

BETONARME ÇERÇEVELERDE DOLGU DUVARLAR VASITASIYLA R J TL K DA İLİMİNİN DE T R LMES N N DEPREM TALEPLER ALTINDAK ÖTELENME DA İLİMİNA ETK S

E. Sönmez¹ ve C. Dönmez²

¹ Ara tırma Görevlisi, n aat Müh. Bölümü, zmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, zmir

² Doçent Doktor, n aat Müh. Bölümü, zmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, zmir

Email: egemensonmez@iyte.edu.tr

ÖZET:

Deprem talepleri altında olu an ötelenme yo unla maları, dolgu duvarlı çerçevelerde sık görülen bir sorundur ve yapılarda hasar ve göçmelere neden olabilmektedir. Bu çalı mada, farklı özelliklerde dolgu duvarlar kullanılarak çerçevenin yüksekli i boyunca de i en bir rijitlik da ılımı elde edilmesi ve bu yolla ötelenme yo unla malarının azaltılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, betonarme çerçevesi aynı olan biri bo , ikisi dolgu duvarlı olmak üzere üç adet çerçeve modellenmi tir. Dolgu duvarlı çerçevelerden birincisi klasik dolgu duvar uygulamasına sahipken, di erinde önerilen dolgu duvar rijitlik da ılımı uygulanmı tur. Bu çerçevelerin do rsal olmayan dinamik ve artımsal itme analizleri yapılmı ; katarası ötelenme da ılımları ve deprem performansları kar ıla tırılmı tir. Çalı ma sonunda, önerilen rijitlik da ılımının, ötelenme yo unla malarını azalttı ı ve yapının deprem performansını iyile tirdi i gözlenmi tir.

ANAHTAR KEL MELER : Dolgu duvar, betonarme çerçeve, ötelenme, deprem, deprem performansı, deprem mühendisli i

1. G R

Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, Türkiye gibi deprem riski barındıran ülkelerde en sık kullanılan yapı tipleri oldu u bilinmektedir. Bu duvarlar, yapılarda iç mekanları ayırmak, yapının dı nını çevrelemek, ses ve ısı yalıtımı sa lamak gibi mimari amaçlarla kullanılırlar. Fakat, yapılan çalı malar ve gözlemler, dolgu duvarların betonarme elemanlarla etkile iminin yapının deprem davranı ı üzerinde belirgin etkileri oldu unu ortaya koymu tur (Smith, 1966; Fiorato ve di , 1970; Mainstone, 1971; Bertero ve Brokken, 1983; Mehrabi ve di , 1996; Negro ve Verzeletti, 1996; Dolšek ve Fajfar, 2001; Dolšek ve Fajfar, 2008; Pujol ve Fick, 2010; Dönmez ve Çankaya, 2013). Buna ra men dolgu duvarlar, etkilerini hesaba katmanın zorlukları ya da bu etkilerin farkında olunmaması sebebiyle yapısal hesapta genellikle ihmal edilmektedirler. Genel olarak, dolgu duvarlar yapının yanal rijitlik ve dayanımını belirgin ekilde artırmakta ve bunun sonucunda do al periyodun dü üp ötelenme taleplerinin azalmasına neden olmaktadır. Kapasite-talep oranlarına ba lı olarak bu etkiler olumlu olabildi i gibi binalarda a ır hasar ve yıkımlara neden olacak kadar olumsuz da olabilmektedirler. Ötelenme taleplerinin azalması, bir noktaya kadar hasarın alt seviyelerde kalmasını sa layabilir (Dolšek ve Fajfar, 2001; Dolšek ve Fajfar, 2008). Fakat, artan taleplerle birlikte kat kesme kuvvetlerinin alt katlarda yı lması, bu katlardaki duvarlarda kapasite a ımına neden olabilmektedir. Dolgu duvarların gevrek davranı özellikleri, kapasite a ımı sonucunda ani rijitlik ve dayanım dü ü leri yaratmakta; bunun sonucunda bu katlarda ötelenme yo unla maları olu maktadır. Bu yo unla malar, kat mekanizmalarının olu masına neden olarak yapının a ır hasar görmesine ve hatta yıkılmasına yol açabilmektedir. Büyük depremlerin ardından yapılan saha gözlemlerinde bu nedenle hasar görmü veya yıkılmı çok sayıda binayla kar ıla ılmı tir (Sezen ve di , 2003; Do angün, 2004; Arslan ve Korkmaz, 2006; Günay ve Mosallam, 2010).

Mevcut yapılar ve yapılan çalı malar incelendi inde tüm binada benzer tip dolgu duvar kullanımının en yaygın uygulama oldu u görülmektedir. Bunun sonucunda tüm katlar aynı rijitlik ve dayanıma sahip olmakta ve bu durum, yukarıda bahsedilen kesme kuvveti yı ılması ile alt kat duvarlarının kapasitelerinin ötesinde zorlanmasına neden olabilmektedir. Bu çalı mada, kat rijitliklerinin farklı tipte dolgu duvarlar aracılı yla kontrol edilmesi amaçlanmı tır. Bununla, yapının yüksekli i boyunca de i en bir rijitlik da ılımı elde edip alt katlarda olu acak ötelenme yo unla malarının önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Söz konusu da ılımda, üst katlara çıkıldıkça azalan kat rijitlikleri öngörülmekte ve bu sayede binanın birinci mod eklinin kat arası ötelenme oranları açısından daha dengeli bir da ılım sergilemesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, önerilen tipte dolgu duvar da ılımına sahip çerçevenin do rusal olmayan dinamik ve performans analizleri yapılmı tır. Elde edilen sonuçlar, betonarme çerçevesi aynı fakat her katta aynı rijitli e sahip dolgu duvarlı ve duvarları olmayan iki ayrı modelin sonuçlarıyla kar ıla tırılmı tır. Temel alınan betonarme çerçeve, yönetmelikte belirtilen süneklik ko ullarından bazılarını sa lamayacak ekilde detaylandırılmı ; böylece Türkiye'deki mevcut binalarda sıkça kar ıla ılan kusurlar da göz önünde bulundurulmaya çalı ılmı tır. Analizler öncesinde, çalı mada kullanılan bilgisayar yazılımı, daha önce yapılan bir grup deneyin sonuçları kullanılarak kalibre edilmi ve do rulanmı tır. Çalı ma sonucunda, önerilen dolgu duvar da ılımının alt katlardaki ötelenme yo unla malarını sınırladı ı ve çerçevenin deprem performansını iyile tirdi i gözlemlenmi tir.

