

İstanbul Başakşehir İçin Sahaya Özel Deprem Tehlike Analizi ve TBDY (2018) ile Karşılaştırma

Evren Seyrek¹

Özet

Depreme dayanıklı yapı tasarımının başarısı, yapı üzerine gelecek deprem yüklerinin doğru tahmini ile son derece ilişkilidir. Bu amaçla kullanılan deprem tehlike haritaları zaman içerisinde güncelliğini yitirebilmekte veya meydana gelen yeni depremler bu haritaların yeterliliğini tartışılabilir hale getirmektedir. Bu amaçla proje sahasına özel deprem tehlike analizleri gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma kapsamında İstanbul ili, Başakşehir ilçesinde sahaya özel deprem tehlike analizi yapılarak farklı deprem seviyeleri için eş-tehlike spektrumu oluşturulmuş ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY, 2018) önerilen spektrum ile mukayese edilmiştir.

1. GİRİŞ

Bir proje sahasında beklenen yer hareketinin belirlenmesi, depreme dayanıklı tasarımda son derece önemli bir aşamadır. Bu yer hareketinin belirlenmesi, tek başına beklenen senaryo deprem büyüklüğü ile ilgili olmayıp ortaya çıkacak olan sarsıntının şiddeti yani ivmesi ile de ilgilidir. Bu yüzden güvenilir parametrelerin seçimi, projeden beklenen performans ve güvenlik hedeflerinin sağlanmasında fayda sağlayacaktır. Sarsıntının şiddeti sayısal olarak kaydedilen yer hareketi karakteristikleri ile tarif edilmektedir (Kramer, 1996). Herhangi bir senaryo depremde proje sahasında beklenen yer hareketi karakteristiğini belirlemek için deprem tehlike analizleri kullanılmaktadır. Bu analizler sadece yapı ve sismoloji alanları ile sınırlı olmayıp, jeofizik, jeoloji, geoteknik gibi farklı alanlardan elde edilen bilgilerin doğru şekilde birleştirilip kullanılması ile mümkün olmaktadır.

Deprem tehlike analizi, olasılıksal ve/veya deterministik yöntemler ile yapılabilmekte ve bu analizler neticesinde tasarım için gerekli sismik

1 Doç. Dr., Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Müh. Fak., İnşaat Müh. Böl., Geoteknik ABD, Kütahya, TÜRKİYE, evren.seyrek@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4373-6723

parametrelere ulaşabilmektedir. Deterministik analiz uygulamada en kötü durum senaryosunu dikkate alan bir yöntem olarak kabul edilmekte olup içerdiği belirsizliklerin mertebesi düşünüldüğünde bu görüşün her zaman geçerli olduğunu söylemek mümkün değildir. Olasılıksal analiz ise yer hareketi parametrelerini ve bu parametrelerin belli bir zaman dilimi için aşılma ihtimalinin elde edilmesini içerir. Cornel (1968) tarafından ortaya konan olasılıksal modelin, farklı araştırmacılar tarafından güncellense (farklı belirsizlik parametrelerini de dikkate alarak) ana çerçevesini koruduğu görülmektedir (Abrahamson 2000; Gupta, 2002).

Seyrek (2009), her iki yöntemin de avantaj ve dezavantajlara sahip olduğunu ve yıllar içerisinde geliştirilmesine yönelik çalışma sayısının artarak devam ettiğini vurgulamıştır. McGuire (2001)'e göre, her iki yöntemin birlikte kullanılması ve yorumlanması daha doğru bir yaklaşım olmaktadır. Proje sahasının konumu, sismisitesi ve projeden beklentiler iki yaklaşımdan hangisinin kullanılacağı noktasında anahtar unsurlardır.

Farklı ve kritik yapıların tasarımı, acil eylem planlarının hazırlanması ve afet dirençli şehirler gibi önemli alanlara girdi sağlayan sismik tehlike modelleri kullanılarak Türkiye'nin farklı bölgeleri için çalışmalar yapıldığı görülmektedir (Erdik vd., 1999; Tosun vd., 2007; Seyrek ve Tosun, 2011; Şeşetyan vd., 2019). Barajların deprem kaynaklı oturma tahmini için proje sahasında yer hareketi kaydı yok ise sismik tehlike analizleri önemli bir araç olarak kullanılmaktadır (Seyrek ve Topçu, 2022).

