

TÜRKİYE BÜYÜK DEPREM KAYITLARI DOĞRULTUSUNDA YER HAREKETİ TAHMİN DENKLEMİ SAÇILIM DEĞERLENDİRMESİ

EVALUATION OF GROUND MOTION PREDICTION EQUATION DISPERSIONS BASED ON MAJOR EARTHQUAKE RECORDS IN TURKEY

Engin NACAROĞLU¹, Berk YAĞCIOĞLU², Emine Aylin ACARLAR³,
Selçuk TOPRAK⁴, Muhammet CEYLAN⁵

ÖZET

Sismik tehlike analizleri, ileride meydana gelebilecek depremleri tahmin etmek ve depremlerin olası zararlarını azaltabilmek için yapılan çalışmaların temelini oluşturur. Sismik tehlikeyi belirlemek için deterministik ve olasılıksal olmak üzere iki ana yaklaşım bulunmaktadır. Olasılıksal sismik tehlike analizinde, yer hareketi parametreleri açısından senaryolar oluşturularak en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, spektral ivme ve şiddet dağılımları hesaplanır ve farklı yer hareketi düzeylerinin belirli bir zaman dilimindeki aşılma olasılığı tahmin edilir. Deterministik sismik tehlike analizinde (DSTA) incelenen inşaat sahasını en fazla etkileyebilecek deprem senaryosu veya belirlenmek istenen koşulları sabit bir olay seçilir ve bu depremin çalışma sahasında yaratacağı yer hareketi, Yer Hareketi Tahmin Denklemi (YHTD) kullanılarak belirlenir. YHTD'ler geçmişte gerçekleşmiş depremlerin uzaklık, fay ve zemin özellikleri gibi değişkenlerine bağlı olarak deprem ve istasyon ölçümlerine göre geliştirilmiştir. Bu denklemler bahsedilen fay ve geometri girdilerine bağlı olarak belirli bir dağılıma sahiptirler. Her vaka bu dağılım içerisinde YHTD'nin tahmin ettiği ortalama değer altında veya üstünde kalabilmektedir. Bu çalışma kapsamında Ulusal Deprem Araştırma Programı bünyesinde kullanılan YHTD'lerin tahmin ettiği $T=0.2$ s spektral ivmeleri ve $T=1$ s spektral ivmeleri, ortalama değer $\pm \epsilon$ kadar standart sapma (σ) doğrultusunda değerlendirilmiştir. Türkiye'de gerçekleşen magnitudü 7'den büyük olan Kahramanmaraş- Pazarcık (Mw7.7), Kahramanmaraş-Elbistan (Mw7.6), Bolu-Düzce (Mw7.1), ve İzmit-Gölcük (Mw7.6) depremleri incelenmek üzere seçilmiştir. Her istasyon kaydı için YHTD'nin saçılımında karşılık gelen ϵ değerleri doğrultusunda YHTD'lerin performanslarını etkileyen zemin ve topografya özellikleri yorumlanmıştır. Çalışma

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Pamukkale Üniversitesi, enacaroglu@pau.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Doktora Öğrencisi, Pamukkale Üniversitesi, byagcioglu13@posta.pau.edu.tr

³ Yüksek Lisans Öğrencisi, Pamukkale Üniversitesi, eacarlar23@posta.pau.edu.tr

⁴ Profesör Dr., Gebze Teknik Üniversitesi, stoprak@gtu.edu.tr

⁵ Öğretim Görevlisi, İstanbul Gelişim Üniversitesi, muceylan@gelisim.edu.tr

sonucuna bağlı olarak fay ve zemin değişkenlerine bağlı DSTA yöntemi en kötü senaryo ϵ değerinin seçimi için bir örnek yaklaşım uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yer hareketi tahmin denklemleri, sismik tehlike analizi, spektral ivme, pik yer ivmesi

