T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# BETONARME U-PERDELERİN MODELLENMESİ VE DİNAMİK ETKİLER ALTINDA PERFORMANSININ İNCELENMESİ

YALÇIN KOÇAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM ve YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2015

**T.C.**
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# BETONARME U-PERDELERİN MODELLENMESİ VE DİNAMİK ETKİLER ALTINDA PERFORMANSININ İNCELENMESİ

**YALÇIN KOÇAK**
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**DEPREM ve YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

DANIŞMANI
DOÇ. DR. YASİN FAHJAN

**GEBZE**
**2015**

**T.R.**

**GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY**

**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

# PERFORMANCE ASSESSMENT AND MODELLING METHODS OF REINFORCED CONCRETE U-SHAPED SHEAR WALL UNDER DYNAMIC LOAD EFFECTS

**YALÇIN KOÇAK**

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE**

**DEPARTMENT OF EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGİNEERİNG**

THESIS SUPERVISOR

ASSOC. PROF. DR. YASİN FAHJAN

**GEBZE**

**2015**

| GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ | YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU |
| --- | --- |

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 21/01/2015 tarih ve 2015/05 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 23/01/2015 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Yalçın Koçak'ın tez çalışması Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Doç Dr. Yasin FAHJAN

ÜYE : Prof. Dr. Bilge SİYAHİ

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Ferhat PAKDAMAR

**ONAY**

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

# ÖZET

Günümüzde inşa edilen yapıların büyük çoğunluğu betonarme olarak inşa edilmiş yapılardan oluşmaktadır. Bu yapıların deprem etkileri altında daha dirençli davranması için perde elemanlar kullanılmaktadır. Mimari gereksinimlerden dolayı plandaki geometrileri farklılık arz eden perde elemanlar arasında "U" şekilli perdeler en çok kullanılan taşıyıcı elemanlardan bir tanesidir. Yapılarda asansör veya çekirdek bölgelerinde konumlandırılan U-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 yapmanın önemi büyüktür. Bu elemanların modellenmesinde yapılan yaklaşımlar ne derece gerçekçi olursa yapısal analizler de o oranda gerçeği yansıtacaktır. U-perde modelleme tekniklerinde izlenen metotlardan birisi orta-kolon modeli olarak bilinen bir tekniktir. U-perdeyi bir araya getiren düzlemsel 3 adet dikdörtgen perde kesitini temsil eden bu teknikte perde elemanları, diğer taşıyıcı yapı elemanlarına belirli rijitliğe sahip fiktif kirişlerle kat seviyelerinde bağlanmaktadır. İkinci olarak, U-perdenin rijitlik merkezinde tanımlanmış poligon bir kolon elemanın, diğer yapı elemanlarına fiktif çubuklarının yardımıyla bağlanmasından meydana gelen modelleme tekniğidir. Bu çalışmada, söz konusu iki farklı modelleme tekniği, kabuk elemanlar yardımıyla hazırlanan referans model esas alınarak doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlar altında kıyaslanacaktır. Doğrusal olmayan davranış için çubuk elemanlarda muhtemel plastikleşme bölgelerinde plastik mafsal kabulü, kabuk elemanlarda ise katmanlanmış malzeme modelleriyle çalışılacaktır. U-perde modelleme prensiplerini incelemek ve geliştirmek amacıyla altı kattan meydana gelen üç farklı betonarme yapı modeli hazırlanmış ve U-perdenin, kolon kiriş gibi diğer yapı elemanlarıyla birlikte çalışmasını göz ardı etmeksizin değerlendirmeler yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler: Betonarme U-perde, Orta-Kolon Model, Çubuk Model, Doğrusal Olmayan Analiz, Çok Katmanlı Kabuk Eleman, Plastik Mafsal.**

# SUMMARY

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. 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. Three different whole structural models 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.

**Key Words: U Shaped Shear Wall, Wide-Column, Stick Model, Nonlinear Analysis, Nonlinear Layered Shell, Nonlinear Hinge, Auxiliary Beam.**

# TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince bilgi birikimini, değerli görüş ve tavsiyelerini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Yasin M. FAHJAN'a ve yüksek lisans eğitimim buyunca bana emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER


| | Sayfa |
|---|---|
| ÖZET | v |
| SUMMARY | vi |
| TEŞEKKÜR | vii |
| İÇİNDEKİLER | viii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ | x |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xiii |
| TABLOLAR DİZİNİ | xvi |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği | 3 |
| 2. TAŞIYICI PERDE ELEMANLAR | 5 |
| 2.1. Perde Elemanlar İçin Yapısal Koşullar | 6 |
| 3. DOĞRUSAL ELASTİK ANALİZLER İÇİN PERDE ELEMAN MODELLEME TEKNİKLERİ | 8 |
| 3.1. Çubuk Eleman Modeli (Stick Model) | 8 |
| 3.2. Orta-Kolon Eleman Modeli (Wide-Column Model) | 9 |
| 3.3. Fiktif Kiriş Elemanlar | 11 |
| 3.4. Kabuk Eleman Modeli (Shell Element Model) | 12 |
| 4. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ANALİZLER İÇİN PERDE ELEMAN MODELLEME TEKNİKLERİ | 17 |
| 4.1. Doğrusal Olmayan Eleman Modellenmesi | 17 |
| 4.2. Plastik Mafsal Hipotezi ve Özellikleri | 18 |
| 4.3. Moment-Eğrilik ve Akma Yüzeyi Tanımları | 21 |
| 4.4. Kabuk Elemanlar İçin Doğrusal Olmayan Sonlu Eleman Modelleri | 23 |
| 4.5. Doğrusal Olmayan Malzeme Modelleri | 25 |
| 5. ANALİZ YÖNTEMLERİ | 29 |
| 5.1. Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri | 29 |
| 5.2. İtme Analizi | 30 |
| 5.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz | 33 |
| 6. SAYISAL ÖRNEKLER | 39 |
| 6.1. Yapılara Ait Taşıyıcı Eleman Özellikleri | 39 |

6.2. Doğrusal Elastik Olmayan Kabuk Elemanların Modellenmesi 51
6.3. Kesitlere Ait Moment Eğrilik ve Akma Yüzeylerin Oluşturulması 54
6.4. Kesitlere Ait Plastik Mafsal Tanımlamaları 56
6.5. Yapılarda Performans Kavramı 59
7. ANALİZ SONUÇLARI 60
7.1. Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü ile İtme Analizi Sonuçları 60
7.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları 87
8. SONUÇLAR 91

KAYNAKLAR 94
ÖZGEÇMİŞ 95

# SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| **Simgeler ve Kısaltmalar** | | **Açıklamalar** |
|---|---|---|
| fy | : | Donatının karakteristik akma dayanımı |
| g | : | Yerçekimi ivmesi |
| A0 | : | Etkin Yer İvmesi Katsayısı |
| A(T) | : | Spektral İvme Katsayısı |
| [C] | : | Sönüm Matrisi |
| C | : | Sönüm Katsayısı |
| CR1 | : | Birinci moda ait spektral yer değiştirme oranı |
| H | : | Yapının toplam yüksekliği |
| I | : | Bina Önem Katsayısı |
| K | : | Rijitlik Katsayısı |
| [K] | : | Rijitlik Matrisi |
| Lp | : | Plastik mafsal boyu |
| M | : | Kütle |
| [M] | : | Kütle Matrisi |
| Mcr | : | Betonun Çatlamış Kesit Mukavemeti |
| Mu | : | Kopma Mukavemeti |
| My | : | Akma Mukavemeti |
| S(T) | : | Spektrum Katsayısı |
| Sae | : | Elastik spektral ivme |
| Sde | : | Elastik spektral yerdeğiştirme |
| T | : | Doğal titreşim periyodu |
| TA, TB | : | Spektrum karakteristik periyotları |
| T1 | : | Binanın birinci doğal titreşim periyodu |
| uy | : | Akma yerdeğiştirmesini |
| up | : | Kopma yerdeğiştirmesini |
| u | : | Toplam plastik yerdeğiştirme |
| α ve β | : | Rayleigh sönüm modelinde istenilen moda istenilen sönüm oranını belirlemede kullanılan katsayıları. |

| | | |
|---|---|---|
| c | : | Sönüm |
| $\chi$ | : | Eğrilik |
| $\chi y$ | : | Akma eğriliği |
| $\chi u$ | : | Kopma Eğriliği |
| $\Theta p$ | : | Plastik dönme |
| $\omega$ | : | Doğal açısal titreşim frekansı |
| db | : | Donatı çapı |
| $\alpha AT$ | : | Spektral ivme katsayısına ait ölçekleme katsayısı |
| $\alpha ST$ | : | Ölçekleme katsayısı |
| $\eta bi$ | : | Burulma düzensizliği katsayısı |
| DBYBHY | : | Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik |

# ŞEKİLLER DİZİNİ


| Şekil No: | | Sayfa |
|---|---|---|
| 1.1: | Farklı tiplerde taşıyıcı perde elemanlara sahip yapılar. | 1 |
| 2.1: | Taşıyıcı perde idealleştirmesi. | 5 |
| 2.2: | Yatay yük etkisinde perde davranışı. | 6 |
| 2.3: | Taşıyıcı perde duvarlar için minimum yapısal kurallar. | 7 |
| 3.1: | U-perdeyi temsil eden çubuk eleman modeli. | 9 |
| 3.2: | U-perdeyi temsil eden Orta-Kolon eleman modeli. | 10 |
| 3.3: | Orta-Kolon modelinde başlık ve gövde kesitleri. | 11 |
| 3.4: | Çubuk eleman için tanımlanan U-perde ve fiktif kiriş şeması. | 12 |
| 3.5: | U-perde içi hazırlanmış kabuk eleman modeli. | 13 |
| 3.6: | Kabuk eleman formasyonu. | 13 |
| 3.7: | U-perdeyi temsil eden kabuk eleman modeli. | 14 |
| 3.8: | Kabuk Eleman-Kiriş Eleman Birleşimi. | 15 |
| 4.1: | Betonarme kesitte eğilme momenti-eğrilik ilişkisi. | 18 |
| 4.2: | Sürekli kirişte mesnet ve açıklık bölgesinde plastik eğrilik değişimi. | 20 |
| 4.3: | Eğilme etkisi altındaki elemanlarda moment-eğrilik değişimi. | 21 |
| 4.4: | Eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki elemanlarda akma eğrisi. | 22 |
| 4.5: | Kabuk elemanlar için kabul edilen koordinat düzlem ve açıları. | 23 |
| 4.6: | Sağ el kuralı ve yön tarifleri. | 24 |
| 4.7: | Çok katmanlı kabuk eleman. | 25 |
| 4.8: | Diktörgen bir kesitte sargılama etkisi. | 26 |
| 4.9: | Sargılı ve sargısız beton için gerilme-değiştirme ilişkisi. | 27 |
| 4.10: | Donatı çeliği için gerilme-değiştirme ilişkisi. | 28 |
| 5.1: | Statik itme eğrisi. | 31 |
| 5.2: | İtme eğrisi – Modal kapasite diyagramı dönüşümü. | 32 |
| 5.3: | Modal yer değiştirme isteminin hesaplanması. | 33 |
| 5.4: | DZC180 yer kaydına ait ölçeklenmemiş ivme-zaman grafiği. | 37 |
| 5.5: | DZC180 yer kaydına ait ölçeklenmiş ivme-zaman grafiği. | 38 |
| 5.6: | DZC180 yer kaydına ait ölçeklenmiş ve orijinal spektrum eğrileri. | 38 |
| 6.1: | Model_1 taşıyıcı eleman yerleşim planı. | 41 |
| 6.2: | Model_2 taşıyıcı eleman yerleşim planı. | 42 |

6.3: Model_3 taşıyıcı eleman yerleşim planı. 43
6.4: Model_1, Model_2 ve Model_3'e ait Çubuk eleman modelleri. 44
6.5: Model_1, Model_2 ve Model_3'e ait Orta-kolon modelleri. 44
6.6: Model_1, Model_2 ve Model_3'e ait Kabuk eleman modelleri. 45
6.7: Kiriş ve kolon elemanlara ait donatı detayları. 46
6.8: Kolon elemanlara ait donatı detayları. 47
6.9: P1 Perdesine ait donatı yerleşimi. 48
6.10: P2 Perdesine ait donatı yerleşimi. 48
6.11: P3 Perdesine ait donatı yerleşimi. 49
6.12: Beton malzeme gerilme-değiştirme eğrileri. 50
6.13: S420 donatı çeliğine ait gerilme-değiştirme eğrisi. 50
6.14: Kabuk eleman katmanları için malzeme açı yönleri. 51
6.15: SAP2000 programı kullanılarak hazırlanmış Çok katmanlı "wall_nl_panel" elemanına ait özellikler. 52
6.16: Katman(Layer) tasarım şeması. 53
6.17: BR_300x500 kirişi için hazırlanmış M-φ eğrileri. 55
6.18: CR_300x500 kolonu 0°, 45° ve 90° yönleri için XTRACTeasy ve XTRACT ile hazırlanmış akma yüzey eğrileri. 56
6.19: Plastik mafsal oluşumu. 57
6.20: BR_300x500 kirişi için SAP2000 de hazırlanmış plastik mafsal (M3) özellikleri. 57
6.21: CR_300x500 kolonu için SAP2000 de hazırlanmış plastik mafsal (P-M2-M3) özellikleri. 58
7.1: Model-1 yapısına ait pozitif ve negatif Y doğrultularında 40cm'lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen mafsal oluşumları. 62
7.2: Model-1 yapısına ait pozitif Y doğrultusunda 40cm'lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen kabuk katman gerilmeleri. 63
7.3: Model-1 yapısına ait negatif Y doğrultusunda 40cm'lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen kabuk katman gerilmeleri. 64
7.4: Model-1'e ait orta-kolon modelleri ve performans noktaları. 66
7.5: Model-1'e ait çubuk eleman modelleri ve performans noktaları. 66
7.6: "Orta-kolon" tekniğiyle hazırlanmış Model-1 yapısına ait pozitif X yönü itme eğrisi. 67
7.7: "Orta-kolon" tekniğiyle hazırlanmış Model-1 yapısına ait pozitif

Y yönü itme eğrisi. 67
7.8: “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-1 yapısına ait negatif Y yönü itme eğrisi. 68
7.9: “Çubuk Eleman” tekniğiyle hazırlanmış Model-1 yapısına ait pozitif X yönü itme eğrisi. 68
7.10: “Çubuk Eleman” tekniğiyle hazırlanmış Model-1 yapısına ait pozitif Y yönü itme eğrisi. 69
7.11: “Çubuk Eleman” tekniğiyle hazırlanmış Model-1 yapısına ait negatif Y yönü itme eğrisi. 69
7.12: Model-2 yapısına ait pozitif ve negatif Y doğrultularında 40cm'lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen mafsal oluşumları. 70
7.13: Model-2 yapısına ait pozitif Y doğrultusunda 40cm'lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen kabuk katman gerilmeleri. 71
7.14: Model-2 yapısına ait negatif Y doğrultusunda 40cm'lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen kabuk katman gerilmeleri. 72
7.15: Model-2‘ye ait orta-kolon modelleri ve performans noktaları. 74
7.16: Model-2‘ye ait çubuk eleman modelleri ve performans noktaları. 74
7.17: “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-2 yapısına ait pozitif X yönü itme eğrisi. 75
7.18: “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-2 yapısına ait pozitif Y yönü itme eğrisi. 75
7.19: “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-2 yapısına ait negatif Y yönü itme eğrisi. 76
7.20: “Çubuk Eleman” tekniğiyle hazırlanmış Model-2 yapısına ait pozitif X yönü itme eğrisi. 76
7.21: “Çubuk Eleman” tekniğiyle hazırlanmış Model-2 yapısına ait pozitif Y yönü itme eğrisi. 77
7.22: “Çubuk Eleman” tekniğiyle hazırlanmış Model-2 yapısına ait negatif Y yönü itme eğrisi. 77
7.23: Model-3 yapısına ait pozitif ve negatif Y doğrultularında 40cm'lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen mafsal oluşumları. 78
7.24: Model-3 yapısına ait pozitif Y doğrultusunda 40cm'lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen kabuk katman gerilmeleri. 79
7.25: Model-3 yapısına ait negatif Y doğrultusunda 40cm'lik tepe yer

| | | |
|---|---|---|
| | değiştirmesine karşılık gelen kabuk katman gerilmeleri. | 80 |
| 7.26: | Model-3‘e ait orta-kolon modelleri ve performans noktaları. | 82 |
| 7.27: | Model-3‘e ait çubuk eleman modelleri ve performans noktaları. | 82 |
| 7.28: | “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-3 yapısına ait pozitif X yönü itme eğrisi. | 83 |
| 7.29: | “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-3 yapısına ait pozitif Y yönü itme eğrisi. | 83 |
| 7.30: | “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-3 yapısına ait negatif Y yönü itme eğrisi. | 84 |
| 7.31: | “Çubuk Eleman” tekniğiyle hazırlanmış Model-3 yapısına ait pozitif X yönü itme eğrisi. | 84 |
| 7.32: | “Çubuk Eleman” tekniğiyle hazırlanmış Model-3 yapısına ait pozitif Y yönü itme eğrisi. | 85 |
| 7.33: | “Çubuk Eleman” tekniğiyle hazırlanmış Model-3 yapısına ait negatif Y yönü itme eğrisi. | 85 |
| 7.34: | Model-1 yapısı için hazırlanmış orta-kolon ve kabuk modellerinin zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre kıyaslanması. | 88 |
| 7.35: | Model-1 yapısı için hazırlanmış çubuk eleman ve kabuk modellerinin zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre kıyaslanması. | 88 |
| 7.36: | Model-2 yapısı için hazırlanmış orta-kolon ve kabuk modellerinin zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre kıyaslanması. | 89 |
| 7.37: | Model-2 yapısı için hazırlanmış çubuk eleman ve kabuk modellerinin zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre kıyaslanması. | 89 |
| 7.38: | Model-3 yapısı için hazırlanmış orta-kolon ve kabuk modellerinin zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre kıyaslanması. | 90 |
| 7.39: | Model-3 yapısı için hazırlanmış çubuk eleman ve kabuk modellerinin zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre kıyaslanması. | 90 |

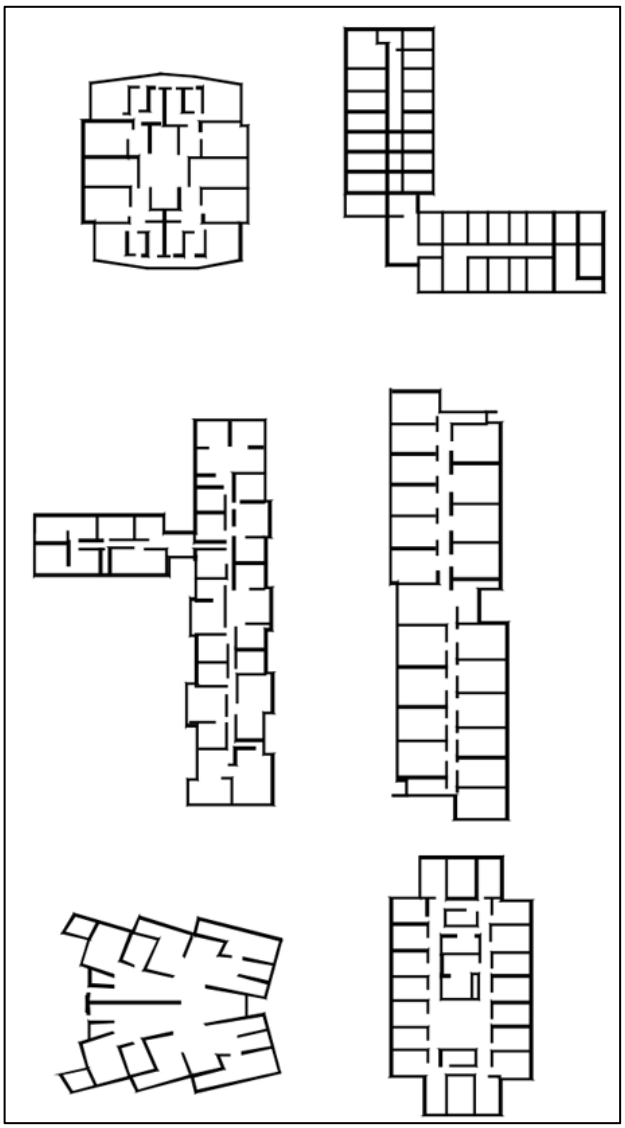
# TABLOLAR DİZİNİ


| Tablo No: | | Sayfa |
|---|---|---|
| 5.1: | Z3 Zemin sınıfı için kullanılabilecek deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları. | 37 |
| 6.1: | Yapılarına ait taşıyıcı eleman özellikleri. | 40 |
| 6.2: | Fiktif kiriş eleman özellikleri. | 46 |
| 6.3: | P1,P2 ve P3 perdelerine ait donatı detayları. | 47 |
| 6.4: | Kabuk elemanlara ait katman özellikleri. | 54 |
| 7.1: | Model-1 üzerinde yapılan itme analizi sonuçları. | 65 |
| 7.2: | Model-2 üzerinde yapılan itme analizi sonuçları. | 73 |
| 7.3: | Model-3 üzerinde yapılan itme analizi sonuçları. | 81 |
| 7.4: | Kabuk eleman yöntemiyle modellenmiş modellere ait performans noktasında oluşan U-perde iç kuvvetleri. | 86 |
| 7.5: | X-Doğrultusunda zaman tanım alanında yapılan analizler sonucu farklı modelleme teknikleri kullanılmış yapılara ait tepe yer değiştirme değerleri. | 87 |

# 1. GİRİŞ

Günümüzde inşa edilen yapıların büyük çoğunluğunu betonarme taşıyıcı sistemlerden oluşmaktadır. Betonarme sistemlerde deprem ve rüzgar gibi yatay yük etkilerinin karşılanması amacıyla yapı taşıyıcı sistemine ilave edilen perde elemanlar, gerek yapı tasarımıyla ilgilenen tüm mühendisler gerekse akademisyenler tarafından tasarım ve modelleme teknikleri konularında araştırma konusu olmuştur.

Perde elemanların yapıya ait mimari tasarımla şekillenen geometrileri yapıdan yapıya farklılık göstermektedir. Perde kesitleri, mimari gereklilikler ve deprem doğrultularında etkili davranış göstermeleri amacıyla I, T, L, H, C, ve U gibi farklı geometrik şekil tiplerinde tasarlanabilir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Farklı tiplerde taşıyıcı perde elemanlara sahip yapılar.

Birden fazla düzlemsel perdenin dik açı ile birleşmesi sonucunda, kanatlı perde şekilleri oluşur. Bu perdeler, binanın iki ana doğrultusunda da dayanım sağlarlar. Yapı sistemine oldukça büyük rijitlikleriyle destek veren bu elemanların, yapıya gelen yatay yükler altında etkili davranış gösterdiği bilinmektedir. Bu sebeptendir ki betonarme perdelerin gerçek davranışlarını en iyi şekilde temsil edecek bir modelleme tekniğinin kullanılması çok önemlidir. Bilgisayar destekli tasarım programları kullanılarak taşıyıcı eleman modelleme safhasında, yapıya ait diğer taşıyıcı elemanlarla rijit perdelerin etkileşimini de göz önünde bulundurmak bir diğer hassas konudur.

Perde elemanların yapıya ait mimari tasarımla 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, modelleme kavramı ve tekniği açısından kafalarda ilave soru işaretleri oluşturmaktadır.

Bilgisayar destekli sonlu elemanlar yöntemini (Finite Element Method/FEM) kullanarak yapı analizlerinde kolaylık sağlayan programlarda betonarme perdeler genellikle yüzeysel taşıyıcı eleman modellenmesinde kullanılan plak ve membran eleman rijitlik matrislerinden oluşan üçgen ya da dörtgen kabuk elemanlarla temsil edilirler [1]. 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. Hem analiz sonuçlarındaki hassasiyet bakımından kabuk elemanlarla yapılan modellemeye yakın sonuçlar veren hem de analiz süresini kısmen kısa tutan bazı modelleme teknikleri belirlemek için deneysel ve sayısal araştırmalar yapılmaktadır.

Perde elemanları modelleme amaçlı kullanılan tekniklerden birisi "Orta-Kolon Eleman Modeli (Wide-Column Model)" olarak isimlendirilmektedir. Söz konusu model U-perdenin iki adet başlık ve bir adet gövde kesitin birleşiminden oluştuğu kabulüne dayanmaktadır. Dikdörtgen kesitlerin rijitliklerini ayrı ayrı temsil eden ve geometrik merkezlerine yerleştirilmiş çubuk elemanların yer aldığı bir modelleme tekniğidir. Kat seviyelerinde birbirleriyle ve yapıya ait diğer kiriş, kolon gibi taşıyıcı elemanlarla etkileşimini sağlayan fiktif kiriş elemanları bulunmaktadır [2].

U-perdelerin bu teknik ile modellenmesinde fayda-zarar ilişkilerini inceleyen deneysel araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların arasında en etkileyici olanı Nigel

Priestley (Co-Director, ROSE School, Pavia, Italy) ve çalışma arkadaşları tarafından yapılan ve U-perdeler üzerinde yapılmış deneysel ve numerik çalışmalardır (Quası-Statıc Cyclıc Tests Of Two U-Shaped Walls). Hazırlanmış olan deney örneğinde planda 1.50 m'ye 1.25 m ebatlarında ve yaklaşık 4.00 m yüksekliğindeki bir betonarme U-perde üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonunda elde edilen kesit akma momenti ve performans noktaları gibi değerler, bilgisayar ortamında hazırlanmış aynı özelliklerdeki U-perdeye ait sonlu eleman modelleriyle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Söz konusu çalışmalar kapsamında orta-kolon tekniği ile hazırlanmış olan U-perde modeline ait sonuçlar paylaşılmış ve deney ortamında elde edilen örnekle benzerlikler ve farklılıklara dikkat çekilmiştir.

Perde duvarların modellenmesinde kullanılan bir diğer teknik ise "Çubuk Eleman (Stick Model)" modelidir. Bu model 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.

## 1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Doğrusal olmayan analiz için analiz modellerinin hazırlanması elastik modelleme tekniklerine göre oldukça uzun ve zahmetlidir. Elastik analiz için yapı taşıyıcı sisteminin yerleşiminin, boyutlarının ve sistemi oluşturan malzemenin rijitliğinin bilinmesi yeterlidir. Fakat doğrusal olmayan analiz için bu bilgilerin yanında doğrusal olmayan malzeme modelleri, plastik kesit davranışı gibi bazı gerekli kavramların belirlenmesi gereklidir. Doğrusal olmayan analiz modellerinde her bir eleman için bu değerler hesaplanmalı ve modelin hazırlandığı yapısal analiz programlarına aktarılmalıdır.

Tez kapsamında betonarme U-perdelerin doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarını belirlemek ve bu bilgiler ışığında yapısal analizlerini kolaylaştıracak modelleme tekniklerini geliştirmek için sayısal çalışmalar yapılmıştır. Mevcut yerli yönetmeliklerce belirlenen kesit genişlikleri, donatı adet, ebat ve aralıkları gibi minimum yapısal yeterlilikler kullanılarak 6 kattan oluşan üç farklı yapı modeli hazırlanmıştır. Hazırlanan yapı modelleri üzerinde 'Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik' içerisinde belirtilen doğrusal olmayan malzeme

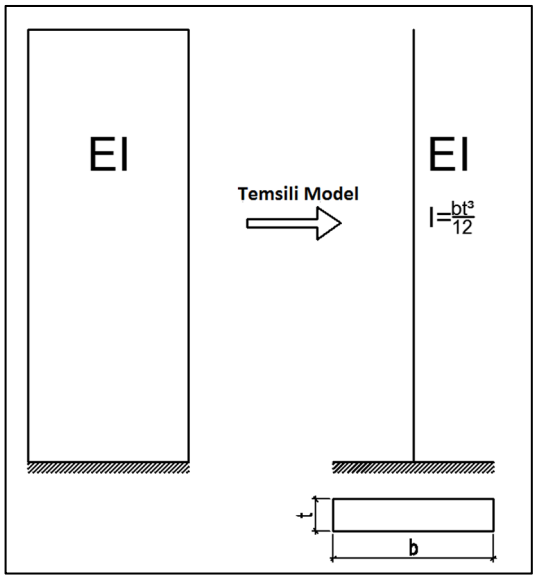
modelleri esas alınmış olup, yapı elemanları için doğrusal olmayan davranışı temsil etmesi maksadıyla farklı plastik mafsal tanımlamalarına gidilmiştir.

Farklı üç yapı için doğrusal olmayan itme analizleri gerçekleştirilerek U-perdeyi temsil eden farklı modelleme teknikleri arasındaki tepe deplasmanı ve yapı taban kesme kuvvet ilişkileri incelenmiştir. Doğrusal olmayan itme analizleriyle yapı eleman kesitlerinde gerçeğe yakın dönme ve iç kuvvet değerleri elde edilerek, yapının doğrusal olmayan davranışının nasıl gerçekleşeceği ve bu esnadaki iç kuvvet aktarımlarının diğer elemanlar arasında nasıl dağılacağının anlaşılması amaçlanmıştır.

# 2. TAŞIYICI PERDE ELEMANLAR

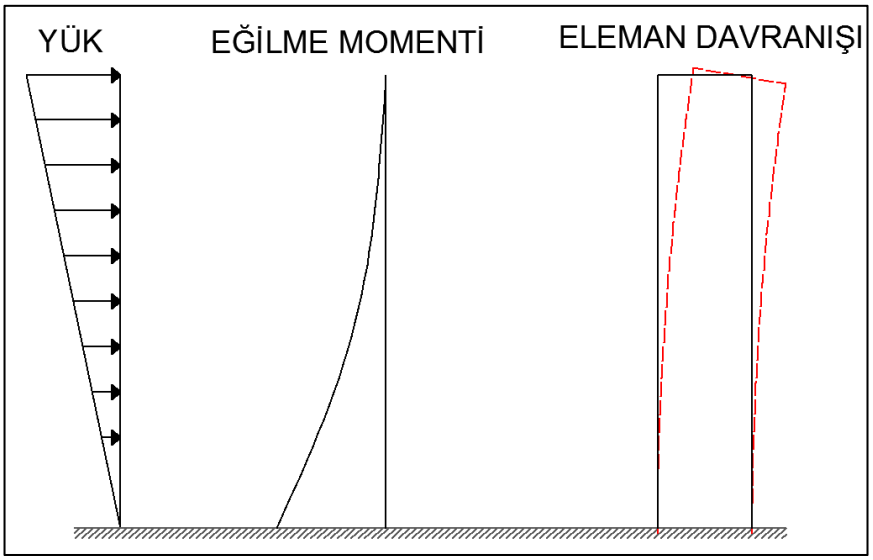
Yatay yüklerin taşınmasında etkili olarak kullanılan perdeler düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Yapı içerisinde çerçeve sistemiyle birlikte kullanıldığında, rijitlikleri fazla olmasından dolayı, deprem veya rüzgardan oluşan yatay yüklerin tamamına yakınını karşılarlar. Söz konusu yatay yüklerin etkisinde kat yer değiştirmelerinin yönetmeliklerce belirlenen kriterler doğrultusunda sınırlandırılması açısından, perdelerin kullanılması önem arz etmektedir. Kat sayısı arttıkça yatay yer değiştirmelerin de buna bağlı olarak artması, yüksek yapılarda gerekli yatay rijitliği sağlayacak eleman kullanımını gerektirir. Yaklaşık 8-10 katlı bir yapı yüksekliğinden sonra, çerçeve sistemler yatay yüklerin taşınmasında yetersiz kalmaktadır. Bu bağlamda perdeler, çerçeve sistemlerin yatay yüklere karşı rijitliklerini gerekli değerlere çekebilmek açısından, yapı tasarımında oldukça sık kullanılan eleman olma özelliğini taşımaktadırlar. Perdeler düzlem duvar, asansör, merdiven ve iç çekirdek çevre duvarları olarak yapısal geometride yer bulmaktadır.

Yapı içerisindeki taşıyıcı perde elemanlar kat seviyelerinde döşemelere bağlandıkları için yanal burkulma problemine maruz kalmayacaklardır. Bu durumda elemanların sadece eğilme ve kesme güvenliği sağlanacak şekilde boyutlandırılmaları yeterli olacaktır. Boyutlandırmada esas alınacak kuvvetlerin hesabında, sistemin eksenlerden idealize edilerek bir konsol kiriş gibi göz önüne alınması yeterlidir (Şekil 2.1).




Şekil 2.1 : Taşıyıcı perde idealleştirmesi.

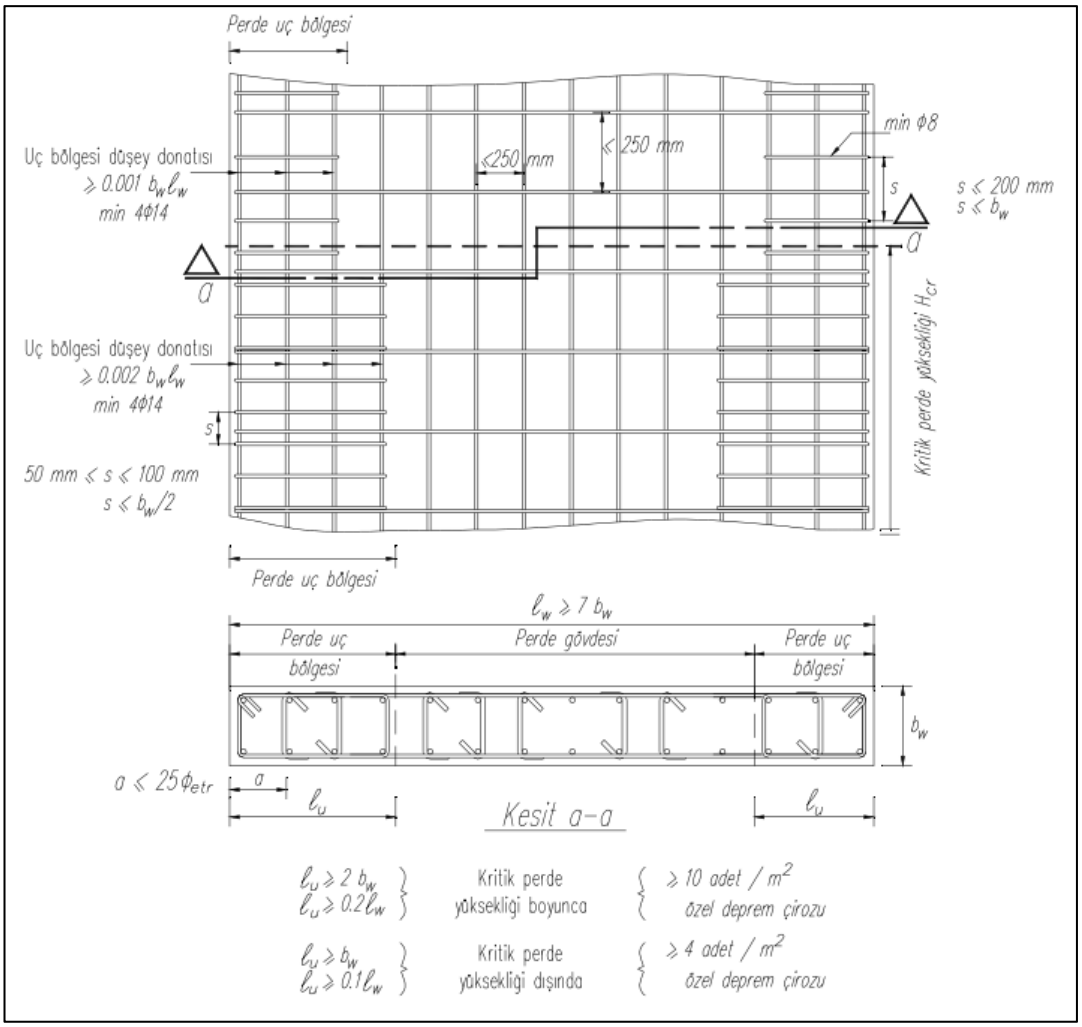
Perdeler yatay yük etkisinde Şekil 2.2'de görüldüğü üzere konsol kirişe benzer bir davranış sergilemektedirler.




Şekil 2.2 : Yatay yük etkisinde perde davranışı.

## 2.1. Perde Elemanlar İçin Yapısal Koşullar

Perde duvarların iç kuvvetler altında beklenilen davranış ve performansı sağlayabilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, söz konusu taşıyıcı elemanların tasarımında kullanılmak üzere bazı yapısal yeterlilik şartları ve kurallar belirlenmiştir. Halen yürürlükte olan TS500 (Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları) yönetmeliğine göre planda uzun doğrultudaki uzunluğunun kısa doğrultudaki uzunluğa oranının en az yedi olması ve 150 mm ya da daha fazla kalınlıkta olması şart koşulmuştur. DBYBHY 2007'de ise bu ifadelere ilaveten "perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/20'sinden ve 200 mm'den az olmayacaktır." Deprem yönetmeliğince taşıyıcı perde duvarların tasarımında kullanılmak üzere belirlenen diğer kuralları Şekil 2.3'de gösterilmektedir.




Şekil 2.3 : Taşıyıcı perde duvarlar için minimum yapısal kurallar.

Perdenin minimum kalınlığı, donatı yerleşimi gibi imalat kolaylıklarını sağlamak ve yangın gibi risk unsurlarıyla yaşanacak kötü etkileri en aza indirmek için yönetmelikler tarafından belirlenmiştir. Deprem anında yatay kuvvetler perdeler üzerine etkili olmaya başladığında, dayanım ve stabiliteyi sağlamak için kalınlığı artırmak gerekebilir. Ancak perde kesitinin iki ucunda gerilmeler büyük olacağı için, donatı perde uç bölgelerinde yoğunlaşır ve buralarda perde başlık bölgeleri oluşturulur. Perde ucuna diğer doğrultuda başka bir perdenin birleşmesi durumunda, uç bölgesi bu perde içinde oluşturulabilir. Bunun yanında uç bölgeleri perdenin yanal burkulma stabilitesini artırır ve potansiyel plastik mafsal bölgelerindeki basınca maruz betonun daha iyi sarılmasını sağlarlar. Böylece plastik mafsal bölgelerinde sıkışan betonun erken dağılması önlenmiş olur [3].

# 3. DOĞRUSAL ELASTİK ANALİZLER İÇİN PERDE ELEMAN MODELLEME TEKNİKLERİ

Yapısal analizlerde perde elemanların modellemesi 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.

Yapısal analizlerde kullanmak için perde elemanları temsil eden aşağıdaki üç farklı doğrusal elastik modelleme yöntemi bu tez kapsamında incelenmiştir.

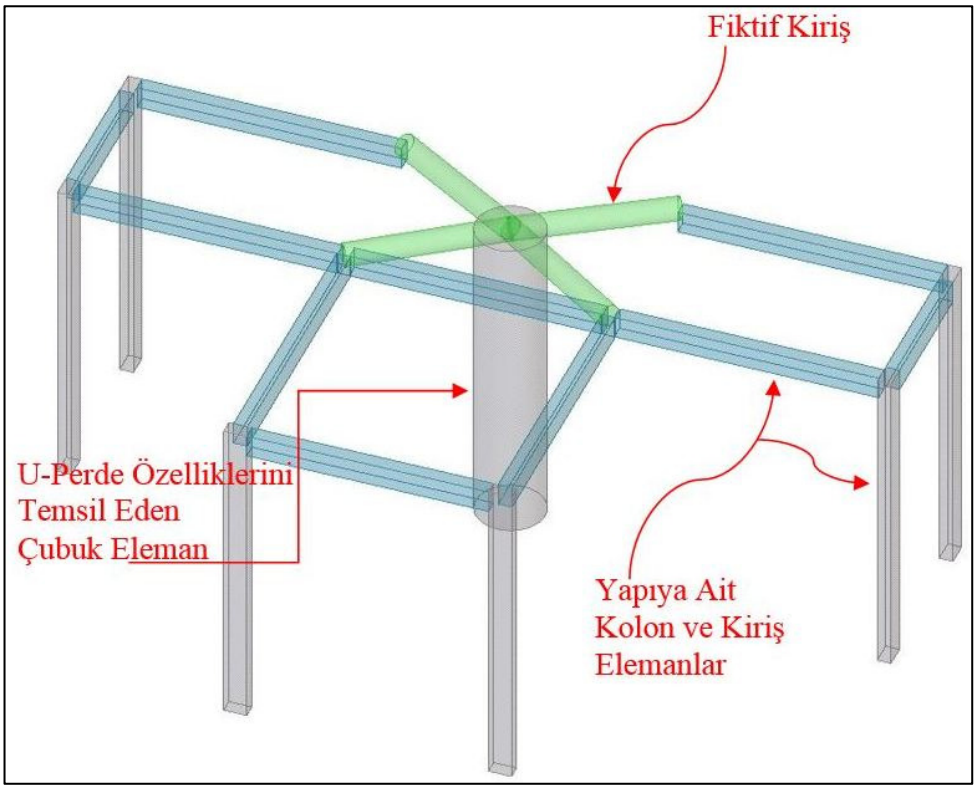
- Çubuk Eleman Modeli
- Orta-Kolon Eleman Modeli
- Shell Eleman Modeli

## 3.1. Çubuk Eleman Modeli (Stick Model)

Çubuk eleman modelleme tekniğinde U-perdeyi oluşturan tüm kesit tek bir eleman olarak U-perdenin rijitlik merkezinde tanımlanmıştır. Kat seviyelerinde ise U-perde kesitinin tanımlandığı bu merkezlerden çıkan fiktif kiriş elemanlar diyaframla perdeye bağlı olan diğer kat kirişlerinin uçlarına bağlanmaktadır (Şekil 3.1).

