

To Cite This Article: Taştan, B., & Aydınöğlü, A. Ç. (2022). Afetlerde tetikleyen tehlikeler ve zarar görebilirlik. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 47, 280-299. <http://dx.doi.org/10.32003/igge.1124921>

## AFETLERDE TETİKLEYEN TEHLİKELER VE ZARAR GÖREBİLİRLİK\*

### Triggering Hazards and Vulnerability in Disasters

Bekir TAŞTAN<sup>ID</sup> Arif Çağdaş AYDINOĞLU<sup>ID</sup>

#### Öz

Afet tehlikesi, afetlere neden olan insan ve doğa kaynaklı olaylardır. Afet tehlikeleri ya bir tek olay olarak ortaya çıkar ya da birbirini tetikleyerek peşi sıra gelişir. Afet tehlikeleri birbirini tetiklerse tehlikeler arası ilişkiler karmaşıklaşmakta, zarar görebilirliğin yönü ve boyutu değişmektedir. Tekli afet tehlikelerini bilimsel olarak incelemek oldukça zor iken, çoklu tehlikelerde bu zorluk daha da artmaktadır. Bu çalışma, afetlerde tetikleyen tehlikelerin ve zarar görebilirliğin karmaşık kavramsal yapısını aydınlatılabilmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada çoklu tehlike ilişkilerinin gösterimi yapılmış; tetikleyen tehlikeleri değerlendirme yöntemlerinden olay ağaçları, etkileşim matrisleri ve olasılıksal modeller tanıtılmıştır. Böylelikle afet risk yönetimi çalışmalarının önemli iki basamağını oluşturan tehlike ve zarar görebilirlik incelemesi tetikleyen tehlikeler kapsamında yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Afet; birbirini tetikleyen afet tehlikesi, zarar görebilirlik; risk yönetimi

#### Abstract

Disaster hazards are events caused by man and nature. These hazards either occur as a single event or develop sequentially and trigger each other. When disaster hazards trigger each other, the relationships between the hazards become more complicated, and the direction and magnitude of the hazard change. While it is very difficult to study single disaster hazards scientifically, this difficulty becomes even greater with multiple hazards. This study was conducted to shed light on the complex conceptual structure of triggering hazards and vulnerability in disasters. In this study the relationships among multiple hazards; event trees, interaction matrices, and probabilistic models, which are among the methods used to evaluate the triggering hazards, are presented. In this way, hazard and vulnerability analyses, which are the two important steps in disaster risk management studies, were explained in the framework of triggering hazards.

**Keywords:** Disaster; triggering disaster hazard; vulnerability; risk management

\* Bu çalışmanın bir kısmı Ankara Başkent Öğretmen Evi'nde 21.05.2015-23.05.2015 tarihleri arasında düzenlenen Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi isimli bilimsel toplantıda "Afet yönetiminde tüm yönleriyle zarar görebilirlik" başlıklı sözlü bildiri olarak sunulup tam metinli bildiriler kitabında yayımlanmıştır.

\*\* **Sorumlu Yazar:** Öğr. Gör., Kastamonu Üniversitesi, ✉ bekirtastan@kastamonu.edu.tr

## GİRİŞ

Afetler konusu günümüzde dünyada en fazla gündem olan konular arasında bulunmaktadır. Bu durum afetlerin ortaya çıkardığı tahribat sonucu insanların yaşamını derinden etkilemesiyle ilgilidir. Afetlerin bu denli etki yaratması hem yeryüzünün çeşitli fiziksel özelliklerine hem de insanoğlunun yapmış olduğu çeşitli aktivitelere bağlıdır. Afetler birçok nedene bağlı olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenlerden bazıları yeryüzünün fiziksel özellikleri ile alakalıdır. Nitekim atmosferin ve okyanusların aşırı ısınması veya soğuması sonucunda aşırı hava olayları, sudaki ve atmosferdeki temel fiziksel değişimlere bağlı olarak ortaya çıkar (Dickson vd., 2012). Bazı afet türlerinin ortaya çıkmasında ise insanların yapmış olduğu faaliyetler etkili olmaktadır. Terörizm, savaşlar, göç veya istila hareketleri bu tür faaliyetlere örnek olarak gösterilebilir.

Afetler sahip olduğu niteliklerle insanlara ve malvarlıklarına büyük tehdit oluşturmaktadır. Bazen birden fazla afet tehlikesinin bir arada görülmesi ile bu tehdidin boyutu daha da büyüebilmektedir. Tehlikelerin bir arada görülme durumu iki farklı şekilde gerçekleşmektedir. Birincisinde afet tehlikeleri tesadüfi olarak bir araya gelebilmektedir. Örneğin depremle beraber fırtına olayı aynı zaman ve yerde ortaya çıkabilir. İkinci durumda ise herhangi bir afet tehlikesi başka bir afet tehlikesinin oluşumunu tetikleyebilmektedir. Yani bir afetin oluşumu diğerinin sonucuna bağlıdır. Örnek olarak heyelan sonucu baraj yıkılması ile sel oluşumu meydana gelebilir. Böylece ilk olay daha sonra gerçekleşebilecek diğer olaylar serisini başlatmaktadır (Komendantova vd., 2013). Bu türdeki tetikleyici afet tehlikelerinin geneli başlatıcı etki içerirler. Başlatıcı etki volkanik püskürme veya tehlikeli maddenin dikkatsizlikten dolayı dökülmesi sonucu olabilir. Bundan sonraki süreçte farklı etkenler devreye girmekte ve tehlikenin boyutu daha da büyüebilmektedir. Afetleri, tetikleyen tehlike kapsamında değerlendirmek ani, ağır ve başlatıcı afet tehlikelerinin değerlendirilmesinin yanı sıra; savaş, nükleer tehlikeler, terörizm gibi daha büyük ölçekli afet tehlikelerinin de ele alınmasını kolaylaştırmaktadır (McEntire, 2001).

Birbirinden farklı türevdeki tehlikelerin bir arada görülmesi durumuna bileşik tehlike adı verilmektedir. İster tesadüfi olarak bir arada görülsün, isterse birbirini tetikleyen tehlikeler olarak ortaya çıksın bileşik tehlikelerin değerlendirilmesinin karşısında bazı zorluklar bulunmaktadır. Bu tehlikelerin değerlendirilmesinde ortak bir format bulunmamaktadır. Bu durum farklı tehlikelerin farklı karakteristiklere sahip olmasına bağlı olarak değerlendirmelerinde kullanılan ölçütlerin de farklılaşmasından dolayı oluşmaktadır (He ve Weng, 2020). Doğal tehlikeler risk elemanlarını etkilediğinde farklı tehlikelerin ortaya çıkardığı zarar görebilirlik durumu da farklılaşmaktadır (Kappes vd., 2012b). Tehlikeye maruz kalan elemanların zarar görebilirliklerinin ortaya çıkarılması çalışmaları, tehlike yoğunluğu fonksiyonu ve domino etkisi gösteren tehlikelerin etkileşmesi durumunda farklılaşabilir (Marzocchi vd., 2012). Birbirini tetikleyen afet tehlikeleri değerlendirilirken çok büyük veri gereksinimine ihtiyaç vardır. Bu şekilde ortaya çıkan afet tehlikelerinde tetikleme mekanizmalarının da ortaya çıkarılması güçtür (Delmonaco vd., 2006). Bu çalışmada Dünyada her yıl önemli ölçüde can ve mal kaybına neden olan tetikleyen afet tehlikelerinin oluşum mekanizmaları, tehlikeler arasındaki etkileşim sistemleri, zarar görebilirlik durumu anlatılmıştır. Böylelikle risk çalışmalarının önemli iki parçasını oluşturan tehlike ve zarar görebilirlik incelemesi tetikleyen tehlikeler bağlamında ortaya konmaya çalışılmıştır.

## SON ZAMANLARDAKİ AFET PROFİLİ

Afetlerin sonucunda ortaya çıkan olumsuz durumlarla bireysel mücadele edebilmek neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle afetlerin ortaya çıkardığı zararlara karşı koyabilmek için etkili iş birliği ve hazırlık faaliyetlerinin yapılması gereklidir. Dünyada hemen hemen bütün ülkeler için afet tehlikeleri önemli bir tehdit haline gelmiştir. Gelişmekte olan ülkelerde afet öncesi zarar azaltma çalışmalarının çok zayıf olmasına ek olarak, afet sonrasındaki koordinasyon eksiklikleri ortaya çıkan kayıpları daha da artırmakta ve afetlerle mücadeleyi kesintiye uğratmaktadır. Son zamanlarda afetlerle alakalı yaşanan gelişmeler bu durumu teyit edici niteliktedir. Etiyopyada 1983-85 yılları arasında gerçekleşen kıtlık, 2004 yılındaki Hint Okyanusu'ndaki ortaya çıkan deprem ve tsunami, 2008 yılındaki Nargis siklonu ve 2010 yılında Haiti'de gerçekleşen deprem sonucu toplamda yaklaşık 200.000 kişi yaşamını yitirmiştir (Ritchie ve Hoser, 2020). 2011 yılında Japonya'da denizde oluşan 9 şiddetindeki deprem sonucu ortaya çıkan tsunamiyle kıyıdaki binalar suya gömülmüş, dalgaların taşımış olduğu molozlar binalara zarar vermiştir

(Yeh vd, 2013). Tsunami etkisiyle Fukushima nükleer santrali soğutma sisteminin elektrik desteği kesilmiş, reaktörlerde erimeler ve patlamalar ortaya çıkmış, nükleer reaktörünün çevresi tahliye edilmeye başlanmıştır. Bunun sonucunda yaklaşık 60.000 kişi bu olaydan etkilenmiş ve farklı alanlarda 20 km ve 40 km'lik tahliye alanları oluşturulmuştur (Matanle, 2011). Görüleceği üzere Japonya'da ortaya çıkan bu afetteki zarar daha çok tetikleyici afetlerden dolayı meydana gelmiştir. Bunun gibi birçok afette zarar görebilirlik daha çok tetikleyici tehlikelerden dolayı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, afetleri ortaya çıkaran birincil afet tehlikelerinin zararında; ilk tetikleyici afete odaklanmak yerine, kentsel alanlarda zarar görebilirlik alanlarına bağlı olarak tetikleyici etkilere bakmak gerekmektedir (Tang vd., 2019).

2020 yılında küresel pandeminin yaygınlaşmaya başlaması ile farklı alanlarda afetler etkili olmaya devam etmiştir. 2020 yılında pandemi süresince dünyada 100'den fazla afet etkili olurken bu afetlerden etkilenen insan sayısı 50 milyonu geçmiştir. Aynı şekilde iklim değişikliğinin etkileri de pandemi ile beraber görülmeye devam etmektedir. Afetlere karşı daha fazla zarar görebilir ortamlarda yaşayan fakir insanlar bu tür afetlerden daha çok zarar görmektedir (IFRC, 2020). 2021 yılında Dünyada 432 adet afet yaşanmıştır. Bu afetler nedeniyle 11.755 kişi hayatını kaybederken, bu afetlerden etkilenen toplam insan sayısı da 101 milyon civarında olmuştur. Bu afetler sonucunda ortaya çıkan ekonomik kayıp ise 252.1 milyar Amerikan doları olarak kaydedilmiştir (CRED, 2021). 2020 yılında ortaya çıkan ve yaygınlaşan KOVİD-19 pandemisinden hastalanan kişi sayısı 09 Mayıs 2022 tarihi itibarıyla 513.955.910 kişi iken, bu hastalıktan ölenlerin sayısı 6.249.700 kişidir (WHO, 2022).

