

BETONARME U-PERDELERİN MODELLENMESİ VE DEPREM ETKİLERİ ALTINDA İNCELENMESİ

MODELLING AND ANALYSIS OF R/C U-SHEARWALL UNDER EARTHQUAKE LOADING

Y. KOÇAK¹ ve Y. M. FAHJAN²

ÖZET

Mevcut yapılarda asansör veya çekirdek bölgelerinde konumlandırılan "U" şekilli perdeler bulundukları yapı sistemlerine iki doğrultuda da yüksek rijitlik sağlamaktadır. Yapıya gelen yanal yükler altında önemli bir rolü olan bu betonarme duvar elemanların gerçek davranışlarını tam olarak temsil etmek için doğru bir modelleme tekniği kullanılmasının önemi büyüktür. Söz konusu perde elemanların modellenmesinde yapılan yaklaşımlar ne derece tutarlı olursa yapısal analizler de aynı oranda gerçek eleman davranışını yansıtacaktır. U-perde modelleme teknikleri arasında en çok kullanılanlardan biri Orta-kolon modelidir. Söz konusu modelleme tekniği u-perdenin iki adet baş (flange) ve bir adet gövde (web) kesitin birleşiminden oluştuğu kabulüne dayanmaktadır. Bu dikdörtgen kesitlerin plandaki geometrik merkezlerine tanımlanmış dikdörtgen çubuk elemanlar baş ve gövde kısımlarını oluşturan her bir düzlemsel perde kesitini temsil etmektedir. Perde duvar modellemelerinde kullanılan bir diğer teknik ise Çubuk eleman modelidir. Bu teknik yöntem itibarıyla, u-perdeyi geometrik bakımdan temsil eden poligon çubuk elemanın u-perdenin rijitlik merkezinde tanımlanmasından meydana gelmektedir. Çubuk eleman kat seviyelerinde diğer yapı elemanlarıyla etkileşimi sağlayan fiktif kirişlerle yapıya bağlanmaktadır. Bu çalışmada, u-perde modellemelerinde kullanılan Orta-kolon modeli ve Çubuk eleman modelleri kullanılarak hazırlanmış aynı yapı modeli üzerinde doğrusal ve doğrusal olmayan analizler yapılacaktır. Doğrusal olmayan davranış için, çubuk elemanlar üzerinde muhtemel plastikleşme bölgelerinde tanımlanmış plastik mafsallar, kabuk elemanlarda ise katmanlanmış malzeme modelleriyle hazırlanmış yapısal örnek kullanılacaktır. Söz konusu analizlerde perde ile yapı arasında yük aktarımı sağlayan fiktif kirişlerin optimal rijitliklerini belirlemek adına, değişik rijitlikteki fiktif eleman tipleri değerlendirilecektir. Yapı modeline ait performans, aynı yapı üzerinde kabuk eleman yöntemiyle elde edilen analiz sonuçları kıyas alınarak karşılaştırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme U-perde, Orta-kolon model, Çubuk model, Doğrusal olmayan analiz, Çok katmanlı kabuk eleman, Plastik mafsall.

ABSTRACT

The reinforced concrete construction technique is the most common technique all around the world. Shear wall structural members are mostly needed to increase earthquake resistance of the reinforced concrete structures. The shape of core shear walls are mostly formed by considering architectural layout requirements. And, U-Shape shear wall is one the common shape of these forms. U-Shaped shear wall structural members that are usually located around elevators or stairs provide high level rigidity to structure for both longitudinal and transverse directions. It is important to develop an accurate computer model to represent real behavior of these shear wall structural members against lateral loads. Obtaining more realistic results from structural analysis is directly depend on accuracy of shear wall computer modelling. "Wide-Column" modelling technique is one of the approaches to create U-Shaped shear wall computer model.

¹ Öğrenci, Deprem ve Yapı Müh. Bölümü, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, kocaky@gyte.edu.tr

² Doçent, Deprem ve Yapı Müh. Bölümü, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, fahjan@gyte.edu.tr

In this approach, U-shaped shear wall is represented by three rectangular walls and connected to other structural members by fictitious beams at the story levels. The second approach to model U-Shaped shear wall is the Stick Model that creating polygon column and connecting this column to other structural members by fictitious beams at the story levels. In the scope of this thesis, above stated two different approaches will be compared by performing both linear and nonlinear analyses on the whole structure computer models that include shell members. Plastic hinge hypothesis and “Nonlinear Layered Shell” theory will be used for frame and shell members respectively to identify nonlinear behavior of structure. Structural model consisting of six story have been developed to define and improve the principles of U-shape shear wall modelling techniques by considering interaction between U-Shape shear wall and column-beam structural members.

Keywords: U-shaped shear wall, Wide-column, Stick model, Nonlinear analysis, Nonlinear layered shell, Nonlinear hinge, Auxiliary beam.

GİRİŞ

Günümüzde inşa edilen yapıların büyük çoğunluğunu betonarme taşıyıcı sistemlerden oluşmaktadır. Betonarme sistemlerde deprem ve rüzgar gibi yatay yük etkilerinin karşılanması amacıyla kullanılan perde elemanların, söz konusu yatay yükler altında oldukça etkili davranış gösterdiği bilinmektedir. Bu sebeptendir ki betonarme perdelerin gerçek davranışlarını en iyi şekilde temsil edecek bir modelleme tekniğinin kullanılması çok önemlidir.

Perde elemanların yapıya ait mimari tasarımıyla şekillenen geometrileri yapıdan yapıya farklılık göstermekle birlikte, asansör ve merdiven sahanlıklarını çevrelemek suretiyle konumlandırılan “U” şekilli perdeler en yoğun kullanılan betonarme perde tiplerinden biridir. Her iki yatay doğrultuda da etkili davranış gösteriyor olması, U-perdeler için kullanılmakta olan modelleme teknikleri ve yeterlilikleri açısından kafalarda ilave soru işaretleri oluşturmaktadır.

Bilgisayar destekli sonlu elemanlar yöntemini (Finite Element Method) kullanan yapısal analiz programlarında betonarme U-perdeler genellikle yüzeysel taşıyıcı eleman modellenmesinde kullanılan üçgen ya da dörtgen kabuk elemanlarla temsil edilirler. Kabuk elemanlarla yapılan modellemelerde, analiz sonuçlarındaki hassasiyetlerin yeterli düzeyde olmasından dolayı iyi bir modelleme tekniği olduğu su götürmez bir gerçektir, fakat bu elemanların sayısındaki artışlar bilgisayar destekli analiz sürelerini uzatmakta ve tasarımcılara büyük zaman kayıpları yaşatmaktadır.

