşitlik önerilmiştir;

$$\log N_k(D) = a(D) + b(D)M \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de yer alan a ve b katsayıları Nüfus yoğunluğuna bağlı regresyon katsayılarını ifade etmektedir. Çalışmanın devamında 0.70 korelasyon katsayı değerine sahip yaralı sayısını (N_{inj}) tahmin eden Denklem 3.2’de yer almaktadır.

$$\log N_k/N_{inj} = -0,99 + 0,21M \quad (3.2)$$

l sayısının tahmininde yer alan a ve b regresyon katsayıları nüfus yoğunluğuna göre değişkenlik göstermektedir. Regresyon katsayıların hesaplanmasında geçmiş yıllarda meydana gelen deprem verileri kullanılmıştır. Çalışma içeriğinde nüfus yoğunluğu ve deprem büyüklüğüne bağlı olarak l sayısı ve yaralı sayısı hesaplanmıştır. Denklem 3.1 ve Denklem 3.2’nin nüfus yoğunluğu 300 ve üzeri olan bölgeler için aynı regresyon katsayılarını kullanması sonucunda l ve yaralı sayılarının tahmini değişmediği tespit edilmiştir.

Badal ve diğ. (2005) alışmalarında nüfus yoğunluğunun bir parametresi olarak triyaj tespiti ile deprem büyüklüğü arasında korelasyon barındıran kantitatif bir model ile deprem kayıp tahmini gerçekleştirmişlerdir.

Wen-bin ve Jiang (2013), çalışmalarında deprem sonrası yaralı tahmini modelini Temel Bileşenler Analizi ve Geri Yayılımlı bir Yapay Sinir Ağı (YSA) ile geliştirmişlerdir. Deprem oluş zamanı, büyüklüğü, nüfus yoğunluğu, dış merkez yoğunluğu, direnç seviyesi ve tahmin seviyesi temel değişkenler olarak belirlenmiştir. Model 2012 yılında Çin’de oluşan bir deprem için denenmiş ve Gauss uygunluk fonksiyonu ile tahmin modeline göre daha doğru bir sonuç vermiştir.

xia Wang ve diğ. (2011), çalışmalarında geri yayılımlı bir YSA modeli oluşturarak deprem kayıp tahmini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında 37 ciddi deprem verisini ağ eğitimi için kullanmışlardır. Modelde yer alan temel değişkenler; deprem büyüklüğü, ivmesi, nüfus yoğunluğu, iç merkez derinliği, dış merkez yoğunluğu, hazırlık seviyesi yer almaktadır.

Zhao ve diğ. (2021), çalışmalarında Çin’in Yunnan bölgesinde 4.7 büyüklüğünden daha yüksek büyüklüklerde meydana gelmiş depremlerin verilerini kullanarak kayıp tahmin analizi için bir model -Joint Poisson Mixed Model (JPPM)- geliştirmişlerdir. Erken kurtarma planları için zamanında kayıp tahmin analizi gerçekleştirmek üzere deprem büyüklüğü, nüfus yoğunluğu, deprem merkez üssü derinliği, depremin meydana geldiği zaman ve lokasyon faktörlerini kullanmışlardır.

Karaman ve Şahin (2009), çalışmalarında İstanbul ilinde gerçekleşebilecek bir depremin fiziki, sosyal ve ekonomik etkilerini analiz ve tahmin etmeye yönelik kendini yenileyebilen bir yazılım -HAZTURK- geliştirmişlerdir. Parametrik kırılabilirlik metodunu, Zeytinburnu ilçesinde yer alan bina envanter verilerini kullanarak yazılım üzerinde hasar tahmini yapmışlardır. Binaların yapı türlerine ve inşa yıllarına göre hasar düzeylerini tahmin etmişlerdir.

Gül (2016), doktora tez çalışmasında İstanbul’da gerçekleşebilecek bir deprem için beş kamu hastanesinin Acil Servis’lerini (AS) farklı senaryolarla simülasyon tabanlı olarak modelleyerek AS yönetimi açısından alınması gereken tedbirler için tavsiyelerde bulunmuştur.

Ren ve diğ. (2024), çalışmalarında deprem kayıp tahmin analizini, depremin gerçekleşme zamanı, bina hasar durumu ve bina sakinlerinin sayısı faktörlerini kullanarak olasılıksal analiz yöntemi modeli geliştirmişlerdir. Bir yerleşim alanında bu modeli kullanarak bina katlarının yerleşimleri ve bina sakinlerinin yaş dağılımlarının dikkate alınmadığı çalışmalar ile model arasında karşılaştırma yapmışlardır. Elde ettikleri bulgular neticesinde bina katlarının yerleşim düzeninin can kayıpları üzerinde düşük bir etkiye sahip olduğunu, bina sakinlerinin yaş dağılımlarının ise can kayıpları için önemli bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

4. METODOLOJİ

4.1. Benzetim

Yeni bir sistemin veya sürecin oluşturulması ve analiz edilmesi amacıyla gerçek dünyadaki verilerin sanal ortamda taklit edilmesine imkân tanıyan sistemler simülasyon olarak adlandırılır. Mühendislik, tasarım, sağlık ve sosyal bilimler gibi çeşitli alanlarda benzetim teknikleri uygulanabilmektedir. Simülasyon, gerçek sistemin yapısını ve işleyişini, mantıksal ilişkiler içeren modeller kullanarak daha iyi anlamaya yardımcı olur (Ersöz, 2021).

4.2. Simülasyon Modellerindeki Bileşenler

- Varsayımlar: Simülasyon modeli her ne kadar sistemlerin sanal ortamdaki taklit yeteneği olarak adlandırılrsa da hiçbir benzetim tekniği bire bir gerçek dünyayı yansıtmaz. Amaç veya ele alınacak problemde birtakım kabullenmeler söz konusudur. Varsayımlar simülasyon modelinde kabul edilen durumların genel tabiridir.
- Kısıtlar: Simülasyon modellerinde yer alan durum veya kaynak sınırlamalarıdır. Bir işletmenin üretim süreçlerinin simülasyonu yapıldığında ilgili süreçler için kullanılacak iş gücü kısıtı veya zaman kısıtı örnek olarak verilebilir.
- Değişkenler: Modelin girdilerini oluşturan, değer atadığımız unsurlardır.
- İlişkiler: Simülasyon modelindeki akışın ifade edilmesidir.
- Parametreler: Model oluşturulmadan önce belirlenen ve simülasyon süresi boyunca sabit kalan değerlerdir.

4.3. Simülasyon Modelleri

4.3.1. Statik simülasyon modeli

Zamanın dikkate alınmadığı, sistemin belirli bir anının ifade edildiği modeldir. Optimizasyon ve Monte-Carlo modelleri gibi zamanın dikkate alınmadığı modeller örnek olarak gösterilebilir.

4.3.2 Dinamik simülasyon modeli

Zamana bağlı olarak değişiklik gösteren sistemin ifade edildiği modeldir. Örnek olarak bir günde yakıt almak amacıyla benzin istasyonuna gelen araçların sayısı veya hastanedeki bir polikliniğe belirli saatler içerisinde gelen hasta sayısının modellenmesi gösterilebilir.

4.3.3. Deterministik simülasyon modeli

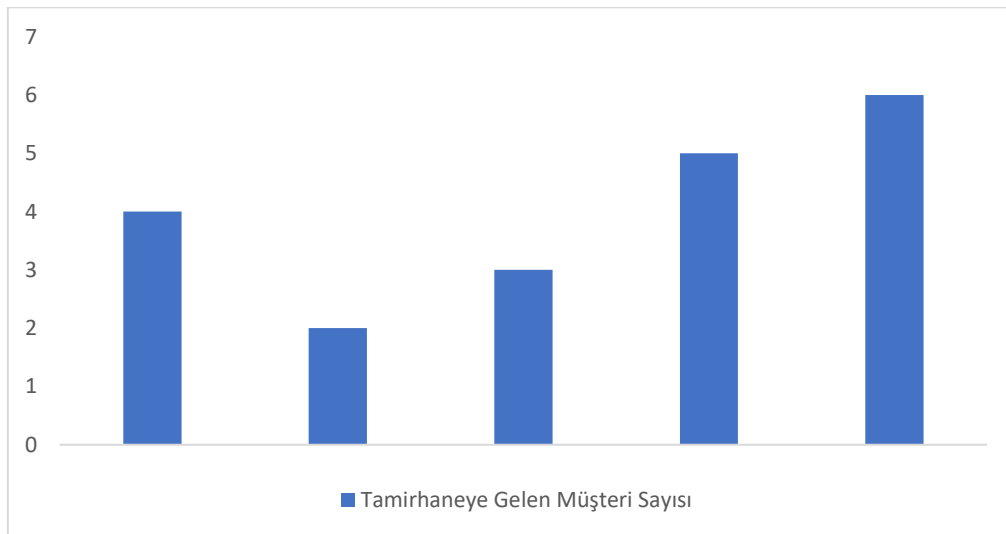
Modelde kullanılacak bütün bilgilerin bilinen ve sabit bir değer aldığı modellerdir. Dolayısıyla deterministik modeller öngörülebilir. Stokastik değişkenler içermeyen bir model olarak; birden fazla girdinin tek bir çıktı halinde sonuçlanmasını mümkün kılmaktadır.

4.3.4. Stokastik simülasyon modeli

Bir veya daha fazla sayıda rassal değişken içeren, bütünüyle tahmin edilemeyen modellerdir. Örneğin; bir restoranta müşterilerin geliş süreleri tam anlamıyla öngörülemeyen bir durumdur. Müşterilere hizmet süresi rassal olduğu gibi müşterilerin gelişler arası süresi de rassal değişkenleri ifade eder. Bu örneğin yanı sıra; bir bankamatikte işlem yapmak üzere sıra bekleyen banka müşterileri de stokastik model örneği oluşturmaktadır.

4.3.5. Kesikli simülasyon modeli

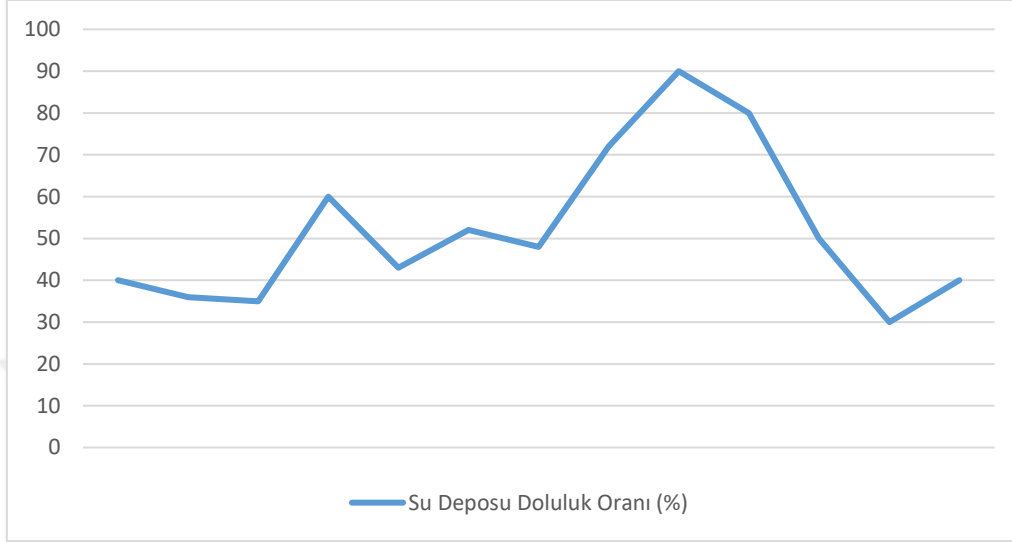
Kesikli Simülasyon modellerinde sistem değerleri belirli noktalarda değişiklik gösterir. Örnek olarak bir otomobil tamirhanesindeki araç sayısı gösterilebilir. Tamir işlemi biten araçların tamirhaneden ayrılması ve arıza, bakım vb. durumlar için tamirhaneye gelen araçlar kesikli sistem örneğini oluşturur.



Şekil 4.1. Kesikli Simülasyon Modeli Örneği

4.3.6. Sürekli simülasyon modeli

Sürekli Simülasyon modellerinde sistem değerleri sürekli olarak değişkenlik gösterir. Örnek olarak; bir barajın doluluk oranı veya bir akaryakıt istasyonundaki yakıt miktarı seviyesinin zamana göre gösterdiği değişim gösterilebilir.



Şekil 4.2. Sürekli Simülasyon Modeli Örneği

4.4. Simülasyon Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları

Sistem simülasyonu kullanımının avantajları;

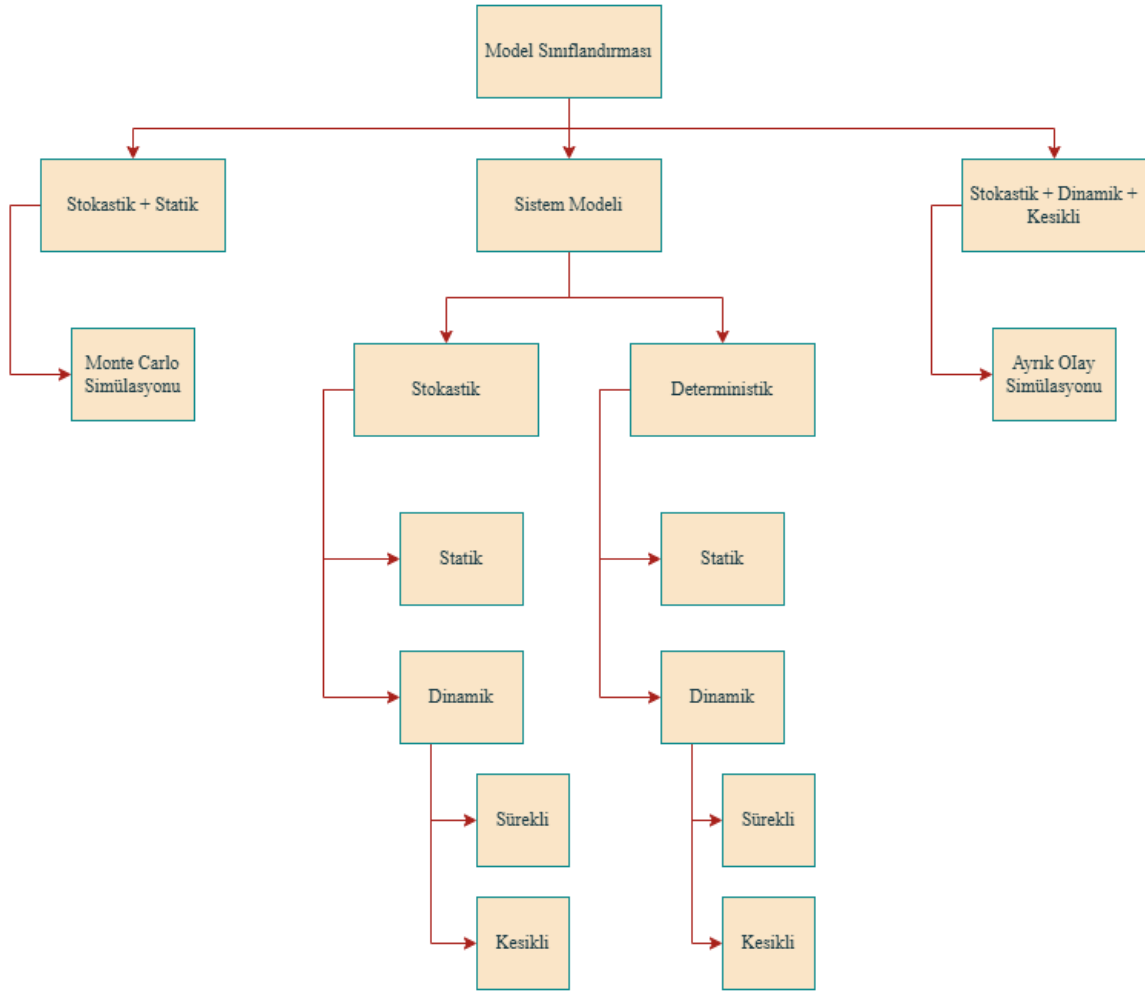
- Simülasyon modelleri esnek bir yöntemdir. İstenildiği zaman veri değişikliği veya sistemde değişiklik gerçekleştirilebilir.
- Tekrarlanabilen bir simülasyon süreci sistem üzerinde yeni bakış açıları kazandırabilir.
- Farklı senaryolarla çalışma imkânı tanır.
- Gerçek hayatta zaman ve maliyet faktörleri göz önünde bulundurulduğunda; sistem üzerinde yapılacak değişikliklerin etkisini, simülasyon yöntemi kullanılması ile daha az zaman içerisinde uygulama, kontrol edebilme ve ölçme kolaylığı sağlar.
- Yeni sistemlerin tasarlanması ve analizine imkân tanır.
- Sistem simülasyonunda girdilerin değiştirilebilmesi nedeniyle duyarlılık analizi yapılabilir.

