

Afet Yönetiminde Öncü Stratejiler: Deprem Kayıp Tahmin Sistemlerindeki İlerlemeler

Fatma İlknur Kara¹

Prof. Dr. Yasin Fahjan²

Özet

Depremler tüm dünyayı etkileyen ve büyük kayıplara sebep olan doğal felaketlerdir. Doğası gereği önlenemezler, durdurulamazlar, çok kısa bir sürede çok büyük kayıplara ve yıkımlara neden olurlar. Meydana gelen depremler sonrasında yaşanan tecrübe, bilgi birikimi ve gelişen teknoloji ile orantılı olarak inşaat ve deprem mühendisliğinde yaşanan gelişmeler; hazırlık yapma, kayıpları önleme ve etkin afet yönetimi disiplinlerinde büyük ilerlemelere kapı açmıştır. Deprem Ön Hasar Tahmin ya da Deprem Kayıp Tahmin Sistemleri de bu ilerlemelerin en önemli ürünlerinden biridir. Bu sistemler ile özellikle sismik olarak aktif bölgelerde, bölgeyi etkileyebilecek tüm senaryolar dikkate alınarak, olası afetlerin sonuçları hakkında yönetim birimleri ve yetkili merciler bilgilendirilebilmektedirler. Böylelikle afetlere karşı gerekli hazırlıklar yapılabilmekte, önlemler alınabilmekte ve etkin bir afet yönetim planı hazırlanabilmektedir. Ayrıca bu sistemler olası bir deprem afeti ile eş-zamanlı çalışarak depremin hemen ardından etkilenen bölgeleri tahmin edebilmekte, etkili bir afet ve acil durum yönetiminin yapılabilmesini sağlamaktadır. Küresel ölçekte, belirli bir bölge ya da belirli bir ülke için geliştirilmiş birçok deprem kayıp sistemi bulunmaktadır. Bu sistemler kapasitelerine göre çevrimiçi (online) ya da manuel (senaryo modunda) çalışabilmekte, sadece tehlike, sadece risk, tehlike ve risk birlikte tahmin edebilecek şekilde geliştirilmişlerdir. Bu çalışma kapsamında küresel ölçekte kabul görmüş USGS ShakeMap, PAGER, FEMA HAZUS, GEM OPENQUAKE, AFAD-RED ve REDAS yazılımlarının çalışma prensipleri, incelenmiştir. Daha sonra REDAS yazılımı kullanılarak 06 Şubat 2023 (Mw7.7) Pazarcık depremi senaryo deprem olarak çalışılmış, depremin hemen ardından lokasyon ve büyüklük verileri kullanılarak başlatılan tehlike analizleri, sonraki aşamada gerçek deprem verileri ile güncellenmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı sunularak, afet yönetimi için çevrimiçi veri almanın önemi sunulmuştur.

1 Gebze Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, figokce@gtu.edu.tr, 0000-0002-1320-5879

2 Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, fahjan@itu.edu.tr, 0000-0003-1254-4526

1. Giriş

Depremler küresel ölçekte ciddi tehdit oluşturan ve büyük ölçüde kayıplara neden olabilen doğal afetlerdir. Bu afetler, yapısal sistemler, altyapı sistemleri, ulaşım sistemleri ve can damarı sistemleri üzerinde farklı düzeylerde hasara sebep olmakta ve maalesef yıkıcı etkilere yol açmaktadırlar. Depremler diğer doğal afetlerden farklı olarak, önceden tahmin edilememekte, aniden ortaya çıkmakta ve kontrol edilememektedir. Tekrarlama periyotları diğer afetlerle kıyaslandığında daha uzun olmakla birlikte gerçekleştiklerinde, çok daha yüksek oranda hasar ve kayıplara (hem insan hayatı hem de ekonomik açıdan) yol açmaktadırlar.

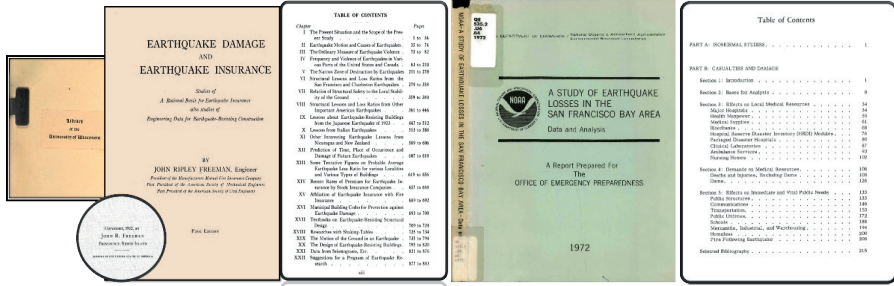
Tarihsel süreç içerisinde dünya çapında meydana gelen ve önemli can kayıplarına yol açan depremler, doğal afetlerin insan yaşamı üzerindeki etkilerini gözler önüne sermektedir. 1906 yılında San Francisco'da 7.9 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiş, yaklaşık 3.000 can kaybına sebep olmuştur [1]. 1909 yılında İtalya'nın Messina şehrini vuran 7.1 büyüklüğündeki deprem, 82.000'den fazla insanın hayatını kaybetmesine neden olmuştur [2]. 1 Eylül 1923 günü Japonya'da 7.9 büyüklüğünde Büyük Kanto depremi yaşanmıştır ve bu depremde can kaybının 140.000'i aştığı tahmin edilmektedir [3]. 27 Aralık 1939 gecesi Erzincan'da 7.9 büyüklüğünde meydana gelen deprem 32.968 can kaybına neden olmuştur [4], [5]. 1960'ta Şili (9.5), 1963 yılında Makedonya'nın Skopje (6.1) ilinde, 1964 Alaska'da (9.2) büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir. 28 Temmuz 1976'da, Çin'in Tangshan kentinde 7,8 büyüklüğünde, ardından yaklaşık 15 saat sonra, farklı bir fay üzerinde 7.1 büyüklüğünde bir deprem daha meydana gelmiş, bu iki olay, birlikte Büyük Tangshan depremi olarak adlandırılmış ve 240.000 den fazla can kaybına sebep olarak 20. yüzyılın en ölümcül depremi olarak tarihe geçmiştir [6]. 1985 Meksika City (8.1), 1989 Loma Prieta Depremi (7.9), 1995'te Japonya'da meydana gelen Kobe Depremi (7.3) ve 1999 Kocaeli (7.4) ve Düzce (7.2) depremleri ile tüm dünya kayıp vermeye devam etmiştir.

21. yüzyılın başlarında, 2004 yılında Endonezya'da meydana gelen 9.1 büyüklüğündeki deprem 300.000'i aşan can kaybına sebep olarak tarihin en ölümcül doğal felaketlerinden biri haline gelmiştir [7]. 2011 yılında Japonya'da meydana gelen 9.0 büyüklüğündeki Tōhoku Depremi, 15.863 can kaybına sebep olmuştur [8].

6 Şubat 2023 tarihinde ise Türkiye, tarihinin en büyük felaketlerinden biriyle sarsıldı. Yerel saat 04:17'de ve 13:24'de sırası ile merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) merkezli Mw7.7 (USGS 7.8) ve Elbistan merkezli Mw7.6 (USGS 7.5) [9] büyüklüğünde

iki deprem, 9 saat aralıkla meydana gelerek 11 ili etkileyen ve “yüzyılın felaketi” olarak nitelendirilen büyük bir yıkıma yol açmıştır. Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü Deprem Dairesi Başkanlığı'nın 2023 verilerine göre, bu depremler sadece büyük bir coğrafi alana değil, aynı zamanda bölgenin sosyal ve ekonomik yapısına da derin bir etki bırakmıştır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 02 Mayıs 2023 tarihinde yıkılmış ve acil yıkılması gereken bina sayısının 58.039, ağır hasarlı bina sayısının ise 205.534 olduğunu açıkladı. Bu felaketler sonucunda, resmi rakamlara göre 50.783 kişi hayatını kaybederken, 115.353 kişi yaralandı. T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı, bu felaketin Türkiye'ye maliyetinin yaklaşık 2 trilyon TL (103,6 milyar dolar) olduğunu belirterek, ulusal ekonomi üzerindeki büyük yük vurgulanmıştır. Bu depremler, doğal afetlere karşı hazırlık ve dayanıklılık konusunda derinlemesine düşünmeyi ve ulusal düzeyde kapsamlı önlemler almayı gerektiren bir dönüm noktası olarak tarihe geçmiştir.

Tüm dünyada yaşanan ve önlenemeyen bu afetin etkilerini azaltmak için bilim insanları geçmişten günümüze önemli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Deprem tehlike ve risk değerlendirme çalışmalarının başlangıcı üzerine literatürde çeşitli görüşler bulunmakla birlikte, bu alanda Luis Esteve'nin 1967 ve 1968 yıllarında, Allin Cornell'in ise 1968 yılında [10] deprem tehlike değerlendirme üzerine yaptığı çalışmalar öncü kabul edilen çalışmalardır. Bu çalışmalar, sismik risk değerlendirme disiplininin temellerinin atılmasına önemli katkılar sağlamıştır [11]. 1972 yılında NOAA, Amerika Birleşik Devletleri, Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (National Oceanic and Atmospheric Administration) [12] bünyesinde San Francisco için [13] hazırlanan deprem kaybı değerlendirme çalışmaları da oldukça önem arz etmektedir [14]. Ancak, John Freeman'ın 1932 yılında yayımladığı “Deprem Hasarı ve Deprem Sigortası (Earthquake Damage and Earthquake Insurance)” [15] kitabı deprem kaybı tahmin çalışmalarının ve tartışmaların çok daha öncesine dayandığını göstermektedir. Bu kitap güncel deprem kaybı tahmini çalışmalarına da ışık tutmaktadır [16] (Şekil# 1).



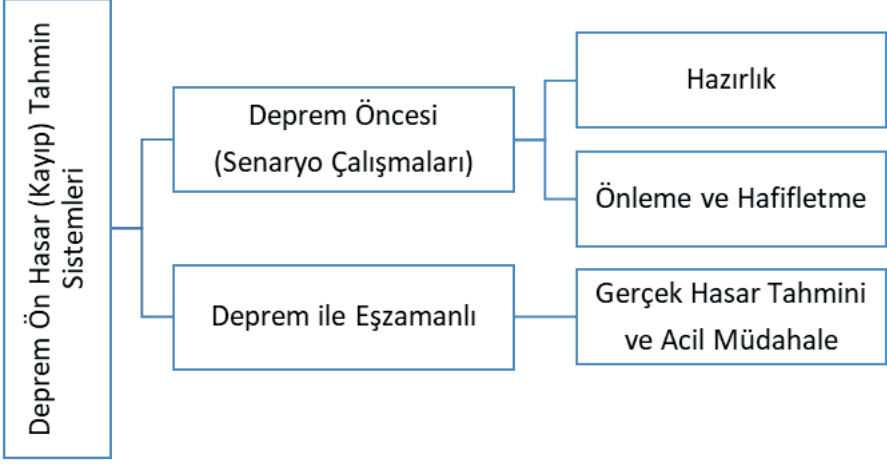
Şekil# 1. Deprem Tehlike ve Risk Değerlendirme Üzerine Yapılan Çalışmalar

Küresel ölçekteki kayıplar doğal afetlere karşı hazırlıklı olmanın, meydana gelen afetle eş-zamanlı olarak hasar ve kayıp tahmininin yapılabilmesinin, afet sonrası hızlı müdahale kapasitesinin geliştirilmesinin ve etkin bir afet yönetiminin hayati önem taşıdığını göstermektedir. Bu noktada deprem kayıp ya da deprem ön hasar tahmin sistemlerinin geliştirilmesi kilit nokta olarak tanımlanabilmektedir. Bu sistemler, deprem riskini azaltma ve afet yönetim stratejilerinin temel taşlarından birini oluşturmaktadırlar. Yapısal olmayan önlemler (eğitim, planlama, erken uyarı sistemleri) ve yapısal önlemler (sismik yönetmelikler, depreme dayanıklı yapı tasarımı, denetim) ile birleştirildiğinde, bu teknolojik araçlar, afetlere hazırlık ve müdahale kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadırlar. Deprem ön hasar tahmin sistemleri, modern sismolojinin, inşaat ve deprem mühendisliği disiplinlerinin en kritik gelişmelerinden biridir.

