

YÜKSEK YAPILARDA BETONARME PERDE DUVARLARIN KESME DAVRANIŞININ PARAMETRİK İNCELENMESİ

PARAMETRIC INVESTIGATION OF SHEAR BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE SHEAR WALLS IN TALL BUILDINGS

Ali İhsan ÖZCAN¹ ve Barış ERKUŞ²

ÖZET

Bu bildiriye, betonarme yüksek binalarda perde kalınlığı ve kesme donatısının perde kesme davranışına olan etkisi doğrusal olmayan zaman-tanım alanında analizler ve doğrusal olmayan kesme modelleri kullanılarak. Yüksek bina perde duvarlarının kesme kuvvetleri için tasarımında, yönetmeliklerin uygulanması neticesinde elde edilen tasarımın (boyut ve donatı) gerçek deprem davranışının ne olacağı üzerine detaylı çalışmalar mevcut değildir. Bu çalışma kapsamında, perde duvar kesme davranışını incelemek için Türkiye’de inşası yakın dönemde tamamlanmış olan 43 katlı betonarme perde duvarlı bir yapı örnek olarak ele alınmıştır. İlk olarak, farklı perde duvar kalınlıklarının tepe yer değiştirmesi, taban kesme kuvvetleri ve perde eksenel ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri doğrusal analizler ile incelenmiştir. İkinci olarak, sabit perde duvar kalınlıkları üzerinde kesme donatısı oranları değiştirilerek, kesme davranışı da dahil olmak üzere doğrusal olmayan yapı modeli oluşturulmuş ve 2500 yıllık tasarım ivme spektrumuna ölçeklendirilmiş yedi çift tarihsel deprem ivme kaydı için zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiştir. Farklı kesme donatısı oranlarının genel yapı davranışına ve perde duvarların kesme davranışına etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, perde duvar kalınlığındaki bir artışın aynı oranda yapı performansına yansımadağı görülmüştür. Ayrıca kesme kuvvetlerinin narinlik oranından önemli ölçüde etkilendiği ve mevcut yönetmelikler ile tasarlanmış düşük narinliğe sahip duvarlarda doğrusal olmayan kayma şekil değiştirmelerinin meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek yapı, betonarme, perde duvar, kesme, doğrusal olmayan davranış

ABSTRACT

In this paper, effects of thickness and shear reinforcement of shear walls of reinforced concrete (RC) tall buildings on the shear behavior of the walls are investigated. In the design of shear walls of tall buildings for shear forces, detailed research on the actual seismic behavior of the design resulted from structural codes (thickness and reinforcement) is not available. In this study, a 43-story RC tall building that is recently constructed in Turkey is considered as an example for investigation of the shear behavior of the walls. In the first part, effects of the wall thickness on the roof displacement, base shear and wall axial and shear forces are investigated using linear analyses and varying the wall thickness. In the second part, several nonlinear models, including nonlinear shear models for walls, are established and time-history analyses are conducted using seven historical ground motion acceleration data that are scaled to 2500 years acceleration design spectrum. Effect of different shear reinforcement on the overall behavior of the structure and the shear behavior of the walls is investigated. The results show that thicker shear walls do not always translate into better structural performance. It is also observed that slenderness of the walls effects the behavior of the walls, and less slender walls that are designed according to the structural codes may exhibit nonlinear shear deformations.

Keywords: Tall buildings, reinforced concrete, shear wall, shear, nonlinear

¹ İnşaat Yüksek Mühendisi, Ülker Mühendislik, İstanbul, aliozcan.ce@gmail.com

² Yrd. Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, bariserkus@gmail.com

GİRİŞ

Son yıllarda nüfus yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde, talebin ve yatırımların artmasıyla yüksek yapıların sayısı gittikçe artmıştır. Bu yapılarda kullanım amacına, yerel şartlara ve maruz kalacağı etkilere göre çeşitli taşıyıcı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerin birçoğunda betonarme perde duvarlar kullanılmaktadır. Yanal rijitliği sağlayan ana elemanlar olmaları nedeniyle betonarme perde duvarlar ve bunların davranışı yapı güvenliğinin sağlanması açısından büyük önem taşır.

Betonarme perde duvarların deprem ve diğer yükler için tasarımı genelde kesit tesirlerine bağlı olarak üç ana başlık altında yapılmaktadır: eksenel yükler, eğilme ve kesme. Eksenel yükler altında tasarım birçok durumda eksenel gerilmelerin sınırlandırılması ile sağlanır. Eğilme tasarımı kolon eğilme tasarımına benzer olarak, eğilme-eksenel yük etkileşimi göz önüne alınarak yapılır. Eksenel yükler ve eğilme altında davranış ve bu tesirler için tasarım, mühendisler ve araştırmacılar tarafından nispeten iyi anlaşılan konulardır. Kesme kuvvetleri ve davranışı, eksenel ve eğilme tesir ve davranışlarının aksine, kesme mekaniğinin karmaşıklığı, etkin modelleme yapabilecek araçların azlığı ve benzer nedenlerden dolayı daha az anlaşılmaktadır.

Yönetmeliklerde, perde duvarların kesme tasarımı için izlenen yaklaşım, hem tasarım kesme kuvvetleri altında hem de sünek davranışın sağlanması için plastik moment kapasitesine denk gelen kesme kuvvetleri altında kesme bakımından perdelerin kesme bakımından doğrusal davranması üzerine kuruludur. Bu amaçla doğrusal modeller kullanılır ve kesme kuvvetleri doğrusal analizlerden elde edilir. Kesme tasarımında ana parametreler perde kalınlığı ve kesme donatı miktarıdır. Perde kalınlığı birçok durumda eksenel yükler tarafından tayin edilir ve kesme kuvvetleri için kontrol edilir. Yüksek binalarda, kesme kuvvetleri yapı performansının incelenmesi çerçevesinde doğrusal kesme modelleri ile bulunur ve kesme bakımından perdelerin doğrusal kalıp kalmadığı kontrol edilir. Ancak, birçok durumda geçek kesme davranışı incelenmez. Bundan dolayı seçilen perde kalınlığının ve donatı miktarının perde kesme ve yapı davranışına olan etkileri bilinmemektedir. Literatürde yüksek yapılarda bu konu üzerine yapılan detaylı parametrik araştırmalar azdır ya da bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, yüksek binaların betonarme perde duvarların tasarımında seçilen perde duvar kalınlığının ve kesme donatı miktarının kesme ve yapı davranışına olan etkisi araştırılmıştır. İlk bölümde betonarme elemanlarda kesme direnci ve kesme kapasitesi ile ilgili literatür araştırması sunulmuştur. İkinci bölümde örnek yapı özellikleri ve mevcut tasarımın performans değerlendirmesi özet olarak verilmiştir. Üçüncü bölümde aynı yüksek yapı üzerinde farklı betonarme perde duvar kalınlıklarının davranışa ve tasarıma etkisi doğrusal analiz yöntemleri ile araştırılmıştır. Dördüncü bölümde ise seçilen çeşitli perde kalınlıkları için farklı oranlarda kesme donatısı belirlenmiş ve bu donatı miktarları için doğrusal olmayan kesme modelleri oluşturulmuştur. Bu modeller, doğrusal olmayan yapı modellerinden kullanılmıştır ve her bir model 2500 yıllık deprem spektrumuna ölçeklendirilmiş yedi adet deprem ivme kaydı kullanılarak doğrusal olmayan zaman-tanım analizlerine tabi tutulmuştur. Sonuçlar grafiksel olarak sunulmuş, perde kalınlığının ve kesme donatısının yapı davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

