

DEPREM PERDELERİNİN YANAL ÖTELENMESİNE PERDE UÇ BÖLGESİNİN VE DONATI ORANININ ETKİSİ

THE EFFECT OF BOUNDARY REGION AND LONGITUDINAL REINFORCEMENT ON THE LATERAL DISPLACEMENT OF SHEAR WALL

Hümeyra ŞAHİN¹, Kürşat Esat ALYAMAÇ²
Ali Sayıl ERDOĞAN³

ÖZET

Bu çalışmada perde uç bölgesi alanı ve donatı oranının perdenin yanal ötelenmesi üzerindeki etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Nümerik çalışma için ülkemizde yaygın olarak kullanılan 8, 12 ve 16 katlı sistemler dikkate alınmıştır. Bütün sistemlerde perde kalınlığı sabit 30 cm alınarak, perde uzunluğu, 5,7 ve 10 yükseklik-boy oranları dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışmada perde uç bölgesinin olmaması, uç bölgesinin perde uzunluğunun %20'si ve %10 'nu kadar olması durumları için ele alınmıştır. Perde uç bölgesi donatısı için, % 0.05, % 0.1 ve % 0.2 donatı oranları dikkate alınmıştır. Analizler C25/30 beton sınıfı, 1. Derece Deprem Bölgesi ve Z3 zemin sınıfı için yapılmıştır. Analizlerde perdeler fiber kesitli çubuk eleman olarak modellenmiştir ve betonun sargılı davranışı göz önüne alınmıştır. Sistemlerin nonlineer analizi OpenSees programı kullanılarak, ölçeklenmiş gerçek ivme kayıtları altında yapılmıştır. Analizler neticesinde tepe noktası yer değiştirmesi, taban eğilme momenti ve moment-eğrilik ilişkisi verilmiştir. Sonuç olarak perdelerin eğrilik sünekliliği kapasitesinin, perde uç bölgesi alanı ve donatı oranına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Perde, Süneklilik, Fiber Eleman, OpenSees.

ABSTRACT

In this study, the boundary region and longitudinal reinforcement ratio on the impact of lateral displacement of shear wall was investigated numerically. Numerical studies are taken into account 8, 12 and 16 story systems that are widely used in our country. Shear wall thickness are 30 cm in all systems. The shear wall length is determined as the aspect ratio of 5, 7 and 10. In this study, handled situations are the lack of boundary region and the length of boundary region being the length of shear wall 20% and 10%. The boundary longitudinal reinforcement ratios are taken into account as 0.05%, 0.1% and 0.2%. The analyses were made for C25/30 of concrete strength, 1st Degree Earthquake Region and Z3 of soil class. The shear wall modeled as fiber section beam column element. Nonlinear analyses were conducted using OpenSees Program under the scaled real acceleration records. After analysis, the lateral displacements at the top of wall, overturning moment at the base of the wall and moment-curvature relations are obtained. As a result, the ductility capacities of shear wall were increased depending on the area of boundary region and longitudinal reinforcement ratio.

Keyword: Shear Wall, Ductility, Fiber Section Element, OpenSees.

1.GİRİŞ

Deprem aktivitesinin yoğun olduğu bölgelerde, betonarme perdelerin kullanılması güvenilir ve ekonomik bir tasarım sunmaktadır. Yüksek dayanım ve rijitlikleri nedeniyle, yapıya gelen deprem kuvvetinin büyük bir bölümünü karşılayan betonarme perdelerin, etkin olarak çalışabilmesi için deprem enerjisini sünek bir güç tükenmesi ile sönmülmesi gerekmektedir.

Betonarme perdelerde, küçük şiddetli depremlerde elastik deformasyonlar meydana gelirken, orta ve büyük şiddetli depremlerde genellikle perdenin temele birleştiği noktada elastik ötesi deformasyonlar gözlenir. Perdeler eksenel yükü ve deprem kuvvetini, dayanımında büyük bir kayıp meydana gelmeden taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır. Özellikle ince perdeler, düşey konsol kirişler gibi davrandığı için hasar, momentin fazla olduğu perde tabanında yoğunlaşır ve yönetmelikler tarafından bu bölge kritik perde yüksekliği olarak adlandırılır. Kritik perde yüksekliği boyunca, perde uçları depremin tersinir etkisinden ötürü, tekrarlı çekme ve basınç deformasyonlarına maruz kalırlar. Bu durumda, perdelerin deprem enerjisini sünek bir davranış göstererek sönmüleyebilmesi için, deprem etriyeleri ile sargılanmış perde uç bölgeleri oluşturulur. Enine sargı donatısı perde uç bölgelerinde, beton basınç dayanımını ve birim şekil değiştirme kapasitesini artırarak, boyuna donatıların burkulmasını önleyerek perde kapasitesini artırır (Thomsen ve Wallace, 1995).

