

# PERDELİ BETONARME YAPILAR İÇİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ METOTLARI

## NONLINEAR ANALYSIS METHODS FOR REINFORCED CONCRETE BUILDINGS WITH SHEARWALLS

Yasin M. FAHJAN<sup>1</sup>, Kürşat BAŞAK<sup>2</sup>, Joseph KUBİN<sup>3</sup> ve Mustafa T. TAN<sup>4</sup>

### ÖZET

*Perde duvarların doğru modellenmesi, özellikle bina türü yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde büyük önem taşımaktadır. Doğrusal analizlerde, betonarme perde duvarlar, kabuk elemanlarla veya çubuk elemanların birleşimleri kullanılarak modellenir. Doğrusal olmayan analizlerde ise, perde duvarı temsil eden orta dikme çubuğunun doğrusal olmayan malzeme modeli, genellikle plastik mafsalsal kavramı esas alınarak, kritik kesitteki plastik alana yerleştirilir ya da hesap açıklığı boyunca dağıtılır. Kabuk elemanların doğrusal olmayan davranışları modellenirken genellikle katmanlanmış malzeme modeliyle çok katmanlı kabuk elemanları kullanılır. Bu çalışmada, beton ve donatılar, yapı elemanlarının içinde farklı katmanlarla modellenir. Bu çalışmada, bina türü yapıların yapısal analizlerinde başlıklı ve başlıksız perdelerin doğrusal ve doğrusal olmayan modelleri üzerinde çalışılmıştır. Çubuk ve kabuk elemanlar için bahsedilen farklı modelleme yaklaşımlarının sonucunda elde edilen analiz sonuçları, yapı sistemlerinin genel davranışı açısından karşılaştırılmıştır.*

Anahtar Kelimeler: Betonarme perde duvar, doğrusal olmayan analiz, çok katmanlı kabuk, plastik mafsalsal.

### ABSTRACT

*Proper modeling of shearwalls is very important for both linear and nonlinear analyses of building structures. Regarding linear analyses, Reinforced concrete (RC) shearwalls are modeled employing various techniques like using shell elements or a combination of frame elements. For nonlinear analyses, the nonlinear material model of mid-pier frame element is generally based on plastic hinge concept located at plastic zones towards the ends of structural elements or distributed along the member span length. The nonlinear behavior of shells is generally modeled using multi-layer shell element with layered material model. In this approach, the concrete and the reinforcement contained in the structural elements are modeled using different layers respectively. In this study, different approaches for linear and nonlinear shear wall modeling are studied and applied to a RC building case with shear walls. The analysis results are compared in terms of overall behavior of the structural systems.*

Keywords: Reinforced concrete shearwall, nonlinear analysis, multi layer shell, plastic hinge.

## 1. GİRİŞ

Sismik açıdan aktif ülkelerdeki çok katlı yapı sistemlerinde betonarme perde duvarlar yaygın olarak kullanılır. Büyük oranda kesme kuvveti taşıyan bu elemanlar yapısal analiz sonuçlarını önemli ölçüde etkilediği için, perde duvarların doğru bir şekilde modellenmesi bina türü yapıların

<sup>1</sup> Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, fahjan@gyte.edu.tr

<sup>2</sup> Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, kursatbasak@hotmail.com

<sup>3</sup> PROTA Mühendislik Ltd., Ankara, jkubin@prota.com.tr

<sup>4</sup> PROTA Mühendislik Ltd., Ankara, mustafa.tan@prota.com.tr

doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri için büyük önem taşımaktadır. Doğrusal analizlerde, betonarme perde duvarlar kabuk elemanlarla ve/veya çubuk elemanların birleşimleri kullanılarak modellenir. En yaygın modelleme tekniği, perde duvarın rijitliğini gözönüne almak için bir orta dikme çubuk elemanı kullanmaktır. Kesişen kirişlerin ve döşeme parçalarının uygun bağlantılarına izin vermek için yatay çubuk elemanları (rijit kirişler) kullanılır. Kabuk elemanlar ise genellikle düzlem (plate) ve düzlem dışı (membrane) serbestlik derecelerinden meydana gelir (Kubin ve ark., 2008).

Yapısal mühendislik uygulamalarında, çerçeve türü taşıyıcı sistemler (kolon, kiriş) için doğrusal olmayan analiz yöntemleri geliştirilmiş ve iyi tanımlanmış olmasına rağmen, perde duvarlar için doğrusal olmayan modellerin pratikte benimsenmesi için iyileştirilmesi gerekmektedir. Betonarme perde duvarlara ait doğrusal olmayan malzeme davranışı için, orta-dikme çubuk modeli veya kabuk elemanları kullanımına bağlı olarak farklı çözümsel modeller kullanılır. Orta dikme çubuğunun doğrusal olmayan modeli genellikle plastik mafsallık kavramına ve çift eğilmeli moment-dönme ilişkisine dayanır. Plastik mafsalların (P-M-M etkileşimi), yapısal eleman uçlarındaki plastik bölgede olduğu veya hesap açıklığı boyunca dağıtıldığı varsayılabilir (Otani, 1980). Mafsallık plastik davranışını tarif etmek için fiber model kullanmak daha kapsamlı bir model olarak kabul edilebilir. Kabuk elemanların doğrusal olmayan malzeme modeli, yöne bağımlı malzeme modeli ile katmanlı kabuk eleman kullanılarak modellenebilir (Dorninger ve Rammerstorfer, 1990). Bu modelde, yapısal elemanların içindeki donatı ve beton, farklı doku katmanlarıyla modellenir. Böylece malzemenin histeretik davranışı düzgün bir biçimde simüle edilebilir. Diğer taraftan, uygulamaların çoğunluğu bu tarz elemanlar için doğrusal olmayan perde modelleri içermez.

