

DEPREM İVME KAYITLARININ ÖLÇEKLENDİRME YÖNTEMLERİNİN ZEMİN SIVILAŞMA POTANSİYELİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ersin GÜLER^{1*}

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sivrihisar MYO, İnşaat Böl., ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5679-8838>

Anahtar Kelimeler	Öz
Sıvılaşma Deprem Ölçeklendirme Sahaya özel analiz	<i>Deprem bölgelerindeki suya doymuş zeminlerin sıvılaşma riskinin belirlenmesi ve uygun önlemlerin alınması hayati önem taşımaktadır. Bu risklerin minimize edilmesi için, zeminlerin tekrarlı yükler altında göstereceği davranışın detaylı bir şekilde anlaşılması ve yapı tasarımlarında bu bilgilerin dikkate alınması gerekmektedir. Sahaya özel yapılan zemin davranış ve tepki analizleriyle her yapının kendi özelinde değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bölgenin depremsellik özellikleri göz önünde bulundurularak, doğru deprem ivme kayıtlarının seçilmesi ve sıvılaşma analizlerinin yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu analizlerde kullanılan deprem ivme kayıtları, zaman-tanım ve frekans-tanım alanında ölçeklenebilir. Ancak, bu ölçeklendirme yöntemleri, deprem ivme kayıtlarında farklılıklara neden olabilmektedir. Bölgenin pik yer ivmesi (PGA) değerine ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019'un bölgeye önerdiği spektral ivme grafiğine göre yapılan bu ölçeklendirmeler, deprem ivme kaydı üzerinde değişikliklere neden olmaktadır. Bu çalışmada, deprem bölgesinde yer alan bir inşaat sahasında suya doymuş zemin profili üzerinde iki farklı ölçeklendirme yöntemi de kullanılarak sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiş ve ölçeklendirme yönteminin sonuçlar üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu yönüyle çalışma, gelecekteki yapı tasarımlarının zemin özelliklerine göre yapılması ve deprem risklerinin azaltılması adına önemli bir katkı sağlamaktadır.</i>

INVESTIGATION OF THE EFFECT ON SOIL LIQUEFACTION ANALYSIS OF EARTHQUAKE RECORD SCALING METHODS

Keywords	Abstract
Liquefaction Earthquake Scaling earthquake Site-specific analysis	<i>It is of vital importance to determine the liquefaction risk of water-saturated soils in earthquake zones and to take appropriate measures. In order to minimize these risks, the behavior of soils under repetitive loads should be understood in detail and this information should be taken into account in building designs. Site-specific soil behavior and response analyses should be performed to evaluate each structure on its own. In addition, it is of great importance to select the correct earthquake acceleration records and perform liquefaction analyses considering the seismicity characteristics of the region. The earthquake acceleration records used in these analyses can be scaled in time-domain and frequency-domain. However, these scaling methods may cause differences in earthquake acceleration records. These scaling methods, which are based on the peak ground acceleration (PGA) value of the region and the spectral acceleration graph recommended by the Turkish Building Earthquake Code 2019 for the region, cause changes in the earthquake acceleration record. In this study, liquefaction analyses were performed on a water-saturated soil profile at a construction site located in an earthquake zone using two different scaling methods and the effect of the scaling method on the results was examined in detail. This study provides an important contribution to future building designs and mitigation of earthquake risks.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 04.07.2024

Kabul Tarihi

: 02.10.2024

Research Article

Submission Date

: 04.07.2024

Accepted Date

: 02.10.2024

* Sorumlu yazar: eguler@ogu.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogumf.1510630>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Deprem bölgelerinde yer alan suya doymuş zeminlerin dinamik yükler nedeniyle boşluk suyu basıncında meydana gelen artış sonucunda zeminlerde sıvılaşma ortaya çıkabilir. Drenajsız koşullarda oluşan bu artış sonucunda zeminde büyük deformasyonlar meydana gelmekte ve bu durum yapılarda büyük hasarlara neden olmaktadır (Seed vd., 1985; Afacan 2019; Pandya ve Sachan 2019).

Zemin sıvılaşması, zemindeki kılcal boşlukların, çöküntülerin ve sıkıştırılabilir malzemelerin ani yerleşmesi sonucu oluşur. Bu durum, zeminde kısa süreli ilave boşluk suyu basıncının artmasına ve efektif gerilmenin sıfırlanmasına sebep olur, sıvılaşma mekanizması tetiklenir. Sıvılaşma nedeniyle, bölgedeki yapılar ve altyapı ciddi şekilde etkilenebilir.

Sonuç olarak yapı, zemin sıvılaşması durumunda, yapısal olarak herhangi bir problemi olmasa dahi deprem anında çökme riskiyle karşı karşıya kalabilir. Bu nedenle, deprem bölgelerinde altyapı inşaatı ve yapı tasarımı sırasında zemin sıvılaşması riski dikkate alınmalı ve uygun mühendislik çözümleri üretilmelidir. Zemin iyileştirme tekniklerinin kullanımı, uygun temel tasarımları ve yapı malzemelerinin doğru seçimi gibi uygulamalar bu çözümler arasında sayılabilir.

Deprem bölgelerinde yer alan yapıların göstereceği performans kadar yapıya zeminden gelen ivme de önemlidir. Bu konu yapı-zemin ilişkisi olarak incelenmektedir. Deprem anında zemin tabakalarından geçen dalgalar bazen büyüyerek bazen sönümlenerek yüzeye ulaşır ve yapıya iletilir. Bazende enerji, zemin tarafından sıvılaşma mekanizmasıyla sönümlenir (Hubler vd., 2018; Alnuaim vd., 2020; Chakraborty vd., 2020; Güler vd., 2021). Sıvılaşma ile zeminin kayma dayanımını tamamen kaybetmesi sonucunda yapılarda ani oturma, farklı oturma, yana yatma, dönme gibi durumlar meydana gelmekte ve yapıya büyük zarar vermektedir. Bu tür taşıma gücü kayıpları, yapı ne kadar güçlü olursa olsun büyük hasarlara neden olur. Bu sebeple sıvılaşma riski önceden tespit edilip yapılaşmadan önce çıkan sonuçlar doğrultusunda planlama kararları ve gerekli önlemler alınmalıdır (Zülküf ve Erken, 2009; Yu vd., 2018; Mase vd., 2020a; Mase vd., 2020b).

