



Project funded by
EUROPEAN UNION



BSB 966



REDACT projesi Eđitim Merkezi

Deprem kaynaklı Jeoteknik Arızalar

Deliverable No: D.T3.5.1f (TR)

GA T3 Implementation of REDA system (pilot studies)

Created by:
Democritus University of Thrace (DUTH)

CONTRIBUTING PARTNERS:

- The International Hellenic University (TEICM/IHU)
- Institute of Engineering Seismology & Earthquake Engineering - Research Unit of Earthquake Planning & Protection Organization (ITSAK-EPPO)
 - Gebze Technical University (GTU)
 - Ovidius University of Constanta (OUC)
- Institute of Geology and Seismology Moldova (IGS/MSU)

PROJECT DETAILS:

Programme	Black Sea Joint Operational Programme 2014-20
Priority and Measure	2. Promote coordination of environmental protection and joint reduction of marine litter in the Black Sea Basin
Objective	2.1 Improve joint environmental Monitoring
Project Title	Rapid Earthquake Damage Assessment Consortium
Project Acronym	REDACt
Contract No	BSB-966
Lead Partner	The Legal Successor in rights and Duties of TEICM_SARF, IHU SARF, GREECE
Total Budget	974.860,00 Euro (€)
Time Frame: Start Date - End Date	01/07/2020 - 30/06/2023
Project Coordinator	Papatheodorou K. (IHU-TEICM)

DELIVERABLE CONTRIBUTORS:

Klimis N. (DUTH), Papathanassiou G. (DUTH), Giougkis I. (DUTH), Papatheodorou Konstantinos, Papatheodorou K. (TEICM), Theodoulidis N. (ITSAC-EPPO), Margaris B. (ITSAC-EPPO), Zulfikar C. (GTU), Tekin S. (GTU), Toma-Danila D. (OUC), Vintila D. (OUC), Cardanet V. (IGS/MSU)

Stakeholders: BSB JOP 2014-20 eligible area

Deliverable-No: D.T.3.5.1f_TR		Internal - Partners	
Issue: I.02	Date: 31 July 2023	Page:	2 of 15

RECORD OF REVISIONS

Issue/Rev	Date	Page(s)	Description of Change	Release
1	30.06.2023	15	First version	I.01
2	31.07.2023	15	Final Version	I.02

Deliverable-No: D.T.3.5.1f_TR		Internal - Partners	
Issue: I.02	Date: 31 July 2023	Page:	3 of 15

DOCUMENT RELEASE SHEET


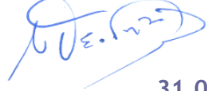




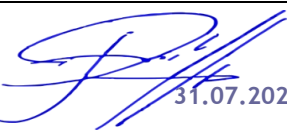
Responsible Partner: Democritus University of Thrace (DUTH)		
Approval	Emmanouil Kirtas	 Signature 31.07.2023
Approval	Nikolaos Theodoulidis	 Signature 31.07.2023
Approval	Nikolaos Klimis	 Signature 31.07.2023
Approval	Can Zulfikar	 Signature 31.07.2023
Approval	Dragos Vintila	 Signature 31.07.2023
Approval	Vladlen Cardanet	 Signature 31.07.2023
Approved by the Project Coordinator:	Konstantinos Papatheodorou	 Signature 31.07.2023
Distribution: ALL PARTNERS		

Table of contents

1. Background of the document	6
1.1 Scope and Objectives	6
1.2 Related Documents.....	6
1.2.1 Input.....	6
1.2.2 Output	6
2. Deprem Yer Hareketi ve Geoteknik Sorunlar	7
3. Heyelan tehlike haritaları	7
4. Heyelan Tehlikesini Anlamak, Değerlendirmek ve İletişime Geçmek	10
5. Sıvılaşma tehlike haritaları.....	12
6. References	15

List of figures

Figure 1: The Lefkada earthquake (Mw6.4, 17-11-2015) used as the triggering effect for validation of the statistical model landslide hazard assessment (Jessee et al., 2018) incorporated into REDAS (Rapid Earthquake Damage Assessment System)

Figure 2: Landslide statistical model output (Jessee et al., 2018) and validation with surveyed co-seismic landslides as black dots (Papathanassiou et al. 2017;2021); (a) vs (b): probability landslide occurrence vs surveyed co-seismic landslides, and (c) vs (d): frequency landslide occurrence vs mapped co-seismic landslides.

Figure 3: Infinite slope model output for wet conditions and thickness of sliding mass of 1m (left part) validated with statistical model's output and mapped landslides (right part).

Figure 4: “Waves” of liquefied soil (left) and area severely liquefied (right). Photos from New Zealand Christchurch earthquake (M6.3, 21-2-2011) source: <http://www.nzherald.co.nz>.

Figure 5: (left) Collapse of buildings due to soil liquefaction during the 1964 Niigata, Japan earthquake (photo: Joseph Penzien), (right) Vertical displacement with significant tilt of the building in Adapazari Türkiye, 17-8-1999.