2. Deprem Ön Hasar Sistemleri Önemi ve Kullanım Alanları

Depremler, ansızın gerçekleşen ve küresel çapta önemli kayıplara yol açabilen doğal felaketlerdir. Deprem tehlikesinin engellenmesi teknik olarak mümkün olmamakla birlikte, deprem riskinin azaltılabilmesi bireyler, topluluklar ve yönetim birimleri için kritik öncelik teşkil etmektedir. Bölgesel deprem tehlikesinin kapsamlı bir şekilde tespiti, yapısal mühendislik yaklaşımlarının geliştirilmesi ve uygulanması, deprem dayanımı yüksek yapıların tasarımı ve inşası, mevcut yapıların dayanıklılığının artırılması, acil durum hazırlık stratejilerinin oluşturulması ve genel kamuoyunun deprem konusunda bilgilendirilmesi gibi çeşitli stratejiler bu sürecin temel bileşenleridir. Bu bağlamda, global ve/veya lokal ölçekte olası bir depremin öncesinde gerçekleştirilen senaryo çalışmalar ile ya da afetin hemen sonrasında nerdeyse eş zamanlı olarak yer hareketi sarsıntı (ShakeMap) haritalarını oluşturabilen, afetin etkilerini tahmin edebilen ve “Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemleri” olarak tanımlanabilen yazılımlar geliştirilmiştir. Bu yazılımlar geliştirilme amaç ve kapasitelerine göre depremin öncesinde

gerçekleştirilecek senaryo çalışmaları ve deprem ile eşzamanlı gerçekleştirilecek çalışmalarda kullanılabilirler (Şekil# 2)



Şekil# 2. Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemleri Kullanım Alanları

2.1. Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemleri- Deprem Öncesi (Senaryo Çalışmaları)

Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemleri, özellikle yerel yönetimler ve kamu kurumları tarafından afet yönetiminde stratejik planlama ve karar alma süreçlerinde kritik rol oynamaktadırlar. Bu sistemler, bir bölgeyi etkileyebilecek tüm potansiyel senaryoları dikkate alarak yürütülen kapsamlı analizler sonucunda olası deprem zararları hakkında kritik bilgi sağlarlar. Ayrıca, kentsel ve bölgesel ölçekte risk altındaki alanların tespit edilmesi, kentsel tasarım ve kentsel dönüşüm projelerinin yönlendirilmesi, etkili afet yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ve acil durum hazırlık çalışmalarına rehberlik edilmesi gibi çeşitli amaçlara hizmet eder. Bu yaklaşım, deprem riskinin azaltılmasına yönelik proaktif önlemlerin alınmasını sağlayarak, olası bir deprem anında insan hayatının korunması ve ekonomik kayıpların minimize edilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla, deprem öncesi hasar tahmin sistemlerinin uygulanması, kapsamlı risk değerlendirmesi ve afetlere karşı dirençli toplumların inşası için temel bir strateji olarak kabul edilmektedir.

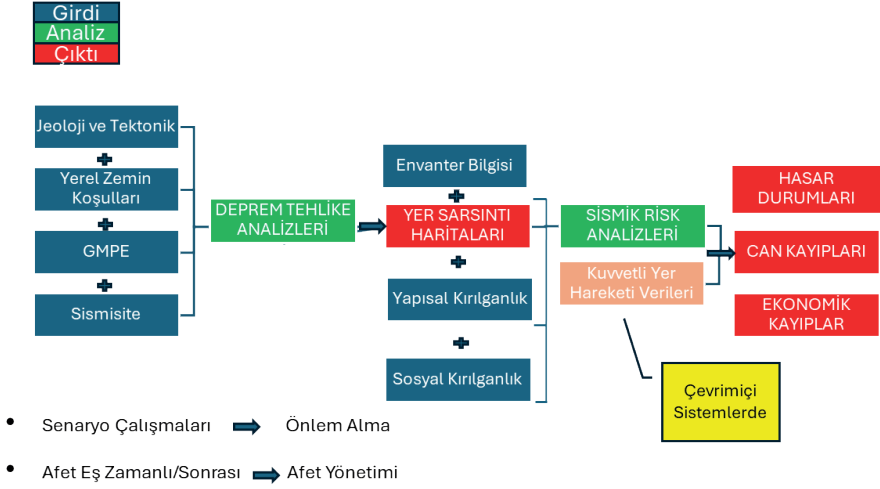
Deprem senaryo çalışmaları deprem afetinin olumsuz etkilerini hafifletme ve planlama çalışmalarında il ve ilçe ölçeğinde de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bir senaryo çalışması ile, Yer Hareketi Tahmin Modelleri (veya “azalım ilişkileri”), (GMPE) kullanılarak olası sarsıntı tahmin

edilebilmektedir. GMPE bir depremin büyüklüğü, depremin kaynağına olan mesafe, yerel zemin koşulları, fay mekanizması vb. parametrelerini dikkate alarak belirli bir yer veya konumdaki yer sarsıntısının seviyesini tahmin etme olanağı sağlamaktadır. Depremin hangi lokasyonda, hangi seviyede etki oluşturacağını tahmin edebilen bu denklemler ile yer hareketi sarsıntı haritaları oluşturulabilmektedir. Bu haritalar kamu kuruluşları, afet yönetimi ve acil durum müdahale ekipleri, sivil yardım kuruluşları gibi birimler tarafından kullanılarak afetten etkilenen bölgelerdeki zararın hızlı bir şekilde değerlendirilmesine ve gerekli müdahalelerin etkin bir şekilde planlanmasına olanak sağlayan önemli ve kritik araçlardır.

Olası afet senaryolarını göz önünde bulundurarak yapılan çalışmalar, öncesinde önlemlerin alınabilmesi, afet anında veya hemen sonrasında etkili bir şekilde planlama ve koordinasyon yapılabilmesi için, özellikle yerel yönetimler, kamu kurumları ve diğer kuruluşlara yol gösterirler. Afet yönetim ve planlama konumundaki tüm birimler, bu çalışmanın çıktılarını; verilecek eğitim, yapılacak tatbikat ve alınacak önlemleri için bir kılavuz olarak kullanılabilmektedirler. Senaryo çalışmaları ile yapılar, can damarı sistemleri, kamu binaları, kritik yapılar ve ulaşım koridorlarının incelenmesi için de kullanılmaktadırlar.

2.2. Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemleri - Deprem ile Eşzamanlı

Olası bir depremin hemen ardından genellikle ilk açıklanan veriler depremin merkez üssü ve büyüklüğü bilgileri olmaktadır. Ancak afet kaynaklı meydana gelen hasarları, yıkımları ve kayıpları yalnızca bu iki parametrenin bir fonksiyonu olarak açıklamak mümkün değildir [17]. Afetin etkileyebileceği bölgeyi, neden olabileceği tehlikeyi ve olası riski doğru değerlendirebilmek için daha detaylı bilgilere ihtiyaç vardır. Depremin tek bir büyüklük değeri ve merkez üssü olmasına rağmen, kırılan fayın büyüklüğü, kırılma mekanizması, fay kırığına olan mesafe, sahanın jeolojisi ve zemin koşulları gibi etkenler yer sarsıntı parametrelerini doğrudan etkileyebilmektedir. Deprem ile neredeyse eşzamanlı oluşturulan yer sarsıntı haritaları, kuvvetli yer hareketi gözlem ağı verileri ile güncellenerek afetin boyutu, yer hareketi parametreleri ve risk daha gerçekçi tahmin edilebilmekte, böylece gerçek zamanlı veri analizleri kullanılarak müdahale ekiplerinin hızlı ve koordineli bir şekilde hareket etmelerini mümkün olmaktadır. Bu sistemlerin çalışma algoritmaları Şekil# 3 ile sunulmaktadır.



Şekil# 3. Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemleri Çalışma Algoritmaları

Global ölçekte birçok ön hasar tahmin sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemleri iyileştirme ve yeni sistemleri geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Geliştirilen bu sistemlere örnek olarak bazıları aşağıda listelenmektedir;

Amerika Birleşik Devletleri:

USGS ShakeMap: Depremden sonra sarsıntının şiddetini gösteren deprem yer hareketi parametreleri haritalarını oluşturur. Bu şekilde depremden sonra etkilenen alan ve sarsıntının yoğunluğu detaylı bir şekilde gösterilebilmektedir.

PAGER: Depremden sonra olası hasar ve can kaybını tahmin eder ve afete ilk müdahale planlamasına katkıda bulunur.

HAZUS: Depremden sonra yapısal sistemler, altyapı sistemleri, kritik tesisler vb. olası hasar durumlarını ve ekonomik kaybı tahmin eden bir sistemdir.

Japonya:

J-SHIS (Japan Seismic Hazard Information Station): Depremlerin potansiyel etkilerini tahmin etmekte, kamuoyu ile paylaşarak, afetlere hazırlık ve risk azaltma çabalarını desteklemektedir.

K-NET: Japonya Meteoroloji Ajansı (JMA) tarafından işletilen geniş bir sismik izleme ağıdır. Deprem verilerini kaydedip, analiz etmek, bu sayede

depremin büyüklüğü, derinliği ve merkez üssü hakkında hızlı ve doğru bilgiler sağlamayı amaçlamaktadır.

Avrupa:

EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre): Avrupa ve Akdeniz Bölgesi'nde depremden sonra sarsıntı şiddetini ve olası hasarı gösteren haritalar oluşturur.

GEM (Global Earthquake Model Foundation - Openquake): Küresel ölçekte deprem tehlike ve risk analizi yapmak için kullanılır.

REDACT - Black Sea Joint Operational Programme 2014-2020: Katılımcı ülkeler arasındaki iş birliği yoluyla sismik riski azaltmayı amaçlayan bu projede, bölgesel risk değerlendirmeleri ve afet yönetimi stratejileri geliştirilmesi hedeflenmiştir. ([18]).

Türkiye:

AFAD RED: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) bünyesinde geliştirilen sistem, deprem tehlike ve risk değerlendirme çalışmalarında kullanılır. Yazılım hem hükümet hem de yerel yönetimler için afete hazırlık ve acil müdahale sistemlerinin planlanmasında kullanılmaktadır.