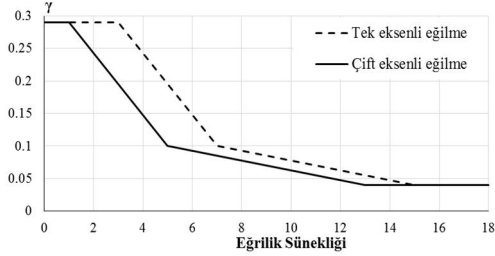
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Betonarme elemanlarda kesme direncinin oluşumu ve dinamik etki altında kesme davranışı hakkında birçok çalışma mevcuttur (örnek: Oesterle ve diğerleri, 1976; Park ve Paulay, 1976; Nilson, Darwin ve Nolan, 2009; Gerin ve Adebar, 2004; Paulay, Priestley ve Synge, 1979). Örnek olarak, Park ve Paulay (1976) betonarme kesitte kesme direncini oluşturan bileşenleri çatlak yüzeyleri boyunca agregaların kilitlemesi, boyuna donatıların makaslama etkisi, beton basınç bölgesinde betonun kesme dayanımı, basınç ve çekme çubukları yaklaşımı ile betonun ve donatının katkısı ve çatlama betonun çekme dayanımı olarak açıklamışlardır.

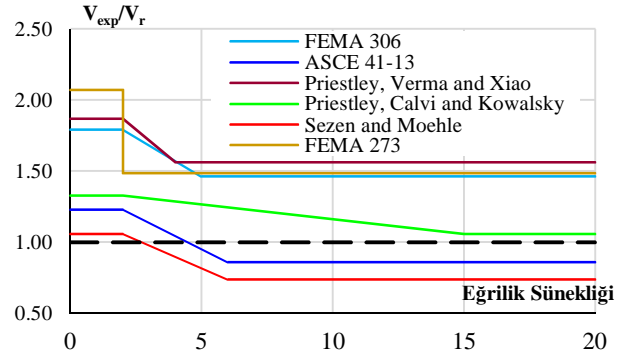
Kesme davranışı hakkında bir diğer araştırma konusu da elastik ötesi eğilme davranışı altında kesitin kesme kapasitesidir. Betonarme bir kesit üzerinde elastik ötesi eğilme şekil değiştirmelerinin artması ile kesitin kesme kapasitesinin düşeceği öne sürülmüştür (örnek: Priestley ve diğerleri, 1994; Kowalsky ve Priestley, 2000; Biskinis ve diğerleri, 2004). Biskinis ve diğerleri (2004) elastik ötesi davranış ile birlikte kesme kapasitesinin düşmesinin nedenleri arasında her bir yük çevrimi ile birlikte

agreganın yüzeyleri daha az pürüzlü hale gelerek aktarılabilir kesme yükünün azalmasını, çevrimsel yükleme sonucu boyuna donatılarda plastik şekil değiştirmenin birikerek artması sonucu boyuna donatıların makaslama etkisiyle aktarılabilir kesme kuvvetinin azalmasını, eğilme çatlaklarının kesitte yayılması ve bunun sonucu olarak basınç etkisi altındaki betonun kesme direncinin azalmasını, donatının sıyırılması ve donatıda plastik şekil değiştirmenin artması ile çatlakların genişlemesi ve agregaların birbirlerinden kurtulmasını ve betonun yumuşaması ve bunun sonucu olarak asal basınç çubuğu etkisinin de azalmasını gösterir (2004).

Kesit üzerinde artan eğilme şekil değiştirmeleri ile kesme kapasitesindeki düşüş arasındaki ilişki için çeşitli modeller ortaya konmuştur. Bu modellere örnek olarak, Kowalsky ve Priestley (2000) tarafından önerilen model gösterilebilir. Bu modelde kesme kapasitesi üç bileşenden oluşmaktadır: betonun katkısı, donatının katkısı ve eksenel kuvvetin katkısı. Artan doğrusal olmayan davranış ile birlikte çatlakların açılması ve agregaların kilitlenememesi nedeniyle, betonun kesme direncine katkısında bir düşüş tanımlanmıştır. Bu düşüş doğrusal olmayan davranışa bağlı bir γ katsayısı ile formüle edilmiştir (Şekil 1). Farklı kesme direnci mekanizmalarını kabul eden çalışmalar, birbirlerinden farklı sonuçlar vermektedir. Şekil 2’de önerilmiş diğer bazı modellerin örnek bir kesit üzerinden verdiği sonuçlar sunulmuştur.

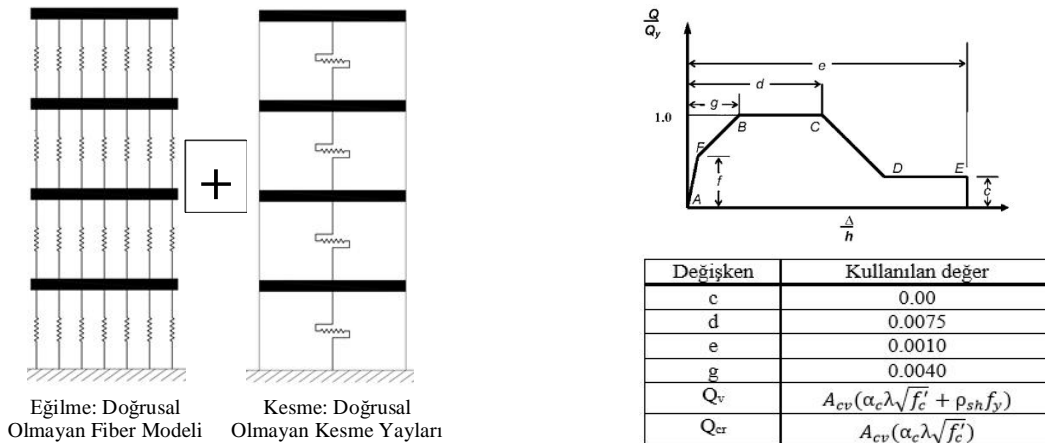


Şekil 1. Eğilme sünekliği- γ faktörü ilişkisi (Kowalsky ve Priestley, 2000)



