İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ BOYUTLU DÜZENSİZ BİR YAPI SİSTEMİNİN DEPREM PERFORMANSININ İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erkan ŞENOL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ BOYUTLU DÜZENSİZ BİR YAPI SİSTEMİNİN DEPREM PERFORMANSININ İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erkan ŞENOL
(501101023)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ercan YÜKSEL

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101023 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Erkan ŞENOL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"ÜÇ BOYUTLU DÜZENSİZ BİR YAPI SİSTEMİNİN DEPREM PERFORMANSININ İRDELENMESİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Ercan YÜKSEL** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **08 Haziran 2012**

ÖNSÖZ

Tez çalışmam ve yüksek lisans öğrenimim süresince her konuda yardımcı olan ve bilgilerini benimle paylaşan tez danışmanım ve değerli hocam Doç. Dr. Ercan Yüksel'e, tez süresince desteğini esirgemeyen Sn. Ceyda Nur'a, Sn. Ahmet Güllü'ye ve tüm öğrenim hayatım boyunca bana maddi ve manevi destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Haziran 2012

Erkan Şenol
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı 1
1.2 Literatür Araştırması 2
2. KAPASİTE EĞRİSİNİN ELDE EDİLMESİ **7**
2.1 Kapasite Eğrisinin Tanımı 7
2.2 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri 7
2.2.1 Yayılı şekildeğiştirme varsayımı 9
3. PERDELİ SİSTEMLERDE YAPISAL MODELLEME **11**
3.1 Perdeli-Çerçeve Etkileşimi 11
3.2 Perde Elemanlar için Yapısal Modeller 12
4. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLERLE YAPISAL PERFORMANSIN BELİRLENMESİ **17**
4.1 Giriş 17
4.2 Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesinde 2007 Türk Deprem Yönetmeliği Yaklaşımı 18
4.2.1 Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri 18
4.2.1.1 Kesit hasar sınırları 19
4.2.1.2 Kesit hasar bölgeleri 19
4.2.1.3 Kesit ve eleman hasarı tanımları 19
4.2.1.4 Binaların deprem performansı 20
4.2.2 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri 20
4.2.2.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi 20
4.2.2.2 Birim şekildeğiştirme isteminin belirlenmesi 25
4.2.2.3 Betonarme elemanlarının kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri 26
4.2.2.4 Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri 27
5. SAYISAL ÖRNEKLER **29**
5.1 Üç Boyutlu Tek Katlı Çerçeve Modelinin Analizi 29
5.1.1 Yapı sisteminin özellikleri 29
5.1.2 Moment - Eğrilik diyagramları 31
5.1.3 Yapı sisteminin alt sistemlere ayrılması 33
5.1.4 Yapının statik analiz sonuçlarının karşılaştırılması 35
5.2 Üç Boyutlu Düzensiz Perdeli Çerçeve Yapı Modeli 37
5.2.1 Yapı sisteminin özellikleri 38
5.2.2 Yapı sisteminin alt sistemlere ayrılması 40

5.2.3 Yapı sisteminin statik analiz sonuçlarının doğrulanması 46
5.2.4 Sabit yatay yük etkisindeki yapının analiz sonuçlarının doğrulanması 51
5.2.5 Serbest titreşim analizi 55
5.3 Perde Duvarlı Betonarme Yapılarda Performans Değerlendirmesi 56
5.3.1 Çalışmada kullanılan yapısal modeller 56
5.3.2 İtme analizleri 58
5.3.3 Performans değerlendirmesi 63
5.3.3.1 Tepe yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi 63
5.3.3.2 Taşıyıcı sistem elemanlarında performans değerlendirmesi 70
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 79
KAYNAKLAR 81
EKLER 83
ÖZGEÇMİŞ 95

KISALTMALAR

V_T : Taban kesme kuvveti
δ_{max} : Tepe deplasmanı
DBYBHY : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
L_p : Plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğu
H_w : Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
ℓ_w : Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
EF : Çubuk eksenel uzama rijitliği
EI : Kesit eğilme rijitliği
GF : Kesit kayma rijitliği
MN : Minimum hasar sınırı
GV : Güvenlik sınırı
GÇ : Göçme sınırı
$a_1^{(i)}$: Birinci moda ait modal ivme
$V_{x1}^{(i)}$: x deprem doğrultusunda i. itme adımı sonunda birinci modda elde edilen taban kesme kuvveti
M_{x1} : x deprem doğrultusunda birinci moda ait etkin kütle
$d_1^{(i)}$: Birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$u^{(i)}_{xN1}$: Binanın tepesinde x deprem doğrultusunda i. itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
Φ_{xN1} : Binanın tepesinde x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
Γ_{x1} : Birinci moda ait katkı çarpanı
d_1^p : Modal yerdeğiştirme istemi
u_1^p : Tepe yerdeğiştirme istemi
S_d : Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme
S_a : Doğrusal elastik olmayan spektral ivme
C_{R1} : Spektral yerdeğiştirme oranı
R_{y1} : Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
θ_p : Plastik mafsal dönmesi
ϕ_p : Plastik eğrilik
ε_c : Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ε_s : Donatı birim şekildeğiştirmesi
ADRS : Spektral ivme – spektral yerdeğiştirme spektrumu
Msağ : Sağ uçtaki moment
Msol : Sol uçtaki moment
Vsağ : Sağ uçtaki kesme kuvveti
Vsol : Sol uçtaki kesme kuvveti

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Tek katlı betonarme çerçeve modele ait kolon özellikleri 29
Çizelge 5.2 : Tek katlı betonarme çerçeve modele ait kiriş özellikleri 30
Çizelge 5.3 : Moment değerleri ve karşılaştırmaları 36
Çizelge 5.4 : Kesme kuvveti değerleri ve karşılaştırmaları 36
Çizelge 5.5 : Kirişlerde moment değerleri ve karşılaştırmaları 48
Çizelge 5.6 : Kirişlerde kesme kuvveti değerleri ve karşılaştırmaları 49
Çizelge 5.7 : Kolonlarda normal kuvvet değerleri ve karşılaştırmaları.....50
Çizelge 5.8 : Kirişlerde moment değerleri ve karşılaştırmaları 52
Çizelge 5.9 : Kirişlerde kesme kuvveti değerleri ve karşılaştırmaları 53
Çizelge 5.10 : Kolonlarda normal kuvvet değerleri ve karşılaştırmaları.....54
Çizelge 5.11 : Serbest titreşim analizi sonuçları 55
Çizelge 5.12 : Tip A için elde edilmiş tepe yerdeğiştirme istemleri 65
Çizelge 5.13 : Tip B için elde edilmiş tepe yerdeğiştirme istemleri 67
Çizelge 5.14 : Tip C için elde edilmiş tepe yerdeğiştirme istemleri 69
Çizelge 5.15 : Tip A için +X yönünde eleman performans değerleri 72
Çizelge 5.16 : Tip B için +X yönünde eleman performans değerleri.....72
Çizelge 5.17 : Tip C için +X yönünde eleman performans değerleri.....73
Çizelge 5.18 : Tip A için +Y yönünde eleman performans değerleri 73
Çizelge 5.19 : Tip B için +Y yönünde eleman performans değerleri.....74
Çizelge 5.20 : Tip C için +Y yönünde eleman performans değerleri.....74
Çizelge 5.21 : Tip A için -Y yönünde eleman performans değerleri 75
Çizelge 5.22 : Tip B için -Y yönünde eleman performans değerleri 75
Çizelge 5.23 : Tip C için -Y yönünde eleman performans değerleri 76
Çizelge 5.24 : Yatay alt sistemlere ait kritik elemanlardaki eğrilik değerleri 78
Çizelge A.1 : Tip 1 kirişlerin pozitif moment etkisindeki kapasite değerleri.....85
Çizelge A.2 : Tip 1 kirişlerin negatif moment etkisindeki kapasite değerleri 86
Çizelge A.3 : Tip 2 kirişlerin pozitif moment etkisindeki kapasite değerleri.....87
Çizelge A.4 : Tip 2 kirişlerin negatif moment etkisindeki kapasite değerleri 88
Çizelge A.5 : Tip 3 kirişlerin pozitif moment etkisindeki kapasite değerleri.....89
Çizelge A.6 : Tip 3 kirişlerin negatif moment etkisindeki kapasite değerleri 90
Çizelge A.7 : Tip 4 kirişlerin pozitif moment etkisindeki kapasite değerleri.....91
Çizelge A.8 : Tip 4 kirişlerin negatif moment etkisindeki kapasite değerleri 92
Çizelge A.9 : Kolonların uzun doğrultudaki kapasite değerleri.....93
Çizelge A.10 : Kolonların kısa doğrultudaki kapasite değerleri.....94

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kapasite eğrisi 7
Şekil 2.2 : DOC3B ile üretilen sonuçların [11]'de varolan verilerle karşılaştırılması10
Şekil 3.1 : Çerçeve ve perdelerin göreli kat öteleme davranışları.....11
Şekil 3.2 : Orta-dikme çubuk modeli 12
Şekil 3.3 : Eşdeğer çerçeve modeli 13
Şekil 3.4 : Eşdeğer kafes sistem modeli 13
Şekil 3.5 : Perde gövdesinin çerçeve dışına alındığı yapısal model.....14
Şekil 3.6 : Perdeye eşdeğer küçük kolonlardan oluşan model.....15
Şekil 3.7 : Perdenin sonlu elemanlara bölündüğü yapısal model.....16
Şekil 4.1 : Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri.....19
Şekil 4.2 : Performans noktasının belirlenmesi ($T_1^{(1)} \geq T_B$).....23
Şekil 4.3 : Performans noktasının belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$).....24
Şekil 5.1 : Yapı elemanlarının kesit görünümleri 30
Şekil 5.2 : Yapının matematiksel modeli.....31
Şekil 5.3 : Kirişlere ait moment-eğrilik diyagramı 32
Şekil 5.4 : Kolonlara ait moment-eğrilik diyagramı.....32
Şekil 5.5 : Alt sistem görünümleri 33
Şekil 5.6 : Yapının maruz kaldığı yükler.....35
Şekil 5.7 : Yapıda meydana gelen yatay ve düşey deplasman değerleri 37
Şekil 5.8 : Yapıda bulunan kiriş elemanların geometrik özellikleri.....38
Şekil 5.9 : Yapıda bulunan kolon ve perde elemanların geometrik özellikleri.....39
Şekil 5.10 : Yapıya ait kat planı 41
Şekil 5.11 : Perdelerin bulunduğu cepheden üç boyutlu görünüm 42
Şekil 5.12 : Yapının matematik modeli 43
Şekil 5.13 : X doğrultusundaki alt sistem görünümleri 44
Şekil 5.14 : Y doğrultusundaki alt sistem görünümleri 45
Şekil 5.15 : Z doğrultusundaki alt sistem görünümleri 46
Şekil 5.16 : Yapı sistemine ait statik yükleme durumu 47
Şekil 5.17 : Yapı sistemine ait yatay yükleme durumu 51
Şekil 5.18 : Yapı sisteminde meydana gelen deplasman değerleri ve burulma.....55
Şekil 5.19 : Tip A'ya ait kat planı.....57
Şekil 5.20 : Tip B'ye ait kat planı.....57
Şekil 5.21 : Tip C'ye ait kat planı.....58
Şekil 5.22 : Güçlendirilmiş kirişlerin kesit görünümleri 58
Şekil 5.23 : Tip A'ya ait itme analizi sonuçları.....59
Şekil 5.24 : Tip B'ye ait itme analizi sonuçları 61
Şekil 5.25 : Tip C'ye ait itme analizi sonuçları 62
Şekil 5.26 : Tip A'ya ait modal yerdeğiştirme istemleri.....64
Şekil 5.27 : Tip B'ye ait modal yerdeğiştirme istemleri 66
Şekil 5.28 : Tip C'ye ait modal yerdeğiştirme istemleri 68
Şekil 5.29 : X doğrultusunda seçilmiş yapı elemanları 70

Şekil 5.30 : Y doğrultusunda seçilmiş yapı elemanları..... 71
Şekil 5.31 : Tip A'ya ait yatay alt sistem kesit eğrilikleri 76
Şekil 5.32 : Tip B'ye ait yatay alt sistem kesit eğrilikleri..... 77
Şekil 5.33 : Tip C'ye ait yatay alt sistem kesit eğrilikleri..... 77

ÜÇ BOYUTLU DÜZENSİZ BİR YAPI SİSTEMİNİN DEPREM PERFORMANSININ İRDELENMESİ

ÖZET

Bu tez kapsamında, üç boyutlu düzensiz bir yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri DOC3B yapı analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. Analizi için tasarlanmış olan yapıda kat planının sadece üst köşe elemanlarında birer perde eleman bulunmaktadır. Bu tip bir perde yerleşim seçimi ile yapı örneğine burulma düzensizliği kazandırılmıştır.

Gerçek yapıyı doğru bir şekilde modellemek, doğru sonuçlar elde edebilmek için oldukça büyük önem taşımaktadır. Bu sebepten ötürü her bir yapı elemanı da hassas bir şekilde modellenmek zorundadır. Modelleme sırasında kirişler ve kolonlar çubuk eleman olarak modellenmektedirler, perdeler ise levha eleman kabul edilirler. Alternatif olarak ise perde elemanlar bazı basitleştirmeler sonucu çeşitli tekniklerle modellenebilmektedirler.

Perdelerin modellenmesi için pek çok metot geliştirilmiştir. En bilinen modelleme metodu, geniş orta dikme kolon modelidir. Rijit kirişler ise, perdenin bulunduğu bölüm boyunca devam eder ve orta kolonun üst ucunda birleşirler. Bir diğer model, geniş orta dikme kolon modeline benzeyen gergili çerçeve modeldir. Orta dikme modelde bulunan elemanlara ek olarak yerleştirilmiş, uçlarında dönme serbestliği olduğu kabul edilen iki çapraz eleman perde alanının bir ucundan diğer ucuna kadar devam ederler. Bir başka modelde ise, perdenin her iki ucuna perde rijitliğinin yarısına sahip iki kolon eleman yerleştirilmesi ve perdenin kaldırılmasından ibarettir. Kolon elemanları üst noktalarından birbirine rijit bir kiriş bağlamaktadır. Bu tez kapsamında gerek perdelerin şekil yapısından ötürü, gerekse çerçeve sistemine uygunluğundan ötürü geniş orta dikme kolon modeli kullanılmıştır.

Yapının modelleme metoduna karar verdikten sonra DOC3B programının sonuçlarının doğruluğu irdelenmiştir. Bunun için, hesap sonuçlarına güvenilen bir paket program, SAP2000 kullanılmıştır. Doğrulama için her iki programda örnekler oluşturulmuş, hem statik hem de dinamik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Oluşturulan örnek modellerden ilki tek katlı tek açıklıklı bir yapı, diğeri ise tez sırasında irdelenen düzensiz perdeli betonarme yapıdır. Statik analizler sonucunda kesit tesir değerleri ve deplasman değerleri, dinamik analizler sonucunda ise modlara ait titreşim periyotları yeter derecede yakın sonuçlar vermiştir.

Program doğrulaması tamamlandıktan sonra yapı sistemi üç ayrı yapı modeli olarak tasarlanmış ve her bir modele sabit tek modlu itme analizi uygulanmıştır. Oluşturulan yapı modelleri, perdeye komşu olan kiriş ve döşemelerin farklı varyasyonlarından oluşmaktadır. Yapı modelleri hem x hem de y doğrultularında itme analizine tabi tutulmuş, simetrik olmayan doğrultularda her iki yönde itme analizi yapılmıştır. İtme analizleri sonucunda perde çevresinde meydana gelen döşeme boşluklarının, kat planındaki düzensizliklerin ve döşeme boşluğunu çevreleyen kirişlerin tasarımının yapıya olan etkileri incelenmiş, sonuçlar irdelenmiştir.

.

SEISMIC PERFORMANCE ANALYSIS OF A THREE DIMENSIONAL IRREGULAR STRUCTURE

SUMMARY

In this M.Sc. thesis, a three dimensional and irregular structure analysed in linear and nonlinear manner by using a developed structural analysing programme DOC3B (Nonlinear analysis of orthogonal three dimensional structural systems). An irregular floor plan which includes two shear wall located at the top corners designed for analysis. Location of the shear walls decided which causes buckling irregularity.

Creating an accurate structural model has a significant importance due to obtain convergent results with real structure. Therefore every member of structure have to be modelled with high accuracy and versatility. Beams and columns can be considered as frame sections nonetheless shear walls should be designed as area sections. Alternatively shear walls can be simplified by making some adjustments so that they can be defined as frame models.

There are lots of methods for modelling shear walls. The well - known method is wide column frame model. It is described as a frame model at the middle surface of the shear wall and two rigid horizontal element connect that frame member from the top point. This method can be desired because of adopting it into developed analysing programmes easily and provide saving time by reducing analysing procedure. On the other hand, this acceptance cause much more rolative errors when comparing to other methods. Users always should be aware of this rolative errors cannot be ignored.

Second method,the braced frame model, have common properties with wide column frame model. In this method, frame also includes horizontally rigid arms and braces, but the central column of the previous frame is omitted and replaced by a column on one vertical edge and a hinged link on the other. The results compare in accuracy with simple rectangular plane stress finite elements [Stafford Smith, Amal Girgis]. The braced frame model is more efficient than the braced wide column and it is also more consistent and accurate. The real issue of this method rigidity of braces.

Third method uses two column which has half of the bending rigidity of shear wall and located at starting and ending points of this element. These two column connected to each other by a beam that has a significant bending rigidity (about infinite). This method uses systems' own nodal points. Therefore it can be used easily at the simplified frame analysing programmes. Disadvantage of this method, locating of colums cause moments return into axial forces at columns. Moreover, obtained bending moments values are lower than true values.

In this thesis wide column method selected for shear wall solutions due to shape of shear wall (**L** shape). Therefore central column turns compatible with the system frames. Furthermore, decreasing alaysing steps provide saving important time. These model the fastest method for solving shear wall problems.

There dimensional structures only defined by using two dimensional sub - systems in DOC3B. DOC3B firstly create rigidity and force matrices of two dimensional sub - systems. Then programme combines these matrixes into three dimensional rigidity and force matrices. Because of defining sub - systems, beams' horizontal and vertical rigidity values; columns and shear walls' every rigidity values at every vertical sub - system defined seperately. Material properties defined at a different file and assigned every member at the sub - systems. These provides user with calculate true capacity behavior during analysis procedure.

After selecting solution method, it is have to shown that DOC3B gives high accurate results with a programme that analysis results are proved. Because of this reason, a worldwide known programme, SAP2000 used in this thesis for comparison. Verifications made on two models that one of a simply frame model and other one is main model used in thesis. Besides two new specifications of DOC3B tested first time at this step. The first specification is defining uniform distributed load on frame elements. The second is set of equations at the direction of 'z'. Moreover second specification also provide that assign loads at any direction.

Firstly, vertical loads assigned frame members of models and a horizontal point load assigned just one point to cause torsion at the simple model. Bending moments, shear and axial forces and nodal points displacements compared after static analysis. These control parameters have nearly same values and displacement values proved occuring of torsion. Free vibration modes compared at the dynamic analysis step. According to analysis results first three mode found as 1.873, 1.368 and 0.502s by using DOC3B and 1.880, 1.372 and 0.505s by using SAP2000. These results proved DOC3B gives accurate results.

After linear analysis and proving DOC3B, nonlinear analysis is made for determining performance capacity of structure. Structural performance is defined by damages of structural members. General acceptance in performance based design provide life safety performance level after earthquakes that has a probability of exceedance of 10%/50 years. Nonlinear push-over analysis apllied to the structural model for determining performance level. Turkish Seismic Code 2007 includes several nonlinear analysis procedures. These are "incremental equivalant earthquake load method", "incremental mode combining method" and "nonlinear time history analysis". Structural model pushed by using "incremental equivalant earthquake load method" in this study due to DOC3B has not coded for changable modes and nonlinear time history analysis yet.

Nonlinear incremental push over analysis can be subjected to structures by using several methods. The simplest push over method is constant single mode push over. Force applied to the structural modal according to dominant mode. Until structure reaches the collapse mode, it is pushed. The other method is flexible single mode push over analysis. This method accepts building modes change after every pushing step. Pushing step increases when a structural member reach its own capacity. Therefore the force vector applied to the structural model has to be calculated at any pushing step.

Because of structural model has irregularity, firstly it should be decided that which direction structural model pushed along. Because of that base shear forces and top displacements compared to each other at both directions (x and y). Comparisons showed, although pushig only one direction is enough at the direction of symmetry, structural model should be pushed at any direction at the non-symmetrical direction.

Three different structural model created by making some changes in floor plan. First model has no changes in floor plan. The second model has floor gaps next to the shear walls. The third model, capacity of beams, which around the floor gaps, increase by using more wide dimensions. Incremental push over analysis performed on every model. After that performance analysis is made for structural elements chosen randomly.

Results showed that floor gaps cause an incremantation at top displacement nevertheless when beam around the gaps changes with much more rigid elements this incrementation can be prevented. Modal capacity diagrams are the proof of this situation. Strains of structural elements have very small values so that when comparing the hazard levels there is no differences between three model. However when comparing the strain values instead of hazard levels, floor gaps cause an incremantation up to 100%. This situation cause beams around the gaps reaches their capacities much more earlier and make shear walls independent members from whole structure. This situation shows that if there are floor gaps, beams around them should be more rigid to prevent torsion and also reaching structure's capacity.

DOC3B, the programme used in this whole study, is still in development process. DOC3B able to cope with lineer and nonlineer analysis, push over analysis and can calculate strain and stress values at any cross - section. This provide user with making performance analysis easier and faster.

The reasons of development of DOC3B is produce a programme that has specifications listed below;

- Capable with nonlinear analysis much more easily
- User friendly
- Local producement
- Can be rival to the other structural analysis programmes.

However DOC3B still have some disadvantages like listed below;

- it is not possible making time domain analysis
- Only three degree of freedom can be defined at nodal points
- Data inputting takes important time and it is highly possible making mistakes.

1. GİRİŞ

Doğrusal analizlerde malzemenin gerilme-şekildeğiştirme bağlantıları doğrusal elastik olarak alınmakta ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır. Ancak dış yükler elastik sınırı aşıp yapının taşıma gücüne yaklaştıkça gerilmeler doğrusal elastik sınırın ötesine geçmekte ve yerdeğiştirmeler gözardı edilemeyecek değerlere ulaşmaktadır.

Yapıların doğrusal elastik olmayan davranışları göz önüne alınarak çok küçük olmayan yerdeğiştirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğu hallerde geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışının daha yakından izlenebilmesi ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve daha ekonomik çözüm üretilebilmesi mümkündür.

Hiperstatiklik derecesi yüksek sistemlerde, yukarıda bahsedilen denge denklemlerine ve geometrik uygunluk koşullarına küçük olmayan yerdeğiştirmelerin etkisinin de dahil edilip elle analiz yapmak ve çözüm üretmek çok fazla miktarda zaman gerektirmektedir. Günümüzde gelişen bilgisayar teknolojisiyle birlikte, elle yapılan bu hesaplar, geliştirilen yazılımlar kullanılarak çok daha kısa sürelerde ve yaklaşık olarak doğru hesaplanabilmektedir. DOC3B programı da bu amaçla geliştirilen yazılımlardan bir tanesi olup Doç. Dr. Ercan Yüksel tarafından yazılmaktadır.

Bu çalışmada, DOC3B programı ile analizler yapılmış ve analiz sonuçları hesap sonuçlarının doğruluğu kanıtlanmış bir program olan SAP2000 ile karşılaştırılmıştır.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Çalışmanın ana amaçları şunlardır:

1. DOC3B programına yeni özellikler katılarak, üç boyutlu yapı sistemlerinin doğrusal elastik olmayan analizlerinin yapılması ve doğrulamaya yönelik çalışmaların yapılması.

2. Düzensiz perdeli betonarme yapıların performans analizlerinin değerlendirimesi ve oluşturulan döşeme boşluklarının yapı elemanları ve sistem üzerindeki etkilerinin incelenmesi.

Bu tez kapsamında, doğrusal olmayan çözümleme yapabilen bir bilgisayar yazılımının geliştirilmesine devam edilmiş ve yazılım sonuçlarının doğruluğu irdelenmiştir. Ayrıca, bu tez kapsamında düzensiz perdeli yapısal modellere sahip çeşitli betonarme yapıların performans analizleri her iki program kullanılarak araştırılmış, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve hesaplanan sonuçların yakınsaklığı irdelenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Smith ve Girgir [2], perde duvarlarda kullanılan sonlu elemanlar yöntemi için alternatif çerçeve modeller üstünde çalışmışlardır. Bu doğrultuda iki adet perde çerçeve model örneği geliştirmişlerdir. Örnek perdeli çerçeve modellerinden biri, çokça kullanılan geniş kolon kabulüne benzemekle birlikte bunlara ek olarak çapraz gergilere sahip oalrak modellenmiş. Diğer perdeli çerçeve model ise yatay doğrultuda rijit kollar ve gergiler içermesinin yanı sıra merkezde bulunan kolon yerine, kenarlara yerleştirilmiş ve mafsallarla bağlantıları gerçekleştirilmiş kolonlar olarak tasarlanmışlardır.

Önerilen her iki perde çerçeve modelin de basit bir yazılımda dahi çalıştırılabildiği, buna ek olarak yeterince yakınsak sonuçlar elde edilebildiği gözlemlenmiş. Her iki çerçeve model arasında karşılaştırma yapıldığında ise, gergili ve rijit kollu çerçeve modelin, gergili geniş kolon çerçeve modeline göre daha iyi sonuçlar verdiği de belirtilmiştir.

Kwan [3], perde duvarlar için sıkça kullanılan geniş kolon kabulünün kesme deformasyonunun fazla olduğu durumlarda hatalı sonuçlar doğurabileceğini belirtmiştir. Bunun nedenini ise modelleme sırasında yapılan iki farklı hatadan kaynaklandığını öne sürmüştür. Bunlardan ilkini düşey doğrultudaki düğüm noktalarının hatalı modellenmesi, diğerinin ise perde duvarlar arasında bulunan bağ kirişlerin yatay rijit kollara ait dönme açılarıyla eş tutulması olarak göstermiştir. Bu hatalar sonucunda, gerçekte olmaması gereken aşırı deformasyonlar ve kayma

deformasyonuna bağlı olarak oluşan kiriş uçlarındaki dönme değerlerinin gerçeğe göre azalmış sonuçlar verdiğine dikkat çekmiştir.

Tespit edilmiş bu problemlerin çözülmesi için iki önlem önermiştir. Bunlardan birincisi, yapay eğrilikten kaynaklı kayma deformasyonlarındaki hatayı telafi etmek için bir alfa kayma deformasyon faktörünün kullanılması, ikincisi ise kiriş uçlarındaki dönme açılarının hatalarını gidermek üzere düşeyde rijit kollu kiriş elemanlar kullanmaktır.

Gerçekleştirilen iki modifikasyon ile hassas ve çok yönlü geniş kolon çerçeve benzeşimi önemli bir biçimde geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda ortaya çıkan bu çerçeve metodunun bütün kesme/çekirdek duvar bileşenleri için geçerli olduğu da önemle belirtilmiştir.

Fahjan ve diğ. [4], yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde perde duvarların doğru modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Bu doğrultuda perde duvarları temsil eden çeşitli malzeme modelleri tasarlamış, hem doğrusal hem de doğrusal olmayan analizlerin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Ayrıca perdelerin başlıklı ve başlıksız olmaları durumu üzerinde de çalışmışlardır. Yapılan artımsal itme analizleri sonucunda tepeyerdeğiştirme - taban kesme kuvveti eğrilerinin incelenen örneklerde 100 mm değerine kadar benzer olduklarını tespit etmişlerdir. Başlıklı ve başlıksız perde duvarlı modellerin ise performans noktalarında meydana gelen plastik mafsal dağılımlarının durumlarının da benzer olduğu belirtilmiştir. 100 mm değerinden sonra ise, modeller arasında taban kesme kuvveti olarak farklılıklar gözlendiği ve bazı modellerin diğerlerine göre daha yüksek değerlere ulaştığına işaret edilmiştir.

Yavuz [5], mevcut bir binanın hem doğrusal yöntemlerle hem de doğrusal olmayan yöntemlerle analiz etmiş, afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik-2006 gereğince performans değerlendirmesini yapmıştır. 1975 yönetmeliğine göre yapılmış olan mevcut yapının bilgi seviyesini ve laboratuvar sonuçlarına dayalı verilerini elde etmiştir. Yeni yönetmeliğe göre varolan yapıyı analiz etmek için, perde elemanları orta çubuk eleman olarak modellenmiş, mevcut yazılımlar ile perdelerde plastik mafsal atamasının zorluğuna dikkat çekilmiş. Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan analizler sonucunda elastik analiz yöntemlerinin programlamaya daha uygun ve hesaplamalar açısından daha pratik olduğu,

yönetmeliği kullanacak olanların da elastik analiz yöntemlerini tercih edeceği öngörüsünde bulunulmuştur.

Korkmaz ve Düzgün [6], yapı performanslarının belirlenmesinde gerçekçi sonuçlar vermesi dolayısıyla kullanılan doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizi ile doğrusal olmayan artımsal itme analiz yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Çalışma kapsamında klasik (dikdörtgen, üçgen ve parabol), uyarlanmış ve enerji esaslı olmak üzere üç farklı artımsal itme analizi ele alınmış, elde edilen sonuçlar zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır.

Klasik artımsal itme analizi değerlerinin zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarına yakın olduğu fakat örtüşmediği, uyarlanmış artımsal itme analizi sonuçlarının daha yakınsak olduğunun gözlemlenmesine rağmen en yakınsak sonuçların enerji esaslı artımsal itme eğrilerinden alındığına işaret etmişlerdir.

Arısoy ve Arel [7], birbirine oturma planı olarak benzer biri çerçevelerden diğeri perde çerçevelerden oluşan iki ayrı binanın hem doğrusal hem de doğrusal olmayan performans analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Geniş kolon modeli ile temsil edilen perdelerin sistemin yatay yük taşıma kapasitesine önemli katkısı olduğu görülmüştür. Artımsal itme analizleri sonucunda plastik mafsal değerlerinin çerçeve sistemdeki kolonların alt uçlarında oluştuğu, kirişlerde ise neredeyse bütün sisteme yayıldığı gözlemlenmiş, perçe çerçeve sistemlerde ise perdeye yük aktaran kirişlerin önemli plastikleşmelere maruz kaldığının görüldüğüne dikkat çekilmiştir.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik içerisinde bulunan doğrusal elastik hesap yöntemi ve doğrusal olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen yapı performans seviyelerinin burulma düzensizliği olmayan ve tek bir titreşim modu ile deprem davranışı temsil edilebilen yapılarda aynı sonuçlar verdiği tespit edilmiş. Fakat sistem düzensizliği olan yapılarda yöntemlerin uygulanabilirliğinin irdelenmesi gerektiğinin altı çizilmiştir.

Habibi ve Moharrami [8], iki açıklıklı 3 katlı ve iki açıklıklı on katlı yapı örnekleri kullanarak literatürde araştırma sayısının çok az bulunduğunu belirttikleri hassasiyeti yüksek doğrusal olmayan analiz üstünde çalışmışlardır. Bu doğrultuda inceledikleri örneklerde hem geometri hem de doğrusal olmayan malzeme özelliklerini hesaplarına katmışlardır. Üzerinde çalıştıkları analiz tekniği ile sonlu elemanlat

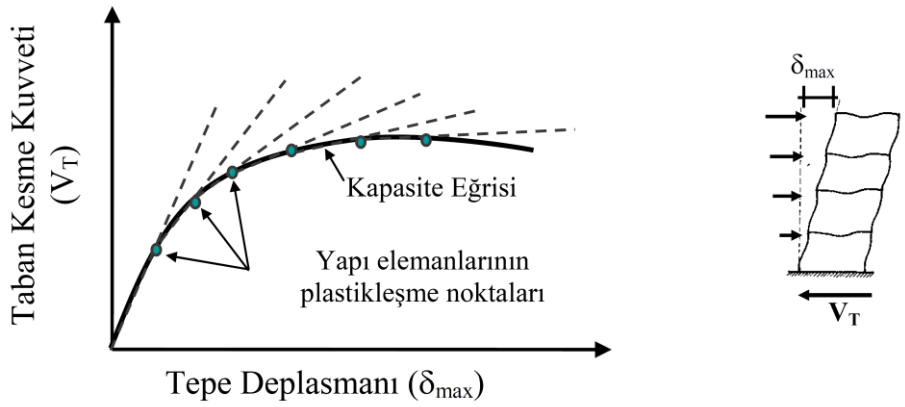
metoduna göre daha az analiz koşturma süresi ve sonlu elemanlar metodunun yarattığı zorluklarla karşılaşılmaması için çalışmışlardır.