Avrupa'nın en önemli deprem kuşaklarından biri olan Türkiye, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) nedeniyle tarihte pek çok depreme maruz kalmıştır. KAFZ tek bir kayma düzlemine sahip değildir ve birçok parçadan oluşmaktadır. Fay hattı doğrultu atımlı ve sağ yönlü bir faydır (Tekin, 1969). Bölgede yakın zamanda meydana gelen 1999 Kocaeli (Mw: 7.4) ve Düzce (Mw: 7.2) depremleri incelendiğinde, sıvılaşma ve zemin büyütme etkileri nedeniyle zeminde büyük deformasyonların ve sonuç olarak taşıma gücü kaybının ortaya çıktığı görülmüştür (Kutanis ve Bal, 2006).

Deprem ivme kayıtları, depremin zaman içindeki ivme değişimlerini belirlemek için kullanılan veri kaynaklarıdır. Bu kayıtlar, deprem sırasında yer yüzeyinin hızlı hareketlerini ölçer ve yapıların deprem performansını analiz etmek için temel bilgi sağlar. Ancak, deprem ivme kayıtları, kullanılmadan önce çeşitli yöntemlerle ölçeklendirme işlemine tabi tutulmalıdır.

İlgili literatürde "zaman-tanım" ve "frekans-tanım" alanında gerçekleştirilen ölçeklendirme yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Zaman-tanım alanında yapılan ölçeklendirmede, ivme kayıtları doğrudan zaman etki alanında analiz edilir. Bu tür bir ölçeklendirme yaklaşımında, depremin süresi ve pik ivme değeri gibi parametreler büyük önem taşır. İvme kayıtları, zaman-tanım alanında ölçeklendirilirken, kaydın frekans bileşenlerinde herhangi bir değişiklik yapılmaz, sadece ivme değerlerinin genlikleri değiştirilir. Bu yöntem, depremin kayıtlarda gözlemlenen temel dinamik özelliklerini koruyarak, kayıtların belirli bir hedef seviyeye uyarlanmasını sağlar.

Frekans-tanım alanında yapılan ölçeklendirmede ise, ivme kayıtları üzerinde frekans bileşenlerine dayalı değişiklikler yapılır ve bu şekilde yeni bir ivme kaydı elde edilir. Bu ölçeklendirme, Fourier dönüşümü veya dalgacık dönüşümü gibi teknikler kullanılarak, kaydın farklı frekans bileşenlerinin bağımsız olarak ayarlanmasını içerir. Bu yöntemin kullanılması, özellikle yapıların belirli frekans aralıklarındaki tepkilerini doğru bir şekilde analiz etmek için önemlidir. Frekans-tanım ölçeklendirmesi, deprem ivme kayıtlarının hedef spektral özelliklere uygun hale getirilmesini sağlar ve bu sayede sismik performans değerlendirmelerinde daha hassas sonuçlar elde edilmesine olanak tanır.

Sonuç olarak, zaman-tanım alanındaki ölçeklendirme, zaman alanında doğrudan değişiklikler yaparak ivme kayıtlarının genliklerini ayarlarken, frekans-tanım alanındaki ölçeklendirme, frekans bileşenlerinde değişiklikler yaparak kaydın spektral özelliklerini hedeflenen seviyeye getirir. Buna göre her iki ölçeklendirme yöntemi de deprem mühendisliğinde belirli analiz ve tasarım hedeflerine uygun olarak seçilmelidir. Uygun yöntemle yapılan ölçeklendirme, yapıların sismik davranışlarının daha doğru ve güvenilir bir şekilde değerlendirilmesine katkıda bulunur.

2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY 2019) deprem ivme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirmesi ile ilgili bilgiler yer almaktadır. TBDY 2019'da bölgeye önerilen spektrum ivme değerleri verilmiş ve sahaya özel analizlerin yapılması gerektiği belirtilmiştir. Ölçeklendirme yapılırken de yönetmelikte değinilen sahanın PGA (pik ivme değeri) ve spektral ivme değerleri kullanılmaktadır.

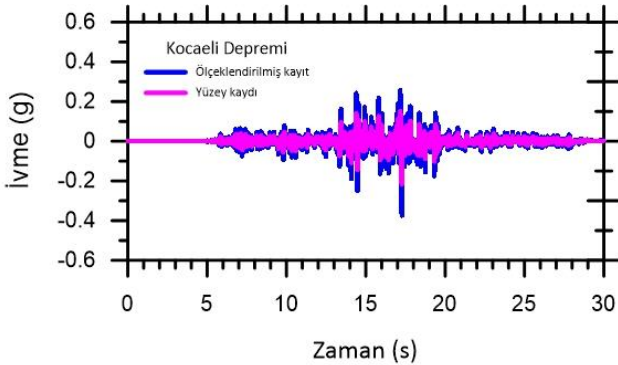
Ölçeklendirme için incelenen her iki yöntem de, doğru bir deprem ivme kaydı analizi yapmak için yapı mühendisliği, jeofizik ve afet yönetimi gibi alanlarda kullanılan standart uygulamalardır.

Bu çalışmada saha olarak seçilen Sakarya ilinin, Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde yer aldığı ve bölgedeki zemin yapısının suya doygun, kalın ve sıvılaştırılabilir nitelikte olduğu bilinmektedir. Sahanın, yer yer siltli-killi kum (SM-SC) ve düşük plastisiteli silt (ML) alüvyon tabakalarından oluştuğu bilinmektedir (Güler vd., 2021). Çalışma kapsamında öncelikle bu bölgenin depremsellik özelliklerini yansıtan 11 adet deprem ivme kaydı elde edilmiştir. Ardından iki farklı ölçeklendirme yöntemi kullanılarak ivmeler ölçeklendirilmiştir. Toplamda 22 adet doğrusal olmayan (non linear) analiz yapılmış ve sıvılaşmaya etkileri incelenmiştir.