Şekil 2. Süneklik-kesme kapasitesi modelleri

Bu çalışmada ASCE 41-13’de önerilen doğrusal olmayan kesme modeli kullanılmıştır (Şekil 3). Bu modelde kesme çatlaklarının oluşumu göz önünde tutulmuştur. Sabit bir eşdeğer kayma modülü yerine, çatlak oluşana kadar brüt kayma modülü daha sonra da çatlamış kesite ait kayma modülü kullanılabilir. Perde duvarlar için tanımlanan doğrusal olmayan eğilme ve kesme modelleri etkileşimsizdir. Perde duvarın doğrusal olmayan modelinde eğilme davranışının temsil edilebilmesi için doğrusal olmayan fiber elemanlar, kesme davranışını tanımlayabilmek için doğrusal olmayan kesme yayları kullanılmıştır (Şekil 3).

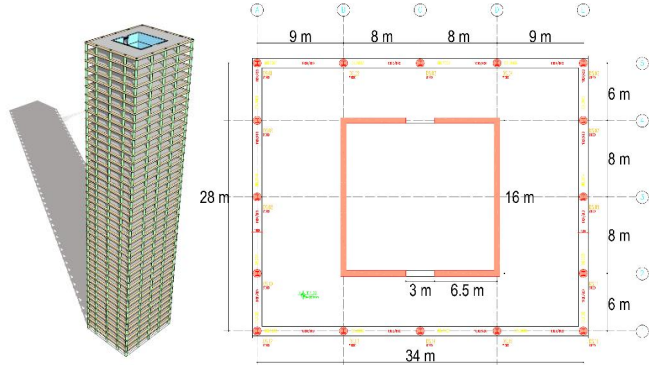


Şekil 3. Perde duvarların doğrusal olmayan eğilme ve kesme modelleri ve ASCE 41-13 kesme modeli

ÖRNEK YAPI

Bu bölümde örnek yapı hakkında bilgiler ve mevcut halinin performans değerlendirilmesi özet olarak verilmiştir.

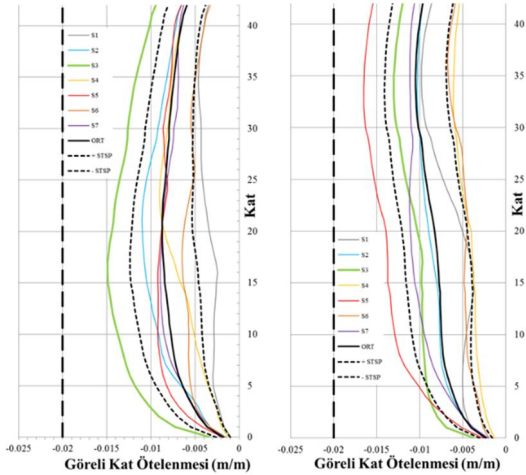
Örnek yapının tasarımı Türk Yapı ve Deprem Yönetmeliklerine ve uluslararası yüksek bina deprem tasarım kılavuzlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bina 43 katlı olup, kat yükseklikleri eşit ve 3.8 m'dir. Tüm yapının yüksekliği 163.4 m'dir. Ayrıca bina her katta Şekil 4'de gösterilen tipik plana sahiptir. Yapı elemanlarının boyutları ve malzeme kaliteleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Çevre kolon boyutları tüm bina yüksekliği boyunca aynıdır.



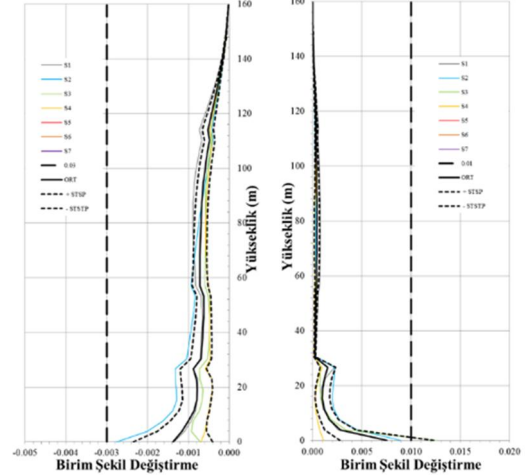
Şekil 4. Örnek yapının 3 boyutlu modeli ve tipik kat planı

Tablo 1. Yapı elemanları kesitleri ve malzemeleri

Yapı Elemanı	Kesit	Malzeme
Döşemeler	26 cm plak döşeme	C45/55
Çevre kirişler	100/60 cm betonarme kiriş	C45/55
Kolonlar	85 cm çaplı kompozit kolon	C45/55
Perde duvarlar	70 cm (Temel~15. Kat) 60 cm (16. Kat~30. Kat) 50 cm (31. Kat~43. Kat)	C45/55
Bağ kirişleri	HE 650M	S355
Kompozit kolon profilleri	HD 400x677	S450 HISTAR



Şekil 5. X ve Y doğrultusunda görel kat ötelemeleri (Erdemli, 2015)



Şekil 6. Perde duvarlarda donatılarda birim uzama ve betonda birim kısalma değerleri (Erdemli, 2015)

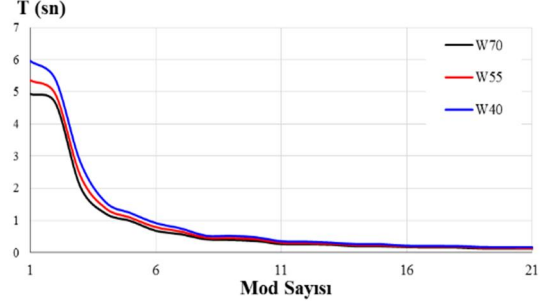
Yapılan diğer bir çalışmada örnek yapının performansı değerlendirilmiştir. (Erdemli, 2015). Örnek yapı performansı göstergeleri olarak görel kat ötelemeleri ve perde duvarlarda beton ve donatıda birim şekil değiştirmeleri verilmiştir. Örnek yapının performans analizlerinde kesme davranışı elastik kabul edildiği için kayma deformasyonlarının mertebesi bilinmemektedir.

