

KİSMİ BOYUTLU DOLGU DUVARLARIN BETONARME ÇERÇEVELERİN SERBEST VE ZORLANMIŞ TİTREŞİMİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

O. Öztürk¹ ve T. Uçar²

¹ Araştırma Görevlisi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

² Yardımcı Doçent Doktor, Mimarlık Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

Email: onur.ozturkoglu@deu.edu.tr

ÖZET:

Yapılarda taşıyıcı çerçeve boyluklarının dolgu duvarlarla kapatılarak farklı kullanım mekanlarının oluşturulması yaygın bir uygulamadır. Dolgu duvarlar çerçeve elemanları arasındaki alanı tamamen kaplayabildikleri gibi binaya giri-çıkı, iç ortamın aydınlatılması gibi gereksinimlerden dolayı dolgu duvar düzleminde kısmi boylukların bırakılması kaçınılmazdır. Kısmen dolgulu sistemin deprem kuvvetleri etkisindeki yapısal davranışı ve dayanımı, tamamıyla dolu veya dolgu duvarsız çerçeveden farklı olmaktadır. Bu çalışmada, kısmi boyluklu dolgu duvarların betonarme çerçevelerin serbest ve zorlanmış titreşiminden elde edilen çeşitli parametre ve büyüklüklere olan etkisi araştırılmıştır. Dolgu duvarlar iki boyutlu sonlu elemanlar ile modellenerek, kısmi dolgulu çerçevenin yatay rijitliğini belirleyen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi farklı boyluk oranları için elde edilmiştir. Rijitlik azaltma faktörü, boyluk oranının fonksiyonu olarak verilmiş ve eşdeğer basınç çubuğunun genelliğinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Büyüklük, faylanma mekanizması ve zemin koşulları dikkate alınarak seçilen gerçek deprem kayıtlarının %5 sönüm oranı için oluşturulan elastik tepki ivme spektrumları, Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde zaman tanım alanında ölçeklenmiştir. Aynı açıklık ve kat sayısına sahip dolgu duvarsız, kısmi dolgulu ve tam dolgulu betonarme çerçeve modellerinin zaman tanım alanında dorusal elastik analizi yönetmeliğin öngördüğü koşulları sağlayan ölçeklenmiş deprem kayıtları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı modellerin modal analizinden elde edilen serbest titreşim modilleri ve genlikleri, bu modellere ait periyot değerleri; ayrıca aynı modellerin zaman tanım alanında dorusal elastik analizinden bulunan en büyük etkin göreceli kat öteleme oranları ve taban kesme kuvveti büyüklükleri karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Kısmi boyluklu dolgu duvar, betonarme çerçeve, modal analiz, gerçek deprem kayıtları, zaman tanım alanında analiz.

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze inşa edilen yapıların büyük bir çoğunluğunda farklı seviyedeki mekanları birbirinden ayırmak veya yapıyı dış ortamdan izole etmek amacıyla dolgu duvarlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapımında kullanılan malzemelerin çeşitliliği, homojen ve/veya izotrop olmaması ve uygulamasındaki farklılıklar nedeniyle dolgu duvarlar için hassas bir hesap modeli oluşturmak oldukça zordur. Günümüzde inşa edilen yapılarda önemli bir yapısal fonksiyona sahip olmadığı düşünülen dolgu duvarlar genellikle hesap modeline dahil edilmeyip, sadece kirişlerin veya döşemelerin üzerinde yayılı düşey yük olarak tanımlanmaktadır.

Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yer hareketi etkisindeki davranışı ve kapasitesi boş çerçeveden oldukça farklıdır. Depremlerde dolgu duvarlı betonarme yapılarda oluşan hasar mekanizmaları, dolgu duvar ile çerçeve arasında bir etkileşim olduğunu göstermektedir (Yakut vd., 2013; Trapani vd., 2015). Bu nedenlerle dolgu

duvarların analitik modelde hesaba katılması gereklidir. Ayrıca dolgu duvarlar bulundu u düzlemi bütünüyle kapatabildi i gibi; aydınlatma, giri -çıkı ve havalandırma gibi farklı mimari ihtiyaçlardan dolayı bo luklu olarak imal edilebilir. Duvar düzleminde bulunan bu bo lukları hesap modeline dahil etmemek yapıyı oldu undan fazla rijit gösterece inden, hassas sonuçların elde edilememesine sebep olmaktadır (Öztürko lu vd., 2015).

Dolgu duvarların e de er basınç çubu u olarak veya sonlu elemanlar tekni i kullanılarak modellenmesi yaygın kullanılan yakla ımlardır (Kaushik vd., 2008; Köse, 2009; Allouzi vd., 2014). E de er basınç çubu u yakla ımında yatay yükün yönüne ba lı olarak dolgu duvarda yük aktarımının gerçekleşti i noktalar arasında iki ucu mafsallı bir çubuk tanımlanmaktadır. Dolgu duvarı temsil etti i kabul edilen bu çubu un kalınlı ı ve malzemesinin elastisite modülü, dolgu duvar ile aynı alınmaktadır (FEMA 356, 2000). E de er basınç çubu unun geni li i ise dolgu duvar ve çerçeve elemanlarına ait bazı malzeme, kesit ve geometrik özellikler dikkate alınarak belirlemektedir (FEMA 356, 2000; TDY, 2007). Dolgu duvarda kısmi bo lukların bulunması durumunda ise, e de er basınç çubu unun geni li i bo lu un boyut ve konumuna göre de i kenlik gösteren ve ayrıca belirlenmesi gereken rijitlik azaltma faktörüne ba lı olarak hesaplanmaktadır (Asteris, 2003). Sonlu elemanlar kullanılarak modellenen dolgu duvarlarda ise kısmi bo lukları hesap modeline dahil etmek oldukça kolaydır.