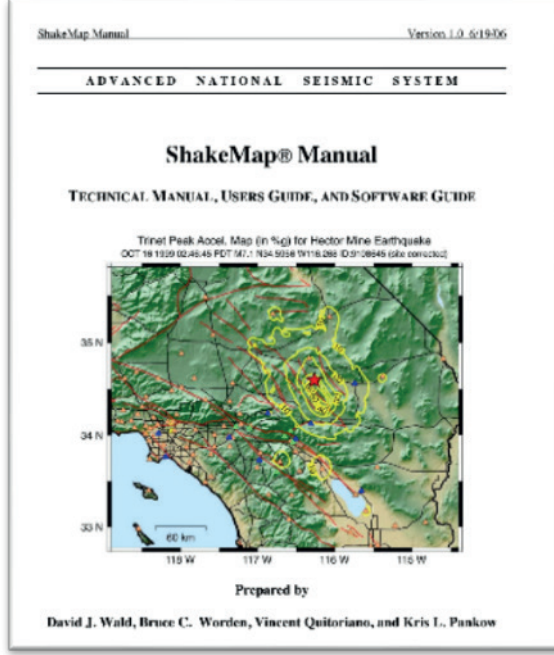
Yeni Zelanda:

RiskScape: GeoNet tarafından sağlanan sismik ve jeolojik verileri kullanarak doğal afet risk analizleri ve hasar tahmin çalışmalarını gerçekleştirir.

Bu çalışma kapsamında yukarıda adı geçen USGS SHAKEMAP, PAGER, FEMA HAZUS, GEM OPENQUAKE, AFAD-RED ve REDAS yazılımlarının çalışma prensipleri incelenmiştir.

2.3. USGS SHAKEMAP

ShakeMap®, bir depremin hemen ardından pik ivme (PGA), pik hız (PGV), Spektral değerler (0.3, 1.0 ve 3.0 sn) gibi deprem yer hareketi parametrelerinin coğrafi dağılımını, şiddetini hızlı ve detaylı bir şekilde üretme kapasitesine sahip bir yazılım aracıdır.

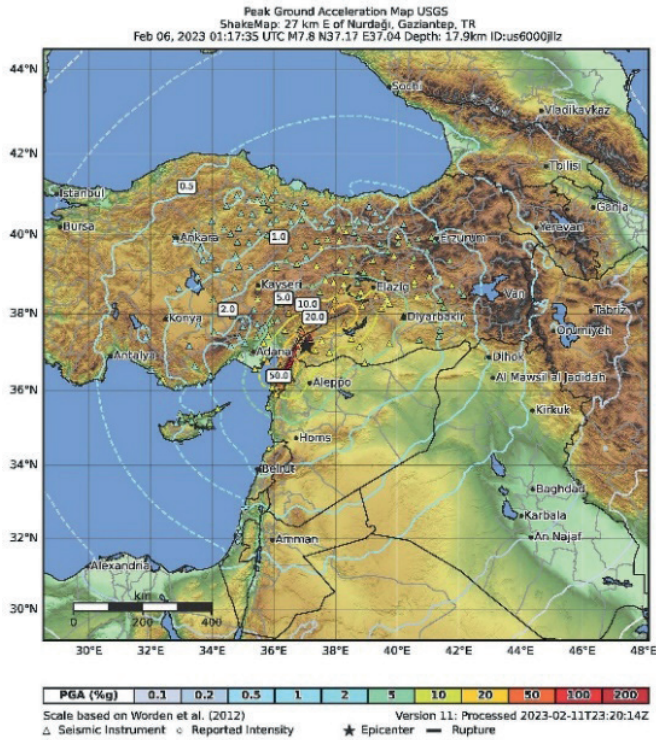


Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmaları Kurumu (USGS) tarafından tasarlanmış bir sistemdir. ShakeMap Yazılımını geliştirme ilk olarak, 1996 yılında Caltech Sismoloji Laboratuvarı bünyesinde David Wald ve Vince Quitoriano'nun depremin gerçek zamanlı büyüklük ve konumunu belirlemeye yönelik çalışmaları ile başlamıştır [19]. Yazılımın ilk versiyonu 2006 yılında yayımlanmıştır (Şekil# 4).

Bu araç, ulusal ve uluslararası düzeyde deprem sonrası afet ve acil durum yönetimi ve müdahalesi için kullanılabilir. (Şekil# 5) ShakeMap'in sağladığı bu görsel ve analitik bilgiler, depremden etkilenen bölgelerin genişliğinin ve bu bölgeler üzerindeki potansiyel etkinin/zararın derecesinin değerlendirilmesinde kritik bir role sahiptir.

Ayrıca, en çok zarar görebilecek kritik alanların belirlenmesi ve deprem sonucunda oluşabilecek kayıpların hızlı bir şekilde tahmin edilebilmesi süreçlerinde de kullanılacak verileri sağlayan temel bir kaynak olarak işlev görmektedir.

Yazılımın güncel versiyonu ShakeMap 4.1 2020 itibariyle yayımlanmıştır.



ShakeMap çevrimiçi çalışabilme kapasitesine sahip bir sistemdir. Bu sistemin en önemli ön koşulu, depremlerin meydana gelmesinden hemen sonra yerlerini ve büyüklüklerini belirleyebilecek bir sismik ağı varlığıdır. Bu ağ, depremden sonraki dakikalar içinde gerçek zamanlı veya yakın gerçek zamanlı telemetriye sahip kuvvetli yer hareketi sensörlerinden depremin yatay bileşenleri için PGA, PGV ve 0.3, 1.0 ve 3.0 saniye periyotlarında %5 sönümlü sözde-spektral ivme (PSA) dataları sağlayabilmelidir.

Veri İşleme (ShakeMap Manual referans alınarak derlenmiştir)

Yer Hareketi Tahmin Modelleri (GMPE)

ShakeMap yazılımı, yer hareketi parametrelerinin ilk tahminlerinin elde edilmesinde GMPE kullanımını esas almaktadır. Bu nedenle analizlerde kullanılacak GMPE seçimi ve belirlenmesi analiz sonuçlarının güvenilirliği açısından çok önemli bir noktadır.

USGS ShakeMap, Global Earthquake Model (GEM) OpenQuake projesi bünyesinde yayımlanan GMPE kullanabilmektedir. Analizlerde tek bir

GMPE kullanılabildiği gibi birden fazla GMPE farklı ağırlıklarda da seçilip kullanılabilmektedir.

Ayrıca, ShakeMap yazılımı ile belirli tektonik bölgeler için oluşturulmuş GMPE Setleri de kullanılabilmektedir (Örn: dört NGA West2 GMPE'sini eşit ağırlıklarla birleştiren “active_crustal_nshmp2014” seti)

Zemin Bilgisi

ShakeMap mevcut jeoteknik veya jeolojik temelli Vs30 haritalarını kullanmaktadır. Bu haritaların bulunmadığı bölgeler için Wald ve Allen (2007) [20] tarafından önerilen, Allen ve Wald [21] tarafından revize edilen yaklaşımı kullanılır. Bu yaklaşım Vs30 tahminlerini daha kolay elde edilebilir topografik eğim verileriyle ilişkilendirmektedir. Global ShakeMap (GSM) sistemi Wald ve Allen'ın eğime dayalı Vs30 haritalamasını kullanmaktadır.

Mevcut yeni nesil GMPE Vs30 zemin büyütmesini desteklemektedir. Seçilen GMPE'lerin Vs30 tabanlı zemin büyütmesini desteklememesi durumunda ShakeMap yeni bir GMPE seti sağlanmasını desteklemektedir.

Havza Etkisi (“Z1.0” or “Z2.5”)

Bazı yeni nesil GMPE havza derinliklerini temsil edebilmek için “Z1.0” ve Z2.5” değerlerini kullanmaktadırlar. ShakeMap güncel versiyonu havza derinlik verilerini kullanmamaktadır. Bu durumda yer hareketi denklemlerinin hesaplanmasının ardından genel bir büyütme faktörü uygulanmaktadır.

Fay Kırılma Modeli

GMPE güvenilir sonuçlar vermesi için kırılma modeli bir diğer önemli faktördür. Kırılma modelinin belirtilmediği durumlarda ShakeMap, Thompson ve Worden [22] tarafından geliştirilen nokta kaynaklı sonlu kırılma denklemlerini kullanarak gerekli parametreleri tahmin etmektedir.

Çıktı Dosyaları

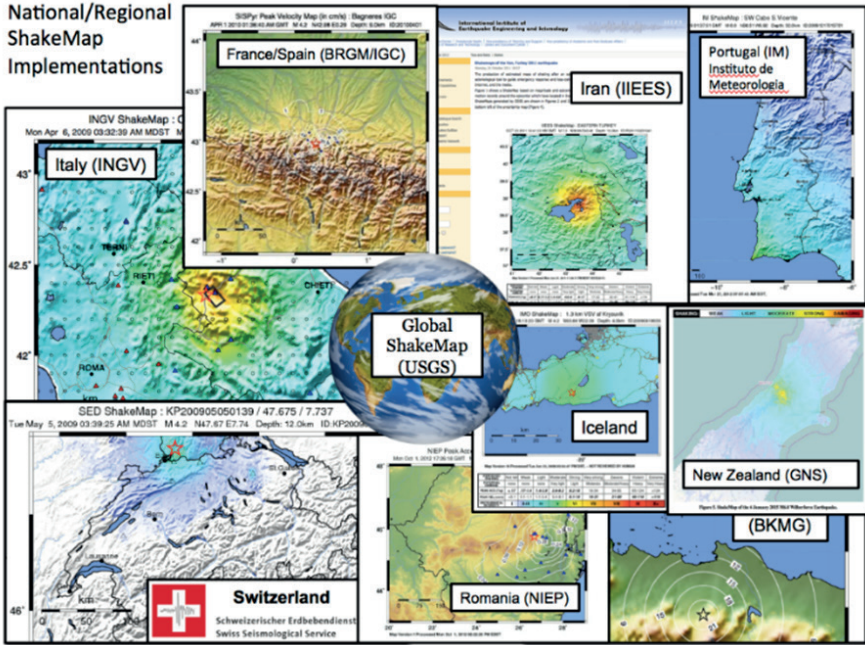
ShakeMap kapsamlı bir çıktı dosyası sunmaktadır. Sitem makroseismik, Pik Yer İvmesi (PGA), Pik Yer Hızı (PGV) ve Sözde spektral İvme (PSA) (mümkün olduğunda) haritalarını sunmaktadır.

ShakeMap, kritik tesislerin değerlendirmeleri için kullanılan ShakeCast, toplumsal kayıplarının hesaplanması için PAGER ve zemin göçme tahmin çalışmaları dahil olmak üzere, birçok diğer USGS deprem yazılımlarının temel girdi verisini hazırlamaya hizmet etmektedir.

Ayrıca, ShakeMap parametrelerini, deprem risk değerlendirilme çalışmaları için HAZUS-MH® yazılımına aktarmaya uygun şekilde GIS Shapefile dosya formatında sunmaktadır.