Perde uç bölgesinin tasarımı ile ilgili çeşitli yaklaşımlar vardır. Wallace (1994, 1995), yaptığı çalışma ile, gerilme esasına dayanan Amerikan Beton Enstitüsü 'nün (ACI 318) yaklaşımını eleştirmiş, perdelerin tasarımda deplasman esaslı yaklaşımı önermiştir. Yazar, ACI 318 tarafından önerilen, *eksenel ve deprem yüklemeleri altında kesit en dış lifindeki gerilme $0.20f_c$ 'ye ulaştığı an perde uç bölgesi etriyeler ile sargılanır ve bu sargı gerilme $0.15f_c$ 'ye düşünceye kadar devam ettirilir*, yaklaşımının ekonomik olmayan tasarımlara yol açtığını savunmuştur. Wallace, betonarme perdenin yer değiştirme talebini ve perde kesitinin şekil değiştirme kapasitesini karşılaştırarak, kesit en dış beton lifindeki maksimum birim şekil değiştirmeyi (ϵ_{cmax}) elde etmiştir. $\epsilon_{cmax} \geq 0.004$ olması durumunda perde uç bölgesinin, deprem etriyeleri ile sargılanmasını önermiştir. Perde uç bölgesi derinliği için tarafsız eksen derinliğini esas almış ve tarafsız eksen derinliğini ise perde uzunluğunun bir fonksiyonu olarak, donatı oranı, perde yükseklik-boy oranı (H_w/L_w), perde alanı /plan alanı ve eksenel yük düzeyine bağlı olarak grafik şeklinde göstermiştir.

Paulay vd. (1992), perde uç bölgesi tasarımında yer değiştirme esaslı yaklaşımı esas almışlardır ve $\epsilon_{cmax} \geq 0.004$ olması durumunda özel deprem etriyeleri ile perde uç bölgesinin sargılanmasını önermişlerdir. Etriyeler ile sargılanması gereken perde uç bölgesi derinliğini (c_c), tarafsız eksen derinliğine (c) bağlı olarak ifade etmişlerdir. Paulay vd., perde uç bölgesindeki donatı oranının perde yüksekliği boyunca $0.7/f_y$ (MPa) den az, $16/f_y$ (MPa) den de fazla olmaması gerektiğini önermişlerdir. Minimum donatı oranından daha az donatı kullanılması durumunda, deprem yüklemesi altında perdede oluşan çatlakların kabul edilemeyecek boyutlara ulaşabileceğini ve onarımının ekonomik olmayacağını belirtmişlerdir. Boyuna donatı oranının $2/f_y$ olması durumunda etkili çalıştığını ve bu donatı oranı için perde uç bölgesi derinliğinin $c-0.30c_c$ veya $0.50c$ den az olmaması gerektiğini ifade etmişlerdir.

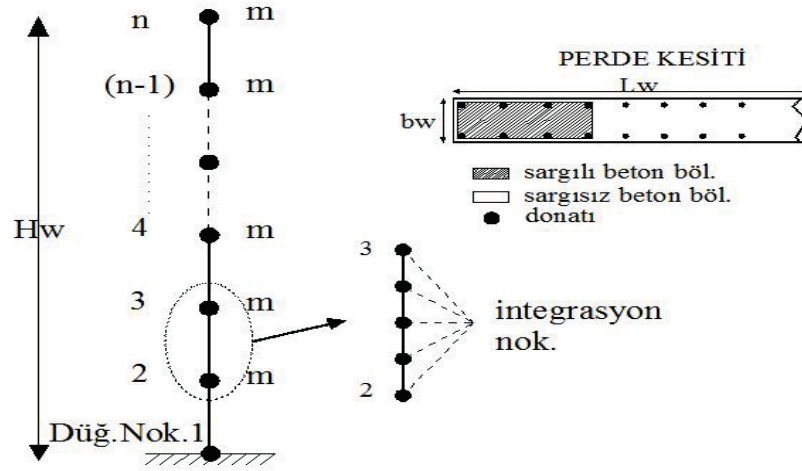
Türk Deprem Yönetmeliği'nde (2007) ise perde uç bölgesine, kritik perde yüksekliği boyunca perde alanının %0.2'si, kritik yükseklikten sonra ise perde alanının %0.1'i kadar boyuna donatı bulundurulması gerektiği belirtilmiştir. Perde uç bölgesi derinliğinin ise kritik yükseklik boyunca perde uzunluğunun %20'si ($0.20*L_w$) veya perde kalınlığının iki katı ($2*b_w$), kritik yükseklikten sonra ise perde uzunluğunun %10'u ($0.10*L_w$) veya perde kalınlığı (b_w) kadar olması önerilmiştir.

Bu çalışmada özel deprem etriyeleri ile sarılmış perde uç bölgesi derinliğinin ve boyuna donatı oranının tepe noktasının yatay yer değiştirmesi üzerindeki etkisi elastik ötesi analiz yöntemi ile incelenmiştir. Sayısal çalışma için, perde uç bölgesi derinliğinin, perde uzunluğunun %20'si, %10'nu kadar olması ve uç bölgesi tanımlanmaması durumları dikkate alınmıştır. Sayısal çalışmada kullanılan sistemler, perdenin davranışını etkileyen parametrelerden olan yükseklik-boy oranı (H_w/L_w), kat sayısı ve donatı oranı dikkate alınarak üretilmiştir.