Türkiye, eski çağlardan beri gerek fiziki yapısı gerekse sahip olduğu iklim koşulları nedeniyle farklı afetlerin etkisi altında kalmıştır. Türkiye'de üç adet aktif büyük fay hattının varlığı, arazilerinin engebeli ve dağlık olması, farklı hava kütlelerinin etkisinde kalması ve şehirleşmedeki yaşanan yapısal sorunlar nedeniyle zaman zaman çeşitli afetler ortaya çıkmaktadır. Deprem, sel, heyelan, çığ, yangın gibi geçmişte yaşanan doğal afetler Türkiye'de kurulan birçok uygarlığın yıkılmasına sebebiyet vermiştir (Şengün ve Temiz, 2007). Türkiye'de 1923-2016 yılları arasında gerçekleşen afetlerin yüzde 24,3'ünü deprem, yüzde 30,4'ünü kaza, yüzde 13'ünü sel, yüzde 5,8'ini patlamalar oluşturmaktadır. Bu yıllar arasında gerçekleşen afetlerin yüzde 27,5'ini kütle hareketleri, fırtına ve salgınlar oluşturmaktadır (Bahadır ve Uçku, 2018). 2020 yılında uluslararası salgının etkisi Türkiye'de de görülmeye başlanmış, salgının yaygınlaşmaya başlaması ile beraber farklı afet türleri de ortaya çıkmıştır. Ağustos ayı içinde Giresun'da oluşan sel olayı sonucu 20 kişi yaşamını yitirirken, neden olduğu ekonomik zarar ise 250 milyon dolar civarında olmuştur. Ekim ayında ise İzmir'de gerçekleşen depremden dolayı 117 kişi yaşamını yitirmiştir. Bu deprem 2011 yılında Van'da gerçekleşen depremden sonra en fazla ölüme sebep olan depremdir. Bu deprem sonucunda 29.000 yapı zarar görürken, ekonomik kayıp tutarı ise 450 milyon dolar civarında olmuştur (AON, 2021). Küresel pandemi ilan edilmesinden bu yana Türkiye'de pandemiden dolayı gerçekleşen ölümler Mayıs 2022 tarihi itibarıyla 97.666 kişiyi aşmıştır (TC.Sağlık Bakanlığı, 2022). Gerçekleşen bu afetler sonucunda onlarca can ve mal kaybı ortaya çıkmaktadır. Bu tür afetleri daha da zararlı kılan unsur bu tür afetlerin oluşmasından sonra ortaya çıkabilen ikincil afet tehlikeleri veya tehlikelerin oluşturduğu tehlike zincirleridir.

## BİRBİRİNİ TETİKLEYEN AFET TEHLİKELERİ

Tehlike zincirleri tehlikeli olayların arasındaki etkileşimlere bağlı olarak ortaya çıkar. Birden fazla afet tehlikesi arasındaki etkileşim farklı şekillerde gerçekleşebilir. Literatürde tehlikeler arasındaki etkileşimi ifade etmede kullanılan birçok ifade bulunmaktadır. Bunlar: Bileşik tehlikeler, bileşen tehlikeler, zincirler, devam eden tehlikeler, domino etkiler, etkileşimler, vuran etkiler, çoklu tehlikeler, tetikleyici etkiler vb. etkileşimlerdir. Bu tanımlar arasında tetikleyici tehlike ifadesi daha genel olarak ortaya çıkmaktadır. Ardı sıralı, domino, vuran, tetikleyici gibi ifadeler bir afetin diğeri tarafından tetiklenmesinden sonra meydana gelen tehlikeleri belirtmektedir (Kappes vd., 2012b). Birbirini tetikleyen tehlikeler, zaman ve mekânda birleşen tehlikeler, çoklu tehlikeler grubunu oluşturmaktadır. Çoklu tehlikeler oldukça farklı tehlikeli olayın tesadüfi olarak bir araya gelmesi veya sel oluşumunu takip eden fırtına veya heyelan gibi zarar verici gücü takip eden tehlikeleri ifade etmekte kullanılan bir terimdir (Hewitt ve Burton, 1971). Bazı durumlarda bir tehlike diğer tehlikenin frekans ve magnitütünü değiştirebilir. Kış ayında görülen çığ ile koruyucu orman tabakası ortadan kaldırılırsa, aynı yerde bahar ayında daha büyük frekans ve magnitütlü kaya düşmesi olayı görülebilir (Kappes vd., 2012b). Afetlerde çoğu zaman tetiklenmeli etkiler ortaya

çıkılmaktadır. Tetiklenme sürecinin farklı şekillerde ilerlemesine bağlı olarak etkilenme zincirinin gücü artabilir. Bu durumda kritik altyapının varlığına bağlı olarak zarar görebilirlik ortaya çıkmakta ve tetikleyici etkiye bağlı olarak zarar görebilirliğin farklılaşmasına neden olmaktadır. Tetikleyici etkiler çok yönlü ve karmaşık durumda olabilmektedir. Zaman içerisinde algoritmik değişim gösterirler. Düşük düzeydeki tehlikeler zarar görebilirliğin yaygın etki göstermesine bağlı olarak etki alanını genişletebilir (Pescaroli ve Alexander, 2015).

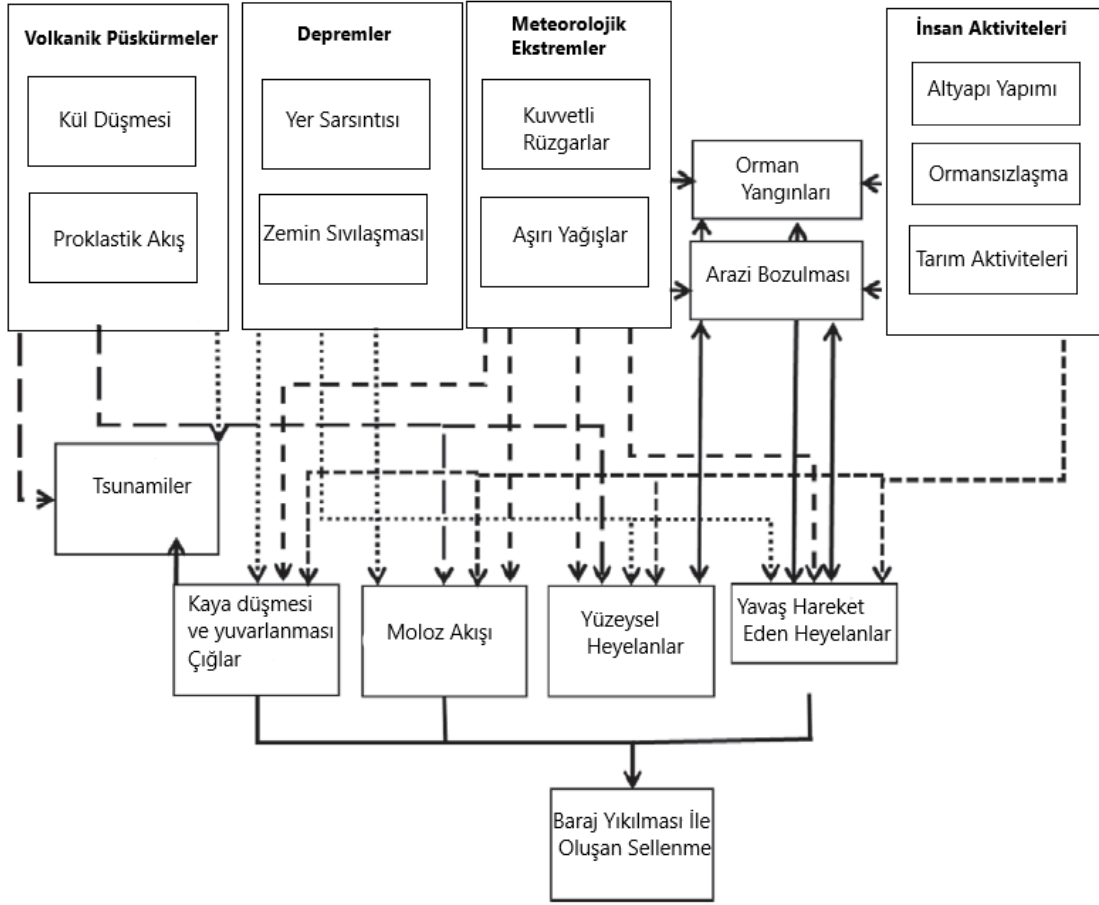
Tropikal fırtınalarda, sellerde, heyelanlarda ve volkanik püskürmelerde beş farklı tehlike etkileşimi ortaya çıkabilir (Gill ve Malamud, 2016):

1. Doğal afetler birbirini tetikleyebilir. Tropik fırtına sel, heyelan ve çamur akıntılarının oluşumunu etkileyebilmektedir.
2. İnsan faaliyetleri doğal tehlikeleri tetikleyebilir. Yol yapımı sırasında yamaç stabilitesi bozulabilir. Dolayısıyla heyelan ortaya çıkabilir.
3. Tehlikeler arası etkileşim ağları ortaya çıkabilir. Tropikal fırtına yüzlerce heyelana neden olabilir. Bu heyelanların bazıları nehirlerdeki barajları yıkarak sellenmeye neden olabilir.
4. İki farklı tehlike aynı zamanda ve mekânda bir araya gelebilir. Volkanik püskürme ile tropikal fırtına olayı beraber görülebilir. Fırtına sellenmeyi ortaya çıkarırken, volkanik olaydan kaynaklanan küller ise drenaj sistemlerini bloke edebilir.
5. İnsan aktiviteleri doğal afetlerin tetiklenmesini şiddetlendirebilir. Örnek olarak ormanların yok edilmesi fırtına sırasında heyelanların ve sellenmelerin oluşumunu hızlandırabilir.

Afetlerle ilgili yapılan çalışmalarda çoğu durumda sadece doğal afetler arasındaki ilişkiler ele alınmakta ve tehlikeler arası etkileşimler belirlenmeye çalışılmaktadır. Ancak doğal afetlerin teknolojik afetleri tetiklediği durumlarla ilgili yapılan çalışmaların sayısı sınırlı kalmaktadır. Bu durum afetlerin ortaya çıkarabileceği zararların anlaşılmasında ve afet zararlarının önlenmesinde çeşitli yetersizlikleri de beraberinde getirebilir. Örneğin depremler ve sellenmeler sonucunda fabrikalarda ortaya çıkan tahribat neticesinde tehlikeli madde sızıntısı gerçekleşebilir. 2017 yılında Amerika'da görülen Harvey Kasırgası ile sellenmeler ve yangınlar ortaya çıkmış ve bu tehlikelerin yanı sıra fabrikalarda patlamalar da görülmüştü (Cutter, 2018). Türkiye'de 1999 yılında yaşanan Körfez depremi neticesinde Kocaeli, Sakarya, Bolu ve Yalova en çok etkilenen iller arasında olmuştur. Bu şehirlerin etki alanında olan İstanbul, Eskişehir ve Bursa illerimiz de dolaylı olarak etkilenmiş ve ekonomik kayıplar dahi yaşanmıştır. Bu depremle beraber binalarda ortaya çıkan ekonomik zarar tutarı beş milyar dolar civarında olurken, yaşam hatlarındaki zararların tutarı bir milyar dolar olarak rapor edilmiştir. Deprem dolayısıyla görülen zararların toplam miktarı hesaplandığında 16 milyar dolarlık bir tutar olabileceği düşünülmektedir (Erdik, 2000).

Tehlikelerin birbirini tetiklemesi sonucunda farklı tehlike zincirleri ortaya çıkar. Örneğin, arazideki farklı yüzeylerin heyelanlara karşı farklı maruziyeti bulunur. Buna bağlı olarak farklı afet tehlikelerinin tetikleyebileceği heyelan türü de farklılaşabilir. Farklı magnitüt ve derinlikte verilen her bir deprem farklı heyelan örgülerini ortaya çıkarabilir. Eğer heyelan oluşursa sonraki adım akarsu üzerinde heyelan kütesinin set oluşturma durumunun değerlendirilmesidir. Bu aynı zamanda nehre bağlı olarak heyelanın konumuna, nehir yatağının genişliğine ve nehir akımına; hatta nehir üzerinde set oluşursa seti oluşturan materyal ve nehrin gücüne, setin yıkılıp yıkılmayacağına veya gölün oluşup oluşamayacağına da bağlıdır (Van Westen ve Greiving, 2017). Tetikleyen tehlikeler arası etkileşimler birçok şekilde ortaya çıkabilir. Bu etkileşimlerin boyutu Şekil 1'de gösterilmiştir. Buna göre deprem oluşumu ile beraber yer sarsıntısı ve zemin sıvılaşması ortaya çıkabilir. Bu olay ile beraber farklı türevdeki ikincil tehlikelerin de oluşumu gerçekleşebilir. Bu tehlikeler arasında; tsunamiler, kaya düşmeleri, çığlar, moloz akıntıları, yüzeysel ve yavaş hareket eden heyelanlar sayılabilir. Bazı tehlikeler birbirinin oluşumunu karşılıklı olarak etkilemektedir. Yavaş hareket eden veya yüzeysel gerçekleşen bazı heyelanlar arazi bozulmalarına neden olmakta ve daha derindeki heyelanların oluşumuna sebebiyet verebilmektedir. Ekstrem hava koşulları ve insan aktiviteleri sonucunda arazi yüzeyinde bozulmalar ortaya çıkabilir ve bu olaylar orman yangınlarını tetikleyebilir. Görüleceği üzere doğadaki her

bir afet tehlikesi başka bir tehlike ile karmaşık ilişkiye sahip olabilmektedir. İnsanların faaliyetleri sonucu bu ilişkiler daha da karmaşıklaşmaktadır. Böylece bu tür afet tehlikelerinin bilimsel olarak değerlendirilmesi zorlaşmaktadır.