Şekil 5'da görüleceği üzere, D3 deprem seviyesinde görel kat ötelemeleri %1 değerini geçmemektedir ve limit olarak belirlenen %3 değerinin altında kalmaktadır. Çekirdek perde duvarlarda ise donatı ve beton birim şekil değiştirme değerleri "Hemen Kullanım Performans Seviyesi" (DBYBHY, 2007) şartını sağlamaktadır (Şekil 6).

PERDE DUVAR KALINLIĞININ DAVRANIŞA ETKİSİ

Bu bölümde perde duvar kalınlığının davranışa olan etkisi doğrusal analizler ile incelenmiştir. İlk önce doğrusal analizlerde kullanılan kontrol modelleri açıklanmıştır. Sonra analiz sonuçları grafiksel olarak sunulmuştur. Bu bölümde yapılan analizlerde ETABS (CSI, 2015) programı kullanılmıştır.

Davranış üzerinde perde duvar kalınlığının etkisi incelemek amacıyla örnek yapıda sadece perde duvar kalınlıkları değiştirilmiştir. (Tablo 2). Yapıda perde duvar kalınlıklarını değiştirildiğinde yapı periyotlarında meydana gelen farklılıklar Şekil 7’de, oluşan taban kesme kuvvetleri de Tablo 3’de gösterilmiştir. Perde duvarlarının inceltmesiyle birlikte yapı rijitliğinin düşmesi sonucu taban kesme kuvvetleri bir miktar azalmıştır. Fakat Türk Deprem Şartnamesi’nde (DBYBHY, 2007) tasarıma esas taban kesme kuvvetinin en küçük alabileceği değer %4 ile sınırlandırıldığı için kat kesme kuvvetlerindeki düşüş tasarımda olumlu bir etki oluşturmamaktadır.



Şekil 7. Kontrol modellerinin periyotları

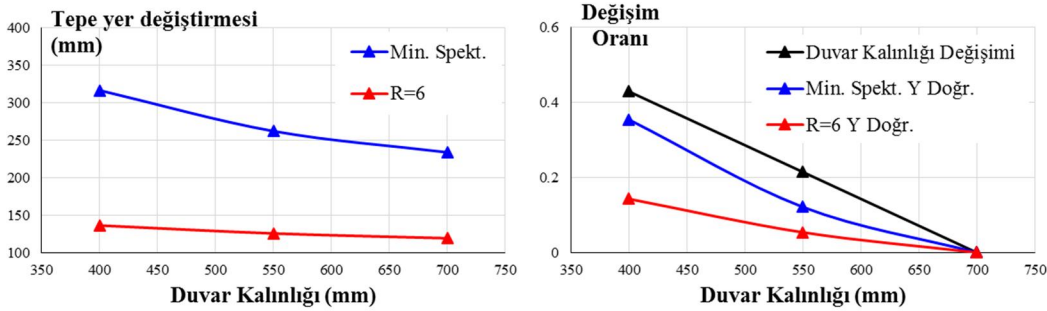
Tablo 3. Taban kesme kuvvetleri

Tablo 2. Perde duvar kalınlıkları

Model	0 - 15	16 - 30	31 - 43
W70	70 cm	60 cm	50 cm
W55	55 cm	45 cm	35 cm
W40	40 cm	30 cm	30 cm

Model	Sismik Ağırlık (kN)	Doğrultu	Taban Kesme Kuvveti (kN)	%4 Taban Kesme Kuvveti (kN)	Spektrum Arttırma Katsayısı
W70	731993	X	12034	29280	2.433
		Y	14940	29280	1.960
W55	696454	X	10259	27858	2.716
		Y	13351	27858	2.086
W40	668077	X	8785	26723	3.043
		Y	11504	26723	2.323

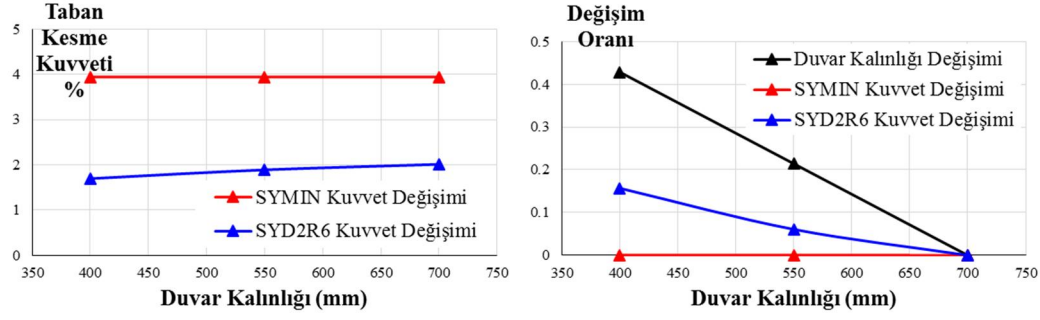
Yapılan çalışmada; perde duvarlar üzerindeki tepe yer değiştirme, taban kesme kuvvetleri, perde duvar üzerindeki kesme kuvveti görelî kat öteleme değerleri üzerinden kıyaslamalar yapılmıştır. Bu parametreler üzerinde hem gerçek değerler üzerinden hem de değişim oranları üzerinden karşılaştırmalara yer verilmiştir.



Şekil 8. Tepe yer değiştirme değerleri ve değişim oranları

Şekil 8’de görüldüğü gibi perde duvar kalınlığının azalması ile tepe yer değiştirme değerlerinde çok büyük bir değişim olmamıştır. Bu sonuç için, kalınlığın azaltılmasıyla sismik kütlelerin düşmesi de bir neden olarak gösterilebilir. Fakat yönetmeliklerde tasarıma esas en küçük taban kesme kuvveti yönetmeliklerde sınırlandırılmış olması sebebiyle bu avantaj gölgelenmiş olmasına rağmen, tepe yer değiştirmelerdeki artış görece olarak perde duvar kalınlığının değişim oranının altında kalmıştır.