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[4]. 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 [5].



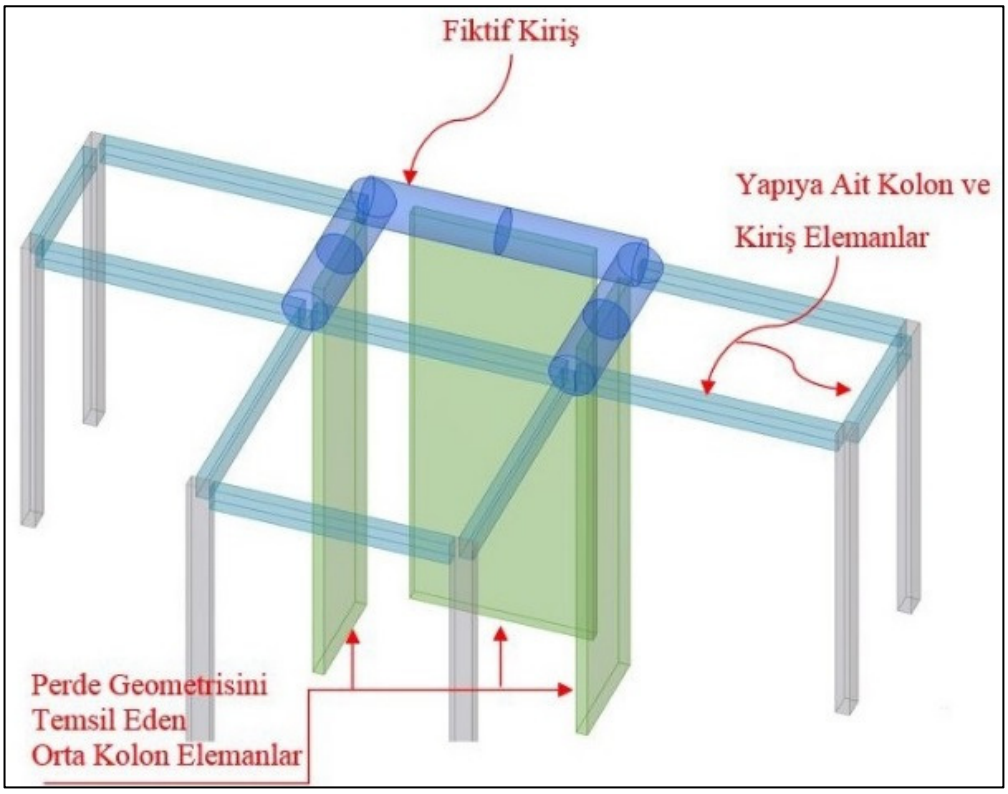

Şekil 3.1 : U-perdeyi temsil eden çubuk eleman modeli.

Bu modelleme tekniğinde, mühendisler açısından tasarım için gerekli olan kesme kuvvetlerinin, U-perdenin tümünü oluşturan gövde (web) ve başlık (flanş) 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 modeli analiz modellerinde kullanmak maksatlı tercih sebebi yapmaktadır.

## 3.2. Orta-Kolon Eleman Modeli (Wide-Column Model)

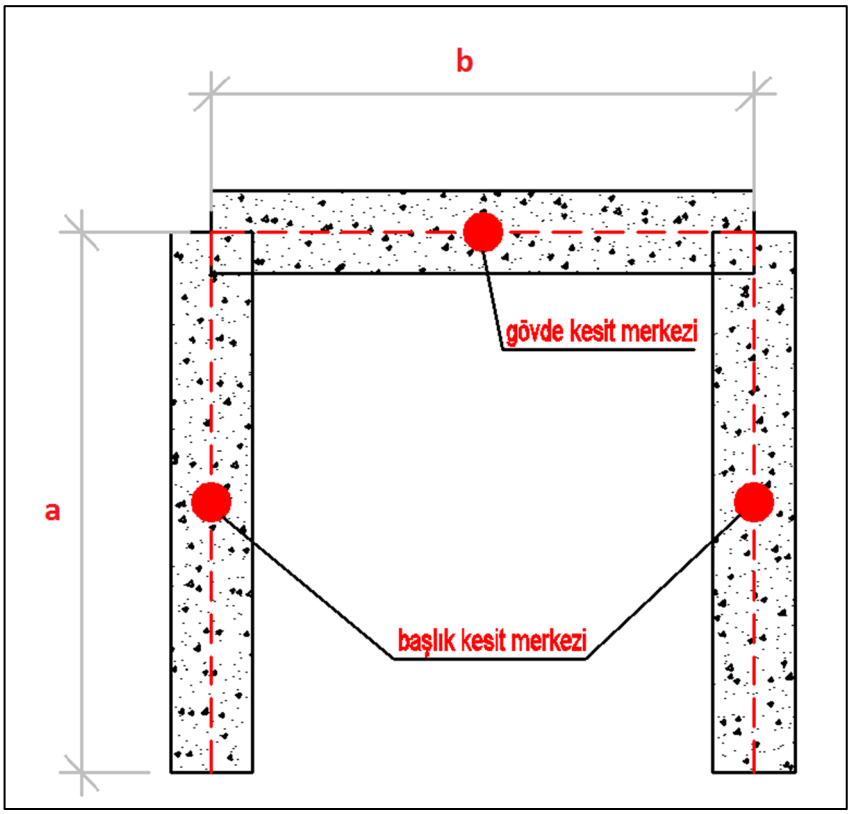
Betonarme perde duvar ile yatay rijitlik ve dayanım kavramları ne denli bütünleşmiş kavramlarsa, orta kolon modeli de perde modelleme kavramlarıyla aynı ölçüde bütünleşmiştir. Orta-kolon eleman modeli bu rijit elemanları temsil etme

amaçlı analiz modellerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Yöntem olarak perde rijitliğine eşit bir çubuk eleman ile kat seviyesindeki kirişlere yük aktarımı sağlama amaçlı kullanılan fiktif elemanlarca yapıya entegre edilmiş bir modelleme tekniğidir (Şekil 3.2).




Şekil 3.2 : U-perdeyi temsil eden Orta-Kolon eleman modeli.

"Eşdeğer Çubuk Eleman Metodu" olarak da bilinen bu yöntem kullanılmaya başlandığı ilk zamanlarda düzlemsel perde duvar modellemeleri için tercih edilmiş olsa da daha sonraki yıllarda düzlemsel olmayan perde duvarların modellenmesinde de başvurulan bir analiz metodu olmuştur [4]. 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 3.3).

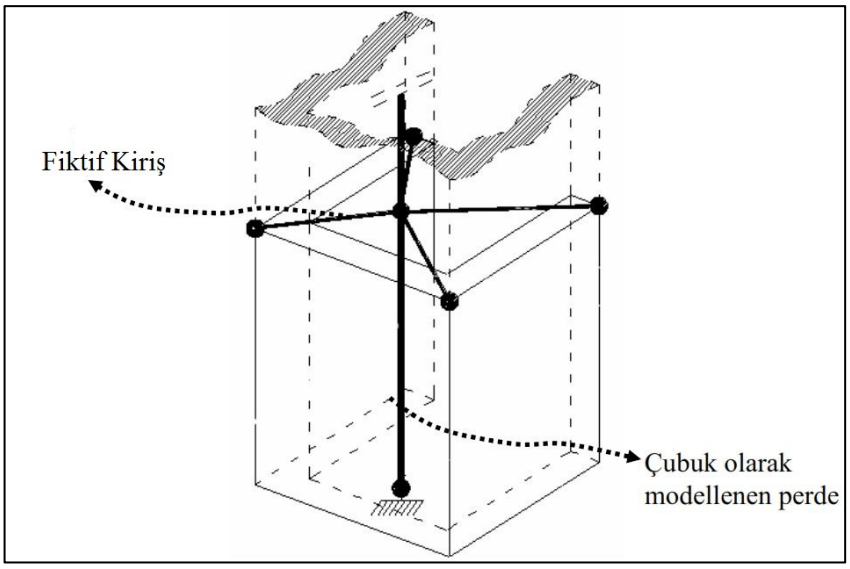



Şekil 3.3 : Orta-Kolon modelinde başlık ve gövde kesitleri.

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.

## 3.3. Fiktif Kiriş Elemanlar

Perdeyi temsil eden taşıyıcı elemanları yapıya tümüyle entegre etme amaçlı fiktif kiriş elemanlar kullanılmaktadır (Şekil 3.4). Perde modellerinde kullanılan bu elemanların rijitlikleri büyük önem arz etmektedir. Fiktif elemanlar perdenin boyuna, yüksekliğine ve kalınlığına bağlı olarak farklı davranış göstermekte olup, “Göreli 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.



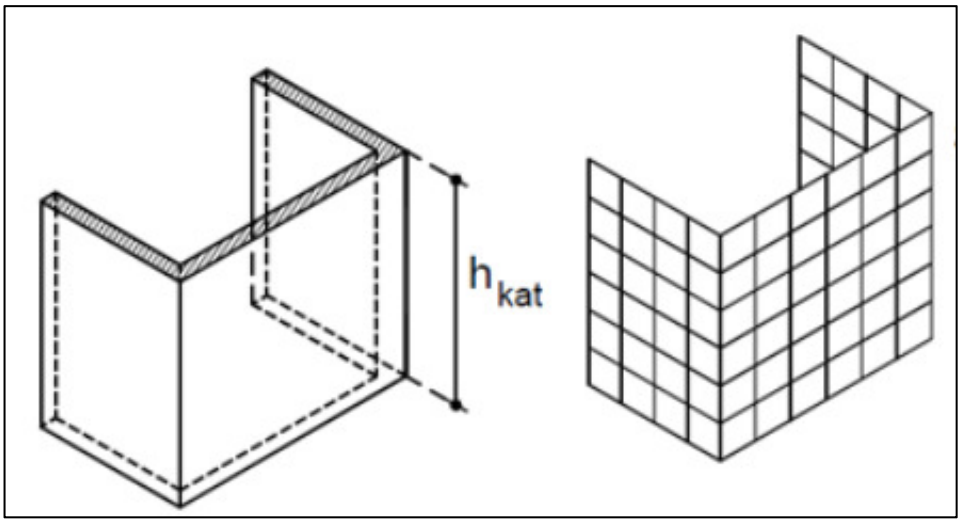

Şekil 3.4 : Çubuk eleman için tanımlanan U-perde ve fiktif kiriş şeması.

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.

## 3.4. Kabuk Eleman Modeli (Shell Element Model)

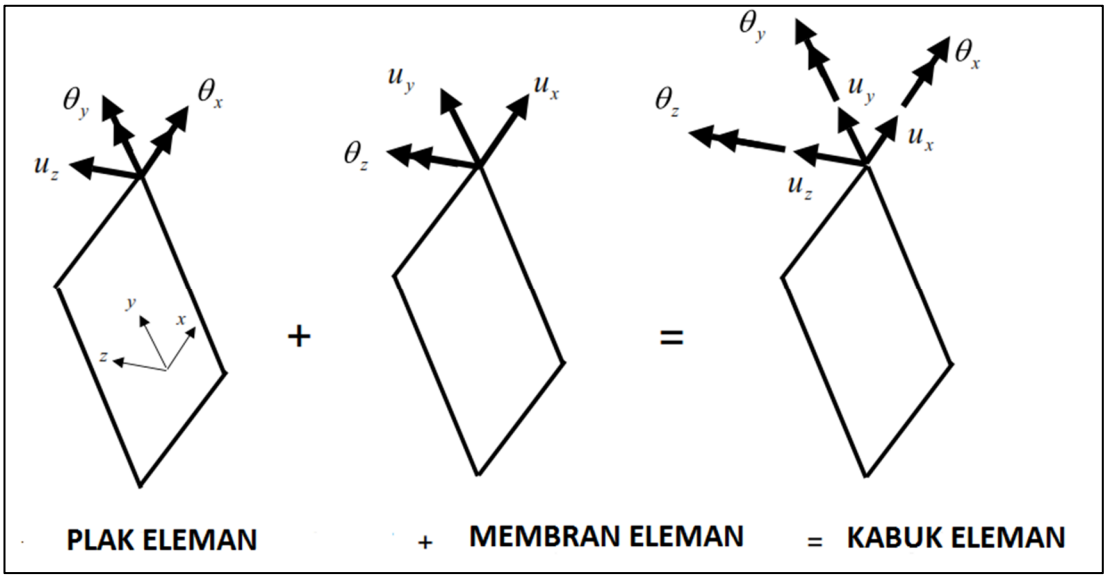
Kabuk eleman modelleri bilgisayarların geliştiği, işlemci kapasitelerinin arttığı son yıllarda inşaat mühendisliği ve yapısal analiz kavramına farklı bir işlev ve boyut kazandırmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile analizlerde kullanılan kabuk (shell) eleman yöntemi, analiz sonuçlarında gösterdiği tutarlıklar bakımından çok güvenilen bir yöntem olarak kabul edilmektedir.

Kabuk eleman modelleme tekniğinde, U-perdenin geometrisini oluşturan bütün bir betonarme sistem belirli sayıda ve ebattaki kabuk elemanlara bölünerek perdenin kalınlığına bağlı olarak modellenebilmektedir (Şekil 3.5).




Şekil 3.5 : U-perde içi hazırlanmış kabuk eleman modeli.

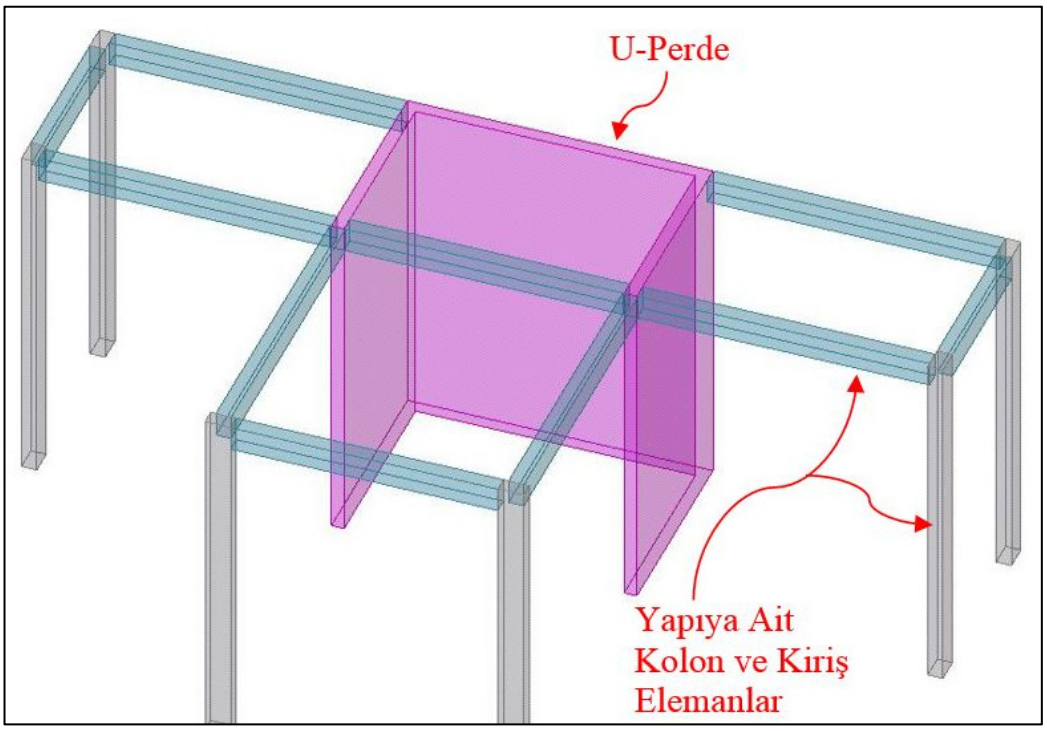
Perdeli yapıların analizinde kabuk elemanlar kullanılarak daha gerçekçi sonuçlar alınabilmektedir. SAP2000 gibi yapısal analiz programlarında kabuk elemanlarının kendi düzlemlerinde dönme serbestlik derecesiyle (drilling degree of freedom) birlikte her düğüm noktasında altı serbestlik derecesine sahip olduğu kabulü yapılmaktadır. 3-boyutlu çubuk elemanlar ile kabuk elemanlar arasında yük aktarımının sağlanabilmesi için aşağıda Şekil 3.6'da gösterilen bu serbestlik dereceleri önem arz etmektedir [1].




Şekil 3.6 : Kabuk eleman formasyonu.

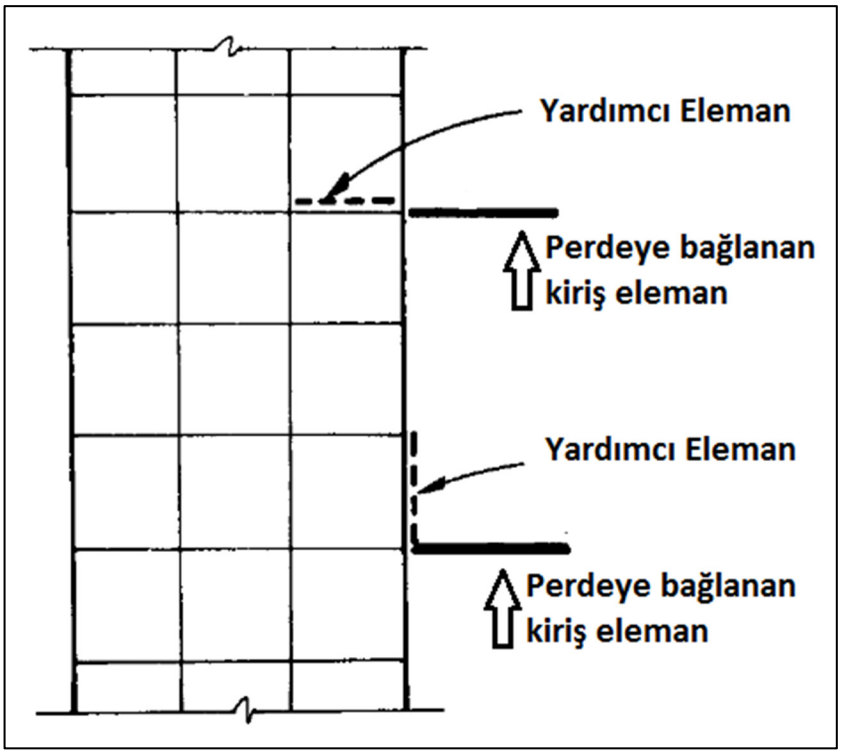
Kabuk elemanlarla perdelerin modellenmesinde en kritik noktalardan bir tanesi kabuk elemanların sayısı ve boyutudur. Ayrıca bu yöntemin yaklaşık sayısal bir

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 çıkılamaz bir hal almaktadır. Bu sebepledir ki optimum ağ sıklığı ve kabuk eleman sayısının tayini önemlidir.




Şekil 3.7 : U-perdeyi temsil eden kabuk eleman modeli.

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 [6]. 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 Şekil 3.8'deki gibi ilave yardımcı çubuk elemanlar (Auxiliary Beam) kullanılarak modellenir [6]. Bu elemanların birim hacim ağırlıkları "0" alınmaktadır. Bu yardımcı kirişlerin kullanımı, perdelere bağlanan kiriş uçlarında oluşan iç kuvvet tesirlerinin doğru olarak elde edilmesine yardımcı olur.




Şekil 3.8 : Kabuk Eleman-Kiriş Eleman Birleşimi.

Analiz modellerinde kabuk eleman kullanmanın avantajları ve dezavantajlarını sıralayacak olursak özetle aşağıdaki sonuç ortaya çıkmaktadır.

Avantajları;

- Farklı geometrik şekillerdeki perdeler kolaylıkla modellenebilir,
- Perde içinde boşluk olması gibi durumlar kolaylıkla hesaplarda göz önüne alınabilir,
- Birbiriyle etkileşimli olan karmaşık perde duvar sistemlerinin modellenmesinde kolaylık sağlar.

Dezavantajları;

- Elde edilecek çözümün duyarlılığı sonlu eleman ağına bağlıdır,
- Bilinmeyen sayısı oluşturulan sonlu eleman ağının sıklığına göre artmakta olduğundan, dolayısıyla çözüm süresi de uzamaktadır,
- İç kuvvetler (Eksenel Kuvvet, Kesme Kuvveti ve Moment değerleri) doğrudan belirlenememektedir.

Analiz sonuçları, sonlu elemanlara bölünmüş perde elemanın her bir parçası için elde edilmektedir. Tüm bu sonuçları tasarımda kullanılma amaçlı iç kuvvetlere çevirmek için ek işlemler yapılmalıdır. SAP2000 yapısal analiz programı bu aşamada "section cut" gibi özelliklerle tasarımcılara bu kısımda kolaylık sağlamaktadır.

# 4. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ANALİZLER İÇİN PERDE ELEMAN MODELLEME TEKNİKLERİ

Son yıllarda meydana gelen depremler, yapılardaki hasarların ve kayıpların ekonomik boyutunun çok büyük olduğunu ortaya koymuştur. Bu doğrultuda yapısal analizin ve bu analiz sonuçlarından faydalanılarak yapılan tasarımların ne denli önemli olduğu anlaşılmıştır. Yapısal analizler teknolojinin ve teorilerin gelişimiyle doğrusal olmayan (nonlinear) boyuta taşınmıştır. Doğrusal olmayan analiz kavramları yapıların deprem gibi risk faktörleri altında daha iyi performans göstermelerini sağlama amaçlı analiz yöntemleriyle bütünleşik hale getirilmiştir. Yapıların deprem davranışlarının en iyi şekilde belirlenebilmesi için doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Doğrusal olmayan eleman davranışlarını inceleyebilmek için ise yük-deformasyon ve hasar ilişkilerini tam olarak ortaya koyan bazı kavramlar vardır. Söz konusu kavramlar elastik ve plastik malzeme davranışlarını esas almaktadır.

Yapı içerisinde yatay kuvvetler bakımından en etkili eleman olan perde elemanların doğrusal olmayan davranışlarını tanımlamak ve bu tanımlar doğrultusunda modelleme tekniklerine yansıtmanın önemi de çok büyüktür. Doğrusal olmayan perde eleman modelleme teknikleri ve bu tekniklere temel oluşturan söz konusu tüm bu kavramlar bu bölümde detaylı bir şekilde ele alınıp tartışılacaktır.

## 4.1. Doğrusal Olmayan Eleman Modellenmesi

Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışları, genel olarak iki durumda özetlenebilmektedir.

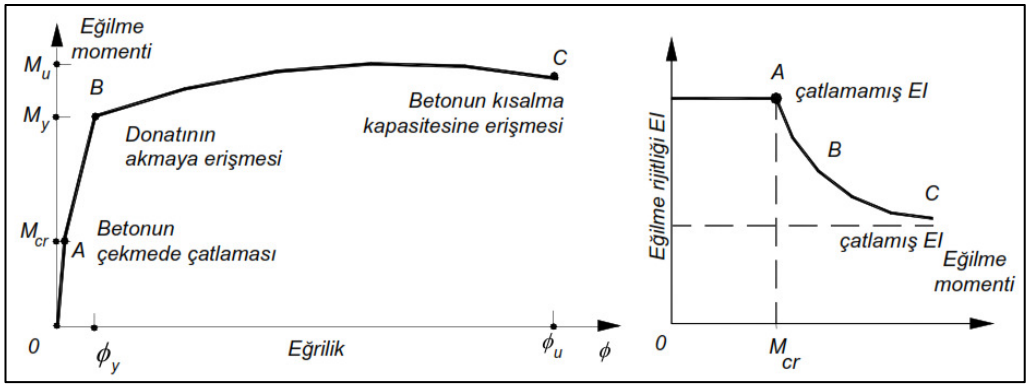
- Malzemenin doğrusal-elastik olmaması,
- Geometri değişimlerinin yeter derecede küçük olmaması nedeniyle denge denklemlerinin doğrusal olmaması.

Malzeme bakımından doğrusal Elastik olmayan davranış bu bölüm kapsamında ağırlıklı inceleme konusu olacaktır.

Şekil 4.1'de malzeme bakımından doğrusal-elastik olmayan davranış, basit eğilme altındaki dikdörtgen bir kesitte açıklanmıştır. Buna göre eğilme momentinin

küçük değerleri için betonda basınç ve çekme gerilmeleri meydana gelirken, donatı elastik bölgede kalmaktadır. Bütün beton kesiti davranışa etkili olduğu için donatının katkısı bu devrede sınırlı olur. Kesitin eğilme rijitliğine beton kesitinin elastisite modülü ve brüt atalet momenti etkili olur. Yüklemenin artmasıyla betonun doğrusal olmayan davranışı artan gerilmelerle yavaş yavaş belirgin duruma gelir. Eğilme momenti artarken, beton basınç gerilme dağılışı doğrusal olmayan bir değişimle oluşur ve donatı akma gerilmesine ulaşır.

Bu noktadaki moment değeri ($M_y$), kesitin akma momenti olarak tanımlanmaktadır. Momentin artması ile donatı plastik uzama yaparken, betonda da doğrusal olmayan $\sigma_c$ - $\varepsilon_c$ değişimi çok daha belirgin duruma gelir. Genellikle donatının uzama kapasitesi büyük olduğu için, güç tükenmesi betonun en büyük kısalma kapasitesine erişmesiyle ortaya çıkar ve kesit taşıma gücüne erişir.




Şekil 4.1 : Betonarme kesitte eğilme momenti-eğrilik ilişkisi.

## 4.2. Plastik Mafsal Hipotezi ve Özellikleri

Yapı elemanlarının kesitlerinde toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı, süneklik oranı (μ) olarak tanımlanmaktadır (Denklem 4.1). Süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilmektedir. Bu hipoteze, plastik mafsal hipotezi adı verilmektedir.

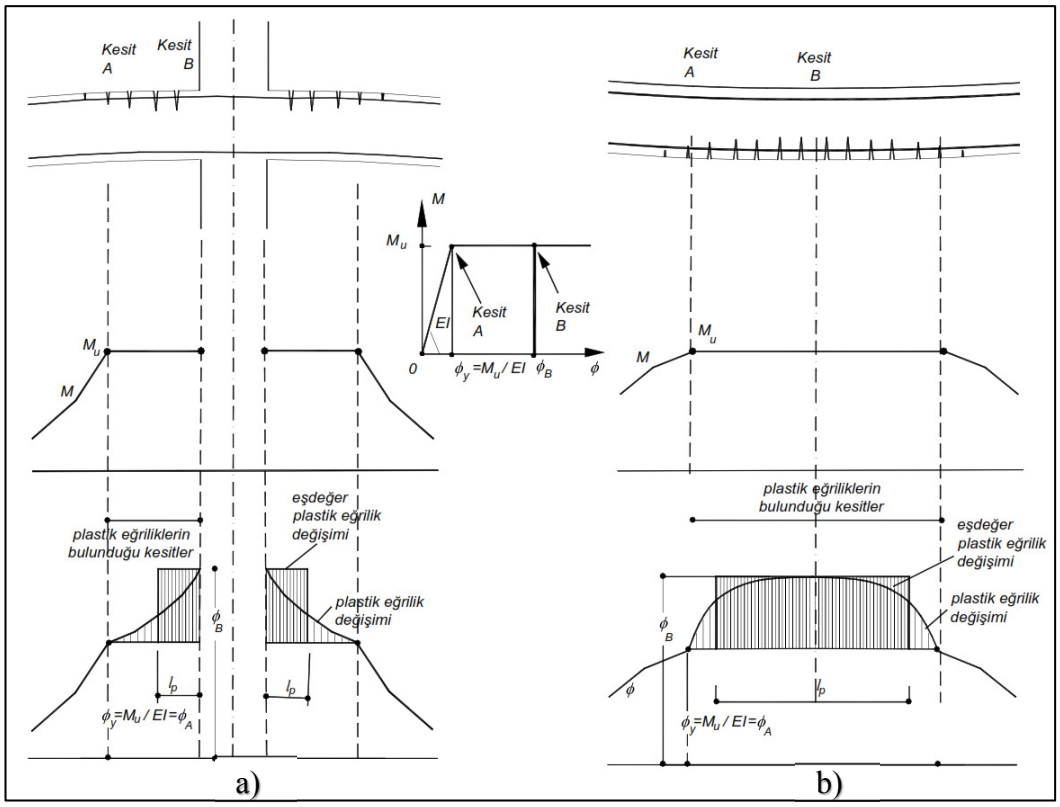
$$\mu = \varphi u / \varphi y \quad ; \quad \varphi u = \varphi y + \varphi p \tag{4.1}$$

- $\mu$: Süneklik oranı
- $\varphi_u$: Kesitin güç tükenmesi durumunda eğriliği
- $\varphi_y$: Kesitin akma eğriliği
- $\varphi p$: Kesitin plastik eğriliği

Şekil 4.2' de herhangi bir kiriş-kolon birleşiminde, plastik şekil değiştirmelerin ve momentlerin değişimleri gösterilmiştir.

Buna göre, A kesitinde moment ($M_u$) değerine erişmiş ve akma eğriliği ($\varphi_u$) meydana gelmiştir. Momentin daha küçük olduğu kesitlerde elastik eğrilik momentle orantılı olarak oluşmaktadır.

Kolon yüzüne yakın kesitlerde moment aynı değerde kalırken, plastik eğrilikler meydana gelmektedir. A ile B kesiti arasındaki eğriliklerin toplamı iki kesitin birbirine göre göreli dönmesini oluşturur ve eğrilik değişimindeki taralı alana karşı gelir. Bu dönme elastik ve plastik bölümlerden meydana gelir. B kesitindeki plastik eğrilik esas alınarak taralı alanda eşdeğer olarak oluşturulan dikdörtgen alanın boyu ($L_p$), plastik mafsal boyu olarak tanımlanmaktadır. Bu boy, eşdeğer plastik eğriliklerin meydana geldiği kiriş parçası olarak da görülebilir. Kiriş mesnedinde momentin değişiminin sivrilik oluşturması, bu boyun küçük olmasına sebep olur. Aşağıda Şekil 4.2'de kiriş açıklığında eğilme momenti ve eğrilik değişimi ve plastik mafsal oluşumu gösterilmiştir.




Şekil 4.2 : Sürekli kirişte a) mesnet ve b) açıklık bölgesinde plastik eğrilik değişimi. Plastik mafsalın meydana gelebilmesi için, bu bölgedeki kesitlerin plastik eğrilik.

Kolonlarda eğilme momenti yanında normal kuvvet de etkili olur. Normal kuvvetin bulunması, moment-eğrilik bağıntısında değişikliğe sebep olur ve plastikleşmeyi gösteren yatay kolu küçültür. Genellikle, eğilme momenti kiriş ve kolonda kesitten kesite değişim gösterirken, normal kuvvet kolonlarda da bir değişim gösterir. Bununla beraber normal kuvvetin bulunması plastikleşme bölgesini ve dolayısıyla plastik mafsal boyunun artmasına sebep olur. Hatta teorik olarak normal kuvvetin etkili olduğu bir kolonda artan yükler altında da tüm eleman plastikleşeceği için, plastikleşme bölgesi çok genişler ve plastik mafsal kabulü geçerliliğini kaybeder. Diğer taraftan normal kuvvetin etkili olduğu betonarme kesitlerde normal kuvvet etkisi altında normal kuvvet-birim kısalma değişiminde plastikleşme kolu çok sınırlı olduğu için, başka bir ifade ile sünek davranış söz konusu olmadığı için, plastik mafsal kabulü zaten geçerliliğini yitirir. DBYBHY 2007' ye göre plastik mafsal boyu, aşağıda gösterilmiştir (Denklem 4.2).

$$\varphi p = \frac{\theta p}{Lp} \quad ; \quad Lp = 0.5h \tag{4.2}$$

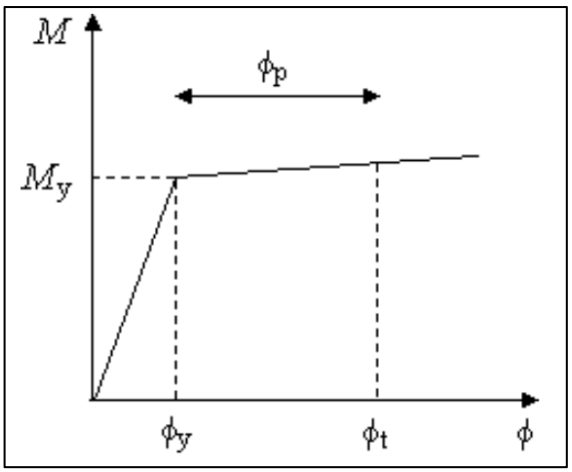
- Lp: Plastik mafsal boyu
- φp: Kesitin plastik eğriliği
- h: Kesit yüksekliği
- θp: Kesitin plastik dönmesi

## 4.3. Moment-Eğrilik ve Akma Yüzeyi Tanımları

Taşıyıcı sistem elemanlarında elastik ötesi istemlerin tespit edilebilmesi açısından, yapı sistemlerine ait elemanlarının kesit analizlerinin yapılmış olması gerekmektedir. Bu analiz yöntemi ile ilgili kesitlerde akma momenti ($M_y$), akma eğriliği ($\varphi_y$) ve elemanların kesit bazında akma yüzeyleri tanımlanabilmektedir. Ayrıca bu analiz ile taşıyıcı elemanların elastik ötesi davranışta, yapısal malzemelerin şekil değiştirme istemlerine göre plastik hasar sınırları tespit edilebilmektedir.

Genel olarak taşıyıcı sistem elemanları, sadece eğilme etkisindeki elemanlar (kirişler) ve bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki elemanlar (perde, kolon v.b. düşey taşıyıcılar) olarak gruplandırılabilir.

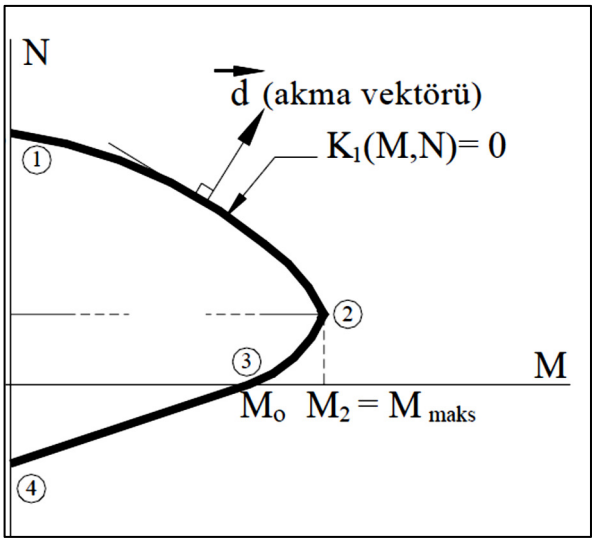
Sadece eğilme etkisi altındaki elemanlarda (kirişler), kesitin elastik ötesi davranışının ve bu aralıkta yapısal malzemelerde oluşacak olan plastik şekil değiştirme istemlerinin tespit edilebilmesi amacıyla söz konusu elemanların moment-eğrilik(birim dönme) ilişkisi tanımlanmalıdır. Şekil 4.3'de sadece eğilme etkisi altındaki elemanlara ait moment-eğrilik değişimleri gösterilmiştir.




Şekil 4.3 : Eğilme etkisi altındaki elemanlarda moment-eğrilik değişimi.

Şekil 4.3'de gösterilen moment-eğrilik değişimleri, elastik ve plastik olmak üzere iki bölgeden oluşmaktadır. Plastik mafsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bu iki bölge, ideal elasto-plastik malzemede olduğu gibi biri yatay olan iki doğru parçası ile ifade edilir.

Diğer taraftan bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet altındaki elemanların (perde, kolon vb. düşey taşıyıcılar), kesit taşıma kapasitelerini ifade eden karşılıklı etki diyagramlarının belirlenmesi gerekir (Şekil 4.4)




Şekil 4.4 : Eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki elemanlarda akma eğrisi.

Doğrusal olmayan şekil değiştirme istemlerine sahip betonarme sistemlerde, iç kuvvetlerin bu eğri üzerinde ya da dışında bulunması bir plastik kesitin oluştuğunu ve bu kesitte sonlu plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiğini yani kesitin aktığını belirtmektedir.

Tipik bir akma eğrisi Şekil 4.4'de gösterildiği üzere dört noktadan tanımlanmaktadır. Bu eğrinin idealleştirilmesini sağlayan bu noktalar, eksenel basınç, basit eğilme ve eksenel çekme hallerine karşı gelen (1), (3) ve (4) noktaları ile kesitin en büyük eğilme momenti taşıma gücüne sahip olduğu dengeli duruma karşı gelen (2) noktasıdır.

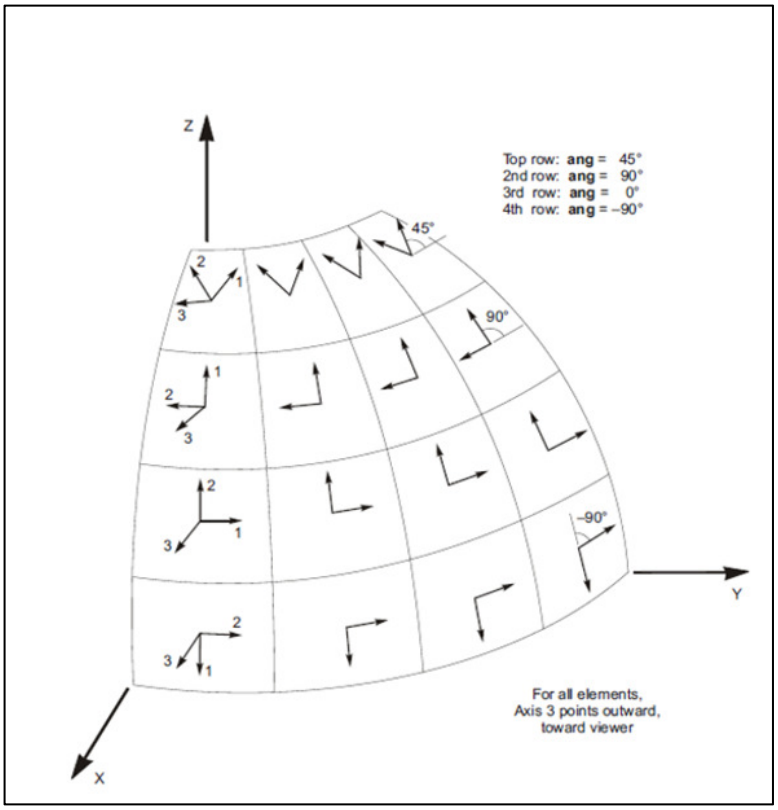
İdeal elasto-plastik kesit davranışında yüklemeler neticesinde oluşan yer değiştirme artımlarında, yükleme ve ardından yapılacak yük boşaltma işlemleri sonucu, stabilite kabulü olarak akma yüzeyi üzerinde oluşan plastik şekil değiştirme artımının akma yüzeyine dik olması kuralı geçerli olmaktadır [7].

## 4.4. Kabuk Elemanlar İçin Doğrusal Olmayan Sonlu Eleman Modelleri

Perde elemanlarının doğrusal olmayan modellerinde, 2-boyutlu doğrusal olmayan kabuk elemanlar ve plastik mafsallı çubuk elemanlar olmak üzere, karmaşıktan basitleştirilmişe doğru farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır.

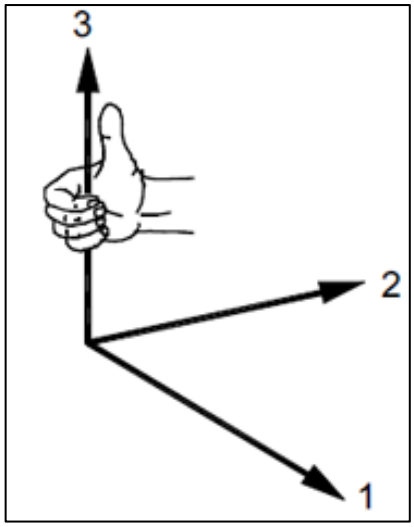
Perde duvarların modellenmesinde kullanılan doğrusal olmayan (nonlinear) kabuk elemanlar beton ve donatı model detaylarında kesin üstünlük sunarlar [8]. Söz konusu eleman modelleri daha büyük miktarda girdi parametrelerine ihtiyaç duymalarına rağmen bir ya da daha fazla betonarme eleman parçalarının analizinde daha verimli olurlar. Öte yandan, sürekli elemanlar modeli normal büyüklükteki bina yapılarının tasarımı ve analizlerinde henüz pratiklikten uzak kalmaktadır. Analiz sürelerindeki uzama bu olumsuz durumun tartışmasız en belirgin sebebidir.