Sistem simülasyonu kullanımının dezavantajları;

- Kapsamlı ve karmaşık bir simülasyon modelini oluşturmak zaman alabilir.
- Simülasyon farklı senaryoların karşılaştırılmasında etkili olduğu kadar optimizasyon konusunda etkili değildir.
- Simülasyonlar spesifik kullanım özelliğine sahiptir. Bir sistem özelinde oluşturulan simülasyonun çıktıları farklı sistemler için geçerli olmayabilir.
- Simülasyon modelleri stokastik bir yapı içerdiği için istatistik ve olasılık bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır.

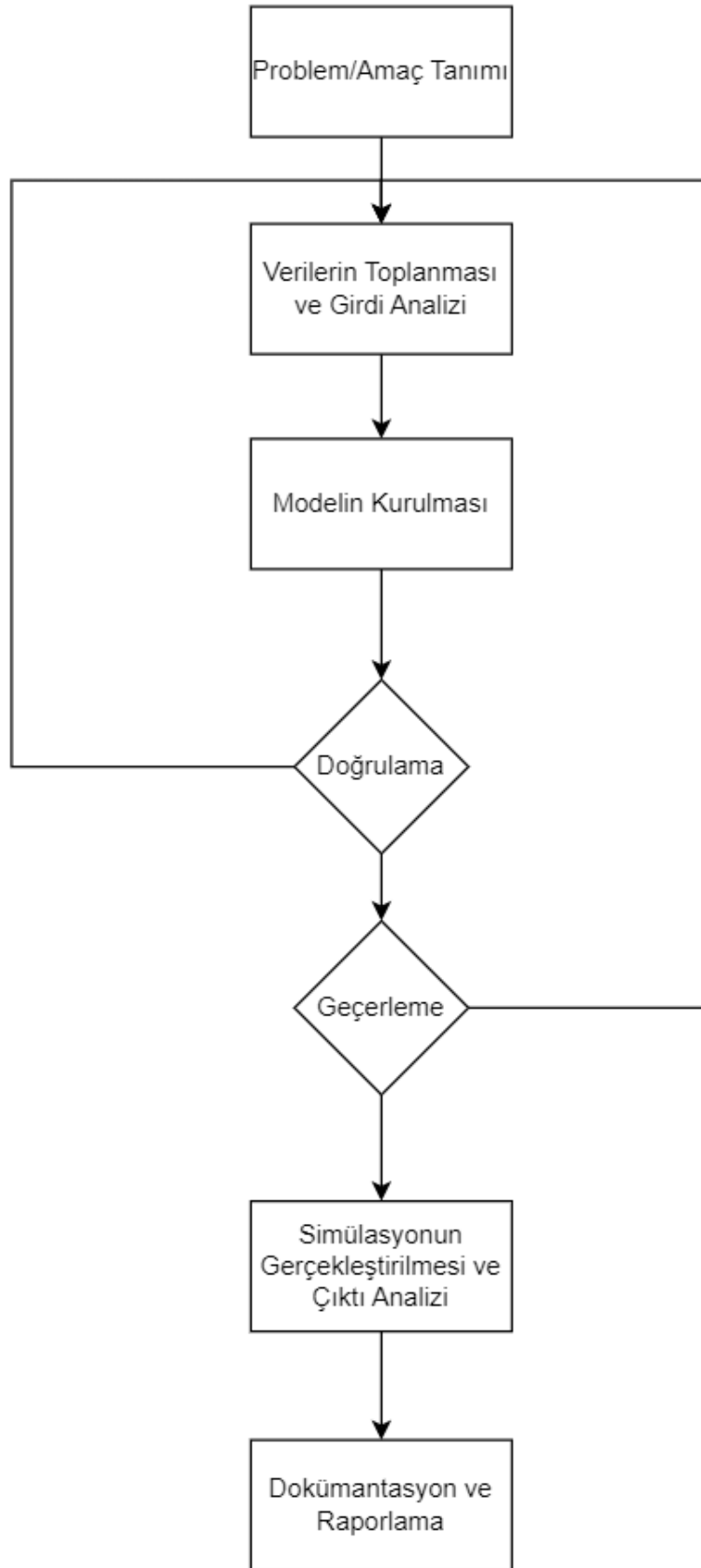
Benzetim, gerçekte var olan veya yeni oluşturulacak bir sistemde model oluşturularak simülasyon yazılımları aracılığıyla gerçekleştirilir. Model, gerçekte olan sistemin veya ele alınacak konunun tüm detaylarını ifade edecek şekilde tasarlanmalıdır. Simülasyon çalışması öncelikle amacın veya problemin net olarak tanımlanması ile başlamalıdır. Modelde kullanılacak veriler doğru ve geçerli olacak şekilde sisteme dahil edilmelidir. Belirlenmiş kriterler ile farklı sistemlerin etkinliği değerlendirilmelidir. Modelde kullanılabilecek diğer parametreler olan zaman, insan kaynağı ve maliyet gibi unsurlar modele dahil edilerek model oluşturulur (Ersöz, 2021).

Genel çerçevede model sınıflandırmaları Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Modelleme Sınıflandırmaları (Söyler ve Koç, 2014)

Genel çerçevede benzetim adımları Şekil 4.4.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Benzetim Adımları (Melamed ve Altıok, 2007)

- Problem/Amaç Tanımı: Ele alınacak problemin net ve anlaşılır ifadesidir.
- Verilerin Toplanması ve Girdi Analizi: Model verilerine ait tanımlayıcı bilgilerinin ve süreçlerin olasılıksal dağılımı belirlenir.
- Modelin Kurulması: İşlemlerin akışı veya parçaların etkileşimi ifade eden matematiksel model tanımlanır.
- Doğrulama: Simülasyon programının kavramsal modeli temsil düzeyinin kontrol edilmesidir.
- Geçerleme: Girdi analizinde teori ile gerçek hayat verilerinin dağılımı konusunda farklılıklar tespit edilebilmektedir. Geçerleme, oluşturulan simülasyon modelinde yer alan istatistiksel bilgiler ile gerçek sistem arasındaki farkların tespit edilmesini ifade eder.
- Simülasyonun Gerçekleştirilmesi ve Çıktı Analizi: Problem veya durumun farklı senaryolar için tekrar sayıları ve gerçekleşme zamanı bilgileri ile model oluşturulduktan sonra deneylerden elde edilen sonucun istatistiksel analizi gerçekleştirilir.
- Belgelendirme ve Raporlama: Simülasyon modeli sonuçlarının yazılı hale getirilmesini ifade eder (Melamed ve Altıok, 2007).

4.5. Arena Simülasyon Programı

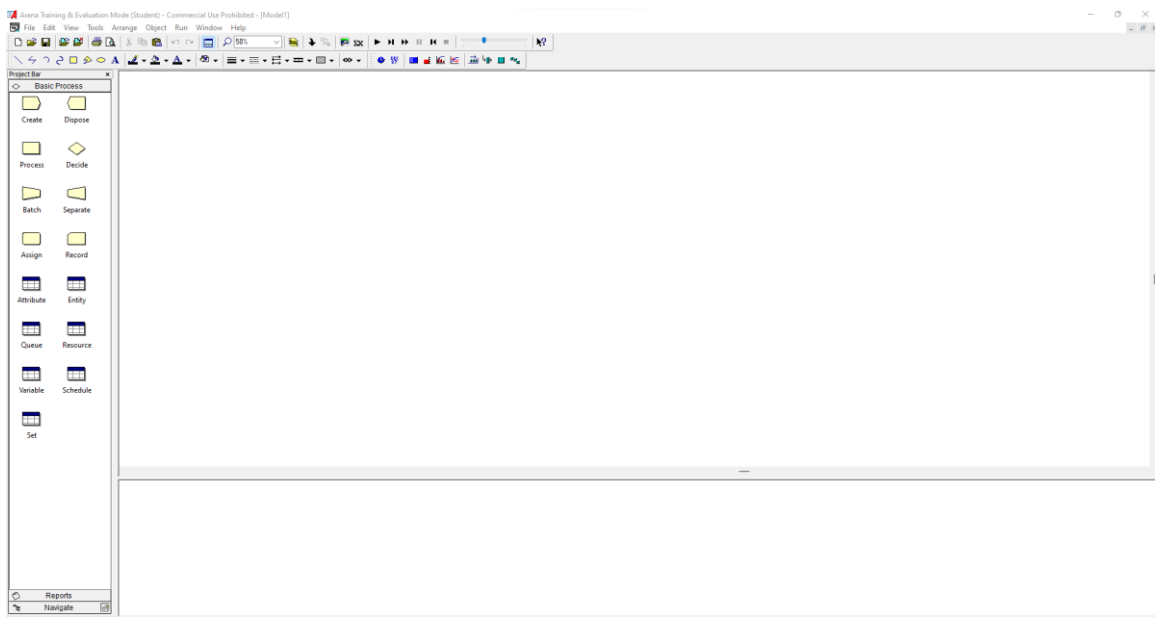
Simülasyon programları gerçek dünyada yer alan süreçlerin veya sistemlerin sanal dünyada incelenmesine imkân tanır. Gerçek dünyada özellikle endüstriyel süreçlerde iyileştirme yapmak zaman ve maliyet açısından güç olabilmektedir. Simülasyon programları gerçek dünyadaki senaryoları sanal ortama taşıyarak süreçler arasında gözlem yapabilmeyi, elde edilmesi istenilen sonuca göre değişiklik yapabilme fırsatı sağlar. Kullanıcılar, simülasyon yazılımları aracılığıyla karmaşık modelleri oluşturabilir, kaynakları optimize edebilir, verimliliği arttıracak fikirler edinebilir ve karar verme süreçlerini kolaylaştırabilirler (Melamed ve Altıok, 2007).

Arena simülasyon programı yeni bir sürecin modellemek, mevcut sistemde iyileştirme ve geliştirme yapmak, sonuçları analiz etmek ve sistemde kullanılan kaynakları optimize etmek amacıyla kullanılan popüler bir simülasyon programıdır. Arena; veri odaklı, farklı senaryoların analiz edilebildiği ve karar verme süreçlerini kolaylaştıran bir simülasyon programıdır. Bu özelliklerinden ötürü işletmelere, süreç fonksiyonlarını iyileştirmeye birlikte operasyonel mükemmellik ve rekabet avantajı sağlar (Ersöz, 2021).

Arena Simülasyon Programının başlıca özellikleri aşağıda verilmiştir:

- 1) Modelleme ve Simülasyon: Kullanıcılar gerçek dünyada yer alan kompleks süreçleri simüle ederek sisteme girdi olarak kullandıkları değişkenleri inceleyebilirler.
- 2) Optimizasyon: Kullanıcılara süreçleri farklı senaryolarda inceleyebilir, karşılaştırma yapabilir ve sonuçlarını yorumlayabilirler.
- 3) Esneklik: Kullanıcılar oluşturdukları sistemi kendi istekleri doğrultusunda kolaylıkla değiştirebilirler.

Arena programı çalıştırıldığında karşılaşılan başlangıç ekranı Şekil 4.5.'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Arena Simülasyon Programı Başlangıç Ekranı

Şekil 4.5. İncelendiğinde birçok komuttan oluşan araç çubukları bölümü, gerçekleştirilecek işlemlere ait modüllerin yer aldığı proje barı, modelin oluşturulduğu model penceresi ve modelle ilgili bilgilerin bulunduğu veri paneli yer almaktadır (Melamed ve Altıok, 2007).



Şekil 4.6. Arena Simülasyon Programı Üst Menü

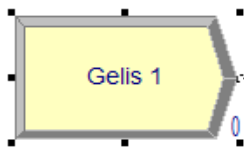
Şekil 4.6.'da yer alan üst menüde en soldan sağa doğru gidildikçe;

- New: Yeni bir model penceresi oluşturma işlemini gerçekleştirir.
- Open: Önceden hazırlanmış modeli açan komuttur.
- Save: Modeli kaydetme işlevini gerçekleştirir.

- Template Attach: Proje barına modül eklemek işlevini gerçekleştirir.
- Template Detach: Proje barından modül kaldırma işlevini gerçekleştirir.
- Print: Oluşturulan modelin yazdırma işlevini gerçekleştirir.
- Print Preview: Oluşturulan modeli yazdırmadan önceki görüntüsünü gösterir.
- Cut: Modelde yer alan modülü kesmek amacıyla kullanılır.
- Copy: Modelde yer alan modülü kopyalamak amacıyla kullanılır.
- Paste: Modelde yer alan modülü yapıştırmak amacıyla kullanılır.
- Undo: Bir önceki adıma gitme işlevini gerçekleştirir.
- Redo: Bir sonraki adıma gitme işlevini gerçekleştirir.
- Toggle Split Screen: Model penceresinin altında yer alan, kaynak değişkenlerin veri girişini sağlayan bölümü aktif eder.
- View Region/Zoom: Modeli yüzdesel ölçekle yakınlaştırma veya uzaklaştırma işlevini yerine getirir.

4.5.1. Proje barında yer alan modüller

- CREATE Modülü: Simülasyonun başlaması için gerekli olan ve sistemdeki varlıkların(entity) gelişler arası zamanını belirten modüldür.



Şekil 4.7. Create Modülü

Name: Varlık/Varlıklara isim atamasının yapıldığı kısımdır. İsim ataması yapılırken Türkçe karakter ve boşluk kullanılmaması sistemin düzgün çalışması için gereklidir.

Entity Type: Varlığın sistemde türünün belirlendiği kısımdır. Varlık tipi tanımlandıktan sonra diğer modüllerde yer alan entity type kısmında da kullanılabilir.

Type: Varlıkların sisteme hangi zaman dağılımı ile dahil olduğunu belirten kısımdır.

Value: Varlıkların sisteme hangi zaman değerinde dahil olduğunu belirten kısımdır.

