

## İzmit Körfezindeki Limanlarda Deprem Yakın Saha Etkilerinin Araştırılması

Aydın MERT<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü,

<sup>a</sup>ORCID: 0000-0003-0762-6658

### Makale Bilgileri

Geliş : 16.10.2024

Kabul : 23.12.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1606105

### Sorumlu Yazar

Aydın MERT

mertay@itu.edu.tr

### Anahtar Kelimeler

Deprem yakın saha etkileri

Olasılıksal yakın saha etkileri

İzmit körfezi

Liman yapıları

**Atıf şekli:** MERT, A., (2024). İzmit Körfezindeki Limanlarda Deprem Yakın Saha Etkilerinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(4), 1015-1026.

### ÖZ

Arz ve talep açısından bir kesişme noktası olan Kocaeli ili, körfeze inşa edilmiş onlarca limanı ile bir liman şehridir. Kocaeli aynı zamanda sismik olarak aktif bir bölgede yer almaktadır ve körfezi çevreleyen fayların körfezin iki yakasına inşa edilmiş liman tesislerine mesafesi yaklaşık 1-5 km arasında değişmektedir. Dolayısı ile körfezdeki liman tesislerinin deprem yakın saha etkileri altında kalması kaçınılmaz görünmektedir. Çalışmanın amacı, Kıyı ve Liman Yapıları Tasarımı için Esaslar (KLYTE) yönetmeliğinde yakın saha deprem yer hareketi etkilerinin dikkate alınmadığı göz önünde tutularak İzmit körfezindeki liman tesislerinin maruz kalabilecekleri deprem yakın saha etkilerinin araştırılması ve yaratabileceği yıkıcı etkilerin ortaya konmasıdır. Bu amaçla, Derince Vapur İskelesi için Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (OSTA) yapılmış ve farklı deprem seviyeleri için Spektrumlar elde edilmiştir. Literatürde mevcut Deprem Yakın saha etkileri ile ilgili çalışmalar gözden geçirilmiş, Ortalama spektral ivmelerin fay yırılma yönelimine bağlı olarak değişimi ortaya konmuştur.

## Investigation of the Effects of Near-Field Earthquakes on Marine Ports in the Gulf of Izmit

### Article Info

Received : 16.10.2024

Accepted : 23.12.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1606105

### Corresponding Author

Aydın MERT

mertay@itu.edu.tr

### Keywords

Earthquake near-field effects

Probabilistic earthquake hazard assesment

İzmit gulf

Marine ports

**How to cite:** MERT, A., (2024). İzmit Körfezindeki Limanlarda Deprem Yakın Saha Etkilerinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(4), 1015-1026.

### ABSTRACT

The province of Kocaeli, an intersection of supply and demand, is a port city with dozens of ports on the Gulf. Kocaeli is also located in a seismically active region and the distance from the faults surrounding the gulf to the port facilities built on both sides of the gulf varies between about 1-5 km. Therefore, it seems inevitable that the port facilities in the Gulf are exposed to the effects of near-field earthquakes. The aim of the study is to investigate the effects of near-field earthquakes to which the port facilities in the Gulf of Izmit may be exposed and to show the destructive effects that may occur considering that the effects of near-field earthquake ground motions are not considered in the Regulation on the Principles for the Design of Coastal and Port Structures (KLYTE 2020). To this end, a probabilistic seismic hazard analysis was carried out for the Derince Ferry Pier and spectra for different earthquake levels were determined. Existing studies on the effects of near-field earthquakes in the literature were reviewed and the change in average spectral accelerations as a function of rupture orientation was shown.

## 1. GİRİŞ

Limanlar, kara ve deniz taşımacılığı arasındaki bağlantı noktaları olarak Christiansen ve arkadaşları [1] belirttiği üzere Küresel Dünya ticaretinin yaklaşık %90'ının gerçekleştirildiği ulaşım sisteminin işlevselliğini ve sürdürülebilirliğini arttıran temel unsurlardır. Bunun yanında, buldukları bölgenin ekonomisi, sosyal ve çevresel koşulları bağlamında doğrudan etki yaratırlar. Bu anlamda, liman yapılarının kullanım amacına uygun ve doğru planlanmaları, tasarımlarının dalga, akıntı, rüzgâr gibi çevresel yüklerin yanı sıra eğer deprem bölgelerinde inşa edilecekler ise deprem yükleri dikkate alınarak gerçekleştirilmesi önemlidir. Aksi takdirde liman yapıları belirli limitlerin üstünde hasar görebilecek ve bu durum ise liman hizmetlerinin aksamasına, büyük onarım maliyetlerine hatta bölgenin sosyo-ekonomik anlamda zarar görmesine sebep olabilecektir.