Fahjan ve ark. (2010), çalışmalarında doğrusal olmayan statik artımsal itme analizini sadece başlıksız perde duvarlara sahip betonarme bir bina sistemi için yapmışlardır. Bu çalışmada ise doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi, hem başlıklı hem de başlıksız perde duvarlara sahip betonarme çerçeveli binalara uygulanmıştır. Perde duvarlar orta-dikme çubuk elemanları veya kabuk elemanlar ile modellenmiştir. Orta-dikme çubuk modeli için doğrusal olmayan malzeme davranışı plastik mafsallar (P-M-M etkileşimi) kullanılarak modellenmiş; çok katmanlı modelde ise, beton ve kesit içindeki donatılar katmanlı kabuk olarak kabul edilmiştir. Farklı modellerin sonuçları, yapısal sistemlerin genel davranışı açısından karşılaştırılmıştır.

## 2. PERDE DUVARLAR İÇİN DOĞRUSAL MODELLER

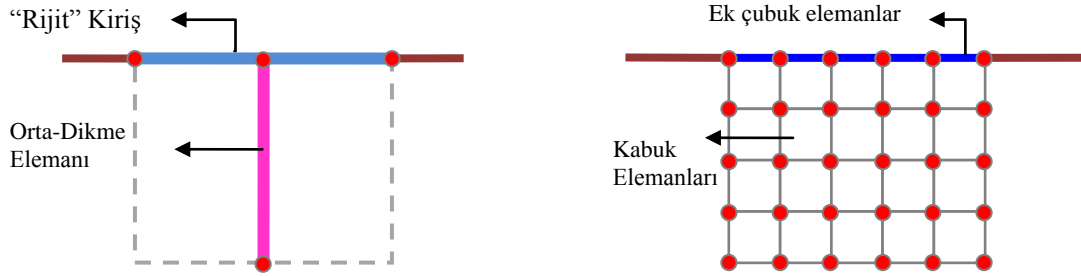
Perde duvarlara sahip bina türü yapısal sistemlerin analizinde sonlu elemanlar yönteminin doğru bir şekilde uygulanması, ancak modelleme yaklaşımlarının doğru anlaşılması ile mümkündür. Bu sistemlerde kullanılan iki modelleme yöntemi ve ilgili varsayımlar aşağıda açıklanmıştır.

### 2.1. Orta-Dikme Çubuk Modeli

Perde duvarlar, bir dizi çerçeve elemanı kullanılarak modellenmiştir. En yaygın modelleme tekniği perde rijitliğini tarif etmek için bir orta-dikme çubuk elemanı kullanımı ve kesişen kirişler ile döşeme bileşenlerinin uygun bağlantılarına izin vermek için yatay çubuk elemanları (rijit kirişler) kullanmaktır (Şekil 1). Bu modelde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, yatay çubuk elemanlarının rijitliklerinin doğru olarak atanmasıdır. Rijit kirişlere çok büyük rijitlik değerleri (sonsuz rijit kabulü) atanması durumunda, özellikle perdeye bağlanan diğer yapısal elemanlarda gerçekçi olmayan kesit etkilerinin oluşmasına neden olur. Bu yaklaşım pratikte düzlemsel perde duvarlı bina türü yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu model birbiriyle etkileşen çekirdek perde sistemlerinde, perde duvar uzunluğunun çok büyük olduğu durumlarda, yapı yüksekliği boyunca daralan ya da eğimli perde duvarlarda güvenilir sonuçlar vermemektedir.

### 2.2. Sonlu Elemanlar Kabuk Modeli

Perde duvarlı bina türü yapıların analizinde kabuk elemanlar kullanılarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmektedir. Analiz ve tasarım yazılımlarının çoğunda kabuk elemanlarının düzlem-içi dönme serbestlik derecesiyle (drilling degree of freedom) birlikte her düğümde altı serbestlik derecesine sahip olduğu varsayılır. Bu serbestlik derecelerinin kullanımı, kabuk eleman modelini 3-boyutlu çubuk elemanları ile uyumlu konuma getirir. Dörtgen elemanların yer değiştirme alanını tanımlamak için doğrusal şekil fonksiyonları kullanılır (Wilson 2002). Bu nedenle, kabuk elemanlar ile perde duvar modellemesinde gerçekçi bir davranış elde etmek için ağ sistemi oluşturulmasına ihtiyaç duyulur. Kabuk elemanlarını kullanmanın en büyük avantajı, birbiriyle etkileşimli olan karmaşık perde duvar sistemlerinin modellenmesini sağlamasıdır. Kabuk eleman denklemleri düzlem-içi dönme serbestlik derecesini içermesine rağmen, çözümsel sonuçlar göstermektedir ki bu dönme serbestlik derecesinden elde edilen sonuçlar yüklem şartları ve ağ sıklığına karşı tutarsız ve aşırı duyarlıdır. Bu durum, duvarla aynı düzlemdeki kirişlerin perde duvara bağlandığı noktadaki eğilme momentinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu problemi çözmek için mühendislik uygulamalarında perde duvara bağlı kirişler genellikle perdenin kabuk elemanları içine doğru uzanan ek çubuk elemanları (rijit kirişler) kullanılarak modellenir. (Şekil 1)



Şekil 1. Perde için orta-dikme ve kabuk eleman modelleri

### 3. PERDE DUVARLARDA DOĞRUSAL OLMAYAN MALZEME MODELİ

Perde duvar elemanlarının doğrusal olmayan modellerinde, 3-boyutlu doğrusal olmayan katı elemanlar, 2-boyutlu doğrusal olmayan kabuk elemanlar ve çubuk elemanlar olmak üzere, karmaşıktan basitleştirilmiş doğru farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır.