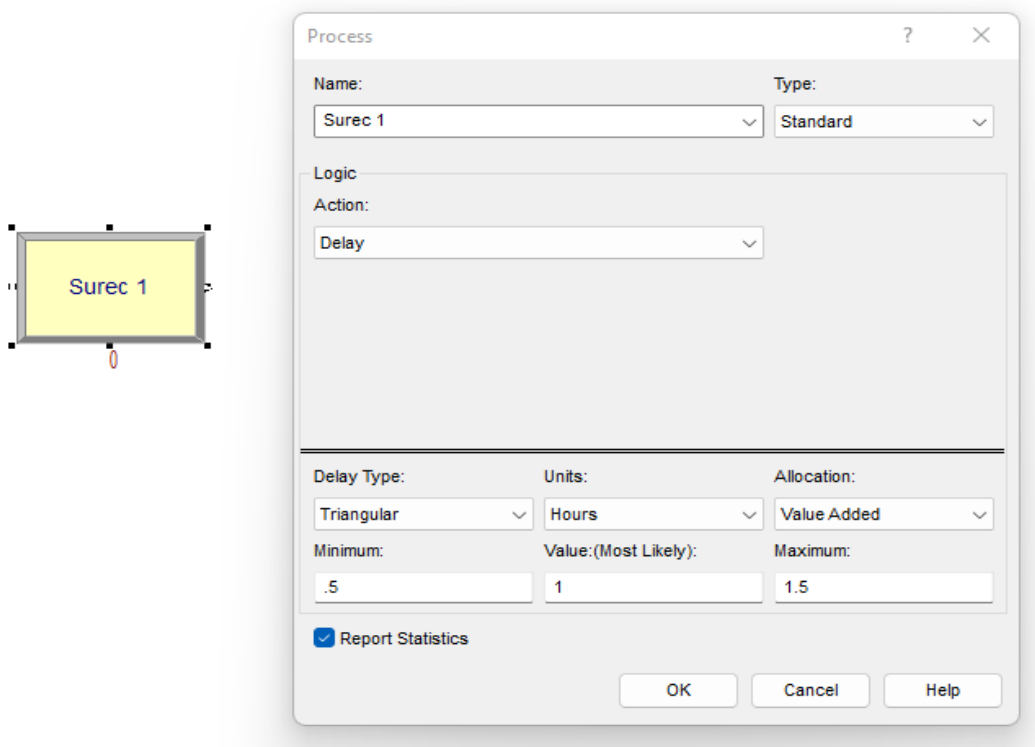
Units: Varlıkların sisteme hangi zaman periyodunda dahil olduğunu belirten kısımdır. Saniye, dakika, saat veya gün cinsinden ifade edilir.

Entities Per Arrival: Sisteme her gelişte kaç adet varlığın dahil olduğunu belirtildiği kısımdır.

Max Arrivals: Sisteme dahil olacak varlığın maksimum sınırını belirten kısımdır.

First Creation: İlk varlığın sisteme gönderildiği zamanı ifade eder.

- PROCESS Modülü: Varlıkların sistemde bir veya birçok kaynak tarafından işleme tabii olmasını ifade eder (Türker, 2015).



Şekil 4.8. Process Modülü

Name: Process modülünün isim atamasının yapıldığı bölümdür.

Type: Modelin oluşturulma amacının tercih edildiği bölümdür.

Action: Bu bölümde varlıkların process içerisinde hangi işlemleri gerçekleştireceği belirtilir. Delay (Varlığı beklet), Seize Delay (Varlığı tut ve beklet) Delay Release (Varlığı beklet ve bırak) komutlarından herhangi birisi veya hepsinin dahil olduğu komut seçilebilir.

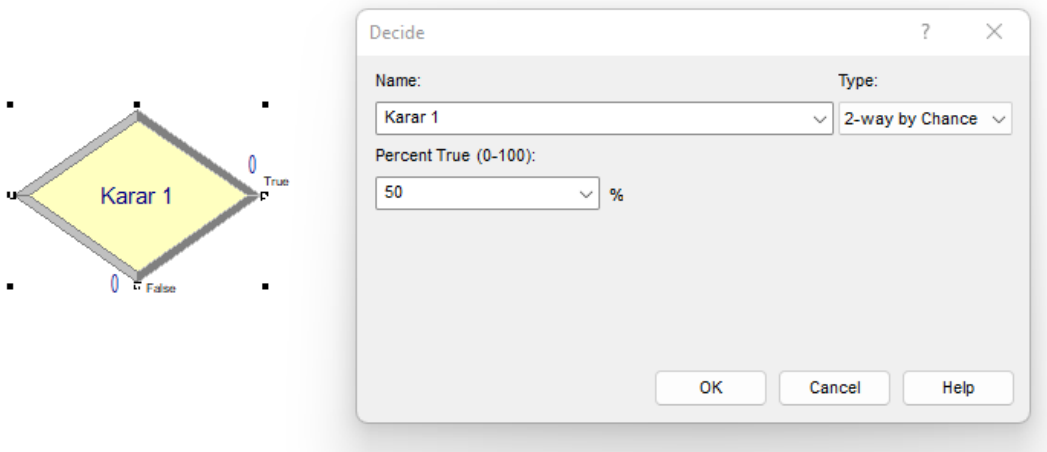
Delay Type: Varlığı sistemde bekletme veya kaynağı meşgul etme işleminin hangi zaman dağılımında yer aldığını belirten kısımdır.

Units: Varlığın process boyunca hangi zaman periyodunda işleme tabii tutulacağını belirten kısımdır. Saniye, Dakika, Saat veya Gün cinsinden ifade edilir.

Allocation: İşlem türünü belirtmek amacıyla kullanılır.

Value: Varlığın process içerisinde işleme tabii tutulduğu zaman dağılımına uygun değerin yazıldığı kısımdır.

- DECIDE Modülü: Simülasyonda karar verme fonksiyonunu olasılık veya koşula bağlı olarak yerine getiren modüldür (Türker, 2015).



Şekil 4.9. Decide Modülü

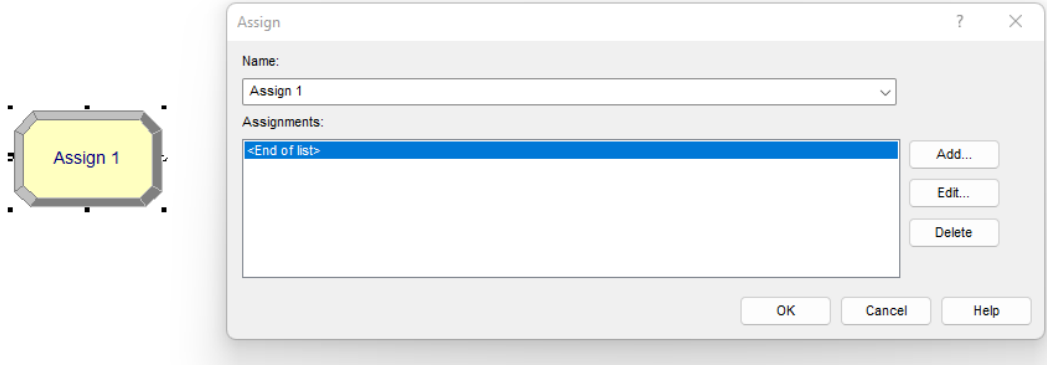
Name: Decide modülünün isminin yazıldığı kısımdır.

Type: Karar fonksiyonunu yerine getirmek amacıyla olasılık veya koşula bağlı olması seçiminin gerçekleştirildiği bölümdür.

Percent True (0-100): Type kısmında olasılık dağılımına göre seçim yapıldığı takdirde sistemdeki varlıkların Decide modülünden çıkış yapacağı yönün olasılık değerleri bu kısma girilir.

If-Named: Type kısmında koşula bağlı seçim yapıldığı takdirde sistemdeki varlıkların Decide modülünden çıkış yapacağı yön, If kısmında Variable, Attribute, Entity type veya Expression özelliklerinden birisi seçilerek, Name kısmında ise özelliğin ismi tanımlanarak gerçekleştirilir.

- ASSIGN Modülü: Varlığın tanımlayıcı bilgilerinin yer aldığı modüldür.

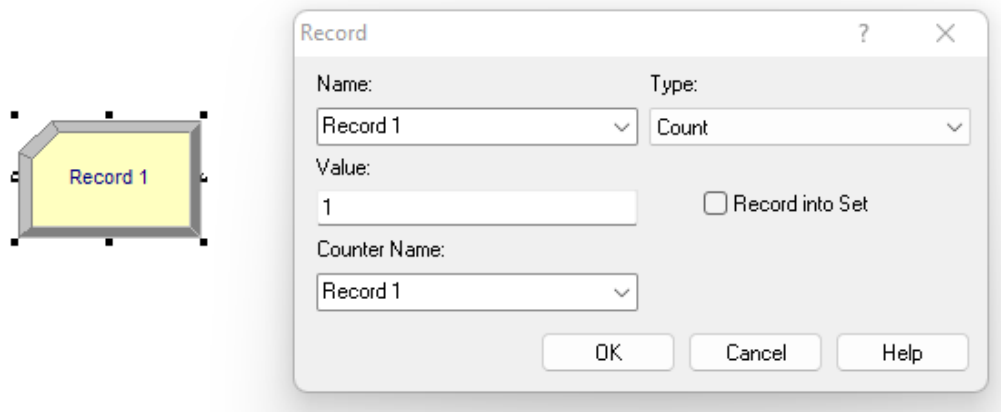


Şekil 4.10. Assign Modülü

Name: Modülün isminin yazıldığı bölümdür.

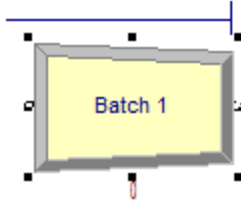
Assignments: “Add” butonuna tıklanarak sistemde dolaşan varlığa (entity) ait tanımlayıcı özellikleri bu bölümde atanır.

- RECORD Modülü: Sistemde yer alan varlığın bilgilerinin kaydedilme fonksiyonunu yerine getiren modüldür.



Şekil 4.11. Record Modülü

- BATCH Modülü: Batch modülü arena simülasyon programında varlıkları gruplandırmak amacıyla kullanılır.



Batch

Name: Batch 1

Type: Permanent

Batch Size: 2

Save Criterion: Last

Rule: Any Entity

Representative Entity Type:

OK Cancel Help

Şekil 4.12. Batch Modülü

Name: Batch modülünün isminin atandığı alandır.

Type: Type kısmında Permanent ve Temporary olmak üzere iki seçenek mevcuttur. Simülasyon sürecinde Temporary seçeneği seçilirse geçici gruplandırma yapma imkânı sunar. İstenilen varlık adeti oluşturulduğunda temsilen bir varlık modülden çıkış yapar. Permanent seçeneği seçilirse varlıklar kalıcı olarak gruplandırılır.

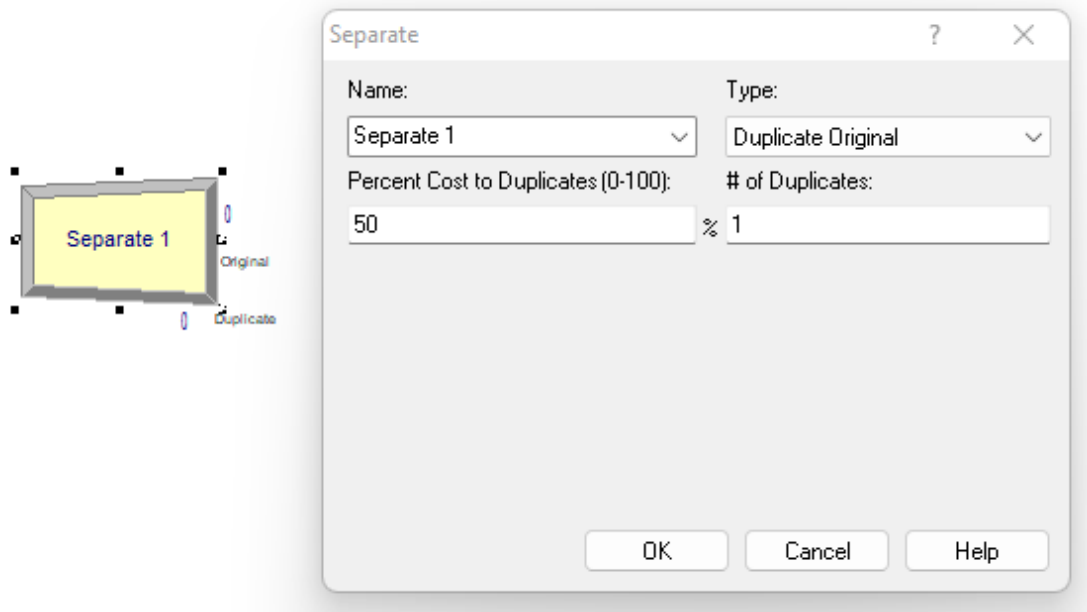
Batch size: Gruplandırma büyüklüğünü ifade eder. Her bir grupta yer alacak varlık sayısı bu kısımda belirtilir.

Save Criterion: Kayıt kriterinin seçildiği kısımdır. İlk, Son, Toplam ve Çarpım seçenekleri mevcuttur. Seçilen kritere göre temsilci varlık atanır.

Rule: Gruplandırmayı sağlayacak kuralları ifade eder. Any Entity seçeneği seçilirse varlıklar arasına herhangi bir ayırım yapmadan gruplandırır. By Attribute seçeneği seçilirse gruplandırmak istenilen özellik durumuna göre gruplandırma yapar.

Representative Entity Type: Varlıkların Batch modülünden ayrıldıktan sonra simülasyona devam edeceği ismin ataması bu kısımda gerçekleştirilir. Diğer bir deyişle varlıkların isim etiketi bu kısımda kullanıcının isteğine göre güncellenebilir.

- SEPERATE Modülü: Simülasyonda dolaşan varlığı kopyalama işlemini gerçekleştirir.



Şekil 4.13. Seperate Modülü

Name: Seperate modülüne isim atamasının gerçekleştirildiği kısımdır.

Type: Simülasyonda dolaşan varlığa ait işlem seçeneklerinin (Duplicate Original, Split Existing Batch) yer aldığı kısımdır. Duplicate Original seçeneği seçildiğinde sistemde dolaşan varlığın kopyalanmasını ifade ederken Split Existing Batch seçeneği Batch modülünden gelen temsilci varlık değerlerini özellikler bakımından ayırıştırır.

Percent Cost to Duplicates (0-100): Type alanında Duplicate Original seçeneği seçildiği zaman oluşturulan kopya varlığın orijinal varlığa benzerlik derecesidir.

of Duplicates: Sistemde dolaşan varlıktan kopya oluşturulacak adet sayısını ifade eder.

- LEAVE Modülü: Sistemde dolaşan varlığın bulunduğu istasyondan -diğer bir istasyona aktarımını gerçekleştirmek üzere- ayrılmasını sağlayan modüldür.



The 'Leave' module configuration window includes the following fields:

- Name:** Leave 1 (dropdown)
- Allocation:** Value Added (dropdown)
- Delay:** 0. (dropdown)
- Units:** Hours (dropdown)
- Logic:** (empty text area)
- Transfer Out:** None (dropdown)
- Connect Type:** Route (dropdown)
- Move Time:** 0.0 (dropdown)
- Units:** Hours (dropdown)
- Station Type:** Station (dropdown)
- Station Name:** Station 1 (dropdown)

Buttons at the bottom: OK, Cancel, Help.

Şekil 4.14. Leave Modülü

Name: Modülün isminin tanımlandığı bölümdür.

