



**DEPREM AFET RİSK YÖNETİMİNDE
MODEL PRATİKLERİNİN ROLÜ**

Yüksek Lisans Tezi

Can KARSLI

Eskişehir, 2022

DEPREM AFET RİSK YÖNETİMİNDE MODEL PRATİKLERİNİN ROLÜ

Can KARSLI

Yüksek Lisans Tezi

Yer Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muammer TÜN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos 2022

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Can KARSLI'nın DEPREM AFET RİSK YÖNETİMİNDE MODEL PRATİKLERİNİN ROLÜ başlıklı çalışması 22/08/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Yer Bilimleri Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Muammer TÜN

Üye : Doç. Dr. Bülent ÖZMEN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖZET

DEPREM AFET RİSK YÖNETİMİNDE MODEL PRATİKLERİNİN ROLÜ

Can KARSLI

Yer Bilimleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muammer TÜN

Modeller, deprem ve etkilerinin yarattığı riskler karşısında kilit bir role sahiptir. Uzmanlar güçlü bir yazılım paketi dahilinde yüksek teknolojiye sahip araçları içeren modeller geliştirerek afet yönetimini etkin kılmaya çalışmaktadır. Bu tez araştırması ulusal ve uluslararası düzeyde uygulama alanı bulan başlıca modellerin afet risk yönetimindeki rolüne ve potansiyeline odaklanmaktadır. Ayrıca öncül nitelikteki tsunami modellerine de yer verilmiştir. Modellerin ayrıntılı değerlendirmesi yapıldıktan sonra Türkiye özelinde, ilgili yüz uzmanın katılımıyla gerçekleşen istatistiki bir anket çalışması yürütülmüştür. Çalışmanın en çarpıcı bulgusu %83 yanıtlanma oranıyla dirençlilik ve kırılganlık analizlerinin görece olarak öncelikli olduğu yönündeki hâkim görüştür. Sonuç olarak, modellerin rolüne ve istatistiki verilere dayalı olarak ilgili kurumlara öneriler sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Deprem, Model, Afet yönetimi, Risk.

ABSTRACT

THE ROLE OF MODEL PRATICES IN EARTHQUAKE DISASTER RISK MANAGEMENT

Can KARSLI

Department of Geosciences

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August 2022

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Muammer TÜN

Models play a significant role in dealing with the risks posed by the earthquake and its aftermath. Experts are attempting to improve disaster management by building models that use software and high-tech devices. The role and potential of models employed at the national and international level are the main topics of this thesis study. There are also a few significant tsunami models included. After a comprehensive review of the models, a survey was conducted with the participation of 100 Turkish experts. The study's most striking conclusion is that resilience and vulnerability analyses are important and should be prioritized, 83 percent of participants agreed with this notion. As a result, based on the role of the models and statistical data, recommendations were made to the pertinent institutions.

Keywords: Earthquake, Model, Disaster managment, Risk.

TEŞEKKÜR

Öncelikle her zaman yanımda olan ve beni yüreklendiren aileme minnettarım. Çalışmam boyunca yardım ve katkılarıyla desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Muammer Tün'e içtenlikle teşekkürlerimi sunuyorum. Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN'nın ders aşamasındaki katkıları ve tez sürecindeki geliştirici önerileri elzemdi.

Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsüne sağladığı çalışma ortamı için müteşekkirim. Dostluklarını her zaman hissettiren arkadaşlarıma da yer vermezsem olmazdı. Son olarak çeşitli online platformlarda fikir danıştığım yerel ve uluslararası topluluklara teşekkür etmek istiyorum.

Can KARSLI

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Can KARSLI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
GÖRSELLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kavramlar & Genel İzah.....	3
1.1.1. Afet.....	3
1.1.2. Risk	3
1.1.3. Kırılganlık	4
1.1.4. Dirençlilik.....	4
1.1.5. Depremler.....	5
1.1.5.1. Sismik Dalgalarının Doğası	6
1.1.5.2. Ölçeklendirme ve Genel Standartlar.....	7
1.1.5.3. Sismolojik Bilgiyi Sağlayan Araçlar	11
1.1.6. Depremlerin Tetiklediği Afetler	12
1.1.6.1. Tsunami.....	13
1.1.6.2. Nükleer Sızıntı ve Yangınlar	14
1.1.6.3. Heyelanlar.....	15
1.1.6.4. Diğer.....	16
1.1.7. Model ve Simülasyon.....	17

2. KURAMSAL TEMELLER	20
2.1. Afet Risklerini Yönetmek	20
2.1.1. Deprem Afet Risklerini Azaltma.....	21
<i>2.1.1.1. Erken Uyarı Sistemleri</i>	<i>22</i>
<i>2.1.1.2. Deprem Tahminine Yönelik Çalışmalar</i>	<i>23</i>
<i>2.1.1.3. Uydu Teknolojilerinin Gelişimi ve Uzaktan Algılama</i>	<i>24</i>
3. DEPREM ODAKLI MODELLER.....	25
3.1. ELER.....	25
3.2. AFAD – RED	30
3.3. MARSITE	34
3.4. Radon Gazı Ölçümleri	37
3.5. ShakeAlert	41
3.6. PAGER.....	44
3.7. Global Earthquake Model (GEM).....	46
3.8. SHARE.....	48
3.9. SYNER – G	50
3.10. STREST	51
3.11. Tsunami Odaklı Modeller	53
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	57
4.1. Bulgular.....	57
4.2. Tartışma	61
5. SONUÇ	63
KAYNAKÇA.....	65
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1. Rayleigh ve love dalgalarının karşılaştırılması.....	7
Tablo 1.2. Yer bilimlerinde öne çıkan model türlerinin özellikleri	18
Tablo 1.3. Deprem odaklı afet risk yönetiminde simülasyonların kullanım olanakları.....	19
Tablo 3.1. ELER programında kullanılan veriler ve açıklamaları	26
Tablo 3.2. MARSite Projesi Kapsamında Gerçekleştirilen İş Paketleri	34



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Depremlerde salınan enerjinin formları	8
Şekil 1.2. Modifiye edilmiş deprem kaynak spektrumunun yorumlanmış hali.....	9
Şekil 3.1. ELER Programının metodolojisinin modifiye edilmiş akış şeması	25
Şekil 3.2. Zülfikar vd., (2017) kullandıkları hızlı yanıt sistemi akış şemasının modifiye edilmiş hali	27
Şekil 3.3. Marmara Denizi' nde 7.2 büyük senaryolu bir deprem için kapsamlı ve eksiksiz hasar dağılım haritaları (Zülfikar vd., 2017).....	28
Şekil 3.4. 30 Ekim 2020 M=6.9 EGE DENİZİ – İZMİR Depremi Aletsel Şiddet Haritası, KRDAE (http-2)	28
Şekil 3.5. KRDAE tarafından 30 Ekim 2020 Mw=6.9 EGE DENİZİ – İZMİR Depreminden sonra ön değerlendirme raporunda sunulan şiddete dayalı hafif, orta, ağır ve çok ağır hasarlı bina tahminlerinin dağılımı (http-2)	29
Şekil 3.6. AFAD-RED programının işleyişini gösteren diyagram.....	30
Şekil 3.7. Fahjan vd., (2015) şiddet haritası yer hareket parametrelerinin tahmini için geliştirdikleri algoritmanın modifiye edilmiş hali	31
Şekil 3.8. S4-S5 Fay Hattı, $M_w=7.25$ için olası şiddet ve olası hasar durumu (Farhah vd., 2015).....	32
Şekil 3.9. S4-S5 Fay Hattı hasar gören bina oranı (%) (Farjah vd., 2015).....	32
Şekil 3.10. İvmeölçer verilerine dayalı hazırlanan tahmini şiddet haritası (AFAD, 2020)	33
Şekil 3.11. Modifiye edilmiş iyonosfer ve iyonosfer kaynaklı hata grafikleri (Topçu vd., 2017).....	40
Şekil 3.12. 1 Ocak 2019 ile 31 Ekim 2020 tarihleri arasında meydana gelen 3.5 ve üzerindeki büyüklüğe sahip depremler için ShakeAlert sisteminin uyarı verme süresindeki dağılımı gösterir haritalar ve histogram (McGuire vd., 2021)	42
Şekil 3.13. GEM' in bileşenlerini gösteren diyagram	47
Şekil 3.14. GEM tarafından sunulan küresel deprem risk haritası (Silva vd., 2018)	48
Şekil 3.15. Avrupa Sismik Tehlike Haritası (Giardini vd., 2013).....	50

Şekil 3.16. Güney Pasifik ve Hint Okyanusu kıyılarında Tsunami Ready onayı alan bölgeleri gösterir harita (http-11 ’ den indirilerek yeniden düzenlemiştir)	56
Şekil 4.1. Türkiye’ de öncelikli olarak odaklanması gereken alana yönelik katılımcı değerlendirmelerinin dağılımı	58
Şekil 4.2. Katılımcıların göreceli olarak öncelikli olduğunu düşündükleri çalışmaların dağılımı.....	58
Şekil 4.3. Türkiye’de deprem erken uyarı sisteminin toplumu kapsayacak şekilde uygulanması hakkında katılımcı görüşlerinin dağılımı.....	59
Şekil 4.4. Katılımcıların Türkiye’deki gerçek zamanlı kayıp tahmin sistemleri hakkındaki görüşlerinin dağılımı	60
Şekil 4.5. Deprem tahminine yönelik potansiyel taşıyan yöntemlerin katılımcılar tarafından değerlendirilme oranı.....	60
Şekil 4.6. Erken uyarı sistemleri ve gerçek zamanlı kayıp tahmin sistemlerinin bilinirlik oranları	61
Şekil 4.7. Dirençlilik ve kırılganlık analizlerine yönelik geliştirilen modellerin bilinirlik oranları	61

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 3.1. Radon gazı ölçümünü etkileyen çevresel faktörler	38
Görsel 3.2. 30 Ekim 2020’ de İzmir açıklarında meydana gelen depreme ait PAGER raporu (http-7)	45



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BM	: Birleşmiş Milletler
STK	: Sivil Toplum Kuruluşları
EM – DAT	: Emergency Events Database
UNDRR	: United Nations Office for Disaster Risk Reduction
MEMS	: Mikro Elektro Mekanik Sistem
KRDAE	: Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü
ELER	: Earthquake Loss Estimation Routine
MARSite	: Marmara Supersite
AB	: Avrupa Birliği
USGS	: United States Geological Survey
TPC	: Testing and Certification Platform
PAGER	: Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response
GEM	: Global Earthquake Model
SHARE	: Seismic Hazard Harmonization in Europe
SYNER – G	: Systemic Seismic Vulnerability and Risk Analysis for Buildings, Lifeline Network and Infrastructures Safety Gain
STREST	: Harmonized Approach to Stress Tests for Critical Infrastructures Against Natural Hazards
GOOS	: Global Ocean Observing System
DART	: Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis

1. GİRİŞ

Dünya gezegeninin dinamiği ve uzay zaman konumu canlı yaşamı için elverişli koşulları yaratırken aynı zamanda toplu yok oluş felaketleri gibi yaşamı kökünden yıkıma uğratabilecek ya da tahrip edebilecek güce de sahiptir. Medeniyeti tehdit eden gücün başlıca tezahürlerinden birisi de depremlerdir.

Tarihsel süreçte sıkça olageldiği gibi günümüzde de afetlere sebebiyet veren ve bu tez araştırmasının odağında yer alan depremler gezegenin oluşum sürecinin doğal bir sonucudur. İnsan toplumları çağlar boyunca depremleri ve sonucunda gerçekleşen afetleri deneyimleyerek yeryüzünün bu doğal mekanizmasına açıklama getirmeye çalıştı. Bağımsız coğrafyalardaki farklı kültürler depremleri anlamlandırma arayışında genellikle mitoloji ve batıl inançları merkeze alarak sosyal veya siyasi durumlar ile depremler arasında kozmik bir neden sonuç ilişkisi kurdu. 20'nci yüzyılın başında ise teknolojik gelişmeler hızlanmış, pek çok bilim dalında önemli dönüşümler yaşanmıştır. 1960'lı yılların ortasına gelindiğinde levha tektoniği teorisi geniş çevrelerce kabul görmüş, deprem oluş mekanizmaları tanımlanmış ve sismoloji bilimi ivme kazanmıştır. Deprem algılayışındaki değişimle beraber afet risk yönetimi de yeni yerbilimsel çıktılarının ekseninde gelişim göstermeye başlamıştır.

Dünya çapında deprem riskleriyle verilen mücadelede küreselleşmenin avantajları kullanılarak kamusal, sektörel ve STK düzeyinde iş birliği güçlendirilse de depremlerin ortaya çıkarttığı afetler sonucu meydana gelen ekonomik kayıplar artma eğilimindedir (Di Baldassarre vd., 2018 s. 305). EM-DAT istatistikleri ve az gelişmiş ülkelerdeki kapasite eksikliğinin yol açtığı sağlıklı veri girdileri göz önünde bulundurularak hazırlanan BM raporuna göre afet kaynaklı toplam ekonomik hasarın yaklaşık %21'nden can kayıplarının ise %58'nden depremler sorumludur (BM, 2020). Mevcut durum; kıt kaynak sorununun, hızlı nüfus artışının, finansal ve mali krizlerin baskıladığı dünya toplumları için deprem kökenli afet risk yönetimindeki başarıların zamanla daha kritik bir rol oynayacağına işaret etmekte. Bunun yanı sıra iklim değişikliğiyle doğrusal olarak artması beklenen afetler yüzünden gelecekte küresel ve yerel kuruluşların kapasitelerinin büyük kısmını küresel ısınma odaklı afet risk çalışmalarına kanalize etmek durumunda kalabileceği öngörülmektedir.

Yetersiz veri sorunu ve gelecekte beklenen depremlerin parametreleri hakkındaki çıkarsamaların olasılıksal tahminlere dayanması, deprem odaklı afet risk stratejileri geliştirilirken karşılaşılan başlıca iki zorluktur. Örneğin 2011 Büyük Doğu Japonya

Depremi sonrası büyük tsunami dalgaları hakkında yapılan yerbilimsel çalışmalar 2011 yılından önce hangi bilgi eksikliğinin tehlike değerlendirmelerinde büyük tsunamilerin göz ardı edilmesine neden olduğunu açıkça ortaya koyamadı (Goto vd., 2021). Nitekim depremden sonra meydana gelen tsunami doğudan çok sayıda can kaybına neden olmakla kalmayıp Fukushima Nükleer Santralindeki radyoaktif sızıntıyı tetikleyecek olaylar silsilesine de zemin hazırladı. Yakın dünya tarihinin bu büyük felaketi depremin farklı türden afetlerin oluşumunda nasıl katalizör işlevi görebileceğinin çarpıcı örneklerinden biridir.

Günümüzdeki bilimsel ve teknolojik araçlar ile özellikle büyük miktarda enerji açığa çıkartan depremleri doğal coğrafyasında veya laboratuvar ortamında birebir taklit edebilen ampirik çalışmalar yapmak imkanlar dahilinde değildir. Bu nedenle depremlere karşı dirençli toplumlar yaratma sorumluluğu üstlenen kurumlar, yetkililer ve bilim insanları afet risk programları hazırlarken pek çok veriyi göz önünde bulundurarak olası senaryolar tasarlamak durumunda kalır. Saniyede trilyonlarca işlem yapma kapasitesine sahip süper bilgisayarların yaygınlaşmasıyla yerbilimsel bilgi paketlerini içeren verilerin işlenmesi kolaylaşmış ve bu sayede fiziksel simülasyonlara dayalı modelleri çıkartmak mümkün hale gelmiştir. Bilgisayar bilimindeki ilerlemelerin yanı sıra yerbilimsel laboratuvar teknolojilerinde uygulama alanı bulan üç boyutlu baskı vb. yenilikler levhaların ve topografyanın hassas ölçeklerde taklit edilmesine imkân sağlayarak dalgaların hareketine yönelik çalışmalara katkı sağlamaktadır. Ayrıca lazer tabanlı teknikler, coğrafi bilgi sistemleri ve mobil uygulamalar gibi yöntemlerin sismoloji çalışmalarına entegrasyonuna dair bilimsel çabalarda hız kazanmıştır. Çeşitli disiplinlerin çalışma verileri sonucunda üretilecek model ve simülasyonların afet risk planlayıcıları için güçlü bir enstrümana dönüşmesi alanda çalışan ekip ve kişilerin temel motivasyonudur.

Bu tez araştırması hem ulusal hem de uluslararası düzeyde uygulama alanı bulan ve deprem afet yönetiminin önemi bileşeni haline gelen modelleri kapsamaktadır. İlgili bazı tsunami modelleri de bu kapsamda ele alınmıştır. Çalışmanın amacı deprem odaklı modellerin afet yönetimine sağladığı katkı ve gelecekte oynayabileceği role ilişkin bir yaklaşım sunmaktır. Ayrıca uzman yanıtlarına dayalı olarak gerçekleştirilen istatistiki çalışmayla Türkiye'deki durum ortaya konmuştur.

1.1. Kavramlar & Genel İzah

Bu bölümde tanımların ifade ettiği anlamlar betimlenecek ve çalışma için temel oluşturan nitelikleri açıklanacaktır.

1.1.1. Afet

Afetler doğa veya beşerî faaliyetler sonucu meydana gelerek canlı yaşamına mâl olan yahut tahribat veren, türüne ve oluşum hızına bağlı olarak kısmen öngörülebilir olsa da mutlak doğrulukla bilinemeyen, yarattığı maddi zarar mahalli hatta ulusal sınırları aşarak uluslararası boyutlara varabilen durumlardır (BM, 2015, s. 10). Farklı zamanlarda değişik formlarda afetlere maruz kalınması doğal olarak çeşitli düzeylerde afet algısı oluşmasına neden olmuştur. Örneğin aktif fay hatlarının sıkça depremlere neden olduğu antik Yunan uygarlıklarında meydana gelen felaketler inanç sistemindeki tanrıları adlandırmada ve karakter özelliklerini nitelendirmede rol oynayacak derecede etkilidir. Günümüzde pek çok tanımı olmakla beraber gerçekleşen bir olayın afet olarak tanımlanabilmesi yol açtığı sonuçlar itibariyle canlı, çevre veya her ikisi üzerinde olumsuzluklar yaratıp yaratmamasına bağlıdır. Örneğin ekstrem değerlerde enerji açığa çıkartan bir olay dahi eğer canlı yaşamı ve çevre üzerinde bir yıkım yaratmıyorsa afet olarak değerlendirilemez.

1.1.2. Risk

Gündelik ve akademik dilde pek çok durumun analizinde kullanılan ‘risk’ kavramı bu çalışmada “afet riski” özelinde ele alınacak ve tanımlanacaktır. Bileşmiş Milletler Risk Azaltma Ofisi terminoloji sözlüğüne göre risk bir olayın olasılığı ile olumsuz sonuçlarının kombinasyonudur ve bu izahın bir türevi olarak afet riski de gelecekte meydana gelmesi muhtemel bir afet sonrası toplumun yaşam, sağlık, maddiyat ve hizmet kaybına uğraması durumlarının gerçekleşebilirliğini ifade eder (UNDRR, 2009).

Risk ve tehlike kavramları sıklıkla birbirlerinin yerine geçecek şekilde kullanılsalar da temelde farklı durumları betimlerler. Bu farklılaşma özellikle afet biliminde kritik öneme sahiptir. Tehlike belirli veya belirsiz bir zaman diliminde zarar verme potansiyeli süreklilik arz eden bir durumu temsil ederken risk ise zararın potansiyel olmaktan çıkarak kinetik bir süreç içerdiği ve her türlü olumsuzluğunda ihtimal dahilinde bulunduğu sonuç kombinasyonuna işaret eder. Tehlike riske göre öncül ve durağın bir yapıdayken risk,

olasılıksal ve dinamiktir. Risk belirsizlikler barındırır buna karşın tehlike olasılıktan bağımsızdır ve öngörülebilir.

1.1.3. Kırılğanlık

Çeşitli disiplinlerin terminolojisinde farklı anlamlarda kullanılan kırılğanlık, afet biliminde toplum ile sistemin tehlikeler karşısındaki duyarlılığını ve maruz kalma seviyesini tanımlar (Adger, 2006). Başta mühendislik yapıları olmak üzere fiziki çevrenin yeterliliği, ekonomik olanaklar, iletişim kaynaklarının etkinliği ile ulaşılabilirliği, kitlenin bilinç düzeyi, eğitim ve kültürel düzeydeki durum vs. kırılğanlık değerlendirmelerindeki önemli faktörlerden bazılarıdır.

Bir bölgedeki tehlike göz önünde bulundurarak kırılğanlığı somut olarak ölçmek veya değerlendirmek güçtür. Kırılğanlığın derecesi genellikle homojen şekilde dağılmaz ve örnek kümedeki mekânsal değerler ciddi farklılıklar gösterebilir (Toke, Boone ve Arrowsmith 2014). Kırılğanlıklardaki afet eşitsizliklerine yoğunlaşan Tate and Emrich (2021) en savunmasız nüfus gruplarına yönelik iyileştirmeler düzenlenirken kullanılan istatistik tabanlı modellerde çeşitli parametrelerin girdi olarak kabul edilmesinin gerekliliğine ve sosyal adaleti gözetmekle yükümlü son kullanıcılar için verilerin ölçeklendirilmesinin önemine vurgu yapar.

1.1.4. Dirençlilik

Monte vd., (2021, s. 10) göre dayanıklılık bireyin, toplumun veya sistemin tehlikelerle başa çıkma, tehlikelere karşı kendisini geliştirme ve bu tehlikelerden kurtulma becerisidir. Yine Monte' ye göre sosyal refah, kamusal düzen ve işlevsellik herhangi bir dış yardım olmadan gerçekleşmelidir. Mühendislik uygulamaları, beşerî ve fiziki bilimler, mahalli idare düzenlemeleri, etkili merkezi denetim, yürürlükteki yasalar, kamuoyu farkındalığı vb. pek çok çalışma alanının kesişiminde yer alan dirençlilik olgusu kaçınılmaz olarak disiplinler arası paydaşlığa dayanmaktadır.

Küresel kuruluşların son yıllardaki girişimleriyle afet öncesine odaklanan çalışmalara yönelim hız kazanmıştır (Varol ve Kırıkkaya, 2017, s. 3). Risk azaltma, afet öncesi hazırlık ve deprem master planlarının önceliklendirilmesi dirençlilik olgusunun ön plana çıkmasına neden olmuş, iklim değişikliği ve pandemiyle dirençliliği sarsılan topluluklar için bilim insanlarının üreteceği çözüm ile öneriler artan bir şekilde önem kazanmıştır. Bu doğrultuda dijital ve uydu teknolojilerinin birlikteliği ile

gerçekleştirilecek kitle-kaynak merkezli uygulamaların afet çalışmalarına entegrasyonu, toplulukların ve kentlerin dirençliliğini arttırmaya yönelik ileri yöntemlerin başında gelmektedir (Tün, Pekkan ve Mutlu, 2018).

1.1.5. Depremler

Depremlerin doğası açıklanırken jeoloji biliminin üç temel öncülünden kısaca bahsedilecektir. Bunlardan birincisi Dünya gezegeninin katmanları ikincisi plaka tektoniği kuramı ve üçüncüsü de plakaları birbirlerine göre göreceli olarak hareket ettiren kuvvetlerdir.

Sismograflar sayesinde deprem dalgaları bilim insanları tarafından bilimsel bir araç olarak kullanılabilmiş, elde edilen veri ve gözlemler ışığında dünya katmanlaşmasının bilgisi ortaya konulmuştur. Karasal gezegenler sınıfında yer alan Dünya' nın diğer gezegenlerde olduğu gibi yerçekimi kuvveti ile şekillenen katmanları üç ana bölümden oluşmaktadır, bunlar dış kısımdan iç kısma doğru sırasıyla kabuk, manto ve çekirdektir. Çekirdek iç – dış, manto alt – üst, kabuk ise okyanusal – kıtasal olarak ikiye ayrılmaktadır. Çekirdekten litosferik mantoya doğru gidildikçe basınç ile sıcaklığın azalması yoğunlukta da azalmaya sebep olur, bunun doğal sonucu kıtasal kabuğun yoğunluğu göreceli olarak düşüktür ve bu düşük yoğunluk kıtaların alt kısımdaki konveksiyon akımlarına karşı duyarlı olmalarına, hareket etmelerine ve mantoya gömülmemelerine neden olur (Tarbuck and Lutgens, 2014).

İkincil öncül bilim tarihinin en önemli teorilerinden birisi olarak kabul gören levha tektoniği kuramıdır. Dünya katmanının en dıştaki katı litosferi yekpare değil çeşitli boyutlarda ve şekillerde plakalardan meydana gelmektedir. Göreceli düşük yoğunluğu sebebiyle stabil pozisyonda kalamayan plakaların kompleks davranışlarını açıklayan tektonik ve bu etkileşimler sonucu litosferde gerçekleşen süreçler ile sonuçlara odaklanan plaka tektoniği depremlere neden olan mekanizmayı izah eder (Skinner and Murck, 1999, s. 120). Teori gezegenin iç kısımlarında gerçekleşen ısı transferleri ve konveksiyon akımlarının plakaları harekete geçiren sürükleyici kuvveti yaratmada oynadığı role vurgu yapar.

Son öncül ise plaka hareketlerine neden olan kuvvetlerdir. Dört sürükleyici kuvvetin plakaların açılma bölgelerinden dalma batma bölgelerine itilmesinde payı vardır. Bu kuvvetlerden ilki ikinci öncülde değinilen astenosferde gerçekleşen konveksiyon

akımlarıdır. Yüksek basınç, yoğunluk ile sıcaklık gezegeni aktif kılarken aynı zamanda ısı transferi ve güçlü konveksiyon akımları yaratır. Yoğunluğu yüksek bu akımlar plakalara taban kısmından sürükleyici kuvvet uygular. Diğer bir sürükleyici kuvvet açılma bölgelerinde gerçekleşir. Yükselen erimiş magma önce litosferi yukarı yönlü iter sonrasında yükselen litosferin soğuyan kütlesi yerçekimi kuvvetine yenik düşerek iki yandan aşağıya vektörel uzantıda sürüklenme baskısı oluşturur. Bir başka sürükleyici kuvvet levhanın bir kısmındaki yoğun ve soğuk bölgenin sıcak astenosfere batarak levhanın geri kalanına çekme kuvveti uygulaması şeklinde gerçekleşir. Son durumda ise levhanın bir parçası koparak astenosfere batar ve levhanın sürüklenme kuvveti durulur fakat ana levhanın aşağıya doğru emilmesini sağlayan başka kuvvetler üretir (Stanley and Luczaj, 2015, s. 119).

Depremler, aktif bir gezegen olan dünya' nın izah edilen bu üç öncülünün sonucu olarak meydana gelmektedir. Kaya bloklarında biriken enerjinin bir fay boyunca kırılarak enerjisini boşaltması ile her yöne yayılan sismik dalgalar açığa çıkar ve yüzeyde yer sarsıntısına neden olur. Ani kırılmanın veya kaymanın olduğu bölgeye odak, ani kırılma sonu açığa çıkan sismik dalgaların katmanının en dışındaki zeminle bulunduğu yere ise depremin merkez üssü denir. Depremlerin odak bölgesi litosferik plakanın çeşitli derinliklerinde gözlemlenebilir.

1.1.5.1. Sismik Dalgalarının Doğası

Kayalarda biriken elastik enerjinin boşalmasıyla yayılan sismik dalgaların davranışı tek tip değildir. Yaşanan bir deprem sonucu iki ana deprem dalga formu gözlemlenir, bunlar cisim ile yüzey dalgalarıdır ve iki dalganın da ortak özelliği odaktan dış taraflara yayılmasıdır.

Gezegenin iç katmanlarından geçen cisim dalgaları ikiye ayrılır bunlardan ilki P dalgası olarak adlandırılan birincil dalgadır. P dalgalarının hızı yüksektir ve sismograflara ilk ulaşır. İkincil dalga olarak adlandırılan S dalgaları P dalgalarından daha yavaştır ve sismograflara P dalgalarından sonra ulaşır. P ve S dalgaları arasındaki önemli bir diğer fark ise P dalgaları sıvılarda enerjisini iletmeye devam edebiliyorken S dalgaları sıvılardan geçemez. P ve S dalgaları arasındaki bu farklılaşma gezegenin iç yapısını ve katmanlarını çözümlemede kritik bilgiyi sağlar (Kump, Kasting and Carne, 2010, s. 124).

