

İZMİR GÜNEY SAHİLİ ZEMİN BÜYÜTMESİ VE SIVILAŞMA DİRENCİNİN ZEMİN TEPKİ ANALİZLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

SITE AMPLIFICATION AND LIQUEFACTION RESISTANCE IN SOUTHERN COAST OF IZMIR THROUGH SITE RESPONSE ANALYSIS

Okan İLHAN¹

ÖZET

Bu çalışma, 4400 adet tek boyutlu (1D) doğrusal olmayan (NL) ve eşdeğer-doğrusal (EL) zemin tepki analizi (ZTA) yardımıyla İzmir güney sahilinin kuvvetli yer hareketi altındaki zemin davranışını ve sıvılaşma direncini değerlendirmiştir. Bölgeyi temsil eden her il için bir idealize zemin profili kabul edilmiş, V_s üzerindeki rastgele değişkenlik V_s randomizasyonu ile temsil edilerek sıvılaşma hesaplarına da yansıtılmıştır. Her ne kadar tüm iller için, NL ve EL tipi ZTA' lardan elde edilen yüzey spektrumlarının ortalaması TDY tarafından DD-2 deprem seviyesi (50 yılda aşılma olasılığı 10%) için önerilen tasarım spektrumlarının altında kalsa da, Konak ve Güzelyalı illeri için ortalama NL+1 σ spektrumu 0.8s-1.5 s periyot aralığında TDY' yi az da olsa aşmıştır. Ortalama EL+1 σ durumunda ise bu aşma hali, Konak, Güzelyalı ve İnciraltı profilleri için daha belirgindir. V_s -tabanlı çevrimsel gerilim yöntemiyle (CSA) gerçekleştirilen sıvılaşma analizleri ise, Alsancak, Güzelyalı ve İnciraltı sahalarında sığ derinlikte (<15.0 m) gözlenen siltli kum tabakası için ortalama güvenlik katsayısının (F_s) 1.0' den düşük olduğunu göstermiştir. Tüm bu sonuçlar, yüksek manyitüdlü bir depremde ($M_w > 6.0$) DD-2 seviye TDY tasarım spektrumunun ilgili bölgede inşa edilecek yüksek periyotlu yapıların tasarımı için yetersiz kalabileceği ve sığ derinlikteki siltli kum tabakasında sıvılaşma gözlenebileceği riskini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Zemin büyütmesi, zemin tepki analizi, sıvılaşma, İzmir güney sahili

ABSTRACT

This paper evaluates the site response behavior and liquefaction resistance at İzmir southern coast through a total of 4400 1D NL and EL SRA. An idealized soil profile is assumed for each of the five cities within this area, and the aleatory variability on V_s in SRA and liquefaction evaluation is accounted for using V_s randomization. Even though mean NL and EL spectra computed for all cities are covered by the TEBC design spectrum of DD-2 earthquake level (the probability of exceedance of 10% in 50 years), the mean+1 σ spectrum from NL is demonstrated to be slightly larger than TEBC for Konak and Güzelyalı for a period range of 0.8-1.5s. This condition is pronounced in the case of mean EL+1 σ for Konak, Güzelyalı, and

¹ Öğr. Gör. Dr., Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, okan.ilhan@aybu.edu.tr

İnciraltı. The liquefaction analyses, which adopt a V_s -based cyclic stress approach (CSA) and are performed for the silty sand layers at shallow depths (<15.0 m) of Alsancak, Güzelyali, and İnciraltı, yield F_s values less than 1.0. This condition suggests that the TEBC spectrum (DD-2) might be insufficient for the design of long-period structures in this region along with the likelihood of liquefaction occurrence at shallow silty sand layers for large-magnitude ($M_w > 6.0$) earthquakes.

Keywords: Site amplification, site response analysis, liquefaction, İzmir southern coast

1. GİRİŞ

Ege Bölgesi, Ege Dalma-Batma Zonu' nun Anadolu Plakası' nın altına dalması sebebiyle Türkiye' nin sismik olarak en aktif bölgelerinden biridir (Bozkurt vd., 2001). Bu durum, 30 Ekim, 2020 tarihinde 37.879 enlemi ve 26.703 boylamında meydana gelen ve 114 kişinin hayatını kaybetmesine sebep olan Samos depremi ile tekrar gündeme oturmuştur (Çetin vd, 2020). İzmir ilinde meydana gelen bu can kayıpları ve Bayraklı ilçesinde gözlemlenen ağır hasarlı binalar zemin büyütmesi ve basen etkisi ile ilişkilendirilmiş (Gülerce vd., 2022), İzmir ili civarı zemin koşullarının deprem kaydı üzerindeki etkilerinin daha detaylı değerlendirilmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur.

