

ADIYAMAN GÖLBAŞI ALÜVYON HAVZASINDAKİ YÜZEYSEL TEMLİ BİNALARDA 6 ŞUBAT 2023 DEPREMLERİNDE OLUŞAN DEFORMASYONLARIN İNCELENMESİ

İlknur BOZBEY¹, M. Kubilay KELEŞOĞLU², Sadık ÖZTOPRAK³, Emirhan ALTINOK⁴, Sinan SARĞIN, Cihan ÖSER, Zülal AKBAY ARAMA, Güldem KORKMAZ, Fatma Tuğçe ÇINAR ÖZKAN, Ahmet Kaan YILDIRIM, Yunus Emre TÜTÜNCÜ

ÖZET

Türkiye'de 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen depremler, zemin sıvılaşması ve ilave boşluk suyu basıncı kaynaklı zemin ortamında yol açtığı taşıma gücü yenilmeleri nedeniyle, binalarda meydana gelen hasarın çok fazla olabileceğini göstermiştir. Bu depremde Adıyaman ilinin Gölbaşı ilçesinde, Atatürk Bulvarı'nın kuzeyinde, göle yakın bir konumda yer alan bölgedeki çeşitli seviyelerde hasar gören binalar incelenmiş ve birbirine yakın mesafede konumlanan binalarda sıvılaşma kaynaklı oturma ve dönme değerlerinin çok farklı olabildiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, incelenen bölgedeki sıvılaşabilir zeminler üzerinde bulunan farklı geometrik ve yapısal özelliklere sahip 28 binanın deprem sırasında oluşması beklenen oturma ve dönme değerleri, literatürde sıvılaşma kaynaklı bina oturması tahmini için yaygın olarak kullanılan Bray & Macedo (2017) ve Bullock et al. (2018) yöntemleri ile tahmin edilmiştir. Tahminler, deprem sonrası gözlemlenen oturma ve dönme değerleri ile karşılaştırılarak iki yöntemin tahmin başarısı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mevcut metodolojilerin sınırlılıklarını vurgulamakta ve ilgili tüm faktörleri doğru bir şekilde dikkate alabilen basitleştirilmiş yaklaşımların geliştirilmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma, Sıvılaşma kaynaklı bina oturması, 2023 Kahramanmaraş Depremleri

ABSTRACT (14 PUNTO)

The earthquakes that occurred on February 6, 2023, demonstrated that the damage to buildings could be extensive due to sudden strength losses in the soil caused by soil liquefaction and excessive pore water pressure increase. In the Gölbaşı district of Adıyaman province, various levels of damage were observed in buildings located close to each other, situated north of Atatürk Boulevard and near the lake. It was observed that the settlement and tilt values due to liquefaction could vary significantly in buildings positioned in close proximity. In this study, the expected settlement and tilt values during the earthquake for

¹ Prof Dr., İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, ibozbey@iuc.edu.tr

² Doç. Dr., İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, kelesoglu@iuc.edu.tr

³ Prof Dr., İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, oztoprak@iuc.edu.tr

⁴ Araş. Gör., İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, emirhanaltinok@iuc.edu.tr (Sorumlu Yazar)

23 buildings with different geometric and structural characteristics located on liquefiable soils in the examined area were estimated using the Bray & Macedo (2017) and Bullock et al. (2018) methods, which are widely used in the literature for predicting building settlement due to liquefaction. The predictions were compared with the observed post-earthquake settlement and tilt values, and the prediction accuracy of the two methods was evaluated. The results obtained highlight the limitations of the existing methodologies and underscore the need for the development of simplified approaches that can accurately consider all relevant factors.

Keywords: Liquefaction, Liquefaction-induced building settlement, Kahramanmaraş Earthquakes

1. GİRİŞ (14 PUNTO)

Doğu Anadolu Fay Hattının çeperinde tarih boyunca büyük şehirler kurulmuş, pek çok antik şehir depremler nedeniyle harap olmuş ve terk edilmiştir. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri, fay hattı yakınında bulunan tüm şehirlerde büyük yıkımlara yol açmıştır. Depremler nedeniyle binalarda meydana gelen hasarların başlıca nedenleri yapısal sorunlar ve zemin kaynaklı hasarlar olarak sınıflandırılabilir. Şehirleşmenin ve kent nizamının yoğun olduğu bölgelerdeki sıvılaşmaya müsait suya doygun ve düşük plastisiteli zeminlerde, gerilmelerin neden olduğu ilave basınçlar, sığ temelli binalar için ana risklerden biridir. Deprem sırasında zeminde meydana gelen ilave boşluk suyu basınçları, yapı temellerinin altındaki zeminlerde ani rijitlik ve mukavemet kaybına yol açarak, binaların işlevselliğini kısmen veya tamamen kaybetmesiyle sonuçlanan büyük çökme ve denge kaybının meydana gelmesine neden olabilir. Deprem-zemin-bina temeli ilişkisinin bir sonucu olarak ortaya çıkan sıvılaşma kaynaklı mekanizmalar nedeniyle binalarda aşırı oturma, dönme, yanal yer değiştirme, taşıma kapasitesi kaybı ve hatta devrilme görülebilir. Geçmişte meydana gelen Kocaeli 1999, Christchurch 2011 ve Emilia-Romagna 2012 depremlerinde pek çok bina, zeminde sıvılaşma mekanizmalarının oluşması nedeniyle ağır hasar almış, öngörülemeyen dönme ve oturma değerleri gözlemlenmiş ve yapılar kullanılamaz hale gelmiştir.