Figure 6: (a) predictive liquefaction hazard map for Pineios river area depicting the probability of liquefaction based on Zhu et al. (2017) regression model, (b) validation of predictive liquefaction hazard (Zhu et al., 2017) vs surveyed liquefaction locations delimited by yellow color elliptic curves (Papathanassiou et al., 2022). The validation was based on Thessalia's earthquake (Mw6.3, 3-3-2021).

Deliverable-No: D.T.3.5.1f_TR		Internal - Partners	
Issue: I.02	Date: 31 July 2023	Page:	5 of 15

1. Background of the document

1.1 Scope and Objectives

Whenever a strong earthquake occurs, part of damages is related to ground failures. There is a significant variety of ground failures triggered by an earthquake. Even though the number of earthquake-induced ground failures is rather extensive (rotational and translational landslides, rock slides, rock falls, toppling, lateral spread, debris flows, lahars, debris avalanches, earthflows, slow earthflows or creep, liquefaction, etc), herein we focus on landslide and liquefaction hazard assessment at a regional scale.

Citizens living next to areas prone to slide or liquefy, should know to what extent they might be exposed to such a hazard in order to act accordingly. Moreover, Civil Protection authorities would like to have an estimation of the geospatial distribution of possible damage and losses especially in urban or non-urban environment to appropriately respond towards mitigation of seismic risk within the first hours after the earthquake. Scope of the deliverable is to provide information to the public about two basic geotechnical hazards, such as landslides and liquefaction, and also to the Civil Protection stakeholders in order to focus on areas where people and infrastructure might be seriously affected.

The document is a part of the REDACT Educational Hub (Edu-Hub). It capitalizes on respective material published by competent Authorities at National and Regional Levels and is based on research carried out during the project and on internationally recognized and widely acceptable principles. Democritus University of Thrace has led this effort and partners contributed with data, information and translations.

1.2 Related Documents

1.2.1 Input

Table 1. List of former deliverables acting as inputs to this document

Document ID	Descriptor
D.T.3.5.1	The REDACT project Educational Hub

1.2.2 Output

Table 2. List of other deliverables for which this document is an input.

Document ID	Descriptor
D.T3.2.1	Earthquake triggered geotechnical hazard assessment (pilot study)

Deliverable-No: D.T.3.5.1f_TR		Internal - Partners	
Issue: I.02	Date: 31 July 2023	Page:	6 of 15

2. Deprem Yer Hareketi ve Geoteknik Sorunlar

Mühendisler, jeologlar ve araştırmacılar genellikle heyelanların farklı tanımlarını dikkate alırlar. Bu çeşitlilik olayın karmaşıklığından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, bu çalışmada heyelan, güçlü bir sismik olay sırasında oluşan sismik kuvvetler tarafından tetiklenen, yer çekimi etkisi altında toprak veya kayanın eğim aşağı hareketini tanımlamak için kullandığımız genel bir terim olarak ele alınmaktadır. Hedef, çeşitli sismik senaryolara dayalı olarak bölgesel ölçekte heyelan tehlike değerlendirme haritalarının hazırlanmasıdır. Bu haritalar, tasarım amaçları açısından kesinlikle gerekli olduğundan sahaya özgü projelerin yerini almayı amaçlamamaktadır, ancak önleme amacıyla ve hazırlık aşamasında ve ayrıca stratejik planlamada (olay öncesi eylemler) sivil korumaya yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Ayrıca sismik bir olay sırasında ve hemen sonrasında, heyelanın meydana gelme ihtimalinin olduğu ve bir nesnenin açığa çıkma riski altında olduğu alanlara odaklanmak için bir müdahale aracı olarak da kullanılabilirler.

3. Heyelan tehlike haritaları

Heyelan tehlike haritaları, belirli bir zamanda, belirli bir bölgede, belirli bir büyüklükte heyelanın olma olasılığını ifade eden geçmişte heyelan süreçlerinin meydana geldiği yerleri (incelenen alan için envanter haritaları varsa), yakın zamanda meydana gelen olayları ve en önemlisi gelecekte heyelanın çeşitli alanlarda meydana gelme olasılığını ifade ederler. Belirli bir alan için eksiksiz bir heyelan tehlike haritası, heyelan türleri, kaymaya etki eden parametrelerin ve olası maksimum yer hareketi boyutu hakkında ayrıntılı bilgiler içermelidir.

Küçükten büyüğe doğru gidildikçe kullanılan ölçeğe (ulusal, bölgesel, yerel, sahaya özel) göre farklı yaklaşımlarla heyelan tehlike haritaları üretilebilmektedir. Bölgesel ölçekte tehlike haritalarıyla ilgilendiğimiz için aşağıdaki iki farklı yaklaşımı benimsedik:

- İstatistiksel temelli yöntemler ve
- Fiziksel temelli yöntemler

“İstatistiksel yöntemler” heyelan olma olasılığı ve heyelan oluşma sıklığı açısından tehlike haritalarının hazırlanmasını amaçlamaktadır. Bölgesel ölçekte niceliksel bir heyelan tehlike haritasının değerlendirilebilmesi için mekânsal olasılığın (P_s), heyelan büyüklüğünün olasılığının (P_M) ve farklı zaman dilimleri için zamansal olasılığın (P_T) bilinmesi gerekmektedir.