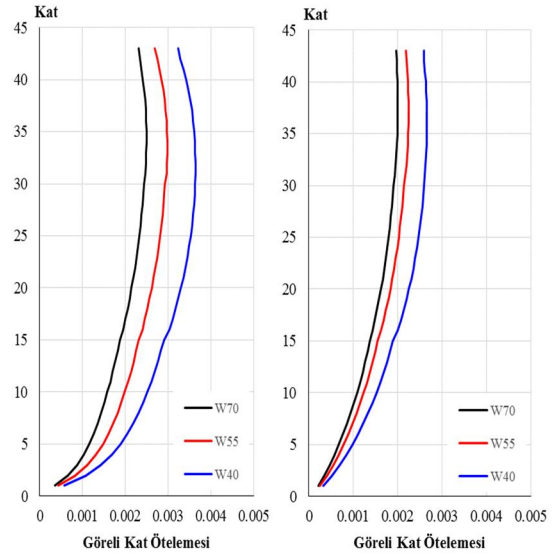
Taban kesme kuvveti, sismik ağırlığa oranlandığında, perde duvar kalınlığının azaltılması ile rijitliğin azalması ile düşük değerler almıştır (Şekil 9). Fakat tasarıma esas taban kesme kuvvetleri kütle ile orantılı olduğundan, taban kesme kuvveti oranı açısından bir değişiklik oluşmamıştır.



Şekil 9. Y doğrultusunda taban kesme değerleri ve değişim oranları

Şekil 10'da görel kat ötelemeleri gösterilmiştir. Görel kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetinin sismik ağırlığa oranının %4 olduğu yükleme durumu için elde edilmiştir. Perde duvar kalınlığının azalmasıyla görel kat ötelemelerinde bir miktar artış gözlenmiştir. Bu artış üzerinde yönetmeliklerce tasarım kuvvetlerinin sınırlandırılması daha etkili olmuştur. Fakat her durumda görel kat ötelemeleri sınır değerlerin altındadır.

Bu bölümde ulaşılan sonuçlar perde duvar kalınlığı ile tasarıma etkisi olan değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olmadığını göstermektedir. Yönetmeliklerin izin verdiği ölçüde perde kalınlıklarını küçük tutarak, daha verimli ve ekonomik bir taşıyıcı sistem oluşturulabilir. Perde duvar kalınlıkları azaldığında yapı rijitliği bir miktar düşmüş olsa da, yer değiştirme değerleri belirli sınırlar altında kaldığından, olumsuz bir durum oluşmamıştır.



Şekil 10. X ve Y doğrultusunda görel kat ötelemeleri

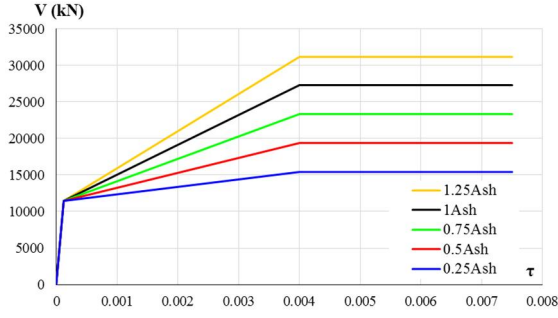
KESME DONATISI ORANININ KESME DAVRANIŞINA ETKİSİ

Bu bölümünde perde duvarlarda kesme donatısının değişmesiyle, tüm yapı ve perde kesme davranışının nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Bunun için aynı perde duvar kalınlığı üzerinden farklı kesme donatısı miktarları belirlenerek, kontrol modelleri oluşturulmuştur. Bu kontrol modellerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri tamamlanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu bölümde kıyaslanan değerler, her bir parametre için ilgili deprem kaydı nedeniyle oluşmuş en büyük değerlerdir. Bu bölümde yapılan analizlerde PERFORM3D (CSI, 2015) programı kullanılmıştır.

Kontrol Modelleri

Bir önceki bölümde W55 olarak adlandırılan ve alt katlardaki perde duvar kalınlıkları 55 cmm olan model baz olarak alınmıştır. Bu duvar kalınlığı ile Türk Deprem Şartnamesi (DBYBHY, 2007) dahilinde tasarım yapılmıştır. Baz model, Türk Deprem Şartnamesi'ne göre tekrar tasarlanmıştır. Perde duvarların kesme tasarımında taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=2$ alınarak perde duvarların kesme donatı oranları belirlenmiştir. Diğer kontrol modelleri, baz model kesme donatılarını %125, %75, %50 ve %25 oranlarında artırılarak veya azaltılarak oluşturulmuştur (Tablo 4). Bu donatılar ile elde edilen doğrusal olmayan kesme modelleri Şekil 11'de gösterilmiştir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde, Tablo 5'de gösterilen deprem kayıtları kullanılmıştır. Deprem kayıtları gerçek depremlerden elde edilmiş olup, yapının bulunduğu bölgenin depremsellik özelliklerine ölçeklendirilmiştir.



Şekil 11. Kontrol modellerinde 16 m uzunluğundaki perde duvar için örnek doğrusal olmayan kesme modelleri

Tablo 4. Kontrol modellerinde kesme donatısı miktarları

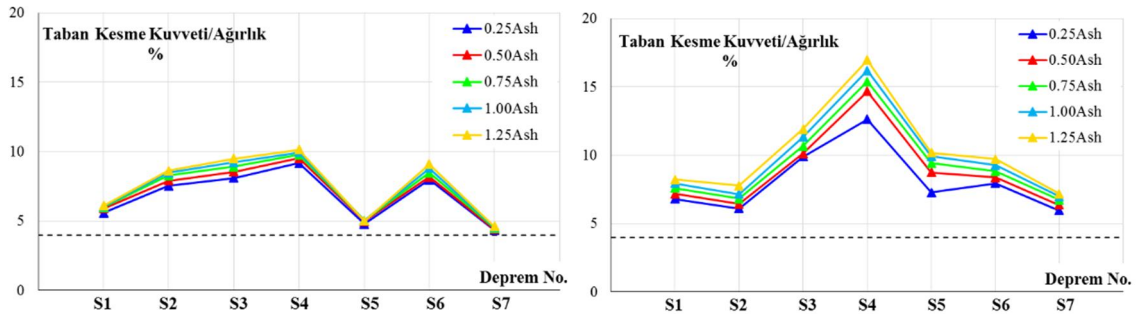
Model ismi	Açıklama
0.25A _{sh}	R=2 ile tasarlanan kesme donatısının %25'i kadar kesme donatısı
0.50A _{sh}	R=2 ile tasarlanan kesme donatısının %50'si kadar kesme donatısı
0.75A _{sh}	R=2 ile tasarlanan kesme donatısının %75'i kadar kesme donatısı
1.00A _{sh}	R=2 ile tasarlanan kesme donatısı
1.25A _{sh}	R=2 ile tasarlanan kesme donatısının %125'i kadar kesme donatısı

