

Doğu Akdeniz'deki Tsunamijenik Depremlerin Sosyal Risklerinin Monte Carlo Yöntemi Değerlendirmesi

Cüneyt YAVUZ¹
Elçin KENTEL²

ÖZ

Bu çalışmada tarihteki büyük depremlere benzer bir tsunamijenik depremin Türkiye'nin Doğu Akdeniz kıyısında yer alan kritik bölgelerde yaratacağı olası sosyal riskler analiz edilmiştir. Deprem kaynağı olarak 365 Girit, 1222 Paphos ve 1303 Girit depremlerinden yararlanılarak Monte Carlo yöntemi ile rastgele depremler oluşturulmuş ve Nami-Dance yazılımı kullanılarak deprem kaynaklı tsunamiler modellenmiştir. Türkiye'nin Doğu Akdeniz kıyısında bulunan yerleşim yerleri, tarım alanları, limanlar ve havaalanları gibi kritik bölgeler için tsunami dalga yükseklikleri ve bağıl sosyal risk seviyeleri hesaplanmıştır. Alanya Kıyı Şeridi ve Çukurova Tarım Alanı'ndaki bağıl sosyal riskler her üç deprem lokasyonu için de "Çok Yüksek Sosyal Risk" seviyesinde çıkmıştır. Bu çalışmanın sonuçları ileride yaşanması muhtemel deprem kaynaklı bir tsunamiden korunabilmek için alınacak tedbirlerin belirlenmesi açısından yerel otoriteler ve kamu kurumlarına bilimsel bir kaynak olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Tsunamijenik depremler, monte carlo simulasyonu, sosyal risk analizi.

ABSTRACT

Social Risk Evaluation of Tsunamigenic Earthquakes using Monte Carlo Simulations in the Eastern Mediterranean Sea

A comprehensive social risk analysis is performed in this study to evaluate probable social risks due to a tsunamigenic earthquake similar to the great earthquakes in history. Using 365 Crete, 1222 Paphos and 1303 Crete earthquake locations as earthquake sources, random earthquakes were created with Monte Carlo method and earthquake-triggered tsunamis are modeled using Nami-Dance software. Inundations and relative social risk levels are calculated for each selected critical region such as city centers, agricultural areas,

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 13 Kasım 2020 günü ulaşmıştır. 13 Ağustos 2021 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- xx xxxxx xxxxxx gününe kadar tartışmaya açıktır.
- <https://doi.org/10.18400/tekderg.825393>

1 Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Teknolojisi Bölümü, Kütahya
cuneyt.yavuz@dpu.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-9767-7234>

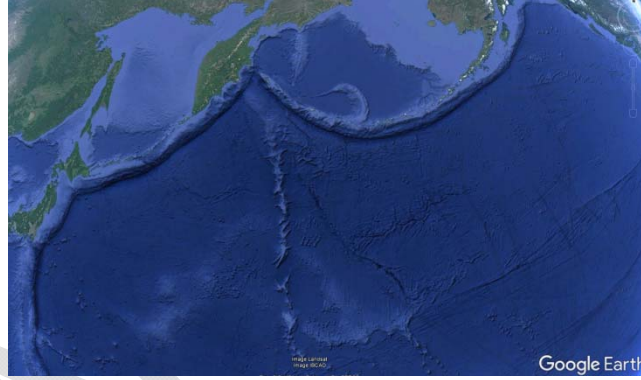
2 Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara
ekentel@metu.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-7477-0345>

ports, and airports located at the Turkish Eastern Mediterranean coastline. Alanya Coastline and Cukurova Agricultural Area are evaluated to have “Extreme Risk Level” according to the relative social risk assessment studies for all tsunamigenic earthquake location. The results of this study will be a reliable scientific source for the local and governmental authorities in planning necessary precautions against a probable tsunami event.

Keywords: Tsunamigenic earthquakes, monte carlo simulation, social risk analysis.

1. GİRİŞ

Faylar yeryüzü kabuğu üzerinde bulunan hatta göz ile görülebilen kırık kısımlardır [1]. Bazı faylar dünya yüzeyinde gözle görünür kırıklar oluşturur, bazıları oluşturmaz. Son 10000 yılda yeryüzünde kırık oluşturan faylar aktif fay olarak isimlendirilir. Diğer kısım faylar ise kör faylardır [2]. Dünya kabuğunda göz ile görülen fay hatlarına en iyi örneklerden biri “Ateş Çemberi” olarak ifade edilen Pasifik Okyanusu tabanında bulunan fay hattıdır (Fotoğraf 1).



Fotoğraf 1 - “Ateş çemberi” ile isimlendirilen Pasifik fay hattı [3]

Bütün depremler tsunami oluşturmazlar. Tsunami oluşması için en önemli kriter, deniz tabanında veya topoğrafyasında oluşan ani değişimlerdir. Deniz içerisinde oluşan depremler, volkanik aktiviteler, toprak kayması, buzul kırılmaları, ve meteor düşmesi gibi nedenler tsunamileri oluşturan başlıca etmenlerdir. En büyük tsunamiler fay hatlarının dalma-batma zonlarında oluşan depremlerden sonra gözlemlenir. Tektonik plakaların çarpışma bölgelerinde meydana gelen yüksek sismik aktiviteler, deniz tabanına yakın bölgelerde yıkıcı depremler oluşmasına neden olur. Plakalar birbirlerine doğru kayarken, deniz tabanında binlerce kilometreyi bulan alanda yer değiştirmeler oluşturur [4]. Deniz tabanında deprem kaynaklı bir atım oluştuğunda, atım üzerinde bulunan tüm su tabakasına büyük bir enerji aktarımı gerçekleşir. Bu enerji deniz yüzeyinde su seviyesinin yükselmesine (tsunami) ve yayılmasına neden olur. Derin denizde tsunami dalgalarının yüksekliği birkaç santimetre olabilirken hızı su derinliği ve yerçekiminin bir fonksiyonu olarak $V = \sqrt{gh}$ formülü ile hesaplanır. Kıyıya yaklaştıkça dalgaların hızı azalır fakat bu

durumda dalga yükseklikleri artar ve metrelerce yükseklikteki dalgalar büyük bir enerji ile kıyı şeridinde önemli ölçüde zarar verebilir. Geçmişten günümüze kadar meydana gelen tsunami olayları, kıyı şeridinde yaşayan insanların ölümüne, tarım alanlarının yok olmasına ve kıyıda yapılmış bir çok önemli yapının zarar görmesine neden olmuştur.

Çizelge 1 - Bu çalışmada kullanılan deprem parametreleri ve tanımları [8]

Parametre	Açıklama	Nami-Dance Girdisi	Bağımlı Parametre mi?	Depremden Depreme Değişim
Batimetri	Deprem ve tsunami simülasyonu için seçilen bölge	Evet	Hayır	Hayır
Izgara Büyüklüğü	Batimetriye bağlı	Evet	Hayır	Hayır
Deprem Büyüklüğü (M_w)	Sismik momentin bir fonksiyonu	Evet	Hayır	Evet
Fokal Derinlik	Deprem iç merkezini (hypocenter) ifade eder. İçmerkez ise kabuk kısmında kırılmanın başladığı Hayırttır.	Evet	Hayır	Evet
Boylam Enlem	Kırılan bölgenin lokasyonu	Evet	Evet	Evet
Doğrultu Açısı	Fayın kuzey yönüne göre açısı	Evet	Evet	Fayın lokasyonuna bağlı
Dalma Açısı	Kırığın yatay düzleme göre açısı	Evet	Evet	Hayır
Eğim Açısı	Kırılma anında fayın hareket eden parçasının fay doğrultusuna olan açısı	Evet	Evet	Fayın türüne bağlı
Atım Miktarı	Fayın önceden belirlenen referans Hayırttasından olan yer değiştirme oranı	Evet	Evet	Depremin büyüklüğüne bağlı
Sismik Moment (M_0)	Kayma modülü, fay uzunluğu, fay genişliği ve atım miktarının bir fonksiyonu	Hayır	Evet	Evet
Fay Uzunluğu (L)		Evet	Evet	Evet
Fay Genişliği (W)		Evet	Evet	Evet