Kabuk eleman kullanılarak bulunan çözümlerde elde edilen iç kuvvetler birim uzunluğa etkiyen iç kuvvetlerdir. SAP2000 programında kabuk elemanlar için tanımlanan local eksenler Şekil 4.5'te görüldüğü gibidir.




Şekil 4.5 : Kabuk elemanlar için kabul edilen koordinat düzlem ve açıları.

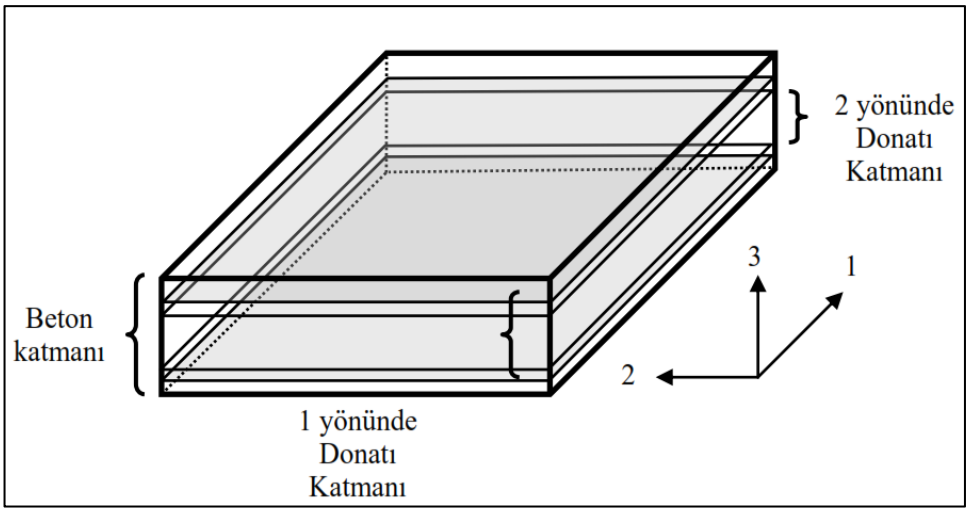
SAP2000'de hem genel hem yerel eksen takımları sağ el kuralına göre belirlenmiştir (Şekil 4.6). İki eksenin yerleşimi bilindiğinde diğer eksenin belirlenmesi bu kurala göre yapılmaktadır.




Şekil 4.6 : Sağ el kuralı ve yön tarifleri.

### 4.4.1. Çok Katmanlı Kabuk Elemanlar

Betonarme perdelerin doğrusal olmayan analizlerinde kullanılan çok katmanlı kabuk elemanları doğrusal analizlerde kullanılan kabuk (shell) elemanlarda olduğu gibi mesh dediğimiz çok sayıda model ağlarından oluşmaktadır. 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 edebilir [2]. Söz konusu kabuk elemanlar kesit kalınlığı doğrultusunda farklı kalınlıklarda bir kaç katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar farklı özellikteki malzemelerden meydana gelir (Şekil 4.7). Donatı çeliği ve beton malzeme modelleri, kendi fiziksel özelliklerini temsil eden bu katmanların içerisinde belirlenen kalınlıklarda tayin edilir.




Şekil 4.7 : Çok katmanlı kabuk eleman.

Sonlu elemanlarla analiz sırasında, bir eleman için örnek olarak eksenel gerilme – sargılı göbek betonu 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 anlaşılmaktadır ki, perdenin yapısal performansı malzeme davranışının temel prensipleri ile doğrudan ilgilidir.

## 4.5. Doğrusal Olmayan Malzeme Modelleri

### 4.5.1. Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri

Doğrusal elastik olmayan yöntemler ile performans değerlendirmesinde, Mander ve Priestley tarafından tanımlanan, sargılı ve sargısız beton için tanımlanmış gerilme-şekil değiştirme bağıntıları kullanılmıştır [9]. Sargılı betonda basınç gerilmesi ve basınç birim şekil değiştirmesi arasındaki ilişki aşağıda gösterilmiştir (Denklem 4.3).

$$fc = \frac{fcc.x.r}{r-1+x^r} \tag{4.3}$$

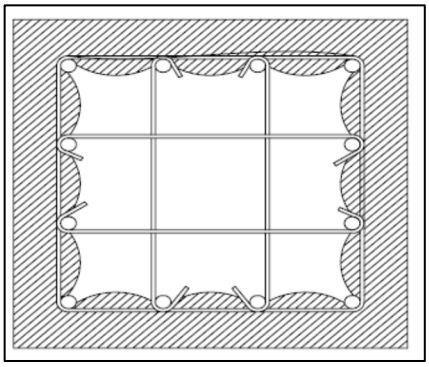
Bu bağıntıdaki sargılı beton dayanımı $f_{cc}$ ile sargısız beton dayanımı $f_{co}$ arasındaki ilişki, aşağıda verilmiştir (Denklem4.4).

$$fcc = \lambda c \tag{4.4}$$

$\lambda_c$ sargılı ve sargısız beton dayanımı arasındaki ilişkiyi ifade eden bir katsayı olup, $f_e$ ve $f_{co}$' a bağlı bir ifadedir (Denklem 4.5).

$$\lambda c = 2.254\sqrt{1 + \frac{7.94fe}{fco}} - 2\frac{fe}{fco} - 1.254 \tag{4.5}$$

$f_e$ etkili sargılama basıncı, dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için aşağıda verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir (Denklem 4.6). Dikdörtgen bir kesitte sargılama etkisi Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Diktörgen bir kesitte sargılama etkisi.

$$f_{ex} = k_e.\rho_x.f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e.\rho_y.f_{yw} \tag{4.6}$$

Yukarıdaki denklemde $f_{yw}$ enine donatıların akma dayanımını $\rho_x$ ve $\rho_y$ ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacimsel oranlarını, $k_e$ ise tanımlanan sargılama etkinlik katsayısını göstermektedir (Denklem 4.7).

$$k_e = \left(1 - \frac{\Sigma a_i^2}{6.b_o.h_o}\right).\left(1 - \frac{s}{2.b_o}\right).\left(1 - \frac{s}{2.h_o}\right).\left(1 - \frac{As}{b_o.h_o}\right)^{-1} \tag{4.7}$$

Denklem'de tanımlanan beton birim şekil değiştirmesinde x ile r değişkenlerine ilişkin bağıntılar aşağıda ye almaktadır (Denklem 4.8)

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad ; \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}[1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad ; \quad \varepsilon_{co} \cong 0.002 \tag{4.8}$$

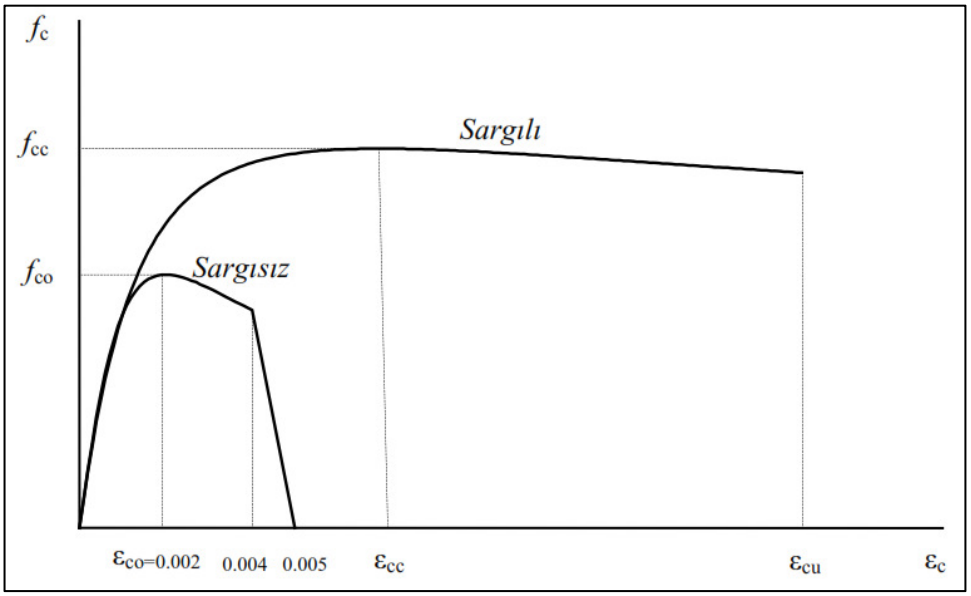
$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad ; \quad E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} \quad ; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \tag{4.9}$$

Sargılı beton maksimum şekil değiştirme kapasitesi aşağıda gösterilmiştir.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4\,\rho_s . f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \tag{4.10}$$

Yukarıdaki 4.10 denkleminde, $\rho_s$ her iki yöndeki enine donatıların hacimsel oranlarının toplamı olarak tanımlanmaktadır.

Şekil 4.9'da, yukarıda matematiksel açıklamaları verilen, Preistley ve Mander tarafından tanımlanan, sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme ifadeleri gösterilmiştir [10].




Şekil 4.9 : Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi.

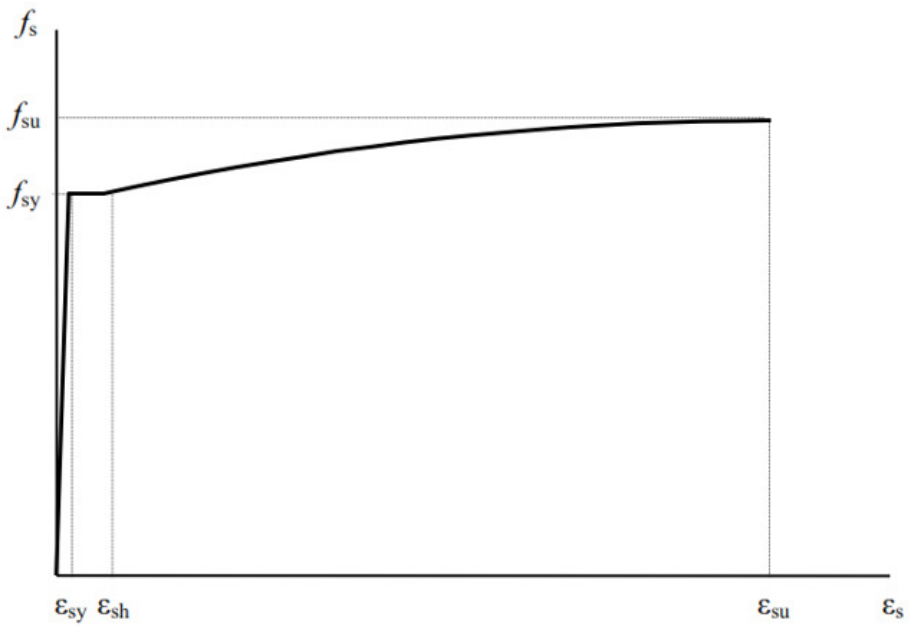
## 4.5.2. Donatı Çeliği Modeli

2007 deprem yönetmeliğinde doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere, donatı çeliği için aşağıdaki gerilme şekil değiştirme bağıntıları tanımlanmıştır.

$$f_s = E_s . \varepsilon_s \qquad \varepsilon_s < \varepsilon_{sy} \tag{4.11}$$

$$f_s = f_{sy} \qquad \varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh} \tag{4.12}$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy})\frac{(\varepsilon_{su}-\varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su}-\varepsilon_{sh})^2} \qquad \varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su} \tag{4.13}$$




| Kalite | $f_{sy}$ (Mpa) | $\varepsilon_{sy}$ | $\varepsilon_{sh}$ | $\varepsilon_{su}$ | $f_{su}$ (Mpa) |
|---|---|---|---|---|---|
| S220 | 220 | 0.0011 | 0.011 | 0.16 | 275 |
| S420 | 420 | 0.0021 | 0.008 | 0.10 | 550 |

Şekil 4.10 : Donatı çeliği için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi.

# 5. ANALİZ YÖNTEMLERİ

Bu bölümde inceleme konusu yapıların değerlendirilmesinde kullanılan doğrusal olmayan artımsal itme analizi ile birlikte zaman tanım alanında analiz yöntemlerinden bahsedilecektir.

## 5.1. Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri

Yapılar kuvvetli deprem etkileri altında önemli mertebede plastik deformasyon yapmakta, dinamik özellikleri değişim göstermekte ve yatay yük dağılımların değişmektedir. Bu nedenle yapıların analizinde bu parametreleri de göz önünde bulundurarak yürütülecek doğrusal olmayan analizler yapıların davranışlarının gerçeğe daha yakın olarak belirlenmesi ve göçme modlarının anlaşılabilmesi bakımından oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ve itme analizi olarak da adlandırılan doğrusal olmayan statik analiz olarak gruplanabilmektedir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yönteminde yapı sisteminin hareket denklemi seçilen ivme kayıtlarının her zaman adımı için modal veya doğrusal entegrasyon yöntemleri ile çözülmektedir. Yapılarda deformasyon ve iç kuvvet taleplerinin belirlenmesinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemleri ile yapılan kabuller ölçüsünde daha kesin sonuçlar elde edilebilmektedir. Ancak elde edilen sonuçların modelleme yöntemlerine ve yer kaydı karakteristiklerine karşı oldukça hassas olması nedeni ile bu yöntem yaygın olarak kullanılmamaktadır. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemlerinde yapının yatay yük altındaki davranışını etkileyen elemanların çevrimsel kuvvet-deformasyon ilişkilerinin uygun şekilde göz önüne alınması, frekans ve süre bakımından oldukça değişkenlik gösteren ivme kayıtlarının beklenen deprem etkisinin karakteristik özelliklerini yansıtabilecek şekilde seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca ivme kayıtlarının seçilmesi, kesitlerin mafsal özelliklerinin tanımlanması ve analiz sonuçlarının yorumlanması süreçleri de diğer analiz yöntemlerine oranla vakit alıcı olmaktadır.

Doğrusal olmayan itme analizinde ise yapının birinci mod şekli, uniform olarak veya eşdeğer deprem yükü dağılımı göz önüne alınarak dağıtılan ve monotonik olarak adım adım artırılan deprem yükleri ile yapı deprem istem sınırına kadar yüklenmektedir. Böylece yapı deprem sınırına ulaşıncaya kadar plastik mafsal oluşum

sırası, plastikleşme mertebeleri takip edilebilmekte ve yapının kapasite eğrisi elde edilebilmektedir.

İtme analizinde çok serbestlik dereceli bir yapı sisteminin deprem istemi yaklaşık olarak eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin istemi ile ifade edilmektedir. Nispeten düzenli ve basit binalar için yeterli yaklaşıklıkta sonuçlar elde edebilmek mümkün olsa da sadece tek mod etkisinin göz önüne alınabilmesi, yapının talep deplasmanının yükleme şekline (üniform, ters üçgen vb.) oldukça bağımlı olması ve yapının elastik ötesi deformasyonlarının artmasıyla değişen dinamik özelliklerine göre adapte olamaması nedeni ile kullanımına yönetmeliklerce sınırlamalar getirilmiştir.

DBYBHY 2007'de tanımlanan ve önerilen Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile İtme Analizi yönteminde birden çok modun göz önüne alınmasının mümkün olması sebebi ile uygulanabileceği yapılar için herhangi bir sınırlama getirilmemiştir.

## 5.2. İtme Analizi

İtme analizi yöntemi olarak DBYBHY 2007'de verilen Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü ile İtme Analizi yöntemi takip edilecektir. Yapının değerlendirilmesinde izlenilen bu yöntemde birinci mod şekli ile orantılı ve monotonik olarak arttırılan yatay yükler yapı seçilen deprem düzeyi için talep deplasman noktasına ulaşıncaya kadar artırılmıştır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında, taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait bağıl değerler ve son adımda deprem istemine karşılık gelen maksimum değerler hesaplanmaktadır.

Yöntemin uygulanabilmesi için yapıların aşağıda verilen kriterleri sağlaması gerekmektedir;

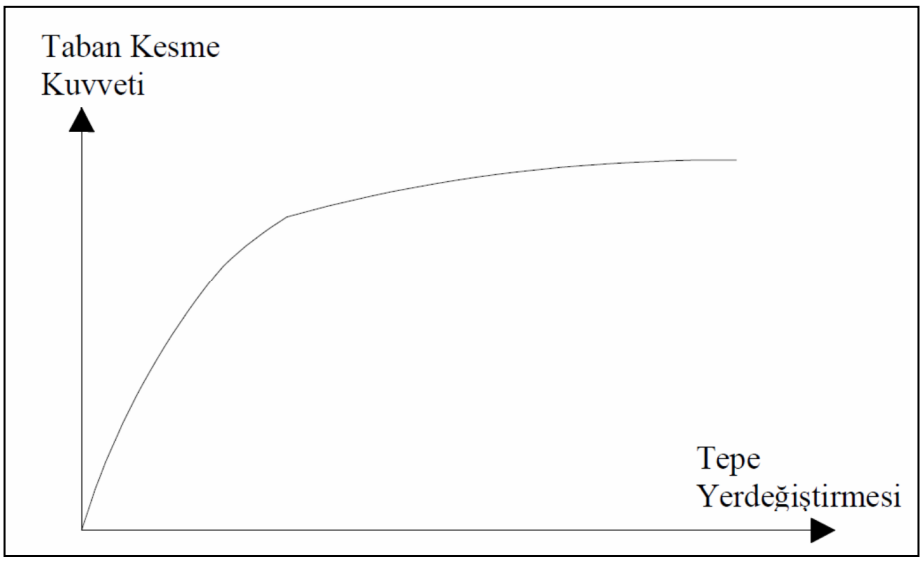
- Toplam kat adedi 8'i aşmamalı,
- Burulma düzensizliği katsayısı ($\eta_{bi}$) 1.4'den küçük olmalı
- Deprem doğrultusundaki birinci titreşim moduna ait etkin kütle oranı 0.70'den yüksek olmalıdır.
- DBYBHY 2007'ye göre itme analizi aşağıda bölüm 5.2.1'de verilen adımlar izlenerek yapılmaktadır.

İtme analizi (Pushover) yapı-deprem mühendisleri arasında hızla ilerleyen bir analiz yöntemidir. Bu metot eşdeğer deprem yükleri ile lineer çözümler bulmaya çalışan yapı tasarımcılarına, doğrusal elastik olmayan deprem davranışını ele alarak tasarlanan yapıları değerlendirme ya da performansa bağlı yapı tasarlama fırsatı vermiştir.

### 5.2.1. İtme Analizi Adımları

İtme analizinin ilk adımı olarak analiz modeli ve kesit davranışlarını temsil eden mafsal tanımlarının tamamlanmasının ardından kütleler ile uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılacaktır. Bu analiz sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak göz önüne alınır.

Bu analizin ardından mümkün olduğunca her adımın sonunda bir plastik mafsal oluşacak şekilde yatay yükler adım adım arttırılır, yapının yatay yük kapasitesi belirlenir ve yatay kuvvet – tepe yer değiştirmesi eğrisi elde edilir (Şekil 5.1). Statik itme eğrisinde yatay kuvvet arttıkça yapıda plastik şekil değiştirmeler artmakta ve yapıda hasar olarak ortaya çıkmaktadır.



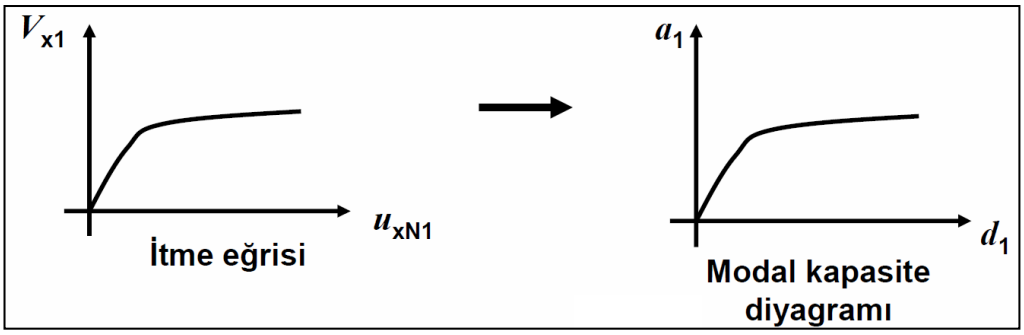

Şekil 5.1 : Statik itme eğrisi.

Statik itme eğrisinin elde edilmesinin ardından itme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümüyle koordinatları “modal yer değiştirme - modal ivme” olan modal

kapasite diyagramı aşağıda verilen dönüşüm denklemleri kullanılarak elde edilir (Denklem 5.1 ve 5.2).

$$a_1^{(l)} = \frac{V_{x1}^{(l)}}{M_{x1}} \tag{5.1}$$

$$d_1^{(l)} = \frac{u_{xN1}^{(l)}}{\phi_{xN1}.\Gamma_{x1}} \tag{5.2}$$



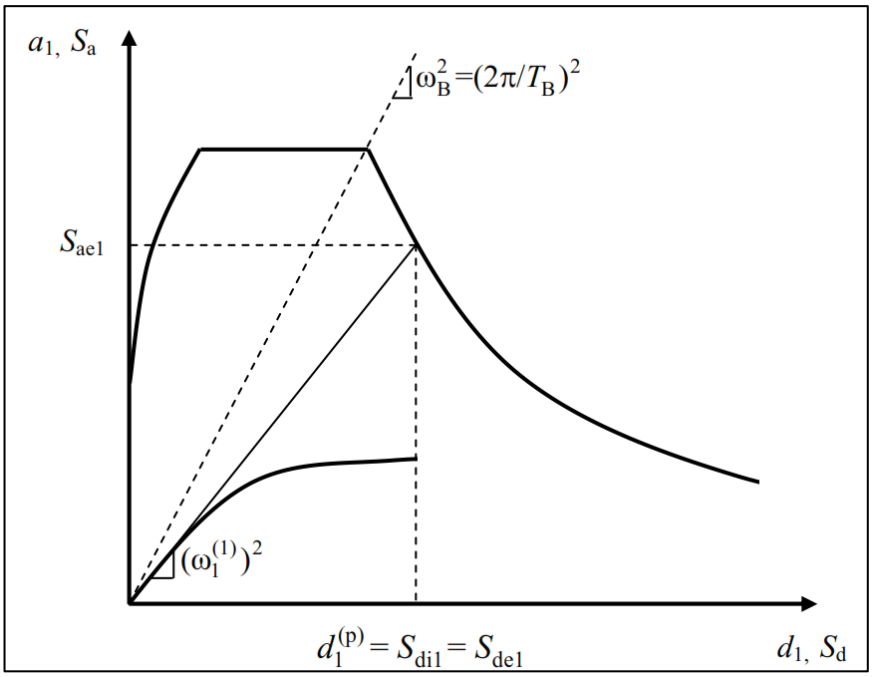

Şekil 5.2 : İtme eğrisi – Modal kapasite diyagramı dönüşümü.

Modal kapasite diyagramının (Şekil 5.3) elde edilmesinin ardından modal yer değiştirme istemi ve doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme istemi aşağıda verilen denklemler ile hesaplanır.

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \tag{5.3}$$

$$S_{di1} = C_{R1}.S_{de1} \tag{5.4}$$

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(w_1^{(1)})^2} \tag{5.5}$$




Şekil 5.3 : Modal yer değiştirme isteminin hesaplanması.

$$u_{xN1} = \phi x_{N1}.\Gamma_{x1}.d_1 \tag{5.6}$$

Son adım olarak yapının tepe yer değiştirme istemi $u_{xN1}$ değerine eşit oluncaya kadar itme analizi tekrarlanır ve bu değere karşılık gelen tüm istem büyüklükleri hesaplanır (Denklem 5.6). Bu tepe deplasmanında kesitlerde oluşan plastik şekil değiştirmeler verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak kesit hasar seviyeleri ve yapının performansı belirlenir.

Şekil değiştirme ve yer değiştirme esaslı değerlendirmenin göz önüne alındığı bu yöntemde, belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için binadaki yer değiştirme talebine ulaşıldığında, binanın beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

## 5.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz yönteminde taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak sistemin hareket denklemi modal veya direkt yöntemler ile her bir zaman dilimi için adım adım çözülmektedir. Zamana bağlı olarak değişen ivme etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemi sayısal olarak çözülerek plastik şekil değiştirmeler ve kesit iç kuvvetleri zamana bağlı olarak bulunur

ve sistemde plastik mafsallara ait dönme talepleri belirlenir. Yapılan kabuller doğrultusunda itme analizine göre daha kapsamlı sonuçların elde edildiği bu yöntemde, analize başlangıç aşamasında daha çok veri gerektirmesi, yapılan kabuller ve elde edilen çıktıların itme analizine göre oldukça fazla olması nedeni ile sonuçların yorumlanmasında özenli olmayı gerektirmektedir. İtme analizinin aksine, bu yöntemin uygulanabilirliği açısından yönetmeliklerde bina türü, yüksekliği vb. herhangi bir sınır tanımlanmamaktadır.

Yapı sistemlerinde plastik mafsal dönmelerinin ve yapısal malzemelerde oluşacak olan uzama/kısalma taleplerinin belirlenmesinde en kapsamlı yöntem, zaman tanım alanında dinamik analizdir. Bu yöntemde, yönetmeliklerce belirlenen tasarım ivme spektrumlarına uyumlu olarak seçilen yer hareketi kayıtları yapı sistemlerine doğrudan etki ettirilmektedir. Yer hareketi kayıtlarının, inceleme konusu yapılar için bölgenin geoteknik, depremsellik, fay hattına uzaklık v.b. kıstaslara göre paralel bir şekilde seçilmesi gerekmektedir[2].

Genel olarak yapı sistemlerinin, yer hareketi altındaki dinamik davranışlarını matematiksel olarak ifade eden hareket denklemi aşağıda Denklem 5.7'de yer almaktadır.

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g(t) \tag{5.7}$$

Bu bağıntıdaki ifadelerden, "m" kütleyi, "c" sönümü, "k" ise sistem rijitliğini ifade etmektedir.

Bu matematiksel ifade, yer hareketi kayıtlarının her bir zaman adımında entegre edilmesiyle, sistemin bu etkiye verdiği cevap yani zamana bağlı yer değiştirmesi tespit edilir. Her bir yer değiştirme isteminde ise yapısal sistemde oluşan plastik mafsal dönmeleri ve malzemelerde oluşan uzama/kısalma değerleri elde edilir.

Denklem 5.7'nin matematiksel olarak çözümlenmesinde birçok sayısal entegrasyon yöntemi bulunmaktadır. Söz konusu bu yöntemler, aşağıda belirtilmiştir.

- Newmark-Raphson sayısal entegrasyon yöntemi
- Wilson sayısal entegrasyon yöntemi
- Hilber-Hughes-Taylor sayısal entegrasyon yöntemi
- Chung-Hulbert sayısal entegrasyon yöntemi

Bu çalışma kapsamında matematiksel çözümlemeler, sonuca daha hızlı yakınsaması ve hata oranının daha düşük olması nedeniyle, Hilber-Hughes-Taylor sayısal entegrasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

### 5.3.1. Zaman Tanım Alanında Analizler İçin Yer Kayıtlarının Seçilmesi

DBYBHY 2007'de yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem hesabı için yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketi kayıtlarının kullanımına izin verilmektedir. Kullanılacak deprem kayıtlarının aşağıdaki özellikleri taşıması istenir;

- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Kullanılacak deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması $A_{0g}$'den daha küçük olmayacaktır.
- Kullanılacak ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot $T_1$'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, yönetmelikte tanımlanan elastik spektral ivme değerlerinin %90'ından daha az olmayacaktır.
- Zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır.

Yukarıda verilen kriterler doğrultusunda inceleme konusu yapıların zaman tanım analizlerinde kullanmak amaçlı bir adet kayıt seçilmiş ve değerlendirmeye alınan yapılar bu kayıt üzerinden zaman tanım alanında analizlere tabi tutulmuştur.

Tek bir kayıt seçilmesinde amaç, değerlendirme konusu olan yapıların fiktif kirişlerde oluşan rijitlik farklılıklarına verdiği tepkiyi hızlı bir şekilde ortaya koymaktır.

### 5.3.2. Tek Bir Deprem Kaydı İçin Ölçekleme Yöntemi

Bu yöntem, en küçük kareler tekniği kullanılarak, ölçeklenmiş hareketin davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasındaki farkın küçültülmesi esasına dayanır. Söz konusu fark, ölçeklenmiş ve hedef tasarım spektrumu genlikleri arasındaki farkın karesinin entegrasyonu olarak tanımlanmış ve aşağıdaki Denklem 5.8 ile hesaplanmaktadır [2].

$$\left| \text{Fark} \right| = \int_{TA}^{TB} \left[ \alpha \; x \; S_a^{gerçek}(T) - S_a^{hedef}(T) \right]^2 dT \tag{5.8}$$

- $S_a^{gerçek}$ : kullanılacak gerçek deprem kaydının ivme spektrumu,
- $S_a^{hedef}$ : hedef ivme davranış spektrumu,
- α : doğrusal ölçekleme katsayısı,
- T:salınımın periyodu,
- $T_A$:ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı,
- $T_B$:ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırıdır.

Fark miktarının küçülmesi için "Fark" fonksiyonunun doğrusal ölçekleme katsayısına göre türevi sıfır olmalıdır (Denklem 5.9)

$$\min \left| \text{Fark} \right| = \frac{\left| \text{Fark} \right|}{d\alpha} \tag{5.9}$$

Denklem 5.8'deki "Fark" fonksiyonunun dα'ya göre türevi alınıp sıfıra eşitlenir. Denklem 5.8'deki entegraller ayrık forma çevrilerek $T_A$'dan ΔT artımlarla $T_B$'ye kadar devam eden toplam haline dönüştürülür. Buradaki ΔT periyot adım miktarıdır. Böylece, Denklem 5.10 elde edilir.

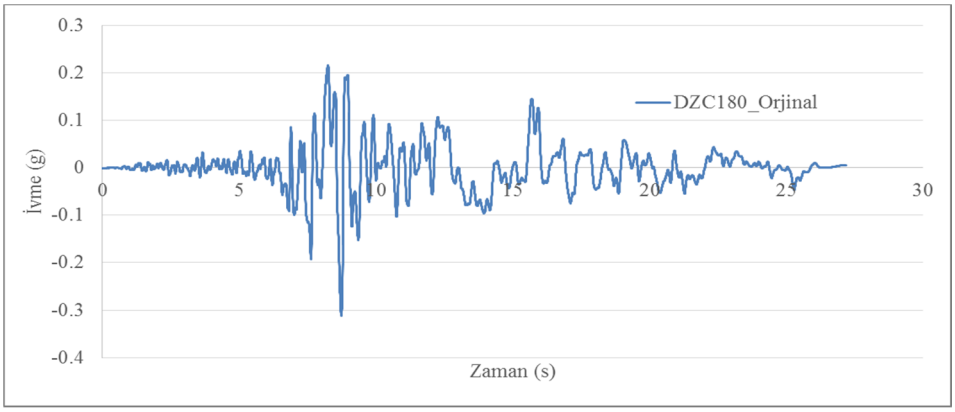
$$\alpha = \frac{\sum_{T=TA}^{TB} \left( S_a^{gerçek}(T) \, . \, S_a^{hedef}(T) \right)}{\sum_{T=TA}^{TB} \left( S_a^{gerçek}(T) \right)^2} \tag{5.10}$$

2008 yılında Y. M. Fahjan tarafından hazırlanmış olan makalede yer alan aşağıdaki tabloda Z3 zemin sınıfı için belirlenmiş yer hareketlerine ait özellikler ve ölçekleme katsayıları bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında zaman tanım alanında yapılacak olan analizlerde "The Pacific Earthquake Engineering Research" (PEER) merkezine ait internet sitesinden elde edilmiş P1096 (güncel no:RSN1158 Kocaeli/DZC180) numaralı yer hareketi tercih edilmiş olup ölçekleme katsayısı $\alpha_{ST}$ =3.53 olarak alınmıştır.

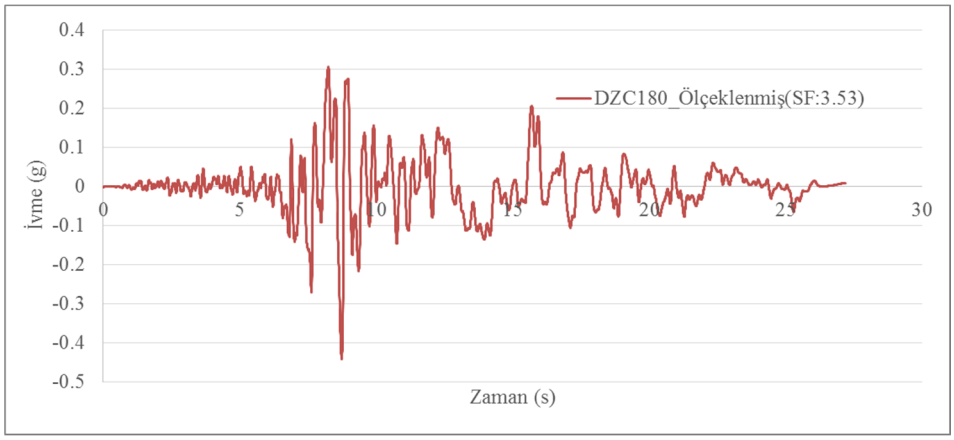
Tablo 5.1: Z3 Zemin sınıfı için kullanılabilecek deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları.

| Yerel Zemin Sınıfı : Z3 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kayıt No | Deprem | Tarih | İstasyon | Kayıt | Fay Kırığına en yakın mesafe | Kayıt Süresi | Anlamlı Süre | Zarf Süre | Faylanma Mekanizması | Ölçekleme Katsayısı ($\alpha_{ST}$) | Oransal Göreceli Hata (%) |
| P0164 | Taiwan SMART1(45) | 14.11.1986 | 30 SMART1 O01 | 45O01EW | 39.00 | 44 | 21.9 | 31.4 | RN | 6.60 | 16.55 |
| P0989 | Northridge | 17.01.1994 | 24586 Neenach - Sacatara Ck | NEE090 | 53.20 | 48 | 26.2 | 35.5 | RN | 16.92 | 15.90 |
| P0876 | Landers | 28.06.1992 | 23542 San Bernardino-E & Hospitalit | HOS180 | 80.50 | 120 | 38.5 | 52.2 | SS | 9.85 | 13.90 |
| P1096 | Kocaeli, Turkey | 17.08.1999 | Duzce | DZC180 | 12.70 | 27.2 | 11.7 | 14.7 | SS | 3.53 | 21.36 |
| P0012 | Imperial Valley | 15.10.1979 | 931 El Centro Array #12 | H-E12140 | 18.20 | 39.0 | 19.0 | 28.7 | SS | 8.46 | 16.60 |
| P0778 | Loma Prieta | 18.10.1989 | 47179 Salinas - John & Work | SJW160 | 32.60 | 39.9 | 21.4 | 32.5 | RO | 13.72 | 23.33 |
| P0752 | Loma Prieta | 18.10.1990 | 1652 Anderson Dam (L Abut) | ADL340 | 21.40 | 39 | 12.7 | 16.2 | RO | 14.82 | 24.02 |
| P0013 | Imperial Valley | 15.10.1979 | 6605 Delta | H-DLT262 | 43.60 | 99.9 | 51.0 | 80.8 | SS | 4.46 | 23.14 |
| P0967 | Northridge | 17.01.1994 | 24612 LA - Pico & Sentous | PIC090 | 32.70 | 40 | 20.2 | 28.2 | RN | 11.16 | 27.64 |
| P0105 | Taiwan SMART1(45) | 14.11.1986 | 62 SMART1 I01 | 45I01NS | 39.00 | 44 | 21.6 | 30.7 | RN | 5.97 | 24.45 |

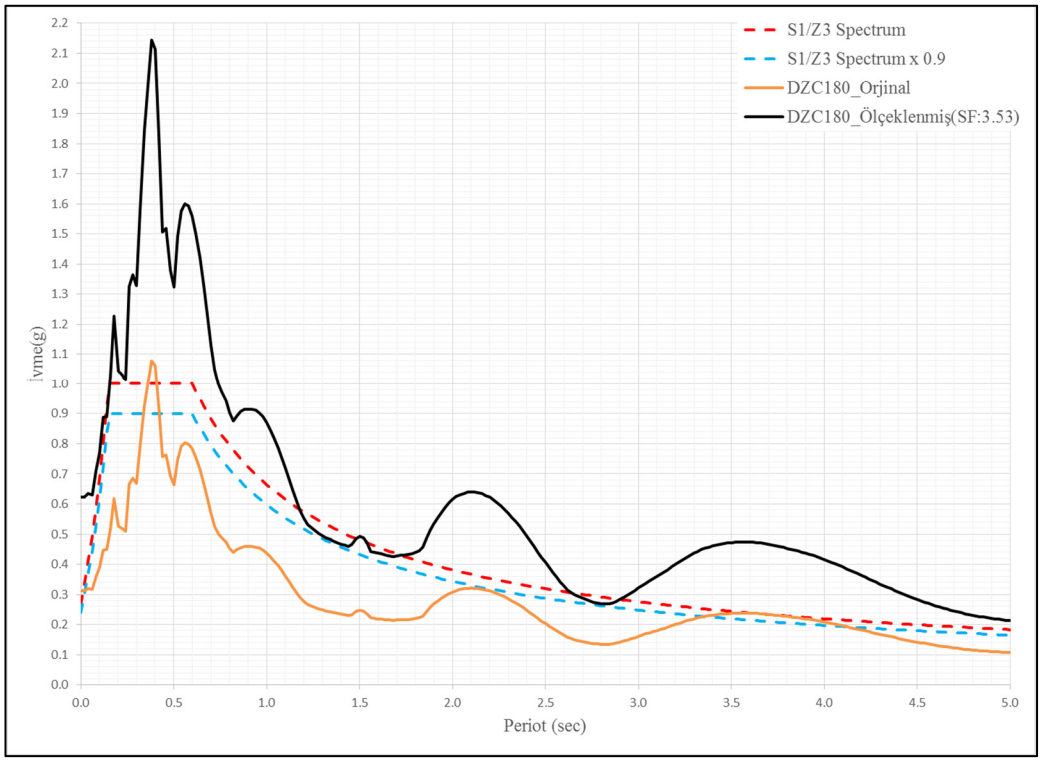
Düzce istasyonundan alınmış 17 Ağustos 1999 tarihli Kocaeli depremine ait kayıtın ölçeklenmiş ve orijinal ivme-zaman grafikleri ile spektrumlara ait grafikler aşağıdadır.




Şekil 5.4 : DZC180 yer kaydına ait ölçeklenmemiş ivme-zaman grafiği.




Şekil 5.5 : DZC180 yer kaydına ait ölçeklenmiş ivme-zaman grafiği.




Şekil 5.6 : DZC180 yer kaydına ait ölçeklenmiş ve orijinal spektrum eğrileri.

Ölçekleme katsayısı "$\alpha_{ST}$" DBYBHY-2007'de deprem bölgeleri için belirlenen yer ivmesi katsayısı($A_0$) ve yapı önem katsayısı(I) ile çarpılarak $\alpha_{AT}$ elde edilir. Elde edilen bu $\alpha_{AT}$ katsayısı, yer kaydına ait ivme değerleri ile çarpılıp yapıya yatay deprem yükü olarak aktarılmaktadır.

# 6. SAYISAL ÖRNEKLER

U-perde modelleme tekniklerini inceleme kapsamında üzerinde çalışılan 3 farklı bina modeli, kullanılan veriler ve yapılan analizler bu bölümde anlatılmıştır.

Modelleme tekniklerini inceleme ve aralarındaki farklılıkları hızlı bir biçimde ortaya koyma bakımından bina modellerinin ilave düşey yük etkileri olmadan sadece ölü yükler altında analiz edilmesine karar verilmiştir.