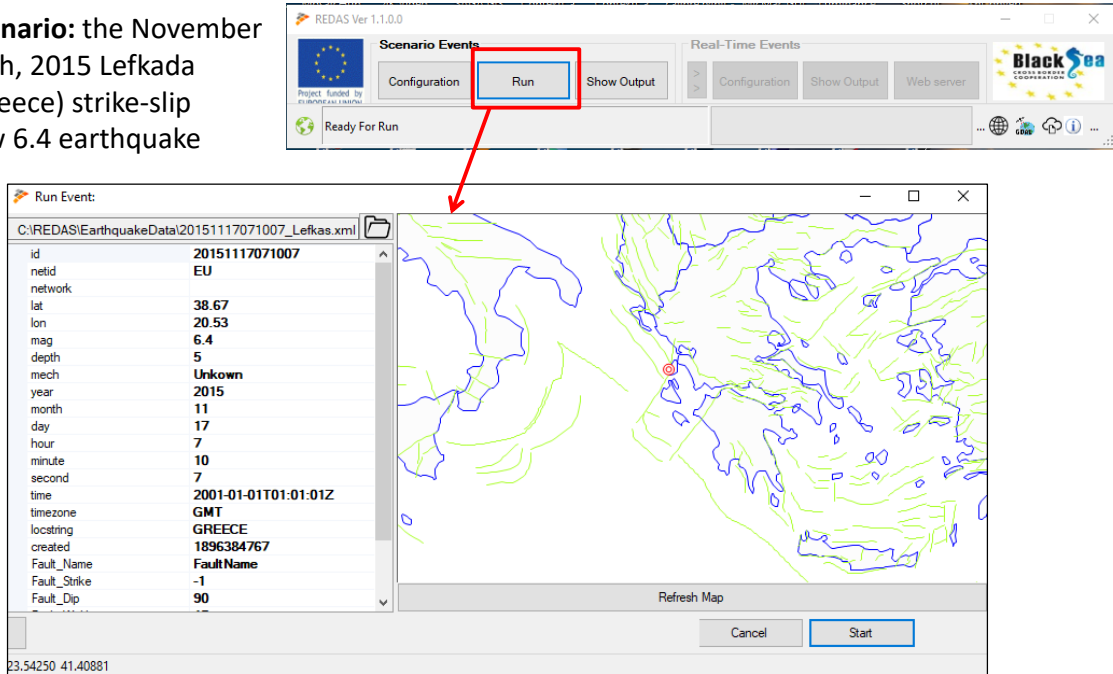
“Fiziksel temelli yöntemler” ise şev stabilite modellerine dayanmaktadır. Bunların çoğu lokal ölçekte uygulanmakta olup, sonsuz eğim modeli (IFS) yaygın olarak kullanılmaktadır. IFS modeli sığ heyelan süreçlerinin tanımlanmasında oldukça başarılı olan basit bir modeldir. Ortaya çıkan haritalar, belirli bir senaryo için her piksel başına güvenlik faktörünü gösterir. Fiziksel temelli modeller, heyelan envanterinin eksik, hatta mevcut olmadığı alanlara uygulanabilir. Bu tür modellerin sonuçları, sezgisel ve istatistiksel yöntemlere göre daha

Deliverable-No: D.T.3.5.1f_TR		Internal - Partners	
Issue: L02	Date: 31 July 2023	Page:	7 of 15

somut ve daha tutarlıdır. Bununla birlikte, bölgesel ölçeklerde veya geniş alanlarda kullanıldıklarında, ya aşırı derecede basitleştirme ya da büyük miktarda güvenilir girdi verisine duyulan ihtiyaç gibi temel dezavantajlara sahiptirler. İncelenen alanın jeolojik ve jeomorfolojik koşullarının oldukça homojen olduğu ve heyelan türlerinin nispeten basit olduğu durumlarda fiziksel temelli yöntemler başarıyla kullanılabilir. Sonuç olarak, tüm yöntemler her analiz ölçeğinde eşit derecede uygulanamaz. Bu nedenle istatistiksel ve fiziksel temelli iki farklı yöntemin paralel kullanımı, heyelan tehlikesinin daha eksiksiz ve daha az subjektif bir değerlendirmesini garanti eder.