Yüzey dalgaları rayleigh ve love dalgası olarak ikiye ayrılır. Genel olarak hızları cisim dalgalarından daha düşük olan yüzey dalgalarının genlikleri daha büyüktür ve

zeminin kayalık, alüvyon veya kumlu çakıllı yapısına göre sismograflara düşen genliği ve maddi yapılar üzerindeki yıkıcılığı farklılık gösterebilir (Kump, Kasting and Carne, 2010, s. 127). İki dalğanın benzer ve farklı özellikleri Tablo 1.1.' de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. *Rayleigh ve love dalgalarının karşılaştırılması*

Benzerlikler	Farklılıklar
Sismograf kayıtlarında genliğin büyük olduğu aralığa denk düşerler	Rayleigh dalgaları yuvarlanma formu gösteren boyuna ve dikey dalgaların kombinasyonu iken love dalgaları yatay olarak salınım gösteren enine dalgalardır
Mesafe ve derinlik arttıkça genlikleri azalır	
Tabakalı ortamlarda dağılırlar	Love dalgaları rayleigh dalgalarından daha hızlıdır

Sismik dalga türlerinin daha iyi anlaşılması ve araştırma enstrümanı olarak kullanımı gezegenin iç yapısının çözülmesi, çekirdeğin manyetik alan üzerindeki etkisini yorumlama vb. pek çok temel doğa bilimsel araştırmaya ışık tutarken büyük depremlere hazırlanan şehirlerde erken uyarı sistemleri gibi risk azaltıcı tekniklerin geliştirilmesine de katkı sağlar.

1.1.5.2. Ölçeklendirme ve Genel Standartlar

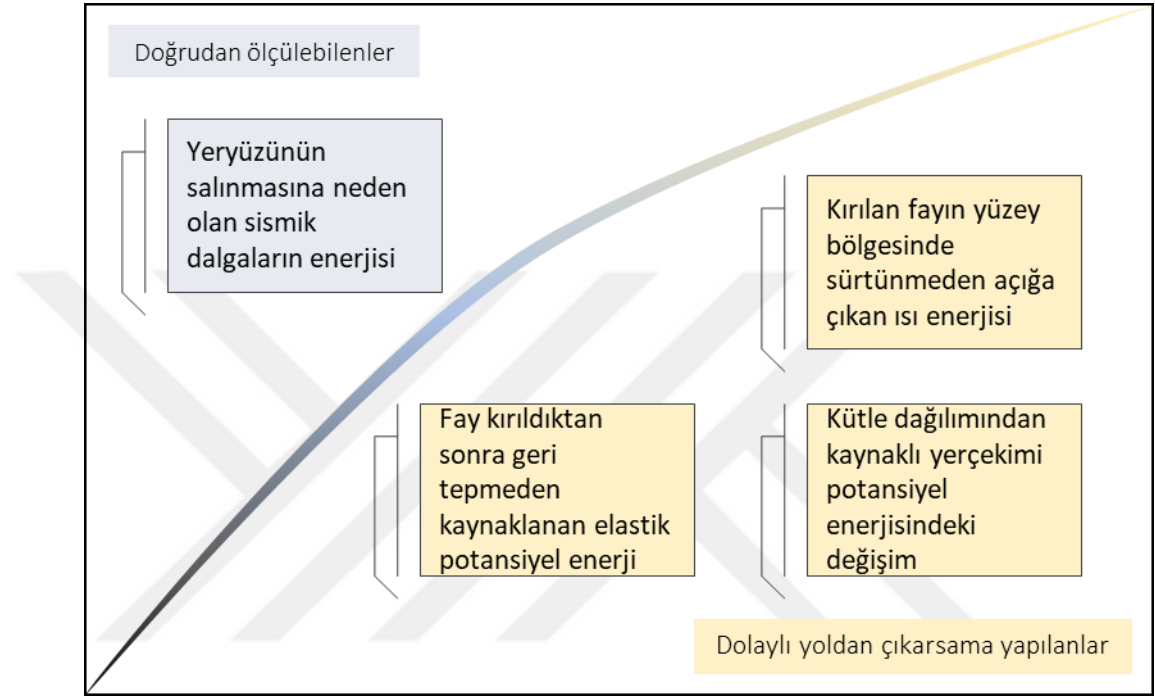
Karmaşık depremin bilgisinin bilim insanları, karar vericiler ve kamuoyu tarafından sağlıklı bir şekilde anlaşılması bilginin sade ve anlam karmaşasına sebebiyet vermeyecek standartlara uyması ile mümkündür. Bu başlıkta günümüzde tüm dünyada uygulama alanı bulan depremin büyüklüğü, şiddeti, konum tespiti, faylanma tipi, derinliği gibi temel yöntem ve ölçeklere değinilecektir.

Depremlerle ilgili parametrelerin temelinde enerji belirleyici unsur olduğu için açığa çıkan enerji ve genel olarak enerjinin doğasının vurgulanması önem arz etmektedir. Kabaca maddeyi harekete geçirme, iş yaptırma, 'şeyleri' gerçekleştirme kapasitesi olarak tanımlanan enerji evrende farklı türlerde bulunabilir. Kimyasal, nükleer, yerçekimi gibi temel enerji tipleri olmakla beraber depremlerin sismik dalgalarını yaratan ise depolanan mekanik enerjidir (Skinner and Murck, 1999, s. 32).

Faylarda biriken stres deprem tahminine yönelik zamansal ve konumsal olarak anlamlı bilgiler üretebilecek şekilde örüntülü veya orantılı gelişim göstermez. Mevcut

segmentte gerçekleşen büyük bir deprem fay üzerindeki sismik aktiviteyi tetikleyebilir veya yavaşlatabilir (Kanamori and Brodsky, 2001).

Şekil 1.1.' de görülebileceği gibi depolanan enerjinin depremlerle serbest kalması sonucu ortaya çıkan enerji tek formda değildir (http-1).

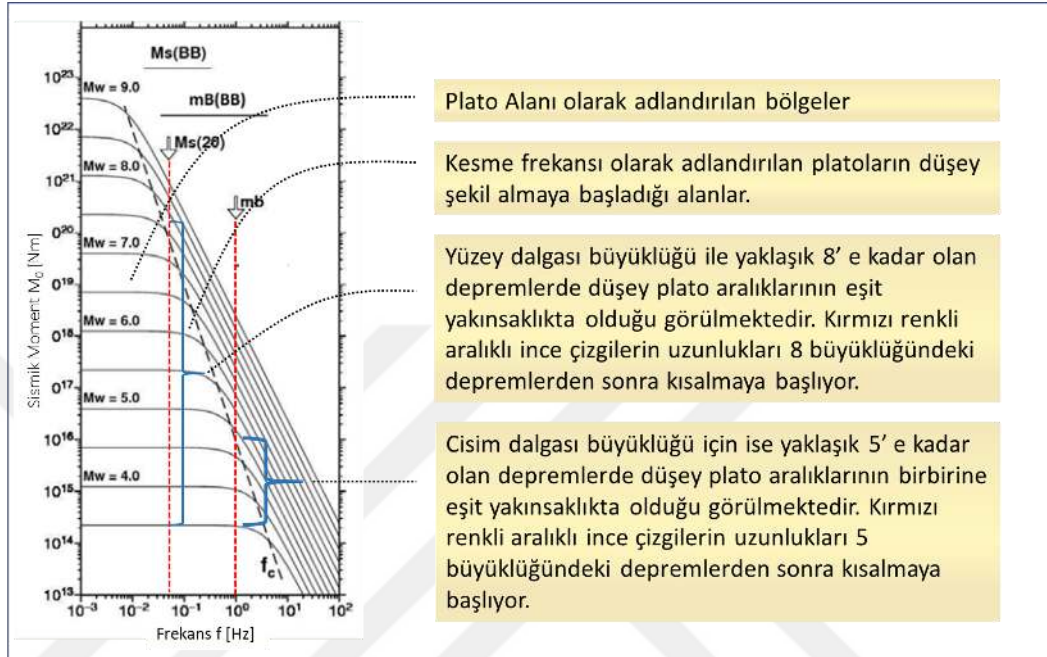


Şekil 1.1. Depremlerde salınan enerjinin formları

Günümüzde sismik dalgaları algılayıp kaydedebilen sismograflar sayesinde depremde açığa çıkan enerji ölçülebilmektedir. Sismograflardan çekilen deprem enerji bilgisinin pratik kullanımı içinde bilim insanlarınca niceliksel ölçek sistemleri düzenlenmiştir. Bu ölçekler temelde ikiye ayrılır. Dünyanın her yerinde uzaklıktan bağımsız olarak aletsel verilere dayanan büyüklük ölçeği ve öznel deneyime, bireysel gözleme dayalı şiddet ölçeğidir.

Charles Richter Kaliforniya eyaletinde meydana gelen yerel depremlerin büyüklüğünü hesaplamak için kendi adını taşıyan Richter Ölçeğini geliştirdi. Charles Richter bu ölçekte TNT cinsi patlayıcının ton bazında açığa çıkarttığı enerjiyi referans olarak kullanmıştır. Büyük ve küçük depremler arasındaki büyüklük farkı astronomik olabildiği için ölçek logaritmiktir. 1 birimlik fark 10 kat büyüklüğe ve yaklaşık 30 kat daha fazla enerji salma gücüne karşılık gelir.

Bormann, Wendt, Di Giacomina (2013, s. 16) tekrardan düzenledikleri deprem kaynak spektrumunun yorumlanmış hali şekil 1.2.' de gösterildiği gibi belirli bir eşikten sonra büyüklüğünün artmadığı görülmektedir.



Şekil 1.2. Modifiye edilmiş deprem kaynak spektrumunun yorumlanmış hali

Günümüzde M_L şeklinde standartlaştırılan yerel büyüklük Charles Richter' in orijinalinkine benzer bir formül ile hesaplanır ve depremi kaydeden istasyonlardaki verilerin ortalaması alınır.

Yerel Büyüklüğün (M_L) uzak mesafeler için sağlıklı çalışmadığını fark eden Richter ve Gutenberg Yüzey Dalgası Büyüklüğünü (M_S) geliştirdiler. Daha sonra Gutenberg Cisim Dalgası Büyüklüğünü (M_b) tanıttı. Bahsedilen bu üç ölçeğin sorunu büyük depremleri ölçmek için elverişli olmamalarıydı. Bunun sebebi belirli bir büyüklükten itibaren sismograflardaki maksimum genliğin artmamasıdır.

Tanımlanan büyüklük ölçeklerinin en büyük avantajı sismograftaki en büyük maksimum genliği kullanarak hızlıca verileri kullanılabilir hale getirmesiydi fakat büyük depremler için elverişli olmaması bilim adamlarını farklı arayışlara yönlendirdi. Bu sorunun üstesinden gelmek için Thomas Hanks ve Hiroo Kanamori moment büyüklük adını verdikleri frekanstan bağımsız, kaynak spektrumunun plato alanından çözümleme

yapılmasına imkân sağlayan yöntemi geliştirdi. Moment büyüklük ölçeği gelişmiş, modern sismograflardan sağlanan en düşük frekans bilgisini temel alır. Fayın alanı, deprem sırasındaki yer değiştirme ve kayacın rijitliği sabit parametreler olarak değerlendirilir. Uzak mesafeli, büyük, düşük frekanslı depremlerde etkili bir yöntemdir. Hesaplanan büyüklük bilgisi ise ilgili kuruluşlarca zamanla değiştirilebilir, güncellenebilir. Bunun nedeni dünya sismik ağında kaydedilen deprem dalgalarının karmaşık veriler içermesidir. Günümüzde moment büyüklüğü standartlaşmış, özellikle büyüklüğü 5’ ten fazla olan depremlerde neredeyse tek başvuru yöntem haline gelmiştir.

Levha sınırlarının sonlu olması fayın uzunluğuna da limit koyar ve en uzun fay için bile elastik gerilimin bir doyum noktası bulunur. Bu açıdan ele alındığında sismologlar arasındaki yaygın görüş gezegendeki deprem büyüklüğünün doğal bir maksimumunun olduğu, olması gerektiği yönündedir. Henüz üst sınırın net bir şekilde belirlenememesi ve sismik geçmişinin kısa bir diliminin bilgisine sahip olunması göz önüne alındığında deprem büyüklük ölçeklerinin açık uçlu olması gerekliliğinin altında yatan nedenler anlaşılmış olur.

Diğer ölçek türü ise depremin şiddetidir. Giuseppe Merchalli tarafından tasarlanan, kendi adını taşıyan Merchalli ölçeği özellikle sismograf teknolojisinin gelişmediği, sismik ağın tamamlanmadığı dönemlerde meydana gelen depremlerin değerlendirilmesi, incelenmesi ve kayıt altında tutulması için faydalı bir ölçeklendirme yöntemi olmuştur (Skinner and Murck, 1999, s. 150). Bugün değiştirilmiş hali olan Modifiye Merchalli ölçeğinin kullanımı yaygındır. Ölçek bireysel gözlemlere, deneyimlere dayalıdır ve durum bilgisi beyanat, bildirim yoluyla toplanır. Bireylerin ölçek bildirimlerini şahsi ve mahalli lokasyonlarındaki yapı stoğu, merkez üssüne uzaklık ve yerleşim yerindeki kayaç tipi başlıca olarak etkiler. Büyüklük ölçeğindeki gibi düzeltmeler yapılmaz ve merkez üssünden uzaklaştıkça ölçeğin şiddeti düşer. Toplanan veri sübjektif nitelikte olduğu için depremin büyüklüğü ve salınan enerji hakkında bilgi vermez. Deprem şiddetini ölçmek isteyen kuruluşlar internet ve bilgi teknolojileri yaygınlaşmadan önce örneklem gruplarına dahil ettikleri hane ve kurumlara posta yolu ile ulaşır, yanıtlanan anket formu verilerine göre ölçeklendirmeyi gerçekleştirirlerdi. Günümüzde mobil uygulamalar ve web arayüzleri sayesinde hızlı ve düşük maliyetli biçimde veriler toplanarak işlenebilmektedir.

Temel deprem parametrelerinden birisi de depremin konumudur. Depremin yeri, sıklığı ve dağılımı bölgenin tektonik yapısı hakkında önemli bilgiler verirken oluşturulan harita veya grafiklere göre depremlerin bir doğrultu boyunca sıralanıp sıralanmadığı yargısına da varılabilir. Depremin merkez üssü fayda kırılmanın başladığı andan itibaren yayılan P ve S dalgalarının istasyonlara varış süreleri, dalgaların gelme yönü ve yatay hızları gibi bilgiler aracılığıyla tespit edilebilmektedir (Havskov, Bormann and Schweitzer, 2012, s. 2). Deprem merkez üssünün tespiti çoğunlukla birden fazla sismograf kullanılarak hesaplanırsa da temel üç bileşeni ölçebilen tek sismograf sayesinde de konum belirlemek imkân dahilindedir. Birden fazla istasyonlu ölçümlerde ise daire yöntemi en klasik çözümlemelerden birisidir. Bu yöntemde göre en az üç istasyondan P ve S dalgalarının sismografa varış süreleri hesaplanır ve aradaki farka tekabül eden uzunluk yarıçap kabul edilerek sismograf merkezli daire çizilir. Diğer iki sismograf içinde gerçekleştirilen işlemlerden sonra dairelerin kesişim noktası deprem üssünü işaret eder. Bölgedeki sismograf sayısı arttıkça üs noktasının tespit etmekteki hassasiyette doğru orantılı olarak artar. Depremin lokasyon tespitinde bilgisayar tabanlılar dahil pek çok yöntemde bulunmaktadır.

1.1.5.3. Sismolojik Bilgiyi Sağlayan Araçlar

Deprem çalışmalarının başlıca aygıtı sismograflardır. Güncel TDK sözlüğünün depremyazar şeklinde tanımladığı sismograflar yeryüzünde meydana gelen depremleri, volkanik faaliyetleri, titreşime sebep olabilecek her türden doğa olayı ve insan faaliyetlerini hassas şekilde ölçüp kaydedebilen fiziksel aletlerdir.

Sismografların çalışma prensibi klasik fizikteki eylemsizlik ilkesine dayanır. Bu ilkeye göre herhangi bir harici müdahale gerçekleşmedikçe sabit pozisyonundaki cisimler sabit pozisyonlarında kalma, hareket halindeki ise hareketlerini sürdürme eğilimindedir. Sismograflardaki ağır kütlenin yer hareketine karşı direnç göstererek ölçümü mümkün kılabilmesinde bu ilkeden faydalanılmaktadır (Skinner and Murck, 1999, s. 148). İkinci Dünya Savaşı sırasında başlayan ve devamında hızlanan nükleer silahlanma yarışında Amerika Birleşik Devletleri'nin olası nükleer denemeleri izleyip, kontrol etme arzusu sismograflara olan talebi arttırmıştır. Bu doğrultuda bilim insanları ve özel şirketlerce uzak lokasyonlardaki titreşimleri kaydetmek için sismik hareketi büyüten teknikler geliştirilmiş, ekstrem coğrafi koşullarda performans gösterebilen, sıcaklık ve basınç farklılıkları gibi dış etmenlere dayanıklı, kapalı tasarıma sahip hassas

sismograflar tasarlanmıştır (Melton, 1981). Sismografların yaygınlaşmasıyla deprem aktivitelerinin bazı bölge sınırlarında örüntülü bir şekilde sıklık göstermesi levha kuramı teorisine doğrudan katkı sağlamıştır.

Son yıllarda mikro elektro mekanik sistem (MEMS) teknolojisindeki gelişmelerin sismograf ve jeofonlara uyarlanması ile geniş bant aralığında daha hassas ölçümler yapabilen araçlar üretmek mümkün hale gelmiştir. Bunun yanı sıra boyutların küçülmesi de artı bir avantaj sağlamaktadır. Elektrokimyasal, kapasitif, gerinim sistemli veya optik yöntemlere sahip olabilen MEMS tabanlı sismograflardan bazıları günümüzde ileri uzay, gezegen ve sismoloji çalışmalarında aktif şekilde kullanılmaktadır (Hou, Jiao and Yu, 2021).

Sismografların yanı sıra jeofonlarda yerbilimi çalışmalarında sıkça kullanılan araçlardan biridir. Petrol, doğalgaz, maden vb. ticari amaçların yanı sıra kentleşme, risk değerlendirmesi, imar planlama gibi afet yönetiminin kritik konularında kuruluşlara önemli veriler sağlayan projelerde tercih edilmektedir. Küçük boyutlu ve pratik tasarıma sahip jeofonlar araştırma yapılacak sahaya standart aralıklarla değişkenlik gösterebilen kanal sayısı ile yerleştirilir. Daha sonra serbest ağırlık düşürme veya balyoz darbesi vb. yöntemlerle aralıklı vuruşlar yapılır. Yer titreşimi dönüştürücü ve yükselticilerin yardımı ile dijital ortamda kayıt altına alınır. Elde edilen veriler gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra model haline getirilir.

1.1.6. Depremlerin Tetiklediği Afetler

Büyük depremlerin dolaylı olarak jeolojik, beşeri ve teknolojik afetleri tetikleme potansiyeli taşıması deprem odaklı afet risk yönetiminin kapsamını genişletmektedir. Eşzamanlı ve çoklu afet durumuna maruz kalınması acil müdahale ile kurtarma çalışmalarının önceliğini, seyrini ve koordinasyonunu etkiler. Kurumların sorumlu oldukları bölgenin depremselliğini betimledikten sonra deprem kaynaklı afet risklerine karşın tutarlı öngörülerde bulunabilmesi, afet yönetim stratejilerini daha bütüncül şekilde ele alınabilmelerine ve risk azaltma sürecinde kaynaklarını nasıl önceliklendirmeleri gerektiği gibi problemlere ışık tutar.

Bu başlık altında depremlerin tetikleyebileceği afetlerden tsunami, nükleer sızıntılar ve yangınlar ile heyelanlar incelenecek ayrıca diğer olası afet türlerine değinilecektir.

1.1.6.1. Tsunami

Okyanus ve deniz açıklarında meydana gelen depremler kıyı yerleşimlerine ağır tahribat veren tsunamiler yaratabilir. Normal deniz dalgaları ile tsunami dalgaları arasındaki farklılaşma enerjinin kaynağı ile ilişkilidir. Normal deniz dalgalarına rüzgarlar, gel-git ve coriolis vb. etkiler neden olabilirken, genliği çok daha büyük tsunamilere depremler, denizaltı heyelanları, göktaşı çarpması, volkanik patlamalar gibi görece olarak daha nadir gerçekleşen doğa olayları neden olur. Depremler doğrudan tsunamileri tetikleyebileceği gibi denizaltı heyelanlarına sebebiyet vererek dolaylı yoldan da tsunamileri tetikleyebilir. Çalışma içeriğince deprem ve denizaltı heyelanlarının enerjisi ile çalışan tsunamilerden bahsedilecek, göktaşı çarpması veya volkanik patlama gibi tsunami oluşum nedenlerine değinilmeyecektir.

Deprem ile ani dezenformasyona uğrayan okyanus tabanından her yöne yayılan enerjinin durgun su kütlelerini harekete geçirerek oluşturduğu büyük dalgalara tsunami denilmektedir. Tsunamiler uzun periyotlu, yerçekimi dalgalarıdır ve su partiküllerinin hareketi doğrultuları boyunca istikrarlı bir yayılım gösterir. Doğrultu atımlı fayların tsunami üretme kapasitesi olduğu bilinmekle beraber mega tsunamilerden normal faylar ve dalma batma bölgelerindeki bindirmeler sonucu oluşan ters faylar sorumludur (Sugawara, 2020).

Depremlerin denizaltı heyelanlarını tetiklemesi sonucunda da tsunamiler meydana gelebilir. Deprem dalgalarının titreşimiyle denizaltındaki yamaçtan kopan veya kayan blok, yığıldığı tabandaki su kütlelerini harekete geçirerek suyun yukarıya doğru yükselmesine neden olur. Yükselen suyun yerçekimi etkisi ile geri beslenmesi tsunami dalgaları oluşturur. Kayıtlı tarihte az sayıda tsunami ile denizaltı heyelanı arasında bağıntı kurulsa da yıkıcılığı bakımından afet risk modellerinde göz ardı edilmemesi gerekir, örneğin tortulların ince taneli olduğu veya fiyort tipi kıyıya sahip bölgelerde risk daha fazladır (Masson vd., 2006).

Tutarlı tsunami tehlike modelleri oluşturmak büyük ölçüde geçmiş tsunami süreçlerini iyi anlamayı gerektirir. Tarihteki gözlemlenemeyen tsunami olaylarını araştıran paleotsunami, çeşitli bilim dallarının tekniklerinden de faydalanarak kanıta dayalı bilgiyi sunmaya çalışır. Kıyı ortamındaki tortul ve birikintileri etkileyebilecek fırtına, hortum vb. çok sayıda doğa olayı arasından tsunaminin ayırdının yapılabilmesini sağlayabilmek alandaki güncel zorluklarından birisidir (Engel vd., 2020).

1.1.6.2. Nükleer Sızıntı ve Yangınlar

Nükleer kazalar çevre üzerinde yaratabileceği tahribat gücü sebebiyle deprem sonrası yaşanabilecek afetler arasında sonuçları itibariyle en uzun vadeli yıkıma neden olabilecek felaketlerden birisidir. 2011 Tōhoku depremi ve tsunamisinden sonra Fukushima Nükleer Santralinde meydana gelen kazalar dizisi bu durumun en somut örneklerinden birini teşkil etmektedir.

Nükleer sızıntı ya da patlamaları tehlikeli kılan ortama yayılan radyoaktivitedir. Radyasyon doğada atom altı parçacıklar ya da elektromanyetik dalgalar yoluyla taşınan enerjiyi tanımlar ve enerjinin gücü başka bir atomdan elektron kopartacak denli fazla ise bu durum iyonlaştırıcı radyasyon olarak nitelendirilir. İyonize edici radyasyon canlı hücrelerindeki bileşenleri kimyasal yıkıma uğratarak genetiği dönüştürebilir ayrıca DNA hasarının derecesi canlıların sonraki nesillerine aktaracakları kromozom ve kök hücrelerde kalıcı mutasyona yol açma potansiyeli taşımaktadır. Radyasyon nedeniyle hücreleri kalıcı biçimde zarara uğrayan mağdurlar üzerinde yapılan çalışmalar, mağdurların kendileriyle beraber çocuklarının da sonraki on yıllarda çok sayıda hastalığın gelişiminden muzdarip olduklarını ortaya koymaktadır (Martinez-López and Hande, 2020).

Deprem kuşağında yer alıp aynı zamanda nükleer programa sahip olan veya sahip olacak ülkeler güncel deprem afet risk modellerinde en kötü durum senaryosunu değerlendirmelidirler. Olası bir nükleer kaza sonrası iyonize radyasyondan düşük miktarda da olsa etkilenecek topluluklar için yıllara yayılan, uzun vadeli sağlık takip proselerini afet modellerinde tanımlamalıdır. Chen vd., (2014) Fukushima nükleer kazasından sonra Tokyo ve Niigata şehri ile Pekin’ de yaşayan bir grup insanı karşılaştırdığında Tokyo ve Niigara’ da yaşayan insanların kromozom anomali değerlerinin daha yüksek olduğunu bildirip, halk sağlığının uzun vadeli takibinin önemine vurgu yapmıştır.

Deprem riski yüksek ülkeler nükleer patlama, sızıntı gibi olası en kötü senaryoda bölge halkının acil tahliyesi ile lojistiği, medya ve iletişim ağlarının koordinasyonu, uluslararası protokoller ve bilgilendirme gibi yoğun kriz yönetimi içeren şartlar altında uygulamaya koyulacak stratejileri önceden belirleyip periyodik aralıklarla stratejilerini güncellemelidir.

Bir diğ er ikincil afet türü olan yangınlar özellikle büyük depremlerden sonra yapıları ve doğayı ağır şekilde tahrip edebilmektedir.  nceki yüzyıllarda gerçekleşen Lizbon (1755), Bursa (1855), San Francisco (1906), Kanto (1923), Kobe (1995), Gölcük (1999) ile 21. yüzyılda yaşanan T hoku (2011) gibi büyük depremlerden sonra çıkan yangınlar afetin etkisini arttırmış, can ve mal kayıplarına neden olmuştur.

Doğalgaz rafinerileri, sanayi tesisleri, petrol vb. yanıcı madde bulunan sahal r, yeraltı gömülü boru hatları, elektrik şebekeleri gibi riskli alanlar deprem sonrası büyük yang nlara mahal verebilecek noktaları işaret etmektedir. Büyük depremlerden sonra çıkan yangınların enkaz bölgesinde arama kurtarma faaliyetlerini yürütecek kamusal ve sivil organizasyonların kapasitesini zorlaması yangın riski yüksek bölgelerde yapılacak afet öncesi çalışmaların önemini gözler önüne sermektedir.

Yaşanan büyük depremler sonrası çıkan yang nlardan edinilen tecrübeler geniş ormanlık alana sahip yerle melerde risk azaltıcı peyzaj çalışmalarını gündeme getirmiştir. Yangın silvik lt r  olarak adlandırılan zaman kazandırıcı, pasif uygulamalar kapsamında riskli bölgelere gövdesi ve dallarında su muhtevası yüksek ağ  türlerinin, engebeli arazilerde ise tepe bölgelere yangının yamacın diğ er tarafına atlamasını önleyici kısa boylu bitkilerin dikilmesi tavsiye edilmektedir (Okutan ve  avuş, 2012).

Paradoks gibi görünmesine karşın tsunamilerde deprem sonrası yangınları tetiklemektedir.  rneğ n 2011 T hoku depreminden sonra gerçekleşen tsunaminin ardından yerleşim yerleri, kamusal alanlar ve inşaat alanlarında oluşan enkaz önemli miktarda yakıtı ortaya  ıkartmı  ayrıca kıyı bölgelerinde tahrip olan petrol tankları ciddi yang nlara neden olmuştur (Tanaka, 2012).

1.1.6.3. Heyelanlar

Heyelan oluşum süreci depremler gibi yeryüzünün fiziksel döngüsüyle ilintilidir. Aktif bir gezegen olan Dünya' da tektonik hareketler ve volkanizma yer kabuğunu sürekli olarak dikey doğrultuda, mevcut seviyeden yukarı yönlü hareket etmeye zorlar. Sonrasında yükselmiş olan alanlar yerçekimi ve hidrodinamik kuvvetler tarafından a ındırılarak taban seviyesine doğru akmaya ba lar (Davies, 2015). Dağ yamaçları gibi yüksek ve eğimli bölgelerde yaşayan insan toplulukları için heyelanlar sıklıkla bir risk unsuru olmakla beraber bölgenin depremselliğ  de riskin derecesini doğrudan etkilemektedir. Bölgede yüksek riskin bulunması zemin koşullarını ve buna bağlı olarak yağış parametresini daha kritik hale getirir. Ayrıca depremin büyüklüğü, odak noktası,

faylanma tipi, bölgeye olan uzaklığı heyelan ile ilişkili olsa da heyelanların çeşitli parçalanma formuna ve hareket süreçlerine sahip olması deprem tetiklemesi sonucu oluşan heyelanların mekanizmasını çalışan araştırmacılar için karmaşık problemler doğurur.