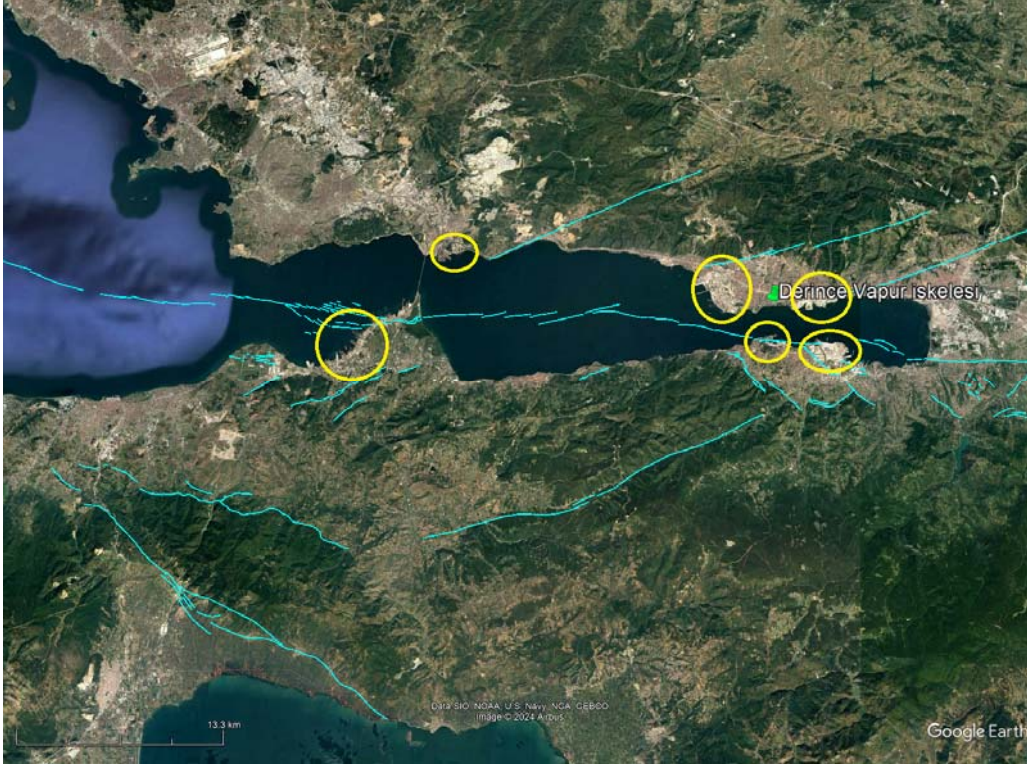
Son birkaç on yılda Türkiye de ve dünyanın farklı coğrafyalarında limanların bulunduğu bölgelerde meydana gelen yıkıcı depremler, aktif fayların yer aldığı bölgelerde inşa edilecek limanların tasarımında deprem etkilerinin dikkate alınmasının zorunluluğunu ortaya koymuştur. Loma Prieta (ABD, 1989), Hyogoken-Nanbu (Japonya, 1995), Gölcük (Türkiye, 1999), Tokachi-Oki (Japonya, 2003), Port-au-Prince (Haiti, 2010), Maule (Şili, 2010), Tohoku depremi (Japonya, 2011), Kaikoura (New Zealand, 2016), Maraş (Türkiye, 2023) gibi çok yıkıcı depremler yalnızca merkez üssü civarında değil, aynı zamanda deprem merkezinden oldukça uzak bölgelerde de zemin deformasyonlarına ve sıvılaşma gibi etkilere neden olarak ciddi hasarlara yol açmışlardır. Türkiye limanlarının çoğu, orta ila yüksek sismisite (deprensellik) ile karakterize edilen bölgelerde yer almaktadır. Sümer ve arkadaşları [2], 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin deniz yapıları üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmada bölgede mevcut olan 24 kıyı liman yapısına ait hasarlara ilişkin incelemeler yapmışlar ve depremin kıyı yapılarında ne tür hasarlara sebep olduğunu ortaya koymuşlardır. 2023 Maraş depreminde fayın en güney ucunda yer alan ve bir liman şehri olan Hatay-İskenderun da limanlarda zemin göçmesi ve zemin sıvılaşmalarına bağlı kalıcı yer değiştirmeler sonucu hasarlar olduğu belirlenmiştir.

Türkiye’de kıyı yapıları tasarımı konusunda hazırlanmış ilk sismik tasarım yönetmeliği olan Kıyı ve Liman Yapıları Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği 18.08.2007 tarihli resmî gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Daha sonra 2012 yılında Ulaştırma Bakanlığı, 2007 de Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren sismik yönetmeliği güncelleme kararı aldı. Kıyı ve liman yapıları için uygulanacak Güncellenen yeni yönetmelik Deprem Etkisi Altında Kıyı ve Liman Yapıları Tasarımı için Esaslar (KLYTE) [3] ismi ile 06.10.2020 tarihli Resmî gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik kapsamında, tasarım spektrumu, maksimum yer ivmesi ve yatay deprem spektral ivme değerleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) [4] kapsamında hazırlanan ve www.deprem.gov.tr [5] adlı internet sitesinden erişilebilen Türkiye Deprem Tehlikesi Haritaları kullanılarak aşağıda tanımlanan deprem yer hareketi seviyeleri için elde edilmiştir.

Arz ve talep açısından bir kesişme noktası olan Kocaeli aynı zamanda sismik olarak aktif bir bölgede yer almaktadır. Geçmiş tarihi deprem kayıtları, İzmit ve çevresinde şiddeti depremlerin meydana geldiğini göstermektedir. İzmit Körfezinin, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından koordine edilen Türkiye Sismik Tehlike haritasının Güncellenmesi Projesi kapsamında kullanılan ve Maden Tetkik Arama (MTA) web sayfasında [6] sunulan Yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritasına, göre konumu Şekil 1 de verilmiştir. Buna göre İzmit Körfezini çevreleyen fayların körfezin iki yakasına inşa edilmiş liman tesisi ve iskelelere mesafesi yaklaşık 1-5 km arasında değişmektedir. İzmit körfezindeki liman tesisi ve iskelelerin deprem yakın saha etkileri altında kalması kaçınılmaz görünmektedir. Kocaeli liman başkanlığının verilerine göre körfez boyunca 34 farklı liman tesisi bulunmaktadır [7].

Bu çalışmanın temel amacı, KLYTE yönetmeliğinde yakın saha deprem yer hareketi etkilerinin dikkate alınmadığı göz önünde tutularak İzmit körfezindeki liman tesisi ve iskelelerin maruz kalabilecekleri deprem yakın saha etkilerinin araştırılması ve yaratabileceği yıkıcı etkilerin ortaya konmasıdır. Bu amaçla, Enlem/Boylamı K 40,748686o- D 29,808071o olan Kocaeli İli, Derince İlçesinde Derince Vapur İskelesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Derince Vapur İskelesi için Sahaya Özel Sismik Tehlike Analizleri yapılarak KLYTE yönetmeliğinde belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için Birleştirilmiş Tehlike Spektrumları (Uniform Hazard Spectrum) elde edilmiştir. Daha sonra, literatürde mevcut Deprem Yakın saha etkileri ile ilgili çalışmalar, Somerville ve arkadaşları [8] ve Abrahamson [9], göz önünde tutularak Ortalama spektral ivmelerin fay yırtılma yönelimine bağlı olarak değişimi dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar DD-1, DD-2, DD2a ve DD-3 deprem seviyeleri için,

yönlenme etkileri dikkate alınarak hesaplanan, fay normal, fay paralel ve ortalama spektrumlar ile Geometrik Ortalama ve Maksimum döndürülmüş spektrumlar karşılaştırılarak sunulmuştur.