Uluslararası alanda ShakeMap

Uluslararası alanda, USGS ShakeMap İtalya, Fransa, Portekiz, İsviçre, Romanya, Endonezya, İran, İzlanda, Panama ve birkaç başka ülkede kurulmuş ve işler durumdadır. Ortadoğu'da (Oman, Fas ve B.A.E. dahil; M. Franke, yazılı iletişim, 2015) birkaç ShakeMap örneği test ediliyor veya işletme modundadır. Ek olarak, Latin Amerika ve Karayipler'de (Şili, Kosta Rika, Kolombiya, Meksika, Kosta Rika) ve Güneydoğu Asya'da (Malezya ve Kore) diğer ShakeMap kuruluşları test aşamasındadır. Birkaç başka ilgili ülke ile görüşmeler yapılmıştır.



Şekil# 6. Uluslararası alanda ShakeMap

ShakeMap'e benzer etkileyici sistemler Japonya (JMA), Tayvan, Çin, Yeni Zelanda, Türkiye ve birkaç başka ülkede faaliyet göstermektedir.

2.4. USGS PAGER

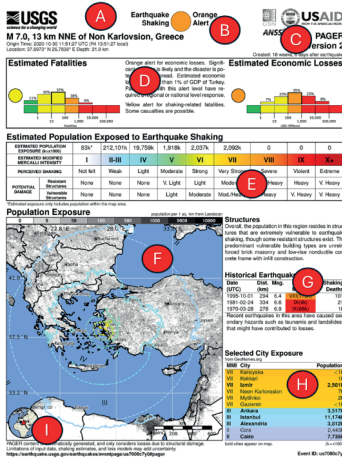
PAGER (Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response), bir depremin etkisini hızlı bir şekilde değerlendiren bir sistemdir.

PAGER Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmaları Kurumu (USGS) bünyesinde tasarlanmış bir sistemdir. Bu sistem her ülke için geçmiş verileri kullanarak kayıpları tahmin ve kalibre etme kapasitesine sahiptir.

PAGER sisteminin temelleri, yıkıcı 25 Aralık 2004, Sumatra (M9.0) depremi ve tsunamisinden önce atılmıştır. Sumatra depremi sırasında işler durumda olan sistemin, depremin her şiddet seviyesi için afete maruz kalan kişi tahminlerini sağladığı belirlenmiştir. Sumatra Depremi, PAGER sisteminin etkinliğini ve önemini kanıtlamıştır.

PAGER, güncel durumda dünya çapında 4.0'den büyük herhangi bir deprem meydana geldikten sonraki yaklaşık 20 dakika içinde depremin önemli parametreleri hakkında bilgi üreten otomatikleştirilmiş bir USGS sistemidir.

Sistem, afet ve acil durum ekiplerini, hükümet ve sivil yardım kuruluşlarını ve medyayı, olası felaketin boyutu hakkında bilgilendiren bir sitemdir. PAGER, depreme maruz kalmış her sarsıntı yoğunluğu seviyesine maruz kalan nüfusu, dünyanın her ülkesi veya bölgesinde geçmiş depremlere dayalı ekonomik ve ölümlü kayıpların modelleriyle karşılaştırarak deprem etkilerini hızlı bir şekilde değerlendirir Şekil# 7. Deprem uyarıları – daha önce yalnızca olayın büyüklüğü ve konumu veya sarsıntıya maruz kalan nüfus temel alınarak gönderilirken – artık tahmini can kaybı sayısı ve ekonomik kayıplar aralığına dayanarak belirlenebilmektedir.



- A Temel deprem parametrelerinin özeti
- B Deprem etki ölçeği (özet)
- C PAGER versiyonu ve uyarının oluşturulduğu zaman
- D Deprem etki ölçeği Can kaybı ve Ekonomik kayıp
- E Farklı MMI seviyelerine maruz kalan nüfusu ve olası zararları gösteren tablo
- F MMI Kontur haritası
- G Bölgeye özgü yapı ve deprem yorumu
- H Seçilen yerleşim yerleri için MMI tahminlerinin tablosu.
- I Attbilgi, PAGER web sayfasına bir bağlantı, olay numarası ve feragatname notu.

Şekil# 7. USGS PAGER Çıktı Formatı

PAGER, USGS'nin ShakeMap sisteminin tehlikeden riske [23] uzanan bir genişlemesi olarak değerlendirilebilir. Uygulanan model tamamen ampirik[24, 25], yarı-ampirik [26] veya analitik [27] olabilir. Seçilen bölge veya etkilenen alan ve hem bina envanteri hem de bina kırılabilirliği üzerine

ampirik verilerin bulunabilirliğine bağlı olarak, PAGER üç modelden hangisinin en uygun olduğuna karar vermektedir. Yarı-ampirik yaklaşım, ampirik veya analitik bir modelin, sırasıyla gözlemsel veri veya analitik çalışmaların eksikliği nedeniyle oluşturulamadığı bölgeler için kullanılır. Bu modelin doğası bu nedenle hibrit olarak da adlandırılabilir.

2.5. FEMA HAZUS

HAZUS, ABD için ulusal olarak standartlaştırılmış bir risk modelleme yöntemidir. HAZUS, 1990'ların başında, doğal afetlerin azaltılması ve karar alma yetkisindeki kişi ve kurumlar tarafından kullanılmak üzere ücretsiz, genel amaçlı bir doğal afet kayıp tahmini yazılım aracı olarak tasarlanmıştır. HAZUS, doğal afetler için yüksek riskli alanları belirler ve depremler, kasırgalar, sel ve tsunamilerin fiziksel, ekonomik ve sosyal etkilerini tahmin etmektedir.

FEMA'nın Doğal Tehlikeler Risk Değerlendirme Programı tarafından yönetilen HAZUS Programı, en son bilimsel ve teknolojik yaklaşımları içermekte, acil durum yönetimi kurumlarının ihtiyaçlarının karşılamasını sağlamak için diğer federal ajanslar, araştırma kurumları ve bölgesel planlama yetkilileri ile işbirliği yapılımasını sağlamaktadır.

HAZUS Deprem Modeli, FEMA'nın sponsorluğunda 1992 yılında, Ulusal Deprem Tehlike Azaltma Programı (NEHRP) liderliğinde başlatılmış ve bu süreçte Ulusal Bina Bilimleri Enstitüsü (NIBS), genel proje yönetimine atanmıştır.

Şekil# 8.HAZUS Tehlike Tanımlama Sayfası

HAZUS, risk analizlerinde kullanmak üzere deprem yer hareketi tehlikesinin farklı karakterizasyonlarda belirlenmesine olanak tanımaktadır Şekil# 8;

Deterministik tehlike (senaryo depremi),

Olasılıksal tehlike,

Kullanıcı tarafından sağlanan tehlike (yer hareketi haritası) ve USGS ShakeMap.

HAZUS mevcut olması durumunda sivilaşma ve heyelan haritalarını sismik tehlike verilerine entegre edebilmektedir.

HAZUS risk analizlerinde kullanmak üzere global ölçekte de kabul görmüş, birçok farklı yazılıma ilham veren ve öncülük eden bir sınıflandırma sistemi önermiştir;

Yapısal sınıflandırma ilk olarak genel bina stoku, kritik tesisler (hastane, okul vb.), ulaşım sistemleri, candamarı sistemleri (boru hatları vb.), ve özel yapılar (barajlar ve nükleer tesisler vb.) olarak kurgulanmıştır.

Bina türü sistemleri;

Yapıların türlerine göre; taşıyıcı sistemlerine, malzemelerine, kat sayılarına (yüksekliklerine) ve mühendislik hizmeti alma seviyelerine göre sınıflandırılmaktadır.

Yapıları kullanım amaçlarına göre; Konut, Ticari, Endüstriyel, Tarım, Dini, Hükümet, Eğitim ve *Metrekarelerine* göre sınıflandırılmaktadır.

Ek olarak HAZUS 5.1 versiyonu ayrıca ülke genelindeki yapıları nüfus sayımı, harita şemaları ve potansiyel ekonomik kayıplarına göre de sınıflandırmıştır.

HAZUS 36 bina sınıfı ve beş farklı hasar düzeyi (Hasarsız, Az Hasar, Orta Hasar, Ağır Hasar ve Göçme Durumu) için Fiziksel Hasar, Ekonomik Kayıp, Sosyal Etkiler (can kayıpları) ve Maliyeti nicel olarak belirleyebilmekte ve haritalayabilen güçlü bir yazılımdır.

HAZUS, yapılara özgü deprem tepki, hasar ve kayıp analizlerini gerçekleştirirken, spektrum, spektral ivme, spektral hız ve spektral deplasman değerlerini kullanmaktadır. HAZUS, farklı şiddet seviyelerinde doğrudan ve dolaylı ekonomik kayıp ile can kayıplarını tahmin etmek amacıyla karmaşık kayıp fonksiyonlarından yararlanmaktadır. Bu kayıp fonksiyonları, verilen potansiyel bir deprem yer hareketi talebi için bir hasar durumunun olma veya aşılma olasılığını ilişkilendiren log normal kırılgenlik eğrileri şeklindedir. Her bir kırılgenlik eğrisi, hasar durumu eşik değeriyle ilişkili potansiyel deprem

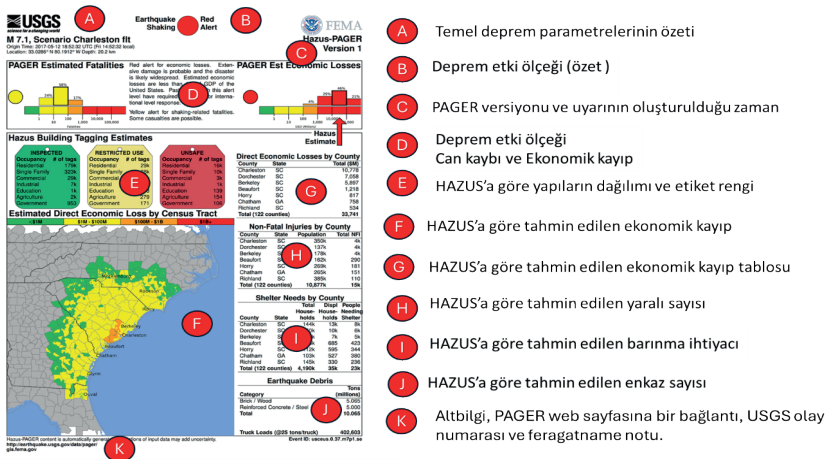
yer hareketi talep parametresinin (yani, spektral yer değiştirme, spektral ivme, PGA veya PGD) medyan değeri ve o hasar durumuyla ilişkili değişkenlik ile tanımlanır. Binaların tepkileri kapasite eğrileri ile karakterize edilmektedir.