Allocation: Modülde gerçekleşen işlemlerin simülasyon sonuçlarına etkilerine dair seçimin gerçekleştirildiği bölümü ifade etmektedir.

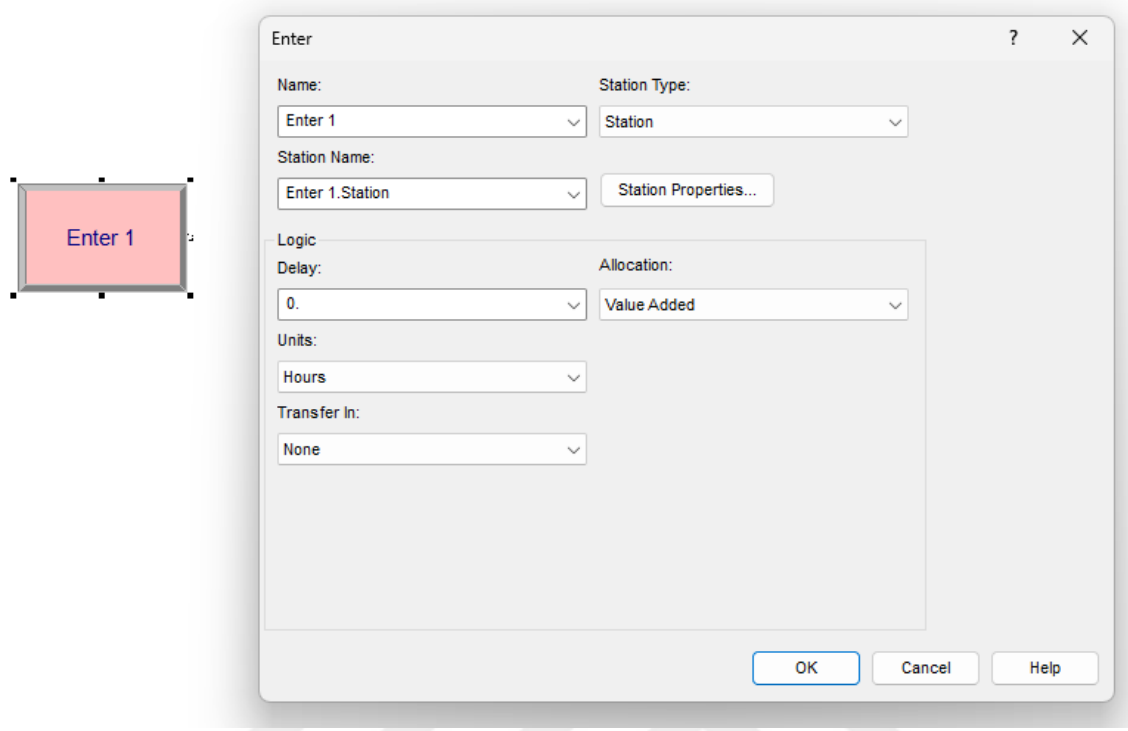
Delay: Varlığı modül içerisinde bekletme süresini ifade etmektedir.

Units: Varlığın modül içerisinde bekletildiği sürenin cinsini ifade etmektedir.

Connect Type: Bağlantı türünü ifade etmektedir.

Station Name: Varlığın modülden ayrıldıktan sonra varacağı istasyonun ismini ifade etmektedir.

- Enter Modülü: Leave modülü kullanıldığında sistemde dolaşan varlığın gideceği modülü tanımlamak için kullanılmaktadır.



The image shows a software interface for configuring an 'Enter' module. On the left, there is a small red rectangular icon with the text 'Enter 1' inside. To the right is a larger dialog box titled 'Enter'. The dialog box contains the following fields and buttons:

- Name:** A dropdown menu with 'Enter 1' selected.
- Station Type:** A dropdown menu with 'Station' selected.
- Station Name:** A dropdown menu with 'Enter 1.Station' selected, and a 'Station Properties...' button to its right.
- Logic:** A section containing:
 - Delay:** A dropdown menu with '0.' selected.
 - Allocation:** A dropdown menu with 'Value Added' selected.
- Units:** A dropdown menu with 'Hours' selected.
- Transfer In:** A dropdown menu with 'None' selected.
- At the bottom right, there are three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

Şekil 4.15. Enter Modülü

Name: Modül isminin tanımlandığı kısımdır.

Station Type: Modülün istasyon veya set olarak kullanım seçeneğini ifade etmektedir.

Station Name: Station Type kısmında Station seçili olduğu durumda istasyonun isminin tanımlandığı kısımdır.

Delay: Varlığın modülde bekletilme süresini ifade etmektedir.

Units: Varlığın modülde bekletilme süresinin cinsini ifade etmektedir.

5. DEPREM SENARYOSUNUN OLUŞTURULMASI

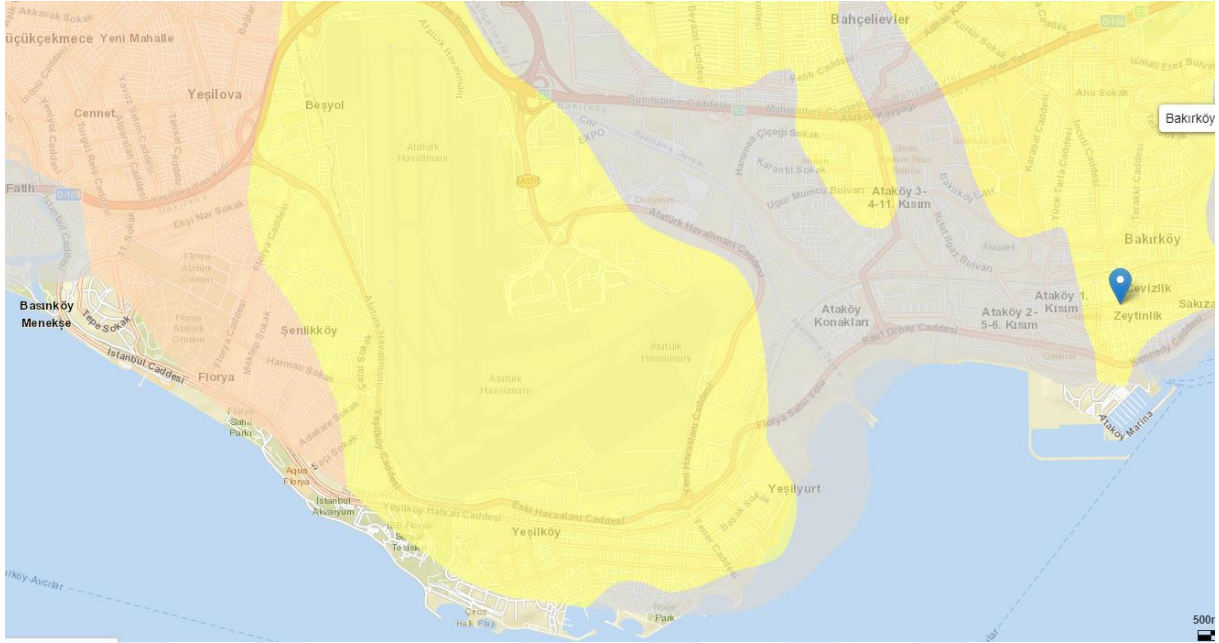
Deprem gerçekleşikten sonra binaların hasar alabilirlik düzeyi zemin profiline göre değişkenlik gösterebildiği gibi mühendislik ve mimarlık çalışmalarının etkisine göre de değişkenlik göstermektedir. Zemin profili kötü olan bölgede yer alan bir binanın inşa projesinin ve inşaatta kullanılan hammadde kalitesinin iyi olması binanın depremde etkilenme durumunu azaltabilir. Aynı zamanda zemin profili iyi olan bir bölgede bina yapımı için kullanılan hammadde ve inşa projesinin yeterli düzeyde olmaması durumunda binanın depremde etkilenme oranı artabilmektedir. Yapıların inşa yılları da inşaatta kullanılan malzemenin zamanla aşınması durumundan ötürü depremde etkilenme durumuna sahiptir. Çalışma kapsamında, İstanbul Bakırköy ilçesinde 6 ve 7.5 deprem büyüklükleri aralığında değişkenlik gösteren stokastik bir deprem senaryosunun oluşturulmasıyla mahallelerde yer alan nüfus; etkilenmeyen nüfus, yaralı ve ölü olmak üzere sınıflandırılmıştır.

5.1. Bakırköy İlçesi

Bakırköy ilçesi İstanbul şehrinin Avrupa yakasında, kuzeyinde Güngören ve Bahçelievler ilçeleri, güneyinde Marmara denizi, doğuda Zeytinburnu ilçesi, batı ve kuzeybatı yönünde ise Küçükçekmece ilçesi ile sınırları çevrilerek konumlanmıştır. Yüzölçümü yaklaşık olarak 35 km²'dir. Ayırmama ve Siyavuşpaşa dereleri Bakırköy ilçe sınırları içerisinde yer almaktadır. Bakırköy ilçesi on beş mahalleden oluşmaktadır. Bu mahalleler; Ataköy 1. Kısım, Ataköy 2-5-6. Kısım, Ataköy 3-4-11. Kısım, Ataköy 7-8-9-10. Kısım, Basınköy mahallesi, Cevizlik mahallesi, Kartaltepe mahallesi, Osmaniye mahallesi, Sakızağacı mahallesi, Şenlikköy mahallesi, Yenimahalle mahallesi, Yeşilköy mahallesi, Yeşilyurt mahallesi, Zeytinlik mahallesi ve Zuhuratbaba mahallesidir.

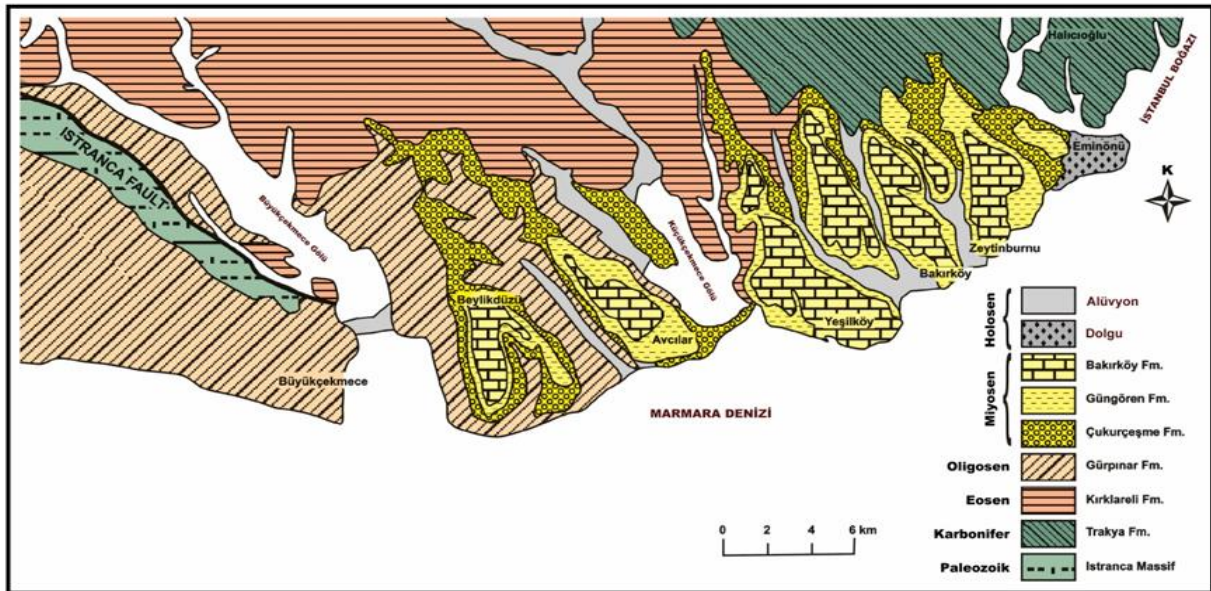
5.2. Bakırköy İlçesi Jeoloji Bilgileri

Şekil 5.1.'de yer alan Bakırköy ilçesinin jeolojik özelliklerine bakıldığında turuncu renkle ifade edilen bölge Oligosen – Alt Miyosen yapıyı, sarı renkle ifade edilen bölge Miyosen ve gri renkle ifade edilen bölge Kuvaterner yapıyı belirtmektedir.



Şekil 5.1. Bakırköy İlçesi Jeoloji Özellikleri (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yer Bilimleri Portalından derlenmiştir.)

Bakırköy Üyesi formasyonu (Tçb) genellikle kireçtaşı egemen, kilaşı ve marn arakatıklı, Alüvyon zeminler (Qal) ise kil, çakıl taşı veya kum gibi tortuların akarsular ile taşınması sonucu oluşan yapılarıdır (Çakırer, 2020).



Şekil 5.2. Bakırköy İlçesi Formasyonu (Dalgıç vd., 2009)

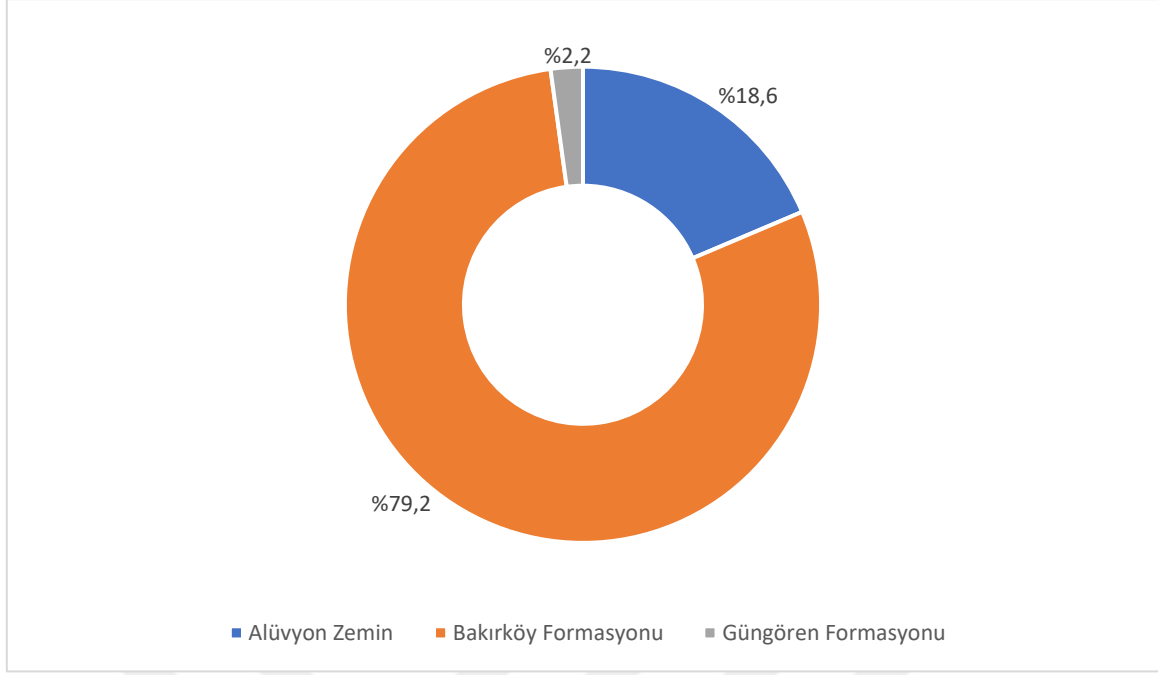
Formasyonlara ait bilgiler Şekil 5.3.'te yer almaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda depremlerin yıkıcı etkisi incelendiğinde zemin durumu bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin Çakırer'in (2020) zemin profil bilgisini bir parametre olarak

değerlendirdiği çalışmasında, alüvyon zeminlerin kil veya kum gibi tortuların akarsular vasıtasıyla taşınması sonucu oluşması nedeniyle diğer zemin türlerine göre daha düşük sağlamlık derecesine sahip olduğunu ifade etmiştir.