Zemin etkilerinin sismik tehlike hesaplamalarına dahil edilmesi için farklı yöntemler mevcuttur. En bilinen ve Türk Deprem Yönetmeliği (TDY, 2018) tarafından da kullanılan yöntem, üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızına (V_{s30}) dayanan zemin sınıflarına bağlı zemin büyütme katsayılarını kullanarak referans kaya koşuluna göre üretilen tasarım spektrumunu düzeltmektir. Fakat, TDY (2018)' de sunulan katsayılar BSSC (2015)' den alınma olup Batı Amerika deprem karakteristiği ve zemin davranışını temsil etmektedir. Buna ek olarak, ampirik (Sandikkaya vd., 2019), yarı ampirik (Seyhan ve Stewart, 2014) ve simülasyon tabanlı (Harmon vd, 2019b; İlhan, 2020) zemin büyütme modelleri kullanılarak da benzer modifikasyon işlemi gerçekleştirilebilir. Bu çalışma, İzmir ili güney sahili zemin etkisini ve sıvılaşma direncini tahmin etmek amacıyla 1D NL ve EL tipi ZTA' ları esas almıştır. Beş farklı zemin profili esas alınmış, V_s ' deki değişkenlik ve belirsizlik V_s randomizasyonu ile hesaba katılmıştır. Sıvılaşma direncinin değerlendirilmesi için ise, çevrimsel gerilim yöntemi (CSA - cyclic stress approach) benimsenmiştir (Seed ve Idriss, 1971).

2. ZEMİN TEPKİ ANALİZLERİ VE SIVILAŞMA DİRENCİ

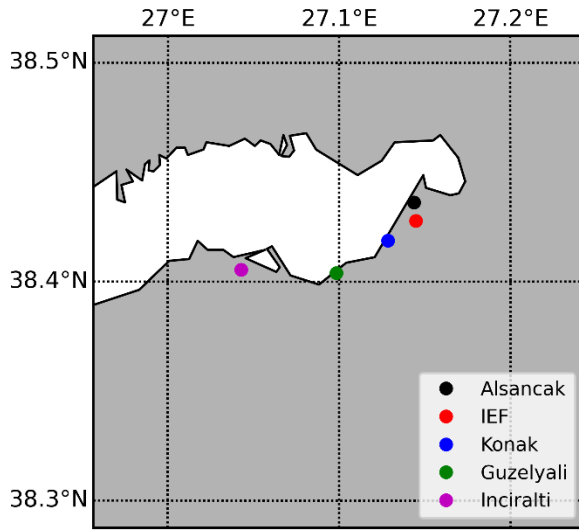
2.1 Zemin Profilleri ve Seçilen Yer Hareketi Kayıtları

Şekil 1' de İzmir' in güney sahilini temsil eden ve ALS, IEF, KNK, GZYL ve INC illeri için seçilen temsili V_s profillerinin lokasyonu sunulmuştur (Kuruoglu ve Eskişar, 2015). İlgili zemin profillerinin ve ZTA için seçilen yer hareketi kayıtlarının özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

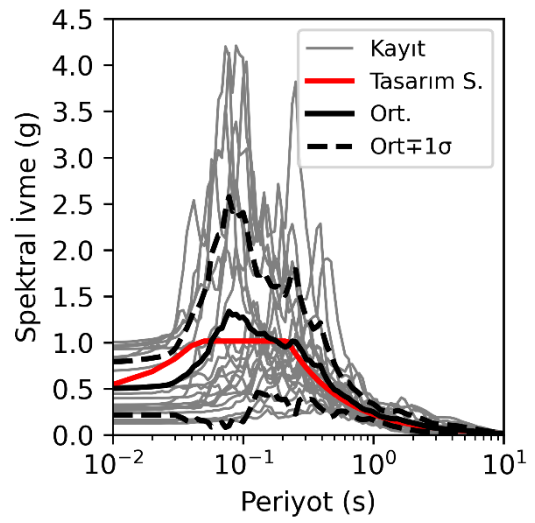
- PEER NGA-West2 veritabanından (Ancheta vd., 2013) büyüklüğü (M_w) 5.6 ile 6.6 arasında değişen ve normal ve doğrultu-atımlı faylarda meydana gelmiş depremler için 22 farklı kayıt seçilmiştir. Bu kayıtlar, SigmaSpectra (Kottke ve Rathje, 2010) kullanılarak zaman tanım alanında TDY (2018) tarafından ZB sınıfı ($760 < V_{s30} < 1500$)

m/s) için önerilen ve 50 yılda aşılma olasılığı 10% olan (DD-2) ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir (Şekil 2).

- Beş ilin idealize zemin stratigrafilerine göre (Şekil 3), ilgili bölge sıgı derinlikte siltli kum (SM) ve organik (OL, OH) ya da düşük plastisiteli kil (CL) tarafından domine edilmekte, derine gidildikçe ise kuvaterner alüvyon (Q) ve killi kum (SC) yapısıyla karşılaşmaktadır. İdealize V_s profilleri Şekil 4' de sunulmuş ve TDY (2018)' e göre zemin sınıfları ALS ve INC için ZE, IEF, KNK ve GZYL için ZD olarak belirlenmiştir. Hiçbir V_s profilinin referans kaya koşuluna ($V_s = 760$ m/s) ulaşmaması nedeniyle V_s profilleri, Kuruoğlu ve Eskişar (2015)' da sunulan taban kayası derinliğine kadar uzatılmıştır (Şekil 5).