Elde edilen sayısal sonuç verileri, P-Delta etkisinin düşünüldüğü hesaplarla P-Delta etkisinin ihmal edildiği hesaplar arasında hesap hassasiyetleri açısından ciddi farklar bulunmakta olduğunu göstermiştir. Ayrıca, sonlu elemanlar metoduyla doğru sonuçlara ulaşabilmek için farklı ve yeter derecede pertürbasyon değerleri kullanmak gerekmektedir. Bu değerler pek çok durumda hatalı sonuçlar vermekte bundan ötürü sonlu elemanlar metodu ile hassas sonuçlar elde edebilmek adına adı geçen değerlerin tanımlanması ayrı olarak üstünde durulması gereken bir meseledir. Tüm bu durumlara ek olarak sistemin bütününde ya da belli bir bölgesinde oluşan stabilite bozuklukların da hataları daha da pekiştirdiği görülmüştür.

2. KAPASİTE EĞRİSİNİN ELDE EDİLMESİ

2.1 Kapasite Eğrisinin Tanımı

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki temel parametresi deprem istemi ve kapasitedir. Deprem istemi yapıya etkiyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir. Yapısal kapasite, statik itme veya kapasite eğrisi ile temsil edilir. Bu eğri, genellikle taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi arasındaki bağıntı çizilerek elde edilmektedir. Kapasite eğrisinin elde edilmesi için, yapı sistemi sabit düsey yükler ve orantılı olarak artan yatay kuvvetler altında, taşıma kapasitesinin sona erdiği limit duruma kadar hesaplanır. Doğrusal olmayan statik yöntemin esas amacı, verilen bir deprem etkisi altında sistemde oluşan maksimum yerdeğiştirmelere ve özellikle maksimum plastik şekildeğiştirmelere ilişkin deprem isteminin belirlenmesi, daha sonra bu istem değerlerinin, seçilen performans düzeyleri için tanımlanan şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılması ve böylece yapısal performansın değerlendirilmesidir [9], (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Kapasite eğrisi.

2.2 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

DBYBHY 2007 [4 ve 6]'de artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde *sabit* kaldığı varsayımı yapılabileceği önerilmektedir. Bu durumda yük dağılımı, analizin

başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanacaktır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme gözönüne alınacaktır. Yukarıda belirtilen sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları "*tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti*" olan *itme eğrisi* elde edilecektir. Artımsal itme analizi uygulanırken aşağıdaki varsayımlar kabul edilmektedir.

a) Mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modeli esas alınmıştır.

b) İdealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır.

c) Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesi'nin uzunluğu (Lp), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınacaktır (Lp = 0.5 h). Hw / ℓw $\leq$ 2.0 olan perdelerde, eğilme etkisi altında plastik şekildeğiştirmeler gözönüne alınmayacaktır.

d) Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekildeğiştirme yapan elemanların plastik şekildeğiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır.

e) Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir Betonarme perdelerde, plastik kesitlerin her katta perde kesiminin alt ucuna konulmasına izin verilebilir.

f) İç kuvvet - plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir

g) Betonarme elemanlarda daha gerçekçi olması sebebiyle çatlamış kesit eğilme rijitlikleri kabul edilir.

h) Kolonlarda plastik mafsal kesitlerinin güç tükenmesi çizgileri mevcut malzeme dayanımları kullanılarak belirlenir.

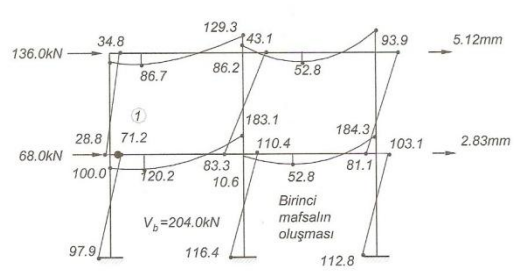
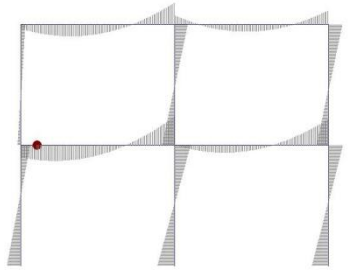
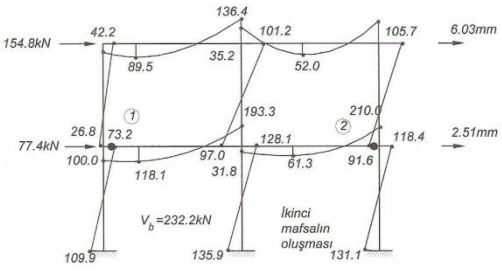
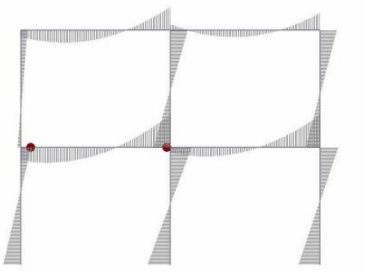
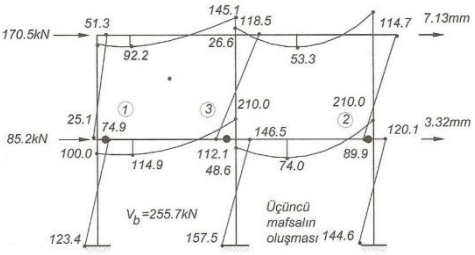
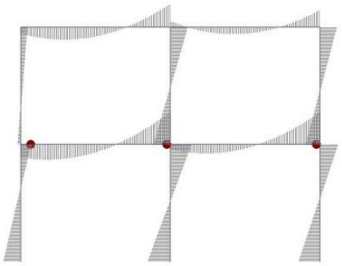
i) Tablalı kiriş kesitlerinde, tabladaki beton ve donatının kesit kapasitesine katkısı dikkate alınır.

Bu tez çalışması sırasında malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan davranış yayılı şekildeğiştirme durumu esas alınarak temsil edilmiştir. Bu sebepten ötürü yukarıda belirtilen a, c, e, g maddelerinde belirtilen varsayımlar bu çalışma kapsamında geçerli değildir.

2.2.1 Yayılı şekildeğiştirme varsayımı

Bu yöntem; şekildeğiştirmelerin belirli bir kesitte toplanması prensibinin yerine tüm çubuk boyunca yayılı olması esasına dayanır. Eleman belirli sayıda dilime bölünerek oluşan her bir dilimin bünye bağıntısından yola çıkılarak rijitlik matrisleri elde edilir. Bu varsayımda, kirişler için eğilme momenti kolonlar için ise hem eğilme momenti hem de normal kuvvet durumları göz önüne alınır. Aşağıda yayılı şekildeğiştirme yaklaşımına göre çözüm yapan DOC3B programının ürettiği sonuçlar [10] ile Celep [11] tarafından plastik şekildeğiştirme varsayımına uygun olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır, (Şekil 2.2).

Her iki yaklaşım ile elde edilen eğilme momenti diyagramlarının ve plastik kesit yayılımlarının benzer olduğu gözlemlenmektedir.

Adım	Plastik Mafsal Teorisi İle Çözüm	Yayılı Şekildeğiştirme Durumu İçin Çözüm DOC3B
1		
2		
3		

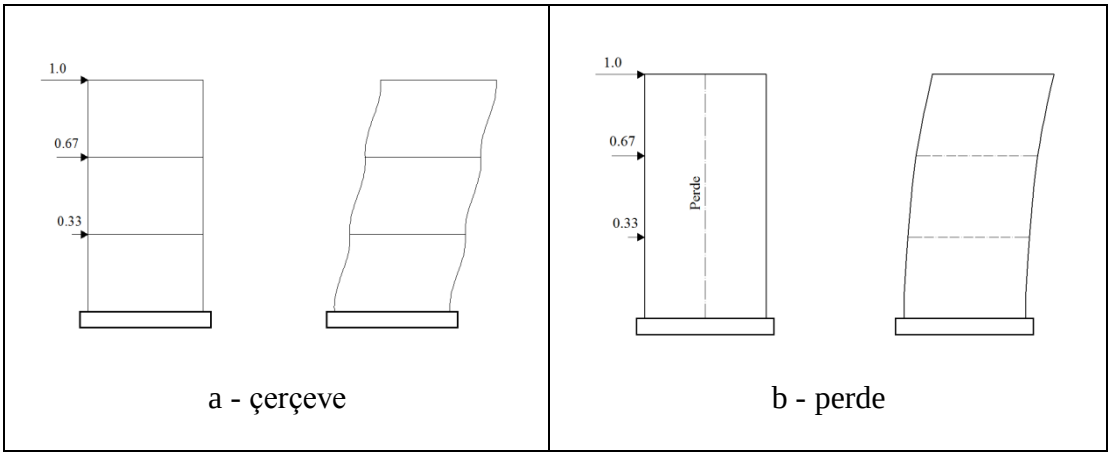
Şekil 2.2 : DOC3B ile üretilen sonuçların [11]'de var olan verilerle karşılaştırılması.

3. PERDELİ SİSTEMLERDE YAPISAL MODELLEME

3.1 Perdeli - Çerçeve Etkileşimi

Deprem ve rüzgar gibi yatay yük etkilerine maruz kalan çok katlı yapı sistemlerinde betonarme perde duvarlar yaygın olarak kullanılırlar. Büyük oranda kesme kuvveti taşıyan bu elemanlar yapısal analiz sonuçlarını önemli ölçüde etkilediği için, perde duvarların doğru bir şekilde modellenmesi bina türü yapıların doğrusal olmayan analizleri için büyük önem taşımaktadır.

Yapısal mühendislik uygulamalarında, çerçeve türü taşıyıcı sistemler için (kolon, kiriş) doğrusal olmayan analiz yöntemleri geliştirilmiş olmasına rağmen perde elemanlar için önemli bir sorun bulunmaktadır. Yatay yük taşıyan bu elemanlar, göreli kat ötelemeleri, üst katlara gittikçe artan eğilme tipi davranış içindedirler. Oysa, birlikte çalışacakları çerçevelerde durum tam tersidir; çerçeveler alt katlarındaki göreli kat ötelemeleri, üst katlardakinden daha büyük olan kayma tipi davranış içindedirler. (Şekil 3.1)



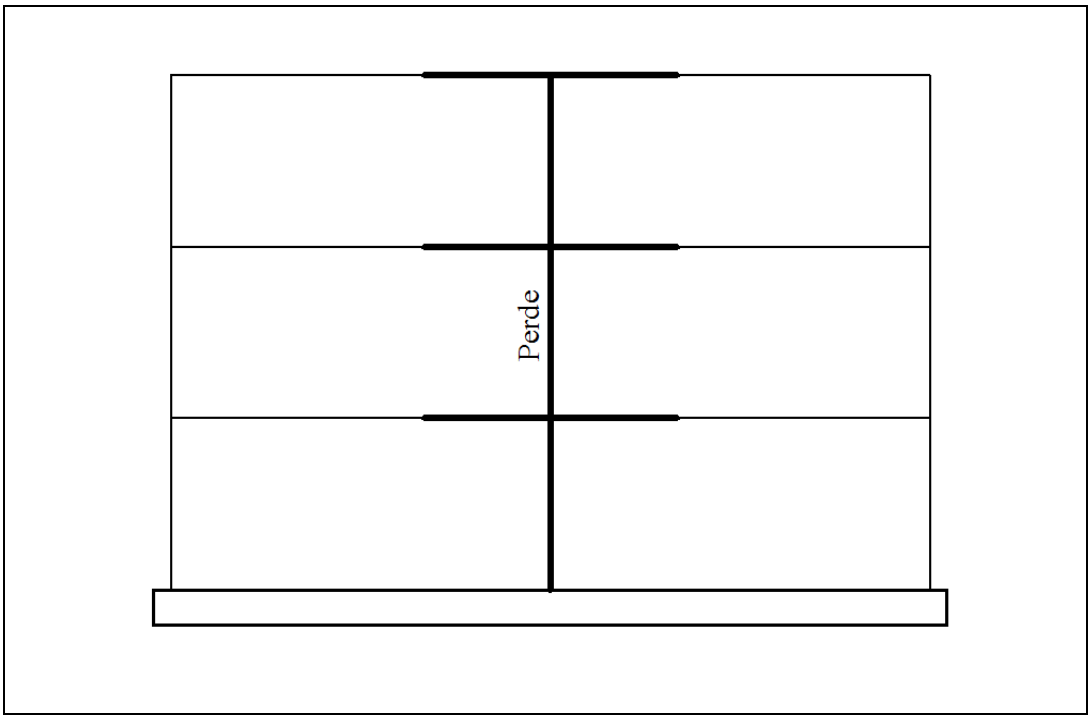
Şekil 3.1: Çerçeve ve perdelerin göreli kat öteleme davranışları

Sonuç olarak, yatay yükler etkisindeki perde - çerçeve sistemlerde, iç kuvvetler dağılımlarına yeter doğrulukta ulaşılabilmesi için sistem davranışını yansıtabilecek yapısal modeller üzerinde gerçekleştirilecek doğrusal ve doğrusal olmayan çözümlere bağlıdır.

3.2 Perde Elemanlar için Yapısal Modeller

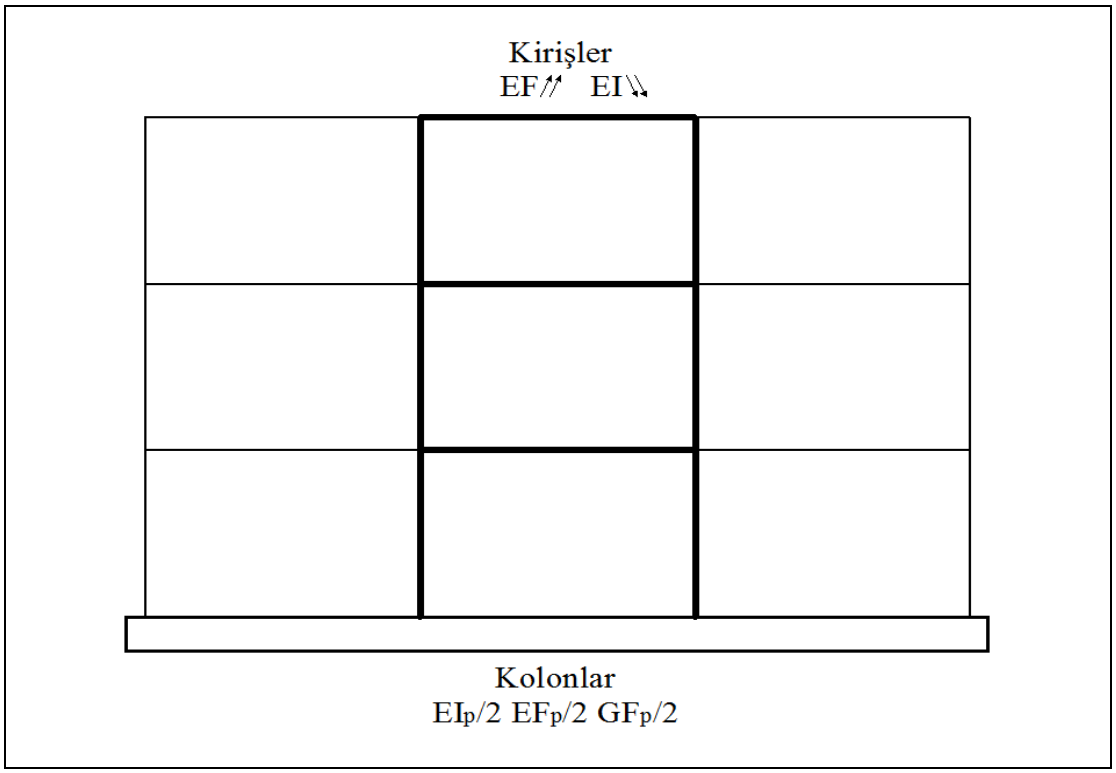
Perdelerin kolonlara göre daha büyük geometriye ve rijitliklere sahip olmaları yapısal modellemede ve sayısal çözümlemelerde güçlükler çıkarabilmektedir. Bundan ötürü perde elemanlar için, sonuçların mühendislik amaçlarına yeterli yaklaşımı sağlamasını mümkün kılmak için çeşitli yapısal modellemeler yapılmıştır.

Bu modellemelerden bir tanesi orta-dikme çubuk modelidir. Bu modelde perde, kendi ekseninde yer alan ve perdenin kesit rijitliklerine sahip bir çubuk eleman ile temsil edilir. Perdenin çerçeve ile olan bağlantıları ise sanal rijit kiriş parçalarından yararlanılarak gerçekleştirilir. Bu modelin görsel hali ise Şekil 3.2'de görülebilir.



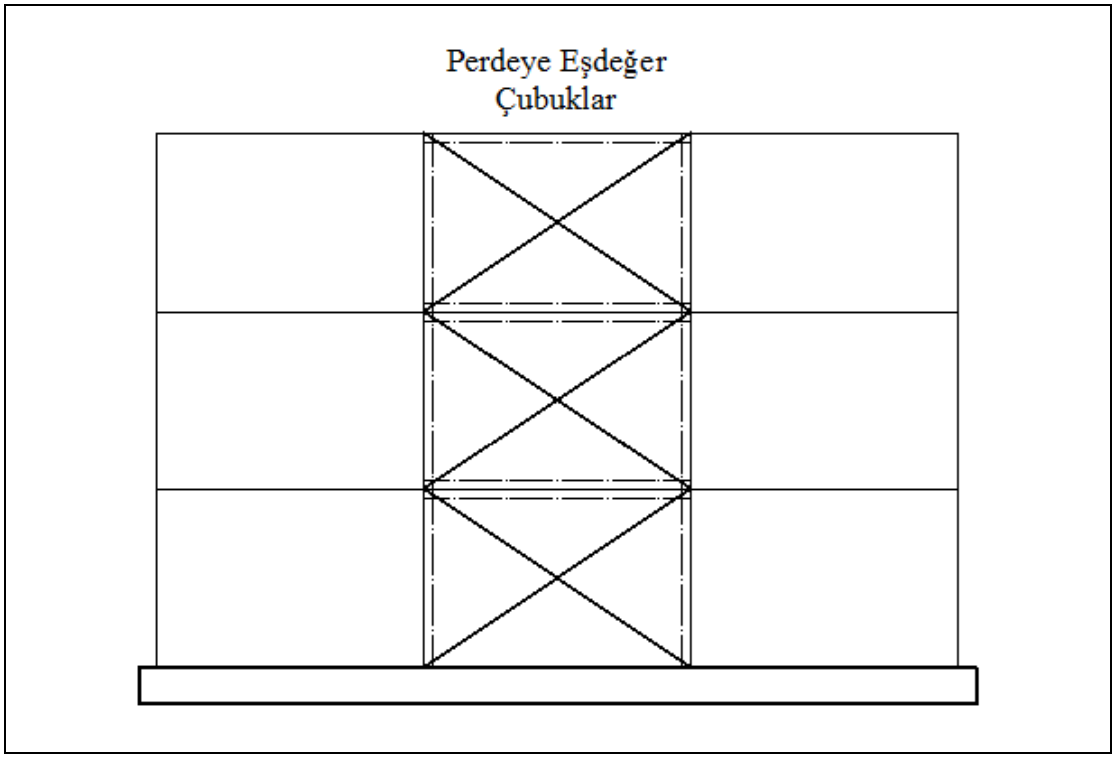
Şekil 3.2: Orta-dikme çubuk modeli.

Başka bir yapısal model ise; perdenin kendisini, onun eşdeğeri olan bir çerçeve ile yer değiştirmektir. (Şekil 3.3) Bu simetrik çerçevenin sanal kolonları perde eğilme, kayma ve eksenel şekildeğiştirmelerinin yarılarına sahip olurken, sanal kirişlerin eğilme rijitliklerinin küçük, buna karşılık eksenel rijitliklerinin ise büyük alınması öngörülmektedir. Böylelikle kolonlar, perdenin uzama ve kısalma özelliğini temsil edecek, kiriş kısalmadığı için kolon uçları perdede olduğu gibi aynı yatay yer değiştirmeyi yaparken eğilme rijitliği az tutulan kiriş de perdenin dönme karakterini yansıtacaktır.



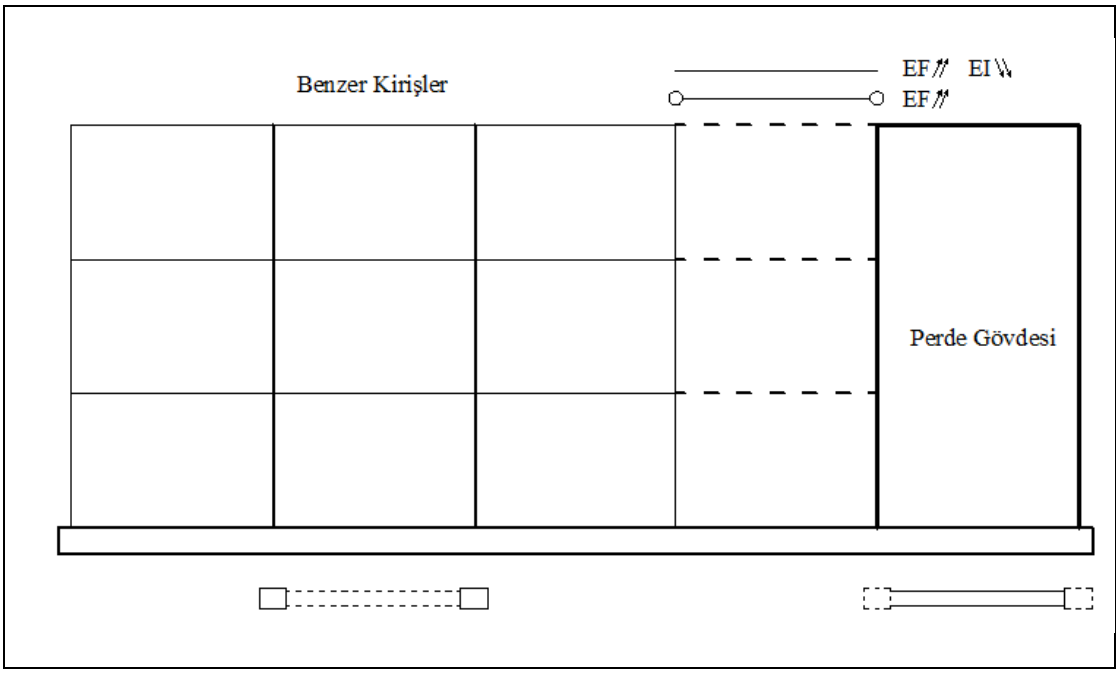
Şekil 3.3: Eşdeğer Çerçeve modeli.

Uygulanabilecek bir başka yapısal modelde ise, yüzeysel bir taşıyıcı olan perde, yaklaşık olarak eşdeğer mafsallı çubuklarla yerdeğiştirmekte, yani yerini Şekil 3.4'de görüldüğü gibi sanal bir kafese bırakmaktadır.



Şekil 3.4: Eşdeğer kafes sistem modeli.

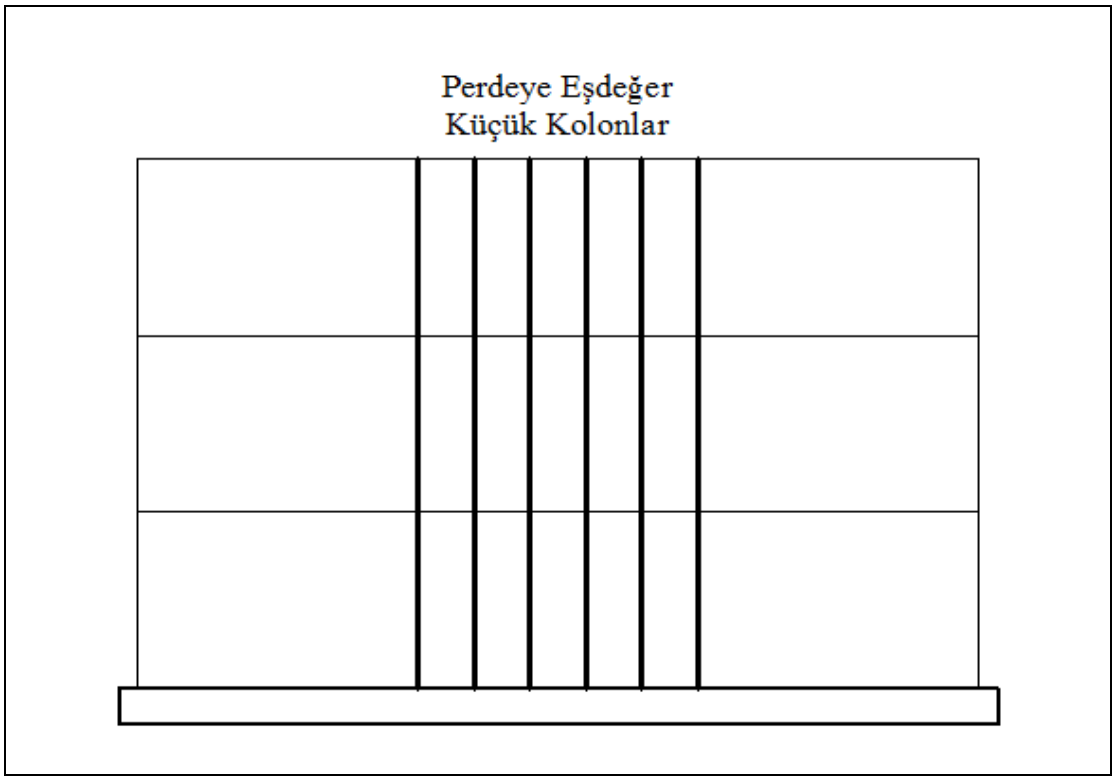
Şekil 3.5'te ise perdenin gövdesi ayrı bir eleman olarak çerçeve dışına taşınırken perde, başlıklarının kolon olarak gözönüne alındığı sanal bir çerçeve modelde yerini korumaktadır. Bu çerçevenin sanal kirişleri için çeşitli önerilerde bulunulabilecektir; bunlar Şekil 3.3'deki gibi eğilme rijitliği çok düşük olup buna karşı uzama ve kısalma rijitliği yüksek kirişler veya Şekil 3.4'deki mafsallı kiriş elemanlar olabilir.



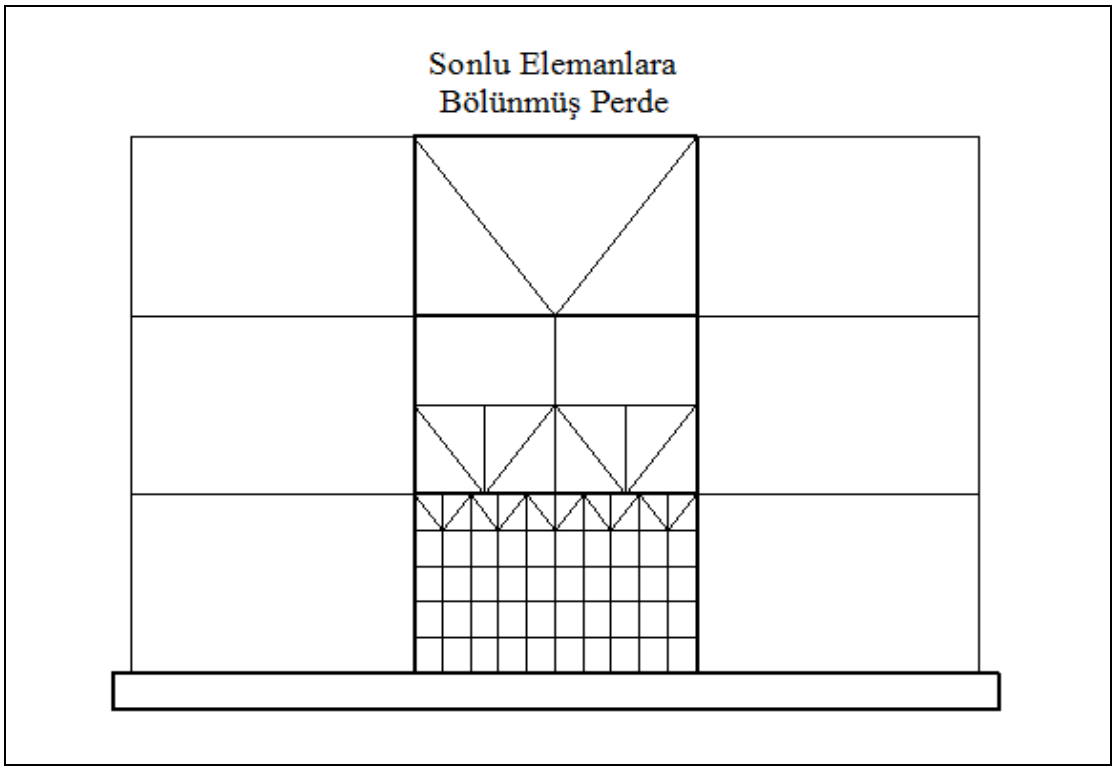
Şekil 3.5: Perde gövdesinin çerçeve dışına alındığı yapısal model.

Bir başka yapısal modelleme tekniğinde ise perde, toplam eğilme, kayma ve eksenel rijitlikleri perdenin karşılık gelen rijitliklerine eşit, çok sayıda parçaya bölünmektedir. Şekil 3.6'da de görülen yapısal modeldeki küçük kolonların uçları da, yine aynı yatay yer değiştirmeyi yapacak şekilde birbirlerine bağlanacaklardır.

Perdenin sistem ortamında alınmış üçgen ve dikdörtgen levha sonlu elemanlara bölündüğü bir yapısal model ise Şekil 3.7'de bulunmaktadır. Bu modelde perde, farklı serbestlik dereceleri bulunan çeşitli levha elemanlar, kabuk elemanlar, liflerine ayrılabilen kabuk elemanlar veya bazı yazılımlarda kullanıldığı adlarıyla panel elemanlar (SAP2000 gibi) ile temsil edilmektedirler.



Şekil 3.6: Perdeye eşdeğer küçük kolonlardan oluşan model.



Şekil 3.7: Perdenin sonlu elemanlara bölündüğü yapısal model.

Modellemeyi gerçekleştirecek yapı mühendisinin dikkat etmesi gereken şey, yukarıda yer alan veya başka modeller arasında seçim kararı verirken amacın ve hesaplama olanaklarının gözden geçirmektir. Yapılan kabullerin tartışmaya açık oldukları da unutulmamalıdır.

Dolayısıyla, yapısal model seçiminde yapının önemi, yüklerin statik ya da dinamik oluşu ile hesabın doğrusal ya da doğrusal olmayışı, kararı etkileyecektir.

4. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLERLE YAPISAL PERFORMANSIN BELİRLENMESİ

4.1 Giriş

Şekildeğiştirme ve yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletlerinin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletlerinin California eyaletinde, 1989 Lolma Prieta ve 1994 Northrigde depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır.

Bu gereksinimi karşılamaya yönelik olarak, Applied Technology Council (ATC) tarafından *Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings* - ATC 40, Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings* - FEMA 273, 274 raporları ve American Society of Civil Engineers (ASCE) tarafından FEMA 356 ön standardı hazırlanmıştır. Yürütülen araştırmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi başlatılmış ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 raporu yayınlanmıştır. Bu araştırma ve çalışmaların sonuçları ASCE tarafından hazırlanan ASCE 41-06 standardında yer almıştır.

Ülkemizde, özellikle 1999 Adapazarı - Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesini ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesini amaçlayan pratik uygulamalara hız verilmiştir. Ancak o tarihlerde, diğer bir çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine yönelik bir yönetmeliğin henüz mevcut olmaması nedeniyle, bu uygulamaların önemli bir

bölümü yeni yapılacak yapılar için geçerli olan yönetmelik (1998 Türk Deprem Yönetmeliği) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu durumun oluşturduğu sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla, 2003 yılından başlayarak, deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin de güncelleştirilmesi çalışmaları yürütülerek tamamlanmıştır.

Aşağıdaki bölümlerde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 07) içerisinde bulunan *Mevcut Binaların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesi* ile *Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri* ' ne (Bölüm 7) ile ilgili temel ilke ve uygulamalara aktarılacaktır.

4.2 Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesinde 2007 Türk Deprem Yönetmeliği Yaklaşımı

Deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilecek tüm binalar ile bina türündeki yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarının alınmasında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar veren binaların güçlendirme tasarımı ilkeleri DBYBHY 2007 Bölüm 7'den elde edilebilir.

Aşağıdaki bölümlerde ise, hesap kuralları ile betonarme binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi ile ilgili kısa bilgiler anlatılacaktır.

4.2.1 Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri

Binaların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesi iki kritere göre gerçekleştirilir. Bu değerlendirmeleren biri; doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme bazlı değerlendirmenin esas alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemdir. Bu yöntemde, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı konrol edilmektedir.

Hangi yaklaşımın kullanıldığına bakılmaksızın bütün yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri tanımlanmıştır.