Formasyon	Litoloji	Etkilenme alanı	Zarar nedeni	Zarar türü
Trakya Fm.	Kumtaşı çamurtaşı	Yenikapı, Beyoğlu, Levent	Ayrışma, fay, dayk	Çökme, çatlak
Kırklareli Fm.	Kireçtaşı	Halkalı, Altınşehir	Karstik boşluk, fay	Duraylılık
Gürpınar Fm.	Kil-Kiltaşı	Büyükçekmece- Küçükçekmece arası	Heyelan	Eğilme, yıkılma
Çukurçeşme Fm.	Kum	İkitelli	Sıvılaşma	Eğilme-yıkılma
Güngören Fm	Kil-silt-kum	Avcılar, Güngören	Zemin büyütmesi, şişme-oturma	Eğilme, yıkılma
Bakırköy Fm.	Kireçtaşı	Bakırköy	Kastik boşluk	Çökme
Dolgu	Tuğla, kil, silt, moloz	Haliç	Yetersiz taşıma gücü, Yeraltı suyu çekilmesi	Oturma, eğilme

Şekil 5.3. Formasyonlar ve Etkilenme Alanları (Dalgıç vd., 2009)

17 Ağustos 1999 İzmit depreminin İstanbul Avcılar ilçesinde 38 bina yıkımına ve 246 kişinin yaşamını kaybetmesine yol açmıştır. Avcılar bölgesi Güngören formasyonu yaygındır. Üst yapı araştırmalarında Oligosen ve Miyosen'e ait istifin 700 metreden fazla kalınlığa sahip olması bina yıkımına sebebiyet vermiştir (Dalgıç vd., 2009).



Şekil 5.4. Bakırköy İlçesi Formasyon Dağılımı (İstanbul İli Jeoloji Haritasından derlenmiştir.)

Güngören formasyonu Pliyosen döneme ait olmakla beraber genellikle kil, silt ve kumtaşı gibi kaya ve zemin türlerini içermektedir. Kil ve silt içeriği genellikle düşük taşıma kapasitesine ve yüksek oturma riskine sahip zeminler olarak bilinmektedir. Bakırköy formasyonu kireçtaşı gibi genellikle dayanıklılık ve sertlik düzeyi yüksek kayalardan oluşmaktadır. Kireçtaşı içerik olarak yüksek taşıma kabiliyetine sahiptir (Dalgıç vd., 2009).

5.3. Bakırköy İlçesi Bina Bilgileri

Bakırköy ilçesinde yer alan mahallelerde binaların yapım yılları büyük çoğunlukla 2000 yılı ve öncesine dayandığı görülmektedir.

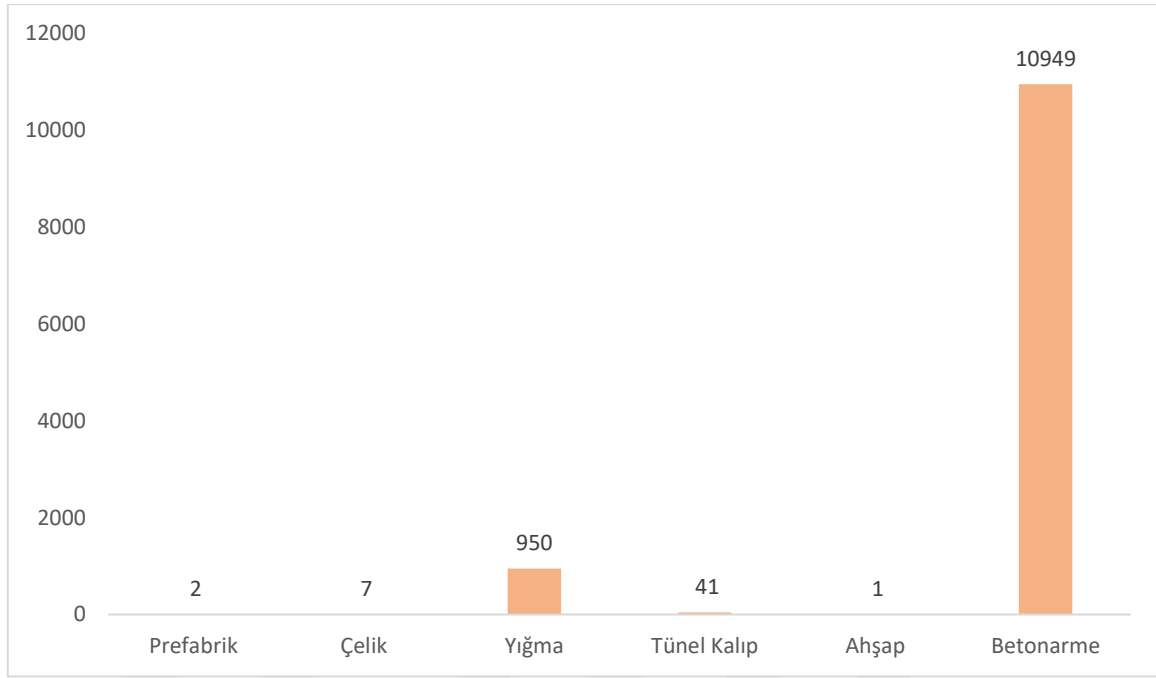
Tablo 5.1. Bakırköy İlçesi Yapım Yıllarına Göre Bina Sayıları (İBB Veri Portalından derlenmiştir.)

Mahalle	1980 öncesi	1980-2000 arası	2000 sonrası
Ataköy 1. Kısım	61	7	27
Ataköy 2-5-6. Kısım	123	8	93
Ataköy 3-4-11. Kısım	156	93	11
Ataköy 7-8-9-10. Kısım	3	426	107

Tablo 5.1. (Devamı) Bakırköy İlçesi Yapım Yıllarına Göre Bina Sayıları (İBB Veri Portalından derlenmiştir.)

Basınköy	184	358	108
Cevizlik	332	259	110
Kartaltepe	775	641	57
Osmaniye	339	363	290
Sakıza�acı	300	143	29
şenlikköy	357	1134	320
Yenimahalle	319	126	48
Yeşilköy	894	848	590
Yeşilyurt	179	97	32
Zeytinlik	203	270	101
Zuhuratbaba	644	319	66

Binaların yapım türlerine göre Bakırköy İlçesinde yoğunlukla Betonarme yapıların olduğu görülmektedir. Toplam 11.950 binanın yaklaşık olarak %90 oranından daha fazlasını betonarme binalar oluşturmaktadır.



Şekil 5.5. Yapım Türlerine Göre Bina Dağılımları (İBB, 2019)

Binaların mahalle bazlı kat sayıları aşağıda yer alan Tablo 5.2.'de yer almaktadır.

Tablo 5.2. Bakırköy İlçesi Mahallelere Göre Bina Kat Sayıları (İBB Veri Portalından derlenmiştir.)

Mahalle	1-4 kat arası	5-8 kat arası	9-19 kat arası
Ataköy 1. Kısım	39	42	14
Ataköy 2-5-6. Kısım	108	74	42
Ataköy 3-4-11. Kısım	82	170	8
Ataköy 7-8-9-10. Kısım	239	226	71
Basıncıköy	614	36	0
Cevizlik	198	501	2
Kartaltepe	414	1056	3
Osmaniye	512	470	10
Sakızağacı	77	385	10

Tablo 5.2. (Devamı) Bakırköy İlçesi Mahallelere Göre Bina Kat Sayıları (İBB Veri Portalından derlenmiştir.)

şenlikköy	1644	166	1
Yenimahalle	134	359	0
Yeşilköy	1755	554	23
Yeşilyurt	134	173	1
Zeytinlik	143	430	1
Zuhuratbaba	279	746	4

5.4. Bakırköy İlçesi Nüfus Bilgileri

Mahalle bazlı nüfus sayıları Tablo 5.3.'te gösterilmektedir. Nüfus sayısının en yüksek olduğu mahalleler sırasıyla Kartaltepe, Şenlikköy ve Ataköy 7-8-9-10. Kısım olarak yer almaktadır.

Tablo 5.3. Bakırköy İlçesi Mahalle Bazlı Nüfus (TÜİK'ten derlenmiştir.)

Mahalle	Nüfus
ATAKÖY 1. KISIM	1.691
ATAKÖY 2-5-6. KISIM	14.167
ATAKÖY 3-4-11. KISIM	8.254
ATAKÖY 7-8-9-10. KISIM	26.411
BASINKÖY	5.945
CEVİZLİK	5.555
KARTALTEPE	38.117
OSMANİYE	24.485
SAKIZAĞACI	8.449
ŞENLİKKÖY	28.752
YENİMAHALLE	6.865
YEŞİLKÖY	24.669
YEŞİLYURT	8.546
ZEYTİNLİK	5.425
ZUHURATBABA	21.908
<i>Toplam Nüfus</i>	229.239

6. UYGULAMA

Deprem kayıp tahmin analizi stokastik temelli bir kurguya sahiptir. Bu durumun nedenleri olarak; depremin gerçekleşme zamanının ve etki süresinin olasılık içeren tabana yayılmış olması gösterilmektedir (Çakırer, 2020). Depremin gerçekleşeceği tarih ve saat aralığı, sonuçları ve gerçekleşebilecek olası kayıplara yönelik alınacak tedbirleri etkilemektedir. Örneğin, kış aylarında gerçekleşebilecek şiddetli bir depremde depremzedelerin ihtiyaç duyacağı barınma ve gıda malzemelerinin tedarikine ek olarak; hava sıcaklığının düşük olmasından kaynaklanan ısınma ihtiyaçlarını giderebilecek şekilde iklime uygun kıyafetler gerekmektedir.

Zemin durumu, depremin yapılar üzerindeki tesir düzeyini etkileyen bir unsurdur (Sönmezer vd., 2015). Jeolojik özelliklerinin yanı sıra binaların depremlerden etkilenme düzeyinde temel ve üst yapı etkileri de söz konusudur. Bu etkiler; zemin koşullarına uygun tasarımların gerçekleştirilmemesi, uygun drenajların yapılmaması veya çelik mukavemetinin sağlanamaması gibi durumlar olarak gösterilmektedir (Dalgıç vd., 2009).

Depremin büyüklüğü, gerçekleşme zamanı, zemin yapısı, yapı türleri, nüfus yoğunluğu vb. etkenler depremin şiddetini arttıracak unsurlar olarak nitelendirilmektedir. Literatürde yer alan deprem kayıp tahmin analizi çalışmaları incelendiğinde, kullanılan parametreler arasında zemin durumu, bina katsayıları ve nüfus yoğunluğu gibi bilgiler yer aldığı görülmektedir (Çakırer, 2020).

Ren ve diğ. (2024) çalışmaları incelendiğinde deprem büyüklüğüne bağlı olarak olasılıksal analiz yöntemi önerilmiştir.

Tablo 6.1. Deprem Büyüklüğüne Bağlı Olarak Bina Hasar Düzeyi Olasılıkları (%) (Ren vd., 2024)

Hasar Durumu	Deprem Büyüklüğü				
	VI (0,05g)	VII (0,10g)	VII (0,15g)	VIII (0,20g)	VIII (0,30g)
Etkilenmeyen Bina	0.797	0.573	0.422	0.321	0.201
Hafif Hasar	0.131	0.219	0.248	0.245	0.217
Orta Hasar	0.072	0.165	0.235	0.286	0.332
Ağır Hasar	0.000	0.042	0.069	0.099	0.153
Yıkılan Bina	0.000	0.001	0.026	0.049	0.097

Tablo 6.1’de yer alan olasılık değerleri Ren ve diğ. (2024) tarafından farklı büyüklükler için en büyük yer ivmelerine göre derlenmiştir. Binaların hasar durumuna göre triyaj tespitini içeren olasılık değerleri Tablo 6.2’de yer almaktadır.

Tablo 6.2. Bina Hasar Durumlarına Göre Triyaj Tespiti (Ren vd., 2024)

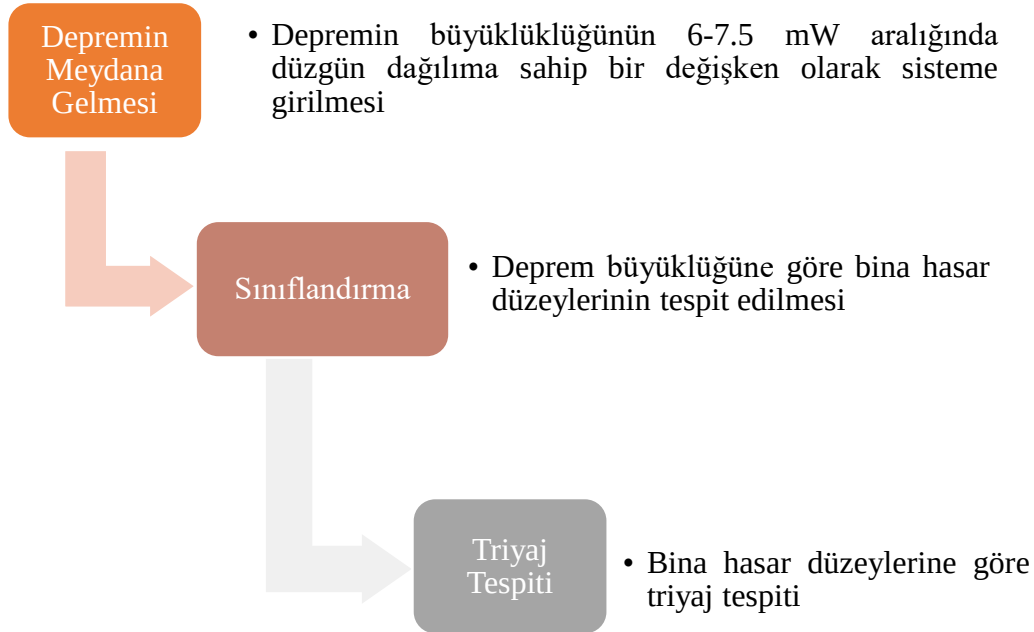
Nüfusun Oranı (%)	Etkilenmeyen Bina	Hafif Hasar	Orta Hasar	Ağır Hasar	Yıkılan Bina
Yaralı	0.000	0.015	0.165	4.467	28.867
Ölü	0.000	0.000	0.002	0.176	3.514

Simülasyon modelinde kullanılan triyaj sınıflandırması Tablo 6.3'te yer almaktadır.