**Şekil 1.** İzmit Körfezinin Yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritasına [6] göre konumu. Şekilde Mavi çizgiler diri fayları Sarı daireler ise Körfezdeki önemli liman tesislerinin yoğun olarak bulunduğu yerleşimleri göstermektedir

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (OSTA)

İhtimal teorisine bağlı sismik tehlikenin hesaplanmasına ilişkin genel yöntem ilk kez Cornell [10] tarafından önerilmiştir. Yöntem, iki ayrı temel modeli içerir: deprem kaynaklarını ve büyüklüklerinin mekansal ve zamansal dağılımını açıklayan deprem tekraralama modeli ve herhangi bir bölgede deprem büyüklüğüne, mesafeye, zemin koşullarına, fay tipine vs. bağlı olarak yer hareketi parametresinin değişimini tahmin eden yer hareketi tahmin modeli.

McGuire, [11] toplam olasılık yasasını kullanarak birim zamanda yer hareketi parametresi  $A$ 'nın  $a^*$  eşik değerini aşma olasılığını aşağıdaki şekilde ifade etmiştir (Eşitlik 1). Bu eşitlikte  $f_m(m)$  ve  $f_r(r|m)$  sırasıyla deprem tekraralama ve deprem büyüklüğüne bağlı mesafenin olasılık yoğunluk fonksiyonlarını,  $G_{A|m,r}$  yer hareketi parametresinin deprem büyüklüğü ve mesafeye bağlı olasılık yoğunluk fonksiyonu, ve  $v_i$  inci sismik kaynağın aktivitesini göstermektedir.  $P[A > a^* \text{ zaman } t]/t$  Sahaya etkiyen tüm sismik kaynaklardan gelen katkının toplanmasıyla hesaplanır.

$$P[A > a^* \text{ zaman } t]/t = \sum_i v_i \iint G_{A|m,r}(a^*) f_m(m) f_r(r|m) dm dr \quad (1)$$

### 2.2. Deprem Kataloğu

Deprem Kataloğunun oluşturulması amacı ile Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) [12] verileri kullanılmıştır. Bu amaçla, 01 Mayıs 1901 ile 31 Aralık 2022 tarihleri arasında meydana gelmiş depremlerin katalog bilgileri kullanılmıştır. Oluşturulan deprem kataloğunda tamlık (completeness) analizleri yapılmış, aynı depremlerin tekrar kullanılmaması ve depremlerin zaman bağımsızlığı gibi konular göz önünde tutulmuştur. Deprem kataloglarında aletsel dönem içinde kaydedilen

depremlerin kayıtları farklı zamanlarda farklı nedenlerle farklı büyüklük türlerinde kaydedilmiştir. Bu durum deprem kataloglarının homojenliğini bozarak, analizlerde hataya sebep olacağından katalogdaki depremler tek bir büyüklük çeşidine ( $M_w$ ) göre kategorize edilmişlerdir. Bu amaçla UDAP-Ç-13-06 dokümanından [13] yararlanılmış ve bu dokümanda tanımlanmış olan ampirik eşitlikler kullanılmıştır. Aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak, katalog ( $M_w$ ) magnitüd ölçeği cinsinden homojen hale getirilmiştir (Eşitlik 2-6).

$$M_w = 0,5716 (\pm 0,024927)M_s + 2,4980 (\pm 0,117197) \quad 3,4 \leq M_s \leq 5,4 \quad (2)$$

$$M_w = 0,8126 (\pm 0,034602)M_s + 1,1723 (\pm 0,208173) \quad M_s \geq 5,5 \quad (3)$$

$$M_w = 1,0319 (\pm 0,025)M_b + 0,0223 (\pm 0,117197) \quad 3,9 \leq M_b \leq 5,8 \quad (4)$$

$$M_w = 0,7947 (\pm 0,033)M_d + 1,3420 (\pm 0,163) \quad 3,5 \leq M_d \leq 5,0 \quad (5)$$

$$M_w = 0,7947 (\pm 0,031)M_l + 1,3003 (\pm 0,154) \quad 3,3 \leq M_d \leq 5,3 \quad (6)$$

Yukarıda bahsedilen deprem oluşumlarının zamandan bağımsızlığının sağlanması amacıyla kataloglarda yer alan depremlerin öncü deprem ya da artçı deprem gibi diğer depremlerin tetiklemiş olabileceği depremlerden arındırılmış olması gerekir. Bu türden istatistiksel analizlere yeniden kümelendirme (declustering) denir ve bu amaçla geliştirilmiş farklı istatistiksel yöntemler vardır. Deprem katalogunun yeniden kümelendirme işleminde Gardner ve arkadaşları [14] tarafından geliştirilen metodoloji kullanılmıştır.

### 2.3. Sismik Kaynakların Tanımlanması

Çalışma kapsamında analizler, proje koordinatları merkez olmak üzere 300 km çapında bir çember dikkate alınarak yapılmıştır (Şekil 2). Hesaplamalarda olasılıksal deprem tehlike değerlendirmesi için iki farklı sismik kaynak modeli kullanılmıştır. Her iki model de esasen aynı verilere (tektonik veri ve depremsellik) dayanmasına rağmen modellemede farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Hesaplamalarda kullanılan birinci sismik kaynak modeli alan kaynak (area source) modelidir. Alan kaynak modellerinin, çalışmanın amaçları doğrultusunda oluşturulmasında, UDAP-Ç-13-06 dokümanından yararlanılmıştır. Ayrıca, kaynak zonlarının oluşturulmasında, aletsel dönemde bölgede oluşmuş lokal büyüklüğü 3,0 ve üstü depremler dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan alan kaynakların geometrisi ve konumları Şekil 2’de alan kaynakların diğer özelliklerine ait bilgiler ise Çizelge 1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Alan sismik zonları için hesaplanmış istatistiksel parametreler (a ve b değeri,  $M_{\min}$ - $M_{\max}$ )