Bu çalı mada, gerçek yapılarıdaki fiziksel durumu temsil etmek üzere açıklarında kapı ve pencere bo lukları bulunan dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin serbest ve zorlanmı titre imleri incelenmi tir. Aynı açıklıklara sahip 4 ve 5 katlı çerçeveler ilk önce geleneksel yakla ıma uygun olarak dolgu duvarsız olarak modellenmi tir. Daha sonra yapıdaki dolgu duvarlar kısmi bo luklu ve bo luksuz olarak e de er basınç çubukları kullanılarak hesap modeline dahil edilmi tir. Kısmi bo lukların rijitli e olan etkisi dolgu duvarların sonlu elemanlar ile modellendi i analiz sonuçlarına ba lı olarak dikkate alınmı tir. Olu turulan çerçeve modellerinin modal analizi ve Türk Deprem Yönetmeli i'nin öngördü ü ko ulları sa layan ve zaman tanım alanında ölçeklenmi gerçek deprem kayıtları kullanılarak do rusal elastik deprem hesabı gerçekleştirilmi tir. Analiz sonuçları altı farklı model için serbest titre im periyotları, mod ekilleri, ortalama taban kesme kuvveti de erleri ve etkin görelî kat öteleme oranları için kar ıla tırılmı ve yorumlanmı tir.

2. ANAL Z MODELLER

Dolgu duvarların serbest ve zorlanmı titre imine etkisini incelemek üzere 3 açıklıklı 4 katlı (3A4K) ve 3 açıklıklı 5 katlı (3A5K) iki adet düzlem çerçeve model olarak seçilmi tir. Çerçevelerin tüm kat yükseklikleri 3m olup kolonların orta eksenleri arasındaki mesafeler sırasıyla 5 m – 4 m – 5 m'dir. Tüm açıklıklarda 2x2m boyutlarında pencere bo lu u bulunurken sadece orta açıklı ın en alt katında 1x2.5 m boyutlarında bir kapı bo lu u bulunmaktadır. Modeller bir konut yapısının dı çerçeveleri olarak dü ünölüp yapılan yük analizleri sonucunda elde edilen ölü ve hareketli yükler yayılı olarak kiri lere ve tekil yük olarak kolon üst uçlarına etkililmi tir. Çerçevelerdeki kolonlar 40x40 cm, kiri ler 25x50 cm olup beton kalitesi C20'dir. Her iki çerçeve de dolgu duvarsız (BO), düzleminde pencere-kapı bo lukları bulunan dolgu duvarlı (KISM DOLU) ve hiç bo luk içermeyen dolgu duvarlı (DOLU) olarak modellenerek altı adet hesap modeli elde edilmi tir. Duvarların kalınlı ı 20 cm olup 6000 MPa elastisite modülüne sahiptirler.

2.1. E de er Basınç Çubu u Yöntemi

Dolgu duvarları modellemek literatürde yaygın olarak kullanılan e de er basınç çubu u yöntemi kullanılmı tir. Bu yöntemde dolgu duvarlar bulundu u açıklıktaki kö egen üzerinde tanımlanan; kalınlı ı ve elastisite modülü duvarla aynı olan ve sadece aksenal ba ınç yükü ta ıyan bir çubukla hesap modeline dahil edilmektedir. E de er basınç çubu unun geni li i Denklem (1) ve (2) ile hesaplanabilir (FEMA 356, 2000).

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\alpha}{4E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

$$a = 0.175 (\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad (2)$$

Bu denklemlerde; E_{fe} çerçeve elemanın ve E_{me} dolgu duvarın elastisite modülü, h_{col} kirişlerin orta eksenleri arasında kalan kolon yüksekliği, I_{col} kolon atalet momenti, h_{inf} dolgu duvar yüksekliği, L_{inf} dolgu duvar uzunluğu, r_{inf} deprem basınç çubuğunun uzunluğu, t_{inf} dolgu duvarın ve e deprem basınç çubuğunun kalınlığı, α deprem basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı ve a deprem basınç çubuğunun genişliğidir.