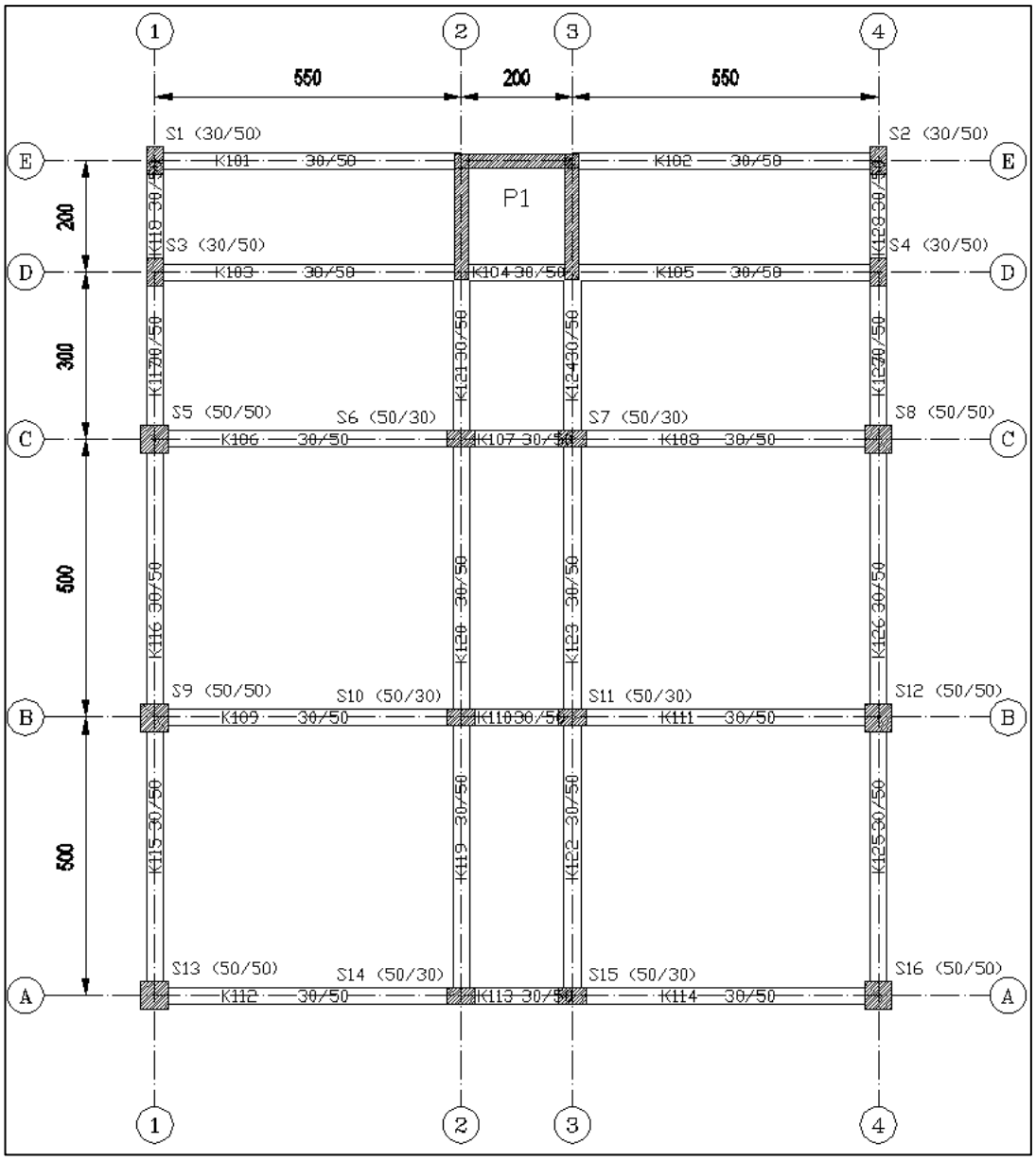
## 6.1. Yapılara Ait Taşıyıcı Eleman Özellikleri

Kullanılan sayısal örneklerin her biri 6 katlı olarak modellenmiştir. X yönünde uzunlukları değişen 3 adet açıklık bulunmakta, Y yönünde ise yine uzunlukları değişiklik gösteren 4 adet açıklık bulunmaktadır. Yapıdaki kolon, perde duvar ve kiriş boyutları her bina için ayrı ayrı aşağıdaki tablolarda özetlenmiştir. 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. Yapılara ait 3-boyutlu analiz modelleri SAP2000 v.16 programı kullanılarak modellenmiş olup Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6,'da yapısal analiz modelleri gösterilmektedir. Söz konusu yapılar için analiz modellerinde 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 yapılmıştır. Bina önem katsayısı (I) 1.0 olarak kullanılmıştır. Tasarım spektrumu, DBYBHY-2007 esaslarına göre hesaplanmıştır. Plastik mafsal tanımı yapma amaçlı belirlenmiş olan taşıyıcı eleman donatı konfigürasyonları Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6'da gösterilmiştir. Üç farklı sayısal örnek sırasıyla Model_1, Model_2 ve Model_3 olarak isimlendirilmiş olup özellikleri ve analiz karşılaştırmaları belirtilirken bu isimler kullanılacaktır.

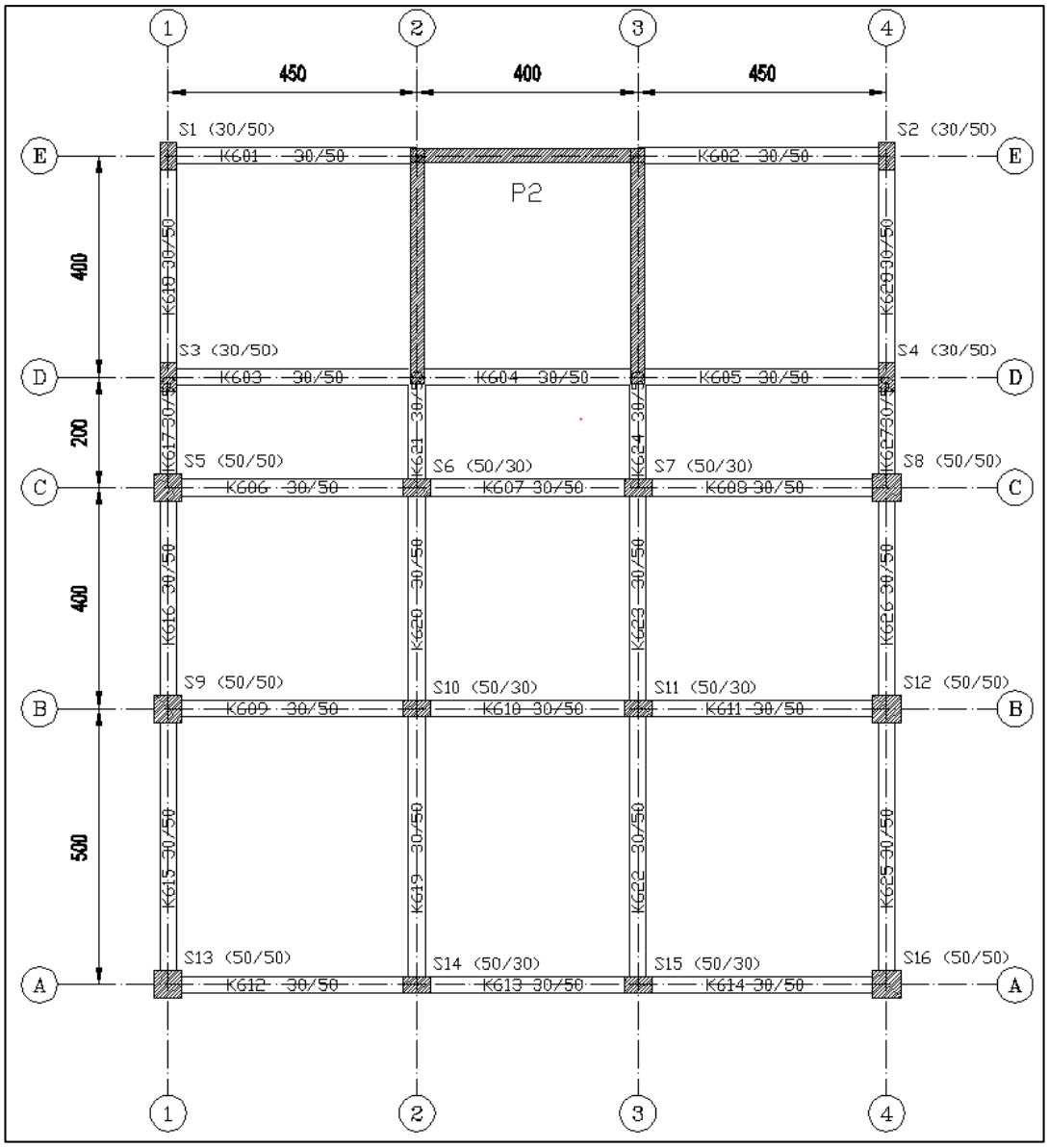
Tablo 6.1: Yapılarına ait taşıyıcı eleman özellikleri.

| ***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 |
| D100 | Dairesel (fiktif kiriş) | | 1000 |
| D125 | Dairesel (fiktif kiriş) | | 1250 |
| D150 | Dairesel (fiktif kiriş) | | 1500 |
| D175 | Dairesel (fiktif kiriş) | | 1750 |
| D200 | Dairesel (fiktif kiriş) | | 2000 |
| D25 | Dairesel (fiktif kiriş) | | 250 |
| D50 | Dairesel (fiktif kiriş) | | 500 |
| D75 | Dairesel (fiktif kiriş) | | 750 |
| U2000/2000 | U kesit (P1) | 25 | 2000/2000 |
| U4000/4000 | U kesit (P2) | 25 | 4000/4000 |
| U6000/4000 | U kesit (P3) | 25 | 6000/4000 |
| fiktif | Dikdörtgen (auxiliary beam) | 300 | 500 |

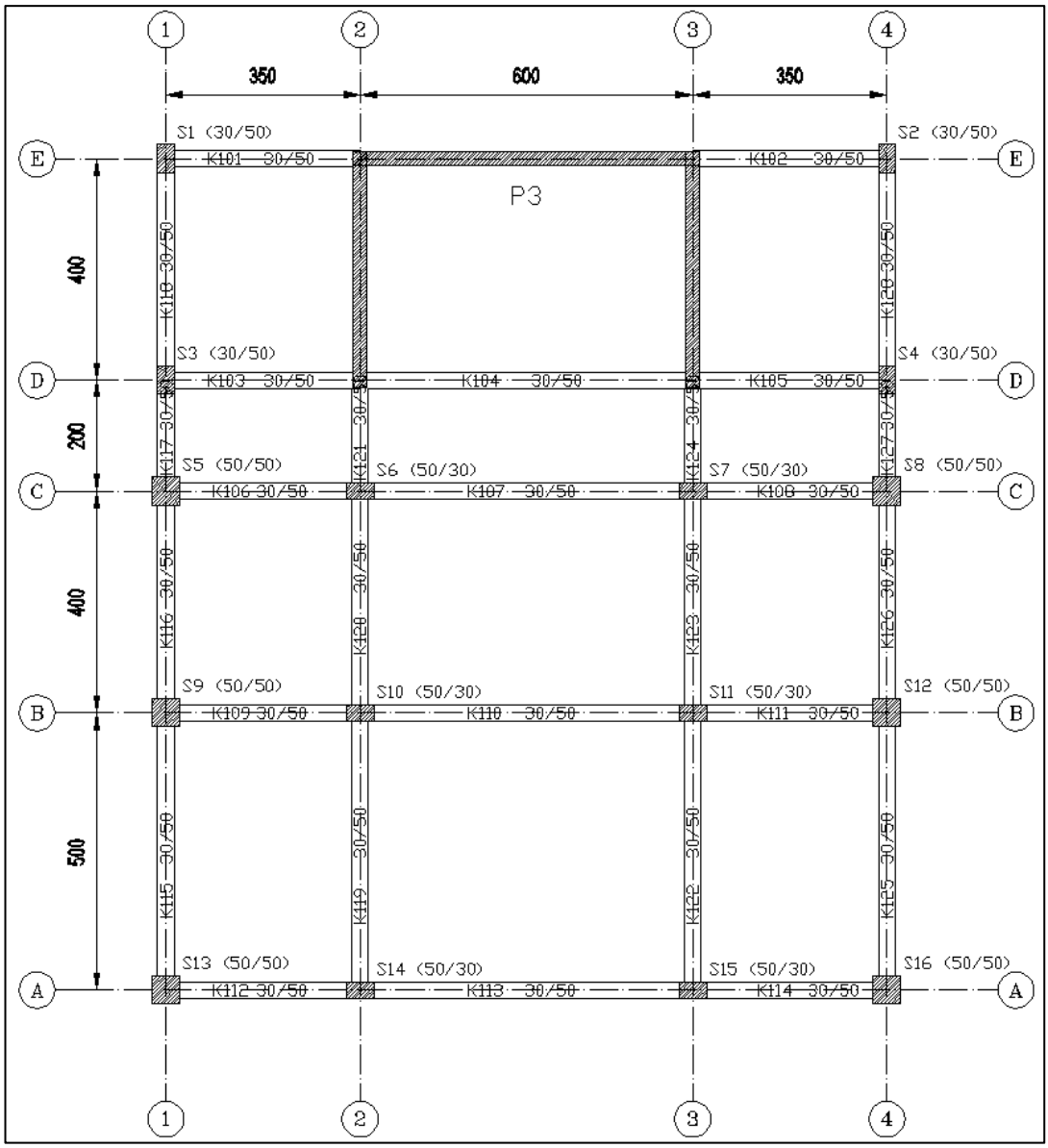
Sayısal örnek modellere ait taşıyıcı sistem yerleşim planları aşağıda yer almakta olup, aks açıklıkları Model_1 x yönü için sırasıyla 5.50m, 2.00m ve 5.50m, y yönü için ise 2x5.00m, 3.00m ve 2.00m olarak teşkil edilmiştir. Model_2 için bu değerler x yönünde sırasıyla 4.50m, 4.00m ve 4.50m, y yönü için ise 5.00m, 4.00m, 2.00m ve 4.00m şeklindedir. Son olarak Model_3 yapısına baktığımızda ise x yönünde sırasıyla 3.50m, 6.00m ve 3.50m, y yönünde ise Model_2 ile aynı olarak 5.00m, 4.00m, 2.00m ve 4.00m olarak teşkil edilmiştir.



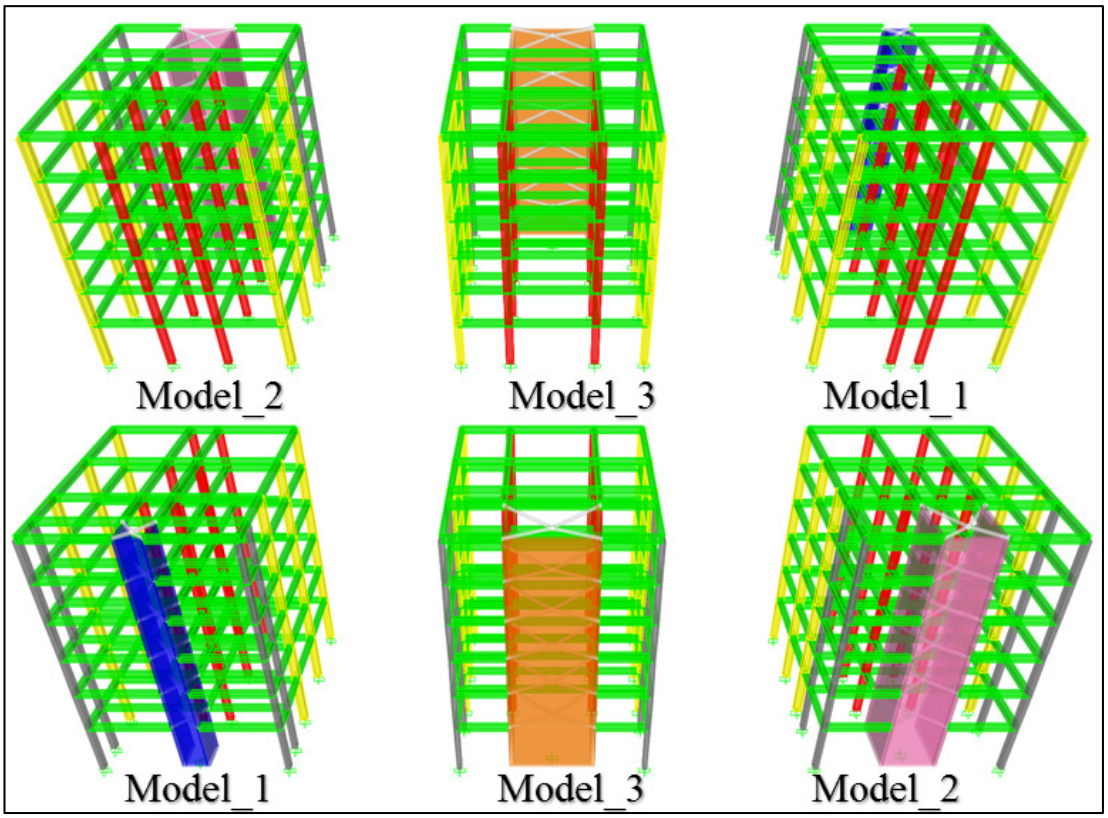

Şekil 6.1 : Model_1 taşıyıcı eleman yerleşim planı.



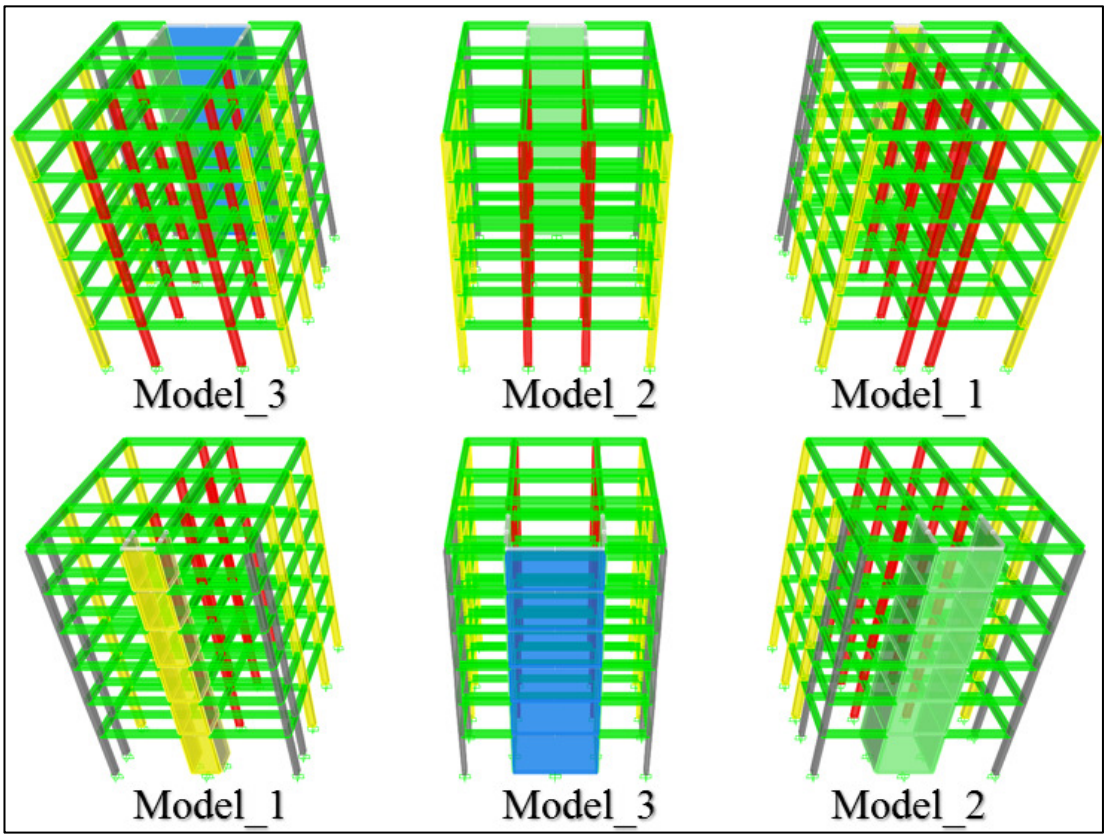

Şekil 6.2 : Model_2 taşıyıcı eleman yerleşim planı.



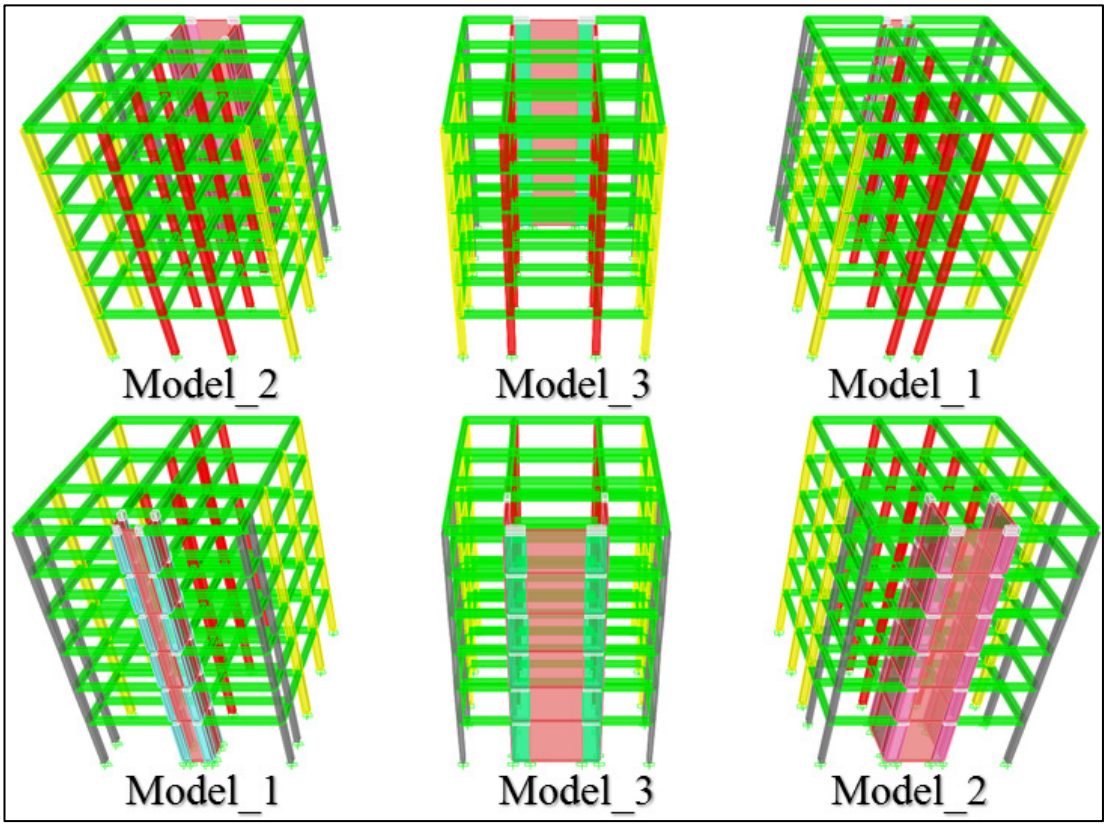

Şekil 6.3 : Model_3 taşıyıcı eleman yerleşim planı.




Şekil 6.4 : Model_1, Model_2 ve Model_3'e ait Çubuk eleman modelleri.




Şekil 6.5 : Model_1, Model_2 ve Model_3'e ait Orta-kolon modelleri.




Şekil 6.6 : Model_1, Model_2 ve Model_3'e ait Kabuk eleman modelleri.

### 6.1.1. Yapısal Modellerde Kullanılan Fiktif Kiriş Özellikleri

Üç farklı yapıya ait orta-kolon ve çubuk eleman yöntemleriyle hazırlanan modellerde kullanılan bu yardımcı elemanlara Bölüm 3.3'te kavramsal olarak değinilmişti. Yapı modellerinde kullanılan bu elemanlara ait teknik bazı özellikler aşağıda açıklanmıştır.

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 (Tablo 6.2).

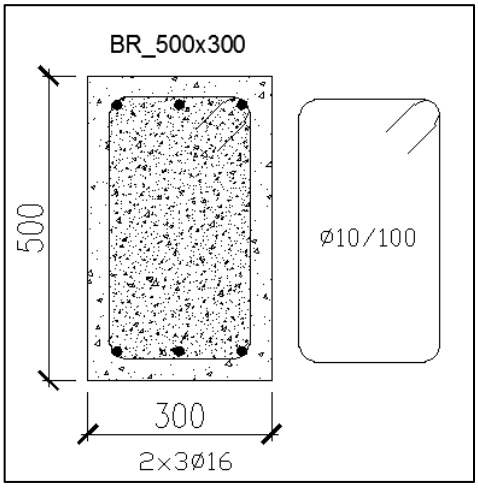
Tablo 6.2: Fiktif kiriş eleman özellikleri.

| Fiktif Kiriş | Kesit Tipi | Çap(D) | Alan | Atalet Momenti |
|---|---|---|---|---|
| | | mm | $m^2$ | $m^4$ |
| D25 | Dairesel | 250 | 0.04909 | 0.00019 |
| D50 | Dairesel | 500 | 0.19635 | 0.00307 |
| D75 | Dairesel | 750 | 0.44179 | 0.01553 |
| D100 | Dairesel | 1000 | 0.7854 | 0.04909 |
| D125 | Dairesel | 1250 | 1.22719 | 0.11984 |
| D150 | Dairesel | 1500 | 1.76715 | 0.24851 |
| D175 | Dairesel | 1750 | 2.40528 | 0.46039 |
| D200 | Dairesel | 2000 | 3.14159 | 0.7854 |

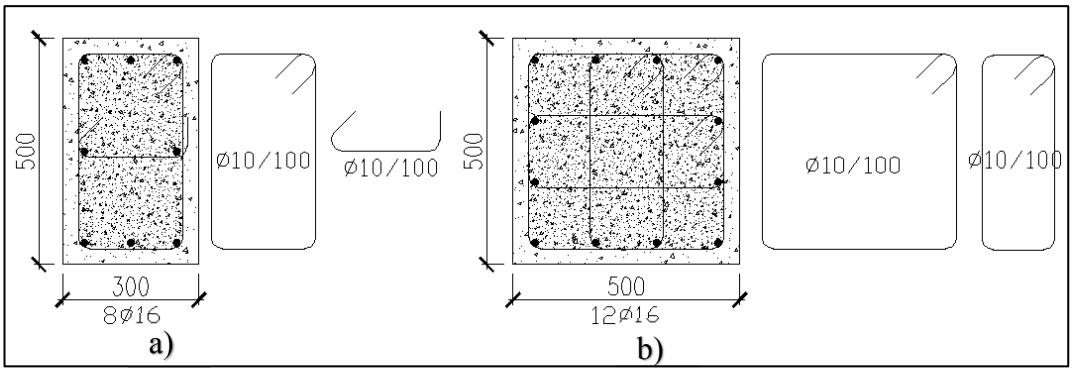
Örnek yapı modellerinde yapılan tüm analizler yukarıda belirtilen her bir fiktif eleman için ayrı ayrı modellenip tekrarlanmış ve kendi içlerinde yarattıkları farklılıkları ortaya koymak adına değerlendirilmiştir.

### 6.1.2. Kesitlere Ait Donatı Özellikleri

Sayısal örnekleri kendi aralarında modelleme farklılıkları açısından değerlendirme kapsamında, taşıyıcı elemanlara yürürlükte bulunan TS500 ve 2007 deprem yönetmeliğince belirlenen minimum donatı şartlarını sağlayacak şekilde donatı konulmuştur. Kiriş ve kolonlarda kullanılan donatı konfigürasyonu ise Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de gösterilmektedir.




Şekil 6.7 : Kiriş elemanlara ait donatı detayları.



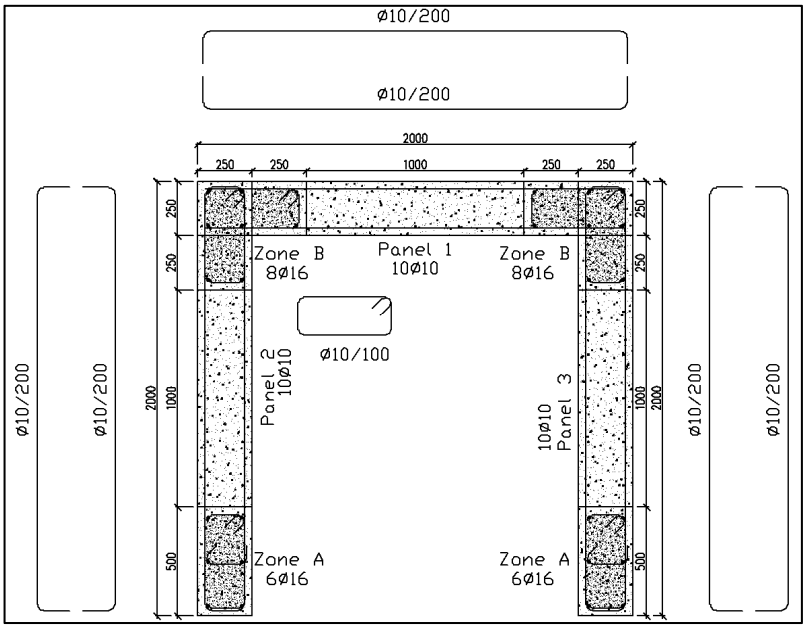

Şekil 6.8 : a) 30 cm/50 cm, b) 50 cm/50 cm kolon elemanlara ait donatı detayları.

Her bir perde kesiti başlık ve gövde kısımlarından oluşmakta olup perde gövde kısımlarında(Panel-1 ve Panel-2) yatay ve düşey donatılar Ø10/200 şeklinde donatılandırılmıştır(Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11). Başlık kısımlarında(Zone A ve Zone B) ise %1 düşey donatı kullanılmış ve çap olarak Ø16 seçilmiştir.

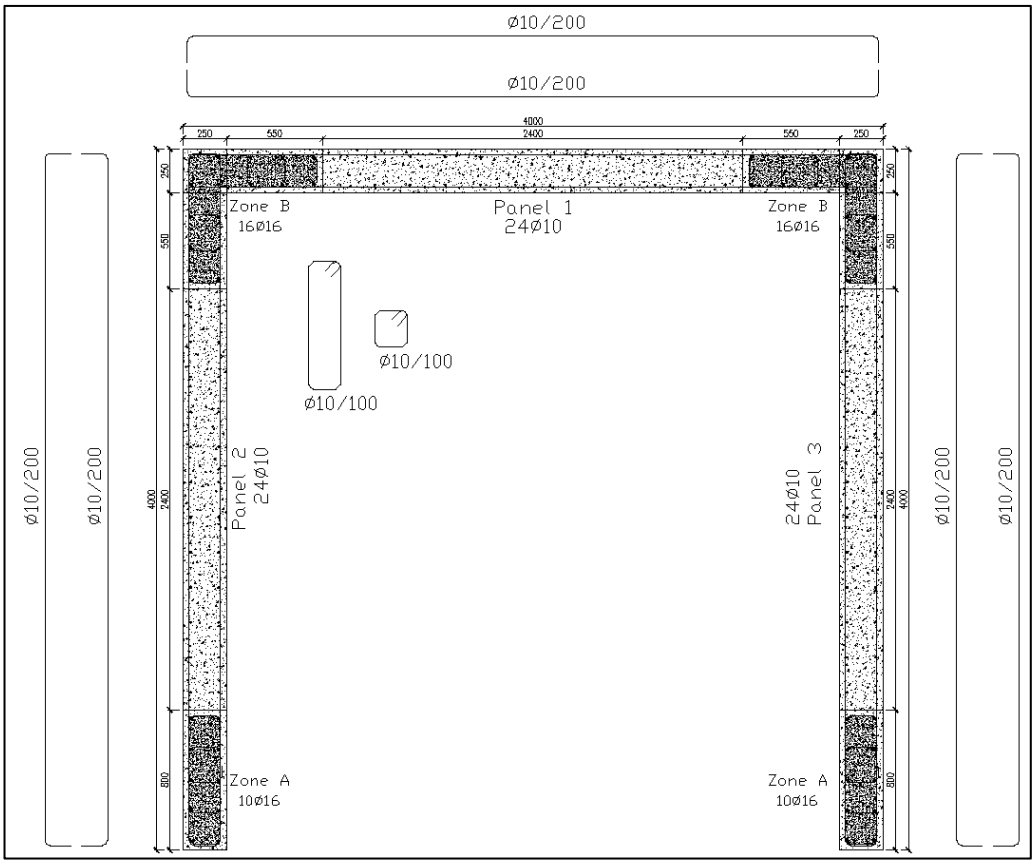
Tablo 6.3: P1,P2 ve P3 perdelerine ait donatı detayları.

| ***Perde No*** | ***Panel 1*** | | ***Panel 2*** | | ***Panel 3*** | | ***Zone A*** | | ***Zone B*** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ***Yatay*** | ***Düşey*** | ***Yatay*** | ***Düşey*** | ***Yatay*** | ***Düşey*** | ***Yatay*** | ***Düşey*** | ***Yatay*** | ***Düşey*** |
| P1 | Ø10/20 | Ø10/20 | Ø10/20 | Ø10/20 | Ø10/20 | Ø10/20 | 6Ø16 | Ø10/10 | 8Ø16 | Ø10/10 |
| P2 | Ø10/20 | Ø10/20 | Ø10/20 | Ø10/20 | Ø10/20 | Ø10/20 | 10Ø16 | Ø10/10 | 16Ø16 | Ø10/10 |
| P3 | Ø10/20 | Ø10/20 | Ø10/20 | Ø10/20 | Ø10/20 | Ø10/20 | 10Ø16 | Ø10/10 | 22Ø16 | Ø10/10 |

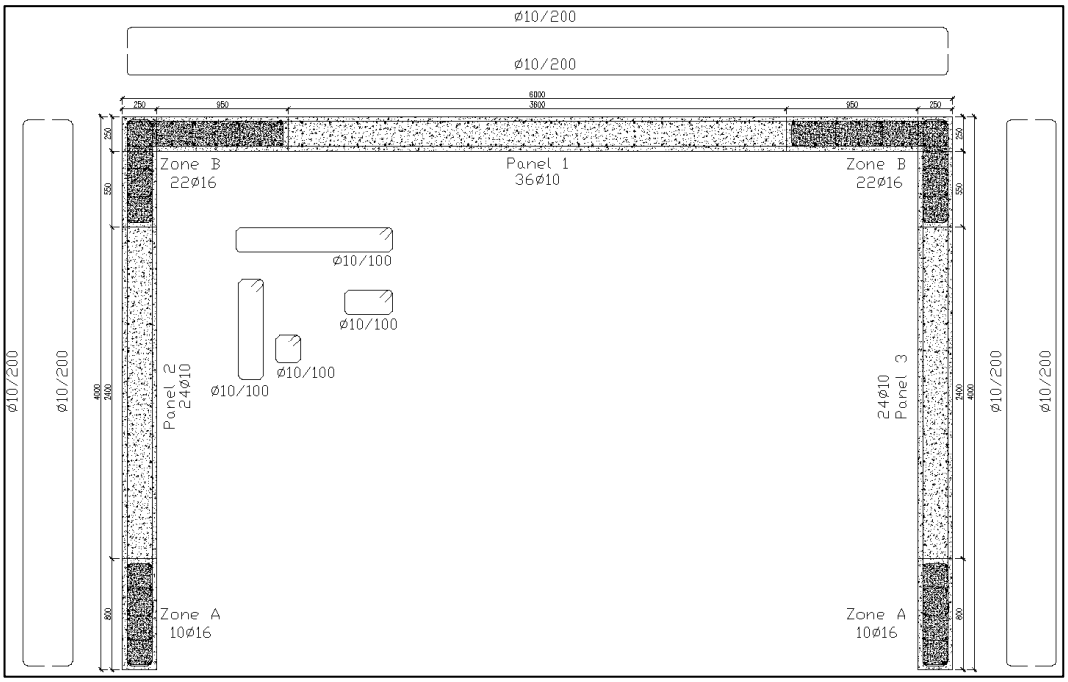
Plastik mafsal tanımlamalarında gerekli olan bu donatı kabullerine ait yerleşim şemaları aşağıdadır.




Şekil 6.9 : P1 Perdesine ait donatı yerleşimi.



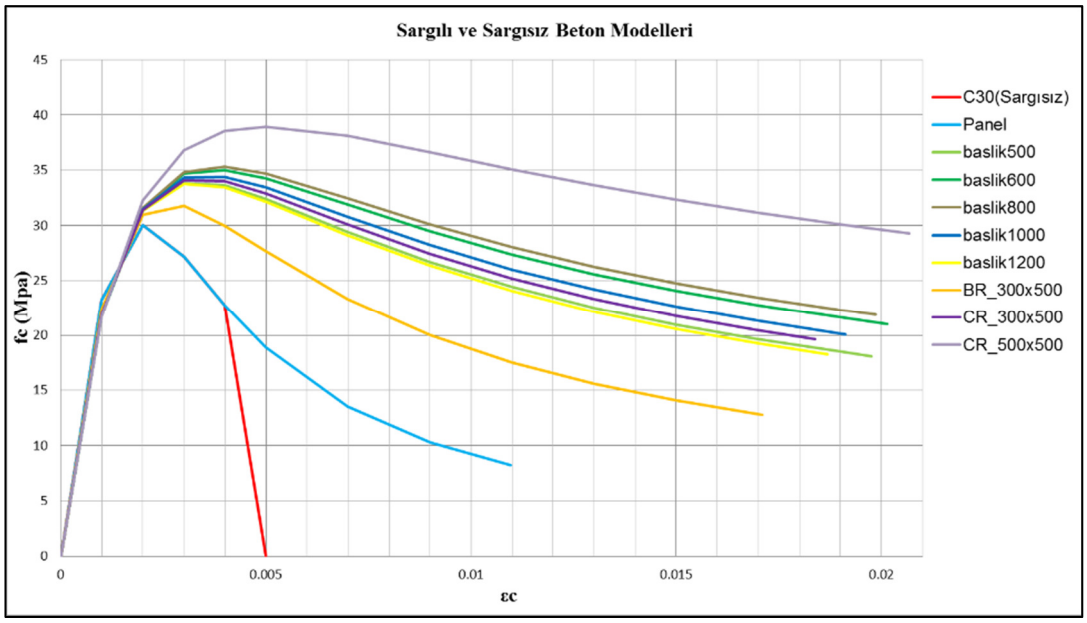

Şekil 6.10 : P2 Perdesine ait donatı yerleşimi.



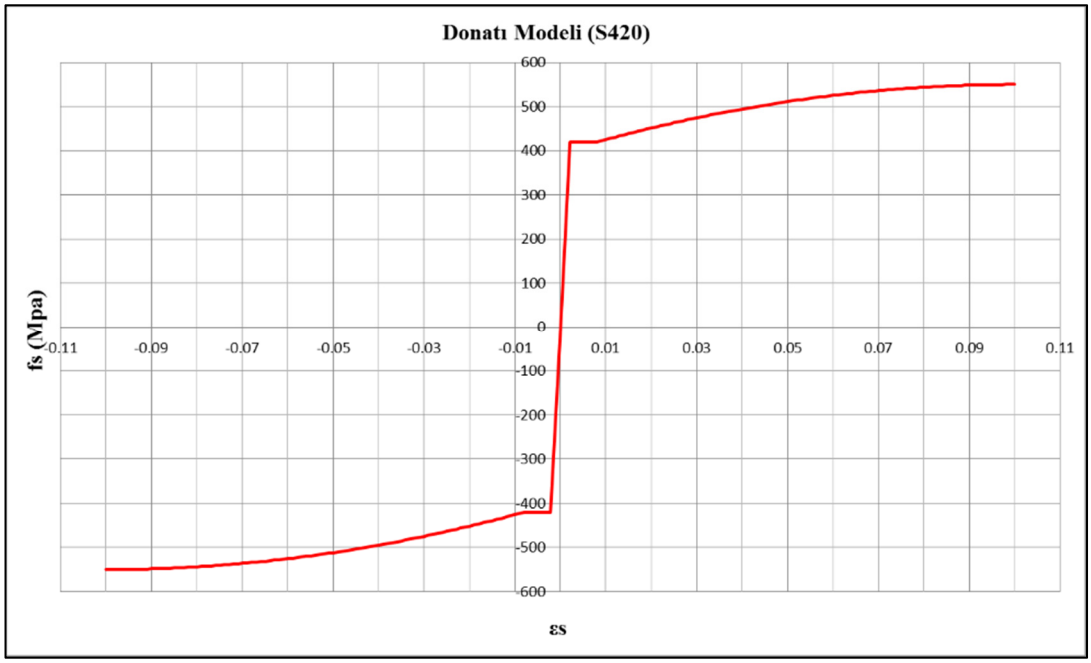

Şekil 6.11 : P3 Perdesine ait donatı yerleşimi.

### 6.1.3. Donatı Konfigürasyonuna Bağlı Malzeme Özellikleri

Bölüm 4.5'de açıklanan kavramlar çerçevesinde, söz konusu yapı sistemlerinde 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.