Akdeniz 3900 km uzunluğu, 1600 km maksimum genişliği ve 4400 m ye varan su derinliği ile dünya üzerindeki iç denizlerin en büyüklerinden biridir. Doğu Akdeniz’de günümüzde bile yüksek sismik aktivitenin gözlemlendiği Helenik ve Kıbrıs batma-dalma zonları bulunmaktadır. Son 3000 yılda bu fay hatları üzerinde oluşan depremlerin bir sonucu olarak en az 96 tsunami olayı kayıtlara geçmiştir [5]. Doğu Akdeniz kıyıları tarih boyunca birçok medeniyetin beşiği olmuştur ve antik dünyanın yedi harikası dördü Akdeniz kıyı şeridinde inşa edilmiştir. Akdeniz kıyılarında pek çok antik kent insanlık tarafından inşa edilmiş ve başta depremler ve tsunamiler olmak üzere doğal afetler nedeniyle harap olmuştur. Son yıllarda Türkiye’nin Akdeniz sahilleri büyük ticari limanlar, hava limanları, petrol-doğalgaz boru hatları ve enerji tesisleri ile yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [6]. Bu bölgede olası yeni bir tsunamijenik depremin yaşanması durumunda günümüz koşullarında Türkiye’nin Doğu Akdeniz kıyılarında bulunan kritik bölgelerde oluşacak sosyal risk seviyelerinin detaylı araştırmaları ve değerlendirmeleri bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Kıyı ve Liman Laboratuvarı tarafından geliştirilen Nami-Dance tsunami simülasyon programı kullanılmıştır [7]. Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma Enstitüsü (USGS) deprem parametrelerinin tanımlarından oluşan kapsamlı bir deprem sözlüğü oluşturmuştur [8]. Deprem simülasyonları için gereken parametreler ve bu parametrelerin USGS tarafından hazırlanmış olan tanımları Çizelge 1’de verilmiştir. Bu çalışmada kaynak olarak kullanılan 365 Girit, 1222 Paphos ve 1303 Girit depremlerinin enlem ve boylamları, doğrultu, dalma ve eğim açıları literatürden elde edilmiştir. Deprem büyüklüğü (M_w) ve *Fokal derinlik* ise her bir Monte Carlo simülasyonunda bu değişkenleri temsil eden olasılık dağılımlarından rastgele seçilmiştir.

2. TEORİK METOT

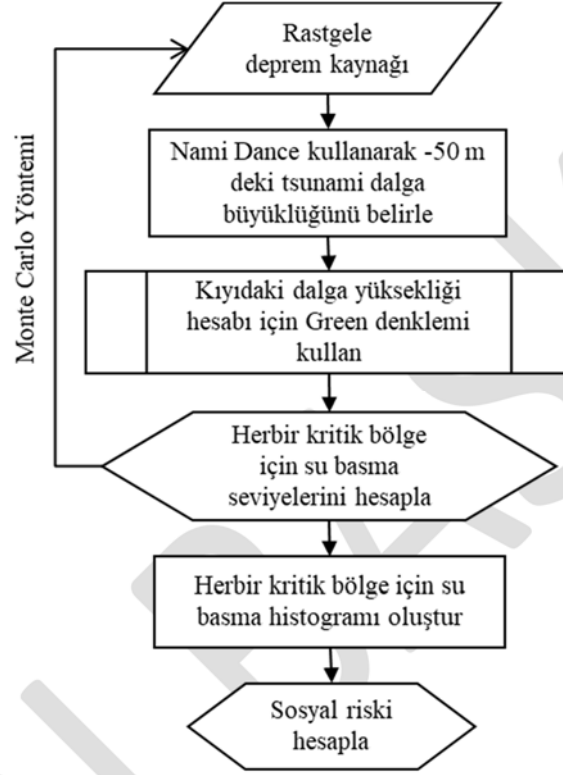
Türkiye’nin Doğu Akdeniz sahillerinde bulunan yerleşim yerleri, tarım alanları, limanları ve havaalanlarının olası bir tsunami tehlikesi durumunda sosyal risk seviyelerinin nasıl hesaplanacağı konusundaki iş akış şeması Çizim 1’de verilmiştir.

Bu çalışmada, üç farklı lokasyon için - 365 Girit, 1222 Paphos ve 1303 Girit depremlerinin lokasyonları – Monte Carlo yöntemi ile probabilistic tsunami simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Her bir tarihsel deprem lokasyonunda Monte Carlo yöntemi kullanılarak farklı büyüklük ve fokal derinliğe sahip 1000’er rastgele deprem kaynağı oluşturulmuş ve olası deprem kaynaklı tsunamilerin Nami Dance Programı kullanılarak simülasyonları yapılmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen tsunami dalgalarından kaynaklı su basma seviyeleri ve seçilen kritik bölgelerdeki kişi sayısı dikkate alınarak da sosyal risk analizi yapılmıştır.

2.1. Çalışma Alanı

Doğu Akdeniz Alp-Himalaya kıta kabuğunun içerisinde yer almaktadır. Bu bölgede dünyada olan depremlerin 15% oluşmaktadır [9]. Bu bölgedeki insanlar tarih boyunca Helenik ve Kıbrıs fayları üzerinde olmuş birçok yıkıcı deprem ve tsunamiler yaşamışlardır. Son 3 bin yılda Doğu Akdeniz’de 90 nın üzerinde tsunami olayı kayıtlara geçmiştir [911]. Bu da ortalama her 30 yılda bir tsunami olayının görülme ihtimali olduğunu ve bölgenin

aktif sismik yapısını gözler önüne sermektedir. Doğu Akdeniz çalışma alanı Fotoğraf 2’de verilmiştir. Çalışma kapsamında seçilen toplam 32 adet kritik bölge, koordinatları, risk analizinde kullanılan alanları ve literatürden elde edilen nüfus yoğunlukları [12] Çizelge 2’de verilmiştir.



Çizim 1 - Bu çalışmada kullanılan sosyal risk analizi adımları



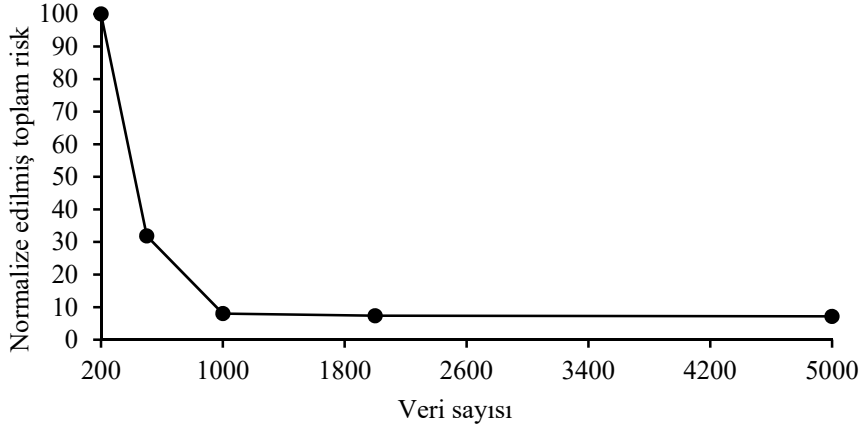
Fotoğraf 2 - Çalışma alanı [3]