Yaşanılan bu kayıpları gidermek adına U-perdeler için yapısal analizlerde tercih edilen ve modelleme açısından en basit yöntemlerden biri “Çubuk Eleman Modeli (Stick Model)” kullanılmasıdır. Bu modelleme tekniği, U-perdeyi geometrik bakımdan temsil eden tek bir poligon çubuk elemanın U-perdenin rijitlik merkezine tanımlanması şeklindedir. Kat seviyelerinde fiktif kirişler yardımıyla yapıyı oluşturan diğer taşıyıcı elemanlara bağlanmasıyla yapı içerisinde diğer taşıyıcı elemanlar arasında yük aktarımı gerçekleşmektedir.

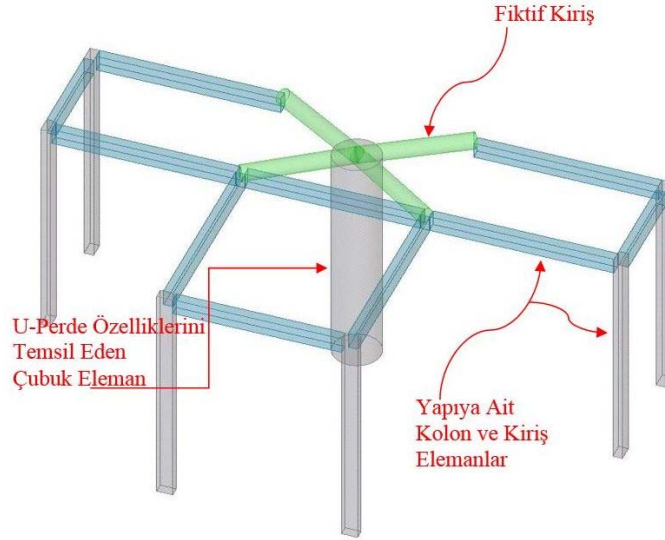
U-perde elemanları temsil etme amaçlı kullanılan tekniklerden bir diğeri ise “Orta-Kolon Eleman Modeli (Wide-Column Model)” olarak isimlendirilmektedir. Söz konusu model U-perdenin iki adet başlık (flange) ve bir adet gövde (web) kesitin birleşiminden oluştuğu kabulüne dayanmaktadır. Bu modelleme tekniği, söz konusu dikdörtgen kesitlerin geometrik merkezlerine yerleştirilmiş çubuk elemanların yer aldığı bir modelleme tekniğidir. Ayrıca, kat seviyelerinde dikdörtgen çubuk elemanların birbirleriyle ve kiriş, kolon gibi diğer taşıyıcı elemanlarla etkileşimini sağlayan fiktif kiriş elemanlar bulunmaktadır [Fahjan vd., 2011].

DOĞRUSAL ELASTİK ANALİZLER İÇİN PERDE ELEMAN MODELLEME TEKNİKLERİ

Yapısal analizlerde perde elemanların modellenmesi için kullanılmakta olan yaklaşımların doğru yapılması, yapıya ait doğal titreşim periyotları ve mod şekillerinin anlaşılması ve yapı karakteristik özelliklerinin doğru şekilde ortaya çıkmasında önemli rol oynamaktadır. Bilindiği gibi yapıya gelen deprem kuvvetleri, bu belirleyici özelliklere göre tayin edilmektedir. Perde elemanın davranışı gerçeği ne seviyede yansıtırsa, yapıya ait elemanlarda oluşacak iç kuvvetler de o seviyede gerçeği yansıtacaktır.

Çubuk Elaman Modeli

U-perdeye ait bütün bir kesitin tek parça çubuk eleman olarak modellenmesinden dolayı, kesite gelen kuvvetlerin burulma momenti oluşturmuyor olması dikkat edilmesi gereken bir husustur. Kesite ait kayma merkezi ile kesitin rijitlik merkezi U-perde elemanlarda aynı noktada olmamaktadır. Bu durum göz önüne alındığında hazırlanacak model burulma etkileri düşünülerek hazırlanmalıdır. Lakin kesitin elastik ötesi davranışlarında kayma merkezinin de plastik şekil değişimlerine bağlı olarak değiştiği gerçeği esas alınarak, kesiti doğru ve efektif bir kayma merkezine tanımlamak oldukça zordur[Beyer et al., 2008]. Bunun yanında kayma merkezine tanımlanacak bir çubuk elemanla yapılan analizler sonucunda, fiktif eleman uç noktalarında gerçeği yansıtmayan düşey deplasmanlar oluşmaktadır. Bu durum ise kayma merkezine tanımlanmış çubuk eleman modelinde ayrı bir dezavantaj olarak görülmektedir. Modellenmek istenen U-perdenin burulma rijitliğinin tüm yapının burulma rijitliğine oranının, göreceli olarak düşük olduğu sistemlerde çubuk elemanın perdenin rijitlik merkezine tanımlanabileceği yaklaşımı, yanlış bir yöntem olarak görülmemektedir [Reynouard and Fardis, 2001].

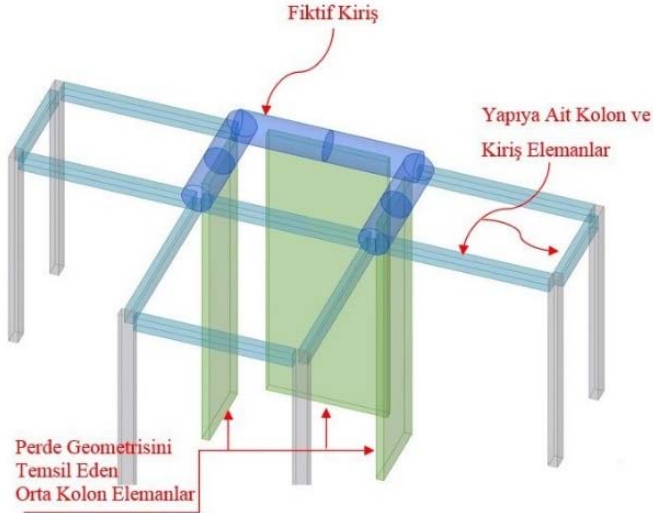


Şekil 1. U-perdeyi temsil eden çubuk eleman modeli

Bu modelleme tekniğinde, mühendisler açısından tasarım için gerekli olan kesme kuvvetlerinin, U-perdenin tümünü oluşturan gövde ve başlık kısımları için ayrı ayrı elde edilemiyor oluşu da dezavantaj olmaktadır. Diğer taraftan tekniğinin basit, kullanışlı ve birçok yapısal analiz programında kolaylıkla uygulanabilir olması ise, çubuk eleman modelini yapısal analizlerde kullanmak maksatlı tercih sebebi yapmaktadır.