Tablo 5. Kullanılan deprem kayıtları

Deprem No.	PEER No.	Depremin Konumu	Süre (sn)	Aralık (sn)	Ölçek. Katsayısı
S1	180	El Centro, ABD	39.280	0.005	1.17
S2	266	Chihuahua, Meksika	26.910	0.010	3.59
S3	549	Bishop, ABD	39.975	0.005	4.49
S4	821	Erzincan, Türkiye	20.775	0.005	1.92
S5	838	Landers, ABD	39.980	0.020	3.44
S6	1165	Kocaeli, Türkiye	29.995	0.005	2.79
S7	1176	Kocaeli, Türkiye	34.995	0.005	0.91

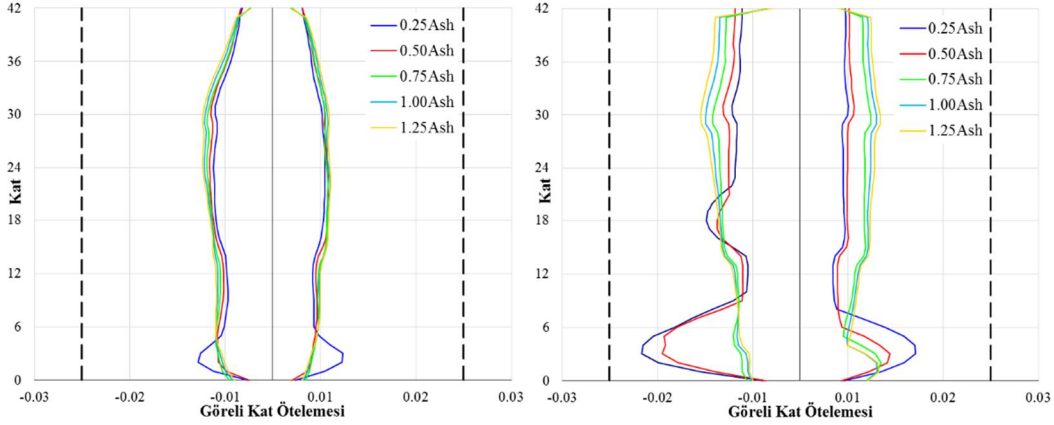
Kesme Donatısı Oranlarının Yapı Davranışına Etkisi

Zaman tanım alanında yapılan çözümler neticesinde, X doğrultusunda ağırlığın ortalama %7.2'si, Y doğrultusunda ortalama %9.3'ü kadar taban kesme kuvveti oluşmuştur (Şekil 12). Daha fazla kesme donatısına sahip modellerde, rijitlik kaybı daha az olduğu için daha yüksek taban kesme kuvvetleri gözlemlenmiştir.



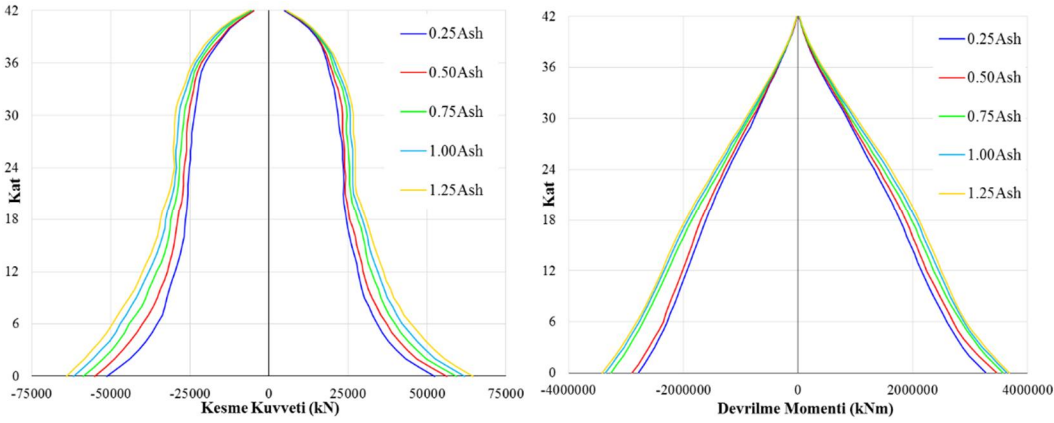
Şekil 12. X ve Y doğrultusunda en büyük taban kesme kuvvetleri ve %4 taban kesme kuvveti

Görelî kat ötelemeleri incelendiğinde, perde duvar narinlik oranlarının kesme kuvvetleri üzerinde önemli oranda etkisi olduğu görülmektedir (Şekil 13). Bu çalışmada ele alınan yapıda X doğrultusundaki rijitliğin büyük bir bölümü birbirine bağ kirişleri ile bağlı 6.5 m uzunluğundaki perde duvarlar tarafından sağlanmaktadır. Y doğrultusunda ise rijitliğin ana unsuru 16 m uzunluğundaki perde duvarlardır. Perde duvarların narinlik oranı, perde duvar yüksekliğinin perde duvar uzunluğuna oranı olarak tanımlanabilir. Bu çalışmadaki iki tip perde duvardan; 6.5 m uzunluğundaki perde duvarın narinlik oranı 25.14 iken 16 m uzunluğundaki perde duvarın narinliği 10.21'dir Yapının iki doğrultuda davranış farklılaşması incelendiğinde; narinlik oranı azaldıkça, kesme kapasitesinin genel davranış üzerinde daha önemli olmaya başladığı görülmektedir. X doğrultusunda %25, Y doğrultusunda %50 kesme donatısının altına düşüldüğünde alt katlarda kayda değer deformasyonlar gözlenmiş ve görelî kat ötelemeleri artmıştır.



Şekil 13. X ve Y doğrultusunda en büyük görelî kat ötelemeleri ve performans limiti

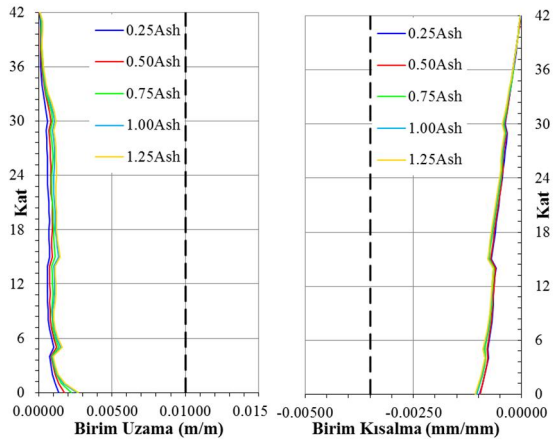
Daha fazla kesme donatısı ile oluşturulmuş perde duvarlı sistemlerin, daha büyük deprem kuvvetlerine maruz kaldığı görülmüştür (Şekil 14). Bunun nedeni daha fazla donatı ile oluşturulan perde duvarların rijitlik kaybının az olmasıdır. Kat kuvvetlerinde bir miktar farklılık oluşsa da bu farkların düşük seviyelerde kaldığı gözlenmiştir.