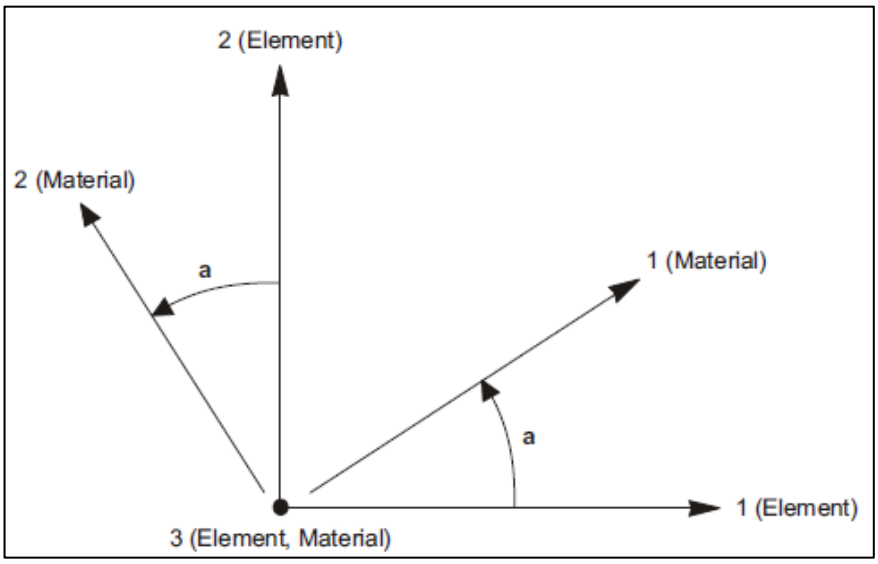

Şekil 6.12 : Beton malzeme gerilme-şekil değiştirme eğrileri.




Şekil 6.13 : S420 donatı çeliğine ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi.

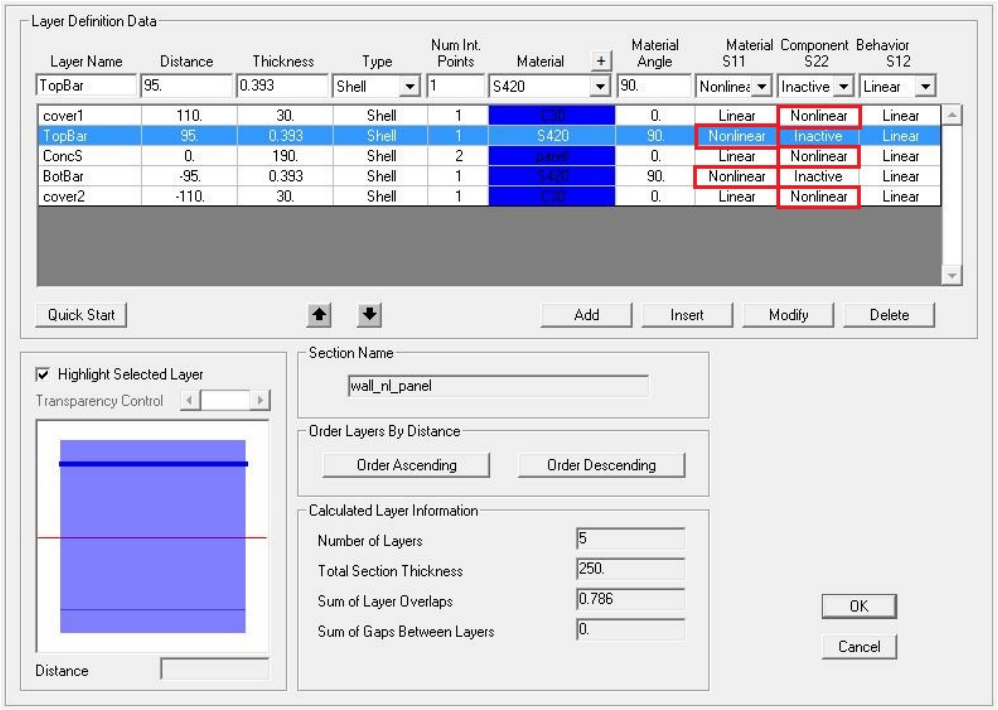
## 6.2. Doğrusal Elastik Olmayan Kabuk Elemanların Modellenmesi

Analiz modelleri hazırlanmış olan üç farklı yapıda betonarme perde kalınlıkları 25cm olarak alınmıştır. Doğrusal olmayan davranışı temsilen SAP2000 programında tanımlanan çok katmanlı kabuk elemanlar (nonlinear layered shell element) aşağıda belirtilen esaslar doğrultusunda modeldeki panel elemanları temsil etmiştir.




Şekil 6.14 : Kabuk eleman katmanları için malzeme açı yönleri.

Kabuk eleman koordinat açısı olan "a" programca belirlenen ön değerlerden farklı bir eleman açı yönlendirmesi yapma amaçlı kullanılmaktadır. Lokal 3 ekseni ekran düzleminden bize doğru dik olduğu durumda açının pozitif değerleri saat yönünün tersinde dönme sağlamaktadır. Örneğin Şekil 6.15'de görünen 5 katmanlı kabuk eleman özelliklerini ele alacak olursak; Donatı gibi tek doğrultuda çalışan elemanları temsil eden "TopBar" ve "BotBar" katmanlarının orijinal lokal eksen değerleri lokal eksen-1 (0°) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 6.14). Doğrusal olmayan analizlerde kullanmak üzere katman içerisinde boyuna donatıyı tanımlamak için, bu 0° lik değer 90°(lokal eksen-2) olarak değiştirilmelidir.

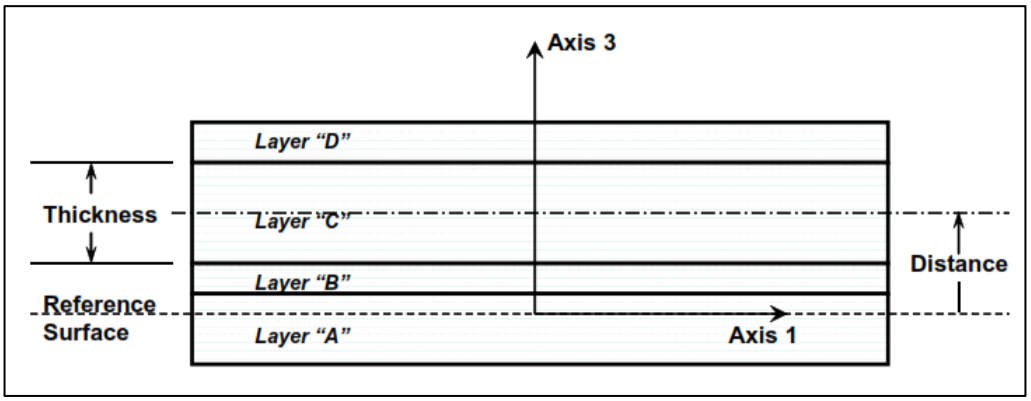



Şekil 6.15 : SAP2000 programı kullanılarak hazırlanmış Çok katmanlı "wall_nl_panel" elemanına ait özellikler.

Böylelikle çok katmanlı kabuk eleman içerisinde donatı katmanına ait pozitif-1 yüzeyi pozitif-2 ile yer değiştirmiş olmakta ve sonuç olarak donatı katmanı S11 gerilmesi altında eksenel basınç ya da çekmeye maruz kalmaya devam etmektedir.

Kabuk eleman içerisinde bulunan donatı ya da beton katmanlarının hangi doğrultuda doğrusal, doğrusal olmayan ya da pasif olacağına yine bu kısımdaki data girişiyle karar verilmektedir. Tablo 6.4'de özellikleri verilen kabuk elemanına ait katmanların hangi yönde doğrusal olmayan davranış sergileyeceği kırmızı kutucuklar içerisinde belirtilmiştir.

Katmanları tanımlarken dikkat edilmesi gerekli bir diğer husus ise katmanın kesit referans merkezine olan uzaklığı ve katman kalınlığıdır (Şekil 6.16).




Şekil 6.16 : Katman(Layer) tasarım şeması.

Örneğin herhangi bir kalınlıkta bir metrelik bir kesit dilimini ele aldığımızda Ø10/20 cm araya sahip bir donatı diziliminin katman kalınlığı her bir yüzey için, 5adet (1 metre) *Ø10 (78.54 $mm^2$) / 1.00 m = 0.3927 mm şeklinde olmaktadır.

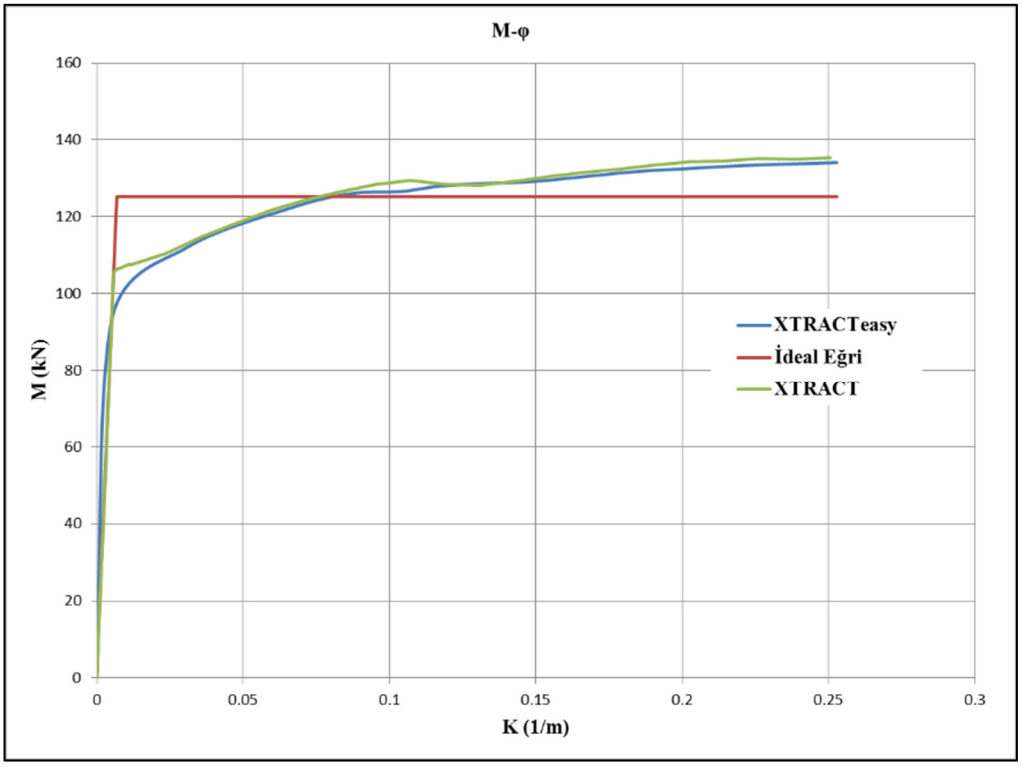
Tablo 6.4: Kabuk elemanlara ait katman özellikleri.

| *Kabuk Eleman* | *Katman* | *Lokasyon* | *Kalınlık* | *Malzeme* | *Malzeme Açısı* | *Gerilme yüzeyi davranışı* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *mm* | *mm* | | *Derece* | *S11* | *S22* | *S12* |
| wall_nl500 | cover1 | 110 | 30 | C30 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| | TopBar | 95 | 1.206 | S420 | 90 | Nonlinear | Inactive | Linear |
| | ConcS | 0 | 190 | baslik500 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| | BotBar | -95 | 1.206 | S420 | 90 | Nonlinear | Inactive | Linear |
| | cover2 | -110 | 30 | C30 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| wall_nl600 | cover1 | 110 | 30 | C30 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| | TopBar | 95 | 1.34 | S420 | 90 | Nonlinear | Inactive | Linear |
| | ConcS | 0 | 190 | baslik600 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| | BotBar | -95 | 1.34 | S420 | 90 | Nonlinear | Inactive | Linear |
| | cover2 | -110 | 30 | C30 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| wall_nl800 | cover1 | 110 | 30 | C30 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| | TopBar | 95 | 1.206 | S420 | 90 | Nonlinear | Inactive | Linear |
| | ConcS | 0 | 190 | baslik800 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| | BotBar | -95 | 1.206 | S420 | 90 | Nonlinear | Inactive | Linear |
| | cover2 | -110 | 30 | C30 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| wall_nl1000 | cover1 | 110 | 30 | C30 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| | TopBar | 95 | 1.34 | S420 | 90 | Nonlinear | Inactive | Linear |
| | ConcS | 0 | 190 | baslik1000 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| | BotBar | -95 | 1.34 | S420 | 90 | Nonlinear | Inactive | Linear |
| | cover2 | -110 | 30 | C30 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| wall_nl1200 | cover1 | 110 | 30 | C30 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| | TopBar | 95 | 1.257 | S420 | 90 | Nonlinear | Inactive | Linear |
| | ConcS | 0 | 190 | baslik1200 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| | BotBar | -95 | 1.257 | S420 | 90 | Nonlinear | Inactive | Linear |
| | cover2 | -110 | 30 | C30 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| wall_nl_panel | cover1 | 110 | 30 | C30 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| | TopBar | 95 | 0.393 | S420 | 90 | Nonlinear | Inactive | Linear |
| | ConcS | 0 | 190 | panel | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |
| | BotBar | -95 | 0.393 | S420 | 90 | Nonlinear | Inactive | Linear |
| | cover2 | -110 | 30 | C30 | 0 | Linear | Nonlinear | Linear |

## 6.3. Kesitlere Ait Moment Eğrilik ve Akma Yüzeylerin Oluşturulması

Söz konusu yapı sistemleri taşıyıcı elemanlarının kesit analizleri Bölüm 4.3'da açıklanan kapsam çerçevesinde, XTRACT V.3.0.8 programı kullanılmıştır. Ayrıca bu tez kapsamında geliştirilmiş, Mander ve Priestley tarafından tanımlanan gerilme-şekil değiştirme bağıntılarını kullanarak kiriş kesitleri için moment-eğrilik (M-φ), kolon ve

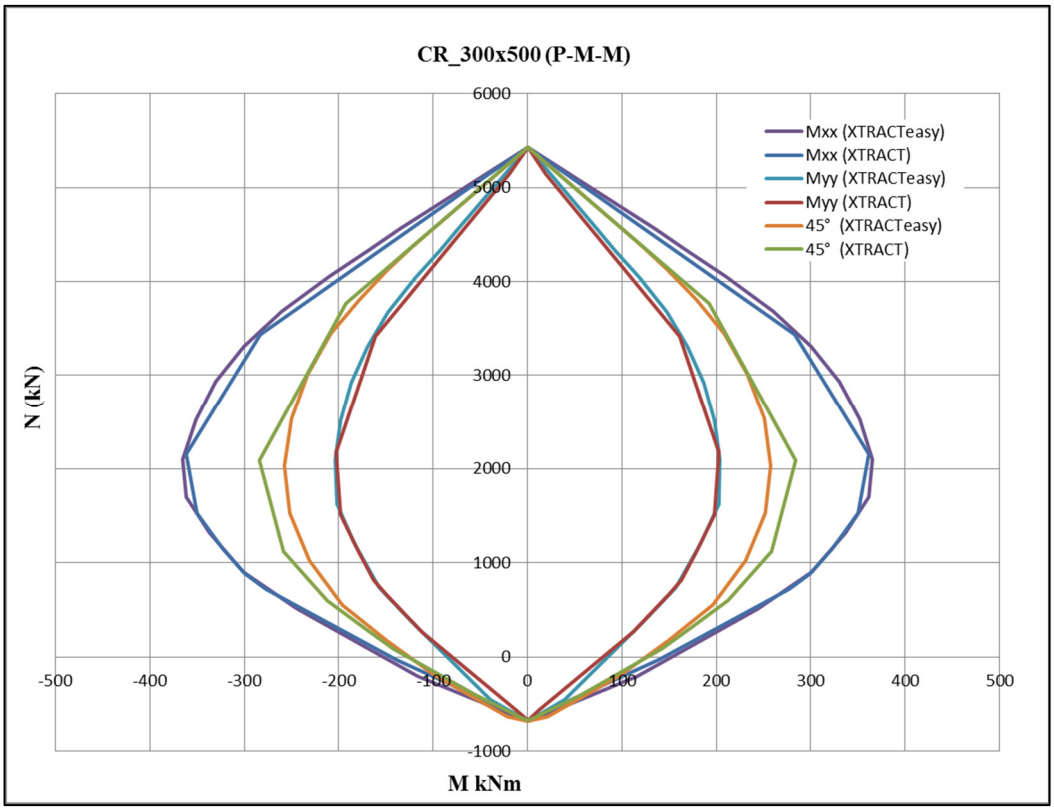
perde kesitleri için akma yüzeyi(PMM soğanı) oluşturmaya yarayan XTRACTeasy adlı bir excell proğramı oluşturulmuştur [10]. XTRACTeasy programı ile elde edilen sonuçlar XTRACT ile kıyaslanmış (Şekil 6.17 ve Şekil 6.18) ve sonuçların çok büyük mertebede benzer çıktığı belirlenmiştir. SAP2000 programıyla entegre edilmiş söz konusu excel yazılımı aynı zamanda analiz edilen kesit için 2007 deprem yönetmeliğince belirlenen performans kavramlarına bağlı olarak kesit hasar sınırlarını tayin etmekte ve SAP2000 proğramında kullanılma amacıyla plastik mafsal özelliklerini otomatik olarak tanımlamaktadır. Taşıyıcı elemanların M-φ ve PMM soğanlarını tanımlayan karşılıklı etki diyagramları oluşturulurken betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.10 olarak alınmıştır.




Şekil 6.17 : BR_300x500 kirişi için hazırlanmış M-φ eğrileri.

Taşıyıcı sistem elemanlarında, elastik ötesi davranışın gözlemlenebilmesi amacıyla, kiriş ve kolon mesnet kesitlerinde ilgili kesitlerin plastik mafsal özelliklerini ifade eden unsurlar tanımlanmıştır. Bu kapsamda, kolon ve perde kesitlerinin 0°-45°-90° yönlerinde moment etkisi altındaki karşılıklı etki diyagramları tespit edilmiştir.

Aşağıda Şekil 6.18'de CR_300x500 için hazırlanmış örnek bir PMM soğanı yer almaktadır.

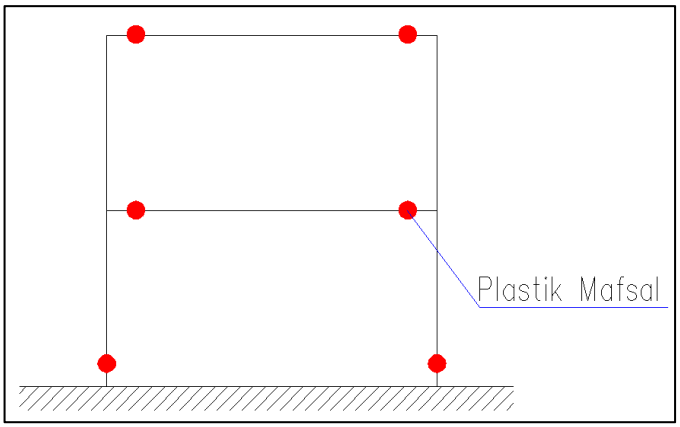



Şekil 6.18 : CR_300x500 kolonu 0°, 45° ve 90° yönleri için XTRACTeasy ve XTRACT ile hazırlanmış akma yüzey eğrileri.

## 6.4. Kesitlere Ait Plastik Mafsal Tanımlamaları

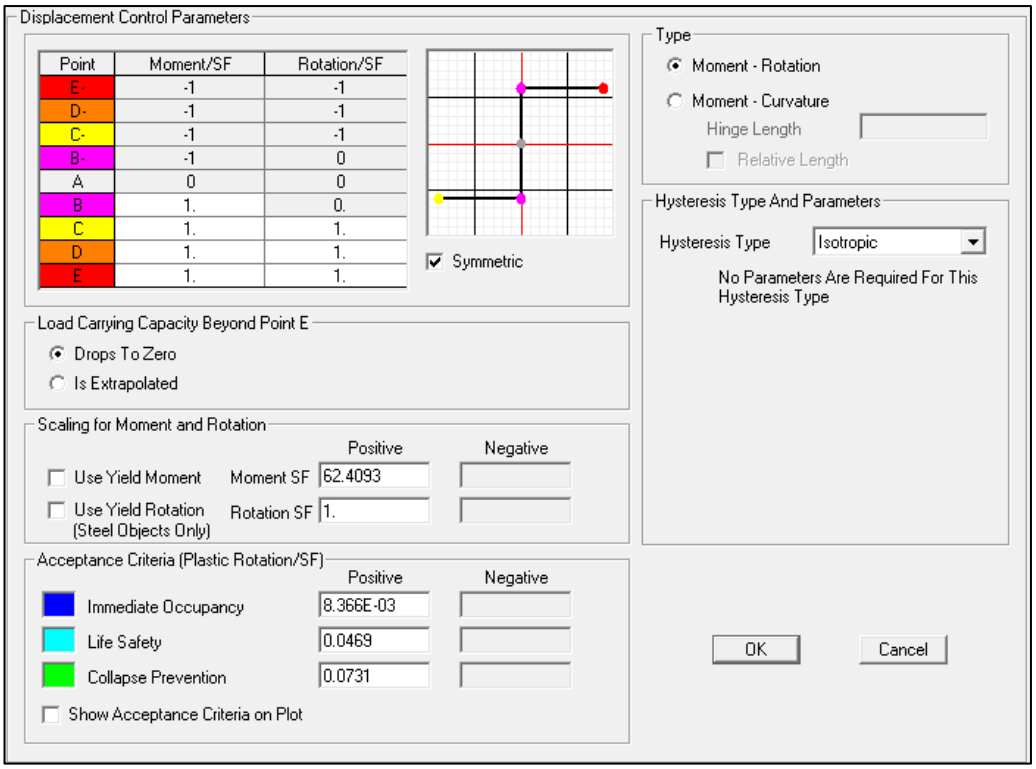
Lineer olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsal (Bölüm 4.2) adı verilen kesitlerde toplandığı varsayımı doğrusal olmayan analizlerde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı gerçekçi biçimde ele alınmış olur.

Plastik mafsal özellikleri, eleman boyutları, boyuna donatı ve sargı donatısı özellikleri kullanılarak sargılı beton davranışının dikkate alınmasıyla elde edilmiştir.

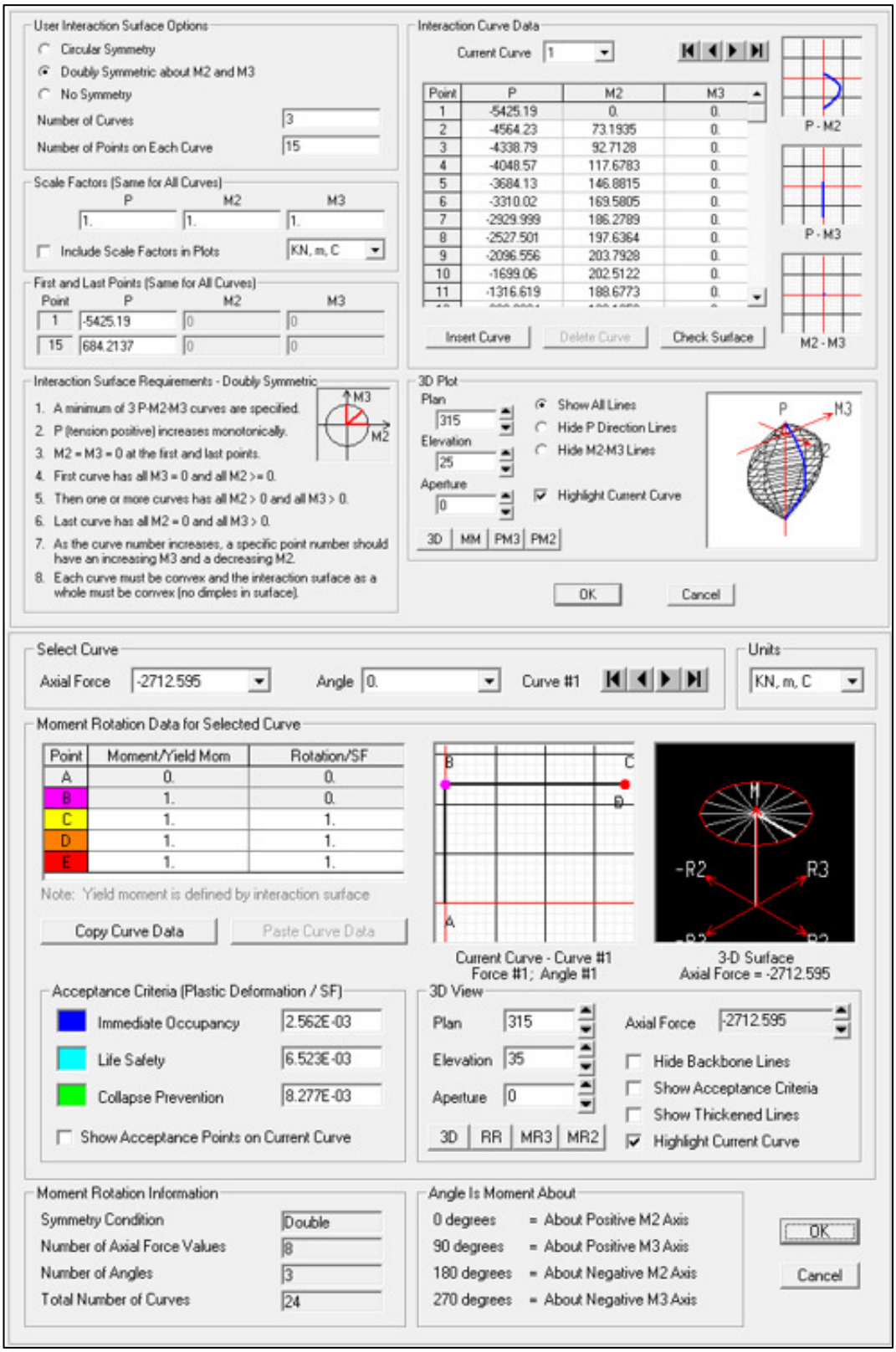



Şekil 6.19 : Plastik mafsal oluşumu.

Her bir örnek yapıya ait kapasite eğrilerini elde etme amaçlı hazırlanmış ve SAP2000 programında hazırlanan modellerdeki kesitlere aktarılmış plastik mafsal özellikleri aşağıda Şekil 6.20 ve Şekil 6.21'de verilmiştir.




Şekil 6.20 : BR_300x500 kirişi için SAP2000 de hazırlanmış plastik mafsal (M3) özellikleri.




Şekil 6.21 : CR_300x500 kolonu için SAP2000 de hazırlanmış plastik mafsal (P-M2-M3) özellikleri.

## 6.5. Yapılarda Performans Kavramı

Yapılarda performans kavramı ülkemizde DBYBHY/2007 ile birlikte kullanılmaya başlanmış olup halen daha çok mevcut yapıların güvenliğinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Ancak yeni yapılarda kullanımı da belirlenen farklı performans hedefleri ile artmaktadır.

Şiddetli bir deprem anında yapıların elastik ötesi davranış göstermesi ve kesitlerinde plastik mafsal oluşumları beklenmektedir. Kesitlerde plastik mafsal oluşumu, betonarme yapılar için betonda ve/veya çelikte elastik sınır ötesinde deformasyon ile gerçekleşmektedir. Elastik sınırın ötesindeki deformasyonlar ise kesitlerde ve dolayısı ile yapının kendisinde hasar oluşumuna işaret etmektedir. Kesit bazında oluşan hasarın mertebesine göre kesitlerin performans seviyesi, kesitlerin performans seviyelerinin yapı üzerindeki dağılımına göre ise yapının performans seviyesi belirlenmektedir. Dolayısıyla yapı performansı, belirli bir deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarın ölçüsü olarak tanımlanabilir. Performans hedefleri aşılmaması gereken bir gerilme, yük, tepe deplasmanı, göreli kat ötelenmesi veya bir hasar düzeyi türünden ifade edilebilir.

Performans noktası ise tasarım depremi etkisindeki bir yapı sisteminin talep ettiği spektral deplasman ve ivmeyi ifade eder. Bu nokta performansa dayalı analizde önemli bir noktadır. Performans noktasına karşılık gelen spektral deplasman elastik ötesi evrede yer aldığından sünek davranışla doğrudan ilgilidir. Yapının bir anlamda seçilmiş hedef deplasmanı olan spektral deplasmanı tespit edildikten sonra bu deplasmanın gerçekleştiği ana karşılık gelen diğer parametreler de bulunabilir.

# 7. ANALİZ SONUÇLARI

Bu bölümde inceleme konusu yapılara ait analiz sonuçları özetlenecektir. Yapılara ait performansın belirlenmesinde Artımsal Eşdeğer Deprem yükü ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan analiz yöntemleri kullanılacaktır. Çalışmalarda SAP2000 v16.1.1 analiz programı kullanılmıştır.

## 7.1. Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü ile İtme Analizi Sonuçları

DBYBHY 2007'de yapıların Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü ile İtme Analizi yöntemi ile değerlendirilebilmesi için aşağıda verilen koşulların sağlanması gerekmektedir.

- Yapının kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması.
- Herhangi bir katta ek dışmerkezlilik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması.
- Göz önüne alınan deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütlesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması.

Çalışmada ele alınan üç farklı yapı modeli, X ve Y olmak üzere her iki doğrultuda da statik itme analizine tabi tutulmuştur. Söz konusu üç adet sayısal örnek için hazırlanan analiz modellerine ait tepe deplasmanları yaklaşık 40cm oluncaya kadar itme analizleri sürdürülmüştür.

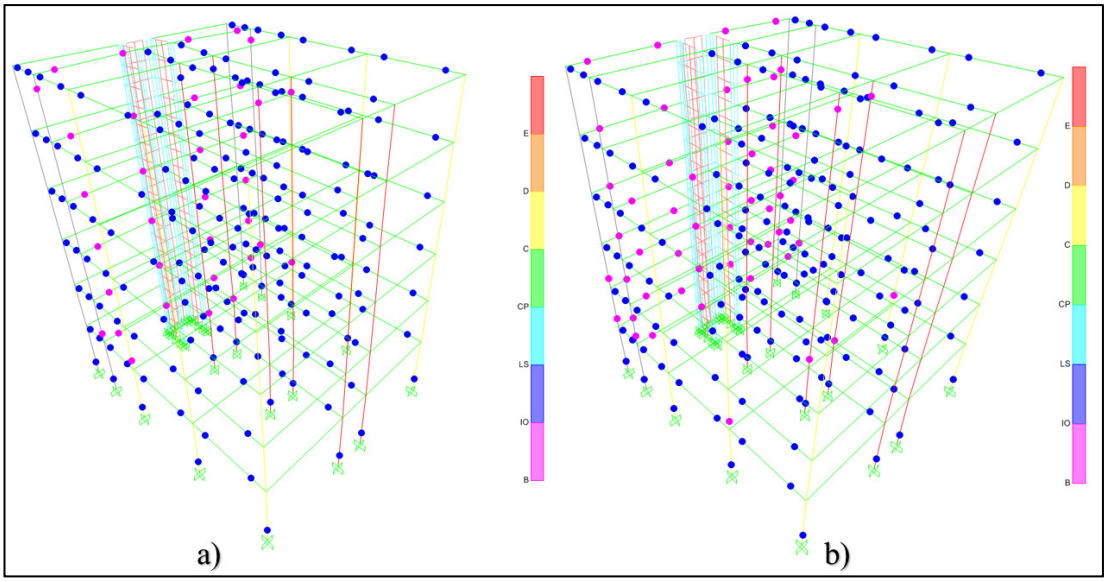
Belirlenen yapı sistemlerinin analizleri tamamlandıktan sonra her bir modelleme tekniği için kapasite eğrileri ve spektral ivme spektral deplasman ($S_a$-$S_d$) grafikleri çizilmiştir. Kapasite spektrumu yöntemi ile performans noktası tespit edilerek grafikler üzerinde gösterilmiştir.

Her bir yapı modeli için hazırlanan ve modal yer değiştirme istemlerini ifade eden ($S_a$-$S_d$) grafikleri "Ekler" kısmında verilmiştir.

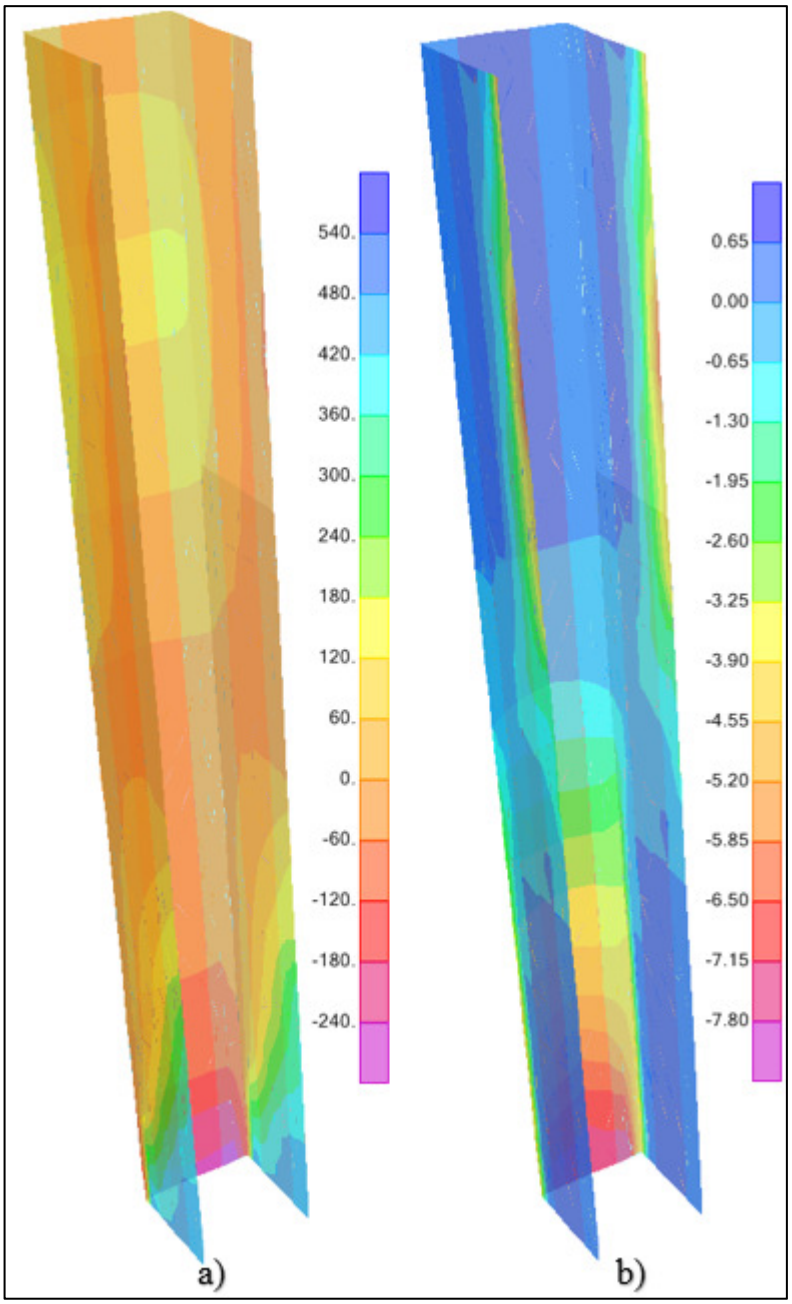
### 7.1.1. Model-1 Yapısına ait İtme Analizi Sonuçları

Model-1 örneği üzerinde gerçekleştirilen itme analizi sonucunda yapıya ait itme eğrileri (taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi) elde edilmiştir.

Yapının Y doğrultuda kütle katılım oranları %70'in üzerindedir. Yapı bu doğrultu için planda simetrik olması sebebiyle burulma düzensizliği koşulu da sağlanmaktadır. X doğrultusunda kütle katılım oranı %70 sınırının altında kaldığı için Sadece Y yönündeki itme analiz sonuçları değerlendirilecek olup, X yönü için zaman tanım alanında analiz sonuçları dikkate alınacaktır.

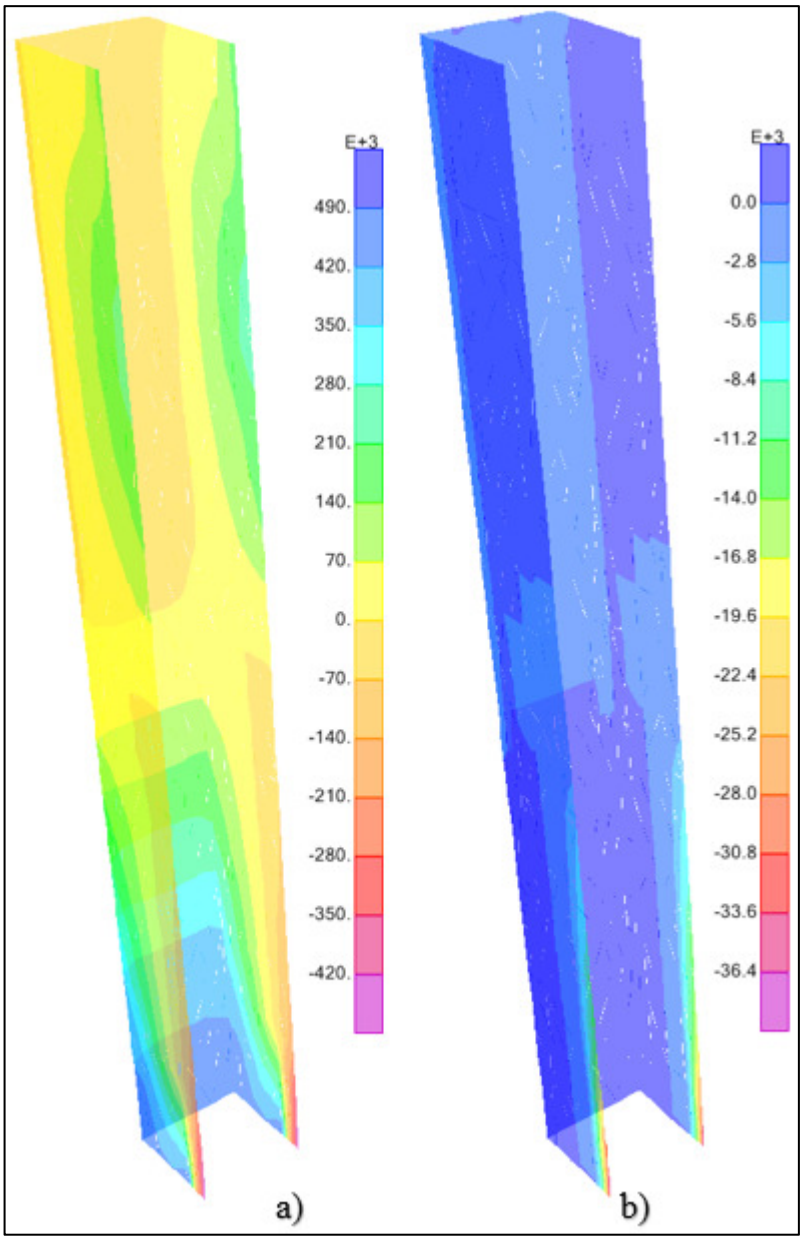



Şekil 7.1 : Model-1 yapısına ait pozitif (a) ve negatif (b) Y doğrultularında 40cm lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen mafsal oluşumları.




Şekil 7.2 : Model-1 yapısına ait pozitif Y doğrultusunda 40 cm'lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen kabuk katman gerilmeleri, a) Donatıda meydana gelen gerilme(N-mm), b) Betonda meydana gelen gerilme(N-mm).

Yukarıda Şekil 7.2'de kabuk elemanlar yöntemiyle modellenen Model-1 yapısı üzerinde, pozitif Y doğrultusunda yürütülen itme analizleri sonucunda 40 cm'lik tepe deplasmanına bağlı olarak oluşan gerilmeler verilmektedir. Solda donatıda meydana gelen gerilmeler (TopBar), sağda ise göbek betonunda (ConS) meydana gelen gerilmeler görülmektedir.




Şekil 7.3 : Model-1 yapısına ait negatif Y doğrultusunda 40 cm'lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen kabuk katman gerilmeleri, a) Donatıda meydana gelen gerilme (N-mm), b) Betonda meydana gelen gerilme (N-mm).

Şekil 7.3'de ise aynı model üzerinde negatif Y doğrultusunda 40 cm'lik tepe deplasmanına bağlı olarak oluşan gerilmeler verilmektedir. Solda donatıda meydana gelen gerilmeler (TopBar), sağda ise göbek betonunda (ConS) meydana gelen gerilmeler görülmektedir. Farklı modelleme teknikleriyle hazırlanmış Model-1 yapısına ait taban kesme kuvveti ve tepe deplasman ilişkisini belirten itme eğrileri ile yapılara ait performans verilerini içeren tablolar her bir modelleme tipi için ayrı ayrı olmak üzere aşağıda verilmiştir.