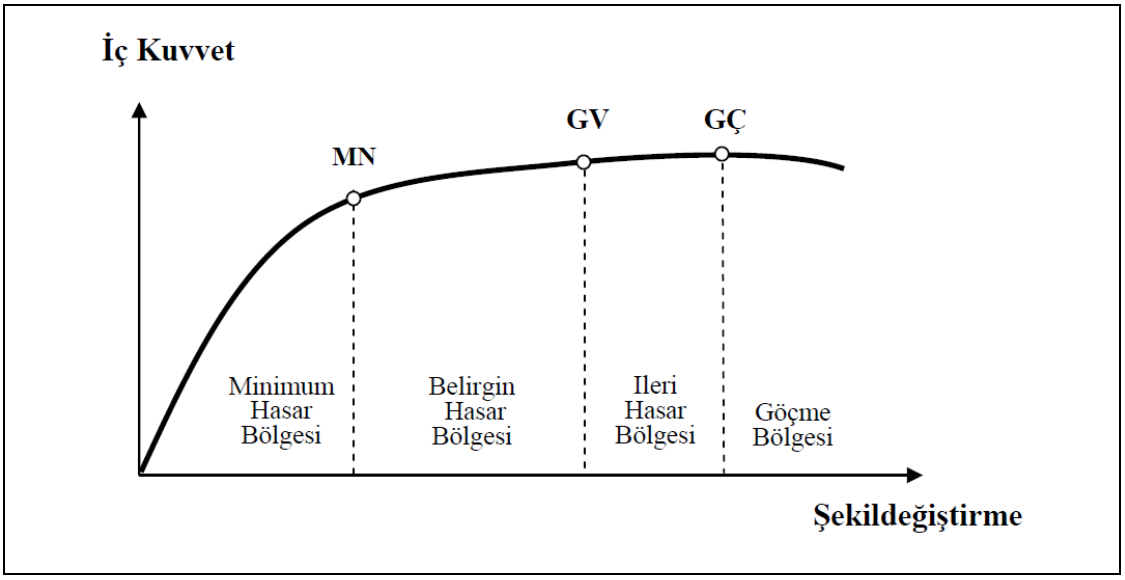
4.2.1.1 Kesit hasar sınırları

Yapı elemanları için kesit düzeyinde üç adet sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvenlik Sınırı* (GV), ve *Göçme Sınırı*'dır (GÇ). Minimum hasar sınırı kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışını tanımlamaktadır.

Eksenel basınç ve kesme gibi etkiler altında kapasitene ulaşan gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışa izin verilmemektedir.

4.2.1.2 Kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitleri MN'ye ulaşmayan elemanlar *minimum hasar* bölgesinde, MN ile GV arasında kalan elemanlar *belirgin hasar* bölgesinde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar *ileri hasar* bölgesinde, GÇ'yi aşan elemanlar ise *göçme* bölgesinde kabul edilirler, Şekil 4.1.



Şekil 4.1: Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri.

4.2.1.3 Kesit ve eleman hasarı tanımları

Yapı elemanlarında hesaplanan iç kuvvetleri ve/veya şekildeğiştirmelerin, yukarıda tanımlanan sınır durumlara karşı gelen sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucunda kesitlerin hasar bölgelerine karar verilir.

Eleman hasarı ise, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenir.

4.2.1.4 Binaların deprem performansı

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarın durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. Bunlar;

- Hemen kullanım performans düzeyi
- Can güvenliği performans düzeyi
- Göçme öncesi performans düzeyi
- Göçme durumu

Performans düzeyleri ile ilgili bilgiler ve performans hedefleri ile ilgili ayrıntılar DBYBHY 2007 Bölüm 7'de bulunmaktadır.

4.2.2 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekildeğiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, şekildeğiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılır.

DBYBHY 2007 kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi*'dir.

Burada sadece Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi hakkında bilgi verilecektir.

4.2.2.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde, hakim titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisinde doğrusal olmayan statik analiz yapılmaktadır. Yöntemin uygulanabilme şartları aşağıda sıralanmıştır.

- Bina kat adedi bodrum kat hariç 8'i aşmamalıdır.

- Herhangi bir katta ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} < 1.4 koşulunu sağlamalıdır.
- 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 olmalıdır.

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde yapısal kapasite, koordinatları "*tepe yerdeğiştirmesi - taban kesme kuvveti* " olan *itme eğrisi* ile temsil edilir. Tepe yerdeğiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, gözönüne alınan x deprem doğrultusunda her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır.

İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile, koordinatları "*modal yerdeğiştirme - modal ivme*" olan *modal kapasite diyagramı* aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

a) (i) 'inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal ivme $a_1^{(i)}$ aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Burada $V_{x1}^{(i)}$ x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci (hakim) moda ait taban kesme kuvvetini, M_{x1} x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütleyi göstermektedir.

$$M_{x1} = \frac{L_{x1}^2}{M_1} = \frac{\left(\sum_{j=1}^{N} m_j \phi_{xj1}\right)^2}{\left(\sum_{j=1}^{N} m_j \phi_{xj1}^2\right)} \qquad \textbf{(4.2)}$$

b) (i)'inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal yerdeğiştirme $d_1^{(i)}$ 'nin hesabı için ise, aşağıdaki bağıntıdan yararlanılabilir:

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1}\Gamma_{x1}} \quad \textbf{(4.3)}$$

Burada, $u_{xN1}^{(i)}$ binanın tepesinde (N 'inci katında) x deprem doğrultusunda (i) 'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci (hakim) moda ait yerdeğiştirmeyi, Φ_{xN1} binanın tepesinde X deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliğini göstermektedir. Birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1} ise, x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımındaki doğrusal elastik davranışı için tanımlanan L_{x1} ve M_1 'den yararlanılarak aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad \textbf{(4.4)}$$

İtme analizi sonucunda yukarıda açıklandığı şekilde elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte, elastik davranış spektrumu gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yerdeğiştirme, diğer deyişle *modal yerdeğiştirme istemi* hesaplanır. Tanım olarak modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, *doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme* S_{di1} 'e eşittir:

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad \textbf{(4.5)}$$

Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen *doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme* S_{de1} 'e bağlı olarak Denklem (4.6) ile elde edilir:

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad \textbf{(4.6)}$$

Doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik sğektral ivme S_{ae1} 'den hesaplanır.

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{\left(\omega_1^{(1)}\right)^2} \quad \textbf{(4.7)}$$

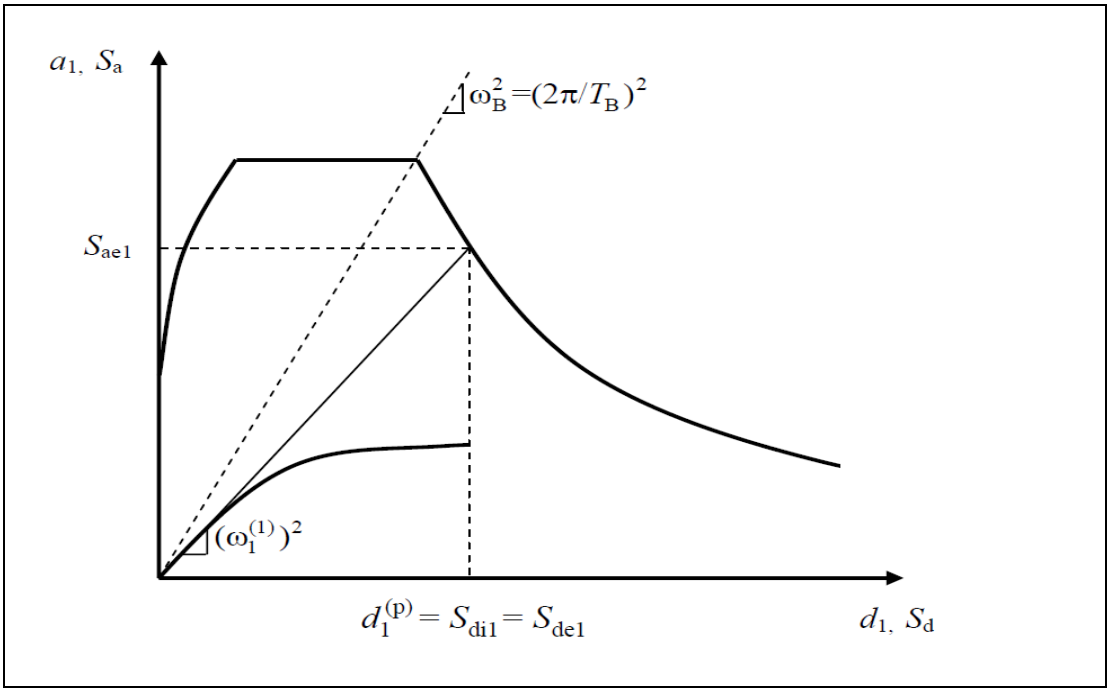
Denklem (4.6) 'da yer alan *spektral yerdeğiştirme oranı* C_{R1} , başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$'in değerine $\left(T_1^{(1)} = 2\pi/\omega_1^{(1)}\right)$ bağlı olarak aşağıdaki şekilde belirlenir.

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki *karakteristik periyod* T_B'ye eşit veya daha uzun olması durumunda $\left(T_1^{(1)} \geq T_B \; veya \; (\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2\right)$, doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1}, *eşit yerdeğiştirme kuralı* uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan *eşlenik doğrusal elastik sistem* 'e ait *doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme* S_{de1}'e eşit alınacaktır. Buna göre denklem (4.6) ' daki *spektral yerdeğiştirme oranı:*

$$C_{R1} = 1 \tag{4.8}$$

değerini almaktadır.

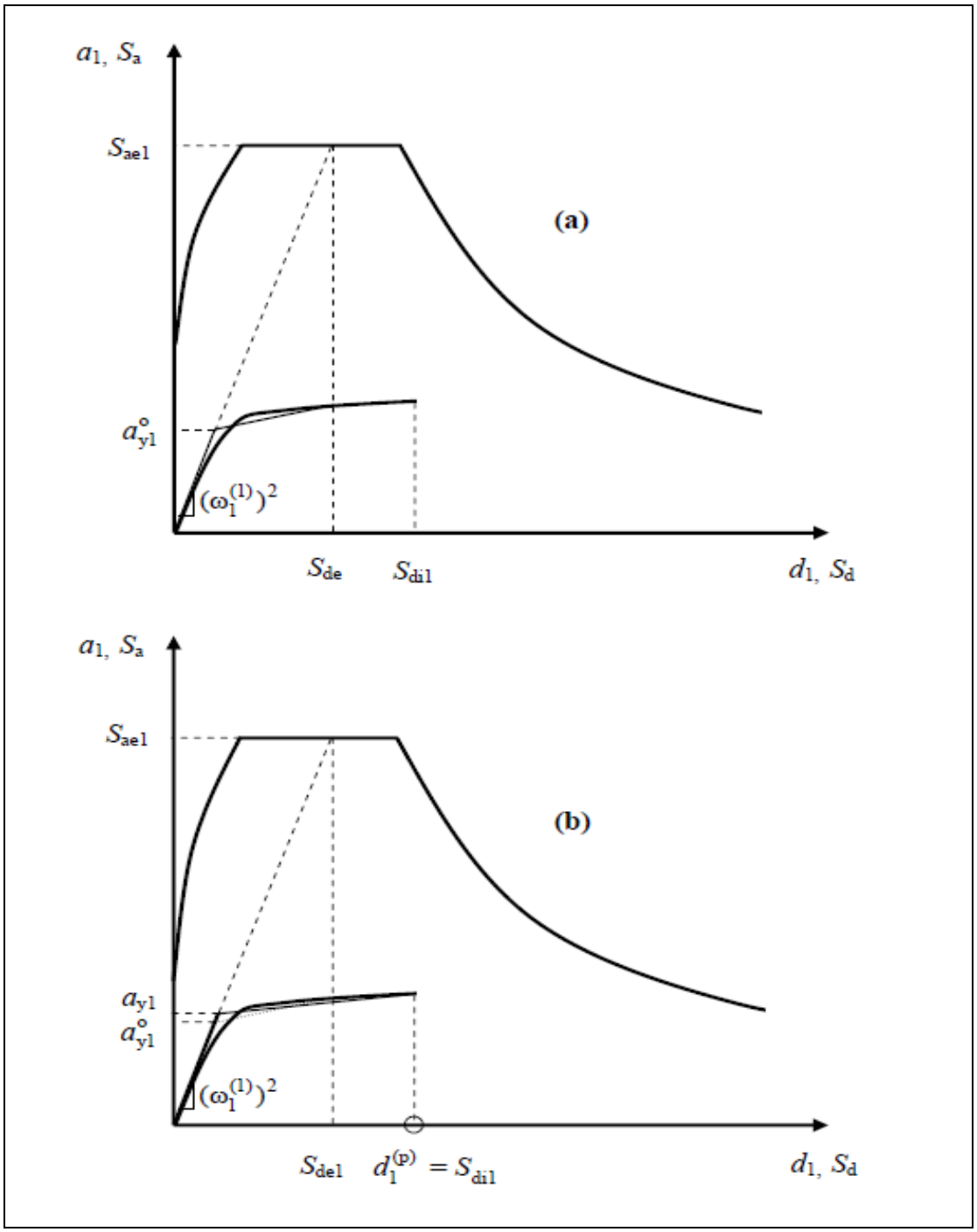
Şekil 4.2 'de ve onu izleyen Şekil 4.3'de birinci (hakim) titreşim moduna ait ve koordinatları (d_1, a_1) olan *modal kapasite diyagramı* ile koordinatları *"spektral yerdeğiştirme* (S_d) - *spektral ivme* (S_a)*"* olan davranış spektrumu birarada çizilmiştir.



Şekil 4.2: Performans noktasının belirlenmesi $(\boldsymbol{T_1^{(1)} \geq T_B})$.

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki *karakteristik periyod* T_B'den daha kısa olması durumunda $\left(T_1^{(1)} < T_B \; veya \; (\omega_1^{(1)})^2 > \omega_B^2\right)$ ise, denklem (4.6) 'daki *spektral yerdeğiştirme oranı* C_{R1}, ardışık yaklaşımla aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:

a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 4.3(a)'da gösterildiği üzere, yaklaşık olarak iki doğrulu bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki (i=1) doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere $(\omega_1^{(1)})^2$, eşit alınır.



Şekil 4.3: Performans noktasının belirlenmesi ($\boldsymbol{T_1^{(1)} \leq T_B}$).

b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ kabulü yapılarak , diğer deyişle denklem (4.8) kullanılarak *eşdeğer akma noktası*'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 4.3(a)'da görülen a_{y1}^{0} esas alınarak C_{R1} aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \qquad \textbf{(4.9)}$$

Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait *dayanım azaltma katsayısı*'nı göstermektedir:

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \qquad \textbf{(4.10)}$$

c) Denklem (4.6)'ya göre hesaplanan S_{di1} esas alınarak *eşdeğer akma noktası*'nın koordinatları, Şekil 4.3(b)'de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.

Son itme adımı i = p için denklem (4.5)'e göre belirlenen modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$'nin denklem (4.3)'te yerine konulması ile, x deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir:

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \qquad \textbf{(4.11)}$$

Buna karşı gelen diğer tüm istem büyüklükleri (yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ve iç kuvvet istemleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilir veya tepe yerdeğiştirmesi istemine ulaşıncaya kadar yapılacak yeni bir itme analizi ile hesaplanır.

4.2.2.2 Birim şekildeğiştirme isteminin belirlenmesi

İtme analizi sonucunda herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik mafsal dönmesine bağlı olarak *plastik eğrilik istemi,* aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \qquad \textbf{(4.12)}$$

Beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak elde edilen iki doğrulu eğilme momenti-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y *eşdeğer akma eğriliği*, yukarıda tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki ϕ_t *toplam eğrilik istemi* elde edilir:

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \qquad \textbf{(4.13)}$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekildeğiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi, yukarıda tanımlanan toplam eğrilik istemine göre, ilgili kesitte verilen beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak elde edilen eğilme momenti-eğrilik ilişkisinden hesaplanır.

Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit bazında taşıyıcı sistem performansı belirlenir.

4.2.2.3 Betonarme elemanlarının kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri

Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, performans düzeylerine göre izin verilen şekildeğiştirme sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır:

a) *Minimum Hasar Sınırı* (MN) için beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0.010 \qquad \textbf{(4.14)}$$

b) *Kesit Güvenlik Sınırı* (GV) için beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi için üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cg})_{CG} = 0.0035 + 0.01(\rho_s / \rho_{sm}) \le 0.0135 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.010 \qquad \textbf{(4.15)}$$

c) *Kesit Göçme Sınırı* (GÇ) için beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014(\rho_s / \rho_{sm}) \le 0.018 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.060 \qquad \textbf{(4.16)}$$

Yukarıdaki bağıntılarda ε_{cg} etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki, ε_{cu} ise kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesini göstermektedir. ε_s donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme, ρ_s kesitte mevcut bulunan ve sargı etkisi

sağlayabilen (135^o kancalı) enine donatının hacımsal oranı, ρ_{sm} ise kesitte bulunması gereken enine donatının hacımsal oranıdır.

4.2.2.4 Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarda performans düzeylerine göre izin verilen iç kuvvet kapasiteleri de ayrıca kontrol edilmelidir.

5. SAYISAL ÖRNEKLER

5.1 Üç Boyutlu Tek Katlı Çerçeve Modelinin Analizi

Tek kattan meydana gelen betonarme çerçeve modelin analizi, doğrusal olmayan teoriye göre hesap yapabilen DOC3B programı ile gerçekleştirilerek sonuçları SAP2000 programı ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları hem statik yüklerden meydana gelen yer değiştirmeler ve iç kuvvetler için, hem de itme analizi sonucu ortaya çıkan tepe yer değiştirmesi - taban kesme kuvveti için yapılmıştır.

5.1.1 Yapı sisteminin özellikleri

Betonarme çerçeve modelimiz, her iki doğrultuda da tek bir açıklıktan meydana gelmekte olup her bir açıklık değeri 6 m.dir. Hesaplar kullanılan beton sınıfı C25, 28 günlük Elastisite Modulü Değeri 28000000 kPa alınmıştır. Modelin kat yüksekliği 4 m. olup taşıyıcı sistem sadece kolon ve kiriş elemanlardan meydana gelmiştir. Her bir elemana ait geometik özellikler Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2 de gösterilmiştir.

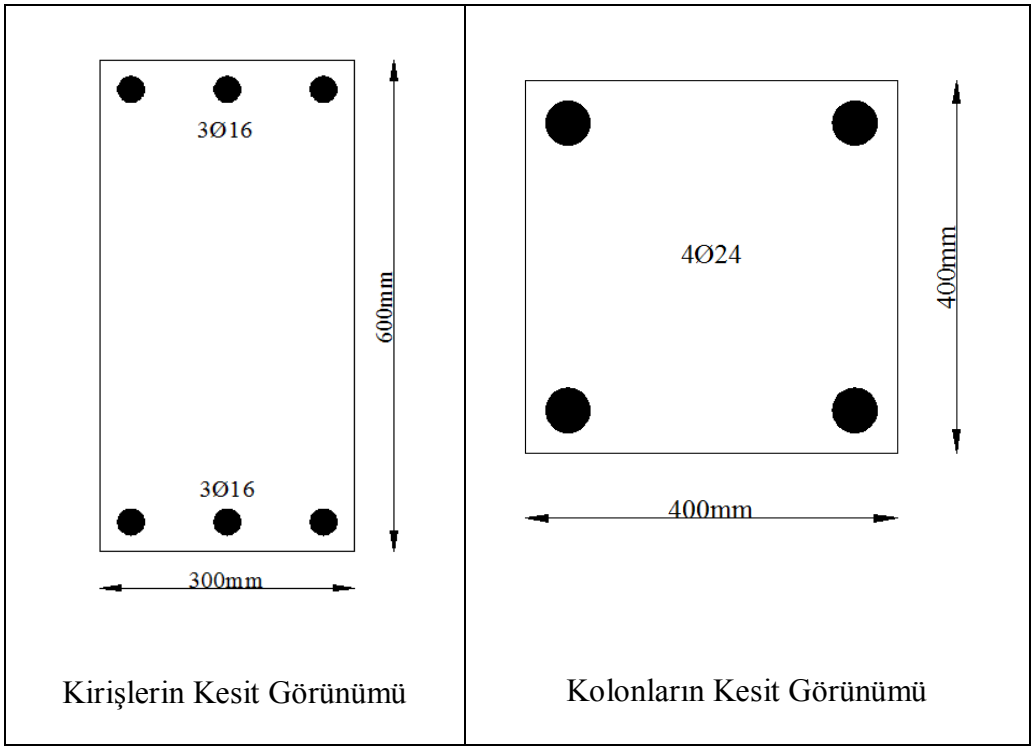
Çizelge 5.1 : Tek katlı betonarme çerçeve modele ait kolon özellikleri

Boyutlar (mm)	400x400
A (m^2)	0.16
I_x (m^4)	$2.133x10^{-3}$
I_y (m^4)	$2.133x10^{-3}$
EA(kN)	4480000
EI_x (kNm^2)	59724
EI_y (kNm^2)	59724

Çizelge 5.2 : Tek katlı betonarme çerçeve modele ait kiriş özellikleri.

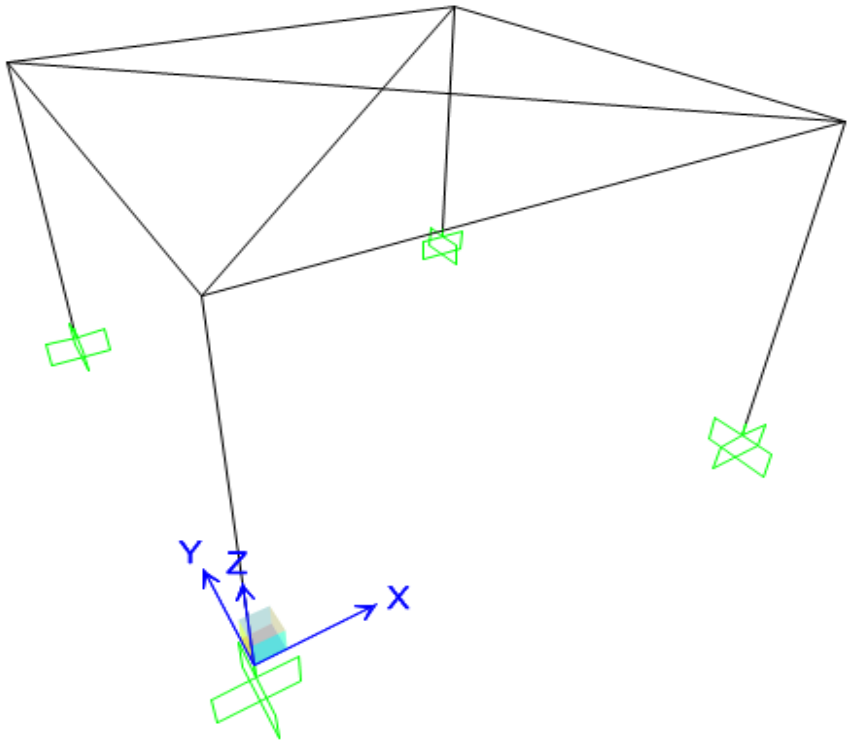
Boyutlar (mm)	300x600
A (m^2)	0.18
I_x (m^4)	$5.4x10^{-3}$
I_y (m^4)	$1.35x10^{-3}$
EA (kN)	5040000
EI_x (kNm^2)	151200
EI_y (kNm^2)	37800

Kiriş ve kolon elemanlara ait donatı miktarları ve yerleşimleri ise Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Yapı elemanlarının kesit görünümleri

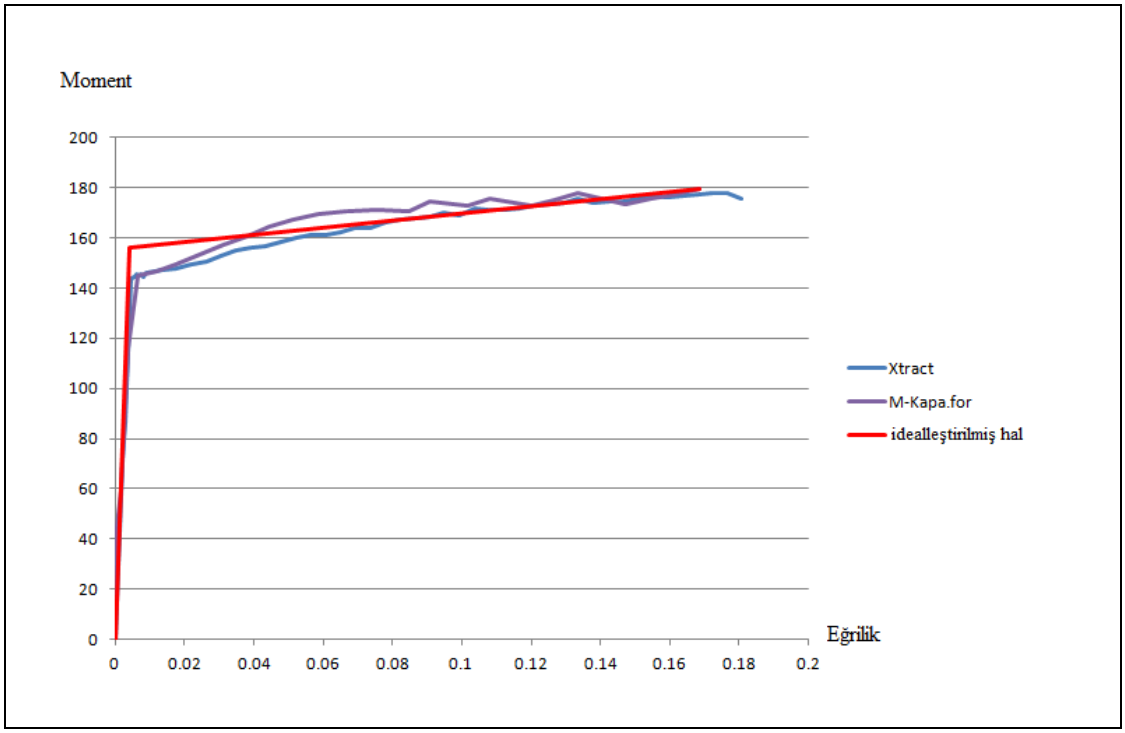
Yapı sisteminin 3 boyutlu matematik model görünümü Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



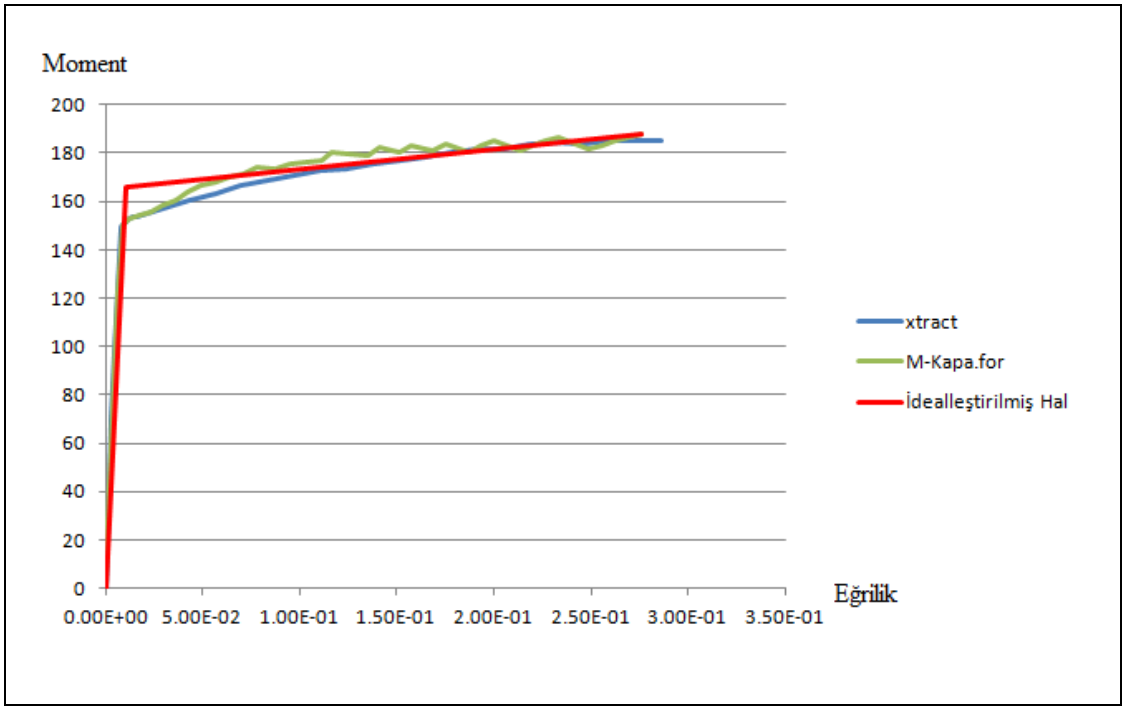
Şekil 5.2 : Yapının matematiksel modeli.

5.1.2 Moment - Eğrilik diyagramları

Matematik modelimizde belirtmiş olduğumuz kiriş ve kolonların sahip oldukları Moment- Eğrilik diyagramları, hem M-Kapa.For hem de Xtract programlarıyla hesaplanmış, elde edilen sonuçlar ise Eşit Alan İlkesi kullanılarak iki doğrulu basitleştirilmiş diyagramlar haline getirilmiştir. Kirişlere ait moment eğrilik diyagramları Şekil 5.3'de ve kolonlara ait moment - eğrilik diyagramları ise Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : Kirişlere ait moment-eğrilik diyagramı.

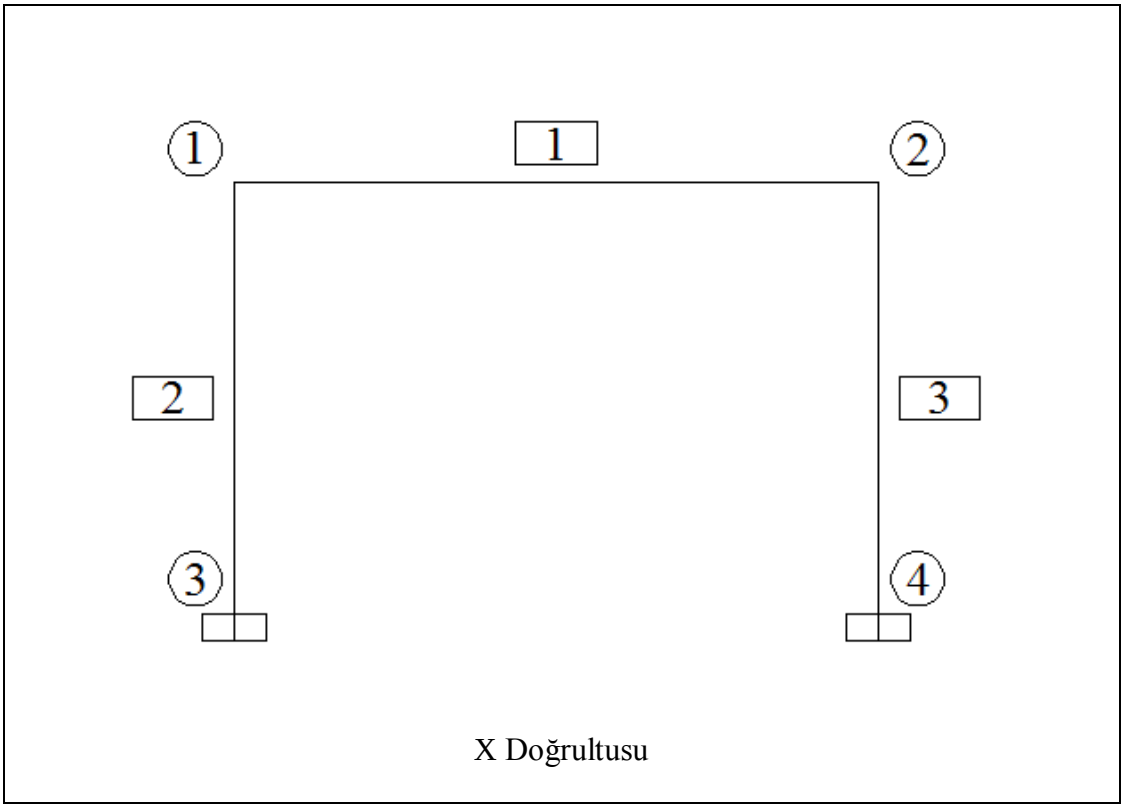


Şekil 5.4 : Kolonlara ait moment-eğrilik diyagramı.

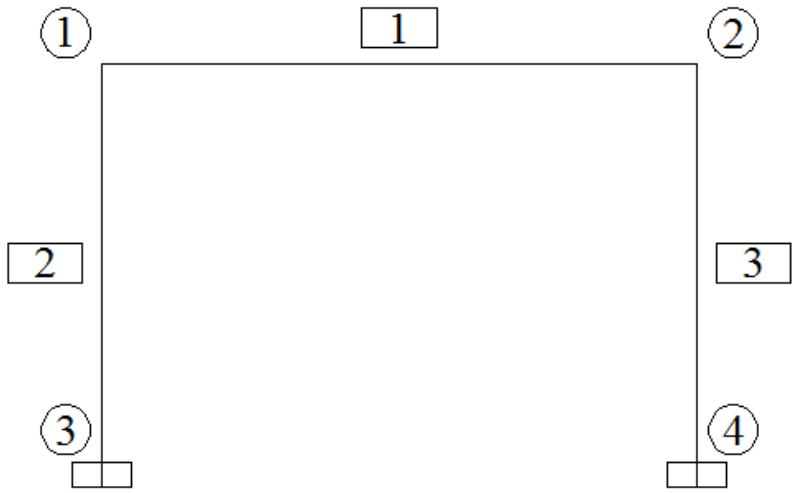
5.1.3 Yapı sisteminin alt sistemlere ayrılması

Yapı sistemi, X doğrultusunda 2, Y doğrultusunda 2 ve Z doğrultusunda 1 olmak üzere toplamda 5 alt sistemden oluşmaktadır. Bu alt sistemlerin oluşturulması DOC3B yazılımında matematik modelin çözümlenmesi için önem arz etmektedir.