ABSTRACT

Seismic hazard analyses form the basis of studies aimed at predicting future earthquakes and reducing potential damages caused by earthquakes. There are two main approaches to determining seismic hazard: deterministic and probabilistic. In probabilistic seismic hazard analysis, scenarios are created in terms of ground motion parameters, and peak ground acceleration, peak ground velocity, spectral acceleration, and intensity distributions are calculated, and the probability of exceeding different levels of ground motion within a specific time frame is estimated. In deterministic seismic hazard analysis (DSHA), the earthquake scenario that could most affect the construction site being studied or the conditions that are desired to be determined is selected as a fixed event, and the ground motion that this earthquake will generate at the study site is determined using Ground Motion Prediction Equations (GMPE). GMPEs have been developed based on earthquake and station measurements depending on variables such as distance, fault, and ground characteristics of past earthquakes. These equations have a specific distribution based on the mentioned fault and geometry inputs. Each case can fall below or above the average value predicted by the GMPE within this distribution. In this study, spectral accelerations at $T=0.2$ s and $T=1$ s predicted by the GMPEs used within the National Earthquake Research Program were evaluated in the direction of the mean value $\pm \epsilon$ standard deviation (σ). Earthquakes with magnitudes greater than 7 that occurred in Turkey, such as Kahramanmaraş-Pazarcık (Mw7.7), Kahramanmaraş-Elbistan (Mw7.6), Bolu-Düzce (Mw7.1), and İzmit-Gölcük (Mw7.6) were selected for examination. For each station record, ground and topography characteristics affecting the performance of the GMPEs were interpreted in line with the corresponding ϵ values in the dispersion of the GMPE. Based on the results of the study, a sample approach was applied for selecting the worst-case ϵ value using the DSHA method based on fault and ground variables.

Keywords: Ground motion prediction equations, seismic hazard analysis, spectral acceleration, peak ground acceleration

1. GİRİŞ

Sismik tehlike analizi, geçmişte meydana gelen depremlere ait mevcut verilerin, jeolojik, sismolojik, istatistiksel ve diğer ilgili bilgilerin sistematik bir şekilde entegre edilmesiyle gerçekleştirilir. Bu analiz, belirli bir bölge için gelecekteki sismik aktiviteyi tahmin etmek amacıyla nicel olarak yapılır. Tahmin denklemlerinde kullanılan önemli unsurlardan birincisi sismisite kaynağıdır. Bunlar belirlenen faylar olarak doğrudan çizgisel kaynak olarak alınabilir ve fayların tespit edilemediği bölgelerde sismisite tarihçesine bağlı olarak bölge alansal olarak değerlendirilir (Kramer 1996). Sismik tehlike analizi çalışmalarında olasılıksal ve deterministik yöntemler bulunmaktadır. Deterministik Sismik Tehlike Analizi (DSTA), belirli bir bölgede en büyük etkiyi yaratabilecek deprem senaryosunu belirlemek için zamandan bağımsız olarak uygulanır. Bu yöntemde, her bir sismik kaynak için deprem

senaryoları oluřturulur ve belirli bir yer hareketi olasılık dűzeyi seçilir. Depremin konumu belirlendikten sonra bu noktanın hedef sahaya en yakın mesafesi hesaplanır. Yer hareketinin bűyűklűđű, mesafesi ve standart sapma (σ) deđeri, ampirik modeller veya sayısal siműlasyonlar kullanılarak hesaplanır. Her bir senaryo için yer hareketi belirlenir ve en bűyűk yer hareketi tasarım için kullanılır. Uygun azalım iliřkisi seçilerek yer hareketi parametreleri (ivme, yer deđiřtirme, hız vb.) hesaplanır. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (OSTA) ise bűlgenin sismik ۆzellikleri ile ilgili belirsizlikleri dikkate alır. Tűm olası deterministik deprem senaryoları ve yer hareketi olasılık seviyeleri (medyanın ۆstűnde veya altında σ aralıđı) hesaplanır. Bu yűntem, bűlgedeki geçmiř depremleri inceler ve sismik kaynaklarla ilgili belirsizlikleri gűz ۆnűnde bulundurur. Olasılıksal yaklařımda her senaryo için yer hareketi, yer hareketi azalım iliřkisinin medyan deđerinin ۆstűnde veya altında σ deđerleri ile hesaplanır. Olasılıksal yaklařım, deterministik yaklařımı da kapsamaktadır.