Sismik Zon	Mekanizma	a değeri	b değeri	$M_c$	$M_{\max}$
BGRAS032	COMPRESSION	3,969	0,940	4,2	6,5
BGRAS043	CONTINENTAL_BLOCK	4,395	0,970	4,2	6,5
BGRAS048	STRIKE_SLIP_TRANSFO	4,142	1,060	4,2	6,5
BGRAS078	STRIKE_SLIP_TRANSFO	3,000	0,800	4,2	6,5
GEOAS019	COMPRESSION	3,294	0,890	4,2	6,5
ROUAS042	STRIKE_SLIP_TRANSFO	4,321	0,71	4,5	6,5
ROUAS041	STRIKE_SLIP_TRANSFO	4,910	0,79	4,7	6,5
TURAS004	CONTINENTAL_BLOCK	3,123	0,780	4,2	6,5
TURAS005	STRIKE_SLIP_TRANSFO	3,936	0,840	4,2	6,5
TURAS013	STRIKE_SLIP_TRANSFO	4,530	0,960	4,1	6,5
TURAS034	CONTINENTAL_BLOCK	5,820	1,410	4,2	6,5
TURAS049	CONTINENTAL_BLOCK	4,291	1,000	4,2	6,5
TURAS050	STRIKE_SLIP_TRANSFO	3,190	0,930	4,2	6,5
TURAS052	STRIKE_SLIP_TRANSFO	4,950	1,09	4,1	6,5
TURAS071	STRIKE_SLIP_TRANSFO	4,372	1,16	4,1	6,5
TURAS072	STRIKE_SLIP_TRANSFO	4,000	1,000	4,2	6,6
TURAS073	STRIKE_SLIP_TRANSFO	4,287	1,050	4,2	6,5
TURAS093	COMPRESSION	4,030	0,950	4,2	6,5
TURAS094	COMPRESSION	3,460	0,850	4,2	6,5
TURAS103	COMPRESSION	5,494	1,24	4,1	6,5



Kullanılan ikinci sismik kaynak modeli fay kaynak modelleri (çizgisel kaynaklar) “Exponential Fay Modeli” olarak kullanılmıştır. Çizgisel kaynaklar fay veri tabanına bağlı olarak tanımlanan ve parametreleri, ilgili fay özelliklerine bağlı olarak belirlenen kaynak tipleridir. Fay tipi kaynak modellerinin deprem oluşturma potansiyellerinin hesaplanmasında aletsel dönemde bölgede oluşmuş lokal büyüklüğü 3,0 ve üstü depremler dikkate alınmış ve sismik tehlike hesaplamalarında Faylara ait “Activity Rate” Oranları dikkate alınmıştır. Fay kaynak modelleri, UDAP-Ç-13-06 da ayrıntıları ile açıklanan MTA’nın 2010–2012 yılları arasında yayımladığı “1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritaları Serisi dikkate alınarak hazırlanmıştır. Analizler, alan kaynak zonlar da olduğu gibi, çalışma sahası koordinatları merkez olmak üzere 300 km çapında bir çember dikkate alınarak yapılmıştır (Şekil 2). Bir fay segmentinin oluşturabileceği en büyük depremin ( $M_w$ ) cinsinden büyüklüğü Wells ve arkadaşları [17] tarafından geliştirilen fay uzunluğu ve fay kırığı ile ( $M_w$ ) ilişkilerinden yararlanılarak elde edilmiştir. Çalışmada  $M_{min}=4,5$  olarak alınmıştır.

#### 2.4. Yer Hareketi Tahmin Denklemleri-YHTD (Ground Motion Prediction Equation-GMPE)

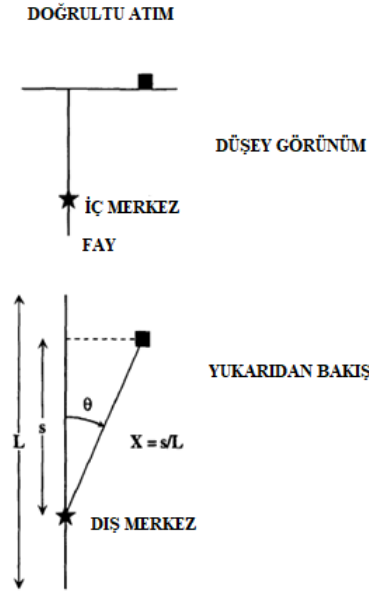
Olasılıksal Sismik tehlike çalışmalarının en önemli aşamalarından bir diğeri Yer Hareketi Tahmin Denklemlerinin seçilmesidir. Bu denklemler, yeryüzünün farklı coğrafyalarında, aletsel dönemde meydana gelmiş depremlerin ivme kayıtları kullanılarak farklı araştırmacılar tarafından belirli istatistiksel yöntemler kullanılarak geliştirilmiştir. Bu konuda literatürde en geniş kabul görmüş, en güncel çalışmalardan biri, sığ kabukta meydana gelmiş depremlerin kullanılması ile geliştirilmiş Yeni Nesil Azalım İlişkileri diye tanımlanan çalışmadır. Bu çalışmada yukarıda bahsedilen Yeni Nesil Azalım İlişkileri kullanılmamıştır. Kullanılan azalım ilişkileri şunlardır; Abrahamson ve arkadaşları [18], Boore ve arkadaşları [19], Campbell ve arkadaşları [20], Chiou ve arkadaşları [21]. Proje kapsamında kullanılan azalım ilişkilerinin Türkiye de yapılacak deprem tehlike hesaplamalarında kullanıma uygunluğu yapılan pek çok bilimsel proje ve makalede incelenmiştir. Bunlar arasında; SHARE projesi [22], EMMÉ Projesi [23], GEM Projesi [24], UDAP-C-13-06 Projesi [13] sayılabilir.

#### 2.5. Deprem Yakın Saha Etkileri

Depreme dayanıklı yapı tasarımında klasik Olasılıksal Sismik Tehlike Analizleri ile elde edilen spektrumlardan yararlanılır. Sismik tehlike analizlerinde kullanılan azalım ilişkileri genellikle uzak depremler dikkate alınarak elde edilmişlerdir. Bu sebeple, örneğin liman yapıları deprem kaynağına yakın ise deprem güvenliği açısından belirli problemler ile karşı karşıya kalmaları söz konusu olabilir. Günümüzde, yer hareketi tahmin denklemlerinin yakın saha deprem hareketinin spesifik özelliklerini yansıtacak biçimde güncellenmesi ve tahmin edilebilir doğru spektral değerlere ulaştırılması konusunda pek çok çalışma yapılmakta olsa da henüz uluslararası kabul gören neticelere ulaşılamamıştır. Pek çok araştırma sonucu ve bilimsel makalenin vurguladığı üzere, özellikle yakın saha deprem yer hareketine maruz kalması muhtemel yapıların tasarımında, ülkemizdeki deprem şartnamelerinde olduğu gibi, tasarım şartnamelerinde bu etkiler dikkate alınmadıysa deprem güvenliği açısından eksiklik olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada Somerville ve arkadaşları [8] tarafından ortaya atılan ve daha sonra Abrahamson [9] tarafından geliştirilen fay kırılma yönelim modeli kullanılarak yakın saha etkileri (yönelim (directivity), faya paralel bileşen, faya normal bileşen) modellenmiştir. Somerville ve arkadaşları [8] modeli, yatay azalım ilişkilerine uygulanabilecek periyoda bağlı ölçeklendirme faktörlerini içermektedir. Faktörler, yakın saha yönelim etkileri sebebiyle hareketin ortalama yatay bileşenindeki sarsıntı şiddetinin değişimini hesaba katar. İlgilenilen saha fayın yırtılma yönünde ise daha büyük genlikli yer hareketi, fayın yırtılma yönünün tersinde ise daha küçük genlikli yer hareketi oluşması söz konusudur.