Çizelge 2 - Çalışma alanında seçilmiş olan kritik bölgeler

Kritik Bölge	İl	Koordinatlar		Yaklaşık Alan (km ²)	Nüfus yoğunluğu [12] (kişi/km ²)
		Enlem	Boylam		
Akdeniz Tatil Köyleri	Antalya	36.39	34.25	8.22	270
Alanya Kıyı Şeridi	Antalya	36.32	32.02	10.78	186
Anamur Kıyı Şeridi	Mersin	36.03	32.51	2.49	49
Antalya Konyaaltı	Antalya	36.51	30.37	10.70	300
Arsuz Tatil Köyleri	Hatay	36.25	35.54	4.66	104
Belek Tatil Köyleri	Antalya	36.51	31.03	27.25	4548
Dalaman Şehir Merkezi	Muğla	36.46	28.48	7.79	60
Demre Şehir Merkezi	Antalya	36.14	29.59	15.59	55
Erdemli Şehir Merkezi	Mersin	36.36	34.18	3.56	65
Fethiye Şehir Merkezi	Muğla	36.39	29.07	12.83	50
Finike Şehir Merkezi	Antalya	36.17	30.08	3.39	73
İskenderun Şehir Merkezi	Hatay	36.34	36.1	15.84	999
Kazanlı Şehir Merkezi	Mersin	36.48	34.45	1.04	65
Kemer Şehir Merkezi	Antalya	36.36	30.33	2.44	102
Kızkalesi Tatil Köyleri	Mersin	36.27	34.08	0.69	14
Manavgat Kıyı Şeridi	Antalya	36.46	31.23	25.24	98
Mersin Şehir Merkezi	Mersin	36.47	34.37	19.02	114
Samandağ Şehir Merkezi	Hatay	36.05	35.58	4.30	267
Sarıseki Şehir Merkezi	Hatay	36.4	36.13	1.16	100
Susanoğlu Tatil Köyleri	Mersin	36.22	34.08	8.32	400
Taşucu Şehir Merkezi	Mersin	36.19	33.53	7.25	45
Türkler Tatil Köyleri	Antalya	36.36	31.49	7.60	4044
Yemişkumu Tatil Köyleri	Mersin	36.29	34.1	0.19	1557
Dalaman Havaalanı	Muğla	36.42	28.47	6.43	10112
İskenderun Limanı	Hatay	36.35	36.11	3.79	137
Mersin Limanı	Mersin	36.48	34.39	4.93	1410
MMK Metalurji Limanı	Hatay	36.46	36.12	0.64	4314
Akdeniz Limanı	Antalya	36.5	30.36	2.25	1198
Tırtar Yat Limanı	Mersin	36.31	34.13	0.15	278
Çukurova Tarım Alanı	Adana	36.45	35.14	2306	1 (kişi/ha)
Dalaman Tarım Alanı	Muğla	36.46	28.48	80	7 (kişi/ha)
Samandag Tarım Alanı	Hatay	36.03	35.58	19	3 (kişi/ha)

2.2. Monte Carlo Yöntemi ile Tsunami Analizi

Monte Carlo yönteminde değerleri ilgili olasılık dağılımından rastgele seçilen parametrenin bağımsız parametreler olmaları esastır. Doğu Akdeniz’de Helenik ve Kıbrıs fayları üzerinde oluşmuş tarihsel depremlerin M_w ve *Fokal derinlik* değerleri dikkate alınarak bu iki bağımsız değişken için olasılık yoğunluk fonksiyonları oluşturulmuştur. M_w ve *Fokal derinlik* için oluşturulan olasılık yoğunluk fonksiyonlarına uygun dağılımlar seçilmiş ve uygunluk derecesi Kolmogorov-Smirnov yöntemi ile test edilmiştir [13]. Güvenilir bir risk analizi yapabilmek için gereken Monte Carlo simülasyon sayısı için Yavuz vd. [13] tarafından yapılan bir çalışma sonucunda yaklaşık 1000 civarında simülasyonun güvenilir bir risk analizi için yeterli olduğu gösterilmiştir (Çizim 2). Dolayısıyla her bir kaynak için (365 Girit, 1222 Paphos ve 1303 Girit lokasyonları) belirlenen dağılımlardan 1000’er adet rastgele deprem verisi üretilmiştir. Deprem kaynağının tanımlanabilmesi için gerekli diğer bağımlı parametreler (doğrultu, eğim ve dalma açıları, enlem ve boylam) literatürden elde edilmiştir (Çizelge 3) [9-11]. Daha sonra, Nami-Dance programı kullanılarak rasgele depremlerden kaynaklı oluşan tsunamiler modellenmiştir.



Çizim 2 - Normalize edilmiş toplam riskin veri sayısı ile değişimi [13]

Çizelge 3 - 365 Girit, 1222 Paphos ve 1303 Girit için bağımlı deprem parametreleri [9-11]

Bağımlı deprem parametreleri	365 Girit Depremi	1222 Paphos Depremi	1303 Girit Depremi
Boylam	24° 48' 00"	32° 36' 00"	27° 00' 00"
Enlem	35° 14' 00"	34° 42' 00"	35° 00' 00"
Doğrultu açısı (°)	295	305	115
Dalma açısı (°)	15	35	45
Eğim açısı (°)	90	110	110

2.3. Deprem Parametrelerinin Hesaplanması

Nami-Dance simülasyon programında kullanılacak deprem verileri Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 3'te verilen bağımlı parametreler için doğrudan ilgili depremin literatürde verilen değerleri alınmıştır. Ayrıca her bir tarihsel deprem için 1000'er adet rastgele seçilen M_w ve *Fokal derinlik* parametreleri Monte Carlo simülasyonlarında kullanılmıştır. M_w ye bağlı olan diğer deprem parametreleri literatürde yaygın bir şekilde kullanılan ampirik formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

Hanks ve Kanamori [14] M_0 nun Çizelge 1'de verilen deprem parametreleri ile depremin büyüklüğünün bir ifadesi olduğunu göstermiştir (Eş. 1).

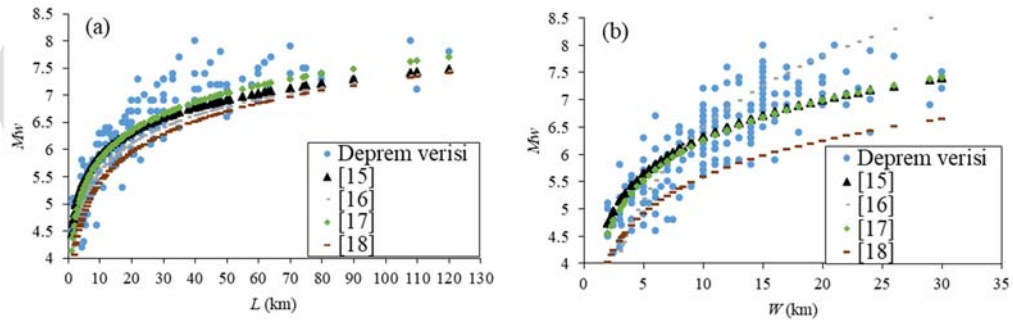
$$M_0 = \mu LWD \quad (1)$$

burada μ kabuğun kayma modülü (malzemenin türüne bağlı), L fay uzunluğu, W fay genişliği, ve D atım miktarıdır.