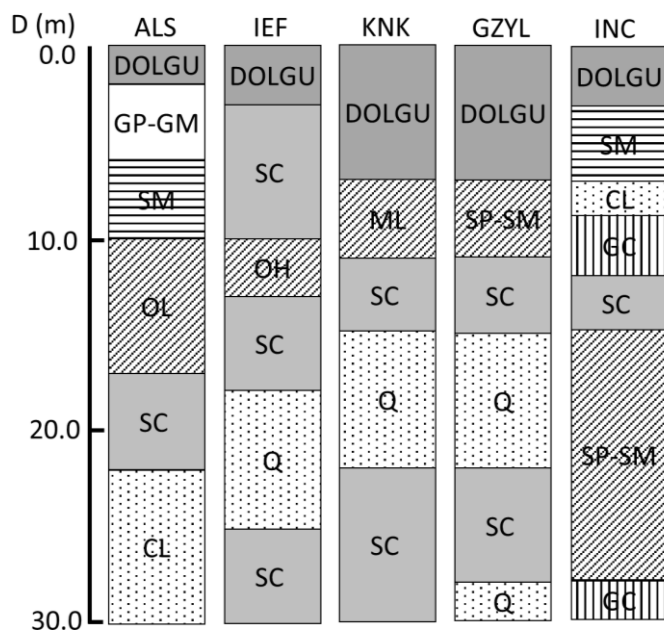
Şekil 1. Zemin profili lokasyonları



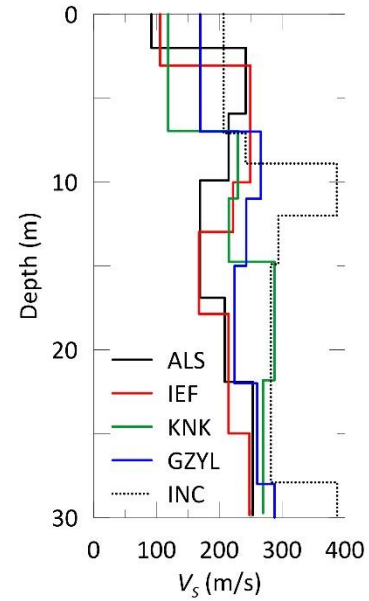
Şekil 2. TDY (2018) ZB tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiş yer hareketi kayıtları

- KMAS eğrileri Darendeli (2001) denklemleri kullanılarak elde edilmiştir. Her bir zemin tabakası için KMAS eğrilerinin hesabı ve ZTA' ların yürütülmesi için gereken zemin parametreleri (ör. birim hacim ağırlık, plastisite indeksi, sürtünme açısı, vb.) Kuruoğlu ve Eskişar (2015)' dan elde edilmiştir. Şekil 3' de sunulan profillerdeki tüm kil tabakaları normal konsolide kabul edilmiştir.
- Beş il için tanımlanan idealize V_s profilleri, V_s' de rastgele değişkenliğin hesaba katılabilmesi için DEEPSOIL V7.0 (Hashash vd. 2017) yardımıyla Toro (1995) modeli kullanılarak randomize edilmiştir. Her bir saha için 20 farklı randomize V_s profili üretilmiş (Şekil 5) ve eğer ilgili profilde herhangi bir tabakanın kayma dalgası hızı, $V_s = 760$ m/s referans koşulunu aşıyorsa, V_s profili bu derinlikte kesilmiştir. Toro (1995) V_s randomizasyon modeli için σ_{Invs} ve tabakalar arası korelasyon değeri (ρ) sırasıyla 0.31 ve 1.0 olarak kabul edilmiştir.
- Tüm profiller için YASS zemin yüzeyinde kabul edilmiştir.

Bir sonraki bölümde, 1D NL ve EL ZTA' lar ve sıvılaşma direnci analizleri detaylandırılmıştır.