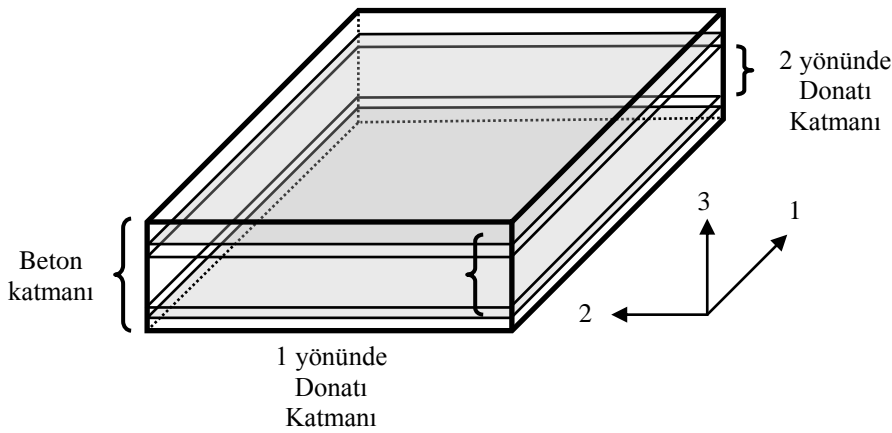
#### 3.1. Sürekli Sonlu Eleman Modeli

Perde duvarlar, doğrusal olmayan katı elemanların kullanıldığı sürekli elemanlarla ANSYS, ABAQUS gibi bazı gelişmiş yazılımlar kullanılarak modellenir. Sürekli elemanlar beton ve donatı model detaylarında kesin üstünlük sunarlar (Nicolae and Reynouard, 2000). Donatı üç farklı yönde tanımlanabilir ve beton modeli elastisite modeli; elastisite akış teorisi, Von Misses verimlilik kriteri, izotropik sertleştirme ve akış kuralına dayanır. Sürekli elemanlar ile eksenel eğilme etkisi, elastik olmayan perde deformasyonu, beton davranışları üzerinde çeliğin kısıtlayıcı etkisi, beton basıncını yumuşatma ve beton gerilimini sertleştirme gibi önemli davranışsal tepkiler elde edilebilir (Spacone and El-Tawil, 2004). Sürekli eleman modelleri daha büyük miktarda girdi parametrelerine ihtiyaç duymalarına rağmen bir ya da daha fazla betonarme eleman parçalarının analizinde daha verimli olurlar. Öte yandan, sürekli elemanlar modeli normal büyüklükteki bina yapılarının tasarımı ve analizinde pratik olarak henüz uygulanabilir değildir.

#### 3.2. Çok Katmanlı Kabuk Elemanı

Perdeler modellenirken çok katmanlı kabuk elemanlarının yayıldığı ağlar kullanılır. Çok katmanlı kabuk elemanı, kompozit malzeme mekaniği prensiplerine dayanır ve bu düzlem/düzlem dışı eğilme çifti ve düzlemsel eğilme-kesme çifti gibi betonarme perdelerin doğrusal olmayan

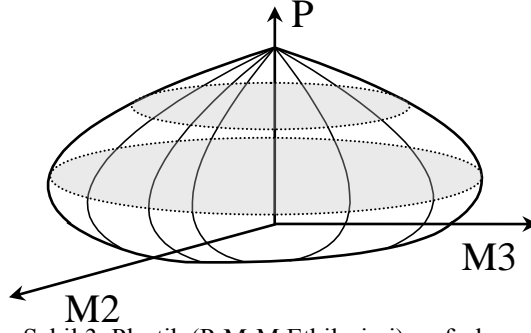
davranışlarını simule edebilir (Miao ve ark., 2006). Kabuk elemanı, farklı kalınlıklardaki bir kaç katmandan oluşur ve bu katmanlar farklı özellikteki malzemelerden meydana gelir (Şekil 2). Bu, donatı çeliğinin ya da birden fazla katman içine yayılabilmesi anlamına gelir. Sonlu elemanlar hesabı sırasında bir eleman için aksel gerilme ve orta katman eğriliği elde edilebilir. Düzlem kesitlerin düzlem kaldığı varsayımına göre, diğer katmanların eğilmeleri ve gerilmeleri hesaplanabilir. Daha sonra buna karşılık gelen basınç gerilmeleri katmanlarda kullanılan malzemenin yapısal bağlantıları vasıtasıyla hesaplanabilir. Üstteki prensiplerden görülmektedir ki, perdenin yapısal performansı malzeme davranışının temel prensipleri ile doğrudan ilgilidir. Performansa dayalı tasarımda kullanılmak üzere, sünek betonarme elemanların performans kriterleri ATC 40 ve FEMA 356 belgelerinde eleman uçlarındaki plastik dönme cinsinden tarif edilmiştir. Bu nedenle, mühendislik uygulamalar için bu modelin daha da geliştirilmesi gerekmektedir. Bu durumlarda kayma deformasyonlarının hakim olduğu perde duvarlarda göreceli ötelenme oranı ATC 40'da tanımlanmış deformasyon ölçütleri ile karşılaştırılabilir.