Orta-Kolon Elaman Modeli

Betonarme perde duvar ile yatay rijitlik ve dayanım kavramları ne denli bütünleşmiş kavramlarsa, orta kolon modeli de perde modelleme kavramlarıyla aynı ölçüde bütünleşmiştir. “Eşdeğer Çubuk Eleman Metodu” olarak da bilinen bu yöntem kullanılmaya başlandığı ilk zamanlarda düzlemsel perde duvar modelleri için tercih edilmiş olsa da daha sonraki yıllarda düzlemsel olmayan perde duvarların modellenmesinde de başvurulan bir analiz metodu olmuştur [Beyer et al., 2008]. Söz konusu modelleme tekniğinde düzlemsel olmayan perde duvarların gövde ve başlık kesitlerinin ayrı ayrı olarak her biri için belirlenmiş merkezlerinde tanımlanan kolon elemanlarla temsil edilmektedir.

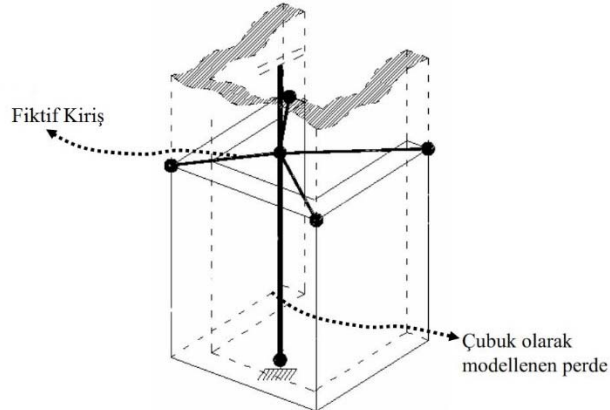


Şekil 2. U-perdeyi temsil eden orta-kolon eleman modeli

Bu yöntemin tercih edilme sebepleri arasında yer alan en önemli husus, mühendislerce bilinmek istenen Eksenel Kuvvet (N), Kesme Kuvveti (V) ve Moment (M) değerlerinin analiz sonucunda kolaylıkla bu kolon elemanlardan elde edilebilir olmasıdır. Özellikle gövde ve başlık kesitlerine gelen ve yöne bağlı olan kesme kuvvetlerinin dağılımı bu yöntemle oldukça sağlıklı şekilde belirlenmektedir.

Fiktif Kiriş Elemanlar

Perdeyi temsil eden taşıyıcı elemanları yapıya tümüyle entegre etme amaçlı fiktif kiriş elemanlar kullanılmaktadır. Perde modellerinde kullanılan bu elemanların rijitlikleri büyük önem arz etmektedir. Fiktif elemanlar perdenin boyuna, yüksekliğine ve kalınlığına bağlı olarak farklı davranış göstermekte olup, “Görelî Rijit” kavramı burada devreye girmektedir. Bu elemanların aşırı rijit olması durumunda perdenin gereğinden fazla rijit hale gelerek yapının burulma ve ötelenme davranışını olumsuz olarak etkilemesi kaçınılmaz bir durumdur.

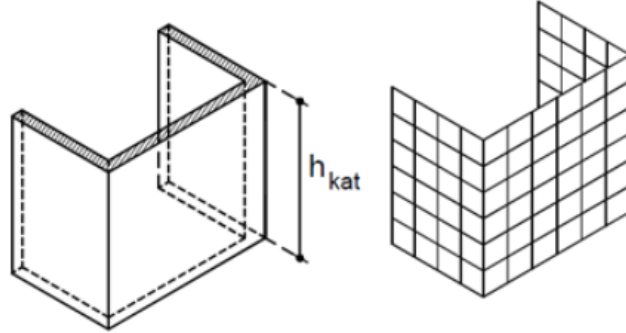


Şekil 3. U-perdeyi temsil eden orta-kolon eleman modeli

Orta-kolon modeli ve çubuk eleman modellerinde kullanılan fiktif kirişler için dairesel kesit kullanılması tüm yönlerde eşit atalet momentine sahip olması gerektiği düşünülmektedir. Böylelikle U-perde gibi burulma esaslı davranış potansiyeli olan elemanlarda dairesel tip fiktif eleman kullanılmasıyla, söz konusu elemanın rijitliği tüm doğrultuda benzer mertebede olacaktır.

Kabuk Eleman Modeli

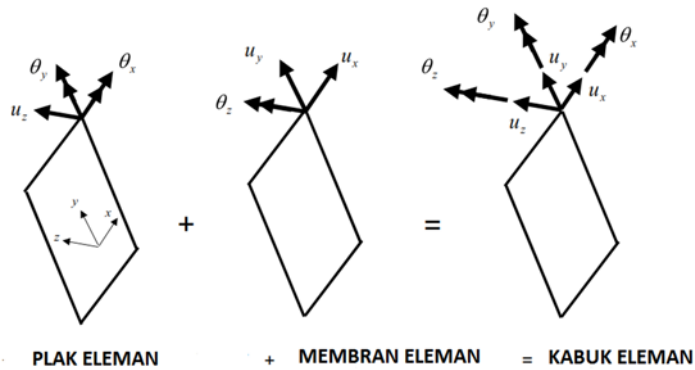
Kabuk eleman modelleme tekniğinde, U-perdenin geometrisini oluşturan bütün bir betonarme sistem belirli sayıda ve ebattaki kabuk elemanlara bölünerek perdenin kalınlığına bağlı olarak modellenmektedir.



Şekil 4. U-perde için hazırlanmış kabuk eleman modeli

Kabuk elemanlarla perdelerin modellenmesinde en kritik noktalardan bir tanesi kabuk elemanların sayısı ve boyutudur. Ayrıca bu yöntemin yaklaşık sayısal bir yöntem olmasından dolayı en iyi analiz sonucunu almak için perde, çözüm açısından uygun sonuç üretebilecek sayıda parçaya bölünmelidir. Çok sayıda kabuk ağı kurulumunun önemi büyüktür. Bunun yanında ağ sayısındaki artış ile bilgisayar analizlerinin süresi uzamakta ve belli mertebelerden sonra içinden çıkılmaz bir hal almaktadır. Bu sebeptendir ki optimum ağ sıklığı ve kabuk eleman sayısının tayini önemlidir.