Şekil 14. Y doğrultusunda en büyük kat kesme kuvvetleri ve kat devrilme momentleri

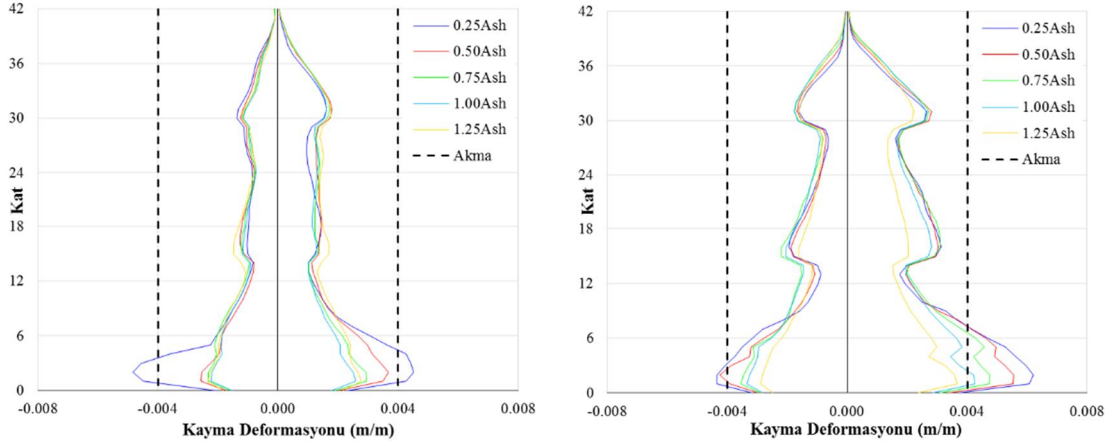
Elde edilen sonuçları özetlemek gerekirse, perde duvarlarda eğilme davranışı altında ilgili performans seviyelerine nazaran oldukça küçük şekil değiştirmeler olduğu gözlenmiştir (Şekil 15). Betonarme perde duvarlarda beton ve donatı birim şekil değiştirmelerinin tüm kontrol modellerinde “Hemen Kullanım Performans Seviyesi” değerlerinin oldukça altında kaldığı görülmektedir. Ayrıca kesme donatısı oranlarındaki değişimlerin eğilme davranışı üzerinde pek bir etkisi olmadığı gözlenmektedir. Fakat bu noktada, çalışmada kullanılan davranış modellerinin etkileşimsiz, birbirlerinden izole modeller olduğu göz önünde tutulmalıdır.

6.5 m uzunluğundaki duvarlarda kesme donatısı miktarı %75'in altına düştüğünde, kayma şekil değiştirmeleri kayda değer bir şekilde artmıştır. Ancak sadece %25 kesme donatısı ile kesme akması şekil değiştirme seviyelerine ulaşılabilmiştir. Diğer donatı miktarlarına sahip perde duvarlı sistemlerde,



Şekil 15. Donatıda birim uzama ve betonda birim kısalma değerleri ve performans limiti

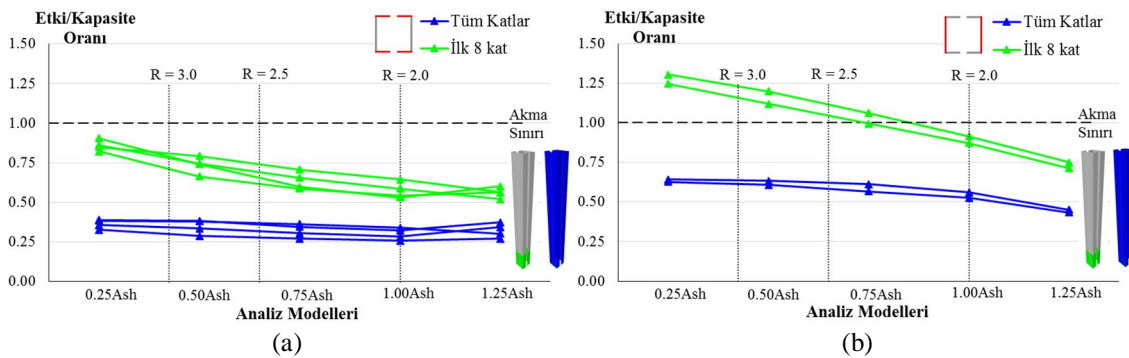
deformasyonlarda bir artış gözlemlense de, davranış yaklaşık olarak doğrusal kabul edilebilecek bölgede kalmıştır (Şekil 16).



Şekil 16. 6.5 m ve 16 m uzunluğundaki perdelerde kayma deformasyonları

16 m uzunluğundaki duvarda sonuçlar kritik seviyeleri göstermektedir. Mevcut yönetmelikler ile yapılan, donatısı azaltılmamış, duvarlarda kesme akması gözlemlenmiştir. Bu sonuçların ortalama sonuçlar olduğu dikkate alınır, tekil depremlerin sonuçlarının daha kritik olacağı anlaşılmaktadır. Narinlik oranı düştüğünde, mevcut yönetmeliklerle ve $R=2$ deprem kuvvetleri ile yapılan tasarımın, kesme davranışı için kesme akması seviyesinin altında kalma hedefinin tutturulamadığı görülmüştür.

Bu çalışmada ayrıca mertebeleri daha rahat anlayabilmek ve sonuçları daha basite indirgeyebilmek için, analizi yapılan çekirdek perde duvar sisteminin kesme güvenliği seviyeleri için sayısal bir endeks tanımlanmıştır (Şekil 17). Bu sayısal endeks bir etki-kapasite oranı şeklindedir. Bu endekste etki, analizden elde edilen en büyük kayma şekil değiştirmeleri; kapasite ise akma şekil değiştirmesi olarak tanımlanmıştır. Etkinin kapasiteye oranının 1.0 olduğu değer sınır değer olarak kabul edilmiştir. Burada yaygın olarak benimsenmiş kapasite tasarımı yaklaşımına göre, betonarme elemanların doğrusal kesme davranışı göstermesi ve kesme akması oluşmaması hedeflendiği göz önünde bulundurulmuştur. Her bir duvar için elde edilen etki-kapasite oranının, tüm katlar boyunca ve ilk 8 kat olmak üzere iki farklı ortalaması alınmıştır. Oluşturulan sayısal endeks ile birlikte, etki-kapasite oranlarının ortalamaları her kontrol modeli için belirlendiğinde; duvarlardaki kesme donatısı oranı ile kesme güvenliği arasında bir ilişki oluşturulmaya çalışılmıştır. Ayrıca farklı kesme donatıları ile donatılandırılmış betonarme perde duvarlar, bir başka bakış açısıyla perdelerin kesme donatılarının farklı taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ile azaltılmış deprem yükleri ile tasarım yapılmış betonarme perde duvarlar olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle Şekil 17’de farklı kesme donatısı miktarlarına karşılık gelen, tasarımda seçilen R katsayıları da gösterilmiştir.