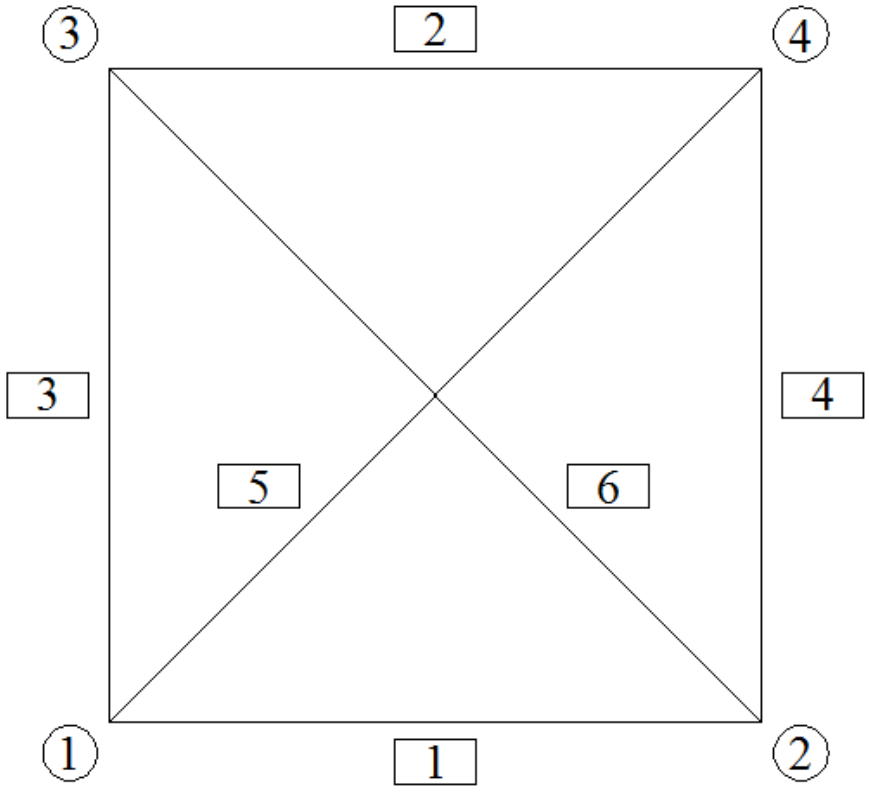
Alt sistemlerin görünüşleri, alt sistemlere ait düğüm noktaları ve çubuk elemanların numaraları Şekil 5.5 ' de gösterilmiştir. X doğrultusundaki ve Y doğrultusundaki alt sistemler aynı zamanda özdeştirler.



Şekil 5.5 : Alt sistem görünümleri.



Y Doğrultusu

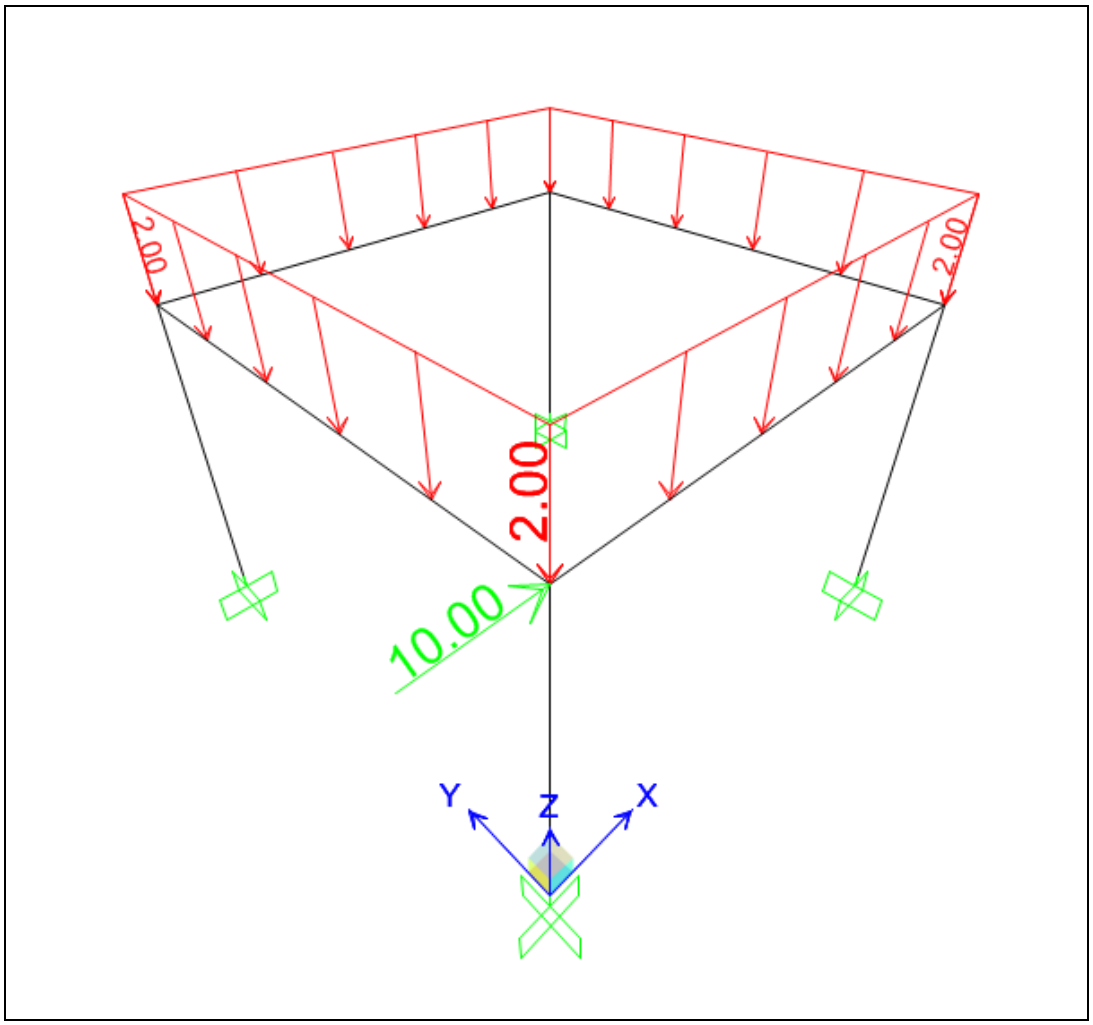


Z doğrultusu

Şekil 5.5 : (Devam) Alt sistem görünümleri.

5.1.4 Yapının statik analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Tek katlı betonarme yapı, 2 kN / m uniform yayılı yük ve 10 kN'luk yatak tekil yük değerleri altında Şekil 5.6'da görüldüğü gibi statik olarak analiz edildi.



Şekil 5.6 : Yapının maruz kaldığı yükler.

Yükleme durumu için hem DOC3B hem de SAP2000 programlarında analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları karşılaştırıldığında sonuçların yeter derecede yakın oldukları gözlemlenmiştir. Her iki programın vermiş olduğu iç kuvvetlerin değerleri ve karşılaştırılması Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4' de gösterilmiştir.

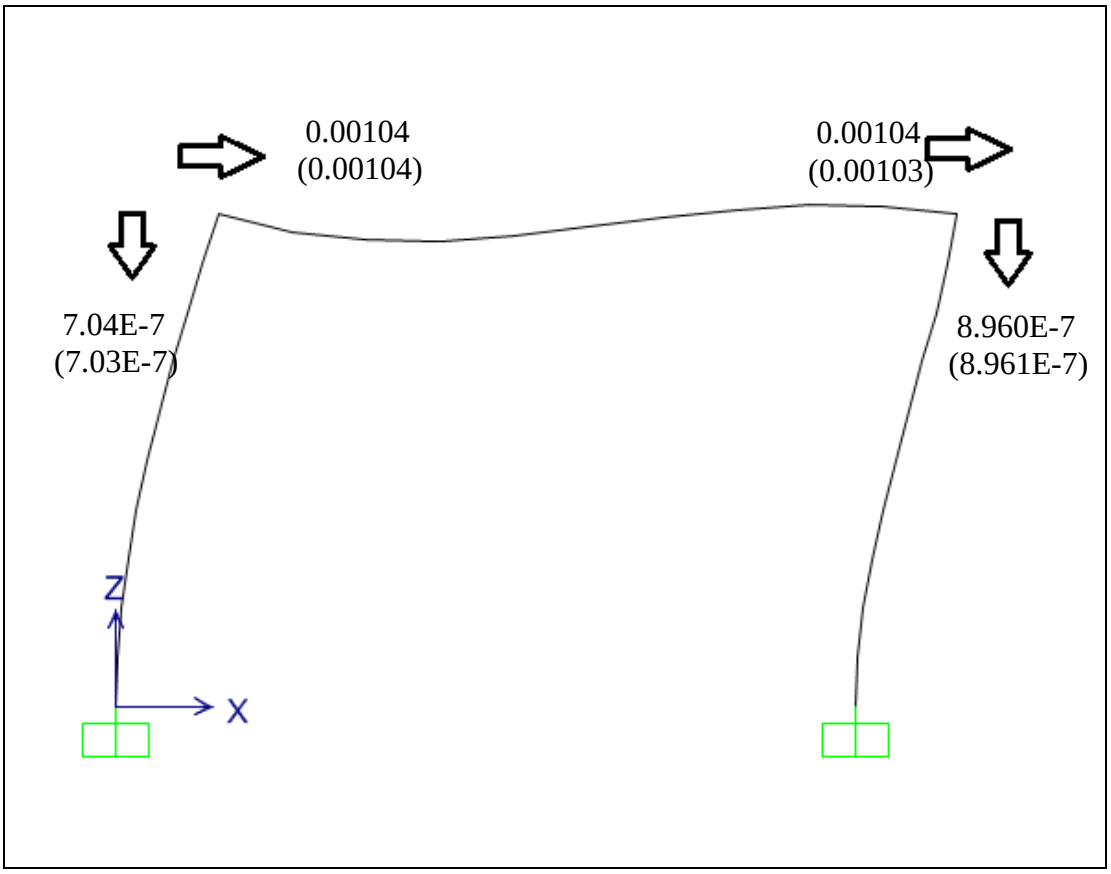
Tekil yükün etkidiği çerçeve düzlemine ait düğüm noktalarının göstermiş olduğu yatay ve düşey deplasman değerleri Şekil 5.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 : Moment değerleri ve karşılaştırmaları.

Alt Sistem No ve Çubuk No	Doc3b		Sap2000		Rölatif Fark (%)	
	Msol	Msağ	Msol	Msağ	Sol Uç	Sağ Uç
1-1	-0.875	-10.199	-0.874	-10.198	0.11	0.01
1-2	11.226	0.875	11.235	0.874	0.08	0.11
1-3	16.747	-10.199	16.739	-10.198	0.05	0.01
3-3	-1.753	5.200	-1.75	5.200	0.17	0.00
4-3	3.780	-5.876	3.778	-5.876	0.05	0.00

Çizelge 5.4 : Kesme kuvveti değerleri ve karşılaştırmaları.

Alt Sistem No ve Çubuk No	Doc3b		Sap2000		Rölatif Fark (%)	
	Vsol	Vsağ	Vsol	Vsağ	Sol Uç	Sağ Uç
1-1	-4.446	7.554	-4.45	7.55	0.09	0.05
1-2	2.588	2.588	2.59	2.59	0.08	0.08
1-3	6.737	6.737	6.734	6.734	0.05	0.05
3-3	-1.738	-1.738	-1.738	-1.738	0.00	0.00
4-3	2.414	2.414	2.413	2.413	0.04	0.04



Şekil 5.7 : Yapıda meydana gelen yatay ve düşey deplasman değerleri.

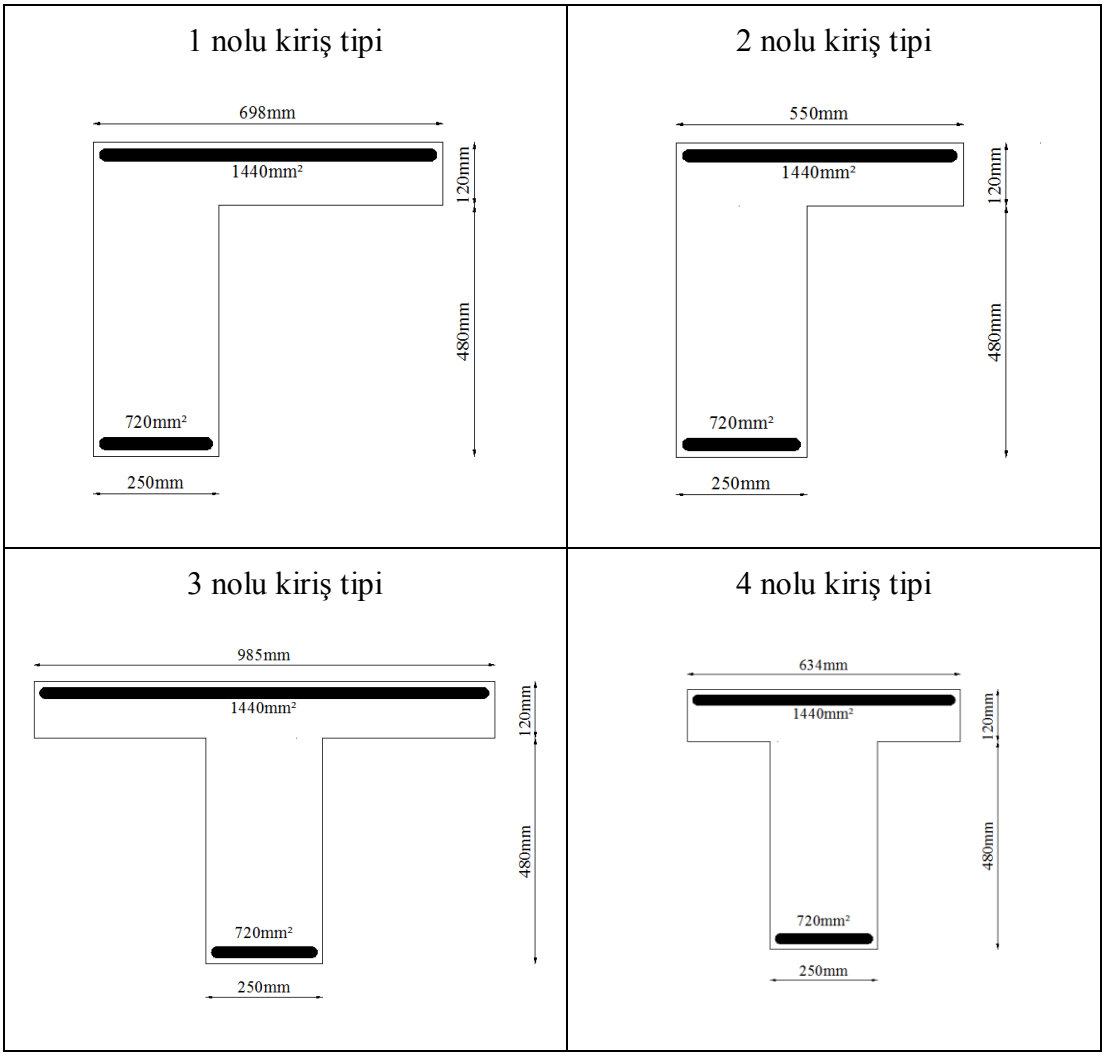
5.2 Üç Boyutlu Düzensiz Perdeli Çerçeve Yapı Modeli

Perdeli betonarme çerçeve sistemlerden oluşan bir taşıyıcı sistem modeli, doğrusal olmayan çözümleme yöntemine göre hesap yapabilen DOC3B programı ile analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, SAP2000 programının vermiş olduğu ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma hem statik yüklerden meydana gelen yer değiştirmeler ve iç kuvvetler için; hem de serbest titreşim analizi sonucu ortaya çıkan periyot değerleri için yapılmıştır.

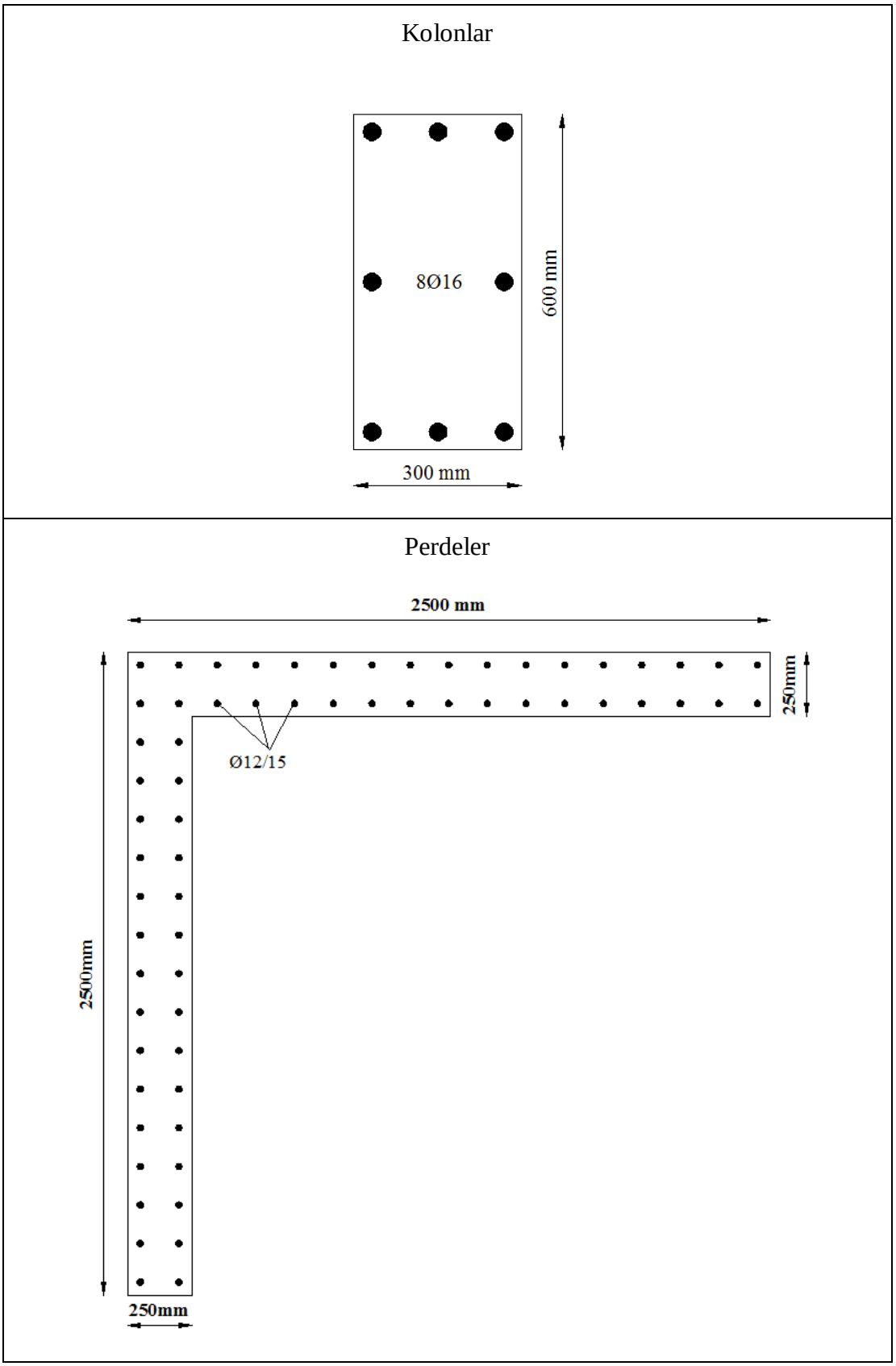
Parametrik çalışma içerisinde, doğrulaması gerçekleştirilmiş olan perdeli betonarme çerçeve sistem, üzerinde döşeme boşlukları oluşturularak ve boşlukları çevreleyen kirişlerde değişiklikler yapılarak farklı yapı modelleri elde edilmiştir. Bu yapı modellerinin her biri için *tepe yerdeğiştirmesi - taban kesme kuvveti* diyagramları elde edilmiş, sonrasında ise kapasite diyagramları kullanılarak *tepe yerdeğiştirme istemleri* hesaplanmış, bu veriler kullanılarak her bir modelde, eleman bazında performans değerlendirmesi yapılmıştır.

5.2.1 Yapı sisteminin özellikleri

İncelenen betonarme bina örneği, çok katlı düzensiz perdeli bir yapı olup 4 farklı tipte kiriş kesiti bulunmaktadır. (Şekil 5.8) Fakat yapıda bulunan kolon ve perde duvarlara ait tipler birer adettir. (Şekil 5.9) Bütün elemanlara ait geometrik özellikler aşağıdaki şekillerde bulunmaktadır.



Şekil 5.8 : Yapıda bulunan kiriş elemanların geometrik özellikleri.



Şekil 5.9 : Yapıda bulunan kolon ve perde elemanların geometrik özellikleri.

Betonarme yapı örneği 5 katlıdır, her bir kat yüksekliği 3,5 m'dir. Yapının uzun doğrultudaki toplam açıklığı 26 m. uzunluğunda, kısa doğrulturdaki toplam açıklığı ise 10.8m. uzunluğundadır. Uzun doğrulturdaki aks sayısı 6 adet, kısa doğrulturdaki aks sayısı ise 4 adettir. Beton sınıfı olarak C30/37 dayanım sınıfı kullanılmış olup, buna karşılık gelen elastisite modülü $3.2x10^7$ kN/m^2'dir. Yapı elemanlarında kullanılan donatı çeliği sınıfı ise S420, elastisite modülü ise $2.1x10^8$ kN/m^2 olarak kullanılmıştır. [12] Kat planı Şekil 5.10'da verilen betonarme yapı örneğinde kat kütleleri, zati ağırlıklar (G) ile hareketli yüklerin (Q) %30'u alınarak hesaplanmıştır. [13]

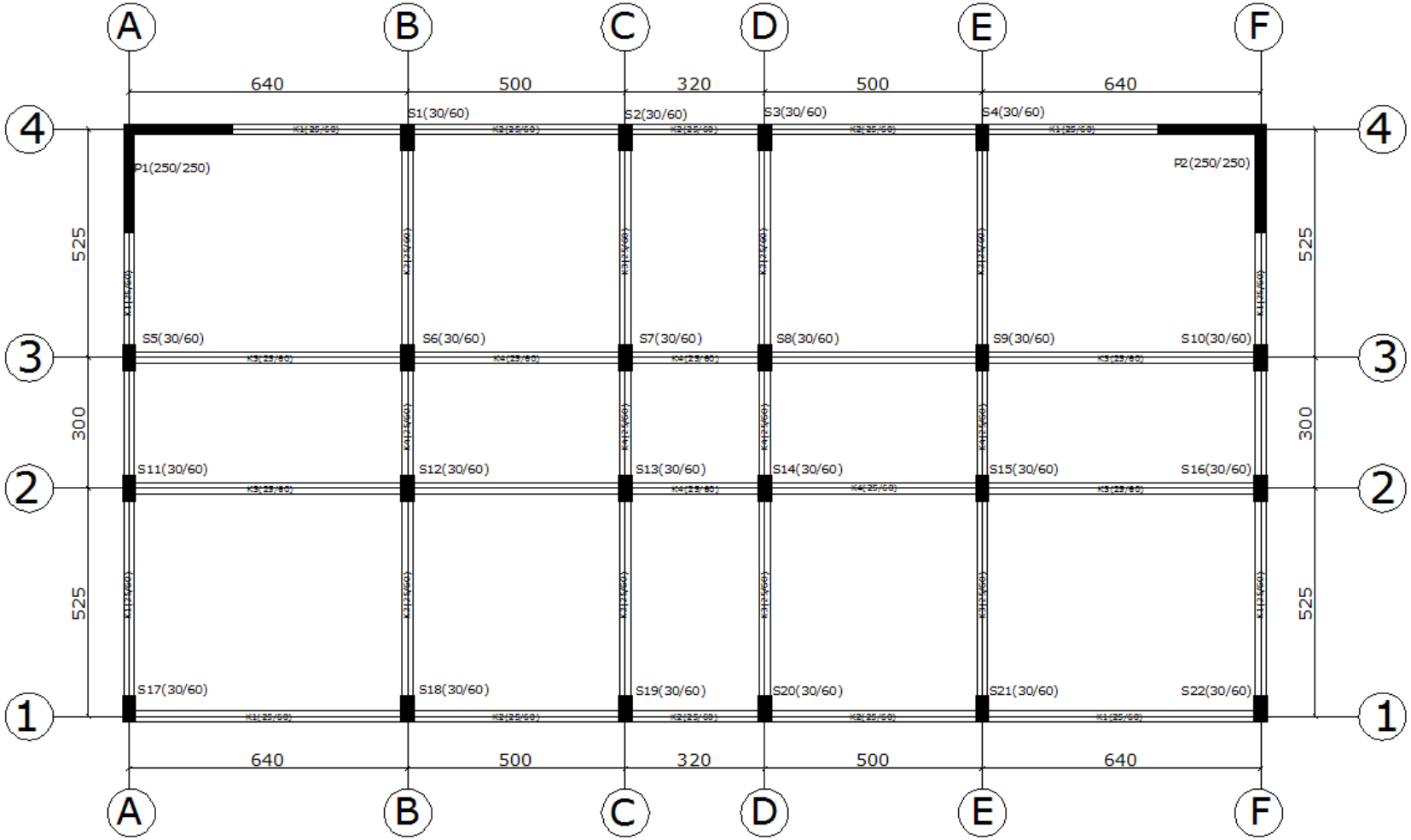
Yapı sisteminin üç boyutlu görünümü Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Temel seviyesindeki tüm mesnetlerin ankastre olarak davranış gösterdikleri kabul edilmiştir. Yapı sisteminde bulunan kolonlar, yapının kısa doğrultusunda daha fazla rijitlik meydana getirecek şekilde yerleştirilmiştir. Perde elemanlar ise yapının üst iki köşe noktasında, uzun doğrultuda çalışan tek bir aksın üzerinde olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Kolon elemanlar birer çubuk eleman olarak, perde elemanlar ise orta dikme çubuk modeli ile modellenlemiştir. Döşemeler ise çaprazlar ile tarif edilmiştir. Bu özellikleri de içeren matematik modeli ise Şekil 5.12' de verilmiştir.

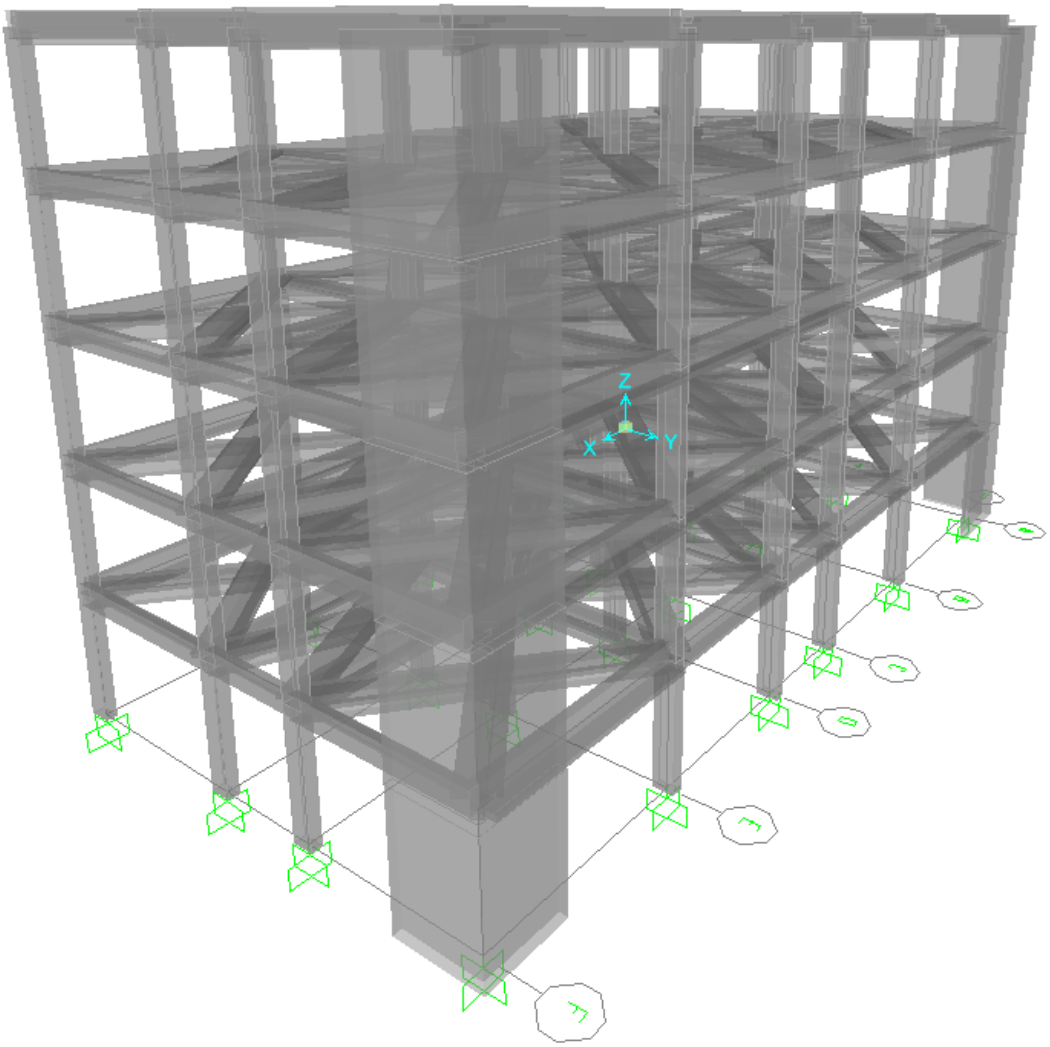
5.2.2 Yapı sisteminin alt sistemlere ayrılması

5 katlı betonarme yapı sistemi, DOC3B programı tarafından verilerinin okunabilmesi için alt sistemlere ayrılmıştır. DOC3B programı, verilerini okuduğu alt sistemleri ise kendi algoritması içerisinde birleştirip üç boyutlu yapı sistemini oluşturuabilmektedir. X doğrultusunda 4, Y doğrultusunda 6 ve Z doğrultusunda 5 alt sisteme ayrılan yapı, toplamta 15 alt sisteme sahiptir. İçerisinde bulundurduğu perde taşıyıcı elemanlarından ötürü aynı doğrultulara ait alt sistemler arasında özdeşlikler bulunmamaktadır.

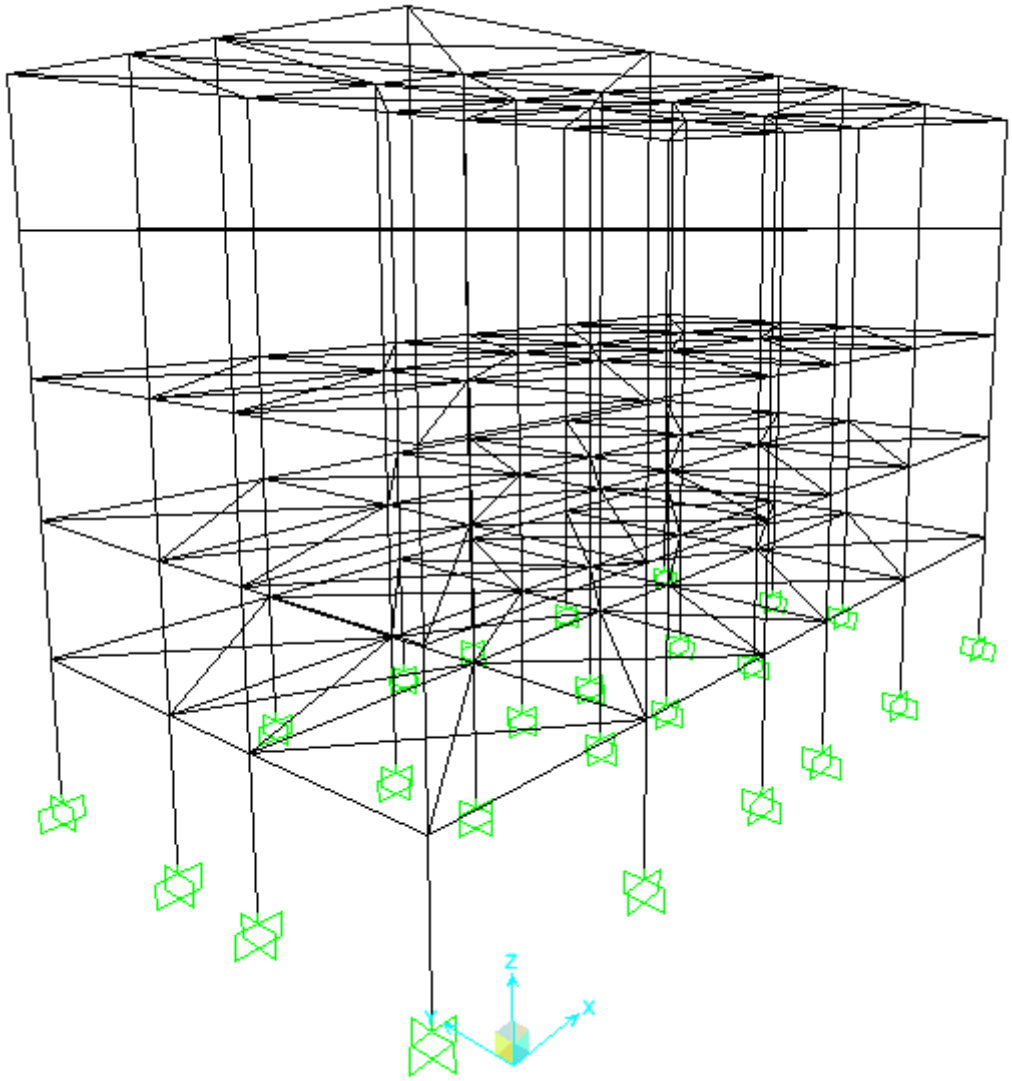
X doğrultusundaki alt sistemler Şekil 5.13' de, Y doğrultusundaki alt sistemler Şekil 5.14'de ve Z doğrultusundaki alt sistemler ise Şekil 5.15'de gösterilmiştir.