Kabuk elemanlarının kendi düzlemlerinde dönme serbestlik derecesiyle (drilling degree of freedom) birlikte her düğüm noktasında altı serbestlik derecesine sahip olduğu kabulü yapılmaktadır. 3-boyutlu çubuk elemanlar ile kabuk elemanlar arasında yük aktarımının sağlanabilmesi için aşağıdaki şekilde gösterilen bu serbestlik dereceleri önem arz etmektedir [Wilson, 2002].



Şekil 5. Kabuk eleman formasyonu

Yapılan araştırmalar göstermektedir ki kabuk elemanların dönme serbestlik derecesine sahip olmasına rağmen, kabuk elemanlarla birleşen kiriş gibi düzlem içi çubuk elemanlarda oluşan iç kuvvet etkileri ağ sıklığına karşı tutarsızlık sergilemektedir [Smith and Coull, 1991]. Bu sorun perde duvar ile aynı düzlemdeki kirişlerin perde duvara bağlandığı noktadaki eğilme momentinde önemli farklılıkların çıkmasına yol açmaktadır. Bu problemi çözmek için perde duvara bağlı kirişler genellikle perdenin kabuk elemanları içine doğru uzanan ilave yardımcı çubuk elemanlar (Auxiliary Beam) kullanılarak modellenir [Smith and Coull, 1991]. Bu

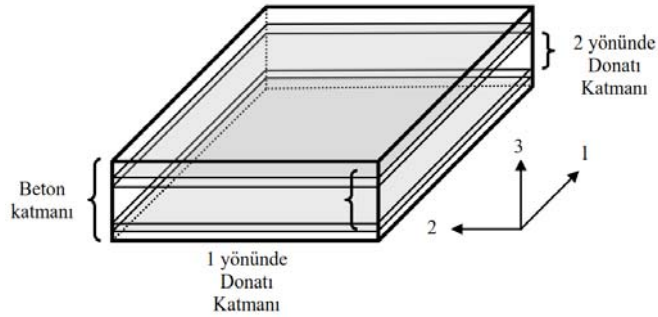
için, güç tükenmesi betonun en büyük kısalma kapasitesine erişmesiyle ortaya çıkar ve kesit taşıma gücüne erişir.

Plastik Mafsalsal Hipotezi ve Özellikleri

Doğrusal elastik olmayan malzeme kabulleriyle yürütülen yapısal analizlerde, artan dış yüklerle birlikte yapı elemanlarında oluşan iç kuvvetler de artarak eleman kesitlerinde doğrusal olmayan (plastik) şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Söz konusu şekil değiştirmeler yapısal elemanın tüm uzunluğu boyunca sürekli olarak yayılmaktadır. Elemanda oluşan toplam şekil değiştirmenin doğrusal şekil değiştirmelere oranının büyük olduğu sünek sistemlerde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsalsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabulü yapılmaktadır.

Çok Katmanlı Kabuk Elemanlar

Betonarme perdelerin doğrusal olmayan analizlerinde kullanılan ve kompozit malzeme mekaniği prensiplerine dayanan çok katmanlı kabuk elemanlar, düzlem ve düzlem dışı eğilme ve düzlemsel eğilme-kesme çifti gibi betonarme perdelerin doğrusal olmayan davranışlarını temsil edebilmektedir [Fahjan vd., 2011]. Söz konusu elemanlar kesit kalınlığı doğrultusunda farklı kalınlıklarda bir kaç katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar farklı özellikteki malzemelerden meydana gelir. Donatı çeliği ve beton malzeme modelleri, kendi fiziksel özelliklerini temsil eden bu katmanların içerisinde belirlenen kalınlıklarda tayin edilir.



Şekil 6. Çok katmanlı kabuk eleman

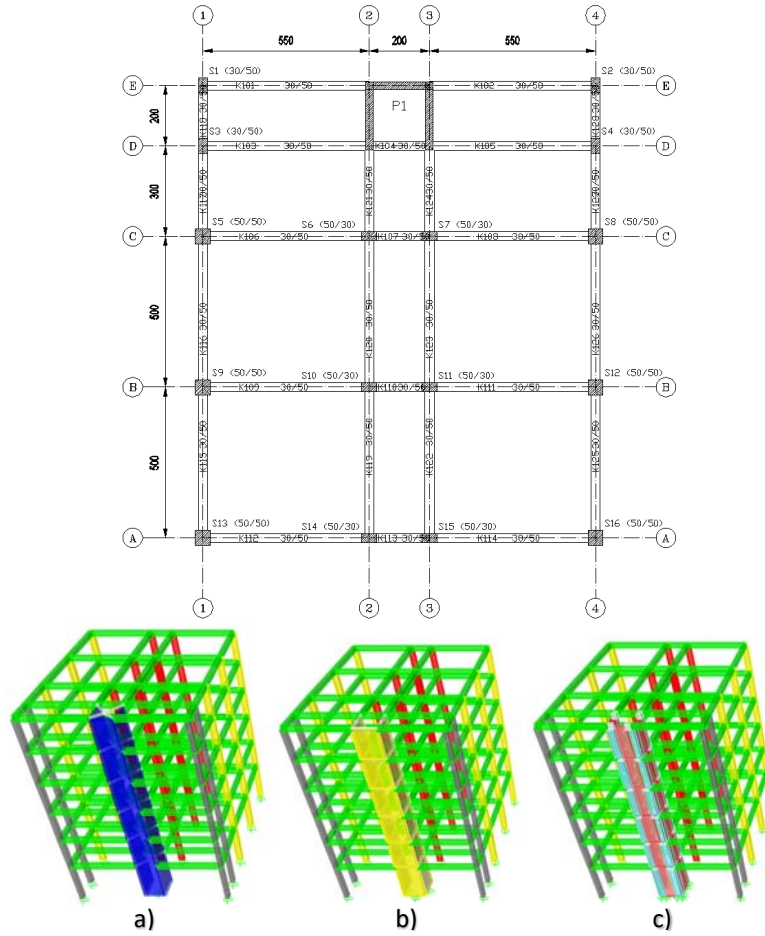
SAYISAL ÖRNEK

Modelleme tekniklerini inceleme ve aralarındaki farklılıkları ortaya koyma amacıyla hazırlanan 6 katlı yapı modelinde çalışmalar yürütülmüştür. Örnek yapı modeli planda x doğrultusunda uzunlukları değişen 3 adet, y doğrultusunda ise yine uzunlukları değişiklik gösteren 4 adet açıklığa sahiptir. Yapıdaki kolon, perde duvar ve kiriş boyutları aşağıdaki tablolarda özetlenmiştir.