Binalarda meydana gelen sıvılaşma kaynaklı oturmalarda iki mekanizmanın etkili olduğu bilinmektedir. Bunların ilki, deprem sırasında boşluk suyu basıncının (r_u) artmasıyla zeminin efektif gerilmesinin düşmesi ve taşıma gücünü kaybetmesi nedeniyle oluşan deformasyonlarla ilgilidir. İkincisi ise deprem sonrası boşluk suyu basınçlarının sönmelenmesi sırasında meydana gelen konsolidasyonun hacimsel deformasyonlara sebep olmasıdır. Literatürde serbest saha koşulları için geliştirilen yarı-ampirik prosedürler (Cetin & Ozan, 2009; Ishihara & Yoshimine, 1992; Zhang et al., 2002 vb.) sıvılaşma sonrası zemin oturmasının yalnızca hacimsel bileşenini tahmin etmekte ve bina altındaki zeminlerin daha fazla deformasyona uğramasına neden olan ilk mekanizmayı ihmal etmektedir (Bray & Dashti, 2014).

Deprem sonucunda farklı araştırmacılar tarafından yapılan incelemelerde, Gölbashi ilçesinde kum kaynaması ve yanal yayılma gibi sıvılaşma kanıtları gözlemlenmiştir (Çetin ve diğ., 2023; EEFIT, 2024). İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik ABD öğretim ve elemanları tarafından deprem bölgesinde yapılan incelemeler neticesinde Gölbashi ilçesinde çok sayıda binanın, yapısal kusurların yanı sıra, deprem-zemin ilişkisinden

kaynaklanan mekanizmalar nedeniyle hasar gördüğü tespit edilmiştir. Depremi hemen sonrasında sivilaşma kaynaklı oturma ve dönme hasarı gözlemlenen 120 binanın geometrik özellikleri (en, boy, yükseklik) ve hasar seviyeleri (dönme ve oturma) ölçülerek geniş bir veri tabanı oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalar neticesinde ekibimiz tarafından hazırlanan “Siltli-Killi Alüvyon Zeminlerdeki Sığ Temelli Binalarda Oluşan Sivilaşma Kaynaklı Temel Hasarlarının Tahmini için Bina Özelliklerini ve Komşu Bina Etkileşimini Dikkate Alan Analitik Bir Yaklaşım Geliştirilmesi: Adıyaman-Gölbaşı Örneği” isimli proje, 123M604 numarasıyla Tübitak 1001 tarafından desteklenmeye uygun bulunmuştur. Proje kapsamında oluşturulan veritabanı ve yapılan arazi deneyleri kullanılarak hazırlanan bu çalışmada, veritabanından seçilen uygun binalara en yaygın kullanılan iki oturma tahmin modeli (Bray & Macedo, 2017 ve Bullock et al., 2019) uygulanmıştır. Yöntemler ile tahmin edilen sivilaşma kaynaklı bina oturmaları ve dönme değerleri, ölçülen oturma ve dönme değerleri ile karşılaştırılarak yöntemlerin tahmin performansı irdelenmiş ve sınırlamaları ortaya konulmuştur.

2. YÖNTEM

2.1. Veritabanı

Bu çalışmada Tübitak 123M604 nolu proje kapsamında oluşturulan veritabanı ve yapılan CPT deneyleri kullanılmıştır. Binaların geometrik en, boy, yükseklik, kat sayısı gibi geometrik özelliklerini ve deprem sonrasındaki oturma ve dönme gibi sivilaşma kaynaklı hasar durumlarını içeren veritabanının hazırlanmasına ekibimiz tarafından depremden sonraki bir ay içerisinde Gölbaşı ilçesindeki hasar gören binaların incelenmesiyle başlanmıştır. Ayrıca bölgede deprem sonrasında ve daha sonra proje kapsamında hasarlı binaların bulunduğu alanlarda sondaj ve CPT deneyleri yapılarak veritabanına zemin bilgileri de eklenmiştir. Bu çalışmada Gölbaşı ilçesi Gazi caddesi üzerinde ve yakınlarında bulunan ve çeşitli seviyelerde hasar gören 28 adet binanın verileri kullanılmıştır. Çalışmada incelenen binalar ve binaların yakınlarında bulunan CPT deneyleri harita üzerinde Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Gölbaşı ilçesinde incelenen binalar