Söz konusu problemlerden en temel olanı yaşanan heyelanın depremin sismik dalgalarıyla tetiklendiği ya da tetiklenmediği bilgisinin net olmamasıdır. Murphy' e (2022) göre jeomorfolojik açıdan heyelanın nedenleri arasında sınırlı düzeyde fark edilebilir emare vardır. Deprem tarafından stabil pozisyonu bozulan bir yamacın heyelan yaratması yıllar alabilir ve tetiklenmesinde meteorolojik gelişmeler ile son yıllarda küresel ısınmayla etkisi artan buz erimeleri rol oynayabilir.

Birçok heyelanın hiçbir algılanabilir tetikleyici olmadan başladığı göz önünde bulundurulduğunda, risk altındaki yerleşmeler için sürekli takip sistemleri daha fazla önem kazanmaktadır. Ulusal ve uluslararası düzeyde uzay yatırımları arttığı için CBS gelişmekte ve uydular aracılığıyla ile geniş alanları gözetlemek mümkün hale gelmiştir. Ayrıca drone ve türevi teknolojiler sayesinde hava fotoğrafçılığı ile video takibi gibi pratik teknikler ulaşılabilir maliyetle araştırmaların hizmetine sunulmuştur. Volkanik bölgelerde ise aktif yanardağların hassas takibi için istasyonlara kurulan termal kamera ve optik tabanlı cihazlardan faydalanılır.

Depremin tetikleyebileceği heyelanların karmaşık süreçler içermesi ve jeomorfolojinin bölgeden bölgeye büyük farklılıklar göstermesi standart bir heyelan risk azaltma prosedürünün gelişmemesine neden olmuştur. Bu sebeple bölgedeki yetkili idarenin riskli alan özelinde çözümlemeler geliştirmesi, gerekli durumlarda uzmanlar ve diğer kurumlar ile paydaşlık yapması önemlidir.

1.1.6.4. Diğer

Meydana gelen bir deprem bahsedilen afetlerin haricinde başka türden afetleride tetikleyebilir. Buz ve kar kütlelerinin risk oluşturduğu eğimli arazilerde çığ, baraj patlaması sonucu mahalli yerleşmeleri etkileyebilecek su baskınları ve zemin koşullarına bağlı olarak yapıları olumsuz etkileyen sıvılaşma depremin tetikleyebileceği afetlerden bazılarıdır. Öngörülemeyen ve dinamo etkisi yaratan başka çevresel felaketlerde deprem sonrası baş gösterebilir. Örneğin bir maden işletme tesisinde veya kimyasal faaliyet yürüten işletme sahasındaki zehirli atılların depolandığı havuzun deprem sonucu zarar

görmesi ve akabinde sızıntının nehir, akarsu, çay vb. kaynaklara ulaşarak su şebekesini zehirlmesi canlıların sağlığını tehlikeye attığı gibi gıda güvenilirliğini de tehdit edebilir.

1.1.7. Model ve Simülasyon

Model kavramı Cambridge veya Türk Dil Kurumu gibi sözlüklerin geniş açıklama metinlerinden de anlaşılacağı üzere gündelik dilde, iş ve akademik vb. alanlarda farklı anlamları temsil edecek şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada model ile kastedilen bilimsel modellerdir ve bir alt başlık olarak yerbilimsel modellere odaklanılacaktır.

Sadece bilimsel perspektiften ele alındığında dahi genel geçer bir model tanımı yapmak zorlayıcıdır. Disiplinlerin nihai amaç olarak modeller tasarlaması yahut farklı faydalanma düzeylerinde modellere başvurusu veya geliştirmesi, geniş spektruma sahip bilim alanında tüm disiplinleri kapsayan genel bir model tanımı yapmayı güçleştirmektedir. Gelfert'e (2017) göre geniş çevrelerce kabul gören birleşik bir model tanımı mümkün olmadığından odaklanılması gereken nokta tanım değil modellerin ortak yanı olabilecek işlev özelliklerini açıklamaktır. Bilimsel modelleri bu açıdan ele alarak, yer bilimleri içinde geçerli bazı temel işlevleri sıralayabiliriz. Bunlar; bir dereceye kadar tahminleri netleştirme, mevcut bilgiyi genişletme ve yeniden üretme, hipotezler için iskelet oluşturma, uygulayıcılar için karmaşık veriyi kolaylaştırıp belli bir düzeye indirgeme, risk azaltma ve politika belirleme, gelecekteki araştırmalar için gözlem ve takip amaçlı arayüz sağlamadır. Sıralanan işlevlerin haricinde başka kullanım amaçları içinde modellere başvurulabilir.

Özellikle son yıllarda yer sistemleriyle insan etkileşimini inceleyen çalışmalar önem kazanmaktadır. Örneğin iklim bilimciler Syukuro Manabe ve Klaus Hasselmann'ın geliştirdikleri fiziksel modeller iklimdeki değişiklikleri ölçebilmiş ve küresel ısınmayı tutarı bir şekilde öngörebilmiştir. Bu model sayesinde bilim insanları 2021 Nobel Fizik Ödülünü kazanmıştır. Ayrıca yer bilimciler yalnızca Dünya'yı değil, güneş sistemindeki diğer gezegenlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini anlamak içinde modeller geliştirmektedir.

Bokulich and Oreskes' e (2017) göre kavramsal modeller, fiziksel modeller ve sayısal modeller yer bilimlerinde öne çıkan üç önemli model türüdür. Çalışma bağlamında deprem afet risk çalışmalarıyla da ilişkili bu üç model türünün özellikleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 1.2. Yer bilimlerinde öne çıkan model türlerinin özellikleri

Model Türü	Özellik
Kavramsal	Genellikle öncü niteliktedir. Hedeflenen nihai çıktı veya modelden önce sistemin araçlarını ve bağlamlarını tanımlar. Ayrıntılı düz paragraflar şeklinde verilebileceği gibi sıklıkla diyagram vb. gösterim şeklinde de olabilmektedir. Problemin yapısına göre matematiksel veya görsel anlatım tarzı da kullanılmaktadır. Kaotik süreçler içeren afet risk yönetiminde süreci tanımlar, aşamaların adımlarını ve sırasını belirler.
Fiziksel	İncelenen sistemin küçük boyutlu bir uyarlamasıdır. Yer bilimlerinde sistemler büyük ölçekte ve kompleks olduğundan amaçlanan sistemi başarılı şekilde taklit edebilmektir. Araştırılan arazi veya sistemin benzeri laboratuvar ortamında yaratılabilir, parametre değişiklikleri ile çeşitli senaryolar değerlendirilir. Özellikle deprem laboratuvarlarında kaydedilen veriler daha sonra sayısal modellere de kaynaklık edebilir. Dinamik özellikleri koruyarak sistemi küçültmenin çok zor olması ölçek etkisi olarak adlandırılan probleme neden olur.
Sayısal	Sistem matematiksel denklemler yoluyla modellenir. Genellikle sistemin kaotik yapısı gereği analitik çözümler mümkün olmadığından sonlu yöntemlere başvurulur. Bilgisayar ve süper bilgisayarlarda simülasyonlar geliştirilirken kullanılmaktadır.

Yer bilimlerinin pek çok alanında inceleme ve tahmin için geliştirilip kullanılan modeller, disiplinler arası deprem odaklı afet risk araştırmalarında da önemli bir yer tutmaktadır.

Bokulich and Oreskes' e (2017) göre sosyal parametreleri modellere dahil etmek kadar model sonuçlarından çıkan risk değerlendirmelerini etkili bir iletişim stratejisiyle kamuoyu ile paylaşmakta günümüz yer bilimcilerinin kaçınılmaz sorumluluğudur.

Diğer önemli kavram özünde bir model olan simülasyondur. Hızlı gerçekleşen depremler ve meydana gelecek afetin boyutlarının öngörülememesi tasarım problemine

birer örnek teşkil etmektedir. Aşağıdaki tabloda ilgili çalışmalar için simülasyonların öne çıkan işlevsel özellikleri listelenmiştir.

Tablo 1.3. Deprem odaklı afet risk yönetiminde simülasyonların kullanım olanakları

Aşama	Uygulamalar
Tehlike ve risklerin belirlenmesi	Büyük depremlerin kırılma ve dalga hareketlerinin bölgeyi ne şekilde sallayacağını ve yapılar üzerindeki etkilerinin ne olacağı üzerine öngörü sağlama. Yapay zekâ, makine öğrenimi vb. yöntemler ile deprem tahmini gelecekte mümkün kılma çabaları. Deprem ve artçı sarsıntıların neden olduğu hasarların neden olduğu ekonomik kayıpları tahmin ederek sigorta ve finans şirketlerine bilgi sunma.
Afet senaryolarına hazırlık	Deprem odaklı hasar senaryoları türeterek önceliklerin belirlenmesi. Formüle edilen modeller aracılığıyla kentlerin planlanması konusunda karar alıcılara yol gösterme. Afete müdahale eden ekipler ile acil yardım güçlerinin stratejilerini geliştirme, yenileme.
Bilinçlendirme faaliyetleri, eğitim	Mobil deprem araç simülasyonları ile topluluklara deneyim kazandırma. Organize şekilde gerçekleştirilen deprem tatbikatları ile olay anının taklit etme. Arttırılmış gerçeklik (AR) uygulamalarıyla öngörü düzeyini, sanal gerçeklik (VR) uygulamalarıyla motor becerileri kazandırma.

Bütüncül çerçeveden ele alındığında modeller gibi simülasyonlarında pek çok türü bulunmaktadır ve araştırma özelinde afet risk yönetimi aşamalarına katkı sunabileceği noktaları ön plana çıkartmak faydalı olacaktır. Simülasyonlar bir teori veya hipoteze dayalı süreçler hakkında anlayış geliştirme, çeşitli değişken koşullar altında süreci test edip öngöründe bulunma ve pratik gerektiren uygulamalardan önce deneyim kazanma amacıyla gerçekleştirilen devingen modellerdir.

Tasarım problemi içeren yani gerçek sistemin deneye uyarlanamadığı araştırmalarda bilgisayarlı ya da bilgisayarsız simülasyonlara sıklıkla başvurulmaktadır (Ören, Mittal and Durak, 2017).

2. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde çalışmanın çıkış noktası olan konulara değinilerek genel bir çerçeve oluşturulması amaçlanmıştır.

2.1. Afet Risklerini Yönetmek

İnsan türü diğer canlı türlerinde olduğu gibi iki temel biyolojik içgüdüye doğuştan sahiptir, hayatta kalma ve neslin devamını sağlama. Afetler gerek can güvenliğini gerek maddi kazanımları etkileyen sonuçlar doğurduğundan insan türünün hem bireysel bazda hem de organizasyon düzeyinde afetler ile en yüksek seviyede mücadele etmesi kaçınılmazdır.

Afet risk yönetimi dünya genelinde aynı hedefler doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Can, mal ve çevre güvenliğini korumak. Duyulan ortak kaygılar afet risk yönetiminin küresel ve birleştirici bir alan olarak şekillenmesine neden olmuştur. Ayrıca meydana gelen bir olay sıklıkla ulusal sınırları aşarak birçok ülkeyi etkileyen afetlere neden olabilmektedir. Büyük depremler, tsunamiler, yanardağ patlamaları, nükleer felaketler vb. afetler paydaşlığı bu noktada zaruri kılmaktadır.

Modern afet risk yönetiminin şekillenmesi sismolojinin gelişimiyle aynı zamanlarda yani 20' nci yüzyılın ortalarında başlamıştır. Bu benzerlik temelde aynı nedenden; nükleer saldırı ihtimalinden kaynaklanmıştır. Nükleer saldırı tehdidine ek olarak hava, kara vb. saldırılarının da gerçekleşme ihtimali hükümetleri sivil savunma konusunda politika geliştirmeye itmiştir. Uluslararası paydaşlığa dayalı ilksel sayılabilecek adımlar ise 1980' li yılların sonunda Birleşmiş Milletler öncülüğünde atılmıştır. Birleşmiş Milletler on yıl süreyle belirlediği hedefler doğrultusunda az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin dirençliliğini arttırmaya yönelik eylem planları belirlemiştir. Bu doğrultuda altyapı ve hazırlık faaliyetlerinin doğrudan desteklenmesine karar verilmiş, bilimsel ve mühendislik çalışmaları teşvik edilmiştir (BM, 1989). Birleşmiş Milletler beş yıl sonra yayınladığı eylem planında afet müdahale ve iyileştirme uygulamalarının yetersiz olduğunu, yüksek ekonomik maliyete rağmen kalıcı çözümlerin yaratılamadığını belirterek risk yönetiminin önemini ve önceliğini vurgulamıştır (BM, 1994). Ayrıca taraf ülkeler risk azaltma ve önleme esaslarına dayalı on ilkeyi imzalayarak sorumluluklarını deklare etmişlerdir. İlerleyen süreçte oluşturulan UNDRR ise sürdürülebilir ekonomik kalkınma ile afet risk azaltma stratejilerinin birbirlerinden bağımsız değerlendirilemeyeceğinin altını çizmiştir (UNDRR, 2001).

Çok ulusla ve geniş katılımla oluşturulan Hyogo Eylem Çerçevesi (2005) ile devamı niteliğinde olan Sendai Çerçevesi (2015) stratejik hedefler ile öncelikleri bütüncül ve kapsamlı şekilde ortaya koymuştur. Bu çalışmalar günümüzde hükümetlere, uygulayıcılara ve akademik faaliyetlere yol gösteren başlıca kaynaklardır.

Afet yönetiminde kavramsallaştırılmış dört aşama; risk azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme. Bu dört aşamadan risk azaltma ile hazırlık risk yönetimi kapsamında, müdahale ile iyileştirme ise kriz yönetimi kapsamında değerlendirilir. Çok aktörlü risk yönetiminin yokluğunda mevcut otoritenin yetkilendirdiği organizasyonlar müdahale ve iyileştirme aşamalarında başarılı olsalar dahi afet yönetimi totalde etkisiz kalmaktadır (Coppola, 2015). Bu sebeple afet yönetimindeki başarı büyük ölçüde risk azaltma ve hazırlık aşamalarına bağlıdır.

2.1.1. Deprem Afet Risklerini Azaltma

Öngörülemeyen ve ani gelişen doğasıyla depremler, pek çok afet türü arasından spesifik yönleriyle farklılaşmaktadır. Özellikle büyük depremler zemin koşullarının olumsuz, yapı stokunun kötü olduğu durumlarda müdahalenin kapasitesini kısa sürede zorlayabilir ve önceki bölümde bahsedildiği üzere risk yönetimindeki etkililik kriz yönetiminin üzerindeki baskıyı azaltacağından bu aşamada alınacak tedbirler deprem söz konusu olduğunda daha da kritik hale gelir. Bu noktada ele alınması gereken başlıca konulardan birisi kırılabilirlik analizleridir. Bazı kaynaklarda hasar görebilirlik şeklinde de geçen kırılabilirlik analizleri kısaca bir sistemin, yapının veya toplumun savunmasızlığını değerlendirir ve hasara ilişkin nicel çıkarsamalarda bulunmaya çalışır.

Kırılabilirlik analizleri yer bilimleri, geoteknik, inşaat mühendisliği, yapı mühendisliği, mimarlık, şehir planlama gibi bağıntılı alanların öncülüğünde disiplinlerarası paydaşlığa dayanmaktadır. Jeolojik risk faktörleri yerleşmenin aktif fay hatlarına uzaklığını, stratigrafisini, zemin özelliklerini ve zemin-yapı etkileşimi sonucu ortaya çıkabilecek çökme, sıvılaşma vb. risk unsurlarını tanımlar. İlgili bulgular tasarlama sürecine yol gösterir (Balyemez ve Berköz, 2005). Öncelikle tehlike arz eden coğrafi bölgeden uzakta kentleşmek esastır. Bölgesel ölçekte yapılan plan-tasarlama sürecinde kentin altyapısı, nüfus yoğunluğu, açık alanlar, yollar, yapılaşma düzeni başlıca gözden geçirilir.

Hasar görebilirliğin hangi yöntem ile belirleneceğinin temel sorun olarak öne çıktığı yapı stoku analizlerinde deprem zamanının belirsizliği de süre açısından problem

yaratmaktadır. Bu aşamada deprem özelliği, yapının titreşim spektrumu, zemin, mimari tasarım ve malzeme kalitesi gibi çok ayrıntılı parametreler değerlendirmelere yön verir (Akbulut ve Aytuğ, 2005).

2.1.1.1. Erken Uyarı Sistemleri

Başlayan bir depremin afet yaratma olasılığının yüksek olduğu bilgisini öncül nitelikteki P dalgaları aracılığıyla tespit eden ve ilgili alarm bilgisini otomatik şekilde alıcılara aktaran sistemlerdir.

Bu sistemler sayesinde sanayi ve endüstri çalışmalarının durdurulması, gerilim hatlarında elektriğin kesilmesi, toplu taşıma araçlarında seyahate ara verilmesi, nükleer enerji vb. tesislerde faaliyetlerin devre dışı bırakılması gibi zarar azaltıcı uygulamalar hayata geçirilebilmektedir (Alçık, 2011). Günümüzde sistemlerin mobil uygulamalara entegrasyonu bireysel düzeyde, saniye mertebesinde ikaz bildirimi almakta mümkün hale gelmiştir.

Erken uyarı sistemleri tek istasyonlu veya çok istasyonlu olabilir. Çok istasyonlu sismik ağlarda her istasyon bağımsız biçimde P dalgasını değerlendirmektedir. Analiz sırasında P dalgasının frekans ve genliğine odaklanılır. Yazılımın ürettiği çözümler belli bir eşiği aşıyor ise deprem hasar verici nitelikte tanımlanır ve sistem uyarı ikazı geçer (Pınar vd., 2017).

Sismik ağlar aynı zamanda yer hareket dağılımı ve kayıp haritalarının hazırlanmasını sağlayarak acil müdahale ekiplerine yol gösterici deprem sonrası bilgilerinin kısa süre içinde düzenlenmesine imkân tanımaktadır (Kalafat, 2011).

Kanamori' ye (2007) göre sismologlar, mühendisler, yöneticiler ve sosyal bilimcilerin katkılarıyla oluşturulacak disiplinler arası paydaşlık erken uyarı sistemlerinin başarısında belirleyici olmaktadır. Kanamori' nin altını çizdiği diğer önemli nokta ise erken uyarı sistemlerinin pratik faydalarının haricinde temel sismoloji araştırmaları içinde ilgi çekici problemler barındırdığıdır.

Özetle deprem erken uyarı sistemleri sismoloji biliminin bariz ilerleme kaydettiği alanlardan birisidir ve güncel bilimsel yöntemler yeni teknolojiler ile desteklendikçe gelişimi devam edecektir.

2.1.1.2. Deprem Tahminine Yönelik Çalışmalar

Çalışmanın giriş bölümünde bahsedildiği üzere günümüzde hiçbir yöntem, sistem veya teknoloji meydana gelecek bir depremi önceden kestiremez. Bunun yanı sıra depremlerin önceden kestirilebilecek doğa olayları olduğuna dair küresel düzeyde fikir birliği de bulunmamaktadır. Bu belirsizliklere karşın alandaki bilim insanları bir dereceye kadar önceden deprem tahmininde bulunmaya yarayan dolaylı yöntemler üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmaktadır. Afet risk yönetimine sağlayabileceği katkılar göz önünde bulundurulduğunda gelecekteki depremlerin yüksek düzeyde doğrulukla tahmin edilebilir olması toplulukların savunmasızlıklarını büyük ölçüde azaltma potansiyeli taşımaktadır.

Bu noktada birbirinin yerine kullanılan iki kavramı izah etmek faydalı olacaktır. Deprem tahmini (forecasting) ve deprem kestirimi (prediction) kavramları Türkçe’de eş anlamlı bir çağrışım yaratmasına karşın farklı durumlara işaret eder. Deprem tahmini ilgili bölgede beklenen depremin büyüklüğünün, yerinin ve zamanının bilimsel, kabul gören yöntemler ile olasılıksal bir skala içerisinde belirlenmesi süreciyken deprem kestirimi büyüklüğünün, yerinin ve zamanının yine bilimsel ve kabul gören yöntemler ile hassas bir doğrulukla saptanmasıdır (Ergüney ve Özmen, 2013). Günümüzde tahmine yönelik çalışmalar benimsenmektedir.

Fayların kompleks ve fraktal özellik taşıması, deprem istatistiklerinin yeterli kesinlikte tahmine olanak vermeyen stokastik doğası, kırılan kayaçların farklı özellikleri ile dayanımları, modellere girdi olan verilerin yeterince ayrıntılı olmaması ve sonucunda yaratılan simülasyonların aslına benzer tasarlanamaması gibi faktörler tahmini zorlaştıran başlıca etmenlerdir (Kagan, 2006).

Geçmişten günümüze yapılan örnekler incelendiğinde elektromanyetik alanlar, bulutlanma, atmosfer değişkenliği, iyonosferdeki elektron içeriği, çok alçak frekans sinyalleri, olağandışı hayvan davranışları vb. yöntemler uygulanarak tutarlı ölçüm sonuçları elde edilmeye çalışılmıştır (Topçu vd., 2017). Son yıllarda yapay zekâ, makine öğrenimi ve radon gazı ölçümleri ön plana çıkan tahmin yöntemleridir. Güneş fırtınaları, gelgitler hatta rüzgâr etkinliği de tartışmalara konu olmaktadır.

Kanamori’ye (2007) göre deprem erken uyarı sistemlerinden elde edilecek ayrıntılı yer değiştirme alanı ölçümleri kısa vadeli deprem tahminleri için öngörü sağlayabilir.

2.1.1.3. Uydu Teknolojilerinin Gelişimi ve Uzaktan Algılama

Gelişimi 20'nci yüzyılın ortalarında başlayan uydu sistemleri günümüzde gezegeni hassas şekilde izlememize imkân veren uzaktan algılama yöntemlerinin alt yapısını oluşturmuştur. İletişim, meteoroloji, uzay araştırmaları gibi pek misyon için kullanılan uydular son yıllarda artan şekilde afet yönetimi aşamalarına entegre olmaktadır. Deprem sonrasında elde edilen görüntüler aracılığıyla yaşanan afetin mekânsal dağılımı ve boyutuna dair sağlıklı bilgilere ulaşmak mümkündür. Tektonik plakaların göreceli hareketi, fay segmentlerindeki hareketlilik, jeomorfolojik göstergeler uydu jeodezisi çalışmalarından sağlanır ve bu sayede risk azaltma aşamalarına katkı sunabilecek bilimsel çıktılar desteklenir.

Farklı teknikler baz alarak oluşturulan veri paketlerinin coğrafi bilgi sistemleriyle desteklenmesi bilginin niteliğini iyileştirmekle kalmaz aynı zamanda dağıtıcılar ve karar vericileri için durumu anlaşılır kılar.

LİDAR (Light Detection and Ranging) ve InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) yer bilimsel araştırmalarda yaygın kullanılan iki tekniktir. LİDAR hedefe gönderilen lazer darbelerinden geri yansıyan fotonları teleskop ve dedektör aracılığıyla toplayarak çok boyutlu ve ayrıntılı modellerin oluşturulmasını sağlar (Killinger, 2014). InSAR tekniğinde ise değişken dalga boylarında gönderilebilen elektromanyetik enerji darbeleri dünya yüzeyindeki hedefe çarpar ve geri yansıyan kısmı radar tarafından kaydedilir.

Son yıllarda uyduların haricinde drone ve insansız hava araçlarındaki gelişim ve maliyet düşüşü dikkate değerdir. Bu araçların uzaktan algılama enstrümanları için belirli düzeyde alternatif nitelik taşıması afet yönetiminin etkinliğine yönelik yeni fırsatlar yaratmaktadır.

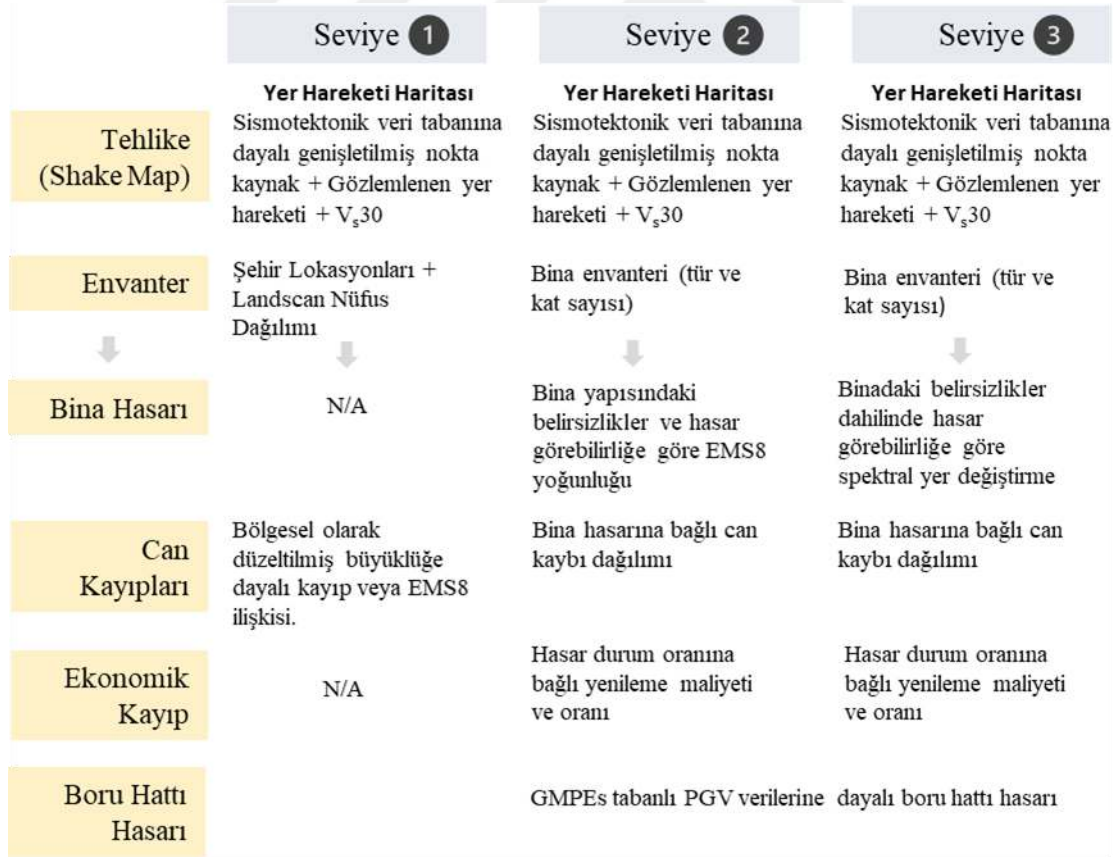
3. DEPREM ODAKLI MODELLER

Bu bölümde depremin doğrudan ve dolaylı olarak tetiklediği afetler hakkında ortaya konulan çeşitli modeller çalışılmıştır.

3.1. ELER

Avrupa-Akdeniz bölgesine odaklanan ve coğrafyadaki ülkelerinin katılımıyla gerçekleşen NERIES (Network of Research Infrastructures for European Seismology) projesi kapsamında Boğaziçi Üniversitesi KRDAE (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü) Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı tarafından geliştirilmiştir.

ELER (Earthquake Loss Estimation Routine) bir deprem sonrası bölgedeki hasar ve kayıp tahminlerini hızlıca oluşturarak bilgiyi kullanıcıların hizmetine sunmayı amaçlamaktadır. Kullanılan metodolojinin modifiye edilmiş şablonu şekil 4.1’ de gösterilmiştir (ELER v3.1, 2010).



Şekil 3.1. ELER Programının metodolojisinin modifiye edilmiş akış şeması

MATLAB ortamında geliştirilen ELER programı tehlike belirleme ve zarar belirleme olmak üzere iki modülden oluşmaktadır. Tehlike modülü öncül olarak çalışılır ve tahmini zemin hareketi ile yoğunluk dağılımlarını barındırmaktadır (ELER v3.1, 2010). Zarar belirleme modülünde ise tehlike modülünün çıktıları referans alınıp, nüfus ile bina envanteri bilgileri birleştirilerek Şekil 4.1.' de gösterilen üç seviyeli kayıp değerlendirmeleri yapılır.