2. Deprem İvme Kayıtlarının Ölçeklendirme Yöntemleri

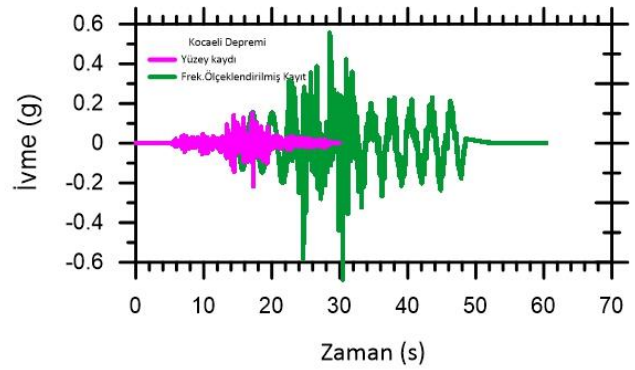
Deprem ivme kayıtlarının, deprem gözlem istasyonlarında kayıt edilmesi ile yüzey kayıtları elde edilmektedir. Deprem ivme kayıtlarının yüzeye ulaşana kadar farklı tabakalardan geçiyor olması ve değişimlere uğraması sonucunda yüzeydeki kayıtlar ile anakaya kayıtları arasında farklılıklar oluşmaktadır. Bu farklılıklar nedeniyle analizlerde bu ivme kayıtlarının yerine ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtlarının kullanılması gerekmektedir. Yüzeyde elde edilen gerçek deprem kayıtları, bölgenin tasarım ivme spektrumuna uyumlu olarak zaman-tanım alanında veya frekans-tanım alanında ölçeklenebilir (Fahjan, 2008).

Zaman-tanım alanında ölçeklendirme yapılırken, bölgeden elde edilen tasarım spektrumu ve PGA değeri ile sadece deprem ivme kaydında artırma ya da azaltma uygulanmakta, frekansında herhangi bir değişim meydana gelmemektedir. Şekil 1 incelendiğinde Kocaeli 1999 deprem kaydına ait veriler gösterilmektedir. Bölgenin PGA değeri baz alınarak yapılan ölçeklendirmede deprem süresi ve genişliğinde değişim olmadan sadece ivme büyüklüğündeki değişim görülmektedir.



Şekil 1. Kocaeli 1999 depremine ait yüzey kaydı ve basit ölçeklendirilmiş hali

İvme kayıtlarının ölçeklendirme yöntemlerinden diğer biri olan frekans-tanım alanında ölçeklendirmede ise bölgenin tasarım ivme spektrum grafiği referans alınarak ivme kaydının frekans içeriğinde değişimler meydana getirilerek deprem ivme kaydının ölçeklendirilmesidir. Bu yöntem, yapıların güvenliğini artırmak, deprem zararlarını minimize etmek ve deprem yönetmeliklerine uyumu sağlamak amacıyla vazgeçilmez bir araç olarak kabul edilmektedir. Şekil 2'de de görüleceği üzere yüzey kaydı ile ölçeklendirilmiş ivme kaydı arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır. Hem deprem ivme süresinde hem de içeriğinde değişimler meydana gelmiştir.



Şekil 2. Kocaeli 1999 depremine ait yüzey kaydı ve frekans-tanım alanında ölçeklendirilmiş hali

Deprem ivme kaydı ölçeklendirmesi, yapıların sismik performanslarının değerlendirilmesinden deprem tehlikesi ve risk analizlerine kadar birçok kritik alanda merkezi bir rol oynamaktadır. Belirli bir bölgedeki sismik tehlike değerlendirilirken ve yapısal performans analizleri yapılırken uygun ivme kayıtları elde edilmeli ve bu kayıtlar, bölgedeki deprem tehlikesine uygun şekilde ölçeklendirilmelidir. Ayrıca tasarıma uygun deprem yükleri de belirlenmelidir. Gerçek zemin koşullarına benzer yüklem senaryoları oluşturulması, yapıların belirli bir deprem tehlikesine karşı nasıl davranacağını anlamak için gereklidir. Bu bağlamda, ölçeklendirilmiş ivme kayıtları, gerçekçi simülasyonlar yapmayı mümkün kılarak yapısal analizlerin doğruluğunu artırır.

Ayrıca, sismik tehlike değerlendirmelerinde deprem ivme kaydı ölçeklendirmesi, bölgesel tehlike analizlerinin gerçekleştirilmesinde ve deprem risk analizlerinin yapılmasında önemli bir rol oynar. Belirli bir bölgedeki sismik tehlikenin doğru bir şekilde değerlendirilmesi, bu bölgeye özgü deprem kayıtlarının uygun şekilde ölçeklendirilmesi ile mümkündür. Böylece, olası depremlerin etkilerini daha doğru bir şekilde tahmin edilebilir ve buna göre önlemler almak mümkün hale gelir.

Mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi süreçlerinde de deprem ivme kaydı ölçeklendirmesi kritik bir öneme sahiptir. Mevcut yapıların sismik performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme

ihtiyaçlarının tespiti için ölçeklendirilmiş ivme kayıtları kullanılır. Ayrıca, deprem sonrası onarım stratejileri geliştirilirken, yapıların farklı büyüklüklerdeki depremler karşısındaki performansları da ölçeklendirilmiş ivme kayıtları ile değerlendirilir.