Tablo 6.3. Triyaj Sınıflandırması ve Açıklamaları

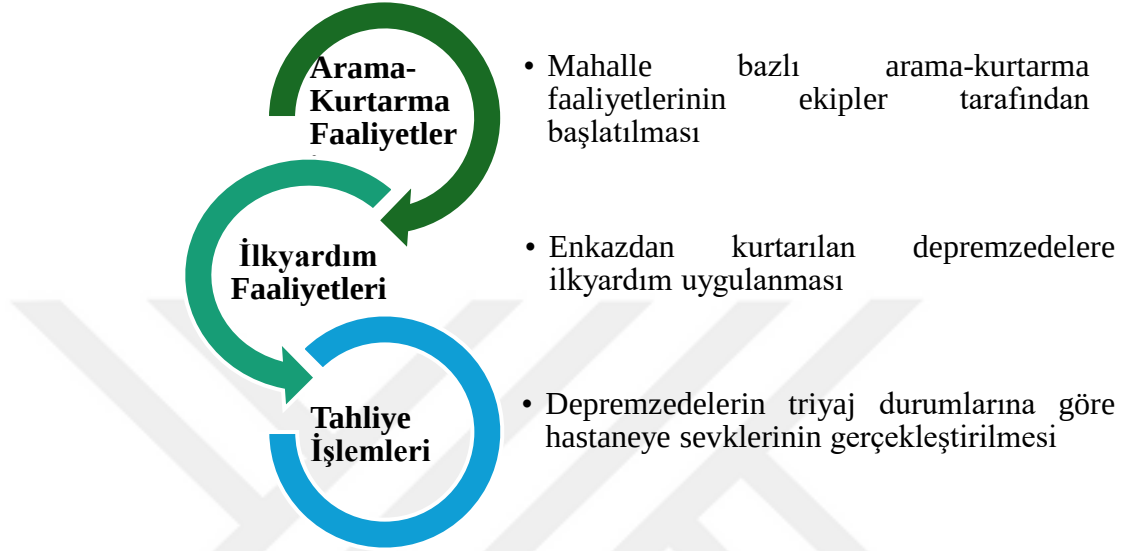
Sınıf	Açıklama
Yaralı	Depremden yaralı olarak etkilenen hastaneye sevk edilecek nüfus
Ölü	Morga sevk edilecek nüfus
Etkilenmeyen Nüfus	Depremden etkilenmeyen nüfus

Bina katsayıları Tablo 5.2.'de yer alan veriler kullanılarak simülasyon modeline dahil edilmiştir. Bu kapsamda Bakırköy ilçesinde yer alan binaların katsayı dağılımı %53 oranında 1-4 katlı, %45 oranında 5-8 katlı, %2 oranında 9-19 katlı olarak gerçekleşmiştir. (İBB)



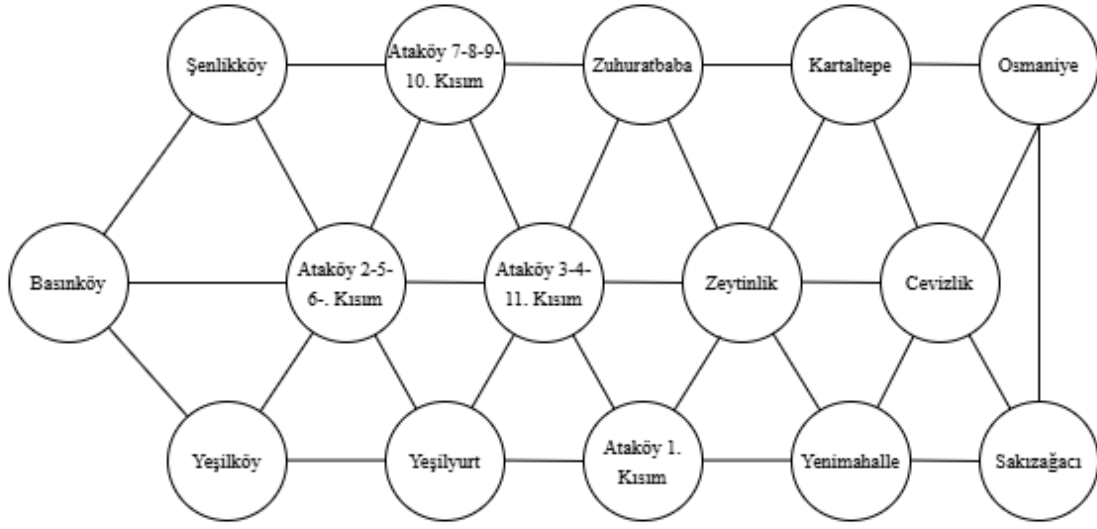
Şekil 6.1. Deprem Senaryosu Triyaj Tespiti Aşamaları

Simülasyon modelinde öncelikle deprem büyüklüğü tahmin edilmiştir. Deprem büyüklüğü tahmin edildikten sonra Tablo 6.1.'de yer alan olasılık değerleri kullanılarak mahalle bazlı binaların etkilenme düzeyleri analiz edilmiştir. Tablo 6.2.'de bulunan olasılık değerleri ile binaların etkilenme düzeyine bağlı olarak nüfus Tablo 6.3.'de yer alan sınıflandırmaya göre - ölü, yaralı veya etkilenmeyen nüfus olarak- sınıflandırılmıştır.



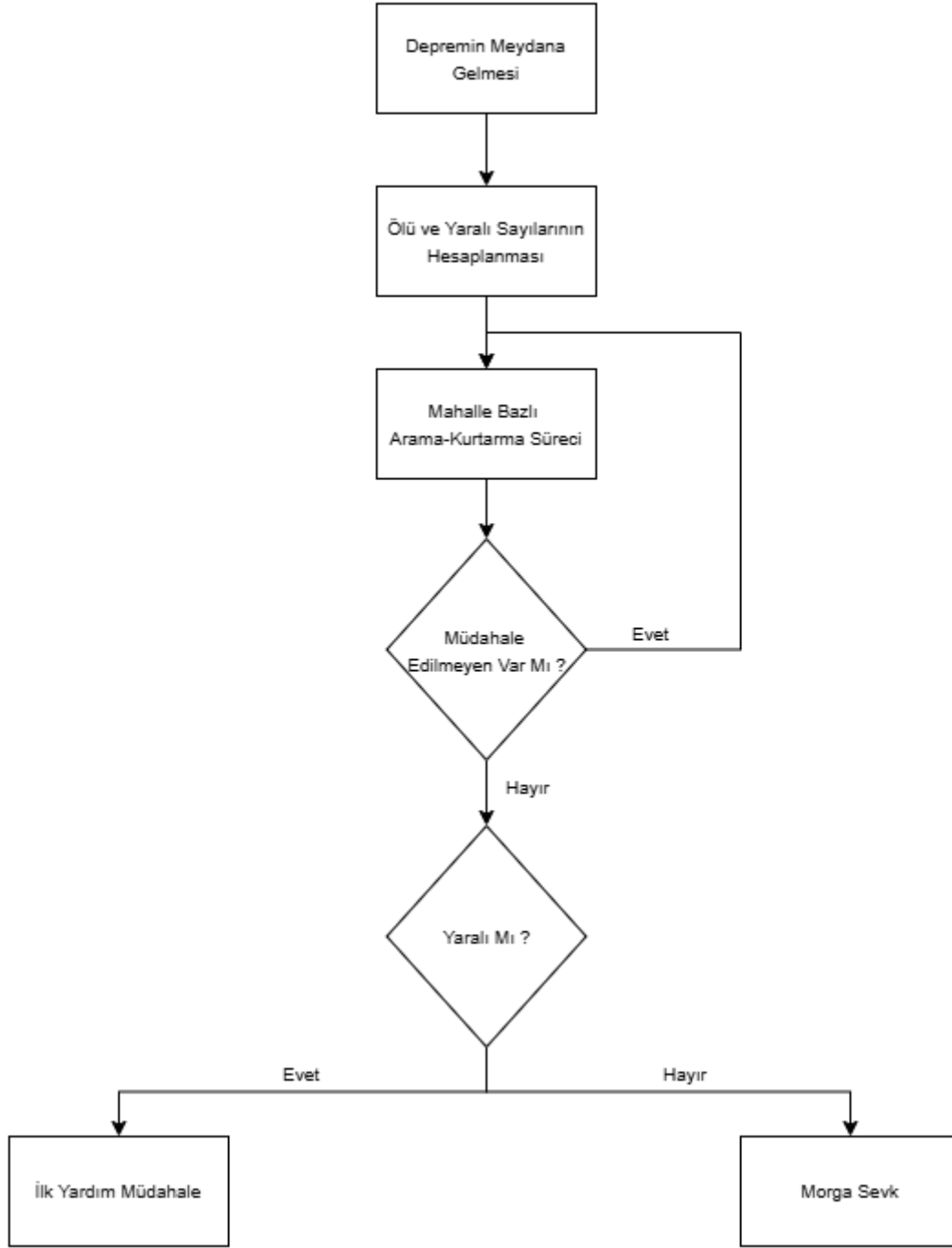
Şekil 6.2. Deprem Senaryosu Tahliye İşlemleri

Mahalle bazlı nüfus Tablo 6.3.'de yer alan gruplara göre sınıflandırıldıktan sonra yaralı veya ölü olarak nitelendirilen nüfus için mahallelerde yer alan ekipler tarafından arama-kurtarma faaliyetleri başlamıştır. Ekipler, bulundukları lokasyondaki yaralı ve ölü nüfusa yönelik arama ve kurtarma faaliyetlerini tamamladıktan sonra en yakın mahalleden başlamak üzere diğer mahallelere yardım etmek amacıyla sevk edilmiştir. Bir depremzedeyi, arama-kurtarma ekiplerinin en düşük 20, çoğunlukla 25 ve en yüksek 75 dakika içerisinde enkaz altından çıkartabilecek düzeyde yetkinliğe sahip oldukları varsayılmıştır.



Şekil 6.3. Mahalle Bazlı Ağ Diyagramı

Arama-kurtarma faaliyetleri devam ederken enkaz altından çıkartılan veya binaları depremden etkilenen depremzedelere sağlık ekipleri tarafından ilkyardım uygulanmaktadır. İlkyardım ekipleri Şekil 6.3.'de yer alan mahalle bazlı ağ diyagramı çerçevesinde öncelikleri bulundukları lokasyon olmak üzere faaliyetlerini tamamladıktan sonra en yakın mahalleden başlamak üzere diğer mahallelere yardım amaçlı sevk edilmiştir. Genel çerçevede simülasyonun akışı Şekil 6.2.'de gösterilmektedir.



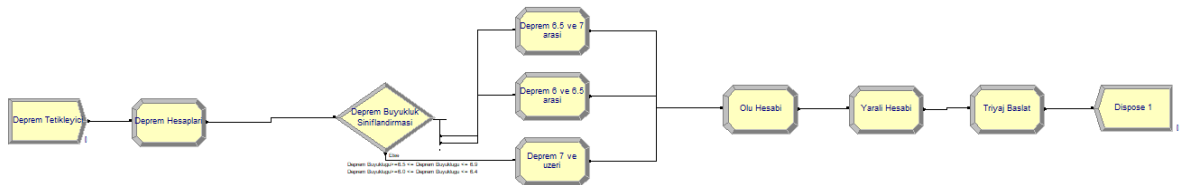
Şekil 6.2. Deprem Senaryosu Genel Akışı

6.1. ARENA Programında Simülasyon Senaryosunun Oluşturulması

Simülasyon modeli iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada yapay bir deprem oluşturularak söz konusu depremin büyüklüğü ve gerçekleşme saati kaydedilmektedir. Ardından mahallelerde bulunan bina kat sayılarının depremden etkilenme düzeyleri yıkılan bina, ağır hasarlı bina, orta hasarlı bina, az hasarlı bina ve etkilenmeyen bina olmak üzere beş grupta

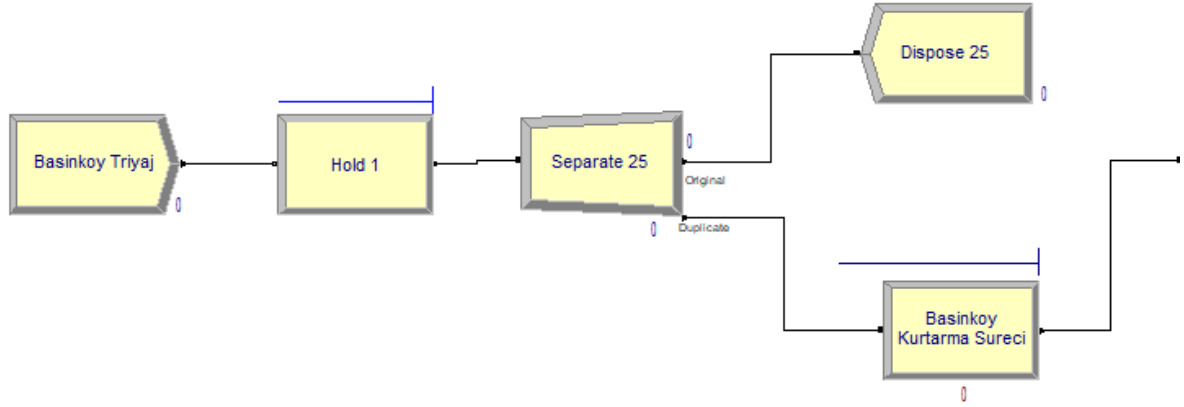
analiz edilmektedir. Binaların depremden hasar görebilirlik düzeylere bağlı olarak kayıp tahmin analizi gerçekleştirilmektedir. Modelin ikinci aşamasında depremden etkilenen nüfus -ölü veya yaralı- için ekipler tarafından mahalle bazlı arama-kurtarma faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Arama-kurtarma ekipleri bulundukları lokasyonda görevlerini icra ettikten sonra en yakın mahalleden başlamak üzere diğer mahallelerde bulunan ekiplere yardım etmek maksadıyla Şekil 6.3'te yer alan ağ haritasına göre sevk edilmektedir. Ekipler, depremzedeyi enkaz altından çıkarttıktan sonra sağlık ekipleri tarafından ilkyardım faaliyetleri başlamaktadır. Bulundukları lokasyonda İlkyardım faaliyetlerini tamamlayan sağlık ekipleri arama-kurtarma ekipleri gibi en yakın mahalleden başlamak üzere diğer sağlık ekiplerine yardım etmek amacıyla sevk edilmektedir.

Simülasyon modelinde depremi tetikleyen bir Create modülü oluşturulmuştur. Bu model, bir hafta içerisinde yer alan 168 saatlik periyotta rassal olarak depremi tetikleyecek şekilde 0 ve 168 saat değerleri arasında düzgün dağılıma sahip bir deprem varlığı oluşturmaktadır. Deprem varlığı oluşturulduktan sonra deprem hesaplarını gerçekleştiren bir Assign modülü eklenmiştir. Deprem Hesapları Assign modülünde depremin gerçekleştiği zamanın kaydedilmesi ve depremin büyüklüğünü rassal olarak 6 ve 7.5 aralığında düzgün dağılıma uygun olarak nitelendirilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Deprem büyüklüğüne göre sınıflandırma yapıldıktan sonra binaların etkilenme düzeyleri hesaplanmıştır. Binaların etkilenme düzeyleri, gerçekleşen deprem büyüklüğüne göre Tablo 6.1 'de yer alan olasılık değerleri referans alınarak analiz edilmektedir.