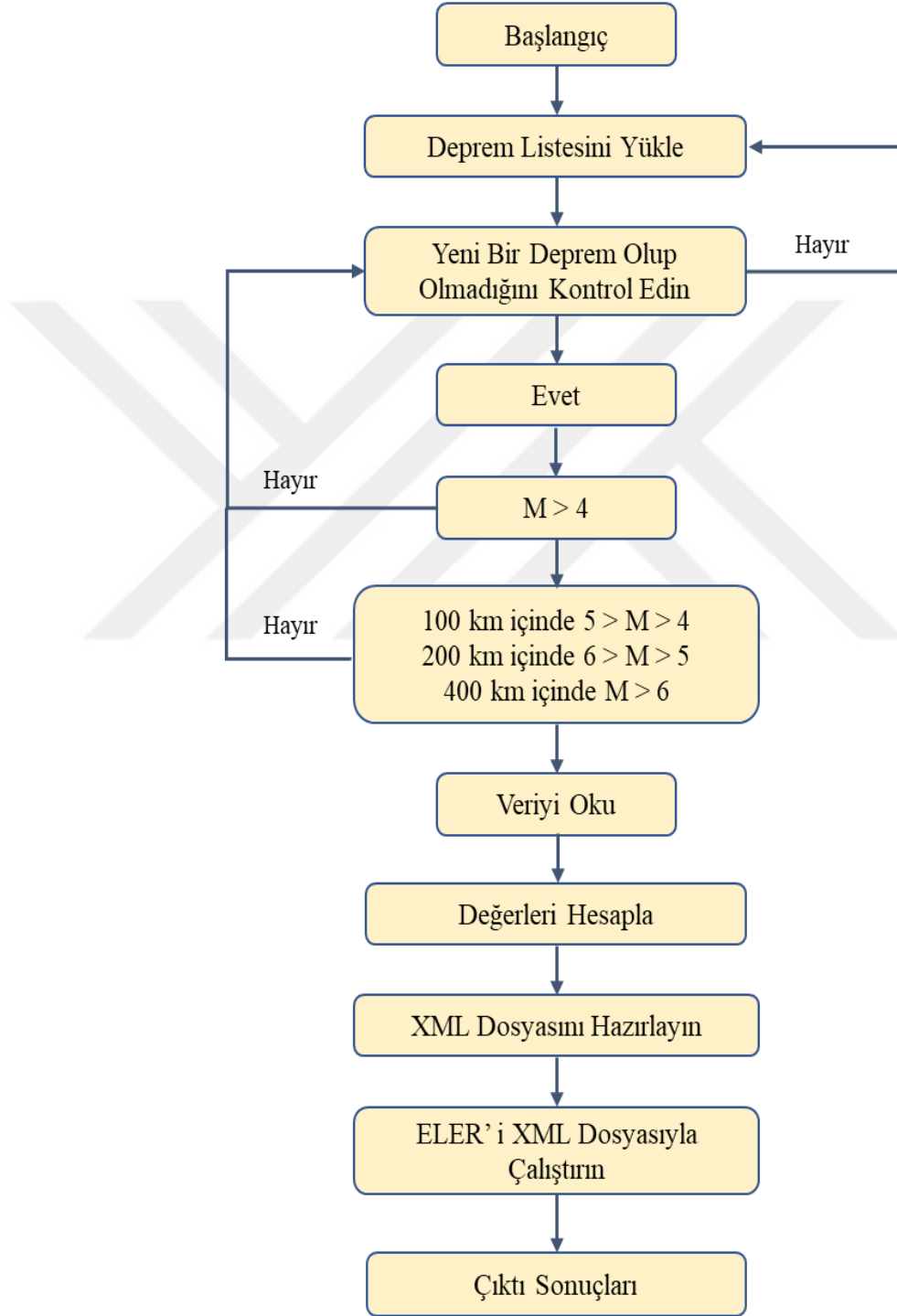
Program kılavuzu esas alınarak hazırlanan ELER girdi verileri ve açıklamaları Tablo 4.1.' de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. *ELER programında kullanılan veriler ve açıklamaları*

Veri Türü	Açıklama
Deprem	Temel deprem parametrelerini içerir. Bilgiler bir merkez tarafından otomatik olarak çekilebilir veya manuel biçimde de işlenebilir.
Fay	Deprem verisinden sonra girilir. Sistemden güncellenebilir. Sadece deprem verisi ile analiz yapılabilse de fay verisinin girilmesi analizi daha verimli hale getirir.
Zemin Grid	V_{s30} ve SPT-N(30) kullanılmaktadır. V_{s30} verisi çıkartılırken SPT-N(30) verisinden faydalanılır. Verilerin sürekli güncellenmesi önemlidir ve düzeltmeler manuel olarak yapılmaktadır.
Referans Grid	İlgili bölgenin nüfus ve bina verisinin eşit aralıklı dairesel veya kare biçiminde düzenlenmesini içerir. Geometrik şeklin tipi ilgili uygulayıcı tarafından belirlenebilmektedir.
Bina	Binanın malzemesini, kat sayısını ve yapılış tarihini içerir. Yapılardaki tahmini hasar bu veriler aracılığıyla hesaplandığı için çok önemli bir parametredir.
Kapı Numarası	Depremden etkilenecek nüfusun hesaplanması için sisteme girilmektedir. Manuel olarak ortalama nüfus bulunabilir veya nüfusla ilgili resmi kuruluşların veri tabanları sisteme entegre edilebilir. Gece ve gündüz nüfusu ayrı hesaplanmaktadır.

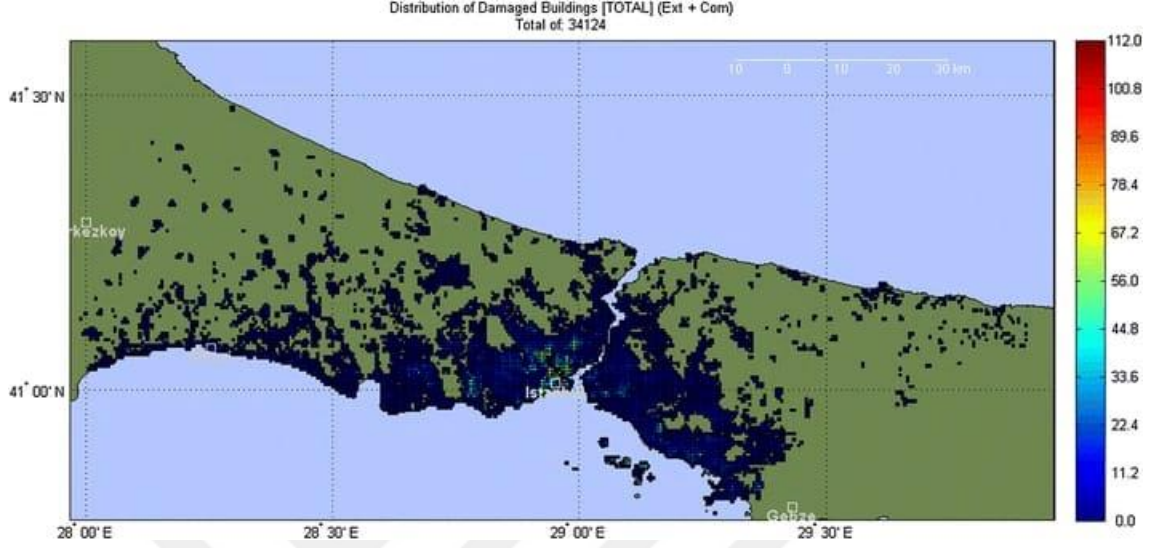
Programa girdi olan veri setlerinin güncelliğinin büyük önem arz ettiği görülmektedir. Özellikle büyükşehirlerdeki değişken demografik yapı, gecekondulaşma ve hareketlilik göz önünde bulundurulduğunda program kullanıcılarının periyodik düzenlemeler yapması sistemi etkin kılacaktır.

Zülfikar vd., (2017) ELER programını çalıştırarak İstanbul' un metropol alanları için hasar dağılım haritasını çıkartmışlardır. Çalışmalarındaki hızlı yanıt sistemi akış şemasının modifiye edilmiş hali şekil 4.2.' de gösterilmiştir.



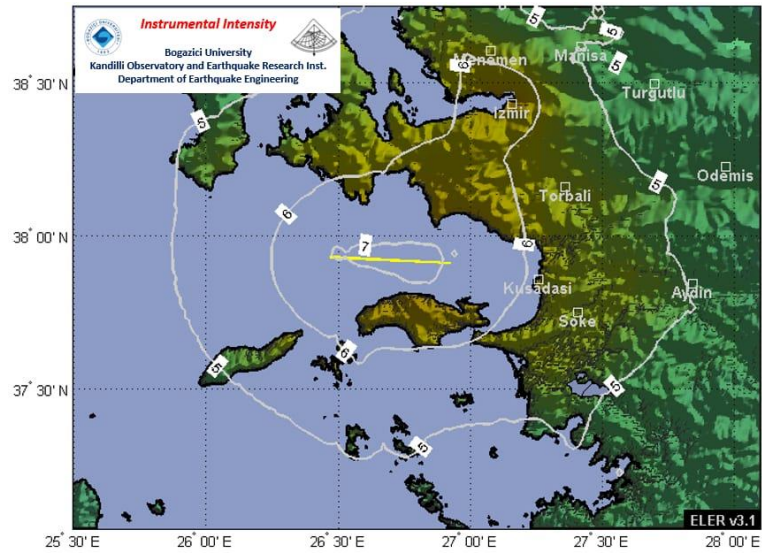
Şekil 3.2. Zülfikar vd., (2017) kullandıkları hızlı yanıt sistemi akış şemasının modifiye edilmiş hali

Zülfikar vd., (2017) gerekli metodolojileri uygulandıktan sonra ELER algoritması aracılığıyla oluşturdukları hasar dağılım haritalarını sunmuşlardır.

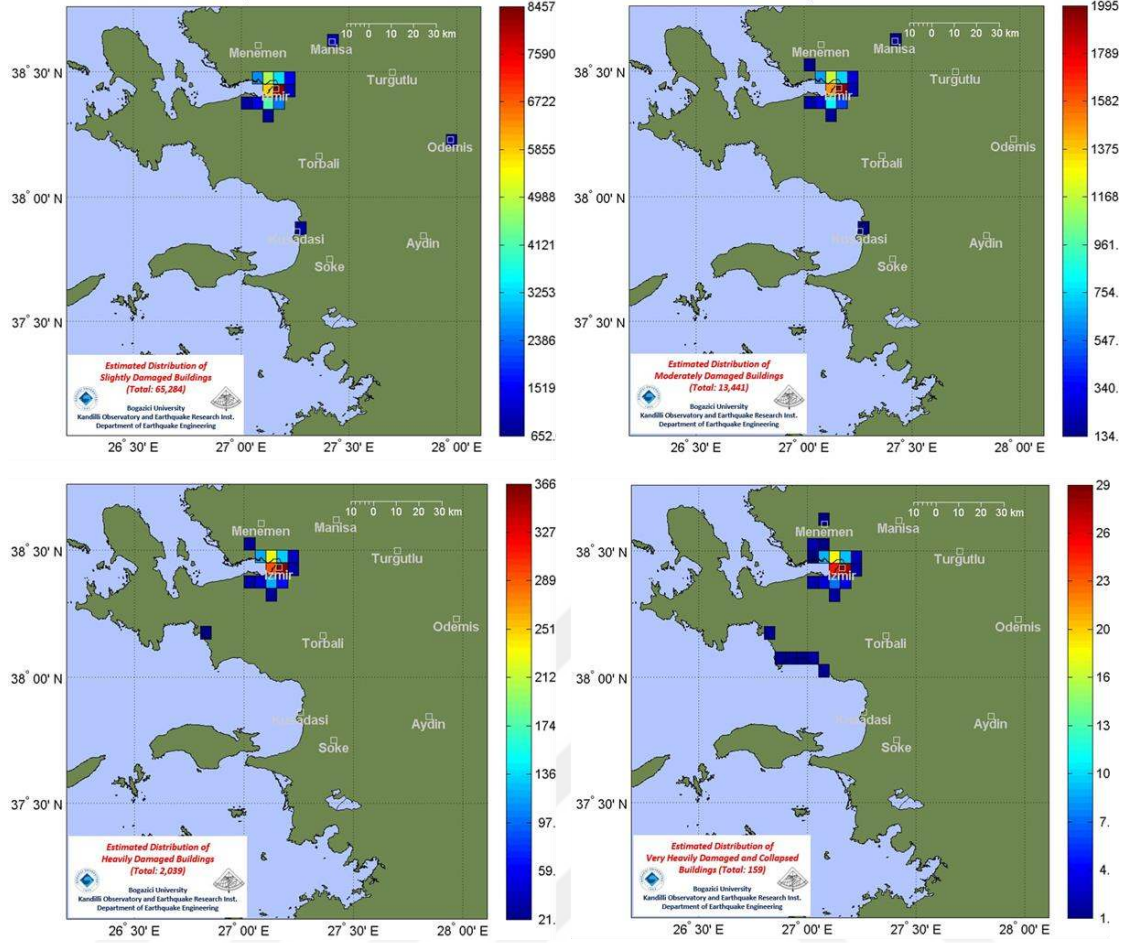


Şekil 3.3. Marmara Denizi'nde 7.2 büyük senaryolu bir deprem için kapsamlı ve eksiksiz hasar dağılım haritaları (Zülfikar vd., 2017)

ELER, KRDAE tarafından aktif kullanımdadır. Örneğin 30 Ekim 2020 tarihindeki 6.9 büyüklüğündeki depremden sonra ön değerlendirme haritaları yayınlanmıştır.



Şekil 3.4. 30 Ekim 2020 M=6.9 EGE DENİZİ – İZMİR Depremi Aletsel Şiddet Haritası, KRDAE (<http-2>)



Şekil 3.5. KRDAE tarafından 30 Ekim 2020 $M_w=6.9$ EGE DENİZİ – İZMİR Depreminden sonra ön değerlendirme raporunda sunulan şiddete dayalı hafif, orta, ağır ve çok ağır hasarlı bina tahminlerinin dağılımı (<http-2>)

KRDAE büyük depremlerden sonra yayınladığı ön değerlendirme raporunda hasarlı bina tahmini ve aletsel şiddet haritalarının yanı sıra en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, spektral ivme gibi kuvvetli yer hareketi parametrelerinin dağılımını gösteren haritaları da ELER programı aracılığı ile düzenleyerek web sitesinde yayınlamaktadır. Ayrıca büyük depremlerin yanı sıra orta büyüklükte meydana gelen depremlerinde değerlendirilip, yayımlandığı basın bültenlerinde tahmini şiddet haritasına yer vermektedir.

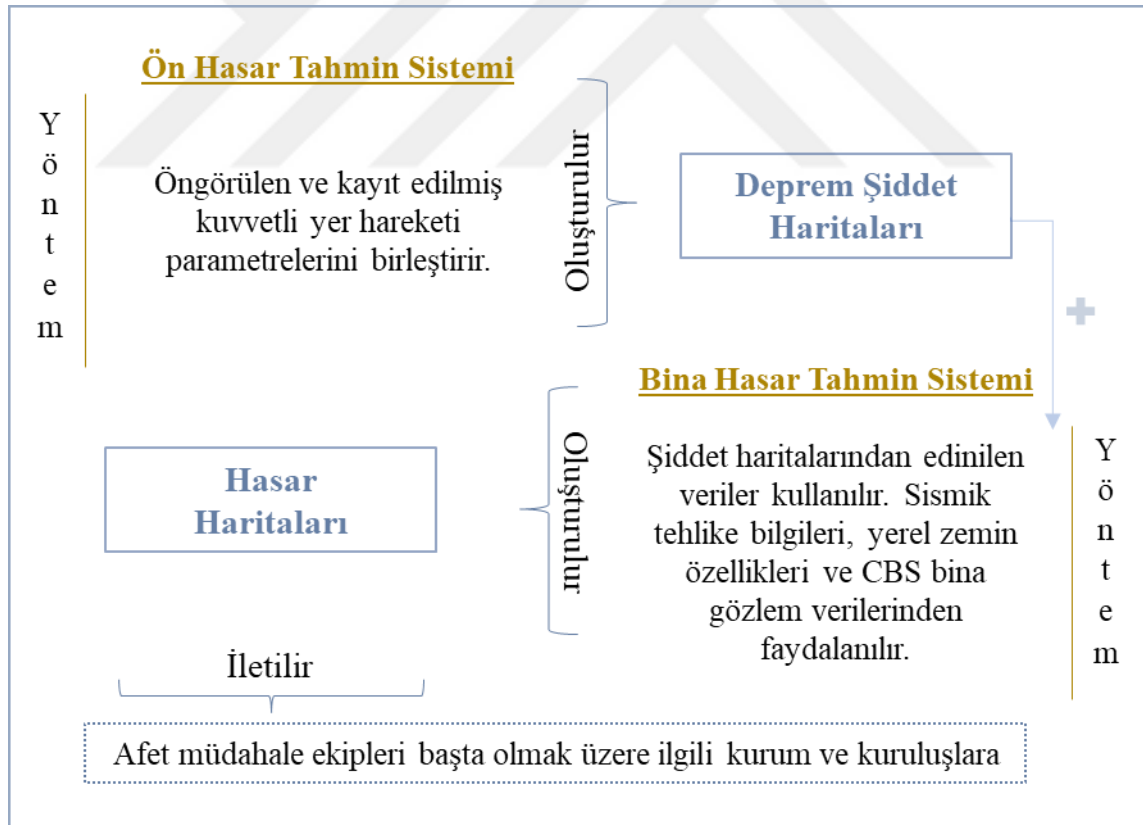
26 Eylül 2019 tarihinde Silivri açıklarında meydana gelen 5.8 büyüklüğündeki deprem sonrası yaşanan telekomünikasyon çöküntüleri olası bir büyük depremten sonra iletişim sorunu yaşanması ihtimalinin var olduğunu göstermiştir. Geliştirilme çalışmaları devam eden ELER programının böyle bir durumda üreteceği hızlı ve hassas haritalar acil

müdahale ekiplerine öngörü sağlayarak kriz yönetimine doğrudan katkı sağlayabilir. Ayrıca deprem öncesi afet risk yönetimi için senaryo üretme kapasitesine sahiptir.

3.2. AFAD – RED

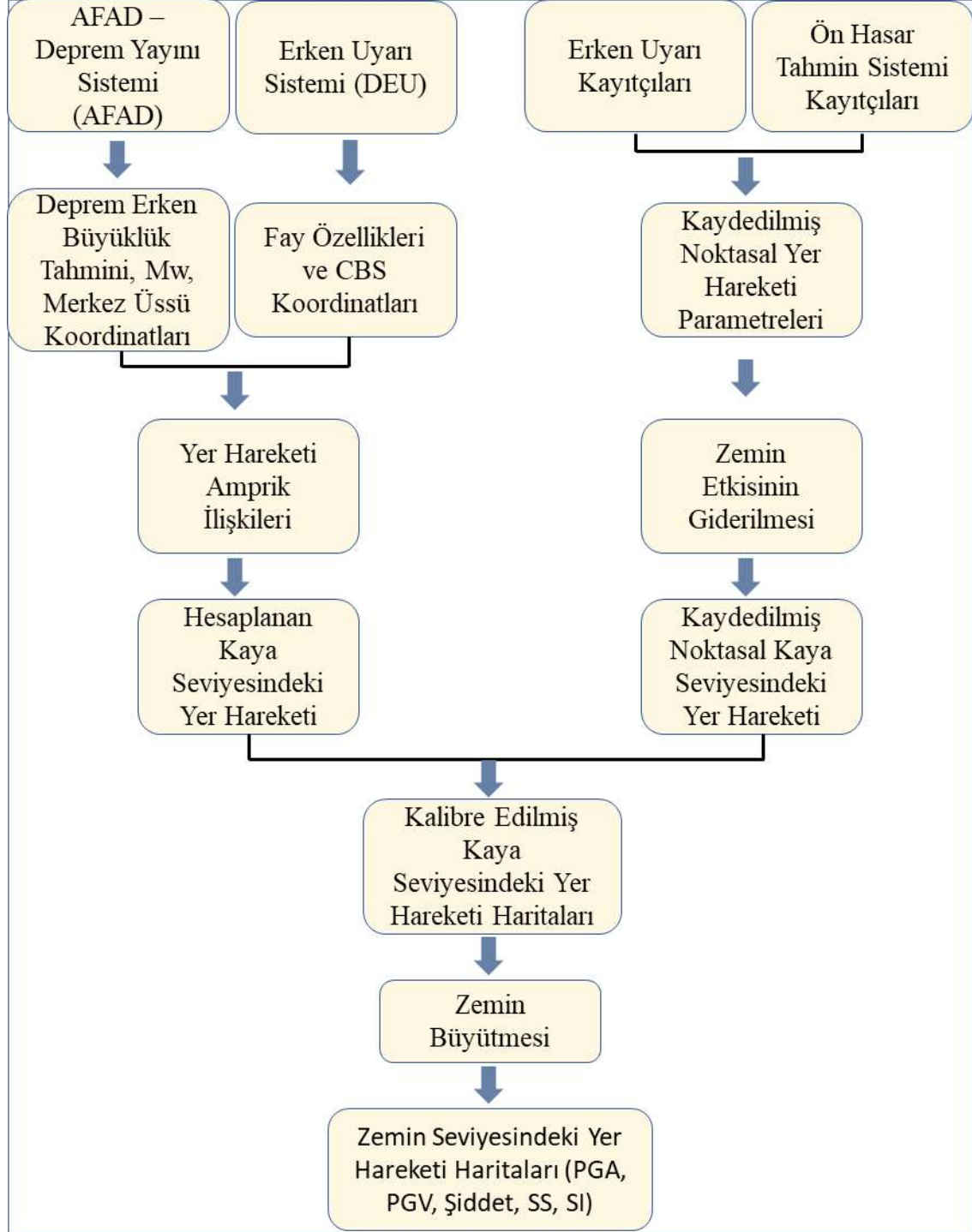
AFAD Deprem Daire Başkanlığı ile akademinin paydaşlığı neticesinde geliştirilen deprem ön hasar ve kayıp tahmini sistemidir. Meydana gelen yıkıcı bir deprem sonrası durum bilgisini hızlı ve sistematik bir şekilde oluşturarak acil müdahale sorumlularının ilgili bölgeye intikalini sağlamayı hedeflemektedir.

Program gerçek zamanlı kayıp tahmini yapabilmek için Ulusal Sismolojik Gözlem Ağları ile bütünleşik çalışır. Deprem parametreleri sunucularından çevrimiçi şekilde çekilir. Veri geldikten sonra ilk olarak ön hasar tahmin sistemi deprem haritalarını üretir. Elde edilen bilgiler bina hasar tahmin yöntemine kanalize edilerek hasar haritaları oluşturulur (Fahjan vd., 2015). Programın temel sistemi şekil 4.6.' da gösterilmiştir.



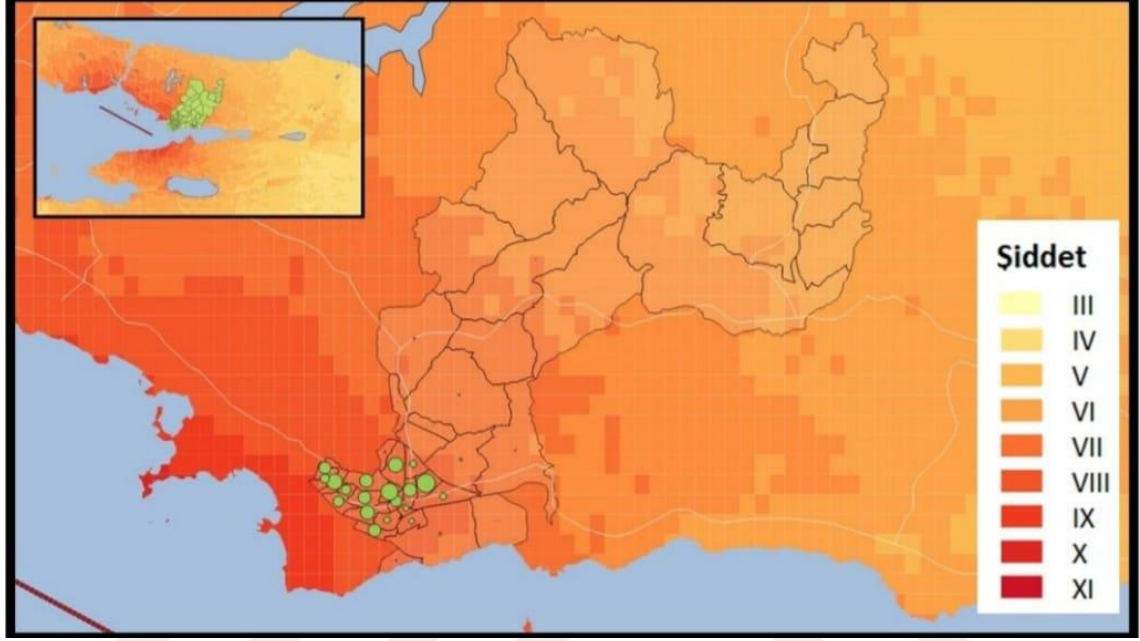
Şekil 3.6. AFAD-RED programının işleyişini gösteren diyagram

Şiddet haritalarını oluşturabilmek için üç farklı yaklaşım geliştirilmiştir (Fahjan vd., 2015). Şekil 4.7.' de ilgili algoritma sunulmuştur.

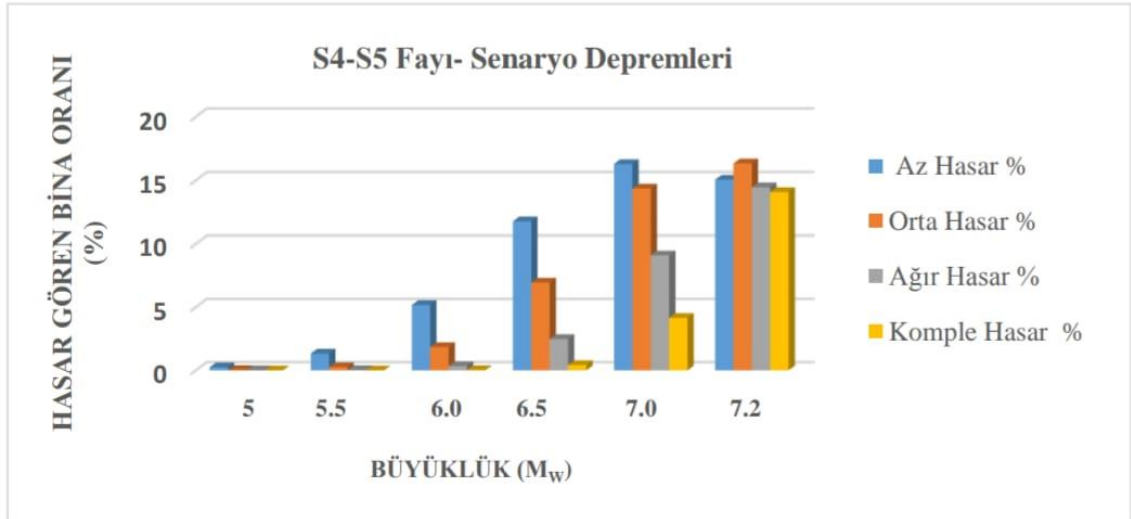


Şekil 3.7. Fahjan vd., (2015) şiddet haritası yer hareket parametrelerinin tahmini için geliştirdikleri algoritmanın modifiye edilmiş hali

Farjah vd., (2015) Gebze ilçesi için kırılma boyu referans alınarak geliştirilen bağıntıyı kullanarak maksimum 7.25 büyüklüğünde bir depremi AFAD – RED aracılığıyla senaryo etmiş, olası şiddet ve olası hasar durumu, hasar gören bina oranı ve yaralı insan oranını hesaplamışlardır.



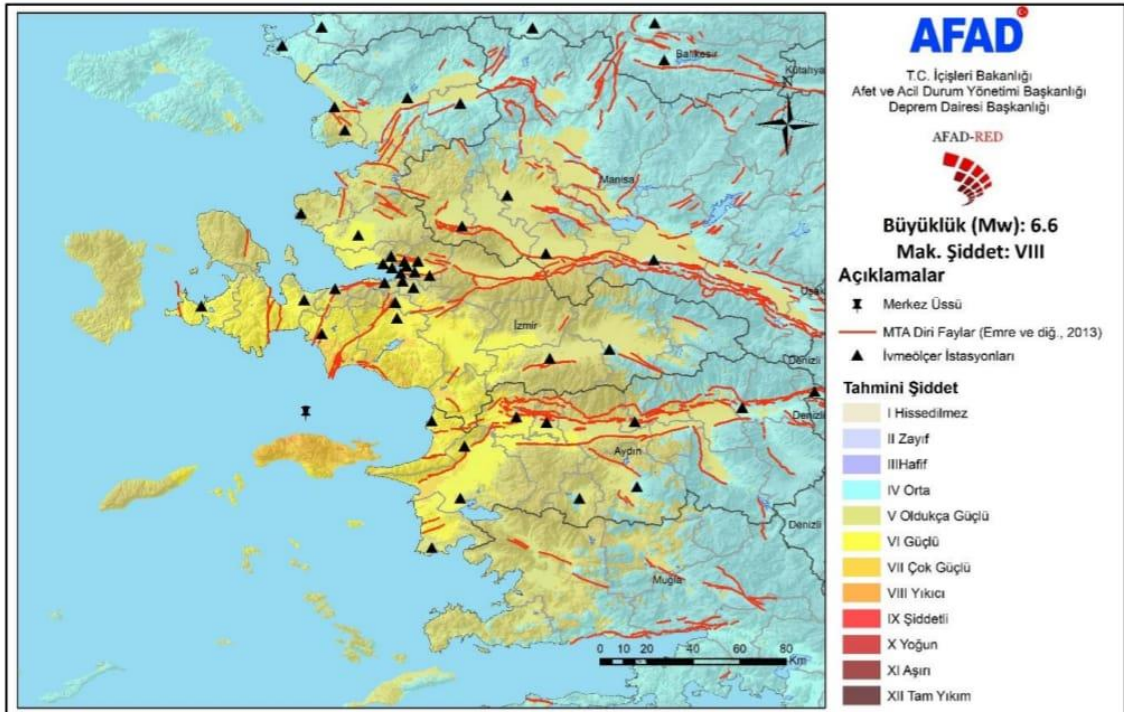
Şekil 3.8. S4-S5 Fay Hattı, $M_w=7.25$ için olası şiddet ve olası hasar durumu (Farjah vd., 2015)



Şekil 3.9. S4-S5 Fay Hattı hasar gören bina oranı (%) (Farjah vd., 2015)

Karaağaç, Karaman ve Aktuğ (2019) tarihsel süreçte 7 büyüklüğünün üzerinde depremler üretmiş Doğu Anadolu Fay Sistemi doğrultusu üzerinde bulunan Kahramanmaraş ve Adıyaman illerinin afetselliğini incelerken AFAD – RED programı aracılığıyla sismik şiddet haritası oluşturmuşlardır. Diğer afet türlerinin de değerlendirildiği araştırma da Kahramanmaraş ve Adıyaman ili için yerleşime uygun alanlar belirlenmiştir.