Şekil 2. Çok katmanlı kabuk eleman

### 3.3. Plastik Mafsallı (P-M-M Etkileşimli) Orta-Dikme Çubuk Modeli

Çerçeve modeli, orta-dikme ve rijit kiriş elemanlarından oluşmaktadır. Doğrusal olmayan malzeme davranışı, orta-dikme elemanındaki bir plastik mafsallı ile modellenir. Plastik mafsallı yapısal model, plastik eğilmenin beklendiği bölgeye bir elasto-plastik yay elemanı yerleştirilerek oluşturulur. İki elasto-plastik yay arasındaki eleman elastik olarak modellenir. Elastik olmayan şekil değiştirmelerin tamamının bu yaylarda meydana geldiği varsayılır (Otani, 1980). Bu tek bileşenli model, Giberson (1967) tarafından geliştirilmiştir. Orta-dikme çubuk elemanın doğrusal olmayan modeli genellikle iki doğrusal parçalı (bilinear) moment-dönme ilişkisi ve plastik mafsallı kavramına dayanır (Şekil 3). Plastik mafsalların (P-M-M Etkileşimli), yapı elemanlarının uçlarındaki plastik bölgelerde oluştuğu ya da elemanların hesap açıklığı boyunca dağıldığı kabul edilir (Otani, 1980). FEMA 356, iki doğrusal parçalı (bilinear) moment-dönme ilişkisine sahip perdeler için kabul kriterleri tanımlamakta ve plastik mafsallı özellikleri önermektedir. Daha kapsamlı plastik mafsallı (P-M-M Etkileşimli) modeli, mafsallı plastik davranışını tarif eden fiber model kullanarak hesaplanabilir. Plastik mafsallı tanımları mühendislik uygulamalarında perdelerin doğrusal olmayan analizinde doğrudan kullanılabilir.



Şekil 3. Plastik (P-M-M Etkileşimi) mafsal

#### 4. SAYISAL ÖRNEK

Burada kullanılan örnek, bir okul binasıdır. Yapıdaki kolon, perde duvar ve kiriş boyutları ve döşeme kalınlıkları Tablo 1’de özetlenmiştir. Düşey taşıyıcı yapı elemanlarının kesitleri yükseklik boyunca sabittir. Bina 5 katlıdır ve kat yükseklikleri 3,5 m’dir. 3-boyutlu fiziksel ve analitik modeller Şekil 4’te gösterilmektedir. Bina içinden alınan numune örneklerinin değerlendirilmesi sonucu mevcut beton sınıfının C14 olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık gelen elastisite modülü, Türk Betonarme Standartları’na (TS500) göre  $2.615 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>’dir. Yapı elemanlarında kullanılan donatı çeliği sınıfı S420 olarak belirlenmiştir. Kat kütleleri zati ağırlıkları (G) ve hareketli yükün %30’u (Q) alınarak hesaplanmıştır. Binanın kütle merkezi her düğüm noktasındaki kütle dağılımı baz alınarak hesaplanmıştır. Örnek binanın 3-boyutlu modelinin oluşturulması ve yapısal analizi amacıyla Probing Orion 2011 yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımda kullanılan kabuk elemanları Wilson (2002) tarafından önerilen formülasyonlara dayanmaktadır. Bina, birinci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Yerel zemin sınıfı Z2, bina önem katsayısı (I) 1,5 olarak kullanılmıştır. Tasarım spektrumu, Türk Deprem Yönetmeliği (2007) esaslarına göre hesaplanmıştır. Kolon ve perde duvarlardaki donatı dağılımı Şekil 5’te gösterilmiştir.

Tablo 1. Örnek binanın eleman boyutları

Kolonlar (mm)	300x600
Perdeler (mm)	3250x250 ve 5250x250
Kirişler (mm)	250x600
Döşeme Kalınlığı (mm)	120

Tablo 2. Örnek bina elemanlarında bulunan donatı

Kolonlar (mm)	Boyuna donatı: 8ø16 Etriye: ø 8/20
Perdeler (mm)	Boyuna donatı: ø 12/20 Enine donatı: ø 12/20
Kirişler (mm)	Üst donatı %0.8, alt donatı %0.4 her iki uçta

Bu örnekte, perde duvarlar farklı teknikler ile modellenerek 3 ayrı analiz modeli kullanılarak oluşturulmuştur:

- 1) Perde duvarlar çok katmanlı kabuk elemanlar ile modellenmiştir; 3.25 m ve 5.25 m genişliğindeki perdelerde 75x87 ve 83x87 cm ağ (mesh) boyutlarına sahip kabuk elemanlar kullanılmıştır. Doğrusal olmayan çok katmanlı malzeme modelinde, Mander gerilme-birim

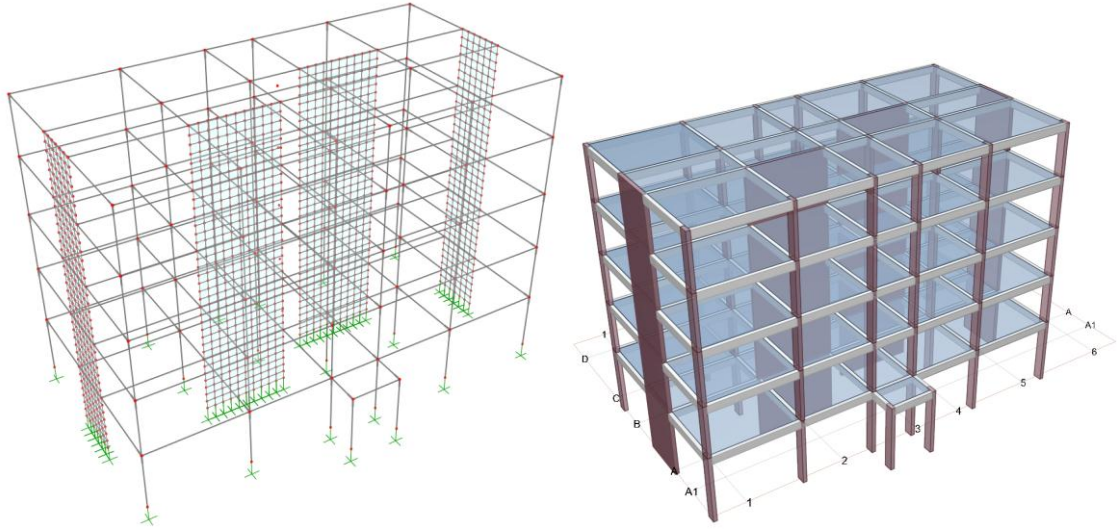
şekil değiştirme ilişkisi (Mander ve ark., 1988) gözönüne alınarak, basınç gerilmesinin maksimum gerilmeye oranının 0.002 ve maksimum gerilmenin 0.005 olduğu beton modeli benimsenmiştir. Kinematik doğrusal olmayan model ise, donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki şekil değiştirmesi 0.01; en yüksek gerilim kapasitesi 0.09 olacak şekilde seçilmiştir. Her iki yöndeki enine ve boyuna donatı, ayrı birer katman olarak kabul edilmiştir. Kesitteki üst ve alt donatının etkisini gözönüne alabilmek için her yönde iki katman kabul edilmiştir.