Yer hareketi tahmin denklemleri (YHTD), sismik veriler kullanılarak geliřtirilen ve belirli bir bűlgedeki deprem etkilerini tahmin etmeye yűnelik matematiksel modellerdir. Bu denklemler, deprem kaynaklı yer hareketlerinin istatistiksel olarak modellenmesi sonucunda elde edilir. Girdi verileri ile geliřtirilen YHTD elde edilen denklemler belirli bir saçılımın ortalamasını belirlemektedir. Standart sapma, verinin ortalama deđerden ne kadar saptıđını ۆlen istatistiksel bir deđerdir ve bu sapmalar hem yer hareketlerinin tahmin edilmesinde hem de yapıların tasarımında kritik ۆneme sahiptir. Yer hareketi tahminlerinde kullanılan epsilon (ϵ), belirli bir yer hareketi seviyesinin, deprem bűyűklűđű ve mesafe için bir YHTD tarafından tahmin edilen medyan yer hareketi seviyesinden sapma miktarını ifade eden σ katsayısıdır (International Atomic Energy Agency, 2016).

Eđer ϵ pozitif bir deđer alırsa, bu gűzlemlenen spektral ivmenin tahmin edilenden daha bűyűk olduđunu gűsterir; eđer ϵ negatif bir deđer alırsa, gűzlemlenen spektral ivmenin tahmin edilenden daha kűűk olduđunu gűsterir. ϵ deđeri ne kadar bűyűkse, gűzlemlenen deđer ile tahmin edilen deđer arasındaki fark da o kadar bűyűk olur ve bu farkın kaç σ olduđunu gűsterir. Yer hareketi spektral ivme deđerinin gűzlemlenen ve tahmin edilen ortalama deđerler arasındaki farkını ve bu farkın belirsizliđe oranını ifade eden ϵ deđeri, belirli bir yer hareketi kaydının tahmin edilenden ne kadar sapma gűsterdiđini anlamak için kritik bir bilgidir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Yer Hareketi Tahmin Denklemi (YHTD) Seçimi

YHTD yardımıyla farklı deprem senaryoları ile klasik olarak kaydedilen gűlű yer hareketi parametreleri (pik zemin ivmesi, pik zemin hızı veya spektral tepki ivmesi) tanımlanır. Literatűrde geliřtirilmiř çok sayıda YHTD bulunmaktadır. Bu denklemler, farklı veri setleri ve yűntemlerle geliřtirilmiř olup, belirli bir bűlge veya durum için yer hareketlerini tahmin etmek ۆzere çeřitli yűntemler sunar. YHTD seçiminde, Bommer vd. (2010) gibi eleme yűntemleri kullanılmakta olup, bu yűntemlerde denklemin gűncelliđi, yayınlanma kořulları ve bűlge ile uyumu gibi kriterler dikkate alınır.

Ulusal Deprem Arařtırma Programı (UDAP) kapsamında, Tűrkiye Sismik Tehlike Haritasının Gűncellenmesi alıřması gerçekleřtirilmiřtir. Deprem tehlikesini azaltmak için gerekli

araştırmalar, Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı (UDSEP-2023) ile belirlenmiş ve mevcut deprem tehlike haritasını güncellemek üzere ulusal düzeyde bir proje oluşturulmuştur. Türkiye için sismik tehlike hesaplarında kullanılacak denklemler, bölgenin sismotektonik yapısına göre belirlenmiştir ve aktif sığ kabuk içi depremler (ASKD) ile dalma-batma bölgelerinde (DBZ) oluşan depremler için uygun YHTD'leri içermektedir. Sismik tehlike analizi için nihai model listesi Akkar ve Çağnan, 2010 (AC10), Akkar vd., 2014 (ASB14), Chiou ve Youngs, 2008 (CY08) ve Zhao vd. 2006, (Zh06) şeklinde belirlenmiştir. Sismik tehlike hassaslık analizlerinde 3'lü [ASB14[0.33]-CY08[0.33]-AC10[0.33]] ve 4'lü [ASB14[0.30]-CY08[0.30]-AC10[0.30]-Zh06[0.10]] mantık ağacı setleri kullanılmıştır (Akkar vd., 2014). Projenin aktif sığ kabuk içi deprem üreten bölgeleri için 4'lü mantık ağacı setinin kullanılması önerilmesi üzerine, çalışmada 4'lü mantık ağacı seti kullanılmıştır. Bu çalışmadaki nihai YHTD'leri Türkiye Sismik Tehlike Haritasında kullanılan Akkar ve Çağnan (2010), Akkar vd. (2014), Chiou ve Youngs (2008) ve Zhao vd. (2006) UDAP final raporunda verilen ağırlıklı ortalamalarına göre uygulanmıştır.