30 Ekim 2020 günü Sisam adasında gerçekleşen ve İzmir şehrini büyük ölçüde etkileyen deprem incelendiğinde AFAD – RED programı depremin büyüklük, derinlik ve koordinasyon bilgilerini kullanarak 3 dakika içerisinde otomatik ilksel çözümlemeyi yapmış, üretilen çözüm Afet Yönetimi Karar Destek Sistemi (AYDES) platformu üzerinden Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP) hizmet gruplarının kullanımına sunulmuştur (AFAD, 2020). İlgili rapora göre deprem parametre bilgileri detaylanınca ikincil çözüm gerçekleştirilmiş sonrasında bölgede yer alan ivmeölçer verilerine dayalı güncel harita ve sonuçlar hazırlanmıştır. Kurumun AFAD – RED aracılığıyla 78 adet ivme istasyonunun verisini kullanarak hazırladığı harita şekil 4.10’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. İvmeölçer verilerine dayalı hazırlanan tahmini şiddet haritası (AFAD, 2020)

Kriz yönetiminde sorunluluğu bulunan kurumlar afet sonrası planlamalarını detaylandırırken AFAD – RED programının katkısıyla oluşturulacak senaryo depremlerden faydalanabilirler. Örneğin temel gıda, barınma, çadır vb. acil ihtiyaçların miktarı hesaplanarak stok ve bütçe öngörüsünde bulunulabilir.

Oluşturulan senaryo depremlerdeki ön hasar tahmin verileri ile yaklaşık lokasyonda, benzer parametrelerle gerçekleşecek bir deprem sonrası gözlemlenen hasar tespit sonuçlarının karşılaştırılması programın gelişimi ve etkinliği bakımından önem arz etmektedir.

3.3. MARSITE

MARSite (New Directions In Seismic Hazard Assessment Through Focused Earth Observation In The Marmara Supersite) projesi AB 7. Çerçeve Programı, İş Birliği Projeleri kapsamında 1 Kasım 2012’ de başlamış ve 30 Nisan 2016 tarihinde tamamlanmıştır. 42 ay süren çalışma KRDAE tarafından koordine edilmiştir.

Proje Marmara Bölgesine odaklanmıştır ve gerçekleştirilen iş paketleri tablo 4.2.’ de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. *MARSite Projesi Kapsamında Gerçekleştirilen İş Paketleri*

Kod	İş Paketi
WP1	Yönetim
WP2	Uzun Dönemli ve Çok Disiplinli Yer Gözlemleri
WP3	Kabuk Deformasyonun Uzun Süreli ve Sürekli Jeodezik Gözlemlenmesi
WP4	Kuyu (Sismik) Gözlem Sisteminin Kurulumu ve Marmara’ da Yüksek Çözünürlüklü Sismik Gözlemler
WP5	Deprem ve Tsunami İçin Gerçek ve Yakın – Gerçek Zamanlı Gözlemler
WP6	Marmara’ da Depremler Tarafından Tetiklenen Heyelan Tehlikesi
WP7	Marmara Bölgesinin Sismotektoniğinin Yeniden Değerlendirilmesi
WP8	Mevcut Kablolu ve Otonom Çoklu Parametrelili Denizdibi Aletlerini Kullanarak Fay Yakınındaki Sismisite ve Sıvı Hareketliliğinin İzlenmesi
WP9	Erken Uyarı ve Gerçek – Zamanlı Sarsıntı ve Kayıp Bilgisinin Geliştirilmesi
WP10	Veri Yönetimi Uygulamalarının Bütünleştirilmesi ve Devam Etmekte Olan Araştırma Altyapıları ile Koordinasyonun Sağlanması
WP11	Proje Çıktı Sonuçlarının Yaygınlaştırılması

MARSite projesi ile Avrupa paydaşlığında, ileri teknoloji ve standartlar çerçevesinde Marmara Bölgesindeki sismik riskin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Türkiye ile Avrupa’ dan toplamda 21 üniversite ve enstitü katılmıştır. Toplam bütçe büyüklüğü 7.769.608,60 euro olan projedeki AB (Avrupa Birliği) katkısı 5.965.286,45 eurodur ve bütçenin yaklaşık %76,77’ lik kısmını oluşturur ([http-3](#)).

MARSite projesi kapsamında tek bir modelden bahsedilemez. Belirlenen iş paketlerinde çeşitli modeller geliştirilmiş yahut ileride çalışılacak model ile simülasyonlara rehberlik edecek sistemler kurularak veri altyapısı oluşturulmuştur. İlksel nitelikteki çalışmalardan elde edilen bulgu sonuçları katılımcılar tarafından değerlendirilmiştir. MARSite bu yönüyle iş paketlerinin koordinasyonunu sağlayan, bütüncül bir proje yapısındadır.

Çalışmanın çıktı, sonuç ve ilgili haritalarını içeren özet kitapçığı 13 Temmuz 2016 tarihinde MARSite’ ın resmî web sitesinde kamuoyuna ve kullanıcılara açık şekilde paylaşılmıştır.

WP2 kodlu Uzun Dönemli ve Çok Disiplinli Yer Gözlemleri iş paketinde deprem aktivitesi gözlemi, jedetik ve jeokimyasal istasyonlardan elde edilen veriler, zemindeki gaz ölçümü, su muhtevasının bulunduğu yeraltı suları, termal kaynaklar, göller vb. noktalardan toplanan örnekler birleştirilerek bölgenin yer yüzeyi deformasyonu ile yırtılmalar arasındaki ilişkinin modellenmesi hedeflenmiştir ([http-4](#)). MARSite araştırmacıları bölgedeki sıvı bileşimlerinin kimyasal nitelikleri hakkında geniş çaplı ve detaylı bir veri setinin oluşturulabilir olmasının önemini vurgulamaktadır. WP2 iş paketi sürecin sürekli izlenmesinin kuramsal olarak mümkün olduğunu göstermesi açısından da önemlidir. Bu sayede saptanabilecek anomaliler ve değişimler ile deprem tahmini veya gelişimi arasındaki korelasyon sorgulanabilecektir.

WP3 kodlu Kabuk Deformasyonunun Uzun – Süreli ve Sürekli Jeodezik Gözlemlenmesi iş paketinde yüksek çözünürlüklü jeodezik veriler ile kapsamlı veri tabanı bir arada çözümlenerek yer yüzeyindeki değişim ve faylar boyunca gerçekleşen yamulma analiz edilmiştir ([http-4](#)). Yer yüzeyinde meydana gelen değişimleri ölçmek için çeşitli uydulardan elde edilen SAR (Sentetik Açıklıklı Radar) verileri kullanılmıştır. Deformasyona neden olan fiziksel süreç modellenmiş ve depremin yeri ile büyüklüğüne dair yorumlarda bulunulmuştur.

WP4 kodlu Kuyu (Sismik) Gözlem Sisteminin Kurulumu ve Marmara’da Yüksek Çözünürlüklü Sismik Gözlemler iş paketinde Ana Marmara fayı çevresindeki gerilimi

takip etmek için ilgili bölgedeki faya yakın çok – parametrelili kuyu sistemi ve yüzey gözlem istasyonu ağı oluşturulması hedeflenmiştir (http-4).

WP5 kodlu Deprem ve Tsunami İçin Gerçek ve Yakın – Gerçek Zamanlı Gözlemler iş paketinde bölgede bulunan GPS istasyonları yenilenip, gerçek zamanlı hale getirilerek sismik gözlemlere entegre edilmiş, geliştirilecek modellemeler için veri tabanı oluşturulmuştur (http-4). MARSite araştırmacıları olası büyük bir depremden sonra kıyılara ulaşacak tsunami dalgalarının varış süresinin kısalığından dolayı gerçek zamanlı çözümlemeler yapılamayacağı kabulünden yola çıkarak 30 farklı tsunami modeli sunmuşlardır. Modellemeler sonucunda belirli noktalarda dalga yüksekliği ve varış zamanına ilişkin değerler saptanmıştır. Dalga yüksekliğini tarihsel kayıtlar ile uyuşmadığı tespitinde bulunan araştırmacılar, meydana gelen tsunamilerde deniz tabanı heyelanlarının da rol oynadığı değerlendirmesinde bulunmuşlardır. Model sonuçları afet yönetimi perspektifinden ele alındığında kıyı şeridindeki yurttaşların çeşitli olasılıksal riskler barındıran lokasyonlardan uzak tutulması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

WP6 kodlu Marmara’ da Depremler Tarafından Tetiklenen Heyelan Tehlikesi iş paketinde pilot bölge olarak belirlenen bölgelerde jeolojik ve jeofizik araştırmalar yapılması, yerel çok parametrelili istasyonların kurulması ve dinamik sayısal simülasyonların gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır (http-4). Elde edilen veriler neticesinde araştırılan bölgenin heyelan riski açısından diğer bölgelere kıyasla nasıl farklılaştığı sunulmuştur.

WP7 kodlu Marmara Bölgesinin Sismotektoniğinin Yeniden Değerlendirilmesi iş paketinde geçmişte meydana gelen depremler ve sismotektonik aktivite jeolojik zaman ölçeğinde incelenmiş, tektonik aktivitelerin tarihleri belirlenerek bu doğrultuda aktif fay haritaları tekrar gözden geçirilmiş ve yorumlanmıştır (http-4). Karada yürütülen hendek çalışmalarının ve Marmara deniz tabanından alınan karot örneklerinin güncel harita ve modellere katkısı paleosismik araştırmaların afet risk yönetimine doğrudan ve dolaylı katkısına örnek teşkil etmektedir.

WP8 kodlu Mevcut Kablolu ve Otonom Çoklu Parametrelili Denizdibi Aletlerini Kullanarak Fay Yakınındaki Sismisite ve Sıvı Hareketliliğinin İzlenmesi iş paketinde Ana Marmara Fayının denizaltındaki geometrisi betimlenmiş, sismik boşluğun batı tarafındaki depremselliğin sığ derinliklerde kümelenmeler gösterdiği tespit edilmiştir (http-4). Elde edilen verilerden yola çıkan MARSite araştırmacıları kümelenen bölgedeki sismik

aktivitenin yalnızca tektonik kaynaklı olmadığını, derinlerde bulunan gaz göçünün de aktivitede rol oynayabileceği değerlendirmesinde bulunmuşlardır.

WP9 kodlu Erken Uyarı ve Gerçek – Zamanlı Sarsıntı ve Kayıp Bilgisinin Geliştirilmesi iş paketinde İstanbul ilinde kurulu, aktif kullanımda olan Deprem Erken Uyarı ve Acil Müdahale Sisteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda sistem yeni algoritmalar, uzaktan algılama ve iletişim teknolojileri ile desteklenmiştir. Şehrin iki kritik altyapısı olarak değerlendirilen Marmaray ve doğalgaz dağıtım ağının sisteme entegrasyonu sağlanmıştır (http-4). Mevcut sistemlere ek olarak çeşitli erken uyarı algoritmalarını uygulamayı mümkün kılan deprem erken uyarı sistemi geliştirilmiş, yapı envanterinin güncel takibi için uzaktan algılama teknolojilerine başvurulmuştur.

WP10 Veri Yönetimi Uygulamalarının Bütünleştirilmesi ve Devam Etmekte Olan Araştırma Altyapıları ile Koordinasyonun Sağlanması iş paketinde MARSite kapsamında yaratılan verilerin ve proje sonuçlarının uluslararası dijital standartlar gözetilerek, istismara mahal vermeyecek şekilde dağıtılması organize edilmiştir (http-4).

WP11 Proje Çıktı Sonuçlarının Yaygınlaştırılması iş paketinde ise MARSite projesi boyunca gerçekleştirilen çalışmalar araştırmacılar ve kamuoyu ile paylaşılmıştır (http-4). Bilginin etkin yayılması için çeşitli sosyal medya platformları kullanılmış, çeşitli broşür ve posterler düzenlenmiştir.

Marmara bölgesini bir süper – site haline getirmeyi misyon edinen MARSite projesi, yer bilimlerinin farklı dallarından araştırmacıları çeşitli iş paketleri dahilinde koordine ederek çok disiplinli bir çalışmanın ortaya koyulmasını sağlamıştır.

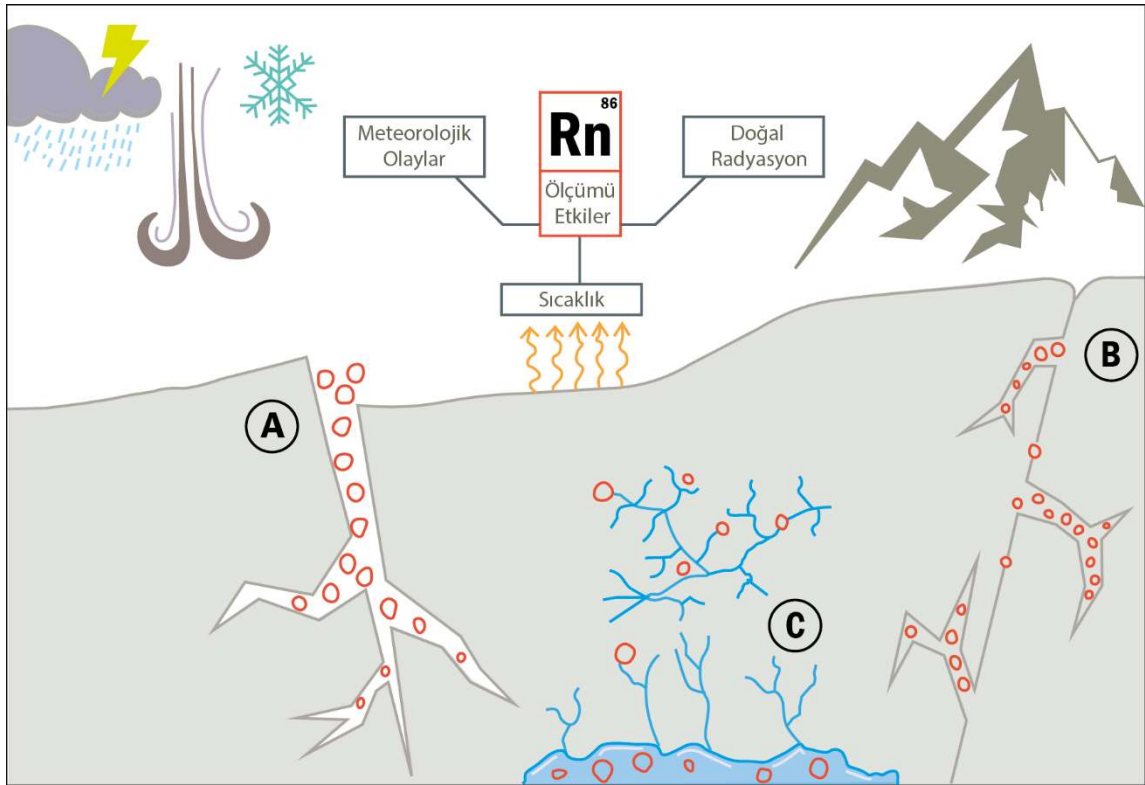
3.4. Radon Gazı Ölçümleri

Radon periyodik tabloda soy gazlar grubunda yer alan, renksiz ve kokusuz çok ağır bir gazdır. Yer kabuğundaki kaya tanelerinde veya toprakta bulunan uranyum, radyum gibi malzemelerin bozunmasıyla doğal olarak üretilir, alfa parçacıkları yayar, radyoaktiftir.

Deprem oluş süreci aşamalarında dış kabukta gerçekleşen kimyasal ve mekanik faaliyetlere odaklanan çeşitli araştırmalar meydana gelen bazı depremleri radon gazı anomalileri ile ilişkilendirmeyi başarmıştır. Bu anomaliler toprakta, yeraltı suyunda veya atmosfer konsantrasyonunda gözlemlenebilir.

Deprem öncesi gerilmelerle dezenformasyona uğrayan yer kabuğundaki çatlakların boşluklar yaratarak radon gazı salınımını arttırdığı düşünülmektedir. Seçili depremlere odaklanan bazı araştırmalar ise ölçülen radon seviyesindeki düşüşlerin de anomali olarak değerlendirilebileceğini öne sürmüştür.

Çevresel faktörler nedeniyle kolayca dağılabilen radonun yarılanma süresi 3,8 gündür. Görsel 4.1.' de radon ölçümünü etkileyen dış etkenler gösterilmiştir.



Görsel 3.1. Radon gazı ölçümünü etkileyen çevresel faktörler

Gerilmelerden kaynaklı oluşan mikro kırıkların neden olduğu boşluklar ve radon gazının yüzeye salınımı görsel 4.1.' in A bölgesinde tasvir edilmiştir. B ile gösterilen alan ise sismik durgunlukta baskılanan boşlukları ve yüzeye ulaşamayan radon gazını göstermektedir. Yeraltı suyu ve taşıdığı radon içeriği C ile işaretlenen alanda yer almaktadır. Kırmızı oval şekiller radon gazını temsil etmektedir.

Diğer kayaç türlerine nazaran daha yüksek seviyede radon içeriğine sahip granit kayaçlar, anomalilerin tespitinde ve ölçümün hassasiyetinde kritik bir jeolojik parametreye karşılık gelir. Ayrıca atmosferik radon konsantrasyonunun aşırı hava

olaylarına, mevsimlere hatta gece – gündüz dönüşümlerine göre farklılıklar göstermesi veri güvenilirliği açısından tehlike arz etmektedir.

Radon seviyesindeki anomaliyi sismik aktiviteyle ilişkilendirip bu alandaki gelişmeleri hızlandıran ilk nitelikli kayıt 1966 Taşkent depreminden önce yeraltı suyunda ölçülmüştür. Toprakta ve yeraltı suyunda değişimin izlenmesi amacıyla 1973 yılında Japonya’da çalışmalar başlatılmıştır (Yasuoka and Shinogi, 1997).

Ana şok öncesi anormal düzeyde radon konsantrasyonu artış gözlemlenen 1995 Kobe depremine odaklanan Yasuoka vd., (2009) atmosferik radon konsantrasyonundaki zamansal değişim ile kabuk gerilimi, yeraltı suyu radon konsantrasyonu ve yeraltı suyu deşarj oranının zamansal değişimini karşılaştırmış ve bağlantıları ortaya koymuştur.

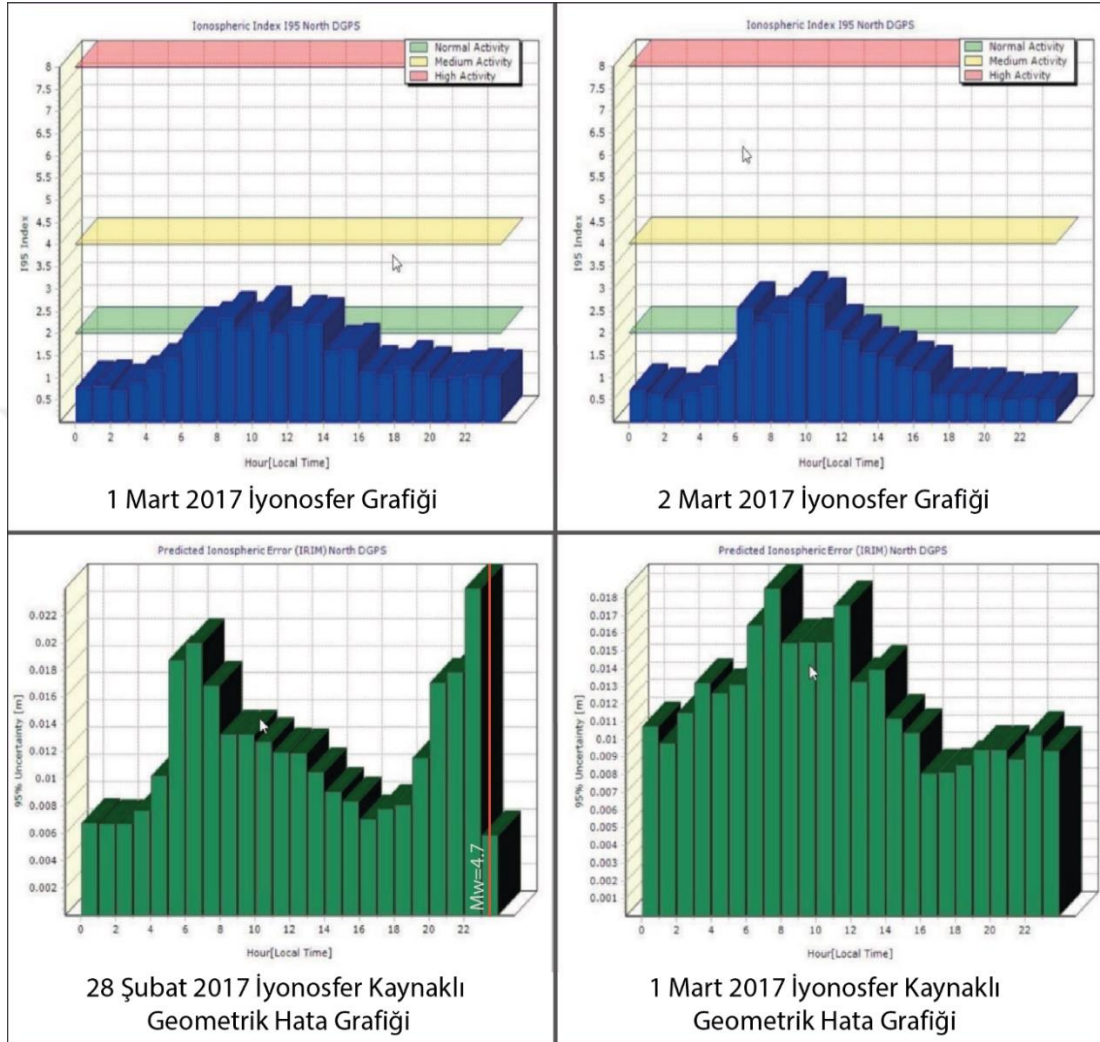
Muto vd., (2021) Japonya’ da 2018 yılında meydana gelen 6.1 büyüklüğündeki Kuzey Osaka depreminden önce sismik durgunlukla bağlantılı atmosferik radon konsantrasyonunda bir düşüş tespit etmiştir. Sismik durgunluk sürecinde baskılanan taşıyıcı kırık ve çatlakların geçişkenliğinin azalması (şekil 4.1.’in C ile işaretlenen alanında gösterildiği gibi) düşüşün nedeni olarak değerlendirilmiştir. Depremden iki yıl sonraya kadar (2020 yılı ortaları) radon konsantrasyonunun düşük seyrettiği bildirilmiştir.

İnan vd., (2008) Marmara Bölgesinde yürüttükleri geniş çaplı jeokimyasal çalışma neticesinde sıcaklık, elektrik iletkenliği, sertlik, anyon, katyon ve kararlı izotoplar gibi kaynak suyu verilerini izlemiş ve dikkate değer bir anomali saptayamamıştır. Buna karşın topraktaki radon konsantrasyonunda gözlemledikleri değişimleri sunmuşlardır. Çalışma dönemi boyunca meydana gelen orta büyüklükteki depremler izlenmiş ve toprak konsantrasyonundaki radon yayılma sürecinin yeraltı suyuna nazaran daha hızlı gerçekleştiği yorumunda bulunulmuştur. Ayrıca jeotermal aktiviteye sahip olmayan bölgelerin toprak radonunun izlenmesi için elverişsiz yerler olduğu görüşü desteklenmiştir.

Son yıllarda radon salınımı ile ilişkili olabileceği düşünülen atmosfer ve iyonosfer anomalilerinin takibi için uzaktan algılama teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Pulinets ve Ouzounov (2011)’a göre büyük bir deprem meydana gelmeden önce atmosfer ile iyonosferdeki süreçleri içeren ve uzaktan algılama uydularıyla katmanlarda gözlemlenen termal anomalilerin nedeni radon bozunmasından kaynaklı alfa parçacıklarıdır.

Topçu vd., (2017) sürekli gözlem yapan GNNS uyduları aracılığıyla gözlemledikleri iyonosfer anomalilerini AFAD deprem kataloğuna göre 28 Şubat 2017 tarihinde Ayvacık’ ta saat 23:27’ de meydana gelen 4.7 büyüklüğündeki deprem ile

ilişkilendirmiştir. Ortalama 1 santim seyretmesi gereken geometrik hatanın deprem öncesi 2 santimi aştığı şekil 4.11.' de görülmektedir.



Şekil 3.11. Modifiye edilmiş iyonosfer ve iyonosfer kaynaklı hata grafikleri (Topçu vd., 2017)

Doğrudan radon gazı ve deprem ilişkisini inceleyen çalışmaların metodoloji bölümleri incelendiğinde ise radon seviyesini ölçüp, takip etmek için gama ışıını spektrometresi, katı hal nükleer iz dedektörü, gaz akışı iyonizasyon odası ve özel amaçlı geliştirilmiş sintilasyon dedektörü gibi çeşitli aletlere başvurulduğu görülmüştür. Radon gazının etkili şekilde izlenebilmesi için çok sayıda dedektörün yerleştirilmesi gerektiği açıktır ancak veriyi sağlayacak cihazlar kapsamlı uygulamalar için oldukça pahalıdır.

Bazı büyük depremlerden önce radon konsantrasyonunda gerçekleşen değişimlerin öncü nitelikte davranışlar sergilediği pek çok çalışma ile desteklenmiş bir gerçek.

Fenomen, deprem tahminine yönelik gelecek vadeden çıktılar üretse de geniş çevrelerce kabul görerek erken uyarı sistemlerine ve afet risk yönetimine entegre olması yakın zamanda beklenmemektedir. Sismik kaynaklı radon ölçümü ve takibine yönelik sismograflardaki gibi küresel düzeyde kabul gören standartların geliştirilmemiş olması, bütüncül ağ kurma maliyetinin ileri teknoloji gerektirmesi ve getirdiği maliyet, radonun doğasından kaynaklı zorluklar ile dolaylı etkileri hakkındaki bilgi eksikliği, mevcut çalışmaların yetersizliği ve lokal kalması fenomenin önündeki başlıca zorluklardır.

3.5. ShakeAlert

ShakeAlert United States Geological Survey (USGS) ve ortaklarının iş birliğiyle geliştirilmiş deprem erken uyarı sistemidir. Amerika Birleşik Devletleri'nde nüfusun yoğun ve deprem riskinin yüksek olduğu batı kıyısı eyaletlerine odaklanan sistemin aktif olarak iyileştirme süreçleri devam etmektedir.

Sistemin temel çalışma prensibi bu tez çalışmasının ikinci bölümünde anlatılan erken uyarı sistemleri başlığındaki içerikle büyük ölçüde paraleldir. Deprem meydana geldiğinde hızlı hareket eden P dalgaları sensörler tarafından yakalanır daha sonra işlem merkezine iletilen bilgi otomatik çözümlemeler ile doğrulandıktan sonra USGS tarafından ilgili alıcılara uyarı mesajı olarak geçer. Kritik altyapı ve endüstri kuruluşlarının sisteme entegrasyonu ile yıkıcı yüzey dalgaları ilgili merkezlere ulaşmadan koruyucu eylemleri hayata geçirmek mümkündür.

ShakeAlert sistemi her deprem erken uyarı sisteminde olduğu gibi can kaybı ve yaralanmalarını azaltmayı, işletmelerin ve kurumların ekonomik zararını minimuma indirmeyi, uzun vadede toplulukların dirençliliğini arttırmayı hedeflemektedir.

Yer hareket sensörleri, sensörlerin merkezi işletim sistemiyle arasındaki telekomünikasyon, gelen veriyi doğrulayıp uyarı oluşturup oluşturmamaya karar veren algoritmalar, uyarı oluşturulduktan sonra kullanıcılara dağıtma ShakeAlert sisteminin temel unsurlarını oluşturmaktadır.