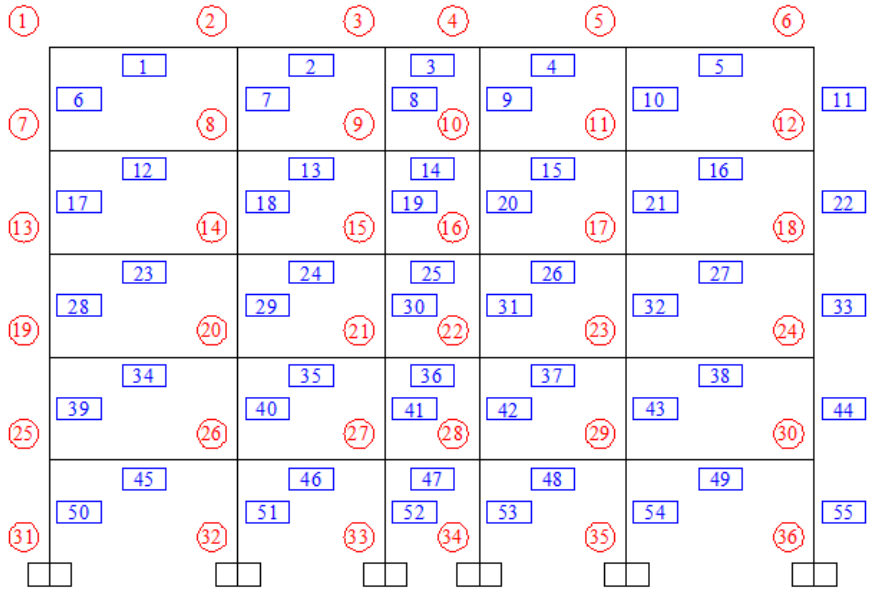
Şekil 5.10 : Yapıya ait kat planı.



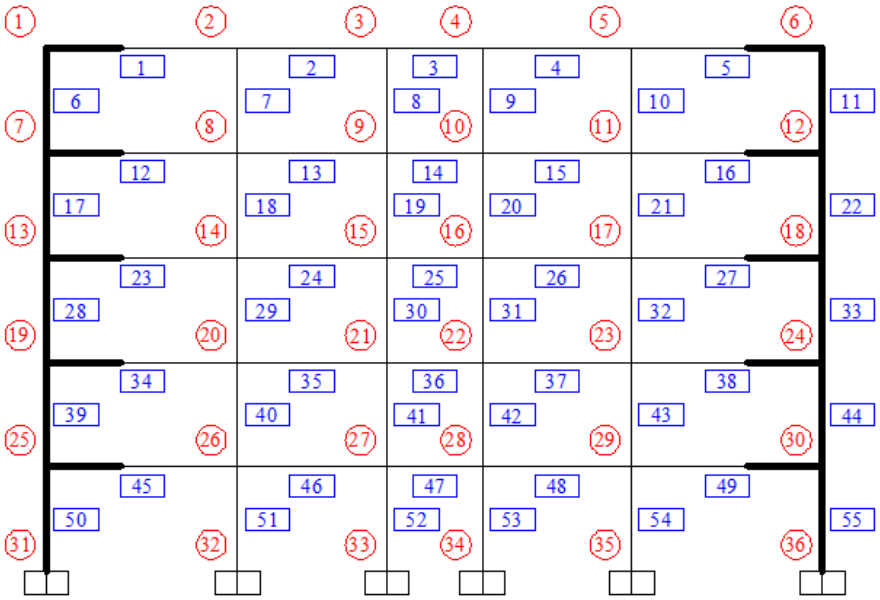
Şekil 5.11 : Perdelerin bulunduğu cepheden üç boyutlu görünüm.



Şekil 5.12 : Yapının Matematik Modeli.

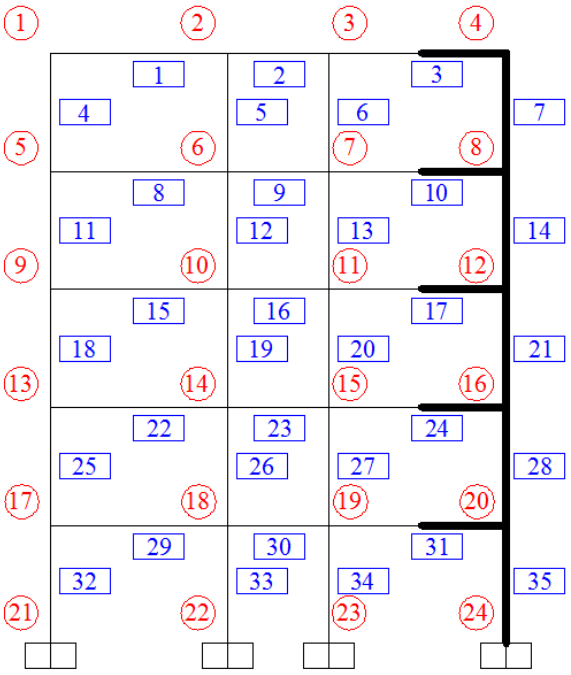


Alt Sistem 1 - Alt Sistem 2 - Alt Sistem 3

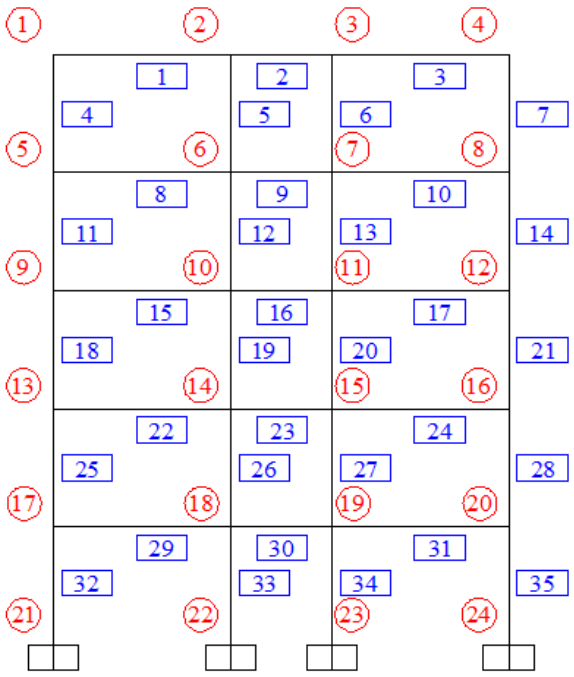


Alt Sistem 4

Şekil 5.13 : X doğrultusundaki alt sistem görünümleri.

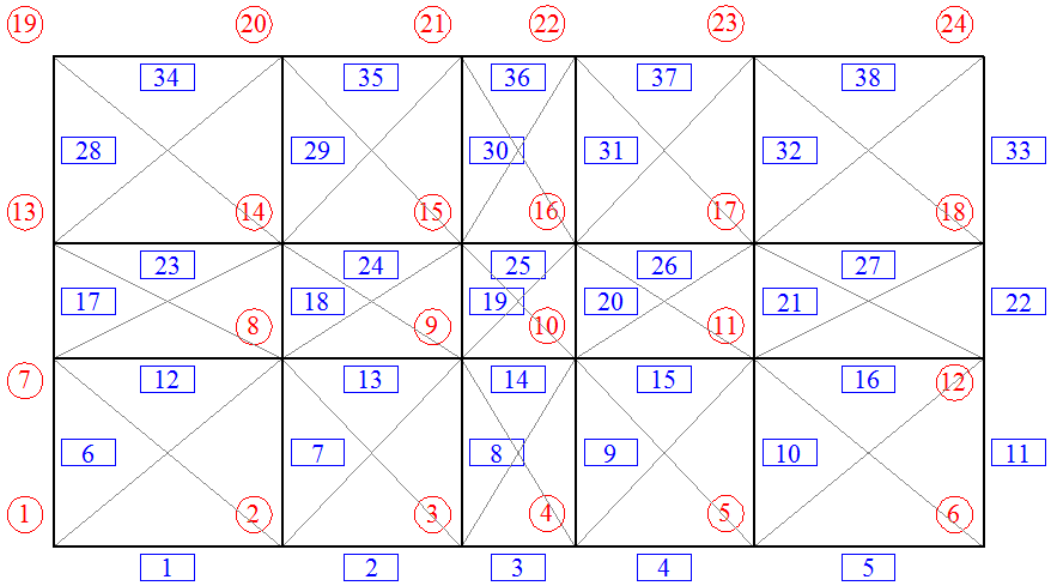


Alt Sistem 5 - Alt Sistem 10



Alt Sistem 6 - Alt Sistem 7 - Alt Sistem 8 - Alt Sistem 9

Şekil 5.14 : Y doğrultusundaki alt sistemleri görünümleri.



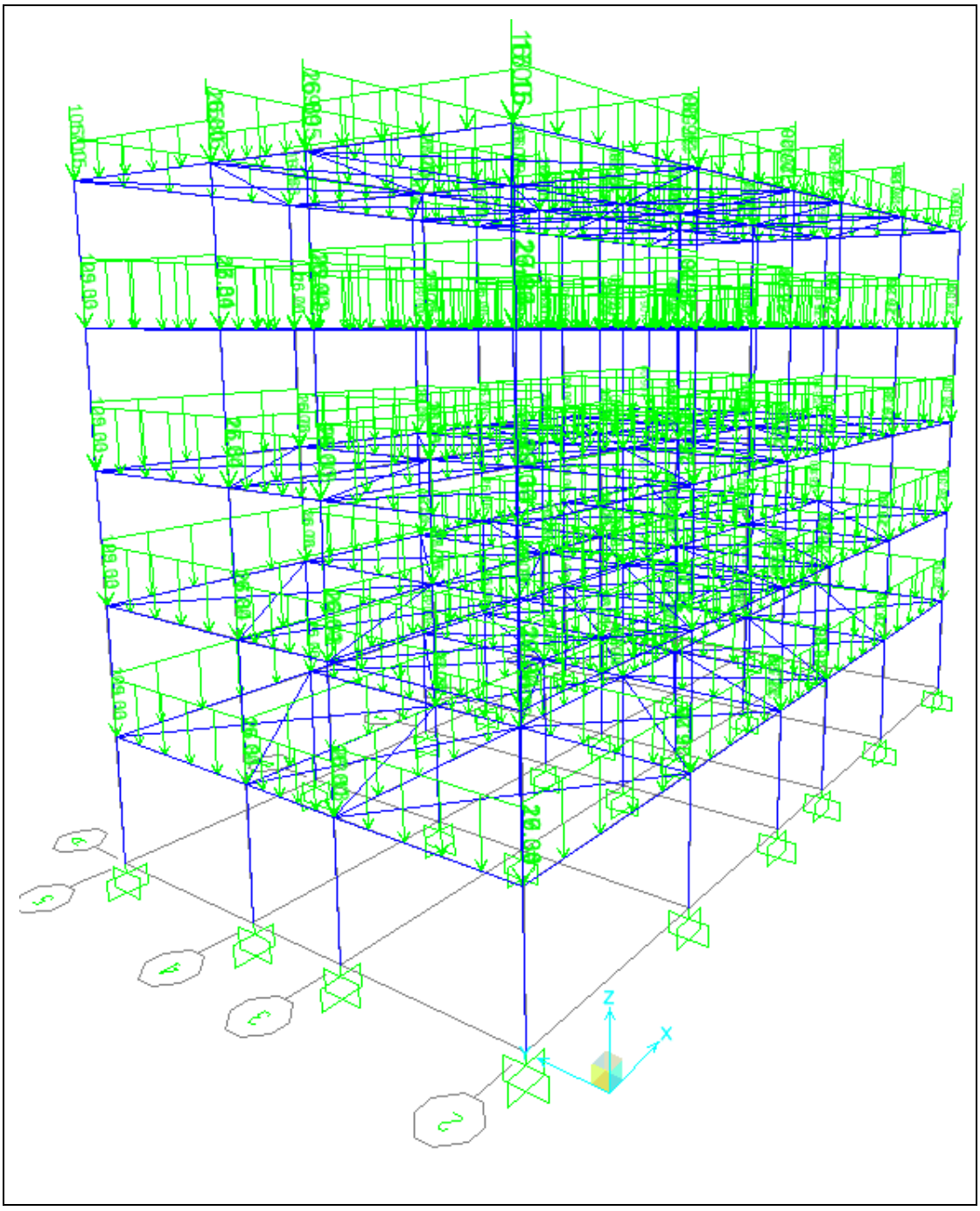
Alt Sistem 11, Alt Sistem 12, Alt Sistem 13, Alt Sistem 14 ve Alt Sistem 15

Şekil 5.15 : Z doğrultusundaki alt sistemleri görünümleri.

5.2.3 Yapı sisteminin statik analiz sonuçlarının doğrulanması

Yapı sistemi, W= G + 0.3Q düşey yükleme değerlerine maruz bırakılıp hem DOC3B programında hem de SAP2000 programında elastik olarak analiz edilmiştir. Analiz sırasında döşeme yükleri üçgen yayılı yük, duvar ağırlıkları ise uniform yayılı yük olarak idealize edilmiştir. İdealize edilen bu yükler yatay çubuk elemanlar üstüne etkitilmiştir. DOC3B programı veri girdisi sırasında sadece uniform yayılı yükleri algılamaktadır. Dolayısıyla üçgen yayılı yüklerin hepsi uniform yayılı yük haline getirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu sebeple [14]'de anlatıldığı şekilde üçgen yayılı yükler eşdeğer uniform yayılı yüklere çevrilmiştir. Kolon ve perde elemanlara ait özgül ağırlık değerleri ise, ilgili çubuk elemanların ucuna tekil yük olarak atanmıştır.

Analiz için tariflenen yükleme durumuna sahip matematik model, Şekil 5.16'da gösterilmiştir. Her iki programın kirişlerde vermiş olduğu moment ve kesme kuvveti değerleri Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da gösterilmiştir. Kolonlara ait normal kuvvet değerlerine ise Çizelge 5.7'den bakılabilir.



Şekil 5.16 : Yapı sistemine ait statik yükleme durumu.

Çizelge 5.5 : Kirişlerde moment değerleri ve karşılaştırmaları.

Alt Sistem No ve Çubuk No	DOC3B		SAP2000		Rölatif Fark (%)	
	Msol	Msağ	Msol	Msağ	Sol Uç	Sağ Uç
1-1	-33.43	-43.88	-33.20	-45.88	0.69	4.36
1-12	-69.21	-87.18	-68.52	-88.93	1.01	1.97
1-23	-67.89	-89.77	-67.34	-91.34	0.82	1.72
2-24	-56.27	-46.12	-57.35	-45.01	1.88	2.47
2-37	-42.08	-61.00	-41.39	-61.60	1.67	0.97
4-46	-44.17	-48.39	-46.84	-47.34	5.70	2.22
5-15	-79.13	-33.09	-74.44	-37.50	6.30	11.76*
5-22	-73.56	-41.08	-69.96	-43.52	5.15	5.61
6-17	-54.72	-52.92	-53.09	-55.33	3.07	4.36
6-31	-55.72	-49.21	-57.38	-50.04	2.89	1.66
7-1	-64.71	-34.74	-61.75	-38.75	4.79	10.35
7-23	-32.90	-8.08	-31.42	-9.34	4.71	13.49*
7-31	-64.90	-43.23	-63.66	-43.99	1.95	1.73

* Rijit kirişler için iki programın farklı yaklaşımlarından ötürü oluşmuş fark

Çizelge 5.6 : Kirişlerde kesme kuvveti değerleri ve karşılaştırmaları.

Alt Sistem No ve Çubuk No	DOC3B		SAP2000		Rölatif Fark (%)	
	Vsol	Vsağ	Vsol	Vsağ	Sol Uç	Sağ Uç
1-5	-56.51	53.25	-56.86	52.90	0.62	0.66
1-15	-64.54	69.26	-63.97	69.83	0.89	0.82
1-47	-36.14	36.14	-36.14	36.14	0.00	0.00
2-12	-84.36	87.22	-84.11	87.47	0.30	0.29
2-38	-89.63	81.95	-89.76	81.83	0.14	0.15
4-4	-43.93	28.97	-41.87	31.03	4.92*	6.64*
5-8	-82.03	61.51	-80.12	63.42	2.38	3.01
5-29	-74.16	69.37	-73.50	70.04	0.90	0.96
6-3	-72.34	70.88	-71.85	71.37	0.68	0.69
6-24	-72.40	70.82	-71.82	71.40	0.81	0.81
6-31	-73.23	69.99	-73.01	70.21	0.30	0.31
7-9	-37.85	12.85	-36.50	14.20	3.70	9.51
7-30	-30.21	20.49	-29.66	21.04	1.85	2.61

* Rijit kirişler için iki programın farklı yaklaşımlarından ötürü oluşmuş fark

Çizelge 5.7 : Kolonlarda normal kuvvet değerleri ve karşılaştırmaları.

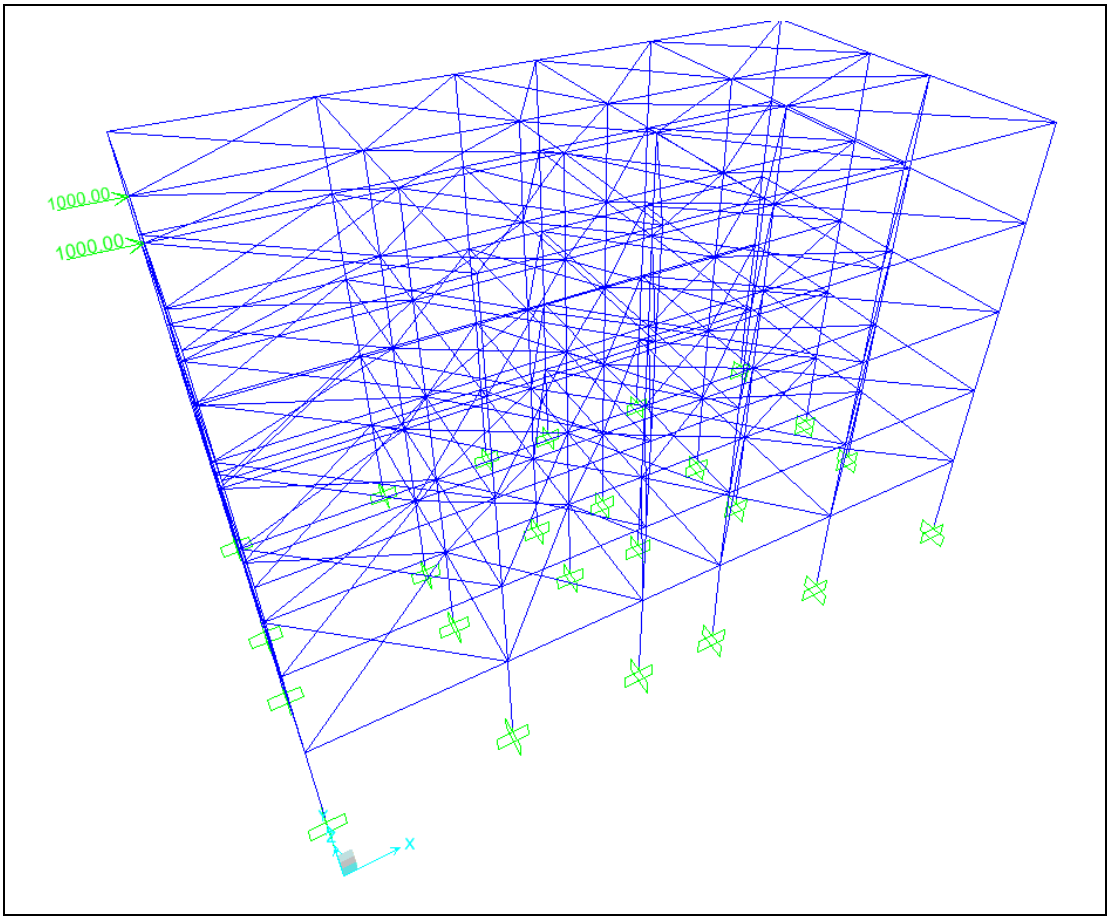
Alt Sistem No ve Çubuk No	DOC3B N (kN)	SAP2000 N (kN)	Rölatif Fark (%)
1-50	-836.46	-844.81	0.99
1-51	-1262.56	-1241.41	1.70
1-52	-897.80	-909.84	1.32
2-30	-598.33	-601.09	0.46
2-41	-796.92	-800.23	0.41
2-52	-992.63	-996.40	0.38
3-11	-135.71	-114.92	18.09*
3-22	-307.89	-267.16	15.25*
3-33	-478.93	-421.33	13.67*
4-20	-319.85	-329.61	2.96
4-32	-523.68	-508.60	2.97
4-44	-1248.06	-1391.84	10.33*

* Rijit kirişler için iki programın farklı yaklaşımlarından ötürü oluşmuş fark

5.2.4 Sabit yatay yük etkisindeki yapının analiz sonuçlarının doğrulanması

Yapı sistemi, P=1000 kN olan 2 adet yatay yük etkisine maruz bırakılmıştır. Yatay yükler X doğrultusundaki alt sistemlerden iç açıklıklarda bulunan çerçevelere etkitilmiştir. Düşey yüklerin ve özgül ağırlıkların ihmal edildiği bu doğrulama örneği hem DOC3B programında hem de SAP2000 programında elastik olarak analiz edilmiştir.

Analiz için sisteme etki ettiği varsayılan yükleme durumuna sahip matematik model, Şekil 5.17'de görülmektedir. Her iki programdan alınmış olan analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Kirişlerde moment ve kesme kuvveti değerleri için yapılan karşılaştırma değerleri Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9'da gösterilmiştir. Kolonlara ait normal kuvvet değerleri ve karşılaştırma verileri ise Çizelge 5.10'a işlenmiştir.



Şekil 5.17 : Yapı sistemine ait yatay yükleme durumu.

Çizelge 5.8 : Kirişlerde moment değerleri ve karşılaştırmaları.

Alt Sistem No ve Çubuk No	DOC3B		SAP2000		Rölatif Fark (%)	
	Msol	Msağ	Msol	Msağ	Sol Uç	Sağ Uç
1-1	80.93	-53.89	82.59	-57.08	2.01	5.59
1-12	138.29	-104.41	140.70	-107.66	1.71	3.02
1-23	127.73	-97.24	129.36	-99.68	1.26	2.45
2-24	89.49	-91.81	89.12	-89.68	0.42	2.38
2-37	76.77	-75.31	75.50	-75.35	1.68	0.05
4-47	-41.82	-41.88	51.96	-52.05	19.52*	19.54*
5-15	-39.76	-30.17	-40.69	33.94	2.29	11.11
5-22	-37.78	29.75	-38.71	32.76	2.40	9.19
6-17	-67.76	69.14	-54.5	55.86	24.33*	23.77*
6-31	-32.49	34.32	-26.78	29.05	21.32*	18.14*
7-1	-6.35	4.60	-8.15	5.18	22.09*	11.20
7-23	-5.01	5.87	-5.81	6.36	13.77	7.70
7-30	-3.45	3.96	-3.59	4.04	3.90	1.98

* Rijit kirişler için iki programın farklı yaklaşımlarından ötürü oluşmuş fark

Çizelge 5.9 : Kirişlerde kesme kuvveti değerleri ve karşılaştırmaları.

Alt Sistem No ve Çubuk No	DOC3B		SAP2000		Rölatif Fark (%)	
	Vsol	Vsağ	Vsol	Vsağ	Sol Uç	Sağ Uç
1-5	20.07	21.07	20.87	20.87	3.83	0.96
1-15	41.40	41.40	40.32	40.32	2.68	2.68
1-47	35.27	35.27	37.08	37.08	4.88	4.88
2-12	38.00	38.00	39.38	39.38	3.50	3.50
2-38	30.14	30.14	30.89	30.89	2.43	2.43
4-4	17.42	17.42	6.94	6.94	151.01*	151.01*
5-8	-13.08	-13.08	-13.63	-13.63	4.04	4.04
5-29	-10.02	-10.02	-10.53	-10.53	4.84	4.84
6-10	-29.01	-29.01	-21.22	-21.22	36.71*	36.71*
6-24	-20.96	-20.96	-17.13	-17.13	22.36*	22.36*
6-31	-12.73	-12.73	-10.64	-10.64	19.64	19.64
7-9	-3.54	-3.54	-3.45	-3.45	2.61	2.61
7-30	-2.47	-2.47	-2.54	-2.54	2.76	2.76

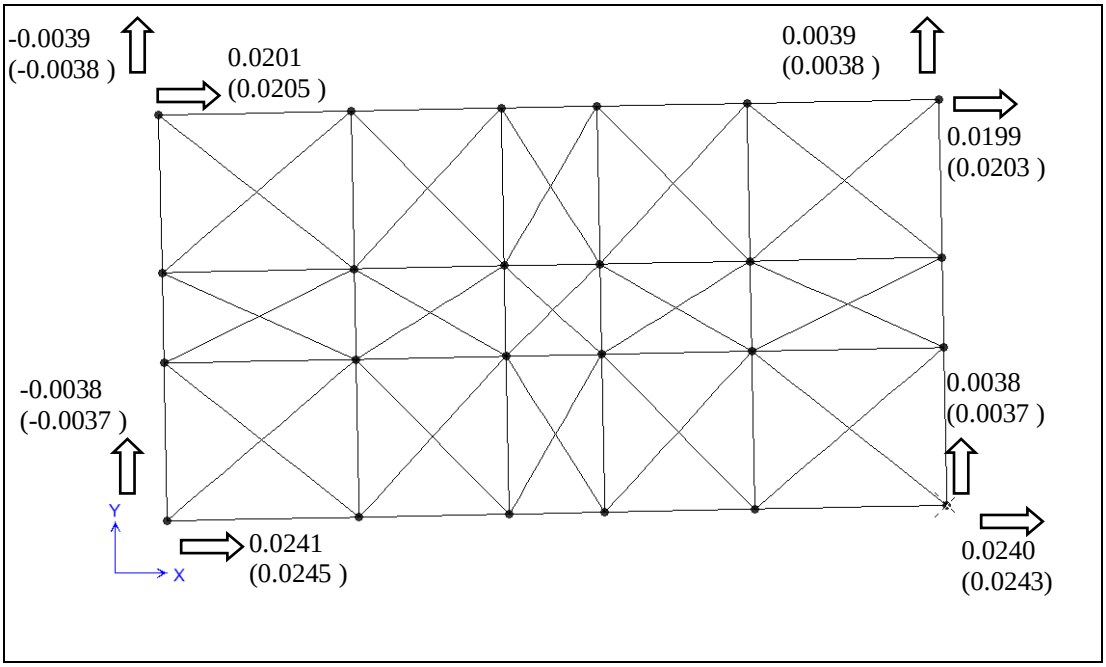
* Rijit kirişler için iki programın farklı yaklaşımlarından ötürü oluşmuş fark

Çizelge 5.10 : Kolonlarda normal kuvvet değerleri ve karşılaştırmaları.

Alt Sistem No ve Çubuk No	DOC3B N (kN)	SAP2000 N (kN)	Rölatif Fark (%)
1-50	87.06	88.33	1.44
1-51	-39.14	-28.33	38.16
1-55	-86.84	-87.85	1.15
2-30	69.84	54.12	29.05
2-52	111.15	89.15	24.68
2-54	28.57	36.79	22.34
3-10	11.68	12.13	3.71
3-21	22.86	21.48	6.42
3-33	28.14	30.09	6.48
4-44	1174.30	917.50	27.99*
4-51	829.39	605.72	36.93*

* Rijit kirişler için iki programın farklı yaklaşımlarından ötürü oluşmuş fark

İncelenmekte olan betonarme yapının düzensizliği, sistemde yatay yükler etkisi altındayken burulma meydana getirmesi beklenmektedir. Bu öngörünün kontrolü için her iki programda meydana gelen deplasman değerleri ve yapının davranışı Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18 : Yapı sisteminde meydana gelen deplasman değerleri ve burulma.

5.2.5 Serbest titreşim analizi

Serbest titreşim analizi yapılırken, her bir kat kütlesi, merkeze yakın 4 noktayla temsil edilmiştir. 5. katta 357.4 ton, alt katlarda ise 452.2 ton kat kütlesine sahip olan betonarme yapının serbest titreşim analizi hem DOC3B programı hem de SAP2000 programı ile yapılmış olup, sonuçların karşılaştırılması Çizelge 5.11 'de yapılmıştır.

Çizelge 5.11: Serbest titreşim analizi sonuçları.

Periyot (sn)	Doc3b	Sap2000	Rölatif Fark (%)
MOD 1	1.873	1.880	0.37
MOD 2	1.368	1.372	0.29
MOD 3	0.502	0.505	1.37

5.3 Perde Duvarlı Betonarme Yapılarda Performans Değerlendirmesi

Bu çalışmada, Şekil 5.10'da görünen perdeli düzensiz yapı sisteminde çeşitli değişiklikler yapılarak oluşturulan farklı yapısal modeller kullanılmıştır. Her bir yapısal modelde hem X hem de Y doğrultusunda itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapı modellerinde her bir doğrultuda her iki yönde de yükleme yapılmış ve *tepe yerdeğiştirme - taban kesme kuvveti* diyagramları elde edilmiştir.

Kapasite diyagramları elde edilen her bir yapısal model için *tepe yerdeğiştirme istemi* hesaplanmış, bu istem karşısında rastgele seçilmiş olan elemanlarda performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Ayrıca gerçekleştirilmiş olan yapısal değişikliklerin, performans üstündeki etkisinin anlaşılması için her bir modelde seçilen ortak elemanın göstermiş olduğu hasar durumu takip edilmiştir.

5.3.1 Çalışmada kullanılan yapısal modeller

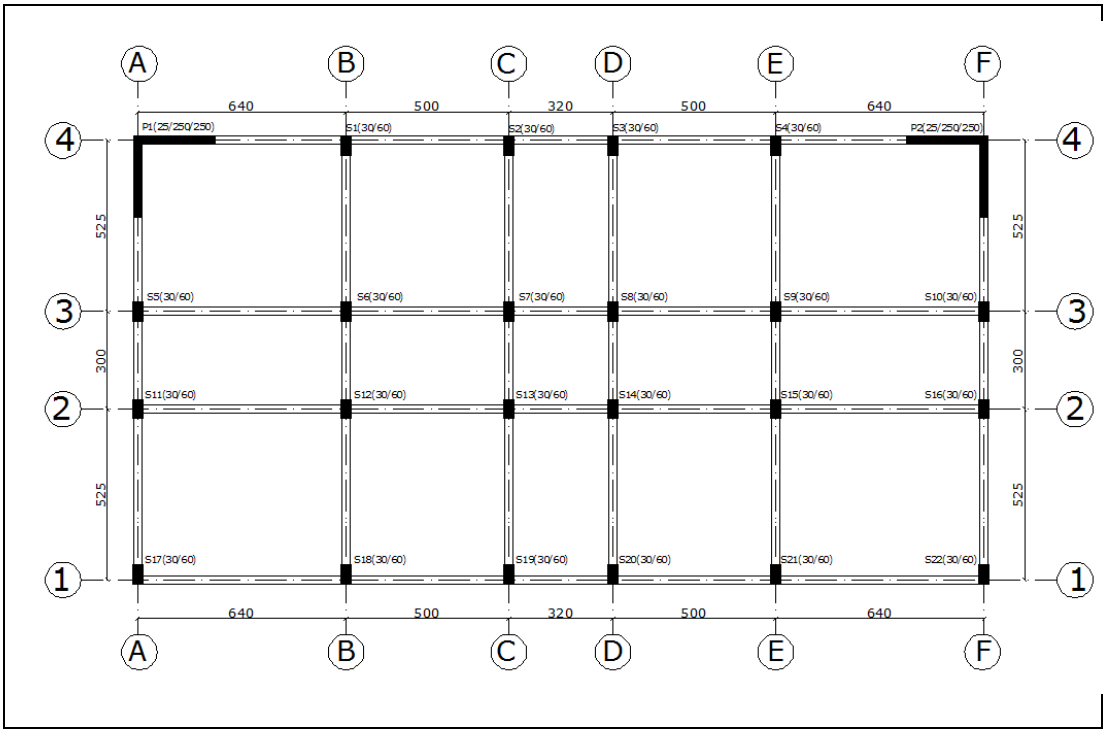
Bahsedilen parametrik çalışmaları gerçekleştirebilmek için kullanılan üç tip yapı modeli sırasıyla aşağıda anlatılmıştır:

1) Tip A: Döşeme düzlemi içerisinde herhangi bir boşluk olmadığı, düzensizliğin sadece perdelerin plandaki yerleşimi ile sağlandığı ve yapının kendi durumunu koruduğu haldir. Kat planı Şekil 5.19'da görülebilir.