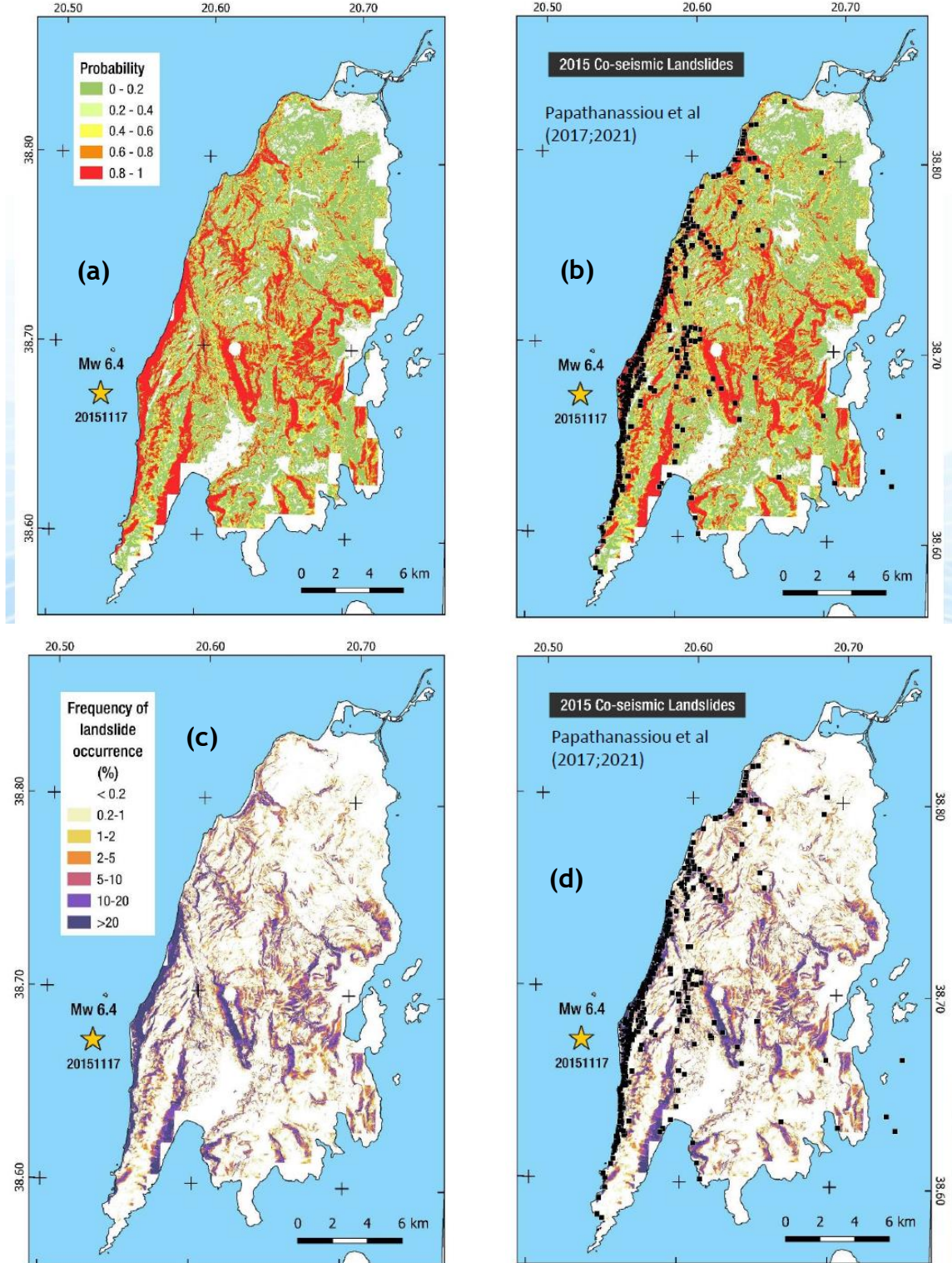
Üretilen ve kullanılan heyelan tehlike haritaları'na örnek olarak (deprem kaynaklı) Lefkada depremi (Mw6.4, 17-11-2015) sonrasında yaşanan heyelalanlar Şekil 1'de görülmektedir. Lefkada depremi sonrasında depremin tetiklemeyle oluşan heyelalanlara ait üretilen heyelan tehlike haritaları, hem istatistiksel bir yöntemle (Nowicki vd., 2014; Jessee vd., 2018) hem de Infinite'e dayalı fiziksel temelli bir yöntemle incelenmiştir. Şekil 1'de Lefkada depremine (Mw6.4, 17-11-2015) neden olan sismik fayın gerekli verilerini girdi verileri olarak modeled kullanılmıştır. İstatistiksel yaklaşım, heyelan oluşma olasılığı ve heyelan oluşma sıklığını gösteren haritaların üretilmesinde kullanılmıştır (Şekil 2), fiziksel tabanlı sonsuz eğim modeli ise güvenlik faktörü değerlerini sağlamıştır (Şekil 3). İki farklı yaklaşımla oluşturulan bölgesel heyelan tehlike haritaları, incelenen eş-sismik heyelanlarla doğrulanmaktadır (Papathanassiou vd., 2017; 2021).

Scenario: the November 17th, 2015 Lefkada (Greece) strike-slip Mw 6.4 earthquake



Şekil 2: REDAS'a (Hızlı Deprem Hasar Değerlendirme Sistemi) dahil edilen istatistiksel model heyelan tehlikesi değerlendirmesinin (Jessee ve diğerleri, 2018) doğrulanması için tetikleyici etki olarak kullanılan Lefkada depremi (Mw6.4, 17-11-2015).