Tablo 7.1: Model-1 üzerinde yapılan itme analizi sonuçları.

| Modelleme Tekniği | Yön | Modal Dep. (m) | Period (s) | Participating Mass Ratios | Participation Factors (Γ) | Modal Deplasman $S_{di}$ (mm) | | Gerçek Deplasman (mm) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | + Yön | - Yön | + Yön | Benzer davranış | - Yön | Benzer davranış |
| Kabuk | Y | 0.0741 | 0.369 | 77% | 18.559 | 48.5 | 52.7 | 66.7 | - | 72.5 | - |
| Orta Kolon (D25) | Y | 0.0734 | 0.413 | 79% | 18.613 | 55.6 | 54.8 | 75.9 | 114% | 74.9 | 103% |
| Orta Kolon (D50) | Y | 0.0729 | 0.389 | 79% | 18.676 | 49.2 | 50.2 | 66.9 | 100% | 68.3 | 94% |
| Orta Kolon (D75) | Y | 0.0731 | 0.369 | 79% | 18.679 | 45.1 | 47.6 | 61.6 | 92% | 65.0 | 90% |
| Orta Kolon (D100) | Y | 0.0735 | 0.361 | 79% | 18.649 | 43.6 | 46.7 | 59.7 | 90% | 64.0 | 88% |
| Orta Kolon (D125) | Y | 0.0738 | 0.357 | 79% | 18.623 | 43.0 | 46.2 | 59.0 | 89% | 63.5 | 88% |
| Orta Kolon (D150) | Y | 0.0739 | 0.355 | 79% | 18.607 | 42.7 | 46.1 | 58.7 | 88% | 63.4 | 87% |
| Orta Kolon (D175) | Y | 0.0740 | 0.354 | 79% | 18.596 | 42.6 | 46.1 | 58.6 | 88% | 63.5 | 88% |
| Orta Kolon (D200) | Y | 0.0741 | 0.354 | 79% | 18.590 | 42.5 | 46.0 | 58.5 | 88% | 63.4 | 87% |
| Çubuk Eleman (D25) | Y | 0.0759 | 0.392 | 77% | 18.302 | 52.9 | 50.7 | 73.5 | 110% | 70.4 | 97% |
| Çubuk Eleman (D50) | Y | 0.0754 | 0.382 | 77% | 18.348 | 48.3 | 50.3 | 66.8 | 100% | 69.6 | 96% |
| Çubuk Eleman (D75) | Y | 0.0749 | 0.368 | 78% | 18.402 | 45.0 | 49.6 | 62.0 | 93% | 68.4 | 94% |
| Çubuk Eleman (D100) | Y | 0.0746 | 0.362 | 78% | 18.425 | 43.4 | 49.1 | 59.6 | 89% | 67.5 | 93% |
| Çubuk Eleman (D125) | Y | 0.0746 | 0.359 | 78% | 18.434 | 42.7 | 48.8 | 58.7 | 88% | 67.2 | 93% |
| Çubuk Eleman (D150) | Y | 0.0745 | 0.358 | 78% | 18.437 | 42.5 | 48.8 | 58.3 | 87% | 67.0 | 92% |
| Çubuk Eleman (D175) | Y | 0.0745 | 0.357 | 78% | 18.438 | 42.4 | 48.7 | 58.2 | 87% | 67.0 | 92% |
| Çubuk Eleman (D200) | Y | 0.0745 | 0.357 | 78% | 18.439 | 42.3 | 48.7 | 58.1 | 87% | 66.9 | 92% |

Yukarıda Tablo 7.1'den de anlaşıldığı üzere Model-1 yapısı için hazırlanan ve toplamda 17 adet modelleme tekniği kullanılarak itme analizleri yürütülmüştür.

Kabuk elemanlarla hazırlanmış referans model esas alındığında sonuçlardan çıkarılan şudur ki;

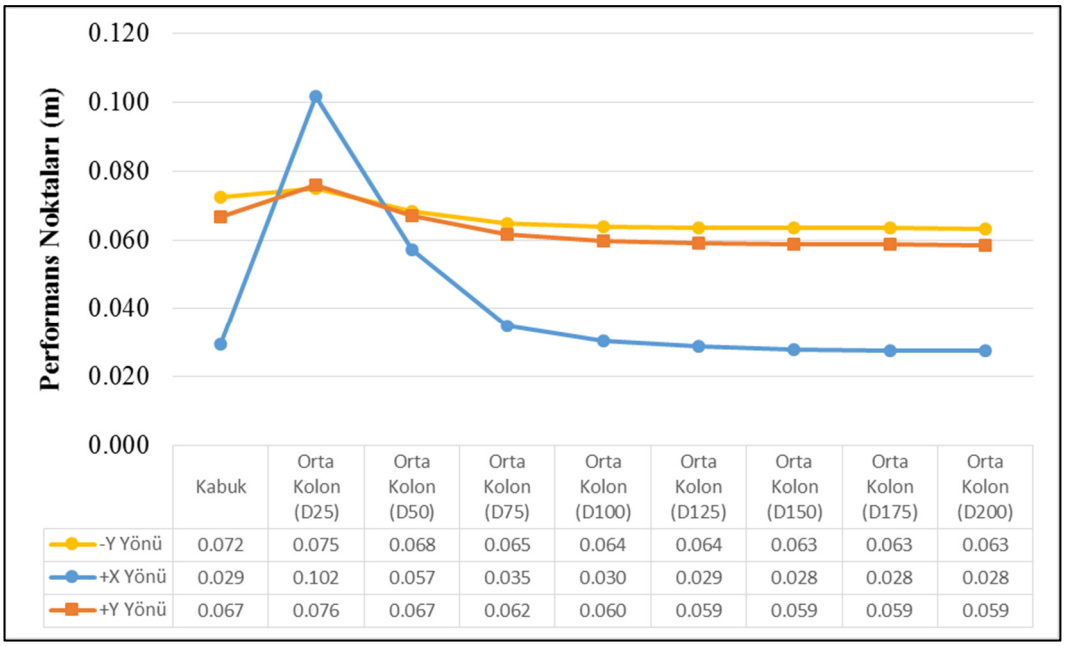
U-perdeyi temsil maksatlı olarak orta-kolon modeli kullanıldığında pozitif ve negatif Y doğrultusu için benzerlik farkı %10'un üzerine çıkmamak kaydıyla, 50 cm'lik fiktif kiriş çapı tercih edilmesinin uygun olacağı görülmektedir.

Çubuk eleman ile modelleme tekniği kullanılması durumunda ise 50 cm ve 75 cm çapında fiktif kiriş kullanımı yeterli benzerlik oranını sağlamaktadır.

X doğrultusunda her ne kadar kütle katılım oranları yönetmelik şartlarını sağlamıyor olsa da X doğrultusundaki itme eğrilerinin bazı fikirler verebileceği maksadıyla tez kapsamında paylaşma gereği duyulmaktadır. Söz konusu eğrilerden çıkarılan bazı fikirler şunlardır;

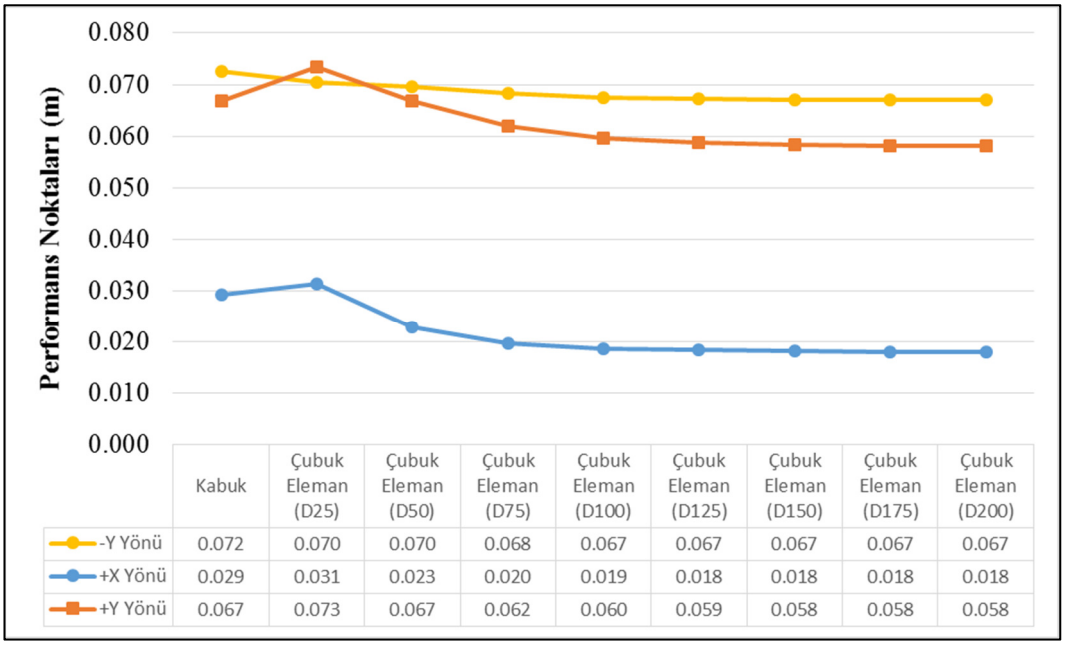
U-perdeyi temsil maksatlı olarak orta-kolon modeli kullanıldığında pozitif ve negatif X doğrultusu için benzerlik farkı %10'un üzerine çıkmamak kaydıyla, 100 cm ile 200 cm çapları arasında fiktif kiriş tercih edilmesinin sistemin akmaya başladığı noktalara kadar tutarlı davranış gösterdiği görülmektedir.

Fiktif kiriş çaplarının bu yönde büyük olmasının sebebi, sistemin burulma altındaki davranışa yakınlaşma istemiyle ilişkilendirilebilir.




| | Kabuk | Orta Kolon (D25) | Orta Kolon (D50) | Orta Kolon (D75) | Orta Kolon (D100) | Orta Kolon (D125) | Orta Kolon (D150) | Orta Kolon (D175) | Orta Kolon (D200) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -Y Yönü | 0.072 | 0.075 | 0.068 | 0.065 | 0.064 | 0.064 | 0.063 | 0.063 | 0.063 |
| +X Yönü | 0.029 | 0.102 | 0.057 | 0.035 | 0.030 | 0.029 | 0.028 | 0.028 | 0.028 |
| +Y Yönü | 0.067 | 0.076 | 0.067 | 0.062 | 0.060 | 0.059 | 0.059 | 0.059 | 0.059 |

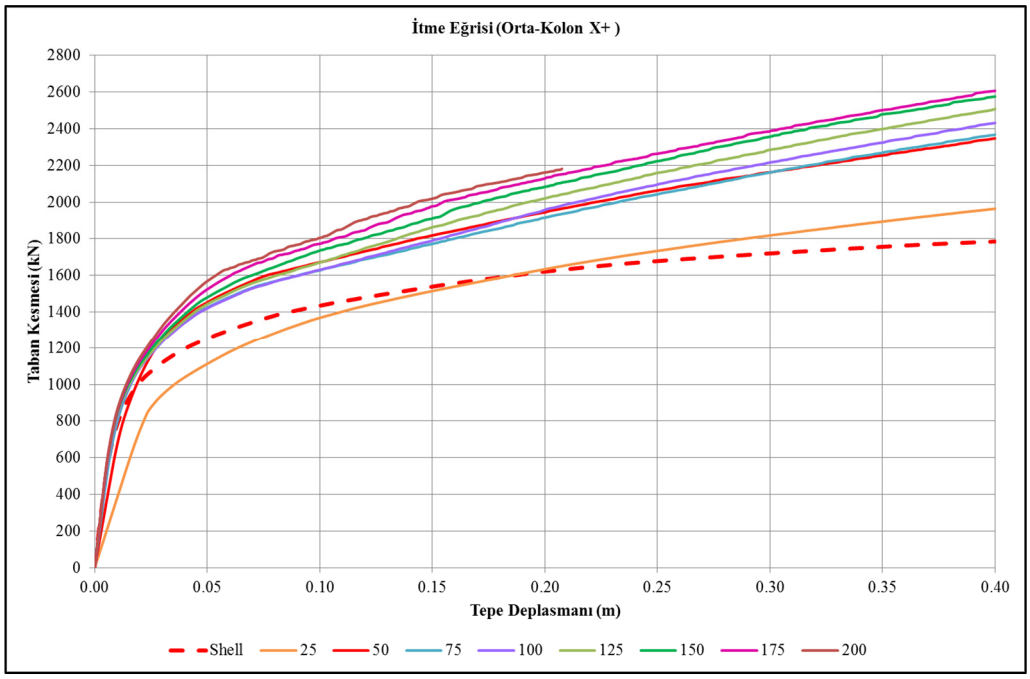
Şekil 7.4 : Model-1‘e ait orta-kolon modelleri ve performans noktaları.



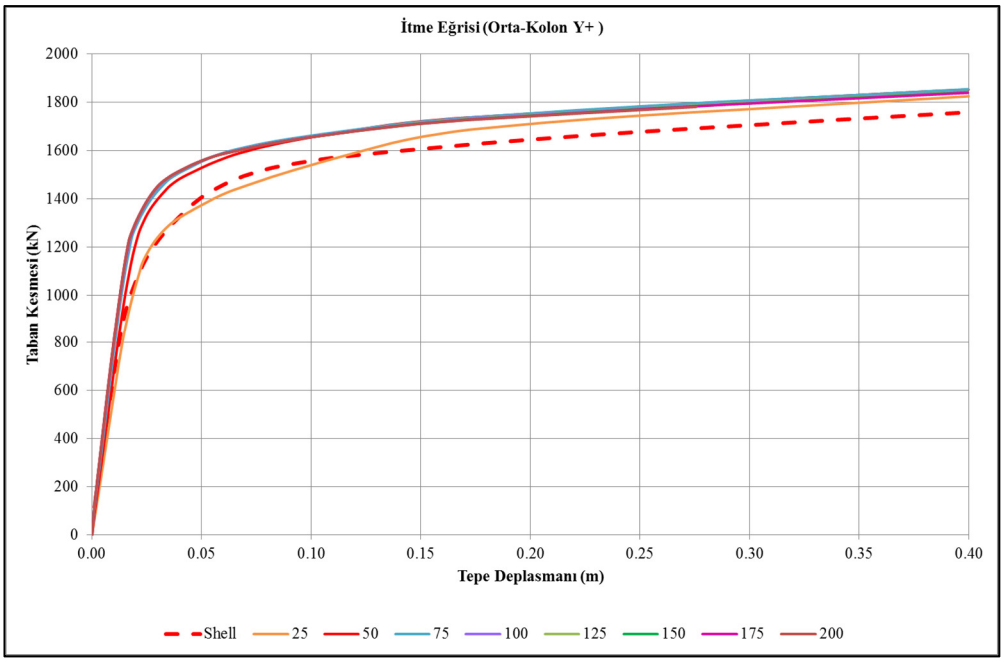

| | Kabuk | Çubuk Eleman (D25) | Çubuk Eleman (D50) | Çubuk Eleman (D75) | Çubuk Eleman (D100) | Çubuk Eleman (D125) | Çubuk Eleman (D150) | Çubuk Eleman (D175) | Çubuk Eleman (D200) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -Y Yönü | 0.072 | 0.070 | 0.070 | 0.068 | 0.067 | 0.067 | 0.067 | 0.067 | 0.067 |
| +X Yönü | 0.029 | 0.031 | 0.023 | 0.020 | 0.019 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 |
| +Y Yönü | 0.067 | 0.073 | 0.067 | 0.062 | 0.060 | 0.059 | 0.058 | 0.058 | 0.058 |

Şekil 7.5 : Model-1‘e ait çubuk eleman modelleri ve performans noktaları.

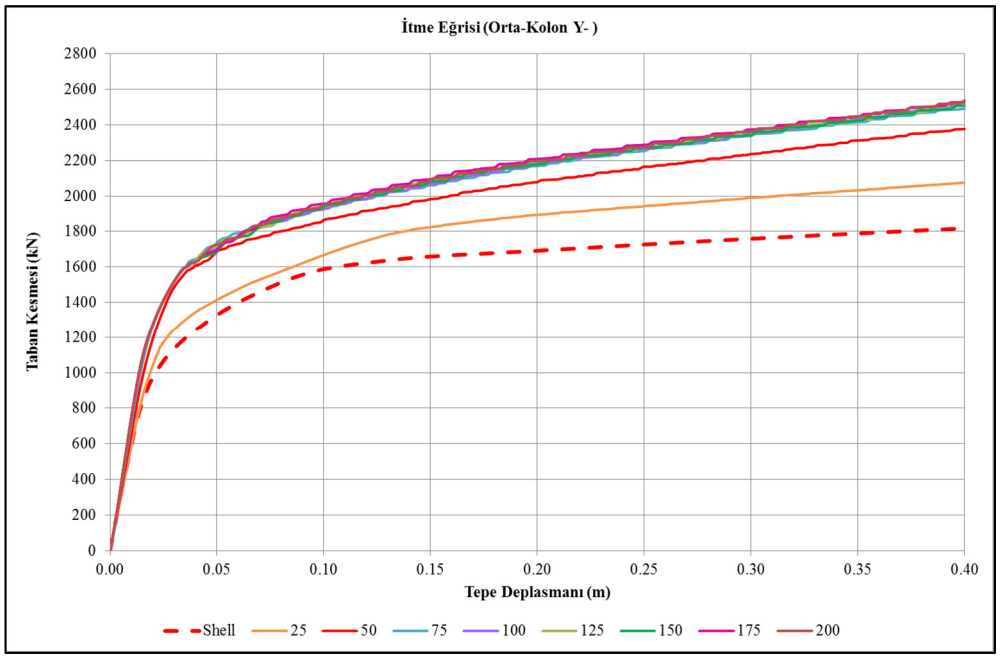
Aşağıda Model-1 üzerinde söz konusu modelleme teknikleri kullanılarak yapılan itme analizlerine ait itme eğrileri görülmektedir.



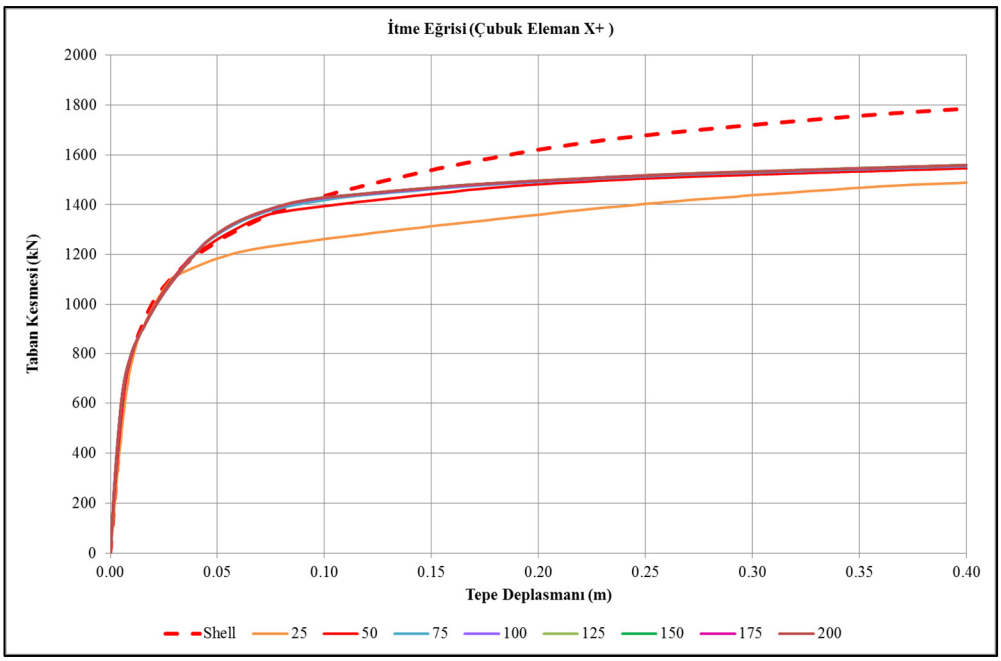

Şekil 7.6 : “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-1 yapısına ait pozitif X yönü itme eğrisi.



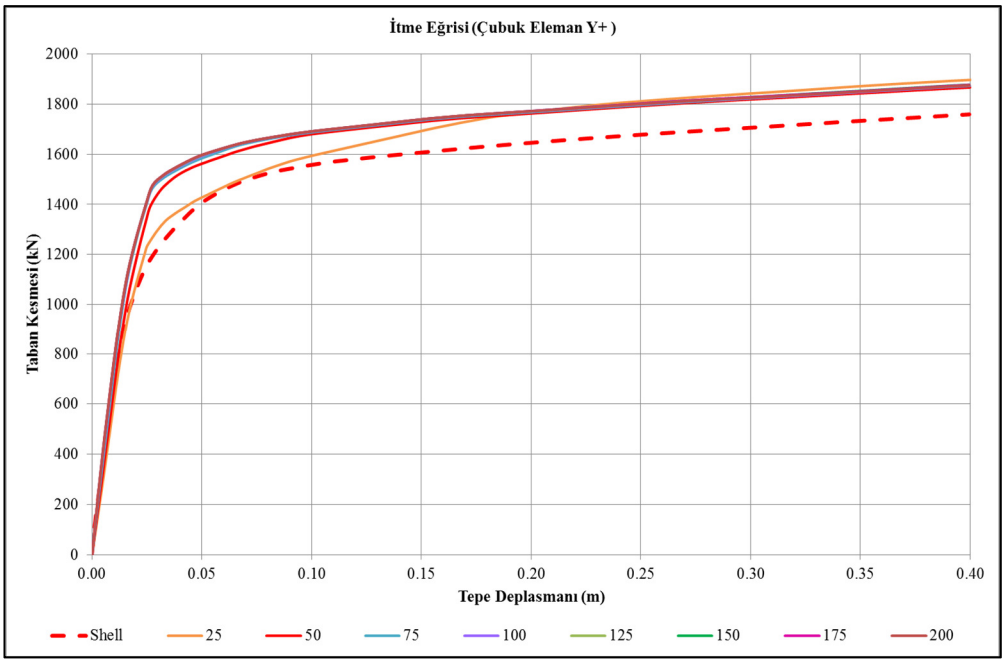

Şekil 7.7 : “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-1 yapısına ait pozitif Y yönü itme eğrisi.



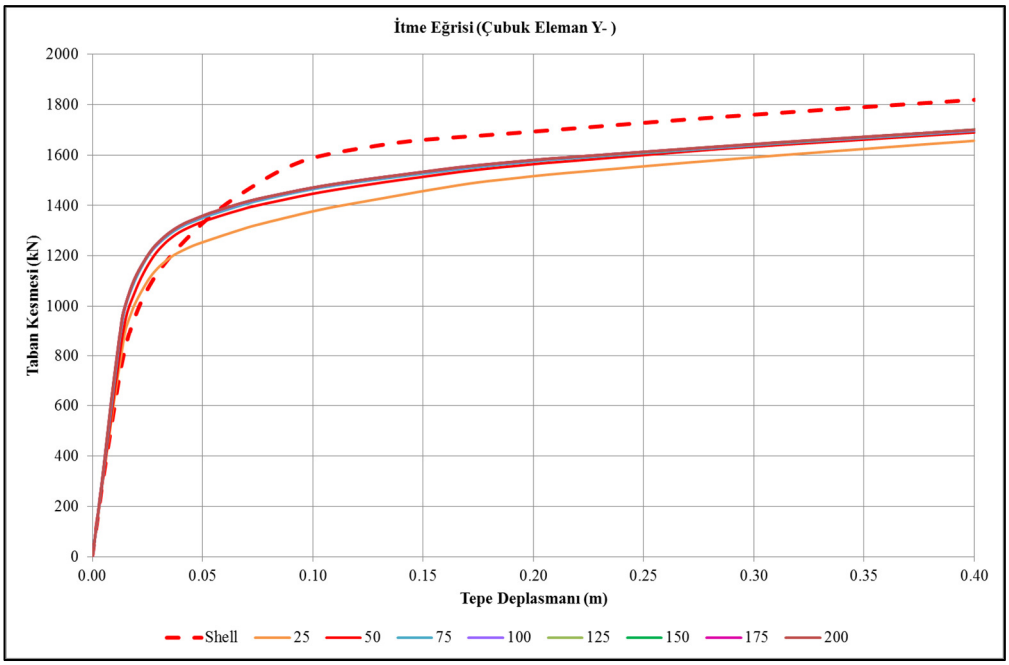

Şekil 7.8 : “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-1 yapısına ait negatif Y yönü itme eğrisi.




Şekil 7.9 : “Çubuk Eleman” tekniğiyle hazırlanmış Model-1 yapısına ait pozitif X yönü itme eğrisi.



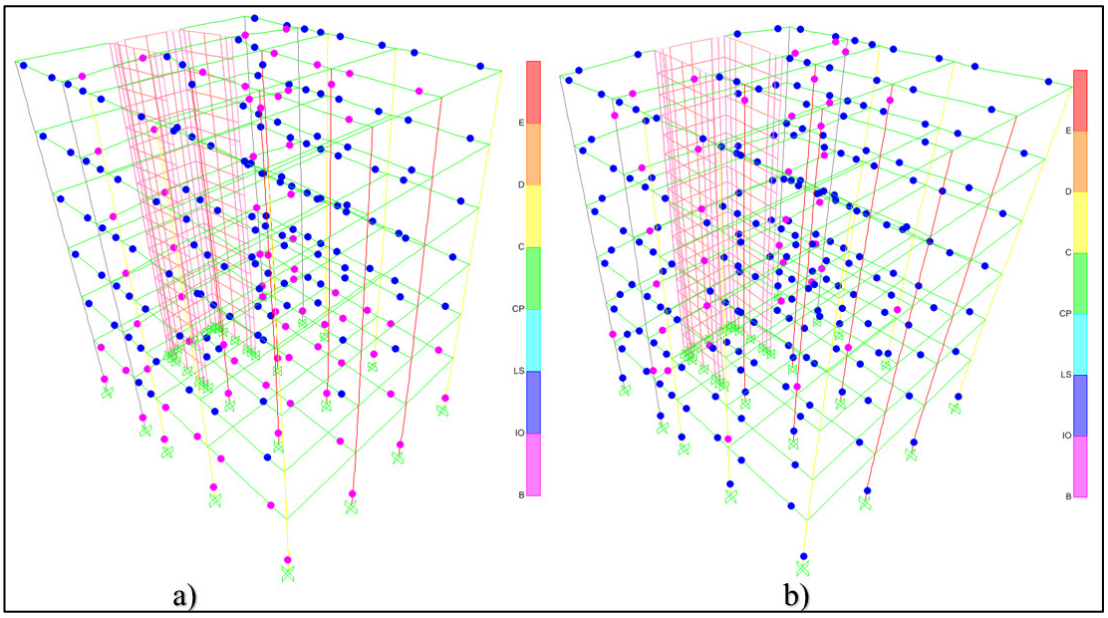

Şekil 7.10 : "Çubuk Eleman" tekniğiyle hazırlanmış Model-1 yapısına ait pozitif Y yönü itme eğrisi.



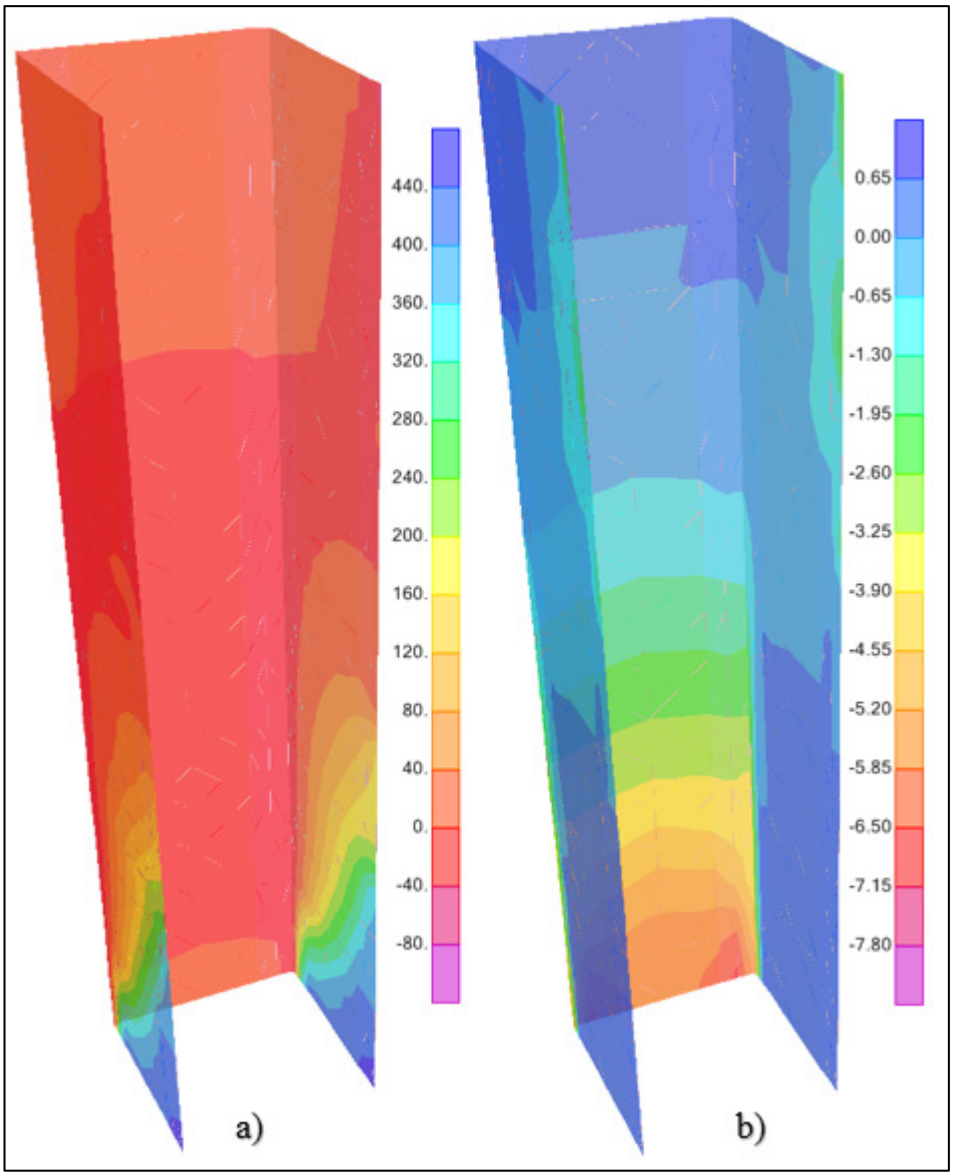

Şekil 7.11 : "Çubuk Eleman" tekniğiyle hazırlanmış Model-1 yapısına ait negatif Y yönü itme eğrisi.

### 7.1.2. Model-2 Yapısına ait İtme Analizi Sonuçları

Model-2 yapısı üzerinde gerçekleştirilen itme analizi sonucunda yapıya ait itme eğrileri (taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi) elde edilmiştir. Tablo 7.2'de görüldüğü üzere, yapının Y doğrultuda kütle katılım oranları %70'in üzerinde olup diğer doğrultu için ise bu şart sağlanmamaktadır. X doğrultusunda Zaman tanım analizleri sonucunda elde edilen veriler değerlendirilecektir.

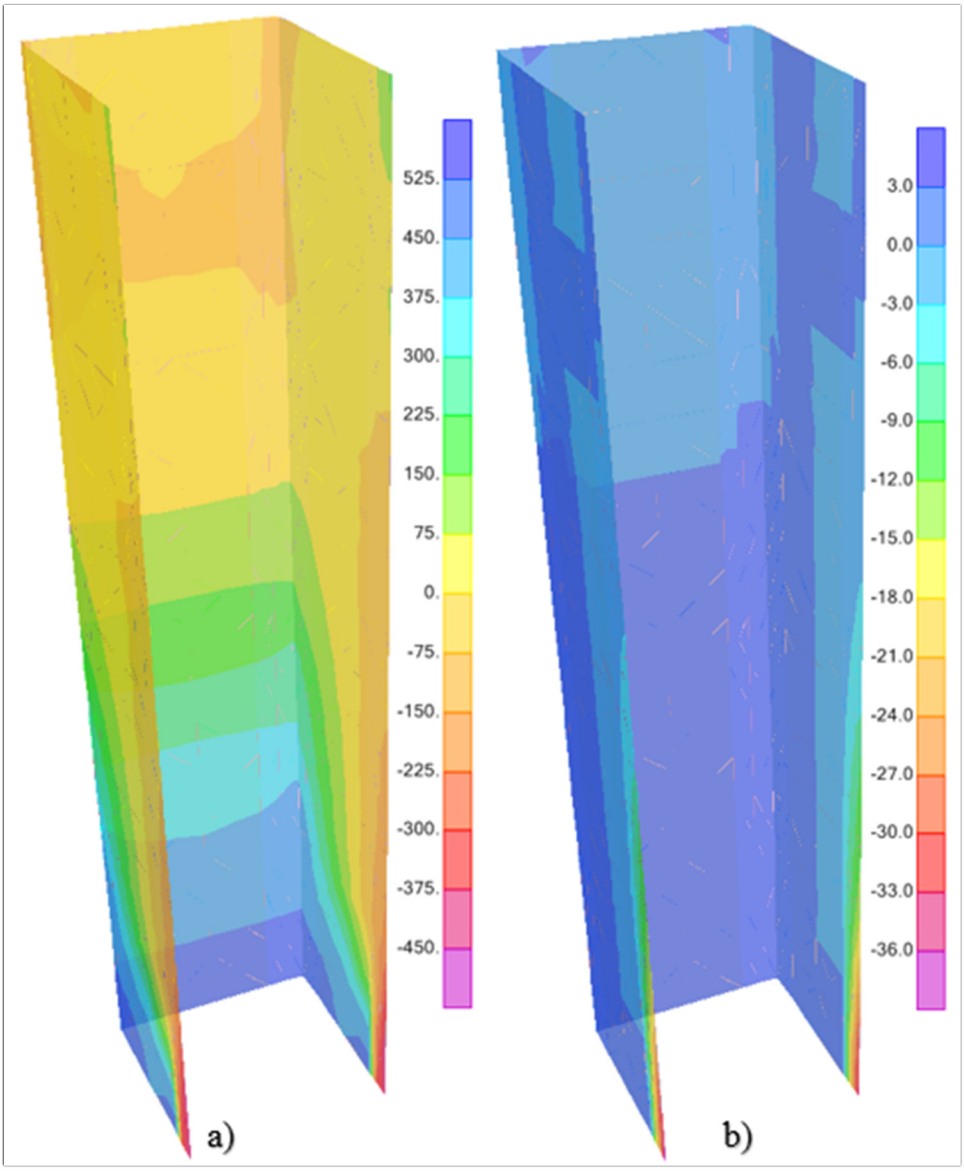



Şekil 7.12 : Model-2 yapısına ait, a) pozitif ve b) negatif Y doğrultularında 40cm lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen mafsal oluşumları.




Şekil 7.13 : Model-2 yapısına ait pozitif Y doğrultusunda 40 cm'lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen kabuk katman gerilmeleri, a) Donatıda meydana gelen gerilme (N-mm), b) Betonda meydana gelen gerilme (N-mm).

Yukarıda Şekil 7.13'de kabuk elemanlar yöntemiyle modellenen Model-1 yapısı üzerinde, pozitif Y doğrultusunda yürütülen itme analizleri sonucunda 40 cm'lik tepe deplasmanına bağlı olarak oluşan gerilmeler verilmektedir. Solda donatıda meydana gelen gerilmeler (TopBar), sağ da ise göbek betonunda (ConS) meydana gelen gerilmeler görülmektedir.




Şekil 7.14 : Model-2 yapısına ait negatif Y doğrultusunda 40 cm'lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen kabuk katman gerilmeleri, a) Donatıda meydana gelen gerilme (N-mm), b) Betonda meydana gelen gerilme (N-mm).

Şekil 7.14'de ise aynı model üzerinde negatif Y doğrultusunda 40 cm'lik tepe deplasmanına bağlı olarak oluşan gerilmeler verilmektedir. Solda donatıda meydana gelen gerilmeler (TopBar), sağ da ise göbek betonunda (ConS) meydana gelen gerilmeler görülmektedir.

Tablo 7.2: Model-2 üzerinde yapılan itme analizi sonuçları.

| Modelleme Tekniği | Yön | Modal Dep. (m) | Period (s) | Participating Mass Ratios | Participation Factors (Γ) | Modal Deplasman $S_{di}$ (mm) | | Gerçek Deplasman (mm) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | + Yön | - Yön | + Yön | Benzer davranış | - Yön | Benzer davranış |
| **Kabuk** | Y | 0.0755 | 0.244 | 72% | 18.946 | 29.0 | 34.7 | 41.5 | - | 49.7 | - |
| **Orta Kolon (D25)** | Y | 0.0767 | 0.303 | 73% | 18.831 | 34.5 | 33.9 | 49.8 | 120% | 48.9 | 98% |
| **Orta Kolon (D50)** | Y | 0.0760 | 0.289 | 73% | 18.914 | 30.6 | 30.5 | 44.0 | 106% | 43.8 | 88% |
| **Orta Kolon (D75)** | Y | 0.0749 | 0.266 | 74% | 19.044 | 25.4 | 24.1 | 36.2 | 87% | 34.3 | 69% |
| **Orta Kolon (D100)** | Y | 0.0742 | 0.250 | 75% | 19.121 | 23.1 | 21.5 | 32.8 | 79% | 30.5 | 61% |
| **Orta Kolon (D125)** | Y | 0.0741 | 0.241 | 75% | 19.136 | 21.8 | 20.6 | 30.9 | 74% | 29.3 | 59% |
| **Orta Kolon (D150)** | Y | 0.0742 | 0.235 | 75% | 19.122 | 21.1 | 20.3 | 29.9 | 72% | 28.9 | 58% |
| **Orta Kolon (D175)** | Y | 0.0744 | 0.232 | 75% | 19.100 | 20.7 | 20.1 | 29.4 | 71% | 28.5 | 57% |
| **Orta Kolon (D200)** | Y | 0.0746 | 0.230 | 75% | 19.079 | 20.5 | 19.6 | 29.1 | 70% | 27.9 | 56% |
| **Çubuk Eleman (D25)** | Y | 0.0777 | 0.259 | 72% | 18.668 | 26.4 | 28.0 | 38.3 | 92% | 40.6 | 82% |
| **Çubuk Eleman (D50)** | Y | 0.0776 | 0.255 | 72% | 18.695 | 24.4 | 27.8 | 35.3 | 85% | 40.4 | 81% |
| **Çubuk Eleman (D75)** | Y | 0.0772 | 0.249 | 73% | 18.740 | 21.9 | 27.1 | 31.6 | 76% | 39.2 | 79% |
| **Çubuk Eleman (D100)** | Y | 0.0767 | 0.241 | 73% | 18.789 | 19.8 | 26.0 | 28.6 | 69% | 37.6 | 76% |
| **Çubuk Eleman (D125)** | Y | 0.0764 | 0.235 | 73% | 18.818 | 19.1 | 25.6 | 27.3 | 66% | 36.6 | 74% |
| **Çubuk Eleman (D150)** | Y | 0.0762 | 0.232 | 73% | 18.833 | 18.5 | 25.3 | 26.5 | 64% | 36.2 | 73% |
| **Çubuk Eleman (D175)** | Y | 0.0761 | 0.231 | 74% | 18.839 | 18.7 | 25.5 | 26.7 | 64% | 36.5 | 73% |
| **Çubuk Eleman (D200)** | Y | 0.0760 | 0.230 | 74% | 18.842 | 18.5 | 25.4 | 26.6 | 64% | 36.4 | 73% |

Yukarıda Tablo 7.2'den de anlaşıldığı üzere Model-2 yapısı için hazırlanan ve toplamda 17 adet modelleme tekniği kullanılarak itme analizleri yürütülmüştür.

Kabuk elemanlarla hazırlanmış referans model esas alındığında sonuçlardan çıkarılan şudur ki;

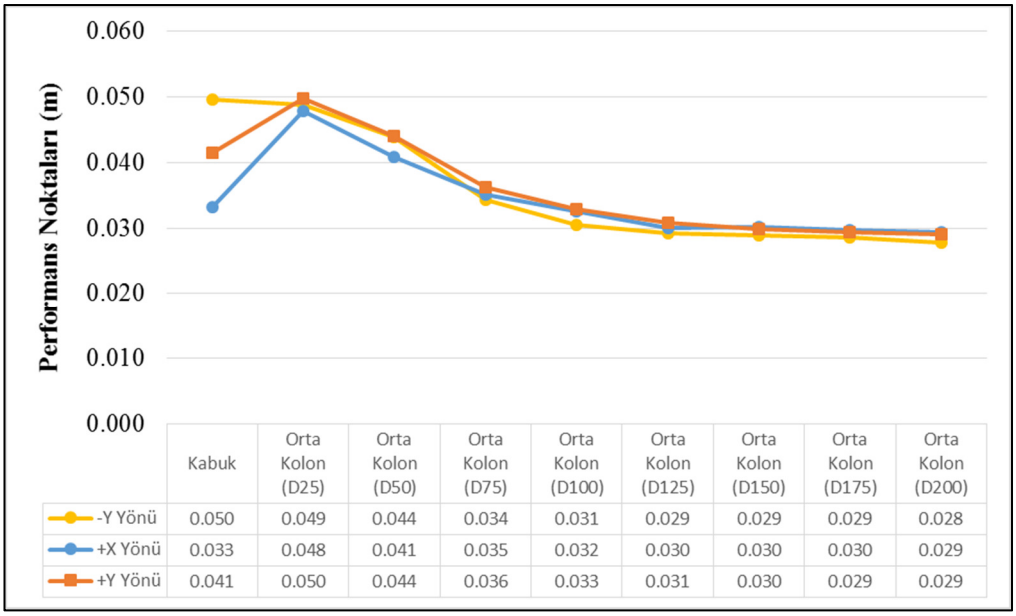
U-perdeyi temsil maksatlı olarak orta-kolon modeli kullanıldığında pozitif Y doğrultusu için benzerlik farkı %10'un üzerine çıkmamak kaydıyla, 50 cm'lik, negatif yön için ise 25 cm'lik fiktif kiriş çapı tercih edilmesinin uygun olacağı görülmektedir. Diğer taraftan 25 cm ve 50 cm arasında bir fiktif kiriş seçiminin her iki doğrultuda olumlu sonuç verebileceği öngörülebilir sonuçlar arasında yer almaktadır.