Akkar ve Çağnan (2010) çalışmalarında, Türkiye için yerel YHTD geliştirmek, bu denklemleri diğer bölgesel ve küresel YHTD'lerle karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Türkiye'deki depremlerden elde edilen güçlü yer hareketi veri tabanını kullanarak, yerel bir YHTD elde etmektedirler (Akkar vd., 2010). Akkar vd. (2014) çalışmalarında, Avrupa ve Orta Doğu'daki yüzeysel ve derin yer kabuğu depremleri için elastik tepki spektral ivmelerin, pik yer ivmesinin (PGA) ve hızının (PGV) tahmin edilmesi için yer hareketi modelleri sunmayı amaçlamışlardır. Bu modeller, önceki modellere göre bir dizi yenilik sunmaktadır (Akkar vd., 2014). Chiou ve Youngs (2008) çalışmalarında, yüzeysel kabuk depremlerinin neden olduğu yatay yer hareketi büyüklüklerini tahmin etmek için bir model sunmaktadırlar. Model, yer hareketlerinin yönelimden bağımsız ortalama yatay bileşeni için kestirimsel ilişkiler sağlamaktadır. İlişkiler aktif tektonik ortamlarda meydana gelen sığ kabuk depremleri için tahmin edici ilişkiler sağlar, ayrıca, pik ivmesi, pik hızı ve %5 sönümlü spektral ivme için 0.01 ila 10 saniye arasındaki spektral periyotlar için ilişkiler sunar (Chiou vd. 2008). Zhao vd. (2006) çalışmalarında, Japonya'da güçlü yer hareketlerinin azalım ilişkilerini, hâkim periyoda dayalı zemin sınıflandırması kullanarak sunmayı amaçlamışlardır (Zhao vd. 2006).

2.2. Deprem Verilerinin Seçilmesi

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'de meydana gelmiş ve büyüklüğü 7'nin üzerinde olan dört büyük deprem (Elbistan, Pazarcık, Düzce ve Gölcük depremleri) incelenmek üzere seçilmiştir. Her deprem için farklı sismik istasyonlardan elde edilen veriler kullanılmıştır. Gölcük ve Düzce depremleri için tüm mevcut sismik istasyonların verileri değerlendirilirken, Elbistan ve Pazarcık depremleri için ülke genelinde rastgele dağılım gösterecek şekilde seçilmiş istasyonların verileri analiz edilmiştir.

Gölcük (İzmit) Depremi, 17 Ağustos 1999'da saat 03.02'de, İzmit'in 11 kilometre güneydoğusunda, 40.712° N, 29.927° E koordinatlarında meydana gelmiştir. Deprem, sık sık deprem üreten Kuzey Anadolu Fayı boyunca gerçekleşmiştir. Büyüklüğü Richter ölçeğine göre 7.6 Mw olan deprem, yaklaşık 37 saniye sürmüştür. Yapılan incelemelere göre, odak derinliği 17 km olan depremde sağ atımlı 120 km civarında bir fay hareketi ortaya çıkmıştır (Karaman, 1999). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre, Gölcük

depremi için toplam 22 sismik istasyonun kaydı bulunmaktadır. Bu veriler, depremin meydana geldiği bölgedeki sismik hareketlerin detaylı analizi için kullanılmıştır.

Düzce (Bolu) Depremi, 12 Kasım 1999 tarihinde 18.57'de Türkiye'nin kuzeybatısında 40.841° N, 31.156° E koordinatlarında meydana gelmiştir. 30 saniye süren bu depremin merkezi Düzce ve Kaynaşlıdır, depremin moment büyüklüğü 7.1 Mw, derinliği 17 km'dir. 73 km uzunluğundaki Düzce fayının 30 km'lik batı bölümü 17 Ağustos 1999 depreminde kırılmış, Düzce depremi ise fayın 43 km uzunluğundaki doğu bölümünün kırılması sonucunda oluşmuştur (Özden vd. 2000). AFAD verilerine göre, Düzce depremi için toplam 19 sismik istasyonun kaydı bulunmakta, tüm bu istasyonlardan elde edilen veriler, depremin dinamik özelliklerini ve sismik davranışlarını daha ayrıntılı olarak incelemek için kullanılmıştır.

Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi, 6 şubat 2023 tarihinde saat 04:17'de 37.406°N, 37.571°E koordinatlarında, 8.6 km derinlikte ve 7.7 Mw büyüklüğünde gerçekleşmiştir. Deprem, Kahramanmaraş, Hatay, Adıyaman, Gaziantep, Malatya, Kilis, Diyarbakır, Adana, Osmaniye, şanlıurfa ve Elâziğ' da yoğun şekilde hissedilmiş, can kaybı ve ağır hasara neden olmuştur. Doğu Anadolu Fayı üzerinde oluşan deprem, Erkenek (Çelikhan-Gölbaşı arası 65 km), Gölbaşı (Gölbaşı-Türkoğlu arası 90 km) ve Amanos (Türkoğlu-Kırıkhan arası 110 km) segmentlerini etkileyen bir hat boyunca ve Ölüdeniz Fay Sistemi'nin Narlı parçasında kırılmıştır (Kürçer vd., 2023). AFAD verilerine göre, Pazarcık depremi için toplam 360 sismik istasyon kaydı bulunmakta olup, fay hattına yakın istasyonlar öncelikli tercih edilmiştir. Ayrıca, Türkiye genelinde çeşitli bölgelerden rastgele seçilen 90 istasyonun verileri de dahil edilmiştir. Seçilen istasyonlardan elde edilen veriler, bölgesel sismik tehlike değerlendirmelerinin doğruluğunu artırmak ve deprem risklerinin anlaşılmasını sağlamak için detaylı olarak incelenmiştir.

Elbistan (Kahramanmaraş) Depremi, 6 şubat 2023 tarihinde saat 13:24'te 38.089°N, 37.239°E koordinatlarında, 7 km derinlikte ve MW 7.6 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Elbistan'daki bu ikinci depremin, ardak Fayı ile Doğanşehir Fay Zonu ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Kürçer vd., 2023). AFAD verilerine göre, Elbistan depremi için toplam 370 sismik istasyon kaydı bulunmaktadır. Pazarcık depremiyle benzer şekilde, 52 istasyonun verileri seçilmiş ve bu istasyonlar, depremin yerel sismik etkilerini ve yer hareketlerini detaylı olarak incelemek amacıyla özenle belirlenmiştir. ilgili istasyon verileri, depremin şiddeti, süresi ve yer hareketlerinin mekânsal dağılımı hakkında kapsamlı bilgi sağlamaktadır. Böylece, bölgenin sismik tehlike profilini daha net bir şekilde ortaya koymak ve gelecekteki depremler için daha doğru modellemeler yapmak mümkün olmuştur. Seçilen azalım ilişkilerine bağlı olarak, her bir sismik istasyon için Joyner-Boore mesafesi (RJB) değerı ayrı ayrı hesaplanmıştır. RJB ile gösterilen bu mesafe, gözlem noktasından fay kırılışının yüzeydeki dikey izdüşümüne kadar olan en kısa yatay mesafeyi ifade eder. Bu mesafelerin doğru bir şekilde belirlenmesi, depremlerin sismik tehlike değerlendirmelerindeki kesinliğin artırılmasında kritik bir rol oynamaktadır.

Türkiye Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Araştırma ve Sismoloji Merkezi'nden (AFAD TADAş) elde edilen yer hareketi verileri kullanılarak spektral ivme değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen spektral ivme değerleri, Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği'nin (American Society of Civil Engineers- ASCE) ASCE 7-22 standartlarına göre

değerlendirilerek tasarım spektral ivme değerleri olan S_{DS} ve S_{D1} hesaplanmıştır. S_{DS} en yüksek ivme değeri olarak belirlenmiştir. S_{D1} parametresi ise V_S dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Eğer $V_S > 442$ m/s ise, S_{D1} değeri 1 ve 2 saniye arasındaki maksimum spektral ivmenin %90'ı veya 1 saniye periyodunun kendisi (ikisi arasında büyük olan) olarak hesaplanır. Eğer $V_S < 442$ m/s ise, S_{D1} değeri 1 ve 5 saniye arasındaki maksimum spektral ivmenin %90'ı veya 1 saniye periyodunun kendisi (ikisi arasında büyük olan) olarak hesaplanmıştır. S_{DS} ve S_{D1} parametreleri ile çalışmak ham spektruma göre çalışmaktan daha kolaydır ve sonuçları anlamlandırmada sağladığı rahatlık nedeniyle farklı çalışmalarda (Nacaroğlu vd., 2023) kullanılmaktadır.