2. PARAMETRİK ÇALIŞMA

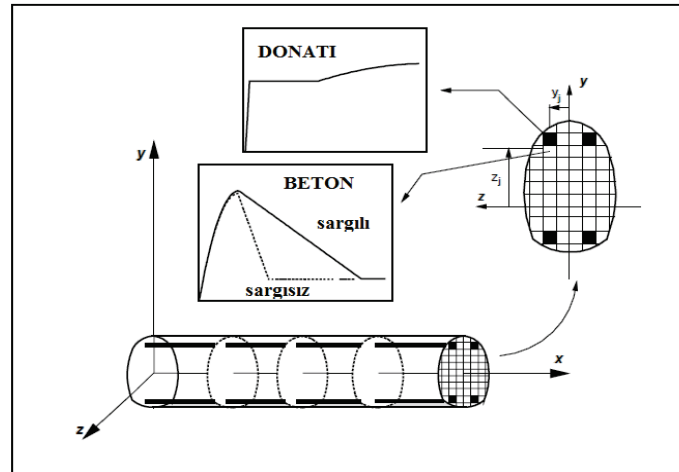
2.1 Perdelerin Modellenmesi

Çalışmada betonarme perdeler, birçok çalışmada yaygın olarak kullanılan ve hesap kolaylığı sağlayan düzlem konsol perde eleman olarak tasarlanmıştır. Konsol perdeler, kütlesi kat hizasında toplanmış çubuk eleman olarak modellenmiştir (Şekil 2.1). Çubuk eleman modeli olarak, eleman üzerindeki yayılı plastisiteyi daha iyi yansıtabilmek için kuvvet tabanlı kiriş-kolon eleman modeli (*force based beam-column element model*) kullanılmıştır (Waugh vd.,2008). Kiriş-kolon eleman modelinde beş integrasyon noktası dikkate alınmıştır. Perde kesitinin modellenmesinde ise yayılı plastik mafsal modeli (*fiber model*) kullanılmıştır (Şekil 2.1). Perdelerin temele tam ankastre olarak bağlandığı ve temelde dönme meydana gelmediği kabul edilmiştir. Perdenin temele ile birleştiği noktada, donatıda meydana gelen uzama (*bond slip*) etkisi dikkate alınmamıştır.



Şekil 2.1 Betonarme perde hesap modeli

Yayılı plastik mafsal modelinde kesit, şekil 2.2’de gösterildiği gibi boyuna liflere bölünür. Bu modelde kesitin tepkisi, her bir lif için kullanılan tek eksenli malzeme gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin entegrasyonundan elde edilir (Taucer vd., 1991). Bu modelde betonarme kesit, sargılanmış beton modeli ile tanımlanan çekirdek beton, sargılanmamış beton modeli ile tanımlanan kabuk beton ve donatı olmak üzere alt elemanlara ayrılabilir. Kesitin lineer elastik ötesi davranışı liflerin elastik ötesi davranışından elde edilir. Bu nedenle kesit modelinin geçerliliği, lifler için tanımlanan malzeme gerilme-şekil değiştirme ilişkisine bağlıdır.



Şekil 2.2 Yayılı plastik mafsal modeli (Fiber Kesit),
Taucer vd. (1991)

Çalışmada, hesap kolaylığı için dikdörtgen şeklindeki perdeler dikkate alınmıştır. Perdeli sistemlerin yüksekliği, ülkemizde özellikle perdeli sistemlerde yaygın olarak kullanılmaya başlanan 8,12 ve 16 katlı sistemler göz önüne alınarak belirlenmiştir. Kat yüksekliği bütün katlarda ve bütün sistemlerde sabit 3m alınmıştır. Perdelerin kalınlığı 30 cm kabul edilmiş, perde boyu ise H_w/L_w (H_w ; *Perdenin toplam yüksekliği*, L_w ; *Perdenin en kesit boyu*) oranı 5,7 ve 10 için belirlenmiş ve tablo 2.1 de gösterilmiştir. Perde üzerine yapılan çalışmalar düşey yükün perde davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Thomsen ve Wallace, 1995). Bu nedenle çalışmada, perdeler $P=0,25.f_c.A_w$ (f_c ; *sargısız beton basınç dayanımı*, A_w ; *perdenin enkesit alanı*) eksenel yükü altında çözülmüştür.

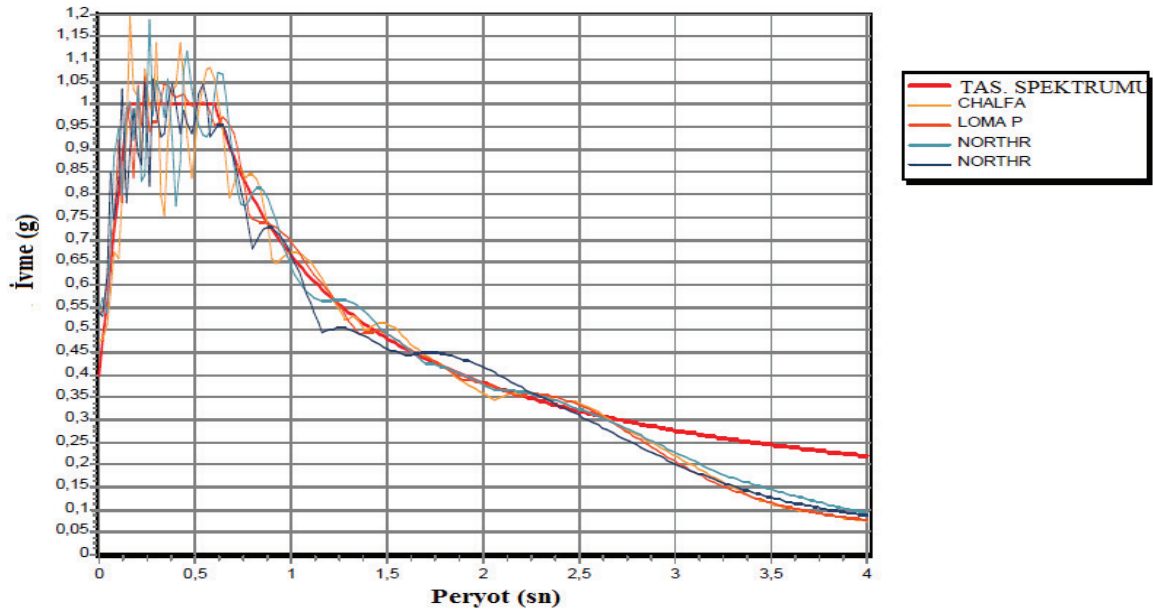
Kat Sayısı	Perde yükseklik-boy oranı (H_W/L_W)		
	5	7	10
8	4.80	3.40	2.40
12	7.20	5.20	3.60
16	9.60	6.90	4.80