Çubuk eleman ile modelleme tekniği kullanılması durumunda ise pozitif Y yönünde 25 cm çapında fiktif kiriş kullanımı yeterli benzerlik oranını sağlamaktadır.

X doğrultusunda her ne kadar kütle katılım oranları yönetmelik şartlarını sağlamıyor olsa da X doğrultusundaki itme eğrilerinin bazı fikirler verebileceği maksadıyla tez kapsamında paylaşma gereği duyulmaktadır. Söz konusu eğrilerden çıkarılan bazı fikirler şunlardır;

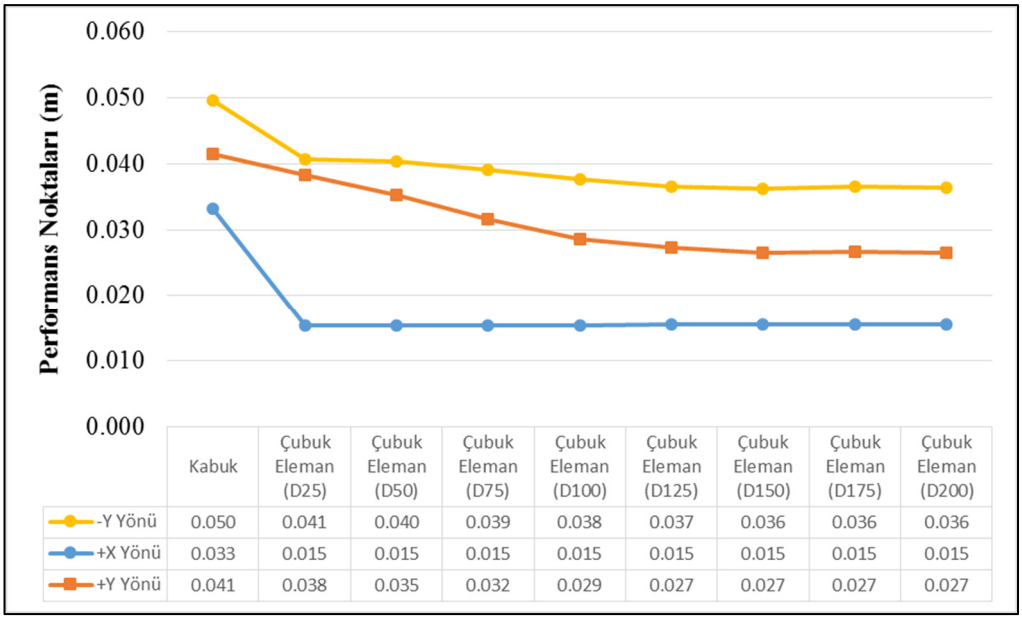
U-perdeyi temsil maksatlı olarak orta-kolon modeli kullanıldığında pozitif ve negatif X doğrultusu için benzerlik farkı %10'un üzerine çıkmamak kaydıyla, 75 cm ile 150 cm çapları arasında fiktif kiriş tercih edilmesinin sistemin akmaya başladığı

noktalara kadar tutarlı davranış gösterdiği görülmektedir. Sistemin akma noktasından daha sonralarında ise durum 25 cm'lik fiktif kiriş seçiminin makul olduğunu göstermektedir.




| | Kabuk | Orta Kolon (D25) | Orta Kolon (D50) | Orta Kolon (D75) | Orta Kolon (D100) | Orta Kolon (D125) | Orta Kolon (D150) | Orta Kolon (D175) | Orta Kolon (D200) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -Y Yönü | 0.050 | 0.049 | 0.044 | 0.034 | 0.031 | 0.029 | 0.029 | 0.029 | 0.028 |
| +X Yönü | 0.033 | 0.048 | 0.041 | 0.035 | 0.032 | 0.030 | 0.030 | 0.030 | 0.029 |
| +Y Yönü | 0.041 | 0.050 | 0.044 | 0.036 | 0.033 | 0.031 | 0.030 | 0.029 | 0.029 |

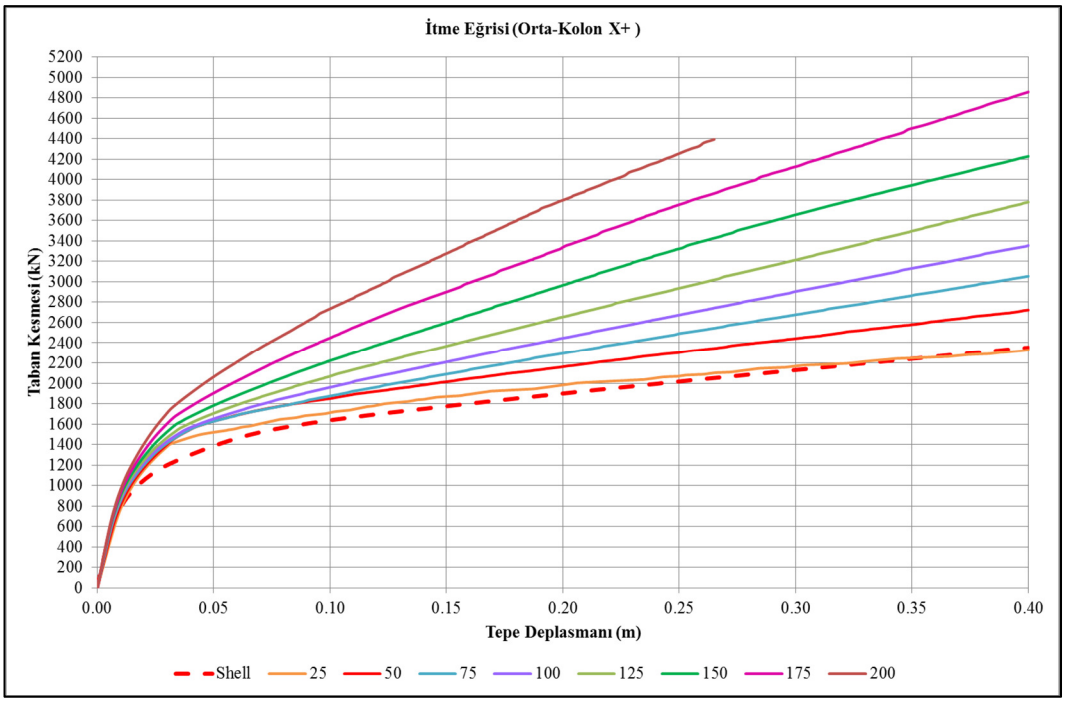
Şekil 7.15 : Model-2'ye ait orta-kolon modelleri ve performans noktaları.



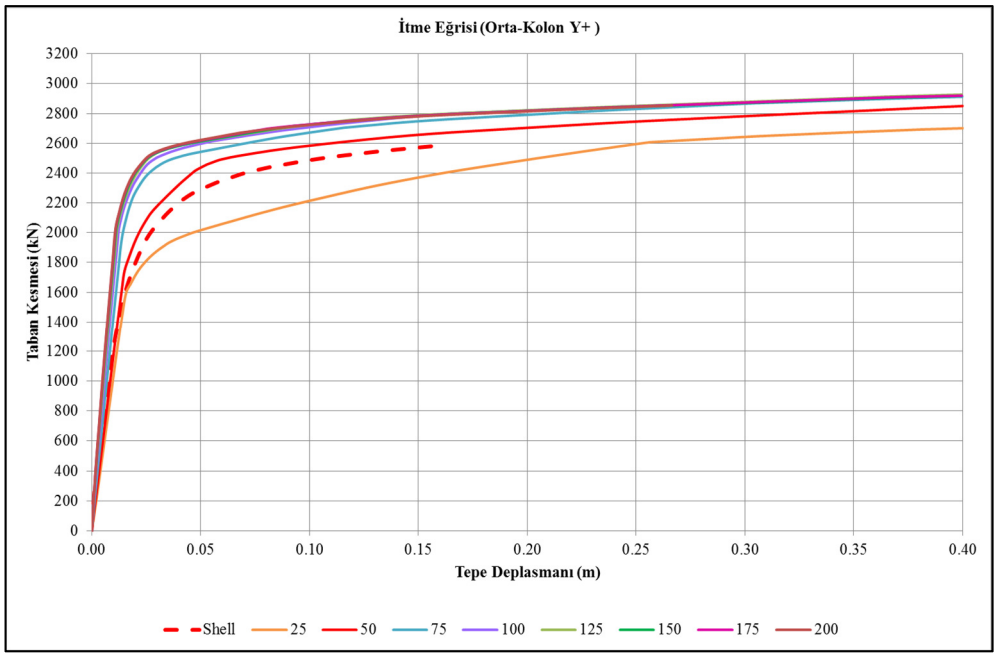

| | Kabuk | Çubuk Eleman (D25) | Çubuk Eleman (D50) | Çubuk Eleman (D75) | Çubuk Eleman (D100) | Çubuk Eleman (D125) | Çubuk Eleman (D150) | Çubuk Eleman (D175) | Çubuk Eleman (D200) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -Y Yönü | 0.050 | 0.041 | 0.040 | 0.039 | 0.038 | 0.037 | 0.036 | 0.036 | 0.036 |
| +X Yönü | 0.033 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 |
| +Y Yönü | 0.041 | 0.038 | 0.035 | 0.032 | 0.029 | 0.027 | 0.027 | 0.027 | 0.027 |

Şekil 7.16 : Model-2'ye ait çubuk eleman modelleri ve performans noktaları
Farklı modelleme teknikleriyle hazırlanmış Model-2 yapısına ait taban kesme.

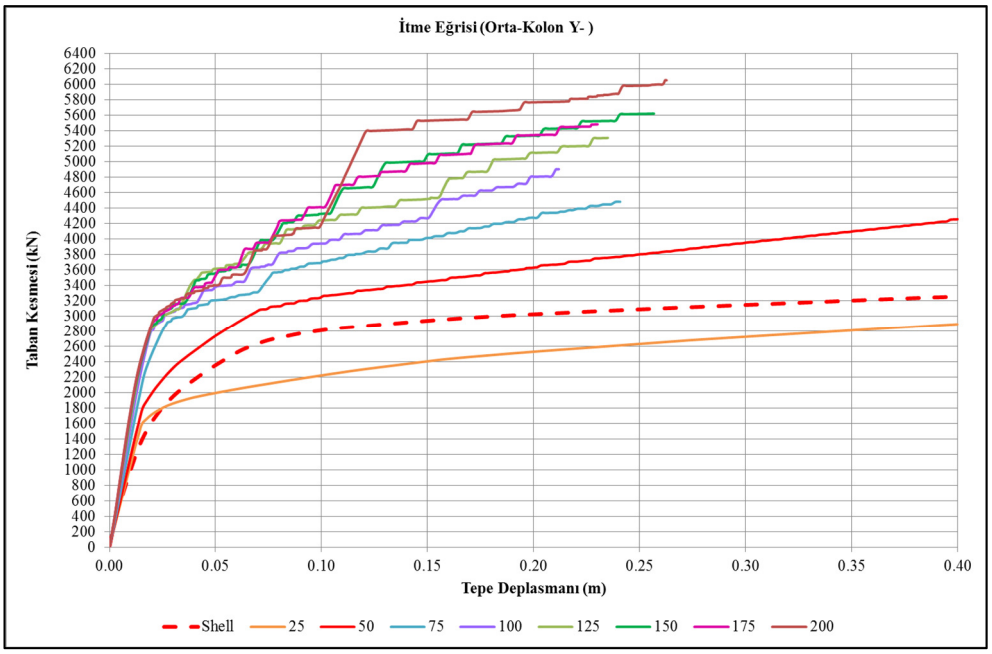
Kuvvet ve tepe deplasman ilişkisini belirten itme eğrileri her bir modelleme tipi için ayrı ayrı olmak üzere aşağıda verilmiştir.



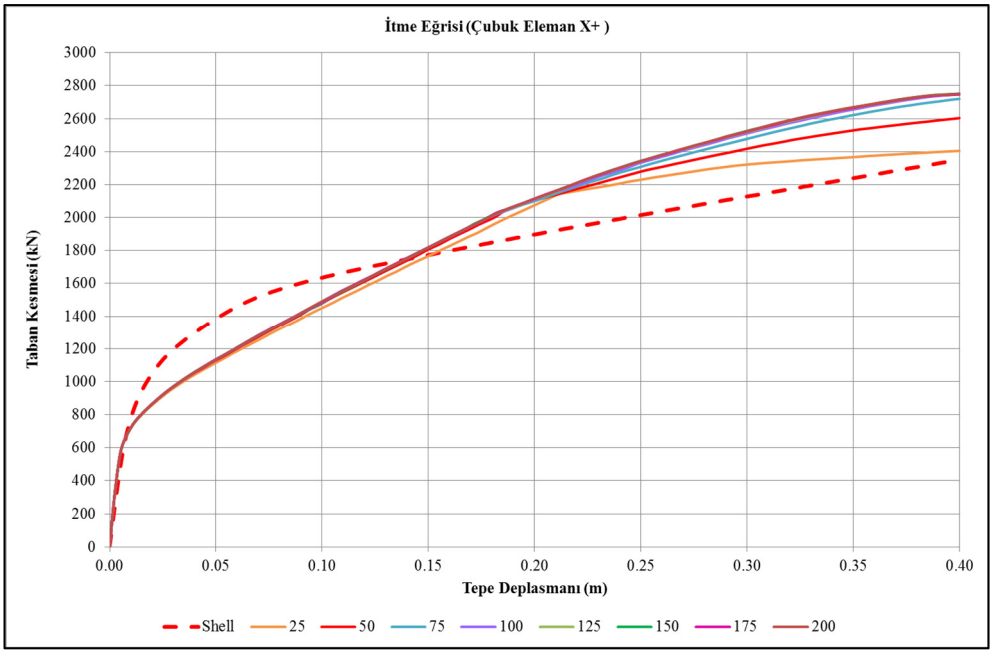

Şekil 7.17 : “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-2 yapısına ait pozitif X yönü itme eğrisi.



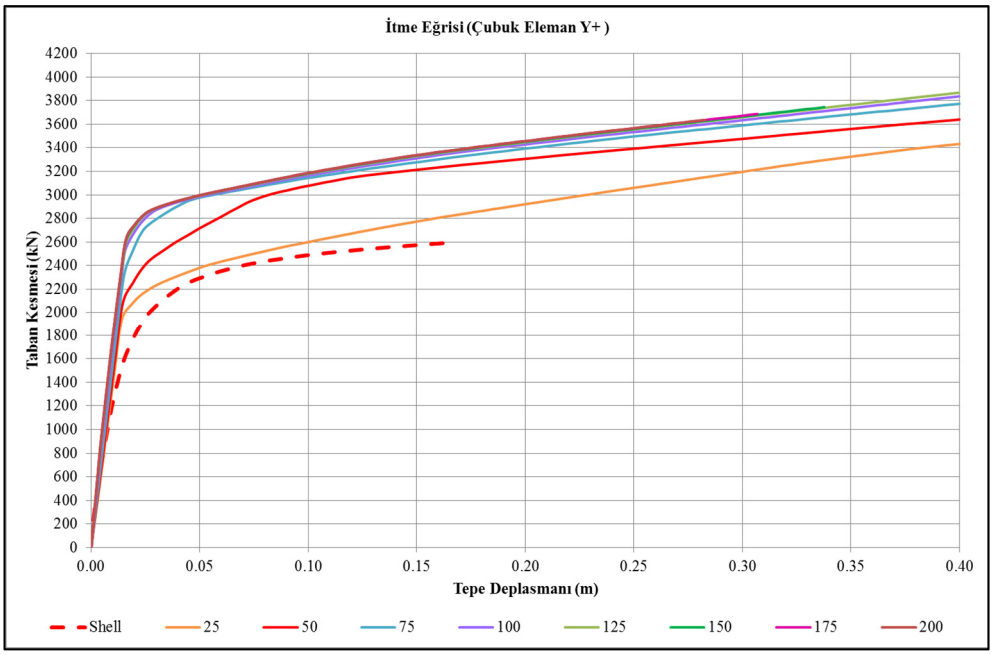

Şekil 7.18 : “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-2 yapısına ait pozitif Y yönü itme eğrisi.



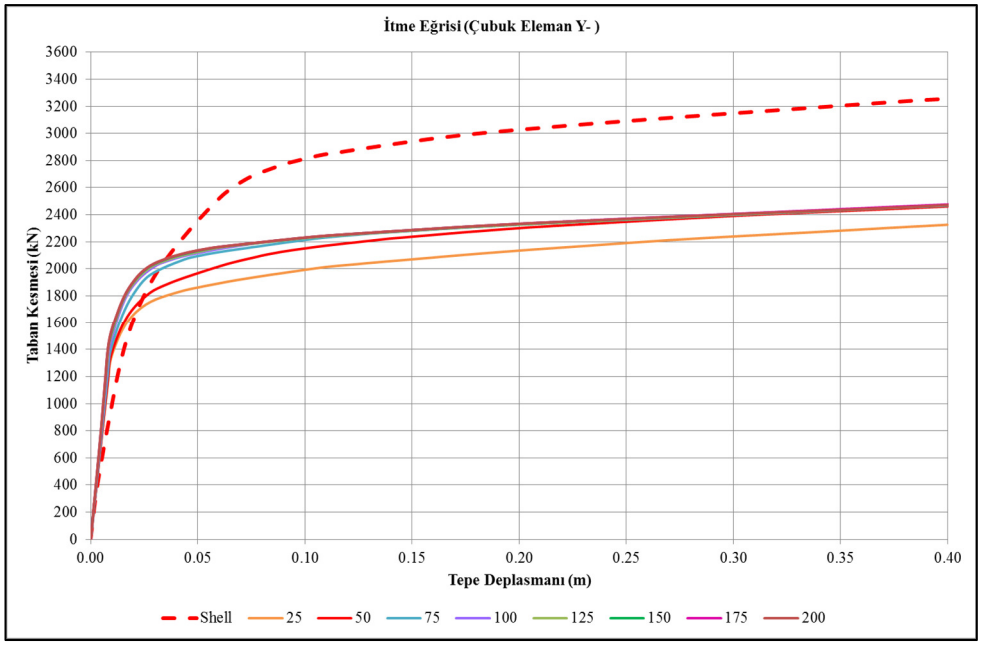

Şekil 7.19 : “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-2 yapısına ait negatif Y yönü itme eğrisi.




Şekil 7.20 : “Çubuk Eleman” tekniğiyle hazırlanmış Model-2 yapısına ait pozitif X yönü itme eğrisi.



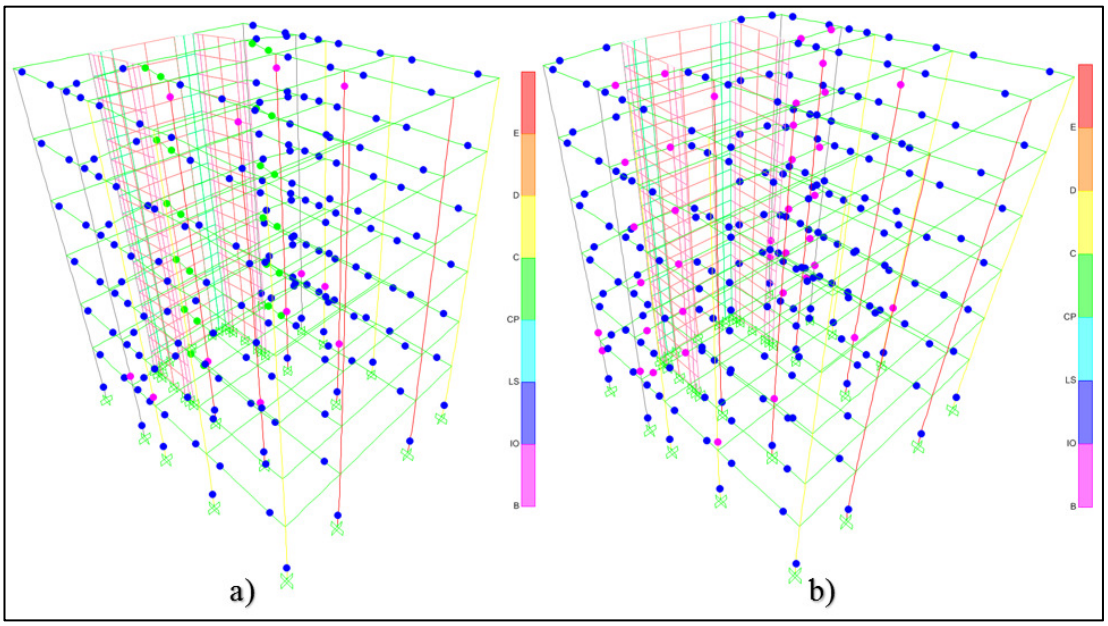

Şekil 7.21 : "Çubuk Eleman" tekniğiyle hazırlanmış Model-2 yapısına ait pozitif Y yönü itme eğrisi.



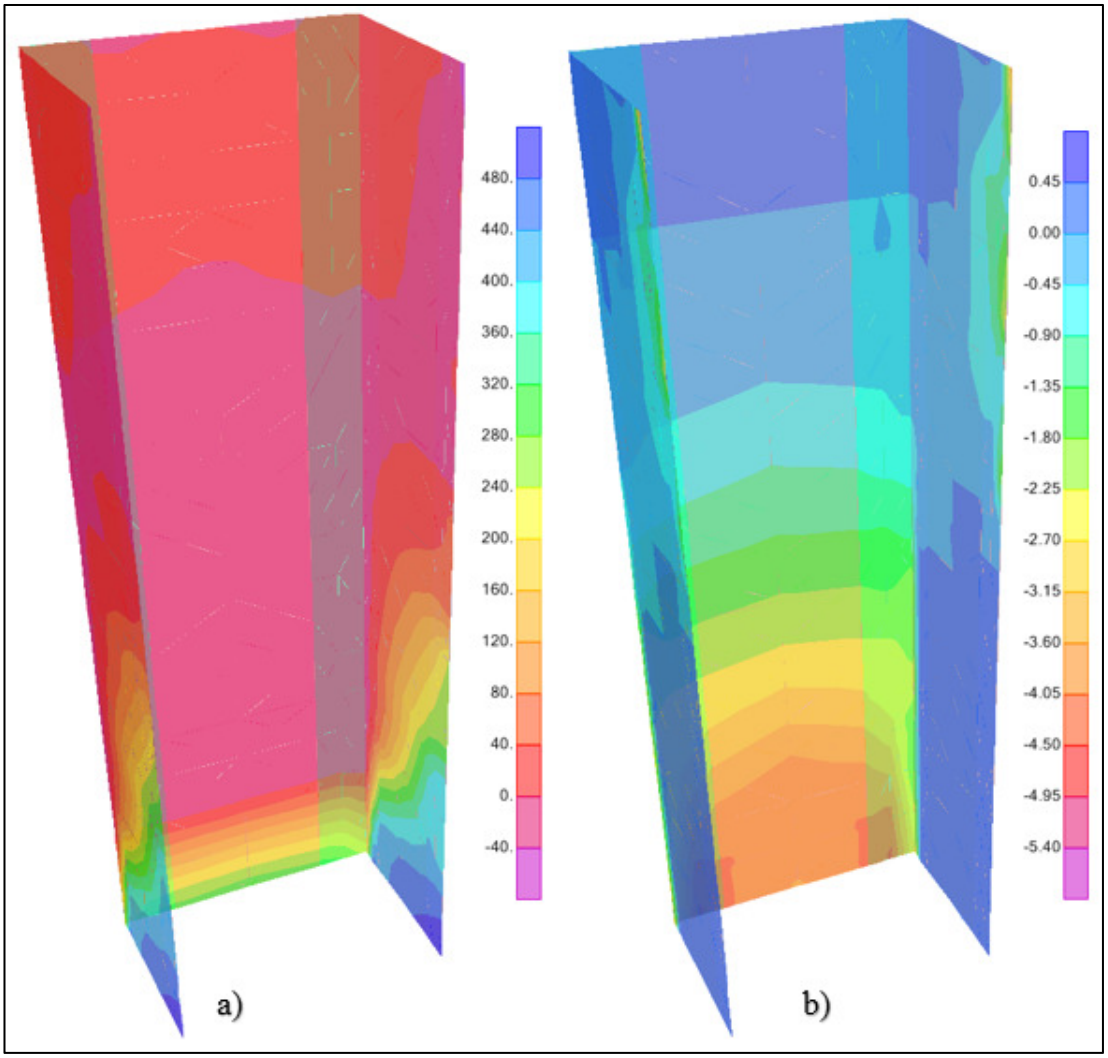

Şekil 7.22 : "Çubuk Eleman" tekniğiyle hazırlanmış Model-2 yapısına ait negatif Y yönü itme eğrisi.

### 7.1.1. Model-3 Yapısına ait İtme Analizi Sonuçları

Model-3 yapısına ait iki yönde de gerçekleştirilen itme analizi sonuçları aşağıda belirtilmektedir. Y doğrultuda kütle katılım oranları %70'in üzerinde olup X doğrultusunda, diğer yapılarda karşılaşılan kütle katılım yetersizliği sorunu bu analiz modeli içinde geçerli olmaktadır. X doğrultusu için zaman tanım alanında analiz sonuçları dikkate alınacaktır.

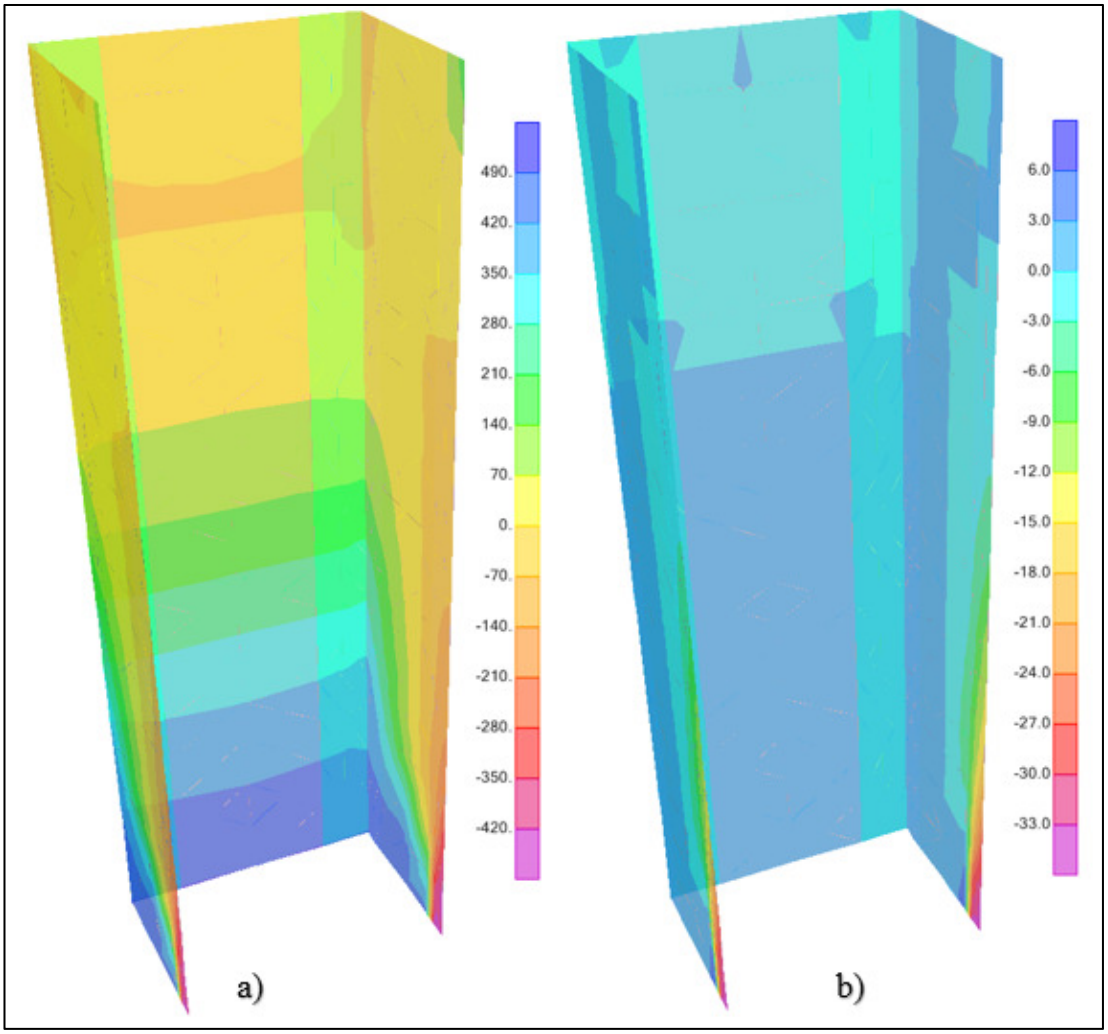



Şekil 7.23 : Model-3 yapısına ait a) pozitif ve b) negatif Y doğrultularında 40cm lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen mafsal oluşumları.




Şekil 7.24 : Model-3 yapısına ait pozitif Y doğrultusunda 40 cm'lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen kabuk katman gerilmeleri, a) Donatıda meydana gelen gerilme (N-mm), b) Betonda meydana gelen gerilme (N-mm).

Yukarıda Şekil 7.24'de kabuk elemanlar yöntemiyle modellenen Model-1 yapısı üzerinde, pozitif Y doğrultusunda yürütülen itme analizleri sonucunda 40 cm'lik tepe deplasmanına bağlı olarak oluşan gerilmeler verilmektedir. Solda donatıda meydana gelen gerilmeler (TopBar), sağ da ise göbek betonunda (ConS) meydana gelen gerilmeler görülmektedir.




Şekil 7.25 : Model-3 yapısına ait negatif Y doğrultusunda 40 cm'lik tepe yer değiştirmesine karşılık gelen kabuk katman gerilmeleri, a) Donatıda meydana gelen gerilme (N-mm), b) Betonda meydana gelen gerilme (N-mm).

Şekil 7.25'de ise aynı model üzerinde negatif Y doğrultusunda 40 cm'lik tepe deplasmanına bağlı olarak oluşan gerilmeler verilmektedir. Solda donatıda meydana gelen gerilmeler (TopBar), sağ da ise göbek betonunda (ConS) meydana gelen gerilmeler görülmektedir.

Tablo 7.3: Model-3 üzerinde yapılan itme analizi sonuçları.

| Modelleme Tekniği | Yön | Modal Dep. (m) | Period (s) | Participating Mass Ratios | Participation Factors (Γ) | Modal Deplasman $S_{di}$ (mm) | | Gerçek Deplasman (mm) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | + Yön | - Yön | + Yön | Benzer davranış | - Yön | Benzer davranış |
| **Kabuk** | Y | 0.0741 | 0.237 | 72% | 19.293 | 26.8 | 30.5 | 38.4 | - | 43.6 | - |
| **Orta Kolon (D25)** | Y | 0.0756 | 0.307 | 73% | 19.132 | 35.6 | 34.6 | 51.8 | 135% | 50.4 | 115% |
| **Orta Kolon (D50)** | Y | 0.0751 | 0.294 | 73% | 19.207 | 31.7 | 32.1 | 45.7 | 119% | 46.2 | 106% |
| **Orta Kolon (D75)** | Y | 0.0740 | 0.274 | 74% | 19.334 | 26.4 | 27.5 | 37.7 | 98% | 39.3 | 90% |
| **Orta Kolon (D100)** | Y | 0.0731 | 0.256 | 75% | 19.439 | 23.1 | 22.2 | 32.7 | 85% | 31.5 | 72% |
| **Orta Kolon (D125)** | Y | 0.0726 | 0.244 | 75% | 19.493 | 22.1 | 19.4 | 31.4 | 82% | 27.6 | 63% |
| **Orta Kolon (D150)** | Y | 0.0724 | 0.237 | 76% | 19.509 | 21.5 | 18.9 | 30.3 | 79% | 26.6 | 61% |
| **Orta Kolon (D175)** | Y | 0.0725 | 0.232 | 76% | 19.502 | 20.7 | 18.4 | 29.4 | 77% | 26.2 | 60% |
| **Orta Kolon (D200)** | Y | 0.0727 | 0.228 | 75% | 19.483 | 20.0 | 18.1 | 28.4 | 74% | 25.8 | 59% |
| **Çubuk Eleman (D25)** | Y | 0.0767 | 0.252 | 72% | 18.977 | 22.5 | 28.1 | 32.9 | 86% | 41.1 | 94% |
| **Çubuk Eleman (D50)** | Y | 0.0765 | 0.250 | 72% | 19.000 | 21.2 | 27.9 | 30.8 | 80% | 40.6 | 93% |
| **Çubuk Eleman (D75)** | Y | 0.0762 | 0.245 | 73% | 19.037 | 19.4 | 27.4 | 28.1 | 73% | 39.8 | 91% |
| **Çubuk Eleman (D100)** | Y | 0.0758 | 0.237 | 73% | 19.087 | 17.1 | 26.3 | 24.8 | 65% | 38.0 | 87% |
| **Çubuk Eleman (D125)** | Y | 0.0754 | 0.231 | 73% | 19.128 | 15.8 | 25.5 | 22.8 | 59% | 36.8 | 84% |
| **Çubuk Eleman (D150)** | Y | 0.0751 | 0.227 | 74% | 19.152 | 15.8 | 25.4 | 22.7 | 59% | 36.5 | 84% |
| **Çubuk Eleman (D175)** | Y | 0.0749 | 0.224 | 74% | 19.165 | 22.8 | 33.0 | 21.8 | 57% | 31.5 | 72% |
| **Çubuk Eleman (D200)** | Y | 0.0749 | 0.223 | 74% | 19.171 | 16.0 | 24.6 | 23.0 | 60% | 35.3 | 81% |

Yukarıda Tablo 7.3'den de anlaşıldığı üzere Model-3 yapısı için hazırlanan ve toplamda 17 adet modelleme tekniği kullanılarak itme analizleri yürütülmüştür.

Kabuk elemanlarla hazırlanmış referans model esas alındığında sonuçlardan çıkarılan şudur ki;

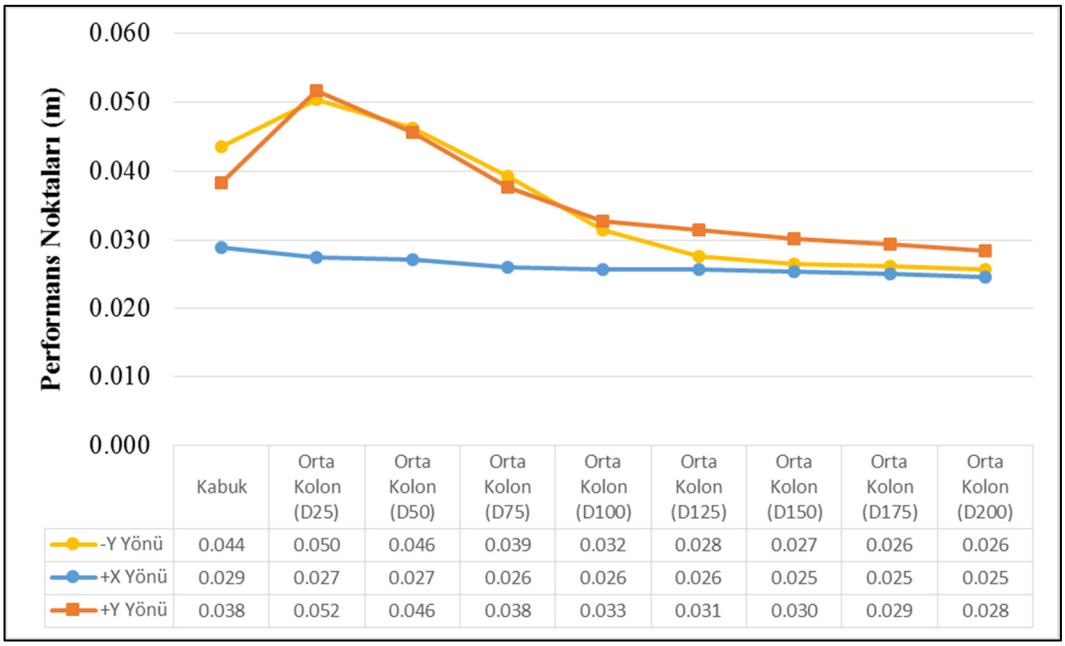
U-perdeyi temsil maksatlı olarak orta-kolon modeli kullanıldığında pozitif ve negatif Y doğrultusu için benzerlik farkı %10'un üzerine çıkmamak kaydıyla, 75 cm'lik fiktif kiriş çapı tercih edilmesinin uygun olacağı görülmektedir.

Çubuk eleman ile modelleme tekniği kullanılması durumunda ise 25 cm ve 75 cm çapları arasında bir fiktif kiriş kullanımının negatif doğrultuda yapılan analizler için yeterli benzerlik oranını sağlamaktadır.

X doğrultusunda her ne kadar kütle katılım oranları yönetmelik şartlarını sağlamıyor olsa da X doğrultusundaki itme eğrilerinin bazı fikirler verebileceği maksadıyla tez kapsamında paylaşma gereği duyulmaktadır. Söz konusu eğrilerden çıkarılan bazı fikirler şunlardır;

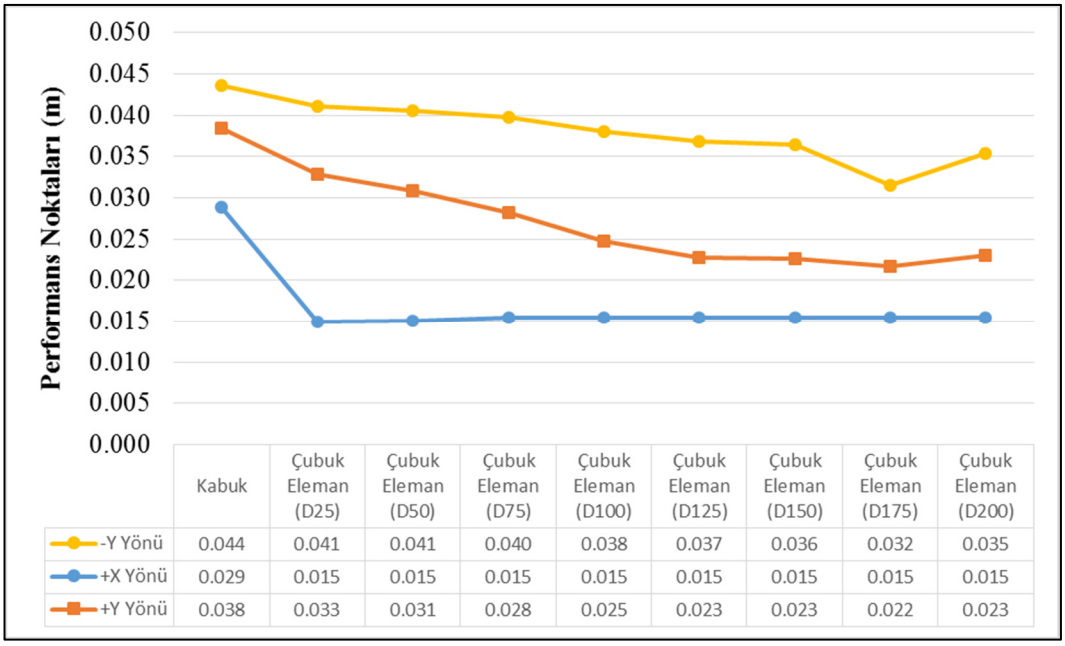
U-perdeyi temsil maksatlı olarak orta-kolon modeli kullanıldığında pozitif ve negatif X doğrultusu için benzerlik farkı %10'un üzerine çıkmamak kaydıyla, 25 cm ile 75 cm çapları arasında fiktif kiriş tercih edilmesinin sistemin akmaya başladığı noktalara kadar tutarlı davranış gösterdiği görülmektedir. Sistemin akma noktasından

daha sonralarında ise durum 25 cm ve 50 cm'lik fiktif kiriş seçiminin makul olduğunu göstermektedir.




| | Kabuk | Orta Kolon (D25) | Orta Kolon (D50) | Orta Kolon (D75) | Orta Kolon (D100) | Orta Kolon (D125) | Orta Kolon (D150) | Orta Kolon (D175) | Orta Kolon (D200) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -Y Yönü | 0.044 | 0.050 | 0.046 | 0.039 | 0.032 | 0.028 | 0.027 | 0.026 | 0.026 |
| +X Yönü | 0.029 | 0.027 | 0.027 | 0.026 | 0.026 | 0.026 | 0.025 | 0.025 | 0.025 |
| +Y Yönü | 0.038 | 0.052 | 0.046 | 0.038 | 0.033 | 0.031 | 0.030 | 0.029 | 0.028 |

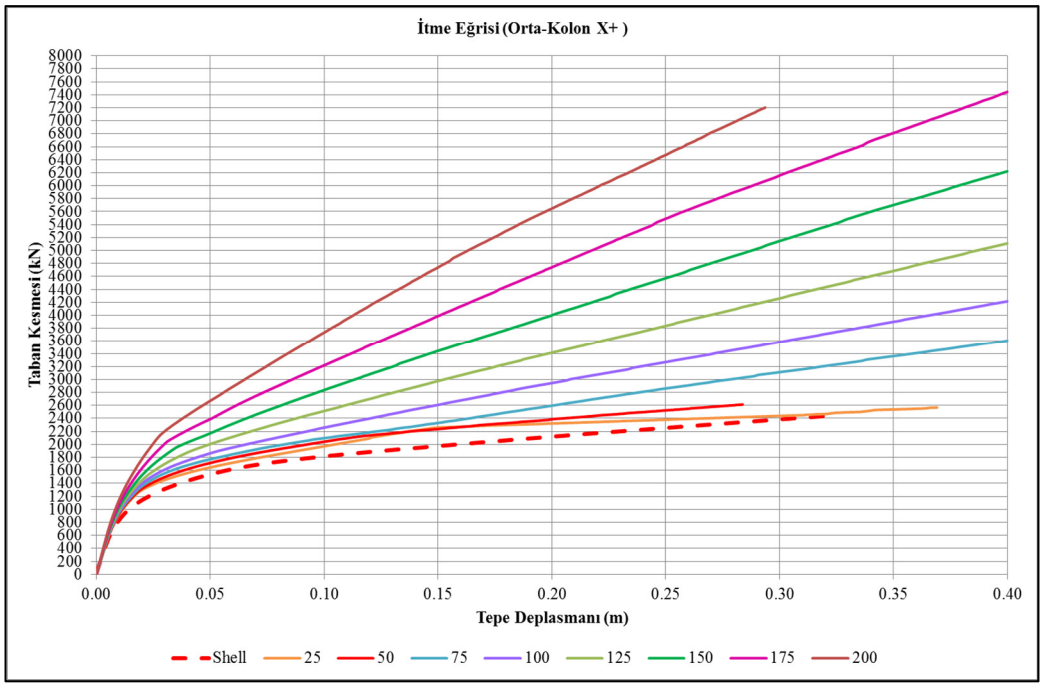
Şekil 7.26 : Model-3'e ait orta-kolon modelleri ve performans noktaları.