- 2) Perde duvarlar, FEMA 356'ya göre tanımlanan plastik mafsal atanmış orta-dikme çerçevesi kullanılarak modellenmiştir. Orta-dikme, perde duvarın kesitözelliklerine sahip çerçeve elemanı olarak modellenmiştir. Dikdörtgen rijit kiriş kesitinin kalınlığı duvarın kendisiyle aynı olarak görülebilir. Plastik P-M-M mafsallarının özellikleri FEMA 356'ya göre Tablo 2'de verilmiş donatı çeliği dağılımı ile tanımlanmıştır. Eksenel kuvvet seviyesi hareketli ve ölü yüklerin ( $G+0.3Q$ ) bir birleşiminden edilmiştir. Enine donatı yeterli sargılamayı sağlamamaktadır.
- 3) Perde duvarların kesit özellikleri dikkate alınarak fiber modelleri oluşturulmuştur. Orta dikme elemanlarına bu fiber modeli kullanan plastik mafsallar tanımlanmıştır. Orta-dikme elemanı, Model-2'de olduğu gibi perde duvarın kesit özelliklerine sahip çerçeve elemanları kullanılarak modellenmiştir. Fiber model kullanan plastik mafsallar Model-1'de tarif edilendonatı çeliği dağılımını kullanarak oluşturulmuştur. Beton ve donatı çeliğine ait doğrusal olmayan malzeme modelleri, Model-1'de olduğu gibi Mander ve Kinematik model olarak kullanılmıştır..

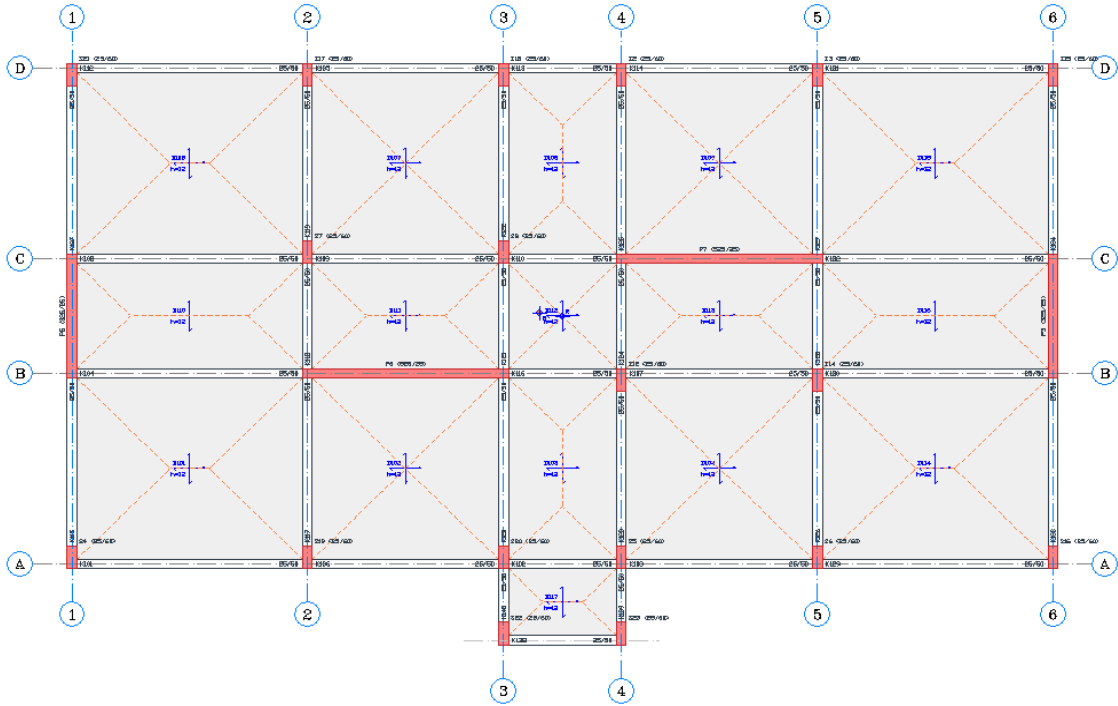
Önerilen üç perde ürettiği sonuçları ve davranışlarını incelemek için, Doğrusal olmayan statik analizler (artımsal itme) gerçekleştirilmiştir. Artımsal itme analizinde yapıya hakim titreşim modu ile uyumlu statik bir yatay yük deseni uygulanmış ve bu yük deseni adım adım artırılarak yapı kararsız duruma geçinceye kadar itilmiştir. Her itme adımında, yapının kritik bölgelerinde aktifleşen plastik mafsalları not edilmiş, mafsal oluşum mekanizmaları gözlemlenmiştir. Her adımda elde edilen tepe yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti itme eğrisi olarak çizilebilir. Tasarım spektrumu ile tanımlanmış, belirli deprem yükü seviyesi altındaki binaların performansını incelemek için, performans noktası kavramı kullanılmaktadır. FEMA 356 ve ATC40'nın performans noktasını hesaplamak için farklı yaklaşımları vardır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007), eşit yer değiştirme kuralına cevap veren bir performans noktası hesabı önerir.