Somerville ve arkadaşları [8] Ampirik modeli ( $X$ ) ve ( $\Theta$ ) olmak üzere iki yönelim parametresi kullanır (Şekil 4). Burada ( $X$ ), bölgeye doğru yırtılan fay uzunluğunun kesri olarak ( $s$ -dış merkezin sahaya uzaklığı ve  $L$ -yırtılan fayın uzunluğu) ( $\Theta$ ) ise deprem merkezinin azimutu ile fay yırtılma doğrultusu arasında kalan açı olarak tanımlanır. En kötü durum ( $X=1$ ) ve ( $\Theta=0$ ) olması durumudur. Somerville ve arkadaşları [8] tarafından kullanılan ampirik model ( $X$ ) in değeri 0 değerinden 1’e doğru arttıkça sürekli bir oranda artar biçime sahipti. Ancak,  $X\cos(\Theta)$  değerinin 0.6’dan büyük olduğu çok az gözlemsel veri vardı ve modelin daha büyük  $X\cos(\Theta)$  değerlerine entropolasyonu iyi sınırlandırılmamıştı. Ampirik kayıtların ve sayısal simülasyonların değerlendirilmesine dayanarak Abrahamson [9] modelin biçimini  $X\cos(\Theta)=0.4$ ’te maksimuma ulaşacak şekilde değiştirilmesini önerdi.



Şekil 4. Somerville ve arkadaşları [8] ampirik modelinde kullanılan fay geometrisi

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

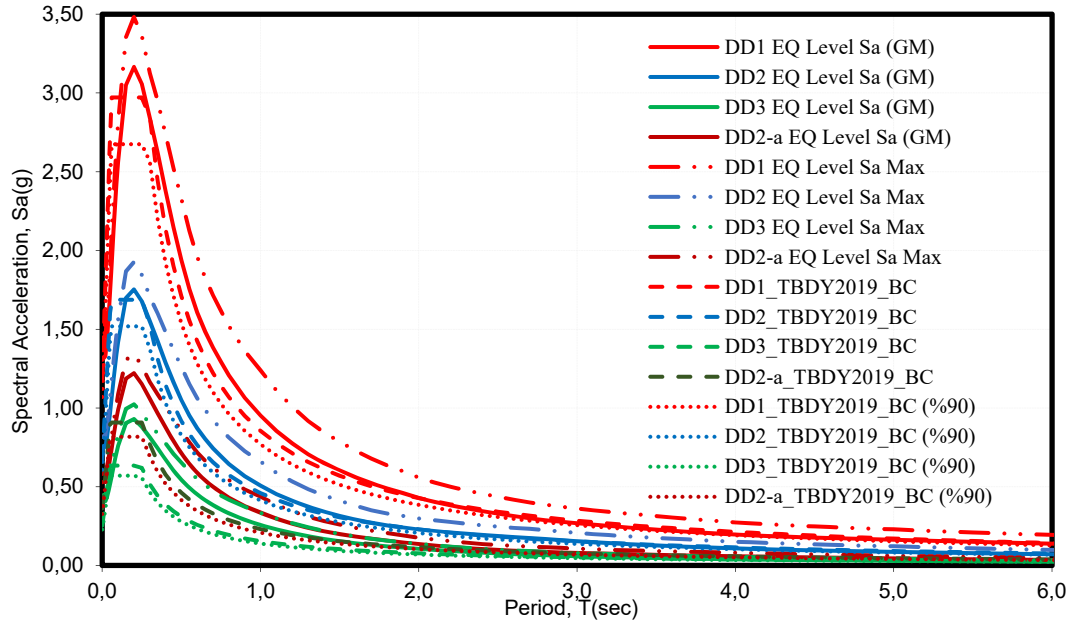
#### 3.1. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (OSTA) Sonuçları

Enlem/Boylamı K 40.748686°- D 29.808071° olan Kocaeli İli, Derince İlçesinde Derince Vapur İskelesi için olasılıksal sismik tehlike analizi KLYTE [3] kurallarına göre EZ-FRISK yazılımı [25] kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda zemin sınıfı zemin kaya geçişi (B/C Boundary) olarak kabul edilmiş ve  $V_{s30}$  hızı 760 m/s olarak alınmıştır. KLYTE [3] kurallarına göre DD-1, DD-2, DD-2a ve DD-3 deprem seviyeleri için 0,01-8,0 s periyot aralığında %5 sönüm oranına sahip sahaya özgü yatay birleştirilmiş tehlike spektrumu (5%-damped horizontal uniform hazard spectra) hesaplanmıştır. DD-1, DD-2, DD-2a ve DD-3 deprem seviyeleri sırasıyla 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekerrür sıklığı 2475 yıl), %10 (tekerrür sıklığı 475 yıl), %30 (tekerrür sıklığı 140 yıl) ve %50 (tekerrür sıklığı 72 yıl) olan depremleri tanımlamaktadır. Tehlike spektrumunun oluşturulmasında her bir spektral periyot için yıllık aşım oranları alan kaynaklar ve fay kaynakları için ayrı ayrı hesaplanmış ve etkileri toplanmış daha sonra azalım ilişkileri vasıtası ile çalışma sahasında her bir periyoda karşılık gelen spektral ivmeler her bir deprem seviyesi (aşılma olasılığı) için Geometrik ortalama (GeoMean) cinsinden ayrı ayrı elde edilmiştir.