**Şekil 1:** Ana tetikleyici olaylar arasındaki (volkanik püskürmeler, depremler, meteorolojik ekstremler, beşeri aktiviteler ve ikincil tehlikeler) çoklu tehlike ilişkilerinin gösterimi (Van Westen ve Greiving, 2017).

## Birbirini Tetikleyen Afet Tehlikelerini Değerlendirme Yöntemleri

### Etkileşim Matrisleri

Bu yöntemde afet tehlikeleri arasındaki ilişkiler ve etkileşimler matris yöntemi ile gösterilmektedir. Etkileşim matrisleri bir süreç seti içindeki genel ilişkilerin ve tehlike bilgisi tarafından belirlenebilen potansiyel oluşumların konumunun tespitini sağlamaktadır. Matrislerle bir tehlikenin diğer tehlikeye etkisi belirlenir. Aynı hattaki ilişki, neden olma ilişkisini gösterirken aynı sütundaki süreç ise etkilenen süreci belirtir (Kappes vd., 2012a). Tetikleyen tehlikeler arasındaki ilişkinin matris biçiminde gösterimi Şekil 2’de verilmiştir. Buna göre matriste köşegenler üzerinde altı adet: Kıyı erozyonu, fırtına dalgaları, nehir seli, heyelanlar, deprem, volkanizma ve insan yapıları olmak üzere en yaygın tehlike parametrelerinin birbirine olan etkilerinden bahsedilmiştir. Şekilde toplamda 30 adet etkileşim elemanı bulunmaktadır. Bu parametreler arasındaki etkileşimlerin doldurulması saat yönünde şemayı takip eder: Her bir satırdaki orta köşegendeki parametrenin biri, geçen satırın her bir elemanı sistemdeki parametrenin etkisini gösterir. Bu şekilde olayın nedeni belirtilmektedir. Buna karşın, sütundaki aynı parametre analizini, geçen sütunun her bir elemanı bu parametredeki sistemin etkisini ve dolayısıyla olayın

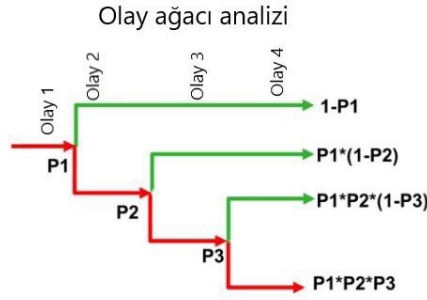
nedenini belirtmektedir. Tetikleyen tehlikeler arasındaki ilişki-kıyı erozyonu ve fırtına dalgaları gibi iki köşegen terimleri arasındaki etkileşim – matriste şu şekilde okunabilir: Kıyı erozyonu (1. Satır, 1. Sütun) ve fırtına dalgaları (3. Satır, 3. Sütun) açık bir şekilde fırtına dalgası atağına tabi olur (1. Satır, 3. Sütun), (De Pippo vd., 2008). Benzer şekilde, akarsu seli (2. Satır, 2. Sütun) ile dalgaların (3. Satır, 3. Sütun) etkileşimi çeşitli yıkımlara (2.Satır, 3. Sütun) sebep olmaktadır.

<b>KIYI EROZYONU</b>	<b>ETKİLEŞİM YOK</b>	Koruma duvarı olmayan dik ve dar kıyı, dalga etkisine açıktır	Kıyı gerilemesi güç kaybına neden olur	<b>ETKİLEŞİM YOK</b>	Erozyon yüksek yoğunlukta kentleşmiş kıyı zonunu etkiler ve kum tepelerinin yerini değiştirir
Sel, akarsu ağzında veya içerde kıyı hattının geniş ölçüde gerilemesine neden olur	<b>AKARSU SELİ</b>	Büyük dalgaların ve selin aynı kıyıda birlikte görülmesi destabilizasyonu artırır	Selle ilgili emniyet ihlalleri heyelanları tetikler	<b>ETKİLEŞİM YOK</b>	Sel, kentleşmeden dolayı arazi yüzeyindeki etkinliğini artırır
Geniş ve büyük kıyı kuşağının yaygın rüzgarlara maruziyeti yüksek miktarda erozyonu belirler	Sel ve büyük dalgaların aynı zamanda aynı kıyıyı etkilemesi destabilizasyonu artırır	<b>DALGALAR</b>	Dalgalar yüksek uçurumların hem tabanını yok eder, hem de deniz kabarmasını eğim boyunca dağıtır	<b>ETKİLEŞİM YOK</b>	Yetersiz koruma olmadan fırtına dalgaları kıyıya yakın yollara ve binalara ulaşabilir.
Moloz döküntüsünün hızlı alımıyla bağlantılı heyelanların oluşumu uçurumun gerileme oranını hızlandırır	Heyelan ve onunla alakalı olaylar su yolunun değişmesine veya kesilmesine yol açabilir	<b>ETKİLEŞİM YOK</b>	<b>HEYELANLAR</b>	<b>ETKİLEŞİM YOK</b>	Düzenli planlama olmadan kentleşen ve güvenli olmayan yamaçlarda heyelan gerçekleşir
<b>ETKİLEŞİM YOK</b>	<b>ETKİLEŞİM YOK</b>	Volkanik püskürmelerden ve depremlerden dolayı denizde oluşan hızlı dökümler aşırı dalga yüksekliklerini tetikler (tsunami)	Sismik sarsıntılar heyelanları tetikleyebilir	<b>DEPREM VE VOLKANİZMA</b>	Depremlerin ve volkanik püskürmelerin etkisi kıyı zonunda yaşayan kişi sayısına göre etkinliğini artırır
Kıyıya yakın kent alanlarında doğal özelliklerin hızlı kaybı gerçekleşir; korumasız kıyı alanları boyunca mühendislik yapıları erozyonu tetikler	Kentleşme ile kapanan yüzey ve doğal akışların yönlendirilmesi sellenme yolu ile erozyonu artırır	Yetersiz mühendislik yapıları doğal kıyısal korumaları daha az etkili kılar	Kaçak yapılar veya karmaşık kentleşme doğal dengeyi bozar	Kıyıda mühendislik yapıları (Lav akıntılarının sınırlandırılması)	<b>İNSAN YAPIMI YAPILAR</b>

**Şekil 2:** Bir tehlikenin diğer tehlike ile etkileşiminin açıklayıcı matrisi. Başlıca köşegenlerdeki terimler: Kıyı erozyonu, fırtına dalgaları, akarsu seli, heyelanlar, deprem ve volkanizma ve insan yapımı yapılar dikkate alınmıştır. Bu matris çevresel çalışmalarda test edilmiştir. Bir sistemdeki yapısal parametrelerin etkisini (olayın nedeni) veya her bir parametre üzerindeki sistemin etkisini göstermektedir (De Pippo vd., 2008).

## Olay Ağaçları

Olay ağacı analizi, tehlikeli olayın olduğu ya da olmadığı veya teknik bir sistemin bir parçasının çalıştığı ya da çalışmadığı şeklinde daima iki seçeneğin olduğu ikili mantığa dayalıdır. Olayın sebebi, bir sistemin bileşeninde aksaklık ya da yangın gibi başlatıcı etken ile başlar. Olayın sonucu ise mümkün yolların serilerinin aracılığı ile devam eder. Her bir yolda oluşum olasılığı atanır ve mümkün olan farklı çıktılarının olasılığı hesaplanabilir (Van Westen vd., 2011b). Olay ağacı, analiz altındaki sistemi etkileyen parametrelerin bütün kombinasyonlarının (ilişkili oluşum olasılığı) analizini yapmak için uygulanan bir sistemdir. Analizi yapılan bütün olaylar düğümler vasıtasıyla birbirine bağlıdır (Bakınız Şekil 3). Sistemin bütün olasılık koşulları her bir durumda ve her bir düğümde dikkate alınır (olay ağacının dalı) ve oluşum olasılığının değeri olarak karakterize edilir (Url-1). Düğümden çıkan dallar olası doğal durumların veya olasılıksal olayların her birini temsil eder. Bu olasılıklar ağaçtaki soldan gelen olayların oluşumlarındaki koşullardır. Riskler yıllık olarak belirtilir (yıllık arızanın olasılığı veya yıllık yaşam kaybı gibi). Olay ağacının koşullu yapısı herhangi bir dizi için olasılığa izin verir. Olaylar; yol olasılık teorisinin çarpma kuralına göre her dal için olasılıkların bir hat boyunca çarpılmasıyla hesaplanır. Olay ağacının dallanma yapısı, birden çok yol boyunca dal olasılıklarını toplamakla hesaplanabilecek olay ağaçlarının herhangi bir kombinasyonunun olasılık hesabına izin verir (Url-2).



Şekil 3: Olay ağacı analizi yaklaşımı (Url-1).

Olay ağacı yaklaşımında başlangıç noktası tetikleyici olay veya doğal durumdur. Bu yaklaşım baraj ve set risk analizinde sel veya deprem gibi olayların etkisini göstermek için kullanılabilir. Bu olayların sonrasında gerçekleşebilecek tetikleyici olaylar ise her dalın benzersiz olayı temsil ettiği farklı bir dallanma kullanılarak tanımlanır. Dallanma yapısı belirli bir hat yolu boyunca meydana gelebilecek tüm olası olayları tanımlamak için kullanılır. Ağaçtaki olayların sıralaması kronolojik ve mantıklı olmalıdır (Url-2).

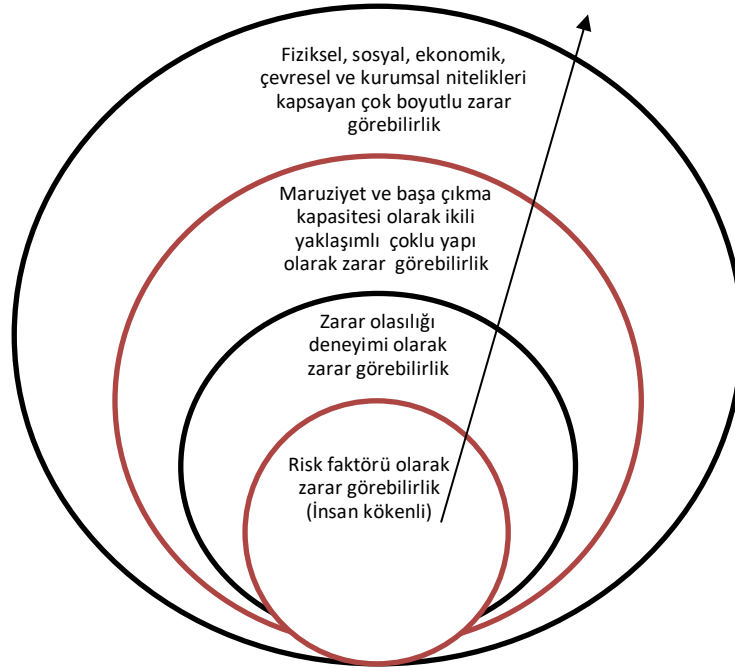
### Olasılıksal Modeller

Bileşen tehlikelerde genellikle tehlikeler arasında istatistiksel bağımlılık bulunmaktadır. Bu kategorideki metotlar çok değişkenli istatistik ve aşırı değer (uç) istatistikleri arasında bulunmaktadır. Olasılıksal modellerde iki model ailesi ön plana çıkar: 1 – Bağ (aynı zamanda deneyimsel), 2 – Çok değişkenli modeller. Çok değişkenli modelde uç modelleme (her ayrı değişken dağılımını modelleme) bulunurken, bağ modelinde ise yalnızca bağımsız yapıyı modellemeye odaklanılır. Olasılıksal modeller özellikle bileşen tehlikeleri modellemede kullanılır. Bu modeller dönme periyodu ve ortak aşılma olasılıklarının tahminine olanak sağlar (Tilloy vd., 2019).