Deprem yönetmeliklerine uyum sağlamak amacıyla yapılan analizlerde de ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtları kullanılması gereklidir. Deprem yönetmelikleri ve standartlar, yapıların belirli büyüklükteki depremlere karşı performanslarının değerlendirilmesini ve bu değerlendirmelerin doğruluğunu sağlar. Bu bağlamda, ölçeklendirilmiş ivme kayıtları, yönetmeliklere uygun analizlerin yapılmasını ve böylece güvenli ve dayanıklı yapıların inşa edilmesini mümkün kılar.

Son olarak, deprem mühendisliği alanındaki araştırma ve geliştirme çalışmalarında deprem ivme kaydı ölçeklendirmesi, yeni yapı malzemeleri ve teknolojilerin sismik performanslarının test edilmesi ve sismik davranışların daha iyi anlaşılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntem, deprem mühendisliği literatürüne katkı sağlayarak, sismik güvenlik ve yapı dayanıklılığı konularında ileri düzeyde bilgi birikimi elde edilmesine olanak tanır.

Sonuç olarak, deprem ivme kaydı ölçeklendirmesi, yapı güvenliğini artırmak, deprem zararlarını azaltmak ve yönetmeliklere uyumu sağlamak amacıyla kullanılan, yapı mühendisliği ve deprem risk yönetimi alanlarında vazgeçilmez bir araç olarak kabul edilmektedir.

3. Yöntem

İnşa edilecek yeni yapılarda depreme karşı gerekli önlemlerin alınması için deprem ivme kayıtları sahaya özel zemin tepki analizlerinde kullanılır ve bölgenin depremsellik özellikleri incelenir. Sıvılaşma potansiyelinin incelenmesi, Sahaya özel zemin tepki analizlerinden birisidir.

Zemin sıvılaşma potansiyeli, belirli koşullar altında zeminin katı halden sıvı hale geçebilme kapasitesini ifade eder. Genellikle kumlu ve siltli zeminlerde, özellikle yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu (yüzeye yakın) bölgelerde, deprem sırasında meydana gelen sismik titreşimlerin etkisiyle zemin sıvılaşması riski artar. Bu süreçte, zemin daneleri arasındaki boşluk suyu basıncı hızla yükselir ve zemin daneleri arasındaki bağlar zayıflar, bu da zeminin taşıma kapasitesini kaybetmesine neden olur. Sıvılaşma potansiyeli yüksek zeminler, deprem sırasında ciddi yapısal hasarlara yol açabilir çünkü zemin üzerinde bulunan yapılar ani yer değiştirmelere ve oturmalara maruz kalabilir. Zemin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi, deprem riski altındaki bölgelerde güvenli yapı tasarımı ve gerekli zemin iyileştirme önlemlerinin alınması için kaçınılmazdır.

Türkiye'nin önemli büyük şehirlerinden biri olan ve Marmara Bölgesi'nde yer alan Sakarya, deprem tehlikesi altındaki bölgelerden biridir. Özellikle Adapazarı ve çevresinde, 1999 Marmara Depremi sırasında zemin sıvılaşması nedeniyle yapılarda yıkılma ve yan yatmalar meydana gelmiştir. Sakarya ilinde bulunan alüvyonel ve nehir tortulu zeminler, yüksek yeraltı su seviyeleri ile birleştiğinde sıvılaşma potansiyelini artırmaktadır. Geoteknik mühendisleri, bu bölgede sıvılaşma potansiyelini değerlendirmek için detaylı saha ve laboratuvar çalışmaları yaparak, uygun zemin iyileştirme teknikleri ve mühendislik çözümleri geliştirmelidir. Bu çalışmalar, deprem sonrası oluşabilecek hasarları minimize etmek ve bölgedeki yapıların güvenliğini artırmak için yapılır.

Bu çalışmada Sakarya ilinden elde edilen zemin profil bilgileri ile zemin sıvılaşma potansiyel risk analizleri yapılmıştır. Bölgenin depremsellik özelliklerine göre on bir adet deprem ivme kaydı seçilmiş ve ölçeklendirmesi yapılmıştır.

Zeminlerdeki boşluk suyu basıncında meydana gelen değişimin incelenmesi amacıyla DeepSoil programına profil tanımlanmış ve deprem ivme kayıtları etkilendirilmiştir. Sahadan elde edilen veriler ile Tablo 1'de gösterilen zemin profili elde edilmiştir.

Sahaya özel analizlerde seçilecek depremler, bölgenin depremsel özelliklerini yansıtmalıdır. Bina taşıyıcı sistemlerinin deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu olacak şekilde deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Tasarım aşamasında yapının bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi incelenmeli ve geçmişte meydana gelen deprem kayıtları varsa onlar tercih edilmelidir. Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen özellikler dikkate alınarak tarama gerçekleştirilmiş ve Tablo 2'de gösterilen on bir adet deprem ivme kaydı elde edilmiştir.

Sakarya ilinde elde edilen verilerde AFAD tarafından bölgeye önerilen tasarım spektrum grafiği Şekil 3'te gösterilmiştir. Burada PGA 0.689 olarak elde edilmiştir (AFAD, 2024).

Yer hareketlerinin belirlenmesinde yönetmeliklerde gösterildiği üzere tasarım spektrum değerleri kullanılmaktadır. Yapı tasarımında yapıların doğal titreşim periyotları, yapıya etki edecek yatay ve düşey yüklerin belirlenmesinde kullanılır.

Tasarım spektrumları, sahanın sismik özelliklerini ve zemin koşullarını dikkate alarak, farklı deprem kuvvetlerine karşı yapıların maksimum tepkilerini belirler.

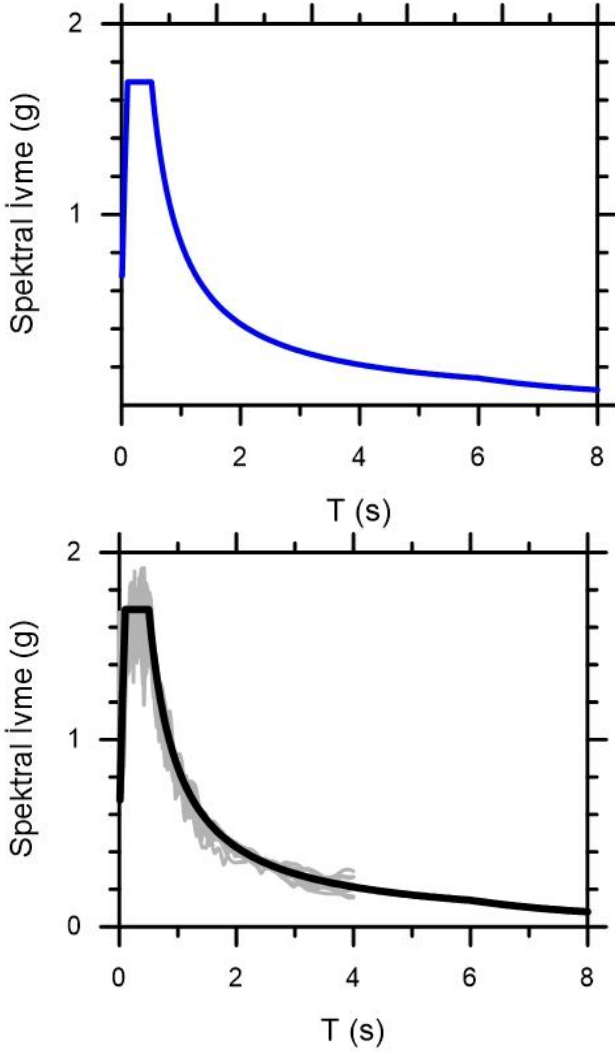
Bölgede yer altı su seviyesi yüzeye çok yakın olup, $z=0$ m olarak ele alınmıştır.

Tablo 1. Zemin profil bilgileri

Tabaka	Zemin Türü	Kalınlık (m)	Birim Ağ.(kN/m)	Vs (m/s)
1	SM	1.5	17.85	130
2	GP	1.0	17.56	130
3	SM	0.5	17.56	130
4	SM	1.5	16.09	158
5	SM	0.5	16.09	158
6	SM	1.0	15.89	158
7	SM	1.5	16.09	158
8	SM	1.5	15.99	158
9	GP	1.5	16.19	158
10	SM	1.5	16.78	158
11	SM	1.5	16.97	158
12	SM	1.5	16.87	158

Tablo 2. Seçilen deprem ivme kayıtları

No	Deprem	Yıl	Magnitüd (M)	Fay Tipi	PGA	Rjb (km)	Rrup (km)
1	"Imperial Valley-02"	1940	6.95	Doğrultu atımlı	0.280	6.09	6.09
2	"Parkfield"	1966	6.19	Doğrultu atımlı	0.443	9.58	9.58
3	"Managua_ Nicaragua-01"	1972	6.24	Doğrultu atımlı	0.371	3.51	4.06
4	"Imperial Valley-06"	1979	6.53	Doğrultu atımlı	0.484	4.9	7.05
5	"Morgan Hill"	1984	6.19	Doğrultu atımlı	0.224	11.53	11.54
6	"Kobe_ Japan"	1995	6.9	Doğrultu atımlı	0.275	11.34	11.34
7	"Kocaeli_ Turkey"	1999	7.51	Doğrultu atımlı	0.226	1.38	4.83
8	"Duzce_ Turkey"	1999	7.14	Doğrultu atımlı	0.404	0	6.58
9	"Parkfield-02_ CA"	2004	6.0	Doğrultu atımlı	0.302	4.81	5.53
10	"El Mayor- Cucapah_ Mexico"	2010	7.2	Doğrultu atımlı	0.286	8.88	10.92
11	"Darfield_ New Zealand"	2010	7.0	Doğrultu atımlı	0.461	5.07	7.11

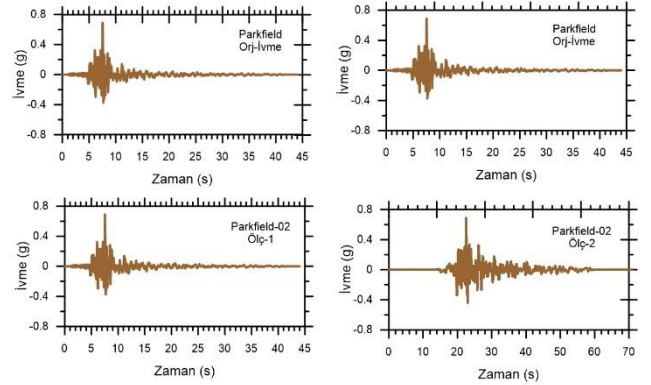


Şekil 3. Bölgenin tasarım spektrum grafiği ve seçilen depremlerin spektral ölçeklendirilmiş gösterimi

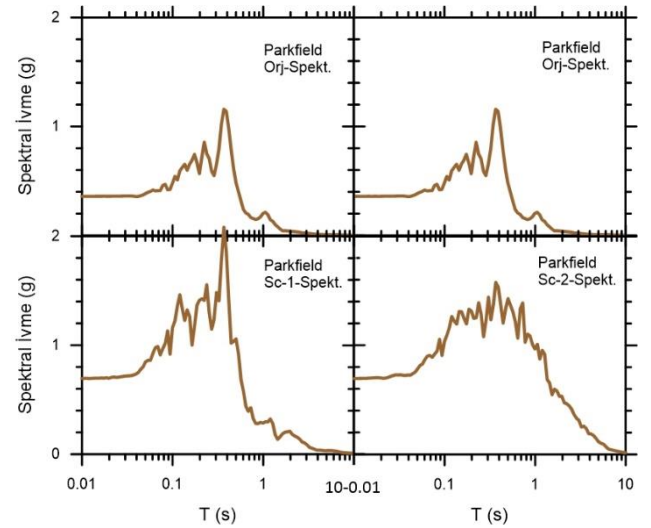
Sahaya özel analizler yapılırken bölgenin depremsellik özelliklerini yansıtan depremler seçilerek ölçeklendirilmelidir. Elde edilen deprem ivme değerleri bölgenin tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmektedir. Bu yöntemlerden ikisi zaman-tanım ve frekans-tanım alanında ölçeklendirme yöntemleridir. Zaman tanım alanındaki ölçekleme yöntemlerinde, kaydın frekans içeriği değiştirilmeden yalnızca kaydın genliği değiştirilir. Frekans tanım alanındaki ölçekleme yöntemlerinde ise, tasarım ivme spektrumuna uygun bir eş bulmak için yer hareketi kaydının frekans içeriği değiştirilir (Özdemir ve Fahjan, 2008; Fahjan, 2008).