1208

Tablo 2.2 Perde uç bölgesinin %0.2 donatı oranı için donatı çapları			
Hw/Lw	Kat sayısı		
	8	12	16
5	11Ø18	14Ø20	18Ø20
7	8Ø18	10Ø20	16Ø18
10	6Ø18	9Ø18	11Ø18
<i>Not: Bütün sistemlerde, gövde donatısı Ø10/210, enine donatı Ø10/100 (kritik yükseklik), Ø10/200 (kritik yükseklik üstü) kabul edilmiştir.</i>			

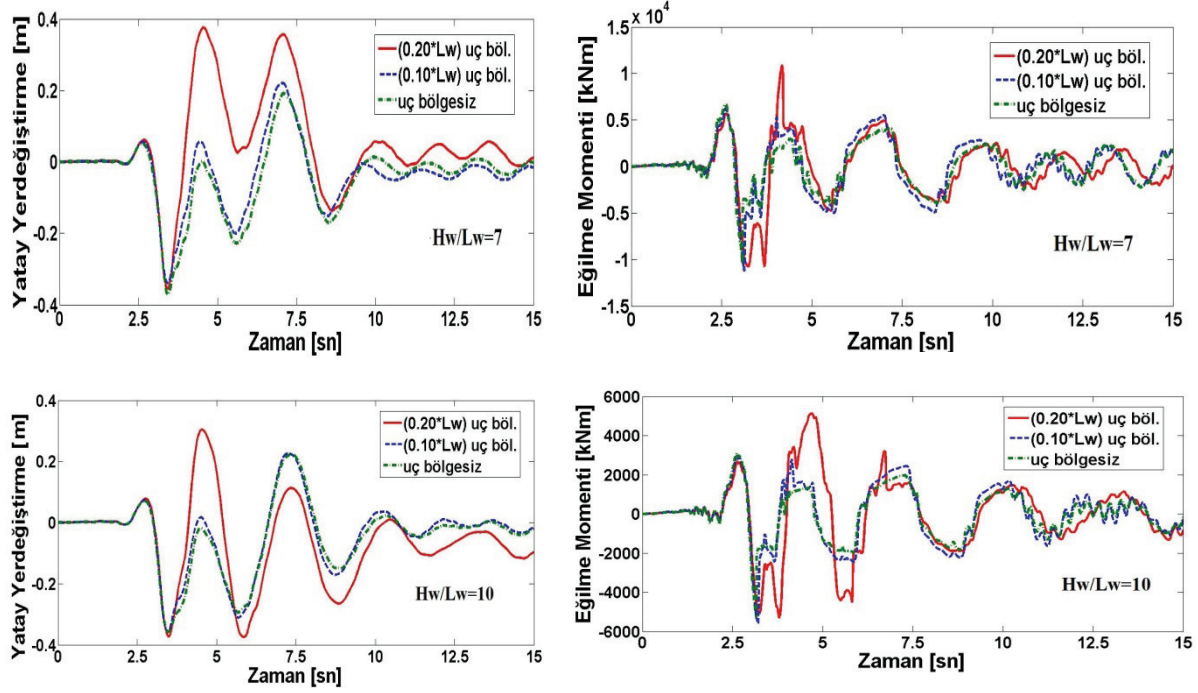
Betonarme perdelerin lineer ötesi analizleri, gerçek ivme kayıtları altında, OpenSees programı kullanılarak yapılmıştır. OpenSees programında, sargılı ve sargısız beton için *Concrete01*, donatı için ise *Steel02* malzeme modelleri kullanılmıştır. Programda, perdeyi modellemek için *nonlinear force based beam column element model*, kesit için ise *fiber section* model kullanılmıştır. Analizler 4 adet ivme kaydı için yapılmıştır. İvme kayıtları, 1. derece deprem bölgesi ve Z3 sınıfı için esas olan tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir (Şekil 2.5). İvme kayıtlarının özellikleri tablo 2.3 'de verilmiştir.