Şekil 3. ALS, IEF, KNK, GZYL ve INC profilleri için zemin stratigrafileri



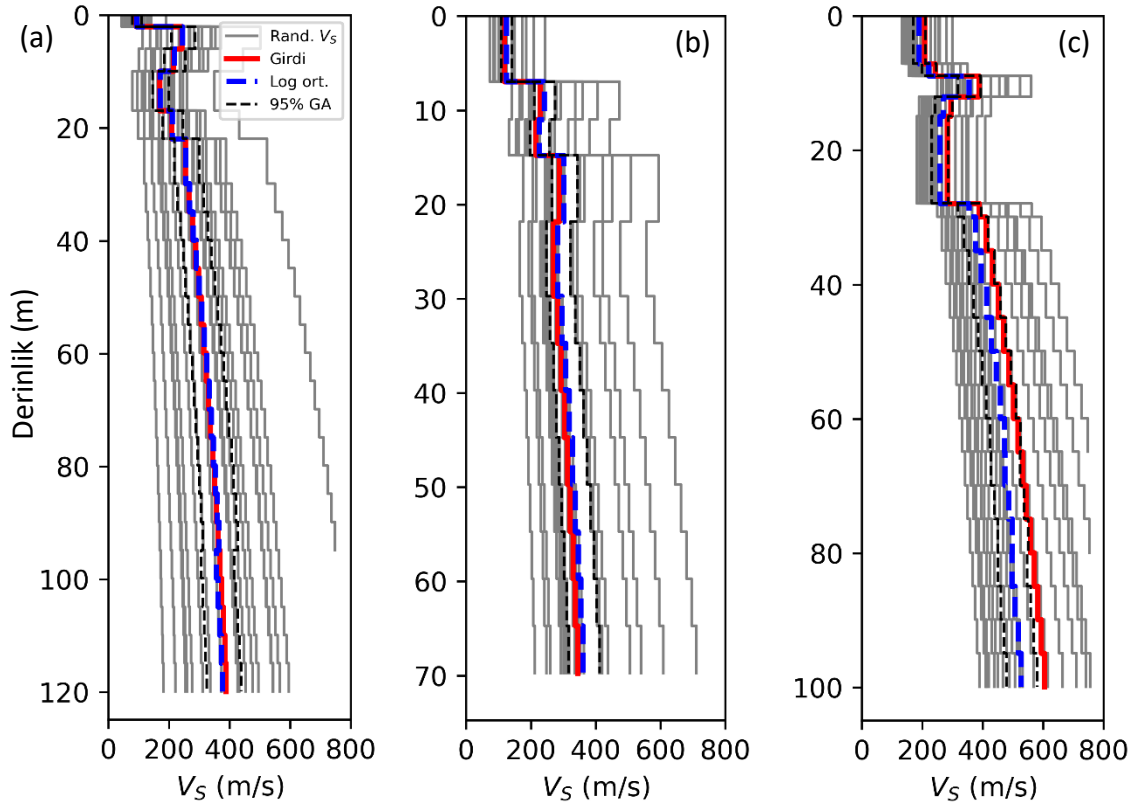
Şekil 4. ALS, IEF, KNK, GZYL ve INC V_5 profilleri (Kuruoğlu ve Eskişar (2015)' dan alınmıştır)

2.2 Tek Boyutlu Zemin Tepki Analizleri ve Sıvılaşma Direncinin Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında, TDY (2018) ZB tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiş 22 yer hareketi kaydı (Şekil 2) ile her bir idealize V_s profil (Şekil 4) için üretilen 20 randomize jenerik profil (Şekil 5) kullanılarak aşağıda detaylandırıldığı üzere 1D ZTA' lar oluşturulmuştur:

- Toplam 4400 (2200 NL ve 2200 EL) adet 1D ZTA gerçekleştirilmiştir.
- Her bir jenerik profildeki her bir zemin tabakası maksimum frekans ($f_{max} = V_s/4H$) değeri en az 30 Hz olacak biçimde bölünmüştür.
- Darendeli (2001) kullanılarak üretilen KMAS ilişkilerinden elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme (BŞD) eğrilerinin, yüksek BŞD değerlerinde (10%) zeminin kayma direncine yakınsamadığı bilinmektedir. Bu davranışı temsil etmek amacıyla, basitleştirilmiş General Quadratic ve Hyperbolic (GQ/H) bünye denklemi (Groholski vd., 2016), Darendeli (2001) KMAS eğrilerine uydurulmuştur.
- NL ve EL analizler için sırasıyla 1% (Harmon vd., 2019a) ve 0.5% maksimum BŞD sınırı uygulanmıştır. Diğer bir deyişle, herhangi bir analizde hesaplanan maksimum BŞD değeri bu sınırları geçtiği takdirde, ilgili analiz TDY tasarım spektrumu ile karşılaştırılma işlemine dahil edilmemiştir.

ALS, GZYL ve INC profillerinde sırasıyla gözlenen SM, SP-SM ve SM zemin materyalleri için V_S -tabanlı CSA analizi (Andrus vd., 2004) gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem kapsamında CSR, NL analizler yardımıyla elde edilen gerilme zaman tanım alanının mutlak değerinin maksimumunun σ'_v ye oranı olarak alınmıştır. Çevrimsel CRR ise, aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 5. (a) ALS, (b) KNK ve (c) INC için uzatılmış idealize (girdi) V_S profili, randomize V_S profilleri ve logaritmik ortalamaları (log. ort.) ile randomize profiller için 95% güven aralığı (GA)

$$CRR = MSF \left\{ 0.022 \left(\frac{K_{\alpha 1} V_{S1}}{100} \right)^2 + 2.8 \left(\frac{1}{V_{S1}^* - (K_{\alpha 1} V_{S1})} - \frac{1}{V_{S1}^*} \right) \right\} K_{\alpha 2} \quad (1)$$

Burada MSF, manyitüd düzeltme parametresidir ve denklem 2 ile tanımlanmıştır.

$$MSF = \left(\frac{M_w}{7.5} \right)^{-2.56} \quad (2)$$

V_{S1} değeri, gerilme düzeltmesi uygulanmış kayma dalgası hızıdır ve denklem 3' de tanımlanmıştır

$$V_{S1} = V_S \left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^{-2.56} \quad (3)$$

P_a ve σ'_v , sırasıyla, 100 kPa' lık referans gerilme ve başlangıç efektif gerilme (kPa) değerleridir. V_{S1} üzerinde, aşağıdaki gibi maksimum sınır değeri (V_{S1}^*) uygulanmıştır.