Deliverable-No: D.T.3.5.1f_TR		Internal - Partners	
Issue: I.02	Date: 31 July 2023	Page:	8 of 15



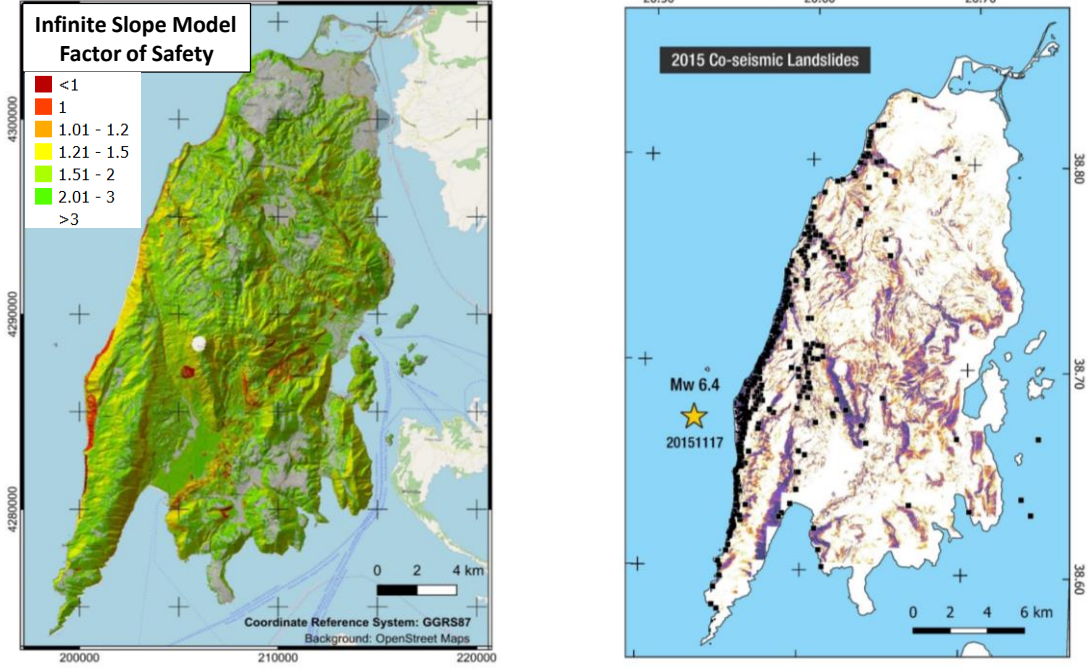
Şekil 2: istatistiksel yöntemler ile elde edilen sonuç haritaları (Jessee vd., 2018) ve incelenen ortak sismik heyelanların siyah noktalar olarak doğrulanması (Papathanassiou vd. 2017;2021); (a) vs (b):

Deliverable-No: D.T.3.5.1f_TR		Internal - Partners	
Issue: I.02	Date: 31 July 2023	Page:	9 of 15

heyelan meydana gelme olasılığı vs incelenen eş sismik heyelanlar ve (c) vs (d): heyelan meydana gelme sıklığı vs haritalanmış eş sismik heyelanlar.

Şekil 2'de, heyelan gerçekleşmesi muhtemel bölgeler ile analiz sonuçlarının doğruluk değerlendirmesi ve heyelan envanterinin korelasyonunu görüyoruz.

Aynı sonuçlar, Şekil 3'te gösterildiği gibi, güvenlik faktörü açısından sonsuz eğim modeli tahminlerinin uygulanması ve doğrulanmasıyla da elde edilmektedir.



Şekil 3: Islak koşullar ve 1 m kayan kütle kalınlığı (sol kısım) için sonsuz eğim modeli çıktısı, istatistiksel modelin çıktısı ve haritalanmış heyelanlarla (sağ kısım) doğrulanmıştır.

Şekil 3'te ayrıca hem istatistiksel hem de fiziksel temelli modellerin temelde birbirine yakın sonuçlar sağladığı ve her ikisinin de haritalanmış deprem kaynaklı heyelanlarla iyi bir korelasyon içinde olduğu görülmektedir.

4. Heyelan Tehlikesini Anlamak, Değerlendirmek ve İletişime Geçmek

Heyelanlarla ilgili bilgilerin karmaşıklığı, geçmişteki heyelanların ayrıntılı envanterlerinden ve bunun sonucunda ortaya çıkan duyarlılık ve tehlike haritalarından, hiç bilgi olmamasına kadar çeşitlilik göstermektedir. İnsanların depreme yatkın bölgelerde tarihsel olarak heyelan yaşadıkları ve inşaat yapmaktan ve yaşamaktan kaçınmaları gereken ampirik bilgiler edindikleri alanlar vardır. Bununla birlikte, pek çok alanda potansiyel heyelan tehlikesi açıkça görülememekte ve zemin çökmesi düzenli olarak meydana gelmemektedir.