HAZUS yazılımının uluslararası düzeyde başarılı entegrasyon çalışmaları yürütülmüştür. Bu sistemlere HAZTURK, HAZ-TAIWAN sistemleri örnek olarak gösterilebilir. HAZTURK yazılımı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve TÜBİTAK desteğiyle İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesinde geliştirilmiştir. Bu yazılım, ABD’de geniş çapta kullanılan HAZUS programıyla, depremle ilgili analiz ve işlevsellik açısından benzer özellikler sunmakla birlikte üstün yönlerine de sahiptir [28]

2.6. TwoPager

USGS- PAGER sistemi, önemli küresel depremler sonrasında can kaybı ve ekonomik etkileri hızlı bir şekilde (10-20 dakika) sağlayabilmektedir. Buna karşın, FEMA-HAZUS yazılımı büyük yerel depremler için çok daha yüksek mekânsal çözünürlükte yapısal, sosyal ve ekonomik sonuçları tahmin edebilmekte, daha detaylı kayıp bilgileri sağlayabilmekte, ancak bu bilgileri elde etmek 2-5 saat gibi zaman alıcı bir süreç gerektirmektedir. Depremlerden sonra daha hızlı ve detaylı bilgi sağlayabilmek için PAGER ve HAZUS yazılımlarının avantajlarını ve kapasitelerini birleştiren TwoPAGER yazılımı geliştirilmiştir.

TwoPAGER ürününün ilk sayfası, tutarlılığı korumak ve karışıklığı önlemek amacıyla standart PAGER içeriğinden oluşmaktadır. İkinci sayfa ise, en üstte bir önceki PAGER’den devralınan kayıp özet sonuçları ile hazırlanmış ancak HAZUS ekonomik kayıp modeli ile bağlanmış [29].

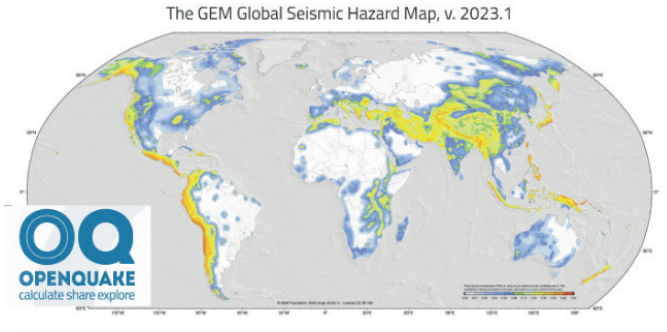


Şekil# 9. TwoPAGER İkinci Sayfa Örneği ve PAGER/HAZUS TwoPAGER İçeriğinin Tam Açıklaması

2.7. GEM OPENQUAKE

OpenQuake, GEM Vakfı tarafından geliştirilen sismik tehlike ve risk hesaplama yazılımıdır. GEM Vakfı, dünya çapında risk yönetimi için deprem riskinin şeffaf değerlendirilmesi amacıyla bilimsel ve yüksek kaliteli kaynakların geliştirilmesine odaklanan küresel iş birliğini teşvik eden ve kâr amacı gütmeyen bir kamu-özel ortaklığıdır.

OpenQuake yazılımının geliştirilme çalışmaları ilk olarak 2010 yılında başlamıştır [30].



Şekil# 10. GEM, Global Deprem Tehlike Haritası

Yazılım güncel durumda üç farklı yaklaşımla sismik tehlike analizlerini gerçekleştirebilmektedir;

Klasik Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi,

Olay (Event) Tabanlı Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (Gerçek depremlerin stokastik verilerine dayalı)

Senaryo Tabanlı Sismik Tehlike Analizi

Sismik Kaynakların Tanımlanması

OpenQuake, analizler için fay kaynaklarını farklı yaklaşımlarla modelleyebilmektedir. Nokta Kaynak, Alan Kaynak, Izgara Kaynak, Çizgisel Kaynak, Kompleks Kaynak (dalma-batma zonları olma durumunda vb.), Karakteristik Kaynak, Non-parametrik Kaynak bu modellere örnek olarak verilebilmektedir.

Yer Hareketi Tahmin Modelleri (GMPE)

Openquake kütüphanesinde global ölçekte geliştirilmiş oldukça zengin bir GMPE listesi bulunmaktadır. Bu azalım ilişkileri tek tek kullanılabilirliği gibi farklı ağırlıklarda da kullanılabilirler. Yazılımın en büyük

avantajlarından biri farklı şiddet birimleri için farklı azalım ilişkilerinin seçilebilmesidir.

Çalışma Alanının Tanımlanması

Openquake ile çalışma alanı iki yöntemle tanımlanabilmektedir. Bunlardan ilki bir bölge için polinom tanımlanması, ikincisi ise belirli saha/ alan yada alanların enlem ve boylam ikilisi şeklinde tanımlanmasıdır.

```
lon,lat,vs30,z1pt0,z2pt5,vs30measured,backarc
10.0,40.0,800.0,19.367196734,0.588625072259,0,0
10.1,40.0,800.0,19.367196734,0.588625072259,0,0
10.2,40.0,800.0,19.367196734,0.588625072259,0,0
10.3,40.0,800.0,19.367196734,0.588625072259,0,0
10.4,40.0,800.0,19.367196734,0.588625072259,0,0
```

Şekil# 11. Zemin Koşullarının Tanımlanması

Zemin Koşullarının Tanımlanması:

Openquake ile yerel zemin koşulları efektif bir şekilde tanımlanabilmektedir. Çalışma alanında farklılık göstermesi durumunda farklı Vs30, Z1.0” veya “Z2.5” değerleri de tanımlanabilmektedir (Şekil# 11).

Fay Kırılma Modeli

Openquake, yer hareketi karakterizasyonu için Kakkalmanos vd. [31] tarafından önerilen modeli kullanmaktadır.

Ground motion characterization: important variables

27

What impacts ground motion levels?

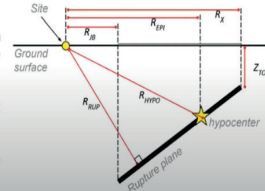
- as earthquake **magnitude** increases, so do ground motion levels
- as **site-to-source distance** increases, ground motion levels decrease

How is distance measured?

R_{JB} : “Joyner-Boore”; horizontal distance from site to the surface projection of the rupture

R_{RUP} : Euclidean distance from site to closest point on the rupture

R_{HYPD} : Distance between the site and the hypocenter



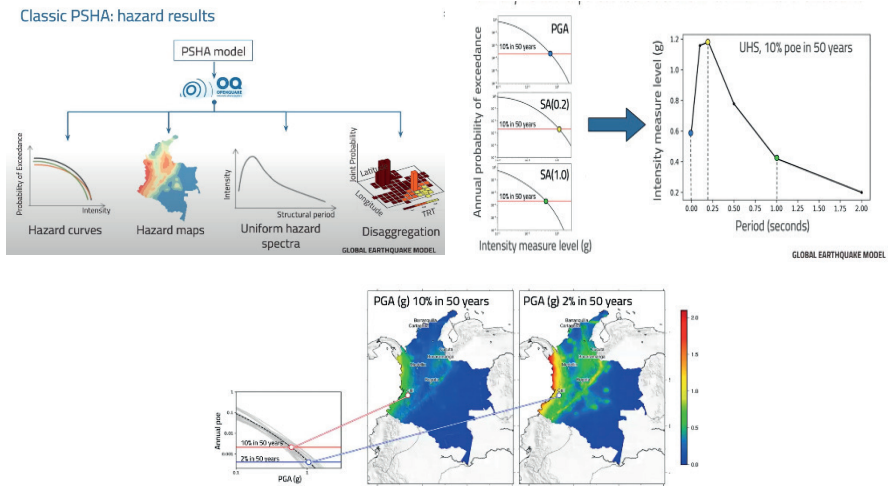
Şekil# 12. Fay Kırılma Modeli Tanımlanması

Sismik risk analizleri, sismik risk değerlendirilmesi ve kayıp tahmini için açık kaynaklı bir araç seti olan OpenQuake risk kütüphanesi verileri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. OpenQuake yazılımının risk bileşeni, çeşitli yaklaşımları kullanarak senaryo bazlı sismik hasar ve risk analizi, klasik olasılıksal sismik hasar ve risk analizi, stokastik olay bazlı olasılıksal sismik hasar ve risk analizi, onarım-maliyet analizi, altyapı sistemlerinin risk analizi ve sigorta risk analizlerini gerçekleştirebilmektedir.

OpenQuake kütüphanesinde global ölçekte farklı bölgeler ve farklı yapı sınıflarına göre oluşturulmuş zengin bir hasargörebilirlik veri seti bulunmaktadır.

Çıktı Dosyaları

Openquake yazılımı yapılan analizlerin türü ve kapsamına göre yerhareketi parametreleri, deterministik tehlike, olasılıksal tehlike, sosyal ve ekonomik kayıplar içeren çok zengin bir çıktı ağı sunmaktadır.



Şekil# 13. OpenQuake Çıktı Dosyaları

2.8. AFAD RED

AFAD-RED yazılımı Türkiye'nin Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı bünyesinde geliştirilen bir deprem ön hasar tahmin sistemidir (Şekil# 14).

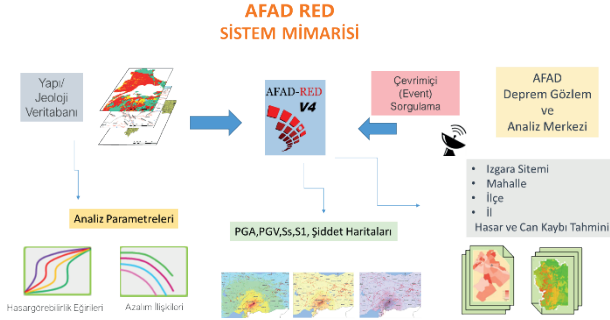
Yazılımı geliştirme ilk çalışmaları 2013 yılında başlamıştır.

AFAD-RED



Yazılım, hızlı deprem hasar değerlendirmesi ve afet müdahale koordinasyonu için tasarlanmıştır. AFAD-RED, deprem öncesi yapılacak senaryo çalışmalar ile depremin olası etkilerini tahmin etmek, deprem ile eş zamanlı ya da hemen sonrasında (~10 dk) deprem verilerini gerçek zamanlı olarak işleyerek, hasar tahminleri ve acil müdahale planlaması yapabilme kapasite sahiptir. Bu sistem, afet yönetimi süreçlerinde hızlı ve etkili karar almayı mümkün kılarak planlama, acil müdahale, kurtarma, yardım ve iyileştirme çalışmalarına rehberlik etmektedir

Yazılım altlık olarak, idari bölümlenme veri tabanı (ülke, il, ilçe, mahalle sınırları), nüfus veri tabanı (mahalle ve köy detayında), konut veri tabanı (il, ilçe, mahalle ve köy detayında bina sayısı), yer bilimsel veri tabanı (MTA diri fay haritası, USGS Vs30 hız haritası), AFAD Kuvvetli Yer Hareketi (KHY) istasyon altı Vs30 hız bilgilerini kullanmaktadır.



Şekil# 14. AFAD-RED Sistem Mimarisi

Yer Hareketi Tahmin Modelleri (GMPE)

AFAD-RED yazılımına Türkiye için elde edilmiş ve NGAWest2 projesi [32] kapsamında geliştirilen GMPE entegre edilmiştir. Bu azalım ilişkileri teker teker kullanılabildiği gibi farklı oranlarda da hesaba katılabilmektedirler.