$$\begin{aligned} FC \leq 5\% &\rightarrow V_{S1}^* = 215 \text{ m/s} \\ 5\% < FC < 35\% &\rightarrow V_{S1}^* = 215 - 0.5 (FC - 5) \text{ m/s} \\ FC \geq 35\% &\rightarrow V_{S1}^* = 200 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (4)$$

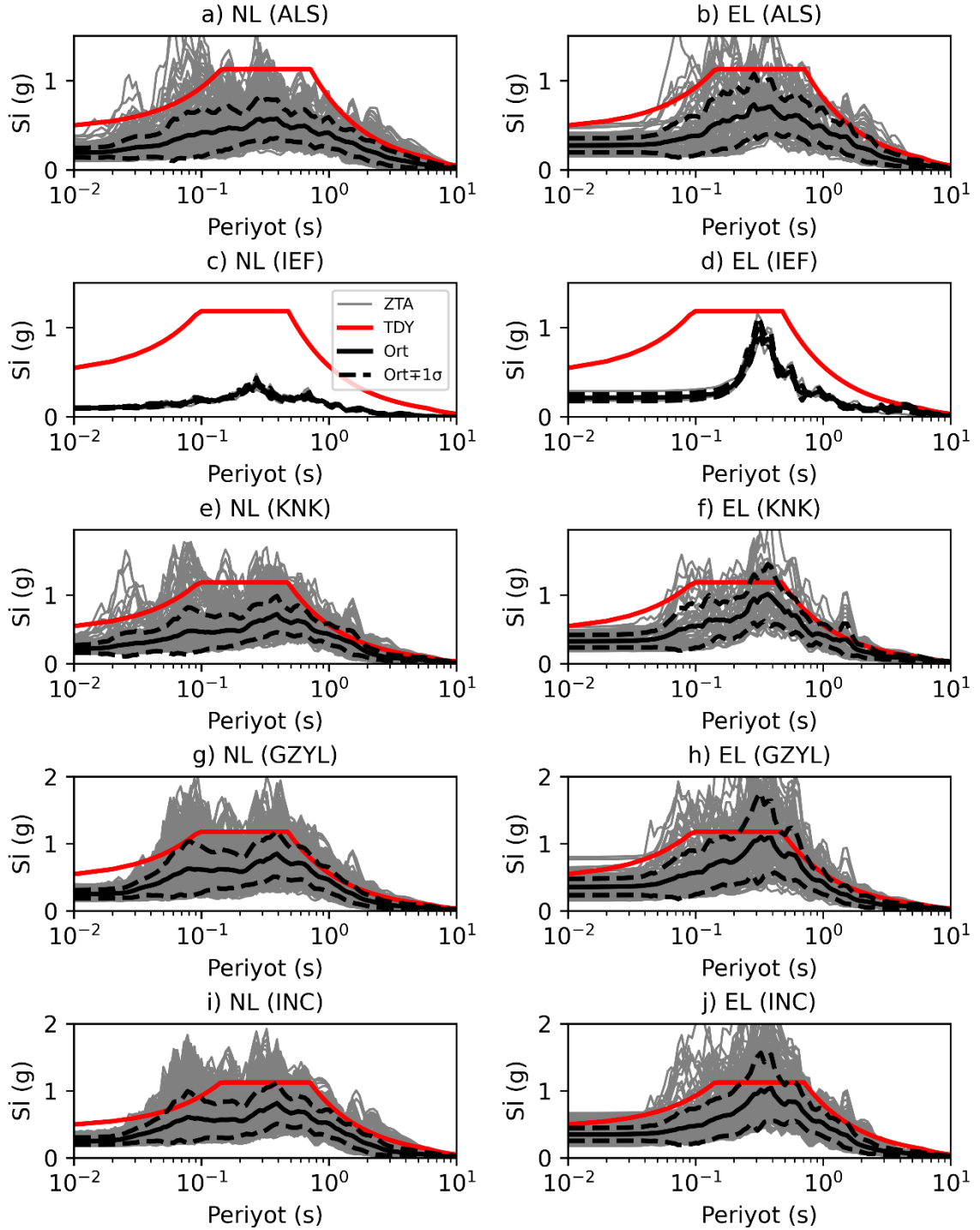
FC, ince daneli zemin içeriğidir ve analizler için 5% olarak kabul edilmiştir. $K_{\alpha 1}$ ve $K_{\alpha 2}$, sırasıyla V_{S1} ve CRR üzerindeki yaşlanma süreci etkileridir ve 1.0 olarak CRR hesabına dahil edilmiştir. Sıvılaşma direnci için güvenlik katsayısı (F_S), CRR' nin CSR' ye oranı olarak hesaplanmıştır.