Tablo 1. Taşıyıcı eleman özellikleri

Kesit İsmi	Kesit Tipi	b (mm)	h/D (mm)
BR 300x500	Dikdörtgen kiriş	300	500
CR 2000x250	Dikdörtgen perde (P1)	250	2000
CR 250x2000	Dikdörtgen perde (P1)	2000	250
CR 250x4000	Dikdörtgen perde (P2)	4000	250
CR 300x500	Dikdörtgen kolon	300	500
CR 4000x250	Dikdörtgen perde (P2-P3)	250	4000
CR 500x300	Dikdörtgen kolon	500	300
CR 500x500	Kare kolon	500	500
CR 6000x250	Dikdörtgen perde (P3)	250	6000
U2000/2000	U kesit (P1)	25	2000/2000
U4000/4000	U kesit (P2)	25	4000/4000
U6000/4000	U kesit (P3)	25	6000/4000

Düşey ve yatay taşıyıcı yapı elemanlarının ebatları tüm katlarda sabit olmakla beraber kat yükseklikleri ilk katta 3.75m olup diğer katlarda 3.00m olarak sabit yükseklikte devam etmektedir. Yapıya ait 3-boyutlu analiz modeli SAP2000 v.16 programı kullanılarak modellenmiştir.

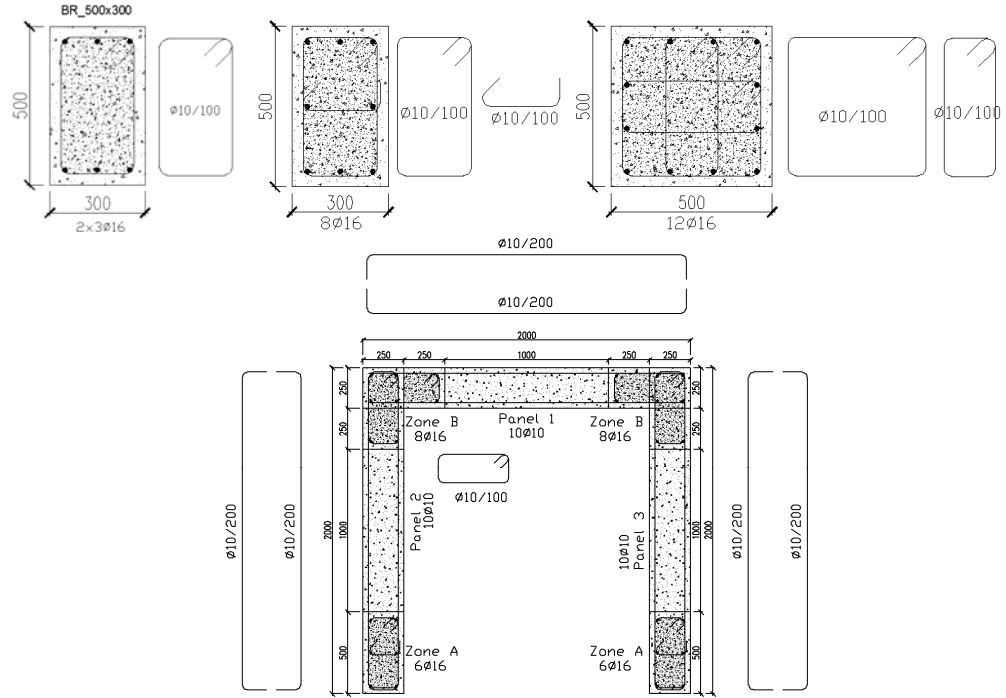


Şekil 7. Yapıya ait kat planı (yukarıda) ve analiz modelleri; a) Çubuk eleman modeli, b) Orta-kolon eleman modeli, c) Kabuk eleman modeli

Kullanılan beton sınıfı C30 kalitesinde olup betonarme donatı çeliğinin kalitesi ise S420 özelliklerindedir. Taşıyıcı sistem malzeme özellikleri yürürlükte bulunan TS500 yönetmeliğince belirtilen malzeme özellikleri referans alınarak kullanılmıştır. Yapıların birinci derece deprem bölgesinde ve Z3 zemin sınıfı içerisinde yer aldığı kabulü yapılmış olup tasarım spektrumu, DBYBHY-2007 esaslarına göre belirlenmiştir. Plastik mafsalları tanımlama amaçlı belirlenmiş olan taşıyıcı eleman donatı konfigürasyonları aşağıdaki gibidir.

Sayısal örnekler üzerinde yapılan çalışmalarda orta-kolon modeli ve çubuk eleman modellerinde kullanılmak üzere çapları 25mm ile 2000mm arasında değişen dairesel kesite sahip 8 tip fiktif kiriş eleman tanımlanmıştır. Her bir fiktif eleman için ayrı ayrı analiz modeli oluşturulmuş ve fiktif elemanların rijitliklere bağlı olarak oluşan farklılıkları ortaya koymak adına değerlendirilmeler yapılmıştır.

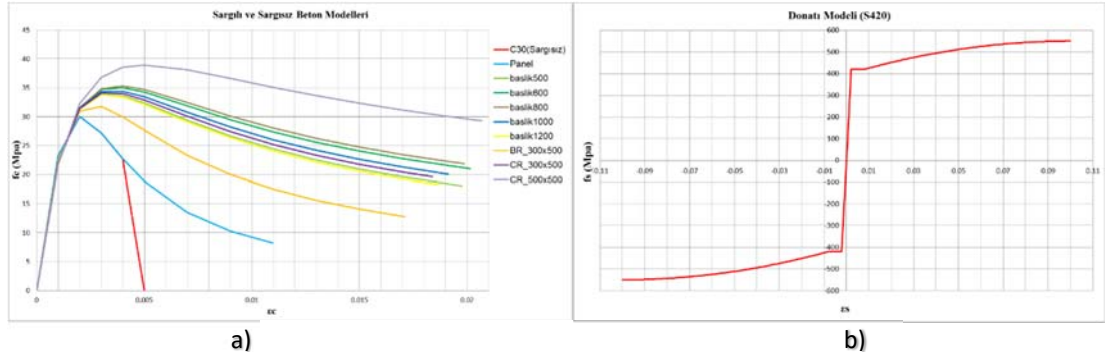
U-perde kesiti başlık ve gövde kısımlarından oluşmakta olup perde gövde kısımlarında (Panel-1 ve Panel-2) yatay ve düşey donatılar Ø10/200mm şeklindedir. Başlık kısımlarında (Zone A ve Zone B) ise %1 düşey donatı kabulü yapılmıştır.