Binalar Şekil 1’de gösterildiği gibi numaralandırılmıştır. Binaların oturma değerleri, yapı izdüşümüne komşu deforme olmamış komşu yol kotları referans alınarak belirlenmiştir. Referans alınan yolun deprem sonrasında binanın deplasmanı nedeniyle kabarma yapmamış olmasına dikkat edilmiştir. Binaların dönme değerleri, elektronik açı ölçerler ile, binaların köşelerinden, içerideki kolonlardan ve dışlarındaki farklı noktalarından ölçülmüştür. Nihai dönme değerleri, tüm noktalarda ölçülen dönmelerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Şekil 2’de bina ölçümleri sırasında kaydedilen bazı fotoğraflar sunulmuştur.



Şekil 2. Binaların geometrik özelliklerinin ve hasar seviyelerinin incelenmesi

2.2. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

Kayıtlara geçen ilk ana şok dalgası, saat 04.17’de, 450 km uzunluğundaki yanal atımlı bir fay olan Doğu Anadolu Fay Zonu’nun (DAFZ) Pazarcık – Erkenek ve Pazarcık – Amanos segmentlerinde meydana gelmiştir. Pazarcık ilçesi merkezli olarak başlayan bu kırılma, kuzeyde Malatya Pütürge’den güneyde Antakya’ya kadar uzanan 300 km’nin üzerinde bir alanda yüzey kırığı oluşturmuş ve bu doğrultudaki tüm yerleşim yerlerinde yıkıma neden olmuştur (Özacar ve diğ, 2023). Fay zonu üzerindeki pek çok kayıt istasyonunda deprem ivmelerinin kaydedilmesine karşın, Gölbaşı ilçesinde ve yakınlarında elektrik kesintileri ve cihaz arızaları nedeniyle sağlıklı deprem kayıtları bulunmamaktadır. Bu nedenle çalışmada kullanılan deprem kayıtları, literatürdeki veriler ışığında belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan deprem kayıtları PEER veritabanından (Ancheta et al., 2014) indirilmiştir. Uygun kayıtlar araştırılırken fay mekanizması DAFZ’a uygun olarak yanal atımlı seçilmiş, depremlerin büyüklüğü 7.0-8.0 M_w aralığında dikkate alınmıştır. Gölbaşı ilçesi, depremin merkez üssüne 80 km uzaklıkta olduğundan, yalnızca R_{jb} mesafesi 50-100 km aralığındaki kayıtlar dikkate alınmıştır. AFAD’ın ağında bulunan TK0203 Gölbaşı istasyonunun zemin profiline uygun ($V_{s30} = 384$ m/s) olması için $V_{s30} = 360-500$ m/s aralığındaki deprem kayıtları filtrelenmiştir. PEER veritabanında yapılan araştırma sonucunda istenilen özelliklere uygun beş adet deprem kaydı tespit edilmiştir. Sırasıyla Puerta LA Cruz, Mecidiyeköy, Maku, Frink ve WAKC istasyonlarından alınan bu kayıtlar ve kayıtların özellikleri Tablo 1. de gösterilmektedir. Seçilen deprem kayıtlarını, Gölbaşı ilçesinde etkin olan en büyük yer ivmesine ölçekleyerek (basit ölçeklendirme) kullanmak gerekmektedir. Fakat, Gölbaşı istasyonunda sağlıklı deprem kaydı olmaması nedeniyle

depremin ilçe genelindeki en büyük yer ivmesi (PGA) kesin olarak belirlenememiştir. Bu konuda yapılan pek çok araştırma mevcuttur. Flora ve diğ. , (2024) deprem ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi (IDW) kullanarak yaptıkları hesaplamalar sonucunda Gölbaşı ilçesindeki PGA değerinin yaklaşık 0.23g olabileceğini söylemektedir. Tonyalı et al., (2024) Gölbaşı ilçesinde çalışma alanımıza yakın bir bölgedeki bir binayı incelemiş ve kullandıkları PGA değerini 0.25 g olarak belirtmiştir (Büyüksaraç et al., 2024). Bu referanslar Adıyaman – Gölbaşı çevresinde 0.25g PGA değerini doğrulamaktadır. İncelenen çalışmalara dayanarak bu çalışmada Gölbaşı ilçesindeki PGA değeri 0.25 g olarak kabul edilmiş ve PEER Veritabanından seçilen deprem kayıtları 0.25 g PGA değerine basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiştir. Ölçeklenen kayıtların CAV (cm/s), Sa (T=1s) ve Standardized CAV (g*sec) parametreleri Tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. Analizlerde kullanılmak için seçilen deprem kayıtları