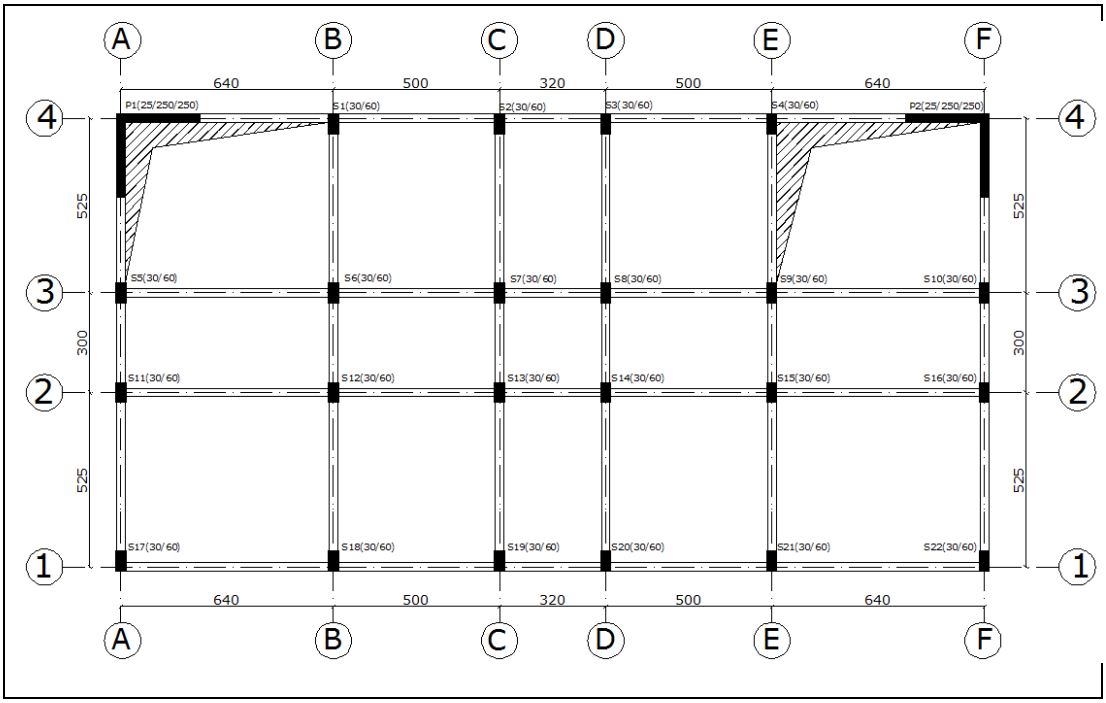
2) Tip B: Perdeye birleşen komşu döşemelerin kaldırılarak döşeme boşluğu oluşturulduğu ve perdelerin yapıya sadece kirişlerle bağlandığı yapısal modeldir. Şekil 5.20' de kat planı gösterilmektedir.

3) Tip C: Perdeye komşu döşemelerin kaldırılmasının yanı sıra, perdeye birleşen kirişlerin güçlendirildiği ve bu değişikliğin boşluklu döşemelerde nasıl bir etki oluşturacağının incelendiği yapısal modeldir. Şekil 5.21'de kat planının hali görünmektedir.

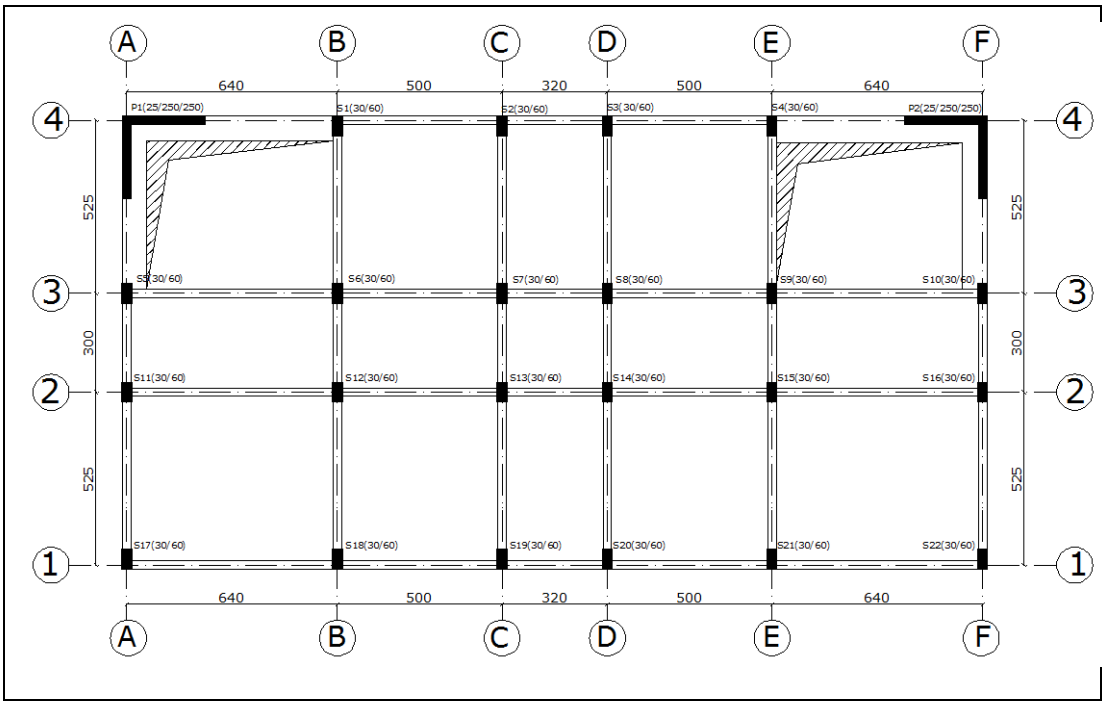
Tip C içerisinde güçlendirilmiş kirişlerin geometrik özellikleri ve kesit görünümleri Şekil 5.22'de görünmektedir. Beton ve donatı sınıflarında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.



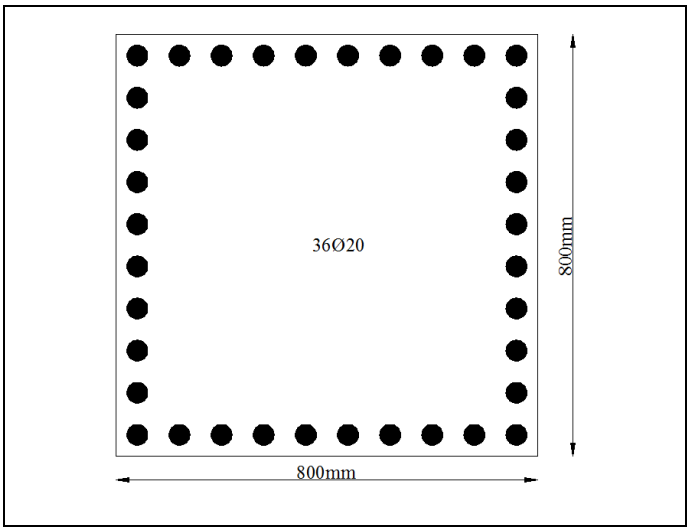
Şekil 5.19 : Tip A' ya ait kat planı.



Şekil 5.20 : Tip B' ye ait kat planı.



Şekil 5.21 : Tip C' ye ait kat planı.

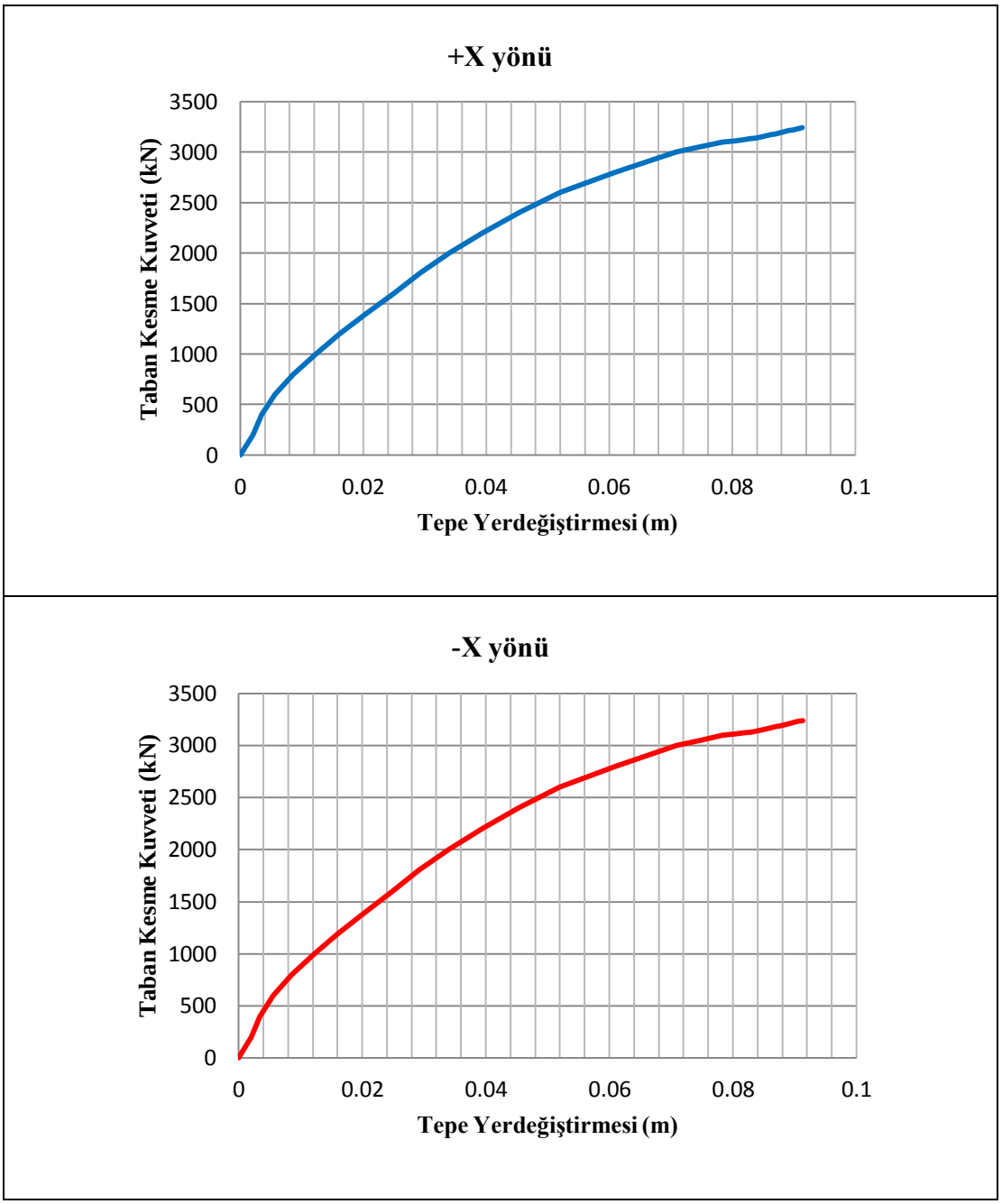


Şekil 5.22 : Güçlendirilmiş kirişlerin kesit görünümleri.

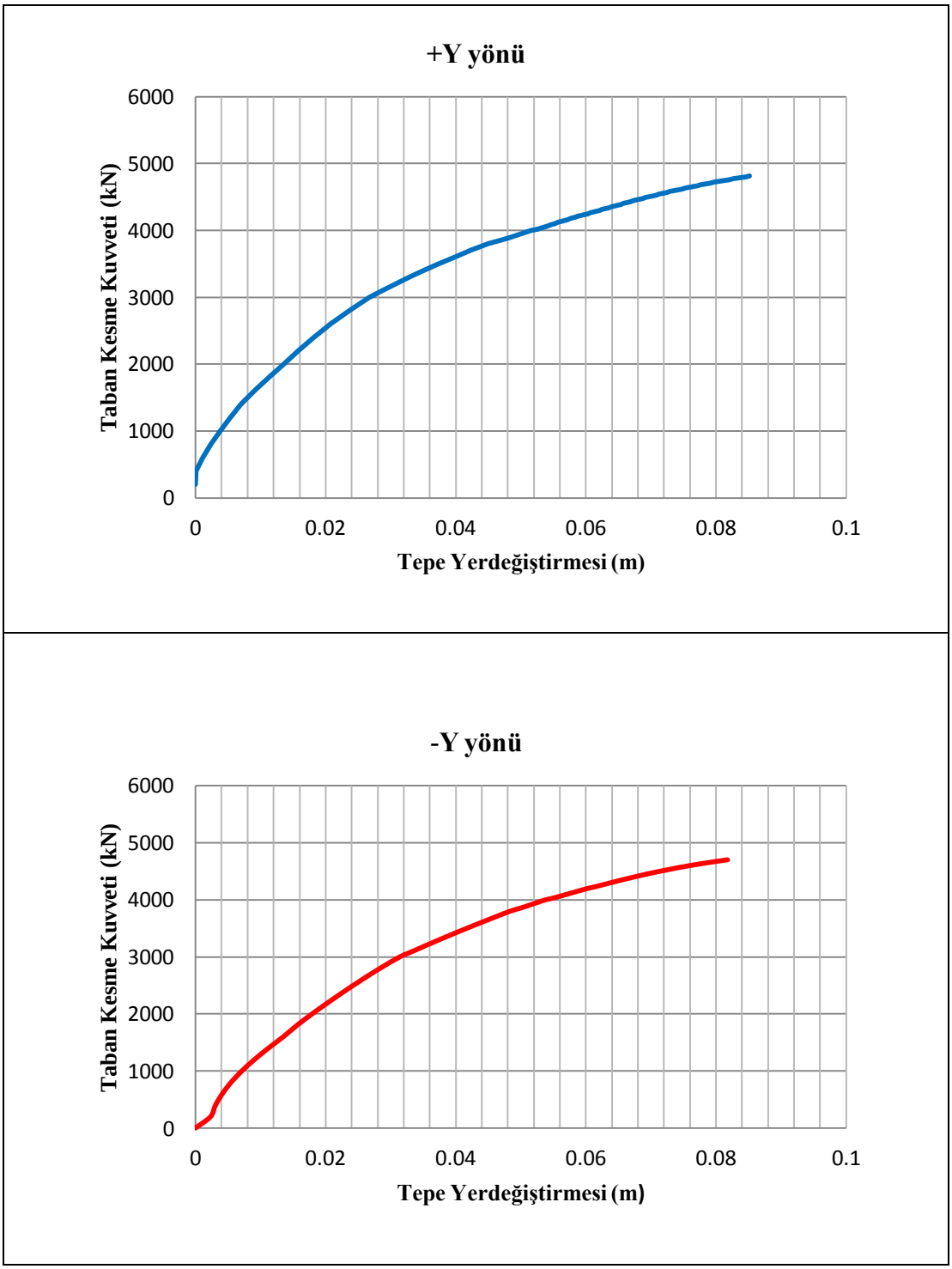
5.3.2 İtme analizleri

Hazırlanmış olan yapısal modellerde hangi itme analizlerinin kullanılacağına karar verilmesi gerekmektedir. Bu amaçla Tip A yapısal modeli, +X, –X, +Y ve –Y yönlerinde itme analizine maruz bırakılmıştır.

Elde edilen *tepe yerdeğiştirme - taban kesme kuvveti* grafikleri Şekil 5.23'de gösterilmiştir.



Şekil 5.23 : Tip A'ya ait itme analizi sonuçları.



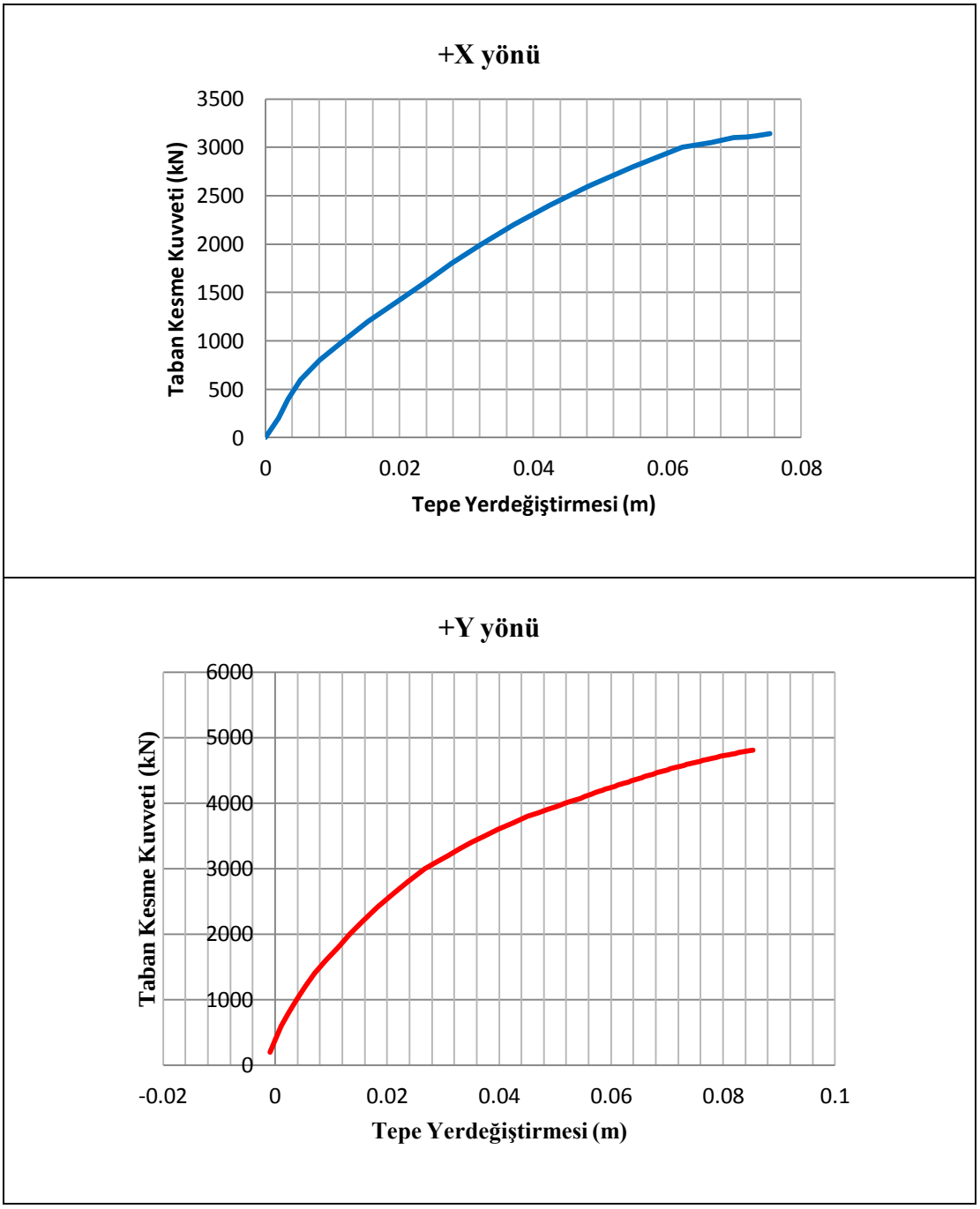
Şekil 5.23 (devam) : Tip A'ya ait itme analizi sonuçları.

Tip A'ya ait *tepe yerdeğiştirme - taban kesme kuvveti* diyagramları incelendiğinde, X doğrultusundaki itme analizlerinin aynı sonuçları verdiği görülmektedir. Bundan ötürü, yapının da simetrik davrandığı X doğrultusunda tek bir itme analizinin yapılması yeterlidir.

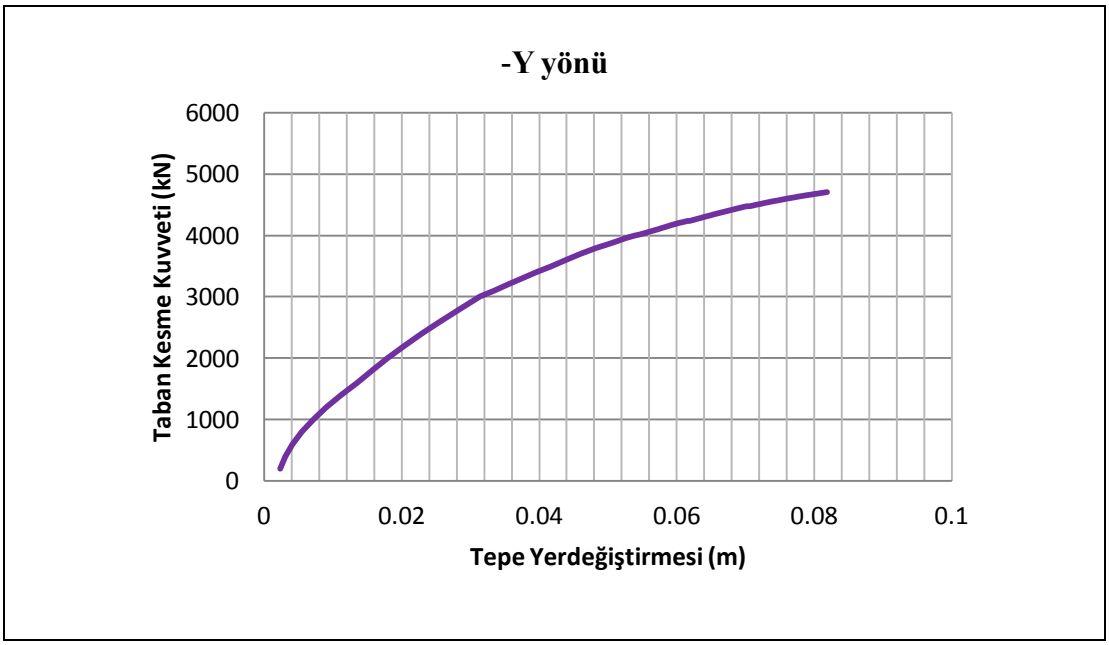
Tip A'nın Y doğrultusundaki itme analizi sonuçları ise, düzensiz ve simetriye sahip olmayan yapılarda her iki yönün de kendisine ait bir itme analizine sahip olduğunu göstermektedir.

Bu irdeleme ile her bir yapı modelinde, X doğrultusunda tek, Y doğrultusunda ise her iki yöne ait itme analizlerinin yapılması gerektiği sonucu çıkmıştır.

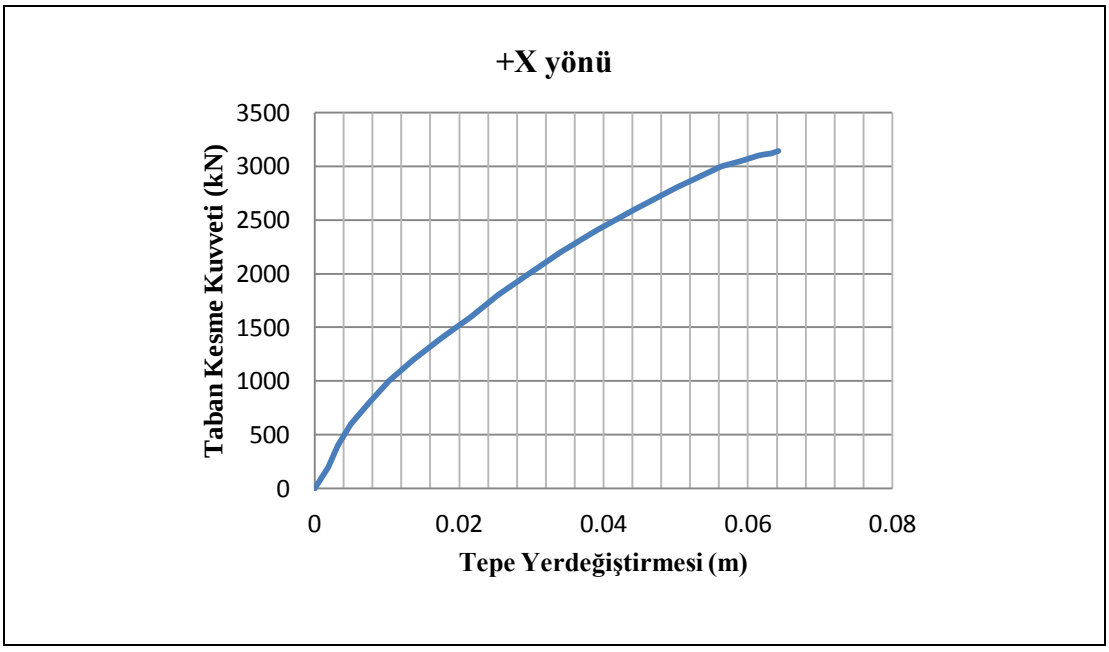
Bu bilgiler ışığında Tip B'ye ve Tip C'ye ait *tepe yerdeğiştirme - taban kesme kuvveti* diyagramları sırasıyla Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'de gösterilmiştir.



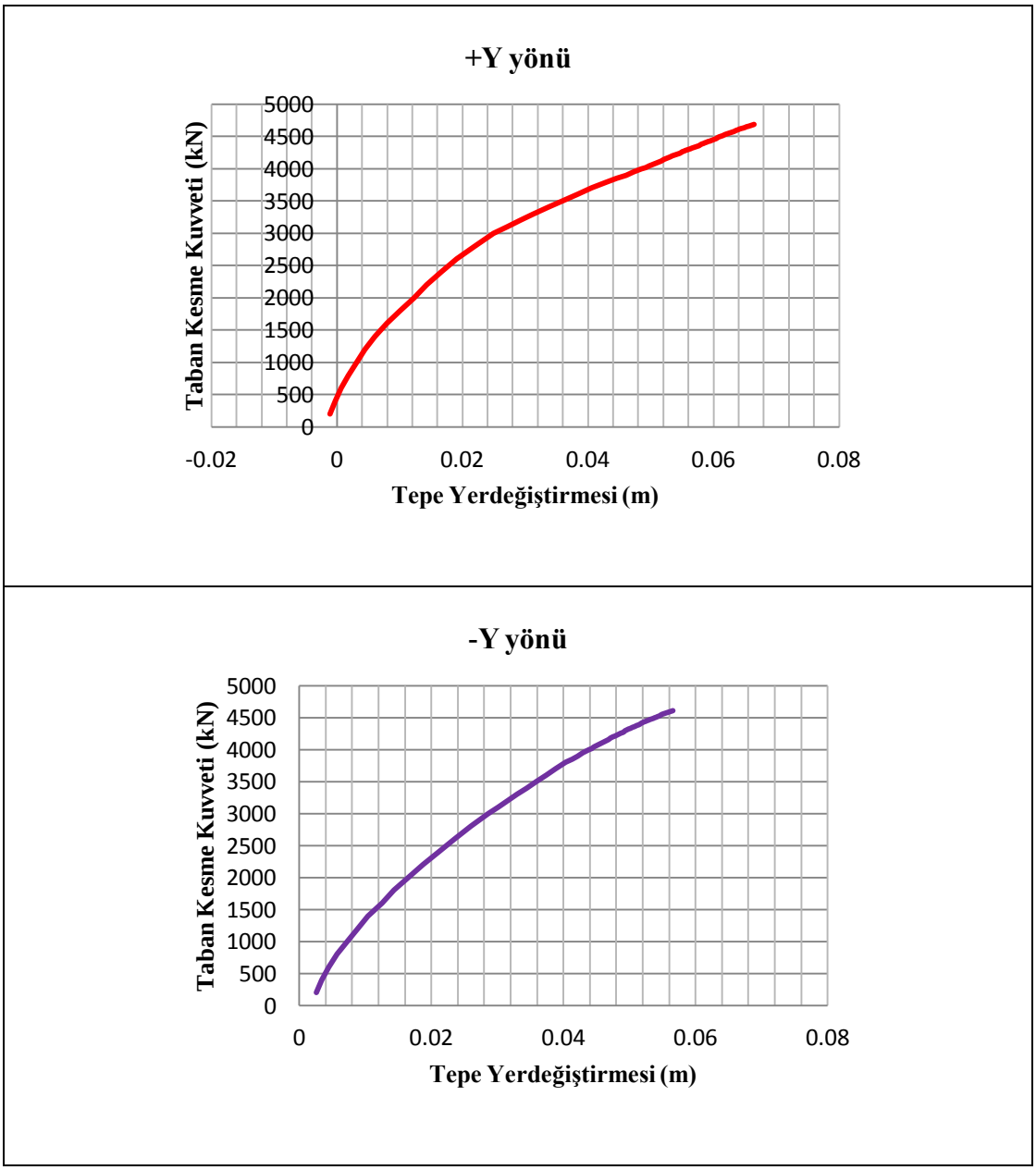
Şekil 5.24 : Tip B'ye ait itme analizi sonuçları.



Şekil 5.24 (devam) : Tip B'ye ait itme analizi sonuçları.



Şekil 5.25 : Tip C'ye ait itme analizi sonuçları.



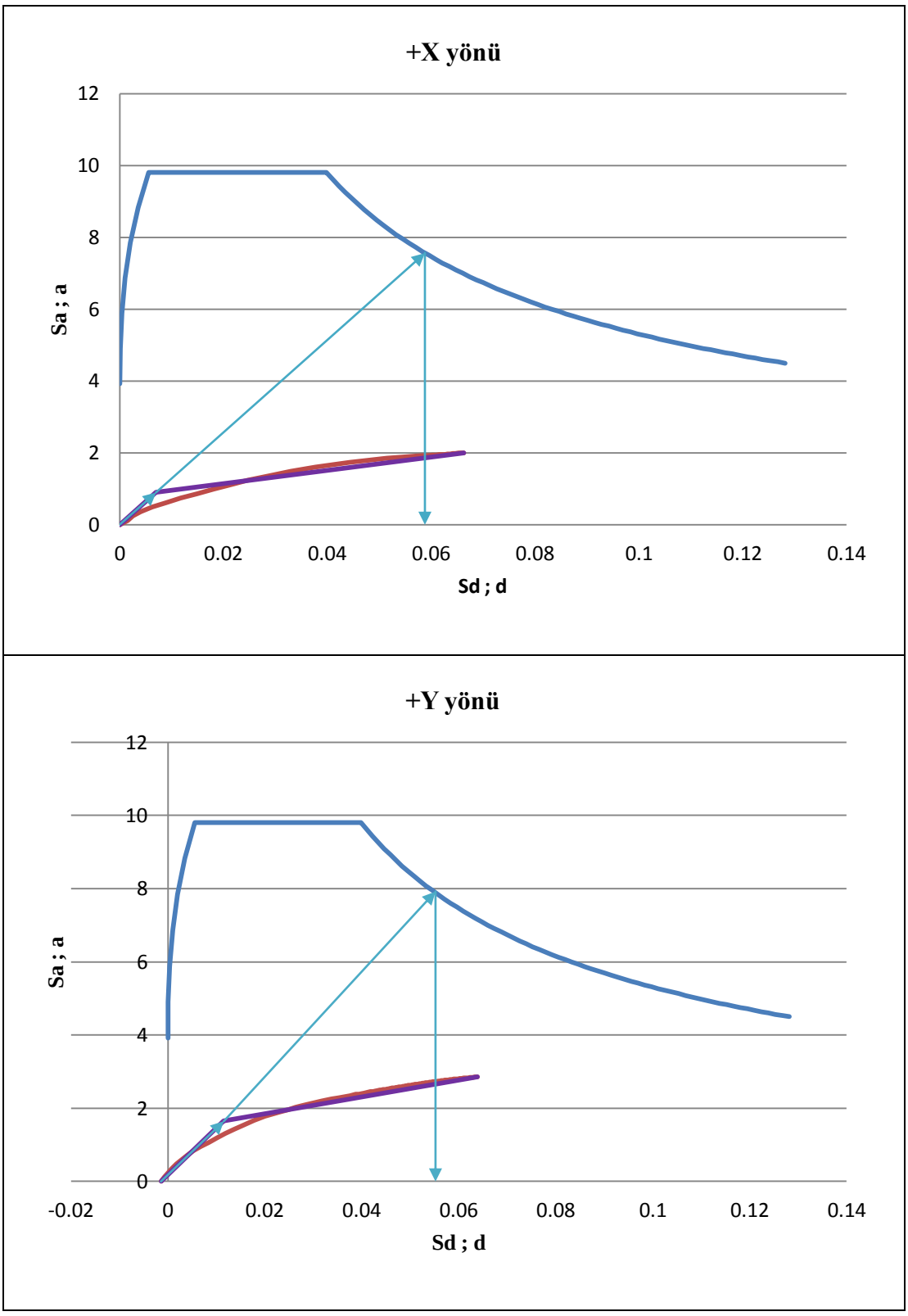
Şekil 5.25 (devam) : Tip C'ye ait itme analizi sonuçları.