### ZARAR GÖREBİLİRLİK

Zarar görebilirlik, afetlerin ortaya çıkmasında etkili olan temel faktörlerden birisidir. Fiziksel veya insan kökenli tehlikeli bir olay, zarar görebilirliğin olmaması veya çok az olması durumunda afete dönüşmez. Bu yönüyle zarar görebilirlik afet tehlikesinin etkisini anlayabilmek için önemli rol oynarken, riskin belirlenmesi için de yardımcı olmaktadır (European Commission, 2007). Zarar görebilirlik çok yönlü bir kavramdır. Farklı şartlarda farklı zarar görebilirlik şartları ortaya çıktığından dolayı zarar görebilirlik için genel bir metodoloji veya ortak bir kavram bulunmamaktadır (Birkmann, 2007). Ancak genel olarak zarar görebilirlik için şöyle bir tanım belirlenmiştir: İnsanların veya insanların sahip olduğu varlıkların (Cannon vd., 2003); topluluk veya sistemlerin afet tehlikelerinin zararlı sonuçlarına maruz kalmasına neden olduğu nitelikleridir (UNISDR, 2009). Zarar görebilirlik, afetlerin insani boyutudur ve insanların yaşadığı çevreyi ve yaşam biçimlerini etkileyen ekonomik, sosyal, kültürel, kurumsal, politik ve psikolojik faktörlerin sonucudur (Url-3). Daha önceleri zarar görebilirlik daha çok mühendislik yapılarının fiziksel dayanıklılığıyla bağlantılı olarak düşünülürken günümüzde zarar görebilirliğin daha çok sosyal ve çevresel süreçlerle ilgili olduğu farz edilmektedir (Birkmann, 2007). Zarar görebilirliğin açıklanabilmesi için maruziyet ve savunmasızlık kavramlarının açıklanmasına da ihtiyaç duyulur. İnsan zarar görebilirliği; maruziyet, dayanıklılık ve esneklikten oluşur. Maruziyet büyük oranda doğal çevrenin, bina niteliklerinin ve fiziksel konumun bir ürünü olup, dayanıklılık (direnc, karşı durma gücü) ekonomik, psikolojik ve fiziksel sağlık koşullarını yansıtmaktadır. Esneklik ise çabuk iyileşme gücü, tehlike baskısına uyum sağlayabilme ya da başa çıkabilme kapasitesidir. Aynı zamanda, planlı ve kendi kendine gelişen yardım ve kurtarma faaliyetlerini de içerir (Pelling, 2012). Zarar görebilirlik kavramları birbiri ile ilişki içindedir. Bu kavramların birbiri üzerindeki etkisi iç içe geçmiş kürelerle gösterilebilir (Şekil 4). Buna göre; zarar görebilirliğin etki

boyutunun en iç kısmında insan odaklı/insanı önceleyen zarar görebilirlik bulunur. İnsan odaklı niteliği çevreleyen kürede ise; zarar olasılığı deneyimi, maruziyet ve başa çıkma kapasitesi ikili yaklaşımli çoklu yapı zarar görebilirlik nitelikleri bulunur. En dış kısımda ise fiziksel, sosyal, ekonomik, çevresel ve kurumsal özellikleri içeren çok boyutlu zarar görebilirlik nitelikleri vardır. Zarar görebilirlik kavramlarını temsil eden kürelerde en içten dışarı doğru gidildikçe zarar görebilirliğin kapsamının büyüdüğü görülebilmektedir. Kapsamın büyümesi ile daha farklı boyutlar ortaya çıkmakta, başa çıkma kapasitesi ve maruziyet gibi niteliklerin eklenmesi ile zarar görebilirliğin etki alanı da genişlemektedir. Afet zarar görebilirliğinin azaltılmasında kurumsallaşma çok önemlidir. Kurumsallaşma zarar görebilirliğin bütün boyutlarında gerekli olduğu için bütün küreleri kapsayıcı biçimde gösterilmiştir. Yapılacak çalışmaların koordineli olarak kurumsal iş birliği ile gerçekleştirilmesi afetlerden dolayı ortaya çıkabilecek kayıpların en aza indirilmesinde etkili rol oynar.



Şekil 4: Zarar görebilirlik kavramlarının birbiri ile ilişkisinin iç içe küreler şeklinde gösterimi (Birkmann, 2007)

## Zarar Görebilirlik Çeşitleri

### Fiziksel Zarar Görebilirlik

Fiziksel zarar görebilirlik afetin olumsuz etkileriyle başa çıkabilmek için evleri, yolları, köprüleri, okulları, kamu binalarını içeren bina davranış yeteneğini gösterir (Woodruff vd., 2017). Fiziksel zarar görebilirlik genel anlamda yapılarla ilgili unsurlara işaret etmektedir. Ancak coğrafi görünüşler, konum, yer ve yerleşim örgüleri de fiziksel zarar görebilirlik unsurları içerisinde yer alır (Cardona vd., 2012). Zarar görebilirlik unsurlarının en önemlileri arasında yapılara ait özellikler bulunmaktadır. Afet tehlikelerinin gerçekleşmesi esnasında yapıların davranışı, içinde bulunan insanların afet nedeniyle yaralanmasına veya hayatını kaybetmesinde yol açmaktadır (Eidsvig vd., 2011). Afetler karşısında yapıların fiziksel zarar görebilirlik niteliklerinin bazıları farklılaşma göstermektedir. Örneğin heyelan afetine karşı yapıların fiziksel zarar görebilirliğinde yapı tipi, yaşı ve materyali (Kappes vd.,2012a), yapı genişliği, yapıyı çevreleyen duvarlar, yapılarda eğime karşı açıklıkların ve heyelan uyarı işaretlerin bulunup bulunmaması gibi nitelikler önem kazanır (Van Westen vd., 2011b). Bu nitelikler heyelan afeti için bina fiziksel zarar görebilirlik analizinde göz önüne alınır. Bunlardan; yapı tipi, yaşı ve yapılarda kullanılan malzeme türü deprem tehlikesi için de önem taşırken, yapılarda eğime karşı açıklıkların veya heyelan işaretleri bulunup bulunmaması deprem fiziksel



zarar görebilirlik analizi için önem taşımaz. Benzer şekilde yapıların yüksekliği sel esnasında çok büyük öneme sahipken kaya düşmesi için çok önemli değildir. Yapılarda bodrum katının bulunması çığ ve kaya düşmesi gibi afet tehlikelerinin fiziksel zarar görebilirlik değerlendirmesinde önemli değilken; sel ve çamur akıntısı fiziksel zarar görebilirlik değerlendirmesinde çok büyük öneme sahiptir (Kappes vd., 2012b).

### Sosyal ve Ekonomik Zarar Görebilirlik

Bu zarar görebilirlik çeşidi toplumun bünyesindeki değişik gruplara zarar veren, onların afetlere karşı duyarlılıklarını şekillendiren sosyal faktör ve eşitsizliklerin bir ürünüdür. Kaynaklara erişimde eşitsizlikler, siyasi yönetime erişimde yapılan kısıtlamalar, inanışlar ve gelenekler gibi faktörlerle de ilişkilidir (Cutter vd., 2003). Sosyal zarar görebilirlik genellikle sosyo-ekonomik göstergeler (yaş, cinsiyet, engelli olma durumu) gurubuna dayalı olan indeksler yoluyla ölçülür (Guillard-Gonçalves ve Zézere, 2018).

### Çevresel Zarar Görebilirlik

Çevresel unsurlar; sulak alanlar, göller, endemik bitki türleri, su yolları, mercan resifleri, yer altı su akiferleri vb. birçok ögeyi içinde barındırmaktadır. Bu tür ögeler afetler karşısında potansiyel zarar görebilir durumdadır. Bu tür ortamlarda meydana gelen olumsuz değişimler aynı zamanda insanları da doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Çevresel sistemlerde meydana gelen negatif değişimlerle tehlikeler doğrudan ilişkilidir. Örneğin eğimli topografyadaki ormanlık alanlarda gerçekleştirilen ağaç kesimleri heyelanlara sebep olmaktadır. Sulak alanların yönetiminde yapılan yanlışlıklar ise sellenmeleri ortaya çıkarmaktadır. Buna karşın, sağlıklı ve korunmuş çevresel alanlar tehlikelere karşı önemli koruma sağlarken, zarar gören çevresel sistemler ise afet tehlikelerinin potansiyel etkisini artırırken, zarar görebilirliğin de boyutunu farklılaştırmaktadır (Coppola, 2011).

### Zarar Görebilirliğin Ölçülmesi İçin Yöntemler

Afet riskinin incelenmesi, niteliklerinin belirlenmesi ve yönetiminde zarar görebilirliğin ölçülmesi önemli bir gereksinimi oluşturmaktadır. Birbirini tetikleyen afet tehlikelerinde magnitüt ve frekans ilişkilerinin değişmesi ile birlikte zarar görebilirliğin boyutu da değişmektedir. Bundan dolayı zarar görebilirliğin incelenmesinde farklı teknikler ve yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Bu yöntemlerden birisi zarar görebilirlik göstergeleridir. Zarar görebilirlik faktör ve göstergeleri zarar görebilirlikle ilgili başa çıkma kapasitelerini ölçmek için kullanılan anahtar araçlardır (Birkmann, 2007). Zarar görebilirlik, göstergeler yanında eğriler ve matrislerle de gösterilmektedir. Her bir metot belirli avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Zarar görebilirlik eğrileri sürekli bir yaklaşım göstermekteyken, matrisler sınıflandırma yapar ve daha az ayrıntıya sahiptir. Gösterge yaklaşımı ise risk elemanlarının tüm zarar görebilirliğini etkileyen çoklu nitelikleri hesaba katmaktadır. Bu yaklaşım çoklu elemanların niteliklerini içerdiği için çoklu tehlike bağlamında daha fazla kullanışlıdır (Kappes, 2011).

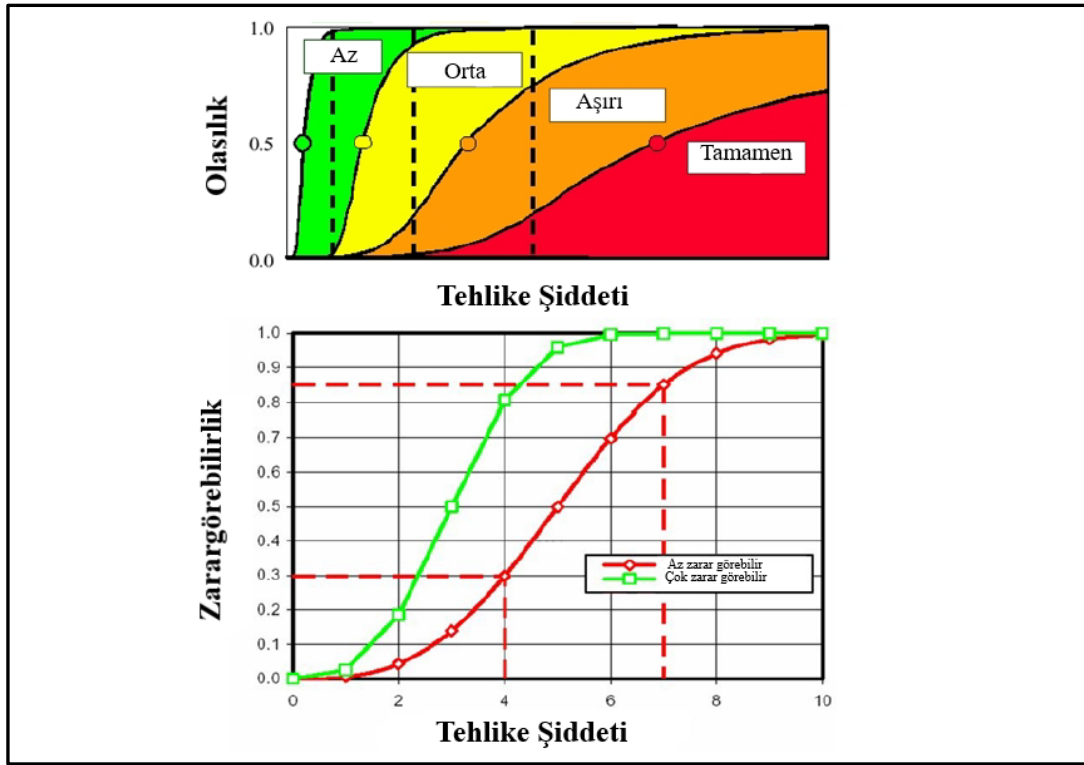
### Zarar Görebilirlik Göstergeleri

Zarar görebilirlik göstergesi doğal kaynaklı bir tehlike ile bağlantılı olsa bile bir sistemin dayanıklılık, başa çıkma, maruziyet durumlarını göz önüne alarak bilgi veren ve sistemin kalitesi ya da niteliklerinin eylemsel gösterimi olan bir değişkeni ifade etmektedir. İster açıklayıcı isterse tanımlayıcı olsun, herhangi bir göstergenin normatif-görünüş değerinin yanında önemi de vardır (Birkmann, 2006). Zarar görebilirlik göstergelerine bağlı olarak; farklı afet tehlike şiddetlerine doğrudan bir bağlantısı olmadan sosyo-ekonomik alandaki insanların çoklu nitelikleri (yaş, zenginlik, sağlık, eğitim düzeyi vb.), kurumlar veya toplumların tüm zarar görebilirlikleri hesaba katılarak kullanılmaktadır (Kappes vd., 2012b). Sosyal bilim toplumunda sosyal zarar görebilirliği etkileyen bazı temel faktörlerin bulunduğu dair genel bir görüş birliği bulunur. Bu faktörler şu şekildedir: Bilgi ve teknolojik kaynaklara erişimden yoksunluk, politik güç ve temsiline erişimde sınırlılık, sosyal ağlar ve etkileşimlerde zayıflık, inançlar ve gelenekler, bina stoğu ve yaşı, engelli bireyler, yaşam hatlarının ve altyapının yoğunluğu ve