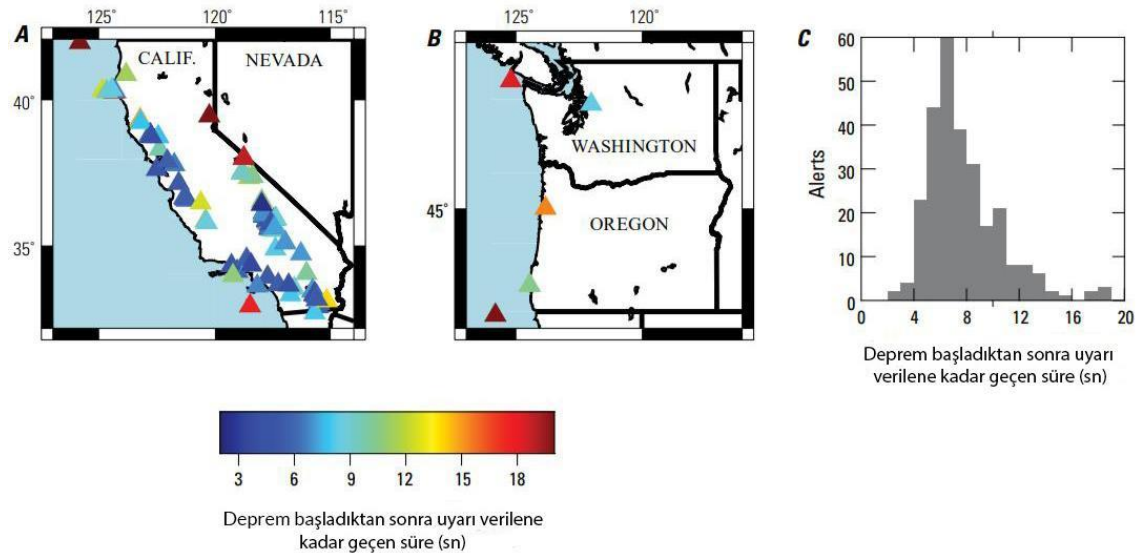
2006 yılında başlayan geliştirme süreci USGS ve Gordon and Moore Foundation tarafından finanse edilmiştir (Given vd., 2014). Gordon and Moore Foundation 2011 yılında sistemin geliştirilmesi ve testleri için 6,5 milyon dolarlık hibe paketini açıklamış, 2016' da 3,6 milyon dolarlık ek paket ile desteğini sürdürmüştür ([http-5](http://5)). Sistemin geliştiricilerinden Berkeley Sismoloji Laboratuvarları finansman ve paydaşlık için

Google.org ve Deutsche Telekom ile anlaşmıştır (http-6). Sistemin yıllık işletim masrafları için her yıl ek 16,1 milyon dolar kaynağın gerektiği belirtilmiştir (http-5).

Deprem merkez üssünün çok yakınındaki alanlara erken uyarı ikazının zamanında gidememesi araştırmacıları zorlayan başlıca problemlerden biridir. Kör bölge olarak adlandırılan bu noktalar için erken uyarı sisteminin karar hızı kritiktir. Sensörlerin merkez üssüne mümkün olduğunca yakın konuşlandırılması ve sensörlere ilk ulaşan P dalgası enerjisini hızlıca analiz eden algoritmalar aracılığıyla depremi kategorize edip, deprem başlangıcından birkaç saniye gibi çok kısa sürede bireyler ile altyapıya uyarı mesajını dağıtmak erken uyarı sistemlerinin nihai amacıdır (Given vd., 2014).

USGS, erken uyarı sistemi hakkında kullanıcıları eğitmeyi ve ShakeAlert hakkında organizasyonları bilgilendirmeyi teşvik etmektedir. Hem özel hem de kamu kuruluşları ile antlaşmalar, sözleşmeler, protokoller aracılığıyla paydaşlıklar kurulması ve gelişen sismik ağlarla birlikte deprem riskine sahip tüm alanlarda ShakeAlert' in kullanılması modelin temel hedeflerinden biridir.

Kentsel alanlarda yoğun sensör olduğundan sistemin tepki süresi kısadır. Fakat sismik istasyonun az olduğu açık deniz depremleri için bu süre uzamaktadır. Şekil 3.12' de sistemin tepki sürelerinin konuma göre nasıl farklılaştığı görülmektedir.



Şekil 3.12. 1 Ocak 2019 ile 31 Ekim 2020 tarihleri arasında meydana gelen 3.5 ve üzerindeki büyüklüğe sahip depremler için ShakeAlert sisteminin uyarı verme süresindeki dağılımı gösterir haritalar ve histogram (McGuire vd., 2021)

2014 yılında meydana gelen 6.0 büyüklüğündeki Güney Napa depremini tespit eden sistem, 50 km uzaklıkta bulunan San Francisco’ daki acil durum merkezine S dalgalarının ulaşmasına 8 saniye kala uyarı mesajı göndermiş ve otomatik tren yavaşlatma sisteminin aktifleşmesini sağlamıştır. Bir yıl sonra Los Angeles’ ta meydana gelen 3.8 büyüklüğündeki depremde ise depremin başlamasından 3.4 saniye sonra uyarı ikazı verilmiştir. 2018 yılında California eyaletinde gerçekleşen 4.4 büyüklüğündeki depremden 12 saniye kadar önce ve yine California’ da gerçekleşen 5.3 büyüklüğündeki başka bir depremden 29 saniye kadar önce bildirimde bulunulmuştur (Cochran vd., 2018).

20 Aralık 2021 tarihinde California açıklarında meydana gelen 6.2 büyüklüğündeki deprem, ShakeAlert sisteminin aktif kullanımından itibaren deneyimlenen en büyük deprem olmuştur. Yaklaşık 25.000’i çok güçlü / güçlü kategorisinde olmak üzere yarım milyona yakın kullanıcıya titreşimi hissetmelerine 10 saniye kala uyarı mesajı gönderilmiştir. Sistemin çevrimiçi olduğu 2016 Şubat ayından itibaren büyüklüğü 4.5’ in üzerinde olan depremlerin hiçbirini kaçırmadığı belirtilmiştir (Cochran vd., 2018).

ShakeAlert sistemine 2016 yılında Testing and Certification Platform (TPC) dahil edilmiştir. Platformun temel amacı performans artışına yönelik yapılan kod değişikliklerinin güvenilirliğini sağlamaktır. Kod güncellemelerinin uyumunu gözetlemek için gerçek zamanlı ve çevrimdışı olmak üzere iki farklı test protokolü uygulanır. Kullanıcılara dağıtılan uyarı bilgisinin niteliğini değerlendirmekte platformun yetkisi dahilindedir. Sistem uyarılılarının performansı değerlendirilirken nokta – kaynak parametresi ve yer hareketine dayalı yöntemler baz alınır (Cochran vd., 2018).

Given vd., (2014) hassas ve gerçek zamanlı GPS teknolojilerinin erken uyarı sistemlerine entegrasyonunu ön görmektedir. Özellikle büyük depremlerdeki yer değişimi doğrudan GPS’ler aracılığıyla gözlemlenebilir ve gerekli algoritmalar mevcut ShakeAlert sistemiyle uyumlu çalıştırılabilirse veri güvenirliliği ile uyarı standartları bir üst noktaya geçecektir.

Bulut depolama sistemlerinin getirdiği riskler ve maliyet sorunları için esnek çözümler gerekmektedir. Tüm aşamalarda ve ulaşılmak istenilen hedeflerde olduğu gibi bu aşamada da finansman zaman yönünden belirleyici olacaktır.

Sistemin içerisinde yer alan TPC modülü literatürde öncül olması bakımından önemlidir. ShakeAlert bilimsel başarısının yanı sıra kaynak yaratma, sürdürülebilirlik ve topluluklara ulaşma noktasında da örnek bir model ortaya koymuştur.

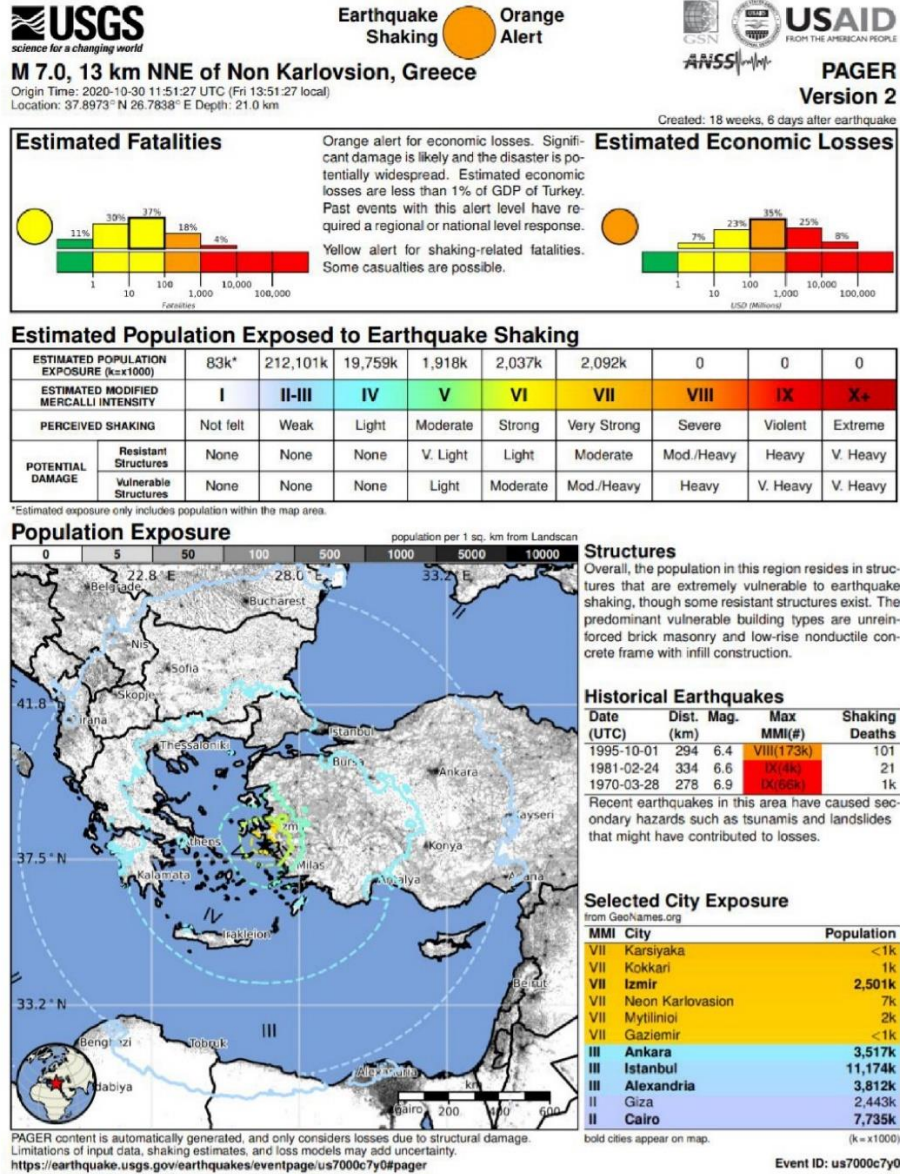
3.6. PAGER

PAGER (Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response) USGS tarafından geliştirilip, hizmete sokulan kayıp tahmin sistemidir. Dünya’ da meydana gelen büyük depremlerden sonra otomatik olarak doküman oluşturur.

PAGER çıktıları üretirken yine USGS tarafından geliştirilmiş ShakeMap şiddet yoğunluğu haritalarını temel alır. PAGER’ in tahmin hesaplamaları ve uyarının zamansal etkinliği için ShakeMap çıktıları oluşturulma hızı kritiktir. ShakeMap çıktıları depremin etki alanı ve dağılımı hakkında bilgiler içerir. PAGER bu bilgileri Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı tarafından işletilen nüfus veri tabanındaki bilgiler ile birleştirerek depreme maruz kalan insan sayısını hesaplar. Maruz kalınan şiddete göre nüfus kümelerini oluşturur. Buna dayalı olarak ve ilgili ülke özelinde derlenen modeller baz alınarak ölüm ve ekonomik kayıp aralıklarını tahmin eder. Tahmin sonucuna göre uyarı seviyesi belirlenir. Dokümanlarda standart olarak yer alan dört farklı uyarı seviyesi belirlenmiştir. Seviyeler renklerle kodlanmıştır. Yeşil renk kodu müdahale gerekmediğine, sarı renk kodu yerel müdahaleye, turuncu renk kodu ulusal müdahaleye ve kırmızı renk kodu da uluslararası müdahaleye işaret eder (Wald vd., 2010).

Uyarı seviyesine göre acil bilgilendirme yapılması gereken alıcılar tespit edilir ve bildirim yapılır. Belge eş zamanlı ve otomatik olarak USGS’ in web sayfasına düşer.

Büyük bir depremden kısa süre sonra oluşturulan rapor tek sayfadan oluşur. Alarm düzeyi seçilebilir biçimde raporun en üst kısmında yer alır. Lokasyon, büyüklük, derinlik bilgisi başlık olarak verilir. Devamında ölüm ile ekonomik kayıp tahminini gösteren histogram tablolar bulunur. Belgede ayrıca şiddete göre maruz kalan insan sayısı tahmini ve harita üzerindeki dağılımı, ağırlıklı yapı stokuyla ilgili açıklama, tarihsel depremler ile harita sınırları içerisinde kalan büyük nüfusa sahip lokasyonlar için şiddet tahminleri sunulur. Örneğin alarm seviyesi turuncu olarak geçilen 7.0 büyüklüğündeki Ege Denizi depreminin PAGER arşivindeki kaydı görsel 3.2.’ de gösterilmiştir.



Görsel 3.2. 30 Ekim 2020' de İzmir açıklarında meydana gelen depreme ait PAGER raporu (http-7)

Histogram tablolarındaki aralıklar tüm depremler için standart uygulanmaktadır. Depremi ilk anlarında belirsizlik hakimdir. İlerleyen dakika ve saatlerde veriler netleştikçe uyarının yeni versiyonlarında güncellemeler yapılır.

Yapı stoku bilgisini içeren veritabanlarının kalitesi etkili bir kayıp tahmini için oldukça önemlidir. Pek çok bölgede yapı stoku veritabanı oluşturmanın ekonomik maliyeti yüksek ve geliştirilme hızı yavaştır. PAGER sistemi bu tip lokasyonlarda referans olarak kabul ettiği veritabanı bilgisine göre hesaplama yapmaktadır (Jaiswal., 2010). Ayrıca depremin gerçekleştiği alandaki sensör yoğunluğu sistemin tepki hızında

belirleyici olmaktadır. Yoğun sensör bulunan alanlarda doküman oluşturulma hızı daha yüksektir.

Kayıp tahmin sisteminin depremin potansiyel yıkıcı etkileri hakkında hızlı bir çerçeve oluşturması karar vericiler ve uygulayıcılara müdahalenin kapsamına dair öngörü yeteneği kazandırması bakımından değerlidir. Çin’ de 12 Mayıs 2008 tarihinde gerçekleşen 7.9 büyüklüğündeki depremden altı saat kadar sonra ana akım haber ajansları 6 ölüm bildiriyorken 10’ ncü günün sonunda 70.000 ölüm rakamına ulaşıldı ve binlerce kişinin kayıp olduğu ortaya çıktı. Keza Endonezya’ nın Java adasının güneyinde, 27 Mayıs 2006 tarihinde meydana gelen 6.4 büyüklüğündeki depremin yaklaşık 6.000 ölüm beklendiğinin tespit edilmesi yaklaşık üç gün sürdü (Earle vd., 2009).

3.7. Global Earthquake Model (GEM)

GEM tüm dünya genelinde deprem riskini hesaplamak ve yapılan güncel çalışmaların mevcut sistemlere entegrasyonunu stabil kılmak amacıyla standartlar geliştirmeyi hedefleyen kapsamlı bir projedir. OECD’ nin Küresel Bilim Formu tarafından başlatılmıştır ve kamu – özel iş birliğine dayanır.

Süreç, çalışmalara zemin oluşturacak bilgi işlem altyapısını inşa etmek için tasarlanan GEM1 adlı pilot uygulamayla başlamıştır. Veri kümelerini işlevsel kılan entegre platform ile gerekli araç bileşenini hazırlayan GEM1, çıktıları itibariyle pratik uygulamalardan ziyade modelin kavramsal çerçevesine atıfta bulunur.

GEM1 için ayrılan 2.2 milyon euro büyüklüğündeki bütçenin 1.73 milyonluk kısmı harcanmış, artan kısım GEM Vakfının tasarrufuna bırakılmıştır ([http-8](http://8)).

GEM’ in veri depolama ve dağıtım, topluluk etkileşimi vb. fonksiyonel araçlarını barındıran açık kaynaklı OpenQuake yazılımı modelin önemli bir nirengi noktasıdır. Kapsamlı araç setiyle detaylı risk ve tehlike haritasına ihtiyaç duyan kullanıcılara hitap eden platform 2011 yılında yayınlanmıştır.

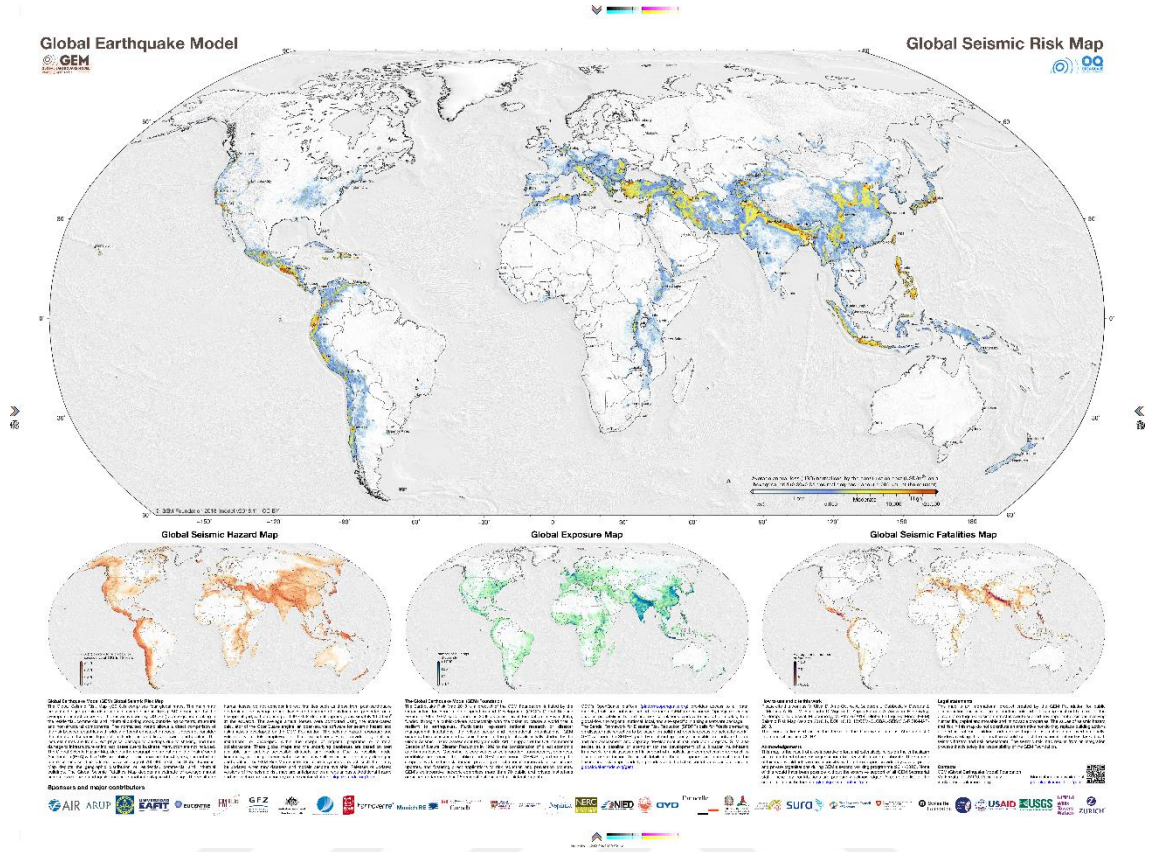
GEM’ in bütüncül deprem risk modeli oluşturmak için tasarlayıp, geliştirdiği bilimsel bileşen ve projeler şekil 3.13.’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. GEM' in bileşenlerini gösteren diyagram

Can ve mal kaybı olasılığını çıkartmak için sismik tehlike, maruz kalma ve yapı stoğunun kırılma kapasitesini içeren fiziksel sismik risk belirlenir. Paralel şekilde türetilen sosyoekonomik kırılma kapasitesi ve dirençlilik endeksi fiziksel sismik risk endeksi ile birleştirilerek entegre sismik risk bilgisi ortaya konur (Crowley vd., 2013).

Ulusal kurumlar, bölgesel programlar ve iş birlikleri aracılığıyla geliştirilen ve dört farklı haritanın yer aldığı küresel deprem risk haritası şekil 3.14.' te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. GEM tarafından sunulan küresel deprem risk haritası (Silva vd., 2018)

Küresel sismik risk haritasının yanı sıra küresel deprem tehlike haritası, küresel maruziyet haritası, deprem odaklı küresel ekonomik kırılganlık haritası ve sosyal kırılganlık haritası gibi ürünlerde model kapsamında yayınlanmıştır.

GEM, Sendai Afet Risk Azaltma Çerçevesinin işaret ettiği küresel standartlara dayalı afet riski azaltma politikaları için altlık oluşturmuş ve katılımcı yapısıyla küresel enformasyonu hızlandırmıştır.

3.8. SHARE

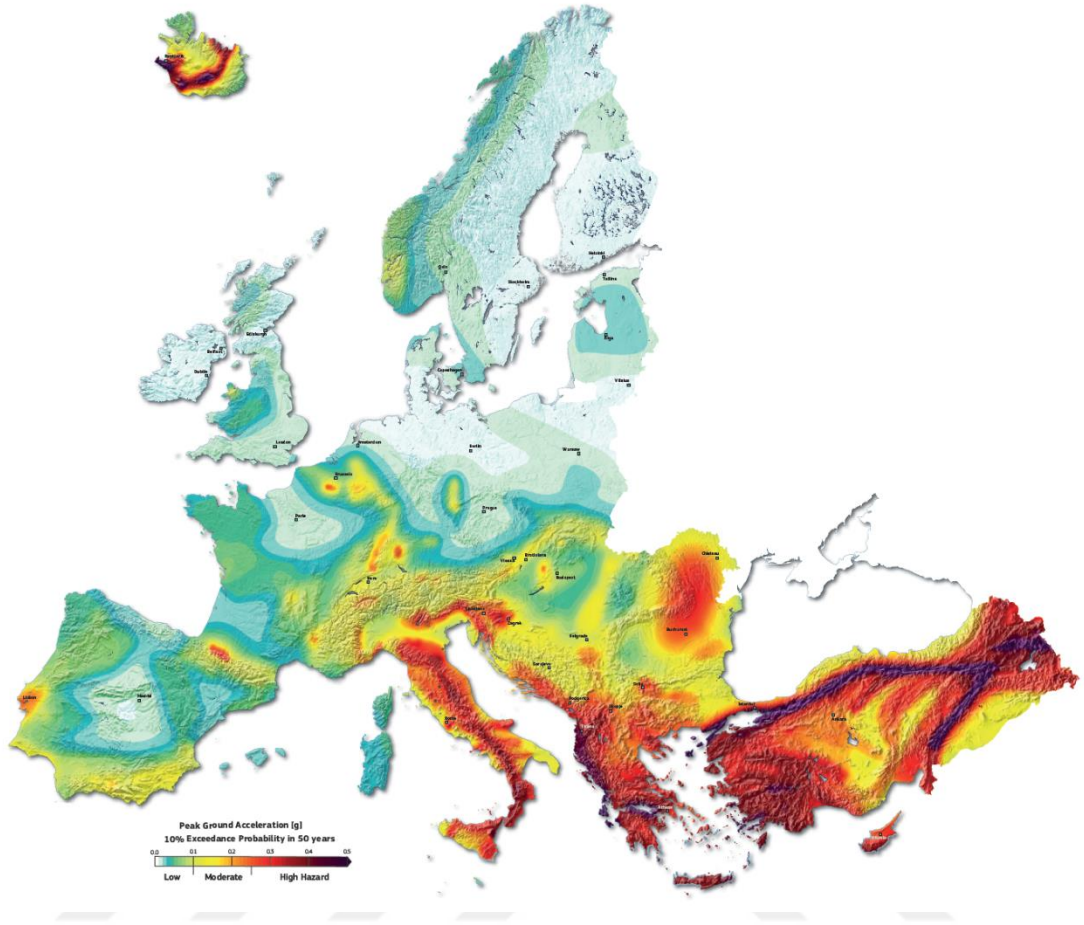
Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE) AB komisyonunun 7' nci çerçeve programı kapsamında gerçekleştirilmiş bir projedir. Genel bütçe toplamı 4.114.266,70 euro olup, 3.200.000 euroluk kısmı doğrudan AB katkısıdır. 1 Haziran 2009 tarihinde başlayıp 30 Kasım 2012 tarihinde sona eren proje İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü (ETH) tarafından koordine edilmiştir (<http-9>).

SHARE bilimsel alandaki güncel gelişmelerden etkili şekilde faydalanarak Avrupa – Akdeniz bölgesi için toplum temelli sismik tehlike modeli oluşturmayı amaçlamıştır. Türkiye’ yi de kapsar ve KRDAE projenin paydaşlardan biridir.

SHARE aynı zamanda bir önceki başlıkta değinilen Global Earthquake Model girişiminin katılımcısıdır ve modelin Avrupa bölgesini kapsayan alanının risk değerlendirilmesine katkı sağlama sorumluluğunu üstlenmiştir.

Proje sonucundan üretilen deprem kataloğu, aktif fay veri tabanı, sismojenik kaynak modelleri gibi veri ve sonuçlara Avrupa Deprem Tehlikesi ve Riski Tesisleri (EFEHR)’ nin kurumsal web sitesi üzerinden erişime sağlanabilmektedir. Bu noktada EFEHR ve Avrupa Plaka Gözlem Sistemi (EPOS)’ dan bahsetmek konu başlığı ve tez çalışmasının kapsamı bakımından faydalı olacaktır. EFEHR Avrupa – Akdeniz bölgesindeki deprem tehlike ve risklerinin değerlendirilmesi süreçlerini geliştirmeyi amaçlayan, organizasyonlar ve toplulukları kapsayan ağıdır. Bilgi alışverişini teşvik eder, açık erişim sağlar, veri tabanlarının bakımını ve güncellemelerini sağlar. EFEHR, EPOS’ un temel tematik hizmetler kapsamındaki üç ana hizmetinden birini oluşturmaktadır. EPOS ise Avrupa’ daki yerbilimi alanlarında faaliyet gösteren başlıca kurum ve toplulukların ürettiği veriler ile veri tabanlarının entegre kullanımı sağlayarak kullanıcıların deneyimlerini kolaylaştırmayı amaçlayan araştırma altyapısıdır. Sistem aynı zamanda deprem, volkan patlamaları ve tsunami gibi jeodinamik süreçlerin fiziksel bilgisini iletmeyi hedeflemektedir.

SHARE ekibi model için temel girdi niteliği taşıyan çeşitli veri kümelerini derlemiştir. Deprem kataloğunu oluşturmak amacıyla 1000 – 2006 yıllarını kapsayan 30.000’ den fazla deprem listelenmiştir. Jeolojik, paleosismik, tektonik bilgiler gözden geçirilip, kabuksal gerinim hızı ve uydulardan sağlanan deformasyon oranları değerlendirilerek Avrupa Sismojenik Veri Tabanı hazırlanmıştır. Ayrıca maksimum büyüklük modeli, yer hareketi modeli gibi tamamlayıcı setler düzenlenmiştir (Woessner vd., 2015). Şekil 3.15.’ te çalışma sonucunda yayınlanan harita gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Avrupa Sismik Tehlike Haritası (Giardini vd., 2013)

SHARE’ in ürettiği sismik tehlike modeli yapı tasarımı ve inşaatla ilgili Avrupa Standartlarını (EN) tanımlayan Eurocode’ un “Depreme Dayanıklı Yapıların Tasarımı” başlıklı 8 no’ lu paketi için referans niteliğindedir (Woessner vd., 2015). Avrupa ülkeleri bu sayede güçlendirilmesi gereken yapıların yerlerini belirleyerek afet risk yönetiminde etkinliği arttırabilir.

SHARE ülkelerin yöntemlerinden, yaklaşımlarından kaynaklanan farklılıkları ortadan kaldırarak uyumlu bir model inşa etmiştir ve açık veri politikası sayesinde gelecekteki modellerin gelişimine de katkı sunacaktır.