Zemin Koşullarının Tanımlanması:

Yazılım ülke genelinde mevcut jeoteknik veya jeolojik temelli Vs30 haritalarını kullanmaktadır. Bu haritaların bulunmadığı bölgeler için Wald ve Allen (2007) [20] tarafından önerilen, Allen ve Wald [21] tarafından revize edilen yaklaşımı kullanılır. Bu yaklaşım Vs30 tahminlerini daha kolay elde edilebilir topografik eğim verileriyle ilişkilendirmektedir. Global ShakeMap (GSM) sistemi Wald ve Allen'in eğime dayalı Vs30 haritalamasını kullanmaktadır.

Sismik Kaynakların Tanımlanması

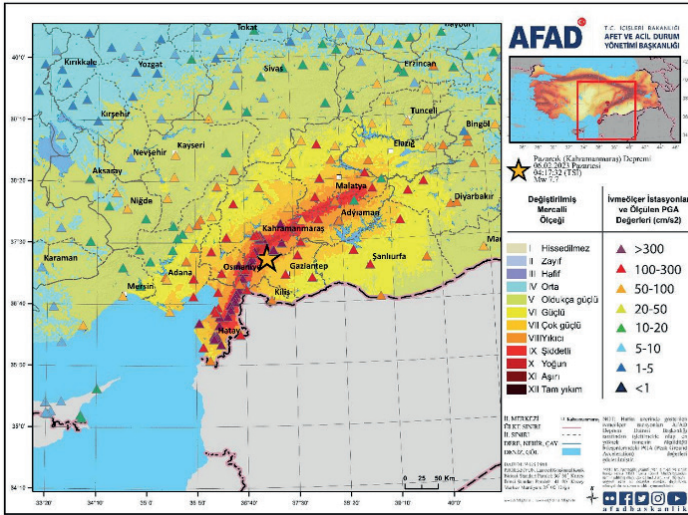
AFAD-RED yazılımı ile Nokta Kaynak, Çizgisel Kaynak, Non-parametrik Kaynak tanımlanabilmektedir.

Fay Kırılma Modeli

Sismik tehlike analizlerinin güvenilirliği açısından fayların kırılma modeli bir diğer önemli faktördür. AFAD-RED v4, PEER NGA-West2 projesinde tanımlanan geometri ile kırılma modellerini oluşturmaktadır.

Senaryo Bazlı Tehlike Analizleri

AFAD-RED yazılımı ile deterministik tehlike analizleri gerçekleştirilebilmekte, yerhareketi parametreleri, (Şiddet, PGA,PGV, S_s,S₁ vb) elde edilebilmekte ve haritalar oluşturulabilmektedir Şekil# 15[33].



Şekil# 15. AFAD-RED Pazarcık Depreminin Revize Tahmini Şiddet Haritası

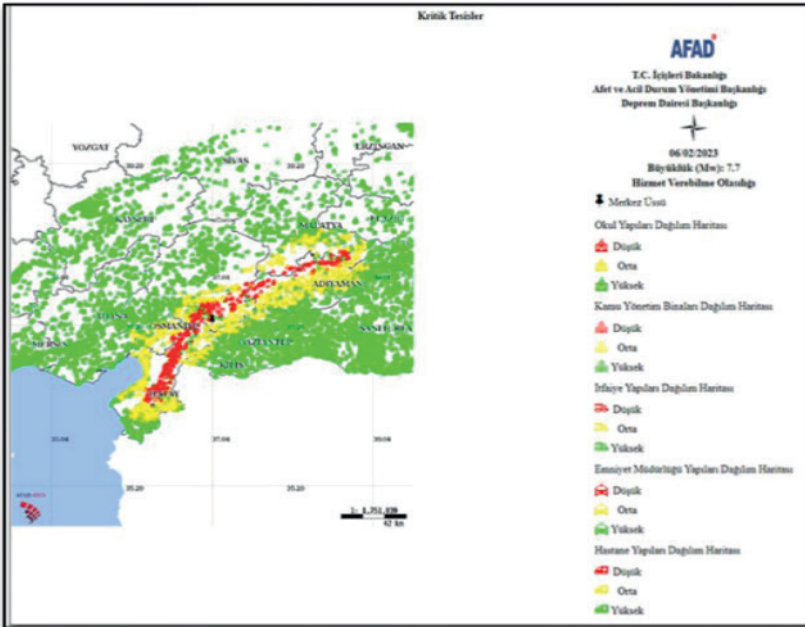
Risk Analizleri

AFAD-RED yazılımına mevcut durumda Türkiye için geliştirilmiş tüm hasargörebilirlik eğrileri ve HAZUS'un önerdiği hasargörebilirlik eğrileri entegre edilmiş durumdadır. Bununla birlikte ve OpenQuake kütüphanesinde bulunan bina türü yapıların hasargörebilirlik eğrileri veya yeni önerilecek eğriler de yazılıma entegre edilebilmektedir. Ayrıca kritik tesisleri ve candamarı sistemlerinin (su, doğalgaz boru hatları, elektrik dağıtım sistemleri vb) risk analizleri de gerçekleştirilebilmektedir.

Yazılımın başka bir platforma veri aktarmadan sismik tehlike ve risk analizlerini gerçekleştiriyor olması Afet ve Acil Durum yönetimi bakımından yazılımın kuvvetli yönlerinden biridir.

Çevrimiçi Veri

AFAD-RED yazılımı çevrimiçi veri alma kapasitesine sahip bir yazılımdır. Depremin hemen ardından yaklaşık 10~20 dk içinde AFAD Kuvvetli Yer Hareketi (KHY) istasyon verilerini alarak, ilksel deprem tehlike ve risk analizleri güncellemekte, afetin boyutu gerçekçi bir şekilde belirlenebilmektedir.



Şekil# 16. AFAD-RED Pazararcık Depremi Hizmet Verebilme Olasılıklarına Göre Kritik Tesislerinin Dağılımı

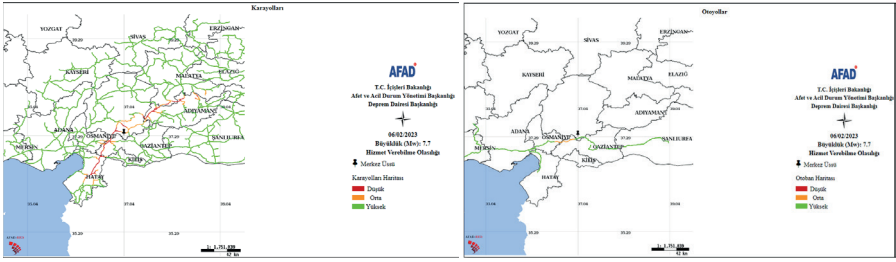
Çıktı Dosyaları

AFAD-RED yazılımı afet ile nerdeyse eşzamanlı şekilde yetkili yönetim birimlerine sismik tehlike ve risk analizleri için kapsamlı bir rapor sunmaktadır.

Rapor, tehlike analizi sonucu elde edilen yerhareketi parametrelerini, depremin merkez üssüne en yakın lokasyondan itibaren il, ilçe, mahalle bazında tahmini hasar durumlarını, can kaybı tahminlerini, yaklaşık olarak gerekebilecek çadır/ barınma ihtiyaçlarını sayısal olarak sunmaktadır.

Ayrıca afet bölgesindeki hastane, karakol, yerel yönetim binaları, itfaiye merkezi vb. kritik tesislerin servis verebilme durumlarına raporlayarak acil müdahaleye ihtiyaç duyulan yaralıların doğru merkezlere yönlendirilmesini sağlayabilmektedir (Şekil# 16).

Yazılımın kuvvetli yanlarından bir diğeri de ulaşım sistemlerinin kullanılabilir durumlarının raporlanabilir olmasıdır (Şekil# 17.)



Şekil# 17. AFAD-RED Pazarcık Depremi Hizmet Verebilme Olasılıklarına Göre Kritik Tesislerinin Dağılımı

Yazılım ayrıca ekonomik kayıp analiz de yaparak olası afetlerin maddi boyutunu da belirleyebilmektedir.

2.9. REDAS

REDAS yazılımı Avrupa Birliği Projesi “REDACT” (2014-2020) kapsamında geliştirilmiştir. Yunanistan, Türkiye, Romanya ve Moldova projesinin paydaşlarıdır.



Common borders. Common solutions.

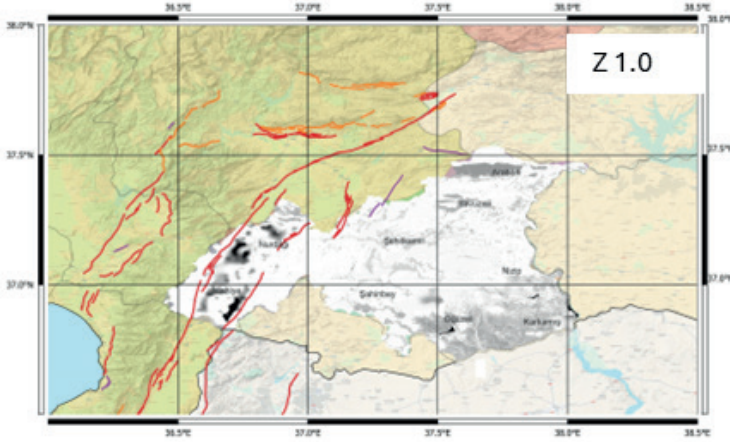
Projenin küresel hedefi, deprem afet önleme, yönetimi ve sismik risk azaltımı konusunda sınır ötesi ortak çevresel veri ve bilgi izleme, erişilebilirlik ve iş birliğini geliştirmek, uyum ve işbirliği için bir çerçeve geliştirerek ve mevcut uygulamaların ötesine geçen yenilikçi çözümlere dayalı yeni bir Hizmet (Hızlı Deprem Afeti Değerlendirme Sistemi; bir Akıllı Telefon uygulaması; bir Eğitim Merkezi) sunarak gerçekleştirmektir. Bu, Deprem Acil Durum Hazırlığı ve Yanıtı alanında var olan pratiklerin ötesine geçmeyi amaçlamaktadır.

Depremden hemen sonra proje paydaşları arasında deprem parametreleri, kaydedilen istasyon yer hareketi verileri ve analizlerden çıkan grid bazlı hasar dağılım haritaları paylaşılmaktadır.

REDAS yazılımı senaryo bazlı sismik tehlike ve sismik risk analizleri yapabilme kapasite sahip bir yazılımdır.

Yer Hareketi Tahmin Modelleri (GMPE)

REDAS yazılımı yerhareketi parametrelerinin ilk tahminlerinin elde edilmesinde GMPE kullanımını esas almaktadır. Proje paydaşı ülkelerin özelinde geliştirilen azalım ilişkileri sisteme entegre durumdadır. Ek olarak NGAWest2 projesi kapsamında geliştirilen GMPE sisteme eklenmişti. GMPE teker teker kullanılabilirdiği gibi farklı oranlarda da hesaba katılabilmektedirler.