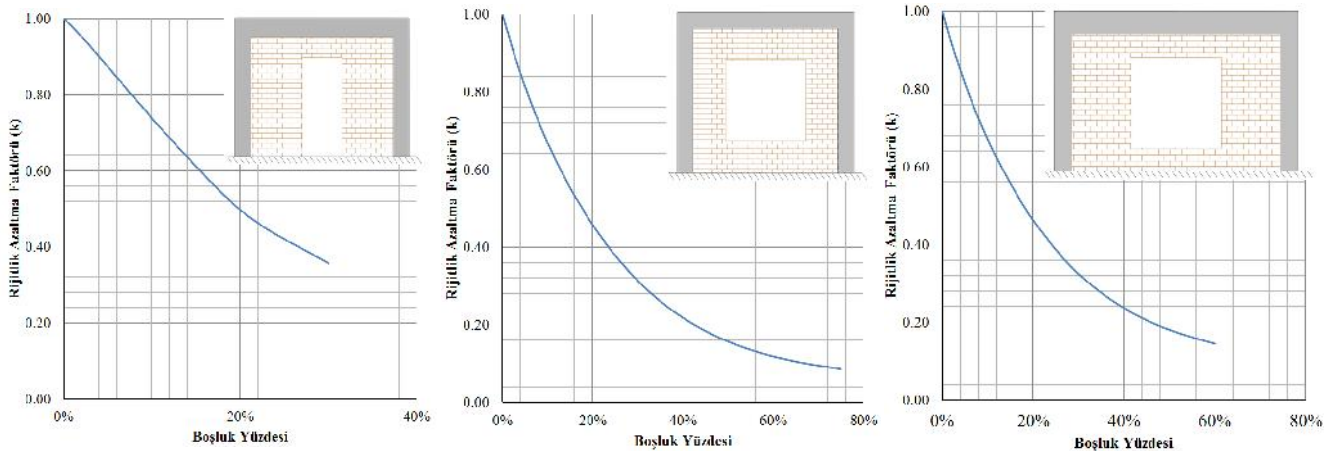
2.2. Rijitlik Azaltma Faktörü

Dolgu duvar düzleminde aydınlatma ve giriş çıkış gibi farklı mimari gereksinimlerden dolayı bulunan boşluklar duvarın rijitliğini azaltmaktadır. Dolayısıyla boşluklu dolgu duvarlar ile boşluklu dolgu duvarları aynı boyutlardaki deprem basınç çubuğu ile tanımlamak doğru değildir. Bu yüzden tam dolu duvarlar için elde edilen deprem basınç çubuğu genişliği; boşluğun konumuna ve oranına, betonun ve dolgunun elastisite modülüne, çerçevenin açıklık ve yüksekliğine göre değişir; birden küçük pozitif bir katsayı olan rijitlik azaltma faktörüyle (k) çarpılması gereklidir (Denklem (3)).

$$a = 0.175k (\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad (3)$$

Çalışma kapsamında rijitlik azaltma faktörlerinin elde edilmesi için dolgu duvarların sonlu elemanlar ile tanımlandığı, tek katlı, tek açıklıklı çerçevelere yatay yükler yüklenmiştir. Model çerçevelerin açıklıklarında bulunan boşlukların konumuna ve oranına uygun olarak açılan küçük boşluklar adım adım büyütülerek çerçevelerin yatay deplasman oranlarından rijitlik azaltma faktörleri hesaplanmıştır ve boşluk oranına bağlı olarak değişimleri grafiksel olarak elde edilmiştir.

Çerçevelerde bulunan üç çeşit açıklık için azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimini gösteren grafikler ekil 1'de sunulmuştur. 4 m genişliğindeki açıklıkta kapı boşluğu bulunması durumu ekil 1a'da, 4 m genişliğindeki açıklıkta pencere boşluğu bulunması durumu ekil 1b'de ve 5 m genişliğindeki açıklıkta pencere boşluğu bulunması durumu ekil 1c'de verilmiştir.

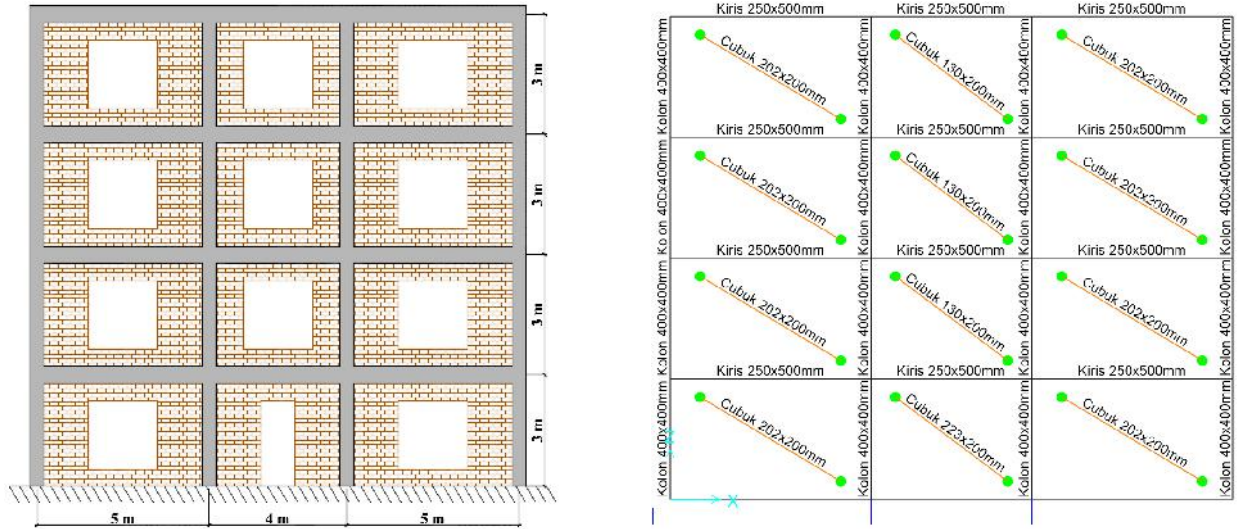


ekil 1. Rijitlik azaltma faktörünün boşluk oranına göre değişimi

Elde edilen rijitlik azaltma faktörleri, dolu ve kısmi dolu açıklıklar için hesaplanan e de er basınç çubu u geni likleri Tablo 1’de sunulmu tur. Üç açıklıklı dört katlı çerçeve (3A4K) ile bu çerçevenin dolu duvarlarının bo luklu olarak modellendi i hesap modeli ekil 2’de gösterilmi tir.