Bu çalışma kapsamında İstanbul ill Başakşehir ilçesi için olasılıksal sismik tehlike analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaç için çalışma alanı kapsamındaki sismotektonik güncel veriler derlenmiş ve deprem kataloğu tehlike analizleri için kullanıma uygun hale getirilmiştir. Boore vd. (1997), Campbell (1997) ve Sadigh vd. (1997) azalım denklemleri kullanılarak 50 yılda %10 ve 50 yılda %2 deprem seviyelerine ait eş-tehlike spektrumları elde edilmiş ve mevcut Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) ile mukayese edilmiştir.

2. GEOTEKNİK ARAŞTIRMALAR

İnceleme alanında temel zemin özelliklerini belirlemek amacıyla 24 adet 8 m ve 1 adet 10 m derinliğinde sondaj kuyusu açılmıştır. Zemin profili incelendiğinde, saha genelinde yüzeyde 0.5m kalınlığında bitkisel toprak yer almaktadır. Bitkisel toprak altında araştırma derinliği boyunca kireçtaşı kaya birimi yer almaktadır. Kireçtaşı olarak tariflenen birimlerden alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen Nokta Yükleme deney sonuçlarına göre Nokta Yük Dayanım İndeksi ($I_{s(50)}$) değerlerinin 1.07 MPa ile 3.98 MPa arasında

değiştirdiği görülmüştür. Arazide yapılan sondaj çalışmaları esnasında yeraltı su seviyesine rastlanılmamıştır. İlgili veriler Avrasyam Mühendislik Mimarlık İnşaat San. Ve Tic. Ltd. Şti. tarafından sağlanmıştır.

Proje sahasında 13 adet MASW ve sismik kırılma deneyleri ile 4 adet mikrotremör çalışması yapılmıştır. Üst 30 m için ortalama kayma dalga hızı değerleri ($V_{s,30}$) 824-1297 m/sn aralığında değişmektedir. TBDY (2018)'e göre yerel zemin sınıfının olarak ZB olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. TBDY (2018)'e Göre Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		(V_s) ₃₀ [m/s]	(N_{60}) ₃₀ [darbe/30 cm]	(c_u) ₃₀ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

3. ÇALIŞMA SAHASININ SİSMO-TEKTONİK ÖZELLİKLERİ

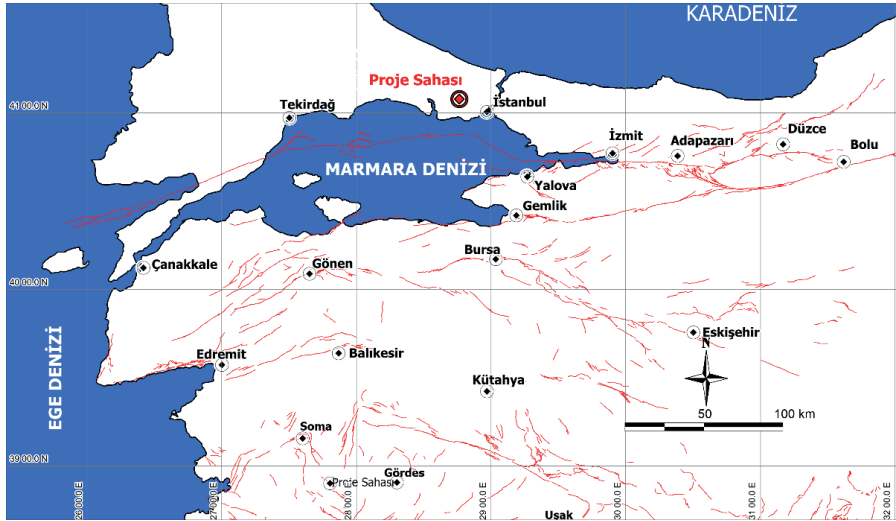
3.1 Proje Sahası ve Çevresindeki Sismik Kaynaklar