M_w ve M_0 arasındaki ilişkiyi gösteren ampirik eşitlik ise [14]:

$$M_w = \frac{2}{3} \log(M_0) - 10.7 \quad (2)$$

Hanks ve Kanamori [14] tarafından ortaya konan bu iki eşitlik ile deprem parametreleri hesaplanabilse de M_0 eşitliğindeki parametreler arasındaki nitel farklılığın belirsizliği ve deprem kataloglarında kırılan alanın net olarak belirlenememesi özellikle atım miktarlarının yanlış yorumlanmasına neden olmaktadır. Örneğin L ve W değerleri küçük tutularak D değeri yükseltilmekte ve benzer deprem büyüklükleri için farklı atım miktarları hesaplanabilmektedir. Bu belirsizliği çözmek adına, M_w - L , ve M_w - W arasındaki ilişkiyi belirlemek için farklı çalışmalar incelenmiş ve Çizim 3'te bu çalışmalardaki bulgular aynı deprem büyüklükleri dikkate alınarak gösterilmiştir. Çizim 3'te farklı bilim insanlarının M_w - L , ve M_w - W arasındaki ilişkiyi belirlemek için önermiş oldukları eşitlikler aynı deprem verisi üzerine işlenmiş ve aşağıdaki eğriler elde edilmiştir.



Çizim 3 - Farklı bilimsel kaynaklara göre (a) M_w - L ve (b) M_w - W ilişkileri [13]

İncelenen çalışmalar Wells ve Coppersmith [15] tarafından önerilen ve regresyon analizleri ile desteklenen eşitliklerin M_w - L , ve M_w - W arasındaki ilişkiyi en uygun şekilde ortaya koyduğunu göstermektedir. Buna göre:

$$M_w = 4.38 + 1.49\log(L) \quad (3)$$

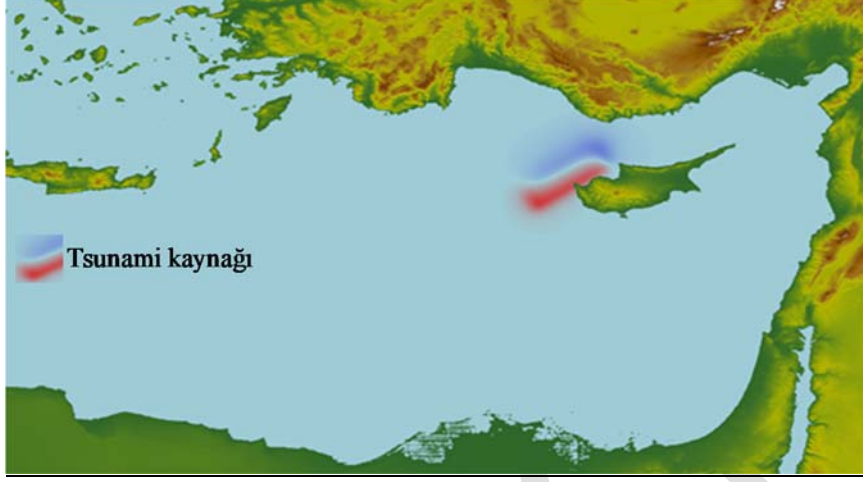
$$M_w = 4.06 + 2.25\log(W) \quad (4)$$

eşitlikleri bu çalışmada L ve W nin belirlenmesi için kullanılmıştır. Daha sonra D Eş.1 kullanılarak belirlenmiştir. Bu şekilde deprem parametrelerinin herhangi bir yolla yanlış yorumlanıp karmaşık sonuçların çıkmaması sağlanmıştır.

2.4. Tsunami Simülasyonları ve Su Basma Seviyelerinin Hesaplanması

Türkiye'nin Akdeniz sahilleri çok uzun ve çalışma alanı çok büyük olduğu için kıyı şeridinin ve sahil kısımlarının yüksek çözünürlüklü haritaların elde edilme şansı bulunmamaktadır. Bu durum simülasyon sonucunda 0 m deniz seviyesinde tsunami dalga yüksekliğinin doğru bir şekilde hesaplanamamasına neden olmaktadır. Her bir kritik bölge için dalga yükseklikleri -50 m açığa dijital bir ölçek tanımlanıp, bu ölçekten elde edilen dalga yüksekliğinin Green eşitliği kullanılarak -1 m seviyesine taşınması ile çözülmüştür. Bu çalışmada tsunami değerlendirmesi, yayılımı ve su basmalarını simüle edebilen bir kapasiteye sahip olan ve ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Kıyı ve Liman Laboratuvarı öğretim üyelerinin katkılarıyla geliştirilen Nami-Dance programı kullanılmıştır. Nami Dance yazılımı deprem girdilerine dayanarak bir deprem ve tsunami kaynağı oluşturmaktadır. Nami-Dance, deniz yüzeyi ve deniz tabanı topoğrafyasının sınır koşullarını oluşturduğu doğrusal olmayan sığ su denklemleri kullanır [7]. Global bir kütle korunumu denkleminin dikkate alınarak derivasyonları yapılan sığ su denklemleri uzun dalga varsayımı ile tsunami yayılım koşullarını büyük bir kesinlikle sağlamaktadır [7]. Sığ su denklemlerinde deniz derinliği ekseninde değişen düşey hız değişimi olmadığı ve basınç gradientinin neredeyse hidrostatik koşullarda olduğu kabulü yapılır. Bu kabuller dikkate alınarak sığ su denklemleri süreklilik ve momentum denklemlerinin birlikte analizi ile Nami-Dance programında derivate edilir [7]. Herbir rastgele deprem için parametreler belirlenmiş ve Nami-Dance programına manuel olarak girilmiştir. Nami Dance programı ile çalışma alanında oluşturulmuş örnek bir tsunami kaynağı Fotoğraf 3'te gösterilmiştir.

Karanın iç kısımlarında güvenilir su basma seviyeleri hesaplayabilmek için batimetri ve kritik bölgelerin topoğrafik haritalarının çözünürlüğünün yüksek olması gerekmektedir. Bu tip yüksek çözünürlüklü haritaların elde edilmesi oldukça zor ve tsunami simülasyonları da bu çalışmadaki gibi büyük alanlarda çok uzun süreler almaktadır. Ayrıca bu çalışmanın amacı kritik bölgelerdeki bağli sosyal risklerin belirlenmesidir. Bu açıdan, simülasyonlarda -50 m'ye yerleştirilmiş dijital ölçeklerden elde edilen verilerin Green eşitliği kullanılarak kıyıya taşınması büyük kolaylık sağlayamaktadır. Aynı yöntem ile tsunami dalgalarının kıyıya taşındığı ve güvenilir sonuçlar elde edilen çalışmalar da vardır [19-20]. Green eşitliği aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [21]:



Fotoğraf 3 - Nami-Dance kullanılarak oluşturulmuş örnek tsunami kaynağı

$$\frac{H_1}{H_{50}} = \left(\frac{d_{50}}{d_1} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (5)$$

burada H_{50} ve H_1 sırasıyla 50 m ve 1 m su derinliklerindeki tsunami dalga yüksekliklerini, d_{50} ve d_1 sırasıyla 50 m ve 1 m su derinliklerini göstermektedir. Bu eşitlik ile her bir kritik bölge için 50 m su derinliğinde simülasyondan elde edilen tsunami dalga yüksekliği 1 m su derinliğinin bulunduğu noktalarda hesaplanmaktadır.