Tablo 1. E de er ba nıç çubu u kalınlıkları ve rijitlik azaltma faktörleri

	4x3 m - Kapı Bo luklu	4x3 m – Pencere Bo luklu	5x3 m – Pencere Bo luklu
Dolu	464 mm	464 mm	560 mm
k	0.48	0.28	0.36
Kısmi Dolu	223 mm	130 mm	202 mm



ekil 2. 3A4K çerçeve ile hesap modeli

3. D NAM K ANAL ZLER

3.1. Serbest Titre im Analizleri

Çerçevelerin hesap modelleri SAP 2000 (2014) ortamında olu turulmu tur. Dolgu duvarlar e de er basınç çubu u olarak modellenmi ve kısmi bo lukların bulundu u modellerde e de er basınç çubu unun geni li i rijitlik azaltma katsayısı kullanılarak dikkate alınmı tir. Modal kütleler ölü yüklerin tamamı ve hareketli yüklerin %30’u esas alınarak (G+0.3Q) hesaplanmı ve kütlelerin kat seviyesinde topraklandı ı kabul edilmi tir. SAP 2000 (2014) yapısal analiz programı kullanılarak gerçekleştirilen modal analizlerin sonucunda bulunan birinci ve ikinci do al titre im moduna ait periyot de erleri Tablo 2’de verilmi tir.

Tablo 2. Birinci ve ikinci do al titre im modu periyotları

Model	1. Mod (s)	2. Mod (s)
3A4K Bo	0.510	0.160
3A4K Kısmi Dolu	0.331	0.110
3A4K Dolu	0.235	0.080
3A5K Bo	0.635	0.203
3A5K Kısmi Dolu	0.465	0.155
3A5K Dolu	0.332	0.113

Dolgu duvarların analiz modeline boşluk olarak dahil edilmesi durumunda, birinci moda ait serbest titreşim periyodu 4 katlı çerçevede %54, 5 katlı çerçevede ise %48 oranında kısalmaktadır. 4 katlı çerçevenin periyodundaki kısalma 5 katlı çerçeveninkinden daha fazladır. Benzer durum ikinci moda ait serbest titreşim periyotları için de geçerlidir.

Çalışma kapsamında ele alınan dört ve beş katlı betonarme çerçevelerde açılan boşlukların çerçeve içindeki oranı yaklaşık olarak %28'dir. Boşluk çerçeve ile kısmi boşluklu çerçevelerin birinci moda ait serbest titreşim periyotları kıyaslandığında; 4 katlı çerçevede %35, 5 katlı çerçevede ise %28 oranında kısalma gözlenmiştir. Ayrıca, duvar düzleminde bulunan kısmi boşluklar tam dolgulu duruma göre 4 ve 5 katlı çerçevelerin birinci moda ait serbest titreşim periyodunda %40 civarında uzamaya neden olmuştur.

Dolgu duvarlar çerçevelerin tüm katlarında ve açıklıklarında özdeş olarak bulunduğundan dolu, kısmi dolu ve boş betonarme çerçevelerin serbest titreşim modellerinde ve normalize edilmiş genliklerinde kayda değer bir farklılık gözlenmemiştir.

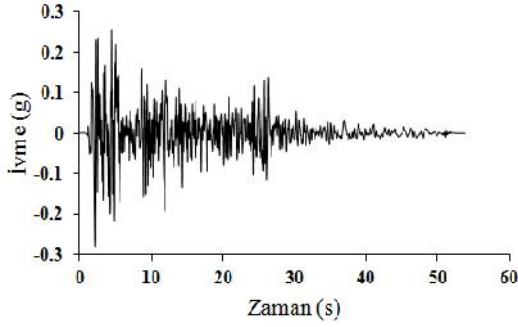
3.2. Zorlanmış Titreşim Analizleri

3.2.1. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

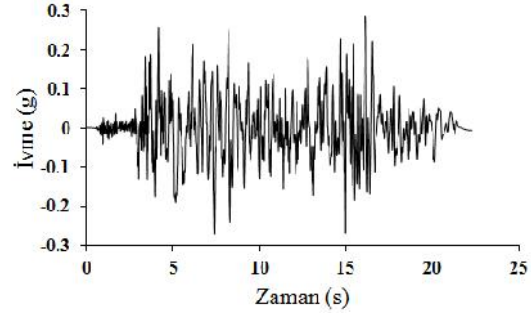
Çalışma kapsamında oluşturulan çerçeve modellerinin zaman tanım alanında doğrusal elastik analizinde gerçek deprem kayıtları kullanılması tercih edilmiştir. Kayıtlar, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER, 2015) veri tabanından elde edilmiş ve depremin büyüklüğü, faylanma mekanizması ve zemin koşulları esas alınarak seçilmiştir. Çalışmada kullanılan kayıtlar ve bu kayıtlara ait özellikler Tablo 3'de verilmiştir. Burada; J_{RB} Joyner-Boore mesafesi, V_{S30} zemin profilinin ilk 30 m'lik katmanına ait ortalama kayma dalgası hızı, PGA , PGV ve PGD ise sırasıyla en büyük yer ivmesi, yer hızı ve yer deplasmanıdır. Kullanılan kayıtların tamamı doğrudan atımlı fayların oluşturduğu depremlere aittir ve yakın fay etkisi içermemektedir. Depremlerin moment büyüklüğü (M_w) 6.4-7.5 arasında, PGA değerleri ise 0.23g-0.40g aralığında deplasman miktarıdır. Türk Deprem Yönetmeliğinde yerel zemin sınıflarının belirlenmesinde kullanılan ölçütlerin tamamı, deprem kayıtlarının temin edildiği veri bankasında yer almamaktadır. Bu nedenle zemin sınıflandırmasında sadece V_{S30} kayma dalgası hızı esas alınmıştır. Tablo 3'deki V_{S30} değerleri, Z3 yerel zemin sınıfına için belirlenen aralıktadır. Seçilen depremlere ait ivme kayıtları Ekil 3'de verilmektedir.