Oluşturulan bu farklı modellerin doğrusal olmayan analizleri SAP2000 (CSI, 2009) kullanılarak yapılmıştır. Kolonlar doğrusal olmayan özellikler P-M-M mafsalları yardımıyla tanımlanmıştır. Kirişler için ise eksenel yüklerle etkileşimsiz moment mafsalı yeterli olmaktadır. Plastik mafsallar, Tablo 2'de verilen donatı dağılımı ile FEMA 356'ya göre tanımlanmıştır. Mafsallar hazırlanırken kolonlardaki eksenel kuvvet ve kirişlerdeki kesme kuvveti, hareketli ve ölü yüklerin ( $G+0.3Q$ ) kombinasyonundan hesaplanmıştır. Enine donatı gerekli sargılama koşullarını sağlamamaktadır.

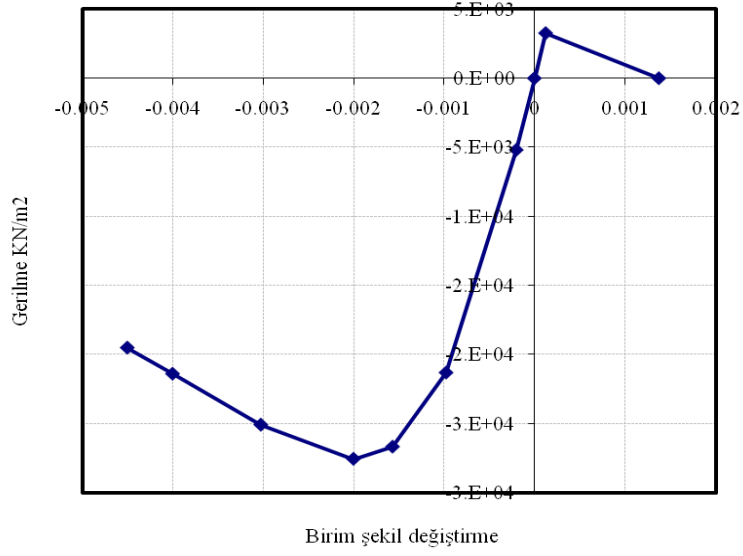
Başlıklı perde duvarlara sahip modellere ait artımsal itme eğrileri Şekil 7'de, başlıksız perde duvarlara sahip modellerin artımsal itme eğrileri ise Şekil 11'de verilmektedir. Performans noktasını hesaplamak için, sistemin tipik modal karakteristiklerinden yola çıkılarak artımsal itme eğrileri kapasite eğrilerine dönüştürülmüştür. Tüm modeller için TDY (2007) prosedürüne göre hesaplanan performans noktası değerleri Tablo 3'te özetlenmiştir. Başlıklı ve başlıksız perde duvarlara sahip betonarme bina modellerinde hesaplanan görel kat ötelemesi oranları sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 12'de verilmiştir. Çok katmanlı kabuk ve orta-dikme çubuk modelleri için başlıklı ve başlıksız perde duvarlara sahip modellerdeki kolon ve kirişlerde performans noktası isteminde oluşan plastik mafsal durumları ise sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.



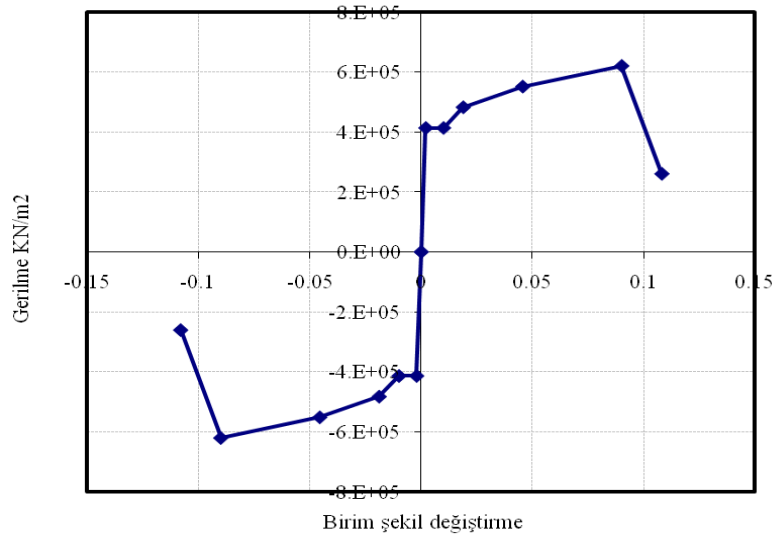
Şekil 4. Örnek binanın 3 boyutlu fiziksel ve analitik modeli



Şekil 5. Örnek binanın kat planı



Şekil 6. Örnek bina için doğrusal olmayan malzeme -beton- modeli



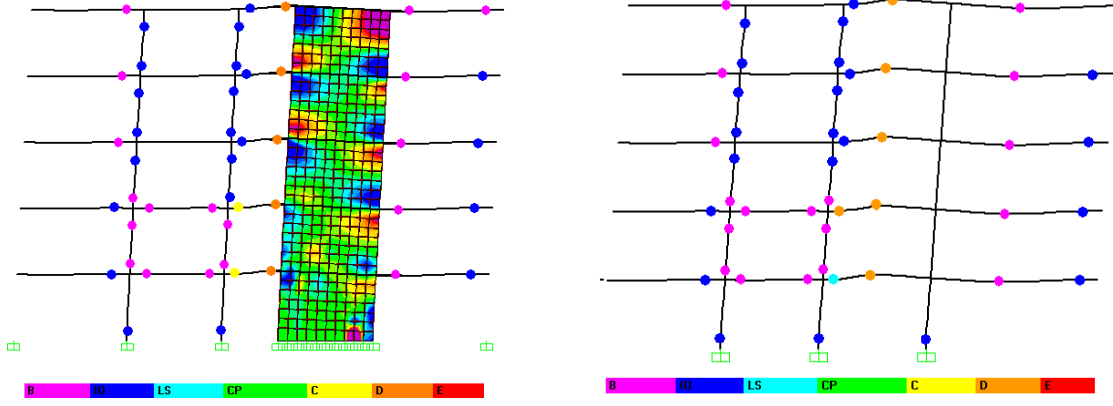
Şekil 7. Örnek bina için doğrusal olmayan malzeme – donatı çeliği modeli