Heyelan hareketini işaret edebilecek özellikler Highland ve Bobrowsky (2008)'de belirtildiği gibi aşağıda sunulmaktadır:

Deliverable-No: D.T.3.5.1f_TR		Internal - Partners	
Issue: L02	Date: 31 July 2023	Page:	10 of 15

- Yamaçların üzerinde veya altında önceden kuru olan alanlardaki kaynaklar ve YASS yüksek olan veya doymuş zemin.
- Zemin çatlakları—eğimlerin başında veya başında kar, buz, toprak veya kayadaki çatlaklar.
- Bir eğimin yakınıdaysa yapılardan uzaklaşan kaldırımlar veya döşemeler; toprak temellerden uzaklaşıyor.
- Bir zamanlar düz olan veya farklı şekilde yapılandırılmış olan ofset çit çizgileri.
- Zeminde, kaldırımlarda, patikalarda veya kaldırımlarda olağandışı çıkıntılar veya yükseklik değişiklikleri.
- Devrilen telefon direkleri, ağaçlar, istinat duvarları, çitler.
- Beton zemin ve temellerin aşırı eğilmesi veya çatlama.
- Kırık su hatları ve diğer yer altı tesisleri.
- Akarsu su seviyelerinde hızlı artış veya azalma.
- Duvarların ve çerçevelerin kaydığını ve deforme olduğunu gösteren yapışkan kapı ve pencereler ve görünür açık alanlar.
- Bir evden, binadan veya ağaç korusundan gelen gıcırtı, çatırtı veya patlama sesleri.
- Batık veya çökmüş yollar veya patikalar.

Yukarıdaki özellikler, tetikleyici etkilerden biri ortaya çıktığında kayma eğilimi (heyelan olma olasılığı) gösteren bir alan için endeksler olarak kullanılabilir.

Highland ve Bobrowsky'ye (2008) göre, heyelan tehlike bilgilerinin uzman olmayan halk için pratik ve yararlı bilgilere başarılı bir şekilde çevrilmesi aşağıdaki unsurları içermektedir:

- Can kaybına, hasara veya mevcut güvenlik standardının bozulmasına neden olacak bir olayın meydana gelme olasılığı.
- Olayın zemin, yapılar veya sosyo ekonomik faaliyetler üzerindeki etkilerinin beklenen yeri ve kapsamı.
- Zemin, yapılar veya sosyoekonomik faaliyetler üzerindeki etkilerin tahmini şiddeti.

Yukarıdaki bilgiler gereklidir çünkü mühendisler, planlamacılar ve karar vericiler, olasılığı nadirse, konumu bilinmiyorsa veya ciddiyeti hafifse potansiyel bir tehlikeyi genellikle göz ardı etmektedirler. Bir ürünün yararlı tehlike bilgisi olarak nitelendirilebilmesi için, teknik bilgisi olmayan kullanıcının tehlikenin olasılığını, yerini ve ciddiyetini algılayabilmesi, böylece tehlikenin farkına varabilmesi, potansiyel riski başkalarına iletebilmesi ve bunları kullanabilmesi gerekir.

Heyelan tehlikesinin değerlendirilmesi farklı şekillerde değerlendirilebilir; Her zaman mümkün olmasa da mutlaka bir uzmana danışılması tavsiye edilmektedir. Bununla birlikte, heyelan tehlikesi değerlendirmesinin iki türü tartışılmaktadır: doğrudan gözlem ve teknolojik araçların kullanımı, örneğin: harita analizi, hava fotoğraflarının incelenmesi, saha keşfi, sondaj, enstrümantasyon, jeofizik ölçümler vb.

Deliverable-No: D.T.3.5.1f_TR		Internal - Partners	
Issue: L02	Date: 31 July 2023	Page:	11 of 15

Yerel yönetimler, Highland ve Bobrowsky (2008) tarafından USGS çerçevesinde önerilen aşağıdaki gibi farklı yollarla heyelan tehlikesine karşı önlem alabilirler ve halkı uyarabilirler:

- Gazete haberleri/reklamları.
- Kapı kapı dağıtılan veya halka açık yerlerde sergilenen kamu hizmeti broşürleri.
- Topluluk toplantısı tartışmaları.
- Kamu binalarında ve/veya pazar yerlerinde mümkün olduğunca fazla görsel bilgi içeren posterler.
- Radyo, televizyon, internet veya diğer yollarla yapılan medya duyuruları.
- Uzmanlar veya diğer yetkililer tarafından halka açık konferanslar.
- Tehlikeli bölgelere asılan, insanları tehlikenin türü konusunda bilgilendiren ve dikkatli olmaları konusunda uyaran işaretler.
- Yerel bir İnternet Web sitesi, acil durum personeli için güvenlik bilgileri ve iletişim telefon numaraları ve e-postaları içeren yararlı bir kaynaktır.
- Halk toplantıları, belediye meclisi veya diğer konseyler aracılığıyla halk eğitimi ve bilgilendirme programları yürütmek.
- Arazi sahipleri, geliştiriciler, alıcılar ve satıcılarla görüşmek gibi uygun arazi kullanım politikalarının benimsenmesi ve uygulanması.
- Stabil olmayan şevlerdeki değişiklikleri izleyin ve uygun önlemleri alın.
- Yerel güvenlik ihtiyaçlarını karşılayan cadde ve drenaj projeleri inşa edin.
- Mevcut sigorta programları ve sorumluluk konuları hakkında bilgi sahibi olun.
- Toplum için bir acil durum müdahale planına sahip olun.

5. Sıvılaşma tehlike haritaları

Sıvılaşma, deprem nedeniyle zeminin mukavemetinin ve sertliğinin azaldığı bir olaydır. Sıvılaşma ve ilgili olaylar, dünya çapındaki tarihi depremlerde ciddi miktarda hasara neden olmuştur.