tipi de sosyal zarar görebilirliği etkilemektedir. Zarar görebilirlik göstergeleri, bazı toplulukların doğal afetlerden niçin daha fazla etkilendiğini açıklamaya çalışır. Aynı zamanda acil durum, müdahale ve iyileşme hususunda daha fazla yardıma ihtiyaç duyan kişileri belirlemek için de kullanılabilir (Url-4).

### Zarar Görebilirlik Eğrileri

Bu eğriler tehlike şiddeti ve zarar verisi arasındaki ilişkiye bağlı olarak oluşturulur. Tehlike şiddetinin yüksek düzeyindeki zarar artışı ile eğri formundaki ilişkiyi sunar. Bu metod daha çok fiziksel zarar görebilirlik analizlerinde kullanılmaktadır. Zarar görebilirlik eğrileri zarar fonksiyonları veya durum-zarar eğrileri olarak da isimlendirilir. Zarar görebilirlik eğrileri belirli bir tehlike şiddeti altında belirli bir zarar görebilirlik durumunu aşan risk elemanları grubu için olasılığı sunar. Aşağıdaki Şekil 5'te zarar görebilirlik ve kırılma eğrileri gösterilmektedir. Şekilde afet tehlikesinin şiddetiyle olasılık ve zarar görebilirlik arasında ilişki verilmiştir. Buna göre tehlikenin şiddeti arttıkça afetin oluşum olasılığı ve ortaya çıkarabileceği zararın boyutu da büyümektedir. Tehlike şiddetinin en fazla olduğu durumda kırılma ve afet zarar görebilirlik düzeyi de en fazladır. Şekilde görüldüğü gibi; kırmızı renk ile gösterilen hat, yeşil hattan daha düşük zarar görebilirliğe sahip risk elemanını göstermektedir. Burada tamamen yıkım, aşırı, orta ve az zarar olmak üzere dört farklı zarar durumu açıklanmıştır. Belirli bir tehlike şiddetinde verilen durumlar farklı olasılıklara sahiptir. Örnek olarak sol noktalı çizgi orta düzeyde veya daha kötü zarar görme ihtimalinin bulunmadığını göstermektedir. Orta noktalı çizgi az veya daha yüksek zarar görebilme ihtimalini göstermekte iken, tamamen zarar görme ihtimali ise hala sıfırdır.



Şekil 5: Kırılma eğrileri (üstte), zarar görebilirlik eğrileri (altta), (Van Westen vd., 2011b).

Bu eğriler çoğunlukla bina tipine özgüdür. Bir tehlikenin yoğunluğu beklenen hasarlarla ilişkilendirilirken, bu hasarların maliyeti ise risk altındaki toplam değerle ilişkilendirilir. Bu tür yaklaşımın dezavantajı risk altındaki unsurların kırılma eğrilerine

katkıda bulunan diğer faktörleri (kat sayısı, pencere veya binanın yaşı gibi, başta bina tipi olmak üzere) binanın yalnızca bir özelliğiyle sınırlandırmasıdır. Ayrıca kırılmalık eğrilerinin geliştirilmesi süreci çok sayıda hasarlı bina hakkında bilgi gerektirmektedir (Kappes vd., 2012a). Bu eğriler doğrudan zarar görebilirlik maliyetlerini tahmin etmek için kullanılan en yaygın metottur. Kırılmalık eğrileri araba, bina, ev eşyaları gibi çok sayıda risk elemanının sel derinliği, hızı ya da süresi gibi olay nitelikleri ile alakalı zarar oranı (yer değiştirme maliyeti) ya da zarar yüzdesi durumları ile alakalıdır. Kırılmalık fonksiyonları ya sel ve zarar araştırma verisinden bağımsız olarak geliştirilen uzman görüşüne ya da tarihsel veya yapay fonksiyonlardan geliştirilen deneysel eğrilere dayalı olmaktadır (Schmidt vd., 2011).

## Çoklu Zarar Görebilirlik

Afet tehlikelerinin her birinin yapısı, doğası birbirinden farklıdır. Dolayısıyla farklı afetlerin gerçekleşme durumunda risk elemanlarına olan etkisi de farklılaşır. Bunun sonucu olarak farklı afetlerin aynı risk elemanı üzerindeki ortaya çıkarabileceği zarar durumu da değişir. Bu nedenle tekli afet tehlikesinin ortaya çıkardığı zarar görebilirlik düzeyi her zaman için çoklu tehlike durumunda ortaya çıkabilecek zarar görebilirlik durumundan farklı olur. Örnek olarak; nüfus, altyapı, binalar, kültürel miras gibi risk elemanları değişik tipteki tehlikelere karşı farklı zarar görebilirlik düzeyi sergilerler. Bu tür afetlerin zararlarına karşı koyabilmek ve onlardan korunabilmek için farklı tipte kapasite ve davranış kalıpları gerekir. Afet tehlikelerine maruz kalan varlıkların doğalarının farklılıkları yüzünden her bir afet tehlikesine karşı zarar görebilirliği ölçebilmek için gerekli parametreler farklı olabilmektedir (potansiyel ölüm sayıları, potansiyel yıkım). Sel durumunda zarar görebilirlik potansiyel zarar derecesi olarak açıklanabilirken, toksit madde sızıntısında zarar görebilirlik onu temizlemek için gereken zaman bakımından açıklanabilir (Carpignano vd., 2009). Bu durum çoklu zarar görebilirlik ölçümünü zorlaştırmaktayken, zarar görebilirlik değerlendirmesinde farklı yöntemlerin kullanımını gerektirmektedir.

Çoklu zarar görebilirlik analizi bina ve altyapıların kültürel miras ve yaşam hatlarının, insan ve hayvanların, tarımsal alan ve ormanlar gibi doğal sistemlerin ve ekosistemlerin dikkatlice belirlenmesini içerir. Zarar görebilirlik fonksiyonları ve maruziyet her bir tekli risk senaryosu için tahmin edilebilir. Tehlikeler arası etkileşimlerin ve zarar görebilirliklerin dikkatlice hesaba katılması gerekir. Aslında, birbirini takip eden tehlikelerin zarar görebilirliği iki farklı zarar görebilirliğin basit toplamından daha büyük olabilir. Örnek olarak, volkanik püskürme ile binanın çatısında kül birikiminden sonra deprem aynı risk elemanını etkilerse, ortaya çıkan zarar görebilirlik normal koşullardaki zarar görebilirlikten ciddi biçimde fazla olabilir. Bu yüzden birkaç santimlik kül, bina için doğrudan zarar ortaya çıkarmasa da ciddi şekilde deprem zarar görebilirliğini ve risk düzeyini artırır (Marzocchi vd., 2012).

Birbirinden farklı niteliklere sahip olan afetlerin eş zamanlı ya da birbirini tetikleyecek şekilde gelişmesi ile beraber risk elemanları da bu afetlerden farklı biçimde etkilenecektir. Böylece risk elemanlarının zarar görebilirlik düzeyleri de her bir afet türü için farklı gelişecek ve tehlikelerin eş zamanlı etkisi ile tekli zarar görebilirlikten farklı şekilde bütünsel zarar görebilirliğin oluşmasına neden olacaktır (Kappes, 2011). Bu tür bütünsel zarar görebilirliklerin tanımlanabilmesi için zarar görebilirlik eğrileri üç boyutlu zarar görebilirlik yüzeylerine dönüştürülür. Çoklu zarar görebilirliğin değerlendirilmesinde kullanılan yaklaşımlardan birisi de Granger ve diğ. (1999) tarafından öne sürülen bir yaklaşım olan niteliksel değerlendirmedir. Bu yöntemde tehlikeler karşısında bina zarar görebilirliği basit bir matrisle gösterilmektedir. Her bir tehlikenin zarar görebilirliğe etkisi farklı düzeyde oluşacağı için bina niteliklerine bağlı olarak zarar görebilirlik seviyesi de değişecektir. Örneğin deprem veya sel gibi afet tehlikelerinin oluşumu sırasında çatı tipinin zarar görebilirliğe etkisi önemli değilken, teknolojik afet ve yangın tehlikelerinin meydana gelişinde çatı tipinin zarar görebilirlik üzerindeki etkisi çok önemlidir (Tablo 1). Bunun yanı sıra, yapılacak çalışmanın önemine bağlı olarak zarar görebilirlik faktörlerinin ağırlıklandırması için verilecek puanlarda da değişiklikler olmaktadır. Örneğin, acil durum anında binanın yüksekliği dikey yönde tahliyeyi kolaylaştırmaktadır. Bu yönüyle binaların yüksek olması zarar görebilirliğin azalmasında olumlu yönde katkı yapar. Ancak, zarar görebilirlik ekonomik kayıp bakımından ele alındığında bina yüksekliğinin, afet tehlikesinden etkilenen bina yüzdesine göre zarar görebilirlik üzerindeki etkisi daha düşük olacaktır (Kappes vd., 2012a).