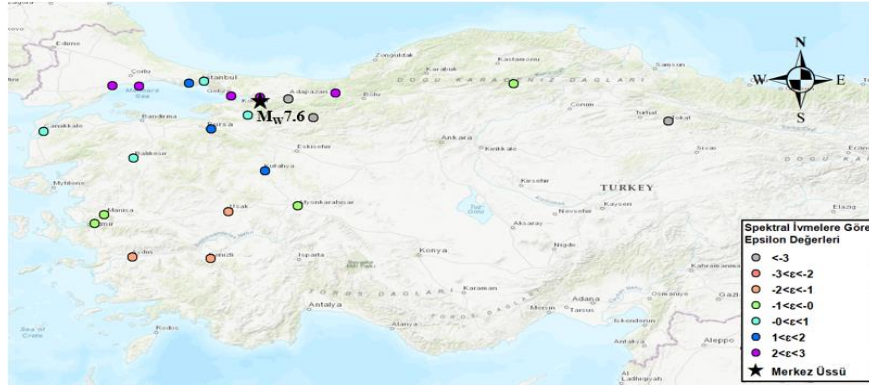
3. BULGULAR

YHTD'leri, bahsedilen fay ve geometri girdilerine bağlı olarak belirli bir dağılıma sahiptirler. Her vaka bu dağılım içerisinde YHTD'nin tahmin ettiği ortalama değer altında veya üstünde kalabilmektedir. Bu çalışma kapsamında UDAP bünyesinde kullanılan YHTD'lerin tahmin ettiği PGA, $T=0.2$ saniye spektral ivmeleri ve $T=1$ saniye spektral ivmeleri, ortalama değer $\pm \epsilon$ kadar σ doğrultusunda değerlendirilmiştir. Türkiye için seçilen farklı istasyonlar için belirlenecek ϵ değerleri doğrultusunda YHTD'lerin hangi bölgeler için güvenli bölgede hangi bölgeler için riskli bölgede sonuçlar verdiği belirlenecektir.

Tablo 1. Seçilen depremler ve veri sayıları

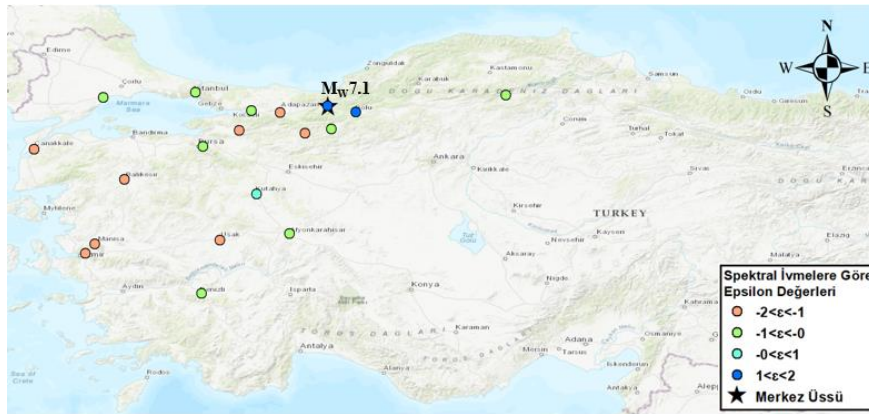
Depremler	İstasyon Adedi (E ve N)	+ ϵ		- ϵ	
		S_{DS}	S_{D1}	S_{DS}	S_{D1}
Gölcük	44	26	22	18	22
Düzce	38	13	7	25	31
Pazarcık	180	95	88	85	92
Elbistan	104	54	43	50	61

Seçilen Pazarcık (Mw7.7), Elbistan (Mw7.6), Düzce (Mw7.1), ve Gölcük (Mw7.6) depremleri için toplam 183 istasyon kullanılmıştır. Toplamda 183 adet istasyon verisinde E ve N yönleri dikkate alındığı için 366 adet veri ile çalışma gerçekleştirilmiştir. Veriler Gölcük 22, Düzce 19, Pazarcık 90 ve Elbistan 82 istasyon şeklinde dağılım göstermektedir. İlk adım olarak her istasyon için AFAD'dan ham veriler ve V_S değerleri belirlenmiştir. İkinci adımda istasyonların AFAD üzerinden ham verilerinin spektral ivme değerleri bulunarak ASCE 7-22'nin belirttiği standartlara uygun şekilde tasarım spektral ivme değerleri (S_{DS} ve S_{D1}) hesaplanmıştır. Her istasyon için belirlenen S_{DS} ve S_{D1} ile 4'lü mantık ağacı setindeki YHTD ile uyumlu olacak şekilde E ve N yönlerinde gerekli olan + ϵ ve/veya - ϵ değerleri belirlenmiştir. Şekil 1- Şekil 4'te Sırasıyla Gölcük, Düzce, Elbistan ve Pazarcık depremleri için elde edilen spektral ivmelere göre epsilon değerleri dağılım haritaları gösterilmiştir.