Şekil 1’de proje sahasını tehdit eden güncel tektonik yapılar verilmektedir (Emre vd., 2018). Söz konusu tektonik yapılar içerisinde gerek deprem aktivitesi yönünden gerekse proje sahasına olan mesafe açısından en önemli tektonik yapının Kuzey Anadolu Fay Zonu segmentleri olduğu anlaşılmaktadır. Türkiye’nin kuzey bölümünde yer alan, toplam uzunluğu yaklaşık 1500 km olan Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAF) farklı segmentlerinin etki alanı içerisinde olduğu görülmektedir. Bozkurt (2001), bu fay zonunun Türkiye’nin doğusundan batıdaki Yunanistan’a kadar devam ettiğini, genişliğinin ise birkaç yüz metreden 40 km’ye kadar ulaştığını ifade

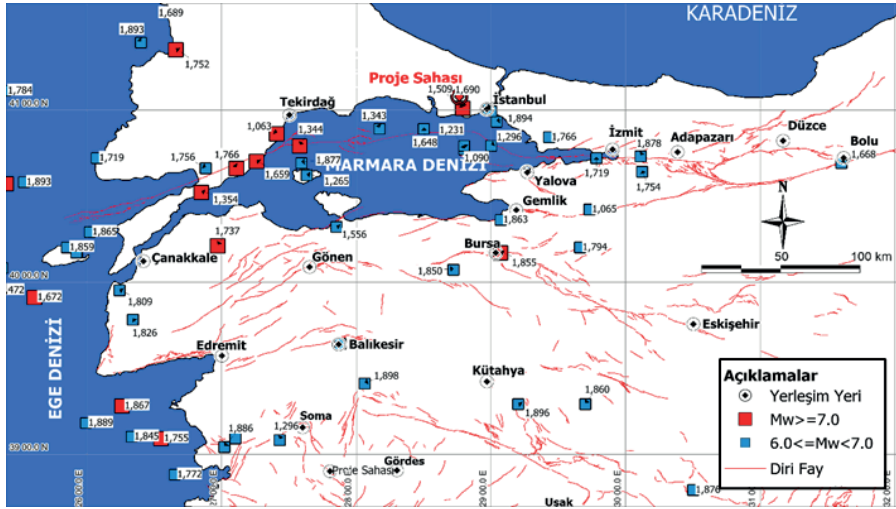
etmektedir. Kendi doğrultusuna paralel uzanmış çok sayıda fay segmentinden oluştuğu bilinmektedir.

Marmara'nın doğusunda güney ve kuzey olmak üzere iki kola ayrılmaktadır. Kuzey kol D-B yönünde Marmara Denizi'ni katederek Gelibolu Yarımadası üzerinden Saros Körfezi'ne ulaşır. Güney kol ise Pamukova Havzası, İznik Gölü, Gemlik ve Bandırma körfezlerinin oluşturduğu morfolojik koridoru izleyerek Biga yarımadasındaki fay sistemlerine dahil olmaktadır. Bu segment Geyve'nin güneybatısında tekrar bir kola daha ayrılmakta, Yenişehir, Bursa, Mustafa Kemalpaşa, Manyas, Gönen, Pazarköy'den geçerek Edremit kuzeyinde Ege Denizi'ne girerek kaybolmaktadır. İzmit Körfezi ile Ganos Dağı arasında fay segmenti D-B genel doğrultusunda boydan boya Marmara Denizi'ni kat eder. İzmit Körfezi'nde KAF toplam 60 km uzunluğundadır. Bu körfezde fay D-B genel doğrultusunda uzanır ve uzunlukları 12-15 km arasında değişen Gölcük, Karamürsel ve Darıca segmentlerinden oluşur. 17 Ağustos 1999 depreminde yüzey faylanmasının gelişmiş olduğu bu üç segment bükümlerle birbirine bağlıdır (MTA, 2011).

Proje sahası çevresini tehdit eden fay segmentleri içerisinde Kumburgaz ve Avcılar faylarının kaynak-saha mesafesi açısından toplam tehlike açısından en çok etkiye sahip olacağı düşünülmektedir. Şekil 1'de verilen fay segmentleri sismik tehlike analizleri için EZ-FRISK yazılımında modellenirken sadeleştirilerek kullanılmıştır.



Şekil 1. Proje sahasını çevreleyen fay sistemleri



Şekil 3. $M_w \geq 6.0$ olan tarihsel depremlerin dış merkez dağılımları

4. SAHAYA ÖZEL DEPREM TEHLİKE ANALİZİ

4.1 Sismik Kaynak Karakterizasyonu ve Deprem Kaynak Modelleri

Gerçekleştirilen tehlike analizleri için kullanılacak sismik kaynak modeli Şekil 4'de verilmektedir. İlgili şekilde verilen fay segmentleri Emre vd., (2018)'den alınarak sadeleştirilmiştir. Proje sahası merkez olmak üzere 200 km çaplı etki dairesi düşünüldüğünde, proje sahasının iki farklı kaynak zonu etkisi altında olduğu görülmektedir. Bunlar; Kuzey Anadolu Fay zonunun kuzey ve güney kollarını içeren 1 numaralı ve 2 numaralı zondur (Şekil 4).

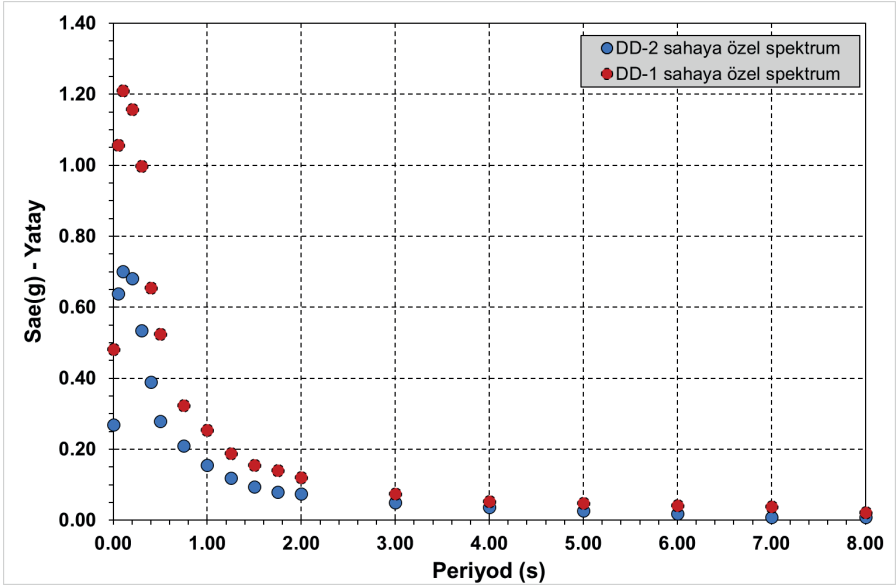
Olasılıksal sismik tehlike analizlerinde sıklıkla kullanılan Poisson modelinin gerektirdiği bağımsızlık koşulunu sağlamak için Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığına ait veri tabanından elde edilen ve Ocak 1900-Ekim 2020 yılları arasını temsil eden katalog, Gardner ve Knopoff (1974) tarafından önerilen zaman ve uzaklık pencereleri kullanılarak kümesizleştirilmiştir. Etkili kaynak zonları içerisinde $M_w > 6.0$ olan depremlerin çizgisel kaynak üzerinde, $M_{\min} \leq M_w \leq 6.0$ arasındaki depremlerin ise alan kaynak içinde oluşacağı kabulü ile analizler gerçekleştirilmiştir. Alan kaynaklar üzerinde yer alan depremler kullanılarak sismik aktivitenin bir göstergesi olan λ ve σM_{\min} hesaplanmış ve Tablo 2'de verilmiştir. Alan kaynaklardaki magnitüd-tekerrür ilişkisi oluşturulurken M_{\max} değeri ile kesilmiş üstel dağılım fonksiyonu kullanılmıştır (McGuire, 2004). Çizgisel (fay segmenti) kaynak modeli için Schwarts ve Coppersmith (1984) tarafından önerilen karakteristik deprem modeli kullanılmıştır.

Maksimum magnitüd değerlerinin hesabında söz konusu bölge için geçerli olan deprem kataloğu ve fay uzunlukları dikkate alınmış, fay uzunlukları Wells ve Coppersmith (1994) ampirik denklemleri kullanılarak deprem magnitüdü ile ilişkilendirilmiştir. Elde edilen deprem magnitüdü literatür ile de mukayese edilerek kullanılmıştır. Minimum deprem magnitüdü çizgisel kaynak için $M_{\min} = 6.0$ olarak kabul edilmiştir.

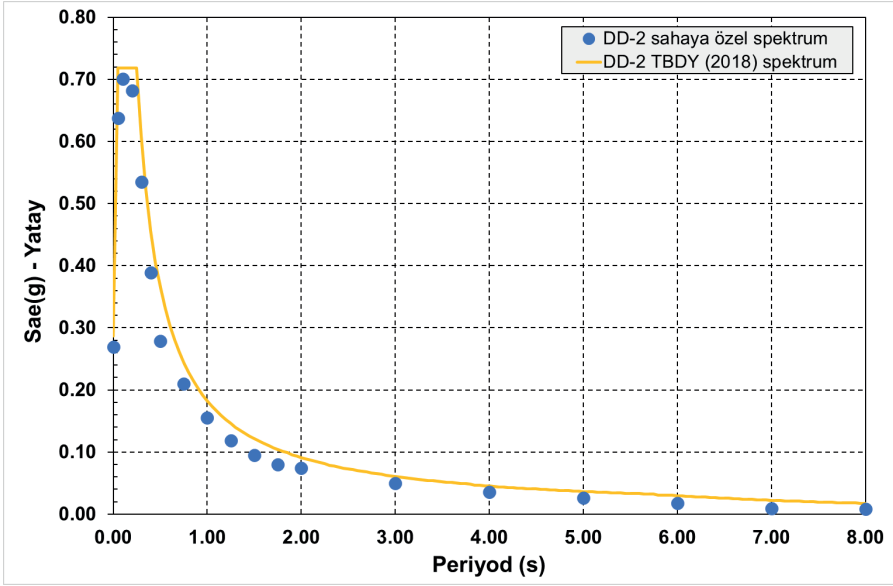
Tablo 2. Sismik Tehlike analizlerinde kullanılacak deprem kaynak parametreleri

Kaynak No	Tip		Kayma hızı (mm/yıl)	$V_{M\min}$	M_{\min}	M_{\max}
1-1	Doğrultu Atımlı	--	20	--	6.0	6.8
1-2	Doğrultu Atımlı	--	20	--	6.0	7.3
1-3	Doğrultu Atımlı	--	19	--	6.0	7.2
1-4	Doğrultu Atımlı	--	18	--	6.0	7.1
1-5	Doğrultu Atımlı	--	18	--	6.0	7.2
1-6	Doğrultu Atımlı	--	14	--	6.0	7.1
1-7	Doğrultu Atımlı	--	20	--	6.0	7.5
1-8	Doğrultu Atımlı	--	15	--	6.0	7.1
1-9	Doğrultu Atımlı	--	10	--	6.0	6.9
1-10	Doğrultu Atımlı	--	10	--	6.0	7.2
1-11	Doğrultu Atımlı	--	3	--	6.0	6.9
2-1	Doğrultu Atımlı	--	5	--	6.0	7.2
2-2	Doğrultu Atımlı	--	4	--	6.0	7.2
2-3	Doğrultu Atımlı	--	4	--	6.0	7.0
2-4	Doğrultu Atımlı	--	3	--	6.0	7.2
2-5	Doğrultu Atımlı	--	3	--	6.0	7.1
2-6	Doğrultu Atımlı	--	2	--	6.0	7.2
2-7	Doğrultu Atımlı	--	2	--	6.0	7.1
2-8	Doğrultu Atımlı	--	2	--	6.0	7.2
2-9	Doğrultu Atımlı	--	3	--	6.0	6.9
2-10	Doğrultu Atımlı	--	3.5	--	6.0	7.1
Zon 1 (Alansal)	Doğrultu Atımlı	1.77	--	1.969	4.0	6.0
Zon 2 (Alansal)	Doğrultu Atımlı	1.98	--	1.772	4.0	6.0

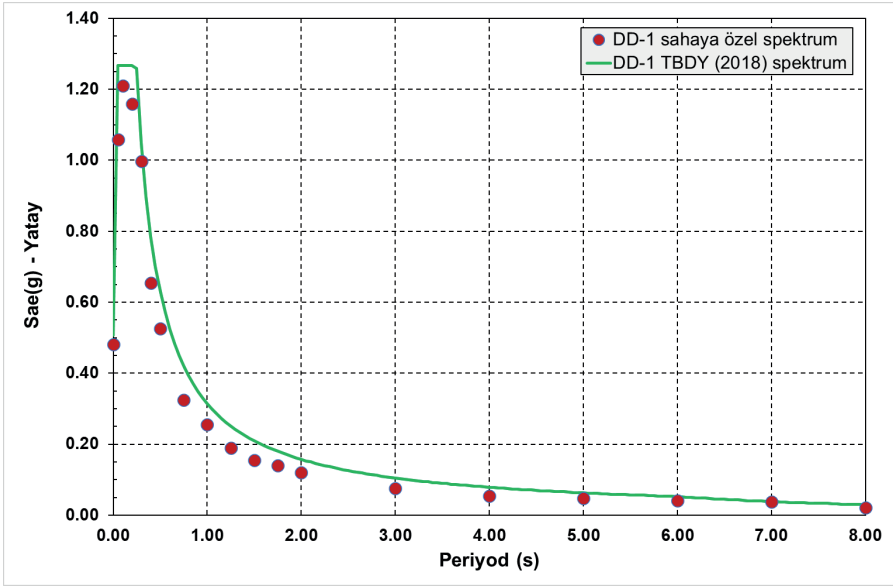
Olasılıksal deprem tehlike analizleri için sismik saha koşulları modellenirken, ortalama $V_{s,30}$ değeri (1060 m/s) ve Yerel Zemin Sınıfı (ZB) dikkate alınmıştır. Boore vd. (1997), Campbell (1997) ile Sadigh vd. (1997) tarafından önerilen tahmin denklemleri sırasıyla, 0.25, 0.25 ve 0.50 ağırlıkları ile kullanılmıştır. İki farklı yer hareketi seviyesi için eş tehlike spektrumu oluşturulmuştur (Şekil 6). DD-1 ve DD-2 yer hareketi seviyeleri sırasıyla 50 yılda %2 ve 50 yılda %10 olasılıklı seviyeyi ifade etmektedir. Elde edilen spektrumlar, TBDY (2018) tarafından önerilen spektrumlar ile mukayese edilmiştir (Şekil 7-8). Mukayesenin genel değerlendirmesine Sonuçlar ve Tartışma bölümünde yer verilmiştir.