2.3 Simülasyon-Tabanlı Zemin Tepkisinin TDY Spektrumu ile Karşılaştırılması ve Sıvılaşma Analizleri

Şekil 6' da beş il için TDY (2018) tarafından önerilen tasarım spektrumları ile yine aynı iller için üretilmiş randomize profiller kullanılarak gerçekleştirilmiş 1D NL ve EL ZTA' lardan elde edilen zemin yüzeyi ivme spektrumları karşılaştırılmıştır. ALS ve INC için TDY spektrumu, DD-2 deprem seviyesine karşılık gelen S_5 ve S_1 değerleri ile ZD zemin sınıfı için önerilen F_a (0.2 s) ve F_1 (1.0 s) yerel zemin etki katsayıları kullanılarak elde edilmiştir. Aynı spektrum KNK, IEF and GZYL için ZE sınıfına karşılık gelen büyütme faktörleri dikkate alınarak üretilmiştir. İzmir güney sahili için simülasyon-tabanlı zemin etkilerinin TDY spektrumuna göre değerlendirmesi aşağıdaki gibi sunulabilir:

- Tüm saha profilleri için NL ve EL analizlerinin ortalaması, TDY spektrumlarının altında kalmaktadır. KNK ve GZYL için NL analizlerinin ortalama $+1\sigma$, sırasıyla, 0.8s-1.5s (Şekil 6e) ve 0.6s-2.0s (Şekil 6g) periyot aralığında TDY spektrumunu az da olsa aşmaktadır.
- ALS (Şekil 6a) ve INC (Şekil 6i) için TDY, NL ortalama $+1\sigma$ spektrumunu tüm periyotlarda kapsamaktadır. Her ne kadar INC için 0.05-0.07 s aralığında NL ortalama $+1\sigma$ ' nın TDY' yi aştığı görölse de, bölgeye hakim binaların periyodunun bu aralıktan belirgin biçimde yüksek olacağı düşünüldüğünde, bu durumun herhangi bir sorun yaratmayacağı beklenmektedir.
- IEF için yapılan NL analizlerine 1% maksimum BŞD sınırı uygulandığında, oldukça az sayıda analiz karşılaştırma için kullanılabilir. Bunun sebebi, düşük dayanımlı ve yüksek plastisiteli organik kil tabakasında (Şekil 3' deki OH) oldukça yüksek maksimum BŞD değerlerinin elde edilmesidir. Buna ek olarak, OH tabakası bir taban izolatörü davranışı sergilemiş ve tüm deprem enerjisini absorbe ederek NL analizi ile hesaplanan yüzey spektrumunun, TDY' den oldukça aşağıda kalmasına sebep olmuştur. Bu taban izolatörü davranışı, 1D analiz yönteminin tüm tabakaları yatay olarak sürgit kabul etmesi sebebiyle gerçekçi bir zemin tepkisi olmayabilir ve bu sebeple, IEF sahasının deprem etkisi altındaki davranışının daha kompleks model geometrisi gerektiren daha karmaşık analiz yöntemleriyle (iki ya da üç boyutlu) incelenmesi gerekebilir.
- EL' den elde edilen yüzey spektrumları ise (ortalama $+1\sigma$), EL analiz tipinin zeminin rezonansını beklenenden yüksek tahmin etmesi sebebiyle (Rathje ve Kottke, 2011), TDY spektrumunu KNK (Şekil 6f), GZYL (Şekil 6h) ve INC (Şekil 6h) için orta seviye periyot aralığında (0.3s-0.7s) aşmaktadır. Olası yüksek manyitüdü bir depremde zemin etkisinin EL analizine yakınsaması durumunda, bu durumun dikkate alınması önem arz etmektedir.

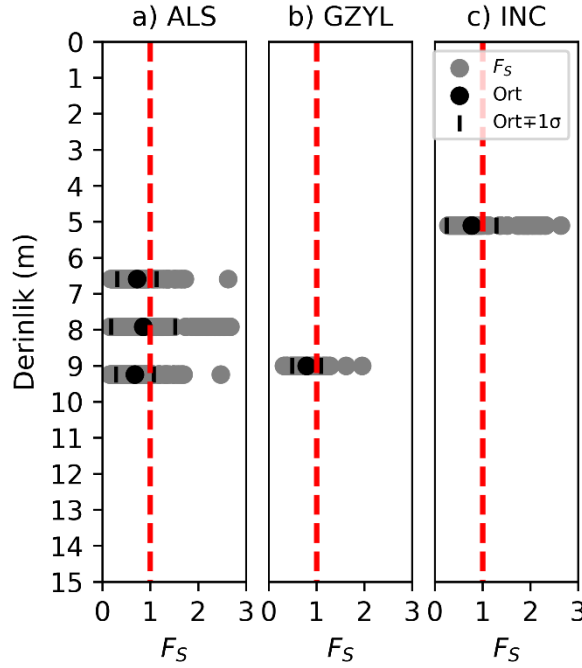
ALS, GZYL ve INC profillerinde, sırasıyla, gözlenen SM, SP-SM ve SM tabakaları için derinliğe bağlı sıvılaşma güvenlik katsayıları (F_5) Şekil 7' de sunulduğu üzere elde edilmiştir. F_5 hesaplaması için, idealize zemin profillerinde rastlanan siltli kum tabakalarının (Şekil 4) orta derinliğine karşılık gelen jenerik profillerdeki V_5 değerleri dikkate alınmıştır. İdealize zemin profillerinin de randomize V_5 profilleri gibi $f_{max} = 30.0$ Hz' e göre alt tabakalara ayrılması