2. ANAL Z PROGRAMININ KAL BRASYONU ve DO RULANMASI

Hedeflenen çalı madan önce, kullanılacak analiz programı olan IDARC-2D'nin parametrelerini kalibre etmek ve kurulan sayısal modellerin gerçe e uygunlu unu do rulamak amacıyla bir ön çalı ma yapılmı tır. Bu çalı mada önceden yapılmı bir deneysel çalı manın çıktıkları referans olarak kullanılmı tır (Çankaya, 2011; Dönmez ve Çankaya, 2013). Bahsedilen deneylerde dört adet 1/5 ölçekli, tek açıklıklı, dört katlı düzlem betonarme çerçeve, gittikçe artan çevrimsel yüklemelere tabi tutulmu tur. Bu deneylerdeki de i kenler, dolgu duvarların varlı ı ve donatı detaylandırmasıdır. Çerçeve-1 ve Çerçeve-2 sırasıyla gevrek ve sünek dolgu duvarsız çerçevelerken Çerçeve-3 ve Çerçeve-4 sırasıyla gevrek ve sünek dolgu duvarlı çerçevelerdir. Deney çerçeveleriyle ilgili detaylı bilgi için Çankaya (2011)'e bakılabilir.

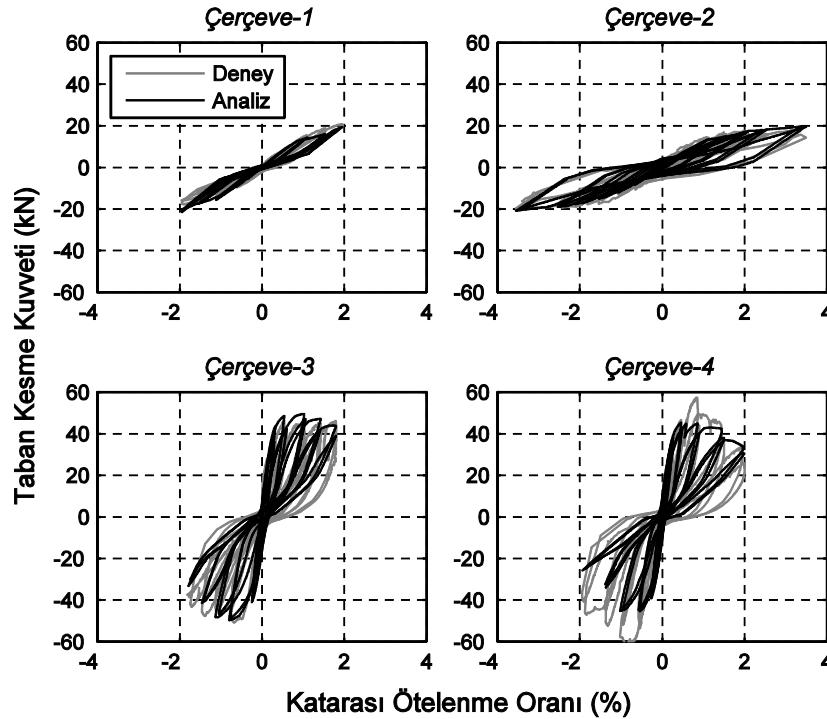
Deney çerçevelerindeki elemanları modellemek için bu elemanların moment-e rilik diyagramları bir kesit analiz programında elde edilmi ve bu diyagramlar üç do rulu ekilde basitle tirilip programda tanımlanmı tır. Dolgu duvarlar ise e de er basınç çubu u yöntemiyle modellenmi tir. Seçilen analiz programı, yapısal elemanların çevrimsel davranı larının modellenmesi için farklı çevrimsel modeller sunmaktadır. Bu modellerin parametreleri sayesinde rijitlik azalması, dayanım azalması ve histeresis döngülerinin büzülmesi gibi çevrimsel etkiler gerçe e uygun olarak modellenebilmektedir. Sunulan çalı mada betonarme elemanlar için *Üç De i kenli Park Modeli* tercih edilmi tir. Bu modeldeki de i kenleri kalibre etmek için duvarsız çerçeveler olan Çerçeve-1 ve Çerçeve-2'nin deney sonuçları referans alınarak bir parametrik çalı ma yapılmı tır. Bu çalı manın sonucunda büzülme parametresi dı nda program tarafından varsayılan de erlerin uygun oldu u görülmü tür. Büzülme parametresi, gevrek olan Çerçeve-1 için 0.50, sünek olan Çerçeve-2 için ise 0.20 olarak adapte edilmi tir. Programda bu parametrenin varsayılan de eri, büzülmenin olmadı ı durumu temsil eden 1.00'dir. Sünek ve dolgu duvarlı olan Çerçeve-3'ün betonarme elemanları için Çerçeve-1 ile aynı parametreler kullanılmı tır. Fakat deney raporlarında Çerçeve-4'ün beklenmeyen bir göçme mekanizması sergiledi i belirtilmi tir. Bu mekanizma, beklenenin aksine dolgu duvar yerine alt kat kolonlarının a ır hasar görmesiyle olu mu ve sistemde belirgin büzülme görülmesine sebep olmu tur. Bu durum, bu çerçeveye aynı donatı detayına sahip Çerçeve-2 'de kullanılan parametrelerin bu çerçevede kullanılamamasına neden olmu ; bahsedilen etkiyi temsil etmesi için Çerçeve-4'ün büzülme parametresi 0.15 olarak seçilmi tir. Kullanılan analiz programı, dolgu duvarları temsil eden e de er basınç çubuklarının çevrimsel davranı larını modellemek için *Yumu atılmı Çevrimsel Model* kullanmaktadır. Bu çalı mada dolgu duvarın süneklik kapasitesi haricinde program tarafından varsayılan de erler kullanılmı tır. Duvarların süneklik kapasite parametreleri Çerçeve-3 ve Çerçeve-4 için sırasıyla 15.0 ve 13.0 alınmı tır.

Deplasman kontrollü olarak yapılan deneylerde her kat seviyesinde elde edilen deplasman okumaları, çerçevelerin analiz programında oluşturulan modellerine uygulanmıştır. Deneylerde deplasman hedefleri birinci kat için konulduğundan her yüklem döngüsünde bu kata uygulanan deplasmanlar katarası ötelenme cinsinden Tablo 1’de gösterilmiştir. Her yüklem döngüsü çerçevelere iki defa uygulanmıştır ve bu ikili gruplar *yüklem grubu* olarak adlandırılmıştır.