Sıvılaşma, doymuş, gevşek, kohezyonsuz, plastik olmayan veya düşük plastisiteli zeminlerde (kum, siltli kum, silt, killi silt), yani bireysel parçacıklar arasındaki boşluğun tamamen suyla dolu olduğu zeminlerde meydana gelir. Bu su, toprak parçacıkları üzerinde, parçacıkların kendilerinin ne kadar sıkı bir şekilde birbirine bastırıldığını etkileyen bir basınç uygular. Depremden önce su basıncı (boşluk basıncı) nispeten düşüktür. Ancak deprem sarsıntısı, su basıncının zemin parçacıklarının birbirine göre kolayca hareket edebileceği noktaya kadar artmasına neden olarak taneler arasındaki sürtünmeyi sıfırlayarak bu zeminlerin kesme mukavemetini ortadan kaldırabilir (Şekil 4). Sıvılaşma ciddi hasara, hatta binaların ve altyapının tamamen yok olmasına neden olabilir (Şekil 5).

Deliverable-No: D.T.3.5.1f_TR		Internal - Partners	
Issue: I.02	Date: 31 July 2023	Page:	12 of 15



Şekil 4: Sıvılaştıran toprağın “dalgaları” (solda) ve ciddi biçimde sıvılaştıran alan (sağda). Yeni Zelanda Christchurch depreminden fotoğraflar (M6.3, 21-2-2011) kaynak: <http://www.nzherald.co.nz>.

Çoğu zaman binaların deprem nedeniyle hasar görmesi zemindeki göçmelerden veya binanın temelinden kaynaklanmaktadır (Şekil 5). Temelde farklı oturma durumları üst yapıda önemli hasara yol açabilirken, zemin sıvılaşması gibi daha kapsamlı olaylar inşaatın küresel olarak başarısız olmasına neden olabilir.

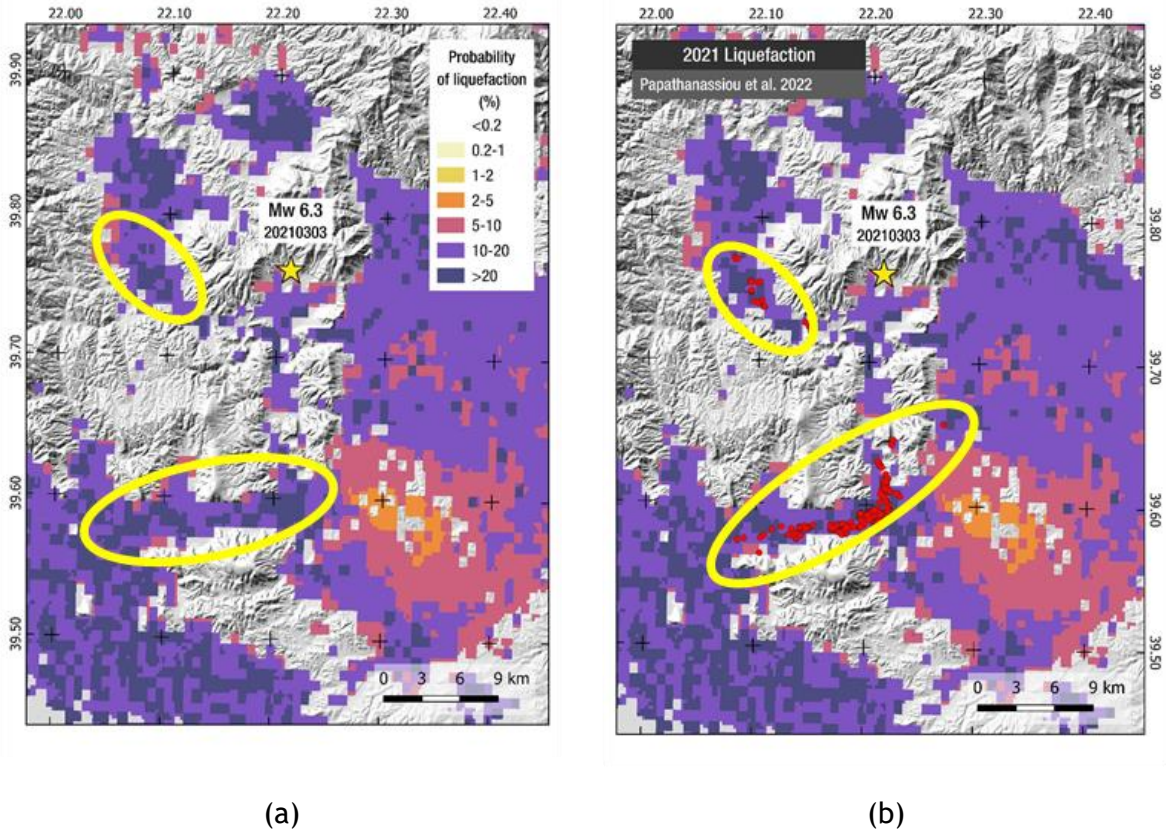


Şekil 5: (solda) 1964 Niigata, Japonya depreminde zemin sıvılaşması nedeniyle binaların çökmesi (fotoğraf: Joseph Penzien), (sağda) Adapazarı Türkiye’de binanın önemli eğimi ile dikey yer değiştirme, 17-8-1999.