Şekil 6. Saha özel deprem tehlike analizine dayalı yatay ivme spektrumları



Şekil 7. DD-2 yer hareketi seviyesi için mukayese



Şekil 8. DD-1 yer hareketi seviyesi için mukayese

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Sahaya özel deprem tehlike analizi sonrasında elde sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- DD-2 yer hareketi seviyesi için elde edilen sahaya özel spektrum ordinatları aynı yer hareketi seviyesi için TBDY (2018)'e göre belirlenmiş spektrum ordinatlarından küçüktür. Özellikle 0.40s-2.0s periyod aralığı için ordinatlar arası farklar çok daha büyüktür. Benzer değerlendirmeyi DD-1 yer hareketi seviyesi için de yapmak mümkündür. Doğal periyodu bu aralık içerisine giren yapılar için ivme değerleri arasındaki farklar ihmal edilebilecek düzeyde değildir.
- Elde edilen sonuçlar ve yönetmelik esasları birlikte değerlendirildiğinde tasarım spektrumu olarak TBDY (2018)'e göre belirlenen spektrumun alınması gerektiği anlaşılmaktadır.
- İlgili sahada inşa edilecek bir mühendislik yapısının doğrusal olmayan dinamik analizleri için kullanılacak yer hareketi kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesinde yönetmelik spektrumun kullanılması uygun olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma için geoteknik verileri paylaşan Avrasyam Mühendislik Mimarlık İnşaat San. Ve Tic. Ltd. Şti.'ne teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Abrahamson, Norman A. 2000. State of the practice of seismic hazard evaluation, Paper presented at the ISRM International Symposium, Melbourne, Australia, November 2000.
- Akkar, S., Azak, T.E, 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, Zülfikar, Ö., 2014. Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi (UDAP – Ç – 13-06). Ankara: Ulusal Deprem Araştırma Programı.
- Boore, D.M., Joyner, W.B. and Fumal, T.E., 1997. Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from Western North American earthquakes: A summary of recent work, *Seis. Res. Lett.*, 68, 128-153.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey-a synthesis, *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.
- Campbell KW, 1997. Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra. *Seismologic Res Lett* ,68.
- Cornell, C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 58, 1583-1606.
- Emre Ö., v.d. (2018). Active fault database of Turkey. *Bull Earthquake Eng*, (2018-16), 3229–3275.
- Erdik, M., Biro, Y.A., Onur, T., Sesetyan, K. and Birgoren, G., 1999. Assessment of earthquake hazard in Turkey and neighboring regions, *Annali Di Geofisica*, Vol. 42, No. 6, 1125-1138.
- Gardner, J.K. ve Knopoff, L. 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bulletin of the Seismological Society of America* 64, 1363–1367.
- Gupta, L. D., 2002. The state of the art in seismic hazard analysis. *ISET Journal of Earthquake Technology*, 39, 311–346. Paper No. 428.
- Kadirioglu F.T. ve Kartal R.C., 2016. The new empirical magnitude conversion relations using an improved earthquake catalogue for Turkey and its near vicinity (1900–2012), *Turkish Journal of Earth Sciences (TÜBİTAK)*, 2016(25), 300-310. (doi:10.3906/yer-1511-7)
- Kramer, S.L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, New Jersey, 653 p.
- McGuire, R.K., 2001. Deterministic vs. probabilistic earthquake hazards and risks. *Soil Dyn Earthq Eng* 21(5):377–384.

- McGuire, R. K., 2004. Seismic Hazard and Risk Analysis, Earthquake Engineering Research Institute Monograph, MNO-10, CA, 221p.
- MTA, 2011. 25 Temmuz 2011 Marmara Denizi Bilgi Notu, Jeoloji Etütleri Dairesi Yer Dinamikleri Araştırma ve Değerlendirme Koordinatörlüğü Aktif Tektonik Araştırma Birimi, 26 Temmuz.
- Sadigh K, Chang CY, Egan JA, Makdisi F, Youngs RR. 1997. Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data, *Seismological Research Letters*. ;68: 180–189.
- Schwartz, D. P., and Coppersmith, K. J., 1984. Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas fault, *Journal of Geophysical Research*, 89(B7), 5681-5698.
- Seyrek, E., Tosun, H. 2011. Deterministic approach to the seismic hazard of dam sites in Kizilirmak basin, Turkey, *Natural Hazards* 59(2), pp.787-800.
- Seyrek, E., Topcu, S. 2022. Prediction of earthquake-induced crest settlement of embankment dams using gene expression programming. *Geomechanics and Engineering*, 31(6), 637-651.
- Şeşetyan, K., Demircioğlu, M.B., Akinci, A., 2019. Evaluation of the seismic hazard in the Marmara Region (Turkey) based on updated databases, *Geosciences*, 9, 489, 35 p.
- TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.
- Tosun H, Zorluer I, Orhan A, Seyrek E, Savaş H, Türköz M. 2007. Seismic hazard and total risk analyses for large dams in Euphrates basin, Turkey. *Engineering Geology*, 89(1-2):155-170.
- Wells, D.L. and 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*, Vol. 84, No. 4, 974-1002.