2.5. Sosyal Risk Analizi

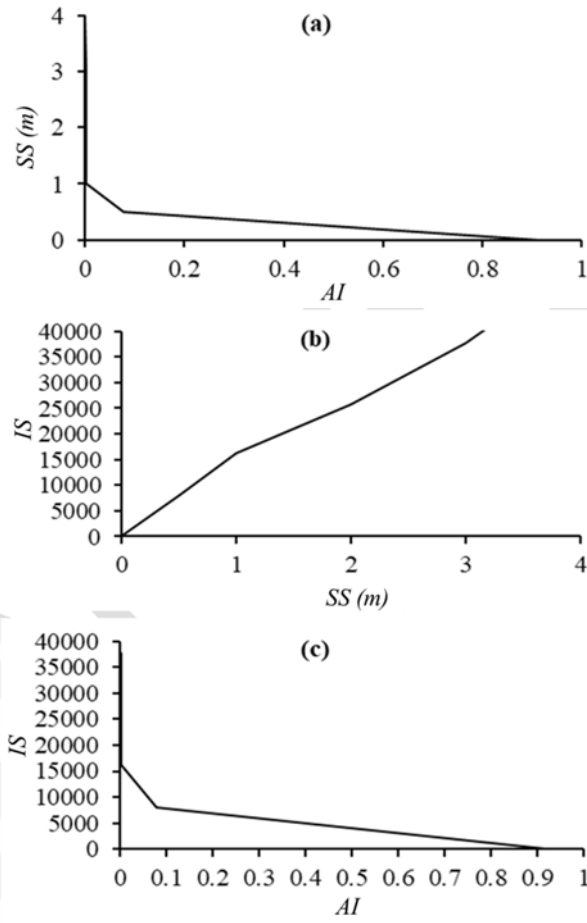
Literatürde risk, bir olayın gerçekleşme olasılığı (beklenen değer) ile o olaya ait sonuçların (gerçekleşen değer) bir bileşimi olarak tanımlanır [22]. Riski bir eşitlik ile ifade etmek gerekirse:

$$Risk = Olasılık * Sonuç \quad (6)$$

bu çalışmada *Sonuç* tsunami sebebiyle su altında kalan bölgedeki sosyal etkileri ifade etmektedir. *Olasılık* ise ilgili olayın olma ihtimalini belirtmektedir.

Bu çalışmadaki sosyal risk hesaplarında sonuç, tsunami nedeniyle zarar gören insan sayısını (*IS*) ifade etmektedir. Bir insana zarar verebilecek tsunami dalga yükseliği literatür incelemelerine dayanarak 0.5 m olarak kabul edilmiştir [23,24,25]. Sosyal risk analizi için 3 aşamalı bir hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, öncelikle Monte Carlo simülasyonlarından elde edilen rastgele deprem kaynağı verilerinin olasılıksal analizinden elde edilen aşılma ihtimali (*AI*) değerleri ile tsunami simülasyonları sonucunda elde edilen su basma seviyeleri kullanılarak aşılma ihtimali (*AI*) - su basma seviyesi (*SS*) eğrileri hazırlanır. Aşılma ihtimalinde dikkate alınan su basma seviyesi, bir insanı fiziksel olarak

etkilecebilecek minimum su derinliği (0.5 m) olarak dikkate alınır [23,24,25]. Daha sonra literatürden elde edilen veriler ile tsunami simülasyonlarında elde edilen su basma seviyeleri kullanılarak, her bir su basma seviyesine karşılık zarar göreceği öngörülen insan sayısı belirlenir. Bu sayede her bir su basma seviyesinde zarar göreceği hesaplanan insan sayısı eğrisi ($IS-SS$) belirlenir. Son olarak ilk iki eğrinin kombinasyonundan, verilerinin olasılıksal analizinden elde edilen aşılma ihtimaline karşılık gelen zarar gören insan sayısı eğrisi ($IS-AI$) çizilerek olasılıksal sosyal risk analizi için gerekli girdi elde edilir. Çizim 4'te sosyal risk hesabı için hazırlanmış 3 aşamalı hesaplama yöntemini gösteren örnek eğriler verilmiştir.



Çizim 4 - Sosyal risk hesabında kullanılan örnek (a) $AI-SS$, (b) $IS-SS$ ve (c) $IS-AI$ grafikleri

Doğal veya insan kaynaklı afetlerden dolayı oluşması muhtemel zararların risk analizi yapılırken daha güvenilir veri elde edebilmek için insanların zarar görebilirlik seviyelerinin

(C_{zarar}) belirlenmesi benimsenmiştir. İnsanların zarar görebilirlik seviyelerinin belirlenmesinde literatürde genellikle insanların gelir seviyeleri (I_{gelir}), eğitim seviyeleri ($I_{eğitim}$), sağlık seviyeleri ($I_{sağlık}$) ve altyapı hizmetlerine erişim ($I_{altyapı}$) gibi yaşam endeksi değerleri indikatörler olarak kullanılmaktadır [13, 26-29]. Bu çalışmada da insanların zarar görebilirlik seviyelerinin belirlenmesinde bu dört indikatörün normalize edilmiş değerleri kullanılmıştır. Normalizasyon, seçilen kritik bölgelerin bulundukları şehirlerin yaşam endeksi değerinin diğer iller arasında en yüksek değere sahip olan ilin yaşam endeksine bölünmesi ile elde edilir:

$$\begin{aligned} N_{I_{gelir}} &= \frac{I_{gelir_{il}}}{I_{gelir_{En\ yüksek}}}, N_{I_{eğitim}} = \frac{I_{eğitim_{il}}}{I_{eğitim_{En\ yüksek}}}, \\ N_{I_{sağlık}} &= \frac{I_{sağlık_{il}}}{I_{sağlık_{En\ yüksek}}}, N_{I_{altyapı}} = \frac{I_{altyapı_{il}}}{I_{altyapı_{En\ yüksek}}} \end{aligned} \quad (7)$$

burada $N_{I_{gelir}}$ normalize edilmiş gelir seviyesi, $N_{I_{eğitim}}$ normalize edilmiş eğitim seviyesi, $N_{I_{sağlık}}$ normalize edilmiş sağlık seviyeleri, ve $N_{I_{altyapı}}$ normalize edilmiş altyapı hizmetlerine erişim, $I_{gelir_{il}}$ seçilen kritik bölgelerin bulunduğu şehirlerdeki insanların gelir seviyeleri, $I_{eğitim_{il}}$ seçilen kritik bölgelerin bulunduğu şehirlerdeki insanların eğitim seviyeleri, $I_{sağlık_{il}}$ seçilen kritik bölgelerin bulunduğu şehirlerdeki insanların sağlık seviyeleri, $I_{altyapı_{il}}$ ise seçilen kritik bölgelerin bulunduğu şehirlerdeki insanların altyapı hizmetlerine erişim oranıdır. $I_{gelir_{En\ yüksek}}$, $I_{eğitim_{En\ yüksek}}$, $I_{sağlık_{En\ yüksek}}$, ve $I_{altyapı_{En\ yüksek}}$ değerleri ise seçilen kritik bölgelerin bulunduğu şehirler arasında bu indekslerin en yüksek değerlerine sahip il verisidir. Belirtilen illerin ilgili indeksleri Çizelge 4'te verilmiştir. Her bir indikatörün en yüksek değeri gri ile işaretlenmiştir. Bu çalışmada zarar görebilirlik, C_{zarar} bu dört indikatör kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$C_{zarar} = \frac{1}{\frac{1}{4}(N_{I_{gelir}} + N_{I_{eğitim}} + N_{I_{sağlık}} + N_{I_{altyapı}})} \quad (8)$$

Çizelge 4 - Kritik bölgelerin bulunduğu şehirlerin zarar görebilirlik indikatörleri [29]

Şehir	Zarar görebilirlik indikatörleri			
	I_{gelir}	$I_{eğitim}$	$I_{sağlık}$	$I_{altyapı}$
Adana	0.3506	0.4477	0.5039	0.6784
Antalya	0.5838	0.6437	0.6249	0.6237
Hatay	0.3536	0.5254	0.5046	0.4223
Mersin	0.2885	0.6418	0.5062	0.5253
Muğla	0.5527	0.6139	0.7042	0.5301

Bu çalışmada Türkiye'nin Doğu Akdeniz sahillerinden seçilen kritik bölgelerin bulundukları iller için hesaplanan C_{zarar} değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5 - Şehirlerin C_{zarar} değerleri