3.9. SYNER – G

Systemic Seismic Vulnerability and Risk Analysis for Buildings, Lifeline Networks and Infrastructures Safety Gain (SYNER – G) 2009 – 2013 yılları arasında 41 ay süren, Avrupa Komisyonunun 7’ nci çerçeve programı kapsamında finanse edilen, 12’ si

Avrupa'dan olmak üzere toplamda 14 kurumun paydaşlığına dayalı, sismik kaynaklı kırılganlık analizinin geliştirilmesi yoluyla risk yönetimini iyileştirmeye odaklanmış Avrupa projesidir.

SYNER – G projesinin amacı topluluklar için risk teşkil eden bütün unsurların kırılganlığını Avrupa kıstasları gözetilerek değerlendirmektir. Fiziksel, sosyal, ekonomik bileşenleri kapsayan bütüncül bir model için gerekli metodoloji ve araçları geliştirmek hedeflenmiştir. Model, pilot olarak seçilen bölgelerde geliştirilen metodolojiyi test etmeyi de içerir.

Model kapsamında başlıca risk ögesi olarak kabul edilen binalar, ulaşım ağları, hizmet altyapıları ve kritik tesisler sınıflandırılmıştır. Geliştirilen yazılım belirsizlikleri hesaplar ve çeşitli araçları barındırır. Kullanılan araç ve metodolojiler İtalya, Avusturya ve Yunanistan' da belirlenen alanlarda test edilmiştir.

Yazılımın çalışma sistemi incelendiğinde tanımlanmış tehlike bilgisinin ve sismik şiddetin hesaplanan ilk adımı olduğu görülmektedir. Çalışılan bölgenin envanter verisi, kırılganlık modelleri ve ek bilgiler tamamlandıktan sonra yazılım analiz işlemine başlar. Üretilen hasar ve kayıp tahmini sonraki aşama olan karar destek haritasına altlık oluşturur.

SYNER – G modeli sismik kaynaklı bir afette beslenme ve barınma ihtiyacının düzeyini, sağlık kuruluşlarının kapasitesini, ekonomik kayıpları ve ilişkili etkileri değerlendirme noktasında kurumlara ve karar vericilere platform sağlamaktadır.

3.10. STREST

18' nci yüzyılda sanayi devrimiyle hızlanan kentsel nüfustaki artış, ikinci dünya savaşından sonraki nüfus patlamasıyla daha da yoğunlaşmış ve günümüzde kentsel nüfus oranı kırsal nüfus oranını geçmiştir. Şehirlerin kısa sürede hızlıca büyümesi toplulukların afetlerle başa çıkma kapasitesini zorlamış, kırılganlığını arttırmıştır.

Günümüzde temel hizmet ve üretimi sağlayan altyapılar modern toplum için vazgeçilmez niteliktedir. Yakın tarihte meydana gelen doğal afetler sonucu kritik altyapıların işlevsiz hale gelmesi hatta tehdit unsuruna dönüşmesinin yıkıcı etkilerinin tecrübe edilmesi kritik altyapıların önemini göstermiştir. Bu doğrultuda kritik altyapıların daha güvenli hale getirilmesi yoluyla toplum dirençliliğini arttırmak için Avrupa Komisyonu tarafından desteklenen Harmonized Approach to Stress Tests for Critical Infrastructures Against Natural Hazards (STREST) programı başlatılmıştır.

STREST ile kritik altyapıların risk, tehlike, kırılganlık, dirençlilik değerlendirmesinin hem pratik hem de güvenilir şekilde yapılmasını sağlayan ve sınıflandırmanın belirli standartla düzleminde gerçekleştirilmesini mümkün kılan bir modelin tasarlanıp, geliştirilmesi hedeflenmiştir. Ekim 2013' te başlayıp Eylül 2016' da tamamlanan projenin toplam bütçesi 3.975.006 euro olup, 3.000.000 euroluk kısmı doğrudan AB katkısıdır.

STREST programı Avrupa' daki nükleer tesisler için gerçekleştirilen stres testlerine atıfta bulunur ve benzer uygulamaların nükleer olmayan ama kritik nitelikteki tüm altyapılar için tasarlanması gerektiğinin ivediliğine vurgu yapar. STREST' in nükleer olmayan tesisler için tasarladığı metodoloji kritik altyapıların işleyişini etkileyecek olayların hangi düzeyde öngörülebileceği, sistemin adaptasyon yeteneğinin nasıl ölçülebileceği ve afet başlangıcından itibaren sürecin ne şekilde ilerleyebileceğine dair sorgulamalar üzerine inşa edilmiştir (Esposito and Stojadinovic, 2016).

Metodoloji toplamda dokuz adımı içeren dört aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama ön değerlendirme aşamasıdır. Bu aşamada kritik altyapı ve onu tehdit eden doğal afet unsurları hakkında bilinen tüm veriler toplanır. Sonrasında risk yönetiminin amaçları kapsamında uygulanması gereken stres testinin seviyesi belirlenir. İkinci aşama değerlendirme aşamasıdır. Hem sistemsel düzeyde hem bileşenler özelinde testler gerçekleştirilir ve sonuçlar ön değerlendirme aşamasında belirlenen stres testi seviyesine göre gözden geçirilir. Üçüncü aşama karar aşamasıdır. Bu aşamada stres testinin sonuçları tanımlanır ve risk yönetimi perspektifinden belirlenen hedefler ile karşılaştırılır. Stres testinin derecesi atandıktan sonra da kayıp yaratma potansiyeli en fazla olan olaylar belirlenir. Bu olaylara dayalı olarak risk yönetiminin stratejisi formüle edilir. Dördüncü ve son aşamada ise hazırlanan sonuç raporu ilgili yetkililer ve karar vericiler ile paylaşılır (Esposito vd., 2016).

STREST konsepti kritik altyapıların diğer bileşenler üzerindeki etkilerinin boyutları, öncelik sırası ve gerekli yatırımların aciliyeti gibi konu başlıkları hakkında kurumlara çerçeve sunarak mevcut stratejilerin güncellenmesini sağlayabilir. Özellikle büyük depremlerin farklı türden afetlere zemin hazırladığı düşünüldüğünde deprem riski yüksek yerleşmelerin STREST ve benzeri modeller ile desteklenmesi afet risk yönetiminin niteliğini arttıracaktır.

3.11. Tsunami Odaklı Modeller

Okyanus veya deniz tabanında meydana gelen depremler kıyı bölgelerindeki yerleşmeleri tsunami riskiyle karşı karşıya bırakabilir. Bu nedenle kıyı yerleşimlerin deprem afet risk yönetimi fazladan bir boyuta sahiptir. Tsunamilerin mekanizmasını daha detaylı anlamak ve erken uyarı sistemlerini güçlendirmek için farklı türden modeller geliştirilmektedir. Özellikle 2004 Hint Okyanusu, 2011 Tōhoku ve 2018 Sulawesi depreminden sonra gerçekleşen tsunamilerden edinilen ağır tecrübeler erken uyarı sistemlerinin önemini gözler önüne sermiştir. Örneğin 2011 Tōhoku depreminin ardından Japonya Meteoroloji Ajansı ilk tsunami uyarısını düşük derecede geçmiş ve kamuoyu tarafından eleştirilmiştir. Ayrıca pek çok insanın tsunami etkisinin sınırlı düzeyde olacağını düşünmesi sebebiyle yüksek noktalara intikal etmemesi tartışmalara konu olmuştur. 2018 yılında Endonezya' nın Minahasa yarımadasındaki orta Sulawesi bölgesinde meydana gelen 7.5 büyüklüğündeki depremden sonra ise erken uyarı sisteminin çalışmadığı yetkililerce doğrulanmıştır.

Büyük bir tsunami kilometrelerce mesafeyi yüksek hızlarda kat ederek bölgesel hatta kıtalararası etkiye neden olabilir. Bu nedenle tsunamilerin gerçek zamanlı takibi ve sağlıklı uyarı seviyesinin tespiti uluslararası iş birliği gerektirmektedir. 1985 yılında kurulan Global Sea Level Observing System (GLOSS), UNESCO' nun bir parçası olan Intergovernmental Ocean Commission (IOC) öncülüğünde yürütülen Global Ocean Observing System (GOOS)' in bileşenidir. Programın amacı okyanus ve denizlerdeki deniz seviyesindeki değişimi uzun vadede gözlemlemek için ağ kurup çalıştırmaktır. İlk uygulamalarda gelgitlere odaklanıldığı için istasyonlarda gelgit ölçer ağırları kullanmış sonradan okyanus sirkülasyonlarını da takip edebilmek için çeşitli modifiyeler yapılmıştır.

Deniz seviyesi takibinin afet risk yönetimi açısından olumlu yönü ise tsunami dalgalarının araştırılmasında ve takibinde kullanılabilmesidir. Deniz seviyesi takibine dayalı tsunami tepkisini geliştirmek erken uyarı sistemlerinde temel yöntemlerden biri olup, afet prosedürlerinin devreye sokulmasında hayati öneme sahiptir. GLOSS modelinin büyük avantajı uyarı merkezlerine gerçek zamanlı ve yüksek frekanslı veri sağlayabilmesidir (IOC, 2012). Modelinin tsunami erken uyarı sistemi olarak kullanılabileceği ise 2004 Sumatra depreminden sonra Merrifield vd., (2004) tarafından gösterilmiştir.

Program bünyesinde geliştirilen web tabanlı küresel deniz seviyesi istasyon izleme hizmeti Hint Okyanusu, Kuzeydoğu Atlantik, Akdeniz, Pasifik ve Karayiplerde bölgesel ölçekte çalışan erken uyarı merkezlerine gerçek zamanlı istasyon hizmeti sağlar. GLOSS aynı zamanda Dünya Meteoroloji Örgütü'nün faaliyetleri kapsamında gözlemci niteliği taşır (IOS, 2012). Sistemin güncel durumu incelendiğinde ise 290 kılavuz istasyonun bulunduğu görülmektedir. İşletilen istasyonların dağılımına bakıldığında pek çoğu kıyı şeritlerinde yoğunlaşmıştır. Pasifik açıklarındaki istasyonların sayısı ve sıklığı ise diğer okyanus ve denizlere nazaran daha fazladır.

Sistemin veri tabanına ücretsiz şekilde ulaşılabilir. Büyük depremlerden sonra istasyona ulaşan tsunami dalgaları incelendiğinde genellikle ikinci veya üçüncü dalganın en büyük genliğe sahip olduğu ve kıyıya varış süresinin saatler sürdüğü gözlemlenmiştir. Bu durum afet risk yöneticilerine ciddi bir zaman kazandırabilir ve afet yönetim süreci daha kapsamlı planlanıp, uygulanabilir.

Bir tsunami erken uyarı sistemi olan DART modelinin gelişim süreci ise Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL) tarafından derin okyanus dibi basınç kaydedicilerinin geliştirilmeye başlandığı 1982 yılına dayanmaktadır. 1986 yılında geliştirme süreci tamamlanan derin okyanus dibi basınç kaydediciler aynı yıl tsunami araştırma programına dahil edilmiştir. Program sayesinde tsunami dalgalarının başarılı şekilde tespit edilebildiği gözlemlendikten sonra ilk nesil DART modeli tasarlanıp uygulamaya konulmuştur. DART modelinde derin okyanus dibi basınç kaydedicilere ilave olarak demirlenmiş şamandıralarda görev almaya başlamıştır. 2004' te meydana gelen Hint Okyanusu tsunamisinden sonra alandaki teknolojilerin hızlanmasıyla modelde çeşitli yükseltmeler yapılmış ve ikinci nesil DART-II hizmete sunulmuştur. 3' ncü nesil DART – ETD ile dağıtım maliyetleri düşürülmüş, küresel tsunami ağının oluşturulması pratik hale getirilmiştir (Bernard and Meinig, 2011). 4' ncü nesil DART 4G sistemi DART – ETD' nin gelişmiş versiyonu olup, tsunami tahminin hızın ve kalitesini arttırmak için NOAA' nın süper bilgisayarları kullanılacak şekilde yükseltilmiştir (<http://10>).

DART tsunametesinin çalışma prensibi basınç ölçümüne dayanmaktadır. Okyanus dibindeki tsunametre ve yüzeyde salınan demirlenmiş şamandıra sistemin başlıca iki ögesidir. Depremden sonra tsunami kaynaklı basınç değişikliği algılanarak veri haline getirilir ve bilgi önce akustik telemetri yöntemi ile şamandıra sonrasında uydular aracılığıyla ilgili merkezlere dağıtılır.

NOAA veri tabanı incelendiğinde 15 dakikalık periyotlarla sisteme veri aktarıldığı görülmektedir. Gerçek zamanlı verilerin yanı sıra tarihsel kayıtlara da erişim mevcuttur. İstasyonların büyük çoğunluğu okyanus açıklarının kıyıya yakın bölgelerinde yer almaktadır. İç denizlere konuşlandırılmış istasyon bulunmamaktadır.

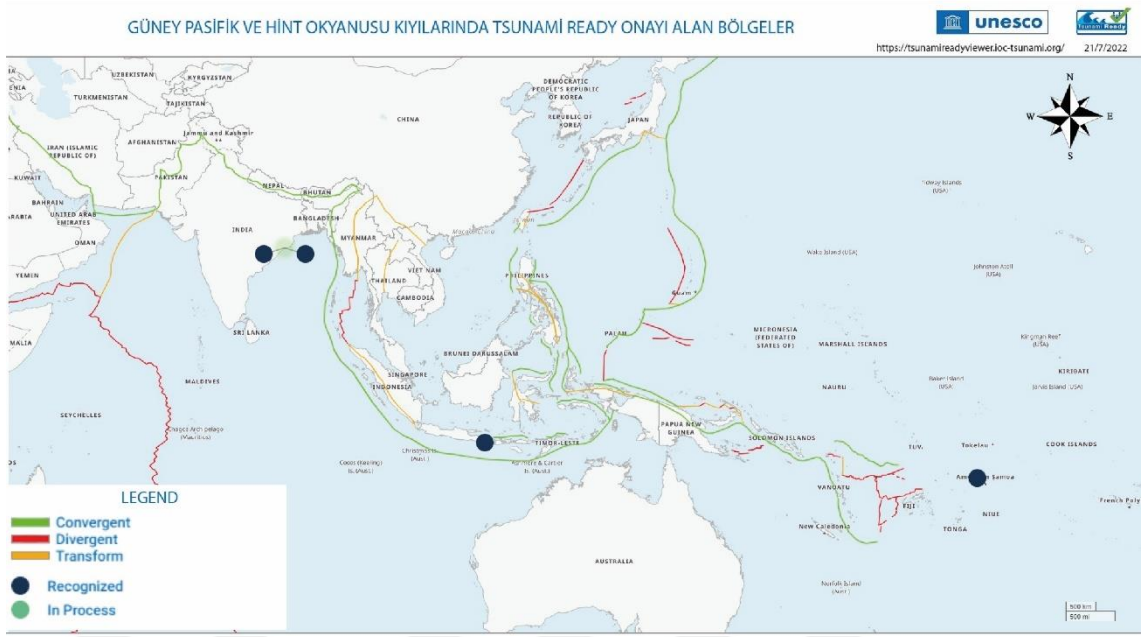
Hu vd., (2022) 30 Ekim 2020 tarihinde İzmir açıklarında meydana gelen 7.0 büyüklüğündeki deprem sonrasında yaşanan tsunamiden yola çıkarak hazırladıkları model ve simülasyonlarda iç denizlerde normal faylanma özelliği gösteren depremlerin nasıl etkili tsunamiler yaratabileceğini açıklamışlardır. Keza araştırmaya konu olan tsunamide bir kişi hayatını kaybetmiş ve etkilenen bölgelerde maddi hasar oluşmuştur. DART sistemine depremselliği yüksek akdeniz ülkelerinin dahil olması ve pek çok ülkenin yaptığı gibi kurulu teknolojinin dağıtıcısı olan endüstriyel şirketle iş birliği yapması gerek toplulukların dirençliliğini arttırma gerekse teknoloji transferi noktasında önem teşkil etmektedir.

NOAA, DART sisteminin yanı sıra Short-term Inundation Forecasting for Tsunamis (SIFT), Community Model Interface for Tsunami (ComMIT), Web-based Tsunami Modeling Tool (Tweb) ve Method of Splitting Tsunami (MOST) gibi modelleri tsunami tahmin ve değerlendirilmesine yönelik geliştirerek kullanıma sokmuştur.

Toplulukların tsunami özelinde dirençliliğini arttırmaya yönelik programların başında ise Tsunami Ready modeli gelmektedir. UNESCO' ya bağlı IOC tarafından geliştirilmiştir. Tsunami Ready riskli bölgelerdeki mahalli idarenin, kurumların ve toplulukların IOC tarafından standart haline getirilmeye çalışılan prosedürleri tamamlamak için gönüllü şekilde organize olmasını ve süreklilik arz eden sistemler kurmasını teşvik eder.

Değerlendirme, hazırlık ve tepki olmak üzere üç kategori altında toplamda on iki gösterge belirlenmiştir. Gereklilikleri yerine getiren topluluklar “Tsunami Ready” şeklinde etiketlenir ve kabul görür (IOC, 2022).

Modelin güncel durumu incelendiğinde pilot bölgelerle beraber 30' dan fazla bölgenin programa dahil olduğu görülmektedir. Katılımcı bölgeler ekseriyetle Karayipler' de yer almaktadır. Şekil 3.16.' da Karayipler bölgesinde dışında Tsunami Ready programına dahil olan bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Güney Pasifik ve Hint Okyanusu kıyılarında Tsunami Ready onayı alan bölgeleri gösterir harita (http-11' den indirilerek yeniden düzenlemiştir)

Tarihi tsunami kayıtlarını gösterir haritalar, tsunami tehlike ve risk haritaları incelendiğinde başta pasifik ateş çemberinde yer alan ülkeler olmak üzere pek çok topluluğun programa dahil olması önem arz etmektedir.

Özellikle “az gelişmişlik” özelliği gösteren bölgelerin programa katılımı ve gösterge kriterlerini sağlaması, BM’ nin 2021 ila 2030 yıllarını kapsayan Okyanus Bilimi On Yılı çerçevesinde toplulukların yüzde %100’nü tsunamilere karşı dirençli hale getirme hedefine katkı sunacaktır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölüm deprem afet risk yönetimi perspektifinden önceliklendirilmesi gereken alanlar ile modellerin etkinliği, bilinirliği ve kapsamına dair yürütülen anket araştırmasının sonuçları hakkındadır. Çalışma Türkiye özelinde gerçekleştirilmiş olup, alandaki uzman ve uzman adaylarının görüşlerine dayanmaktadır.

Hazırlanan soru formu önceki bölümde sunulan modellerin fonksiyonları gözetilerek düzenlenmiş olup, doğrudan ilgili modelleri içeren soruları da barındırmaktadır. Form hazırlandıktan sonra ilgili akademisyenler, araştırmacılar, kamuda görevli uzmanlar ve özel sektör temsilcileri listelenerek doğrudan kendileriyle iletişime geçilmiştir.

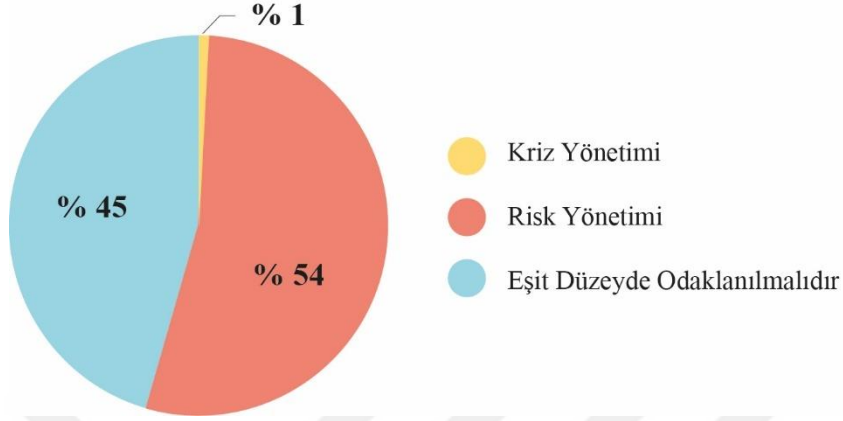
Çalışma grubu 29 akademisyen, 20'si acil durum ve afet yönetimi uzmanı olmak üzere 50 kamu görevlisi, 14 özel sektör temsilcisi ve 7'si diğer olmak üzere toplamda 100 katılımcıdan oluşmaktadır. Diğer grubunda 5 lisansüstü öğrencisi, 1 serbest araştırmacı ve 1 STK yöneticisi bulunmaktadır.

Anket şablonu Google Forms programında oluşturulmuş, ilgililere dağıtım ve veri toplama işlemi online olarak gerçekleştirilmiştir. Formda hem tek yanıtlı hem de birden fazla yanıtlı çoktan seçmeli sorular yer almaktadır. Ayrıca bir soruda katılımcının seçenekler haricinde varsa kendi fikrini aktarması için “diğer” seçeneği aktif hale getirilmiştir. Sonuçlar yüzdelik şeklinde gösterilerek grafik haline getirilmiş ve veri analizi her grafiğin öncesinde yapılmıştır.

4.1. Bulgular

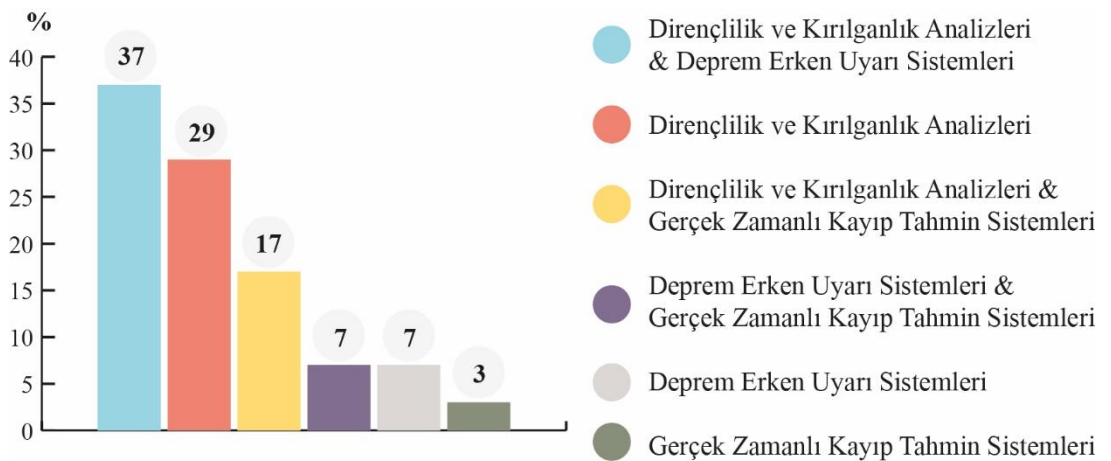
Katılımcılara ilk olarak deprem afet risk yönetiminde öncelik verilmesi gereken aşamaya yönelik soru yöneltilmiştir. Bu soruya akademisyenlerin %48,2'si risk yönetimi, %3,6'sı kriz yönetimi, %48,2'si iki alana eşit düzeyde odaklanılmalı yanıtını vermiştir. Acil durum ve afet yönetimi uzmanlarının cevapları incelendiğinde ise %70'nin risk yönetimi, %30'nun eşit düzeyde odaklanılmalı tercihinde bulunduğu görülmektedir. Acil durum ve afet yönetimi uzmanları haricindeki kamu görevlilerinin %63,3'ü risk yönetiminin öncelikli olduğunu düşünürken, özel sektör temsilcilerinin %64,3'ü eşit düzeyde odaklanılması gerektiğini düşünmektedir.

Tüm katılımcıların cevaplarının dağılımını gösteren şekil 4.1.'deki grafiğe göre %54 ile risk yönetimi öncelikle ele alınması gereken aşama olarak değerlendirilmiştir.



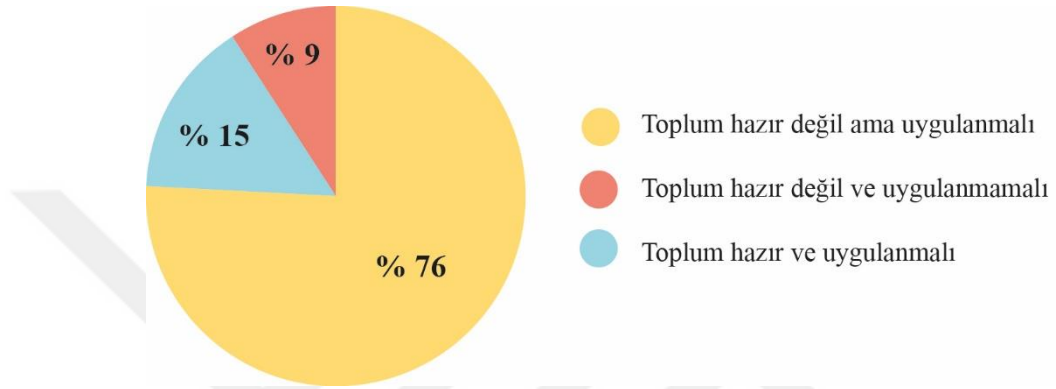
Şekil 4.1. Türkiye'de öncelikli olarak odaklanılması gereken alana yönelik katılımcı değerlendirmelerinin dağılımı

İkinci soru deprem afet risk yönetiminde faydalanılan çalışmalara yöneliktir. Katılımcılara üç seçenek sunulurken, görece olarak öncelikli olduğunu düşündükleri bir ya da iki seçeneği işaretlemeleri istenmiştir. Şekil 4.2.'ye göre tüm katılımcıların toplamda %83'ü yanıtlarında dirençlilik ve kırılganlık analizlerine yer vermiştir. Deprem erken uyarı sistemleri toplamda %51, gerçek zamanlı kayıp tahmin sistemleri toplamda %27 oranında yanıtlarda yer almıştır.



Şekil 4.2. Katılımcıların görece olarak öncelikli olduğunu düşündükleri çalışmaların dağılımı

Üçüncü soru Türkiye’de sıklıkla tartışma konusu olan deprem erken uyarı sistemleri hakkındadır. Toplumun hazır olma durumu ve bağlamında sistemin gerekliliğini içeren soruya acil durum ve afet yönetimi uzmanlarının tamamı uygulamanın gerekliliği yönünde görüş bildirmiştir. Bu oran tüm katılımcılarda %91’dir. Şekil 4.3. incelendiğinde toplumun hazır olduğu yönünde görüş bildirenlerin oranının ise %15 olduğu görülmektedir.



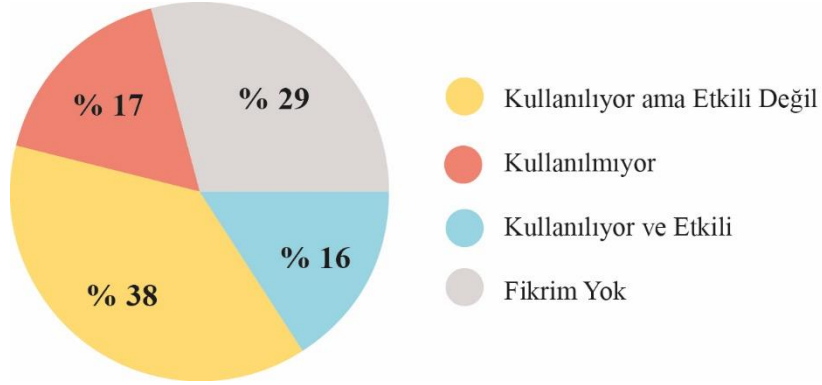
Şekil 4.3. Türkiye’de deprem erken uyarı sisteminin toplumu kapsayacak şekilde uygulanması hakkında katılımcı görüşlerinin dağılımı

Devamında Türkiye’deki gerçek zamanlı kayıp tahmin sistemlerinin etkinliğini değerlendirmek amacıyla dört seçenekli bir soru yöneltilmiştir. Bu soruyu acil durum ve afet yönetimi uzmanlarının %60’ı “Kullanılıyor ama etkili değil” şeklinde yanıtlarken %20’si “Kullanılıyor ve etkili” yanıtını vermiştir. Acil durum ve afet yönetimi uzmanları haricindeki kamu görevlilerinin %40’ı “Fikrim yok”, %30’u “Kullanılıyor ama etkili değil”, %16,6’sı “Kullanılıyor ve etkili” bildiriminde bulunmuştur.

Akademisyenlerin yanıtları incelendiğinde oranların yakın dağılım göstermesi dikkat çekmektedir. Akademisyenlerin %31’i “Kullanılıyor ama etkili değil”, %24,1’i “Kullanılmıyor”, %24,1’i “Fikrim yok”, %20,6’sı “Kullanılıyor ve etkili” şeklinde görüş bildirmektedir.