5.3.3 Performans değerlendirmesi

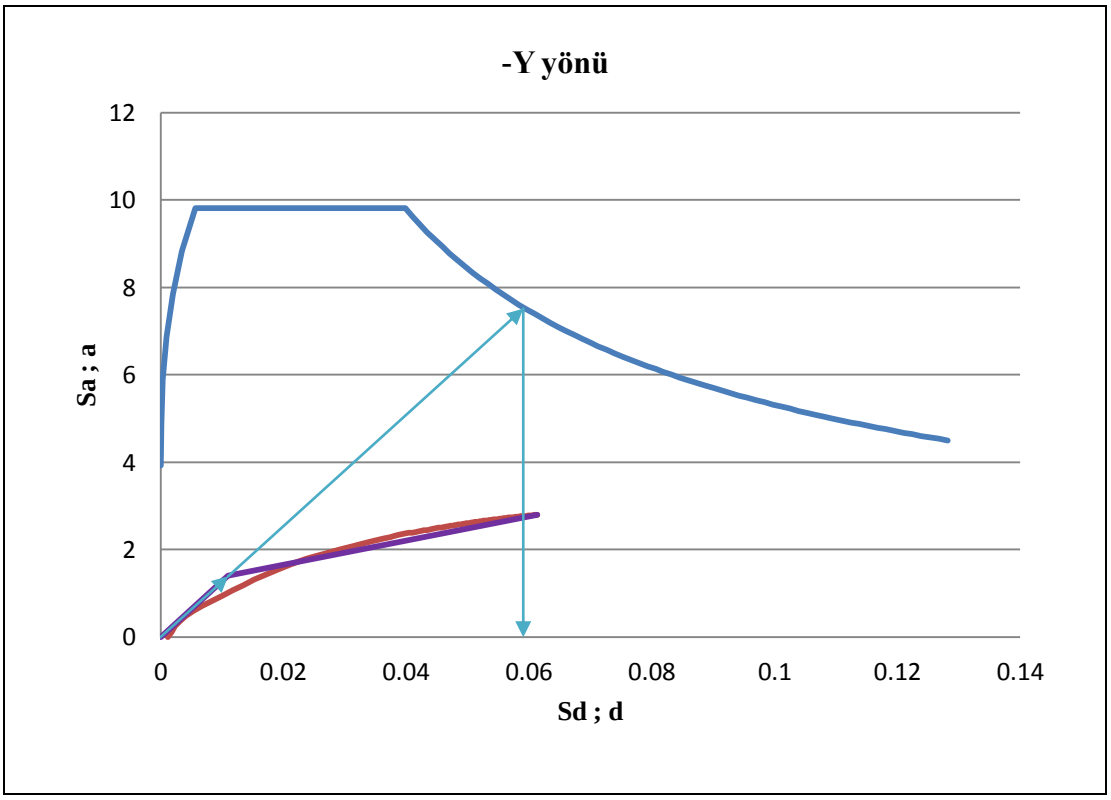
5.3.3.1 Tepe yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi

Her üç tipe ait itme analizi sonuçları, idealleştirilmiş iki doğrulu modal kapasite diyagramlarına çevrilmiştir. Elde edilen bu modal kapasite diyagramları *modal ivme - modal yerdeğiştirme* diyagramıyla çakıştırılır. Her iki diyagram kullanılarak aşağıda görünen modal yerdeğiştirme istemleri elde edilir. Modal yerdeğiştirme istemlerinden de, her bir tipte meydana gelen tepe yerdeğiştirme istemlerine geri hesaplama yapılır.

Tip A için elde edilmiş olan iki doğrulu kapasite diyagramları ve modal yerdeğiştirme istemleri Şekil 5.26'da bulunmaktadır.



Şekil 5.26 : Tip A'ya ait modal yerdeğiştirme istemleri.



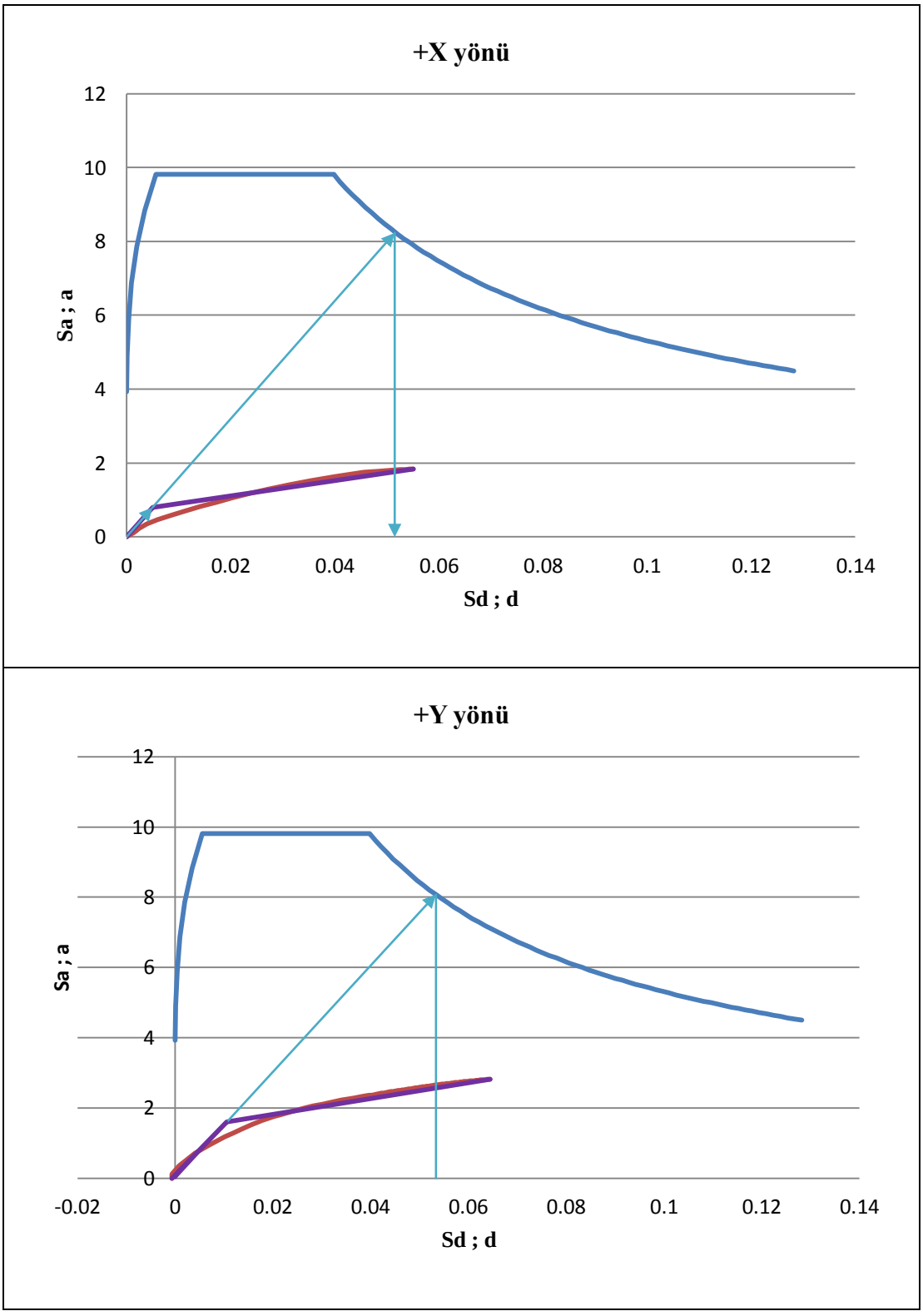
Şekil 5.26 (devam) : Tip A'ya ait modal yerdeğiştirme istemleri.

Tip A için elde edilmiş olan tepe yerdeğiştirme istemleri ise sırasıyla Çizelge 5.12'ye işlenmiştir.

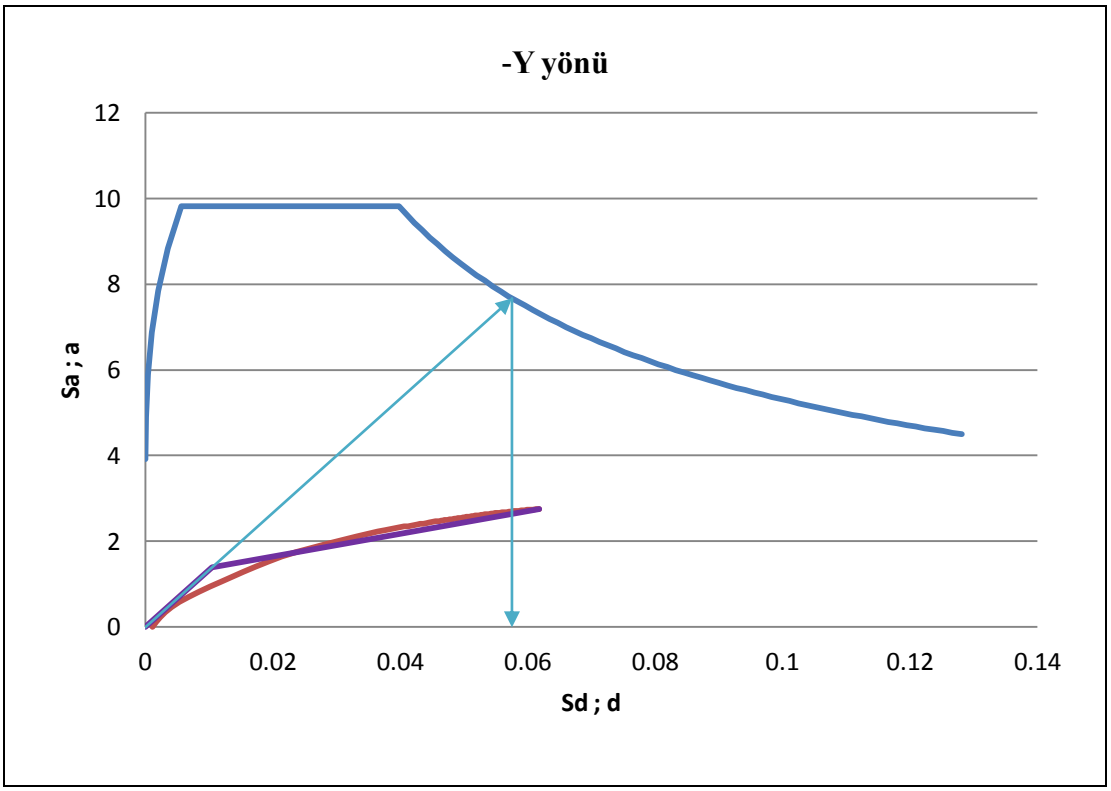
Çizelge 5.12 : Tip A için elde edilmiş tepe yerdeğiştirme istemleri.

İtme Yönü	d_1^p (m)	u_1^p (m)
+X yönü	0.0588	0.0810
+Y yönü	0.0552	0.0737
- Y yönü	0.0591	0.0788

Tip B için elde edilmiş olan iki doğrulu kapasite diyagramları ve modal yerdeğiştirme istemleri Şekil 5.27'de bulunmaktadır.



Şekil 5.27 : Tip B'ye ait modal yerdeğiştirme istemleri.



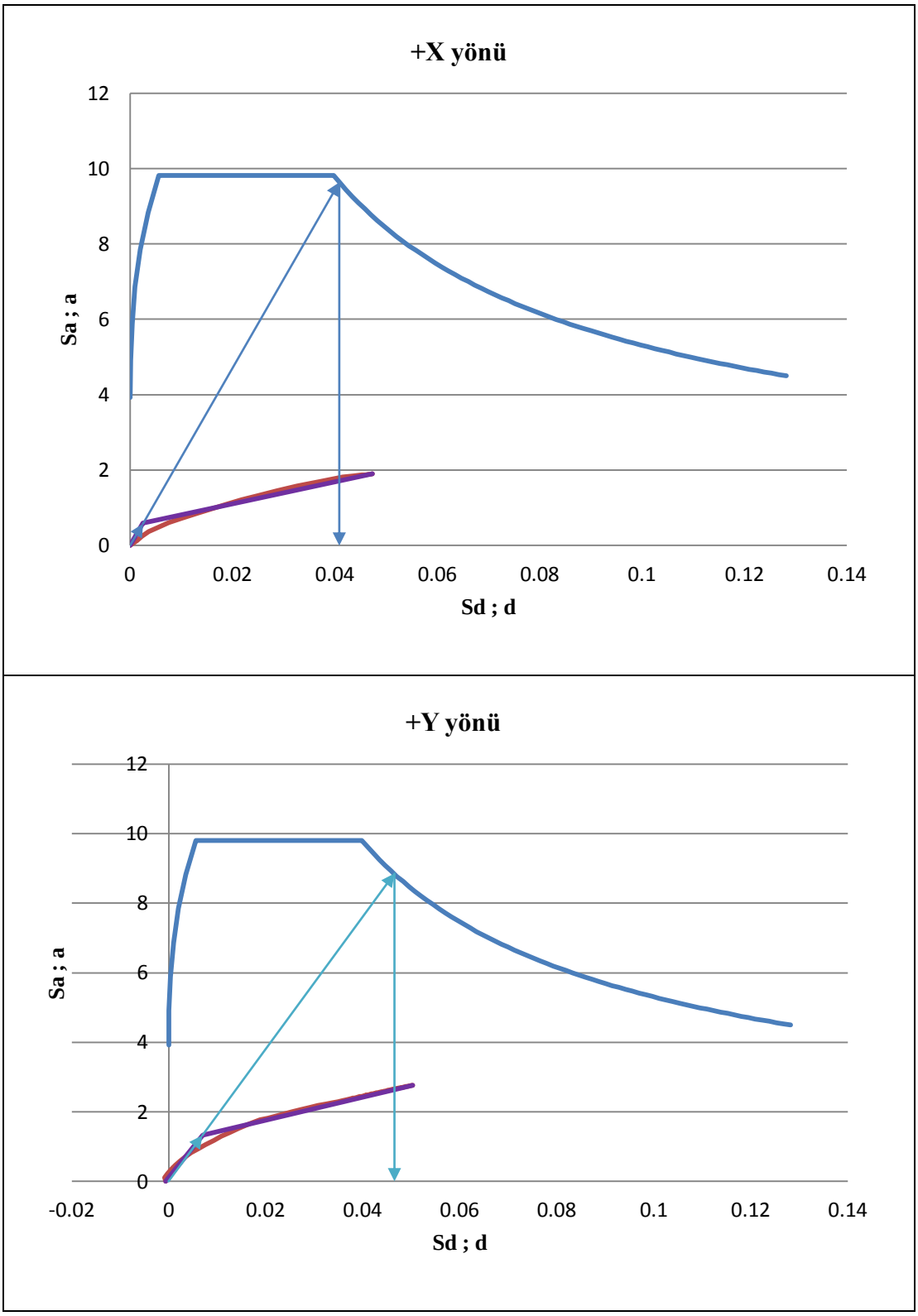
Şekil 5.27 (devam) : Tip B'ye ait modal yerdeğiştirme istemleri.

Tip B için elde edilmiş olan tepe yerdeğiştirme istemleri ise sırasıyla Çizelge 5.13'ye işlenmiştir.

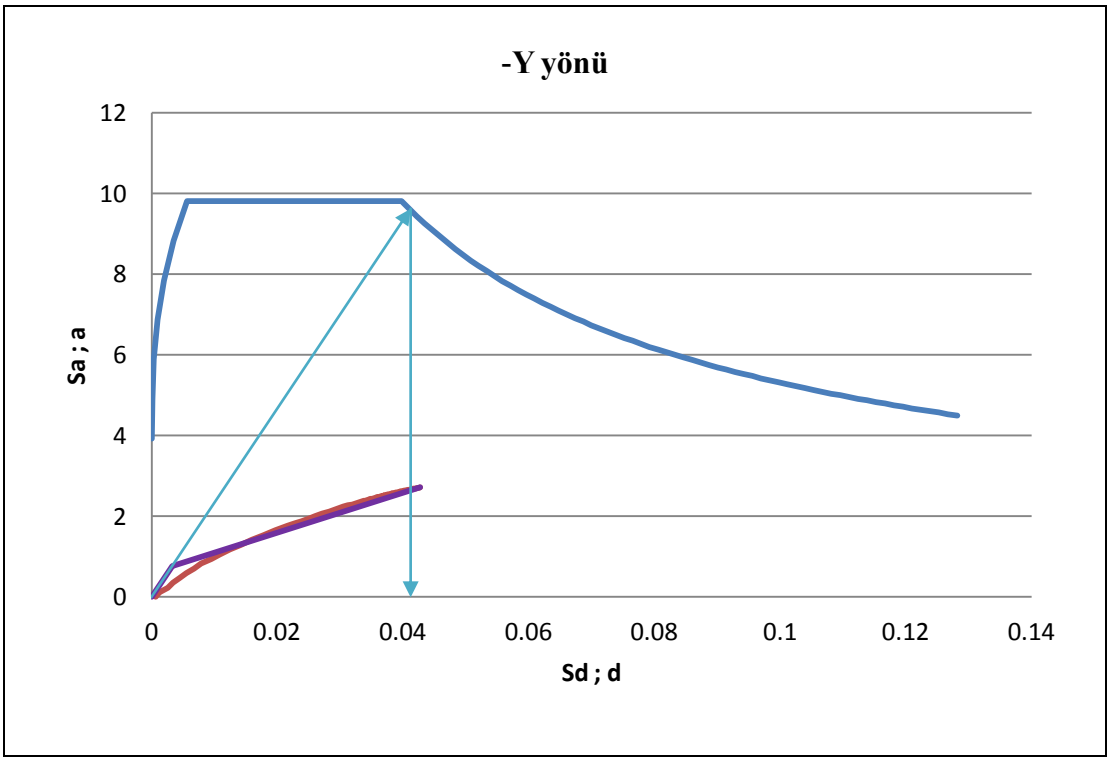
Çizelge 5.13 : Tip B için elde edilmiş tepe yerdeğiştirme istemleri.

İtme Yönü	d_1^p (m)	u_1^p (m)
+X yönü	0.0515	0.0704
+Y yönü	0.0533	0.0707
- Y yönü	0.0575	0.0763

Tip C için elde edilmiş olan iki doğrulu kapasite diyagramları ve modal yerdeğiştirme istemleri Şekil 5.28'de bulunmaktadır.



Şekil 5.28 : Tip C'ye ait modal yerdeğiştirme istemleri.



Şekil 5.28 (devam) : Tip C'ye ait modal yerdeğiştirme istemleri.

Tip C için elde edilmiş olan tepe yerdeğiştirme istemleri ise sırasıyla Çizelge 5.14'ye işlenmiştir.

Çizelge 5.14 : Tip C için elde edilmiş tepe yerdeğiştirme istemleri.

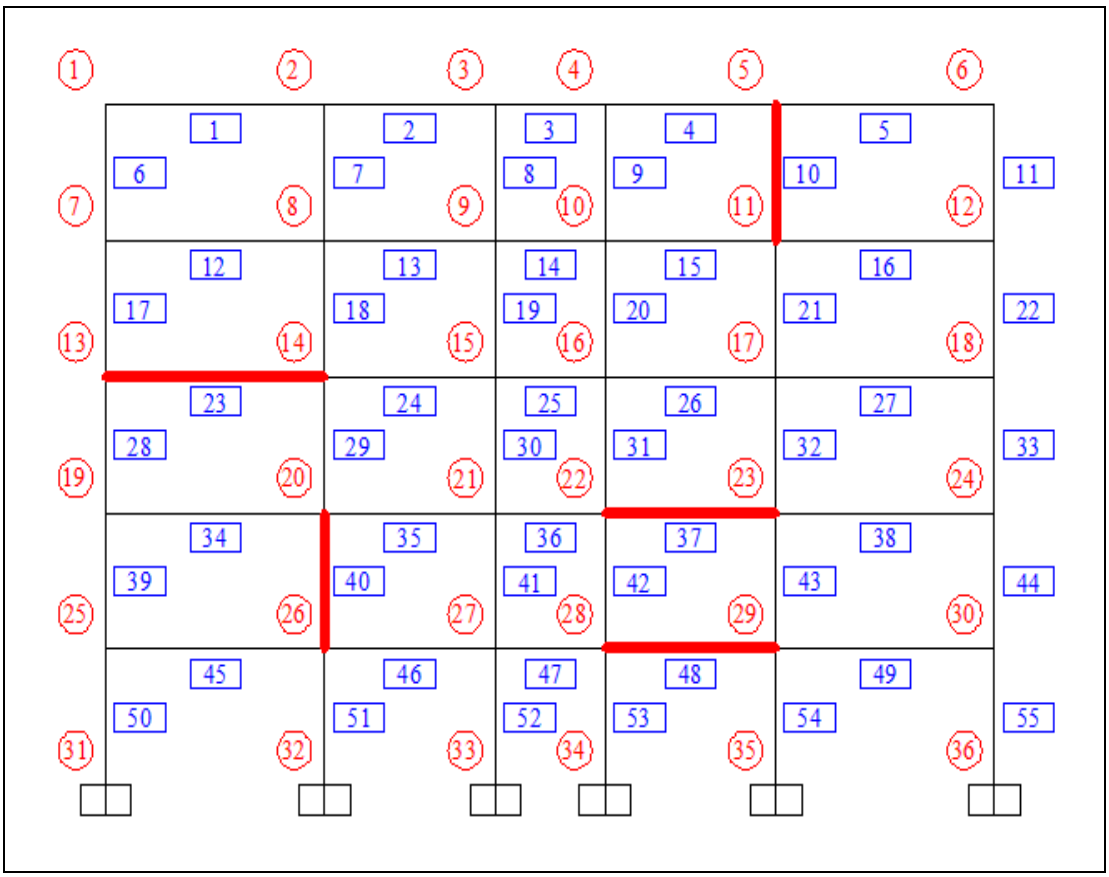
İtme Yönü	d_1^p (m)	u_1^p (m)
+X yönü	0.0409	0.0555
+Y yönü	0.0466	0.0616
- Y yönü	0.0413	0.0546

5.3.3.2 Taşıyıcı sistem elemanlarında performans değerlendirmesi

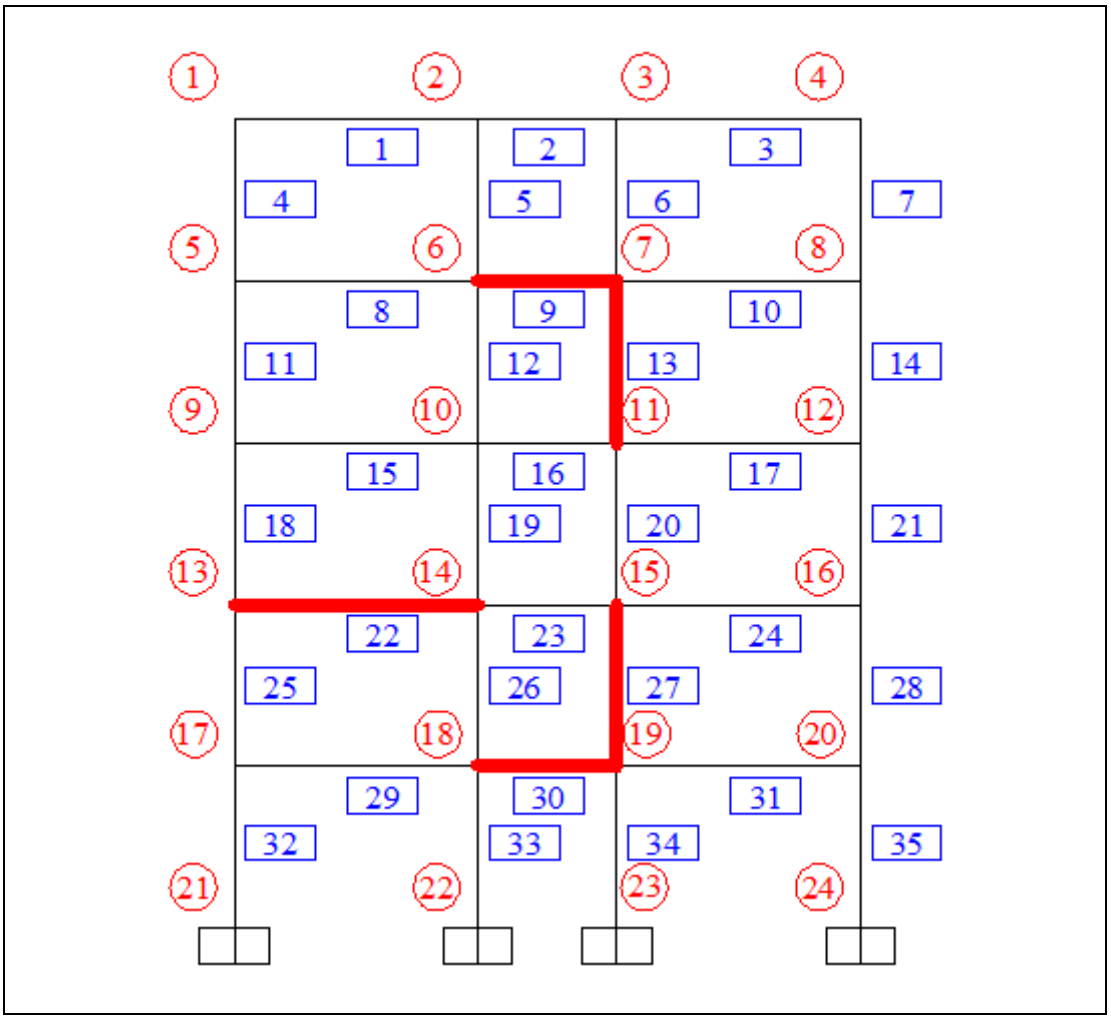
Eleman düzeyinde performans değerlendirmesi sırasında belirli yöndeki itme doğrultusunda çalışan akslardan rastgele taşıyıcı sistem elemanları seçilmiştir. Değerlendirme sırasında +X yönü ve +Y yönündeki itme analizleri dikkate alınmıştır.

Seçilmiş yapı elemanlarında her bir tepe yerdeğiştirme istemi karşısında meydana gelen beton birim kısalma miktarları ve donatı birim uzama miktarları kesit elemanlarının kapasite diyagramlarından elde edilmiş ve performans düzeyleri tespit edilmiştir.

Şekil 5.29'da X doğrultusu için seçilmiş olan elemanların alt sistem üzerindeki görünümleri Şekil 5.30'da ise Y doğrultusu için seçilmiş olan elemanların alt sistem görünümleri bulunmaktadır.



Şekil 5.29 : X doğrultusunda seçilmiş yapı elemanları.



Şekil 5.30 : Y doğrultusunda seçilmiş yapı elemanları.

Her üç yapı modeli için her üç doğrultudaki tepe yerdeğiştirme istemleri yukarıda bulunmaktadır. Bu tepe yerdeğiştirme istemi sonucunda belirlenmiş olan elemanların performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiş ve çizelgelere işlenmiştir. + X yönündeki itme analizi sonucu yapılan eleman düzeyinde performans değerlendirmeleri Tip A için Çizelge 5.15 , Tip B için Çizelge 5.16 ve Tip C için Çizelge 5.17'de incelenebilir.

Çizelge 5.15 : Tip A için +X yönünde eleman performans değerleri.

Alt Sistem ve Çubuk No	Birim Şekildeğiştirme Değerleri				Eleman Hasar Bölgesi
	Pozitif Momentte		Negatif Momentte		
	εc	εs	εc	εs	
1-23	0.0002	0.0012	0.0007	0.0015	Minimum Hasar Bölgesi
1-37	0.0002	0.0011	0.0006	0.0013	Minimum Hasar Bölgesi
2-10	0.0006	0.0009	0.0005	0.0007	Minimum Hasar Bölgesi
2-48	0.0002	0.0012	0.0006	0.0013	Minimum Hasar Bölgesi
3-40	0.0011	0.0009	0.0011	0.0009	Minimum Hasar Bölgesi

Çizelge 5.16 : Tip B için +X yönünde eleman performans değerleri.

Alt Sistem ve Çubuk No	Birim Şekildeğiştirme Değerleri				Eleman Hasar Bölgesi
	Pozitif Momentte		Negatif Momentte		
	εc	εs	εc	εs	
1-23	0.0002	0.0012	0.0006	0.0012	Minimum Hasar Bölgesi
1-37	0.0002	0.0011	0.0006	0.0013	Minimum Hasar Bölgesi
2-10	0.0005	0.0007	0.0004	0.0005	Minimum Hasar Bölgesi
2-48	0.0001	0.0006	0.0006	0.0013	Minimum Hasar Bölgesi
3-40	0.0009	0.0008	0.001	0.0008	Minimum Hasar Bölgesi

Çizelge 5.17 : Tip C için +X yönünde eleman performans değerleri.

Alt Sistem ve Çubuk No	Birim Şekildeğiştirme Değerleri				Eleman Hasar Bölgesi
	Pozitif Momentte		Negatif Momentte		
	εc	εs	εc	εs	
1-23	0.0001	0.0006	0.0006	0.0012	Minimum Hasar Bölgesi
1-37	0.0001	0.0006	0.0005	0.001	Minimum Hasar Bölgesi
2-10	0.0004	0.0005	0.0003	0.0003	Minimum Hasar Bölgesi
2-48	0.0001	0.0006	0.0005	0.0011	Minimum Hasar Bölgesi
3-40	0.0008	0.0007	0.0008	0.0007	Minimum Hasar Bölgesi

+ Y yönündeki itme analizi sonucu yapılan eleman düzeyinde performans değerlendirmeleri Tip A için Çizelge 5.18 , Tip B için Çizelge 5.19 ve Tip C için Çizelge 5.20'de incelenebilir.

Çizelge 5.18 : Tip A için +Y yönünde eleman performans değerleri.

Alt Sistem ve Çubuk No	Birim Şekildeğiştirme Değerleri				Eleman Hasar Bölgesi
	Pozitif Momentte		Negatif Momentte		
	εc	εs	εc	εs	
5-9	0.0004	0.0023	0.0002	0.0004	Minimum Hasar Bölgesi
6-13	0.0007	0.0007	0.0006	0.0005	Minimum Hasar Bölgesi
7-22	0.0004	0.0041	0.0008	0.0017	Minimum Hasar Bölgesi
8-27	0.0008	0.0007	0.0009	0.0008	Minimum Hasar Bölgesi
9-30	0.001	0.015	0.0012	0.0035	Belirgin Hasar Bölgesi

Çizelge 5.19 : Tip B için +Y yönünde eleman performans değerleri.

Alt Sistem ve Çubuk No	Birim Şekildeğiştirme Değerleri				Eleman Hasar Bölgesi
	Pozitif Momentte		Negatif Momentte		
	εc	εs	εc	εs	
5-9	0.0004	0.0009	0.0002	0.0005	Minimum Hasar Bölgesi
6-13	0.0007	0.0007	0.0006	0.0005	Minimum Hasar Bölgesi
7-22	0.0003	0.0027	0.001	0.0022	Minimum Hasar Bölgesi
8-27	0.0007	0.0007	0.0008	0.0007	Minimum Hasar Bölgesi
9-30	0.001	0.016	0.0012	0.0034	Belirgin Hasar Bölgesi

Çizelge 5.20 : Tip C için +Y yönünde eleman performans değerleri.

Alt Sistem ve Çubuk No	Birim Şekildeğiştirme Değerleri				Eleman Hasar Bölgesi
	Pozitif Momentte		Negatif Momentte		
	εc	εs	εc	εs	
5-9	0.0003	0.0018	0.0001	0.0002	Minimum Hasar Bölgesi
6-13	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	Minimum Hasar Bölgesi
7-22	0.0002	0.0014	0.0008	0.0016	Minimum Hasar Bölgesi
8-27	0.0007	0.0007	0.0008	0.0007	Minimum Hasar Bölgesi
9-30	0.0008	0.011	0.0009	0.0019	Belirgin Hasar Bölgesi

- Y yönündeki itme analizi sonucu yapılan eleman düzeyinde performans değerlendirmeleri Tip A için Çizelge 5.21 , Tip B için Çizelge 5.22 ve Tip C için Çizelge 5.23'de incelenebilir.

Çizelge 5.21 : Tip A için -Y yönünde eleman performans değerleri.