Şehir	C_{zarar}
Adana	1.33
Antalya	1.05
Hatay	1.45
Mersin	1.34
Muğla	1.09

Sosyal risk hesabında insanların kritik bölgenin tamamında homojen bir şekilde dağılım gösterdiği varsayılmaktadır. Tsunami dalga yüksekliğinin 0.50 m ve daha yüksek olarak gözlemlendiği bölgeler sosyal risk hesabına dahil edilmiştir. Her bir kritik bölge için o bölgeye ait $IS-AI$ eğrisinin altında kalan alanın integrasyonu ile sosyal risk hesaplanmaktadır. Sosyal risk eşitliği:

$$Risk_{sosyal} = \begin{cases} 0 & SS < 0.5 \text{ m} \\ \sum \Delta P \bar{SZ} & SS \geq 0.5 \text{ m} \end{cases} \quad \begin{matrix} ise \\ ise \end{matrix} \quad (9)$$

burada $\Delta P = |P_j - P_{j-1}|$ j ve $j - 1$ olarak ifade edilen iki AI arasında kalan olasılık, $\bar{SZ} = \frac{1}{2} [SZ_j + SZ_{j-1}]$ ise bu iki AI arasındaki sosyal zarar miktarını ifade etmektedir. Her bir SS aralığı için SZ_{SS} değeri ise;

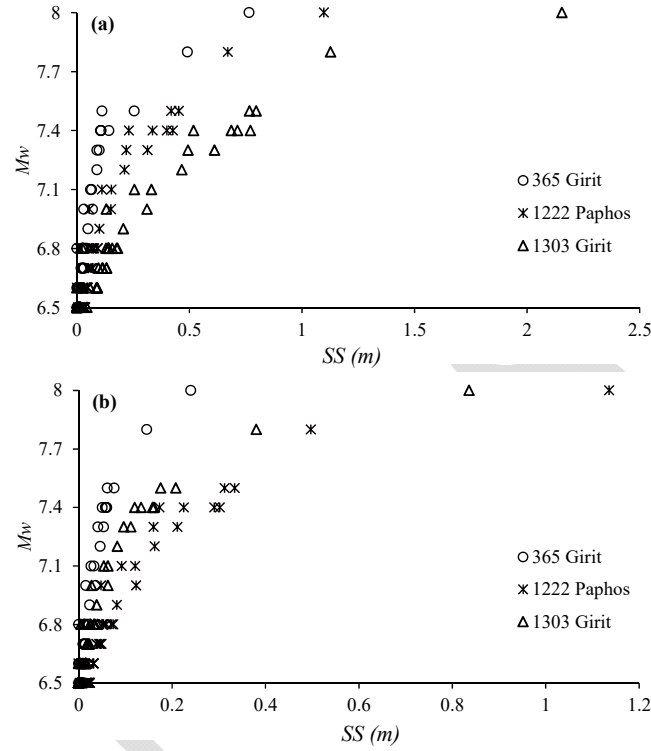
$$SZ_{SS} = \begin{cases} 0 & SS < 0.5 \text{ m} \\ \sum n_y A_{SS} IS_{SS} C_{zarar} & SS \geq 0.5 \text{ m} \end{cases} \quad \begin{matrix} ise \\ ise \end{matrix} \quad (10)$$

burada C_{zarar} zarar görülebilirlik katsayısını, n_y kritik bölgedeki nüfus yoğunluğunu, ve A_{SS} ise su basma seviyesinin altında kalan alanı ifade etmektedir. Kritik bölgede 0.50 m su basma seviyesinin altında kalan alanlardaki sosyal risk 0 olarak kabul edilmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada Türkiye'nin Doğu Akdeniz kıyılarında bulunan yerleşim yerleri, tarım alanları, limanları ve havaalanlarının tarihte Doğu Akdeniz'de görülmüş 365 Girit, 1222 Paphos ve 1303 Girit depremleri dikkate alınarak olası bir tsunamijenik depremde karşılaşabileceği sosyal risk seviyeleri hesaplanmıştır. Monte Carlo yöntemi ile her bir tarihsel deprem için 1000'er adet rastgele deprem kaynağı oluşturulmuş ve tsunami simülasyonları yapılarak tsunami dalga yükseklikleri belirlenmiştir. **Deprem** simülasyonlarından elde edilen verilere göre 3 tarihsel deprem lokasyonunda oluşturulan rastgele depremlerden elde edilen SS değerleri önemli turistik bölgelerin ikisi olan Antalya

Konyaaltı plajı ve Fethiye şehir merkezi için Çizim 5'te verilmiştir. Literatürde tsunami oluşturabilecek deprem büyüklüğü, M_w minimum 6.5 verildiği için grafiklerde bu büyüklükten itibaren elde edilen SS değerleri gösterilmiştir [30]. Diğer seçilen kritik bölgelerdeki her bir deprem için maksimum su basma seviyeleri Çizelge 6'da verilmiştir.



Çizim 5 - (a) Fethiye Şehir merkezi ve (b) Konyaaltı plajı için simülasyonlardan elde edilen olasılıksal M_w -SS değerleri

Çizelge 6 - Seçilen kritik bölgelerdeki her bir deprem için maksimum SS değerleri

Kritik Bölge	İl	Depremin maksimum dalga yüksekliği (m)		
		365 Girit	1222 Paphos	1303 Girit
Akdeniz Tatil Köyleri	Antalya	0.25	1.04	0.44
Alanya Kıyı Şeridi	Antalya	0.15	1.66	1.13
Anamur Kıyı Şeridi	Mersin	0.20	1.70	0.63
Antalya Konyaalti	Antalya	0.24	1.14	0.84
Arsuz Tatil Köyleri	Hatay	0.10	0.58	0.28
Belek Tatil Köyleri	Antalya	0.21	0.93	0.55

Çizelge 7 - Seçilen kritik bölgelerdeki her bir deprem için maksimum SS değerleri (devam)

Kritik Bölge	İl	Depremin maksimum dalga yüksekliği (m)		
		365 Girit	1222 Paphos	1303 Girit
Dalaman Şehir Merkezi	Muğla	0.33	0.68	1.88
Demre Şehir Merkezi	Antalya	0.15	0.63	0.86
Erdemli Şehir Merkezi	Mersin	0.23	1.12	0.41
Fethiye Şehir Merkezi	Muğla	0.77	1.10	2.15
Finike Şehir Merkezi	Antalya	0.34	0.65	1.12
İskenderun Şehir Merkezi	Hatay	0.11	0.64	0.28
Kazanlı Şehir Merkezi	Mersin	0.12	0.85	0.30
Kemer Şehir Merkezi	Antalya	0.24	0.99	0.68
Kızkalesi Tatil Köyleri	Mersin	0.15	1.18	0.44
Manavgat Kıyı Şeridi	Antalya	0.12	0.93	0.62
Mersin Şehir Merkezi	Mersin	0.12	0.85	0.30
Samandağ Şehir Merkezi	Hatay	0.19	0.82	0.34
Sarıseki Şehir Merkezi	Hatay	0.12	0.62	0.29
Susanoğlu Tatil Köyleri	Mersin	0.13	0.98	0.36
Taşucu Şehir Merkezi	Mersin	0.14	1.27	0.49
Türkler Tatil Köyleri	Antalya	0.19	1.49	0.78
Yemişkumu Tatil Köyleri	Mersin	0.14	1.30	0.45
Dalaman Havaalanı	Muğla	0.33	0.68	1.88
İskenderun Limanı	Hatay	0.11	0.64	0.28
Mersin Limanı	Mersin	0.12	0.85	0.30
MMK Metalurji Limanı	Hatay	0.10	0.74	0.32
Akdeniz Limanı	Antalya	0.24	1.05	0.74
Tırtar Yat Limanı	Mersin	0.15	1.31	0.44
Çukurova Tarım Alanı	Adana	0.10	0.94	0.33
Dalaman Tarım Alanı	Muğla	0.33	0.68	1.88
Samandag Tarım Alanı	Hatay	0.19	0.82	0.34

Olasılıksal hesaplamalardan elde edilen verilere göre bazı kritik bölgeler için tsunami dalga yükseklikleri 2 metrenin üzerine çıkmaktadır. Fakat neredeyse seçilen tüm kritik bölgeler için 1222 Paphos depremi verileri ve lokasyonu kullanılarak yapılan olasılıksal deprem riski analizi bu tarihsel depremler arasında en yüksek tsunami dalga boylarını vermektedir. Bunun nedeni olarak 1222 Paphos depreminin lokasyonunun Doğu Akdeniz'in neredeyse merkezinde yer alması gösterilebilir.