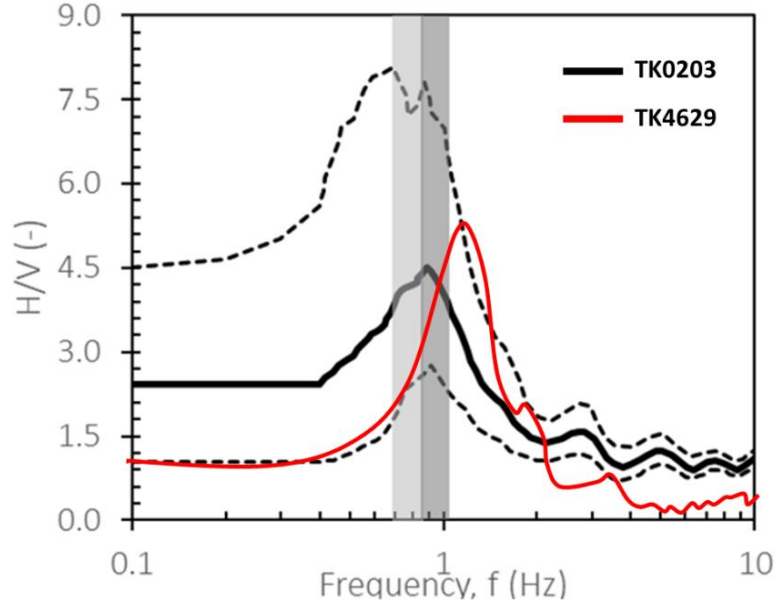
İstasyon Adı	Magnitüd	Fay Mekanizması	R _{jb} (km)	R _{rup} (km)	V _{S30} (m/sec)	CAV (cm/s)	Sa (T=1 s)	Standardized CAV (g*sec)
Puerta La Cruz	7.28	strike slip	94.48	94.48	442.7	2187.15	0.139	2.031
Mecidiyeköy	7.51	strike slip	51.17	53.43	384.86	902.53	0.136	0.783
Maku	7.21	strike slip	50.78	50.82	432.58	892.61	0.098	0.790
Frink	7.2	strike slip	81.63	81.8	384.66	2447.95	0.502	1.811
WAKC	7.0	strike slip	72.5	72.5	484.49	1831.33	0.441	1.296
Türkoğlu (TK4629)	7.8	strike slip	28.9	28.9	382	888.44	0.160	0.872

Bu beş kayıta ek olarak Kahramanmaraş depreminin frekans içeriğini yansıtmaları için, zemin profili ilk 30 metreye ait kayma dalgası hızı profili bakımından Gölbaşı TK0203 istasyonuna benzeyen ve 04.17'deki ana şoku kaydeden bir kayıt istasyonu araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda Türkoğlu TK4929 istasyonunun HVSr grafiklerindeki hakim frekansın, yaklaşık 1 Hz olduğu tespit edilmiştir. Bu değer, Gölbaşı TK0203 (AFAD, 2023) istasyonu kurulurken, jeofizik yöntemlere dayalı ölçülen ortalama hakim frekans değeri ile örtüşmektedir. İstasyonların HVSr (yatay genlik- düşey genlik oranı) grafikleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu nedenle Türkoğlu TK4629 istasyonunun deprem kaydı analizlerde kullanılmak üzere seçilmiş ve basit ölçeklendirme yöntemi ile PGA=0.25 g olacak şekilde ölçeklendirilmiştir.

2.3. Sıvılaşma Kaynaklı Bina Oturması Tahmin Yöntemleri

Bu bölümde binalarda oluşan oturmaların tahminleri farklı yöntemlerle yapılmıştır. İlk yöntem Bray & Macedo (2017) tarafından önerilen prosedürdür. Yazarlar tarafından önerilen yöntem, binanın toplam oturmasının üç bağımsız bileşenin toplamı olduğunu varsaymaktadır. Bunlardan ilki hacimsel deformasyonlardan kaynaklanan bileşendir (D_v). Hacimsel deformasyonlar, sıvılaşma sonrası zeminin mukavemetini kaybetmesi nedeniyle oturmasından veya aşırı boşluk suyu basınçları ile zeminin efektif gerilmesi arttıkça konsolidasyon kaynaklı olarak gelişebilir (Bray & Dashti, 2014). Diğer bileşen kayma deformasyonları nedeniyle oluşan zımbalama (punching) oturmasıdır (D_s). Bu mekanizma sonucunda temel zemininde mukavemet kaybına bağlı olarak kısmi taşıma yetersizliği ve temellerde zımbalama oturmaları görülür. Yapının devrilmesine neden olabilir. Üçüncü ve

son bileşen ise kum kaynamaları nedeniyle temel altındaki malzemenin dışarı atılmasından kaynaklanan deformasyonlardır (D_e).



Şekil 4. TK0203 Gölbaşı ve TK4629 Türkoğlu İstasyonlarının HVSr Grafikleri

Bu yöntem, zeminler için PM4Sand bünye modeli kullanılarak FLAC v7.0 sayısal kodu ile gerçekleştirilen 1.308 analizden elde edilen veriler kullanılarak yapılan istatistiksel analizler yardımıyla türetilen kesme kaynaklı oturma bileşenini tahmin etmek için yeni bir ifade önermektedir. Yazarlar tarafından sağlanan denklem, yük (q), temellerin genişliği (B), sıvılaştırılabilir tabakanın kalınlığı (HL), (LBS) Sıvılaştırılabilir Bina Oturma indeksi fonksiyonu, sismik parametreler, CAV_{dp} (0.025g eşikli Kümülatif Mutlak Hız) ve Sa_1 (1 saniyelik periyotta spektral ivme) dahil olmak üzere çeşitli girdiler gerektirmektedir.

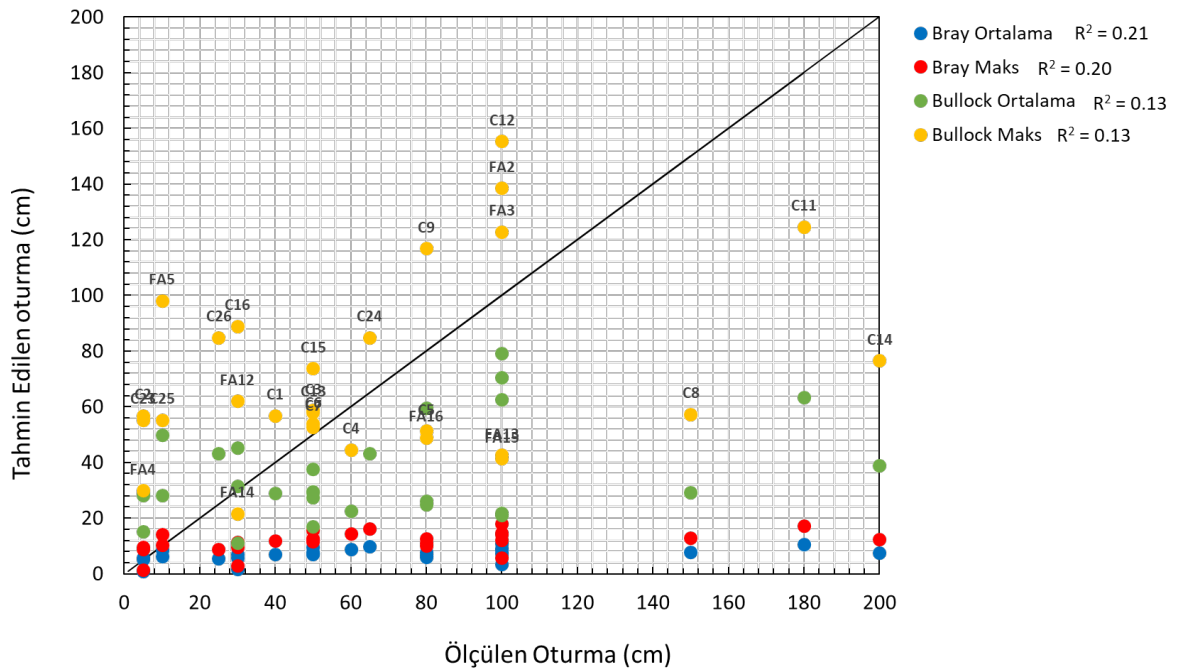
Yazarlar bu yöntemi, sıvılaştırılabilir kaynaklı bina oturmasının ikinci bileşeni olan kesme kaynaklı oturmaları tahmin etmek üzere geliştirmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda, yüksek miktarda oluşan bina oturmalarına, dönmeye ve hatta devrilmeye neden olan bileşenin kesme kaynaklı bileşen olduğu kanıtlanmıştır (Dashti et al., 2010). Gölbaşı ilçesinde incelenen binalarda görülen aşırı oturmalar ve dönmeler, sıvılaştırılabilir sırasında etkin olan mekanizmanın, diğer iki bileşenden ziyade, kesme kaynaklı olabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle Bray ve Macedo (2017) tarafından geliştirilen bu yöntemin hesaplarda kullanılması uygun görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan diğer yöntem ise Bullock ve diğ. (2019) tarafından geliştirilmiştir. Binaların oturma ve dönme değerlerini olasılıksal olarak tahmin eden bu yöntem, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ve PDMY02 bünye modeli kullanılarak gerçekleştirilen yaklaşık 63000 adet doğrusal olmayan dinamik sayısal analiz ve santrifüj deneyi sonuçlarının yorumlanması ile elde edilmiştir. Yöntemin girdi parametreleri bina ağırlığı ve boyutları (en, boy, yükseklik) sıvılaştırılabilir katmanların sayısı, kalınlığı ve arazide yapılan SPT veya CPT testlerinden elde edilen normalize edilmiş mukavemetleridir. Yöntem, yazarlar

tarafından yayınlanan Excel sayfası ile kullanılmaktadır. Depremin etkisi CAV_{dp} parametresi ile hesaplara dahil edilmektedir. Bu parametre, fayın karakteristik özellikleri ve bölgenin depremselliği göz önüne alınarak olasılıksal olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada CAV_{dp} parametresi hesaplanırken sığ ve yanal atımlı fay karakteristiği seçilmiş, $M_W = 7.8$, $R_{rup} = 1$ km, odak derinliği = 10 km, parametreleri kullanılmıştır.

3. HESAPLANAN OTURMA VE DÖNME DEĞERLERİ

28 adet bina için Bray & Macedo (2017) ve Bullock ve .diğ. (2019) yöntemleri ile hesaplanan oturma değerleri deprem sonrası ölçülen oturmalar ile karşılaştırılmış ve Şekil 5'te grafik üzerinde gösterilmiştir. Yöntemler olasılıksal olarak hesaplama yaptığı için ortalama oturma ve maksimum oturma değerleri grafikte gösterilmiştir. Adıyaman Gölbaşı'nda ölçülen oturma değerlerinin bu iki yöntem ile hesaplanan maksimum oturma değerlerinin bile ölçülen oturmalarından oldukça düşük olduğu görülmektedir. Tahmin edilen ve ölçülen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları (R^2) Bray yöntemi için yaklaşık 0.20, Bullock yöntemi için yaklaşık 0.13'tür. Bu da, yöntemlerin bu binalar için başarısız oturma tahminleri yaptığını kanıtlamaktadır.



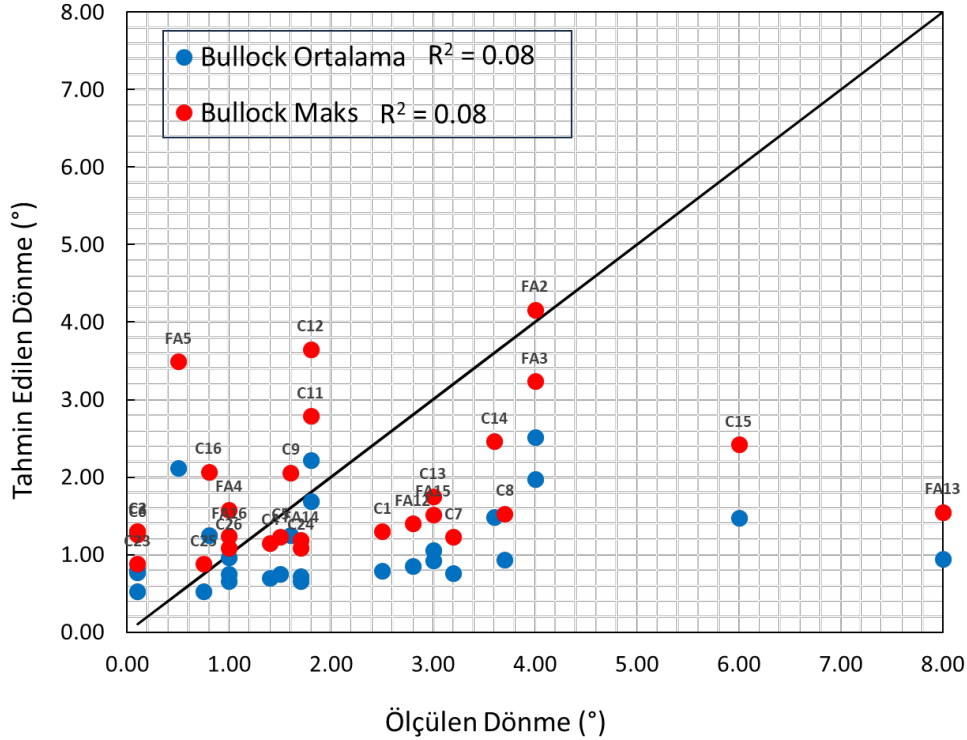
Şekil 5. Yöntemler ile yapılan oturma tahminleri

Bullock ve diğ. (2019) yöntemi ile hesaplanan dönme değerleri, ölçülen dönmeler ile karşılaştırılmış ve Şekil 6'da grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu yöntemin dönme tahminleri, ölçülen dönmelerden çok uzaktır. Tahmin edilen ve ölçülen dönmeler arasındaki korelasyon katsayısı (R^2) 0.08 civarında hesaplanmıştır.

Literatürde mevcut olan yarı ampirik yöntemlerin bu depremde Gölbaşı ilçesindeki binalarda ölçülen oturmaları doğru bir şekilde tahmin edemediği görülmektedir. Bu farklılık birçok farklı sebepten kaynaklanmış olabilir. Bu sebepler çalışma grubumuz tarafında irdelenmekte ve çalışmalar devam etmektedir. Gölbaşı özelinde incelenen zemin kesitlerinin idealizasyonu ve karakterizasyonu bakımından belirsizlik içermesi öncelikli

neden olarak tanımlanabilir. Bu belirsizlikler, önerilen formülasyonların türetildiği literatürde kullanılan basitleştirilmiş sayısal durumlara dahil edilememektedir. Buna ek olarak tahmin edilen davranışın gerçekçi bir şekilde tanımlanamamış olması aşağıda gibi özetlenebilir:

1) Gölbaşı bölgesinde güvenilir sismik kayıtların bulunmaması nedeniyle sismik talebin doğru değerlendirilmesi: 0,25g olarak varsayılan PGA değeri, Gölbaşı bölgesindeki alüvyon çökeltilerinden kaynaklanan büyütme etkilerinden dolayı eksik tahmin edilen bir değer olabilir.



Şekil 6. Bullock yöntemi ile yapılan dönme tahminleri

2) Bölgede birbirini tetikleyen depremler nedeniyle oluşan ilave etkiler, hesaplamalarda dikkate alınamamıştır. Bölge sakinleri tarafından sahada toplanan ifadeler, ana şok dalgasından sonra gerçekleşen artçı depremlerin hasarın boyutunu artırdığı yönündedir. Mevcut yöntemler tekil depremler üzerinde olasılıksal hesaplamalar yapmakta, artçı depremlerin etkisini gözardı etmektedir.

3) Kullanılan yöntemler, zemin tabakalarında oluşan boşluk suyu basıncı artışından ve birikiminden kaynaklanan katkıyı ve kum kaynamalarının neden olduğu deformasyona bağlı katkıyı ihmal etmektedir. Bölgede ardı sıra üç adet büyük deprem yaşandığından ikinci ve üçüncü deprem öncesinde aşırı boşluk suyu basınçlarının sönmülme hızı bilinmemektedir. Bu nedenle 2. ve 3. depremin etkileri hesaplara dahil edilememiştir.

4. SONUÇLAR

Bu bildiriye esas teşkil eden TÜBİTAK tarafından 1001 programı dahilinde desteklenen proje kapsamında Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi merkezinde saha araştırmaları başlatılmıştır. Bu çalışmanın yazıldığı sırada, arazi deneyleri sonuçları titizlikle değerlendirilmekte; sahadan

alınan örslenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde zemin özellikleri deneyleri gerçekleştirilmektedir. Buna ilaveten, sahadan getirilen numuneler üzerinde; sahadaki gerilme, doyumluk ve sıklık koşulları tekrar sağlanarak tekrarlı dinamik kesme deneyleri gerçekleştirilerek sıvılaşma direnimsizlik eğrileri ortaya konmaktadır.

Ayrıca 6 Şubat 2023'te meydana gelen deprem çifti sırasında Gölbaşı İstasyonunda sağlıklı bir ivme -zaman grafiği kaydedilemediği için gerek olasılıksal deprem tehlike analizleri ile gerekse de yapay kayıtlar üretmek suretiyle; sayısal analizlere yön verebilecek ve saha şartları ile uyumlu deprem kaydı bulunmaya çalışılmaktadır. Bu çalışma için ise yine arazide jeofizik yöntemler kullanılarak yapılan MASW ve SPAC ölçümleri ile hem anakaya derinliği ile sahaya zemin tepki analizlerinin en önemli girdisi olan kayma dalgası- derinlik profili belirlenmektedir. Bahsedilen belirsizlikleri ve bu belirsizliklerin etkilerinin hassasiyet derecelerini dikkate alan daha kapsamlı yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

TEŞEKKÜR (14 PUNTO, KOYU)

Bu çalışma, 123M604 No'lu "Siltli-Killi Alüvyon Zeminlerdeki Sığ Temelli Binalarda Oluşan Sıvılaşma Kaynaklı Temel Hasarlarının Tahmini İçin Bina Özelliklerini Ve Komşu Bina Etkileşimini Dikkate Alan Analitik Bir Yaklaşım Geliştirilmesi: Adıyaman-Gölbaşı Örneği" isimli Tübitak 1001 projesi kapsamında oluşturulan bina-deprem veri tabanı ve yapılan arazi deneyleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

AFAD. (2023). *AFAD TADAS Station List*. <https://tadas.afad.gov.tr/list-station>

Ancheta, T. D., Darragh, R. B., Stewart, J. P., Seyhan, E., Silva, W. J., Chiou, B. S.-J., Wooddell, K. E., Graves, R. W., Kottke, A. R., Boore, D. M., Kishida, T., & Donahue, J. L. (2014). NGA-West2 Database. *Earthquake Spectra*, 30(3), 989–1005. <https://doi.org/10.1193/070913EQS197M>

Bray, J. D., & Dashti, S. (2014). Liquefaction-induced building movements. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(3), 1129–1156. <https://doi.org/10.1007/s10518-014-9619-8>

Bray, J. D., & Macedo, J. (2017). 6th Ishihara lecture: Simplified procedure for estimating liquefaction-induced building settlement. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 102, 215–231. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.08.026>

Bullock, Z., Dashti, S., Karimi, Z., Liel, A., Porter, K., & Franke, K. (2019). Probabilistic Models for Residual and Peak Transient Tilt of Mat-Founded Structures on Liquefiable Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 145(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002002](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002002)

Büyüksaraç, A., Işık, E., Bektaş, Ö., & Avcil, F. (2024). Achieving Intensity Distributions of 6 February 2023 Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes from Peak Ground Acceleration Records. *Sustainability*, 16(2), 599. <https://doi.org/10.3390/su16020599>

- Cetin, K. O., & Ozan, C. (2009). CPT-Based Probabilistic Soil Characterization and Classification. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(1), 84–107. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2009\)135:1\(84\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2009)135:1(84))
- Çetin, K.Ö., Bray, J. D., Frost, J. D., Hortacsu, A., Miranda, E., Moss, R. E. S., & Stewart, J. P. (2023). *February 6, 2023 Türkiye Earthquakes: Report on Geoscience and Engineering Impacts*. <https://doi.org/10.18118/G6PM34>
- Dashti, S., Bray, J. D., Pestana, J. M., Riemer, M., & Wilson, D. (2010). Mechanisms of Seismically Induced Settlement of Buildings with Shallow Foundations on Liquefiable Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(1), 151–164. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000179](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000179)
- EEFIT. (2024). *The Türkiye Earthquake Sequence of February 2023 A Longitudinal Study Report By EEFIT*. <https://www.istructe.org/resources/report/eeffit-mission-report-turkey-february-2023/>
- Flora, A., Bilotta, E., Valtucci, F., Fierro, T., Perez, R., Santucci de Magistris, F., Modoni, G., Spacagna, R., Kelesoglu, M. K., Sargin, S., Altinok, E., Oztoprak, S., Bozbey, I., & Aysal, N. (2024). Liquefaction effects in the city of Gölbaşı: from the analysis of predisposing factors to damage survey. *Engineering Geology*, 338, 107633. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107633>
- Ishihara, K., & Yoshimine, M. (1992). Evaluation of Settlements in Sand Deposits Following Liquefaction During Earthquakes. *Soils and Foundations*, 32(1), 173–188. <https://doi.org/10.3208/sandf1972.32.173>
- Özacar, A. ., Uzel, B., Bozkurt, E., Sançar, T., Sopacı, E., Kaymakçı, N., Rojay, B., Gülerce, Z., Kıncal, C., & Gregory, L. (2023). Regional Tectonics and Seismic Source. In Kemal Önder Çetin, M. İlgaç, G. Can, & E. Çakır (Eds.), *Preliminary Reconnaissance Report on February 6, 2023, Pazarcık Mw=7.7 and Elbistan Mw=7.6, Kahramanmaraş-Türkiye Earthquakes Report No: METU/EERC 2023-01* (pp. 17–23). Middle East Technical University, Earthquake Engineering Research Center. https://eerc.metu.edu.tr/en/system/files/documents/DMAM_Report_2023_Kahramanmaraş-Pazarcık_and_Elbistan_Earthquakes_Report_final_ENG.pdf
- Tonyalı, İ., Akbas, S. O., Beyaz, T., Kayabalı, K., & Gokceoglu, C. (2024). Case study of a foundation failure induced by cyclic softening of clay during the 2023 Kahramanmaraş earthquakes. *Engineering Geology*, 332, 107477. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107477>
- Zhang, G., Robertson, P. K., & Brachman, R. W. . (2002). Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground. *Canadian Geotechnical Journal*, 39(5), 1168–1180. <https://doi.org/10.1139/t02-047>