Çizelge 2. Çalışma sahasında hesaplanan yatay spektral ivme değerleri (geo ort, maks doğ)

Tasarım depremi	Aşılma olasılığı	Geometrik ortalama			Maksimum doğrultu		
		PGA	$S_s=0.2$ s	$S_1=1.0$ s	PGA	$S_s=0.2$ s	$S_1=1.0$ s
DD-1 Depremi	2475yıl-50yılıda%2	1.306	3.166	0.953	1.437	3.483	1.238
DD-2 Depremi	475yıl-50yılıda%10	0.742	1.753	0.507	0.816	1.928	0.659
DD-2a Depremi	144yıl-30yılıda%50	0.529	0.930	0.257	0.444	1.023	0.334
DD-3 Depremi	72yıl-50yılıda%50	0.403	1.221	0.336	0.582	1.344	0.437

Daha sonra, Geometrik ortalama spektral ivmelerden Huang ve arkadaşları [26] tarafından önerilen periyod bağımlı dönüşüm faktörleri kullanılarak Maksimum doğrultu spektral ivme değerleri hesaplanmıştır. Bu dönüşüm faktörleri Amerikan Yapı Sismik Güvenlik Konseyinin hazırladığı Ulusal Deprem Tehlike Azaltma programı hükümlerinin 2009 versiyonunda ve Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliğinin 2010 da hazırladığı ASCE/SEI 7-10 [27] şartnamede önerilmiştir. Çalışma sahasında hesaplanan Yatay birleştirilmiş tehlike spektrumu çizimleri geometrik ortalama ve maksimum doğrultu cinsinden KLYTE [3] ile verilen spektrumlar ile karşılaştırılarak Şekil 5'te sunulmuştur. Çizelge 2'de ise maksimum yer ivmesi ile 0,2 saniye ve 1 saniyedeki spektral ivme değerleri geometrik ortalama ve maksimum doğrultu cinsinden verilmiştir.



Şekil 5. Çalışma sahasında hesaplanan yatay deprem tasarım spektrumları (geometrik ortalama, maksimum doğrultu ve DEAKLYTE, 2020)

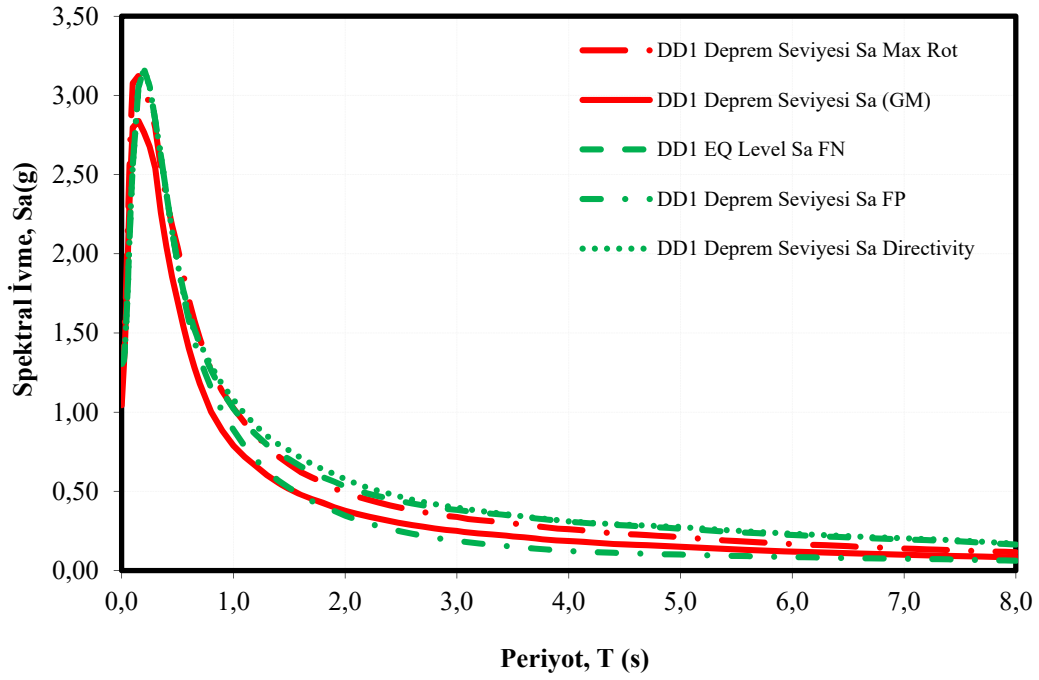
### 3.2. Deprem Yakın Saha Analizi Sonuçları

Çalışma sahasının deprem yakın saha etkileri altında kalması mümkün görünmektedir (Şekil 6). Dolayısı ile, Fay yırtılma doğrultusuna ve yönüne bağlı olarak yönlendirme etkisi ve faya paralel ile faya normal bileşenlerde oluşabilecek spektral ivmelerin değişimleri dikkate alınmış ve hesaplamalar buna göre yapılmıştır. Bu hususta Somerville ve arkadaşları [8] ve Abrahamson [9] tarafından yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar DD-1, DD-2 deprem sevipleri için, deprem yakın saha etkileri dikkate alınarak hesaplanan, yönlendirme (directivity) faya normal, faya paralel spektrumlar ile Geometrik Ortalama ve Maksimum döndürülmüş spektrumlar karşılaştırılarak sunulmuştur (Şekil 7 ve Şekil 8).

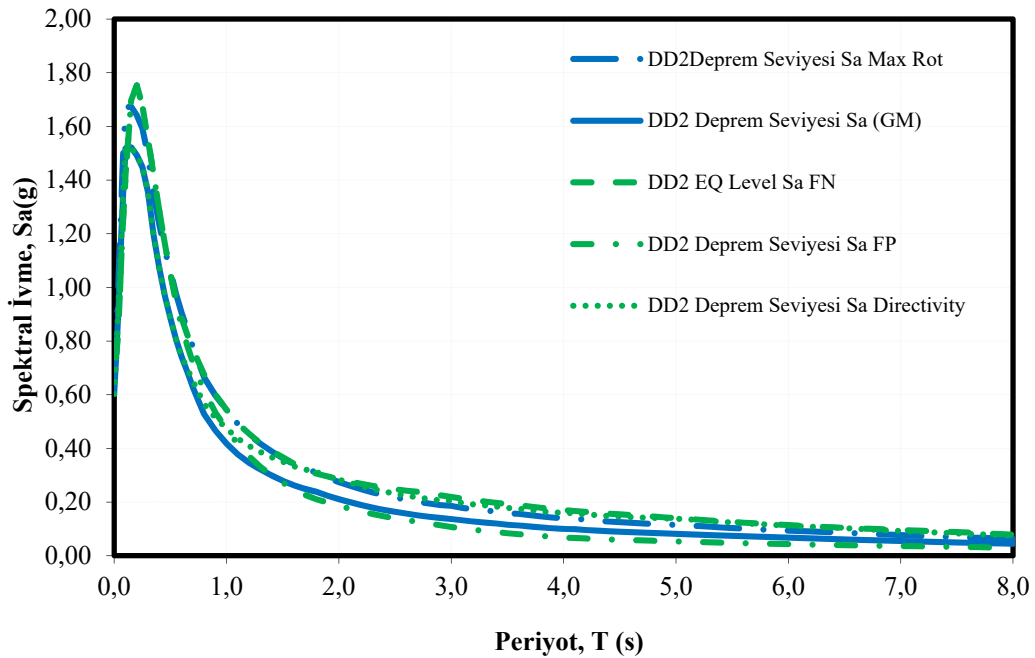


Şekil 6. Proje sahasında yakın saha etkilerinin hesaplandığı geometri ve Türkiye diri fay haritası verilerine göre proje sahasının konumu