Tablo 1. Birinci kata uygulanan katarası ötelenmeler (%)

Çerçeve No.	1. Döngü	2. Döngü	3. Döngü	4. Döngü	5. Döngü	6. Döngü
1	0.7	1.1	1.5	1.9	-	-
2	0.7	1.1	1.5	2.1	2.5	3.4
3	0.1	0.3	0.7	1.0	1.4	1.8
4	0.1	0.3	0.6	0.9	1.5	2.0

Deney ve analizler sonucunda elde edilen birinci kat histeresis eğrileri ekil 1’de verilmiştir. Ekilden görüleceği üzere analizler, genel davranış açısından deneylere yakın sonuçlar vermiştir. Yukarıda bahsedilen rijitlik azalması, dayanım azalması ve büzülme gibi çevrimsel etkiler de deney sonuçlarına uygun şekilde canlandırılmıştır. Çerçeve-3 için seçilen çevrimsel kontrol parametreleri dolgu duvarın çerçeve davranışına etkilerinin başarılı şekilde modellenmesini sağlamıştır. Ne var ki alt kat kolonlarında aşırı hasar görülen Çerçeve-4’te aynı sonuçlar alınmamıştır. Bunun sebebi, kullanılan analiz programının, kolon elemanlarının kesme rijitliğini sonsuz büyük kabul etmesidir. Sonuç olarak analiz modelindeki alt kat duvarı deneylerin aksine kolonlardan önce göçmüştür, fakat analiz programı bu durumu canlandırmakta yetersiz kalmıştır.

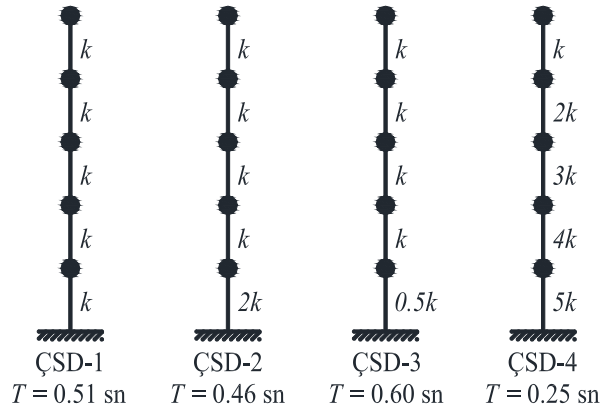


Ekil 1. Deneysel ve nümerik sistemlerin birinci kat histeresis eğrileri

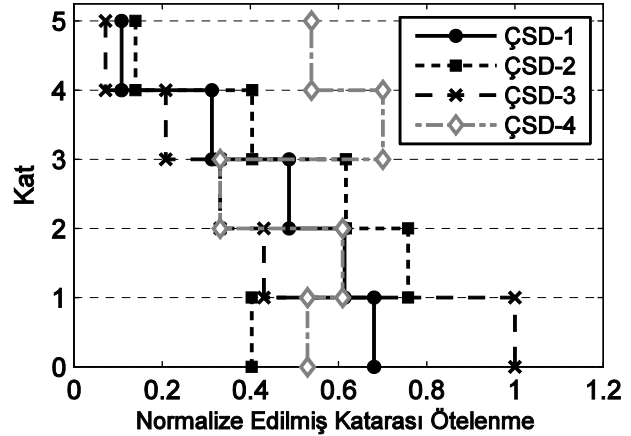
3. R J TL K DA İLİMLİNİN DEPREM DAVRANI İNA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Dolgu duvarlar, yapıların yanal rijitliğini ve dayanımını artırarak düşük ötelenme seviyelerinde yüksek yanal kuvvetlere maruz kalmalarına ve bu kuvvetleri taşımalarına neden olurlar. Fakat alt katlarda yığılan kesme kuvvetleri, bu katlardaki dolgu duvarların kapasitesini azaltabilir. Bununla beraber yapının periyodunun artması, bu katlarda yığılan ötelenme taleplerinin de artmasına neden olur. Sunulan çalışmada, yapının yüksekliği boyunca iyi düzenlenmiş bir rijitlik dağılımı kullanılarak alt katlarda oluşması muhtemel ötelenme yığılımlarının azaltılmasını öngörmektedir. Hedeflenen farklı kat rijitlikleri, birbirinden farklı mekanik özelliklere sahip dolgu duvarlar aracılığıyla sağlanacaktır. İstenen mekanik özellikler, mevcut güçlendirme veya zayıflatma teknikleri kullanılarak elde edilebileceği gibi farklı duvar elemanları kullanılarak veya duvar kalınlıkları değiştirilerek de elde edilebilir.

Önerilen rijitlik dağılımının betonarme çerçevelerde etkilerinin incelenmesinden önce çok serbestlik dereceli (ÇSD) basit dorusal sistemler üzerinde bir ön çalışma yapılmıştır. Tipik konut tipi yapıların dinamik davranışlarının, çoğunlukla bu yapıların birinci modları tarafından kontrol edildiği bilinmektedir. Buna dayanarak, bu tip yapılarda farklı rijitlik dağılımlarını temsil etmesi için ekil 2’de görülen dört farklı basit sistem kurulup bunların birinci modal şekilleri ve periyotları hesaplanmıştır. Bulunan birinci modal şekillerinin katarası ötelenme dağılımları, en büyük ötelenme oranına göre normalize edilmiş ve ekil 3’te karşılaştırılmıştır. En yüksek katarası ötelenme üçüncü sistemin ilk katında oluşmuştur ve bu ötelenmenin değeri 1.0 olacak şekilde ayarlanmıştır; diğer değerler buna göre oranlanmıştır.



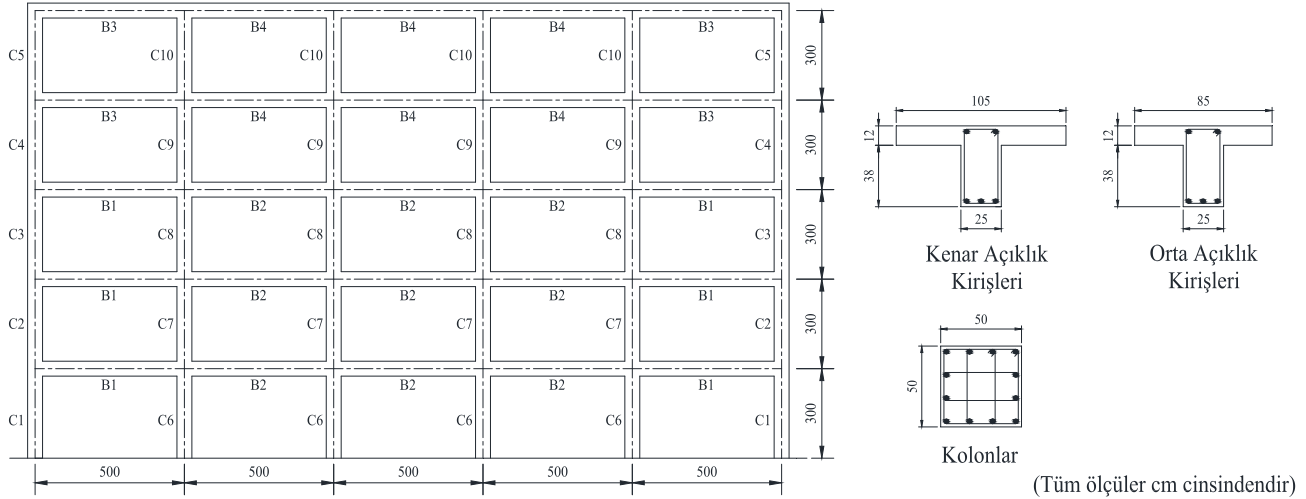
ekil 2. İncelenen çok serbestlik dereceli sistemler ve birinci mod periyotları



ekil 3. ÇSD sistemlerin birinci mod katarası ötelenme dağılımları

ekilde görüldüğü gibi her katta aynı rijitliğe sahip ÇSD-1’de alt katlara gittikçe artan bir ötelenme profili görülmektedir. ÇSD-3’te de alt katlara doğru artan ötelenmelere ek olarak birinci katta, bu katın görece zayıf olmasından dolayı belirgin bir ötelenme yığılımı oluşmuştur. ÇSD-2’de ise görece güçlü birinci kat sayesinde bu kattaki ötelenme diğer katlara oranla düşük olmakla beraber bu katlardaki ötelenmeler ÇSD-1 ve ÇSD-2’dekilerden daha yüksektir. ÇSD-4’ün üst katlara gittikçe azalan rijitlik dağılımı, bu sistemde daha dengeli bir ötelenme dağılımı oluşmasına neden olmuştur. Bu durum, birinci modun etkin olduğu konut tipi yapılarda bu tipte bir rijitlik dağılımının alt katlarda görülen ötelenme yığılımlarını azaltmakta etkili olabileceğini göstermektedir. İstenen rijitlik dağılımı binadaki dolgu duvarlar aracılığıyla sağlanıp böylece binanın birinci modal şeklinin daha avantajlı bir hale gelmesi sağlanabilir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak dolgu duvarların, yapının ötelenme dağınılığını iyileştirecek elemanlar olarak kullanımını test etmek amacıyla bir sayısal çalışma planlanmıştır. Bağımlı olarak, Türkiye’deki yapı sto u çalışmaları (Bal ve di . 2008; nel ve di ., 2009) ı ında be katlı bir betonarme çerçeve tasarlanmıştır. Bina uzun do ğultuda be , kısa do ğultuda ise üç açıklık a sahiptir. Betonarme elemanlarda beton basınç dayanımı 20 MPa, elastisite modülü 28500 MPa; çeli in akma dayanımı 420 MPa, elastisite modülü 200000 MPa olarak alınmıştır. Yapının dö emelerine 0.45 t/m² ölü, 0.20 t/m² hareketli yük etkidi i varsayılmıştır. Tasarlanan yapı TS500 (2000) ve DBYBHY (2007) tarafından belirtilen yüksek süneklik düzeyine uyacak ekleme detaylandırılmıştır. Sonrasında, sarılma bölgelerinde hesaplanan etriye aralıkları iki katına çıkarılarak Türkiye’deki konut tipi yapılarda sık kar ıla ılan bu durumun da göz önünde bulundurulması amaçlanmıştır. Bu i lem sonunda elde edilen etriye aralıkları, yapı sto u çalışmalarında (nel ve di ., 2009) gözlemlenen de ğerlerle uyumludur. Yapılacak analizlerde, tasarlanan binanın uzun do ğultusunda yer alan bir iç akstaki düzlem çerçeve göz önünde bulundurulmuştur. Kullanılan düzlem çerçevenin yan görünü ü, betonarme eleman tipleri ve boyutları ekil 4’te gösterilmıştir. Kiri ve kolonlarda kullanılan donatı detayları Tablo 2’de sunulmuştur.



ekil 4. Analizlerde kullanılan düzlem çerçeve, betonarme eleman tipleri ve boyutları

Tablo 2. Tasarlanan çerçevenin donatı detayları

Donatının Yeri	Kiri Tipi				Donatının Türü	Tüm Kolonlar	
	B1	B2	B3	B4			
Sol	Alt	3Ø16	3Ø14	3Ø12	2Ø14	Boyuna Donatı	12Ø18
	Üst	4Ø16 + 2Ø12	5Ø14 + 2Ø12	2Ø16 + 2Ø12	3Ø12 + 2Ø12		
Orta	Etriye	Ø8 / 192 mm	Ø8 / 192 mm	Ø8 / 192 mm	Ø8 / 192 mm	Etriye	Ø10 / 200 mm
	Alt	3Ø12	3Ø12	3Ø12	3Ø12		
Sa	Üst	2Ø12	2Ø12	2Ø12	2Ø12	Etriye	Ø10 / 200 mm
	Etriye	Ø8 / 235 mm	Ø8 / 235 mm	Ø8 / 235 mm	Ø8 / 235 mm		
Sa	Alt	3Ø16	3Ø14	2Ø14	2Ø14	Etriye	Ø10 / 200 mm
	Üst	4Ø16 + 2Ø12	5Ø14 + 2Ø12	2Ø14 + 2Ø12	3Ø12 + 2Ø12		
Sa	Etriye	Ø8 / 192 mm	Ø8 / 192 mm	Ø8 / 192 mm	Ø8 / 192 mm	Etriye	Ø10 / 200 mm
	Üst	4Ø16 + 2Ø12	5Ø14 + 2Ø12	2Ø14 + 2Ø12	3Ø12 + 2Ø12		

Tasarlanan çerçevenin seçilen aksı, dolgu duvarsız bo çerçeve (BÇ) olarak önceki bölümde anlatılan prosedür ile IDARC programında modellenmiştir. Bunun ardından aynı betonarme elemanlara sahip iki ayrı dolgu duvarlı çerçeve, DÇ-1 ve DÇ-2, modellenmiştir. Bu çerçevelerde dolgu duvarlar tüm katların ikinci ve dördüncü açıklıklarına yerle tirilmıştir, böylece dolgu duvar oranının konut tipi yapılarda gözlemlenen miktarda (Bal ve di ., 2008; nel ve di ., 2009) olması amaçlanmıştır. DÇ-1’in Türkiye’de yaygın olarak görülen dolgu duvar uygulamasını temsil etmesi amaçlanmıştır. Bu çerçevedeki duvarlarda 19×19×13.5 cm boyutlarında bo luklu kil

tu la kullanıldı ı ve duvar kalınlı ının her iki yüzde 2 cm sıvayla birlikte 23 cm oldu u varsayılmı tır. Dolgu duvarın prizma dayanımı 3.0 MPa kabul edilmi tir. Bu bilgiler kullanılarak bir dolgu duvar panelinin ba langıç rijitli i IDARC tarafından 80 kN/mm, yanal dayanımı 420 kN olarak hesaplanmı tır. DÇ-2’de farklı özelliklerde dolgu duvarlar vasıtasıyla de i ken rijitlik da ılımı elde edilmesi amaçlanmı tır. Bunun için, ÇSD-4’te olumlu sonuç veren rijitlik da ılımı uyarınca katlardaki duvarların ba langıç rijitlikleri, DÇ-1’deki duvarın a a ıdan yukarıya do ru sırasıyla 2.0, 1.6, 1.2, 0.8 ve 0.4 katı olarak modellenmi tir. Bu da ılımda alt üç kattaki duvarların DÇ-1’in duvar tipine oranla daha rijit olması için güçlendirildi i veya duvar tipinin de i tirildi i varsayılmı tır. Üst iki katta ise literatürde sunulan duvar zayıflatma yöntemlerinin (Mohammadi ve di ., 2011; Preti ve di ., 2012) kullanıldı ı kabul edilmi tir. Duvar güçlendirme veya zayıflatma teknikleri duvarların sadece rijitliklerini de i tirmekle kalmayıp dayanım de erlerini de etkiledi inden DÇ-2’nin alt üç katındaki duvarların dayanımlarının, DÇ-1’in duvar tipine göre a a ıdan yukarıya do ru sırasıyla %40, %30 ve %20 arttı ı; üst iki kattaki duvarların dayanımlarının ise a a ıdan yukarıya sırasıyla %20 ve %40 azaldı ı kabul edilmi tir. Çalı mada, uygulandı ı varsayılan güçlendirme ve zayıflatma teknikleri belirlenmedi inden bu de erler keyfi seçilmi tir. Dolgu duvarlı çerçevelerin deprem taleplerinin kar ıla tırılabilir olması için bu çerçevelerin do al periyotlarının birbirine yakın olması gerekmektedir. Bu amaçla, analizler öncesinde bu çerçevelerin do al periyotları bulunmu ve periyot de erlerini yakınla tırmak için DÇ-1’de kullanılan duvarların ba langıç rijitli i %10 oranında artırılmı tır. Bunun sonucunda BÇ, DÇ-1 ve DÇ-2’nin do al periyotları sırasıyla 0.74, 0.50 ve 0.51 saniye olarak bulunmu tur. Dolgu duvarlı çerçevelerin ba langıç rijitlikleri ve yanal dayanımları Tablo 3’te gösterilmi tir.

Tablo 3. Dolgu duvarların ba langıç rijitlikleri ve yanal dayanımları

Kat	DÇ-1		DÇ-2	
	Ba langıç Rijitli i (kN/mm)	Yanal Dayanım (kN)	Ba langıç Rijitli i (kN/mm)	Yanal Dayanım (kN)
5	88	420	32	252
4	88	420	65	336
3	88	420	97	504
2	88	420	129	546
1	88	420	161	588

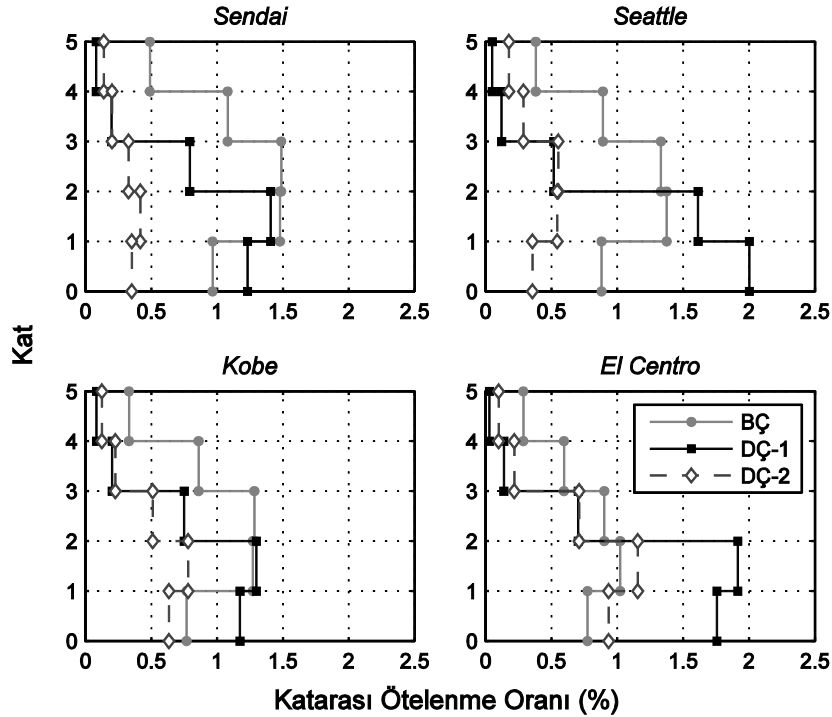
Sayısal modellemelerin ardından BÇ ve DÇ-1’in do rusal olmayan dinamik analizleri yapılmı tır. Bu analizlerde Lepage (1997)’den edinilen on adet ivme kaydı kullanılmı tır. Bu kayıtlar, Lepage (1997)’de sunulan prosedür kullanılarak El Centro kaydının maksimum yer ivmesi 0.4g olacak ekilde normalize edilmi tir (Tablo 4). Kullanılan kayıtlar, 0.35 ile 1.14 arasında de i en karakteristik periyotlara sahiptir ve bu sayede dinamik analizlerde çok çe itli zemin tipleri ve frekans içerikleri kapsamaktadır. Burada *karakteristik periyot*, ivme spektrumunda sabit ivme bölgesinin bitti i periyodu nitelemek için kullanılmı tır.

Tablo 4. Analizlerde kullanılan ivme kayıtları

ivme Kaydı	Kayıt Süresi (sn)	Karakteristik Periyot, T_g (sn)	Gerçek Maksimum Yer vmesi (g)	Normalize Edilmi Maksimum Yer vmesi (g)
Hachinohe 1968 EW	40	1.14	0.19	0.19
Santa Barbara 1952 S48E	40	1.03	0.13	0.21
Sendai 1978 NS	40	0.95	0.26	0.23
Seattle 1949 S02W	50	0.89	0.07	0.25
Taft 1952 N21E	30	0.72	0.16	0.31
Kobe 1995 NS	30	0.70	0.83	0.31
El Centro 1940 NS	30	0.55	0.35	0.40
Llolleo 1985 N10E	50	0.50	0.71	0.44
Tarzana 1994 NS	30	0.44	0.99	0.50
Castaic 1971 N21E	30	0.35	0.32	0.63

Sunulan on ivme kaydı, en yüksek talepleri oluşturan kayıtları belirlemek için öncelikle BÇ ve DÇ-1'in dolaşım olmayan dinamik analizlerinde kullanılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde dolgu duvarların depremlerin çoğunda çatı deplasmanını sınırlandırdığı görülmüştür. Ne var ki, Sendai, Seattle, Kobe ve El Centro depremlerinde DÇ-1'in çatı deplasmanlarının BÇ'nikilere eşit veya onlardan daha büyük olduğu gözlenmiştir. Dolgu duvarların histeresis eğrileri tek tek incelendiğinde bahsedilen dört depremde alt katlardaki dolgu duvarların yanal dayanımlarının azaldığı görülmüştür. Dolgu duvarların dayanımlarının azaldığında rijitlik ve kapasitelerinde ani düşüşler olmaktadır ve bunun sonucu olarak ötelenmeler bu katlarda yoğunlaşarak yumuşak kat mekanizmalarına yol açmaktadır. Bu durum, DÇ-1'de görülen yüksek çatı ötelenmelerini açıklamaktadır. Bu gözlemlere dayanarak DÇ-2'nin dinamik analizlerinde yukarıda bahsedilen dört ivme kaydı kullanılmıştır.

Şekil 5'te her üç çerçeve maksimum çatı deplasmanına ulaştığı andaki katarası ötelenme dağınılımları verilmiştir. Sendai ve Seattle depremlerinde DÇ-2'nin alt katlarındaki katarası ötelenmelerde DÇ-1'e kıyasla belirgin azalmalar gözlenmektedir. Kobe ve El Centro depremlerinde de aynı durum gözlenmektedir fakat duvarlar incelendiğinde bu depremler sırasında alt kat duvarlarının kapasitelerinin azaldığı görülmüştür. Buna rağmen maksimum katarası ötelenmeler DÇ-1'inkilerden daha düşüktür. Buna ek olarak DÇ-2'deki toplam ötelenme talebinin, uygulanan rijitlik dağınılımlına bağlı olarak DÇ-1'dekinden düşük kaldığı görülmektedir.

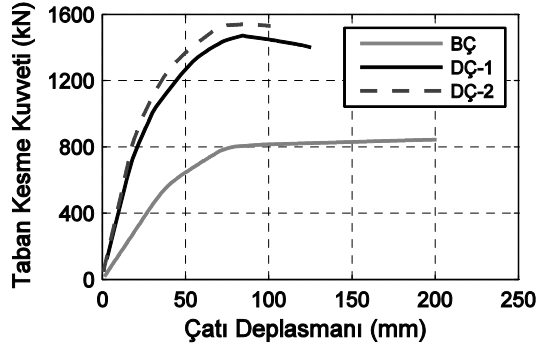


Şekil 5. Seçilen dört deprem için çerçevelerin katarası ötelenme dağınılımları

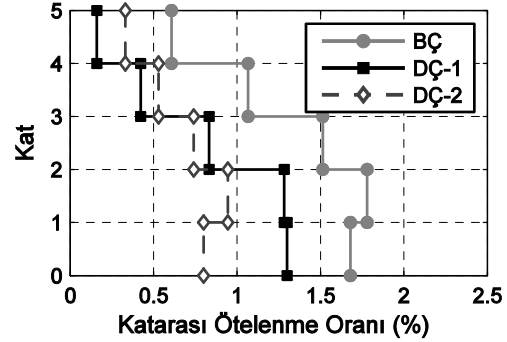
Çalışmada ayrıca çerçevelerin deprem performanslarını belirlemek amacıyla SAP2000 programı kullanılarak Türkiye'de de sıkça uygulanan artımsal itme analizi yapılmıştır. Bu analizlerde çerçevelerin, maksimum yer ivmesinin 0.4g olduğu birinci derece deprem bölgesinde, Z3 orta-sıkı zemin sınıfı üzerinde yer aldıkları varsayılmıştır. Yanal yük dağınılımı, deprem yükü yöntemiyle belirlenmiştir ve her üç çerçeve için hedef deplasman talebi DBYBHY (2007)'deki yöntemler ile tespit edilmiştir. Çerçeveler, belirlenen hedef deplasman değerlerine kadar itilerek bu noktadaki performans seviyeleri belirlenmiştir. Çerçevelerin performans eğrileri Şekil 6'da sunulmuştur. Beklendiği gibi dolgu duvar yapının rijitliğini belirgin şekilde artırmıştır. DÇ-1 ve DÇ-2'nin bağıl rijitlikleri sırasıyla BÇ'nin 2.80 ve 3.07 katıdır. Maksimum taban kesme kuvvetinin çerçeve

arırlı ma oranı BÇ için 0.17 olarak hesaplanmıştır. Bu oran, DÇ-1 ve DÇ-2 için sırasıyla 0.27 ve 0.29'a yükselmektedir.

Analiz sonunda betonarme elemanların uçlarındaki plastik mafsalların dönme de erleri de erlendirilerek çerçevelerin performans düzeyleri belirlenmiştir. De erlendirmeler sonunda BÇ'nin *göçme öncesi performans düzeyinde* olduğu ve yönetmelik artlarını sağlamadığı görülmüştür. DÇ-1'in *can güvenli i performans düzeyinde*, DÇ-2'nin ise *hemen kullanım performans düzeyinde* olduğu belirlenmiştir.



ekil 6. Çerçevelerin performans e rileri



ekil 7. Çerçevelerin hedef deplasmanlardaki katarası ötelenme da ılımları

Çerçevelerin hedef deplasmanlarında olu an katarası ötelenme da ılımları ekil 7'de sunulmuştur. En yüksek ötelenme oranı BÇ'nin ikinci katında %1.8 olarak gözlenmiştir. DÇ-1'in ötelenme oranları BÇ'ye göre daha düşük olmasına rağmen alt katlardaki yoğunla ma göze çarpmaktadır. DÇ-2'ye bakıldığında alt katlardaki yoğunla manın azaldığı, üst katların ise DÇ-1'e oranla daha fazla ötelendi i görülmektedir. Bunun sonucu olarak alt katlardaki yoğunla mayı önleyen daha dengeli bir ötelenme da ılımı olu tu u söylenebilir. ekil 6 ve ekil 7 incelendi inde dolgu duvarlı çerçevelerin ba langıç rijitlikleri ve yanal dayanımları neredeyse e tit olmasına rağmen, önerilen rijitlik da ılımının ötelenme profilini olumlu yönde etkiledi i görülmektedir.

4. ANAL Z SONUÇLARININ DE ERLEND R LMES

BÇ ve DÇ-1 için yapılan on dinamik analizin altısında dolgu duvarların düşük hasarlarda kalıp ötelenmeleri sınırlandı ı; dört analizde ise alt katlardaki duvarların kapasitelerinin a ıldı ı ve bunun sonucunda bu katlarda ötelenme yoğunla maları olu tu u görülmüştür. Analizler sonunda DÇ-1'in yanal rijitli i ba langıç de erinin yarısına dü mü ; yanal dayanımda ise maksimum dayanıma ula tıktan sonra %30'dan fazla dü ü gözlenmiştir. Bu durum, "dolgu duvarların belli bir noktaya kadar yapıdaki hasarları alt seviyelerde tutmaya yardımcı oldu unu; fakat duvarların dayanıma katkısının görece fazla oldu u yapılarda duvar göçmelerinden sonra ya anan ani dayanım dü ü lerinin a ır hasara neden olabilece i" görü ünü destekler niteliktedir (Dolšek ve Fajfar, 2001; Dolšek ve Fajfar, 2008). Bu gözlemlere dayanarak DÇ-2'nin dinamik analizleri bu dört deprem kaydı kullanılarak yapılmıştır. Bu analizler sonunda DÇ-2'nin çatı ötelenmelerinin DÇ-1'inkilerden düşük olduğu görülmüştür. El Centro depreminin ilk saniyelerindeki ani ivme artı ndan ötürü DÇ-2'nin çatı ötelenmesi DÇ-1'inkine yakla mı sa da DÇ-2'de uygulanan rijitlik da ılımının alt katlardaki ötelenme yoğunla malarını önledi i görülmüştür. Bu depremde bile DÇ-2'deki en yüksek ötelenme oranı DÇ-1'dekinden %50 daha düşüktür. El Centro dı ndaki depremlerde DÇ-2'nin en yüksek ötelenme oranının BÇ'ninkinden dahi düşük olduğu gözlenmiştir.

Dinamik analizlerin ardından yapılan artımsal itme analizlerinde de önerilen rijitlik da ılımının, ötelenme yoğunla malarını azaltarak yapının deprem performansını iyile tirdi i görülmüştür. Bu analizlerde DÇ-1'in en

yüksek ötelenme oranının BÇ'ninkinden düşük olduğu görülmüştür. Dinamik analizlere bakıldığında bu durumun sadece düşük ötelenme talebi oluşturan depremler için geçerli olduğu görülmüştür. Bir başka deyişle buradaki artımsal itme analizi, yüksek ötelenme talebi yaratan depremlerin etkilerini oluşturmada yetersiz kalmıştır. Artımsal itme ve dolası olmayan dinamik analizlerin karşılaştırmasının yapıldığı çalışmalar, artımsal itme analizlerinin bazı durumlarda yanıltıcı sonuçlar verebileceğini göstermiştir (Krawinkler ve Seneviratna, 1998; Causevic ve Mitrovic, 2010; Krawinkler ve diğ., 2011; Mahdi ve Gharaie, 2011). Artımsal itme analizinde hedef deplasman, çeşitli deprem spektrumlarının istatistiksel bir birleşimi olan tasarım spektrumu aracılığı ile belirlenir. Bu nedenle, elde edilen hedef deplasman her depremi kapsayan bir talep vermez. Bunun yanında, bu analiz tipinde çevrimsel etkiler hesaba katılmadığı için bunların oluşturacağı hasar birikimi de ihmal edilir. Bu çalışmada hedef deplasmanların, dinamik analizler sırasında en fazla talebi oluşturan dört depremdeki en yüksek deplasmanlara hemen hemen eşit olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, iki analiz tipinde dolgu duvarsız çerçevenin en yüksek ötelenme oranları da birbirine yakındır. Fakat DÇ-1 ve DÇ-2 için bu değerler, artımsal itme analizinde dinamik analize oranla daha düşük çıkmıştır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışmanın ilk aşaması, betonarme çerçevelerin deprem davranışlarının modellenmesinde uygun çevrimsel parametrelerin kullanımının önemini göstermiştir. Bunun yanında dolgu duvarlı çerçevelerdeki farklı göçme tiplerinin göz önüne alınmasının, bu çerçevelerin kapasitelerinin belirlenmesindeki gerekliliği görülmüştür. Genel olarak bakıldığında dolgu duvarlı modellerde kullanılan değerlerin basınç çubuğu yönteminin dolgu duvarlı çerçevelerin deprem davranışını modellemekte yeterli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, önerilen dolgu duvar dağınıklığının, yapının alt katlarında oluşması muhtemel ötelenme yükümlerini azaltıp deprem performansını iyileştirdiği görülmüştür. Bu sonuç, farklı özelliklerdeki dolgu duvarların bir arada kullanılarak hedeflenen birinci mod eğilimi sayesinde yapının deprem davranışının iyileştirilmesinin mümkün olabileceğini göstermektedir. Önerilen yöntem, hem mevcut yapıların güçlendirilmesinde, hem de yeni yapıların tasarımında uygulanabilme imkanına sahiptir. Gelecek çalışmalarda, bahsedilen yöntemin, yapıların güçlendirme ve tasarım amaçlarında kullanılmak üzere geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, farklı özelliklerdeki dolgu duvarların gerçek davranış özellikleri belirlenmeli ve bu duvar tipleri, hedeflenen kat rijitliklerini sağlayacak şekilde kullanılarak oluşturulacak modellerle yöntemin geliştirilmesi gerekmektedir. Sayısal çalışmalara ek olarak laboratuvar deneyleriyle de bu çalışmalardan elde edilen bulgular desteklenmelidir.

Çalışmadan elde edilen diğer bir sonuç, –hemen tüm dolgu duvarlı çalışmalarda belirtildiği gibi– dolgu duvarların yapının deprem davranışını ve hasarını dağınıklığını büyük ölçüde etkilediğidir. Bu elemanlar yapısal hesaba katılmadığı takdirde beklenenden çok farklı deprem davranışları ve dolayısıyla çok farklı ve ani hasarlar oluşturabilecektir. Buna ek olarak artımsal itme analizleri göstermiştir ki dolgu duvarlı çerçevelerde bu analiz tipi dikkatle uygulanmalı ve mühendisler bu yöntemin muhtemel yetersizliklerinin farkında olmalıdırlar.

KAYNAKLAR

Arslan, M., ve Korkmaz, H. (2007). What is to be learned from damage and failure of reinforced concrete structures during recent earthquakes in Turkey?. *Engineering Failure Analysis*, 141, 22.

Bal, E., Crowley, H., Pinho, R. ve Gülay, F. G. (2008). Detailed assessment of structural characteristics of Turkish RC building stock for loss assessment models. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28(Special Issue: Urban Earthquake Hazard and Damage Assessment), 914-932.

- Bertero, V. ve Brokken, S. (1983). Infills in seismic resistant building. *Journal of Structural Engineering*, 109, 1337-1361.
- Causevic, M. ve Mitrovic, S. (2011). Comparison between non-linear dynamic and static seismic analysis of structures according to European and US provisions. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9(2), 467-489.
- Çankaya, M. A. (2011). Dynamic behavior of reinforced concrete frames with infill walls. Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Müh. Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.
- DBYBHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yöntemlik. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- Doğangün, A. (2004). Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey. *Engineering Structures*, 26(6), 841-856.
- Dolšek, M ve P Fajfar. (2001). Soft storey effects in uniformly infilled reinforced concrete frames. *Journal of Earthquake Engineering*, 5(1), 1-12.
- Dolšek, M. ve Fajfar, P. (2008). The effect of masonry infills on the seismic response of a four-storey reinforced concrete frame – a deterministic assessment. *Engineering Structures*, 30(7), 1991-2001.
- Dönmez, C. ve Çankaya, M. A. (2013). Effect of infill walls on the drift behavior of reinforced concrete frames subjected to lateral-load reversals. *Journal of Earthquake Engineering*, 17(5), 611-636.
- Fiorato, A. E., Sözen, M. A. ve Gamble, W. L. (1970). An investigation of the interaction of reinforced concrete frames with masonry filler walls. *Civil Engineering Studies*, University of Illinois, Urbana, Illinois, UILU-ENG-70-100.
- Günay, M. S., ve Mosalam, K. M. (2010). Structural engineering reconnaissance of the April 6, 2009, Abruzzo, Italy, earthquake, and lessons learned. *PEER Report 2010*, 105.
- İnel, M. M., Özmen, H. B., İnel, S. M. ve Kayhan, A. H. (2009). Mevcut Betonarme Binaların Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Sakarya Uluslararası Deprem Sempozyumu: “ İlk on yılında Marmara Depreminin Ö rettikleri”*, 1-2 Ekim 2009, Sakarya, Türkiye, 295-304.
- Krawinkler, H. ve Seneviratna, G. D. P. K. (1998). Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation. *Engineering structures*, 20(4), 452-464.
- Krawinkler, H., Lignos, D. ve Putman, C. (2011). Prediction of nonlinear response – Pushover analysis versus simplified nonlinear response history analysis. *Structures Congress 2011 - Proceedings of the 2011 Structures Congress*. 2228-2239.
- Lepage, A. (1997). A method for drift-control in earthquake-resistant design of RC building structures. Doktora Tezi, University of Illinois, Urbana.
- Mahdi, T. ve Gharaie, V. S. (2011). Plan irregular RC frames: comparison of pushover with nonlinear dynamic analysis. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, 12(6), 679-690.
- Mainstone, R. J. (1971). On the stiffnesses and strengths of infilled frames. *Proc. Inst. Civil. Engineers*, iv 7360s, 59-70.

- Mehrabi, A. B., Benson Shing, P., Schuller, M. P. ve Noland, J. L. (1996). Experimental Evaluation of Masonry-Infilled RC Frames. *Journal of Structural Engineering*, 122(3), 228.
- Mohammadi, M., Akrami, V. ve Mohammadi-Ghazi, R. (2011). Methods to improve infilled frame ductility. *Journal of Structural Engineering*, 137(6), 646-653.
- Negro, P. ve Verzeletti, G. (1996). Effect of infills on the global behaviour of R/C frames: energy considerations from pseudodynamic tests. *Earthquake engineering ve structural dynamics*, 25(8), 753-773.
- Preti, M. M., Bettini, N. N. ve Plizzari, G. G. (2012). Infill walls with sliding joints to limit infill-frame seismic interaction: Large-scale experimental test. *Journal of Earthquake Engineering*, 16(1), 125-141.
- Pujol, S. ve Fick, D. (2010). The test of a full-scale three-story RC structure with masonry infill walls. *Engineering Structures*, 32(10), 3112-3121.
- Sezen, H., Whittaker, A. S., Elwood, K. J. ve Mosalam, K. M. (2003). Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey. *Engineering Structures*, 25(1), 103-114.
- Smith, B. S. (1966). Behavior of square infilled frames. *Journal of the Structural Division*, 92(1), 381-404.
- TS500 (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.