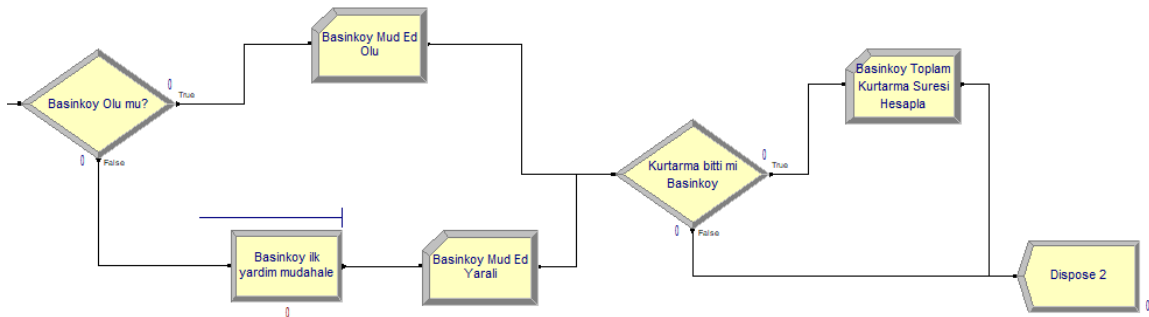
Şekil 6.3. Deprem Senaryosunun Arena Programında Modellenmesi 1'inci Aşama

Binaların etkilenme düzeyleri analiz edildikten sonra Tablo 6.2'de yer alan olasılık değerleri referans alınarak mahalle bazlı nüfus ölü, yaralı veya etkilenmeyen nüfus olmak üzere sınıflandırılmış ve depremden etkilenme düzeyleri tespit edilmiştir. Çalışmanın 2'nci aşamasında Triyaj Başlat Assign modülü, mahalle bazlı arama-kurtarma faaliyetlerinin başlatılması adına her mahalleye depremin gerçekleştiği bilgisini iletmektedir.



Şekil 6.4. Modelin 2'nci Aşaması Basıncöy Örneği

Şekil 6.4'te yer alan Basıncöy mahallesi örneğinde Basıncöy Triyaj Create modülü ile sabit olarak Basıncöy varlığını oluşturacak ve en fazla 1 Basıncöy varlığı Hold modülüne iletmektedir. Bu varlık Basıncöy mahallesi için sisteme Triyaj Başlat Assign modülü ile depremin gerçekleştiği bilgisi verildikten sonra Hold modülünden serbest bırakılacak şekilde koşula bağlanmıştır. Hold modülü Basıncöy varlığını serbest bıraktıktan sonra arama ve kurtarma faaliyetlerinin gerçekleştirileceği nüfus sayısı kadar (ölü ve yaralı sayısının toplamı) Seperate modülünde çoğaltılmaktadır. Ardından arama ve kurtarma faaliyetleri ekipler tarafından gerçekleştirilmektedir. Basıncöy mahallesinde yer alan arama ve kurtarma ekipleri görevlerini tamamladıktan sonra sırasıyla; Şenlikköy, Yeşilköy, Yeşilyurt, Ataköy 7-8-9-10. Etap, Ataköy 2-5-6. Etap, Ataköy 3-4-11. Etap, Zuhuratbaba, Ataköy-1. Etap, Zeytinlik, Kartaltepe, Cevizlik, Yenimahalle, Sakızağacı ve Osmaniye mahallelerine sevk edilmektedir.



Şekil 6.5. Modelin 2'nci Aşaması Basıncöy Örneği Devamı

Şekil 6.5’te yer alan Basıncıköy mahallesinin arama-kurtarma faaliyetleri tamamlandıktan sonra Decide modülü ile depremzedelerin triyaj tespiti gerçekleştirilmektedir. Tespit sonucunda ölü olarak bulunan nüfusun sayısı Record modülü ile kaydedilmekte, yaralı olarak bulunan depremzedeler sağlık ekipleri tarafından ilkyardım faaliyetlerini sevk edilmektedir. İlkyardım faaliyetlerini tamamlayan depremzedelerin sayıları Record modülü ile kaydedilmektedir. Depremden etkilenen nüfusa müdahale edilmesi konusunda bir eksiklik yaşanmaması için kurtarmanın devam edip-etmediğini ölçmek amacıyla Decide modülü eklenmiştir. Bir depremzedenin depremin gerçekleştiği andan ilkyardım faaliyetleri tamamlanana kadar geçen zamanın analiz edilmesi amacıyla toplam kurtarma süresi Record modülüyle analiz edilmiştir.

Basıncıköy mahallesinde yer alan sağlık ekipleri görevlerini tamamladıktan sonra sırasıyla; Şenlikköy, Yeşilköy, Yeşilyurt, Ataköy 7-8-9-10. Etap, Ataköy 2-5-6. Etap, Ataköy 3-4-11. Etap, Zuhuratbaba, Ataköy-1. Etap, Zeytinlik, Kartaltepe, Cevizlik, Yenimahalle, Sakızağacı ve Osmaniye mahallelerine sevk edilmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

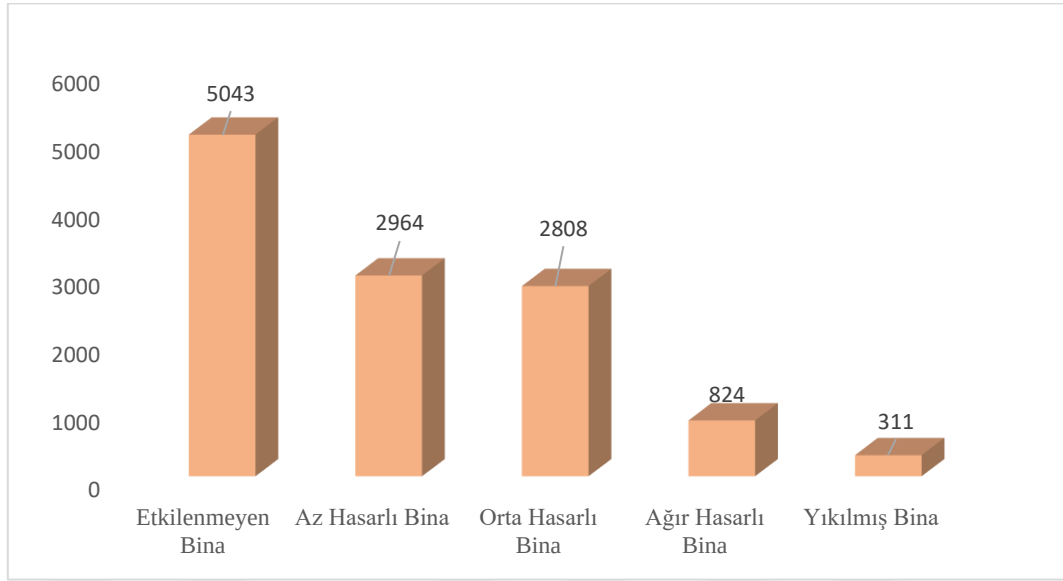
Afetler her an, her yerde gerçekleşme potansiyeline sahip, ciddi can ve mal kayıplarına sebep olabilecek doğa veya beşerî kaynaklı olaylardır. Afetlerin hayatın doğal akışına yapmış oldukları olumsuz etkiyi en aza indirgeyecek düzeyde afet yönetimi sağlanması gerekmektedir. Afet yönetimi hazırlık, risk azaltma, müdahale ve iyileştirme aşamalarından oluşmaktadır. Afetlerin olumsuz etkilerini en aza indirgeyecek yaklaşımlar etkili bir afet yönetimi ile mümkün olabilmektedir. Bu bağlamda afetler oluşmadan önce hazırlık yapılması önem arz etmektedir. Depremler, Türkiye’de en çok görülen doğal afet türünü oluşturmaktadır (Tezcan vd, 2023). Bireysel veya toplumsal olarak yapılabilecek hazırlıklar arasında; ilk 72 saat olarak nitelendirilen altın saatlerde yaşamsal faaliyetlerin devam ettirilebilmesini sağlayacak deprem çantasının hazırlanması ve deprem anında çok-kapan-tutun davranışlarının uygulanması ile depreme karşı bilinç düzeyi artırılabilir.

Merkezi Yönetim açısından afetlere dirençli imar planlamasının yapılması, arama-kurtarma ekiplerinin ve görev bölgelerinin tanımlanması, ilkyardım kuruluşlarının ve ekiplerinin belirlenmesi, deprem sonrası yangın gerçekleşmesi ihtimaline karşı itfaiye ekiplerinin planlanması olası bir depreme hazırlık safhaları olarak görülmektedir (Öcal, 2007). Deprem sonrasında en kısa sürede tahliye çalışmalarının gerçekleştirilmesi ve ilkyardım ekipleri tarafından depremzedelere müdahale edilmesi can kayıplarının azaltılması açısından önem arz etmektedir.

Simülasyon çalışması Rockwell Arena Simulation Software programı kullanılarak INTEL® CORE™ i7-12650H CPU ve 16 GB belleğe sahip bir bilgisayar tarafından 50 kez tekrarlanan simülasyon sonuçları kaydedilerek analiz yapılmıştır. Elde edilen bulgular neticesinde ortalama deprem büyüklüğü 6.7 mW olarak analiz edilmiştir. Deprem gerçekleştiği saat haftanın 72’nci saati olarak tespit edilmiştir.

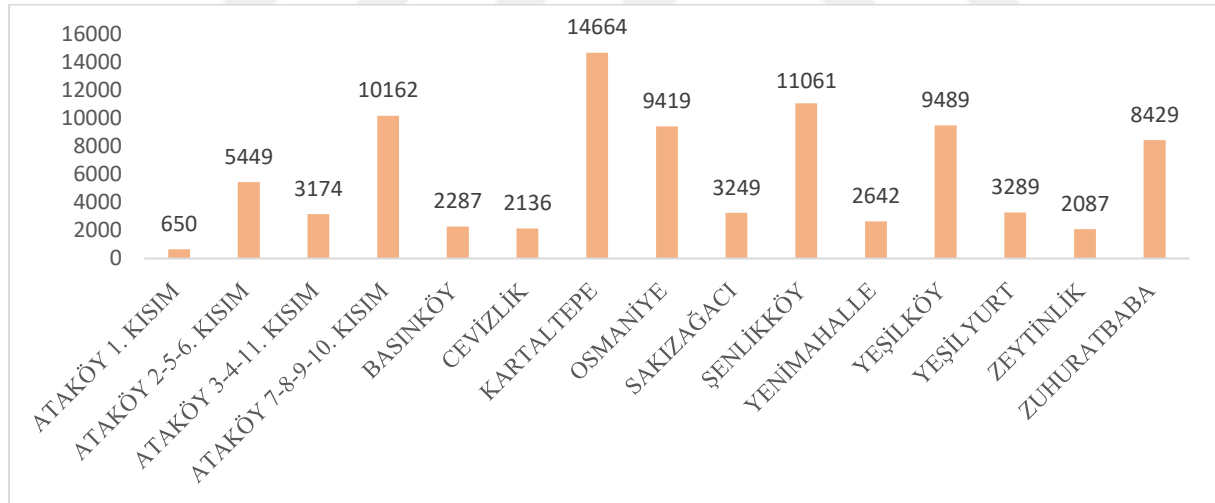
Simülasyon modeli çalışmaya başladığı andan itibaren varlıkların, depremin gerçekleşmesi ve buna bağlı olarak gerçekleştirilen arama-kurtarma ve ilkyardım faaliyetleri neticesinde sistem içerisinde geçirmiş olduğu süre %95 güven aralığında ortalama 264 saat olarak tespit edilmiştir.

Binaların depremde etkilenme düzeyleri Şekil 7.1’de gösterilmektedir.



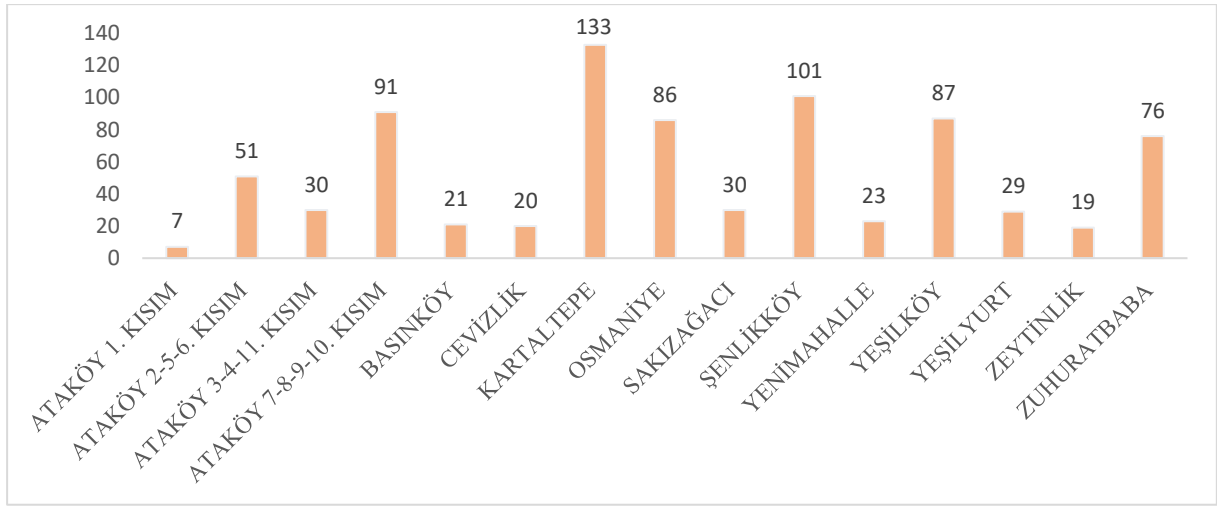
Şekil 7.1. Binaların Depremden Etkilenme Düzeyleri

Şekil 7.1. incelendiğinde Bakırköy ilçesinde yer alan 5043 binanın depremde etkilenmediği, 2964 binanın az hasar gördüğü, 2808 binanın orta hasarlı olduğu, 824 binanın ağır hasar aldığı ve 311 binanın yıkıldığı analiz edilmiştir.



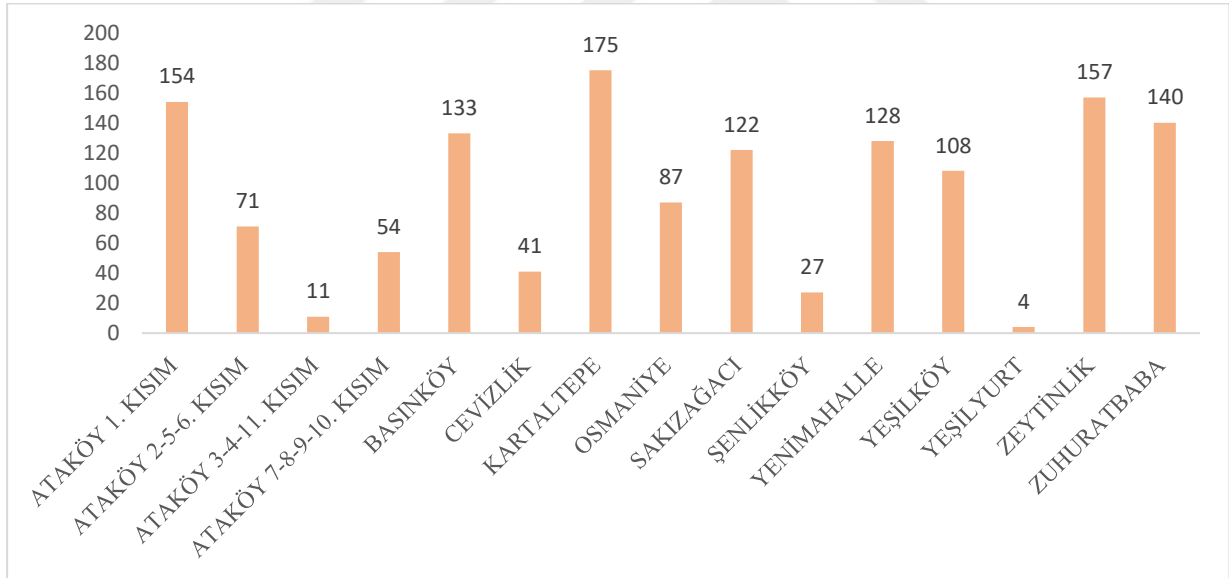
Şekil 7.2. Yaralı Depremzedelerin Sayısı

Şekil 7.2. incelendiğinde depremde yaralanan nüfus sayısı en çok Kartaltepe mahallesinde olduğu tespit edilmiştir.