Şekil 6. ALS (a, b), IEF (c, d), KNK (e, f), GZYL (g, h), ve INC (i, j) için ZTA, ZTA sonuçlarının ortalaması (Ort) ve ± 1 standard sapma (σ) ile TDY tasarım spektrumunun (50 yılda aşılma olasılığı 10% olan deprem için) karşılaştırılması. İlk ve ikinci kolon sırasıyla NL ve EL ZTA sonuçlarını göstermektedir.

nedeniyle ALS için üç derinlikte, GZYL ve INC için tek noktada F_s hesabı yapılmıştır. Tüm sahalar için ortalama F_s değeri 1.0' in altında elde edilmiştir. Her ne kadar INC ve ALS için ~ 8.0 m' de $F_s + 1\sigma$ değeri 1.5-2.0' ye yakın elde edilmişse de, ALS için ~ 6.5 m ve ~ 9.0 m' deki SM ve GZYL' daki SP-SM için $F_s + 1\sigma$ sınır değeri olan 1.0' in az üzerinde hesaplanmıştır. Tüm sonuçların ışığında, 1D zemin tepki analizleri entegre edilerek CSA yardımıyla yapılan bu

öncül sıvılaşma değerlendirmesi İzmir güney sahilinde yüksek manyitüdlü bir yer hareketi halinde sıvılaşma riskinin doğabileceğine işaret etmektedir.



Şekil 7. (a) ALS, (b) GZYL ve (c) INC için derinliğe bağlı sıvılaşma güvenlik katsayıları (F_s)

3. SONUÇLAR

Ülkemizin batısı, Ege Dalma-Batma Zonu' nun varlığı sebebiyle sismik olarak oldukça aktiftir ve bu durum, ülkemizin nüfus yoğunluğu en fazla üçüncü ili olan İzmir' in yüksek manyitüdlü yer hareketlerine (ör. 30 Ekim 2020 Samos depremi) maruz kalabileceğine işaret etmektedir. Bu çalışma kapsamında, İzmir güney sahilindeki beş ilin (ALS, IEF, KNK, GZYL ve INC) deprem etkisi altındaki zemin davranışı, bu iller için üretilen idealize zemin profillerini kullanan 1D ZTA' lar ile incelenmiş ve V_s -tabanlı CSA yaklaşımıyla sıvılaşma direnci hesabı yapılmıştır. ZTA' lar için gereken temel parametre olan V_s üzerindeki rastgele değişkenlik, V_s randomizasyonu ile temsil edilmiş, aynı değişkenlik sıvılaşma hesaplamalarına da yansıtılmıştır.

ALS, IEF, KNK, GZYL ve INC için üretilen jenerik V_s profilleri ile TDY ZB spektrumuna göre zaman tanım alanında ölçeklendirilmiş yer hareketi kayıtları kullanılarak gerçekleştirilen 1D NL ve EL ZTA' lardan elde edilen yüzey spektrumları ile DD-2 deprem seviyesi için üretilen TDY tasarım spektrumları karşılaştırıldığında, tüm ortalama NL ve EL spektrumlarının TDY' nin altında kaldığı görülmüştür. KNK ve GZYL için NL ortalama+1 σ spektrumunun, TDY' yi orta-ve-yüksek periyot değerlerinde (0.8s - 1.5s) nispeten aştığı görülmüş ve bu gözlem KNK, GZYL ve INC sahalarında, EL ortalama+1 σ için 0.3s - 0.7s periyot aralığında daha belirgin hale gelmiştir. Buna ek olarak, ALS, GZYL ve INC zemin stratigrafilerinde gözlenen siltli kum (SM ve SP-SM) tabakaları için ortalama- F_s değerleri 1.0' in altında hesaplanmış, ALS ve INC için ortalama- F_s +1 σ dahi 1.0' e yakınsamıştır. Tüm bu elde edilenler, İzmir güney sahilini etkileyecek olası yüksek manyitüdlü bir depremde, DD-2 seviye TDY tasarım