Alt Sistem ve Çubuk No	Birim Şekildeğiştirme Değerleri				Eleman Hasar Bölgesi
	Pozitif Momentte		Negatif Momentte		
	εc	εs	εc	εs	
5-9	0.0004	0.0024	0.0008	0.0017	Minimum Hasar Bölgesi
6-13	0.0006	0.0008	0.0008	0.0013	Minimum Hasar Bölgesi
7-22	0.0004	0.0029	0.0014	0.0049	Minimum Hasar Bölgesi
8-27	0.001	0.002	0.0008	0.0012	Minimum Hasar Bölgesi
9-30	0.0011	0.017	0.0016	0.0066	Belirgin Hasar Bölgesi

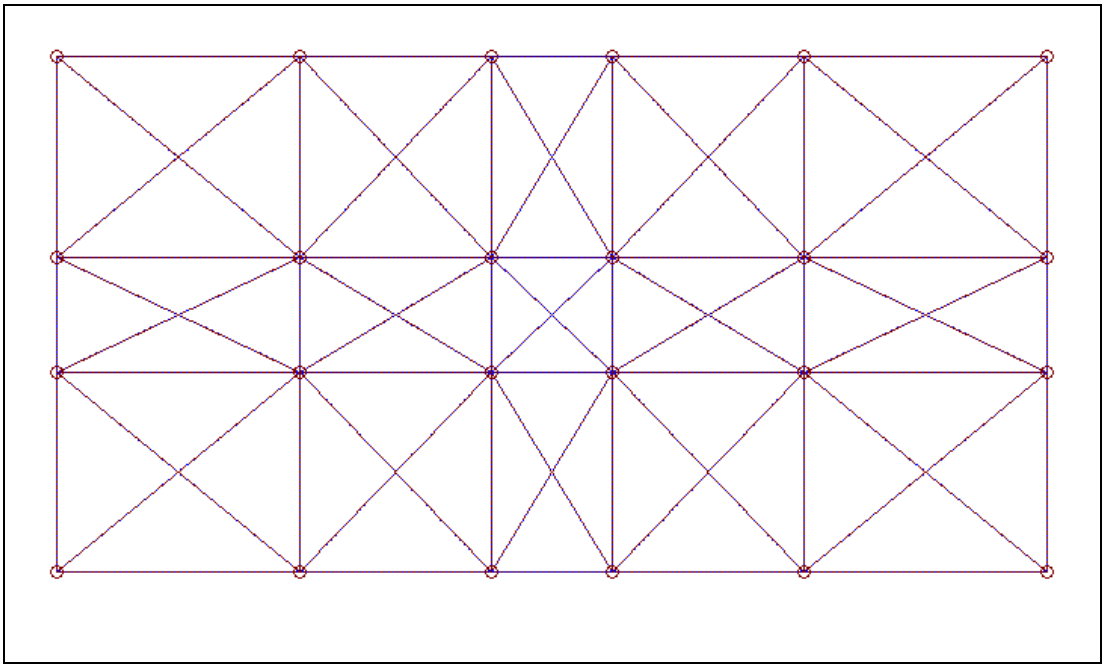
Çizelge 5.22 : Tip B için -Y yönünde eleman performans değerleri.

Alt Sistem ve Çubuk No	Birim Şekildeğiştirme Değerleri				Eleman Hasar Bölgesi
	Pozitif Momentte		Negatif Momentte		
	εc	εs	εc	εs	
5-9	0.0004	0.0024	0.0008	0.0017	Minimum Hasar Bölgesi
6-13	0.0006	0.0008	0.0008	0.0014	Minimum Hasar Bölgesi
7-22	0.0003	0.0018	0.0013	0.0041	Minimum Hasar Bölgesi
8-27	0.001	0.002	0.0008	0.0012	Minimum Hasar Bölgesi
9-30	0.001	0.0155	0.0014	0.0049	Belirgin Hasar Bölgesi

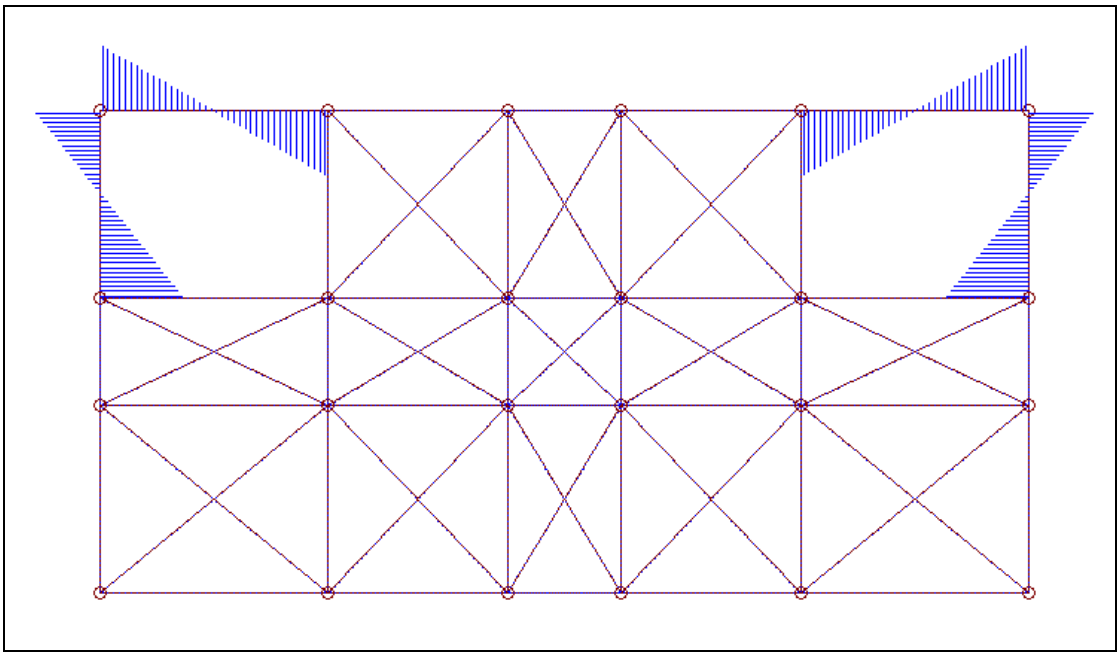
Çizelge 5.23 : Tip C için -Y yönünde eleman performans değerleri.

Alt Sistem ve Çubuk No	Birim Şekildeğiştirme Değerleri				Eleman Hasar Bölgesi
	Pozitif Momentte		Negatif Momentte		
	εc	εs	εc	εs	
5-9	0.0004	0.0021	0.0008	0.0016	Minimum Hasar Bölgesi
6-13	0.0005	0.0006	0.0006	0.0008	Minimum Hasar Bölgesi
7-22	0.0002	0.0014	0.0008	0.0017	Minimum Hasar Bölgesi
8-27	0.0007	0.0009	0.0007	0.0008	Minimum Hasar Bölgesi
9-30	0.0008	0.0109	0.0009	0.002	Belirgin Hasar Bölgesi

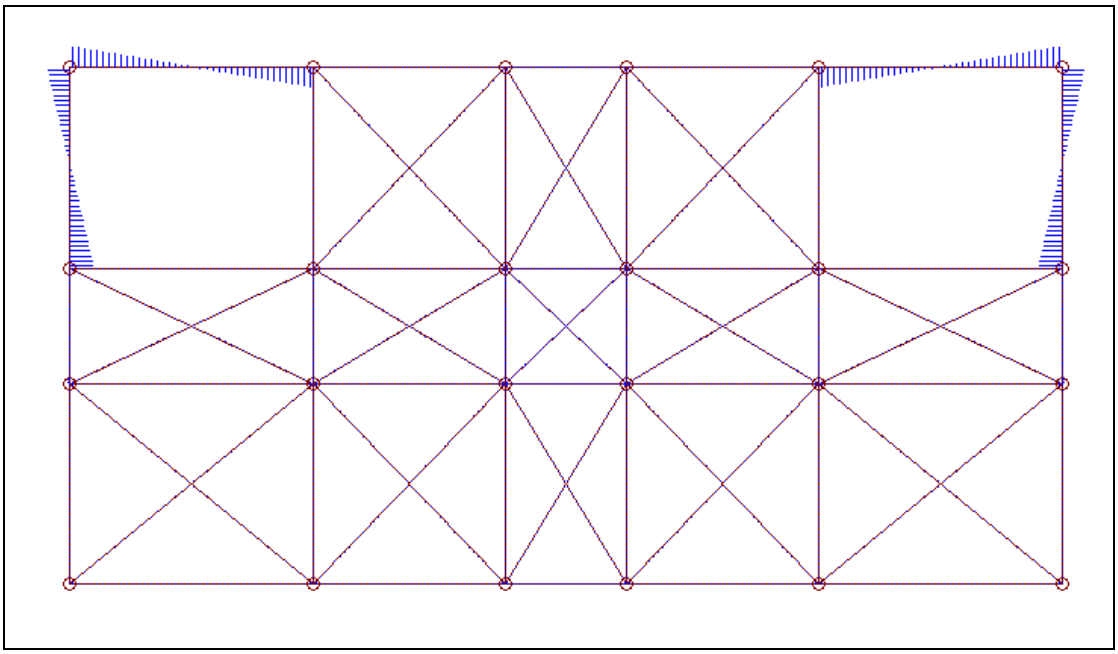
İtme analizi, sadece düşey alt sistemleri değil, aynı zamanda yatay alt sistemleri ve bu alt sistemlere ait elemanları da etkiler. Dolayısıyla tepe yerdeğiştirme istemi karşısında, yatay alt sistem elemanlarında da performans değerlendirmesi yapılmalıdır. Her bir tip yapı modeli için meydana gelen eğrilikler, sırasıyla Şekil 5.31 , Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'de görünmektedir.



Şekil 5.31 : Tip A'ya ait yatay alt sistem kesit eğrilikleri.



Şekil 5.32 : Tip B'ye ait yatay alt sistem kesit eğrilikleri.



Şekil 5.33 : Tip C'ye ait yatay alt sistem kesit eğrilikleri.

Her 3 tip yapı modelinde, döşeme boşluğunun etrafında var olan kirişlerde meydana gelen farklı eğilme rijitlikleri gözlemlenmektir. Çizelge 5.24'de, ilgili kirişlerde meydana gelen eğrilik miktarları işlenmiştir.

Çizelge 5.24 : Yatay alt sistemlere ait kritik elemanlardaki eğrilik değerleri.

Alt Sistem ve Çubuk No	Eğrilik Değerleri					
	Tip A		Tip B		Tip C	
	Negatif	Pozitif	Negatif	Pozitif	Negatif	Pozitif
28	0.00000	0.00000	-0.00213	0.00275	-0.00068	0.00079
33	0.00000	0.00000	-0.00275	0.00213	-0.00079	0.00068
34	0.00000	0.00000	-0.00214	0.00216	-0.00068	0.00062
38	0.00000	0.00000	0.00216	-0.00214	-0.00068	0.00062

Her bir tip yapı modelinde farklı eğrilik değerleri çıksa da, bu elemanların performans değerlendirmeleri sonucunda her bir elemanın *minimum hasar bölgesinde* olduğu görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapı sistemlerinin malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan analiz yapan DOC3B yazılımının eklenen yeni özellikleri doğrulanmıştır. Yazılımın geliştirilme süreci halen devam etmektedir..

Bu tez kapsamında, doğrusal olmayan çözümleme yapabilen bir bilgisayar yazılımı olan DOC3B, yeni eklenen iki özelliğiyle birlikte irdelenmiş, sonuçların doğruluğu kanıtlanmıştır. Yeni eklenen özelliklerden ilki, düşey denge denklemlerinin yazılmasını sağlayan bu doğrultudaki yerdeğiştirme parametresinin eklenmesi; diğeri ise sistemdeki çubuk elemanlar üstünde düzgün yayılı yük dağılımı veri girdisinin sağlanabilmesidir.

Hem düşey hem de yatay sabit yüklerle yapılan statik analizlerde sistem elemanlarında oluşan iç tesirler ile dinamik analizlerden elde edilen serbest titreşim periyotları karşılaştırılmış, her iki programın da verdiği sonuçların yeter mertebede yakınsaklık gösterdiği kanıtlanmıştır. Statik analizlerden elde edilen yerdeğiştirme değerleri karşılaştırıldığında her iki programın çıktılarının da neredeyse aynı olduğu görülmektedir.

Performans değerlendirmesi için 3 tip yapı modeli oluşturulmuş ve her biri her bir doğrultu ve yönde itme analizine maruz bırakılmıştır. İtme analizleri sonucunda, itme doğrultusunda simetrik olan yapılarda tek bir itme yönünün yeterli olduğu; itme doğrultusunda simetrik olmayan yapılarda ise her iki yönde de itme analizinin yapılmasının gerekli olduğu gösterilmiştir. Bunun yanı sıra, döşeme boşluğunun sistem üzerinde rijitlik kaybına ve yerdeğiştirme talebinde bir artışa neden olduğu, boşluğu çevreleyen kirişlerin ise kapasite değerleri daha yüksek elemanlar olarak seçilmesi durumunda binanın bu taleplerinin artmasına engel olduğu, her durum için elde edilmiş modal kapasite diyagramlarıyla kanıtlanmıştır.

Her bir bina için her bir doğrultu ve yönde yapılan itme analizleri sonucunda, rastgele seçilen elemanlarda performans analizleri yapılmış ve birim şekildeğiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Elemanlarda meydana gelen birim şekildeğiştirme miktarları çok küçük değerlerde olduğu için performans analizlerinde hasar bölgeleri

arasında farklılıklar gözlemlenmemiştir. Ancak, hasar bölgesi yerine birim şekildeğiştirme miktarları karşılaştırıldığında döşeme boşluğunun oluşması, birim şekildeğiştirme miktarlarında %100'e varan artışlara neden olabilmektedir. Var olan bu durum, döşeme boşluğu olan kısımlardaki perdeye bağlanan kirişlerin daha erken kapasitelerine ulaşmasına ve perdelerin sistemle olan bağlantısını ortadan kaldırmaktadır. Bu durum perdelerin binanın deprem davranışına hiçbir etkisi olmayan faydasız yapı elemanlarına dönüşmelerine neden olmaktadır. Döşeme boşluklarındaki kirişlerin daha yüksek kapasitelerle imal edilmiş olması bu değerleri her ne kadar azaltsada, boşluksuz duruma göre kesit eğriliklerinde ve birim şekildeğiştirme miktarlarında hala önemli sayılabilecek bir artışa neden olmaktadır. Fakat döşeme boşluğunun yapılmasının zorunlu olduğu hallerde, birim şekildeğiştirme miktarlarının kontrol altına alınabilmesi için, bu yöntemin kullanılmasının gerekli olduğu elde edilen sonuçlarla gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] **Yüksel, E.** (1998). Bazı Düzensizlikleri İçeren Üç Boyutlu Büyük Yapı Sistemlerinin Doğrusal OLmayan Çözümlemesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[2] **Smith, B. S., Girgir, A.** (2008). Simple Analogous Frames for Shear Wall Analysis, *Journal of Structural Engineering*, p. 2655 - 2666

[3] **Kwan, A.K.H.** (1993). Improved Wide Column Frame Analogy for Shear-Core Wall Analysis, *Journal of Structural Engineering*, p. 420 - 437

[4] **Fahjan, Y.M., Başak, K., Kubin, J., ve Tan, M.T.** (2011). Perdeli Yapılar için Doğrusal Olmayan Analiz Metotları, *7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.

[5] **Yavuz, İ.** (2006). Mevcut Bir Okul Binasının Doğrusal Elastik ve Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemlerine Göre Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

[6] **Korkmaz, A., Düzgün, M.** (2007). Doğrusal Olmayan Yapısal Analiz Yöntemlerinin Değerlendirilmesi, *İtüdergisi/d mühendislik,* s. 11-13, İstanbul

[7] **Arısoy, B., Arel, H. Ş.** (2010). Yapısal Özellikleri Farklı Betonarme Binaların Performansa Dayalı Analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* s. 431 - 439, Ankara

[8] **Habibi, A.R., Moharrami, H.** (2010). Nonlinear Sensitivity Analysis of Reinforced Concrete Frames, *Finite Elements in Analysis and Designü* p. 571 - 584, United Kingdom

[9] **Aydınoğlu, M.N.** (2003). Yapıların deprem performansının değerlendirilmesi için artımsal spektrum analizi (ARSA) yöntemi, *5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.

[10] **Sönmez, İ.K.** (2009). Betonarme Yapı Sistemlerinde Yapısal Performans Düzeyini Belirleyen Bir Bilgisayar Programı Geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

[11] **Celep, Z.** (2007). Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul

[12] **TS500 - Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları** (2000). Bakanlıklar, Ankara.

[13] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik** (2007). Bayındırlık Bakanlığı, Ankara.

[14] **Özer, E.** (2008). Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, İstanbul.

[15] **Karadoğan, H.F., Yüksel, E.** (2012). Yatay Yükler Etkisindeki Perde-Çerçeve Etkileşimi Hakkında Ders Notları, İstanbul.

[16] **Ersoy, U.** (1995). Betonarme II - Döşeme ve Temeller Cilt II, Evrim Yayınevi ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul

EKLER

EK A : Yapı elemanlarına ait kapasite çizelgeleri

EK A

Çizelge A.1: Tip 1 kirişlerin pozitif moment etkisindeki kapasite değerleri.

Eğrilik	Moment	ε_c	ε_{s1}	ε_{s2}
0	0	0	0	0
0.002451	10.0119	0.0002	0.000139	0.001209
0.005874	16.6837	0.000399	0.000253	0.002977
0.013072	16.8535	0.000598	0.000273	0.006916
0.021333	17.428	0.000797	0.000267	0.011467
0.03003	18.0388	0.000995	0.000249	0.016267
0.039216	18.4726	0.001194	0.00022	0.021349
0.04811	18.9223	0.001393	0.000197	0.026263
0.057348	19.2065	0.001591	0.000166	0.031375
0.066667	19.3975	0.00179	0.000133	0.036533
0.075758	19.5709	0.001989	0.000106	0.041561
0.084291	19.796	0.002187	0.000093	0.046267
0.093023	19.9025	0.002386	0.000074	0.051088
0.101961	19.9089	0.002585	0.000051	0.056027
0.109804	20.1176	0.002784	0.000055	0.060337
0.119048	19.9813	0.002982	0.000024	0.065452
0.126984	20.1033	0.003181	0.000025	0.069816
0.134921	20.1992	0.00338	0.000027	0.074179
0.142857	20.2732	0.003579	0.000029	0.078543
0.150794	20.3287	0.003777	0.00003	0.082906
0.15873	20.3684	0.003976	0.000032	0.08727
0.166667	20.3944	0.004175	0.000033	0.091633
0.174603	20.4085	0.004374	0.000035	0.095997

Çizelge A.2: Tip 1 kirişlerin negatif moment etkisindeki kapasite değerleri.

Eğrilik	Moment	ε_c	ε_{s1}	ε_{s2}
0	0	0	0	0
0.001126	7.0666	0.0002	0.000172	0.000448
0.002226	13.8595	0.0004	0.000344	0.00088
0.003295	20.3671	0.0006	0.000518	0.001295
0.004336	26.5866	0.000799	0.000692	0.001693
0.005593	31.4858	0.000999	0.00086	0.002216
0.008097	32.0014	0.001199	0.000998	0.003456
0.011006	32.3819	0.001398	0.001125	0.004929
0.014337	32.6241	0.001598	0.001242	0.006644
0.01791	32.9493	0.001797	0.001352	0.008499
0.021436	33.5839	0.001997	0.001464	0.010326
0.025114	34.1396	0.002196	0.001572	0.012241
0.028881	34.6499	0.002396	0.001678	0.014206
0.032704	35.1391	0.002595	0.001782	0.016205
0.036745	35.5474	0.002794	0.001881	0.018329
0.040816	35.9584	0.002994	0.00198	0.020469
0.043896	36.1889	0.003193	0.002103	0.02204
0.046448	36.3939	0.003393	0.002239	0.023308
0.04918	36.5292	0.003593	0.00237	0.024679
0.051701	36.6777	0.003792	0.002507	0.025928
0.054201	36.8037	0.003992	0.002645	0.027165
0.05668	36.9102	0.004191	0.002783	0.028391
0.058902	37.0389	0.004391	0.002927	0.029469

Çizelge A.3: Tip 2 kirişlerin pozitif moment etkisindeki kapasite değerleri.

Eğrilik	Moment	ε_c	ε_{s1}	ε_{s2}
0	0	0	0	0
0.002237	8.9846	0.0002	0.000144	0.001086
0.004813	16.5562	0.000399	0.00028	0.002368
0.011111	16.754	0.000598	0.000322	0.005789
0.018779	17.1309	0.000797	0.000331	0.009998
0.026882	17.7267	0.000996	0.000328	0.014457
0.035088	18.2816	0.001195	0.000323	0.018975
0.043614	18.6935	0.001393	0.00031	0.023678
0.052288	19.006	0.001592	0.000293	0.028465
0.061224	19.1882	0.001791	0.000269	0.033404
0.069444	19.4888	0.00199	0.000264	0.037931
0.078014	19.63	0.002188	0.00025	0.042658
0.086957	19.6214	0.002387	0.000226	0.0476
0.095238	19.726	0.002586	0.000219	0.052162
0.102564	20.0145	0.002785	0.000236	0.056174
0.111111	19.9882	0.002983	0.000222	0.060889
0.11985	19.8969	0.003182	0.000204	0.065714
0.127341	20.0663	0.003381	0.000216	0.069821
0.134831	20.2158	0.00358	0.000229	0.073928
0.143939	19.9957	0.003778	0.000202	0.078965
0.151515	20.0984	0.003977	0.000212	0.083121
0.159091	20.1888	0.004176	0.000223	0.087277
0.166667	20.2684	0.004375	0.000233	0.091433

Çizelge A.4: Tip 2 kirişlerin negatif moment etkisindeki kapasite değerleri.

Eğrilik	Moment	ε_c	ε_{s1}	ε_{s2}
0	0	0	0	0
0.001126	7.0665	0.0002	0.000172	0.000448
0.002226	13.8598	0.0004	0.000344	0.00088
0.003295	20.3667	0.0006	0.000518	0.001295
0.004336	26.5861	0.000799	0.000692	0.001693
0.005593	31.4855	0.000999	0.00086	0.002216
0.008097	32.0022	0.001199	0.000998	0.003456
0.011006	32.3812	0.001398	0.001125	0.004929
0.014337	32.6236	0.001598	0.001242	0.006644
0.01791	32.9487	0.001797	0.001352	0.008499
0.021436	33.5835	0.001997	0.001464	0.010326
0.025114	34.1404	0.002196	0.001572	0.012241
0.028881	34.6512	0.002396	0.001678	0.014206
0.032704	35.139	0.002595	0.001782	0.016205
0.036745	35.5489	0.002794	0.001881	0.018329
0.040816	35.959	0.002994	0.00198	0.020469
0.043896	36.1897	0.003193	0.002103	0.02204
0.046448	36.3925	0.003393	0.002239	0.023308
0.04918	36.5296	0.003593	0.00237	0.024679
0.051701	36.6775	0.003792	0.002507	0.025928
0.054201	36.8037	0.003992	0.002645	0.027165
0.05668	36.9108	0.004191	0.002783	0.028391
0.058902	37.0376	0.004391	0.002927	0.029469

Çizelge A.5: Tip 3 kirişlerin pozitif moment etkisindeki kapasite değerleri.

Eğrilik	Moment	ε_c	ε_{s1}	ε_{s2}
0	0	0	0	0
0.002801	11.7365	0.0002	0.00013	0.001411
0.007797	16.8172	0.000399	0.000205	0.004083
0.016393	17.0903	0.000598	0.00019	0.008826
0.02589	17.8064	0.000796	0.000153	0.014087
0.035461	18.4786	0.000995	0.000113	0.01939
0.045455	18.9548	0.001193	0.000064	0.024936
0.055556	19.3141	0.001392	0.000011	0.030544
0.065844	19.5392	0.00159	0.000046	0.03626
0.075949	19.7187	0.001789	0.000099	0.041871
0.08547	19.9405	0.001987	0.000137	0.047145
0.095238	20.0146	0.002186	0.000181	0.052562
0.103896	20.2436	0.002384	0.000197	0.05734
0.112554	20.4043	0.002583	0.000214	0.062119
0.122807	20.1837	0.002782	0.00027	0.067814
0.131579	20.2285	0.00298	0.000289	0.072658
0.138528	20.602	0.003179	0.000263	0.076454
0.147186	20.6003	0.003378	0.00028	0.081232
0.155844	20.5739	0.003577	0.000296	0.08601
0.164502	20.5266	0.003775	0.000313	0.090789
0.17316	20.4614	0.003974	0.000329	0.095567

Çizelge A.6: Tip 3 kirişlerin negatif moment etkisindeki kapasite değerleri.

Eğrilik	Moment	ε_c	ε_{s1}	ε_{s2}
0	0	0	0	0
0.001126	7.0666	0.0002	0.000172	0.000448
0.002226	13.8597	0.0004	0.000344	0.00088
0.003295	20.3669	0.0006	0.000518	0.001295
0.004336	26.5864	0.000799	0.000692	0.001693
0.005593	31.4857	0.000999	0.00086	0.002216
0.008097	32.0017	0.001199	0.000998	0.003456
0.011006	32.3816	0.001398	0.001125	0.004929
0.014337	32.6239	0.001598	0.001242	0.006644
0.01791	32.9491	0.001797	0.001352	0.008499
0.021436	33.5838	0.001997	0.001464	0.010326
0.025114	34.1399	0.002196	0.001572	0.012241
0.028881	34.6504	0.002396	0.001678	0.014206
0.032704	35.139	0.002595	0.001782	0.016205
0.036745	35.548	0.002794	0.001881	0.018329
0.040816	35.9587	0.002994	0.00198	0.020469
0.043896	36.1892	0.003193	0.002103	0.02204
0.046448	36.3933	0.003393	0.002239	0.023308
0.04918	36.5294	0.003593	0.00237	0.024679
0.051701	36.6776	0.003792	0.002507	0.025928
0.054201	36.8037	0.003992	0.002645	0.027165
0.05668	36.9104	0.004191	0.002783	0.028391
0.058902	37.0384	0.004391	0.002927	0.029469

Çizelge A.7: Tip 4 kirişlerin pozitif moment etkisindeki kapasite değerleri.

Eğrilik	Moment	ε_c	ε_{s1}	ε_{s2}
0	0	0	0	0
0.002364	9.5852	0.0002	0.000141	0.001159
0.00542	16.6377	0.000399	0.000264	0.002717
0.01227	16.8022	0.000598	0.000293	0.006455
0.020202	17.3284	0.000797	0.000295	0.010816
0.028736	17.9039	0.000996	0.000282	0.015523
0.037383	18.4232	0.001194	0.000265	0.020295
0.046205	18.834	0.001393	0.000245	0.025168
0.055556	19.0389	0.001592	0.000211	0.030344
0.064516	19.2779	0.00179	0.000187	0.035297
0.07326	19.4991	0.001989	0.000168	0.040125
0.081481	19.7682	0.002188	0.000163	0.044652
0.089888	19.923	0.002387	0.000153	0.049285
0.098485	19.9813	0.002585	0.000138	0.054029
0.10728	19.9557	0.002784	0.000118	0.058886
0.114943	20.1525	0.002983	0.000126	0.063092
0.124031	20.0051	0.003181	0.000099	0.068118
0.131783	20.1302	0.00338	0.000105	0.072375
0.139535	20.2341	0.003579	0.000112	0.076633
0.147287	20.3203	0.003778	0.000118	0.08089
0.155039	20.3911	0.003977	0.000124	0.085147
0.164706	20.049	0.004175	0.000082	0.090506
0.172549	20.0795	0.004374	0.000086	0.094816

Çizelge A.8: Tip 4 kirişlerin negatif moment etkisindeki kapasite değerleri.

Eğrilik	Moment	ε_c	ε_{s1}	ε_{s2}
0	0	0	0	0
0.001126	7.0666	0.0002	0.000172	0.000448
0.002226	13.8597	0.0004	0.000344	0.00088
0.003295	20.3669	0.0006	0.000518	0.001295
0.004336	26.5864	0.000799	0.000692	0.001693
0.005593	31.4857	0.000999	0.00086	0.002216
0.008097	32.0017	0.001199	0.000998	0.003456
0.011006	32.3816	0.001398	0.001125	0.004929
0.014337	32.6239	0.001598	0.001242	0.006644
0.01791	32.9491	0.001797	0.001352	0.008499
0.021436	33.5838	0.001997	0.001464	0.010326
0.025114	34.1399	0.002196	0.001572	0.012241
0.028881	34.6504	0.002396	0.001678	0.014206
0.032704	35.139	0.002595	0.001782	0.016205
0.036745	35.548	0.002794	0.001881	0.018329
0.040816	35.9587	0.002994	0.00198	0.020469
0.043896	36.1892	0.003193	0.002103	0.02204
0.046448	36.3933	0.003393	0.002239	0.023308
0.04918	36.5294	0.003593	0.00237	0.024679
0.051701	36.6776	0.003792	0.002507	0.025928
0.054201	36.8037	0.003992	0.002645	0.027165
0.05668	36.9104	0.004191	0.002783	0.028391
0.058902	37.0384	0.004391	0.002927	0.029469

Çizelge A.9: Kolonların uzun doğrultudaki kapasite değerleri.

Eğrilik	Moment	ε_c	ε_{s1}	ε_{s2}	ε_{s3}
0	0	0	0	0	0
0.000333	5.6373	0.0002	0.000192	0.0001	0.000008
0.000963	13.1232	0.000399	0.000376	0.000111	0.000154
0.001905	19.7938	0.000599	0.000552	0.000029	0.000495
0.00293	26.1031	0.000798	0.000727	0.000079	0.000885
0.004301	29.3825	0.000997	0.000892	0.00029	0.001473
0.005797	31.1687	0.001196	0.001055	0.000539	0.002133
0.007179	32.3943	0.001395	0.001221	0.000754	0.002728
0.008602	33.4125	0.001594	0.001385	0.000981	0.003346
0.010345	33.8365	0.001792	0.001541	0.001303	0.004148
0.012121	34.1488	0.001991	0.001697	0.001636	0.00497
0.013836	34.4167	0.00219	0.001854	0.001951	0.005756
0.015534	34.5891	0.002388	0.002012	0.00226	0.006532
0.017333	34.605	0.002587	0.002167	0.0026	0.007367
0.019048	34.6483	0.002786	0.002324	0.002914	0.008152
0.020619	34.7553	0.002985	0.002485	0.003186	0.008856
0.022222	34.795	0.003183	0.002644	0.003467	0.009578
0.02386	34.7813	0.003382	0.002804	0.003758	0.010319
0.025263	34.8794	0.003581	0.002968	0.003979	0.010926
0.026667	34.9418	0.00378	0.003133	0.0042	0.011533
0.028369	34.8211	0.003979	0.003291	0.004511	0.012312
0.029787	34.8292	0.004178	0.003455	0.004736	0.012928
0.031206	34.8157	0.004377	0.00362	0.004962	0.013543

Çizelge A.10: Kolonların kısa doğrultudaki kapasite değerleri.

Eğrilik	Moment	ε_c	ε_{s1}	ε_{s2}	ε_{s3}
0	0	0	0	0	0
0.000667	2.7079	0.0002	0.000183	0.0001	0.000017
0.001333	5.1862	0.0004	0.000367	0.0002	0.000033
0.002787	8.9868	0.000599	0.00053	0.000182	0.000167
0.004558	11.9155	0.000798	0.000686	0.000116	0.000454
0.006441	14.5657	0.000998	0.000839	0.000034	0.000771
0.008556	16.6212	0.001197	0.000986	0.000083	0.001153
0.010916	17.283	0.001396	0.001127	0.000237	0.001602
0.013333	17.7901	0.001595	0.001267	0.0004	0.002067
0.015686	18.2539	0.001794	0.001408	0.000553	0.002514
0.018018	18.6299	0.001993	0.00155	0.000703	0.002955
0.02023	18.9368	0.002192	0.001694	0.000834	0.003363
0.022378	19.1614	0.002392	0.001841	0.000957	0.003754
0.024762	19.236	0.002591	0.001981	0.001114	0.00421
0.027251	19.2423	0.00279	0.002119	0.001288	0.004694
0.02963	19.2524	0.002989	0.002259	0.001444	0.005148
0.031841	19.2797	0.003188	0.002404	0.001576	0.005556
0.034085	19.2757	0.003387	0.002548	0.001713	0.005973
0.036364	19.2469	0.003586	0.002691	0.001855	0.0064
0.038384	19.2545	0.003786	0.00284	0.001958	0.006756
0.040712	19.1888	0.003985	0.002982	0.002107	0.007196
0.042748	19.165	0.004184	0.003131	0.002212	0.007556
0.044784	19.129	0.004383	0.00328	0.002318	0.007916

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Erkan Şenol

Doğum Yeri ve Tarihi: Şişli - 18.08.1987

Adres: İstanbul

E-Posta: senolerkan@yahoo.com.tr

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi - 2010

Tez BaşlangıçTarihi (Ay/Yıl): Eylül 2011

Tez Bitiş Tarihi (Ay/Yıl): Haziran 2012