Şekil# 18. REDAS 1.0 Haritası (Gaziantep İli)

Zemin Koşullarının Tanımlanması:

Yazılım mevcut jeoteknik veya jeolojik temelli Vs30 haritalarını kullanmaktadır. Bu haritaların bulunmadığı bölgeler için Wald ve Allen (2007) [20] tarafından önerilen, Allen ve Wald [21] tarafından revize edilen

yaklaşımı kullanılır. Bu yaklaşım Vs30 tahminlerini daha kolay elde edilebilir topografik eğim verileriyle ilişkilendirmektedir. Global ShakeMap (GSM) sistemi Wald ve Allen'ın eğime dayalı Vs30 haritalamasını kullanmaktadır.

Bazı yeni nesil GMPE havza derinliklerini temsil edebilmek için “Z1.0” ve Z2.5” değerlerini kullanmaktadır. REDAS güncel versiyonu bölge için mevcut olması durumunda Z1.0 ve Z2.5 değerleri hesaba katılabilmektedir Şekil# 18.

Sismik Kaynakların Tanımlanması

REDAS yazılımı ile Nokta Kaynak, Çizgisel Kaynak, Non-parametrik Kaynak tanımlanabilmektedir.

Fay Kırılma Modeli

Sismik tehlike analizlerinin güvenilirliği açısından fayların kırılma modeli bir diğer önemli faktördür. REDAS, PEER NGA-West2 [32] projesinde tanımlanan geometri ile kırılma modellerini oluşturmaktadır.

Senaryo Bazlı Tehlike Analizleri

REDAS yazılımı ile senaryo bazlı tehlike analizleri gerçekleştirilebilmekte, yerhareketi parametreleri, (Şiddet, PGA,PGV, Ss,S1 vb) elde edilebilmekte ve haritalar oluşturulabilmektedir.

Yazılım sıvılaşma ve heyelan tehlikesi analizlerini de gerçekleştirebilmektedir.

Risk Analizleri

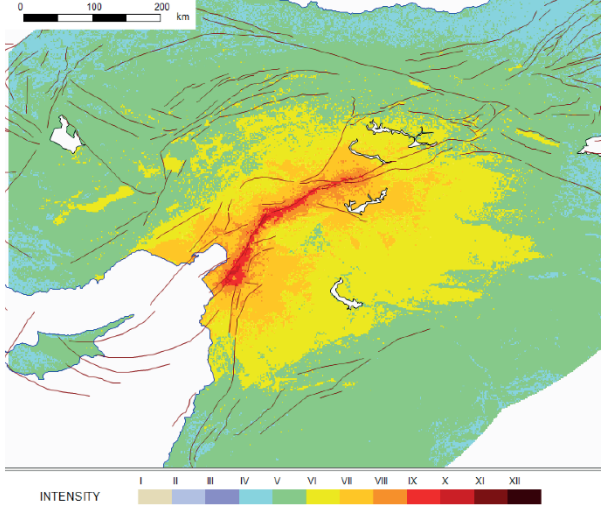
REDAS yazılımına Proje paydaşı ülkelerin özelinde geliştirilen hasargörebilirlik eğrileri entegre edilmiş durumdadır. Ayrıca OpenQuake kütüphanesinde bina türü yapılar için bulunan tüm hasargörebilirlik eğrileri entegre edilebilmektedir. Ayrıca mevcut bulunması durumunda, kayıp tahmini yapılacak bölgenin yapı stoğunu temsil eden hasargörebilirlik ve kırılma eğrileri de sisteme entegre edilebilmekte, sismik risk analizleri, sismik risk değerlendirmesi yapılabilmektedir.

Ayrıca REDAS yazılımı ile kritik tesisleri ve candamarı sistemlerinin (su, doğalgaz boru hatları, elektrik dağıtım sistemleri vb) risk analizleri de gerçekleştirilebilmektedir.

Yazılımın başka bir platforma veri aktarmadan sismik tehlike ve risk analizlerini gerçekleştiriyor olması kuvvetli yönlerinden biridir ve etkin bir afet yönetimi, zaman kazanmak ve müdahale noktalarında kritik önem taşımaktadır.

Çevrimiçi Veri

REDAS Yazılımı çevrimiçi veri alma kapasitesine sahip bir yazılımdır. Depremi hemen ardından yaklaşık ~10 dk içinde bütün paydaşlardan kuvvetli yerhareketi kayıt verilerini alarak, ilksel deprem tehlike ve risk analizleri güncellenebilmekte, afetin boyutu gerçekçi bir şekilde belirlenebilmektedir.



Şekil# 19. REDAS Şiddet Haritası

Çıktı Dosyaları

REDAS yazılımı sismik tehlike ve risk analizleri için kapsamlı bir çıktı dosyası sunmaktadır. Risk analizi sonucu il, ilçe, mahalle veya ızgara ölçeğinde hasar düzeylerine göre tablo ve harita olarak alınabilmektedir.

Ayrıca deprem yerhareketi parametreleri, ShakeMap, dağılımı tablo ve harita olarak sunulmaktadır Şekil# 19.

3. UYGULAMA

Meydana gelen bir depremin hemen ardından ilk olarak depremin büyüklüğü ve merkez üssü açıklanmaktadır. Afetin etkilerini bu iki parametre ile belirlemek mümkün olmamakla birlikte ilksel yerhareketi sarsıntı dağılım haritalarını elde etmek için analizlerine bu parametrelerle başlanabilmektedir. Kuvvetli yerhareketi kayıtlarından depremin gerçek verileri gelmeye başladıktan sonra (yaklaşık 10 dk içinde) analizler güncellenmekte ve daha gerçekçi deprem tehlike, risk ve hasar verilerine ulaşılabilir.

Bu kısımda 06 Şubat 2023 Mw7.7 Pazarcık depremi senaryo deprem olarak çalışılmıştır. Analizlerde proje paydaşı olduğumuz REDAS yazılımı kullanılmıştır. Deprem tehlike ve risk değerlendirme çalışmaları yapılırken bölgenin Vs30 haritasının olması, varsa havza etkilerinin dikkate alınabiliyor olması, kullanılacak GMPE'ye karar verilmesi, kırılma mekanizmasının gerçekçi bir şekilde belirlenebilmesi oldukça önemli kilit noktalaradır.

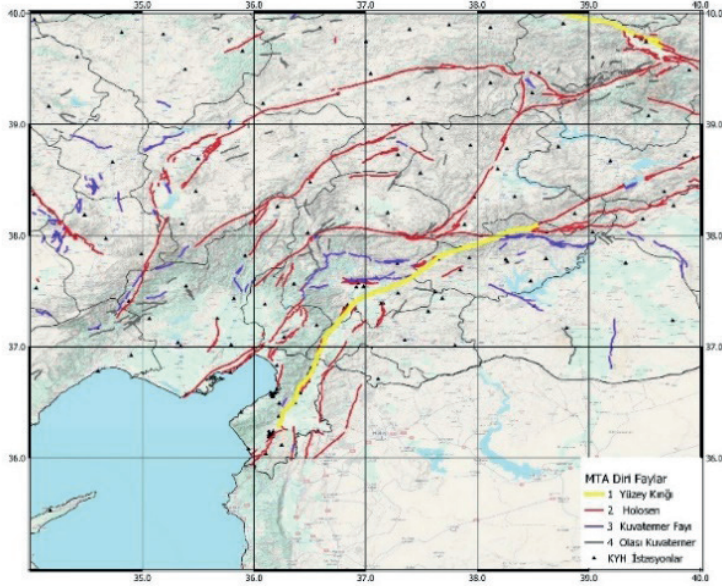
Tablo# 1. Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi Genel Bilgiler

| | | |
|---|----------------|-------------------|
| 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi Mw: 7.7 | | |
| Enlem: 37.288 | Boylam: 37.043 | Derinlik: 8.60 km |

Bu çalışma kapsamında Türkiye zemin Vs30 verileri için USGS eğime dayalı (vs30_slope) Vs30 haritası kullanılmıştır [34]. Bununla birlikte Gaziantep İli için gerçekleştirilmiş “Gaziantep ili Sismik Tehlike ve Risk Değerlendirme Projesi” [35] kapsamında elde edilen Vs30, Z1.0 ve Z2.5 haritaları REDAS sistemine entegre edilmiştir.

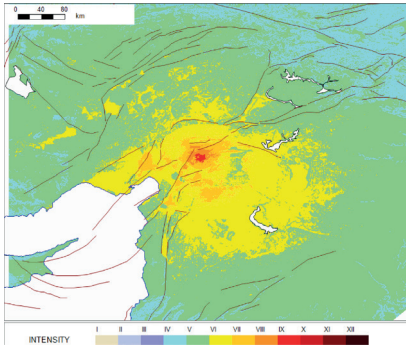
Analizlerin ilk aşamasında depremin hemen ardından açıklanan depremin büyüklüğü ve lokasyonu dikkate alınarak sismik tehlike analizi gerçekleştirilmiştir. Depremin merkez üssü noktasal kaynak olarak tanımlanmış ilksel deprem tehlike analizleri gerçekleştirilmiştir.

Analizlerde global ölçekte kabul görmüş dört adet NGAWest2 GMPE; Abrahamson vd. (ASK;2014) [36], Boore vd.(BSSA;2014) [37], Campbell ve Bozorgnia (CB;2014) [38] , Chiou ve Youngs (CY;2014) [39], eşit ağırlıkta kullanılmıştır. Kuvvetli yer hareketleri kayıtçılarından gelen verilerle kırılmanın hattının belirlenme süreci netleşmeye başlamaktadır. Kuvvetli yer hareketleri kayıtçıları lokasyonları, 06 Şubat 2023 Mw7.7 Pazarcık depremi yüzey kırığı [40] ve MTA Diri Fay Haritası [41] Şekil# 20 ile sunulmaktadır. Bir sonraki aşamada elde edilen bu veriler kullanılarak çizgisel kaynak modelleme çalışması yapılmaktadır.

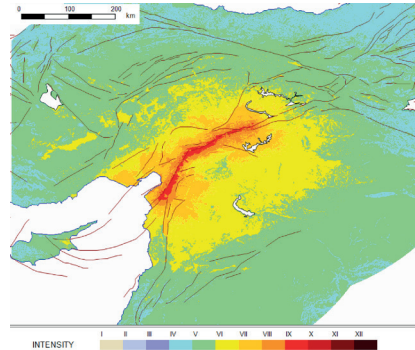


Şekil# 20. KYH (Kuvvetli Yer Hareketi) İstasyonları ve MTA Diri Fay Haritası

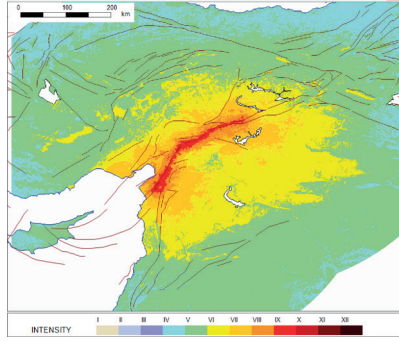
Analizler sonucu elde edilen şiddet $T=0.3$ sn ve $T=1.0$ sn için spektral değerler dağılım haritaları sırasıyla Şekil# 21, Şekil# 22 ve Şekil# 23 ile sunulmaktadır.