Tablo 2.3 Seçilen ivme kayıtları ve özellikleri								
N o	Deprem	Açı	Büy.	Mesafe (km)	Zemin	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
1	<i>ChalfantValley 1986/07/21 14:42</i>	360	6.2	18.7	D	0.447	36.9	7.01
2	<i>Loma Prieta 1989/10/18 00:05</i>	0	6.9	11.2	A	0.411	31.6	6.38
3	<i>Northridge 1994/01/17 12:31 (890)</i>	9	6.7	19.6	B	0.416	59	13.14
4	<i>Northridge 1994/01/17 12:31 (893)</i>	0	6.7	13	D	0.410	43	11.75



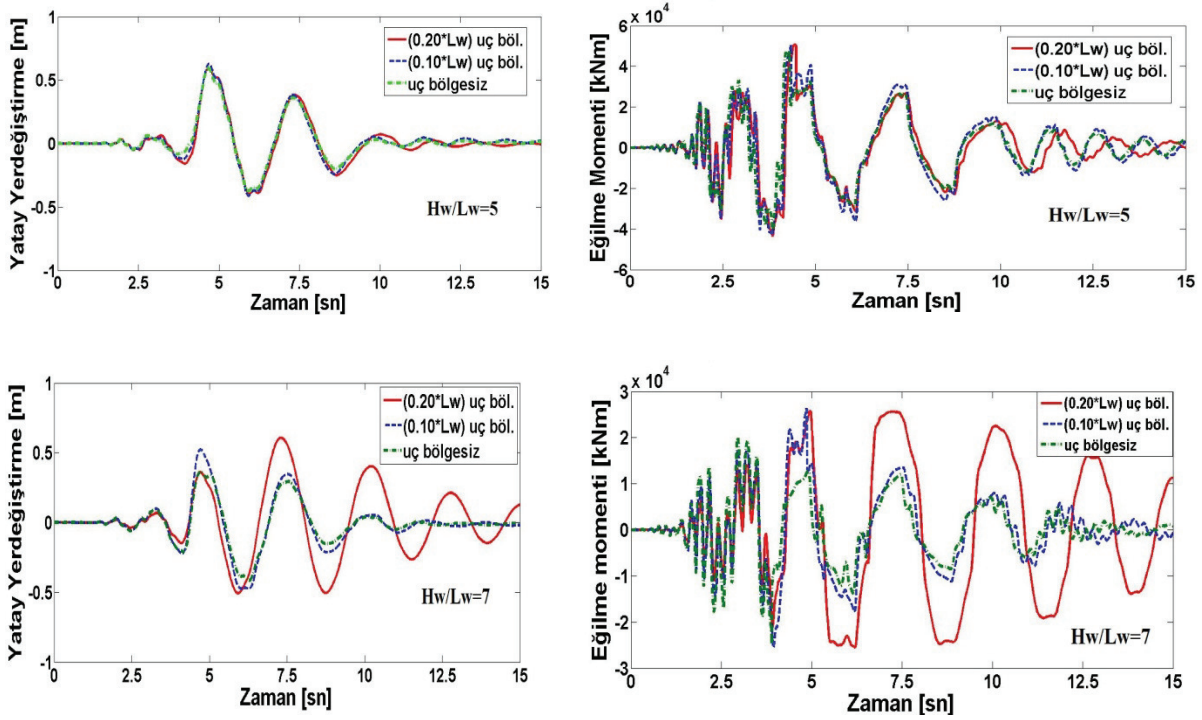
Şekil 2.5 Tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem ivme kayıtlarının spektrumu

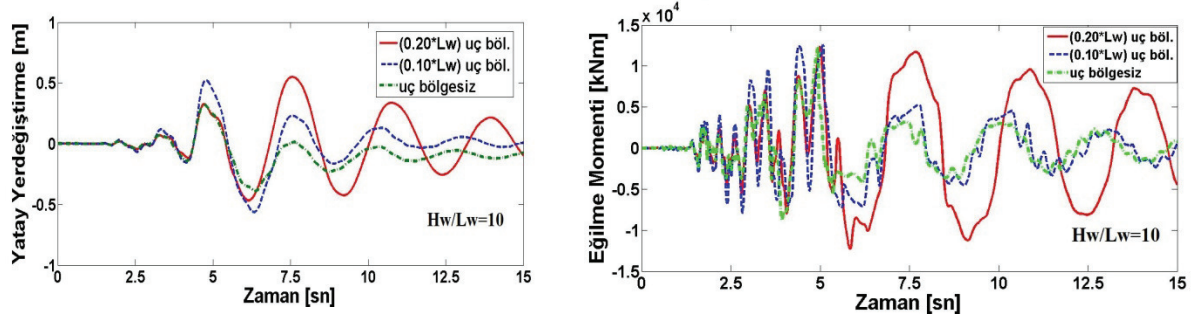
Lineer ötesi analiz neticesinde, perdelerin tepe noktası yatay deplasmanlarının zamana göre değişimi ve taban eğilme momentlerinin zamana göre değişimi grafik şeklinde aşağıda verilmiştir. Grafikte, perde uç bölgesi derinliğinin, perde uzunluğunun %20'si kadar olması, %10 'u kadar olması ve perde uç bölgesinin olmamasının yer değiştirmeye ve momente olan etkisi karşılıklı olarak gösterilmiştir. 8 katlı sistemlerde, yer değiştirmeye-zaman ve eğilme momenti-zaman ilişkisi Hw/Lw oranı 7 ve 10 için çizilmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Loma Prieta depremi ivme kaydı altında, 8 katlı perdelerin H_w/L_w (Yükseklik-boy) oranı ve perde uç bölgesi değişkenlerine bağlı olarak, tepe noktası yatay yer değiştirmesinin ve taban eğilme momentinin zamana göre değişimi