**Tablo 1:** Farklı Tehlikeler Karşısında Zarar Tahmini İçin Bina Niteliklerinin Önem Dereceleri

Bina özellikleri	Deprem	Sel	Heyelan	Teknolojik	Yangın
Yapı tipi	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli	Az önemli
İnşaat malzemeleri	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli
Bina kodu uygulaması	Çok önemli	Az önemli	Önemli değil	Az önemli	Önemli değil
Yaş	Az önemli	Az önemli	Önemli değil	Az önemli	Önemli değil
Bakım	Çok önemli	Çok önemli	Önemli değil	Az önemli	Önemli değil
Çatı tipi	Az önemli	Az önemli	Önemli değil	Çok önemli	Çok önemli
Bina yüksekliği	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli
Yüzölçüm	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli
Bina hacmi	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli
Biçim	Çok önemli	Az önemli	Az önemli	Az önemli	Önemli değil
Diğer binalara yakınlık	Çok önemli	Az önemli	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli
Tehlike kaynağına yakınlık	Az önemli	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli
Bitkiye yakınlık	Önemli değil	Önemli değil	Önemli değil	Önemli değil	Çok önemli
Açıklıklar	Önemli değil	Çok önemli	Çok önemli	Çok önemli	Önemli değil



Kaynak: Van Westen vd., 2011a

Tehlikeler birbiriyle çakıştığı zaman risk elemanları birden çok tehlikenin etkisinde kalabilir veya iki farklı tehlike olayının eş zamanlı etkisine maruz kalabilir. Bunun sonucunda zarar görebilirlik değişir. Böylece çoklu zarar görebilirlik durumunun incelenmesi zorunlu olur. Bu hem zamansal hem de mekânsal olarak çakıştırmayı gündeme getirir. Tehlikelerin zamansal ve mekânsal olarak bütünleştirilmesi 4 farklı kombinasyona yol açar: 1-Risk elemanları yalnızca mekânsal olarak bütünleşebilir. 2-Tehlikeler arasında ne zamansal ne de mekânsal bütünleşme bulunur. 3-Tehlikeler arasında zamansal ve mekânsal bütünleşme vardır. 4-Tehlikelerin zamansal olarak tetiklenmesi durumunda aralarında bütünleşme gerçekleşir (Kappes vd., 2012b). Üçüncü tipteki tehlike kombinasyonu aynı tetikleyici tarafından sonuçlanan bazı tehlikeleri ifade etmektedir. Bu tür tehlikelerin risk elemanlarına olan etkisinin belirlenmesi için geliştirilen matris Tablo 2'de verilmiştir. Bu matriste birinci tehlike, potansiyel ikinci tehlikenin karşısında bulunmakta ve ikinci bir sürece karşı birincil tehlikenin bina zarar görebilirliğine ne şekilde etkide bulunduğu belirtilmektedir. Sütunlarda birincil tehlikeler gösterilmekteyken, satırlarda birincil tehlike etkisi ile ortaya çıkan ikincil tehlikeler ve bu ilişki sonucu ortaya çıkan zararlar da tablo hücrelerinde gösterilmiştir. Örnek olarak; bir fırtına sonucunda bina çatısının havaya uçmasıyla bina zarar görebilirliğinde değişimler gerçekleşir (5. Sütun ve 2. Satır). Bunun sonucunda bina daha sonraki gelişebilecek bir kaya düşmesi olayının etkisine daha fazla açık hale gelir. Dolayısıyla bu durum ikincil tehlike etkisiyle görülebilecek zarar görebilirliğin etkisini artıracaktır. Benzer şekilde deprem afeti ile yapılara etki eden ikincil tehlike için zarar görebilirlik koşul durumları değişmektedir. Binalarda depremle beraber meydana gelen yapısal hasarlar heyelanlara karşı binaların zarar görebilirlik seviyelerini artırmaktadır. Bu tür ilişkiler birçok afet tehlikesinin arasında gerçekleşebilir. Bu tür ilişkilerin belirlenmesi ve zarar görebilirliğe ne kadar etki yapacağını ortaya çıkarılması afet risk çalışmalarında önem taşımaktadır.

**Tablo 2:** Bina Zarar görebilirliğinde Tehlikeli Olayın Sonuçlarının Etkisini Gösteren Matris

	Deprem	Heyelan	Sel	Fırtına
<b>Deprem</b>		Çatlaklar ve yapısal hasarlar özellikle ikincil etki için zarar görebilirliği artırabilir.  >>Durum göstergesinin değişimi	Suya doymuş toprak/erozyondan dolayı yer altı dengesinin bozulması	
<b>Heyelanlar (Kaya düşmesi dâhil)</b>	Yapısal zararlar ikinci etki için zarar görebilirliği artırır  >>Koşul göstergenin değişimi		Suya doymuş toprak/erozyondan dolayı yer altı dengesinin bozulması	Bir fırtına sonucu binanın çatısı uçabilir. Bu durum kaya düşmesinin etkisine binayı açık hale getirebilir.  >>Birçok niteliğin değişmesi
<b>Sel</b>		Çatlaklar ve yapısal hasarlar zarar görebilirliği artırır  Koşulun değiştirilmesi ve en küçük yapısal açıklıkların olması		
<b>Fırtına</b>		Çatlaklar ve yapısal hasarlar zarar görebilirliği artırır  >>Koşul göstergenin değişimi		

*Kaynak: Kappes vd., 2012a*

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeryüzünün sahip olduğu farklı fiziksel, hidro-meteorolojik nitelikler ve insanların yapmış olduğu beşerî aktivitelerin insanlara ve mal varlıklarına zarar vermesiyle afetler ortaya çıkar. Afet tehlikeleri bazen yalnızca tek kökenden kaynağını alır. Bazen birden fazla afet tehlikesi ya tesadüfi ya da birbirini tetikleyebilecek şekilde gerçekleşir. Sadece tek kaynaktan gelen afet tehlikelerinin ortaya çıkardığı zararlara karşı koyabilmek oldukça zor iken, birden fazla kökenden kaynaklanan afet tehlikelerinin ortaya çıkardığı zararları önleyebilme daha da zorlaşmaktadır. Bu tür afet tehlike zincirlerinde magnitüt-frekans ilişkilerinin karmaşıklaşması sonucu ikincil tehlikelerin belirlenmesi ve bu tehlikelerin ortaya çıkarabileceği zararların tespiti de güçleşmektedir.

Afet tehlikelerinin birbirini tetiklemesi, bir afet tehlikesinin diğer bir afet tehlikesini başlatması veya onun öncüsü olması durumunda gerçekleşir. Bu tür etkileşimler birçok afet türünün gelişim mekanizmasında ortaya çıkar. Örneğin, deprem sonucunda binalar yıkılıp tsunami oluşmakta, altyapı hasarları ortaya çıkmakta ve yangınlar gerçekleşebilmektedir. Benzer zarar durumu heyelanların gerçekleşmesi sonucu oluşabilmektedir. Heyelanlarla beraber yapılar yıkılmakta, barajlar taşabilmektedir. Çoğu zaman bu tür tehlike etkileşimleri sonucunda gerçekleşecek ilk afet tehlikesinin ortaya çıkarabileceği zararlar belirlenebilmesine karşın, zincir etki sonucunda ortaya çıkabilecek zararlar tahmin edilememektedir. Birbirini tetikleyerek ortaya çıkan afet tehlikelerinin ortaya çıkarabileceği zararların önlenmesi ya da en aza indirilebilmesi ancak onların gelişim sistemlerinin ya da birbirini tetikleme mekanizmalarının detaylıca incelenmesiyle mümkün olabilir. Bu tür afetlerin gelişim sürecinde karmaşık ilişkiler devreye girmektedir. Dolayısıyla bu tür ilişkilerin belirlenebilmesi farklı bilim dallarının, farklı metot ve yöntemlerin katkısını gerektirmektedir. Ancak bu metotların birbiriyle kıyas edilmesi oldukça zordur (Julia & Ferreira, 2021). Bu zorluklar çoklu tehlike çalışmalarının sınırlı kalmasına neden olmaktadır (Kappes vd., 2012b). Bu tür zorluklara rağmen mekânı etkileyen tüm afet tehlikelerinin göz önüne alınması yaklaşımı ve analiz çalışmaları farklı bilimsel çalışmalara konu olmuştur (Kappes vd., 2012a; Kappes vd., 2012b; Delmonaco vd., 2006; Pescaroli ve Alexander, 2015; Komendantova vd., 2013; Kappes, 2011; Gill ve Malamud, 2016). Ancak çoklu tehlike terminolojisi ve yaklaşımları henüz birleştirilmemiştir (Tilloy vd., 2019). Tehlike niteliklerinin farklılaşması bilimsel çalışmalarda kullanılan yöntemlerin

değişimini zorunlu kılmaktadır. Örneğin Del Monaco vd. (2006) tarafından geliştirilmiş tehlike şiddeti sınıflama ölçeğinde farklı tehlike şiddeti skorlarını standardize etmek ve karşılaştırabilmek amacıyla; tehlikelerin şiddetlerine düşük, orta, yüksek olarak üç farklı tehlike sınıflaması ataması yapılmıştır. Bu yöntem tehlikelerin birbirini tetiklemediği durumlarda kullanışlıdır. Tehlikelerin birbirini tetiklemesi durumunda kullanılacak yöntem ve metot farklılaşmaktadır. De Pippo vd. (2008) yaptıkları çalışmada afet tehlikelerinin birbirini tetiklemesi durumunda ortaya çıkabilecek etkileri belirtmek için etkileşim matrislerini kullanmıştır. Kullanılan bu yaklaşımlara ilaveten Olay Ağaçları yöntemi de afetleri tetikleyen tehlikelerin magnitütlerini ve şiddetlerini belirleyebilmek amacıyla oluşturulur. Başlangıç noktası tetikleyici olayın kendisidir (Url-2). Tehlike analizlerinde kullanılan her bir modelin kendine ait avantaj ve dezavantajları bulunur. Bu yöntemlerden deneysel modeller veri odaklı oldukları için veri kalitesine daha duyarlıdır. Olasılıksal yaklaşımlarda ise istatistiksel dağılım, bağımlılık model seçimi gibi ek zorluklar bulunmaktadır (Tilloy vd., 2019). Bu tür zorlukların yanında çoklu tehlikelerin değerlendirilmesi için gereken veri kalitesi, yeterliliği, çözünürlüğü ve verilerin ortak formatta üretilmemesi tehlike analizlerinin öncesinde ortaya çıkabilecek zorlukları oluşturmaktadır.

Zarar görebilirlik analizi afet tehlikelerinin gerçekleşmesi sonucunda insanlara ve insanların sahip olduğu mal varlıklarına tehlikenin ne kadarlık hasar vereceğinin belirlenmesi işlemidir. Fiziksel, sosyo-ekonomik ve çevresel unsurlar üzerinde ortaya çıkabilecek yıkımlar afet gerçekleşmeden önce tespit edilmeye çalışılır. Fiziksel zarar görebilirlik analizi; yapıların, altyapı unsurlarının, ulaşım ağlarının afet tehlikelerinden zarar görebilme durumunu inceler. Sosyo-ekonomik zarar görebilirlik analizi ise toplumu oluşturan grupların afetlere karşı ne derece hassas olduğunu vurgular. Çevresel zarar görebilirlik analizinde ise çevresel sistemlerin, akiferlerin, sulak alanların afetler karşısındaki kırılganlığı ele alınır. Daha önceleri zarar görebilirlik sadece fiziksel anlamda ele alınırken şimdilerde zarar görebilirliğin ekonomik ve sosyal boyutu da ele alınmaya başlanmıştır (Birkmann, 2007). Bu durum toplumun farklı kesimlerinin sosyo-ekonomik özelliklerinin de niteliklerinin incelenmesini zorunlu kılmaktadır. Aynı mekânda birleşen tehlike sayısı arttıkça zarar görebilirliğin fonksiyonu ve nitelikleri değişmekteyken, tehlikenin olumsuz olarak etkilediği risk elemanı sayısı artmaktadır. Bunun sonucunda zarar görebilirliğin ölçülmesi zorlaşmaktadır.

Türkiye'de çoklu tehlike analizi yeni gündem olan konulardan birisidir. Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmaktadır: Bazı çalışmalarda çoklu tehlike gereksinim analizi yapılmıştır (Taştan ve Aydınoglu, 2015; Soyhan, 2020). Bazılarında ise gereksinim analizinden farklı olarak çoklu tehlikelerin mekânsal analizi yapılmış, ancak tehlikeler aralarındaki ilişkiler ele alınmamıştır (Demir vd., 2022; Değerliyurt, 2013; Uzer & Gülersoy, 2011; Öncü, 2021). Çoklu tehlike konusunda yapılan çalışmaların çok az bir kısmını tetikleyen tehlikeler oluşturmaktadır (Dökmeci & Akduman, 2022; İlerisoy vd., 2022). Bu çalışmalarda tetikleyen tehlikelere ait literatür bilgisi verilmiş, tehlikelerin tetikleme durumlarına dair analizler yapılmamıştır. Görüleceği üzere birbirini tetikleyen tehlikelere ait çalışmalar çoklu tehlike çalışmalarının çok az bir kısmını oluşturmaktadır. Hâlbuki afetlerde oluşan zararlar daha çok tetikleyen tehlikeler nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle afet risk yönetiminde zarar azaltma çalışmalarında risk elemanlarını etkileyebilecek tüm tehlikelere odaklanılmalı ve tehlikeler arasındaki etkileşimler dikkatle incelenmelidir. Yapılan çalışma ile tehlikeler arasında gerçekleşen etkileşimlere bağlı olarak ortaya çıkan durumlar anlatılmış, tehlike analizleri için kullanılan yöntemler tanıtılmıştır. Ayrıca zarar görebilirlik ayrıntılı olarak incelenmiş ve bu alanda oluşturulan literatür bilgisine yer verilmiştir. Çalışmanın sonunda ise çok az incelenen çoklu zarar görebilirliğe yer verilmiştir. Böylelikle tetikleyen tehlikelere ait terminoloji ve analiz yöntemleri hakkında farkındalık oluşturulmaya çalışılmış ve afet risk yönetiminin önemli bir aşaması olan zarar azaltma çalışmalarına katkı sağlanmak istenmiştir.