Şekil 8. Yapı taşıyıcı elemanlarına ait elemanlara ait donatı detayları

Malzeme Modelleri

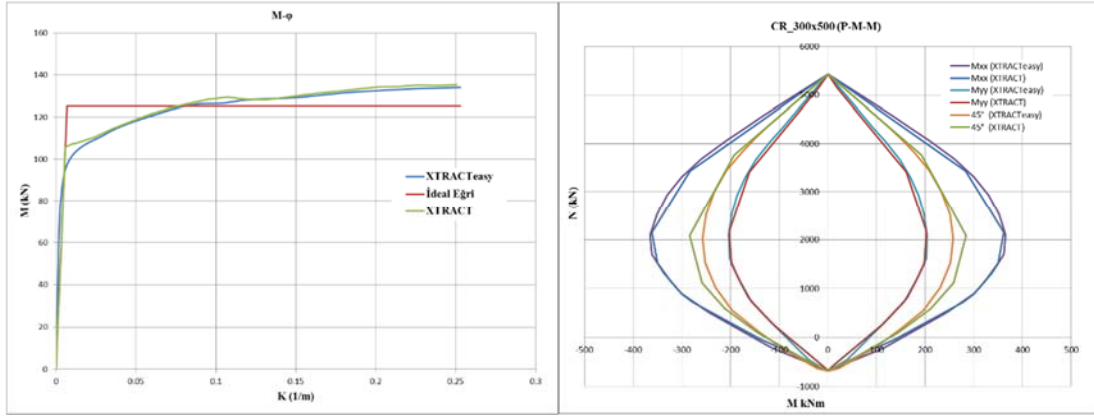
Söz konusu yapı sisteminde yer alan taşıyıcı eleman kesitleri için belirlenmiş sargılı ve sargısız beton modeli oluşturulmuştur. Aşağıda eleman kesitlerinde kullanılmak üzere tayin edilen malzeme dayanımlarına göre ve tüm sargılama bölgeleri için belirlenen sargılama etkilerine bağlı olarak oluşturulmuş beton ve donatı modelleri verilmiştir.



Şekil 9. a) Beton malzeme gerilme-şekil değiştirme eğrileri, b) S420 donatı çeliğine ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi

Kesitlere Ait Moment-Eğrilik ve Akma yüzeyi Tanımlamaları

Taşıyıcı elemanlarının kesit analizlerini ve plastik mafsalları tanımlamalarını yapmak amaçlı XTRACT V.3.0.8 programı kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında geliştirilmiş, Mander ve Priestley tarafından tanımlanan gerilme-şekil değiştirme bağıntılarını kullanarak kiriş kesitleri için moment-eğrilik (M-φ), kolon ve perde kesitleri için akma yüzeyi (PMM soğanı) oluşturmaya yarayan XTRACTeasy adlı bir excell programı oluşturulmuştur.



Şekil 9. BR_300x500 kirişi için hazırlanmış M-φ eğrileri (solda), CR_300x500 kolonu 0°, 45° ve 90° yönleri için XTRACTeasy ve XTRACT ile hazırlanmış akma yüzey eğrileri (sağda)

Yapısal Analiz Sonuçları

Çalışmada ele alınan yapı modeli, x ve x olmak üzere her iki doğrultuda da statik itme analizine tabi tutulmuştur. Yapıya ait tepe deplasmanı yaklaşık 40cm oluncaya kadar itme analizi sürdürülmüştür. İtme analizleri tamamlandıktan sonra her bir modelleme tekniği için kapasite eğrileri ve spektral ivme spektral deplasman (Sa-Sd) grafikleri oluşturulmuştur.

Yapı y doğrultusunda kütle katılım oranı %70'in üzerindedir. Yapı bu doğrultu için planda simetrik olması sebebiyle burulma düzensizliği koşulu da sağlanmaktadır. X doğrultusunda ise kütle katılım oranı %70 sınırının altında kaldığı için Sadece Y yönündeki itme analiz sonuçları değerlendirilecektir.

Tablo 2. Orta-kolon eleman yöntemi kullanılarak hazırlanan yapıya ait modal değerler ve itme analizi sonuçları

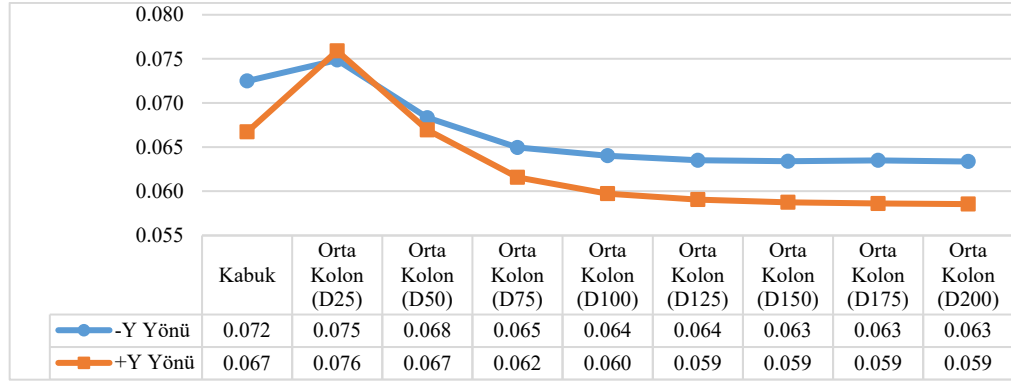
Modelleme Tekniği	Fiktif Eleman Çapı (cm)	Modal Dep. (cm)	Period (s)	Kütle Katılım Oranı	Katılım Faktörü (Γ)	Modal Deplasman S _{di} (mm)		Gerçek Deplasman (mm)			
						+ Yön	- Yön	+ Yön	Benzer davranış	- Yön	Benzer davranış
Kabuk	-	7.41	0.369	77%	18.559	4.85	5.27	6.67	-	7.25	-
Orta-Kolon Eleman Modeli	25	7.34	0.413	79%	18.613	5.56	5.48	7.59	114%	7.49	103%
	50	7.29	0.389	79%	18.676	4.92	5.02	6.69	100%	6.83	94%
	75	7.31	0.369	79%	18.679	4.51	4.76	6.16	92%	6.5	90%
	100	7.35	0.361	79%	18.649	4.36	4.67	5.97	90%	6.4	88%
	125	7.38	0.357	79%	18.623	4.3	4.62	5.9	89%	6.35	88%
	150	7.39	0.355	79%	18.607	4.27	4.61	5.87	88%	6.34	87%
	175	7.4	0.354	79%	18.596	4.26	4.61	5.86	88%	6.35	88%
	200	7.41	0.354	0.79	18.59	4.25	4.6	5.85	0.88	6.34	0.87