Şekil 7. Someville ve arkadaşları [8] ve Abrahamson [9] dikkate alınarak DD-1 deprem seviyesinde hesaplanan deprem yakın saha etkileri



Şekil 8. Someville ve arkadaşları [8] ve Abrahamson [9] dikkate alınarak DD-2 deprem seviyesinde hesaplanan deprem yakın saha etkileri

#### 4. SONUÇLAR

Çalışma sahasının İzmit körfezinden geçen Kuzey Anadolu Fayının kuzey koluna mesafesi yaklaşık 2,5 km dir. Sahanın yaklaşık 3 km batısında Türkiye'nin en önemli petrokimya tesislerinden biri olan Yarımcı Petrokimya Tesisi ile Türkiye Petrol Rafineri Anonim Şirketine ait İzmit Rafinerisi ve bu işletmelere ait liman tesisleri yer almaktadır. Çalışma sahasının hemen doğusunda yaklaşık 1-3 km mesafede ise Toprak Mahsulleri Ofisi, Petrol Ofisi ve farklı pek çok özel petrol şirketinin dolmuş ve liman tesisleri bulunmaktadır. Çalışma sahasının yaklaşık 4 km güneydoğusunda ise önemli bir otomobil üreticisinin liman tesisleri yer almaktadır. Dolayısı ile çalışma sahası, deprem açısından İzmit körfezindeki en stratejik noktalardan birisidir. Bu özelliği ile körfezde pek çok önemli liman sahası için deprem yakın saha etkilerinin araştırılması hususunda örnek teşkil edebilecek niteliktedir. Çalışmada ilk olarak olası bir deprem sonrasında çalışma alanı olarak seçilen Derince Vapur İskelesi için Olasılıksal sismik tehlike analizi yapılarak tasarım spektrumları KLYTE [3] yönetmeliğine uygun olarak dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için elde edilmiştir. Bu amaçla öncelikle sahanın deprenselliği ve sismo-tektonik özellikleri değerlendirilmiş daha sonra literatürde mevcut farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş azalım ilişkileri kullanılmıştır. Bu tür bağıntılar yerel zemin koşulları incelenerek geliştirilmiş bağıntılar olmadığından, yerel zemin etkilerinin hesaplamaları etkilememesi hususu göz önünde tutularak hesaplamalarda zemin sınıfı zemin kaya geçişi (B/C Boundary) olarak kabul edilmiş ve  $V_{s30}$  hızı 760 m/s olarak alınmıştır. Böylelikle hesaplamaların zemin etkisinden bağımsız olarak karşılaştırılması mümkün hale getirilmiştir.

**Çizelge 3.** Yakın saha yönlenme, fay normal, fay paralel, geometrik ortalama ve maksimum döndürülmüş spektrumların karşılaştırılması

	PGA	$S_5=0.2$ s	$S_1=1.0$ s	$S_2=2.0$ s	$S_3=3.0$ s	$S_4=4.0$ s
Yönlenme	1,306/0,742	3,166/1,753	1,080/0,575	0,577/0,309	0,398/0,228	0,311/0,160
Fay normal	1,306/0,742	3,166/1,753	1,022/0,544	0,531/0,285	0,383/0,219	0,309/0,171
Fay paralel	1,306/0,742	3,166/1,753	0,888/0,473	0,347/0,186	0,188/0,108	0,123/0,068
Geometrik ortalama	1,306/0,742	3,166/1,753	0,953/0,507	0,429/0,230	0,268/0,154	0,195/0,101
Maksimum döndürülmüş	1,148/0,663	3,043/1,642	1,025/0,544	0,490/0,274	0,339/0,186	0,261/0,141

Çalışmanın ikinci aşamasında Somerville ve arkadaşları [8] ve Abrahamson [9] çalışmaları ile ortaya konan fay yırtılma yönelimine bağlı yakın saha deprem etkileri araştırılmıştır. Yönelim etkisi, fay segmentinin kırılma yönü ile doğrudan ilişkilidir. Eğer kırılma yönü değerlendirilen alana giderek yaklaşan doğrultuda ise buna ileri yönelim (forward directivity) etkisi, buna karşın, fayın kırılma yönelimi değerlendirme yaptığımız bölgeden giderek uzaklaşacak biçimde ise buna geri/ters yönelim (back directivity) etkisi denmektedir. Yönelim etkileri, yakın saha bölgesinde uzun periyotlu yüksek genlikli puls tipi yer hareketi bileşenlerinin oluşmasına sebep olabilir. Bu sebeple, yönelim etkilerinin özellikle uzun periyotlu Mühendislik yapılarının (liman, iskele, iskelelerin üzerindeki vinçler) tasarımında dikkate alınması gerektiği vurgulanmalıdır. Şekil 7 ve Şekil 8'de sırası ile DD-1 ve DD-2 deprem seviyeleri için yeşil nokta ile gösterilmiş spektrum, çalışma sahasında yönelim etkisi dikkate alınarak hesaplanmış spektrumdur. Şekillerden kolayca anlaşılacağı üzere özellikle 1 saniye periyodundan sonra en yüksek genlikli spektrumdur. Olasılıksal Tehlike analizlerinde hesaplanan Geometrik ortalama spektrumunun genliklerinden oldukça yüksek genliklere sahiptir. Örneğin, 1 saniye periyodunda %13, 3 saniye periyodunda ise %49 daha yüksek genliklere sahiptir (Çizelge 3). Yakın saha deprem yer hareketinde, sarsıntı şiddetinin yöne bağımlılığını yansıtan ikinci önemli husus: Fay Normal (FN) ve Fay Paralel (FP) bileşenlerin geometrik ortalama bileşenine oranıdır. Bu iki faktör ilgilenilen sahanın, Fay yırtılmasının ileri ve geri yönünde olup olmasına ve Fay yırtılmasının uzunluğuna bağlıdır. Şekil 7 ve Şekil 8'de sırası ile DD-1 ve DD-2 deprem seviyeleri için yeşil kesikli çizgi ile Fay Normal (FN) ve yeşil kesikli çizgi nokta ile Fay Paralel (FP) bileşenler gösterilmiştir. Şekil 7 ve Şekil 8'de görüldüğü gibi ileri yönlenme etkisinde Fay Normal bileşeni özellikle 1 saniye periyodundan sonra oldukça yüksek genliklere ulaşmaktadır (Çizelge 3). Çizelge 3'te farklı periyot değerleri için yönlenme, fay normal, fay paralel, geometrik ortalama ve maksimum döndürülmüş spektrumlar için hesaplanan değerler DD-1/DD-2 deprem seviyeleri için karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Sismik olarak dünyanın en aktif kuşaklarından biri üzerinde yer alan ülkemizde, can kayıplarının ve ekonomik kayıpların en az seviyeye indirilmesinin sağlanması bunun yanında, deprem gibi bir doğal afetten sonra gerekli her türlü yardım ve ihtiyacın bölgeye ulaşımının sağlanması son derece önemli bir husustur.