## | EXTENDED ABSTRACT |

**Triggering Hazards and Vulnerability in Disasters**Bekir TAŞTAN<sup>ID</sup> Arif Çağdaş AYDINOĞLU<sup>ID</sup>**INTRODUCTION**

Due to their nature, disasters pose a serious threat to both persons and property. By coincidence, some disaster hazards coexist in the same location. Some disaster hazards trigger each other. A landslide, for instance, could lead to a dam failure and result in a flood. As a result, the initial event triggers a chain reaction that may result in other occurrences (Komendanvota et al., 2013). When disasters are evaluated in the context of triggering hazards, it is possible to estimate the risks of sudden, severe, and triggering hazards as well as the risks of terrorism and other larger-scale disaster hazards (McEntire, 2001). There is no common format for evaluating triggering hazards because the criteria for evaluating triggering hazards vary (He and Weng, 2020). When natural hazards affect risk elements, the vulnerability caused by different hazards also varies (Kappes et al., 2012b). When the hazard intensity function and the domino-effect hazards interact, studies to determine the susceptibility of elements to risks may differ (Marzocchi et al., 2012). While evaluating disaster hazards that trigger one another, it is challenging to identify the factors that cause disaster threats to develop in this manner (Delmonaco et al., 2006). This study explains how disaster hazards originate, how they interact, and how vulnerable we are to them. Each year, disaster hazards cause enormous loss of life and property around the world. In this manner, an effort has been made to contextualize the examination of vulnerability and hazard, two crucial elements of risk studies, concerning the triggering hazards.

**RECENT DISASTER PROFILE**

Human losses from disasters are exacerbated by coordination errors. Recent events involving disasters support this assertion. In addition to the 2010 Haiti earthquake, the 2004 Indian Ocean earthquake and tsunami, Cyclone Nargis in 2008, and the famine that struck Ethiopia between 1983 and 1985 each claimed the lives of almost 200.000 people (Ritchie and Hoser, 2020). When the tsunami hit Japan in 2011 as a result of the magnitude 9 earthquake, coastal structures were submerged, and waves carried debris and damaged buildings. In 2020, calamities persisted in several locations as the global epidemic expanded. Disasters remained successful in various ways even after the global epidemic in 2020 spread (Yeh et al., 2013). There were 432 disasters worldwide in 2021. While 101 million people were affected by these calamities, 11.755 people lost their lives as a result of them. These calamities cost the economy USD 252.1 billion in damage (CRED, 2021). The number of people sickened by the COVID-19 pandemic, which spread in 2020, was 51.395.910 people by 09 May 2022, while the number of people who died from this disease was 6.249.700 (WHO, 2022).

The physical structure and climatic conditions of Turkey have made it vulnerable to many natural calamities throughout antiquity. Different disasters strike Turkey at different times as a result of the country's three main active fault lines, rough and mountainous geography, the effect of numerous air masses, and structural issues with urbanization. In the past, several civilizations in Turkey have collapsed due to natural calamities such as earthquakes, floods, landslides, avalanches, and fires (Şengün and Temiz, 2007). Between 1923 and 2016, Turkey saw 24.3 percent of disasters that were caused by earthquakes, 30.4 percent by accidents, 13 percent by floods, and 5.8 percent by explosions. Storms, plagues, and large-scale movements account for 27.5 percent of the disasters that took place during these years (Bahadır and Uçku, 2018).

## TRIGGERING DISASTER HAZARDS

If one disaster hazard influences the formation of another, mutually triggering hazards arise (Kappes, 2012b). Triggering effects can be intricate and multi-layered. They demonstrate how algorithms evolve over time. Due to vulnerability's pervasive influence, minor risks can become more significant (Pescaroli and Alexander, 2015). Flooding and fires happened during Hurricane Harvey in America in 2017, and explosions in factories were seen alongside these threats (Cutter, 2018). Kocaeli, Sakarya, Bolu, and Yalova were among the provinces in Turkey that suffered the worst damage as a result of the Gulf earthquake in 1999. The provinces of Istanbul, Eskişehir, and Bursa, which fall under the influence of these cities, were also adversely impacted and even experienced financial losses (Erdik, 2000). Numerous patterns can emerge in the interaction between the triggering hazards. In addition to this occurrence, several secondary risks could happen. These hazards include shallow and slow-moving landslides, avalanches, rockfalls, tsunamis, and debris flows. Slow-moving or shallow landslides can contribute to soil erosion and the development of deeper landslides. Extreme weather conditions and human activity can cause land surface degradation, which can lead to wildfires (Van Westen and Greiving, 2017).

### Assessment Methods for Triggering Disaster Hazards

Interaction matrices, event trees, and probabilistic models can be used to assess the risks of triggering a disaster hazard. A collection of procedures can be used to identify triggering hazards and their relationships, and interaction matrices can be utilized to show how one hazard affects another (Kappes et al. 2012a). The event tree analysis is based on binary logic, where there are always two possibilities: whether or not the dangerous event occurred, or whether a specific component of a technical system is operational or not (Van Westen et al., 2011b). Two categories of probabilistic models stand out: 1 – Link (also experience-based), and 2 – Multivariate models. While the link model primarily focuses on modeling the independent structure, the multivariate model also incorporates extreme value modeling (modeling each variable distribution). Modeling component hazards typically uses probabilistic models. Estimation of the rotation period and overall exceedance probabilities is possible using these models (Tilloy et al., 2019).

## VULNERABILITY

The qualities of people or human resources that make communities or systems more susceptible to the negative effects of catastrophic threats are known as vulnerability (UNISDR, 2009). It is the impact of catastrophes on people and is a result of institutional, political, economic, social, cultural, and psychological variables that have an impact on the environment and people's way of life (Url-3). Previously, it was believed that vulnerability was tied to how durable designed structures were physical. Today, it is believed that vulnerability is more closely related to social and environmental factors (Birkmann, 2007). To explain vulnerability, the concepts of exposure and susceptibility must also be explained. Exposure, endurance, and flexibility all contribute to human susceptibility. Exposure is mostly a result of the surrounding landscape, the design of the building, and the location. Conditions of economic, psychological, and physical health are reflected in resilience (or resistance). On the other side, resilience is the capacity for a speedy recovery, adaptation, or resistance to risk. This comprises organized and original relief and restoration initiatives (Pelling, 2012). There are three areas of vulnerability analysis: physical, socioeconomic, and environmental. The degree to which homes, streets, bridges, public buildings, and schools can resist the



effects of a disaster is referred to as physical vulnerability (Woodruff et al., 2017). The term “physical vulnerability” describes aspects of structures generally. However, geographical phenomena, site, location, and habitation patterns are all components of physical vulnerability (Cardona et al., 2012). Social and economic imbalances hurt various social groups and have an impact on how vulnerable they are to catastrophes. This leads to social and economic fragility. Access limitations to political institutions, religious constraints, and traditional practices are all linked to unequal access to resources (Cutter et al., 2003). Age, gender, and disability-based socioeconomic indicator indices are typically used to quantify social vulnerability (Guillard-Gonçalves et al., 2018). Many features can be found in environmental components such as wetlands, lakes, endemic plant species, waterways, coral reefs, underground aquifers, etc. Disasters could potentially affect these components. People are affected negatively by changes in these surroundings, either directly or indirectly. The potential impact of catastrophic hazards is increased by these environmental changes, but they also differ in terms of the degree of vulnerability (Coppola, 2011).

### Methods of Vulnerability Assessment

Studying disaster risk and figuring out its features depend heavily on measuring susceptibility. When the ratio of magnitude to frequency changes for disasters that lead to one another, so does the degree of vulnerability. Therefore, when researching vulnerability, many approaches and methodologies are required. These techniques include vulnerability indications. Important instruments for testing vulnerability-related coping abilities include vulnerability indicators and variables (Birkmann, 2007). Curves, matrices, and indicators are used to depict vulnerability. Every technique has its benefits and drawbacks. While matrices indicate classification and provide a less precise approximation, vulnerability curves display a continuous approximation. On the other hand, the indicator approach takes into account some factors that affect the overall vulnerability of risk aspects. This strategy is more effective when dealing with several risks since it takes into account multiple aspects or qualities (Kappes, 2011).

### Multiple-Vulnerability

It involves careful assessment of natural systems and ecosystems, such as agricultural lands and forests, as well as multiple vulnerability evaluations of buildings and infrastructure, cultural heritage and lifelines, people, and animals. For each unique risk scenario, vulnerability functions and exposure can be assessed. It is important to carefully analyze how vulnerabilities and risks interact. In fact, triggering hazards’ vulnerability might be more vulnerable than the mere addition of two different vulnerabilities. For instance, if an earthquake occurs after a volcanic eruption and ash have accumulated on a building’s roof, the consequent risk may be considerably higher than the risk under normal circumstances. A few inches of ash considerably raise the building’s sensitivity to earthquakes, even if they do not directly harm it (Marzocchi et al., 2012). The risk aspects will also be impacted differentially by various disasters if they occur concurrently or act as triggers for one another. Due to the simultaneous effects of hazards, the vulnerability of risk factors will therefore develop differently for each type of disaster and will be distinct from a single vulnerability (Kappes, 2011). Vulnerability curves are transformed into three-dimensional vulnerability surfaces to find such integrated vulnerabilities. Risk components may be affected by more than one hazard or be vulnerable to the simultaneous effects of two different hazard events when hazards overlap. The vulnerability alters as a result. Consequently, it is essential to look at various vulnerabilities (Kappes et al., 2012b).

## CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Damage that can be caused by disaster hazards that trigger each other will only be prevented or lessened if their generation systems or triggering mechanisms are thoroughly examined. Such calamities are the result of complex interrelationships at play. As a result, identifying these interrelationships involves the input of several disciplines, methodologies, and processes. Comparing different approaches, meanwhile, is quite challenging (Julià & Ferreira, 2021). Due to these challenges, multi-hazard studies are not widely used. Despite these challenges, various scientific studies have examined the methodology and analysis of all disaster hazards affecting space (Kappes et al., 2012a; Kappes et al., 2012b; Delmonaco et al., 2006; Pescaroli and

Alexander, 2015; Komendantova et al., 2013; Kappes, 2011; Gill and Malamud, 2016). However, terminology and methods for multi-hazard situations have not yet been merged (Tilloy et al. 2019). It is necessary to alter the scientific research procedures to differentiate between hazard characteristics. For instance, Delmonaco et al. (2006) assigned three different levels of hazard severity to the hazard rating scale: low, medium, and high, to standardize and compare various levels of hazard. When the risks do not interact, this approach is helpful. When the hazards do interact with one another, a different strategy should be used. In their work, De Pippo et al. (2008) employed interaction matrices to illustrate the consequences that can happen when disaster hazards interact with one another. The event tree method is also used to estimate the size and intensity of hazards that cause disasters in addition to previous methods. The trigger event itself serves as the starting point (Url-2). Each model employed in hazard analysis has benefits and drawbacks of its own. Experimental models, which are data-driven, are more sensitive to the quality of the data than the other methods. Additional challenges for probabilistic techniques include statistical distribution and dependent model selection (Tilloy et al., 2019). In addition to these challenges, the difficulty to produce data in a standard format, the requirement for data quality, sufficiency, and resolution to assess multiple hazards.

While only physical vulnerability has historically been studied, the economic and social aspects of vulnerability are now beginning to be considered (Birkmann, 2007). Due to this circumstance, it is necessary to research the socio-economic traits of various societal groups. The purpose and characteristics of vulnerability alter as there are more hazards present in a given area, and there are more risk components that are adversely impacted. As a result, determining vulnerability is challenging.

The examination of multiple hazards is one of the newest topics being discussed in Turkey. The following conclusions can be drawn from studying the studies in this area: Data requirement analysis for various hazards was carried out in some studies (Taştan and Aydınoğlu, 2015; Soyhan, 2020). A spatial analysis of various risks was undertaken, as opposed to data requirement analysis, however, the relationships between the hazards were not taken into account (Demir et al. 2022; Değerliyurt, 2013; Uzer and Gülersoy, 2011; Öncü, 2021). Studies on multiple hazards, particularly those involving triggers, make up a comparatively small portion of the literature (Dökmeci & Akduman, 2022; İlerisoy et al., 2022). These studies did not perform the triggering conditions for the hazards; instead, they included a literature review concerning the triggering hazards. As is evident, studies on multiple hazards only make up a small part of studies on hazards that trigger one another. For this reason, disaster risk management should consider all hazards that have the potential to alter risk components, and the interconnections between hazards should be carefully examined. The paper presents the techniques used to analyze the multiple hazards as well as the scenarios that result from interactions between them. Furthermore, the vulnerability was carefully examined, and pertinent analysis techniques were also incorporated. Multiple-vulnerability, which has received minimal research, is listed at the study's conclusion. In this approach, an effort has been made to increase public understanding of the terms and techniques used to analyze triggering hazards.

## KAYNAKÇA / REFERENCES

- AON. (2021). *Catastrophe management & analytics. Weather climate catastrophe insight*. 2020 Annual Report. 20 Ekim 2021 tarihinde, <https://www.aon.com/global-weather-catastrophe-natural-disasters-costs-climate-change-2020-annual-report/index.html>, adresinden edinilmiştir.
- Bahadır, H., & Uçku, R. (2018). Uluslararası acil durum veri tabanına göre Türkiye Cumhuriyeti tarihindeki afetler. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 28–33.
- Birkmann, J. (2006). Indicators and criteria for measuring vulnerability: Theoretical bases and requirements. *Measuring vulnerability to natural hazards: Towards Disaster Resilient Societies*, 55–77.
- Birkmann, J. (2007). Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environmental Hazards*, 7(1), 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.04.002>
- Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (2003). *At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Taylor & Francis.
- Cardona, O. D., Van Aalst, M. K., Birkmann, J., Fordham, M., Mc Gregor, G., Rosa, P., Pulwarty, R. S., Schipper, E. L. F., Sinh, B. T., & Décamps, H. (2012). Determinants of risk: Exposure and vulnerability. In *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: Special report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 65–108). Cambridge University Press.
- Carpignano, A., Golia, E., Di Mauro, C., Bouchon, S., & Nordvik, J. P. (2009). A methodological approach for the definition of multi-risk maps at regional level: First application. *Journal of Risk Research*, 12(3–4), 513–534. <https://doi.org/10.1080/136.698.70903050269>

- Coppola, D. P. (2011). Introduction to International Disaster Management. In *Introduction to International Disaster Management*. Elsevier. UK. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-64027-7>
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters-CRED. (2021). *Disaster Year in Review 2020 Global Trends and Perspectives Report*. Issue No. 62, 20 Ekim 2021 tarihinde, <https://reliefweb.int/report/world/cred-crunch-newsletter-issue-no-62-may-2021-disaster-year-review-2020-global-trends-and>, adresinden edinilmiştir.
- Cutter, S. L. (2018). Compound, cascading, or complex disasters: What's in a name? *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 60(6), 16–25. <https://doi.org/10.1080/00139.157.2018.1517518>
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242–261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.840.2002>
- De Pippo, T., Donadio, C., Pennetta, M., Petrosino, C., Terlizzi, F., & Valente, A. (2008). Coastal hazard assessment and mapping in Northern Campania, Italy. *Geomorphology*, 97(3–4), 451–466.
- Delmonaco, G., Margottini, C., & Spizzichino, D. (2006). *ARMONIA methodology for multi-risk assessment and the harmonisation of different natural risk maps. Deliverable 3.1.1. ARMONIA EU Project*.
- Demir, A., Kemeç, S., & İlke, F. D. (2022). Afet riski değerlendirmelerinde çoklu tehlike analizi 'Erciş, Van Örneği.' *Resilience*, 6(1), 15–38.
- Dickson, E., Baker, J. L., Hoornweg, D., & Asmita, T. (2012). *Urban risk assessments*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8962-1>
- Dökmeçi, A. H., & Akduman, Ö. (2022). Doğal olayların tetiklediği KBRN-p tehlikesi ve riski: Türkiye örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(1), 165–177.
- Eidsvig, U., McLean, A., Vangelsten, B. V., & Kalsnes, B. (2011). Socio-economic vulnerability to natural hazards—proposal for an indicator-based model. *Geotechnical Safety and Risk. ISGSR 2011*, 141–148.
- Erdik, M. (2000). *Report on 1999 Kocaeli and Düzce (Turkey) earthquakes*. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü.
- European Commission. (2007). *Assessing and mapping multiple risks for spatial planning; approaches, methodologies and tools in Europe*. ARMONIA Project, 15 Ekim 2021 tarihinde, <https://cordis.europa.eu/project/id/511208>, adresinden edinilmiştir.
- Gill, J. C., & Malamud, B. D. (2016). Hazard interactions and interaction networks (cascades) within multi-hazard methodologies. *Earth System Dynamics*, 7(3), 659.
- Granger, K., Jones, T. G., Leiba, M., & Scott, G. (1999). Community risk in Cairns: a multi-hazard risk assessment. *Australian Journal of Emergency Management*, 14(2), 25–26.
- Guillard-Gonçalves, C., & Zêzere, J. L. (2018). Combining social vulnerability and physical vulnerability to analyse landslide risk at the municipal scale. *Geosciences*, 8(8), 294.
- He, Z., & Weng, W. (2020). Synergic effects in the assessment of multi-hazard coupling disasters: Fires, explosions, and toxicant leaks. *Journal of Hazardous Materials*, 388, 121813. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121813>
- Hewitt, K., & Burton, I. (1971). *The hazardousness of a place: a regional ecology of damaging events*. University of Toronto, Department of Geography research publication.
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies-IFRC. (2020). World disaster report 2020.
- İlerisoy, Z., Gökşen, F., Soyluk, A., & Takva, Y. (2022). Deprem kaynaklı ikincil afetler ve Türkiye örnekleme. *Online Journal of Art and Design (OJAD)*, 10(2).
- Julià, P. B., & Ferreira, T. M. (2021). From single-to multi-hazard vulnerability and risk in historic urban areas: A literature review. *Natural Hazards*, 108(1), 93–128.
- Kappes, M. S., Papathoma-Köhle, M., & Keiler, M. (2012a). Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology. *Applied Geography*, 32(2), 577–590. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.07.002>
- Kappes, M. S., Keiler, M., von Elverfeldt, K., & Glade, T. (2012b). Challenges of analyzing multi-hazard risk: A review. In *Natural Hazards*, 64(2), 1925–1958. <https://doi.org/10.1007/s11069.012.0294-2>
- Kappes, M. S. (2011). *Multi-hazard risk analyses: a concept and its implementation*. PhD thesis. University of Vienna.
- Komendantova, N., Mrzyglocki, R., Mignan, A., Khazai, B., Wenzel, F., Patt, A., & Fleming, K. (2013). *New Multi-Hazard and Multi-Risk Assessment Methods for Europe*. MATRIX results II and Reference Report. MATRIX Consortium.
- Marzocchi, W., Garcia-Aristizabal, A., Gasparini, P., Mastellone, M. L. & Ruocco, A. Di. (2012). Basic principles of multi-risk assessment: A case study in Italy. *Natural Hazards*, 62(2), 551–573. <https://doi.org/10.1007/s11069.012.0092-x>
- Matanle, P. (2011). The Great East Japan Earthquake, tsunami, and nuclear meltdown: towards the (re) construction of a safe, sustainable, and compassionate society in Japan's shrinking regions. *Local Environment*, 16(9), 823–847.
- McEntire, D. A. (2001). Triggering agents, vulnerabilities and disaster reduction: towards a holistic paradigm. *Disaster Prevention and Management*, 10(3), 189–196.
- Öncü, S. (2021). *CBS yöntemiyle Bursa'nın bütünlük doğa tehlike analizi*. Yüksek lisans tezi. Uludağ Üniversitesi. Bursa

- Pelling, M. (2012). *The vulnerability of cities: natural disasters and social resilience*. Routledge.
- Pescaroli, G., & Alexander, D. (2015). A definition of cascading disasters and cascading effects: Going beyond the “toppling dominos” metaphor. *Planet@ Risk*, 3(1), 58–67.
- Ritchie, H. & Hoser, M. (2020). *Natural Disasters*, 15 Ekim 2021 tarihinde, <https://ourworldindata.org/natural-disasters>, adresinden edinilmiştir.
- Schmidt, J., Matcham, I., Reese, S., King, A., Bell, R., Henderson, R., Smart, G., Cousins, J., Smith, W., & Heron, D. (2011). Quantitative multi-risk analysis for natural hazards: A framework for multi-risk modelling. *Natural Hazards*, 58(3), 1169–1192. <https://doi.org/10.1007/s11069.011.9721-z>
- Soyhan, M. C. (2020). *Çoklu afet risk yönetimi ile oluşan tehlike & zararın belirlenmesine yönelik gereksinim analizi ve Akyazı özelinde modelleme*. Yüksek lisans tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya Üniversitesi.
- Şengün, H. & Temiz, A. (2007). Afet yönetimi ve Karabük. *TMMOB Afet Sempozyumu*, 261–278.
- Tang, P., Xia, Q., & Wang, Y. (2019). Addressing cascading effects of earthquakes in urban areas from network perspective to improve disaster mitigation. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 35, 101065.
- Taştan, B., & Aydınöğlü, A. Ç. (2015). Çoklu afet risk yönetiminde tehlike ve zarar görülebilirlik belirlenmesi için gereksinim analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 31, 366–397.
- TC. Sağlık Bakanlığı. (2022). *Günlük COVID-19 tablosu*, 09 Mayıs 2022 tarihinde, <https://covid19.saglik.gov.tr>, adresinden edinilmiştir.
- Tilloy, A., Malamud, B. D., Winter, H., & Joly-Laugel, A. (2019). A review of quantification methodologies for multi-hazard interrelationships. *Earth-Science Reviews*, 196, 102881. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102881>
- UNISDR. (2009). 2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. *International Strategy for Disaster Reduction (ISDR)*, 09 Mayıs 2022 tarihinde, <https://www.undrr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction>, adresinden edinilmiştir.
- Url-1: Caribbean handbook on risk information management. Methodology book. Methods for risk assessment, 29 Mayıs 2021 tarihinde, <http://www.charim.net/methodology/55>, adresinden edinilmiştir.
- Url-2: Event trees, 29 Mayıs 2021 tarihinde, <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/A5-EventTrees.pdf>, adresinden edinilmiştir.
- Url-3: Understanding disaster risk. 15 Ekim 2021 tarihinde, <https://www.preventionweb.net/understanding-disaster-risk/component-risk/vulnerability#:~:text=Vulnerability%20is%20the%20human%20dimension,environment%20that%20they%20live%20in>, adresinden edinilmiştir.
- Url-4: Tracking vulnerability indicators in Vermont, 13 Şubat 2022 tarihinde, <https://www.healthvermont.gov/tracking/vulnerability-indicators>, adresinden edinilmiştir.
- Uzer, E., & Gülersoy, N. Z. (2011). Kentsel kültür mirası için risk analizi, Büyükkada örneği. *İTÜ Dergisi/A*, 10(1).
- Van Westen, C. J., & Greiving, S. (2017). Multi-hazard risk assessment and decision making. In N. R. Dalezios (Ed.), *Environmental hazards methodologies for risk assessment and management* (pp. 31–94). IWA Publishing. [https://doi.org/10.2166/978.178.0407135\\_0031](https://doi.org/10.2166/978.178.0407135_0031)
- Van Westen, C. J., Alkema, D., Damen, M. C. J., Kerle, N., & Kingma, N. C. (2011a). Multi-hazard risk assessment: Distance education course. *United Nations University–ITC School on Disaster Geo-Information Management (UNU-ITC DGIM)*.
- Van Westen, C. J., Alkema, D., Damen, M. C. J., Kerle, N., & Kingma, N. C. (2011b). Multi-hazard risk assessment. *United Nations University–ITC School on Disaster Geoinformation Management*.
- WHO. (2022). *WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard*, 09 Mayıs 2022 tarihinde, <https://covid19.who.int>, adresinden edinilmiştir.
- Woodruff, S., Vitro, K. A., & BenDor, T. K. (2017). GIS and Coastal Vulnerability to Climate Change. *Comprehensive Geographic Information Systems*, 3, 236–257. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09655-X>
- Yeh, H., Sato, S., & Tajima, Y. (2013). The 11 March 2011 East Japan earthquake and tsunami: Tsunami effects on coastal infrastructure and buildings. *Pure and Applied Geophysics*, 170(6–8), 1019–1031.