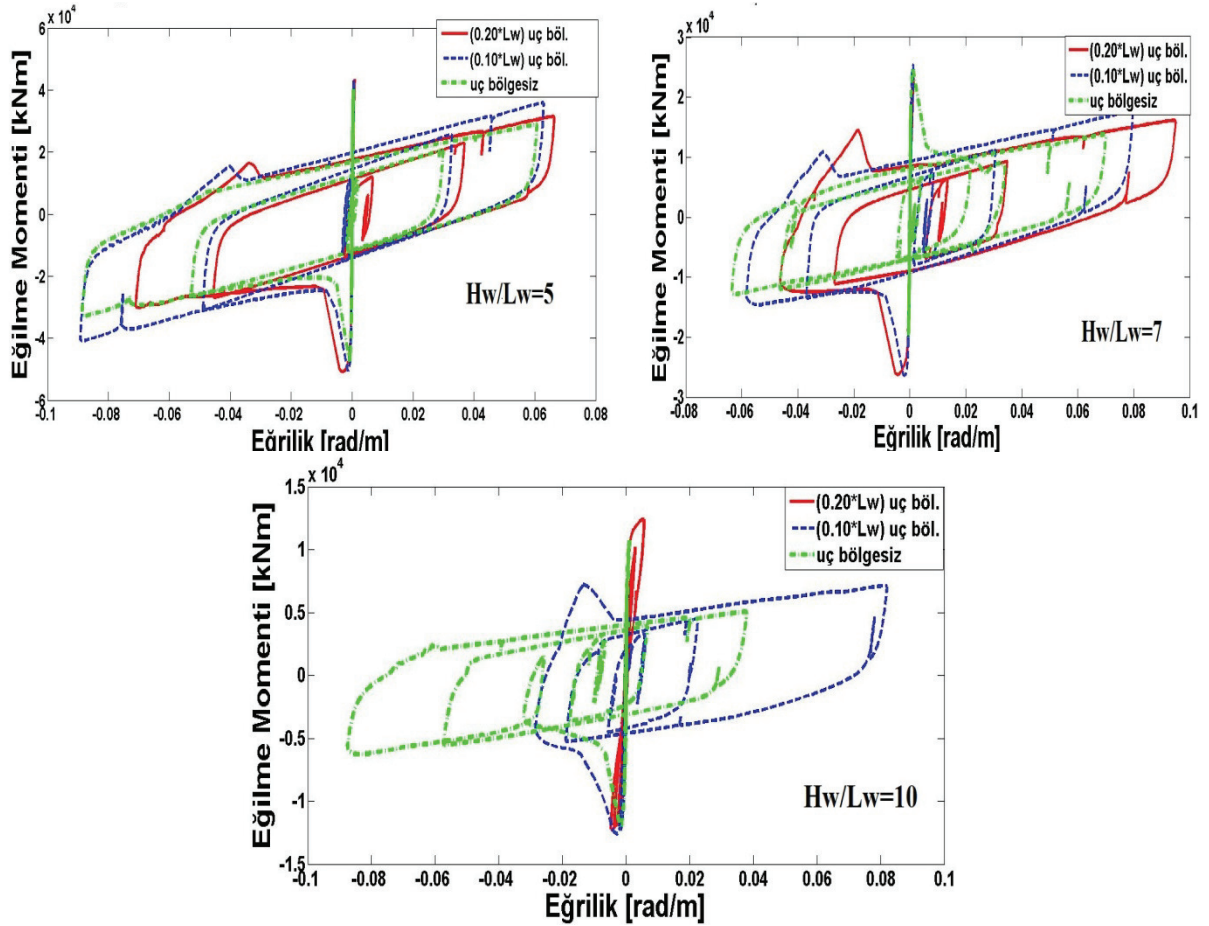
12 katlı sistemlerde, tepe noktası ötelenmesinin zamana göre değişimi ile perde taban eğilme momentinin zamana göre değişimi, çalışmada dikkate alınan bütün H_w/L_w oranlarına göre, *Northridge* (893) ivme kaydı için çizilmiştir (Şekil 2.7).