Türkiye'nin Doğu Akdeniz kıyıları boyunca seçilen kritik bölgelerin sosyal risk hesapları kritik bölgeler arasındaki sosyal risk farkının ortaya daha rahat konulabilmesi açısından bağıl risk şeklinde verilmiştir. Bağıl risk her bir risk altındaki bölgenin sosyal riskinin hesaplanan maksimum sosyal riske bölünmesi ile elde edilir (Eş.11). Bağıl risk seviyeleri 5 farklı seviyeye ayrılıp, her bir risk seviyesi Çizelge 7'de farklı bir renk ile gösterilmiştir. Her bir kritik bölge için 365 Girit, 1222 Paphos ve 1303 Girit depremleri referans alınarak hesaplanan bağıl sosyal risk seviyeleri Çizelge 8'de verilmiştir ve Çizelge 7'de sunulan sınıflandırmaya göre renklendirilmiştir.

$$N_Risk_{sosyal} = \frac{Risk_{sosyal}}{Risk_{sosyal,maks}} \quad (11)$$

Çizelge 8 - Risk seviyeleri

0.75≤	Çok Yüksek Risk	≤1
0.50≤	Yüksek Risk	<0.75
0.25≤	Orta Seviyeli Risk	<0.50
0<	Düşük Risk	<0.25
0=	Risk Yok	

Çizelge 9 - 365 Girit, 1222 Paphos ve 1303 Girit depremleri referans alınarak hesaplanan bağıl sosyal risk seviyeleri

Kritik Bölge	İl	Bağıl Sosyal Risk Seviyeleri		
		365 Girit	1222 Paphos	1303 Girit
Akdeniz Tatil Köyleri		0.39	0.43	0.38
Alanya Kıyı Şeridi	Antalya	1.00	1.00	1.00
Anamur Kıyı Şeridi	Antalya	0.00	0.00	0.00
Antalya Konyaaltı	Mersin	0.05	0.05	0.05
Arsuz Tatil Köyleri	Antalya	0.00	0.00	0.00
Belek Tatil Köyleri	Hatay	0.60	0.59	0.58
Dalaman Şehir Merkezi	Antalya	0.00	0.00	0.00
Demre Şehir Merkezi	Muğla	0.00	0.00	0.00
Erdemli Şehir Merkezi	Antalya	0.01	0.01	0.01
Fethiye Şehir Merkezi	Mersin	0.18	0.18	0.23
Finike Şehir Merkezi	Muğla	0.02	0.02	0.02
İskenderun Şehir Merkezi	Antalya	0.01	0.03	0.03
Kazanlı Şehir Merkezi	Hatay	0.01	0.01	0.01

Çizelge 10 - 365 Girit, 1222 Paphos ve 1303 Girit depremleri referans alınarak hesaplanan bağıl sosyal risk seviyeleri (devam)

Kritik Bölge	İl	Bağıl Sosyal Risk Seviyeleri		
		365 Girit	1222 Paphos	1303 Girit
Kemer Şehir Merkezi	Mersin	0.10	0.10	0.10
Kızkalesi Tatil Köyleri	Antalya	0.00	0.00	0.00
Manavgat Kıyı Şeridi	Mersin	0.20	0.20	0.20
Mersin Şehir Merkezi	Antalya	0.00	0.00	0.00
Samandağ Şehir Merkezi	Mersin	0.00	0.00	0.00
Sarıseki Şehir Merkezi	Hatay	0.00	0.00	0.00
Susanoğlu Tatil Köyleri	Hatay	0.36	0.35	0.34
Taşucu Şehir Merkezi	Mersin	0.00	0.00	0.00
Türkler Tatil Köyleri	Mersin	0.08	0.09	0.08
Yemişkumu Tatil Köyleri	Antalya	0.00	0.00	0.00
Dalaman Havaalanı	Mersin	0.08	0.07	0.08
İskenderun Limanı	Muğla	0.00	0.00	0.00
Mersin Limanı	Hatay	0.00	0.00	0.00
MMK Metalurji Limanı	Mersin	0.00	0.00	0.00
Akdeniz Limanı	Hatay	0.17	0.18	0.17
Tırtar Yat Limanı	Antalya	0.00	0.00	0.00
Çukurova Tarım Alanı	Mersin	0.78	0.81	0.77
Dalaman Tarım Alanı	Adana	0.08	0.08	0.09
Samandag Tarım Alanı	Muğla	0.01	0.01	0.01

365 Girit, 1222 Paphos ve 1303 Girit depremleri referans alınarak hesaplanan bağıl sosyal risk hesaplamalarına göre Alanya Kıyı Şeridi ve Çukurova Tarım Alanı “Çok Yüksek Risk” seviyesinde çıkmıştır. Sosyal riskin bu bölgelerdeki yüksek değeri, yüksek nüfus yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak açıklanabilir. Ayrıca Belek bölgesindeki tatil köylerinin bağıl sosyal riski “Yüksek Risk”, Akdeniz ve Susanoğlu bölgelerinde bulunan tatil köylerinin sosyal riski de “Orta Seviyeli Risk” çıkmıştır. Her ne kadar farklı depremler için farklı tsunami dalga yükseklikleri elde edilmiş olsa da, düşük seviyelerde oluşan tsunami dalga yüksekliklerinin sayıca fazla olması, bağıl sosyal risk hesaplarında benzer risk seviyelerinin elde edilmesine neden olmuştur. Diğer bölgelerin düşük nüfus yoğunluğu ve 0.50 m’yi aşmayan tsunami dalgalarından dolayı etkilenen insan sayısının azlığından bağıl sosyal risk seviyeleri “Düşük” ve “Risk Yok” şeklinde belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye'nin Doğu Akdeniz sahil şeridinde yerleşim yerleri, tarım alanları, limanlar ve havaalanlarından oluşan 32 kritik bölge için olası bir tsunami tehlikesi durumunda sosyal risk seviyelerinin ne olabileceği hesaplanmıştır. Bağımsız deprem parametreleri için Monte Carlo yöntemi kullanılarak rastgele deprem kaynağı verisi oluşturulmuş, bağımlı parametreler için de Akdeniz'de bulunan Helenik ve Kıbrıs fay hatları üzerinde tarihte yaşanmış 365 Girit, 1222 Paphos ve 1303 Girit depremlerinin bağımlı parametreleri (doğrultu, eğim ve dalma açıları, enlem ve boylam) dikkate alınarak analizler yapılmıştır.

Elde edilen bulgular, her 3 deprem için de seçilen kritik bölgelerin 18'inde çeşitli seviyelerde sosyal riskin bulunduğunu, 14'ünde ise herhangi bir sosyal riskin bulunmadığını ortaya koymaktadır. Fakat burada asıl dikkat edilmesi gereken nokta seçilen kritik bölgelerin sosyal risk seviyelerinin her 3 deprem için de benzerlik göstermesidir. Her ne kadar tsunami dalga yükseklikleri seçilen bölgelerde farklılık gösterse de bu bölgelerin birbirinden farklı olan nüfus yoğunlukları, topoğrafyası ve etkilenen alanın büyüklüğü benzer risk seviyelerinin elde edilmesine sebep olarak gösterilebilir.