Şekil 17. (a) 6.5 m uzunluğundaki duvarlarda etki-kapasite oranları

(b) 16 m uzunluğundaki duvarlarda etki-kapasite oranları

SONUÇ

Bu bildiriye, betonarme perde duvarlı bir yüksek yapıda perde duvar kalınlığının ve perde duvarlarda kesme donatısı oranının davranışa etkisi araştırılmıştır. Bu doğrultuda, perde duvar kalınlığının davranış üzerine etkisini anlamak için doğrusal analizler, kesme donatısı oranının etkisini anlamak için ise perdeler için doğrusal olmayan eğilme ve kesme modelleri tanımlanıp zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilerek sonuçlar sunulmuştur.

Perde duvar kalınlıkları ile ilgili yapılan doğrusal analizlerde perde duvar kalınlıkları azalması ile yapının esnekliği artmış ve oluşan deprem kuvvetleri azalmıştır. Bundan dolayı perde kalınlığında artış, yapıda her zaman daha güvenli bir durum oluşturmayabilir.

Kesme kuvvetinin, narinlik oranı daha düşük perde duvarlarında daha etkin olduğu ve kesme donatı oranlarının değişmesi bu tür perde duvarların kapasitesinde görünür farklar oluşturmuştur. 16 m uzunluğundaki perde duvarların etkin olduğu Y-doğrultusunda alt katlarda görelî kat ötelemeleri, kesme donatısı miktarı %75'in altına düştüğünden ciddi oranda artmıştır. 6.5 m uzunluğundaki perde duvarların etkin olduğu X-doğrultusunda ise kesme donatısı miktarı ancak %50'nin altında düştüğünde alt katlarda görelî kat ötelemelerinde artış gözlenmiştir. Bu durum, betonarme perde duvarlarda oluşan kayma akma şekil değiştirmelerinin bir sonucudur. Perde duvarlarda kayma şekil değiştirmeleri farklı ortalama değerler hesaplanarak genelleştirildiğinde, narinlik oranı 25.14 olan 6.5 m uzunluğundaki duvarlarda, bu çalışmanın kapsamı içinde kesme güvenliği açısından kritik seviyelere ulaşılmamıştır. Fakat narinlik oranı 10.2 olan 16 m uzunluğundaki duvarlarda kesme tasarımında kullanılacak R katsayısı 2.25'in üzerinde seçilmesi durumunda kesme akması oluşmuştur. Kesme güvenliği açısından kritik seviyeye denk gelen R değeri, duvar narinlik oranının düşmesiyle azalacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR VE BİLGİLENDİRME

Yazarlar, bu çalışmanın tamamlanabilmesi için gerekli yazılımları sağlayan İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ahşap ve Çelik Yapılar Birimi'ne teşekkür ederler.

Bu çalışma yazarlardan Ali İhsan Özcan'ın 2015 yılında tamamlamış olduğu yüksek lisans tezinden (Özcan, 2015) derlenmiştir. Daha detaylı bilgi bu tezde bulunabilir.

KAYNAKLAR

- ACI 318M-11 (2001) Building Code Requirements of Structural Concrete (ACI318M-11) and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- ASCE/SEI 41-16 (2013) Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, VI.
- Biskinis DE., Roupakias GK, ve Fardis MN (2004) "Degradation of Shear Strength of Reinforced Concrete Member with Inelastic Cyclic Displacements", ACI Structural Journal, Vol. 101, No. 6, Sf. 773-783.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Erdemli ME (2015) Sönümleyiciler ile Bağlı Betonarme Perde Duvarlı Yüksek Yapılarda Eşdeğer Sönümleme Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- ETABS (2015), Integrated Building Design Software, Computer and Structures, Inc., Berkeley, CA.
- FEMA 273 (1997) NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- FEMA 306 (1998) Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Gerin M ve Adebar P (2004) "Accounting for Shear in Seismic Analysis of Concrete Structures", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada.
- Kowalsky MJ ve Priestley MJN (2000) "Improved Analytical Model for Shear Strength of Circular Reinforced Concrete Columns in Seismic Regions", ACI Structural Journal, V.97, No. 3, Mayıs-Haziran 2000, Sf. 388-396.
- LATBSDC (20014) An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region, Los Angeles Tall Building Structural Design Council, Los Angeles, CA.
- Nilson AH, Darwin D ve Nolan CW (2009) "Design of Concrete Structures", Fourteenth Edition, McGraw Hill Higher Education, NY.

- Oesterle RG, Fiorato AE, Johal LS, Carpenter JE, Russell HG ve Corley WG (1976) "Earthquake Resistant Structural Walls – Tests of Isolated Walls", Report to National Science Foundation, Portland Cement Association Construction Technology Laboratories, IL.
- Orakcal K, Massone LM ve Wallace JW (2006) "Analytical Modeling of Reinforced Concrete Walls for Predicting Flexural and Coupled-Shear-Flexural Responses", Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA.
- Özcan, Aİ (2015) Yüksek Yapılarda Betonarme Perde Duvarların Kesme Davranışı Üzerine Parametrik Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Park R ve Paulay T (1975) "Reinforced Concrete Structures", Wiley, NY.
- PERFORM3D (2015) Nonlinear Analysis and Performance Assessment of 3D Structures, Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA.
- Priestley MJN, Calvi GM ve Kowalsky MJ (2007) "Displacement-Based Seismic Design of Structures", UISS Press, Pavia, Italy.
- Paulay T, Priestley MJN ve Syngge AJ (1979) "Ductility in Earthquake Resisting Squat Shearwalls", ACI Journal Vol. 79, No.4, Sf. 257-269.
- Priestley MJN, Verma R ve Xiao Y (1994) "Seismic Shear Strength of Reinforced Concrete Columns", Journal of the Structural Division, ASCE, V.120, No.8 Sf. 2310-2329.
- Sezen H ve Moehle JP (2004) "Shear Strength Model for Lightly Reinforced Concrete Columns", Journal of Structural Engineering, Vol. 130, No.11, Sf. 1692-1703.