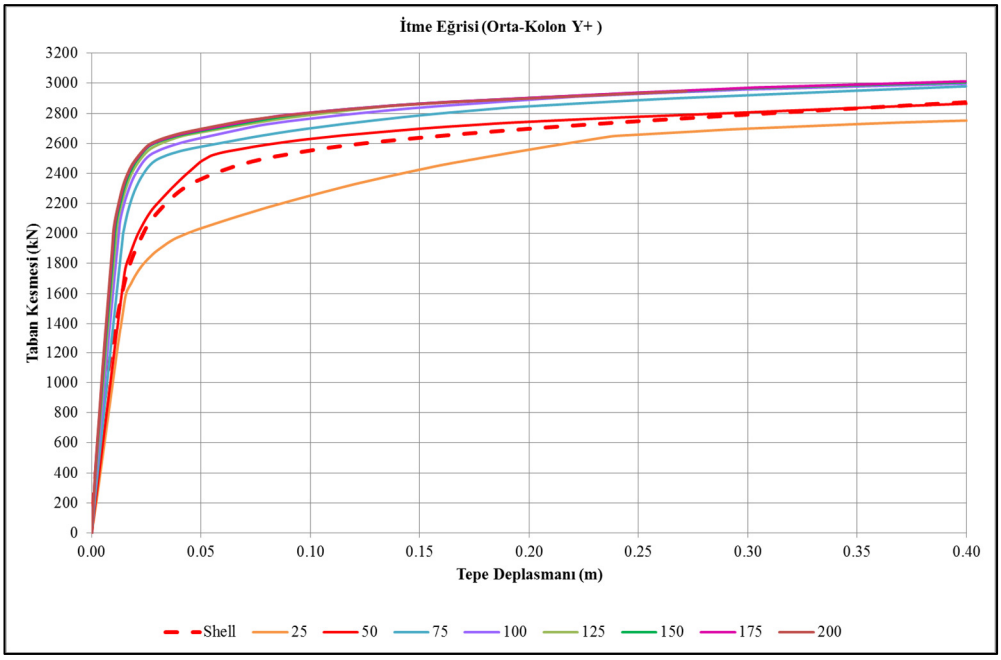

| | Kabuk | Çubuk Eleman (D25) | Çubuk Eleman (D50) | Çubuk Eleman (D75) | Çubuk Eleman (D100) | Çubuk Eleman (D125) | Çubuk Eleman (D150) | Çubuk Eleman (D175) | Çubuk Eleman (D200) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -Y Yönü | 0.044 | 0.041 | 0.041 | 0.040 | 0.038 | 0.037 | 0.036 | 0.032 | 0.035 |
| +X Yönü | 0.029 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 |
| +Y Yönü | 0.038 | 0.033 | 0.031 | 0.028 | 0.025 | 0.023 | 0.023 | 0.022 | 0.023 |

Şekil 7.27 : Model-3'e ait çubuk eleman modelleri ve performans noktaları
Farklı modelleme teknikleriyle hazırlanmış Model-3 yapısına ait taban kesme.

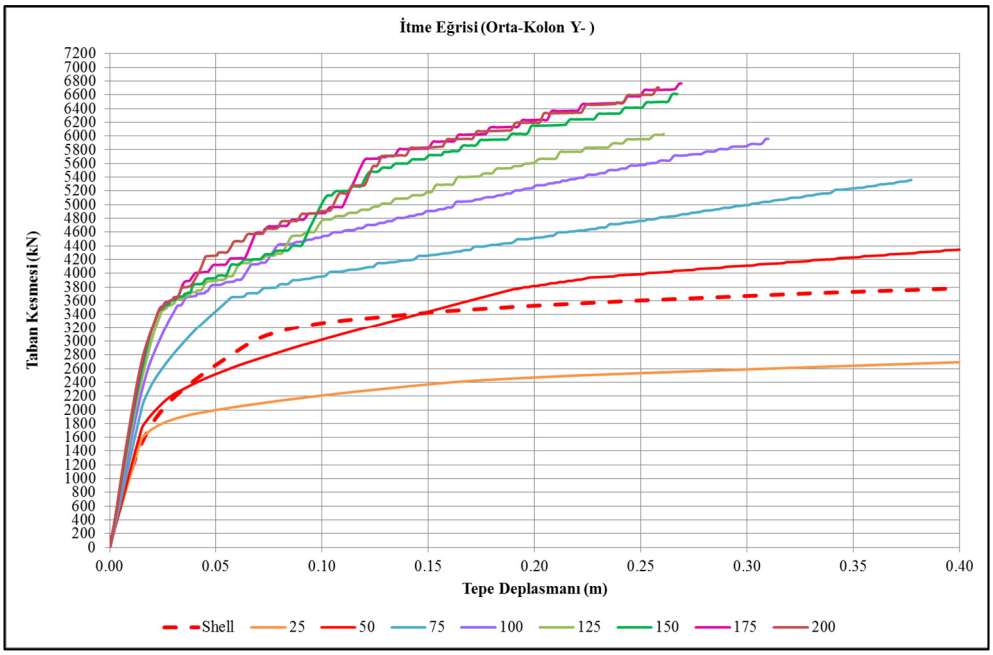
Kuvvet ve tepe deplasman ilişkisini belirten itme eğrileri her bir modelleme tipi için ayrı ayrı olmak üzere aşağıda verilmiştir.



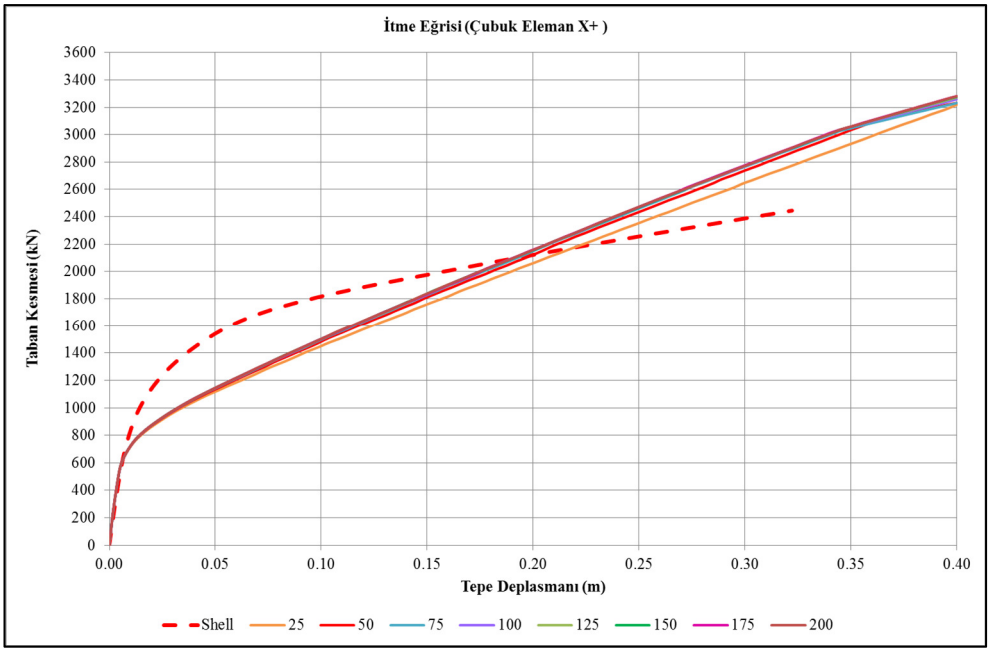

Şekil 7.28 : “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-3 yapısına ait pozitif X yönü itme eğrisi.



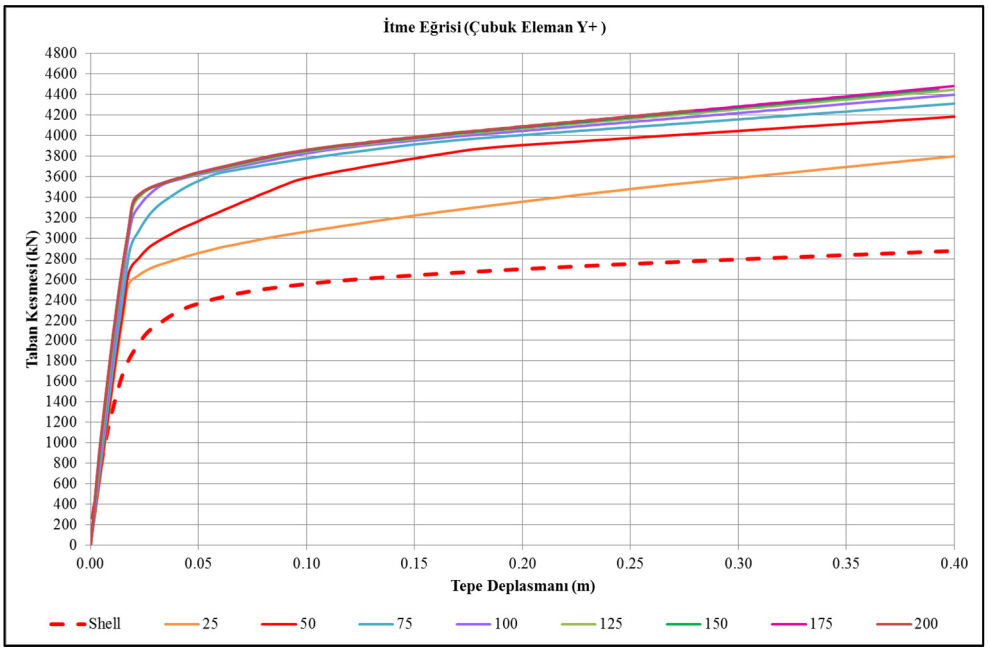

Şekil 7.29 : “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-3 yapısına ait pozitif Y yönü itme eğrisi.



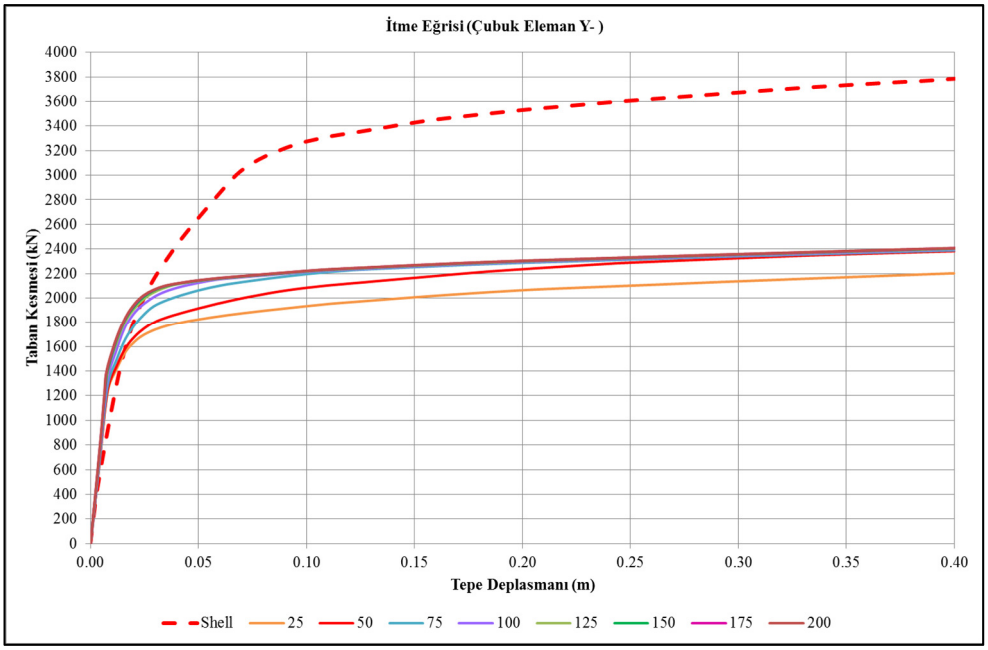

Şekil 7.30 : “Orta-kolon” tekniğiyle hazırlanmış Model-3 yapısına ait negatif Y yönü itme eğrisi.




Şekil 7.31 : “Çubuk Eleman” tekniğiyle hazırlanmış Model-3 yapısına ait pozitif X yönü itme eğrisi.




Şekil 7.32 : "Çubuk Eleman" tekniğiyle hazırlanmış Model-3 yapısına ait pozitif Y yönü itme eğrisi.




Şekil 7.33 : "Çubuk Eleman" tekniğiyle hazırlanmış Model-3 yapısına ait negatif Y yönü itme eğrisi.

### 7.1.2. Performans Noktasında U-perdeye Ait İç Kuvvetler

Modeller üzerinde yapılan itme analizleri sonucunda hesaplanan performans noktalarında, U-perdelerde oluşan maksimum iç kuvvet tesirleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 7.4: Kabuk eleman yöntemiyle modellenmiş modellere ait performans noktasında oluşan U-perde iç kuvvetleri.

| | Yön | P (kN) | V2 (kN) | V3 (kN) | M2 (kNm) | M3 (kNm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Model-1 | PX+ | 1097.7 | 239.8 | 12.1 | -90.5 | 1683.6 |
| | PY+ | 1915.9 | 0.0 | -683.9 | -4327.5 | 0.0 |
| | PY- | 688.2 | 0.0 | 832.4 | 4907.8 | 0.0 |
| Model-2 | PX+ | 1886.7 | 447.6 | 5.0 | -59.2 | 3759.8 |
| | PY+ | 2995.6 | 0.0 | -1749.4 | -14011.3 | 0.0 |
| | PY- | 842.2 | 0.0 | 1915.5 | 15409.2 | 0.0 |
| Model-3 | PX+ | 2219.6 | 583.7 | 18.5 | -26.2 | 5257.0 |
| | PY+ | 3335.0 | 0.0 | -1807.6 | -15005.1 | 0.0 |
| | PY- | 1122.4 | 0.0 | 1978.9 | 15487.5 | 0.0 |

## 7.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

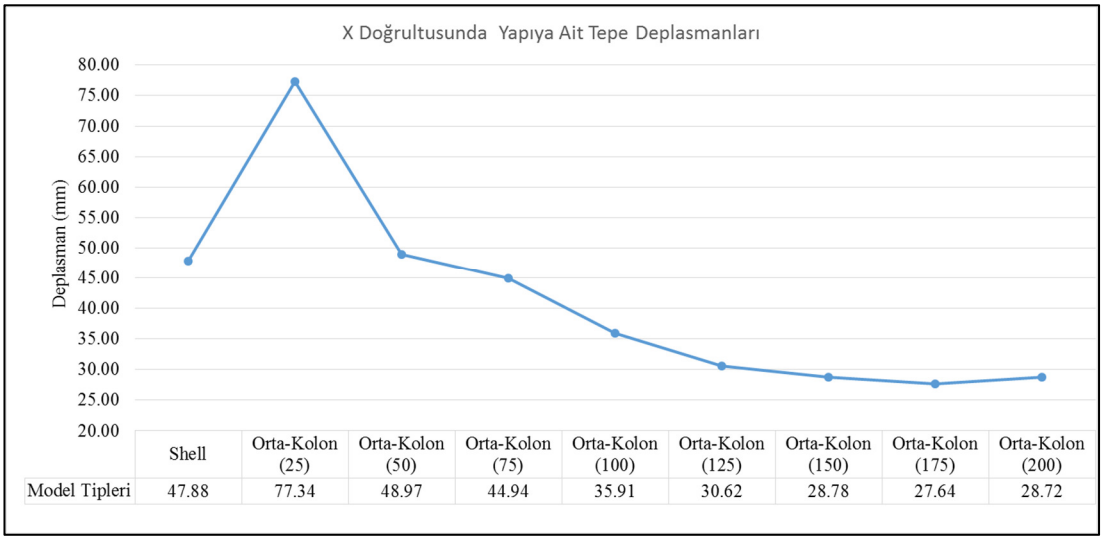
Tez kapsamında hazırlanmış tüm yapı modelleri X doğrultusunda tek bir deprem kaydı (DZC180) ile analiz edilmiş ve Tablo 7.5 ile gösterilen maksimum tepe yer değiştirme değerleri elde edilmiştir.

Tablo 7.5: X-Doğrultusunda zaman tanım alanında yapılan analizler sonucu farklı modelleme teknikleri kullanılmış yapılara ait tepe yer değiştirme değerleri.

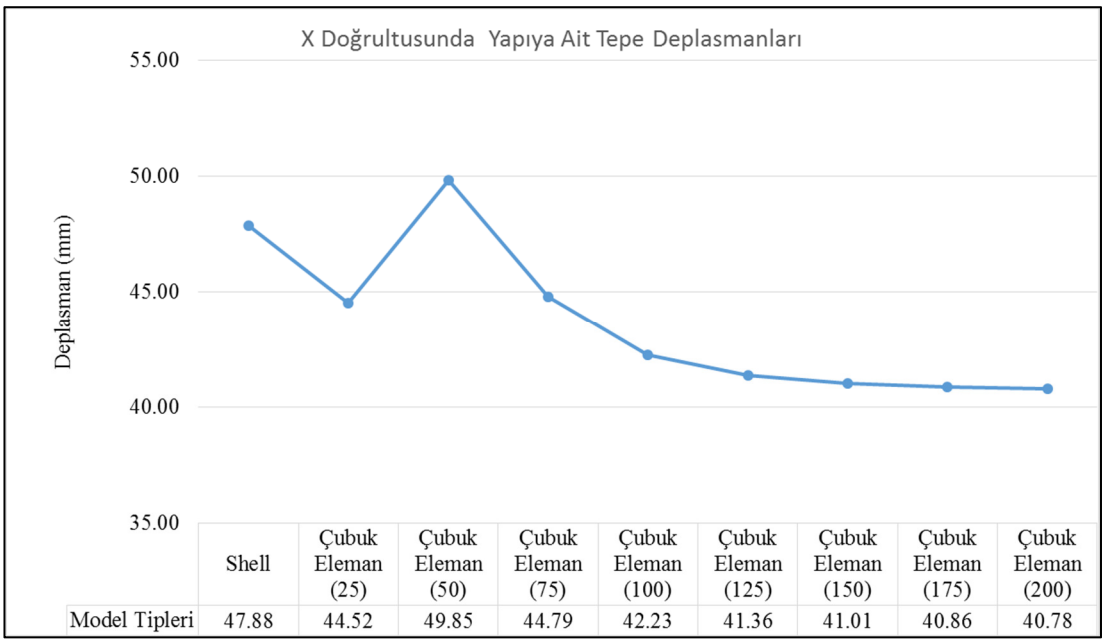
| | **Model-1** | **Benzerlik** | **Model-2** | **Benzerlik** | **Model-3** | **Benzerlik** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **mm** | | **mm** | | **mm** | |
| **Shell** | 47.88 | - | 27.39 | - | 24.96 | - |
| **Orta-Kolon (25)** | 77.34 | 162% | 38.5 | 141% | 23.25 | 93% |
| **Orta-Kolon (50)** | 48.97 | 102% | 28.38 | 104% | 20.84 | 83% |
| **Orta-Kolon (75)** | 44.94 | 94% | 27.49 | 100% | 19.79 | 79% |
| **Orta-Kolon (100)** | 35.91 | 75% | 22.82 | 83% | 20.91 | 84% |
| **Orta-Kolon (125)** | 30.62 | 64% | 23.82 | 87% | 20.3 | 81% |
| **Orta-Kolon (150)** | 28.78 | 60% | 24.16 | 88% | 20.08 | 80% |
| **Orta-Kolon (175)** | 27.64 | 58% | 23.73 | 87% | 21.12 | 85% |
| **Orta-Kolon (200)** | 28.72 | 60% | 22.72 | 83% | 22.03 | 88% |
| **Çubuk Eleman (25)** | 44.52 | 93% | 13.69 | 50% | 10.99 | 44% |
| **Çubuk Eleman (50)** | 49.85 | 104% | 13.67 | 50% | 10.97 | 44% |
| **Çubuk Eleman (75)** | 44.79 | 94% | 13.72 | 50% | 10.92 | 44% |
| **Çubuk Eleman (100)** | 42.23 | 88% | 13.79 | 50% | 10.9 | 44% |
| **Çubuk Eleman (125)** | 41.36 | 86% | 13.82 | 50% | 10.9 | 44% |
| **Çubuk Eleman (150)** | 41.01 | 86% | 13.83 | 50% | 10.91 | 44% |
| **Çubuk Eleman (175)** | 40.86 | 85% | 13.82 | 50% | 10.91 | 44% |
| **Çubuk Eleman (200)** | 40.78 | 85% | 13.81 | 50% | 10.92 | 44% |

Yukarıdaki sonuçlardan anlaşıldığı kadarıyla, U-perdeyi temsil etme amaçlı olarak orta-kolon modeli kullanıldığında ve maksimum %10 luk deplasman farkı kabulü yapıldığında; Model-1 ve Model-2 yapıları için en uygun fiktif kiriş çapının 50 cm ve 75 cm olduğu, Model-3 için ise bu değerin 25 cm olduğu görülmektedir. Çubuk elemanların kullanıldığı durumlarda ise sadece Model-1 yapısı için 25 cm ile 75 cm arasındaki fiktif kiriş çaplarının makul olduğu belirlenmiştir. Çubuk elemanla modelleme teknikleri kullanıldığında Model-2 ve Model-3 yapılarında kabuk elemanla hazırlanan modele nazaran olumlu sonuç alınamadığı ortadadır.

### 7.2.1. Model-1 Yapısı Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçları

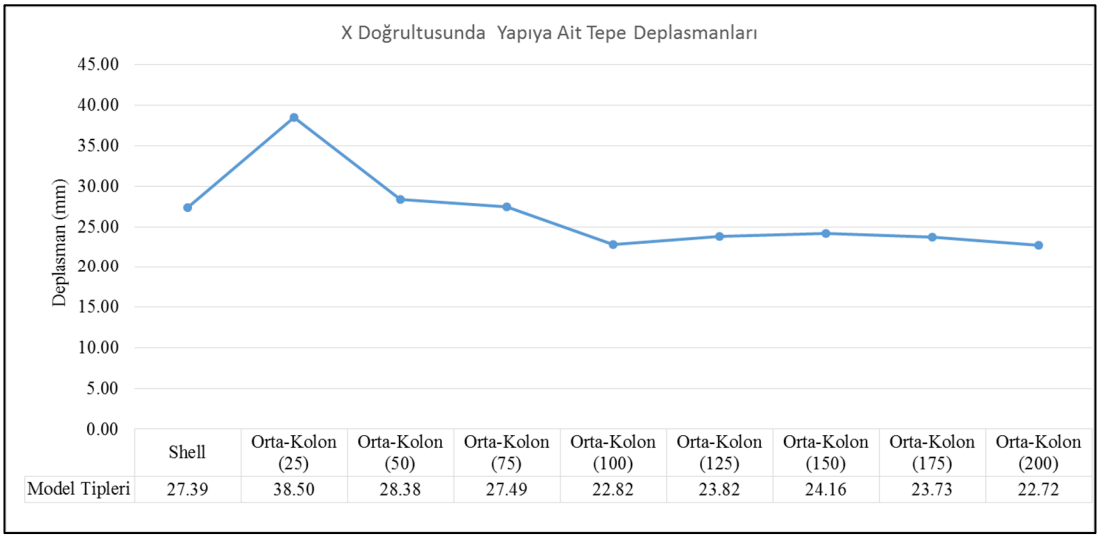



Şekil 7.34 : Model-1 yapısı için hazırlanmış orta-kolon ve kabuk modellerinin zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre kıyaslanması.

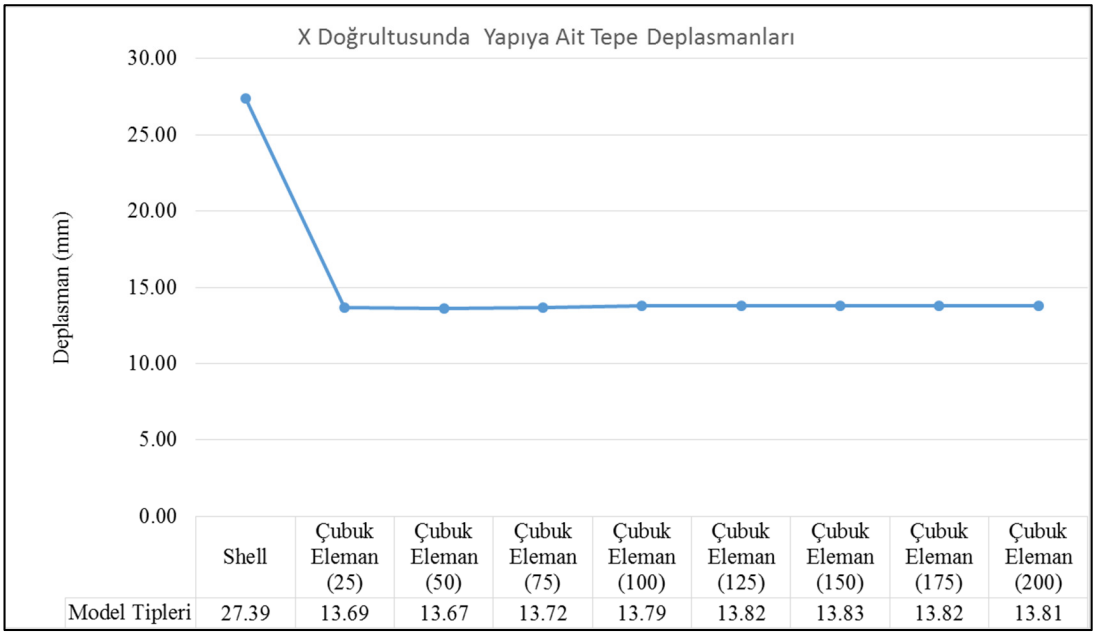



Şekil 7.35 : Model-1 yapısı için hazırlanmış çubuk eleman ve kabuk modellerinin zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre kıyaslanması.

### 7.2.2. Model-2 Yapısı Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçları

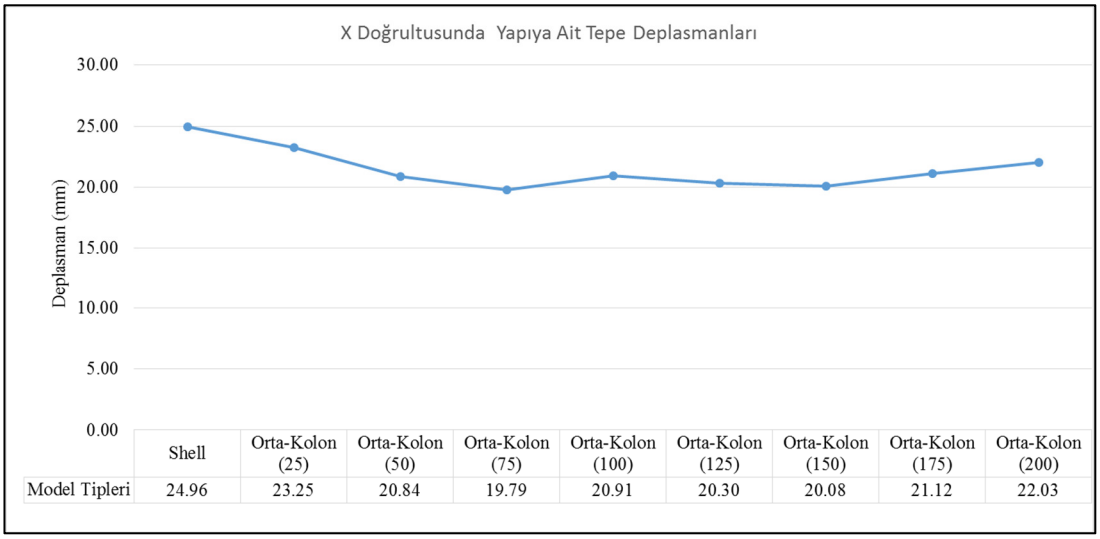



Şekil 7.36 : Model-2 yapısı için hazırlanmış orta-kolon ve kabuk modellerinin zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre kıyaslanması.

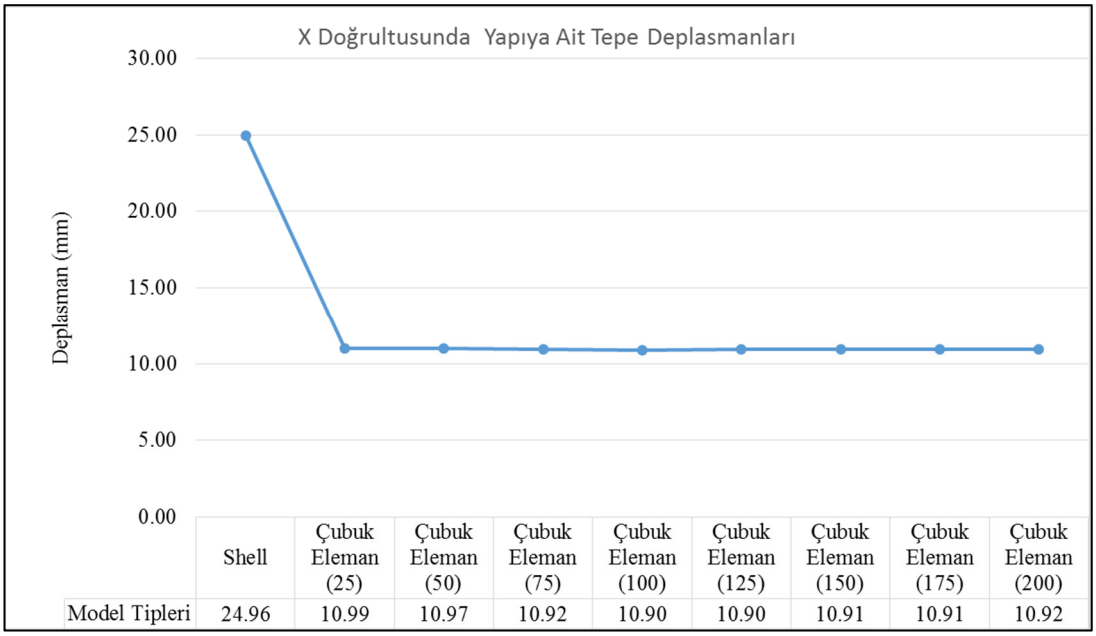



Şekil 7.37 : Model-2 yapısı için hazırlanmış çubuk eleman ve kabuk modellerinin zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre kıyaslanması.

### 7.2.3. Model-3 Yapısı Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçları




Şekil 7.38 : Model-3 yapısı için hazırlanmış orta-kolon ve kabuk modellerinin zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre kıyaslanması.




Şekil 7.39 : Model-3 yapısı için hazırlanmış çubuk eleman ve kabuk modellerinin zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre kıyaslanması.

# 8. SONUÇLAR

Bu çalışmada; TS500 ve DBYBHY 2007 minimum yapısal kriterlerine göre tasarımları yapılmış yapı elemanlarına sahip üç adet yapının performans değerlendirilmeleri yapılmıştır. U-perdelere sahip birbirinden farklı bu üç yapı modeli üzerinde modelleme tekniği ve yapı performansı arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Analizlerde kullanılan yapılar 6 katlı ve betonarmedir. Yapıların 1. deprem bölgesinde bulunmakta ve zemin sınıflarının Türk Deprem Yönetmeliğinde belirtilen Z3 zemin sınıfında olduğu kabul edilmektedir. Yapıların toplam yüksekliği 18.75 m. olup kat yükseklikleri, ilk katta 3.75 m diğer katlarda ise 3.00 m.'dir. Plan boyutları x yönünde 13.00 m, y yönünde ise 15.00 m.'dir. Beton basınç dayanımı 30 MPa ve çelik akma mukavemeti 420 MPa alınmıştır. Hazırlanan tez kapsamında Analiz yöntemi olarak DBYBHY 2007'de yer alan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi kullanılmıştır.

Söz konusu yapı modelleri Çubuk eleman modeli(stick model), orta-kolon modeli(wide-column model) ve kabuk eleman modeli(shell element model) kullanılarak ayrı ayrı itme analizleri ve zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde, farklı modelleme teknikleri kullanılmasının yanı sıra, U-perde ve diğer taşıyıcı sistem elemanları arasında yük etkileşimi sağlayan fiktif elemanların rijitlik farklılıkları belirleyici unsur olmuştur.

Çalışma kapsamında yapılan tüm analizler SAP2000 Yapısal Analiz Programı ile yapılmış olup binaların gerçekte lineer davranmadıkları göz önüne alınmıştır. Kıyas ve değerlendirmeler için; Lineer analizlere ek olarak, 34 adet zaman tanım alanında analiz ve 75 adet itme analizi yürütülmüş olup toplamda 109 adet doğrusal elastik olmayan analiz sonucu esas alınmıştır. Yapılan zaman tanım alanında analizlerde Düzce istasyonundan alınmış 17 Ağustos 1999 tarihli Kocaeli depremine ait ivme kaydı(DZC180) kullanılmıştır. Analizler sonucunda, yapı modellerine ait tepe yer değiştirmeleri hesaplanmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılara ait itme analizlerinde %70'lik kütle katılım oranı şartını sağlamasından dolayı Y doğrultusundaki performans değerleri dikkate alınarak taban kesme kuvveti ve tepe deplasman eğrileri ile modal ivme-modal yer deplasman (Sa-Sd) eğrileri oluşturulmuştur.

Yapılan bu çalışma ve değerlendirmeler gösteriyor ki,

- Farklı modelleme teknikleriyle hazırlanan U-perdeli yapılarda, sistem performanslarının birbirlerinden çok farklı olabileceği görülmektedir.
- U-perdelerin modellenmesinde kullanılan fiktif kiriş rijitliklerinin sistemin sergileyeceği performansla yakın ilişkisi olduğu anlaşılmaktadır.
- Kullanılan analiz sonuçlarından elde edilen taban kesme kuvvetleri ve göreli kat deplasman oranları değerlerine göre her bir modelleme tekniğinin kendi özelliklerini sonuçlara yansıttığı görülmektedir.
- Yapılan analiz sonuçları arasında görülen farklılıklar, modelleme tekniği konularında biraz daha çalışma ve ilerleme gerekliliğinin açık göstergesidir.

Bu tez kapsamında edinilen bilgi ve beceriler ışığında, yapılan itme analizleri ve zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre, birbirinden farklı üç yapı modeli ve bu modeller üzerinde farklı metotlar kullanılarak hazırlanan model türevleri için aşağıdaki somut veriler elde edilmiştir;

- Model-1 yapısı üzerinde yapılan itme analizleri gösteriyor ki;

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.

Aynı yapı üzerinde X doğrultusunda yürütülen zaman tanım alanında analizlerde ise en uygun fiktif kiriş çapının 50 cm ve 75 cm olduğu, Çubuk elemanların kullanıldığı durumlarda da 25 cm ile 75 cm arasındaki fiktif kiriş çaplarının makul olduğu belirlenmiştir.

- Model-2 yapısına ait veriler ise şu şekildedir;

U-perdeyi temsil maksatlı olarak orta-kolon modeli kullanıldığında pozitif Y doğrultusu için 50 cm'lik, negatif yön için ise 25 cm'lik fiktif kiriş çapı tercih edilmesinin uygun olacağı görülmektedir. Diğer taraftan 25 cm ve 50 cm arasında bir fiktif kiriş seçiminin her iki doğrultuda olumlu sonuç verebileceği öngörülebilir

sonuçlar arasında yer almaktadır. Çubuk eleman ile modelleme tekniği kullanılması durumunda ise pozitif Y yönünde 25 cm çapında fiktif kiriş kullanımı yeterli benzerlik oranını sağlamaktadır.

Aynı yapı üzerinde X doğrultusunda yürütülen zaman tanım alanında analizlerden anlaşıldığı kadarıyla en uygun fiktif kiriş çapının 50 cm ve 75 cm olduğu görülmektedir. Çubuk elemanların kullanıldığı durumlarda ise kabuk elemanla hazırlanan modele kıyasla yeterli derecede benzer sonuç alınamadığı belirlenmiştir.

- Son olarak, Model-3 için elde edilen veriler aşağıdaki gibidir;

U-perdeyi temsil maksatlı olarak orta-kolon modeli kullanıldığında pozitif ve negatif Y doğrultusu için benzerlik farkı %10'un üzerine çıkmamak kaydıyla, 75 cm'lik fiktif kiriş çapı tercih edilmesinin uygun olacağı görülmektedir. Çubuk eleman ile modelleme tekniği kullanılması durumunda ise 25 cm ve 75 cm çapları arasında bir fiktif kiriş kullanımının negatif doğrultuda yapılan analizler için yeterli benzerlik oranını sağlamaktadır.

Yapılan zaman tanım alanında analizler gösteriyor ki Model-3 için X doğrultusunda yapılan analizlerde makul fiktif kiriş çapı 25 cm'dir. Çubuk elemanların kullanıldığı durumlarda Model-2'de olduğu gibi Model-3 yapısında da referans modelleme tekniğinden alının sonuçlara kıyasla yeterli benzerlik elde edilememiştir.

# KAYNAKLAR


[1] Wilson, E. L., (2002), "Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures, A Physical Approach with Emphasis on Earthquake Engineering", 3rd. Edition, Computers and Structures Incorporation.

[2] Fahjan Y. M., (2008), "Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi", İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 292, 4423-4444.

[3] Kent D. C., Park R, (1971), "Flexural Members with Confined Concrete", Journal of the Structural Division, American Society of Civil Engineers, 97 (7), 1969-1990.

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

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

[6] Smith B. S., Coull A., (1991), "Tall Building Structures: Analysis and design", 1st. Edition, John Wiley & Sons, Incorporation.

[7] Celep Z., Gençoglu M., (2007) "Deprem Yönetmeliği (2007) de Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemleri'ne basit örnekler", Betonarme Yapılar Semineri, 90-111, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim.

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

[9] DBYBHY, (2007), Betonarme binalar için depreme dayanıklı tasarım kuralları, "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.

[10] Mander J. B., Priestley, M. J. N., Park R., (1988), "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", American Society of Civil Engineers Journal of Structural Division, 114 (8), 1804-1826.

# ÖZGEÇMİŞ

Yalçın Koçak 1987 yılında Konya'da doğdu. 2004 yılında başladığı İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2011 yılında tamamladı. 2012 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalında başlamıştır. 2007 yılından bu yana ise çeşitli özel şirketlerde mühendislik hizmetleri alanında çalışmalarına devam etmektedir.