Seçilen bölgelerin bir kısmı turistik alanlar olmasına rağmen, aylık nüfus yoğunluğu verisini elde etmek mümkün değildir. Bunun yanı sıra, simüle edilen depremlerin oluşma zamanları için bir tahmin yapılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada ortaya konulan sosyal risk analizleri, ilgili bölgelerin, mevsimsel farklılıklar ihmal edilerek elde edilen nüfus yoğunluğu verileri ve herhangi bir zamanda oluşabilecek depremler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Turistik bir sezonda yaşanabilecek bir tsunami tehlikesinin seçilen bölgelerde bu çalışmada verilen sosyal risk seviyelerinden çok daha büyük bir risk oluşturması kaçınılmazdır. Ortaya konulan verilen ve her bir bölgede görülebilecek olası tsunami dalga yükseklikleri yerel otoritelerin gerekli tedbirleri almasında faydalı olabilecek niteliktedir. Bu çalışmanın amacı kriz yönetiminden ziyade risk yönetimi konusunda bilimsel çevrelere ışık tutabilmektir.

Teşekkür

Yazarlar değerli katkılarından ve önerilerinden dolayı Prof. Dr. Mustafa M. Aral' a teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] Ring of Fire. <https://www.google.com/earth/> Erişim tarihi: Ağustos 20, 2020.
- [2] Twiss. R. J., Moores. E. M., Structural Geology, WH Freeman and Company, New York, A.B.D., 2007.
- [3] Google Earth Pro v7.3.3.7786 (2020) <http://www.earth.google.com> Erişim tarihi Ekim 20, 2020

- [4] International Tsunami Information Center. How do earthquakes generate tsunamis? http://www.ioc-tsunami.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=26561 Yayın tarihi Haziran 30, 2019. Erişim tarihi Ağustos 20, 2020.
- [5] Altinok, Y., Ersoy, Ş., Tsunamis Observed on and Near the Turkish Coast. In: Papadopoulos G.A., Murty T., Venkatesh S., Blong R. (eds) Natural Hazards, Springer, Dordrecht, 2000. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2386-2_5
- [6] Papadopoulos, G. A., Daskalaki, E., Fokaefs A., Giraleas N., Tsunami hazard in the Eastern Mediterranean Sea: strong earthquakes and tsunamis in the west Hellenic arc and trench system. Journal of Earthquake and Tsunami, 4 (03), 145-179, 2010.
- [7] Yalciner, A. C., Pelinovsky, E., Zaytsev, A., Kurkin, A., Ozer, C., Karakus, H., Nami Dance Manual. Middle East Technical University, Civil Engineering Department, Ocean Engineering Research Center, Ankara, 2006.
- [8] Earthquake Glossary. <https://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/> Erişim tarihi: Ağustos 20, 2020.
- [9] Altinok, Y., Tinti, S., Alpar, B., Yalciner, A. C., Ersoy, Ş., Bortolucci, E., Armigliato, A., The tsunami of August 17, 1999 in Izmit bay, Turkey. Natural Hazards, 24(2), 133-146, 2001.
- [10] Yolsal, S., Taymaz, T., Yalciner, A. C., Understanding tsunamis, potential source regions and tsunami-prone mechanisms in the Eastern Mediterranean. Geological Society, London, Special Publications, 291(1), 201-230, 2007.
- [11] Yolsal-Çevikbilen, S., Taymaz, T., Earthquake source parameters along the Hellenic subduction zone and numerical simulations of historical tsunamis in the Eastern Mediterranean. Tectonophysics, 536, 61-100, 2012.
- [12] TÜİK..., Yıllara Göre İllerin Yıllık Nüfus Artış Hızı ve Nüfus Yoğunluğu, http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1059 Erişim tarihi Eylül 10, 2020.
- [13] Yavuz, C., Kentel, E., Aral, M. M., Tsunami Risk Assessment: Economic, Environmental and Social Dimensions. Natural Hazards, 2020. DOI: 10.1007/s11069-020-04226-y
- [14] Hanks, T. C., Kanamori, H., A moment-magnitude scale. J. Geophys. Res. 84, 2348-2350, 1979.
- [15] Wells, D. L., Coppersmith, K. J., New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bulletin of the seismological Society of America, 84(4), 974-1002, 1994.
- [16] Papazachos, B. C., Scordilis, E. M., Panagiotopoulos, D. G., Papazachos, C. B., Karakaisis G. F., Global Relations Between Seismic Fault Parameters and Moment Magnitude of Earthquakes. Bulletin of the Geological Society of Greece, 36, 2004.
- [17] Blaser, L., Krüger, F., Ohrnberger, M., Scherbaum, F., Scaling relations of earthquake source parameter estimates with special focus on subduction environment. Bulletin of the Seismological Society of America, 100(6), 2914-2926, 2010.

- [18] Goda, K., Yasuda, T., Mori, N., Maruyama, T., New scaling relationships of earthquake source parameters for stochastic tsunami simulation. *Coastal Engineering Journal*, 58(03), 1650010, 2016.
- [19] Løvholt, F., Glimsdal, S., Harbitz, C. B., Zamora, N., Nadim, F., Peduzzi, P., Smebye, H., Tsunami hazard and exposure on the global scale. *Earth-Science Reviews*, 110(1-4), 58-73, 2012.
- [20] Løvholt, F., Glimsdal, S., Harbitz, C. B., Horspool, N., Smebye, H., De Bono, A., Nadim, F., Global tsunami hazard and exposure due to large co-seismic slip. *International journal of disaster risk reduction*, 10, 406-418, 2014.
- [21] Synolakis, C. E., Green's law and the evolution of solitary waves. *Physics of Fluids A: Fluid Dynamics*, 3(3), 490-491, 1991.
- [22] ISO 31010, 2009 Risk Management–Risk Assessment Techniques. CENELEC, Brussels, 2010.
- [23] Abt, S.R., Wittler, R. J., Taylor, A., Predicting human instability in flood flows. In *Hydraulic Engineering*, 70-76, 1989.
- [24] Endoh, K., Takahashi, S., Numerically modeling personnel danger on a promenade breakwater due to overtopping waves. *Coastal Engineering*, 1016-1029, 1994.
- [25] Jonkman, S. N., Penning-Rowell, E., Human instability in flood flows. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 44(5), 1208-1218, 2008.
- [26] Tastan, B., Aydinoglu, A.C., Çoklu afet risk yönetiminde tehlike ve zarar görülebilirlik belirlenmesi için gereksinim analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 31, 366-397, 2015.
- [27] Cobanyılmaz, P., Yuksel, Ü.D., Kentlerin İklim Değişikliğinden Zarar Görebilirliğinin Belirlenmesi: Ankara Örneği. *Journal of Natural & Applied Sciences*, 17(3), 2013.
- [28] Özceylan, D., Coskun, E. Türkiye'deki illerin sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeyleri ve afetlerden sosyal ve ekonomik zarar görülebilirlikleri arasındaki ilişki. *Istanbul University Journal of the School of Business Administration*, 41(1), 2012.
- [29] Gelir, Eğitim, Sağlık ve Altyapı Değerleri, Web: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Gelir,-Yasam,-Tuketim-ve-Yoksulluk-107>
- [30] USGS, What is it about an earthquake that causes a tsunami? https://www.usgs.gov/faqs/what-it-about-earthquake-causes-a-tsunami?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products Erişim tarihi Eylül 10, 2020.