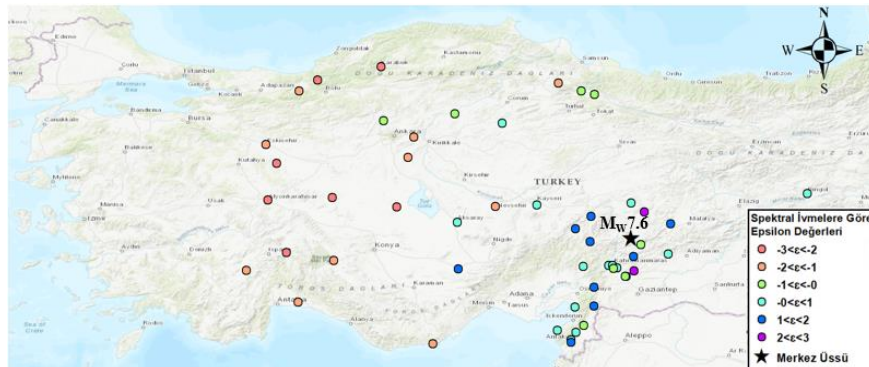
Şekil 1. Gölcük depremi spektral ivmelere göre epsilon değerleri dağılım haritası

Gölcük depreminde ϵ değerlerinin %45'i negatif, %55'i pozitifdir. İstasyon zemin sınıflarına göre değerlendirme yapıldığında, ZB için %100, ZC için %71 ve ZD için %42 beklenenden yüksek deprem tasarım parametreleri oluşmuştur. Kırılan fay segmentinden uzaklığa göre değerlendirme yapıldığında segment doğrultusunda bulunan (segmentin uzantısından geçen) istasyonlar genellikle diğer istasyonlara göre beklenenden daha yüksek ϵ değerlerinde spektral ivme üretmişlerdir.



Şekil 2. Düzce depremi spektral ivmelere göre epsilon değerleri dağılım haritası

Düzce depreminde ϵ değerlerinin %84'ü negatif, %16'sı pozitifdir. İstasyon zemin sınıflarına göre değerlendirme yapıldığında, ZB için %0, ZC için %0 ve ZD için %25 beklenenden yüksek deprem tasarım parametreleri oluşmuştur. Düzce depremi YHTD'leri, çoğu istasyon için gerçekleşen ivmelerden daha büyük ivmeler tahmin etmiştir.



Şekil 3. Elbistan depremi spektral ivmelere göre epsilon değerleri dağılım haritası

Elbistan depreminde incelenen istasyonların ϵ %50, %50 negatif ve pozitifdir. Fakat kırık oluşan segmentlere 150 km'den daha yakın olan istasyonlar incelendiğinde %86'lık kısım pozitif ϵ değerlerine sahiptir. Hasar oluşturucu etkiler bakımından 150 km içindeki istasyonlar çoğunlukla YHDT'lerinin tahminlerinin üstünde ivmeler oluşturmuştur.



Şekil 4. Pazarcık depremi spektral ivmelere göre epsilon değerleri dağılım haritası

Pazarcık depreminde incelenen istasyonların ϵ %49, %51 negatif ve pozitifdir. İstasyon zemin sınıflarına göre değerlendirme yapıldığında, ZB için %55, ZC için %57 ve ZD için %33 beklenenden yüksek deprem tasarım parametreleri oluşmuştur. Kırık oluşan segmentlere 150 km'den daha yakın olan istasyonlar incelendiğinde %76'lık kısım pozitif ϵ değerlerine sahiptir.

4. SONUÇLAR

Düzce, Gölcük, Elbistan ve Pazarcık depremlerinde 150 km'nin yakınındaki istasyonların %75'inden fazlasında yer hareketi parametreleri, YHTD'lerin tahminlerini aşmıştır. Fakat bu aşımalar 2σ içinde tasarım parametrelerinde göz önüne alınmaktadır. Tasarım sınırlarını zorlayan ($\epsilon > 2$) istasyonlar için ise Elbistan depreminde 2 istasyon, Pazarcık depreminde 12 istasyon, Gölcük depreminde 5 istasyon tespit edilmiştir. Bu istasyonların kayma dalgası hızı aralığı 282-827 m/s'dir.

Ortalama değer $+2\sigma$ 'yı güvenli tasarım koşulu olarak varsayıldığı takdirde incelenen 183 kuvvetli deprem yönü tasarım parametrelerinin 164 adedi güvenli tarafta varsayılabilir. Fakat özellikle Pazarcık depreminde diğer depremlerin aksine istasyonlarda beklenenden çok yüksek ϵ değerlerine sahip spektral ivme katsayıları hesaplanmıştır, bu ivme kayıtları özel olarak incelenmelidir.

KAYNAKLAR

- Akkar, S., Çağnan, Z. (2010). "A local ground-motion predictive model for Turkey, and its comparison with other regional and global ground-motion models". Bulletin of the Seismological Society of America, 100(6), 2978-2995.
- Akkar, S., Eroğlu Azak, T., Çan, T., Çeken, U., Demircioğlu, M. B., Duman, T., Ergintav, S., Kadirioglu, F. T., Kalafat, D., Kale, Ö., Kartal, R. F., Kılıç, T., Özalp, S., Şeşetyan, K., Tekin, S., Yakut, A., Yılmaz, M. T., ve Zülfiyar, Ö. (2014). "Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi (UDAP-Ç-13-06)". Ulusal Deprem Araştırma Programı.

- Akkar, S., Sandıkkaya, M. A., ve Bommer, J. J. (2014). "Empirical ground-motion models for point-and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East". Bulletin of earthquake engineering, 12, 359-387.
- American Society of Civil Engineers. (2022). "Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures". American Society of Civil Engineers.
- Bommer, J. J., Douglas, J., Scherbaum, F., Cotton, F., Bungum, H., ve Fah, D. (2010). "On the selection of ground-motion prediction equations for seismic hazard analysis". Seismological Research Letters, 81(5), 783-793.
- Chiou, B. J., ve Youngs, R. R. (2008). "An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra". Earthquake spectra, 24(1), 173-215.
- International Atomic Energy Agency. (2016). "Diffuse seismicity in seismic hazard assessment for site evaluation of nuclear installations (Safety Reports Series No. 89)". Vienna: International Atomic Energy Agency. ISBN 978-92-0-101716-1.
- Kramer, S. L. (1996). "Geotechnical earthquake engineering". Pearson Education India.
- Kürçer, A., Elmacı, H., Özdemir, E., Güven, C. ve Özalp, S. (2023). "06 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Genişletilmiş Bilgi Notu". Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı
- Nacaroğlu, E., Yağcıoğlu, B., Toprak, S. (2023) "Yer Tepki Analizlerinde Farklı Dinamik Kayma Modülü Yaklaşımları Kullanılarak Belirlenen Tepki Spektrumlarının Karşılaştırılması". Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 25(75), 597-609. DOI:10.21205/deufmd.2023257507
- Özden, S., Tatar, O., Mesci, B. L., Koçbulut, F., Tutkun, S. Z., Doğan, B. ve Tüvar, O. (2000). "12 Kasım 1999 Düzce depremi ve bölgesel tektonik anlamı". Türkiye Jeoloji Bülteni, 43(2), 62-67.
- Karaman, M. E. (1999). "17 Ağustos 1999 Marmara (Gölcük-Arifiye) Depremi ve Yerbilimleri değerlendirmesi". Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni, 99, 2-3.
- Zhao, J. X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., ... ve Fukushima, Y. (2006). "Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period". Bulletin of the Seismological Society of America, 96(3), 898-913.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
ϵ	Epsilon	S_{DS}	Kısa periyot spektral ivme
Mw	Moment büyüklüğü	S_{D1}	1 s. periyot spektral ivme
PGA	Pik yer ivmesi	σ	Standart sapma
PGV	Pik yer hızı	V_s	Kayma dalgası hızı
RJB	Joyner-Boore mesafesi		