Sıvılaşma tehlikesi haritaları sıvılaşma olasılığını gösterir ve sivil korumaya, genel kamuoyuna, arazi kullanım planlayıcılarına, kamu hizmetlerine ve yaşam hattı sahiplerine, ayrıca acil müdahale yetkililerine deprem hasarından kaynaklanan riskleri değerlendirmeleri için yeni ve daha iyi araçlar sağlamak üzere tasarlanmıştır. Deprem kaynaklı zemin sıvılaşması, deprem sırasında önemli bir ikincil tehlikedir ve altyapıda ciddi hasara yol açabilir. Sıvılaşma tehlikesinin haritalandırılması, hem deprem olaylarının planlanması hem de olaylar meydana geldikten sonra kaynakların konumlandırılması yoluyla yardım

Deliverable-No: D.T.3.5.1f_TR		Internal - Partners	
Issue: L02	Date: 31 July 2023	Page:	13 of 15

çabalarının yönlendirilmesi açısından önemlidir. Bölgesel ölçekte sıvılaşma tehlike haritalamasının iki yönü bulunmaktadır: 1) öngörücü sıvılaşma tehlike haritalaması ve 2) sıvılaşma sonrası kataloglama. Birincisi, mevcut tahmini tehlike sıvılaşma haritalaması, riskli bölgelerde her zaman mevcut olmayan ayrıntılı jeolojik haritalara ve jeoteknik verilere dayanmaktadır. Tahmini sıvılaşma tehlikesi haritalaması, sıvılaşmanın kapsamını tahmin eden ve küresel uygulama için uygun olan coğrafi sıvılaşma modellerine dayanmaktadır. Jeo-uzaysal sıvılaşma modelleri, altı ülkeden 27 deprem olayına ait verilerden oluşan bir sıvılaşma veri tabanından lojistik regresyon kullanılarak geliştirilmiştir. Tüm veri seti boyunca en iyi performansı gösteren model (Zhu vd., 2017), en yüksek yer hızını (PGV), VS₃₀, en yakın nehre olan mesafeyi (dr), en yakın kıyıya olan mesafeyi (dc) ve yağışları (yıllık ortalama) içermektedir. Kıyı dışı veri seti üzerinde en iyi performansı gösteren model, PGV, VS₃₀, su tablası derinliği (wtd), su kütlesine olan mesafe (dw) ve yağış (yıllık ortalama) içerir. Sıvılaşma tehlike haritaları sıvılaşma olasılığını ve sıvılaşmanın mekansal boyutunu gösterir.



Şekil 6: (a) Pineios nehri bölgesi için Zhu vd., temel alınarak sıvılaşma olasılığını gösteren öngörücü sıvılaşma tehlike haritası (2017) regresyon modeli, (b) sıvılaşma tehlikesini tahmin etmenin (Zhu vd, 2017) doğrulanması ve sarı renkli eliptik eğrilerle sınırlandırılan incelenen sıvılaşma konumlarının (Papathanassiou vd, 2022) doğrulanması (Mw6.3, 3-3-2021).

Deliverable-No: D.T.3.5.1f_TR		Internal - Partners	
Issue: L.02	Date: 31 July 2023	Page:	14 of 15

6. References

- Highland, L.M., and Bobrowsky, P. (2008). The landslide handbook—A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.
- Jessee, M. A., Hamburger M. W., Allstadt K., Wald D. J., Robeson S. M., Tanyas H., Hearne M., Thompson E. (2018). A global empirical model for near-real-time assessment of seismically induced landslides. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 123, 1835-1859. <https://doi.org/10.1029/2017JF004494>.
- Nowicki M.A., Wald D., Hamburger M., Hearne M., Thompson E. (2014). Development of a globally applicable model for near real-time prediction of seismically induced landslides. *Engineering Geology*, 173, pp. 54-65.
- Papathanassiou G., Valkaniotis S., Ganas A., Grendas N., Kollia E. (2017). The November 17th, 2015 Lefkada (Greece) strike-slip earthquake: Field mapping of generated failures and assessment of macroseismic intensity ESI-07., *Engineering Geology*, 220, pp. 13-30.
- Papathanassiou G., Valkaniotis S., Ganas A. (2021). Spatial patterns, controlling factors, and characteristics of landslides triggered by strike-slip faulting earthquakes: case study of Lefkada island, Greece., *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 80:3747-3765 <https://doi.org/10.1007/s10064-021-02181-x>.
- Papathanassiou G., Valkaniotis S., Ganas A., Stampolidis A., Rapti D., Caputo R. (2022) Floodplain evolution and its influence on liquefaction clustering: The case study of March 2021 Thessaly, Greece, seismic sequence, *Engineering Geology*, Volume 298, 106542.
- Zhu J., Baise L. G. and Thompson E. M. (2017). An updated geospatial liquefaction model for global application. *Bulletin of the Seismological Society of America* 107(3): 1365-1385.

Deliverable-No: D.T.3.5.1f_TR		Internal - Partners	
Issue: I.02	Date: 31 July 2023	Page:	15 of 15