Tablo 3. Tüm modeller hesaplanan performans noktası değerleri

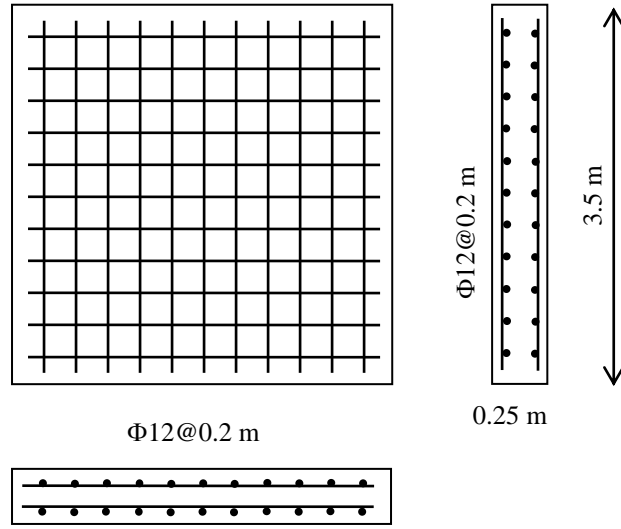
	Başlıklı Perde Duvarlara Sahip Model	Başlıklı Perde Duvarlara Sahip Model
FEMA 356 modeli	20.9 cm	20.9 cm
Fiber Modeli	20.8 cm	21.2 cm
Kabuk Modeli	18.4 cm	18.5 cm



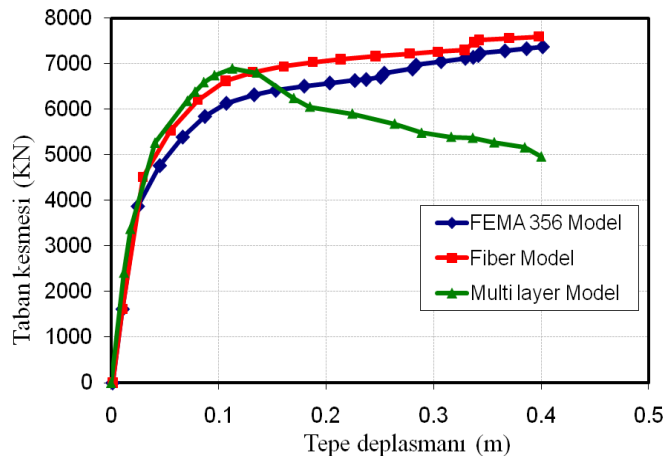




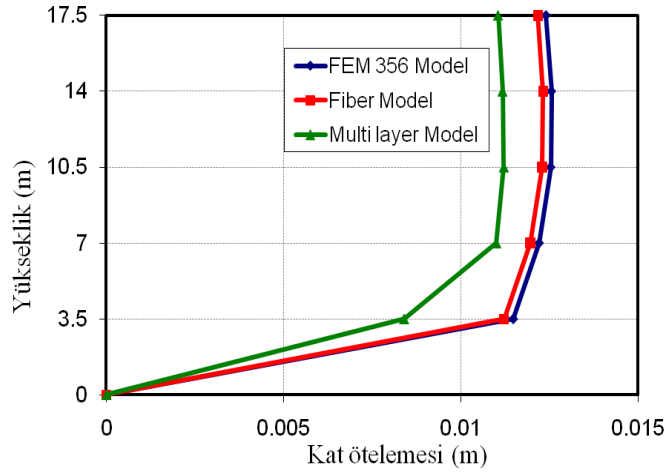
Çok Katmanlı Kabuk Modeli Orta-Dikme Çerçeve Modeli  
Şekil 11. Başlıklı perdeli bina için çok katmanlı kabuk ve orta-dikme çerçeve modelleri için performans noktasındaki plastik mafsal durumu



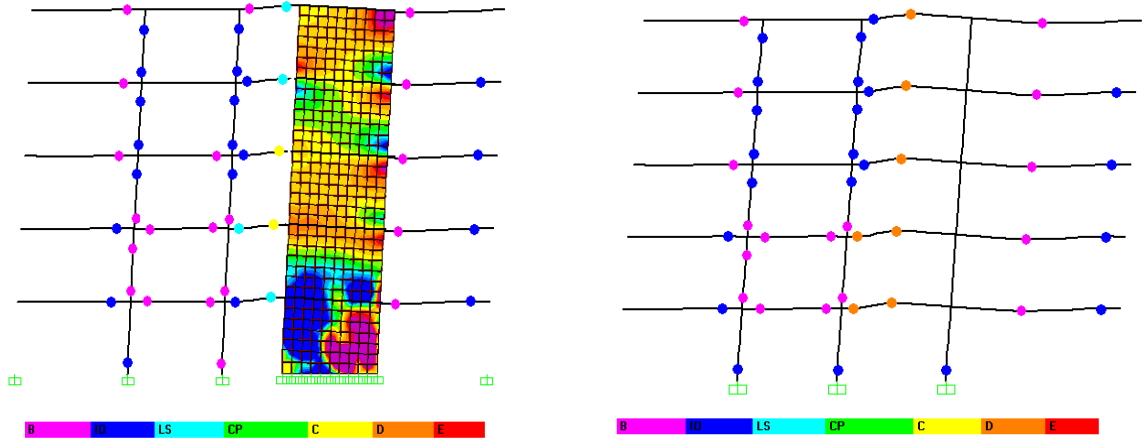
Şekil 12. Başlıksız perde ve kolon elemanlarında donatı dağılımının örneği



Şekil 13. Farklı başlıksız perde modelleri kullanan betonarme binalar için itme eğrileri



Şekil 14. Farklı başlıksız perde duvar modelleri kullanan betonarme binalar için karşılıklı kat eğilim oranları



Çok Katmanlı Kabuk Modeli

Orta-Dikme Çerçeve Modeli

Şekil 15. Başlıksız perdeli bina için çok katmanlı kabuk ve orta-dikme çerçeve modelleri için performans noktasındaki plastik mafsal durumu

## 5. TARTIŞMALAR VE SONUÇLAR

Çeşitli perde dağılımlarına sahip farklı binaların sayısal sonuçlarına ve örnek olarak ele alınan betonarme okul binasına ait başlıklı ve başlıksız perde duvar modellerinin sonuçları kümesine dayanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

Enine ve boyuna donatılara sahip iki katmanlı perde duvar, betonarme malzemenin doğrusal olmayan davranışını (çok katmanlı kabuk ve plastik mafsallı orta-dikme çerçeve) gözününe alabilmek için farklı tekniklerle modellenmiştir. Perde duvarlara ait plastik mafsalların özellikleri, FEMA 356 önerileri doğrultusunda veya fiber modeli esaslı plastik mafsal özellikleri kullanılarak tanımlanmıştır. FEMA 356 modeli ve fiber modelinin kullanıldığı bina sistemlerinde yapılan artımsal itme analizleri, örnekte özdeş tepe yer değiştirmesi-taban kesme kuvveti eğrileri meydana getirmiştir. Bu eğriler yaklaşık olarak, artımsal itme analizinin ilk 100 mm ötelenme düzeyi için çok katmanlı kabuk modelleri kullanılarak elde edilen eğrilerle benzerdir. FEMA 356 ve fiber modeller kullanılarak elde edilen taban kesme kapasiteleri, 100 mm ötelenme düzeyinden sonra çok katmanlı kabuk modeline göre daha yüksek seyretmektedir. Bu davranış farkı, FEMA 356 ve fiber modellerinde kullanılan plastik mafsal kuvvet-ötelenme eğrilerinin elasto-plastik kabulü ile oluşturulmasından kaynaklanmaktadır. Performans noktalarının, FEMA 356 ve fiber modellerde benzer olmasına karşın, çok katmanlı kabuk modellerinde %15 daha küçüktür. Başlıklı ve başlıksız

perde duvarlara sahip tüm modellerde performans noktasında oluşan plastik mafsallık dağılımı ve durumları benzerdir.

Perde duvar performansını değerlendirmek amacıyla, FEMA 356 ve fiber mafsallık modeline uyumlu plastik mafsallar tarafından üretilmiş plastik dönmeler, ATC 40 VE FEMA 356'nın kabul kriterleri ile kontrol edilebilir. Çok katmanlı kabuk modelinde doğrusal olmayan davranış, beton ve donatı katmanlarındaki gerilme konturlarının formuna bakılarak incelenebilmesine rağmen, ATC 40 ve FEMA 356'nın plastik dönme performans kriterleri uygulanmamaktadır. Öneri olarak, kayma deformasyonlarının hakim olduğu perde duvarlarda göreceli ötelenme oranı ATC 40'da tanımlanmış deformasyon ölçütleri ile karşılaştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Applied Technology Council (1996). ATC-40-Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Redwood City, California.
- CSI (2009). SAP2000: Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures 14.0, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California.
- Dorning K and Rammerstorfer FG (1990). A layered composite shell element for elastic and thermoelastic stress and stability analysis at large deformations, International Journal For Numerical Methods In Engineering, Vol. 30, 833 -858
- FEMA 356 (2000). Pre-standard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, american society of Civil Engineers, Reston, Virginia
- J.B Mander, M.J.N Priestley and R Park, Theoretical stress-strain model for confined concrete, Journal of the Structural Division ASCE 114 (1988), pp. 1804-1826.
- Fahjan YM, Kubin J, and Tan MT (2010). Non-linear analysis methods for reinforced concrete buildings with shear walls, 14 ECEE, 30 August-03 September, Ohrid, Macedonia
- Kubin J, Fahjan M. and Tan MT (2008). Comparison Of Practical Approaches For Modelling Shearwalls In Structural Analyses Of Buildings, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China
- Miao ZW, Lu XZ, Jiang JJ and Ye LP (2006). Nonlinear FE Model for RC Shear Walls Based on Multi-layer Shell Element and Microplane Constitutive Model, Computational Methods in Engineering And Science, EPMESC X, Aug. 21-23, 2006, Sanya, Hainan, China.
- Nicolae I and Reynouard JM (2000). Nonlinear analysis of reinforced concrete shear wall under earthquake loading, Journal Of Earthquake Engineering, 4: 2, 183- 213
- Orion Building Design Software (2010), (Version 15) Software for Finite Element Analysis, Design and Detailing for Reinforce Concrete Buildings, CSC (UK) Ltd., Pudsey, UK / Prota Software Ltd., Ankara, Turkey.
- Otani S (1980). Nonlinear dynamic analysis of reinforced concrete building structures. Canadian J Civil Eng. V7 I2. 333-344
- Spacone E and El-Tawil S (2004). Nonlinear analysis of steel-concrete composite structures: state of-the-art. ASCE Journal of Structural Engineering. Vol. 130, No. 2, pp. 159-168.
- Turkish Earthquake Code for Buildings in Hazardous Areas, DBYBHY, (2006), Ministry of Public Works and Settlement Ankara.
- 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.