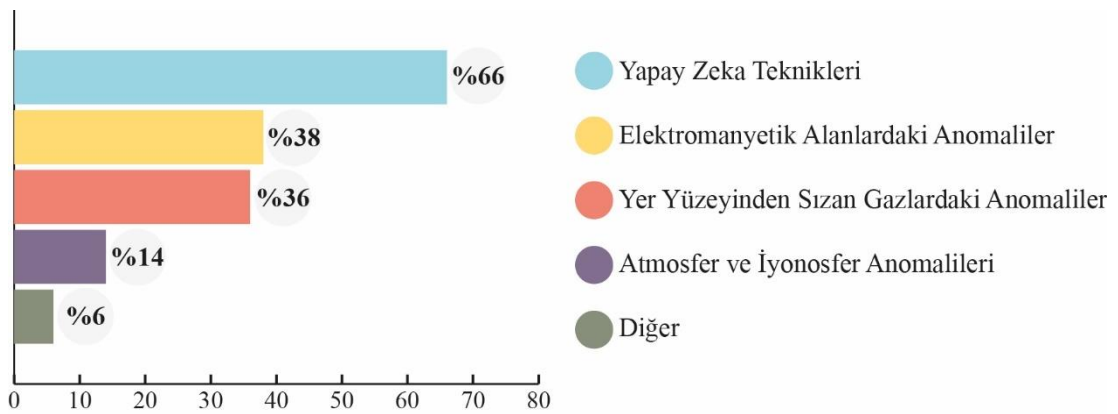
Tüm katılımcıların vermiş oldukları cevapların dağılımına bakıldığında “Kullanılıyor ama etkili değil” %38’lik, “Kullanılıyor ve etkili” %16’lık, “Kullanılmıyor” %17’lik dilime sahiptir.

Şekil 4.4.'de verildiği üzere “Fikrim yok” dilimi ise %29'luk kısma denk düşmektedir.



Şekil 4.4. Katılımcıların Türkiye'deki gerçek zamanlı kayıp tahmin sistemleri hakkındaki görüşlerinin dağılımı

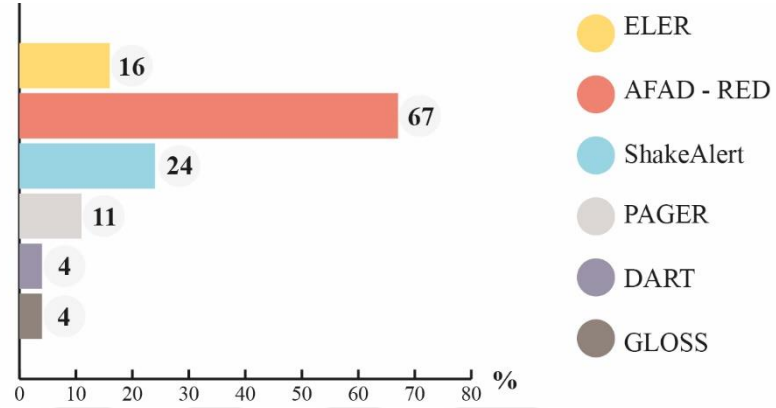
Beşinci aşamada gelecekte deprem tahminine yönelik kullanılması muhtemel yöntemlerden hangilerinin daha fazla potansiyel taşıdığına dair soru yöneltilmiştir. Soruda beş yöntem sunulmuştur, açık uçlu cevaplar için “diğer” seçeneği aktif edilmiştir ve yanıt hakkı iki seçenek ile sınırlandırılmıştır. Akademisyenlerin %79,9'u yanıtlarında yapay zekâ tekniklerine yer vermiştir. Acil durum ve afet yönetimi uzmanlarında ise bu oran %55'tir. Yöntemlerin oranını gösteren şekil 4.5. incelendiğinde %66 ile yapay zekâ tekniklerinin genel toplamda da en fazla tercih edilen seçenek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. Deprem tahminine yönelik potansiyel taşıyan yöntemlerin katılımcılar tarafından değerlendirilme oranı

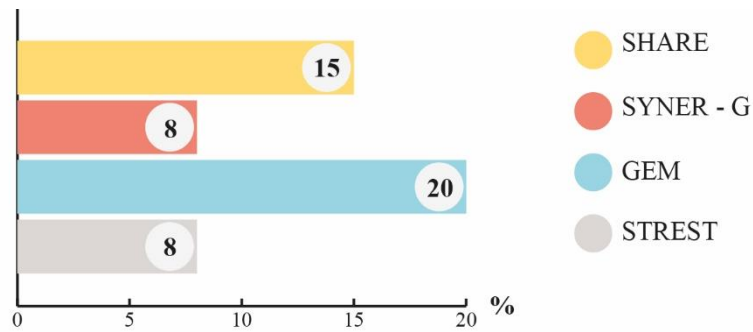
Altıncı ve yedinci sorular üçüncü bölümde bahsedilen modellerin bilinirliğini ölçmek amacıyla tasarlanmıştır. Şekil 4.6'da sunulan erken uyarı sistemleri ve gerçek

zamanlı kayıp tahmin sistemlerinin hiçbirinde bilgi sahibi olmadığını bildirenlerin oranı %28'dir. ELER hakkında bilgi sahibi olduğu bildirenlerin %56,3'u, ShakeAlert hakkında bilgi sahibi olduğu bildirenlerin %45,9'u ve PAGER hakkında bilgi sahibi olduğunu bildirenlerin %54,6'sı akademisyendir. %67 ile AFAD – RED katılımcılar arasında bilinirliği en yüksek olan modeldir.



Şekil 4.6. Erken uyarı sistemleri ve gerçek zamanlı kayıp tahmin sistemlerinin bilinirlik oranları

Dirençlilik ve kırılganlık analizlerine dönük çalışmaları içeren son soruda ise katılımcıların %72'si listedeki hiçbir model hakkında bilgi sahibi olmadığını bildirmiştir. Şekil 4.7. incelendiğinde GEM'in %20 ile bilinirliği en yüksek model olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. Dirençlilik ve kırılganlık analizlerine yönelik geliştirilen modellerin bilinirlik oranları

4.2. Tartışma

Alanda çalışma yürüten akademisyenler ile acil durum ve afet yönetimi uzmanlarının görüşleri bazı sorularda belirgin farklılık göstermiştir. Acil durum ve afet yönetimi uzmanlarının büyük çoğunluğuna göre risk yönetimi öncelikliken

akademisyenlerin yarıya yakını risk yönetiminin ve kriz yönetiminin eşit düzeyde öncelikli olduğu görüşündedir. Nitekim buradaki görüş farklılığı ikinci soruya da yansımıştır. Acil durum ve afet yönetimi uzmanlarının tamamı yanıtlarında dirençlilik ve kırılganlık analizlerine yer vermiştir. Deprem erken uyarı sistemleri ve gerçek zamanlı kayıp tahmin sistemlerinin öncelikli olduğunu düşünenlerin oranı ise akademisyen grubunda daha yüksektir. Buradan hareketle ve tüm grupların yanıtları göz önüne alındığında acil durum ve afet yönetimi uzmanlarının risk yönetimine daha fazla ağırlık verdiği değerlendirilebilir.

Gerçek zamanlı kayıp tahmin sistemlerinin performansının değerlendirildiği bölümde genel toplamda en fazla dileme sahip olan “Kullanılıyor ama etkili değil” görüşü acil durum ve afet yönetimi uzmanları arasında daha yüksektir. Bu durum sistemin istenilen etkinlikte kullanılamadığına işaret etmektedir.

Deprem erken uyarı sistemlerinin kullanılması gerektiği yönünde büyük oranda görüş birliği vardır. Bu aşamada dikkat çeken nokta ise toplumun hazır olma durumu hakkında acil durum ve afet yönetimi uzmanlarının daha iyimser bildirimde bulunmasıdır.

Katılımcıların gelecekte deprem tahminine yönelik çalışmalarda en yaygın kullanılacağını düşündükleri yöntem yapay zekâ teknikleridir. Açık uçlu cevaplar incelendiğinde uzun vadeli istatistiksel yöntemler ve tektonik çalışmalarında önerildiği görülmektedir. Ayrıca deprem tahmininin bilimsel olmadığı ve hiçbir zaman mümkün olmayacağı bildirimleri de mevcuttur. Yapay zekâ çalışmaları gelecek vaat etmesine karşın jeolojik zamanın çok kısıtlı bir diliminin sismik kaydına sahip olunması çeşitli zorluklar yaratmaktadır. Bu nedenle dolaylı anomalilerin tutarlı ve bilimsel nitelikte olma potansiyelinin daha fazla olduğu öngörülmektedir. Doğa temelli bu araştırmalar için ise en büyük engel gerekli teknolojinin yüksek maliyetli olmasıdır.

Açıklanan nedenlerden ötürü deprem tahmini yakın ve orta vadeli gelecekte olası görülmemektedir.

Modellerin bilinirliğinin ölçüldüğü sorular incelendiğinde öngörülen durumun gerçekleştiği görülmüştür. Akademisyenler geliştirilen modellere en hâkim gruptur. Bu durum büyük ölçüde literatüre erişim ve mesleki avantajlardan kaynaklanmaktadır. Kamu’da görevli uzmanların AFAD – RED haricindeki modeller hakkında bilgisini arttırmak için kurum içi eğitim faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi ve periyodik aralıklarla seminerlerin düzenlenmesi faydalı olacaktır.

5. SONUÇ

Dünya'daki bütün ekonomilerin ortak problemi olan kıt kaynak sorunu afet riskleriyle mücadele eden kurumların kapasitesini sınırlayan başlıca nedendir. Araştırma bulguları ve literatür birleştirildiğinde dirençlilik ve kırılganlık analizlerinin Türkiye özelinde öncelikli olduğu açıktır. Gerçek zamanlı kayıp tahmin sistemleri ise kapsayıcı bir afet yönetimi için tamamlayıcı niteliktedir. Deprem erken uyarı sistemi hakkındaki tartışmaları netleştirmek için deneysel çalışmaların artırılması ve model uygulamaların test edilmesi önerilmektedir.

Kapsayıcı ve bütünleşik ele alınmayan tehlike türleri ve bunu bağlı gelişen riskler nedeniyle afetlerin etki alanı genişlemektedir. Bu noktada özellikle ikinci dünya savaşından sonraki hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme etkili olmuş, tüm afet türlerinde olduğu gibi depremlerin de afet yönetimi güçleşmiştir. Bütün teknolojik gelişmelere karşın 21'inci yüzyılda yaşanan büyük afetler incelendiğinde mevcut model pratiklerinin yetersiz kalabildiği görülmüştür.

Gerçek zamanlı kayıp tahmin sistemlerinin gelecekte uygulanması muhtemel erken uyarı sistemi ile entegrasyonuna dikkat çekmekte fayda vardır. Uyarı geldikten kısa süre sonra oluşturulan kayıp tahmin haritasının ilgili mercilerle hızlıca paylaşımı bütünleşik kriz yönetimine katkı sağlayacaktır. Ayrıca uydu görüntülerinin işlenmesi zaman aldığı için afet sonrasında kullanımı daha pratik olan insansız hava araçları ile dronların da kayıp tahmin sistemine entegre edilmesi önerilmektedir. Bu sayede deprem sonrası kayıp tahmin haritalarının işaret ettiği bölgelere yönlendirilen hava araçları ön gözlem bilgisi sunabilecektir.

Büyük ölçekli jeolojik haritalar ile temel yer bilimi araştırmaları modellerin geliştirilmesinde kritik öneme sahiptir. Girdi niteliğindeki jeolojik verinin detay düzeyi arttıkça modellerin etkinliği de artacaktır. Bu nedenle jeoloji ve haritalama faaliyetlerinin ihmal edilmemesi gerekmektedir.

MEMS gibi mikro işlemcili teknolojiler sismik ağların kurulum ve işletimini kolaylaştırma yeteneğine sahiptir. Ayrıca geniş bant aralığında daha hassas verinin elde edilmesi gezegenin yapısına ve tektoniğine ışık tutacaktır. Buna karşı MEMS teknolojilerinin yakın ve orta vadeli gelecekte yaygın kullanımı ön görülmemektedir.

Tsunami modellerinin öngördüğü durumlar ile çeşitli araştırmaların sonuçları çelişebilmektedir. Bu sebeple Türkiye ve Yunanistan başta olmak üzere Akdeniz ve diğer

diğer iç denizlerde tsunami riski bulunan toplulukların BM'nin ilan ettiği “IOC Okyanus 10 Yılı” kapsamında geliştirilen dirençliliğe yönelik projelerde yer alması önerilmektedir.



KAYNAKÇA

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 268-281.
- AFAD. (2020). *30 Ekim 2020 Sisam Adası (İzmir Seferihisar Açıkları) Mw 6.6 Depremi Raporu*. Ankara.
- Akbulut, M. T., & Aytuğ, A. (2005). Deprem Hasar Görebilirlik Riskinin Gözleme Dayalı Belirlenmesine Yönelik Öneri Değerlendirme Yaklaşımı. *Megaron*, 1(1), 88.
- Alçık, H. A. (2011). Deprem Erken Uyarı Sistemleri. *Türkiye Jeofizik Bülteni*, 68, 50-66.
- Balyemez, S., & Berköz, L. (2010). Hasar görebilirlik ve kentsel deprem davranışı. *İTÜDERGİSİ/a*, 4(1).
- Bernard, E. N., & Meinig, C. (2011, September). History and future of deep-ocean tsunami measurements. In *OCEANS'11 MTS/IEEE KONA* (pp. 1-7). IEEE.
- Boğaziçi Üniversitesi. (2010). Earthquake loss estimation routine. ELER v3.0 Technical manual and user's guide. İstanbul.
- Bokulich, A., & Oreskes, N. (2017). Models in geosciences. In *Springer handbook of model-based science* (pp. 891-911). Springer, Cham.
- Bormann, P., Wendt, S., & DiGiacomo, D. (2013). Seismic sources and source parameters. In *New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP2)* (pp. 1-259). Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.
- Chen, Y., Zhou, P. K., Zhang, X. Q., Wang, Z. D., Wang, Y., & Darroudi, F. (2014). Cytogenetic studies for a group of people living in Japan 1 year after the Fukushima nuclear accident. *Radiation Protection Dosimetry*, 159(1-4), 20-25.
- Cochran, E. S., Aagaard, B. T., Allen, R. M., Andrews, J., Baltay, A. S., Barbour, A. J., ... & Toomey, D. (2018). *Research to improve ShakeAlert earthquake early warning products and their utility* (No. 2018-1131). US Geological Survey.
- Cochran, E. S., Kohler, M. D., Given, D. D., Guiwits, S., Andrews, J., Meier, M. A., ... & Smith, D. (2018). Earthquake early warning ShakeAlert system: Testing and certification platform. *Seismological Research Letters*, 89(1), 108-117.
- Coppola, D. P. (2015). Introduction to International Disaster Management. Kidlington.

- Crowley, H., Pinho, R., Pagani, M., & Keller, N. (2013). Assessing global earthquake risks: the Global Earthquake Model (GEM) initiative. In *Handbook of seismic risk analysis and management of civil infrastructure systems* (pp. 815-838). Woodhead Publishing.
- Davies, T. (2015). Landslide hazards, risks, and disasters: introduction. In *Landslide Hazards, Risks, and Disasters* (pp. 1-16). Academic Press.
- Di Baldassarre, G., Nohrstedt, D., Mård, J., Burchardt, S., Albin, C., Bondesson, S., ... & Parker, C. F. (2018). An integrative research framework to unravel the interplay of natural hazards and vulnerabilities. *Earth's Future*, 6(3), 305-310.
- Earle, P. S., Wald, D. J., Jaiswal, K. S., Allen, T. I., Hearne, M. G., Marano, K. D., ... & Fee, J. M. (2009). Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response (PAGER): A system for rapidly determining the impact of earthquakes worldwide. *US Geological Survey Open-File Report*, 1131(2009), 15.
- Engel, M., Pilarczyk, J., May, S. M., Brill, D., & Garrett, E. (Eds.). (2020). *Geological Records of Tsunamis and Other Extreme Waves*. Elsevier.
- Ergünay, O., Özmen, B. (2013). DEPREM TAHMİNLERİNİN HALKA DUYURULMASINDA BİLİM İNSANLARININ SORUMLULUKLARI. 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*' nda sunulan bildiri. Hatay: MKÜ.
- Esposito, S., & Stojadinovic, B. (2016). Report on strategies for stress test implementation at community level and strategies to enhance societal resilience using stress tests. ETH Zurich.
- Esposito, S., Stojadinovic, B., Mignan, A., Dolšek, M., Babič, A., Selva, J., ... & Iervolino, I. (2016). *Report on the proposed engineering risk assessment methodology for stress tests of non-nuclear CIs*. ETH Zurich.
- Fahjan, Y. M., Pakdamar, F., Kara, İ. F., Eryılmaz, Y., Eravcı, B., Baykal, M., ... & Yanık, K. (2015). Afet Yönetiminde Olası Depremler İçin "Afad-Red" Hasar Tahmin Sisteminin Kullanımı. 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 14, 16.

- Gelfert, A. (2017). The ontology of models. *Springer handbook of model-based science*, 5-23.
- Giardini D., Woessner J. , Danciu L. , Crowley H. , Cotton F. , Grünthal G. , Pinho R., Valensise L. and the SHARE consortium (2013) *European Seismic Hazard Map for Peak Ground Acceleration, 10% Exceedance Probabilities in 50 years*, doi: 10.2777/30345, ISBN-13, 978-92-79-25148-1.
- Given, D. D., Cochran, E. S., Heaton, T., Hauksson, E., Allen, R., Hellweg, P., ... & Bodin, P. (2014). *Technical implementation plan for the ShakeAlert production system: An earthquake early warning system for the west coast of the United States* (p. 25). Reston, VA: US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Havskov, J., Bormann, P., & Schweitzer, J. (2012). Seismic source location. In *New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP-2)* (pp. 1-36). Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.
- Hou, Y., Jiao, R., & Yu, H. (2021). MEMS based geophones and seismometers. *Sensors and Actuators A: Physical*, 318, 112498.
- Hu, G., Feng, W., Wang, Y., Li, L., He, X., Karakaş, Ç., & Tian, Y. (2022). Source characteristics and exacerbated tsunami hazard of the 2020 Mw 6.9 Samos earthquake in eastern Aegean Sea. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, e2022JB023961.
- IOC, 2012 Global Sea Level Observing System (GLOSS) Implementation Plan – 2012. UNESCO/IOC, 41pp. 2012. IOC Technical Series No.100. GOOS Report No.194, JCOMM Technical Report No.66. (English).
- ISDSR (International Strategy for Disaster Reduction), 1994. Yokohama strategy and plan of action for a safer world. UN World Conference on Natural Disaster Reduction. May 2-27, Japan.
- İnan, S., Akgül, T., Seyis, C., Saatçılar, R., Baykut, S., Ergintav, S., & Baş, M. (2008). Geochemical monitoring in the Marmara region (NW Turkey): A search for precursors of seismic activity. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(B3).

- Jaiswal, K., Wald, D., & Porter, K. (2010). A global building inventory for earthquake loss estimation and risk management. *Earthquake Spectra*, 26(3), 731-748.
- Kagan, Y. Y. (2006). Why does theoretical physics fail to explain and predict earthquake occurrence?. In *Modelling Critical and Catastrophic Phenomena in Geoscience* (pp. 303-359). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kalafat, D. (2011). Sismolojik Açidan Yapılan Çalışmalarda Sismik Ağların Katkıları: Gerçek Zamanlı Sismolojik Bilgi Sistemi. 1. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*' nda sunulan bildiri. Ankara: ODTÜ.
- Kanamori, H. (2007). Real-time earthquake damage mitigation measures. In *Earthquake early warning systems* (pp. 1-8). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kanamori, H. and Brodsky, E.E. (2001). The Physics of Earthquakes. *Physics Today*, 54 (6), 34-40.
- Karaağaç, D., Karaman, H., & Aktuğ, B. (2019). Kahramanmaraş ve Adıyaman illerinin afetselliğinin incelenmesi ve mekansal analiz teknikleriyle yerleşime uygun alanların belirlenmesi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 1(2), 123-133.
- Killinger, D. K. (2014). Lidar (light detection and ranging). In *Laser spectroscopy for sensing* (pp. 292-312). Woodhead Publishing.
- Kump, L. R., Kasting, J. F., & Crane, R. G. (2010). *The earth system*. San Francisco: Prentice Hall.
- Martinez-López, W. and Hande, M.P. (2020). Chapter 4 - Health effects of exposure to ionizing radiation. V. Nian (Ed.), *Advanced Security and Safeguarding in the Nuclear Power Industry* içinde (s. 81-97). Academic Press.
- Masson, D.G., Harbitz, C.B., Wynn, R.B., Pedersen, G., Løvholt, F. (2006). Submarine landslides: processes, triggers and hazard prediction. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences.*, 364 (1845), 2009-2039.
- McGuire, J. J., Smith, D. E., Frankel, A. D., Wirth, E. A., McBride, S. K., & de Groot, R. M. (2021). *Expected warning times from the ShakeAlert earthquake early*

warning system for earthquakes in the Pacific Northwest (No. 2021-1026). US Geological Survey.

- Melton, B. S. (1981). Earthquake seismograph development: A modern history—Part 1. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 62(21), 505-510.
- Merrifield, M. A., Firing, Y. L., Aarup, T., Agricole, W., Brundrit, G., Chang-Seng, D., ... & Turetsky, N. (2005). Tide gauge observations of the Indian Ocean tsunami, December 26, 2004. *Geophysical Research Letters*, 32(9).
- Monte, B. E. O., Goldenfum, J. A., Michel, G. P., & de Albuquerque Cavalcanti, J. R. (2021). Terminology of natural hazards and disasters: A review and the case of Brazil. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 52, 101970.
- Murphy, B. (2022). Chapter 4 - Coseismic landslides. D. Davies, N. Rosser and J.F. Shroder (Ed.), *Landslide Hazards, Risks, and Disasters*, (s. 99-138). Elsevier.
- Muto, J., Yasuoka, Y., Miura, N., Iwata, D., Nagahama, H., Hirano, M., ... & Mukai, T. (2021). Preseismic atmospheric radon anomaly associated with 2018 Northern Osaka earthquake. *Scientific reports*, 11(1), 1-8.
- Okutan, A. E. & Çavuş, G. (2012). Deprem Sonrası Ortaya Çıkabilecek Orman Yangınları; Peyzaj Mimarlığı Alanında Alınabilecek Pasif Önlemler. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 8 (1), 19-33.
- Ören, T., Mittal, S., & Durak, U. (2017). The evolution of simulation and its contribution to many disciplines. *Guide to simulation-based disciplines*, 3-24.
- Pınar, A., Kalkan, E., Çomoğlu, M., Dikmen, S.Ü., Erdik, M., Şafak, E. (2017). GERÇEK-ZAMANLI SİSMOLOJİ İLE DEPREM ERKEN UYARI. 4. *Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*’nda sunulan bildiri. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Pulinets, S., & Ouzounov, D. (2011). Lithosphere–Atmosphere–Ionosphere Coupling (LAIC) model—An unified concept for earthquake precursors validation. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(4-5), 371-382.

- Silva, V., Amo-Oduro, D., Calderon, A., Costa, C., Dabbeek, J., Despotaki, V., ... & Pittore, M. (2020). Development of a global seismic risk model. *Earthquake Spectra*, 36(1_suppl), 372-394.
- Skinner, B. J., Porter, S. C., & Botkin, D. B. (1999). *The blue planet: An introduction to earth system science*. New York: J. Wiley.
- Stanley, S. M., & Luczaj, J. A. (2015). *Earth system history*. 4th edn New York. NY: WH Freeman.
- Sugawara, D. (2020). Trigger mechanisms and hydrodynamics of tsunamis. In *Geological Records of Tsunamis and Other Extreme Waves* (pp. 47-73). Elsevier.
- Tanaka, T. (2012). Characteristics and problems of fires following the Great East Japan earthquake in March 2011. *Fire safety journal*, 54, 197-202.
- Tate, E., & Emrich, C. (2021). Assessing social equity in disasters. *Eos (Washington, DC)*, 102.
- Toké, N. A., Boone, C. G., & Arrowsmith, J. R. (2014). Fault zone regulation, seismic hazard, and social vulnerability in Los Angeles, California: Hazard or urban amenity?. *Earth's Future*, 2(9), 440-457.
- Topçu, O., Kara, T., Bulut, A.A., Salgın Ö., Bakırcı, S. (2017). KÜRESEL SEYRÜSEFER UYDU SİSTEMİ (GNSS) VERİLERİ İLE DEPREM TAHMİNİ YAPMAK. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı' nda sunulan bildiri. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Tün, M. , Pekkan, E. & Mutlu, S. (2018). DEPREMLERDE GÖZLENEN ETKİLERİN GÖNÜLLÜ KATILIMIYLA HIZLI BİR ŞEKİLDE TOPLANMASI . Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B - Teorik Bilimler , 6 (-) , 73-86 .
- UNESCO/IOC. 2022.Standard Guidelines for the Tsunami Ready Recognition Programme.Paris.(IOC Manuals and Guides,74).

- UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction), 2001. Framework for Action for the Implementation of the International Strategy for Disaster Reduction, June. EIRD Website.
- UNISDR, U. (2015, March). Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030. In *Proceedings of the 3rd United Nations World Conference on DRR, Sendai, Japan* (Vol. 1).
- UNISDR, U. (2009). Terminology on disaster risk reduction. *Geneva, Switzerland*.
- United Nations, 1989. Resolution 44/236. United Nations General Assembly. 85th Plenary Meeting. December 22.
- Yaghmaei, N. (Ed.). (2020). Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 Years, 2000-2019. UN Office for Disaster Risk Reduction.
- Varol, N., & Kırıkkaya, E. B. (2017). Afetler karşısında toplum dirençliliği. *Resilience*, 1(1), 1-9.
- Wald, D. J., Jaiswal, K., Marano, K. D., Bausch, D., & Hearne, M. (2010). *PAGER--Rapid assessment of an earthquakes impact* (No. 2010-3036). US Geological Survey.
- Woessner, J., Laurentiu, D., Giardini, D., Crowley, H., Cotton, F., Grünthal, G., ... & Stucchi, M. (2015). The 2013 European seismic hazard model: key components and results. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(12), 3553-3596.
- Yasuoka, Y., & Shinogi, M. (1997). Anomaly in atmospheric radon concentration: a possible precursor of the 1995 Kobe, Japan, earthquake. *Health physics*, 72(5), 759-761.
- Yasuoka, Y., Kawada, Y., Nagahama, H., Omori, Y., Ishikawa, T., Tokonami, S., & Shinogi, M. (2009). Preseismic changes in atmospheric radon concentration and crustal strain. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34(6-7), 431-434.
- Zülfikar, A. C., Fercan, N. Ö. Z., Tunç, S., & Erdik, M. (2017). Real-time earthquake shake, damage, and loss mapping for Istanbul metropolitan area. *Earth, Planets and Space*, 69(1), 1-15.

- http-1:** <https://www.openhazards.com/faq/earthquakes-faults-plate-tectonics-earth-structure-user-submitted-questions/what-energy> (Erişim Tarihi: 25.08.2021)
- http-2:** <https://eqe.boun.edu.tr/tr/30-ekim-2020-1451-ege-denizi-izmir-aciklari-mw69-ml66-depremi-degerlendirmesi> (Erişim tarihi: 10.02.2022)
- http-3:** <https://cordis.europa.eu/project/id/308417> (Erişim tarihi: 15.03.2022)
- http-4:** <http://marsite.eu/wp-content/uploads/2016/07/MARsite-Cikti-ve-Sonuclar.pdf> (Erişim tarihi: 16.03.2022)
- http-5:** [https://www.moore.org/article-detail?newsUrlName=\\$3.6m-awarded-from-the-gordon-and-betty-moore-foundation-to-advance-a-west-coast-earthquake-early-warning-system](https://www.moore.org/article-detail?newsUrlName=$3.6m-awarded-from-the-gordon-and-betty-moore-foundation-to-advance-a-west-coast-earthquake-early-warning-system) (Erişim Tarihi: 10.05.2022)
- http-6:** [https://www.moore.org/article-detail?newsUrlName=gbmf-awards-\\$6-million-for-research-leading-to-west-coast-earthquake-early-warning-system](https://www.moore.org/article-detail?newsUrlName=gbmf-awards-$6-million-for-research-leading-to-west-coast-earthquake-early-warning-system) (Erişim Tarihi: 10.05.2022)
- http-7:** <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000c7y0/pager> (Erişim Tarihi: 19.05.2022)
- http-8:** <https://www.globalquakemodel.org/gempublications/GEM1-Executive-Summary> (Erişim Tarihi: 05.06.2022)
- http-9:** <https://cordis.europa.eu/project/id/226967/reporting> (Erişim Tarihi: 09.06.2022)
- http-10:** <https://www.weather.gov/media/wrn/4thGenDART.pdf> (Erişim tarihi: 14.07.2022)
- http-11:** <https://tsunamireadyviewer.ioc-tsunami.org/> (Erişim tarihi: 21.07.2022)

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-7916-9719

Adı Soyadı : Can Karşı

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2020 – 2022, ACAPORT
- 2014 – 2018, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İİBF, Maliye Bölümü