Önceki çalışmalarda ülkelerin farklı yönetmeliklerinin belirlediği şartlara göre seçilen depremlerin ölçeklendirildiği ve analizlerde kullanıldığı görülmektedir (Alielahi ve Adampira, 2016; Ebrahimi Motlagh ve Rahai, 2017; Arslan vd., 2018). Basit

ölçeklendirme yönteminde, bölgenin PGA değeri baz alınarak zaman tanım alanında ölçeklendirme yapılmaktadır. Frekans tanım alanındaki ölçeklendirme yöntemlerinde ise tasarım ivme spektrumuna uygun olacak şekilde ölçeklendirme işlemi yapılmaktadır. Buna göre bu çalışmada TBDY 2019'un bölgeye önerdiği spektrum zarfına göre her bir deprem ivme kaydı ölçeklendirilmiştir (TBDY, 2019). Şekil 4'te iki farklı ölçeklendirme yöntemine ait ivme grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 4. Ölçeklendirme yöntemlerinde ivme kaydının değişimi



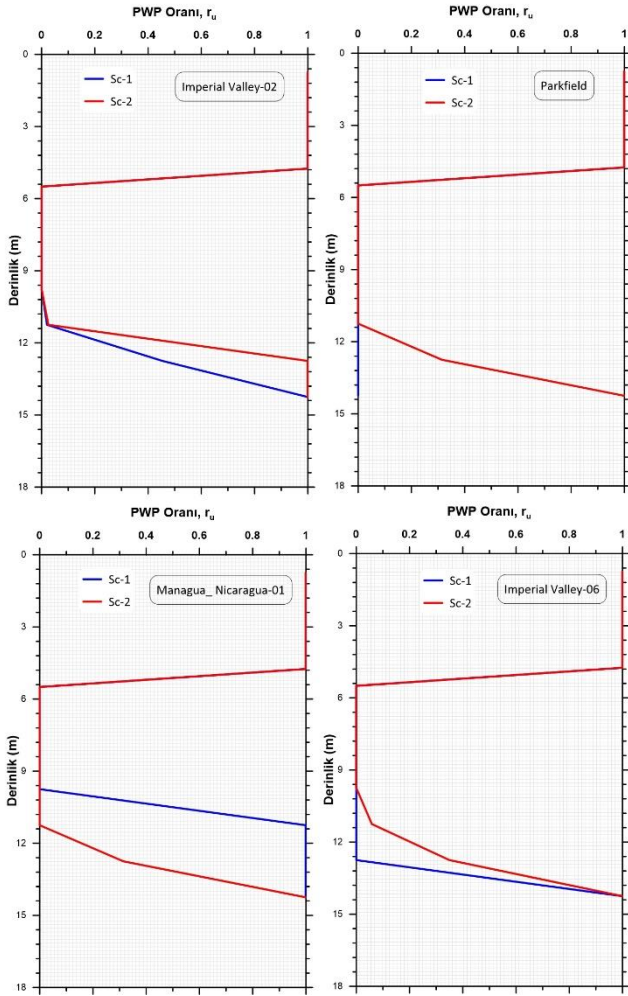
Şekil 5. Spektral ivmelerin gösterimi

Şekil 4 incelendiğinde, ölçeklendirmede kullanılan iki farklı yöntem ile yapılmış ivme kayıtları görülmektedir. Burada ilk önce zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi (Sc-1) kullanılmıştır. İvme kaydında sadece oransal değişim olduğu ve ivme kaydının frekansında herhangi bir değişim olmadığı görülmektedir. Diğer yöntem ile frekans-tanım alanında (Sc-2) ise deprem ivme kaydında büyük oranda farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Şekil 5'te ise aynı ivme kayıtlarının

spektral ivme-periyot grafiklerinde yine Sc-2 ölçeklendirme yöntemiyle yapılan spektral ivme kaydındaki farklılık gösterilmektedir.

4. Bulgular

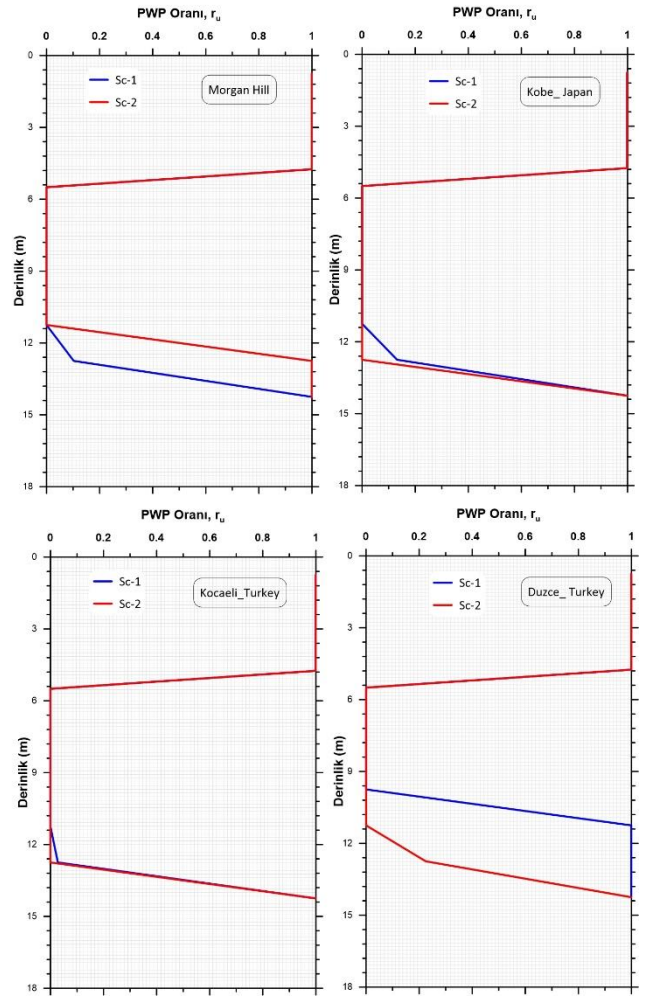
Verileri değerlendirmek amacıyla her iki ölçeklendirme yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde 11 adet deprem kaydında derinlik boyunca sıvılaşma oranı incelenmiştir. Aşırı boşluk suyu basıncı (PWP) oranı, r_u , yükleme esnasındaki boşluk suyu basıncının çevre basıncına bölünmesiyle elde edilir ve bu değer 1'e yaklaşması sıvılaşmanın tetiklendiğini gösterir.



Şekil 6. Sıvılaşmanın derinliğe bağlı değişimi-1

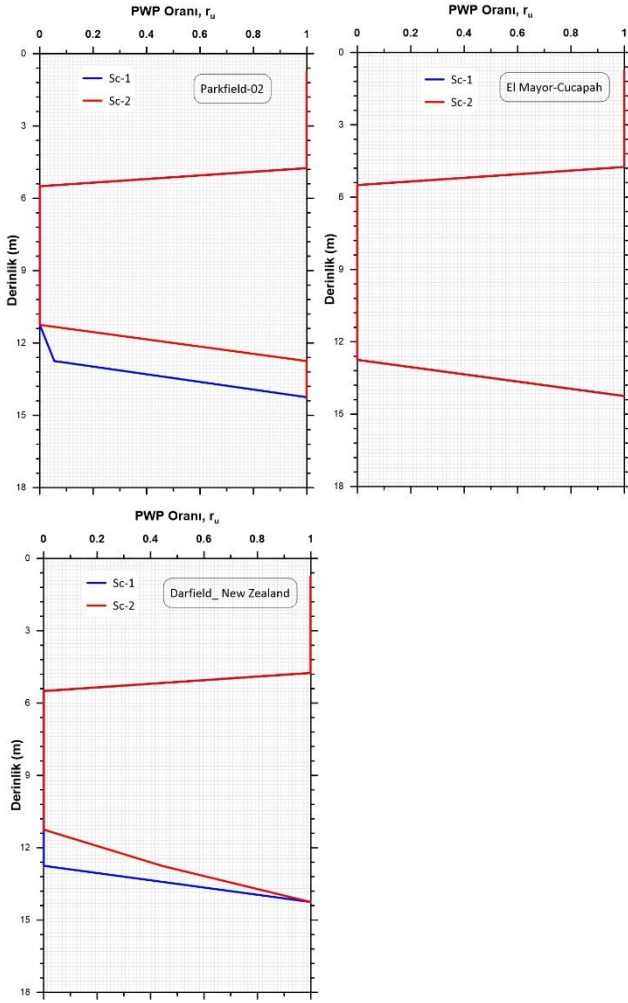
Şekil 6'da her iki ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen derinliğe bağlı olarak aşırı boşluk suyu basıncı oranı gösterilmektedir. Managua depreminde yüzeye yakın yerlerde her iki ölçeklendirme sonucunda PWP oranı benzerlik göstermiştir. Ancak daha derinlerde farklı noktalarda sıvılaşma meydana gelmiştir.

Parkfield depreminde ise iki ölçeklendirmenin de benzer davranış gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 7. Sıvılaşmanın derinliğe bağlı değişimi-2

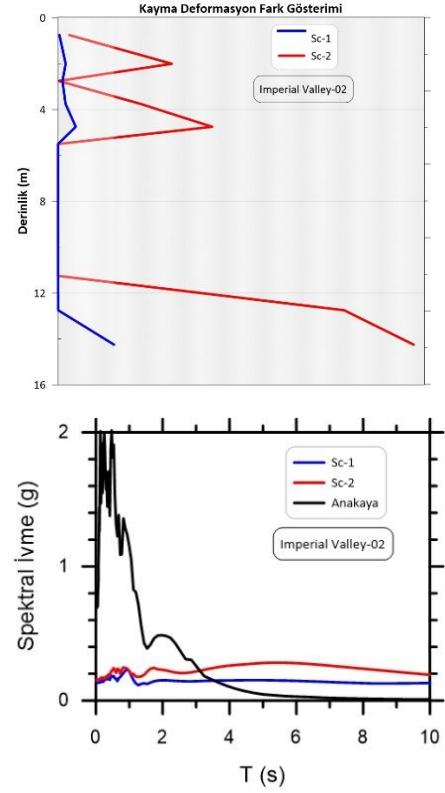
Şekil 7 incelendiğinde ise özellikle Düzce depreminde daha yüzeye yakın yerlerde sıvılaşmanın ayrıldığı görülmektedir. Diğer depremlerde ise benzer davranışların olduğu belirlenmiştir. Kocaeli depreminde ise iki ölçeklendirmenin de benzer davranış gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 8. Sıvılaşmanın derinliğe bağlı değişimi-3

Şekil 8 incelendiğinde Darfield depreminde çok az da olsa farklılık olduğu belirlenmiş diğer deprem ölçeklendirmelerinde benzer davranışların olduğu belirlenmiştir. Parkfield-02 depreminde ise 12m'den sonra ölçeklendirme farkı nedeniyle farklı derinliklerde sıvılaşma görülmektedir.

Son olarak Şekil 9'da örnek bir depreme ait derinlik boyunca kayma deformasyon değişimi iki ölçeklendirme yönteminde de elde edilerek aradaki fark gösterilmiştir. Aynı zamanda yüzeydeki spektral ivme değeri incelendiğinde her iki ölçeklendirme yöntemi ile anakaya ivme değerleri karşılaştırılmıştır. Burada yüzeyde sıvılaşma meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 9. Kayma deformasyon ve spektral ivme değerlerinin ölçeklendirme yöntemlerine göre karşılaştırılması

5. Sonuçlar

Yerel zemin koşulları ile birlikte bölgenin depremsellik özelliklerini yansıtan deprem ivme kayıtlarının seçimi dikkatle yapıldıktan sonra bölgenin fay tipi, zemin koşulları, zemin yapısı incelenerek analizlerin yapılması gerekmektedir. Deprem ivme kayıtlarının analizlerde kullanılabilmesi için öncelikle ölçeklendirme yöntemlerinden yararlanılması gerekmektedir. Bu yöntemler ile yapılan analizler sonucunda farklılıklar olabilmektedir.

Yapılan analizler sonucunda;

- analizlerde kullanılan 11 adet deprem ivme kaydı incelendiğinde, yüklem tipinin zemin sıvılaşma potansiyeline farklı derinliklerde etki ettiği,
- analizlerde kullanılacak olan deprem ivme kayıtları için farklı ölçeklendirme yöntemlerinin kullanılması sonucunda analizlerde farklılıklar olduğu,
- ölçeklendirme yöntemlerinde frekans tanım alanında yapılan ölçeklendirmelerde ivme kaydında frekans değişimlerinin olduğu, zaman tanım alanında ise sadece boyut olarak farklılaştığı,
- ölçeklendirme sonucunda aynı deprem ivme kaydı ile yapılan analizlerde farklı derinliklerde farklı sıvılaşmanın gözlemlenebileceği,

- yapı tasarımından önce yapılacak olan sıvılaşma analizlerinde seçilecek deprem ivme kayıtlarının yanında ölçeklendirme yönteminin de önemli olduğu,

belirlenmiştir. Her iki yönteminde kullanılarak sıvılaşma analizlerinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Ersin GÜLER, analizlerin gerçekleştirilmesi, verilerin derlenmesi, makalenin yazılması ve düzenlenmesi aşamalarını yapmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Afacan K (2019). Estimation of excess pore pressure generation and nonlinear site response of liquefied areas. *Geotechnical Engineering - Advances in Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1-21.
- AFAD. Earthquake catalog (2024). T.C. Ministry of Interior Disaster and Emergency Management Presidency.
- Alielahi H, Adampira M, (2016). Seismic effects of two-dimensional subsurface cavity on the ground motion by BEM: Amplification patterns and engineering applications, *International Journal of Civil Engineering*, 14. 233-251.
- Alnuaim A, Alsanabani N, Alshenawy A (2020). Monotonic and cyclic behavior of salt-encrusted flat (Sabkha) soil. *International Journal of Civil Engineering*. 19. 187-198.
- Arslan G, Borekci M, Sahin B, Denizer MI, Duman KS (2018). Performance evaluation of in-plan irregular rc frame buildings based on Turkish Seismic Cod. *International Journal of Civil Eng*. 16. 323-333.
- Chakraborty P, Nilay N, Das A (2020). Effect of silt content on liquefaction susceptibility of fine saturated river bed sands. *International Journal of Civil Engineering*. 19. 549-561. 2020.
- Ebrahimi Motlagh, HR, Rahai A (2017). Dynamic response of a continuous-deck bridge with different skew degrees to near-field ground motions. *International Journal of Civil Engineering*. 5. 715-725.
- Fahjan YM, (2008). Selection and Scaling of Real Earthquake Accelerograms to Fit the Turkish

Design Spectra. *Technical J Turkish Chamb Civ Eng*. 19. 4423-4444.

- Güler E, Savas H, Afacan KB (2021). Examining The Liquefaction Potential Of Adapazari Sand Under Different Loads Adapazari. 6. *International Conference on Earthquake Engineering and Seismology*. Gebze, Kocaeli, Türkiye.
- Hashash YMA, Musgrove MI, Harmon JA, Groholski D, Phillips CA, Park D (2016) DEEPSOIL V6.1, User Manual. Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Hubler JF, Athanasopoulos-Zekkos A, Zekkos D (2018). Monotonic and cyclic simple shear response of gravel-sand mixtures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 115. 291-304.
- Kutanis M, Bal IE, Local soil conditions effect on structural damage distribution. In: 11th *Soil Mechanics and Foundation Engineering Congress*, Trabzon.
- Mase LZ, Likitlersuang S, Tobita T (2019). Cyclic Behaviour and liquefaction resistance of izumio sands in Osaka, Japan. *Marine Georesources Geotechnology*. 37. 765-774.
- Mase LZ, Likitlersuang S, Tobita T (2020). Verification of liquefaction potential during the strong earthquake at the border of Thailand-Myanmar. *Journal of Earthquake Engineering*. 26. 2023-2050.
- Özdemir Z, Fahjan YM (2008). Comparison of time and frequency domain scaling of real accelerograms to match earthquake design spectra. *Sixth Natl Conf Earthq Eng*.
- Pandya S, Sachan A (2019). Experimental studies on effect of load repetition on dynamic characteristics of saturated Ahmedabad cohesive soil. *International Journal of Civil Engineering*. 17. 781-792.
- Seed HB, Tokimatsu K, Harder LF, Chung RM (1985). Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. *Journal of Geotechnical Engineering*. 12. 1425-1445.
- Tekin İ (1969). Kuzey Anadolu Fayı hakkında. *MTA Journal*.
- TBDY, (2019). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018. Ankara.
- Yu S, Tamura M, Kouichi H (2018) Evaluation of liquefaction potential in terms of surface wave method The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- Zülküf K, Erken A (2009) Adapazari zeminlerinin dinamik davranış özellikleri. *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 8, 157-168.