Değerlendirmelerde, kabuk eleman yöntemi sonuçlarına kıyasla %10'luk deplasman farkının kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu kabulü yapılmıştır. Yukarıdaki tablodan da anlaşılaacağı üzere pozitif ve negatif y doğrultusu için 50 cm'lik fiktif kiriş çapı kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmaktadır.

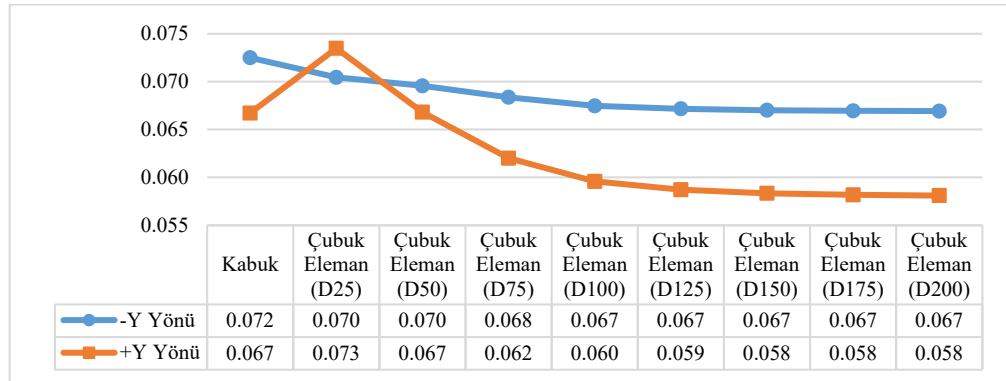
Tablo 3. Çubuk eleman yöntemi kullanılarak hazırlanan yapıya ait modal değerler ve itme analizi sonuçları

Modelleme Tekniği	Fiktif Eleman Çapı (cm)	Modal Dep. (cm)	Period (s)	Kütle Katılım Oranı	Katılım Faktörü (Γ)	Modal Deplasman S_{di} (mm)		Gerçek Deplasman (mm)			
						+ Yön	- Yön	+ Yön	Benzer davranış	- Yön	Benzer davranış
Kabuk	-	7.41	0.369	77%	18.559	4.85	5.27	6.67	-	7.25	-
Çubuk Eleman Modeli	25	7.59	0.392	77%	18.302	5.29	5.07	7.35	110%	7.04	97%
	50	7.54	0.382	77%	18.348	4.83	5.03	6.68	100%	6.96	96%
	75	7.49	0.368	78%	18.402	4.5	4.96	6.2	93%	6.84	94%
	100	7.46	0.362	78%	18.425	4.34	4.91	5.96	89%	6.75	93%
	125	7.46	0.359	78%	18.434	4.27	4.88	5.87	88%	6.72	93%
	150	7.45	0.358	78%	18.437	4.25	4.88	5.83	87%	6.7	92%
	175	7.45	0.357	78%	18.438	4.24	4.87	5.82	87%	6.7	92%
	200	7.45	0.357	78%	18.439	4.23	4.87	5.81	87%	6.69	92%

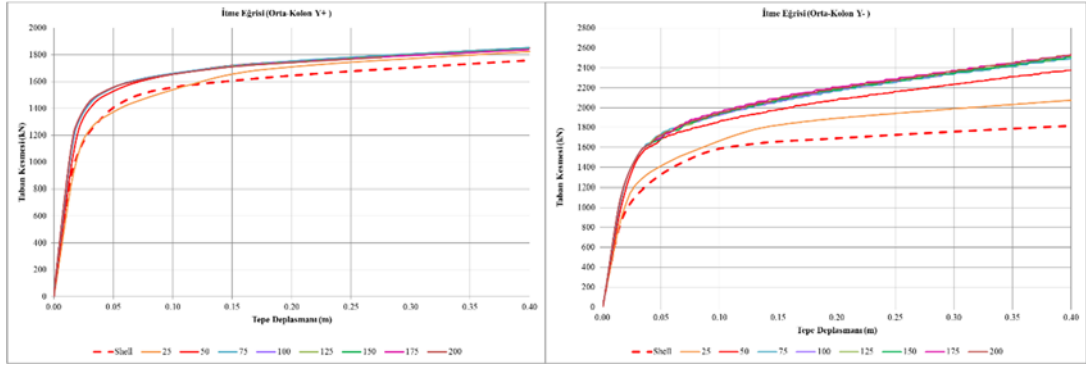
Çubuk eleman ile modelleme tekniği kullanılması durumunda ise 50 cm ve 75 cm çapında fiktif kiriş kullanımı pozitif ve negatif y doğrultusunda yeterli benzerlik oranını yakalamaktadır.