spektrumunun orta ve yüksek periyotlarda yetersiz kalabileceği ihtimalini ve suya doymuş siltli kum tabakalarının sivilaşma riskinin meydana gelebileceğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- Andrus, R. D., Stokoe, K. H., ve Hsein Juang, C. (2004). “Guide for shear-wave-based liquefaction potential evaluation”. Earthquake Spectra, 20(2), 285-308.
- Building Seismic Safety Council (BSSC), 2015. “NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures”, Volume 1: Part 1 Provisions, Part 2 Commentary, FEMA P-1050-1, Washington, D.C., 555 pp.
- Bozkurt, E. (2001). “Neotectonics of Turkey—a synthesis”. Geodinamica acta, 14(1-3), 3-30.
- Çetin, K. Ö., Mylonakis, G., Sextos, A., ve Stewart, J. P. (2020). “Seismological and Engineering Effects of the M7. 0 Samos Island (Aegean Sea) Earthquake”.
- Darendeli, M. B. (2001). “Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves”. The university of Texas at Austin.
- Groholski, D. R., Hashash, Y. M., Kim, B., Musgrove, M., Harmon, J., ve Stewart, J. P. (2016). “Simplified model for small-strain nonlinearity and strength in 1D seismic site response analysis”. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 142(9), 04016042.
- Gülerce, Z., Akbaş, B., Özacar, A. A., Sopacı, E., Önder, F. M., Uzel, B., Can, G., Cakir, E., Ilgac, M., Soylemez, B., Saltoglu, N., Askan, A., Cetin, K.O., ve Unutmaz, B. (2022). “Predictive performance of current ground motion models for recorded strong motions in 2020 Samos Earthquake”. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 152, 107053.
- Harmon, J., Hashash, Y. M., Stewart, J. P., Rathje, E. M., Campbell, K. W., Silva, W. J., Xu, B., Musgrove, M., ve İlhan, O. (2019a). “Site amplification functions for central and eastern North America—Part I: Simulation data set development”. Earthquake Spectra, 35(2), 787-814.
- Harmon, J., Hashash, Y. M., Stewart, J. P., Rathje, E. M., Campbell, K. W., Silva, W. J., ve İlhan, O. (2019b). “Site amplification functions for central and eastern North America—Part II: Modular simulation-based models”. Earthquake Spectra, 35(2), 815-847.
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., İlhan, O., Xing, G., Numanoglu, O., Groholski, D.R., Phillips, C.A., ve Park, D. (2020) “DEEPSOIL 7.0, User Manual”. Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign
- İlhan, O. (2020). “Conventional and deep learning-based site amplification models for central and eastern North America”. Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Kottke, A. R. ve Rathje, E. M. (2010). “Technical Manual for SigmaSpectra”.
- Kuruoglu, M. ve Eskisar, T. (2015). “Effect of local soil conditions on dynamic ground response in the southern coast of Izmir Bay”, Turkey. Russian Geology and Geophysics, 56(8), 1201-1212.
- Rathje, E. M. ve Kottke, A. R. (2011). “Relative differences between equivalent linear and nonlinear site response methods”. In 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (pp. 10-13).

- Sandikkaya, M. A., Akkar, S., ve Bard, P. Y. (2013). “A nonlinear site-amplification model for the next pan-European ground-motion prediction equations”. Bulletin of the Seismological Society of America, 103(1), 19-32.
- Seed, H. B., ve I. M. Idriss. 1971. “Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential.” J. Soil Mech. Found. Div. 97 (9): 1249–1273.
- Seyhan, E., and Stewart, J. P. (2014). “Semi-empirical nonlinear site amplification from NGA-West2 data and simulations”. Earthquake Spectra, 30(3), 1241-1256.
- Toro, G. R. (1995). “Probabilistic models of site velocity profiles for generic and site-specific ground-motion amplification studies”. Technical Rep, 779574.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, “Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı”, Ankara, 2018.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
1D	Tek boyutlu, one-dimensional	ML	Düşük plastisiteli silt
ALS	Alsancak	M_w	Moment mantıyüdü
BŞD	Birim şekil değiştirme	NGA-West 2	Next Generation Attenuation Relationships for Western United States
CL	Düşük plastisiteli kil	NL	Doğrusal olmayan, nonlinear
CSA	Çevrimsel gerilim yöntemi, cyclic stress approach	OH	Yüksek plastisiteli kil
CSR	Çevrimsel gerilim oranı	OL	Düşük plastisiteli organik kil
CRR	Çevrimsel zemin direnci oranı	ρ	Tabakalar arası korelasyon değeri
EL	Eşdeğer-doğrusal, equivalent-linear	P_a	100 kPa'lık referans gerilme değeri
F_1	1.0 sn periyot için yerel zemin etki katsayısı	PEER	Pacific Earthquake Engineering Research Center
F_a	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı	Q	Kuvaterner alüvyon
F_s	Güvenlik katsayısı, factor of safety	S_s	Kısa periyot için harita spektral ivme katsayısı
FC	İnce daneli zemin içeriği	S_1	1.0 sn periyot için harita spektral ivme katsayısı
f_{max}	Maksimum frekans	SC	Killi kum
GC	Killi çakıl	Si	Spektral ivme (g)
GP-GM	Kötü derecelenmiş siltli çakıl	SM	Siltli kum
GQ/H	General Quadratic/Hyperbolic	SP-SM	Kötü derecelenmiş siltli kum
GZYL	Güzelyalı	S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
H	Zemin tabakası kalınlığı	σ_{InVs}	V_s standard sapması
IEF	İzmir Enternasyonel Fuar Alanı	σ'_v	Başlangıç efektif gerilme değeri
INC	İnciraltı	V_s	Kayma dalgası hızı, shear wave velocity
K_{a1}	V_{s1} üzerindeki yaşlarda süreci etkisi	V_{s1}	Gerilme düzeltmesi uygulanmış kayma dalgası hızı
K_{a2}	CRR üzerindeki yaşlanma süreci etkisi	V_{s1}^*	V_{s1} için maksimum sınır değeri
KNK	Konak	YASS	Yeraltı su seviyesi