Bu anlamda, limanların hayati fonksiyonlarının yürütülmesi için, göz önüne alınacak fonksiyonların belirlenmesi, bu alanda gerekli görülen planlamanın yapılması, bu konuda yetki ve sorumluluğu olan kurumların iş birliklerinin nasıl gerçekleştirileceğinin belirlenmesi kritik bir konudur. Bu çalışmanın, deprem sonrasında İzmit körfezindeki limanlarda meydana gelebilecek hasarların seviyesi ve sebepleri hususunda önemli bilgiler ortaya çıkardığı düşünülmektedir. Bu tarz çalışmaların hem İzmit körfezinde hem de ülkemizde farklı deprem bölgelerinde mevcut ya da inşa edilecek limanların deprem güvenliğinin artırılması hususunda faydalı olacağı düşünülmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

- Christiansen, M., Hellsten, E., Pisinger, D., Sacramento, D., Vilhelmsen, C., 2020. Liner shipping network design. *European Journal of Operational Research*, 286(1), 1-20.
- Sümer, B.M., Kaya, A., Hansen, N.-E.O., 2002. Impact of liquefaction on Coastal Structures in the 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake, Proc., 12th Int. Offshore and Polar Eng Conf., Kita Kyushu, Japan, II: 504-511.
- KLYTE, 2020. Deprem etkisi altında kıyı ve liman yapıları tasarımı için esaslar. Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma Bakanlığı Alt Yapı Yatırımları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- TBDY, 2018. Türkiye bina deprem yönetmeliği. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı AFAD, <https://tdth.afad.gov.tr/>, Erişim tarihi: 22.09.2024, Ankara.
- Maden Tetkik Arama Enstitüsü, MTA, <http://www.mta.gov.tr/>, Erişim tarihi: 22.09.2024, Ankara.
- T.C. Kocaeli Valiliği Alt Komisyon Raporu, 2012. Kocaeli limanlarının demiryolu ve karayolu bağlantılarının yapılması, coğrafi ve fiziki imkanları uygun olan limanların birleştirilmeleri ve ihtisas limanların oluşturulması, Kocaeli Valiliği, Kocaeli.
- Sommerville, P.G., Smith, N.F., Graves, R.W., Abrahamson, N.A., 1997. Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity. *Seismological. Res. Letters*, 68, 199-222.
- Abrahamson N.A., 2000. Near-fault ground motion from the Chi-Chi earthquake. *Proceedings of U.S.-Japan Workshop on the Effect of Near-Field Earthquake Shaking*, San Francisco, CA.
- Cornell, C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58,5, 1583-1606.
- McGuire, K.R., 1995. Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: Closing the loop. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85(5), 1275-1284.
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Ulusal Deprem İzleme Merkezi, [www.koeri.boun.edu.tr](http://www.koeri.boun.edu.tr), Erişim tarihi: 12.09.2024, İstanbul.
- Ulusal Deprem Araştırma Programı, 2014. UDAP-Ç-13-06 Türkiye sismik tehlike haritasının güncellenmesi, Ankara.
- Gardner, J.K., Knopoff, L., 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 64(5), 1363-1367.
- Wiener, S., Wyss, M., 2000. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America* 90(4), 859-869.
- Wiener, S., 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters*, 72(3), 373-382.
- Wells, D.L., Coppersmith, K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 974-1002.
- Abrahamson, N.A., Silva, W.J., 2008. Summary of the Abrahamson & Silva NGA ground motion relations. *Earthquake Spectra*, 24, 67-97.
- Boore, D.M., Atkinson, G., 2008. Ground motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s. *Earthquake Spectra*, 24(1), 99-138.
- Campbell, K.W., Bozorgnia Y., 2008. NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s. *Earthquake Spectra*, 24(1), 139-171.
- Chiou, B., Youngs, R.R., 2008. An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra* 24, 173-215.

22. Stucchi, M., Rovida, A., Gomez, A.A., Alexandre, P., Camelbeeck, T., Demircioglu, M.B., Giardini, D., 2013. The SHARE European earthquake catalogue (SHEEC) 1000-1899. *Journal of Seismology*, 17, 523-544.
23. Erdik, M., Sesetyan, K., Demircioglu, M.B., Tuzun, C., Giardini, D., Gulen, L., Zare, M., 2012. Assessment of seismic hazard in the Middle East and Caucasus: EMME (Earthquake Model of Middle East) project. In Proc. of 15th World Conference on Earthquake Engineering.
24. GEM, 2013. GEM Global Historical Earthquake Catalogue, Version 1.0 released on 2013-06-25. <http://www.emidius.eu/GEH/>, Erişim tarihi: 08.10.2024.
25. Risk Engineering, EZ-FRISK-Software for Ground Motion Estimation, Risk Engineering Inc., Boulder, Colorado, 2015.
26. Huang, Y.N., Whittaker, A.S., Luco, N., 2008. Maximum spectral demands in the near-fault region. *Earthquake Spectra*, 24(1), 319-341.
27. ASCE 7-10, 2010. Minimum design loads for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers, ASCE Standard No. ASCE/SEI 7-10, Reston, VA.