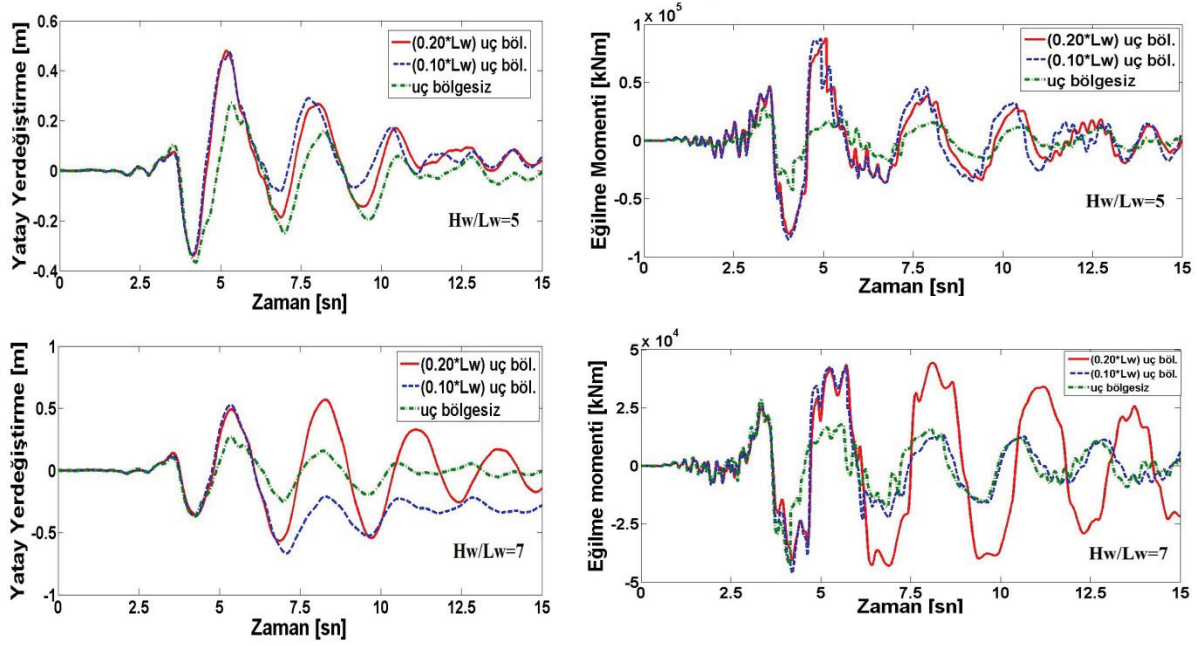
Şekil 2.7 Northridge (893) depremi ivme kaydı altında, 12 katlı perdelerin H_w/L_w (Yükseklik-boy) oranı ve perde uç bölgesi değişkenlerine bağlı olarak, tepe noktası yatay yer değiştirmesinin ve taban eğilme momentinin zamana göre değişimi

Ayrıca 12 katlı sistemlerin taban kesitlerinde ki moment-eğrilik ilişkisi, dikkate alınan bütün H_w/L_w oranları için Northridge (893) ivme kaydı altında çizilmiştir (Şekil 2.8).



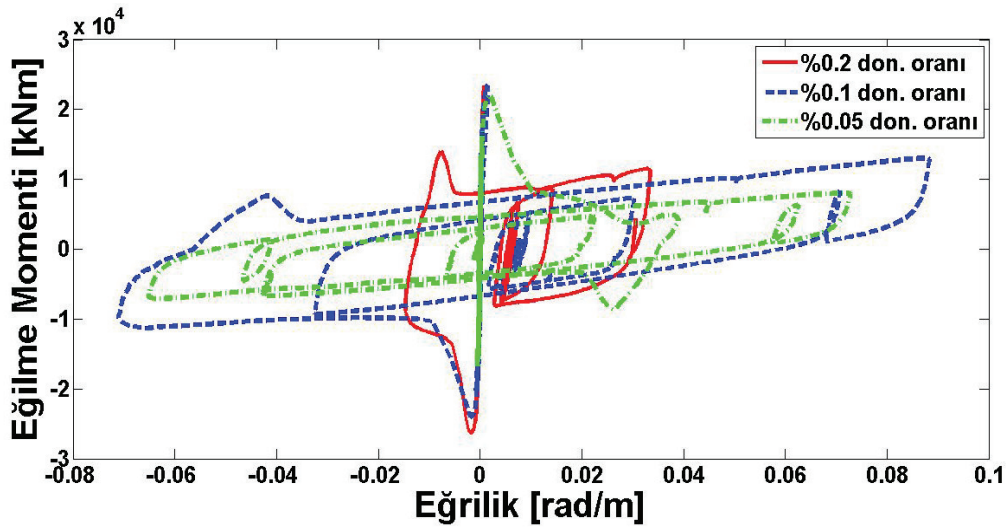
Şekil 2.8 Northridge (893) depremi ivme kaydı altında, 12 katlı perdelerin H_w/L_w (Yükseklik-boy) oranı ve perde uç bölgesi değişkenlerine bağlı olarak, moment-eğrilik ilişkisi

16 katlı sistemlerin grafikleri ise ChalfantValley ivme kaydı altında, H_w/L_w oranı 5 ve 7 için çizilmiştir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 *ChalfantValley* depremi ivme kaydı altında, 16 katlı perdelerin H_w/L_w (Yükseklik-boy) oranı ve perde uç bölgesi değişkenlerine bağlı olarak, tepe noktası yatay yer değiştirmesinin ve taban eğilme momentinin zamana göre değişimi

Ayrıca çalışmada perde uç bölgesi boyuna donatı oranının, eğrilik sünekliliği üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Bu amaçla, perde uç bölgesi derinliği perde uzunluğunun %10'u kadar olan 12 katlı H_w/L_w oranı 7 olan sistem, perde uç bölgesi donatı oranının, perde alanının %0.2, %0.1 ve %0.05 olması durumu için incelenmiştir. Analiz neticesinde, perde taban kesitinin moment-eğrilik ilişkisinin donatı oranlarına göre değişimi gösterilmiştir (Şekil 2.10).