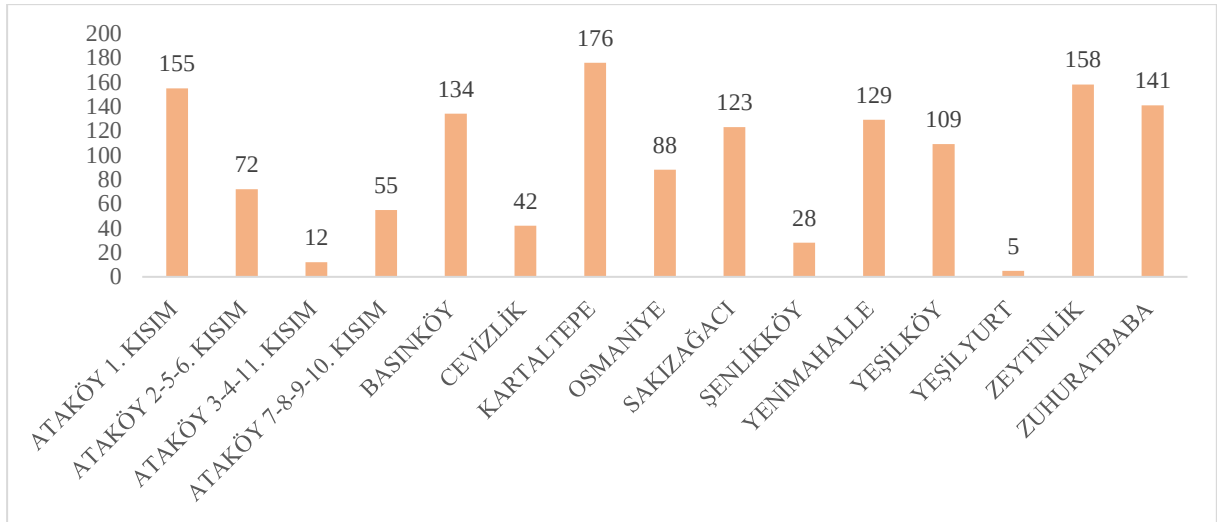
Şekil 7.3. Depremde Ölen Nüfusun Sayısı

Şekil 7.3. incelendiğinde depremde ölen nüfusun sayısı en çok Kartaltepe mahallesinde olduğu analiz edilmiştir. Şekil 7.2. ve Şekil 7.3. birlikte incelendiğinde analiz sonucunda elde edilen yaralı ve ölü nüfus sayıları arasında bir tutarlılık olduğu görülmektedir. Depremin gerçekleşikten sonra arama-kurtarma faaliyetlerinin süreleri Şekil 7.4'te gösterilmektedir.



Şekil 7.4. Arama-Kurtarma Ortalama Faaliyet Süreleri

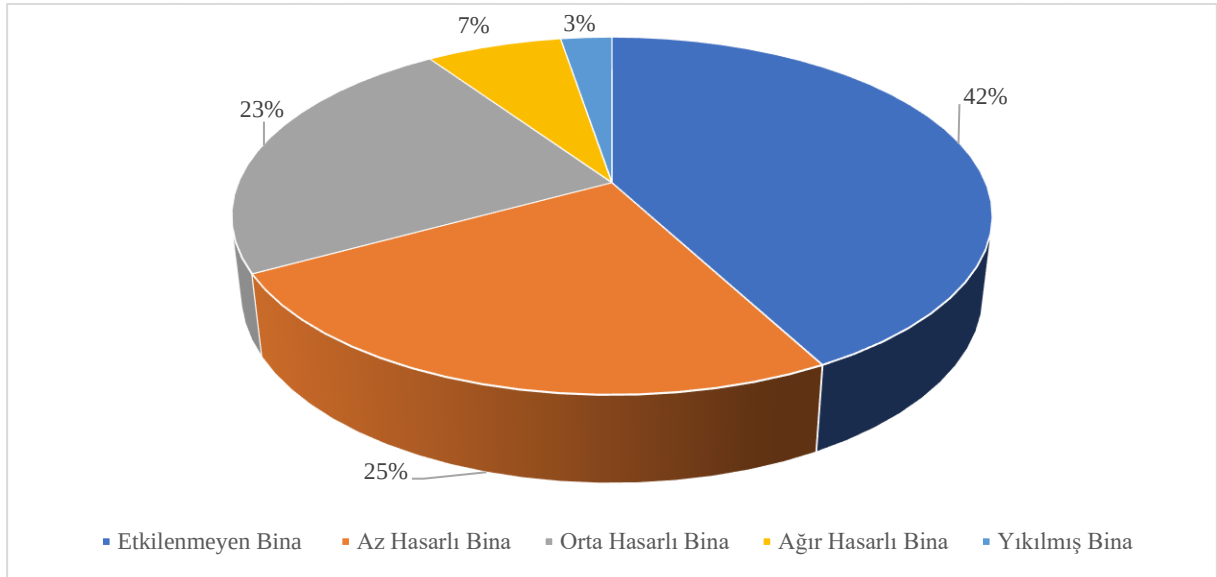
Sağlık ekipleri tarafından gerçekleştirilen ilkyardım faaliyetlerinin süreleri Şekil 7.5'te gösterilmektedir.



Şekil 7.5. İlk yardım Faaliyetlerinin Ortalama Süresi

İlk yardım ekipleri, arama-kurtarma ekipleri tarafından yaralı olarak kurtarılan depremzedelere diğer depremzedelerin arama-kurtarma işlemlerini beklemeden müdahale etmektedirler. Bu sebepten ötürü ilk yardım faaliyetlerinin süreleri arama-kurtarma faaliyet sürelerinden çok az bir farklılık göstermektedir.

Bakırköy ilçesinde yer alan binaların depremden etkilenme düzeyleri Şekil 7.6’ta oransal olarak ifade edilmiştir.



Şekil 7.6. Binaların Etkilenme Düzeyleri

Bakırköy ilçesinin jeoloji yapısı Şekil 5.3.’te yer alan Bakırköy formasyonu, Güngören formasyonu ve alüvyon zeminden oluşmaktadır. İstanbul ili için zemin sağlamlık durumuyla ilgili bilimsel tabana dayalı oransal olarak ifade edilebilecek bir çalışma bulunmamaktadır.

Bakırköy ilçesinin zemin sağlamlığıyla ilgili oransal bir çalışmanın olmaması sebebiyle simülasyon uygulamasında bu faktör değerlendirmeye alınmamıştır.

Gelecek  alışmalarda;

- Deprem parametreleri (zemin profili, odak derinliği, vb.) modele dahil edilerek deprem modeli geliştirilebilir.
- Arama-kurtarma ve ilkyardımd ekipleri için kapasite planı yapılabilir.
- Mahalleler bazında oluşturulan model il e, il, bölge veya ülke geneline uyarlanabilir.



KAYNAKLAR

- Dalgıç, S., Turgut, M., Kuşku, İ., Coşkun, Ç., vd. (2009). İstanbul'un Avrupa Yakasındaki Zemin ve Kaya Koşullarının Bina Temellerine Etkisi. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 8(2), 47-70.
- Özmen, B., (2002). İstanbul İli İçin Deprem Senaryosu, *Türkiye Mühendislik Haberleri* Sayı:417.
- Özmen, B., (2012). Türkiye Deprem Bölgeleri Haritalarının Tarihsel Gelişimi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt:55, Sayı:1.
- Tinal, M., (2017). 19.Yüzyıl İzmir Depremleri, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Cilt:10, Sayı:54.
- Erkal, T., (2009). Değerliyurt M., Türkiye'de Afet Yönetimi, *Doğu Coğrafya Dergisi*, S.22.
- Karakuş, U., (2013). Depremi Yaşamış ve Yaşamamış Öğrencilerin Deprem Algılarının Metafor Analizi ile İncelenmesi, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 18(29), 97-116.
- Göktaş, Y., Sözbilir, M., Çoban, M., (2017). Deprem Deneyimini Yaşamış Kişilerin Deprem Öncesi Hazırlık Algılarının Belirlenmesi: Bir Durum Çalışması, *Doğu Coğrafya Dergisi*, Sayı:37, Syf. 113-134.
- Gülüm, P., (2021). Deprem Sonrası Yangın Risklerinin Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Analizi ve İnsansız Hava Aracı Müdahalesi İçin Kendini Örgütleyen Haritalar ile Kümeleme Yaklaşımı, *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul*.
- Çakırer, Z., (2021). Simülasyon Modeli ile Deprem Senaryosu Oluşturulması ve Kayıp Tahmin Analizi: Kırıkkale İli Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale*.
- Çiftçi, S., (2021). Deprem Sonrası Sağlık Kaynaklarının Optimizasyon Yaklaşımıyla Planlanması: Kırıkkale Kent Örneği, *Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale*.
- Abbasoğlu, E., (2019). Deprem Riskinin Afet Lojistiği Depo Yerleşimine Etkisi: Bursa İli Örneği, *Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa*.
- Şen, B., (2021). Afet Sonrası Dağıtım Problemi İçin Bütünleşik Bir Çözüm Yaklaşımı, *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*.
- Altınsoy, U., (2018). Türkiye'de Meydana Gelebilecek Depremlere Karşı Afet Yönetim Sistemi ve Acil Durum Yönetimi Performansının Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum*.
- Fahjan, Y., Pakdamar, F., Eryılmaz, Y., Kara, F. İ., (2015). Afet Planlamasında Deprem Riski Belirsizliklerinin Değerlendirilmesi, *Artvin Çoruh Üniversitesi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, Cilt:1, Sayı:1-2, Syf:21-39.

- Çiçekdağı, H. İ., (2013). Deprem Verilerinin Analizi İçin Veri Madenciliği Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Küçük, M., (2016). Geçici-Afet-Müdahale Tesisleri Yerleşim Problemi İçin Stokastik Optimizasyon Bazlı Çözüm Yaklaşımları Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Tezcan, B., Alakaş, H. M., Özcan, E., Eren, T. (2023). Afet Sonrası Geçici Depo Yeri Seçimi ve Çok Araçlı Araç Rotalama Uygulaması: Kırıkkale İlinde Bir Uygulama. Politeknik Dergisi, 26(1), 13-27.
- Aghamohammadi, H., Mesgari, M.S., Mansourian, A. ve Molaei, D., (2013). “Seismic human loss estimation for an earthquake disaster using neural network”, International Journal of Environmental Science and Technology, 10(5):931-939.
- Samardjieva, E. ve Badal, J., (2002). “Estimation of the expected number of casualties caused by strong earthquakes”, Bulletin of the Seismological Society of America, 92(6):2310-2322.
- Badal, J., Vázquez-Prada, M. ve González, Á., (2005). “Preliminary quantitative assessment of earthquake casualties and damages”, Natural Hazards, 34(3):353 374.
- Wen-bin, C. ve Jiang, C., (2013). “Forecasting emergency demand based on BP neural network and principal component analysis”, Advances in Information Sciences and Service Sciences (AISS), 5(13):38-45.
- xia Wang, H., xin Niu, J. ve feng Wu, J., (2011). “ANN Model for the Estimation of Life Casualties in Earthquake Engineering”, Systems Engineering Procedia, 1:55-60.
- Zhao, M., Jiang, W., Yan, G., Zhang, X., & Ma, R. (2021). “Instant prediction of earthquake casualties for early rescue planning: a joint Poisson mixed modeling approach.” International Journal of Disaster Risk Reduction, 58, 102178.
- Karaman, H., & ŞAHİN, M. (2011). Zeytinburnu ilçesi için deprem hasar tahmini çalışması. İTÜ Dergisi/d, 8(3).
- Gül, M., (2016). Afet Olaylarında Acil Departman Kapasitelerinin Simülasyon Tabanlı Modellenmesi: Beklenen İstanbul Depremi Uygulaması, Doktora Tezi, T.C. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ren, Y., Ma, D., Wang, W., Wang, Z., Zhao, X., & Zhu, M. (2024). Probabilistic assessment of earthquake casualties in residential areas. International Journal of Disaster Risk Reduction, 104902.
- Söyler, H., Koç, A., (2014). Bir Kamu Hastanesi İçin Acil Servis Simülasyonu ve Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Ölçümü. Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6(2):117-132.
- Şen, G., & Esmer, S. (2017). Afet Lojistiği: Bir Literatür Taraması. The International New Issues in Social Sciences, 5(5), 231-250.

- Temiz, H., (2018). Afet Yönetiminde Lojistik Depo Seçimi ve Bir Uygulama. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul.
- Gökçe, O., Özden, G., Demir, A. (2008). “Türkiye’de Afetlerin Mekânsal ve İstatiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri”, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Öcal, A. (2007). İlköğretim Okullarında Deprem Hazırlıkları: Kırıkkale İl Örneği. Kastamonu Education Journal, 15(1), 1-12.
- JICA, İBB. (2002). Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması. İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi.
- İSMEP (2009). Birey ve Aile İçin Depremde İlk 72 Saat, İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, İstanbul.
- KJP, İBB. (2011). İstanbul İli Jeoloji Haritası. İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi.
- Türker, A. K., (2015). Üretim ve Hizmet Sistemlerinde Simülasyon ve Arena, Kırıkkale.
- Ersöz, F., (2021). Benzetim ve Modelleme, Seçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar, Ankara.
- Melamed, B., Altıok, T., (2007). Simulation Modeling and Analysis with ARENA, Elsevier.
- AFAD, Deprem Nedir, <https://www.afad.gov.tr/deprem-nedir> Erişim Tarihi: 11.01.2024
- AFAD, Türkiye Deprem Haritaları, <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi> Erişim Tarihi: 25.05.2023
- AFAD, Türkiye’de Gerçekleşen Depremler, <https://deprem.afad.gov.tr/event-statistics> Erişim Tarihi: 25.02.2024
- Bakırköy Belediyesi, Mahalleler, <https://www.bakirkoy.bel.tr/mahalleler> Erişim Tarihi: 29.02.2024
- KOERİ BOUN, Deprem Büyüklüğü, <http://www.koeri.boun.edu.tr/bilgi/buyukluk.htm> Erişim Tarihi: 28.02.2024
- KOERİ BOUN, Türkiye ve İstanbul Depremleri, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/default.asp> Erişim Tarihi: 01.03.2024
- Sezgin, M., & Karagöz, B. S. (2023). Kahramanmaraş Depreminin Konaklama İşletmelerine Etkisi ve Fay Tehdidi. Deprem ve Turizm. Eğitim Yayınevi. 1. Baskı. s.s. 105-118

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 2016 yılında girdiği Yalova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünden 2019 yılında mezun oldu. 2021-2022 yılları arasında Numarine Denizcilik firmasında Planlama Mühendisi olarak çalıştı.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Genç, F., & Sabuncu, İ., (2024). Loss Estimation Analysis With Earthquake Simulation: Istanbul Province Bakırköy District. 19th International Istanbul Scientific Research Congress On Life, Engineering, Architecture And Mathematical Sciences Proceedings Book. İstanbul. p.p: 425-426.