Tablo 3. Seçilen deprem kayıtlarına ait özellikler

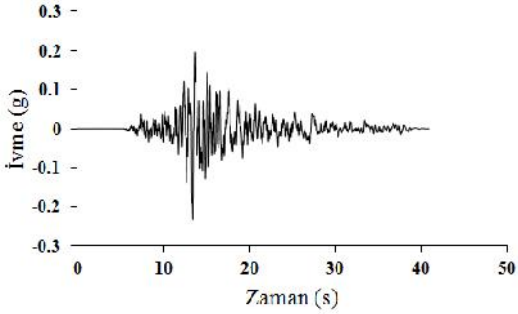
Kayıt	Deprem	stasyon	M_w	R_{JB} (km)	V_{S30} (m/s)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
IMPVALL_I_I-ELC180	Imperial Valley-02, 1940	El Centro Array #9	6.95	6.09	213.44	0.281	30.93	8.66
SUPER_B_B-POE360	Superstition Hills-02, 1978	Poe Road	6.54	11.16	316.64	0.286	29.02	11.56
KOBE_SHI090	Kobe, 1995	Shin-Osaka	6.9	19.4	256	0.233	21.79	9.70
DINAR_DIN180	Dinar, 1995	Dinar	6.4	0	219.75	0.279	29.63	6.36
KOCAELI_DZC180	Kocaeli, 1999	Duzce	7.51	13.60	281.86	0.312	58.85	44.05
DUZCE_DZC180	Düzce, 1999	Düzce	7.14	0	281.86	0.404	71.17	49.70
SIERRA.MEX_GEO090	El Mayor-Cucapah, 2010	Cerro Prieto Geothermal	7.20	8.88	242.05	0.288	49.54	40.31



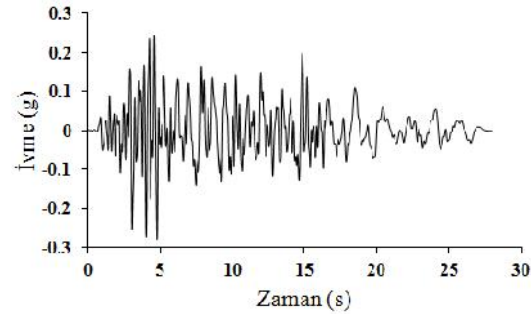
a) IMPVALL.I-ELC180



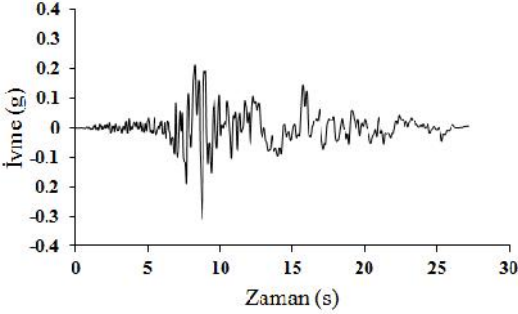
b) SUPER.B_B-POE360



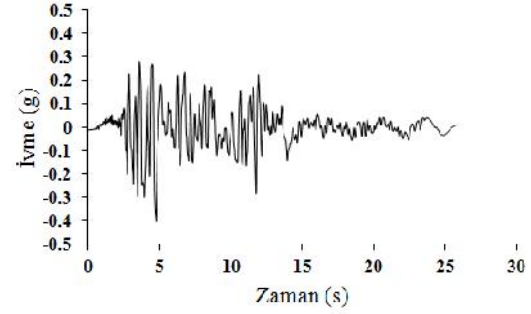
c) KOBE_SHI090



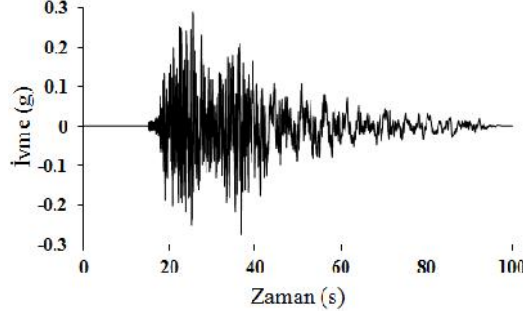
d) DINAR_DIN180



e) KOCAELI_DZC180



f) DUZCE_DZC180



g) SIERRA.MEX_GEO090

ekil 3. Depremlerin ivme kayıtları

3.2.2. Deprem Kayıtlarının Ölçeklenmesi

Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için, yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeri tirilmiş deprem yer hareketleri kullanılabilir. Bununla birlikte her durum için en az üç deprem yer hareketinin üretilmesi ve bunların da a) tablodaki özellikleri taşıması gerekmektedir.

- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{og} 'den daha küçük olmayacaktır.
- Üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyod T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, dikkate alınan elastik ivme spektrumundaki $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

Günümüzde veri bankalarında gerçek depremlere ait önemli sayıda yer hareketi kaydı bulunmasına rağmen, bunlar arasında deprem yönetmeliklerinde belirtilen tüm özellikleri taşıyan yeterli sayıda kaydın bulunması oldukça zordur (Ay ve Akkar, 2014). Bu gibi durumlarda gerçek deprem kayıtlarının ölçeklenmesi yoluna gidilmektedir. Bu amaçla genel olarak zaman tanım alanında veya frekans alanında ölçekleme yöntemleri kullanılmaktadır (Fahjan, 2008).

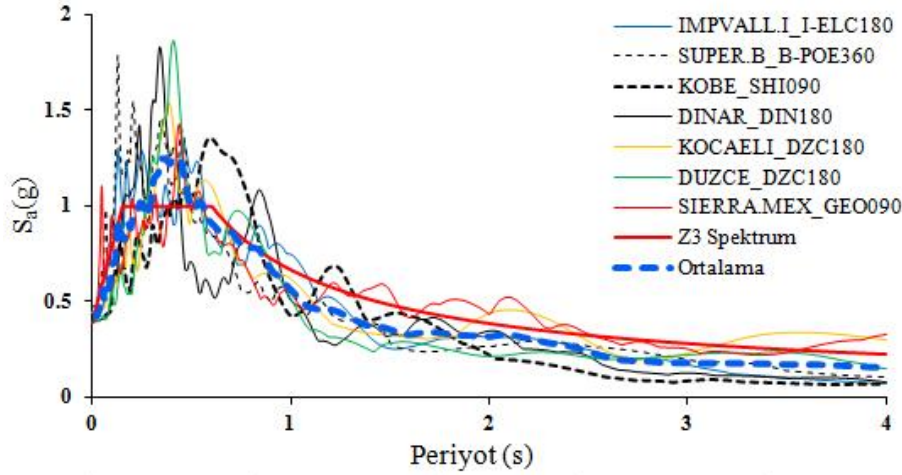
Bu çalışmada, seçilen gerçek deprem kayıtları, birinci derece deprem bölgesi ($A_0=0.4$) ve bina önem katsayısı $I=1$ için Türk Deprem Yönetmeliği'nin Z3 yerel zemin sınıfına ait elastik tasarım ivme spektrumuna uyumlu olacak şekilde zaman tanım alanında ölçeklenmiştir. Bu şekilde kayıtların frekans içeriği değiştirilmemiştir. Hedeflenen tasarım ivme spektrumuna yaklaşmak için ivme kayıtlarının çarpılması doğal ölçekleme katsayıları (α_{ST}), En Küçük Kareler Yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Ölçekleme $T_1=0.01$ s ve $T_2=4.00$ s periyot aralığında yapılmıştır. Ölçeklenmiş kayıtlara ait kimi özellikler Tablo 4'de verilmiştir. Burada; OGH her bir deprem kaydı için hedef tasarım ivme spektrumu ile ölçeklenmiş kayda ait ivme spektrumunun genlikleri arasındaki oransal göreceli hata (Fahjan, 2008) ve $S_{ae}(T_0)$ sıfır periyoda karşılık gelen spektral ivme değeridir.

Tablo 4. Ölçekli kayıtlara ait özellikler

Kayıt	Kayıt Süresi (s)	Anlamlı Süre (s)	Zarf Süre (s)	α_{ST}	OGH (%)	$S_{ae}(T_0)$ (g)
IMPVALL_I_I-ELC180	53.710	24.190	30.160	1.58	30.28	0.4449
SUPER.B_B-POE360	22.290	13.690	20.130	1.63	29.74	0.4653
KOBE_SHI090	40.950	11.590	20.180	1.82	42.70	0.4239
DINAR_DIN180	27.990	16.725	23.505	1.41	38.55	0.3939
KOCAELI_DZC180	27.180	11.790	19.920	1.41	23.21	0.4404
DUZCE_DZC180	25.880	11.065	20.805	0.97	27.91	0.3921
SIERRA.MEX_GEO090	99.995	37.685	53.515	1.35	14.95	0.3892

Tablo 4'de verilen değerler incelendiğinde kayıtlara ait ölçekleme katsayılarının 2'den küçük olduğu görülmektedir. Deprem yönetmeliklerinde ölçekleme katsayısının büyüklüğü ile ilgili herhangi bir kısıtlama olmamasına rağmen, genellikle çok büyük katsayılar ($\alpha_{ST} < 4$) tercih edilmemektedir (Krinitszky ve Chang, 1977). Tablo 4'de her bir deprem kaydı için hesaplanan anlamlı süreler de verilmekle birlikte, kaydın kuvvetli yer hareketi süresini belirtmek için zarf süresi esas alınmıştır. Zarf süresi, deprem kaydında $0.05g$ 'lik ekin ivme değerinin ilk ve son alınması arasında geçen süre olarak hesaplanmıştır. Ölçeklenen kayıtların sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması $0.421g$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, ölçeklenmiş kayıtların %5 sönüm oranı için bulunan spektral ivme değerlerinin ortalaması, çalışmada kullanılan çerçevelerin serbest titreşim analizinden bulunan T_1 periyodunun 0.2 ve 2 katı arasındaki periyotlar için Z3 tasarım ivme spektrumundaki $S_{ae}(T)$ 'lerin %90'ından büyüktür.

Ölçeklenmiş kayıtların %5 sönüm oranı için tek serbestlik dereceli doğrusal sisteme ait ivme spektrumları, Türk Deprem Yönetmeliği'nin Z3 yerel zemin sınıfına ait elastik tasarım ivme spektrumu ile birlikte Şekil 4'de gösterilmiştir. İvme spektrumları SeismoSpect (2015) programı kullanılarak oluşturulmuştur. Ölçeklenmiş kayıtlara ait ortalama ivme spektrumunun, tasarım ivme spektrumu ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 4. %5 sönüm oranı için elastik ivme spektrumları

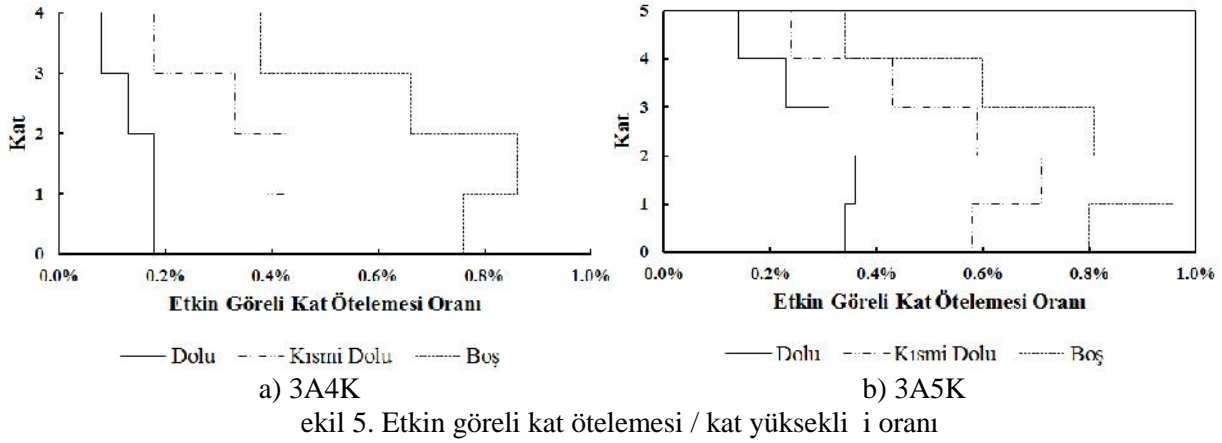
3.2.3. Analiz Sonuçları

Türk Deprem Yönetmeliği'nde Z3 yerel zemin sınıfı için verilen tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtları kullanılarak çalışma kapsamında oluşturulan tüm modellerin zaman tanım alanında doğrusal elastik analizleri SAP 2000 (2014) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. En büyük taban kesme kuvveti değerleri her deprem kaydı için ayrı ayrı elde edilmiş ve bu değerlerin ortalaması bulunmuştur (Tablo 5). Her deprem kaydı analize kendi karakteristiklerini yansıtmakta ve aynı modeller için farklı depremlerden farklı taban kesme kuvveti değerleri elde edilebilmektedir. Bu nedenle herhangi bir deprem kaydına ait sonuçları dikkate almak yerine yeterli sayıda kayıt kullanılarak elde edilen değerlerin ortalamasını kullanmak daha anlamlıdır.

Tablo 5. Taban kesme kuvvetleri (kN)

	3A4K			3A5K		
	BO	KISM DOLU	DOLU	BO	KISM DOLU	DOLU
IMPVALL_I_I-ELC180	1935	1620	1974	1566	3672	2651
SUPER_B_B-POE360	1592	2190	2035	1655	3712	3588
KOBE_SHI090	1650	1357	1428	2706	2812	2211
DINAR_DIN180	1131	2887	2382	1092	1921	4753
KOCAELI_DZC180	1698	2054	1250	1562	2828	3364
DUZCE_DZC180	1657	2027	1157	1562	3237	3323
SIERRA.MEX_GEO090	1674	1604	1411	1748	3201	2611
ORTALAMA	1620	1962	1662	1699	3055	3214

Yedi farklı deprem kaydından elde edilen en büyük etkin görel kat ötelemesi değerlerine ait ortalamanın kat yüksekliğine oranı, 6 farklı hesap modeli için Şekil 5'de grafiksel olarak sunulmuştur. En büyük etkin görel kat ötelemesi oranı tüm çerçeve modelleri için ikinci katta elde edilmiştir. Duvarların tüm açıklıklarda boşluksuz olarak bulunduğu modellerin etkin görel kat ötelemesi oranı diğer modellere göre oldukça küçüktür. En büyük etkin görel kat ötelemesi oranları boş çerçeveler için hesaplanmıştır olup; bu oran %1'in üzerine çıkmamıştır.



4. SONUÇLAR

Kısmi boşluklara sahip dolgu duvarların betonarme çerçevelerin serbest ve zorlanmış titreşimlerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıda sıralanan bulgular elde edilmiştir.

- Düşük boşluk oranlarında, boşluk oranı değişimi rijitlik azaltma faktörünü daha fazla etkilemektedir. Boşluk oranları arttıkça rijitlik azaltma faktöründeki değişim azalarak devam etmektedir.
- Dolgu duvar üzerinde yük aktarımının en yoğun olduğu bölge olan köşegen üzerinde açılmaya başlanan pencere boşlukları, açıklığın ortasında ve alt kenara dayalı olarak adım adım büyütülen kapı boşluklarına göre rijitlik azaltma faktörünü daha fazla etkilemektedir. Örneğin ekil 1b'deki grafikte %30 boşluk oranında rijitlik azaltma faktörü $k=0.30$ iken; ekil 1a'daki grafikte aynı boşluk oranına denk gelen 'k' katsayısı 0.36'dır. Bu durum açıklığın ortasında açılan pencere boşluklarının rijitliğe, kapı boşluklarından daha çok etkisi olduğunu göstermektedir.
- Analiz modeline kısmi boşluklu veya boşluklu olarak dahil edilen dolgu duvarların, 4 katlı çerçevelerin serbest titreşim periyoduna etkisi 5 katlı çerçevelere göre daha fazla olmuştur. Boş, kısmi dolu ve dolu modellerin serbest titreşimlerine ait modilleri yaklaşık olarak aynıdır. Bununla birlikte, dolgu duvarların katlara ve açıklıklara etkilerinin olmaması durumunda modillerinin boş çerçevenin modillerinden farklı olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.
- Serbest titreşim analizleri sonuçlarına göre boşluklu dolgu duvarına sahip çerçevelerin (DOLU) periyotları, yatay rijitlikleri boşluklu dolgu duvarlı (KISMI DOLU) ve duvarsız çerçevelere (BOŞ) göre daha yüksek olduğundan, daha kısadır. Dolgu duvarın hesap modelinde tanımlanmayıp yalnızca ölü yük olarak düşünülen çerçevelerin (BOŞ) periyotları diğerlerine göre daha uzun elde edilmiştir.
- Beş katlı modellerde, dolgu duvar oranının artmasına bağlı olarak hesaplanan ortalama taban kesme kuvveti de artmıştır. Dört katlı modellerde en büyük ortalama taban kesme kuvveti kısmi dolu durum için elde edilmiştir. Dolgu duvarların analize dahil edilmesi durumunda yapı periyodunun kısalması nedeniyle genel olarak daha büyük taban kesme kuvveti değerleri elde edilmektedir. Ancak yapı periyodunun çok kısalması durumunda boş çerçeve için hesaplanan taban kesme kuvvetine yakın sonuçlar da bulunabilir.
- Ölçeklenmiş deprem kayıtları kullanılarak yapılan zaman tanım alanında doğrusal elastik analizler sonucunda, dolgu duvarın modellenmediği çerçevelerde (BOŞ) en büyük etkin görel kat ötelemesi oranı 3A4K ve 3A5K çerçeveler için sırasıyla %0.86 ve %0.96 olarak bulunurken; boşlukların ihmal edilerek dolgu duvarın tam dolu olarak hesap modeline dahil edildiği çerçevelerde (DOLU) ise %0.18 ve %0.36 olarak elde edilmiştir. Bu oran; duvar düzleminde bulunan kapı ve pencere boşluklarını temsil etmek amacıyla rijitlik azaltma faktörü ile çarpılarak revize edilen efektif basınç çubuğu geneli kullanılarak hazırlanan çerçevelerde %0.43 ve %0.71 değerlerine sahiptir.

KAYNAKLAR

- Allouzi, R., Irfanoglu, A. ve Haikal, G. (2014). Non-linear finite element modeling of RC frame-masonry wall interaction under cyclic loadings. *Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, 21-25 July, Anchorage, Alaska.
- Asteris P.G. (2003). Lateral stiffness of brick masonry infilled plane frames. *Journal of Structural Engineering* **129:8**, 1071-1079.
- Ay, B.Ö. ve Akkar, S. (2014). Evaluation of a recently proposed record selection and scaling procedure for low-rise to mid-rise reinforced concrete buildings and its use for probabilistic risk assessment studies. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* **43:6**, 889-908.
- Fahjan, Y.M. (2008). Türkiye Deprem Yönetmeli i (DBYBHY, 2007) tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi. *MO Teknik Dergi* **19:3**, 4423-4444.
- FEMA 356 (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. American Society of Civil Engineers (ASCE), Washington, DC.
- Kaushik, H.B., Rai, D.C ve Jain, S.K. (2008). A rational approach to analytical modeling of masonry infills in reinforced concrete frame buildings. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, 12-17 October, Beijing, China.
- Krinitzky, E L. ve Chang, F K. (1977). State-of the-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United State: Specifying Peak Motions for Design Earthquakes. Miscellaneous Paper S-73-1, Report 7, U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Köse, M.M. (2009). Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls. *Engineering Structures* **31:1**, 93-102.
- Öztürko lu, O., Uçar, T. ve Ye ilce, Y. (2015). Kısmi bo luklu dolgu duvarların betonarme binaların deprem davranı na etkisi. *International Burdur Earthquake and Environment Symposium*, 123-133.
- Pasifik Deprem Mühendisli i Ara tırma Merkezi (PEER) (2015). PEER Strong Motion Database, <http://ngawest2.berkeley.edu/>.
- SAP2000 (2014). Integrated Structural Analysis and Design Software, Version 16.1.0. Computers and Structures Inc., Berkeley, CA.
- SeismoSpect v2.1.2 (2015). Seismosoft Ltd., talya.
- TDY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve şkan Bakanlığı 1, Ankara.
- Trapani, F.D., Macaluso, G., Cavaleri, L. ve Papia, M. (2015). Masonry infills and RC frames interaction: literature overview and state of the art of macromodeling approach. *European Journal of Environmental and Civil Engineering* **19:9**, 1059–1095.
- TS500 (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yakut, A., Binici, B., Demirel, .O. ve Özcebe, G. (2013). Dolgu duvarların deprem davranı na etkisi. 2. *Türkiye Deprem Mühendisli i ve Sismoloji Konferansı*, 25-27 Eylül 2013, MKÜ, Hatay.