(a) Nokta Kaynak

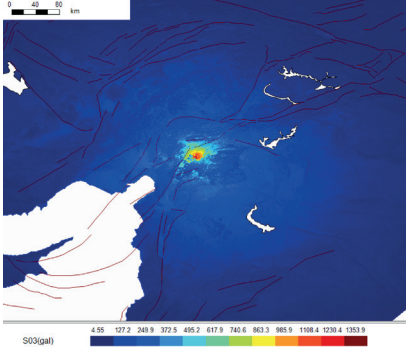


(b) Çizgisel Kaynak

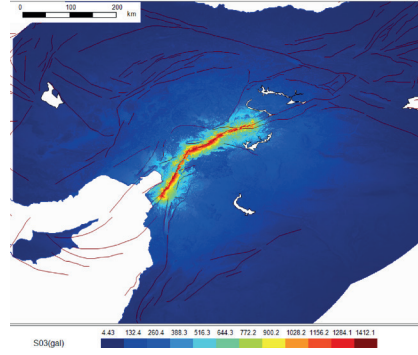


(c) Güncellenmiş Çizgisel Kaynak

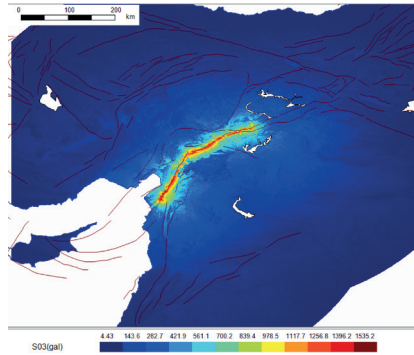
Şekil# 21. Nokta kaynak, Çizgisel Kaynak ve KYH verileri ile kalibre edilmiş Şiddet Haritası



(a) Nokta Kaynak

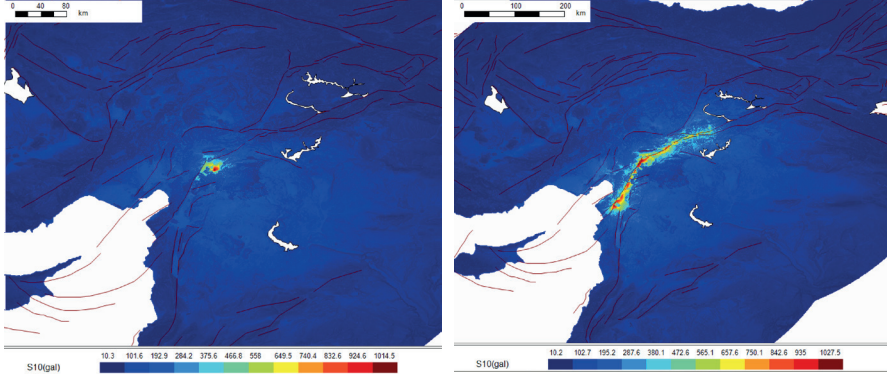


(b) Çizgisel Kaynak



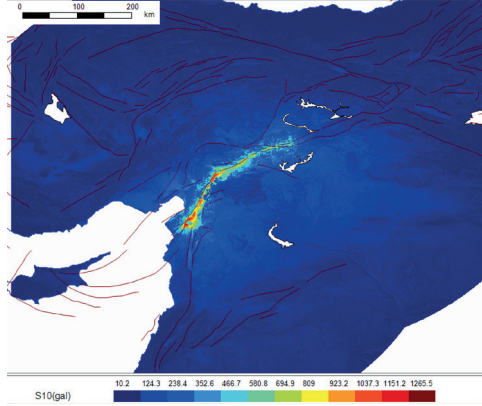
(c) Güncellenmiş Çizgisel Kaynak

Şekil# 22. Nokta kaynak, Çizgisel Kaynak ve KYH verileri ile güncellenmiş spektral ivme ($T=0.3$)



(a) Nokta Kaynak

(b) Çizgisel Kaynak



(c) Kalibre Edilmiş Çizgisel Kaynak

Şekil# 23. Nokta kaynak, Çizgisel Kaynak ve KYH verileri ile güncellenmiş spektral ivme ($T=1$ sn)

Analiz sonuçları incelendiğinde depremin merkez üssüne tanımlanan noktasal kaynakla başlayan deprem tehlike değerlendirme çalışmalarında çevrimiçi veri alabilmenin Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemlerinin afet yönetimde etkin kullanılabilmesi açısından önemi bir kez daha anlaşılmıştır. Bu şekilde, afetten hemen sonra meydana gelecek bilgi kirliliğinin önüne geçilip afet yönetimde yetkili merci olan kurum ve kuruluşların doğru noktalara hızlı ve ihtiyaca yönelik ekip yönlendirmeleri ve afeti etkin bir şekilde yönlendirerek kayıpların azaltılması sağlanmış olacaktır.

Kaynaklar

- [1] The Great 1906 San Francisco Earthquake, n.d.
- [2] Pino, N.A., Piatanesi, A., Valensise, G., Boschi, E., The 28 December 1908 Messina Straits Earthquake (MW 7.1): A Great Earthquake throughout a Century of Seismology, *Seismological Research Letters*, 80, 243–259 2009.
- [3] TUNA, P., TÜRK KAMUOYUNDA BÜYÜK KANTO DEPREMİ (1923), *Çağdaş Türkiye Tarihi Araştırmaları Dergisi*, 22, 595–621 2023.
- [4] Cumhuriyet Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, S., Ziya Keskin, Y., DEPREMZEDELERİN ANLATILARIYLA 1939 ERZİNCAN DEPREMİ VE SONRASINDAKİ GELİŞMELER, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 44, 163–178 2020.
- [5] HAÇİN, İ., 1939 Erzincan Büyük Depremi, *Atatürk Araştırma Merkezi Dergisi*, 30, 37–70 2014.
- [6] Chen, Y., Liu, M., Wang, H., Aftershocks and Background Seismicity in Tangshan and the Rest of North China, *J Geophys Res Solid Earth*, 126 2021.
- [7] Ghobarah, A., Saatcioglu, M., Nistor, I., The impact of the 26 December 2004 earthquake and tsunami on structures and infrastructure, *Eng Struct*, 28, 312–326 2006.
- [8] Koketsu, K., Yokota, Y., Nishimura, N., Yagi, Y., et al., A unified source model for the 2011 Tohoku earthquake, *Earth Planet Sci Lett*, 310, 480–487 2011.
- [9] AFAD - TADAS, n.d.
- [10] Cornell, C.A., Engineering seismic risk analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58, 1583–1606 1968.
- [11] Lang, H.D., Earthquake Damage and Loss Assessment – Predicting the Unpredictable, University of Bergen, .
- [12] National Oceanic and Atmospheric Administration, n.d.
- [13] Algermissen, S.T., Rinehart, W., Dewey, J.W., Earth Sciences Laboratories (U.S.), A study of earthquake losses in the San Francisco Bay area : data and analysis : a report .
- [14] Whitman, R. V., Anagnos, T., Kircher, C.A., Lagorio, H.J., et al., Development of a National Earthquake Loss Estimation Methodology, *Earthquake Spectra*, 13, 643–661 1997.
- [15] Freeman, J.R., Earthquake damage and earthquake insurance : studies of a rational basis for earthquake insurance, also studies of engineering data for earthquake-resisting construction, McGraw-Hill Book Co., New York.

- [16] Kircher, C.A., Reitherman, R.K., Whitman, R. V., Arnold, C., Estimation of earthquake losses to buildings, *Earthquake Spectra*, 13, 703–720 1997.
- [17] ShakeMap Scientific Background, n.d.
- [18] redact-project – Rapid Earthquake Damage Assessment Consortium, n.d.
- [19] Wald, D.J., Alerting the Globe of Consequential Earthquakes, *Perspectives of Earth and Space Scientists*, 4, e2022CN000200 2023.
- [20] Allen, T.I., Wald, D.J., Topographic Slope as a Proxy for Seismic Site-Conditions (VS 30) and Amplification Around the Globe, Virginia.
- [21] Allen, T.I., Wald, D.J., On the use of high-resolution topographic data as a proxy for seismic site conditions (V_{s30}), *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99, 935–943 2009.
- [22] Thompson, E.M., Worden, C.B., Estimating Rupture Distances without a Rupture, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108, 371–379 2018.
- [23] Porter, K., Scawthorn, C., U.S. Geological Survey, Open-Source Risk Estimation Software , Pasadena CA n.d.
- [24] USGS Open-File Report 2009-1136: Estimating Casualties for Large Earthquakes Worldwide Using an Empirical Approach, n.d.
- [25] Jaiswal, K., Wald, D., An empirical model for global earthquake fatality estimation, *Earthquake Spectra*, 26, 1017–1037 2010.
- [26] Development of a semi-empirical loss model within the USGS Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response (PAGER) System | Request PDF, n.d.
- [27] Porter, K.A., Jaiswal, K.S., Wald, D.J., Greene, M., et al., WHE-PAGER Project: A new initiative in estimating global building inventory and its seismic vulnerability, 2008.
- [28] HAZTURK, n.d.
- [29] Wald, D.J., Seligson, H.A., Rozelle, J., Burns, J., et al., A domestic earthquake impact alert protocol based on the combined USGS PAGER and FEMA Hazus loss estimation systems, *Earthquake Spectra*, 36, 164–182 2020.
- [30] <https://docs.openquake.org/oq-engine/manual/latest/underlying-science/overview.html>, n.d.
- [31] Kaklamanos, J., Baise, L.G., Boore, D.M., Estimating unknown input parameters when implementing the NGA ground-motion prediction equations in engineering practice, *Earthquake Spectra*, 27, 1219–1235 2011.

- [32] PEER NGA-West2 research program releases Excel file of five horizontal Ground Motion Prediction Equations | Pacific Earthquake Engineering Research Center, n.d.
- [33] Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü Deprem Dairesi Başkanlığı, AFAD, 2023. 06 Şubat 2023 Pazarcık-Elbistan (Kahramanmaraş) Mw: 7.7 – Mw: 7.6 Depremleri Raporu. 140 s. .
- [34] <https://usgs.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8ac19bc334f747e486550f32837578c1>, USGS, *Vs30 Map Viewer*, n.d.
- [35] Karaaslan, A., Zor, E., Alaybey, S., Tarancioglu, A., et al., Gaziantep ili Sismik Tehlike ve Risk Değerlendirme Projesi, 5207A01, TÜBİTAK Dış Destekli Proje Sonuç Raporu, 2023., Gebze/Kocaeli.
- [36] Abrahamson, N.A., Silva, W.J., Kamai, R., Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions, *Earthquake Spectra*, 30, 1025–1055 2014.
- [37] Boore, D.M., Stewart, J.P., Seyhan, E., Atkinson, G.M., NGA-West2 Equations for Predicting PGA, PGV, and 5% Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes, <https://doi.org/10.1193/070113EQS184M>, 30, 1057–1085 2014.
- [38] Campbell, K.W., Bozorgnia, Y., NGA-West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV, and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra, <https://doi.org/10.1193/062913EQS175M>, 30, 1087–1114 2014.
- [39] Chiou, B.S.J., Youngs, R.R., Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, <https://doi.org/10.1193/072813EQS219M>, 30, 1117–1153 2014.
- [40] Yerbilimleri Harita Görüntüleyici, n.d.
- [41] Emre, Ö., D.T.Y., Ö.S., E.H., O.Ş. ve Ş.F., Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye.