



Orta yükseklikteki betonarme binalarda tuğla dolgu duvara bağlı yumuşak kat oluşumu

Soft story formation due to brick infill walls in mid-rise reinforced concrete buildings

Kayra Can Uçar^{1,*} , Emre Akın² , İlker Fatih Kara³ 

^{1,2,3} Mersin Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 33110, Mersin Türkiye

Öz

Bu çalışmada tuğla dolgu duvarlar eşdeğer basınç ve kayma çubukları olarak temsil edilerek, mevcut yönetmeliklere uygun tasarlanmış sekiz katlı betonarme yapıların modellerine dâhil edilmişlerdir. Bu modellerin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak tuğla duvarlar nedeniyle olası yumuşak kat oluşumu irdelenmiştir. Perde duvarsız ve iki farklı perde duvar yerleşimine sahip olacak şekilde (perde duvara bağlı üç grupta) tasarlanan yapılarda hiçbir katında tuğla duvar olmayacak, zemin kat haricindeki tüm katlarında tuğla duvar olacak ve tüm katları tuğla duvarlı olacak şekilde (tuğla duvara bağlı üç grupta) modelleme yapılmıştır. Dolayısıyla dokuz farklı gruptaki modellerin seçilen 11 farklı deprem ivme kaydı kullanılarak doğrusal olmayan dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları her bir modelde maksimum göreceli kat öteleme oranlarının katlardaki dağılımları, kolonlardaki hasar durumları ve plastik mafsallarda dağılımlarına bakılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ele alınan sekiz katlı, perde duvarsız veya perde duvarlı betonarme çerçeve sistem olarak mevcut yönetmeliklere uygun tasarlanmış modellerde, zemin katta tuğla dolgu duvarın bulunmamasına bağlı olarak plastik deformasyonlarda yığılma ve yumuşak kat oluşma ihtimali gözlenmemiştir.

Anahtar kelimeler: Betonarme, Deprem, Perde duvar
Tuğla dolgu duvar, Yumuşak kat

1 Giriş

Yumuşak kat, ülkemizde meydana gelen depremlerde yıkıma ve hasara en fazla sebebiyet veren düzensizlik durumlarından bir tanesidir. Yapılarda zemin katın ticari işletme ya da otopark olması durumlarında oluşabilmektedir. Bu binalarda dış cephelerde dolgu duvarlar bulunmamakta, iç cephede ise üst katlara oranla daha az dolgu duvar bulunmaktadır. Dolgu duvarlar, yanal yer değiştirmeler altında kolon ve kirişlerden gelen yükleri diyagonal olarak aktararak yapının yanal rijitliğini ve dayanımını büyük ölçüde arttırabilmektedir [1-4]. Artan yanal rijitliğin deprem sırasında yapıda ortaya çıkacak talepleri arttırabileceği açıktır. Öte yandan, bir yapının tasarımı sırasında tuğla dolgu duvarların sadece ağırlık etkileri dikkate alınmakta, bunun dışında yukarıda bahsedilen etkiler yok sayılmaktadır.

Abstract

In this study, the infill walls were included in the models of eight story reinforced concrete structures by representing them as equivalent compression and shear struts. The probable formation of soft story deficiency was studied by considering the nonlinear analyses of these models. The structures which were designed to have no shear walls and two different shear wall configurations (in three groups according to the shear walls) were modeled as not to have any brick infill walls in all stories, to have infill walls at all stories except the ground story and to have infill walls at all stories (in three groups according to the infill walls). Therefore, the nonlinear dynamic analyses of the models in totally nine groups were conducted by using 11 selected earthquake records. The results of the analyses were assessed according to the distributions of the maximum inter-story drift ratios, the damage conditions of the columns and distributions of the plastic hinges. When evaluated in general, it was observed that no soft story were formed in any model or group. In the case of eight story reinforced concrete frame systems considered in this study with or without shear walls that were designed according to the current codes, no accumulation of plastic deformations and possible formation of soft story was observed at the ground story due to the absence of infill walls at this story.

Keywords: Reinforced concrete, Earthquake, Shear wall, Brick infill wall, Soft story

Geçmiş birçok çalışma, tuğla dolgu duvarların özellikle yanal yükleme altında yapıya önemli etkileri olduğunu ve yapının deprem davranışını önemli biçimde değiştirebildiğini göstermiştir [5-17]. Bertero ve Brokken [7] yaptıkları çalışmada yapının tasarımı esnasında dolgu duvarların hesaplara dâhil edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Mehrabi ve diğerleri [9] dolgu duvarların deplasman kapasitesini sınırladığını ifade etmişlerdir. Negro ve Verzeletti [10] dolgu duvarların taşıma gücünü arttırdığını belirtmişlerdir. Cavaleri ve Di Trapani [13] yaptıkları çalışmada dolgu duvarların düzensiz dağılımının yapının davranışında olumsuz etki gösterebileceğini ifade etmişlerdir. Korkmaz ve Uçar [17] yaptıkları çalışmada en alt katta dolgu duvar bulunmaması durumunda sistemin rijitliği azaldığından dolayı deprem davranışına olumsuz

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: ucarkayracan@gmail.com (K. C. Uçar)

Geliş / Received: 08.12.2024 Kabul / Accepted: 22.04.2025 Yayımlanma / Published: 15.07.2025

doi: 10.28948/ngumuh.1598349

etkisini dile getirmişlerdir. Deprem sırasında özellikle en çok kat kesme kuvvetine maruz kalan ilk katlarda bu elemanların bulunmaması, tasarım sırasında taşıyıcı sisteme etkilerinin de dikkate alınmadığı değerlendirildiğinde önemli problemler ortaya çıkartma potansiyeline sahiptir.

Yönetmelik şartlarına uygun tasarlanmış bir taşıyıcı sistemde, özellikle perde duvarların bulunması yanal rijitliği önemli mertebede arttırmakta, görelî kat ötelemelerini kısıtlamaktadır. Kısıtlanmış yanal yer değiştirmeler altında tuğla dolgu duvarların taşıyıcı sisteme yukarıda anlatılan etkileri daha düşük düzeyde kalabilir. Daha önce gerçekleştirilmiş olan ve beş katlı betonarme bir yapıyı ele alan bir çalışmada perde duvarların kesit alanları toplamının kat plan alanına oranının belli bir değerin üzerinde olduğu durumda tuğla duvarın zemin katta bulunmaması durumunda (açık zemin kat) oluşabilecek yumuşak kat riskinin önemli mertebede azaldığı ortaya konulmuştur [18]. Bu çalışma da benzer şekilde, ancak bu kez sekiz katlı bir betonarme bina için bu durumu irdelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'e göre [19] tasarımı yapılmış sekiz katlı bir betonarme yapıda zemin katta tuğla dolgu duvar eksikliğinden yaşanabilecek olası yumuşak kat oluşumu incelenmiştir. Bu durum perde duvarsız ve değişen perde duvar oranlarına sahip olan yapılar için ayrı ayrı ele alınmıştır.

Konuyla ilgili literatürde yer alan çalışmalar genellikle dolgu duvarları daha basit eşdeğer bir basınç çubuğu ile modellemekte veya mevcut, günün deprem yönetmeliği ve depreme dayanıklı tasarım şartlarını sağlamayan binalar üzerinde gerçekleştirilen analizleri içermektedir. Ayrıca yeni tasarlanan bir bina için perde duvar etkisiyle azalan görelî kat ötelemeleri altında dolgu duvar etkisinin ne mertebe değiştiğini irdeleyen ve dolgu duvarların mevcut çalışmadaki gibi modellendiği bir çalışmaya (Akın [18] haricinde) yazarlar tarafından rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmadan elde edilecek sonuçlar ve bunların Akın [18] tarafından sunulan sonuçlarla karşılaştırmasının, tasarımda modellenerek dikkate alınmayan tuğla duvarların orta yüksekliğe sahip (5-10 kat) binalarda ortaya çıkarabileceği etkilerin ve yumuşak kat oluşturabilme potansiyelinin, perde duvarın etkisiyle birlikte ele alınarak yorumlanabilmesine katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Benzer çalışmaların gelecekte farklı parametrelerle ve dolgu duvarın daha iyi temsil edildiği modeller kullanılarak gerçekleştirilmesinin literatüre katkı sağlayacağı da söylenebilir.

2 Materyal ve metot

Bu çalışmadaki yapılar, 8 katlı betonarme konut binası olup, her kat 3 metre yüksekliğe sahiptir. Ayrıca bu yapılar, perde duvarsız (NSW), 2 perde duvarlı (SW-2) ve 4 perde duvarlı (SW-4) olarak tasarlanmışlardır. SW-2 grubunda yer alan perde duvarlar, Şekil 1'de plan görüntüsü sunulan NSW grubundaki yapının C02 ve C14 kolonlarının olduğu kısımlara yerleştirilmiştir. SW-4 grubunda yer alan perde duvarlar ise NSW grubundaki planda C01, C04, C13 ve C16 kolonlarının olduğu kısımlara yerleştirilmiştir. Perde duvarların yerleşimi x-doğrultusunda ve simetrik olarak yapılmıştır. SW-2 ve SW-4 gruplarında perde duvarların kesit alanının kat plan alanına oranı sırasıyla %0,36 ve %0,72 olarak seçilmiştir. NSW, SW-2 ve SW-4 gruplarının her birinde tuğla dolgu duvar bulunmayan (BF), zemin katta dolgu duvar bulunmayıp üst katlarda dolgu duvar bulunan (OGS) ve tüm katlarda dolgu duvar bulunan (FI) modeller kullanılmış ve böylelikle toplamda 9 adet model oluşturulmuştur.

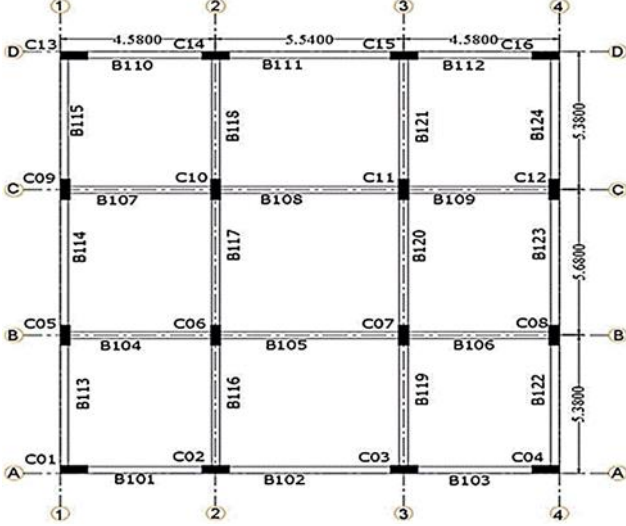
Bu modellerde, beton ve çelik donatı malzeme detayları deprem yönetmeliği hükümlerine uygun olarak seçilecek olup malzeme bilgileri ve değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Mander vd. (1998) [20] önerilen doğrusal olmayan beton modeli, Martinez-Rueda ve Elnashai (1997) [21] tarafından geliştirilen çevrimsel modelle uyumlu olarak deprem etkisi altında betonun doğrusal olmayan çevrimsel davranışını temsil etmek üzere kullanılacaktır. Betonun karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}) 35 MPa seçilmiştir. Enine ve boyuna donatı karakteristik akma dayanımları (sırasıyla f_{yk} ve f_{yk}) 420 MPa olarak belirlenmiştir. Bütün kiriş kesit boyutları 250x600 mm², bütün perde duvar kesit boyutları 250x1750 mm², bütün kolon kesit boyutları 300x800 mm² olacak şekilde seçilmiştir. Ayrıca perde duvar, kolon ve kirişlere ait donatı bilgileri Tablo 2'de verilmiştir. SW-2 ve SW-4 gruplarında yer alan perde duvarların tamamında aynı donatı detayı kullanılmıştır. Bütün perde duvarların uç kısımlarında 10Ø14, gövde kısımlarında ise 12Ø10'luk boyuna donatı kullanılmıştır. Enine donatılar ise uç kısımlarda Ø8/8 cm, gövde kısımlarda ise Ø8/16 cm olarak seçilmiştir. Döşeme kalınlığı 12 cm belirlenmiştir. Döşeme öz ağırlığına ilave ölü yük 1,5 kN/m², hareketli yük ise 2 kN/m² olacak şekilde kabul edilmiştir. NSW, SW-2 ve SW-4 grubundaki tüm kolonlarda boyuna donatılar 16Ø14, sıkılaştırma bölgesinde yer alan enine donatılar ise Ø8/8 cm olarak tasarlanmıştır. Ayrıca enine donatılar bindirme boyunun olduğu orta bölgede ise Ø8/8 cm olarak belirlenmiştir. Kirişlerde enine donatılar mesnetlerde Ø8/9 cm, açıklık kısmında ise Ø8/20 cm olarak seçilmiştir.

Tablo 1. Beton ile çelik donatı bilgileri ve değerleri

Beton ile çelik donatı bilgileri	Değerler
Betonun karakteristik basınç dayanımı (f_{ck})	35 MPa
Enine ve boyuna donatı karakteristik akma dayanımları (sırasıyla f_{yk} ve f_{yk})	420 MPa
Çelik için elastisite modülü (E_s)	2×10^5
Çelik çekme oranı	0.005
Beton için elastisite modülü (E_c)	33000 MPa

Tablo 2. Perde duvar, kolon ve kirişlere ait donatı bilgileri

Perde Duvar				Kolon		Kiriş		
Uç Kısım		Gövde		Boyuna Donatı	Enine Donatı	Enine Donatı		
Boyuna Donatı	Enine Donatı	Boyuna Donatı	Enine Donatı	16Ø14	Sıkıştırma Bölgesi	Orta Bölge	Mesnet	Açıklık
10Ø14	Ø8/8 cm	12Ø10	Ø8/16 cm		Ø8/8 cm	Ø8/8 cm	Ø8/9 cm	Ø8/20 cm



Şekil 1. NSW grubuna ait plan görünümü (boyutlar m cinsinden)

Çelik için elastisite modülü (E_s) 2×10^5 , pekleşme oranı 0.005 ve beton için ise elastisite modülü (E_c) 33000 MPa olacak şekilde belirlenmiştir.

Doğrusal olmayan yapı modellemesi SeismoStruct (2022) [22] yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Betonarme taşıyıcı sistem elemanları yayılı plastisite modeli kabul edilerek modellenmiştir. Bu modelde elemanlar en az dört integrasyon kesitine ayrılmış olup, her bir kesit 100~150 sonlu elemana bölünmüştür. Modellemede belirlenen mesnet donatıları kirişlerde ilk ve son integrasyon kesitlerine atanmıştır. İkinci ve üçüncü integrasyon kesitlerinde ise açıklık donatısı ile tanımlanmıştır.

2.1 Dolgu duvar modellemesi

Tuğla dolgu duvarlar x-ekseninde B1-B2, B3-B4, C1-C2, C3-C4, A2-A3, D2-D3 birleşimleri arasında kalan akslara yerleştirilmiştir. Bu elemanlar dış cephede 20 cm, iç cephede ise 10 cm kalınlıkta (t_{inf}) seçilmiştir. Özellikle geçtiğimiz yirmi-otuz yıl içerisinde dolgu duvarın taşıyıcı sistem davranışına etkilerini incelemek amacıyla çok fazla çalışma gerçekleştirilmiştir. Son dönemde Crisafulli F.J. (1997) [23] tarafından ortaya konulmuş olan bir model öne çıkmış ve bu modelleme SeismoStruct programında tanımlı olan iki adet eşdeğer basınç çubuğu ve basınç çubuklarının arasında (çekme etkisinde aktif olmayan) bir adet kayma çubuğu içeren tuğla dolgu duvar modeli kullanılarak yapılmıştır.

Bu çalışmada dolgu duvarın mekanik özelliklerini tanımlayabilmek için FEMA 356 (ASCE, 2000)'da [24] orta kalitede duvarlar için önerilen değerler esas alınmıştır. Dolgu duvara ait bu bilgiler ve değerler Tablo 3'de

gösterilmiştir. Buna bağlı olarak dolgu duvarın basınç dayanımı (f'_m) 4.1 MPa, elastisite modülü (E_m) 2255 MPa ve kayma dayanımı ise 0.14 MPa olarak kabul edilmiştir. Dolgu duvarın diyagonal kapasitesini tanımlayabilmek için dört hasar türü tanımlanmış ve bunlardan en küçük değer veren dayanım dolgu duvarın diyagonal basınç dayanımı olarak dikkate alınmıştır. Bu hasar durumları için dayanımı sağlayan ifadeler Denklem (1-4)'de sırasıyla diyagonal çekme çatlağı, harç yüzeylerinde kayma çatlağı, köşelerin ezilmesi ve orta bölgede diyagonal çatlama için sunulmaktadır.

$$f_{m\theta} = [0.6 f_{ws} + 0.3 \sigma_v] / [b_w / d_w] \quad (1)$$

$$f_{m\theta} = [(1.2 \sin \theta + 0.45 \cos \theta) f_{wu} + 0.3 \sigma_v] / [b_w / d_w] \quad (2)$$

$$f_{m\theta} = [1.12 f'_m \sin \theta \cos \theta] / [K_1 (\lambda h)^{-0.12} + K_2 (\lambda h)^{0.88}] \quad (3)$$

$$f_{m\theta} = [1.16 f'_m \tan \theta] / [K_1 + K_2 \times \lambda h] \quad (4)$$

Bu ifadelerde yer alan dolgu duvarın harç yüzeylerinin kayma dayanımı (f_{wu}) ve diyagonal basınç altındaki kayma dayanımı (f_{ws}) FEMA 356'da seçilen özelliklere bağlı olarak 0.14 MPa olarak kabul edilmiştir [24]. Dolgu duvar üzerinde düşey yükler dolayısıyla ortaya çıkabilecek olan düşey basınç gerilmesi (σ_v) hesaplara dâhil edilmemiştir. Denklem (1-2)'de yer alan d_w diyagonal doğrultudaki eşdeğer basınç çubuğunun uzunluğu, h kat yüksekliği, θ ise diyagonal eşdeğer basınç çubuğunun yatayla yaptığı açıdır. λ ifadesi Denklem (5) yardımıyla hesaplanabilir. b_w diyagonal doğrultudaki eşdeğer basınç çubuğunun etkili genişliği olup, hesabı için gerekli ifade Denklem (6)'da sunulmaktadır.

$$\lambda = [(E_m t_{inf} \sin 2\theta) / (4 E_c I_c h_{inf})]^{0.25} \quad (5)$$

$$b_w = 0.175 (\lambda h)^{-0.4} \times d_w \quad (6)$$

Modelde maksimum dayanıma karşılık gelen birim deformasyon (ϵ_m) 0.001, nihai birim deformasyon (ϵ_{ult}) ise 0.010 olarak kabul edilmiştir. Modelde çatlakların kapanarak basınç gerilmesi oluşması durumuna karşı gelen kapanma birim deformasyonu (ϵ_{cl}), SeismoStruct (2022) [22] yazılımına ait açıklama dosyası tarafından önerildiği şekilde 0.004 olarak belirlenmiştir. t_{inf} ve h_{inf} sırasıyla tuğla dolgu duvarın kalınlığı ve yüksekliğidir. I_c ise kolonun eğilme doğrultusuna göre atalet momentidir. K_1 ve K_2 , λh değerlerine göre aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Denklem 7-9).

$$K_1 = 1.3 \text{ ve } K_2 = -0.178 \quad (\lambda h < 3.14) \quad (7)$$

$$K_1 = 0.707 \text{ ve } K_2 = 0.01 \quad (3.14 \leq \lambda h \leq 7.85) \quad (8)$$

$$K_1 = 0.47 \text{ ve } K_2 = 0.04 \quad (\lambda h > 7.85) \quad (9)$$

Kayma çubuğundaki aderans dayanımı (τ_0) Paulay ve Priestly (1992) [25] tarafından 0.1-1.5 MPa aralığında önerilmiştir. Kayma aderans dayanımı için FEMA 356 [24] tarafından önerilmiş olan ve yine bu aralıkta olan 0.14 MPa değeri seçilmiştir. Buna göre maksimum kayma dayanımı (τ_{max}) Denklem (10) kullanılarak 0.44 MPa olarak kabul edilmiştir. Öte yandan bu çalışmada Atkinson ve diğerlerinin (1989) [26] tavsiyesine göre sürtünme katsayısı (μ) 0.7 olarak belirlenmiştir.

$$\tau_{max} = \tau_0 + 0.30 \quad (10)$$

Tablo 3. Dolgu duvar bilgileri ve değerleri

Dolgu duvar model parametreleri	
Dolgu duvarın basınç dayanımı (F_m)	4.1 MPa
Dolgu duvarın elastisite modülü (E_m)	2255 MPa
Dolgu duvarın kayma dayanımı	0.14 MPa
Maksimum dayanıma karşılık gelen birim deformasyon (ϵ_m)	0.001
Nihai birim deformasyon (ϵ_{ult})	0.010
Kapanma birim deformasyonu (ϵ_{cl})	0.004
Kayma çubuğundaki aderans dayanımı (τ_0)	0.14 MPa
Maksimum kayma dayanımı (τ_{max})	0.44 MPa

2.2 Analizler

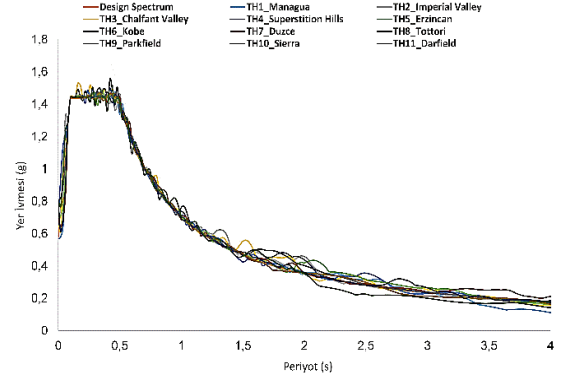
Yapılan çalışmada yapı modellerine statik itme analizi ve zaman tanım alanında dinamik analiz uygulanmıştır. Ortogonal diğer yanal doğrultudaki yüklemelerin ortaya çıkartacağı etkileşimler sonuçların değerlendirmesine etki edeceğinden, yorumlamada sıkıntılara sebebiyet vermemesi adına sadece x-doğrultusunda analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca perde duvarlar ve dolgu duvarlar da analizlerin gerçekleştirildiği x-doğrultusunda yerleştirilmişlerdir. Zaman tanım alanında dinamik analiz için 11 adet deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Bu deprem ivme kayıtları PEER-NGA-WEST 2 [27] veri tabanından alınmıştır. Deprem ivme kayıtları seçimi Tablo 4’de gösterilen deprem senaryosuna bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu senaryo, yapının Aydın ili Efeler ilçesinde ele alınan bir koordinatta bulunduğu kabulüyle, ilgili bölgenin deprem geçmişi ve fay özellikleri için Batı Anadolu Çöküntü Bölgesi’nin Paleosismoloji Projesi Sonuç Raporu [28] başlıklı çalışmadan yararlanılarak belirlenmiştir.

11 adet deprem ivme kaydı SeismoMatch [29] yazılımı yardımıyla yapı için seçilen konumda 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için çıkartılmış olan tasarım spektrumuyla benzeştirilmiştir (Şekil 2). Bu işlem uyumsuzluk toleransı en fazla %30 olacak biçimde iki adımlı olarak (ilk adım 0.06-1.50 sn., ikinci adım ise 0.06-4.00 sn. aralığında) gerçekleştirilmiştir. Benzeştirilen 11 deprem ivme kaydıyla SeismoStruct (2022) [22] yazılımı kullanılarak 9 farklı yapı modelinin zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılmıştır. Seçilen deprem ivme

kayıtlarıyla ilgili detaylar Uçar (2024)’de sunulmaktadır [30].

Tablo 4. Deprem ivme kayıtlarının seçiminde kabul edilmiş parametreler

Parametre	Seçilen Aralık/Özellik
Fay Tipi	Doğrultu atımlı+Normal
Deprem Büyüklüğü	6.0-7.5
Kırılma Uzunluğu (R_{RUP}) (km)	0-30
Joyner-Boore Mesafesi (R_{JB}) (km)	0-50
Yüzeyde 30 m derinlikte kayma dalgası hızı	100-400



Şekil 2. Tasarım spektrumuna uyumlu hale getirilmiş deprem ivme kayıtları

3 Bulgular ve tartışma

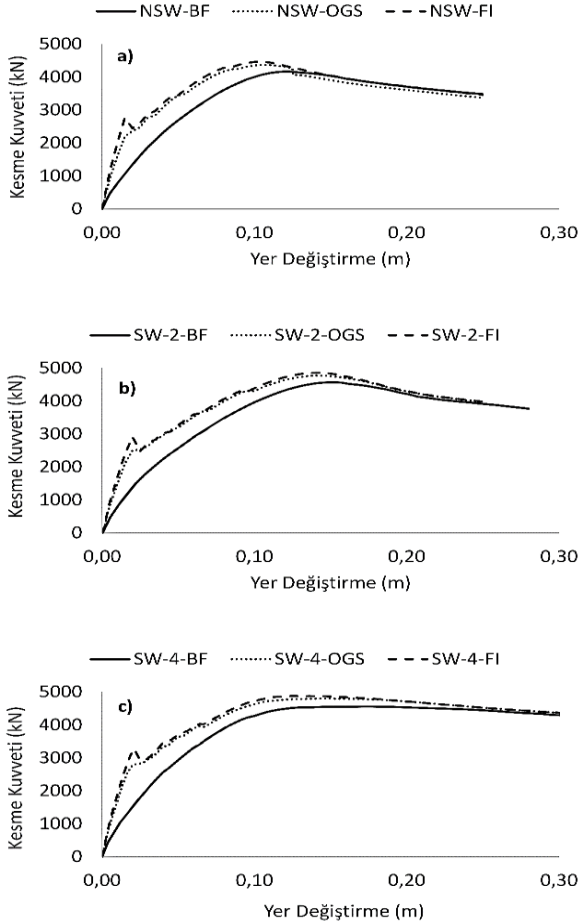
Yapı modellerine x eksenı boyunca statik itme ve zaman tanım alanında dinamik analizler yapılmıştır. Statik itme analizinden elde edilen kapasite eğrileri ve zaman tanım alanında dinamik analiz sonucunda elde edilen görece kat öteleme oranlarının dağılımları, kolon betonun birim deformasyonuna bağlı hasar durumları ve plastik mafsalları dağılımları incelenmiştir.

3.1 Statik itme analizi

Yapı modellerinin yanal yükleme altında kapasite eğrilerini elde etmek amacıyla x doğrultusunda doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucu ortaya çıkan kapasite eğrileri Şekil 3’te gösterilmiştir.

Şekil 3 incelendiğinde en büyük taban kesme kuvveti SW-4-FI modelinde 4880 kN ile oluşmuştur. Perde duvarlı olup olmamasına bağlı olmaksızın tüm FI modellerde yanal davranışın elastik-ötesine geçilen sınır bölgesinde ani bir dayanım azalması olduğu ve bu noktadan sonra FI ve OGS modellere ait kapasite eğrilerinin birbirlerine özdeş hale geldikleri görülmektedir. Dayanımdaki bu ani düşüş, zemin kattaki tuğla duvarların kapasitesine erişip yanal davranışa katkılarının ortadan kalkmasına bağlanabilir. Tüm gruplardaki FI ve OGS modellerin başlangıç rijitliği BF modellere göre daha fazladır. Bu durum bu binalar için eklenen dolgu duvar modellerinin sağladığı rijitliğe bağlanabilir. NSW grubundaki FI ve OGS modellerin kapasite eğrileri maksimum kesme kuvvetine ulaştıktan hemen sonra BF modelin eğrisine yakınsamaktadır. Bu yakınsama SW-2 grubunda NSW’ye, SW-4 grubunda ise SW-2’ye kıyasla biraz daha geç aşamalarda olmuştur.

Bahsedilen yakınsamanın üst katlardaki dolgu duvar modellerinin kapasitelerine erişmelerine ve katkılarının sona ermesine bağlanabilir. Perde duvar ilavesiyle görelî kat ötelemelerinin azalması ve aynı noktada dolgu duvar modellerine gelen talebin azalması neticesinde bu yakınsamanın daha geç aşamalarda olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 3. (a) NSW (b) SW-2 (c) SW-4 gruplarına ait bütün modellerdeki kapasite eğrileri

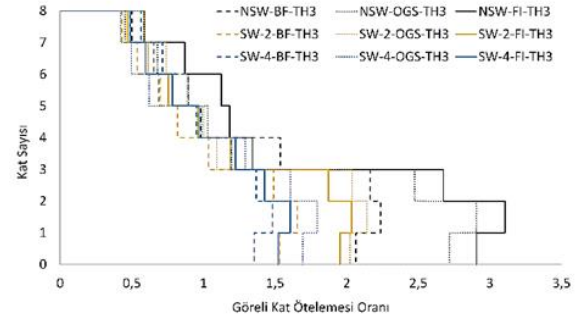
3.2 Zaman tanım alanında dinamik analiz

3.2.1 Görelî kat öteleme oranları

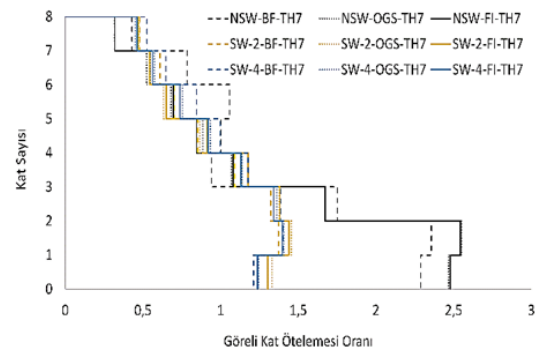
Zaman tanım alanında dinamik analiz sonucu yapı modellerine ait tüm katlardaki görelî kat ötelemelerinin kat yüksekliğine bölünmesi sonucu oluşan görelî kat öteleme oranlarının en büyük değerlerinin dağılımı Şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir. Bu şekillerde NSW, SW-2 ve SW-4 gruplarına ait sadece TH3 ve TH7 deprem ivme kaydına ait veriler gösterilmiştir.

Uçar [30] tarafından gerçekleştirilmiş olan yüksek lisans tez çalışmasında diğer deprem ivme kayıtlarına ait sonuçlara ulaşılabilir. Bu sonuçlara göre BF, OGS ve FI modellerin hemen hemen tamamında en büyük görelî kat öteleme oranı zemin katın üzerindeki katlarda (çoğunlukla 1.katta) meydana gelmiştir. Akın [18] tarafından beş katlı bir bina için sunulan sonuçlardan farklı olarak, benzer 8-katlı yapıda kat sayısının artmasıyla değişen dinamik model

karakteristiklerine bağlı olarak, en büyük görelî kat ötelemelerinin beklendiği gibi zemin katın üstündeki katlara kaydığı görülmektedir. Öte yandan (üst katlara göre daha küçük olsa da) zemin kat için bulunan değerler karşılaştırıldığında; NSW grubunda 8, SW-2 grubunda 5, SW-4 grubunda 4 deprem ivme kaydındaki en büyük görelî kat öteleme oranları, OGS modellerde karşılık gelen BF modellere kıyasla daha fazla olarak ortaya çıkmıştır. Bu durum dolgu duvarsız açık zemin kat nedeniyle, bu kattaki görelî kat ötelemelerinin artabildiğini, ancak perde duvar ilavesinin bu artışı kısıtladığını göstermektedir. Ayrıca Şekil 4 ve 5'te kısmen görünmekle birlikte, verilerin tamamı değerlendirildiğinde FI ve OGS modellerin tüm gruplarda BF modellere kıyasla birbirlerine daha yakın görelî kat öteleme davranışı ortaya koydukları söylenebilir. Özellikle ilk katlarda, büyük talepler altında belirli dolgu duvar modellerinin erken aşamalarda güç tükenmesi durumuna ulaşması neticesinde, zemin katın duvarsız ya da duvarlı olmasının sonuçlar üzerinde belirleyici bir unsur olmaktan çıktığı söylenebilir. Perde duvarların ilave edildiği SW-2 ve SW-4 grubunda NSW grubuna göre görelî kat öteleme oranlarının tüm katlarda sınırlandığı net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca genel olarak perde duvar ilavesiyle, özellikle SW-4 olan gruptaki modellere ait görelî kat öteleme oranı profillerinin birbirine yakınsadığı söylenebilir.



Şekil 3. NSW, SW-2 ve SW-4 gruplarına ait bütün modellerdeki TH3 deprem ivme kaydındaki görelî kat öteleme oranları (%)

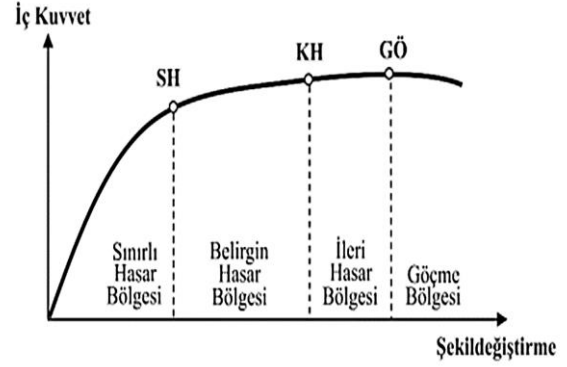


Şekil 5. NSW, SW-2 ve SW-4 gruplarına ait bütün modellerdeki TH7 deprem ivme kaydındaki görelî kat öteleme oranları (%)

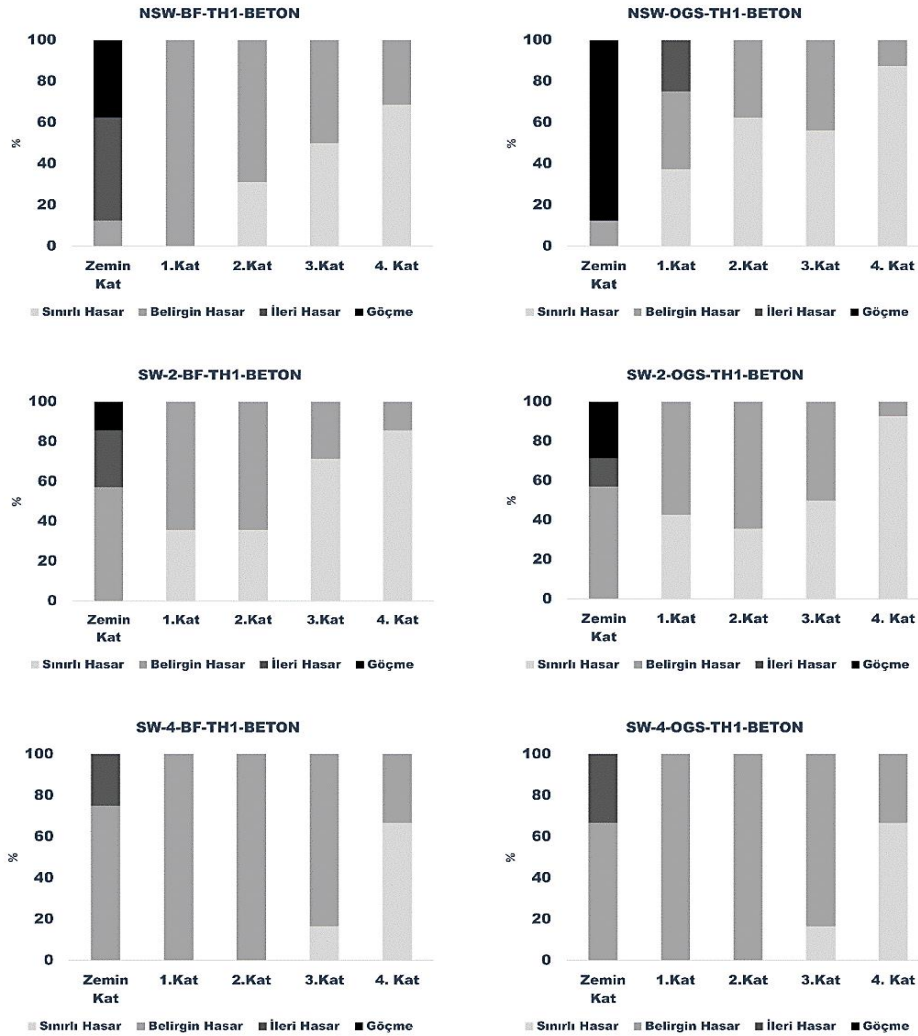
3.2.2 Kolon hasar durumu

TBDY-2018'de [19] tanımlanmış olan hasar bölgeleri ve bunların sınırları Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu çalışmada kolonların sargılama bölgesindeki betonun birim kısalması için göçmenin önlenmesi (GÖ), kontrollü hasar (KH) ve sınırlı hasar (SH) bölgelerini belirleyen sınır birim deformasyon kapasite değerleri TBDY-2018'e uygun olarak tespit edilmiştir (GÖ, KH ve SH için sırasıyla 0.0117, 0.0088 ve 0.0025). Binanın ilk 5 katındaki kolonlarda uç bölgelerdeki maksimum beton birim kısalma talep değerleri bu kapasite değerleriyle karşılaştırılarak her bir kolonun hangi hasar bölgesinde olduğu belirlenmiştir. NSW, SW-2 ve SW-4 gruplarına ait TH1 ve TH6 deprem ivme kayıtlarındaki BF ile OGS modellere ait hasar bölgeleri kıyaslaması Şekil 7 ve 8'de gösterilmiştir. Uçar [30]'da tüm deprem ivme kayıtları için sunulan sonuçlara göre, perde duvarsız NSW grubunda 7, SW-2 ve SW-4 gruplarında ise 5'er analiz sonucunda OGS modeller karşılık gelen BF modellere göre daha fazla hasara sahip olarak ortaya çıkmıştır. Şekil 7 ve 8'de bu artış olan analiz sonuçları seçilerek gösterilmiştir. Bu şekillerde görülebileceği gibi, daha fazla oranda perde duvar eklenmesiyle zemin kat

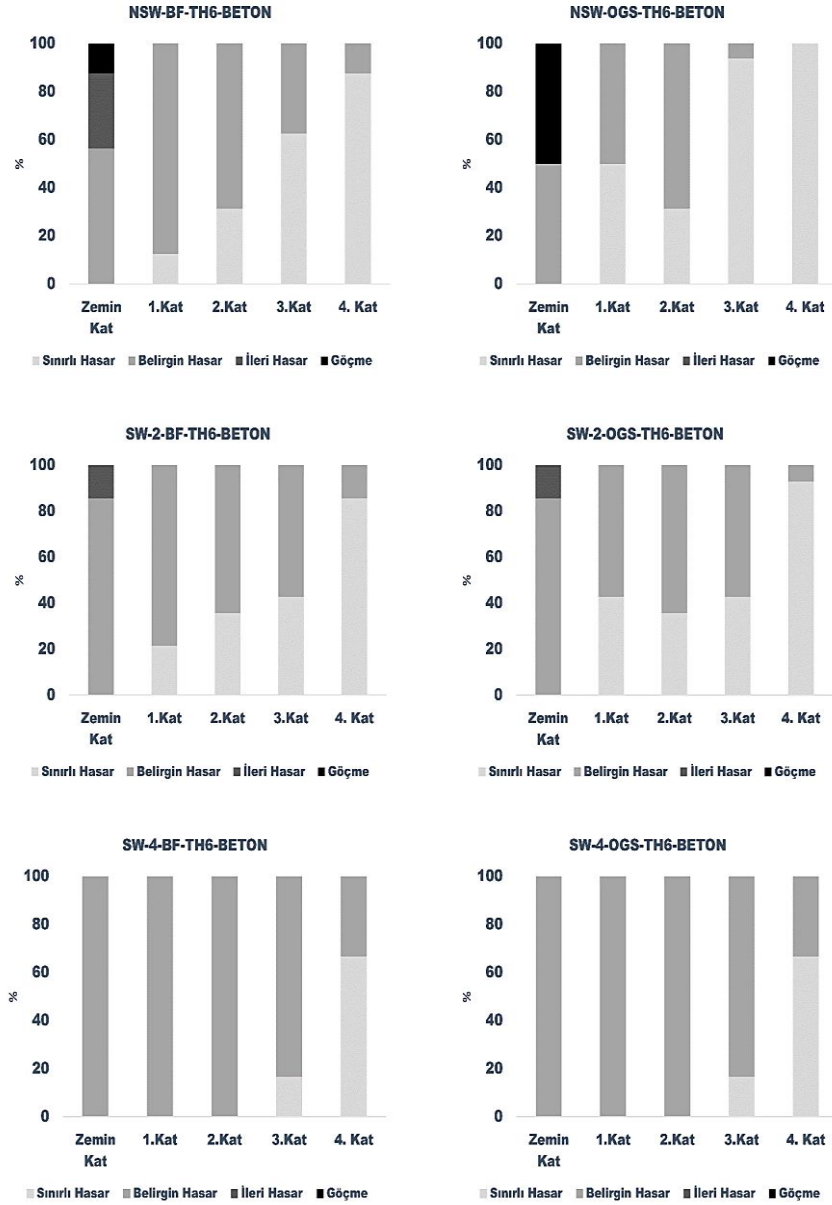
kolonlarında beton birim kısalmasına bağlı olarak OGS ve BF modeller arasında bahsedilen farkın kapanma eğiliminde olduğu söylenebilir. OGS ve BF modeller kendi içlerinde değerlendirildiklerinde, perde duvar ilavesiyle hasarın önemli mertebede azaldığını ve SW-4 grubunda GÖ hasar bölgesinde sadece belirli deprem ivme kayıtlarında oldukça az sayıda kolon bulunduğunu belirtmek gerekir.



Şekil 6. Hasar bölgeleri



Şekil 7. NSW, SW-2 ve SW-4 gruplarındaki BF ile OGS modele ait TH1 deprem ivme kaydındaki bütün kolonların beton hasar bölgesi kıyaslaması



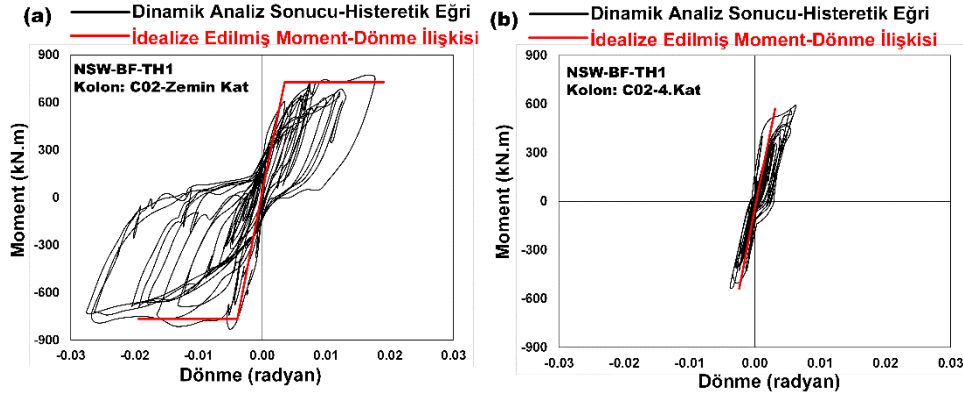
Şekil 4. NSW, SW-2 ve SW-4 gruplarındaki BF ile OGS modele ait TH6 deprem ivme kaydındaki bütün kolonların beton hasar bölgesi kıyaslaması

3.2.3 Plastik mafsallı dağılımları

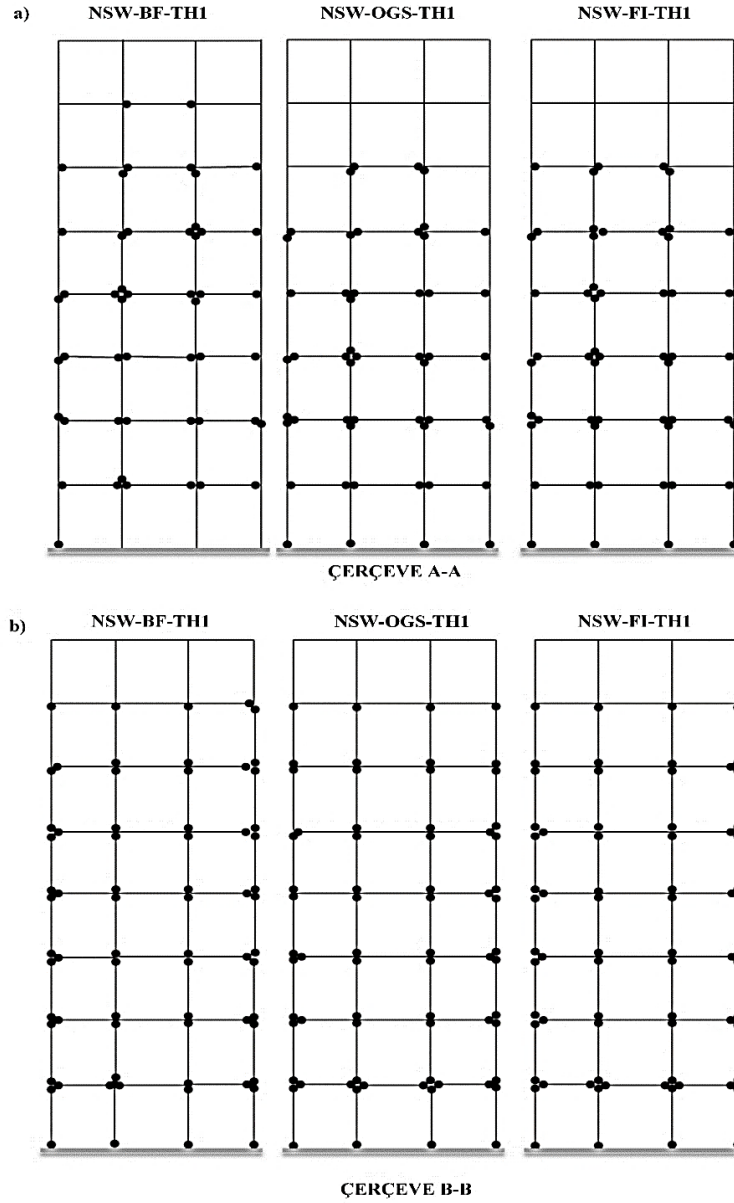
SeismoStruct (2022) [22] yazılımındaki moment-dönme histeretik eğrilerine bakılarak kolon ve kirişlerde plastik mafsallı oluşup oluşmadığına karar verilmiştir. Örnek olarak Şekil 9a'da verilen kolonda plastik mafsallı meydana geldiği, Şekil 9b'de ise kolonun elastik davranış gösterdiği görülmektedir. NSW, SW-2 ve SW-4 gruplarına ait TH1 deprem ivme kaydındaki plastik mafsallı oluşumları Şekil 10-12'de gösterilmiştir.

Uçar [30]'da sunulan tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, zemin kat plastik mafsallı sayı ve dağılımlarında sadece tek bir deprem ivme kaydı (TH1) için yapılan analiz sonuçlarına göre NSW grubunda BF modele kıyasla OGS ve FI modellerde bir artış olduğu gözlenmiştir. Bu artış Şekil 10a'da gösterilmektedir. Öte yandan NSW grubundaki diğer ve SW-2 ile SW-4 gruplarındaki tüm

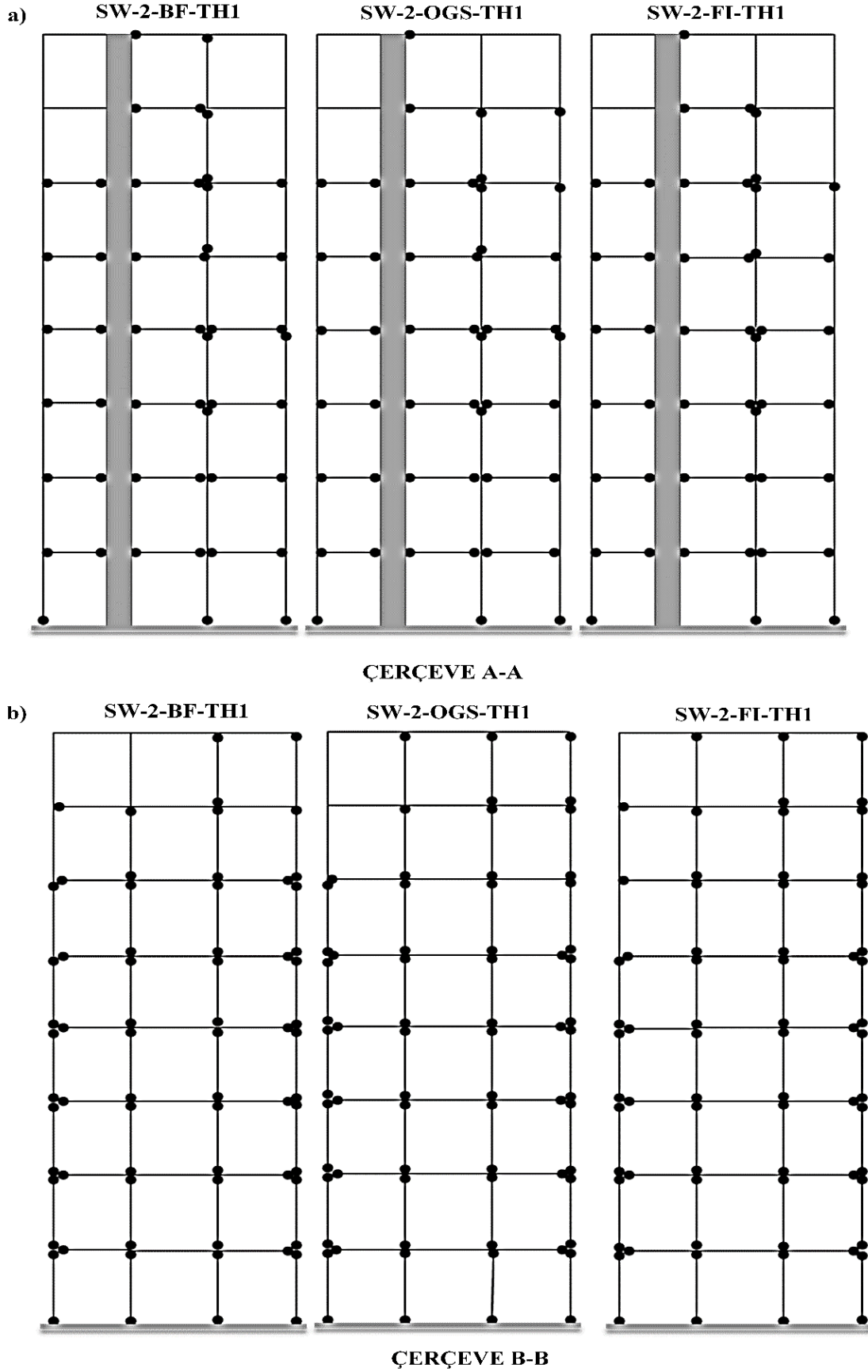
analizlerde zemin kat plastik mafsallı sayı ve dağılımlarında dolgu duvara bağlı bir farklılık ortaya çıkmamıştır. SW-2 ve SW-4 gruplarında bu durum örnek olarak TH1 için Şekil 11 ve 12'de gösterilmektedir. Ayrıca hiçbir modelin analiz sonucunda tüm yapı için göçme mekanizması ortaya çıkartabilecek bir plastik mafsallı dağılımı gözlenmemiştir (Şekil 10b, 11b ve 12b'de gösterilen B-B çerçevelerinde böyle bir mekanizma oluşuyor görünmekle birlikte, Şekil 10a, 11a ve 12a'da gösterilen A-A çerçevelerinde bu durum ortaya çıkmamaktadır). Genel olarak iç akslar üzerindeki B-B çerçevelerinde, dış akslarda yer alan A-A çerçevelerine kıyasla çok daha fazla plastik mafsallı olduğu görülmektedir. Son olarak NSW modellerle karşılaştırıldıklarında SW-2 ve SW-4 gruplarında perde duvar ilavesinin özellikle ilk katlarda plastik mafsallı sayılarını bir miktar azalttığı söylenebilir.



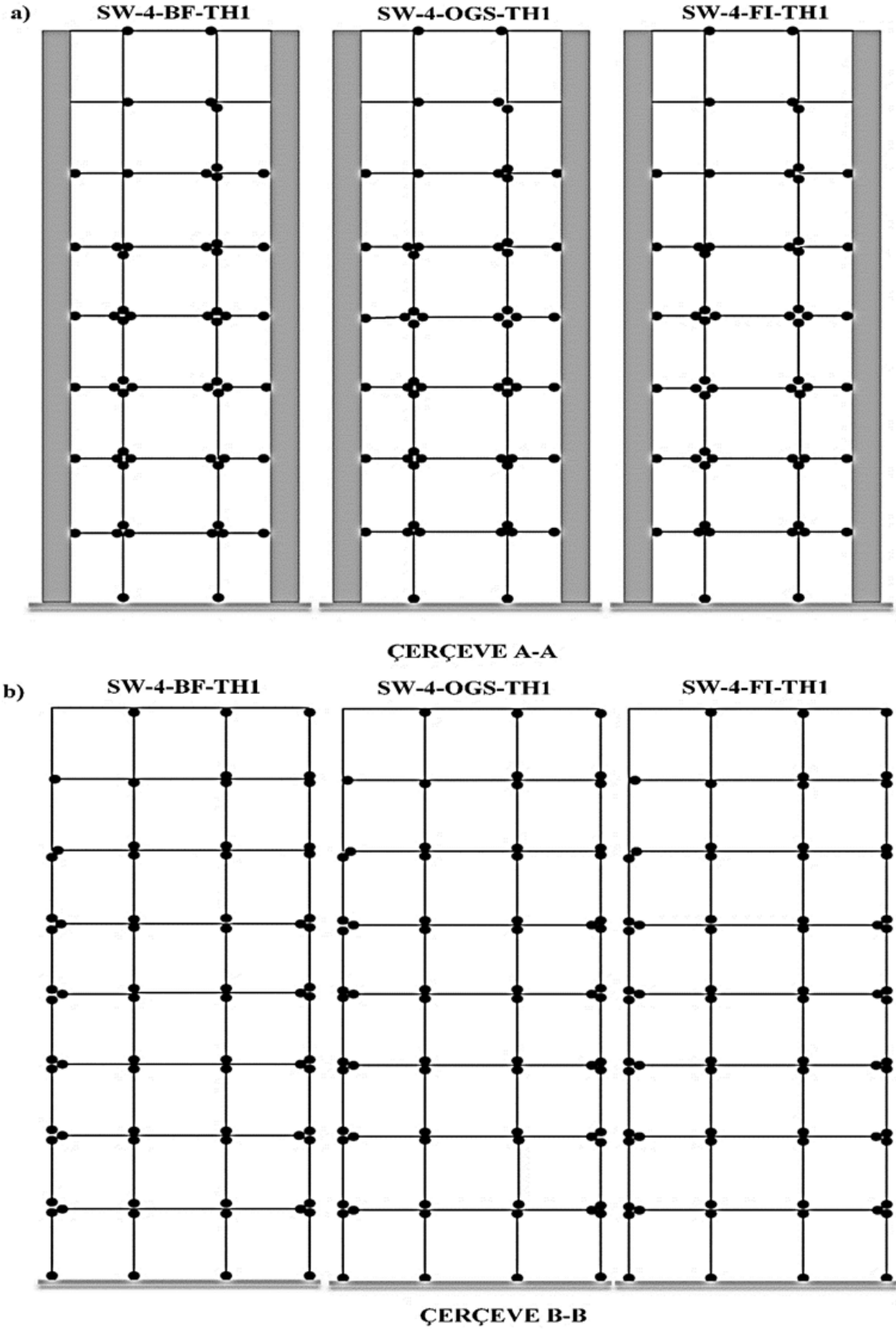
Şekil 5. NSW grubundaki BF modelinin TH1 deprem verisiyle analizi sonucunda C02 kolonunun alt ucunda a. zemin katta ve b. dördüncü katta elde edilen eğilme momenti (kN.m)-dönme (rad.) eğrileri



Şekil 6. (a) A1-A4 ve D1-D4 arasındaki A-A çerçevesi ile (b) B1-B4 ve C1-C4 arasındaki B-B çerçevesine ait NSW grubundaki TH1 deprem ivme kaydına ait plastik mafsıl dağılımları



Şekil 7. (a) A1-A4 ve D1-D4 arasındaki A-A çerçevesi ile (b) B1-B4 ve C1-C4 arasındaki B-B çerçevesine ait SW-2 grubundaki TH1 deprem ivme kaydına ait plastik mafsalları



Şekil 8. (a) A1-A4 ve D1-D4 arasındaki A-A çerçevesi ile (b) B1-B4 ve C1-C4 arasındaki B-B çerçevesine ait SW-4 grubundaki TH1 deprem ivme kaydına ait kolon ve kirişlerin plastik mafsalları

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, mevcut yönetmeliklere uygun tasarlanmış 8 katlı bir betonarme binada tuğla dolgu duvarın etkisiyle yumuşak kat oluşumu irdelenmiştir. Perde duvarın mevcudiyeti ve miktarına bağlı olarak ve ayrıca dolgu duvar yerleşimine göre 9 farklı model oluşturulmuştur. Bu modellerde yer alan dolgu duvarlar eşdeğer basınç ve kayma çubukları ile temsil edilmişlerdir. Gerçekleştirilen statik itme analizi ve zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarından elde edilen bilgiler aşağıda sunulmuştur.

- Doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçlarına göre NSW, SW-2 ve SW-4 gruplarındaki FI modellerin yanal davranışlarında yönetmeliğe göre sınırlı hasar limit durumu olarak tarif edilebilecek bölgede oluşan bir dayanım kaybı gözlenmiştir. Özellikle ilk katlardaki tuğla dolgu duvarların kapasitelerine ulaşmaları sonucunda ortaya çıktığı değerlendirilen dayanım kaybından sonra FI ve OGS modellere ait kapasite eğrileri hemen hemen aynı ilerlemektedir.
- Nihai yanal yük dayanım değerine erişildiğinde NSW ve SW-2 gruplarında FI ve OGS modeller BF modele özdeş hale gelmiş, SW-4 grubunda ise bu durum daha geç olarak gerçekleşmiştir.
- Zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçları irdelendiğinde, sekiz katlı bu bina için en büyük görel kat öteleme oranlarının modellerin tamamına yakınında zemin katın üzerindeki katlarda ortaya çıktığı görülmektedir. Bu sonucun aksine, bu çalışmadaki binaya çok benzer ancak beş katlı olan bir bina için Akın [18] tarafından elde edilen sonuçlara göre özellikle perde duvarsız modelde zemin kattaki görel kat ötelemeleri belirgin şekilde daha büyük olmuştur. Beş katlı binada ancak artan perde duvarların ilavesiyle bu belirgin durumun ortadan kalktığı görülmektedir.
- Statik itme analiz sonuçlarına benzer şekilde, NSW, SW-2 ve SW-4 gruplarında OGS ve FI modellerin birçoğunda görel kat öteleme oranlarının birbirine yakın olduğu ve bu durumun perde duvar ilavesiyle daha belirgin şekilde ortaya çıktığı görülebilir.
- Kolon hasar durumlarına bağlı olarak beton birim kısalma sonuçlarına göre NSW grubunda 7, SW-2 ve SW-4 gruplarında ise 5'er adet deprem ivme kaydında OGS modellerde BF modellere kıyasla zemin kat kolonlarında daha fazla hasar meydana gelmiştir.
- Plastik mafsalların dağılımı incelendiğinde, yönetmeliğe uygun tasarlanmış sekiz katlı bu binada perde duvar içeriğinden bağımsız bir şekilde modellerin hiçbirinde göçmeye sebebiyet verecek bir mekanizma durumu gözlenmemektedir. Öte yandan bekleneceği gibi, perde duvar ilavesiyle SW-2 ve SW-4 gruplarında plastik mafsallı sayılarının özellikle ilk katlarda azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.

Daha önce ifade edildiği gibi Akın [18] tarafından yapılan ve bu çalışmaya çok benzer ancak beş katlı bir yapıyı ele alan çalışmadaki sonuçlar buradakilerden farklılık göstermektedir. O çalışmada özellikle NSW grubunda zemin katta dolgu duvar bulunmamasına bağlı olarak plastik deformasyonların artışına ve bunun sonucunda göçme mekanizmasının ortaya çıkma olasılığına işaret edilmektedir. Plastik mafsallı dağılımlarına bakarak SW-2 grubundaki iki perde duvarın ilavesiyle bu olasılığın bir miktar azaldığı, ancak özellikle SW-4 grubunda dört perde duvarın sağladığı rijitlikle ortadan kalktığı belirtilmektedir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %17

Kaynaklar

- [1] E. Akın, Strengthening of brick infilled rc frames with CFRP reinforcement-General principles. Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2011.
- [2] M. Dolšek and P. Fajfar, Soft storey effects in uniformly infilled reinforced concrete frames. *Journal of Earthquake Engineering*, 5, 1-12, 2001. <https://doi.org/10.1142/S1363246901000315>
- [3] U. Ersoy and G. Özcebe, Lessons from recent earthquakes in Turkey and seismic rehabilitation of buildings. *ACI Special Publication*, 197, 105-126, 2002. <https://doi.org/10.14359/11929>
- [4] G. Özcebe, M. S. Yüçemen and V. Aydoğan, Statistical seismic vulnerability assessment of existing reinforced concrete buildings in Turkey on a regional scale. *Journal of Earthquake Engineering*, 8, 749-773, 2004. <https://doi.org/10.1142/S1363246904001705>
- [5] T. Sevil, M. Baran ve E. Canbay, Tuğla dolgu duvarların b/a çerçevesi yapıların davranışına etkilerinin incelenmesi; deneysel ve kuramsal çalışmalar. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2, 35-42, 2010.
- [6] M. Tekin, E. Alsancak ve M. Ay, Betonarme Çerçevelerde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3, 95 – 104, 2007.
- [7] V. Bertero, and S. Brokken, Infills in seismic resistant building. *Journal of Structural Engineering*, 109, 1337-1361, 1983. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1983\)109:6\(1337\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1983)109:6(1337))
- [8] R. Zarnic, and M. Tomazevic, An experimentally obtained method for evaluation of the behaviour of masonry infilled r/c frames. *9th World Conference on Earthquake Engineering*, pp. 863-870, San Fransico, USA, 1984.
- [9] A. B. Mehrabi, P. B. Shing, M. P. Schuller and J. L. Noland, Experimental evaluation of masonry-infilled rc frames. *Journal of Structural Engineering*, 122, 228-237, 1996. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1996\)122:3\(228\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1996)122:3(228))

- [10] P. Negro and G. Verzeletti, Effect of infills on the global behaviour of r/c frames: energy considerations from pseudodynamic tests. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25, 753-773, 1996. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)10969845\(199608\)25:8%3C753::AID-EQE578%3E3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)10969845(199608)25:8%3C753::AID-EQE578%3E3.0.CO;2-Q)
- [11] F. Marjani, Behavior of brick infilled reinforced concrete frames under reversed cyclic loading. Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 1997.
- [12] A. Hashemi and K. M. Mosalam, Shake table experiment on one-story rc structure with and without masonry infill. *Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction*, NATO Science Series, Springer, Dordrecht, pp. 411–426, 2006. https://doi.org/10.1007/1-4020-4571-9_27
- [13] L. Cavaleri and F. Di Trapani, Cyclic response of masonry infilled RC frames: experimental results and simplified modeling. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 65, 224-242, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2014.06.016>.
- [14] M. Dolšek and P. Fajfar, The effect of masonry infills on the seismic response of a four storey reinforced concrete frame-a probabilistic assessment. *Engineering Structures*, 30, 1991-2001, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.04.031>.
- [15] Comité Euro-International du Béton (CEB). RC frames under earthquake loading: state of the art report. Thomas Telford, London, 1996.
- [16] P. G. Asteris, Lateral stiffness of brick masonry infilled plane frames. *Journal of Structural Engineering*, 129, 1071–1079, 2003. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)07339445\(2003\)129:8\(1071\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)07339445(2003)129:8(1071)).
- [17] A. Korkmaz ve T. Uçar, Yumuşak kat düzensizliğinin betonarme binaların deprem davranışında etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11, 65-76, 2006. <https://doi.org/10.17482/uujfe.30831>
- [18] E. Akın, Open ground story in properly designed reinforced concrete frame buildings with shear walls. *Structures*, 20, 822-831, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.07.003>
- [19] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Ankara, Türkiye, 2018.
- [20] J. B. Mander, M. J. N. Priestley and R. Park, Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 114, 1804-1826, 1988. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1988\)114:8\(1804\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804))
- [21] J. E. Martinez-Rueda and A. S. Elnashai, Confined concrete model under cyclic load. *Materials and Structures*, 30, 139–147, 1997. <https://doi.org/10.1007/BF02486385>
- [22] SeismoStruct (2022), A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures. <https://seismosoft.com/product/seismostruct/> Accessed 10 August 2024.
- [23] F. J. Crisafulli, Seismic behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills. Ph.D. Thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 1997.
- [24] American Society of Civil Engineers (ASCE). FEMA 356 prestandart and commentary for the seismic rehabilitation of building. Washington, DC, USA, 2000.
- [25] T. Paulay and M. J. N. Priestly, Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. John Wiley & Sons, New York, 1992. <https://doi.org/10.1002/9780470172841>
- [26] R. H. Atkinson, B. P. Amadei, S. Saeb and S. Sture, Response of masonry bed joints in direct shear. *Journal of structural engineering*, 115, 2276-2296, 1989. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)07339445\(1989\)115:9\(2276\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)07339445(1989)115:9(2276))
- [27] PEER-NGA-West2, PEER Ground Motion Veritabanı <https://ngawest2.berkeley.edu/site> Accessed 10 August 2024.
- [28] Batı Anadolu Çöküntü Bölgesi'nin Paleosismoloji Projesi. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2007.
- [29] SeismoMatch, A computer program for spectrum matching of earthquake records. <https://seismosoft.com/products/seismomatch/> Accessed 10 August 2024.
- [30] K. C. Uçar, 8 katlı bir betonarme binada tuğla dolgu duvara bağlı yumuşak kat oluşumu. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2024.