Şekil 2.8 12 katlı H_w/L_w 7 olan perdenin taban kesitinin moment-eğrilik ilişkisinin donatı oranlarına göre değişimi

3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, perde uç bölgesi derinliğinin ve boyuna donatı oranının eğrilik sünekliliğine olan etkisi lineer ötesi analiz ile sayısal olarak incelenmiştir. Analiz sistemlerinin seçilmesinde, perde davranışı üzerinde etkili olan yükseklik-boy oranı (H_w/L_w) dikkate alınmıştır. Perdeler, çalışmalarda çok sık kullanılan düzlem konsol kiriş-kolon eleman olarak modellenmiştir. Perde kesiti ise kesiti boyuna

doğrultuda küçük liflere bölen, kesitteki ve eleman üzerindeki yayılı plastik şekil değiştirmeyi iyi bir şekilde yansıtan fiber kesit şeklinde modellenmiştir. Analizler, ölçeklenmiş gerçek ivme kayıtları altında yapılmıştır.

Analizler neticesinde, perde tepe noktasının yatay ötelenmesinin ve taban eğilme momentinin zamana göre değişimi ile 12 katlı sistemlerin taban kesitindeki moment-eğrilik ilişkisi grafik şeklinde verilmiştir. Grafiklerde perde uç bölgesi derinliğinin ve yükseklik-boy oranının (H_w/L_w) değişimi dikkate alınmıştır. Grafikler incelendiğinde;

- Perde uç bölgesi derinliğinin, perde uzunluğunun %20 'si kadar olduğu durumlarda, ilerleyen zaman adımlarında bile yük taşımaya devam ettiği,
- %20 perde uç bölgesinin etkinliğinin, kat sayısı ve H_w/L_w oranı arttıkça arttığı
- H_w/L_w oranının küçük olduğu durumlarda perde uç bölgesi derinliğinin davranış üzerinde çok etkili olmadığı, ancak H_w/L_w oranının artması ile etkinliğinin arttığı,
- Kat sayısı arttıkça, perde uç bölgesi derinliğinin davranış üzerindeki etkisinin arttığı,
- %10 perde uç bölgesi ve perde uç bölgesinin olmaması durumlarının H_w/L_w oranının küçük değerleri için bir birine yakın bir davranış sergilediği,

görülmektedir.

Ayrıca çalışmada perde uç bölgesi donatı oranının da eğrilik sünekliği üzerindeki etkisi incelenmiş, perde taban kesitinin moment-eğrilik ilişkisi çizilmiştir. Grafikler incelendiğinde %0.2 donatı oranı kullanılması durumunda, eğrilik kapasitesinin ve rijitliğin arttığı gözlenmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde, perde uç bölgesi alanının ve boyuna donatı oranının, eğrilik sünekliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak analizde kullanılan eleman ve malzeme modelleri, özellikle sınırlayıcılar açısından, sonuçları etkileyebilecek kabuller içermektedir. Daha etkili modeller ile perdenin davranışı üzerinde etkili olan diğer parametreleri de dikkate alan, ayrıntılı analizlerin yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Menegotto M and Pinto E (1973) "Method of Analysis for Cyclically Loaded Reinforced Concrete Plane Frames Including Changes in Geometry and Non-Elastic Behavior of Elements under Combined Normal Force and Bending", *Proceeding IABSE Symposium on Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well-Defined Repeated Loads*, Lisbon, Portugal.
- Paulay T, and Priestly M J N, (1992) "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings", *John Wiley and Sons*, New York.
- Razvi S and Saatcioglu M, (1999) "Confinement Model for High-Strength Concrete", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 125, No.3, pp. 281-289.
- Saatcioglu M, and Razvi S. R (1992) "Strength and Ductility of Confined Concrete", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 118, No.6, pp. 1590-1607.
- Taucer F F, Spacone E and Filippou F C, (1991) "A Fiber Beam Column Element for Seismic Response Analysis of Reinforced Concrete Structures", *Report No.UCB/EERC-91/17*, Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, Berkeley.
- Thomsen J H and Wallace J W (1995) "Displacement-Based Design of Reinforced Concrete Structural Walls: an Experimental Investigation of Walls with Rectangular and T-Shaped Cross-Section", *Report No. CU/CEE-95/06*, Department of Civil Engineering, Clarkson University, Postdam, New York.
- Türk Deprem Yönetmeliği (2007), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- Wallace J W (1994) "A New Methodology for Seismic Design of Reinforced Concrete shear Walls", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 120, No. 3, pp. 863-884.
- Wallace J. W, (1995), "Seismic Design of Reinforced Concrete Shear Walls: Part I: New Code Format", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 121, No. 1, pp. 75-87.
- Waugh J, Aaleti S, Sritharan S and Zhao J (2008) "Nonlinear Analysis of Rectangular and T-Shaped Concrete Walls", *ISU-ERI-Ames Report ERI-09327*, Submitted to the National Science Foundation for Research Grant No. CMS-0324559, Department of Civil Engineering, Iowa State University, Ames.
- "OpenSees – Open System for Earthquake Engineering Simulation", *Pacific Earthquake Engineering Research Center*, University of California, Berkeley.
<http://opensees.berkeley.edu/>
- "Matlab", 2013, *The Math-Works*, Inc., Natick, Massachusetts.