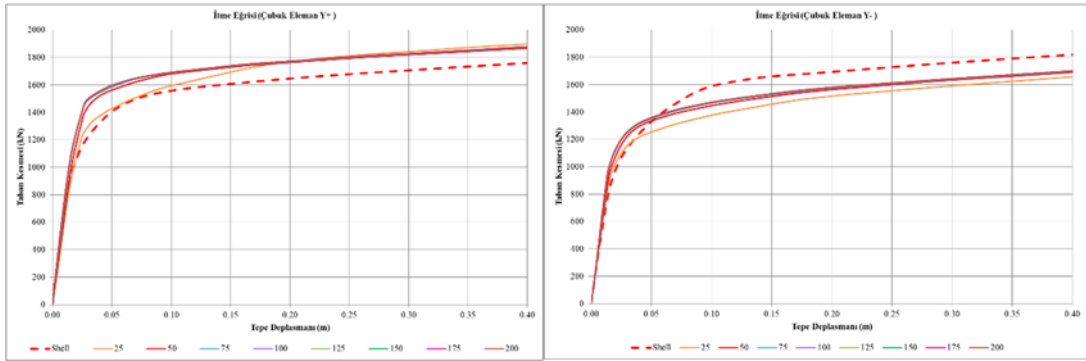
Şekil 10. Orta-kolon eleman yöntemi kullanılarak hazırlanan yapıya ait performans noktaları



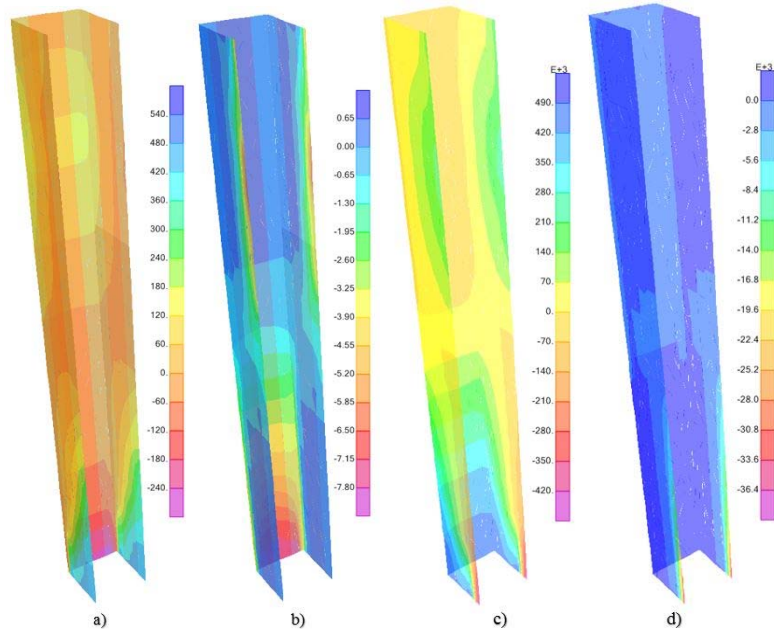
Şekil 11. Çubuk eleman yöntemi kullanılarak hazırlanan yapıya ait performans noktaları



Şekil 11. Orta-kolon eleman yöntemiyle hazırlanan modellere ait pozitif y doğrultusundaki itme eğrileri (solda) ile negatif y doğrultusundaki itme eğrileri (sağda)



Şekil 11. Çubuk eleman yöntemiyle hazırlanan modellere ait pozitif y doğrultusundaki itme eğrileri (solda) ile negatif y doğrultusundaki itme eğrileri (sağda)



Şekil 12. Yapıya ait 40cm lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen kabuk katman gerilmeleri (N-mm); a) Pozitif y doğrultusunda donatıda oluşan gerilme, b) Pozitif y doğrultusunda betonda oluşan gelen gerilme, c) Negatif y doğrultusunda donatıda oluşan gerilme, d) Negatif y doğrultusunda betonda oluşan gelen gerilme,

SONUÇ

Çalışma kapsamında, çubuk eleman modeli (stick model), orta-kolon eleman modeli (wide-column model) ve kabuk eleman modeli (shell element model) kullanılarak ayrı ayrı analiz modelleri oluşturulmuştur. Hazırlanan bu analiz modellerinde çapları 20 cm ile 200 cm arasında değişen fiktif kiriş elemanlar kullanılmış ve ayrı ayrı itme analizine tabi tutulmuşlardır. Analiz sonuçlarına göre yapılan değerlendirmelerde, farklı modelleme teknikleri kullanılmasının yanı sıra, farklı rijitliklerde fiktif eleman kullanımının yapı performansını etkileyen belirleyici unsurlar olduğu anlaşılmıştır.

Yapılan bu çalışma ve değerlendirmeler gösteriyor ki; Farklı modelleme teknikleriyle hazırlanan U-perdeli yapılarda sistem performanslarının birbirlerinden çok farklı olabileceği görülmektedir. Ayrıca, U-perdelerin modellenmesinde kullanılan fiktif kiriş rijitliklerinin sistemin sergileyeceği performansla yakın ilişkisi olduğu anlaşılmaktadır.

Bu geometriye sahip bir yapıda U-perdeyi temsil maksatlı orta-kolon modeli kullanıldığında, pozitif ve negatif Y doğrultusunda 50 cm'lik fiktif kiriş çapı tercih edilmesinin uygun olacağı görülmektedir. Çubuk eleman ile modelleme tekniği kullanılması durumunda ise 50 cm ve 75 cm çapında fiktif kiriş kullanımı kabuk eleman kullanılarak yapılan analizlerle yeterli benzerlik oranını sağlamaktadır.

Yapılan analiz sonuçları arasında görülen farklılıklar, modelleme tekniği konularında biraz daha çalışma ve ilerleme gerekliliğinin açık göstergesidir.

KAYNAKLAR

Wilson, E. L., (2002), "Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures, A Physical Approach With Emphasis on Earthquake Engineering", Third edition 2002, Computers and Structures Inc, U.S.A.

Fahjan Y. M., (2008), "Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi", İMO Teknik Dergi, 4423-4444.

Nicolae I. and Reynouard J. M., (2000), "Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Shear Wall Under Earthquake Loading", Journal Of Earthquake Engineering, 4: 2, 183-213.

Celep Z., Gençoglu M., (2008)"Deprem Yönetmeliği (2007) de Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemleri'ne basit örnekler", Betonarme Yapılar Semineri, İstanbul Teknik Üniversitesi, 90-111..

Smith B. S. and Coull A., (1991), "Tall Building Structures: Analysis and design", John Wiley & Sons, Inc, New York, USA.

Beyer K., Dazio A. and Priestley M. J. N., (2008), "Quasi-static cyclic tests of two U-shaped reinforced concrete walls", Journal of Earthquake Engineering 12 (7), 1023-1053.

Reynouard J. M. and Fardis M. N., (2001)"Shear wall structures", CAFELECOEST/ICONS Thematic Report No. 5, LNEC (Laboratorio Nacional de Engenharia Civil), Lisboa, Portugal.

Mander J. B., Priestley, M. J. N., Park R., 1988, Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, Journal of Structural Division (ASCE), 114(8), 1804-1826

Kent D. C., and Park R, Flexural Members with Confined Concrete, Journal of the Structural Division, ASCE, V.97, ST7, July 1971

DBYBHY, (2007), "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

TS500 (2000) Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara