

**ALETSEL OLARAK İZLENECEK BİR BİNANIN ÖN
İNCELEMESİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Kıvanç KOCACIK
(501981072)**

101483

101483

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001

Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Haziran 2001

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Hasan BODUROĞLU

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Faruk YÜKSELER (Y.T.Ü.)

Yrd.Doç.Dr. Pınar ÖZDEMİR (İ.T.Ü.)

Boduroğlu
Altınkaya
P. Özdemir

HAZİRAN 2001

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, bir yapının aletsel olarak izlenmesinde uygulanacak yöntemler açıklanmış ve çok katlı bir binanın bu işlemler için gerekli ön çalışmaları sunulmuştur.

Başta yüksek lisans tez çalışmamın hazırlanmasında, ilgi ve yardımlarını gördüğüm, değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, sayın hocam Prof. Dr. Hasan BODUROĞLU 'na saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Değerli fikirlerinden yararlandığım ve bana yardımlarından ötürü sayın Doç. Dr. Engin ORAKDÖĞEN'e, Yrd.Doç.Dr. Pınar ÖZDEMİR 'e, sayın Arş.Gör. Kutlu DARILMAZ'a teşekkürlerimi belirtirim.

Ayrıca bu çalışmanın hazırlanmasında bana her türlü desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Bora ACUN' a , Murat PEKTAŞ' a, Volkan ACAR' a, Zahit GÜNEŞ'e ve Burak TÜRKEL'e teşekkür ederim.

Öğrenimimin bu aşamaya kadar gelmesi için çok büyük fedakarlıklarda bulunan aileme şükranlarımı sunarım.

Son olarak bu tez çalışmasını; hayatımın bu evresine kadar bana hep doğru yolu gösteren, her zaman bana destek olan babam, Elk.Yük. Müh. Nevzat KOCACIK' a ithaf ederim.

HAZİRAN 2001

Kıvanç KOCACIK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	V
TABLO LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ	IX
ÖZET	X
SUMMARY	XI
1. GİRİŞ	1
2. YAPILARIN ALETSEL İZLENMESİ	2
2.1. Yapıların Aletsel İzlenmesinin Amacı	2
2.2. Yapıların Aletsel İzlenmesindeki Adımlar	3
2.2.1. Yapının bulunduğu yere gidilerek incelenmesi	4
2.2.2. Doğal titreşim testleri	4
2.2.3. Doğal titreşim testlerinin önemi	4
2.2.3.1. Doğal titreşim verilerinin analizi	5
2.2.3.2. Doğal frekanslar ve sönüm	5
2.2.3.3. Modal genlikler	5
2.2.4. Zorlanmış titreşim testi	6
2.2.5. Dinamik analiz	7
2.2.6. Ölçüm için aletlerin kurulumu ve yerleştirilmesi	7
2.2.7. Bakım ve kalibrasyon	8
2.2.8. Ölçüm işlemleri sırasında kullanılan alet tipleri ve teknik özellikleri	8
2.3. Ölçüm Çalışmalarının Maliyeti	9
3. YAPI HAREKETLERİNİN ÖLÇÜMÜ	11
3.1. Rijit Cisim Hareketi	11
3.1.1. Büyük dönmeler	11
3.1.2. Küçük dönmeler	17
3.2. Düzlem Hareket	18
3.2.1. Büyük dönmeler	18
3.2.2. Küçük dönmeler	20
3.3 Esnek Yapılar	20
3.4 Ölçüm Çalışmalarının Yapıdaki Titreşimler İçin Uygulanması	22
3.4.1. Rijit döşemeler	22
3.4.2. Esnek döşemeler	24

3.5. Yapıların Aletsel İzlenmesi Çalışmaları İçin Genel Kurallar	24
4. SAP2000 PROGRAMINDA DİNAMİK ANALİZ	26
4.1. SAP2000 Programında Dinamik analiz Kabulleri	26
4.1.1. İvmelenme yükleri	26
4.1.2. Öz vektör analizi	27
4.1.3. Ritz vektör analizi	28
4.1.4. Modal analiz sonuçları	29
4.1.4.1. Periyotlar ve frekanslar	29
4.1.4.2. Katılım faktörleri	29
4.1.4.3. Kütle katılım oranları	30
4.1.4.4. Genelleştirilmiş kütle	31
4.1.5. İvme spektrumu analizi	31
4.1.5.1. İvme spektrumu fonksiyonları	32
4.1.5.2. İvme spektrumu eğrisi	32
4.1.6. Modların süper pozisyonu	33
4.1.6.1. CQC metodu	33
4.1.6.2. SRSS yöntemi	33
4.1.6.3. Mutlak toplam yöntemi	34
4.2. İvme Spektrumu Analiz Sonuçları	34
4.2.1. Sönüm ve ivmeler	34
4.2.2. Modal genlikler	34
5. YAPININ SAP2000 PROGRAMI İLE MODELİNİN OLUŞTURULMASI	35
5.1. Yapının Mimari ve Teknik Özellikleri	35
5.2. Yapının Matematiksel Modelleri	38
5.2.1. Yapının geometrisinin SAP2000 programına girilmesi	38
5.2.2. Yapının birinci modeli ve modelde yapılan kabuller	38
5.2.3. Yapının ikinci modeli ve modelde yapılan kabuller	39
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	40
KAYNAKLAR	42
EKLER	43
ÖZGEÇMİŞ	102

KISALTMALAR

ABS	: Absolute Sum
ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
BÇ	: Beton Çeliği
BS	: Beton Sınıfı
CQC	: Complete Quadratic Combination
SRSS	: Square Root of Sum of Squares
USGS	: United States Geological Survey



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1. Yapının kat yükseklikleri ve kat açıklıkları	35
Tablo 5.2. Kütle merkezleri, kütle atalet momentleri ve kütleler	39
Tablo A.1. Birinci modelin periyot değerleri ve kütle katılım oranları	43
Tablo A.2. Yapının birinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (1. Mod)	44
Tablo A.3. Yapının birinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (2. Mod)	45
Tablo A.4. Yapının birinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (3. Mod)	46
Tablo A.5. Yapının birinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (4. Mod)	47
Tablo A.6. Yapının birinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (5. Mod)	48
Tablo A.7. İkinci modelin periyot değerleri ve kütle katılım oranları	49
Tablo A.8. Yapının ikinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (1. Mod)	50
Tablo A.9. Yapının ikinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (2. Mod)	51
Tablo A.10. Yapının ikinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (3. Mod)	52
Tablo A.11. Yapının ikinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (4. Mod)	53
Tablo A.12. Yapının ikinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (5. Mod)	54
Tablo A.13. Kule kısmın periyot değerleri ve kütle katılım oranları	55
Tablo A.14. Yapının kule kısmının kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (1.Mod)	56
Tablo A.15. Yapının kule kısmının kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (2.Mod)	57
Tablo A.16. Yapının kule kısmının kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (3.Mod)	58
Tablo A.17. Yapının kule kısmının kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (4.Mod)	59
Tablo A.18. Yapının kule kısmının kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (5.Mod)	60

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 : Rijit cisim	11
Şekil 3.2 : Rijit cisim hareketi	12
Şekil 3.3a : Hareketin θ_x açısal bileşeni	13
Şekil 3.3b : Hareketin θ_y açısal bileşeni	14
Şekil 3.3c : Hareketin θ_z açısal bileşeni	14
Şekil 3.4 : Seçilen keyfi doğrultular	15
Şekil 3.5 : Kartezyen koordinatlarda seçilen doğrultular	16
Şekil 3.6a : Seçilen keyfi doğrultular	19
Şekil 3.6b : Kartezyen koordinat yönleri	19
Şekil 3.7a : Aletlerin rijit elemanlardaki konumları	21
Şekil 3.7b : Rijit elemanların orta noktalarında birleştirilmiş giriş modeli	21
Şekil 3.8 : Sadece x-z ve y-z düzlemlerinde esnek olan yapının alet yerleşim şeması	22
Şekil 3.9a : Sadece yatay hareket için ölçüm şeması	23
Şekil 3.9b : Hem yatay hem düşey hareket için ölçüm şeması	23
Şekil 3.10 : y ve θ_y doğrultularında rijit, diğer doğrultularda esnek döşemenin alet yerleşim planı	24
Şekil 5.1a : Yapının perspektif açıdan görünüşü	36
Şekil 5.1b : Yapının diğer bir açıdan görünüşü	37
Şekil B.1 : Birinci modelin perspektif açıdan görünüşü	62
Şekil B.2 : Birinci modelin birinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	63
Şekil B.3 : Birinci modelin birinci modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	64
Şekil B.4 : Birinci modelin ikinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	65
Şekil B.5 : Birinci modelin ikinci modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	66
Şekil B.6 : Birinci modelin üçüncü mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	67
Şekil B.7 : Birinci modelin üçüncü modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	68
Şekil B.8 : Birinci modelin dördüncü mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	69
Şekil B.9 : Birinci modelin dördüncü modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	70
Şekil B.10 : Birinci modelin beşinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	71
Şekil B.11 : Birinci modelin beşinci modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	72

Şekil B.12 : İkinci modelin perspektif açıdan görünüşü	73
Şekil B.13 : İkinci modelin birinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	74
Şekil B.14 : İkinci modelin birinci modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	75
Şekil B.15 : İkinci modelin ikinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	76
Şekil B.16 : İkinci modelin ikinci modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	77
Şekil B.17 : İkinci modelin üçüncü mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	78
Şekil B.18 : İkinci modelin üçüncü modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	79
Şekil B.19 : İkinci modelin dördüncü mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	80
Şekil B.20 : İkinci modelin dördüncü modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	81
Şekil B.21 : İkinci modelin beşinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	82
Şekil B.22 : İkinci modelin beşinci modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	83
Şekil B.23 : Kule kısmın birinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	84
Şekil B.24 : Kule kısmının birinci modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	85
Şekil B.25 : Kule kısmın ikinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	86
Şekil B.26 : Kule kısmının ikinci modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	87
Şekil B.27 : Kule kısmın üçüncü mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	88
Şekil B.28 : Kule kısmının üçüncü modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	89
Şekil B.29 : Kule kısmın dördüncü mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	90
Şekil B.30 : Kule kısmının dördüncü modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	91
Şekil B.31 : Kule kısmın beşinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi	92
Şekil B.32 : Kule kısmının beşinci modunun SAP 2000 programındaki görünüşü	93
Şekil B.33 : Yapının zemin katlarının modelinin görünüşü	94
Şekil B.34 : Yapının asma katının modelinin görünüşü	95
Şekil B.35 : Yapının 1-10. katlarının modelinin görünüşü	96
Şekil B.36 : Yapının 11-19. katlarının modelinin görünüşü	97
Şekil B.37 : Yapının 20-29. katlarının modelinin görünüşü	98
Şekil B.38 : Yapının 30-40. katlarının modelinin görünüşü	99
Şekil B.39 : Tipik sensör örnekleri	100
Şekil B.40 : Tipik kayıt cihazları	100
Şekil B.41 : Tipik titreşim üretici	101

SEMBOL LİSTESİ

K	: Rijitlik matrisi
M	: Kütle matrisi
c	: Sönüm matrisi
Ω^2	: Öz değer matrisi
Φ	: Öz vektörlere matrisi
ω	: Açısal frekans
f	: Frekans
T	: Periyot
f_{xn}, f_{yn}, f_{zn}	: Katılım faktörleri
P_{xn}, P_{yn}, P_{zn}	: Kütle katılım oranları
$\ddot{u}_{gx}, \ddot{u}_{gy}, \ddot{u}_{gz}$	: Üniform yer ivmesi bileşenleri
R	: Eksantristenin radyal uzaklığı
t	: Zaman
g	: Yerçekimi ivmesi

ALETSEL OLARAK İZLENECEK BİR BİNANIN ÖN İNCELEMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, bir yapının aletsel olarak izlenmesinde uygulanacak yöntemler açıklanmış ve çok katlı bir binanın bu işlemler için gerekli ön çalışmaları sunulmuştur.

Yapının, sonlu elemanlar yöntemi ile SAP2000 programında modeli kurulmuş ve dinamik analizi sonucu mod şekilleri çıkarılmıştır. Yapının modellerinde farklı kabuller yapılarak bunların yapının önemli periyotlarına olan etkisi incelenmiştir. Yapı bu anlamda iki farklı model oluşturularak analiz edilmiştir. Her iki model için yapının perde elemanları çubuk elemanlar olarak tanımlanıp rijit birleşimlerle kirişlere olan bağlantısı sağlanmıştır. Her iki model için farklılık döşeme tanımlarında yapılmıştır. Birinci modelde döşemeler kabuk elemanlarla, diğer modelde ise rijit diyafram olarak tanımlanmıştır. İkinci modelin analizi ise tüm sistemin ve sadece kule kısmının analizi olmak üzere iki farklı şekilde yapılmıştır.

Bu incelemeler sonucunda yapının aletsel olarak incelenmesi için yaklaşık bir alet dağılımı önerilmiştir.

PRELIMINARY INVESTIGATION OF A MULTI STOREY BUILDING FOR BUILDING INSTRUMENTATION

SUMMARY

In this study, as a master thesis, under the administration of Prof. Hasan BODUROĞLU, the methods of building instrumentation are explained and the necessary preparation work for multi-storey building is put forward.

The finite elements method and mathematical model of the SAP2000 programme for the building are established and the mode shapes resulting from the dynamic analysis are given.

In this way, the building was analysed using two different models. For each model, shear walls of the building defined as frame elements are responsible for the rigid end joining of the connection beams. Different floor identifications are made for each model. The first model considers a floor with shell elements; the second model considers as a rigid diaphragm. The analysis of the second model is made in two ways, the tower portion coupled with the first four floors analysis and as the tower portion alone.

An approximate placement of instruments is suggested as a result of these analysis.

1. GİRİŞ

Yapıların depreme karşı davranışının ve performansının belirlenmesinde iki önemli yaklaşım yapılabilir. Birincisi yapının alt sistemlerinin, bileşenlerinin, prototiplerinin, yada tüm sistemin (eğer tesis ve yer sorunu yoksa) geniş ölçekli modelinin laboratuvar ortamında statik veya dinamik yükler altında test edilmesidir. Bu yaklaşım sarsma yada hidrolik yükleyiciler ve elektrik kontrollü yükleme sistemlerindeki gibi yapı sisteminin zamana bağlı testlerini gerektirmez. Fakat arzu edilen, yapı sisteminin kontrol altındaki simüle edilmiş dinamik ortamdaki testidir. Bu tip laboratuvar çalışmaları çeşitli ülkelerin üniversitelerinde ve ülkemizdeki üniversitelerde yapılmaktadır. Bu çalışmalar zemin ile yapı arasındaki etkileşimi, dinamik zemin özelliklerini anlamamızda büyük rol oynamıştır. İkinci yaklaşım ise üzerinde yaşadığımız dünyayı doğal bir laboratuvar ortamı olarak ele alıp burada oluşan depremlerin incelenip bunların yapı sistemleri üzerindeki etkilerinin ve yarattıkları hasarların araştırılmasıdır. Bu yaklaşım sonucu yapılacak çalışmalarla yapıların depreme karşı davranışlarındaki eksiklik araştırılacak, geniş kapsamlı laboratuvar çalışmalarıyla birlikte, yapı sistemlerinin depreme karşı olan davranışları büyük ölçüde belirlenebilecektir. Ancak bu tip çalışmalar deprem bölgesinde seçilen çok çeşitli yapı sistemlerinin araştırılmasını gerektirmektedir. Seçilecek olan bu sistemler üzerinde uygulanacak aletsel izleme çalışmaları sayesinde elde edilen bilgiler yapının dinamik etkiler karşısındaki davranışının belirlenmesinde etkin bir rol oynayacak aynı zamanda gelecekte olabilecek muhtemel depremlere karşı yapının nasıl bir davranış içerisinde olacağı hakkında bir fikir verecektir [1].

2. YAPILARIN ALETSEL İZLENMESİ

Yapıların aletsel izlenmesi, yapıya yerleştirilecek birtakım aletler sayesinde ivme, yer değiştirme, hız ölçümlerinin yapılarak dinamik etkiler altında incelenmesi için yapılan çalışmalar ve işlemlerdir.

2.1. Yapıların Aletsel İzlenmesinin Amacı

Yapıların sismik ölçüm çalışmalarının en önemli amacı meydana gelen depremler sonucu yapıya etkiyen dinamik yüklerin yapıda oluşturacağı hasarlar ve davranışlar hakkında bilgi edinmemizi sağlamaktır. Yapılan bu çalışmaların sonucunda elde edilen bilgiler sayesinde yapı sistemleri daha güvenli şekilde tasarlanabilir ve ileride meydana gelebilecek depremlerde yapı hasarları minimize edilebilir.

Seçilen ölçüm programı, yapının daha önce tasarlanmış matematiksel modeliyle karşılaştırılabilecek şekilde uygulanmalıdır. Böylece matematiksel model tasarımında da gelişme amaçlanabilir. Ek olarak ölçüm çalışmaları sonucu elde edilen veriler yapı sistemindeki hasarın nedenlerini açıklayabilecek nitelikte olmalıdır [1].

İyi ve amacına uygun şekilde aletler yerleştirilerek ve gerekli tüm kayıtları yapılmış bir yapıda şu bilgileri elde etmek mümkündür:

- Dinamik modelin (ayrık kütle ve sonlu elemanlar yöntemi ile tasarlanmış) elastik hesaptaki uygunluğu.
- Yapının incelenen özel bir bölgesinde veya tamamında nonlineer davranışın belirlenmesi.
- Yapının genelinde doğrusal olmayan davranışın takibi, bu lineer olmayan davranış sonucu frekans ve sönüm oranlarının belirlenmesi.
- Elastik olmayan davranışın yapıdaki hasarla ilişkisi.

- Yer hareketi etkileri parametrelerinin belirlenip bunlarla yapının davranışı ve hasarı arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması.
- Elde edilen bilgiler ve tecrübeler sonucu daha uygun şartnameler yapılmak üzere tavsiyelerde bulunulması.

2.2. Yapıların Aletsel İzlenmesindeki Adımlar

Yapının ölçüm işlemlerinin yapılmasına karar verildikten sonra birtakım çalışmalar, hesaplamalar ve alınacak kararlar şu şekilde olmalıdır:

Ölçüm planı gereksinimi olan verilere ve maliyete göre optimize edilmelidir. Yeterli derecede ve amacına uygun olarak aletler yerleştirilmemiş bir çalışmada kayıtların tutulup meydana gelen dinamik etkinin yapı üzerindeki etkisi tam olarak izlenemeyecektir [1].

Ölçüm işlemleri sırasında optimizasyonun önemini anlamak için öncelikli adımlar şöyle özetlenebilir:

- Yapı sahibinin onayı ve izni alındıktan sonra, yapının plan ve projelerinde ön çalışma yapılması.
- Yapının bulunduğu yere gidilerek incelenmesi.
- Yapı hakkında analitik çalışmaların ve testlerin yapılması.

Ancak bazı durumlarda, yapı sahiplerinin izninin alınması mümkün olmamaktadır. Yapının kooperatifleşme sonucu yapılmış olması ve bu yüzden birçok sahibinin bulunması, bazı yapı sahiplerinin bu çalışmadan ve kendilerine özel bazı sebeplerden ötürü çekinip finansal kayıplara uğrayacaklarını düşünmesi bu duruma örnek olarak verilebilir.

Yapının ölçüm çalışmaları için onay alındıktan sonra, ölçüm programının amaçları açıklanıp yapının, ilgili plan ve projelerinin, hesaplarının, dinamik analizinin (mod şekilleri ve frekanslarının), zorlanmış titreşim hesaplarının incelenmesi gerekmektedir. Ancak pek az sayıda yapı için bu tür bilgilerin elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Ölçüm çalışmaları için gerekli minimum gereksinim yapının doğal titreşim (ambient-vibration) hesapları sonucu elde edilmiş mod değerleri ve frekanslarıdır. Eğer yapının zorlanmış titreşim hesapları sonucu bulunmuş mod değerleri ve frekansları mevcut ise doğal titreşim sonucu bulunmuş değerlere ihtiyaç yoktur [1].

2.2.1. Yapının Bulunduğu Yere Gidilerek İncelenmesi

Genel olarak ölçüm planı, yapının projesine ve dinamik özelliklerine bağlı olarak çıkartılabilir. Ancak yapının sahip olduğu bazı elverişsiz durumlardan ötürü yapıya yerleştirilecek sensörlerin kurulumu ve performansları istenilen şekilde olmayabilir. Bu sebepten ötürü aletlerin yerleşimi için yapının bulunduğu yere gidilerek bu çalışmalarının yapılması önemli ölçüde gerekmektedir. Yapının yerinde incelenmesi sayesinde bu işi gerçekleştirecek teknik personel ölçüm ve aletlerin yerleşim planında yerinde kararlar alarak değişikliğe gidebilir.

2.2.2. Doğal Titreşim Testleri

Yapıların üzerindeki sabit ve hareketli yükler veya doğal etkiler (çevresel etkiler, rüzgar etkileri gibi) altındaki titreşimleri, doğal titreşim (ambient-vibration) olarak tanımlanır.

Yapı sistemlerinin hesap aşamasında yapılan analitik çalışmalar ve modellemeler yapının beklenen dinamik davranışı hakkında açık ve net sonuçlar vermektedir. Bu sonuçlar kullanılarak yapının doğal titreşim testlerine geçilebilir.

Testler portatif kaydedici ve sensörlerle kolayca yapılabilir. Kaydediciler; yerleri daha önceki analitik veya diğer çalışmalarla saptanmış, üç ila beş mevkide yerleştirilerek düşük titreşimsel modlar süresince maksimum genlikler hesaplanabilir [1].

2.2.3. Doğal Titreşim Testlerinin Önemi

Doğal titreşim testlerinin önemi yapının elastik özelliklerinin belirlenmesini sağlamasıdır. Yapı deprem etkisi sonucu dinamik yüklere maruz kaldığında lineer olmayan davranış sergileyecektir. Eğer yapının doğrusal davranışı önceden biliniyorsa, lineer olmayan davranışını hesaplamak mümkün olacaktır.

2.2.3.1. Doğal Titreşim Verilerinin Analizi

Burada açıklanacak olan doğal titreşim veri analizi yöntemi çok serbestlik dereceli sistemlerin White-Noise uyarımı için stokastik davranışına dayanmaktadır. Bu metot da yapılan en önemli varsayım; zorlayıcı fonksiyonun ayırık zaman aralıklarında sıfır olarak, bağımsız ve aynen dağıtılmasıdır (Gauss White-Noise yöntemi). Elde edilen birçok doğal titreşim verileri bu kabulü destekler niteliktedir. Burada sadece yapısal parametrelerin hesap adımları kısaca özetlenecektir.

2.2.3.2. Doğal Frekanslar ve Sönüm

Doğal frekanslar ve sönüm kompleks düzlemde birim itki davranış (unit-impulse-response) fonksiyonlarının, $H(z)$, z transformunun kutuplara yerleştirilmesi ile bulunur. Öncelikle, $H(z)$, zorlayıcı fonksiyona göre modal davranışın z transformlarının toplamı gibi hesaplanır. Böylece $H(z)$ 'ye karşılık gelen fark denklemi bulunabilir. Zorlayıcı fonksiyon için daha önce açıklanan kabulleri kullanarak, fark denkleminin sabitleri için, çoklu doğrusal regresyon analizi yapılabilir. Sabitlerin bilinmesi, karakteristik denklemin köklerinin bulunması ile birlikte $H(z)$ fonksiyonun kompleks düzlemde kutuplarda hesabını sağlar. Kutupların kompleks düzlemde yerleştirilmesi doğal frekansların ve sönüm oranlarının bulunmasında çok önemlidir [1].

2.2.3.3. Modal Genlikler

Modal genlikler davranışın Autocovariance fonksiyonundan bulunabilir. Sönüm oranı düşük sistemlerde istatistiksel olarak bağımsız olarak kabul edilebilir. Bu kabul sistemin Autocovariance fonksiyonunun, modal Autocovariance fonksiyonunun lineer kombinasyonu şeklinde yazılabildiğini sağlar. Modal Autocovariance fonksiyonunun sabitleri modal genliklerin karelerine karşılık gelir. Gauss White-Noise kabulünü kullanarak modal genlikler için matris formunda denklem takımları elde edilir. Modal genlikler, doğrusal çoklu regresyon yöntemi kullanılarak bu denklemlerin çözümünden elde edilir [1] .

2.2.3.4 Safhaların Bulunması

Davranışın Cross-Covariance fonksiyonlarının kullanılmasıyla safhaları bulunabilir. Cross-Covariance fonksiyonları, biri gerçek uyarıma bağlı diğeri zaman gecikimi (time-delayed) uyarıma bağlı olan iki davranış şeklinden hesaplanabilir. Safhalar (phases) yine çoklu doğrusal regresyon analizi sonucu hesaplanabilir [1].

2.2.4. Zorlanmış Titreşim Testi

Zorlanmış titreşim testi doğal titreşim testine göre daha zordur. Gereken ekipman (titreşim üretici ve kontrol ünitesi, ağırlıklar, kaydediciler, ivme ölçerler, bu iş için özel kablolar) daha özel ve deney süresi doğal titreşim testlerine oranla daha fazladır. Ayrıca doğal titreşim testlerinde kullanılan titreşim üreticinin kapasitesi bu iş için gerekli kuvveti yaratmaya ve yapının önemli modlarının incelenmesi için yapıda yeter derecede titreşim üretmeye elverişli değildir.

Titreşim üreticiler, birbirinin aksi yönünde dönen (eksantrik) ağırlıklar sayesinde titreşimi üretirler. Şekil B.41a ve Şekil B.41b’de kullanılan titreşim üreticiere örnek görülebilir. Ana titreşim ünitesi testi yapılacak binanın uygun görülen yerine ankre edilerek sabitlenir. Kontrol ünitesi, titreşimi üretecek kütlelerin frekanslarını ayarlama da kullanılır. Üretilen bu titreşim, yanal bileşenleri hesaba katılmaz ise, yapıda aynı yönlü sinüzoidal kuvvetlerin oluşmasına neden olur [1].

Oluşan bu kuvvet şu şekilde hesaplanabilir:

$$F=M*R* w^2*\sin wt \quad (2.1)$$

Böylece üretilecek maksimum kuvvet:

$$F_{\max}= M*R* w^2= (2\pi)^2 * (W/g)*R*f^2 \quad (2.2)$$

$$F_{\max}= 0.0472*(W*R)*f^2 \quad (2.3)$$

formülleri ile hesaplanabilir.

Genel olarak mevcut titreşim üreticiler ile üretilen bu kuvvet yapıyı rezonansa geçirmek için yeterli olup, yapının zorlanmış titreşimi sonucu doğal frekansının bulunmasını sağlayabilmektedir.

2.2.5. Dinamik Analiz

Ölçüm çalışması yapılacak yapının dinamik analizi, projesini hazırlayanlar tarafından yapılmamış yada bu bilgilerine ulaşamıyorsa, yapının sonlu elemanlar yöntemi ile modellenip elastik ve dinamik özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Çünkü bu bilgiler yapının aletsel olarak izlenme çalışmaları için büyük önem taşımaktadır. Günümüzde bu tür modelleme yapan programlar mevcuttur (Sap90, Sap2000, Ansys vb.). Bu programlar kullanılarak, yapının matematiksel modelleri oluşturulup, istenilen bilgileri ve karakteristik özellikleri belirlenebilir [1].

2.2.6. Ölçüm için Aletlerin Kurulması ve Yerleştirilmesi

Yaklaşık sensör yerlerinin; yapının projesi ve dinamik özelliklerine göre seçiminden sonra, ölçüm çalışmasını yapacak teknik heyet ile yapı sahiplerinin ortak kararı ile sensörlerin kesin yerlerine karar verilir. Kesin yer seçiminde esas kriter yerleştirilecek sensörler ile uzun süreli ölçümler yapabilmektir. Ancak kabloların geçeceği yerler, yapının kullanım alanları ve estetik görünüm de kesin yer seçiminde etkili olmaktadır.

Kesin sensör yerleri belirlendikten sonra her bir sensör bölgesi için data kablolarının ve terminal kutularının kontrolü yapılmalıdır.

Her bir terminal kutusu; data ve kalibrasyon devresi, batarya ve batarya şarjları, zaman-kodu üreticisi (time-code generator), dijital sayıcı (digital-event counter) ve elektronik test noktası (electronic test point) içerir. Bu kutu, genelde kaydedicilerin üzerine yerleştirilir. Tüm data kabloları ile harici bağlantısı sayesinde kutuya gelen sinyalleri işleyerek herhangi bir zaman için yapının doğal titreşim ölçümlerini yapabilir. Dataları kaydeden aletler ise güvenli bir ölçüm açısından telefon ya da elektrik bağlantılarının bulunduğu kapalı alanlara ya da açık alanla bağlantısı bulunmayan uygun herhangi bir kapalı alana yerleştirilebilir.

Ölçüm çalışmaları, her bir ölçüm aletinin yapıya yerleştirilmeden önce statik devrilme testi, kaydedicilerin hassasiyeti gibi önceden yapı laboratuvarlarında

yapılacak özel kalibrasyon testlerinin yapılmasını ve bu test sonuçlarının aletlerin kullanım talimatlarında belirtilmesini gerektirir. Hassas sensör yerleşimi, her bir ünite için periyot ve sönüm oranları, kablolama, erişim bilgileri ve elektronik aletler için devre diyagramları da talimatlarda bulunması gereken bilgiler arasındadır [1].

2.2.7. Bakım ve Kalibrasyon

Başarılı bir ölçüm programının yürütülebilmesi için periyodik ve tutarlı bir bakım çalışması gerekir. Bu yüzden başlangıçta her üç ayda bir düzenli olmak üzere bakım çalışması yapılmalıdır. Koşullar uygun olduğu takdirde bu süre on iki aya kadar çıkartılabilir [1].

Bakım ve kalibrasyon çalışmaları şu esasları içermelidir:

- Her bir ünitenin sönüm ve periyodunun kalibrasyonun yapılması
- Bataryaların ve batarya şarjlarının şarj oranlarının kontrolü (bataryalar her üç yılda bir yenisi ile değiştirmelidir)
- Kaydı başlatacak sistemin ve kaydın üzerine yapıldığı ünitenin kontrolü
- O ana kadar kaydedilmiş bilgilerin alınması ve kayıt ünitesinde kalan kayıt alınabilecek yerin tespiti (kayıt ünitesi her yıl yenisi ile değiştirilmelidir)
- Zaman kodu üreticisinin (time-code generator) eşzamanlılığının ve çalışmasının kontrolü.

Bakım ve kalibrasyon çalışmalarının son aşaması olarak, yapılan çalışmaların rapor halinde düzenlenerek bir kopyasının yapıldığı yerde, diğerinin uygun görülen bir laboratuara gönderilerek arşivinin tutulması gerekir [1].

2.2.8. Ölçüm İşlemleri Sırasında Kullanılan Alet Tipleri ve Teknik Özellikleri

Yapı hareketlerinin aletsel olarak incelenmesi ve ölçümü için yapılan bu çalışmalar genel olarak iki kategoride sınıflanabilir [1].

- 1- 7 inç ve 70 mm film üzerine 12 ve 3 kanal analog kayıt
- 2- Manyetik teyp kasetleri üzerine, her saniye için 100 yada 200 veri örneği alınarak üç kanal olarak dijital veri kaydı.

Dijital kayıt sistemlerinin yapılarda kullanılmaya başlanması USGS tarafından 1975'li yıllara dayanır. Ancak güvenilirlikleri pek yeterli olmamış, yeni dijital kayıt cihazları geliştirilmeye çalışılmıştır. Gelişim süreci içerisinde dijital kaydediciler yerine daha güvenilir ve daha ucuz maliyetli analog kaydediciler kullanılmaya başlanmıştır. Burada söz konusu olan veri taşınma yolu değil kayıt şekli olduğundan analog kaydediciler dijital olanlara göre daha başarılıdır. Eğer dijital kaydediciler, analog kaydediciler gibi aynı güvenilebilirliği ve ekonomikliği gösterebilselerdi ölçüm işlemlerin kayıt kısmında bu tür dijital kayıt yapan aletlerin kullanılması daha uygun olurdu.

Yapıların aletsel olarak incelenmesi çalışmalarında genelde, 7 inç film üzerine 12 yada 13 kanal kayıt yapabilen analog kayıt sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemde, gelen sinyaller 150 Hz 'lik galvanometreden geçerek, özel çizici aparatları harekete geçirerek film üzerinde kaydın işlenmesini sağlar. Bu sistem kayıt işlemine 1 ila 10 Hz arasında, alt eşik değeri 0.01g olan bir tetikleyici tarafından başlatılır. Kayıt işlemi, en son titreşim hareket başlatıcı tarafından algılandıktan sonra 20 sn daha devam eder. Bu işlem tüm titreşimin kayda alınması için yapılır. Gerekli enerji batarya sisteminden sağlanır.

Sensör olarak 50 Hz' lik, 0.7 kritik sönümlü, tek yönlü veya üç yönlü, ivme ölçerler kullanılır. Bu ivme ölçerler yapının döşemesine yerleştirilir. Algılanan titreşimler kablolar sayesinde kayıt cihazına iletilir. Şekil B.39'da kullanılan sensör tipleri ve kayıt cihazları için örnekler görülebilir.

Eğer ölçüm çalışmasında 12 kanalın üzerinde kayıt işlemi gerçekleştirilecekse bu durumda üç yönlü ivme ölçerlerin kullanılması uygun olur. Bu ivme ölçerler genelde 70 mm film üzerine optik olarak 25 Hz' de kayıt yapabilmektedir.

2.3. Ölçüm Çalışmalarının Maliyeti

Genel olarak bu çalışmaların maliyeti yerleştirilecek sensör ve kanal sayısına bağlıdır. Fakat şu an için mevcut kaydedici sistemler 12 ila 18 kanal olarak kayıt yapabildiklerinden maksimum kanal sayısı 12 ila 18 arası düşünülebilir. Edinilen tecrübeler sonucu ölçüm çalışmalarının yaklaşık maliyeti şu şekilde tahmin edilebilir.

- Kayıt sistemi için her bir kanal 1000 \$
- Sensörler için her bir kanal 1000 \$
- Her bir kanalın kurulumu (işçilik, kablolama vb.) 2000 \$

Böylece, 12 kanal yapılacak bir çalışmanın maliyeti yaklaşık olarak 48 ila 50 bin Dolar civarında olacağı düşünülebilir. Ayrıca bu maliyet, sensörlerin yerleştirilmesi ve kablolama işinde karşılaşılabilecek güçlüklerle ilgili olarak artabilir.

Yapı için yapılacak 50 bin Dolarlık bir ölçüm çalışması; düşünüldüğünde, yapının işlevi ve maliyetinin yanında çok küçük bir yatırım olarak kalmaktadır. Doğal olarak, büyük ve kompleks bir yapı sisteminin dinamik özelliklerinin belirlenebilmesi için yapılacak bir çalışma için 12 den fazla kanal sayısına ihtiyaç vardır. Bu durumda 12 ve 18 kanallı ölçüm sistemlerinin birlikte kullanılması gerekmektedir [2].

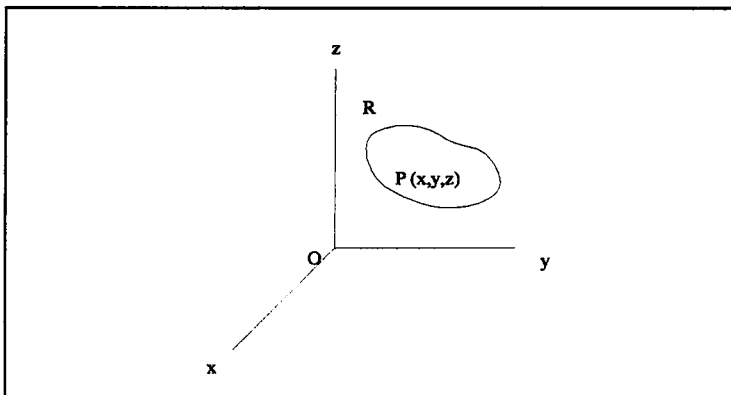
3. YAPI HAREKETLERİNİN ÖLÇÜMÜ

Mühendislikte, yapıların üzerlerine yerleştirilen birtakım aletler ile çeşitli yük koşulları altında hareketlerinin incelenmesi ve bunların ölçümü oldukça sık yapılan bir işlemdir[1]. Davranışlardaki belirsizlik ve ölçümler sonucu elde edilen parametrelerin yapının daha önceden tasarlanmış analitik modelleri ile tam bir uyum içerisinde olmadığı anlaşılmış ve aradaki bu farklılığın yapının ölçüm çalışmaları ile belirlenebileceği saptanmıştır. Teknolojisindeki çabuk gelişim, kolay kullanılabilirlik, ucuz ve hızlı veri işlenilebilmesi sayesinde ölçüm çalışmaları mühendislikte gün geçtikçe daha etkin bir yere sahip olmaktadır.

3.1 Rijit Cisim Hareketi

3.1.1 Büyük Dönmeler

Şekil 3.1’ de görülen, kartezyen koordinatlarda bir R rijit cismi ve üzerinde koordinatları x, y, z olan bir P noktası ele alalım. Aşağıdaki notasyonları kabul ederek;



Şekil 3.1- Rijit Cisim

x_i, y_i, z_i : i noktasının kartezyen koordinatları

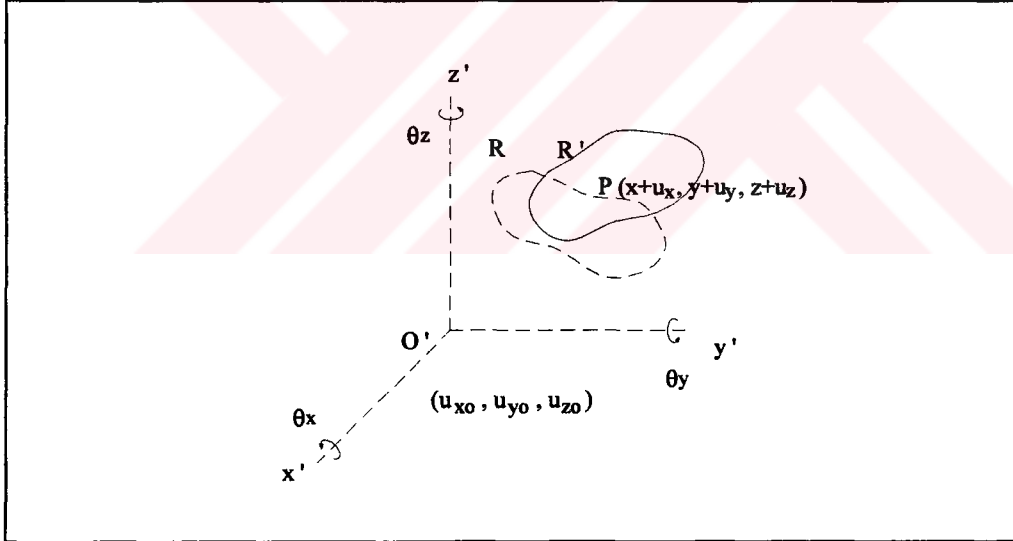
U_{xi}, U_{yi}, U_{zi} : i noktasının x, y, z doğrultularındaki ötelenmesi

$\theta_x, \theta_y, \theta_z$: Rijit cismin x, y, z' ye bağlı dönme değerleri

U_{xo}, U_{yo}, U_{zo} : Rijit cismin x, y, z' ye bağlı ötelenmesi

R', Şekil 3.2'de görüldüğü gibi hareketten sonra rijit cismin konumunu belirtmektedir. Hareket sonucu P noktasının yeni koordinatları, $P(x+U_x, y+U_y, z+U_z)$ ve dönmeleri ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$) olur. Böylece P noktasının U_x, U_y, U_z yer değiştirmeleri, rijit cismin ötelenmesi ve dönmelerinin P noktasının hareketine etkisine bağlı olarak yazılabilir [1].

Rijit cismin ötelenmesinden dolayı P noktasının yer değiştirmesi U_{xt}, U_{yt}, U_{zt} ; dönmelerinden dolayı P noktasının yer değiştirmesi $U_{xri}, U_{yri}, U_{zri}$ olarak ifade edilirse; rijit cisim hareketinin etkisi ile bu hareketin P noktasının hareketine etkisinin aynı olduğu 3.1a, 3.1b, 3.1c eşitlikleri ile yazılabilir.



Şekil 3.2- Rijit Cismin Hareketi

$$U_{xt} = U_{xo} \quad (3.1a)$$

$$U_{yt} = U_{yo} \quad (3.1b)$$

$$U_{zt} = U_{zo} \quad (3.1c)$$

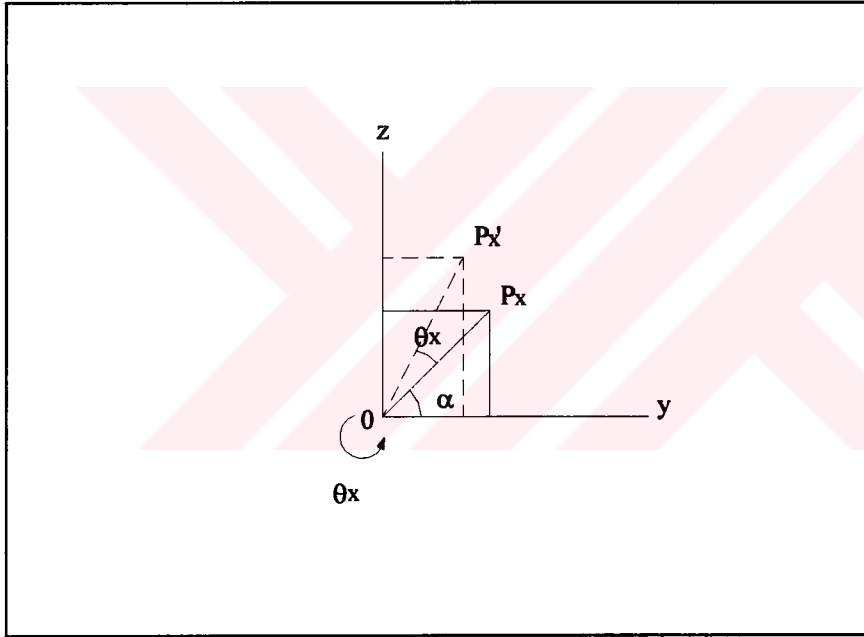
θ_x ' e bağılı etki hesaplanacak olursa, Şekil 3.3a'dan

$\cos\alpha = y/OP_x$ ve $\sin\alpha = z/OP_x$ olmak üzere;

$$U_{xrx} = 0 \quad (3.2a)$$

$$U_{yrx} = OP_x \cos(\alpha + \theta_x) - OP_x \cos\alpha = y \cos\theta_x - z \sin\theta_x - y \quad (3.2b)$$

$$U_{zrx} = OP_x \sin(\alpha + \theta_x) - OP_x \sin\alpha = z \cos\theta_x + y \sin\theta_x - z \quad (3.2c)$$



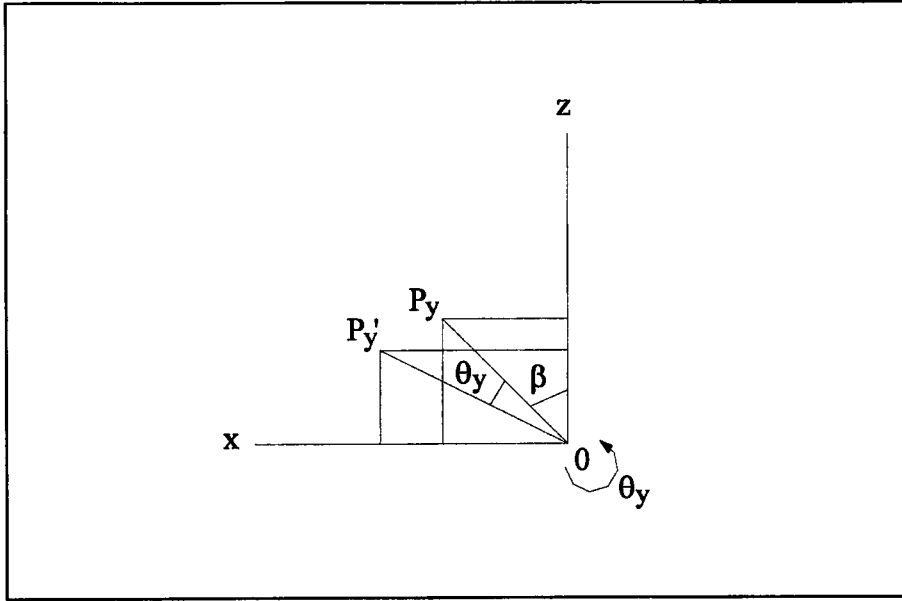
Şekil 3.3a- Hareketin θ_x açısal bileşeni

θ_y ' ye bağılı etki yazılacak olursa, Şekil 3.3b'den

$$U_{xry} = x \cos\theta_y + z \sin\theta_y - x \quad (3.3a)$$

$$U_{yry} = 0 \quad (3.3b)$$

$$U_{zry} = z \cos\theta_y - x \sin\theta_y - z \quad (3.3c)$$



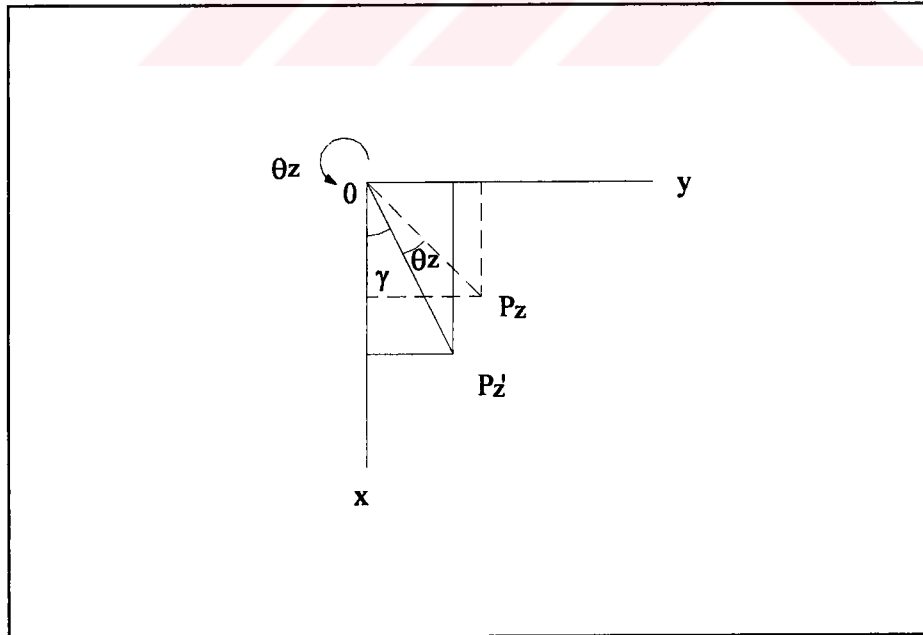
Şekil 3.3b- Hareketin θ_y açısal bileşeni

Aynı şekilde θ_z ye bağlı etki, Şekil 3.3c'den

$$U_{xz} = x \cos\theta_z - y \sin\theta_z - x \quad (3.4a)$$

$$U_{yz} = y \cos\theta_z + x \sin\theta_z - z \quad (3.4b)$$

$$U_{zz} = 0 \quad (3.4c)$$



Şekil 3.3c- Hareketin θ_z açısal bileşeni

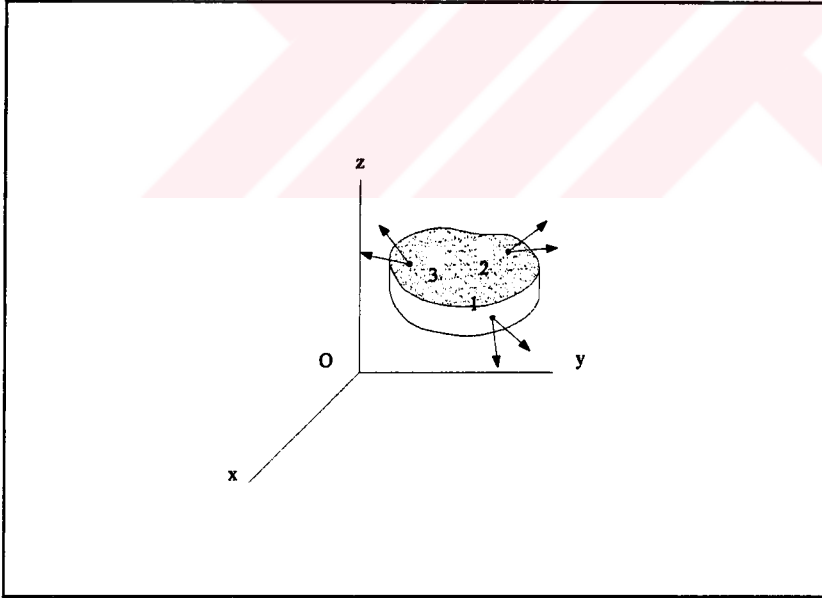
Böylece θ_x , θ_y , θ_z 'den meydana gelen etkiler toplanırsa P noktasının hareketinin bileşenleri şu şekilde olacaktır.

$$U_x = U_{x0} + x (\cos\theta_y + \cos\theta_z - 2) - y \sin\theta_z + z \sin\theta_y \quad (3.5a)$$

$$U_y = U_{y0} + x \sin\theta_z + y (\cos\theta_x + \cos\theta_z - 2) - z \sin\theta_x \quad (3.5b)$$

$$U_z = U_{z0} - x \sin\theta_y + y \sin\theta_x + z (\cos\theta_x + \cos\theta_y - 2) \quad (3.5c)$$

P noktasının her bir doğrultusuna bir ölçüm aleti yerleştirdiğimizi düşünelim. Denklem 3.5a, 3.5b ve 3.5c'de verilen; U_x , U_y , U_z değerleri ölçülen yer değiştirmeler; x , y , z ise yerleştirilen aletlerin koordinatları olacaktır. Bilinmeyenler rijit cismin ötelenmesi U_{x0} , U_{y0} , U_{z0} ve rijit cismin dönmeleri θ_x , θ_y , θ_z olacaktır. Böylece altı bilinmeyeni bulmak yerine; her doğrultu için altı bilinmeyenli lineer bağımsız üç denklem takımı oluşturmak yeterli olacaktır. Şekil 3.4' te bu denklemleri elde etmek için seçilen keyfi doğrultular görülmektedir.



Şekil 3.4- Seçilen keyfi doğrultular

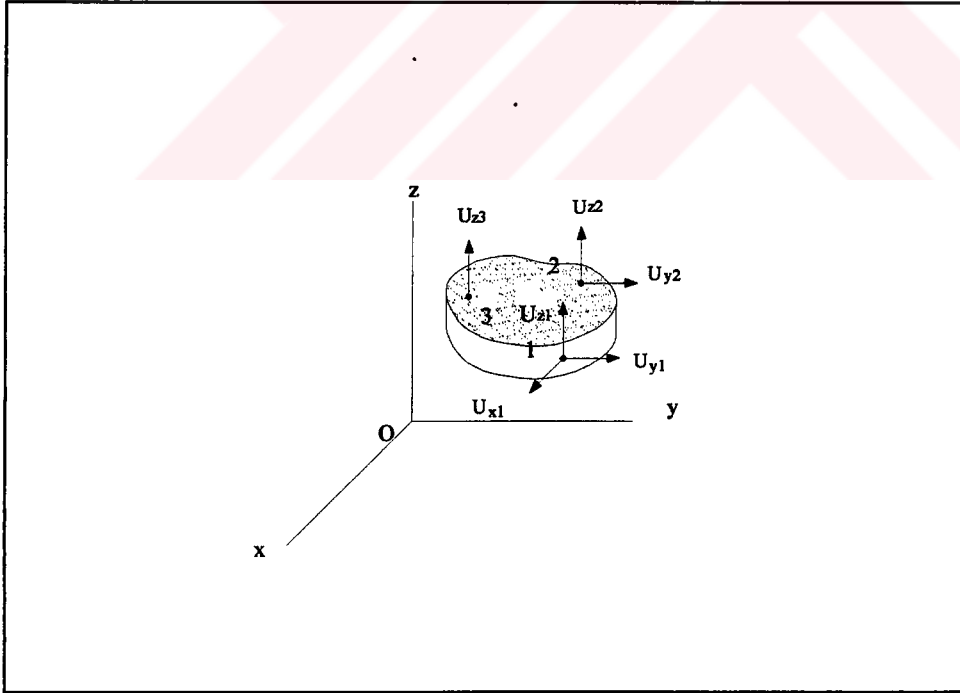
Elde edilen bu denklemlerin tekil olmayan çözümleri için şu şartlar sağlanmalıdır.

- Yerleştirilen aletlerin yerleri aynı doğrultu üzerinde olmamalıdır. Aksi halde bu doğrultu boyunca dönmeler aletler tarafından ölçülemeyecektir.

- Aynı noktaya yerleştirilen aletlerin doğrultuları birbirine paralel olmamalıdır. Eğer paralel konulurlarsa, düzlemsel harekette birbirine dik olan yöndeki ölçümle yapılamaz.
- Yerleştirilen tüm alet doğrultuları bir noktada kesişmemelidir. Ancak iki farklı alet doğrultusu birbirini kesebilir. Bu da iki aletin kesim noktası doğrultusunda olan hat etrafındaki dönmeleri ölçmek için gereklidir.

Her bir aletin ölçümlerinden x , y , z doğrultuları için üç denklem takımı oluşturulabilir. Bu da altı bilinmeyenli on sekiz denklem demektir. Ancak bu on sekiz denklemin sadece altısı lineer bağımsız denklemlerdir. Denklemlerin çözümü üç yada daha çok noktada yazılacak bu altı denklemin kombinasyonu ile gidilebilir.

Şekil 3.5'te başka bir ölçüm şekli görülmektedir. Bu durumda altı denklem elde edilecek ve ölçümler belirli doğrultular için olacaktır. Bu ölçüm şekli için de yukarıda açıklanan şartlar sağlanmalıdır. Ancak bu ölçüm sonucu bulunacak denklemler lineer olmayacak ve çözümleri için sayısal yöntemler kullanmak gerekecektir.



Şekil 3.5- Kartezyen koordinatlarda seçilen doğrultular.

3.1.2 Küçük Dönmeler

Rijit cisim hareketinin 3.5a, 3.5b, 3.5c' de verilen lineer olmayan denklemleri; θ_x , θ_y , θ_z dönmeleri küçük olduğu takdirde lineerleştirilebilir. Bu sayede denklemlerin kapalı çözümleri yapılabilir.

Küçük dönmeler için $\sin\theta = \theta$ ve $\cos\theta = 1$ kabulü yapılırsa, denklemler şu şekilde yazılabilir.

$$U_x = U_{x0} - y \theta_z + z \theta_y \quad (3.6a)$$

$$U_y = U_{y0} + x \theta_z - z \theta_x \quad (3.6b)$$

$$U_z = U_{z0} - x \theta_y + y \theta_x \quad (3.6c)$$

Şekil 3.5'te görülen 1,2, ve 3 noktalarındaki ölçülen değerler sırasıyla U_{x1} , U_{y2} , U_{z3} ; U_{y2} , U_{z2} ve U_{z3} olsun. Ölçülen bu değerlerle denklem 3.6a, 3.6b ve 3.6c'yi kullanarak altı bilinmeyenli altı denklem yazılabilir. Yazılan bu denklemlerle rijit cismin ötelenmesi ve dönme değerleri şu şekilde bulunabilir.

$$U_{x0} = [y_1 U_{x2} - y_2 U_{x1} + (y_2 z_1 - y_1 z_2) (C_1 / C_2)] / (y_1 y_2) \quad (3.7a)$$

$$U_{y0} = U_{y1} + z_1 (C_3 / C_2) - x_1 (C_1 / C_2) \quad (3.7b)$$

$$U_{z0} = (1 / C_2) [(x_2 y_3 - x_3 y_2) U_{z1} + (x_3 y_1 - x_1 y_3) U_{z2} + (x_1 y_2 - x_2 y_1) U_{z3}] \quad (3.7c)$$

$$\theta_x = C_3 / C_2 \quad (3.8a)$$

$$\theta_y = C_1 / C_2 \quad (3.8b)$$

$$\theta_z = [U_{x2} - U_{x1} + (z_1 - z_2) (C_1 / C_2)] / (y_1 - y_2) \quad (3.8c)$$

$$C_1 = U_{z1} (y_3 - y_2) + U_{z2} (y_1 - y_3) + U_{z3} (y_1 - y_2) \quad (3.9a)$$

$$C_2 = x_1 (y_2 - y_3) + x_2 (y_3 - y_1) + x_3 (y_1 - y_2) \quad (3.9b)$$

$$C_3 = U_{z1} (x_3 - x_2) + U_{z2} (x_1 - x_3) + U_{z3} (x_2 - x_1) \quad (3.9c)$$

3.2 Düzlem Hareket

3.2.1 Büyük Dönmeler

Bazen hareketin bir yönünün bileşeni sıfır yada diğer bileşenlere oranla daha küçük, yada yükleme veya yapısal koşullara göre bu bileşen oluşmayabilir. Bu durumda hareket bir düzlem boyunca oluşur.

Oluşan hareketi x-y düzleminde kabul edip, denklem 3.5a, 3.5b, 3.5c'de $U_{z0} = \theta_x = \theta_y = 0$ yazarak düzlem hareketin denklemini şu şekilde elde edebiliriz.

$$U_x = U_{x0} + x (\cos\theta_z - 1) - y \sin\theta_z \quad (3.10a)$$

$$U_y = U_{y0} + x \sin\theta_z + y (\cos\theta_z - 1) \quad (3.10b)$$

$$U_z = 0 \quad (3.10c)$$

Yazılan bu denklemlerin bilinmeyenleri U_{x0} , U_{y0} ve θ_z ' dir. Rijit bir cismin düzlemsel hareketini üzerinde seçeceğimiz iki noktayla belirleyebiliriz. Bu durumda rijit cismin düzlemsel hareketinde, denklemlerdeki U_{x0} , U_{y0} ve θ_z bilinmeyenlerini bulabilmek için iki noktada en az üç ölçüm yapmamız gereklidir. Bu ölçümler Şekil 3.6a'da olduğu gibi keyfi doğrultularda yada Şekil 3.6b'de olduğu gibi kartezyen koordinat yönlerinde seçilerek yapılabilir. Seçilecek alet doğrultuları şu şartları sağlamalıdır [1].

- Aynı noktaya yerleştirilmiş aletlerin doğrultuları birbirlerine paralel olmamalıdır.
- Aletlerin doğrultuları tek bir noktada kesişmemelidir.

Denklem 3.10a, 3.10b, 3.10c'de verilen denklemler ölçülecek noktaların tüm doğrultuları için (x,y,z) yazılırsa, yazılan bu denklemlerin herhangi üç tanesinin kombinasyonu denklemlerin çözümü için yeterli olur. Ancak yazılan denklem sayısı fazla olup çözüm süreleri uzayacaktır. Bu durumda çözümü basitleştirmek için üç ölçüm yerine dört ölçüm yapmak gerekecektir. Böylece Şekil 3.6b'de görüldüğü gibi,

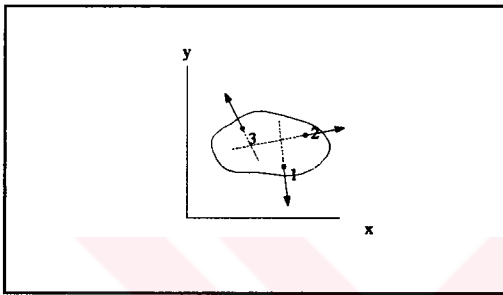
1 ve 2 noktalarındaki her iki yöndeki yer değiştirmeleri ölçecek olursak denklem 3.10a ve 3.10b' yi řu şekilde yazabiliriz.

$$U_{x1} = U_{x0} + x_1 (\cos\theta_z - 1) - y_1 \sin\theta_z \quad (3.11a)$$

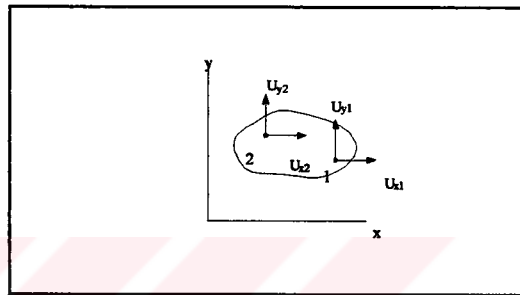
$$U_{x2} = U_{x0} + x_2 (\cos\theta_z - 1) - y_2 \sin\theta_z \quad (3.11b)$$

$$U_{y1} = U_{y0} + x_1 \sin\theta_z + y_1 (\cos\theta_z - 1) \quad (3.11c)$$

$$U_{y2} = U_{y0} + x_2 \sin\theta_z + y_2 (\cos\theta_z - 1) \quad (3.11d)$$



Şekil 3.6a- Seçilen keyfi doğrultular



Şekil 3.6b- Kartezyen koordinat yönleri

Denklem 3.11'de verilen denklemlerin sadece üç tanesi lineer olarak bağımsızdır. Dördüncü olarak yazılan denklem sadece çözümü basitleştirmek içindir. Denklem 3.11a'yı 3.11b'den, 3.11c'yi 3.11d'den çıkarıp $(\cos\theta_z - 1)$ terimini elimine dersek hareketin dönme değerini, θ_z , řu şekilde bulabiliriz.

$$\theta_z = \sin^{-1} \{ [(y_2 - y_1)(U_{y2} - U_{y1}) - (y_1 - y_2)(U_{x2} - U_{x1})] / [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2] \} \quad (3.12a)$$

θ_z elde edildikten sonra U_{x0} ve U_{y0} değerleri, denklem 3.11a (yada 3.11b) ve denklem 3.11c (yada 3.11d)' den bulunabilir.

$$U_{x0} = U_{x1} - x_1 (\cos\theta_z - 1) - y_1 \sin\theta_z \quad (3.12b)$$

$$U_{y0} = U_{y1} + x_1 \sin\theta_z + y_1 (\cos\theta_z - 1) \quad (3.12c)$$

3.2.2 Küçük Dönmeler

Düzlem hareketteki dönmeler, θ_z , küçük olursa denklem 3.10'da verilen denklemler şu şekilde lineerleştirilebilir.

$$U_x = U_{x0} - y \theta_z \quad (3.13a)$$

$$U_y = U_{y0} + x \theta_z \quad (3.13b)$$

Burada yine önceki çözüm yollarında olduğu gibi denklemlerdeki üç bilinmeyeni; U_{x0} , U_{y0} ve θ_z 'yi bulmak yerine Şekil 3.6b'deki doğrultuları kullanarak aşağıdaki denklemler elde edilip çözüme ulaşılabılır [1].

$$U_{x0} = U_{x1} + \{ [y_1 (U_{y2} - U_{y1})] / (x_2 - x_1) \} \quad (3.14a)$$

$$U_{y0} = (x_2 U_{y1} - x_1 U_{y2}) / (x_2 - x_1) \quad (3.14b)$$

$$\theta_z = (U_{y2} - U_{y1}) / (x_2 - x_1) \quad (3.14c)$$

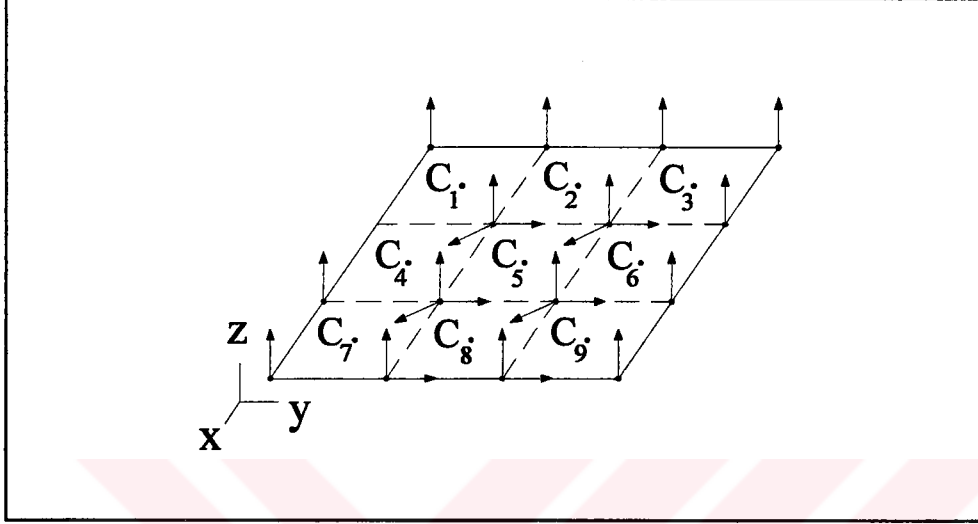
3.3 Esnek Yapılar

Yapının rijit olmadığı durumlarda daha önceden açıklanan ölçüm şekilleri bu yapılar için yeterli olmayacaktır. Esnek yapılar serbestlik dereceleri çok olan yapılardır. Bu sebepten ölçüm için çok sayıda ölçüm aletine ihtiyaç duyulur. Bu durumda uygun olan yapının davranışının yaklaşık olarak tahmin edilip çözüme ulaştırılmasıdır.

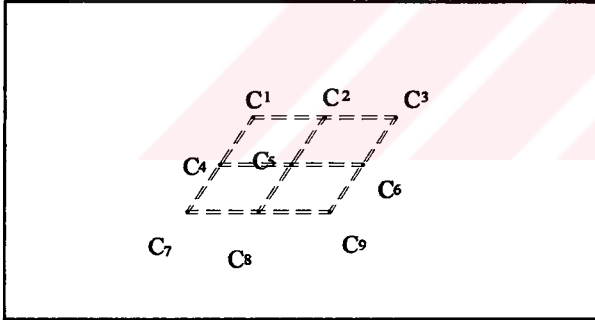
Şekil 3.7a'da olduğu gibi esnek bir yapının her biri rijit kabul edilebilir sonlu elemanlara bölündüğünü kabul edelim. Sonra rijit cisim kabulünde olduğu gibi aletleri ölçüm kurallarına uygunluklarını ve sayılarını minimize etmek için şekil 3.7a'daki gibi ortak olan eleman sınırlarına yerleştirelim. Böylece bir ölçüm birden fazla eleman için kullanılabileceğinden alet sayısı azalmış olacaktır.

Ölçümler sonucu hesaplanan U_{x0} , U_{y0} , U_{z0} yer değiştirmeleri ve θ_x , θ_y , θ_z dönmeleri, her bir elemanın merkezinde seçilen noktaların yer değiştirmeleri ve dönme değerleri olacaktır. Elemanların sınırlarındaki değerleri hesaplayabilmek için şekil 3.7b deki

gibi elemanların merkezlerini kirişlerle birleştirdiğimizi düşünelim. Böylece uç noktalarındaki altı serbestliğini (U_{x0} , U_{y0} , U_{z0} ve θ_x , θ_y , θ_z) bildiğimiz bu kirişlerin orta noktalarındaki istenilen ölçüm değerlerini basit enterpolasyon işlemleri ile kolayca bulabiliriz.



Şekil 3.7a-Aletlerin rijit elemanlardaki konumları

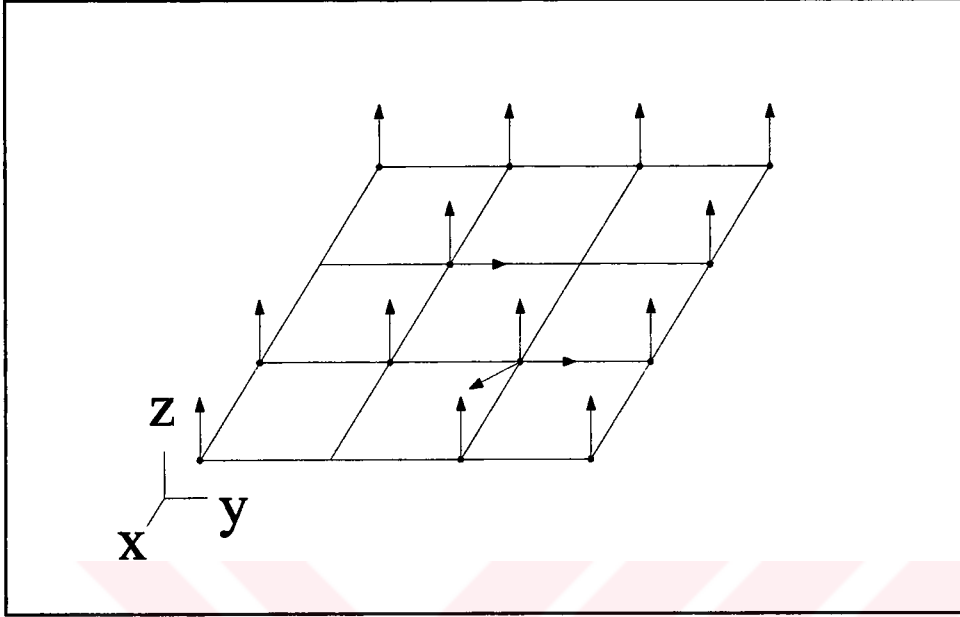


Şekil 3.7b-Rijit elemanların orta noktalarında birleştirilmiş kiriş modeli

Açıklanan bütün bu ölçüm işlemlerinin daha iyi ancak pahalı bir başka yolu, yapının sonlu elemanlar modelinin oluşturulup ölçülen ve hesaplanan değerleri modelde veri olarak kullanarak yapının yer değiştirme ve dönmelerinin hesaplanmasıdır.

Yapılar bazen belli doğrultularda esnek, diğer doğrultularda rijit olabilir. Bu durumda yapıya ek olarak yerleştirilecek aletler yapının esnek olduğu düzlemde olmalıdır. Örnek olarak Şekil 3.8’de görülen x-y düzleminde rijit, x-z düzleminde esnek olan yapı verilebilir. Yapının x-y düzlemindeki hareketini incelemek için x ve y yönündeki ötelenmesini (U_{x0} , U_{y0}) ve z eksenini etrafındaki dönmesini (θ_z) ölçmek

yeterli olacaktır [1]. Esnek olan düzlemler için ekstra aletler yerleştirmek gerekecektir. Şekil 3.8’de bu ölçüm için yapılacak alet yerleşimi görülmektedir.



Şekil 3.8- Sadece x-z ve y-z düzlemlerinde esnek olan yapının alet yerleşim şeması

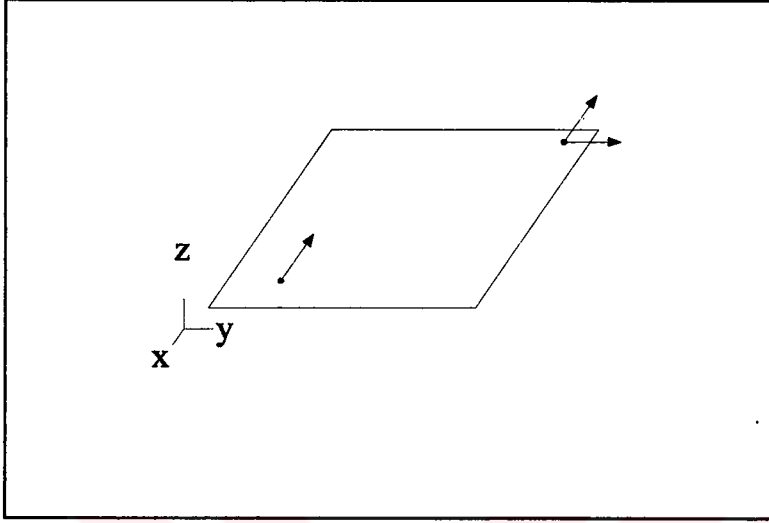
3.4 Ölçüm Çalışmalarının Yapıdaki Titreşimler için Uygulanması

Yapılarda dinamik yükler (deprem etkileri), rüzgar ya da patlama etkileri sonucu oluşan titreşimlerin incelenerek gerçek ve doğru davranışın ortaya çıkarılmasının en iyi yolu yapının açıklanan ölçüm çalışmalarının yapılmasıdır. Bu çalışmalar, sadece araştırmacılara ya da mühendislere yapının dinamik davranış parametrelerini vermeyecek aynı zamanda yapının titreşimi ve uyarımı arasındaki karmaşık ilişkisinde ortaya çıkarılmasını sağlayacaktır [1].

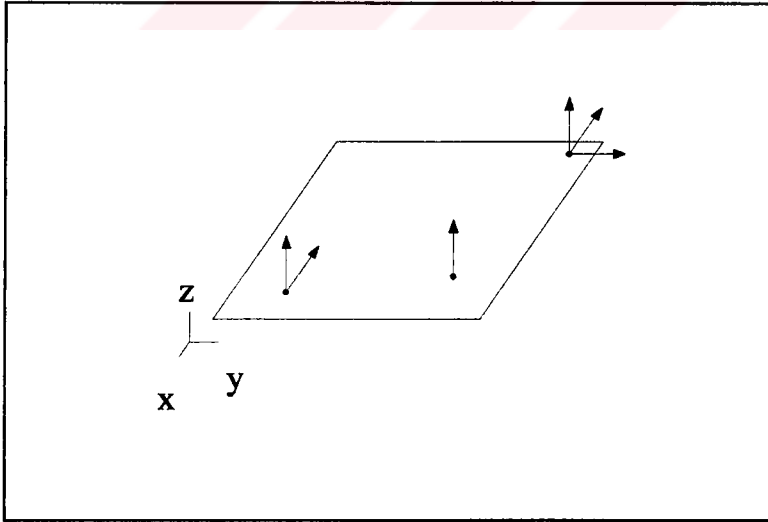
3.4.1 Rijit Döşemeler

Çoğu durumda yapıların yatay doğrultuda titreştiği ve döşemelerin kendi düzlemlerinde rijit olduğu kabulü yapılır. Böylece her döşemenin her iki yatay doğrultudaki ötelenmesi ve düşey doğrultudaki dönmesi olmak üzere üç serbestlik derecesi olduğu düşünülür. Bu yüzden her bir döşemenin düzlem hareketini inceleyebilmek için en az üç ölçüm aletine ihtiyaç vardır [1].

Döşemeler için tipik alet yerleşim planı Şekil 3.9a'daki gibidir. Düşey yer değiştirmelerin önemli olduğu durumlarda (deprem etkileri) altı tane ölçüm aletine ihtiyaç duyulur. Çünkü bu durumda her bir döşeme altı serbestlik derecesine sahiptir. Şekil 3.9b'de bu durumdaki alet yerleşim planı görülmektedir.



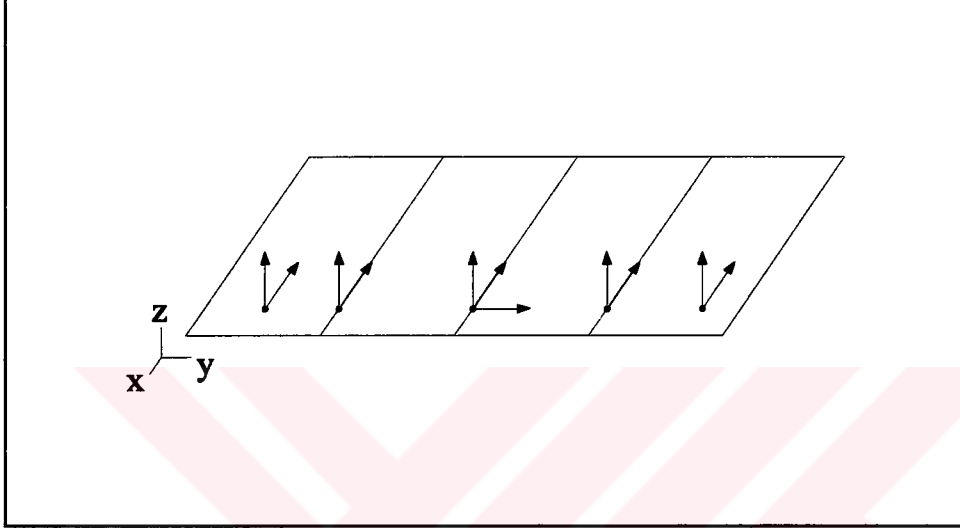
Şekil 3.9a- Sadece yatay hareket için ölçüm şeması



Şekil 3.9b- Hem yatay hem düşey hareket için ölçüm şeması

3.4.2 Esnek Döşemeler

Bazen döşemelerin bir doğrultusundaki uzunluğu diğerine göre daha uzundur (tek yönlü çalışan döşemelerde olduğu gibi). Döşeme bu doğrultuda esnek bir davranış sergiler. Bu durumda döşeme yine her biri rijit kabul edilebilir parçalara ayrılır. Ölçüm için gerekli alet yerleşimi Şekil 3.10'da görüldüğü gibi rijit elemanların sınırlarına koyularak yapılır.



Şekil 3.10- y ve θ_y doğrultularında rijit, diğer doğrultularda esnek döşemenin alet yerleşim planı.

3.5 Yapıların Aletsel İzlenmesi Çalışmaları için Genel Kurallar

Ölçüm işlemleri yapılacak yapı için seçilecek alet yerleri, yapının mümkün olduğu kadar çevresine yerleştirilmelidir. Çünkü yapının çevresinde oluşacak dinamik etkilerin genlikleri, merkezinde oluşan etkilerin genliklerinden daha büyüktür. Alet yerleri için seçilecek koordinat eksenleri keyfi olabilir. Fakat seçilen bu koordinat sistemi yapının koordinat sistemi ile uyumlu olmalıdır. Eğer yapının rijitlik merkezi koordinat sisteminin merkezi olarak seçilirse analitik modelin rijitlik matrisi uncoupled olur. Bu matris, ölçümlerden sonra takip edilecek analitik hesapları kolaylaştırır. Ancak unutulmamalıdır ki tüm yapı hareketi için elde edilen değerlerin yorumlanabilmesi için, aletler için seçilen koordinat merkezleri düşey doğrultuda aynı hat üzerinde olmalıdır.

İdeal olarak yapılması gereken yapının döşemelerinin minimum sayıda gereken sensör (alet) ile ölçümüdür. Ancak bu durum bazı yapılar için pek pratik değildir. Sorun ölçüm işlemi için gerekli minimum sensör sayısı ve yerleştirileceği yerlerdir. Genel kural yapının önce istenilen yerlerinin ölçümü için tam set , diğer kısımlar için uygun görülen sayıda sensör yerleştirmektir. Tam set sensör yerleşiminden kasıt, ölçüm yapılacak üç doğrultudaki hareket için altı adet sensör, sadece yatay hareket ölçümü için üç sensör kullanılmasıdır.

Ölçümler için kullanılacak aletlerin yapıya yerleştirilmesinde önem sırasına göre şu hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

- Dinamik etkiler sonucu yapının temelinde meydana gelebilecek uyarımların (deprem vb.) ölçümü için ilk alet seti yapının temelinde yerleştirilmelidir. Fakat rüzgar kuvvetleri sonucu yapıda meydana gelen uyarımları ölçmek için zemine yerleştirilen bu alet setleri pek işe yaramaz.
- Sonraki alet seti yapının en üst kısmına yerleştirilmelidir. Çünkü yapının en üst kısmında yapının tüm modları için sıfırdan farklı genlikteki titreşimler sürekli oluşmaktadır.
- Daha sonraki set ise yapının düzensizlik gösteren kısımlarına yerleştirilmelidir; örnek olarak yapının kat kütlelerinin, kat yüksekliğinin, rijitliğinin ve geometrisinin ani olarak değiştiği yerler verilebilir.
- Son alet seti ise mod şekilleri sonucu yapıda oluşması beklenen maksimum ötelemelerin meydana geleceği yerlere konmalıdır.

Sonuç olarak yapılan bu tez çalışmasının bu kısımda yapıların aletsel olarak izlenmesi ve ölçümü hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

4. SAP2000 PROGRAMINDA DİNAMİK ANALİZ

Yapılan tez çalışmasının bu bölümünde aletsel olarak incelenip ölçüm çalışmaları yapılacak olan yapının, SAP2000 programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile matematiksel modelinin oluşturulup, dinamik analizi sonucu mod şekillerinin ve periyot değerlerinin bulunması amaçlanmıştır. Ancak yapının ve modelinin özelliklerine geçmeden önce SAP2000 programının dinamik analiz kabulleri ve yöntemleri konusunda genel bilgiler verilecektir.

4.1 SAP2000 Programında Dinamik Analiz Kabulleri

SAP2000 kullanılarak değişik tip analizler yaptırmak mümkündür [3]. Bunlardan bazıları:

- Öz vektörler ya da Ritz vektörleri kullanarak titreşim modları için modal analiz.
- Deprem davranışı için ivme spektrumu analizi.

Değişik analiz tipleri, bir uygulama içinde aynı anda kullanılabilir ve sonuçlar, bazı özel durumlar haricinde, çıktı değerleri için birleştirilebilir. Bu özel durumlar şöyle sıralanabilir:

- İvme spektrumu analizinin yapılabilmesi için önce modal analizin yapılmış olması gereklidir.
- Bir analiz sürecinde sadece bir modal analiz tipi uygulanabilir: öz vektör analizi ya da Ritz vektörü analizi.

4.1.1 İvmelenme Yükleri

Program, yapıya etkiyecek üç ivmelenme yükünü birim ötelenme ivmelerine bağlı olarak global eksenin her üç doğrultusu için otomatik olarak hesaplar. Bu değerler d'Alembert ilkelerine göre hesaplanır. Bu yükler, zemin ivme değerlerinin ivme

spektrumu analizine uygulanması için ve ayrıca Ritz vektör analizinde başlangıç yük vektörleri olarak kullanılırlar. Bu yükler her bir düğüm noktası ve eleman için hesaplanıp tüm sistem üzerinde birleştirilirler. Düğüm noktaları için ivmelenme yükleri, düğüm noktası lokal ekseninde düğüm noktası kütle değerinin negatifine eşittir. Bu yükler daha sonra global koordinat eksenine dönüştürülür.

Elemanlar için ise ivmelenme yükleri her yön için aynıdır ve eleman kütle değerlerinin negatifine eşittir. Koordinat eksen dönüşümüne gerek duyulmaz.

İvmelenme yükleri, herhangi bir koordinat eksenine dönüştürülebilir. Global koordinat sisteminde, pozitif X, Y ve Z eksenlerindeki ivmelenme yükleri sırasıyla UX, UY ve UZ olarak adlandırılır. İvme spektrumu analizi için tanımlanmış bir lokal koordinat sisteminde ise ivmelenme yükleri, pozitif 1, 2 ve 3 eksenlerinde sırasıyla U1, U2 ve U3 olarak adlandırılır [3].

4.1.2 Öz vektör Analizi

Öz vektör analizi ile, sistemin sönümsüz serbest titreşim mod şekilleri ve frekansları bulunur. Bu doğal modlar, yapının davranışı hakkında doğru bilgiler edinmemizi sağlar. Ayrıca bu modlar, ivme spektrumu analizi için temel bilgiler olarak alınırlar. Ancak bu amaç için Ritz vektör analizi, daha uygun sonuçlar verdiği için tavsiye edilir [3].

Öz vektör analizi, genelleştirilmiş bir öz değer probleminin çözümünü içerir;

$$\left| K - \Omega^2 M \right| \Phi = 0 \quad (4.1)$$

Burada K, rijitlik matrisini, M, diyagonal kütle matrisini, Ω^2 , diyagonal öz değer matrisini ve Φ ise öz vektörlere karşılık gelen matrisi (mod şekillerini) temsil eder.

Her bir öz değer-öz vektör çifti, yapının doğal titreşim modu olarak adlandırılır. Bu modlar programın hesaplama sırasına göre 1'den n'e doğru adlandırılırlar.

Bir öz değer, o mod için, açısal frekans, ω 'nın karesidir. Bir moda ait frekans, f, ve periyot, T, şu şekilde hesaplanabilir.

$$T=1/f \quad (4.2)$$

$$f=\omega/2\pi \quad (4.3)$$

Hesaplanacak mod sayısı, n , kullanıcı tarafından tanımlanabilir. Bu durumda program n adet mod için en düşük frekans (en büyük periyot) değeri bulmaya çalışacaktır.

Bulunabilecek mod sayısı, n , aşağıdaki koşullarla sınırlıdır:

- İstenilen mod sayısı
- Modeldeki kütle serbestlik derecesi sayısı.

Bir kütle serbestlik derecesi, ötelenen kütleyi veya dönmeye karşı kütle atalet momentini temsil eden herhangi aktif bir serbestlik derecesidir. Kütle, doğrudan olarak düğüm noktasında tanımlandığı gibi o düğüm noktasına bağlı elemanlardan da gelebilir [3].

4.1.3 Ritz Vektör Analizi

Yapılan araştırmalar, dinamik yüklere maruz yapıların mod birleştirme hesaplarında doğal titreşim mod şekillerinin uygun sonuçlar vermediğini ortaya çıkarmıştır. Yüke bağlı Ritz vektörleri kullanılarak yapılan dinamik analizler sonucu daha doğru sonuçların elde edildiği görülmüştür.

SAP2000 başlangıç yük vektörü olarak, x yönünde, y yönünde ve z yönünde ivmelenme yükü olmak üzere, üç ivmelenme yükü kullanır. Bu sayede öz vektör analizine göre daha iyi ivme spektrumu sonuçları elde edilir.

Ritz vektörlerinin daha doğru sonuçlar vermesinin nedeni, dinamik yükleri her üç doğrultu için uzaysal olarak (hem x , hem y , hem z doğrultuları için) hesaba katmasıdır. Dinamik yük vektörünün her üç doğrultu için hesaba katılması, bu vektörün başlangıç yük görevi görüp işlemlerin başlatılması için kullanılır. Birinci Ritz vektörü, başlangıç yük vektörüne karşılık gelen statik yer değiştirme vektörüdür. Geri kalan Ritz vektörleri, kütle matrisi ile daha önce elde edilmiş Ritz vektörünün çarpımından elde edilir ve bir sonraki statik çözümün yük vektörü olarak kullanılır.

Her bir statik çözüm, üretim döngüsü (generation cycle) olarak adlandırılır. Dinamik yüklerin her üç doğrultu için hesaba katılmasıyla, her bir vektör, başlangıç yük vektörü gibi kullanılarak Ritz vektörlerinin üretiminde kullanılır. Her bir döngüde başlangıç yük vektörü kadar Ritz vektörü üretilir. Eğer üretilen Ritz vektörü gereksiz veya herhangi bir kütlenin uyarımı için kullanılamıyorsa işleme sokulmaz ve bu vektörün üretiminde kullanılan başlangıç yük vektörü sonraki adımlardaki üretim döngülerinden çıkartılır [3].

4.1.4 Modal Analiz Sonuçları

SAP2000 grafik arabiriminde titreşim modlarına ait çok çeşitli özellikler görüntülenebilir. Bu bilgiler, öz vektör ya da Ritz vektörleri kullanılması durumları için aynıdır ve şu alt başlıklarla tanımlanabilir [3].

4.1.4.1 Periyotlar ve Frekanslar

Aşağıdaki zamana bağlı özellikler her mod için verilebilir [3]:

- Periyot, T
- Frekans, f
- Açısal frekans, ω
- Öz değer, ω^2

4.1.4.2 Katılım Faktörleri

Modal katılım faktörleri, üç ivmelenme yükünün mod şekilleri ile skaler çarpımına eşittir. Global X, Y ve Z yönlerindeki ivmelenme yüklerine karşılık gelen n. mod katılım faktörleri aşağıdaki şekilde gösterilebilir;

$$f_{xn} = \varphi_n^T m_x \quad (4.4)$$

$$f_{yn} = \varphi_n^T m_y \quad (4.5)$$

$$f_{zn} = \varphi_n^T m_z \quad (4.6)$$

Burada φ_n , mod şekilleri ve m_x , m_y ve m_z birim ivmelenme yükleridir. Bu faktörler, her bir ivmelenme yükünden dolayı o moda etkiyen genelleştirilmiş yük değerleridir. Global koordinat eksenine göre tanımlanırlar.

Bu değerler “faktör” olarak adlandırılırlar çünkü mod şekilleri ve birim ivmeye bağlıdır. Mod şekilleri, kütle matrisine göre aşağıdaki gibi normalize edilirler ya da ölçeklendirilirler.

$$\varphi_n^T M \varphi_n = 1 \quad (4.7)$$

Katılım faktörlerinin gerçek büyüklükleri ve işaretleri önemli değildir. Asıl önemli olan bir mod için bulunan göreceli üç faktör değeridir [3].

4.1.4.3 Kütle Katılım Oranları

Bir mod için kütle katılım oranı, o modun, global ekseninin her bir yönünde etkiyen ivmelenme yükleri için bulunacak davranışların önemini anlamamızı sağlar. Bu şekilde ivme spektrumu analizinin doğruluğu saptanabilir.

Herhangi bir n. mod için, global X, Y ve Z yönlerindeki ivmelenme yüklerine karşılık gelen kütle katılım oranları aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$P_{xn} = (f_{xn})^2 / M_x \quad (4.8)$$

$$P_{yn} = (f_{yn})^2 / M_y \quad (4.9)$$

$$P_{zn} = (f_{zn})^2 / M_z \quad (4.10)$$

Burada f_{xn} , f_{yn} ve f_{zn} bir önceki alt başlıkta tanımlanan katılım faktörleridir. M_x , M_y ve M_z ise X, Y ve Z yönünde etkiyen toplam kütlelerdir. Kütle katılım oranları yüzde cinsinden ifade edilir.

Bütün modlar için kütle katılım oranlarının kümülatif toplamaları, her bir modun kütle katılım oranları ile birlikte verilir. Bu şekilde, yer hareketinin temsil için gerekli olabilecek mod sayısının görülmesi sağlanır.

Eğer yapının bütün modları mevcut ise, her üç yöndeki ivmelenme yükleri için kütle katılım oranları %100 olacaktır. Fakat bu durum, bazı tip bağlanmaların bulunması

durumunda simetri koşullarının, kütlenin yanal ivmelenmelerden etkilenmesini önlemesinden dolayı her zaman geçerli değildir [3].

4.1.4.4 Genelleştirilmiş Kütle

Serbestlik dereceleri kısıtlanmış toplam kütleler, M_x , M_y ve M_z tanımlanan global eksenin X, Y, Z doğrultularında dikkate alınarak hesaba katılırlar. Bu kütleler; her bir düğüm noktasında tanımlanan ötelenecek kütle değerleri aynı olsa bile düğüm noktalarının serbestlik dereceleri aynı olamayacağından, farklı olabilir.

M_x , M_y ve M_z için kütle ağırlık merkezlerinin yerleri global eksene göre tanımlanır. Bunlar, kütle değerleri ile birlikte kullanılarak ivmelenme yüklerinden oluşacak momentler hesaplanır [3].

4.1.5 İvme Spektrumu Analizi

Zemin hareketine binanın vereceği tepkiyi ifade eden dinamik denge denklemleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$Ku(t)+cu(t)+M\ddot{u}(t)=-m_x\ddot{u}_{gx}(t)-m_y\ddot{u}_{gy}(t)-m_z\ddot{u}_{gz}(t) \quad (4.11)$$

Burada K, rijitlik matrisi; c, sönüm matrisi; M, diyagonal kütle matrisi; u, u ve $\ddot{u}$, yere göre rölatif deplasmanlar, hızlar ve ivmeler; $\ddot{u}_{gx}$, $\ddot{u}_{gy}$ ve $\ddot{u}_{gz}$, üniform yer ivmesi bileşenleridir

İvme spektrumu analizi ile zaman tanım alanındaki tüm değerler yerine denklem takımına maksimuma yakın tepkiyi veren değer bulunmaya çalışılır. Her yöndeki deprem yer ivmesi, sayısal olarak tanımlanmış spektral ivme değerleri ile yapı periyot değerlerine bağlı ivme spektrumu eğrileri olarak verilir.

Her ne kadar ivmeler her üç yön için de tanımlansa bile, her tepki değeri için tek ve pozitif bir sonuç bulunur. Bu tepki değerleri deplasmanlar, kuvvetler ve gerilmeler olabilir. Hesaplanmış her sonuç, tepki değerlerinin maksimuma yakın büyüklükleri için istatistiksel bir değeri belirtir. Gerçek tepki, kendi pozitif değeri ile negatif değeri arasında değişen bir değer olabilir.

Farklı iki tepki değeri arasında karşılaştırma yapmak mümkün değildir. Sismik yükleme anında herhangi bir tepki değeri için, ne zaman oluştuğuna dair bir bilgi almak ya da diğer tepki değerlerinin o andaki değerlerinin ne olduğunu bulmak mümkün değildir.

İvme spektrumu analizi mod süper pozisyon yöntemi kullanılarak yapılır. Modlar, öz vektörler ya da Ritz vektörlerinden herhangi biri kullanılarak hesaplanabilir. Aynı sayıda mod için Ritz vektörlerinin daha iyi sonuçlar verdiği göz önüne alınarak bu yöntemin kullanılması önerilir.

Programın bir uygulamasında, farklı sayıda ivme spektrumu analizi gerçekleştirilebilir. Her bir analiz spec olarak adlandırılır, ki bunun yerine başka bir ad da atanabilir. Her Spec, uygulanan ivme spektrasına ve sonuçların birleştirilme şekline göre farklılaşabilir [3].

4.1.5.1 İvme Spektrumu Fonksiyonları

Bir ivme spektrumu fonksiyonu, yapı periyodu ile ona karşılık gelen suni spektral ivme değerleri çiftinin bir serisi olarak ifade edilebilir. Her birine özel bir isim verilerek çok sayıda fonksiyon tanımlanabilir. İvme değerleri, Fonksiyonun kullanıldığı herhangi bir zamanda ölçeklendirilebilir.

Periyot ve ivme değeri çiftleri aşağıdaki gibi tanımlanabilirler;

$$t_0, f_0, t_1, f_1, t_2, f_2, \dots, t_n, f_n$$

Bu durumda $n+1$ çift tanımlanmış olur. Tanımlanan her periyot ve ivme değeri sıfır veya pozitif olmalıdır ve bu çiftler artan periyot değerleri için sıralanmalıdırlar [3].

4.1.5.2 İvme Spektrumu Eğrisi

Verilen bir doğrultu için ivme spektrumu eğrisi, yapının periyot değerleri ile bu değerlere karşılık gelen suni spektral ivme değerlerinin birleştirilmesiyle oluşturulur. Eğrinin şekli, eğriye bir ivme spektrumu fonksiyonu atanmasıyla belirlenir.

Seçilen ivme spektrumu eğrisi, modellenen yapıda bulunan sönümü yansıtmalıdır. Burada dikkat çekici olan bir nokta da ivme spektrumu eğrisinin kendisinde de

sönüm bulunmasıdır. Bu durum, modların kombinasyonu yöntemlerinden CQC metodu için tanımlanan “damp”, sönüm oranından farklı bir durumdur.

Eğer ivme spektrumu eğrisi, yapının titreşim modlarını temsil edebilecek sayıda periyot değeri ile tanımlanmazsa, eğri, en yakın periyot değeri için tanımlanan ivmelerin sabit değerleri için daha geniş ve küçük periyot değerlerine genişletilir [3].

4.1.6 Modların Süperpozisyonu

Belirlenen bir ivmelenme yönünde, yapının her bir titreşim modu için deplasmanların, kuvvetlerin ve gerilmelerin maksimum değerleri hesaplanır. Bu modal değerler, verilen ivmelenme yönü için, tek ve pozitif bir değer oluşturmak için aşağıdaki yöntemlerden biri kullanılarak birleştirilir. Kullanılan metodun belirtilmesi için modc parametresi tanımlanır [3].

4.1.6.1 CQC Metodu

Modal sonuçların birleştirilmesi için modc=CQC ile adlandırılan “Tam Karesel Birleştirme” yöntemi kullanılır.

CQC yöntemi, modal sönümden dolayı fazla ayrıklaşmamış modların istatistiksel olarak birleştirilmesinde kullanılır. CQC sönüm oranı, damp, kritik sönüm oranının bir kesiri olarak tanımlanır: $0 \leq \text{damp} \leq 1$. Bu değer modellenen yapıdaki sönümü temsil etmelidir. Burada dikkat çeken bir husus, yapısal sönümün tahmini bir değerine bağlı olarak tanımlanan damp değeri response spektrum eğrisine etkide bulunmamaktadır. Normalde bu iki değer aynı olarak alınmalıdır. Eğer sönüm sıfır alınırsa CQC metodu SRSS metodu halini alır [3].

4.1.6.2 SRSS Yöntemi

Bu yöntemde modc=SRSS olarak tanımlanır ve modal sonuçların karelerin toplamının kare kökü alınarak birleştirme işlemi yapılır [3].

4.1.6.3 Mutlak Toplam Yöntemi

Bu yöntem için $modc=ABS$ olarak tanımlanır ve modal sonuçların mutlak değerlerinin toplamı alınır. Bu metot genelde çok basit kalır [3].

4.2 İvme spektrumu Analiz Sonuçları

Sap2000 grafik arabiriminde yapılan her ivme spektrumu analizi ile ilgili bilgiler mevcuttur. Bu bilgiler aşağıdaki alt başlıklarda tanımlanmışlardır.

4.2.1 Sönüm ve İvmelenmeler

Her mod için modal sönüm ve her bir yönde etkiyen yer ivmelenmeleri verilmiştir. Modlar için gösterilen sönüm değerleri seçilen CQC yöntemindeki sönüm oranları, ile aynıdır.

Her mod için gösterilen ivmeler, sf parametresine göre ölçeklendirilmiş ivme spektrumu eğrilerinden modal periyotlara bağlı olarak interpolate edilmiş gerçek ivme değerleridir. İvmeler, her zaman, ivme spektrumu analizinin lokal eksenine göre tanımlanırlar ve çıktılarda U1, U2 ve U3 olarak adlandırılırlar [3].

4.2.2 Modal Genlikler

İvme spektrumu modal genlikleri, her bir ivmelenme yönünde, yapının deforme olmuş şekline karşılık gelen mod şekilleri çarpanlarını verir. Verilmiş bir mod ve ivmelenme yönü için, bu değer, modal katılım oranı ile ivme spektrum ivmelenmesinin çarpımının o modun öz değerine, ω^2 , bölünmesi ile bulunur.

İvmelenme yönleri, ivme spektrumu analizinin lokal eksenlerine göre tanımlanır. Çıktılarda ise U1, U2 ve U3 olarak adlandırılırlar [3].

5. YAPININ SAP2000 PROGRAMI İLE MODELİNİN OLUŞTURULMASI

5.1 Yapının Mimari ve Teknik Özellikleri

Söz konusu yapı Şekil 5.1a ve Şekil 5.1b’de görüleceği üzere zeminden itibaren aşağıda dört bodrum katı, zeminden yukarı (asma kat dahil) olmak üzere kırk beş katlı olarak tasarlanmıştır. Zeminden itibaren yapı toplam 145,22 m yüksekliğindedir. Bodrum katlarının bir bölümü zemin ile etkileşim halinde olduğu için, bu kısımlarda betonarme çevre perdeleri bulunmaktadır. Bodrum katlarının diğer kısımları yapılacak olan diğer yapıyla dilatasyonla ayrılmıştır. Bu kısımlarda betonarme çevre perdeleri bulunmamaktadır. Binanın kat yükseklikleri ve açıklıkları planlarına bağlı alınarak Tablo 5.1’de verilmiştir.

Yapının kesiti yaklaşık her on katta bir mimari açıdan yapılan set back’ler ile daraltılmıştır. Ayrıca yapının kat kalıp planlarına bağlı alınarak oluşturulan modelinin kesitleri eklerde verilmiştir.

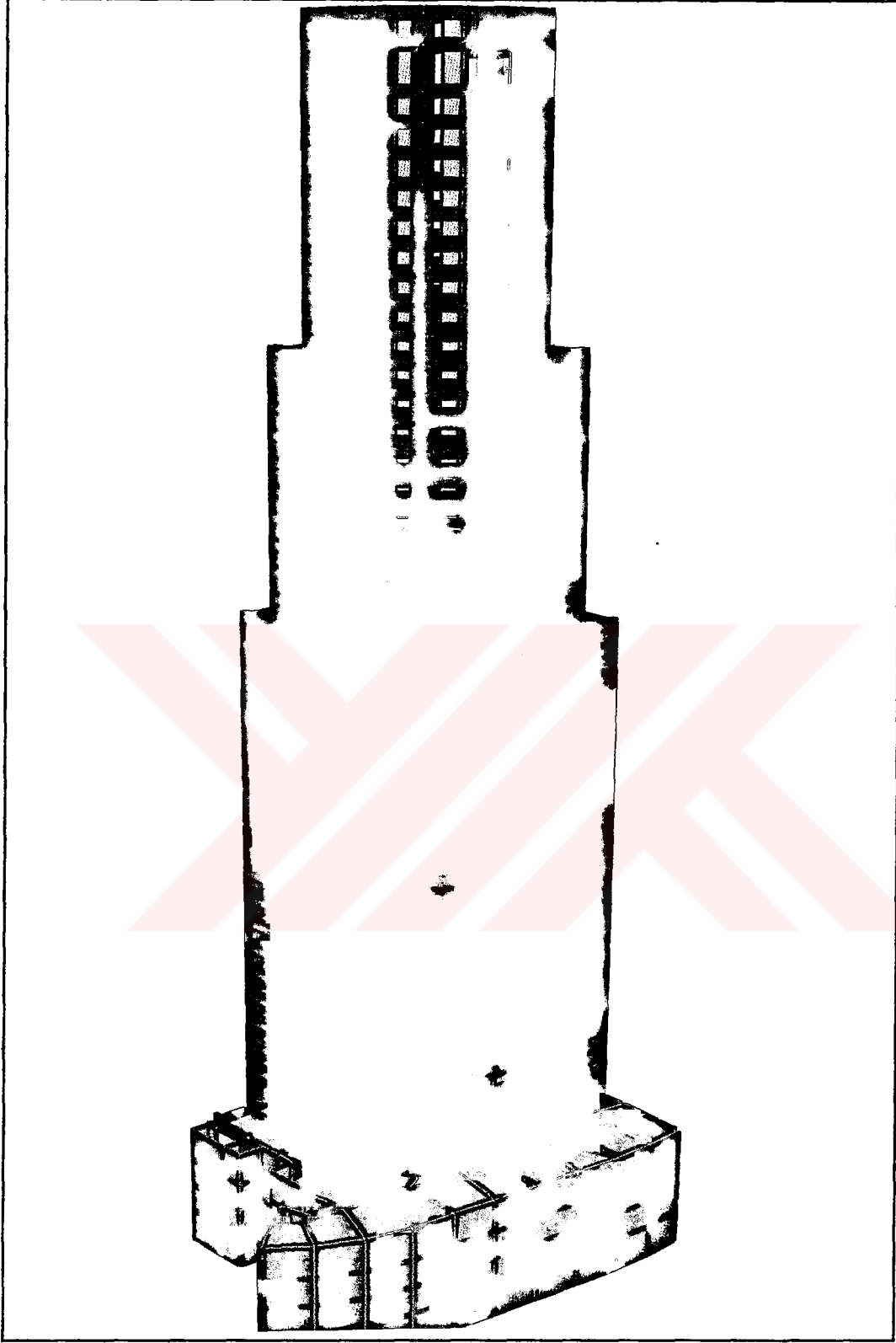
Yapının taşıyıcı sistemi, betonarme perde çerçeve sistem olarak tasarlanmış, yapının merkezinde sayılabilecek bir mevkide betonarme perdelerden oluşan çekirdek kısmı mevcuttur. Betonarme hesaplarında malzeme olarak BS35 ve BÇIII kullanılmıştır.

Tablo 5.1-Yapının kat yükseklikleri ve kat açıklıkları.

Katlar	Açıklıklar (Her iki yön için) (m)		Kat yükseklikleri (m)
Zemin kat 1	57,60	43,33	4,60
Zemin kat 2-3	57,60	43,33	3,70
Zemin kat 4	57,60	43,33	4,22
Asma Kat	35,25	35,25	3,50
1-19. Katlar Arası	35,25	35,25	3,50
20-29.Katlar Arası	30,00	30,00	3,50
39.Kat (Tesisat Katı)	24,70	24,70	5,22
30-38 ve 40.Katlar	24,70	24,70	3,50



Şekil 5.1a-Yapının perspektif açıdan görünüşü



Şekil 5.1b-Yapının diğer bir açıdan görüntüsü

5.2 Yapının Matematiksel Modelleri

5.2.1 Yapının Geometrisinin SAP2000 Programında Girilmesi

Yapının sahip olduğu geometri alışla gelmiş geometrik şekillerden farklı olduğu için programa koordinatlarının giriş aşaması oldukça zor olmuştur. Kat kalıp planlarında belirtilen eğriliklerin merkezlerinin her biri için silindirik koordinatlarda farklı koordinat eksenleri tanımlanmıştır. Farklı tanımlanan on bir eksen takımı ile yapının geometrisinin sahip olduğu şekil programa girilmiştir. Tanımlanan bu koordinat eksenleri yapının taşıyıcı sistemindeki farklı açılarda yerleştirilmiş kolonların lokal eksenlerinin programa tanıtılmasında kolaylık sağlamıştır.

Yapının yükselen kısmı, bodrum katların düzlemi ile kırk beş derece açı yapacak şekilde tasarlandığından, yapının bu kısmı için ayrıca kartezyen koordinatlarda olmak üzere yeni bir koordinat ekseni daha tanımlanmıştır.

Böylece biri global koordinat ekseni olmak üzere toplam on üç koordinat eksen takımı tanımlanarak yapının geometrisi programa girilmiştir. Yapının sahip olduğu geometri Şekil 5.1a ve 5.1b'den görülebilir.

5.2.2 Yapının Birinci Modeli ve Modelde Yapılan Kabuller

Bu modelde yapının sahip olduğu perde taşıyıcı sistemleri programa çubuk elemanlar olarak girilmiş, bunların diğer elemanlarla bağlantısı rijit birleşimlerle sağlanmıştır. Her bir perde elemanın atalet momentleri hesaplanıp, aynı atalet momentlerine sahip dikdörtgen kesitler tanımlanan çubuk elemanların kesitlerine atanmıştır.

Yapının döşemeleri bu modelde kabuk eleman olarak girilmiş, her kat döşemesi için ayrı rijit diyafram tanımı yapılmıştır. Böylelikle düğüm noktalarının serbestlik dereceleri kısıtlanarak, döşemelerin her iki doğrultuda ötelenme ve düşey ekseninde dönme yapması amaçlanmıştır.

Yapının periyot değerleri ve mod şekilleri SAP2000 programında Ritz Vektör analizi kullanılarak bulunmuştur.

Yapının birinci modelinin analizi sonucu elde edilen periyot değerleri, kütle katılım oranları ve mod şekilleri Ek A ve Ek B’de verilen tablo ve şekillerde sunulmuştur. Modelin farklı açılardan görünüşü Ek B’de ki şekillerden görülebilir.

5.2.3 Yapının İkinci Modeli ve Yapılan Kabuller

Yapının bu modelinde birinci modelinde olduğu gibi, perde taşıyıcı sistemleri çubuk elemanlar olarak tanımlanmıştır.

Döşemelerde ise kabuk elemanlar yerine her katta rijit diyafram tanımı yapıp her katın kütlesi, rijit diyafram tanımına bağlı alınarak, döşemelerin ağırlık merkezinde seçilen master joint noktasına her iki doğrultu için verilmiştir. Döşemelerin kütle atalet momentleri, yine seçilen bu master joint noktasına girilmiştir. Kütle merkezinde tanımlanan her iki yöndeki kütleler ve kütle atalet momentlerinin değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

ABYYHY’ nin öngördüğü şekilde yapının bu modeli için farklı iki analiz yapılmıştır [4]. Birinci analizde bodrum katlar dahil tüm sistem göz önüne alınmış, ikinci analizde ise yükselen kısım bodrum katlardan ayrılarak analiz edilmiştir. Birinci modelde olduğu gibi modelin modal analizi Ritz vektörleri kullanılarak yapılmıştır. Bu analizler sonucu bulunan periyot değerleri, kütle katılım oranları ve mod şekilleri Ek A ve Ek B’de verilen tablo ve şekillerde sunulmuştur.

Tablo 5.2- Kütle merkezleri, kütle atalet momentleri ve kütleler.

Katlar	Kat Kütle Merkezleri		Kütle Atalet Momentleri kNm ² /(m/s ²)	Kütleler kN/(m/s ²)	
	x (m)	y (m)		Mx	My
Zemin kat1	22,20	20,89	1,28E+06	3287,96	3287,96
Zemin kat2	22,21	20,75	1,21E+06	3115,40	3115,40
Zemin kat2	22,21	20,83	1,25E+06	3215,10	3215,10
Zemin kat2	22,59	19,86	1,05E+06	2921,65	2921,65
Asma Kat	24,88	18,19	2,55E+05	1470,84	1470,84
Kat1-Kat9	24,30	18,75	3,44E+05	1753,79	1753,79
Kat10	24,24	18,83	3,32E+05	1684,32	1684,32
Kat11-Kat18	23,26	19,84	2,85E+05	1427,66	1427,66
Kat19	23,01	20,09	2,55E+05	1360,18	1360,18
Kat20-Kat28	21,17	20,88	1,64E+05	1148,99	1148,99
Kat29	21,86	21,08	1,45E+05	1080,86	1080,86
Kat30-Kat37	20,75	22,08	7,66E+04	823,99	823,99
Kat38-Kat39	20,92	21,90	8,55E+04	926,43	926,43
Kat40	20,19	22,64	5,78E+04	613,09	613,09

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapıların aletsel olarak izlenmesi, dinamik etkiler altında bir yapının gerçek davranışının nasıl olacağı konusunda bilgi edinmemizi sağlar. Bu durumda önemli olan izleme araçlarının yapıda nasıl bir yayılımla yerleştirileceğidir. Bu yerleşimin tayini amacıyla bir ön çalışma niteliğinde ele alınan bodrum katları dahil 45 katlı bir bina için modal analiz sonucu mod şekilleri, yapılan bu tez çalışmasında bulunmuştur.

Buna göre, aletsel olarak izlenmesi düşünülen binanın gerçek davranışının hangi modele uygun olacağı ortaya çıkacaktır. Yapılan bilgisayar analizleri sayesinde yapının elastik davranışı konusunda fikir edinmek mümkün olabilmektedir. Analiz aşamasında yapılan kabuller doğrultusunda bulunan sonuçlara göre modellerde ilk beş mod için mod şekilleri çok fazla değişmemektedir. Fakat bu modellerden hangisinin daha gerçekçi olduğu binanın aletsel olarak izlenmesi sonucunda ortaya çıkacaktır. Bu anlamda, yapının aletsel olarak izlenmesi esaslarına bağlı kalarak ;

- İlk alet seti yapının temeline yerleştirilmelidir. Dört adet yatay doğrultuda ölçümler için, üç adet düşey doğrultudaki ölçümler için;
- İkinci alet seti yapının en üst katına yerleştirilmelidir. Dört adet yatay, bir adet düşey doğrultudaki ölçümler için;
- Üçüncü, dördüncü ve beşinci alet setleri; yapının kesitinin değiştiği onuncu, on dokuzuncu ve yirmi dokuzuncu katlarına dört adet yatay, bir adet düşey doğrultudaki ölçümler için aletler yerleştirilmelidir.

Sonuç olarak yapının belirtilen yerlerine toplam yirmi yedi adet alet yerleştirilmesi önerilmektedir.

Yapıların aletsel olarak izlenmesinde dikkat edilecek en önemli kriter, minimum sayıda alet ile maksimum ve efektif ölçüm yapabilmektir. Bilgisayar analizleri sonucunda bulunan mod şekilleri bu durumda önem kazanmaktadır. Yapının aletsel

olarak izlenmesi kararı alındıktan sonra uygulamayı yapacak teknik ekip, her iki modelin bulunan mod şekilleri için detaylı bir incelemeden sonra, bu modlar doğrultusunda önerilen minimum alet sayısı ve alet yerleri konusunda değişiklikler yaparak izleme sürecini gerçekleştireceklerdir.



KAYNAKLAR

- [1] **Mehmet Çelebi, Erdal Şafak, A. Gerald Brady, Richard Maley, and Vahid Sotoudeh, 1987. Integrated Instrumentation Plan for Assessing the Seismic Response of Structures-A Review of the Current USGS Program, U.S. Geological Survey Circular 947.**
- [2] **Mehmet Çelebi, 2000. Seismic Instrumentation of Buildings. Open-File Report 00-157, USGS.**
- [3] **SAP 2000 Basic Analysis Reference, 1997. Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA.**
- [4] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No:25.**



Ek A

Tablo A.1. Birinci modelin periyot değerleri ve kütle katılım oranları.

Mod	Periyot	Her Bir Mod İçin (%)			Kümülatif Toplam (%)		
		U _x	U _y	U _z	U _x	U _y	U _z
1	2,990780	29,847	22,142	0,0175	29,8469	22,1418	0,0175
2	2,686154	23,075	29,248	0,0001	52,9216	51,3899	0,0176
3	1,619542	1,9263	1,9787	0,0000	54,8480	53,3686	0,0176
4	0,863621	16,060	2,1709	0,0351	70,9083	55,5394	0,0527
5	0,834158	1,7487	15,005	0,0079	72,6570	70,5442	0,0606
6	0,593276	0,7052	0,7335	0,0000	73,3622	71,2777	0,0606
7	0,420849	4,1601	1,1628	0,0011	77,5223	72,4405	0,0616
8	0,394332	2,4040	5,1406	0,0151	79,9263	77,5810	0,0767
9	0,333117	0,5847	0,7286	0,0001	80,5110	78,3097	0,0768
10	0,268947	1,4790	0,9056	0,0056	81,9900	79,2153	0,0824
11	0,241449	0,1335	0,1635	50,523	82,1235	79,3788	50,6057
12	0,229080	2,3944	2,0982	3,0246	84,5179	81,4769	53,6302
13	0,216643	0,4231	1,1647	0,0182	84,9410	82,6416	53,6485
14	0,189930	0,6978	0,6034	0,0019	85,6387	83,2450	53,6504
15	0,175074	0,0110	0,0116	10,640	85,6497	83,2566	64,2902
16	0,171558	0,0005	0,0009	1,0061	85,6502	83,2575	65,2963
17	0,155203	2,4005	0,0095	0,0110	88,0507	83,2670	65,3073
18	0,151693	0,5893	2,1745	0,0026	88,6400	85,4415	65,3099
19	0,146596	0,2110	1,1846	0,0011	88,8510	86,6261	65,3110
20	0,140955	0,0422	0,1088	0,0084	88,8932	86,7349	65,3194
21	0,137109	0,0001	0,0001	0,0144	88,8933	86,7350	65,3338
22	0,128666	0,0049	0,0056	5,3966	88,8982	86,7405	70,7305
23	0,117534	0,2252	0,0272	0,0056	89,1234	86,7677	70,7361
24	0,114738	2,1873	0,2930	0,0088	91,3108	87,0607	70,7449
25	0,111857	0,0062	2,2945	0,0000	91,3169	89,3553	70,7449
26	0,104535	0,0096	0,0154	0,0303	91,3265	89,3707	70,7752
27	0,097144	0,0242	0,1000	0,5828	91,3507	89,4707	71,3580
28	0,093791	0,3710	0,0354	1,0140	91,7217	89,5061	72,3720
29	0,090124	1,5743	0,0778	0,2125	93,2960	89,5839	72,5845
30	0,088314	0,0999	1,9768	0,0119	93,3959	91,5607	72,5964
31	0,077760	0,4490	0,8254	0,0035	93,8448	92,3861	72,5999
32	0,073165	1,2255	0,3629	0,0103	95,0703	92,7490	72,6102
33	0,068846	0,2881	2,1825	0,0010	95,3584	94,9315	72,6112
34	0,061843	1,0126	0,0031	0,0144	96,3711	94,9346	72,6257
35	0,057778	0,0053	1,5063	0,0040	96,3764	96,4409	72,6296
36	0,050429	0,8887	0,0079	0,0190	97,2651	96,4488	72,6487
37	0,044119	0,0238	1,1022	0,0005	97,2889	97,5510	72,6491
38	0,038784	0,9693	0,0329	0,0214	98,2582	97,5839	72,6705
39	0,029981	0,0004	1,4169	0,0027	98,2586	99,0008	72,6731
40	0,027810	1,0990	0,0126	0,0333	99,3575	99,0133	72,7065
41	0,018282	0,0802	0,8669	0,0035	99,4377	99,8802	72,7099
42	0,017076	0,5347	0,0745	0,0209	99,9724	99,9548	72,7308

Tablo A.2. Yapının birinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (1. Mod).

Yapının 1. Modu İçin			
Katlar	Mux	Muy	Rz
ZeminKat1	0,000382	-0,000182	2,02E-08
ZeminKat2	0,001056	-0,000479	5,53E-08
ZeminKat3	0,002027	-0,000922	1,02E-07
ZeminKat3	0,003538	-0,001689	1,63E-07
Asma Kat	0,005533	-0,003078	1,76E-07
Kat01	0,007910	-0,004958	1,76E-07
Kat02	0,010655	-0,007199	1,64E-07
Kat03	0,013725	-0,009769	1,40E-07
Kat04	0,017086	-0,012633	1,07E-07
Kat05	0,020713	-0,015764	6,54E-08
Kat06	0,024584	-0,019138	1,74E-08
Kat07	0,028677	-0,022733	-3,60E-08
Kat08	0,032975	-0,026531	-9,39E-08
Kat09	0,037461	-0,030514	-1,56E-07
Kat10	0,042119	-0,034662	-2,21E-07
Kat11	0,047018	-0,038989	-2,88E-07
Kat12	0,052065	-0,043502	-3,57E-07
Kat13	0,057260	-0,048159	-4,27E-07
Kat14	0,062584	-0,052942	-4,97E-07
Kat15	0,068021	-0,057835	-5,68E-07
Kat16	0,073554	-0,062824	-6,39E-07
Kat17	0,079169	-0,067894	-7,08E-07
Kat18	0,084853	-0,073033	-7,77E-07
Kat19	0,090616	-0,078207	-8,45E-07
Kat20	0,096507	-0,083397	-9,08E-07
Kat21	0,102382	-0,088707	-9,69E-07
Kat22	0,108292	-0,094053	-1,03E-06
Kat23	0,114224	-0,099424	-1,08E-06
Kat24	0,120168	-0,104811	-1,13E-06
Kat25	0,126115	-0,110206	-1,18E-06
Kat26	0,132059	-0,115602	-1,23E-06
Kat27	0,137995	-0,120996	-1,27E-06
Kat28	0,143920	-0,126384	-1,31E-06
Kat29	0,149857	-0,131719	-1,35E-06
Kat30	0,155929	-0,136960	-1,39E-06
Kat31	0,161858	-0,142350	-1,42E-06
Kat32	0,167764	-0,147722	-1,45E-06
Kat33	0,173639	-0,153067	-1,48E-06
Kat34	0,179475	-0,158382	-1,50E-06
Kat35	0,185269	-0,163662	-1,52E-06
Kat36	0,191018	-0,168906	-1,54E-06
Kat37	0,196722	-0,174114	-1,56E-06
Kat38	0,202357	-0,179316	-1,57E-06
Kat39	0,210714	-0,186961	-1,59E-06
Kat40	0,216407	-0,191949	-1,60E-06

Tablo A.3. Yapının birinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (2. Mod).

Yapının 2. Modu İçin			
Katlar	Mux	Muy	Rz
ZeminKat1	0,000468	0,000372	1,20E-07
ZeminKat2	0,001292	0,001007	3,57E-07
ZeminKat3	0,002413	0,001884	6,94E-07
ZeminKat3	0,004142	0,003240	1,16E-06
Asma Kat	0,006432	0,005594	7,73E-07
Kat01	0,008895	0,008154	7,82E-08
Kat02	0,011656	0,011095	-7,74E-07
Kat03	0,014632	0,014326	-1,75E-06
Kat04	0,017788	0,017800	-2,82E-06
Kat05	0,021096	0,021486	-3,97E-06
Kat06	0,024535	0,025357	-5,16E-06
Kat07	0,028089	0,029391	-6,39E-06
Kat08	0,031744	0,033570	-7,66E-06
Kat09	0,035489	0,037880	-8,94E-06
Kat10	0,039388	0,042371	-1,02E-05
Kat11	0,044498	0,048079	-1,16E-05
Kat12	0,048643	0,052898	-1,29E-05
Kat13	0,052853	0,057812	-1,43E-05
Kat14	0,057114	0,062805	-1,56E-05
Kat15	0,061417	0,067866	-1,70E-05
Kat16	0,065755	0,072984	-1,83E-05
Kat17	0,070122	0,078151	-1,96E-05
Kat18	0,074513	0,083360	-2,09E-05
Kat19	0,079489	0,089171	-2,22E-05
Kat20	0,085816	0,096475	-2,34E-05
Kat21	0,090435	0,101968	-2,46E-05
Kat22	0,095059	0,107478	-2,57E-05
Kat23	0,099676	0,112991	-2,68E-05
Kat24	0,104275	0,118493	-2,79E-05
Kat25	0,108848	0,123975	-2,89E-05
Kat26	0,113389	0,129430	-2,99E-05
Kat27	0,117895	0,134853	-3,08E-05
Kat28	0,122365	0,140243	-3,17E-05
Kat29	0,127459	0,146617	-3,25E-05
Kat30	0,13249	0,155708	-3,32E-05
Kat31	0,139748	0,161152	-3,39E-05
Kat32	0,144200	0,166548	-3,45E-05
Kat33	0,148595	0,171884	-3,51E-05
Kat34	0,152926	0,177151	-3,56E-05
Kat35	0,157186	0,182343	-3,61E-05
Kat36	0,161374	0,187458	-3,65E-05
Kat37	0,165490	0,192495	-3,68E-05
Kat38	0,168877	0,196800	-3,71E-05
Kat39	0,174790	0,204069	-3,76E-05
Kat40	0,181464	0,211638	-3,78E-05

Tablo A.4. Yapının birinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (3. Mod).

Yapının 3. Modu İçin			
Katlar	Mux	Muy	Rz
ZeminKat1	-0,000783	-0,000608	-4,48E-07
ZeminKat2	-0,002228	-0,001726	-1,18E-06
ZeminKat3	-0,004237	-0,003315	-2,18E-06
ZeminKat3	-0,007406	-0,005714	-3,68E-06
Asma Kat	-0,010072	-0,008379	-7,30E-06
Kat01	-0,011321	-0,009481	-1,20E-05
Kat02	-0,013008	-0,011104	-1,74E-05
Kat03	-0,014723	-0,012815	-2,34E-05
Kat04	-0,016478	-0,014617	-2,97E-05
Kat05	-0,018273	-0,016500	-3,63E-05
Kat06	-0,020105	-0,018456	-4,30E-05
Kat07	-0,021968	-0,020474	-4,99E-05
Kat08	-0,023854	-0,022541	-5,68E-05
Kat09	-0,025758	-0,024647	-6,36E-05
Kat10	-0,027171	-0,026348	-7,05E-05
Kat11	-0,021195	-0,020914	-7,73E-05
Kat12	-0,022404	-0,022407	-8,40E-05
Kat13	-0,023630	-0,023928	-9,05E-05
Kat14	-0,024872	-0,025472	-9,69E-05
Kat15	-0,026127	-0,027035	-0,000103
Kat16	-0,027394	-0,028614	-0,000109
Kat17	-0,028671	-0,030203	-0,000115
Kat18	-0,029953	-0,031797	-0,000120
Kat19	-0,028065	-0,030207	-0,000126
Kat20	-0,019034	-0,020792	-0,000131
Kat21	-0,019891	-0,021926	-0,000136
Kat22	-0,020781	-0,023088	-0,000140
Kat23	-0,021701	-0,024275	-0,000144
Kat24	-0,022648	-0,025483	-0,000148
Kat25	-0,023623	-0,026712	-0,000151
Kat26	-0,024627	-0,027963	-0,000155
Kat27	-0,025661	-0,029237	-0,000158
Kat28	-0,026722	-0,030533	-0,000161
Kat29	-0,024504	-0,026740	-0,000163
Kat30	-0,008997	-0,009595	-0,000165
Kat31	-0,009940	-0,010691	-0,000167
Kat32	-0,010927	-0,011827	-0,000169
Kat33	-0,011955	-0,013001	-0,000171
Kat34	-0,013021	-0,014208	-0,000172
Kat35	-0,014123	-0,015447	-0,000173
Kat36	-0,015257	-0,016714	-0,000175
Kat37	-0,016422	-0,018010	-0,000176
Kat38	-0,020756	-0,022462	-0,000176
Kat39	-0,022597	-0,024488	-0,000177
Kat40	-0,010814	-0,012873	-0,000178

Tablo A.5. Yapının birinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (4. Mod).

Yapının 4. Modu İçin			
Katlar	Mux	Muy	Rz
ZeminKat1	0,002703	-0,000335	3,03E-07
ZeminKat2	0,007031	-0,000719	8,25E-07
ZeminKat3	0,012770	-0,001316	1,51E-06
ZeminKat3	0,021125	-0,002441	2,38E-06
Asma Kat	0,031438	-0,004372	1,86E-06
Kat01	0,042612	-0,007717	8,97E-07
Kat02	0,054620	-0,011605	-2,68E-07
Kat03	0,067022	-0,015976	-1,60E-06
Kat04	0,079502	-0,020685	-3,02E-06
Kat05	0,091781	-0,025603	-4,48E-06
Kat06	0,103612	-0,030605	-5,94E-06
Kat07	0,114776	-0,035579	-7,37E-06
Kat08	0,125082	-0,040421	-8,73E-06
Kat09	0,134370	-0,045038	-1,00E-05
Kat10	0,142597	-0,049285	-1,12E-05
Kat11	0,150630	-0,051973	-1,22E-05
Kat12	0,155999	-0,055264	-1,30E-05
Kat13	0,159751	-0,058006	-1,37E-05
Kat14	0,161814	-0,060143	-1,42E-05
Kat15	0,162135	-0,061630	-1,45E-05
Kat16	0,160687	-0,062432	-1,46E-05
Kat17	0,157470	-0,062527	-1,44E-05
Kat18	0,152513	-0,061913	-1,41E-05
Kat19	0,146212	-0,060269	-1,36E-05
Kat20	0,138397	-0,056993	-1,29E-05
Kat21	0,127568	-0,054067	-1,20E-05
Kat22	0,114959	-0,050376	-1,09E-05
Kat23	0,100692	-0,045936	-9,65E-06
Kat24	0,084887	-0,040774	-8,30E-06
Kat25	0,067669	-0,034917	-6,84E-06
Kat26	0,049162	-0,028403	-5,30E-06
Kat27	0,029495	-0,021270	-3,70E-06
Kat28	0,008802	-0,013571	-2,05E-06
Kat29	-0,012754	-0,005367	-3,77E-07
Kat30	-0,035735	0,003347	1,31E-06
Kat31	-0,059554	0,012529	2,97E-06
Kat32	-0,083899	0,022127	4,58E-06
Kat33	-0,108565	0,032069	6,12E-06
Kat34	-0,133364	0,042290	7,56E-06
Kat35	-0,158132	0,052733	8,89E-06
Kat36	-0,182733	0,063340	1,01E-05
Kat37	-0,207061	0,074066	1,11E-05
Kat38	-0,230842	0,085074	1,20E-05
Kat39	-0,265914	0,101202	1,32E-05
Kat40	-0,289964	0,111042	1,38E-05

Tablo A.6. Yapının birinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (5. Mod).

Yapının 5. Modu İçin			
Katlar	Mux	Muy	Rz
ZeminKat1	0,001307	0,002120	5,13E-07
ZeminKat2	0,003486	0,005400	1,45E-06
ZeminKat3	0,006217	0,009707	2,71E-06
ZeminKat3	0,010208	0,016085	4,35E-06
Asma Kat	0,015230	0,026576	2,91E-06
Kat01	0,019847	0,037704	4,63E-07
Kat02	0,024588	0,049852	-2,38E-06
Kat03	0,029184	0,062472	-5,52E-06
Kat04	0,033520	0,075203	-8,81E-06
Kat05	0,037512	0,087741	-1,21E-05
Kat06	0,041092	0,099820	-1,54E-05
Kat07	0,044212	0,111213	-1,85E-05
Kat08	0,046835	0,121721	-2,15E-05
Kat09	0,048936	0,131182	-2,42E-05
Kat10	0,050695	0,139635	-2,66E-05
Kat11	0,054651	0,149388	-2,87E-05
Kat12	0,055269	0,154965	-3,05E-05
Kat13	0,055259	0,158885	-3,18E-05
Kat14	0,054626	0,161076	-3,26E-05
Kat15	0,053381	0,161487	-3,30E-05
Kat16	0,051541	0,160093	-3,29E-05
Kat17	0,049131	0,156895	-3,23E-05
Kat18	0,046176	0,151920	-3,13E-05
Kat19	0,043447	0,145974	-2,99E-05
Kat20	0,041516	0,139431	-2,80E-05
Kat21	0,036649	0,128405	-2,57E-05
Kat22	0,031290	0,115583	-2,30E-05
Kat23	0,025517	0,101106	-2,00E-05
Kat24	0,019398	0,085108	-1,67E-05
Kat25	0,012997	0,067723	-1,32E-05
Kat26	0,006371	0,049088	-9,43E-06
Kat27	-0,000424	0,029342	-5,56E-06
Kat28	-0,007345	0,008623	-1,57E-06
Kat29	-0,014410	-0,012997	2,51E-06
Kat30	-0,022230	-0,036523	6,47E-06
Kat31	-0,029795	-0,060482	1,03E-05
Kat32	-0,037248	-0,084853	1,41E-05
Kat33	-0,044504	-0,109398	1,76E-05
Kat34	-0,051499	-0,133929	2,09E-05
Kat35	-0,058175	-0,158272	2,40E-05
Kat36	-0,064489	-0,182282	2,67E-05
Kat37	-0,070412	-0,205850	2,91E-05
Kat38	-0,075405	-0,228378	3,12E-05
Kat39	-0,083038	-0,261843	3,39E-05
Kat40	-0,090281	-0,286181	3,52E-05

Tablo A.7. İkinci modelin periyot değerleri ve kütle katılım oranları.

Mod	Periyot	Her Bir Mod İçin (%)			Kümülatif Toplam (%)		
		Ux	Uy	Uz	Ux	Uy	Uz
1	4,215776	30,448	22,352	0,0055	30,4483	22,3517	0,0055
2	3,719716	23,829	30,323	0,0000	54,2775	52,6746	0,0055
3	2,286761	1,5000	1,6352	0,0000	55,7775	54,3098	0,0055
4	1,203200	14,674	3,2024	0,0093	70,4515	57,5122	0,0148
5	1,149608	2,8189	13,807	0,0013	73,2703	71,3190	0,0161
6	0,819310	0,4480	0,5061	0,0000	73,7183	71,8251	0,0161
7	0,572101	4,4894	0,9211	0,0002	78,2077	72,7461	0,0163
8	0,540039	2,0592	5,3584	0,0014	80,2669	78,1045	0,0177
9	0,456241	0,4768	0,6761	0,0000	80,7437	78,7806	0,0177
10	0,363156	1,5047	0,8833	0,0001	82,2484	79,6640	0,0178
11	0,311512	2,5222	2,1428	0,0142	84,7706	81,8067	0,0320
12	0,295670	0,3122	1,2941	0,0008	85,0828	83,1008	0,0327
13	0,255417	0,6972	0,5429	0,0002	85,7800	83,6437	0,0330
14	0,215323	0,0229	0,0104	53,124	85,8029	83,6542	53,1574
15	0,209887	2,0037	0,0078	0,3840	87,8066	83,6620	53,5414
16	0,203975	0,8355	2,4068	0,3488	88,6422	86,0688	53,8901
17	0,196830	0,2415	0,9363	0,0246	88,8837	87,0052	53,9147
18	0,159940	0,0785	0,0504	12,149	88,9621	87,0556	66,0633
19	0,158593	0,0017	0,0041	0,1884	88,9638	87,0597	66,2517
20	0,156430	0,5009	0,0385	0,0000	89,4647	87,0981	66,2517
21	0,153627	1,7880	0,1623	0,2333	91,2527	87,2604	66,4850
22	0,150209	0,0448	2,3256	0,0361	91,2974	89,5860	66,5212
23	0,136295	0,0205	0,0265	0,0002	91,3179	89,6125	66,5214
24	0,130568	0,0889	0,0747	0,0032	91,4068	89,6872	66,5246
25	0,122575	1,1711	0,1229	0,0686	92,5779	89,8101	66,5932
26	0,119146	0,6612	0,6450	1,7511	93,2391	90,4551	68,3443
27	0,117644	0,1824	1,1557	2,2654	93,4214	91,6108	70,6098
28	0,113380	0,0636	0,2693	1,5172	93,4851	91,8802	72,1270
29	0,102732	0,6341	0,5572	0,1344	94,1191	92,4374	72,2614
30	0,096786	1,0612	0,5416	0,0172	95,1803	92,9790	72,2786
31	0,092749	0,2467	1,6135	0,0734	95,4271	94,5925	72,3520
32	0,082991	0,8806	0,3112	0,0449	96,3077	94,9037	72,3969
33	0,079619	0,1054	1,2189	0,0000	96,4130	96,1226	72,3970
34	0,068852	0,6925	0,0000	0,0388	97,1056	96,1226	72,4358
35	0,065514	0,0252	0,9592	0,0000	97,1308	97,0818	72,4358
36	0,057528	0,5558	0,1237	0,0228	97,6866	97,2055	72,4586
37	0,050195	0,2158	0,7130	0,0068	97,9024	97,9185	72,4653
38	0,044572	0,7241	0,2836	0,0144	98,6265	98,2021	72,4797
39	0,035109	0,1738	0,9654	0,0026	98,8003	99,1675	72,4824
40	0,032559	0,7156	0,1727	0,0071	99,5159	99,3403	72,4894
41	0,021809	0,0959	0,5076	0,0033	99,6118	99,8478	72,4928
42	0,020359	0,3559	0,0826	0,0018	99,9677	99,9304	72,4946

Tablo A.9. Yapının ikinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (2. Mod).

Yapının 2. Modu İçin			
Katlar	Mux	Muy	Rz
ZeminKat1	0,000362	0,000285	9,86E-08
ZeminKat2	0,001007	0,000784	2,92E-07
ZeminKat3	0,001899	0,001484	5,69E-07
ZeminKat3	0,003191	0,002583	9,28E-07
Asma Kat	0,005073	0,004475	7,34E-07
Kat01	0,006971	0,006453	3,49E-07
Kat02	0,009106	0,008730	-1,31E-07
Kat03	0,011407	0,011228	-6,88E-07
Kat04	0,013845	0,013912	-1,30E-06
Kat05	0,016399	0,016757	-1,96E-06
Kat06	0,019053	0,019742	-2,66E-06
Kat07	0,021791	0,022849	-3,38E-06
Kat08	0,024602	0,026062	-4,12E-06
Kat09	0,027476	0,029369	-4,89E-06
Kat10	0,030443	0,032790	-5,66E-06
Kat11	0,034090	0,036905	-6,47E-06
Kat12	0,037211	0,040540	-7,28E-06
Kat13	0,040374	0,044239	-8,11E-06
Kat14	0,043571	0,047994	-8,94E-06
Kat15	0,046796	0,051795	-9,76E-06
Kat16	0,050045	0,055637	-1,06E-05
Kat17	0,053313	0,059513	-1,14E-05
Kat18	0,056598	0,063418	-1,22E-05
Kat19	0,060230	0,067681	-1,30E-05
Kat20	0,064661	0,072832	-1,38E-05
Kat21	0,068091	0,076925	-1,45E-05
Kat22	0,071524	0,081031	-1,52E-05
Kat23	0,074951	0,085137	-1,59E-05
Kat24	0,078365	0,089235	-1,66E-05
Kat25	0,081759	0,093318	-1,72E-05
Kat26	0,085130	0,097381	-1,78E-05
Kat27	0,088474	0,101421	-1,84E-05
Kat28	0,091793	0,105435	-1,89E-05
Kat29	0,095480	0,110034	-1,95E-05
Kat30	0,100781	0,116262	-1,99E-05
Kat31	0,104106	0,120299	-2,03E-05
Kat32	0,107398	0,124301	-2,07E-05
Kat33	0,110647	0,128259	-2,11E-05
Kat34	0,113850	0,132168	-2,14E-05
Kat35	0,117003	0,136022	-2,17E-05
Kat36	0,120103	0,139821	-2,19E-05
Kat37	0,123152	0,143564	-2,21E-05
Kat38	0,125756	0,146860	-2,23E-05
Kat39	0,130144	0,152270	-2,26E-05
Kat40	0,133045	0,155854	-2,27E-05

Tablo A.10. Yapının ikinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (3. Mod).

Yapının 3. Modu İçin			
Katlar	Mux	Muy	Rz
ZeminKat1	-0,000578	-0,000445	-3,23E-07
ZeminKat2	-0,001663	-0,001277	-8,64E-07
ZeminKat3	-0,003210	-0,002472	-1,62E-06
ZeminKat3	-0,005385	-0,004092	-2,83E-06
Asma Kat	-0,007764	-0,006253	-5,59E-06
Kat01	-0,008794	-0,007127	-9,18E-06
Kat02	-0,010156	-0,008406	-1,33E-05
Kat03	-0,011536	-0,009757	-1,78E-05
Kat04	-0,012941	-0,011178	-2,26E-05
Kat05	-0,014366	-0,012660	-2,76E-05
Kat06	-0,015803	-0,014188	-3,27E-05
Kat07	-0,017241	-0,015746	-3,79E-05
Kat08	-0,018664	-0,017317	-4,31E-05
Kat09	-0,020061	-0,018884	-4,83E-05
Kat10	-0,021028	-0,020094	-5,34E-05
Kat11	-0,016332	-0,015827	-5,84E-05
Kat12	-0,017013	-0,016761	-6,34E-05
Kat13	-0,017667	-0,017681	-6,82E-05
Kat14	-0,018300	-0,018592	-7,28E-05
Kat15	-0,018918	-0,019496	-7,73E-05
Kat16	-0,019523	-0,020394	-8,17E-05
Kat17	-0,020118	-0,021286	-8,59E-05
Kat18	-0,020701	-0,022168	-9,00E-05
Kat19	-0,018887	-0,020671	-9,39E-05
Kat20	-0,011763	-0,013335	-9,75E-05
Kat21	-0,011996	-0,013854	-0,000101
Kat22	-0,012243	-0,014385	-0,000104
Kat23	-0,012503	-0,014927	-0,000107
Kat24	-0,012776	-0,015480	-0,000110
Kat25	-0,013065	-0,016044	-0,000112
Kat26	-0,013369	-0,016620	-0,000115
Kat27	-0,013692	-0,017210	-0,000117
Kat28	-0,014031	-0,017814	-0,000119
Kat29	-0,011942	-0,014651	-0,000121
Kat30	-1,68E-05	-0,001608	-0,000122
Kat31	-0,000253	-0,002054	-0,000124
Kat32	-0,000521	-0,002526	-0,000125
Kat33	-0,000820	-0,003027	-0,000126
Kat34	-0,001147	-0,003553	-0,000127
Kat35	-0,001504	-0,004105	-0,000128
Kat36	-0,001890	-0,004681	-0,000129
Kat37	-0,002303	-0,005282	-0,000130
Kat38	-0,005063	-0,008220	-0,000130
Kat39	-0,005775	-0,009201	-0,000131
Kat40	-0,006266	-0,009871	-0,000132

Tablo A.11. Yapının ikinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (4. Mod).

Yapının 4. Modu İçin			
Katlar	Mux	Muy	Rz
ZeminKat1	0,001855	-0,000323	1,93E-07
ZeminKat2	0,004872	-0,000746	5,46E-07
ZeminKat3	0,008936	-0,001397	1,03E-06
ZeminKat3	0,014764	-0,002800	1,76E-06
Asma Kat	0,022335	-0,004707	1,64E-06
Kat01	0,030331	-0,007858	1,26E-06
Kat02	0,038975	-0,011458	7,53E-07
Kat03	0,047934	-0,015460	1,36E-07
Kat04	0,056980	-0,019740	-5,54E-07
Kat05	0,065908	-0,024183	-1,29E-06
Kat06	0,074534	-0,028683	-2,06E-06
Kat07	0,082695	-0,033139	-2,83E-06
Kat08	0,090246	-0,037461	-3,60E-06
Kat09	0,097064	-0,041567	-4,34E-06
Kat10	0,103085	-0,045355	-5,04E-06
Kat11	0,108638	-0,048210	-5,71E-06
Kat12	0,112561	-0,051096	-6,30E-06
Kat13	0,115309	-0,053466	-6,81E-06
Kat14	0,116833	-0,055274	-7,24E-06
Kat15	0,117094	-0,056482	-7,58E-06
Kat16	0,116075	-0,057060	-7,82E-06
Kat17	0,113772	-0,056992	-7,96E-06
Kat18	0,110209	-0,056278	-8,00E-06
Kat19	0,105624	-0,054736	-7,94E-06
Kat20	0,099876	-0,051919	-7,80E-06
Kat21	0,092096	-0,049042	-7,56E-06
Kat22	0,083020	-0,045470	-7,22E-06
Kat23	0,072732	-0,041226	-6,82E-06
Kat24	0,061319	-0,036337	-6,34E-06
Kat25	0,048867	-0,030834	-5,81E-06
Kat26	0,035466	-0,024755	-5,23E-06
Kat27	0,021208	-0,018138	-4,60E-06
Kat28	0,006192	-0,011034	-3,95E-06
Kat29	-0,009402	-0,003405	-3,28E-06
Kat30	-0,025724	0,004986	-2,59E-06
Kat31	-0,042967	0,013427	-1,89E-06
Kat32	-0,060614	0,022203	-1,20E-06
Kat33	-0,078519	0,031250	-5,52E-07
Kat34	-0,096554	0,040508	5,81E-08
Kat35	-0,114602	0,049920	6,14E-07
Kat36	-0,132568	0,059437	1,11E-06
Kat37	-0,150377	0,069017	1,54E-06
Kat38	-0,167948	0,078654	1,90E-06
Kat39	-0,193748	0,092930	2,35E-06
Kat40	-0,210745	0,102492	2,54E-06

Tablo A.12. Yapının ikinci modeli için kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (5. Mod).

Yapının 5. Modu İçin			
Katlar	Mux	Muy	Rz
ZeminKat1	0,001186	0,001529	4,18E-07
ZeminKat2	0,003174	0,003975	1,18E-06
ZeminKat3	0,005754	0,007243	2,21E-06
ZeminKat3	0,009188	0,012219	3,40E-06
Asma Kat	0,014150	0,020259	2,48E-06
Kat01	0,018504	0,028485	8,81E-07
Kat02	0,023009	0,037431	-9,83E-07
Kat03	0,027420	0,046686	-3,06E-06
Kat04	0,031626	0,055988	-5,24E-06
Kat05	0,035537	0,065115	-7,48E-06
Kat06	0,039081	0,073871	-9,70E-06
Kat07	0,042203	0,082087	-1,19E-05
Kat08	0,044855	0,089617	-1,39E-05
Kat09	0,047006	0,096338	-1,59E-05
Kat10	0,048761	0,102264	-1,77E-05
Kat11	0,051794	0,108915	-1,93E-05
Kat12	0,052426	0,112656	-2,07E-05
Kat13	0,052460	0,115171	-2,18E-05
Kat14	0,051904	0,116421	-2,26E-05
Kat15	0,050769	0,116380	-2,31E-05
Kat16	0,049072	0,115034	-2,34E-05
Kat17	0,046833	0,112391	-2,33E-05
Kat18	0,044076	0,108473	-2,29E-05
Kat19	0,041386	0,103881	-2,23E-05
Kat20	0,039205	0,098971	-2,13E-05
Kat21	0,034728	0,090793	-2,01E-05
Kat22	0,029782	0,081341	-1,86E-05
Kat23	0,024434	0,070720	-1,69E-05
Kat24	0,018740	0,059025	-1,50E-05
Kat25	0,012755	0,046357	-1,30E-05
Kat26	0,006531	0,032813	-1,08E-05
Kat27	0,000114	0,018494	-8,46E-06
Kat28	-0,006453	0,003500	-6,05E-06
Kat29	-0,013067	-0,011951	-3,56E-06
Kat30	-0,019815	-0,028229	-1,14E-06
Kat31	-0,026960	-0,045377	1,22E-06
Kat32	-0,034055	-0,062799	3,51E-06
Kat33	-0,041027	-0,080338	5,68E-06
Kat34	-0,047817	-0,097857	7,70E-06
Kat35	-0,054373	-0,115234	9,56E-06
Kat36	-0,060659	-0,132370	1,12E-05
Kat37	-0,066647	-0,149188	1,27E-05
Kat38	-0,072098	-0,165413	1,39E-05
Kat39	-0,080101	-0,189302	1,55E-05
Kat40	-0,085112	-0,204845	1,62E-05

Tablo A.13. Kule kısmın periyot değerleri ve kütle katılım oranları.

Mod	Periyot	Her Bir Mod İçin (%)			Kümülatif Toplam (%)		
		U _x	U _y	U _z	U _x	U _y	U _z
1	3,750884	30,155	28,545	0,0064	30,1554	28,5451	0,0064
2	3,330220	28,014	29,405	0,0000	58,1694	57,9497	0,0064
3	2,074348	2,0002	2,1874	0,0000	60,1696	60,1371	0,0064
4	1,071899	12,441	6,9836	0,0117	72,6108	67,1207	0,0181
5	1,047039	6,1706	11,571	0,0003	78,7814	78,6911	0,0184
6	0,749636	0,7423	0,8015	0,0000	79,5237	79,4926	0,0184
7	0,528105	2,9208	2,1263	0,0000	82,4445	81,6189	0,0184
8	0,481426	3,6032	4,3719	0,0016	86,0477	85,9908	0,0200
9	0,406844	0,5916	0,6450	0,0000	86,6392	86,6358	0,0200
10	0,341117	1,3726	1,1359	0,0000	88,0119	87,7717	0,0200
11	0,275203	2,0284	2,1714	0,0182	90,0402	89,9431	0,0382
12	0,261520	0,2581	0,3941	0,0000	90,2984	90,3372	0,0382
13	0,240764	1,0315	0,8926	0,0000	91,3298	91,2297	0,0382
14	0,198357	0,0045	0,0061	53,269	91,3343	91,2358	53,3073
15	0,192380	0,0375	0,0444	0,0234	91,3718	91,2802	53,3308
16	0,179664	1,2037	1,1640	0,4597	92,5756	92,4442	53,7905
17	0,168613	0,8156	0,8915	0,0005	93,3912	93,3357	53,7909
18	0,152554	0,0447	0,0408	0,0007	93,4358	93,3766	53,7916
19	0,149274	0,0048	0,0129	14,206	93,4406	93,3895	67,9974
20	0,146477	0,0275	0,0186	0,3891	93,4682	93,4081	68,3865
21	0,132269	0,8748	0,6864	0,0000	94,3429	94,0944	68,3865
22	0,129009	0,4811	0,6090	0,0037	94,8241	94,7034	68,3902
23	0,127577	0,0399	0,1106	0,0564	94,8640	94,8140	68,4467
24	0,123892	0,0083	0,0248	0,0033	94,8723	94,8388	68,4500
25	0,108906	0,0005	0,0009	6,7621	94,8728	94,8398	75,2121
26	0,107404	0,0922	0,0870	0,0003	94,9649	94,9267	75,2123
27	0,101558	0,7590	0,3737	0,0015	95,7240	95,3005	75,2139
28	0,100219	0,1200	0,5209	0,0009	95,8439	95,8213	75,2147
29	0,090437	0,2203	0,2091	0,0005	96,0642	96,0304	75,2152
30	0,081681	0,4703	0,3307	0,0187	96,5345	96,3611	75,2339
31	0,078070	0,1351	0,4001	0,0332	96,6696	96,7612	75,2671
32	0,074295	0,1609	0,0004	0,3090	96,8305	96,7617	75,5760
33	0,065819	0,3031	0,4185	0,0122	97,1336	97,1802	75,5882
34	0,062230	0,4455	0,3168	0,0074	97,5791	97,4970	75,5956
35	0,054180	0,2822	0,4069	0,0049	97,8613	97,9039	75,6005
36	0,047334	0,4403	0,2824	0,0039	98,3016	98,1863	75,6044
37	0,041777	0,2957	0,4503	0,0002	98,5973	98,6366	75,6046
38	0,032925	0,4793	0,2902	0,0025	99,0766	98,9268	75,6071
39	0,029487	0,2766	0,4514	0,0012	99,3532	99,3783	75,6083
40	0,019426	0,4117	0,2430	0,0016	99,7650	99,6212	75,6099
41	0,017959	0,2134	0,3587	0,0002	99,9784	99,9799	75,6101

Tablo A.14. Yapının kule kısmının kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (1. Mod).

Yapının 1. Modu İçin			
Katlar	Mux	Muy	Rz
Asma Kat	0,000346	-0,000331	-3,55E-09
Kat01	0,001171	-0,001120	-1,25E-08
Kat02	0,002409	-0,002311	-2,49E-08
Kat03	0,004018	-0,003863	-3,99E-08
Kat04	0,005962	-0,005743	-5,68E-08
Kat05	0,008209	-0,007919	-7,51E-08
Kat06	0,010731	-0,010365	-9,42E-08
Kat07	0,013502	-0,013058	-1,14E-07
Kat08	0,016501	-0,015974	-1,34E-07
Kat09	0,019706	-0,019093	-1,54E-07
Kat10	0,023097	-0,022394	-1,75E-07
Kat11	0,026721	-0,025886	-1,95E-07
Kat12	0,030502	-0,029567	-2,15E-07
Kat13	0,034436	-0,033399	-2,34E-07
Kat14	0,038505	-0,037363	-2,52E-07
Kat15	0,042692	-0,041444	-2,70E-07
Kat16	0,046981	-0,045626	-2,86E-07
Kat17	0,051358	-0,049896	-3,02E-07
Kat18	0,055809	-0,054240	-3,16E-07
Kat19	0,060330	-0,058637	-3,29E-07
Kat20	0,064948	-0,063092	-3,38E-07
Kat21	0,069594	-0,067629	-3,45E-07
Kat22	0,074278	-0,072206	-3,49E-07
Kat23	0,078991	-0,076811	-3,52E-07
Kat24	0,083721	-0,081435	-3,53E-07
Kat25	0,088460	-0,086071	-3,53E-07
Kat26	0,093202	-0,090710	-3,51E-07
Kat27	0,097941	-0,095348	-3,47E-07
Kat28	0,102674	-0,099982	-3,43E-07
Kat29	0,107403	-0,104596	-3,38E-07
Kat30	0,112180	-0,109202	-3,34E-07
Kat31	0,116917	-0,113840	-3,29E-07
Kat32	0,121635	-0,118461	-3,23E-07
Kat33	0,126326	-0,123057	-3,17E-07
Kat34	0,130985	-0,127622	-3,10E-07
Kat35	0,135608	-0,132154	-3,02E-07
Kat36	0,140193	-0,136649	-2,93E-07
Kat37	0,144740	-0,141110	-2,82E-07
Kat38	0,149246	-0,145542	-2,72E-07
Kat39	0,155902	-0,152076	-2,56E-07
Kat40	0,160339	-0,156433	-2,43E-07

Tablo A.15. Yapının kule kısmının kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (2. Mod).

Yapının 2. Modu İçin			
Katlar	Mux	Muy	Rz
Asma Kat	0,000483	0,000484	-3,25E-07
Kat01	0,001585	0,001591	-9,50E-07
Kat02	0,003080	0,003094	-1,73E-06
Kat03	0,004916	0,004943	-2,63E-06
Kat04	0,007033	0,007081	-3,61E-06
Kat05	0,009388	0,009463	-4,65E-06
Kat06	0,011945	0,012055	-5,73E-06
Kat07	0,014676	0,014829	-6,85E-06
Kat08	0,017559	0,017761	-7,98E-06
Kat09	0,020574	0,020832	-9,13E-06
Kat10	0,023774	0,024085	-1,03E-05
Kat11	0,028197	0,028534	-1,15E-05
Kat12	0,031677	0,032084	-1,27E-05
Kat13	0,035245	0,035727	-1,39E-05
Kat14	0,038889	0,039451	-1,51E-05
Kat15	0,042596	0,043244	-1,63E-05
Kat16	0,046358	0,047097	-1,74E-05
Kat17	0,050166	0,051001	-1,86E-05
Kat18	0,054014	0,054951	-1,98E-05
Kat19	0,058430	0,059471	-2,09E-05
Kat20	0,064118	0,065388	-2,20E-05
Kat21	0,068207	0,069601	-2,30E-05
Kat22	0,072312	0,073835	-2,40E-05
Kat23	0,076419	0,078076	-2,50E-05
Kat24	0,080518	0,082313	-2,59E-05
Kat25	0,084600	0,086536	-2,68E-05
Kat26	0,088658	0,090739	-2,76E-05
Kat27	0,092688	0,094917	-2,84E-05
Kat28	0,096688	0,099066	-2,91E-05
Kat29	0,101262	0,104123	-2,98E-05
Kat30	0,108307	0,111666	-3,05E-05
Kat31	0,112327	0,115856	-3,11E-05
Kat32	0,116303	0,120003	-3,16E-05
Kat33	0,120224	0,124097	-3,21E-05
Kat34	0,124085	0,128131	-3,25E-05
Kat35	0,127879	0,132099	-3,29E-05
Kat36	0,131604	0,135998	-3,32E-05
Kat37	0,135260	0,139828	-3,35E-05
Kat38	0,138250	0,142995	-3,38E-05
Kat39	0,143491	0,148497	-3,41E-05
Kat40	0,146948	0,152128	-3,43E-05

Tablo A.16. Yapının kule kısmının kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (3.Mod).

Yapının 3. Modu İçin			
Katlar	Mux	Muy	Rz
Asma Kat	-0,000124	-0,000140	-1,11E-06
Kat01	-0,000365	-0,000422	-3,48E-06
Kat02	-0,000975	-0,001098	-6,73E-06
Kat03	-0,001860	-0,002068	-1,07E-05
Kat04	-0,002991	-0,003298	-1,52E-05
Kat05	-0,004337	-0,004754	-2,01E-05
Kat06	-0,005866	-0,006401	-2,53E-05
Kat07	-0,007547	-0,008204	-3,07E-05
Kat08	-0,009348	-0,010129	-3,62E-05
Kat09	-0,011238	-0,012144	-4,18E-05
Kat10	-0,012842	-0,013916	-4,74E-05
Kat11	-0,009388	-0,010779	-5,30E-05
Kat12	-0,010788	-0,012318	-5,85E-05
Kat13	-0,012237	-0,013899	-6,38E-05
Kat14	-0,013735	-0,015520	-6,91E-05
Kat15	-0,015282	-0,017180	-7,42E-05
Kat16	-0,016874	-0,018873	-7,92E-05
Kat17	-0,018508	-0,020596	-8,40E-05
Kat18	-0,020178	-0,022342	-8,86E-05
Kat19	-0,019515	-0,021757	-9,31E-05
Kat20	-0,013582	-0,015360	-9,72E-05
Kat21	-0,014993	-0,016783	-0,000101
Kat22	-0,016457	-0,018245	-0,000105
Kat23	-0,017965	-0,019737	-0,000108
Kat24	-0,019511	-0,021255	-0,000111
Kat25	-0,021092	-0,022795	-0,000114
Kat26	-0,022706	-0,024357	-0,000117
Kat27	-0,024351	-0,025938	-0,000119
Kat28	-0,026022	-0,027537	-0,000122
Kat29	-0,025205	-0,025269	-0,000124
Kat30	-0,014284	-0,012837	-0,000126
Kat31	-0,015863	-0,014264	-0,000127
Kat32	-0,017475	-0,015717	-0,000129
Kat33	-0,019112	-0,017192	-0,000130
Kat34	-0,020770	-0,018683	-0,000131
Kat35	-0,022444	-0,020189	-0,000133
Kat36	-0,024130	-0,021705	-0,000133
Kat37	-0,025827	-0,023231	-0,000134
Kat38	-0,029937	-0,027162	-0,000135
Kat39	-0,032511	-0,029481	-0,000136
Kat40	-0,034230	-0,031030	-0,000136

Tablo A.17. Yapının kule kısmının kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (4. Mod).

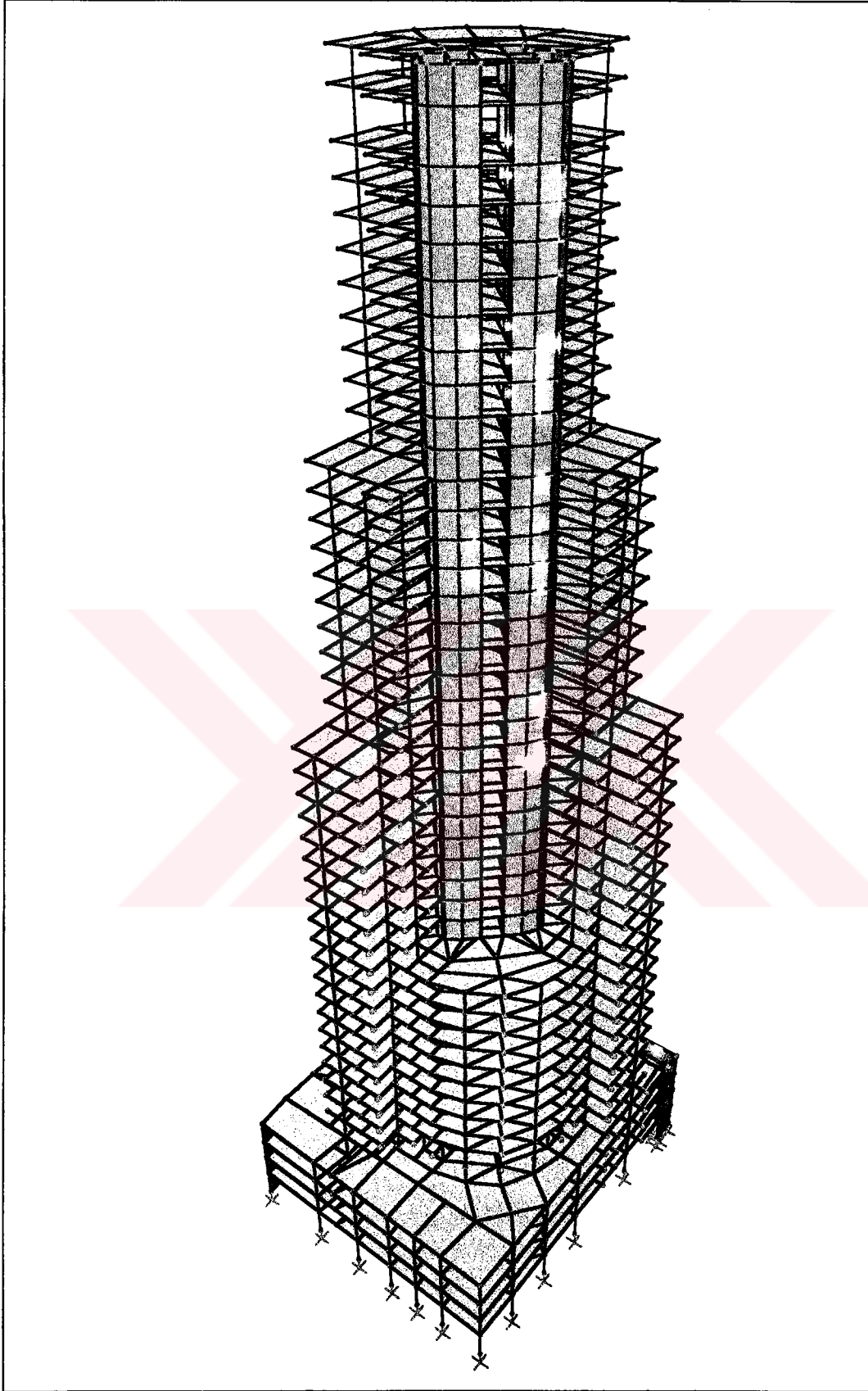
Yapının 4. Modu İçin			
Katlar	Mux	Muy	Rz
Asma Kat	0,001989	-0,001337	-1,71E-07
Kat01	0,006210	-0,004169	-4,89E-07
Kat02	0,012057	-0,008221	-8,63E-07
Kat03	0,019159	-0,013237	-1,27E-06
Kat04	0,027180	-0,018990	-1,68E-06
Kat05	0,035823	-0,025274	-2,08E-06
Kat06	0,044818	-0,031897	-2,46E-06
Kat07	0,053921	-0,038676	-2,80E-06
Kat08	0,062910	-0,045445	-3,10E-06
Kat09	0,071589	-0,052053	-3,35E-06
Kat10	0,079806	-0,058342	-3,55E-06
Kat11	0,087692	-0,063840	-3,70E-06
Kat12	0,094343	-0,069092	-3,78E-06
Kat13	0,099996	-0,073641	-3,80E-06
Kat14	0,104536	-0,077389	-3,74E-06
Kat15	0,107870	-0,080253	-3,61E-06
Kat16	0,109929	-0,082168	-3,41E-06
Kat17	0,110667	-0,083087	-3,15E-06
Kat18	0,110070	-0,082991	-2,82E-06
Kat19	0,108209	-0,081827	-2,42E-06
Kat20	0,104696	-0,079253	-1,96E-06
Kat21	0,099404	-0,075684	-1,42E-06
Kat22	0,092616	-0,070967	-8,34E-07
Kat23	0,084399	-0,065134	-2,05E-07
Kat24	0,074823	-0,058229	4,55E-07
Kat25	0,063971	-0,050304	1,14E-06
Kat26	0,051932	-0,041418	1,83E-06
Kat27	0,038802	-0,031638	2,53E-06
Kat28	0,024692	-0,021045	3,22E-06
Kat29	0,009660	-0,009869	3,90E-06
Kat30	-0,006924	0,001870	4,59E-06
Kat31	-0,023902	0,014723	5,28E-06
Kat32	-0,041453	0,028108	5,93E-06
Kat33	-0,059413	0,041907	6,55E-06
Kat34	-0,077629	0,056007	7,12E-06
Kat35	-0,095962	0,070307	7,64E-06
Kat36	-0,114294	0,084714	8,10E-06
Kat37	-0,132527	0,099155	8,49E-06
Kat38	-0,150438	0,113721	8,83E-06
Kat39	-0,176959	0,135034	9,24E-06
Kat40	-0,194450	0,149205	9,43E-06

Tablo A.18. Yapının kule kısmının kütle ötelenmeleri ve dönmeleri (5. Mod).

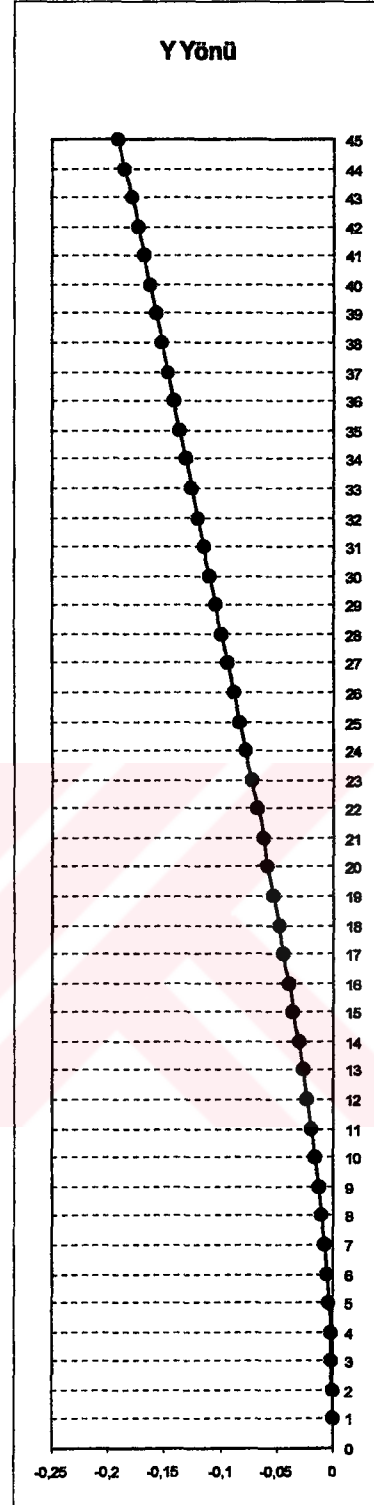
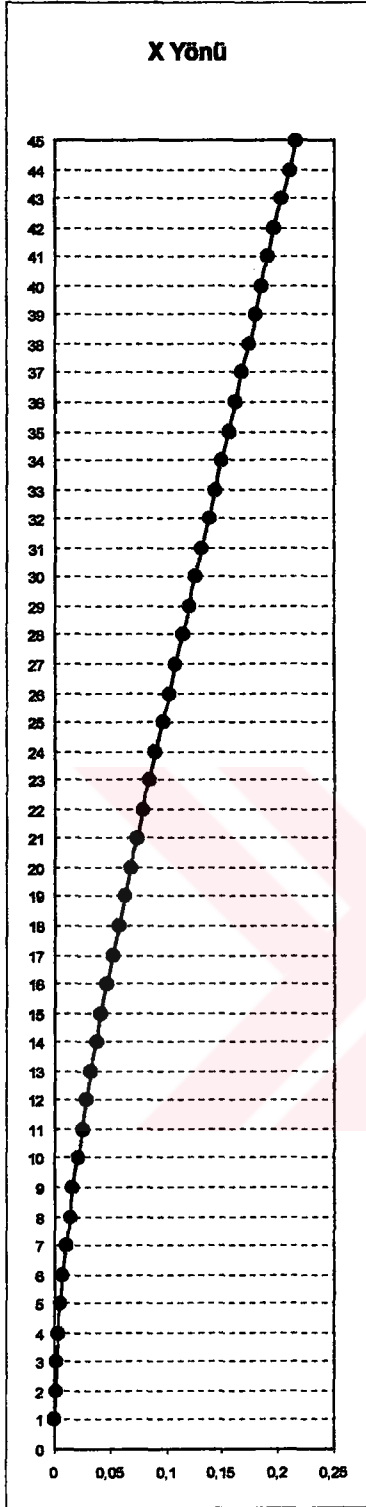
Yapının 5. Modu İçin			
Katlar	Mux	Muy	Rz
Asma Kat	0,001943	0,002418	-1,35E-06
Kat01	0,006070	0,007545	-3,79E-06
Kat02	0,011294	0,014175	-6,63E-06
Kat03	0,017309	0,021923	-9,71E-06
Kat04	0,023790	0,030388	-1,28E-05
Kat05	0,030478	0,039241	-1,59E-05
Kat06	0,037158	0,048202	-1,88E-05
Kat07	0,043650	0,057031	-2,15E-05
Kat08	0,049803	0,065518	-2,39E-05
Kat09	0,055487	0,073483	-2,60E-05
Kat10	0,060796	0,080946	-2,78E-05
Kat11	0,068179	0,090254	-2,91E-05
Kat12	0,071920	0,095818	-3,01E-05
Kat13	0,074790	0,100274	-3,06E-05
Kat14	0,076751	0,103551	-3,06E-05
Kat15	0,077778	0,105594	-3,01E-05
Kat16	0,077859	0,106368	-2,91E-05
Kat17	0,076996	0,105859	-2,77E-05
Kat18	0,075206	0,104075	-2,58E-05
Kat19	0,073105	0,101630	-2,35E-05
Kat20	0,070868	0,098722	-2,07E-05
Kat21	0,065736	0,092387	-1,75E-05
Kat22	0,059668	0,084720	-1,39E-05
Kat23	0,052754	0,075824	-9,99E-06
Kat24	0,045076	0,065793	-5,86E-06
Kat25	0,036718	0,054729	-1,54E-06
Kat26	0,027762	0,042734	2,92E-06
Kat27	0,018292	0,029915	7,48E-06
Kat28	0,008385	0,016378	1,21E-05
Kat29	-0,002223	0,001711	1,68E-05
Kat30	-0,015131	-0,015708	2,12E-05
Kat31	-0,026581	-0,031726	2,55E-05
Kat32	-0,038103	-0,048003	2,97E-05
Kat33	-0,049566	-0,064366	3,35E-05
Kat34	-0,060861	-0,080664	3,71E-05
Kat35	-0,071889	-0,096763	4,04E-05
Kat36	-0,082575	-0,112554	4,34E-05
Kat37	-0,092860	-0,127951	4,59E-05
Kat38	-0,101881	-0,142072	4,81E-05
Kat39	-0,115869	-0,163592	5,09E-05
Kat40	-0,124730	-0,177448	5,23E-05

Ek B

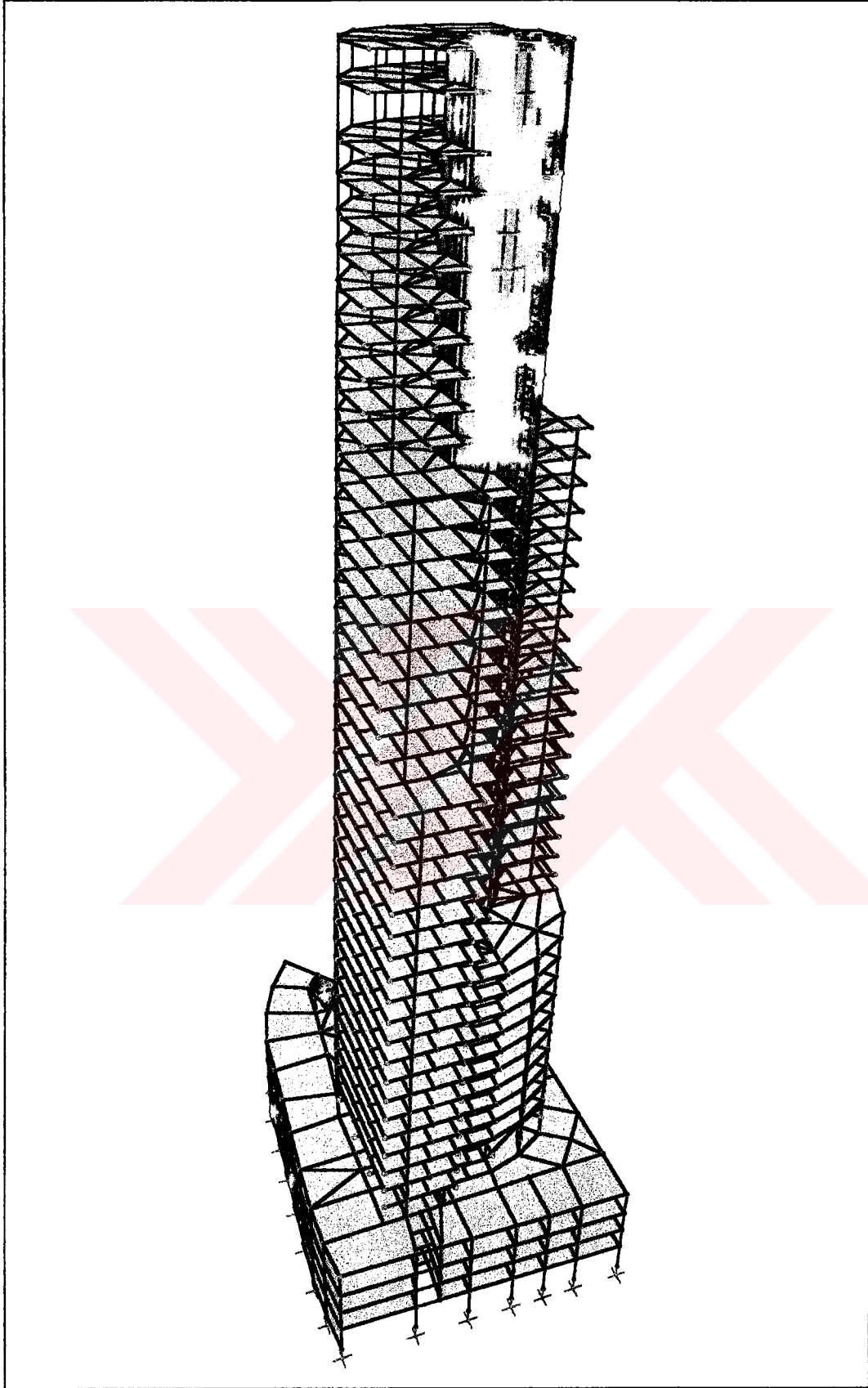




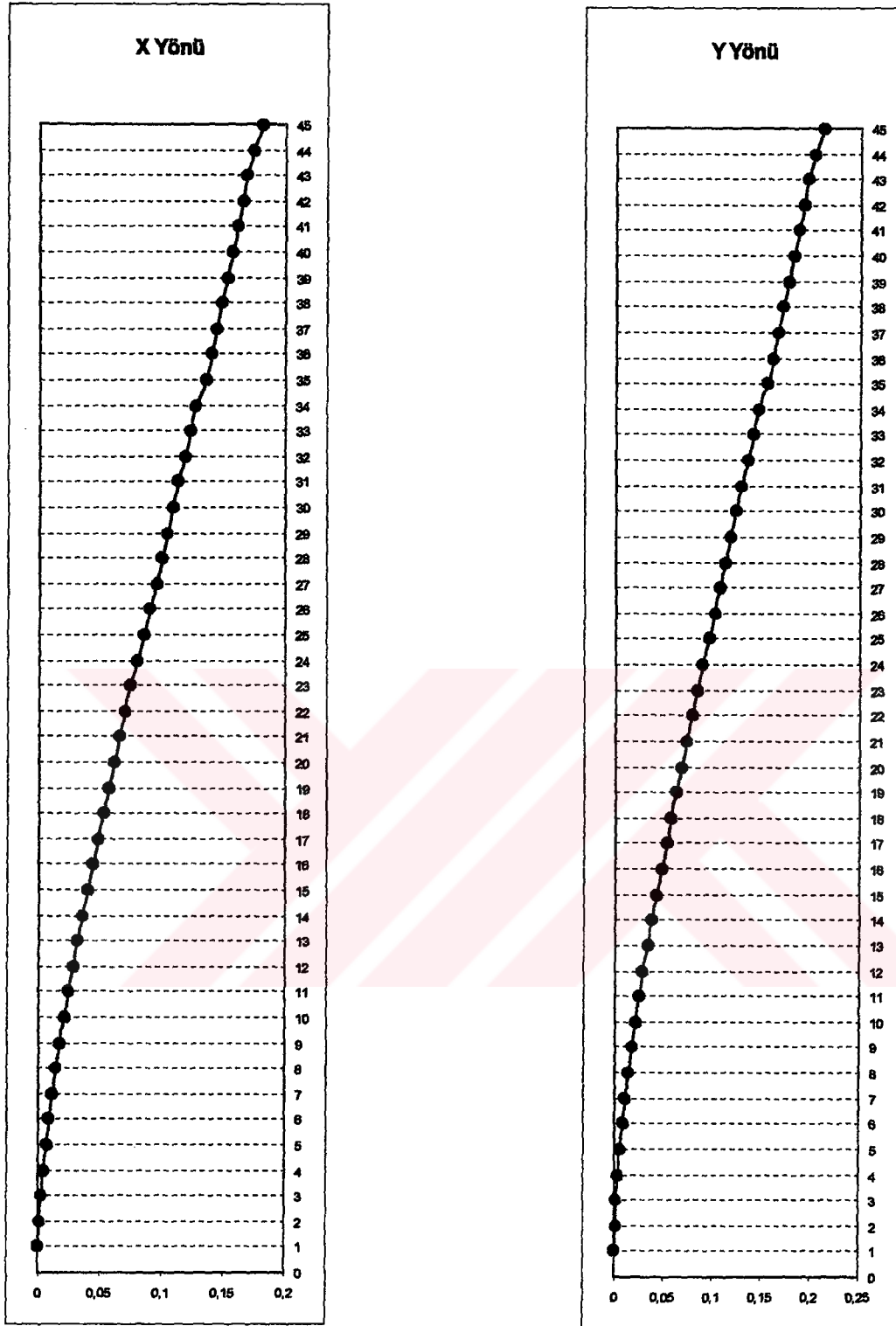
Şekil B.1-Birinci modelin perspektif açıdan görünüşü



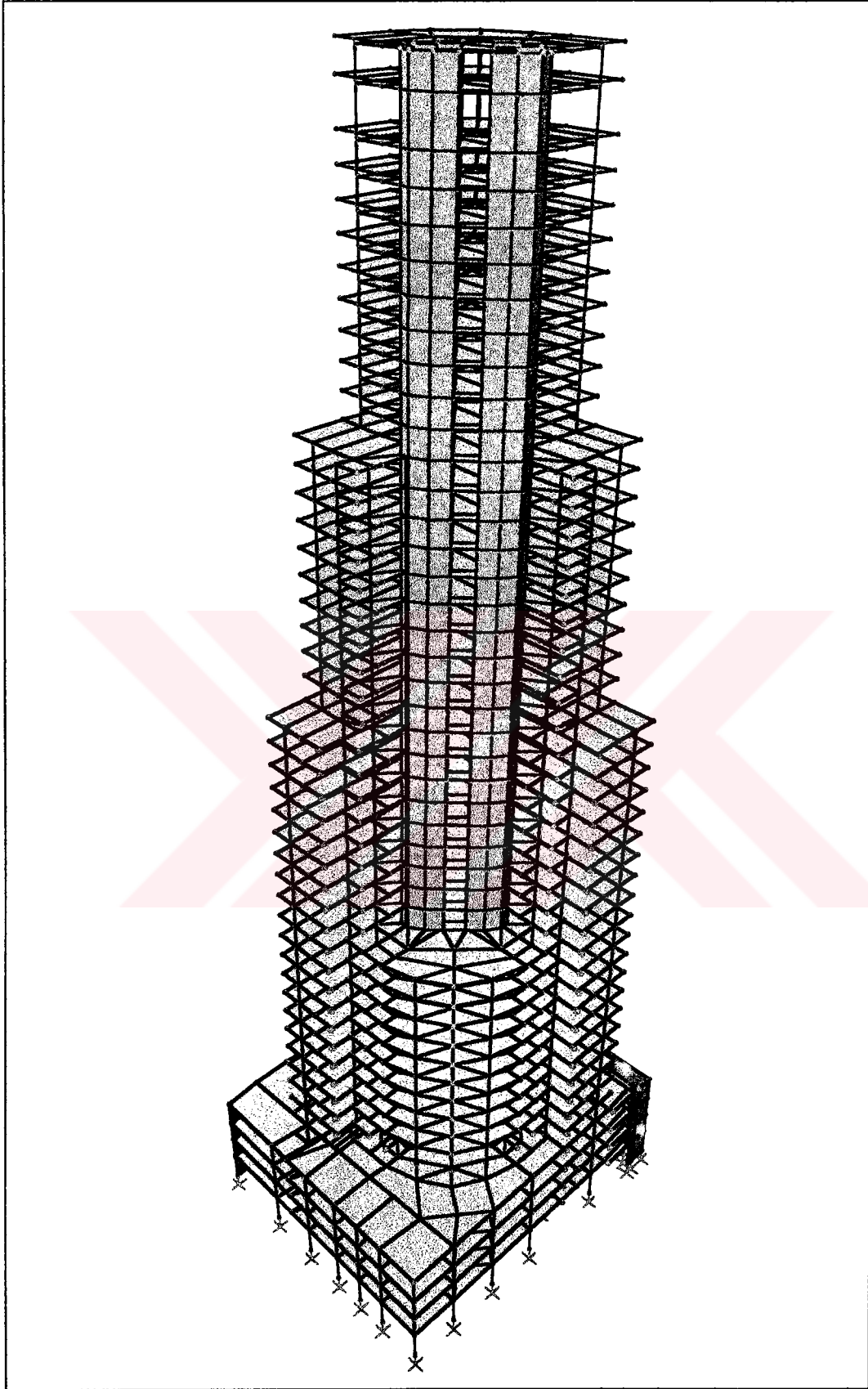
Şekil B.2-Birinci modelin birinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



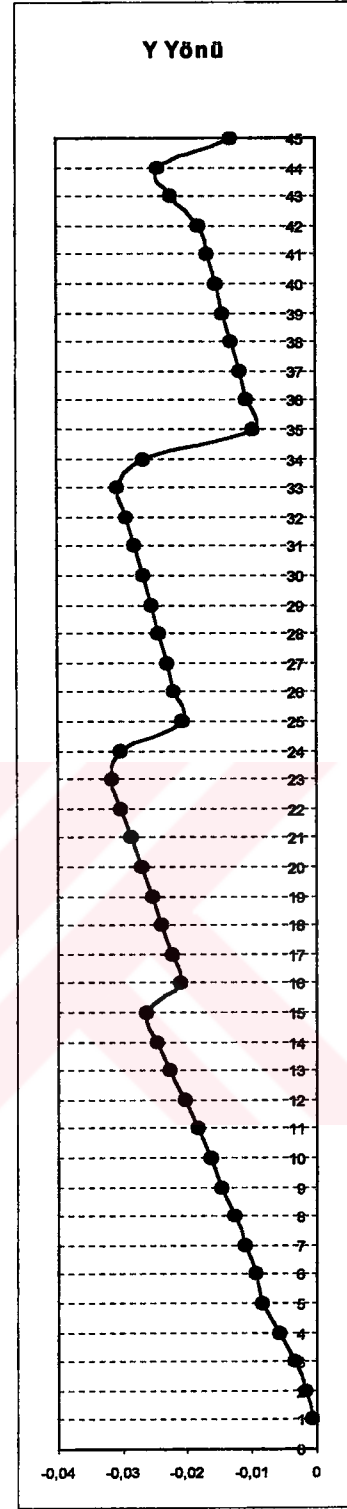
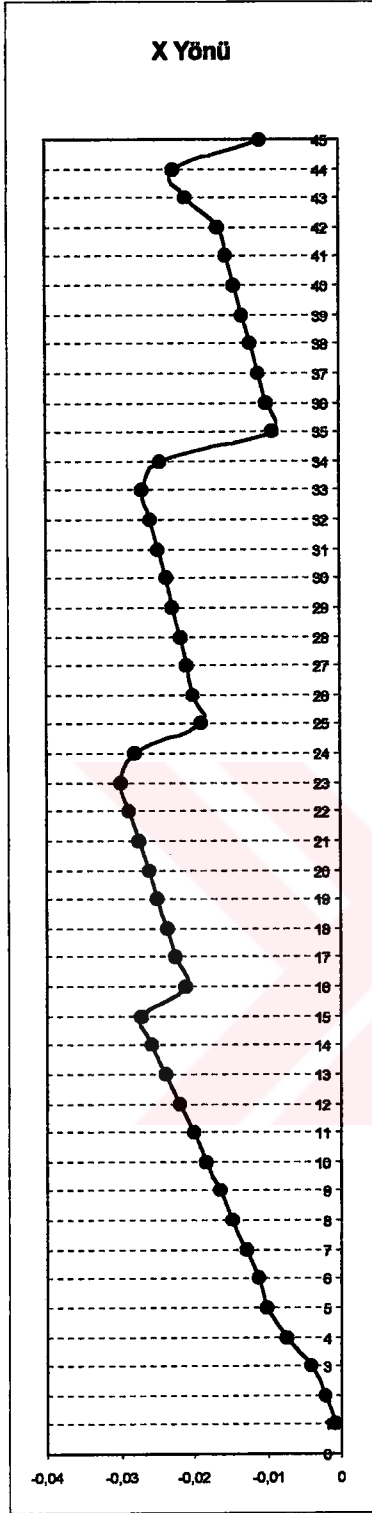
Şekil B.3-Birinci modelin birinci modunun SAP2000 programındaki görünüşü



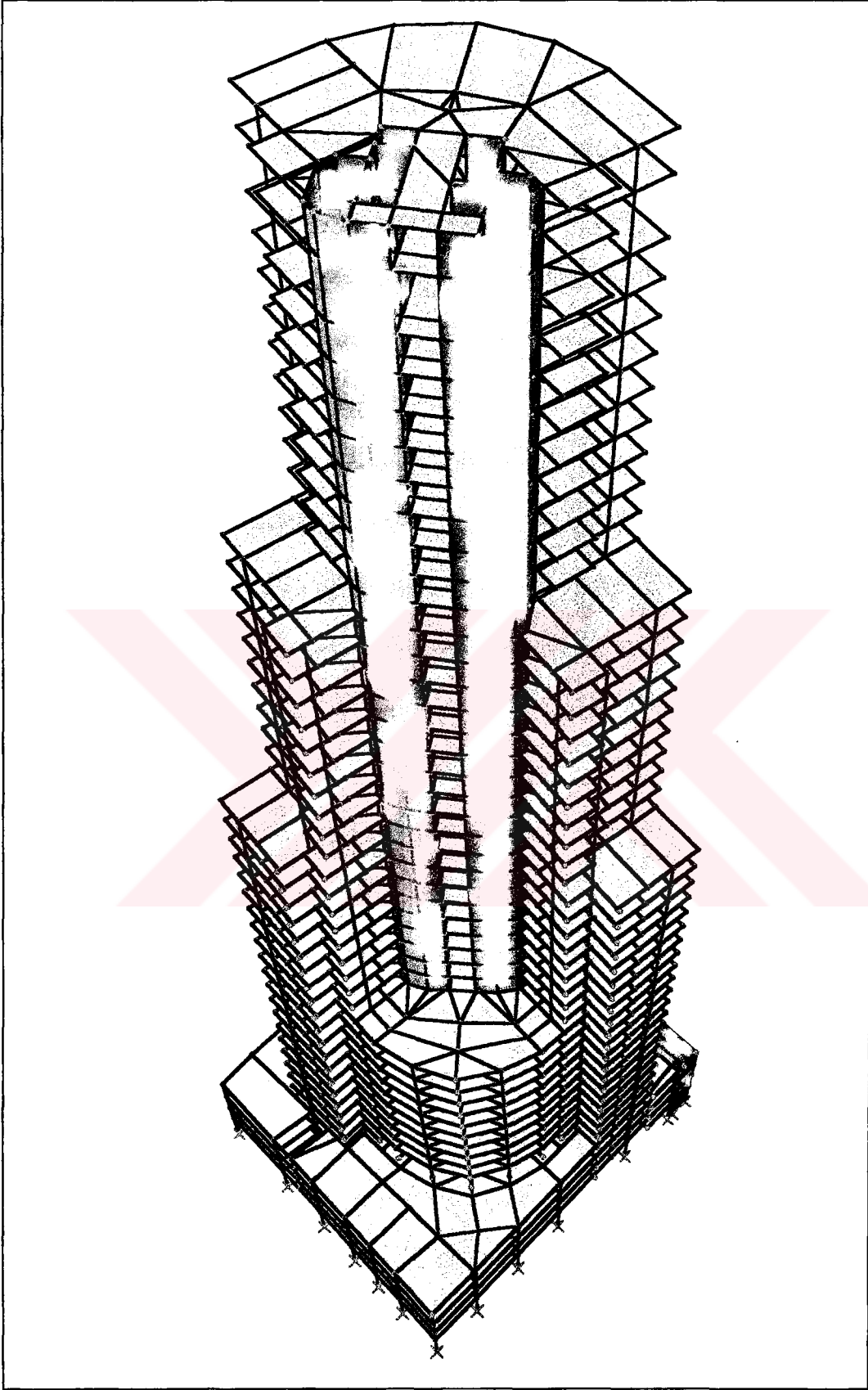
Şekil B.4-Birinci modelin ikinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



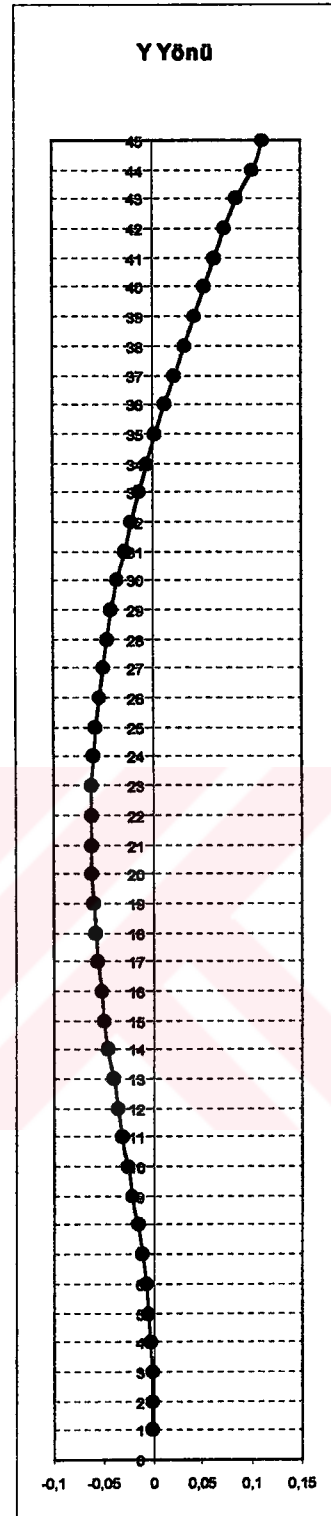
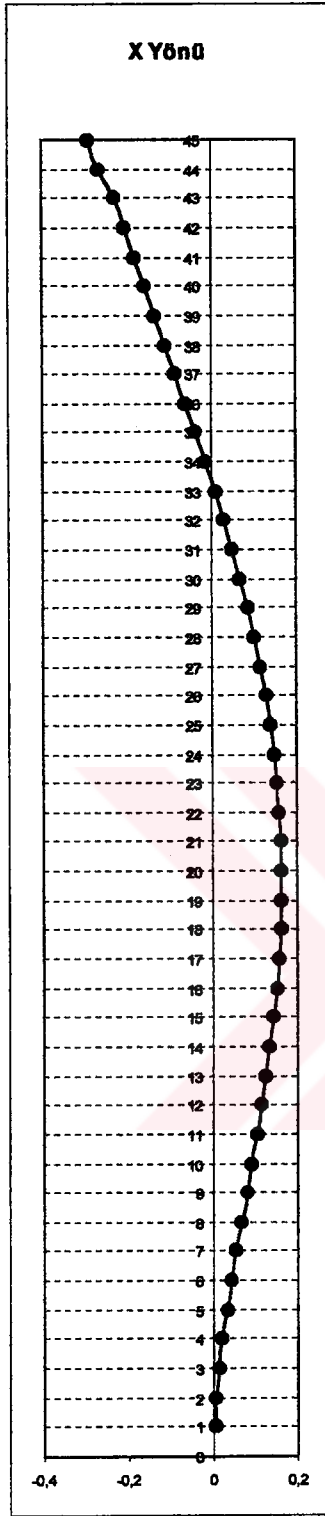
Şekil B.5-Birinci modelin ikinci modunun SAP2000 programındaki görünüşü



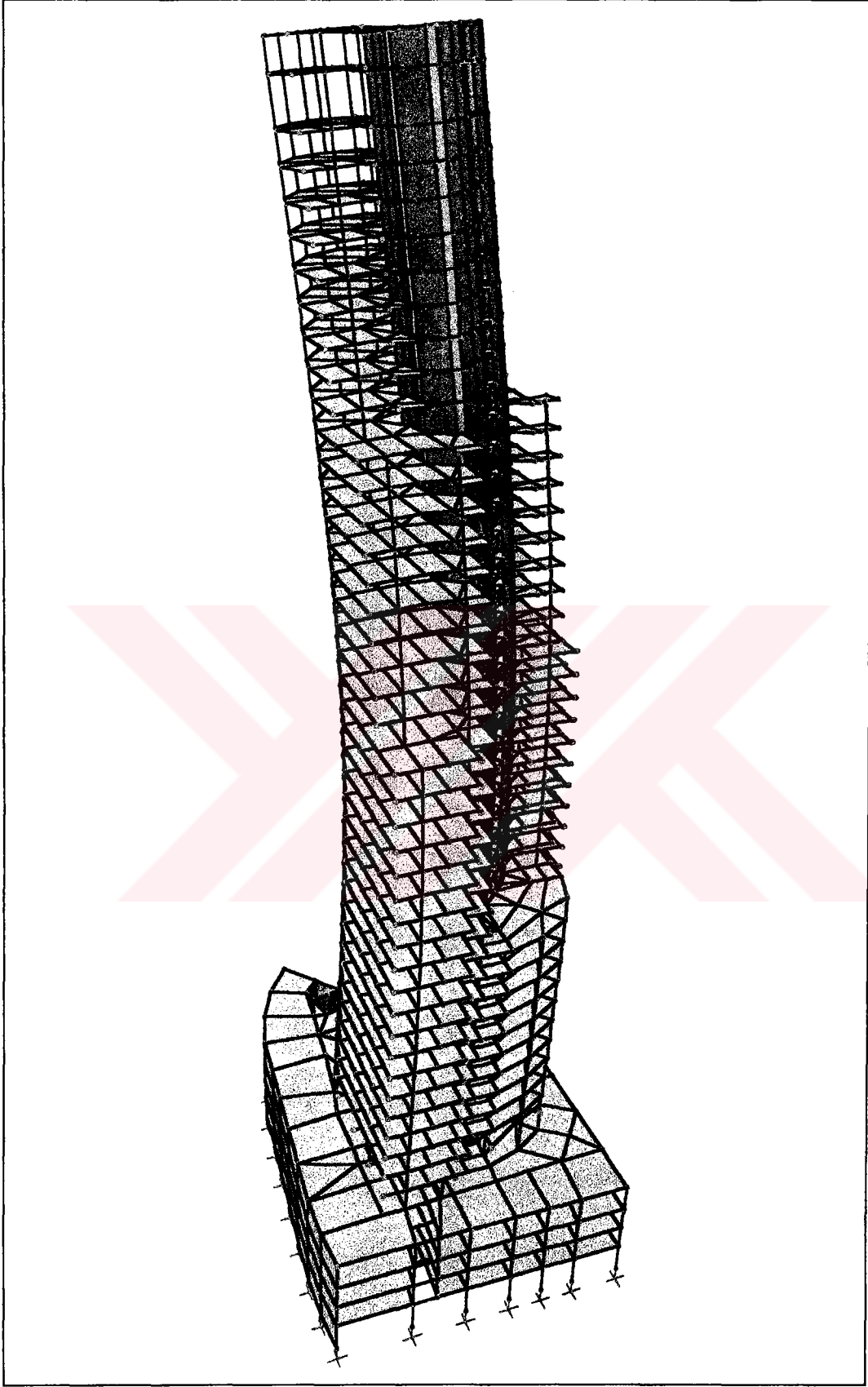
Şekil B.6-Birinci modelin üçüncü mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



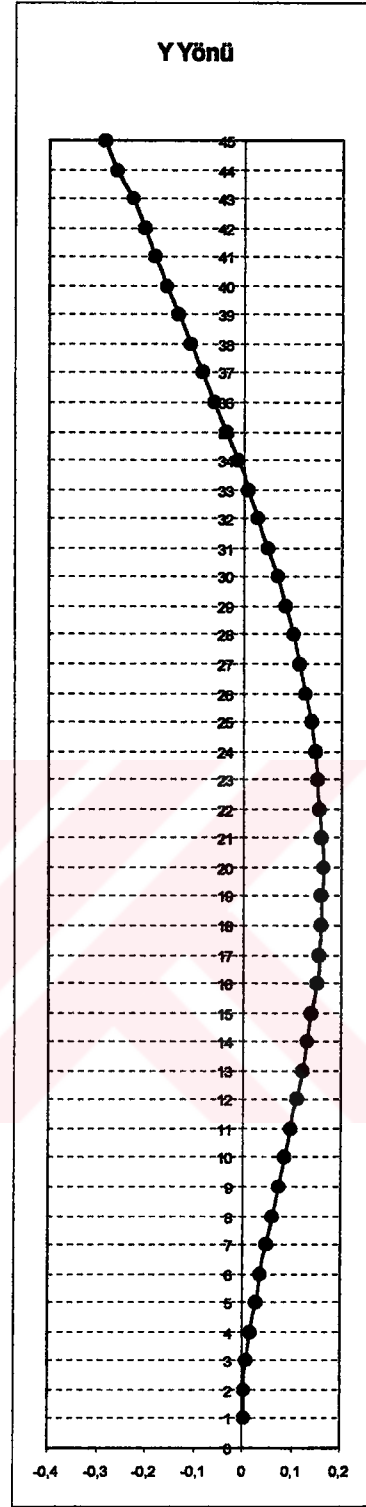
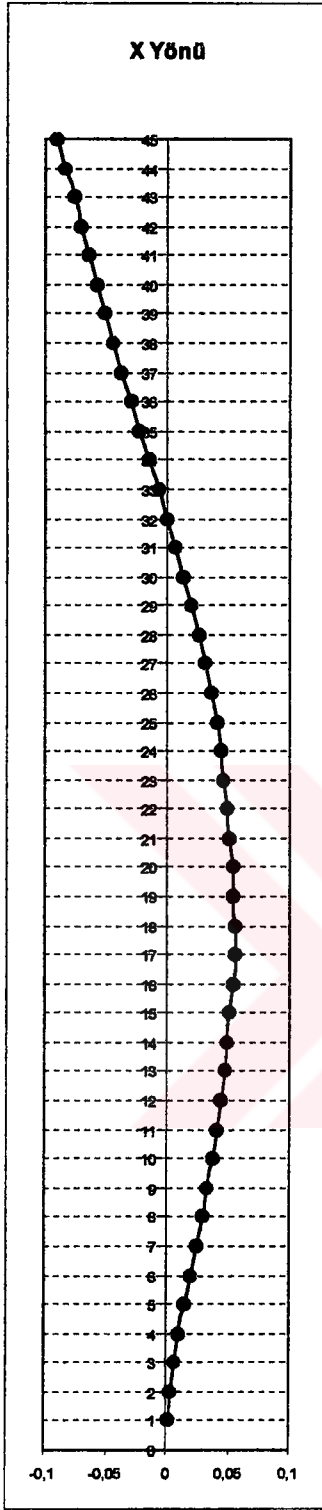
Şekil B.7-Birinci modelin üçüncü modunun SAP2000 programındaki görünüşü



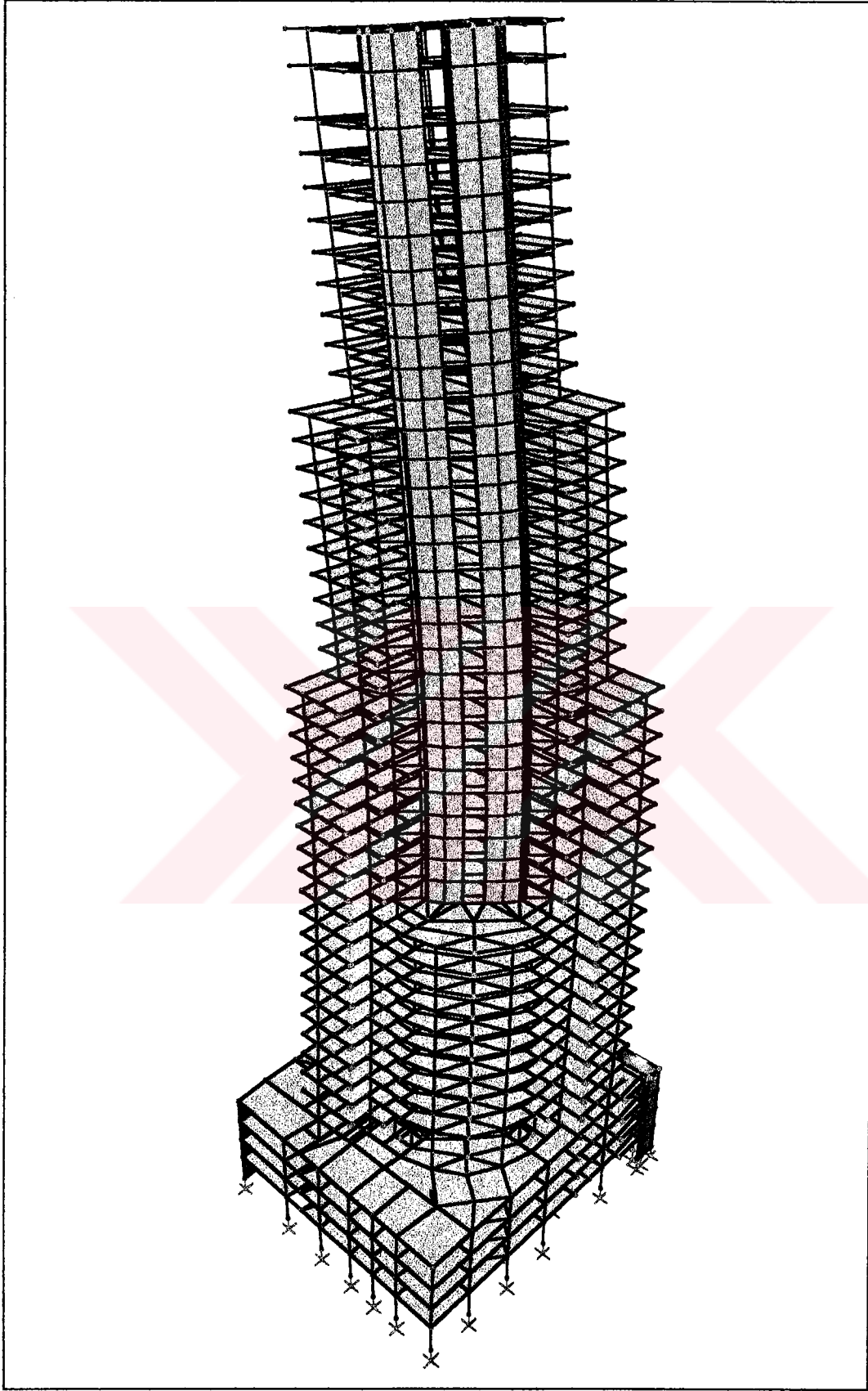
Şekil B.8-Birinci modelin dördüncü mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



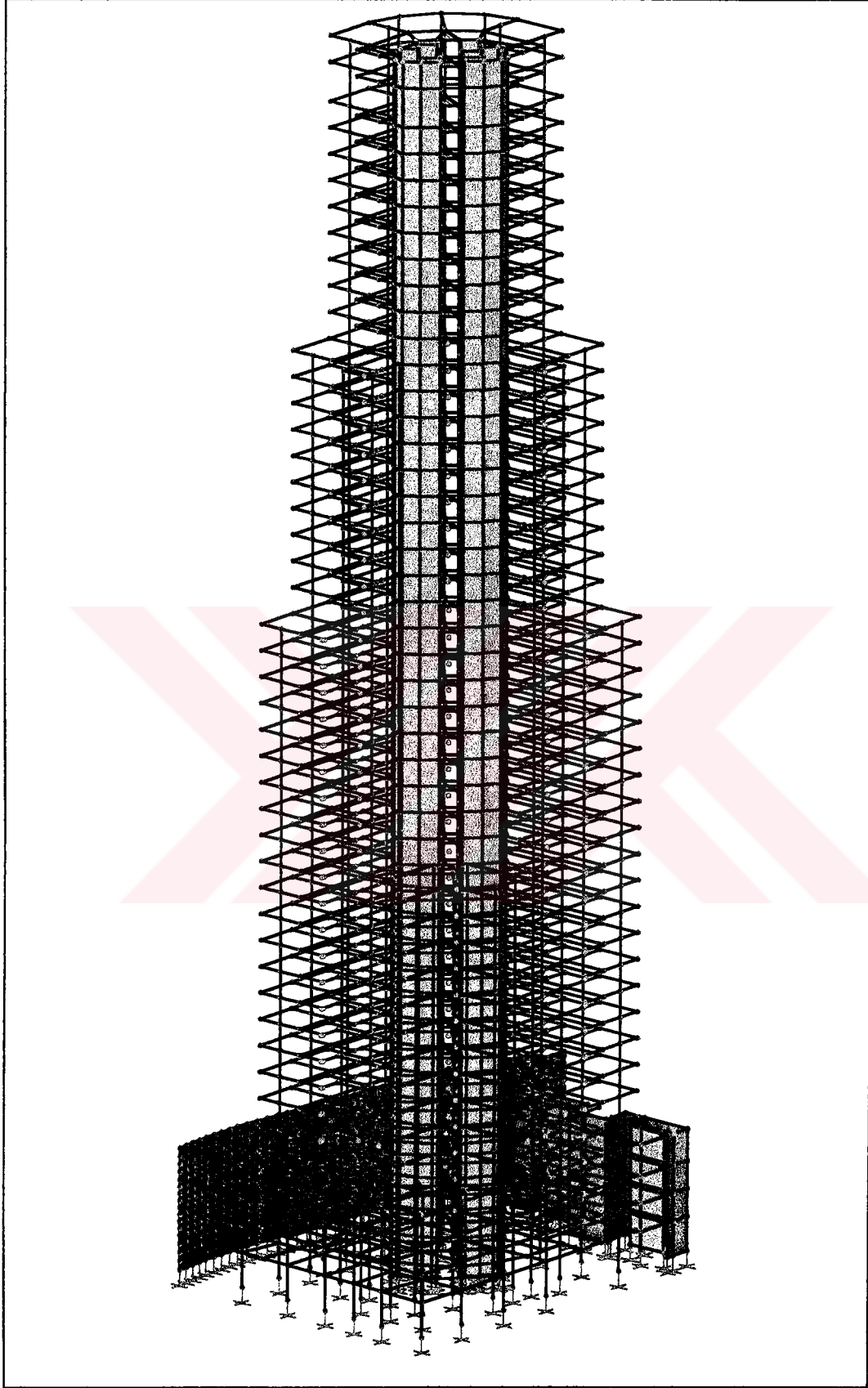
Şekil B.9-Birinci modelin dördüncü modunun SAP2000 programındaki görünüşü



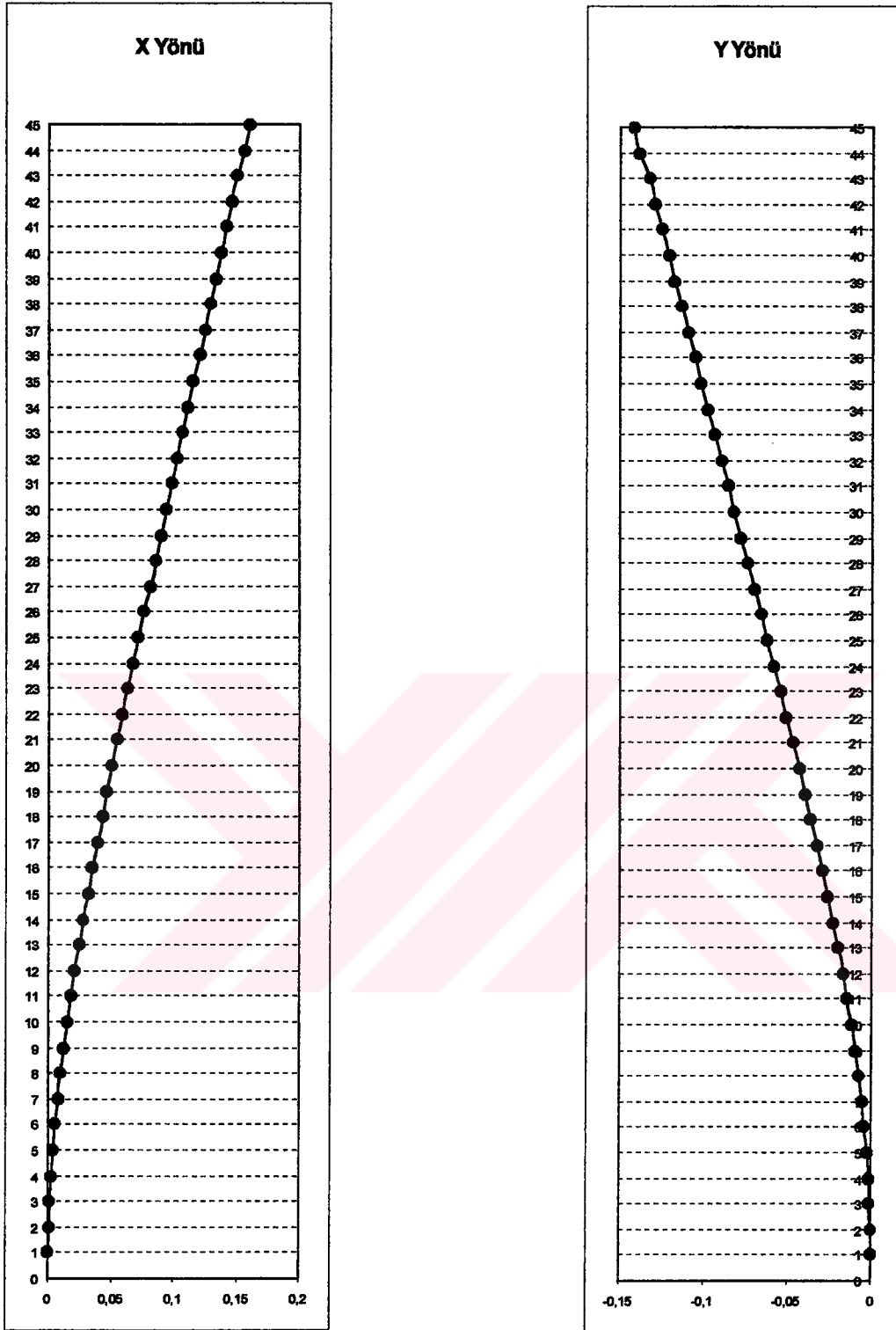
Şekil B.10-Birinci modelin beşinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



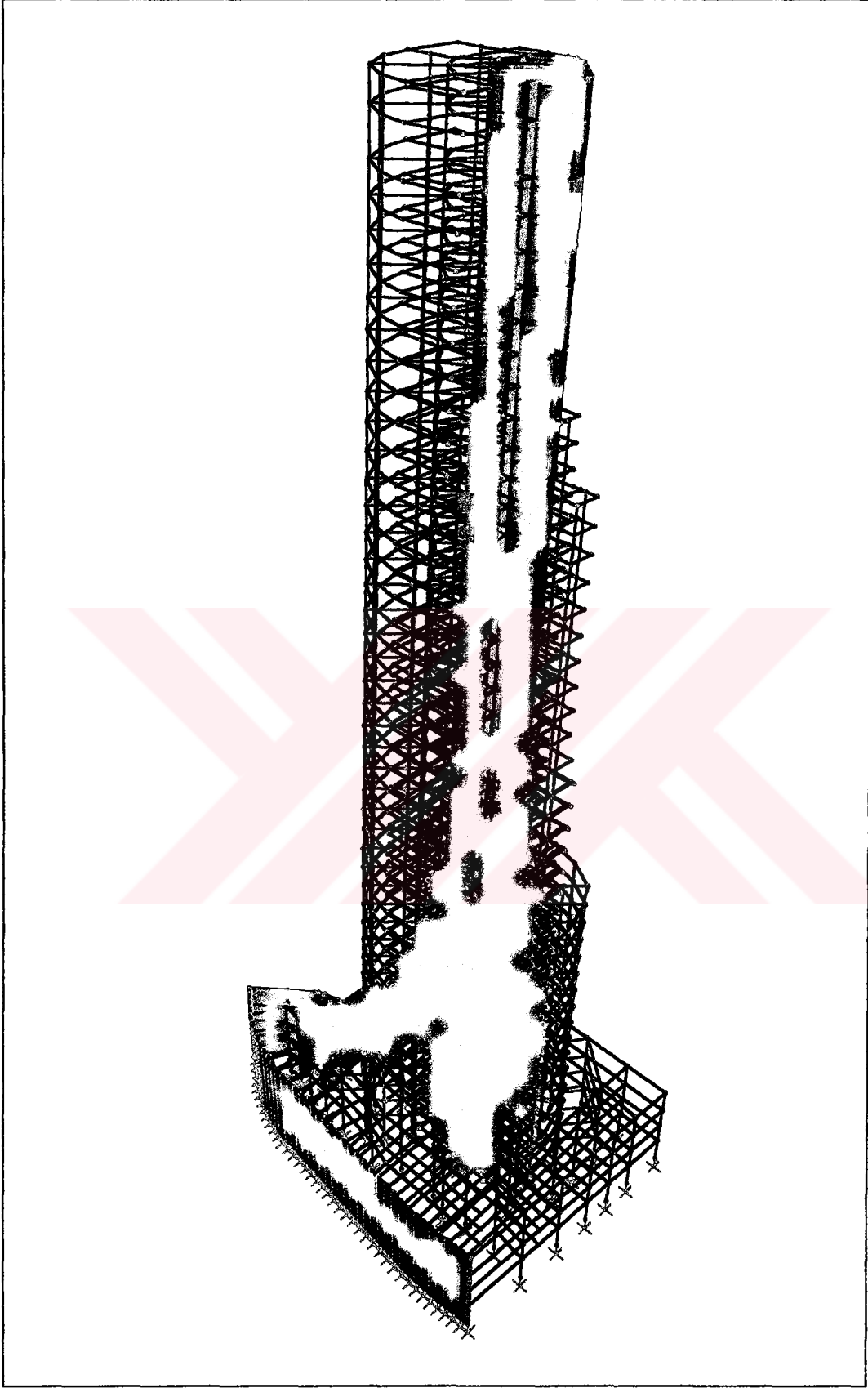
Şekil B.11-Birinci modelin beşinci modunun SAP2000 programındaki görünüşü



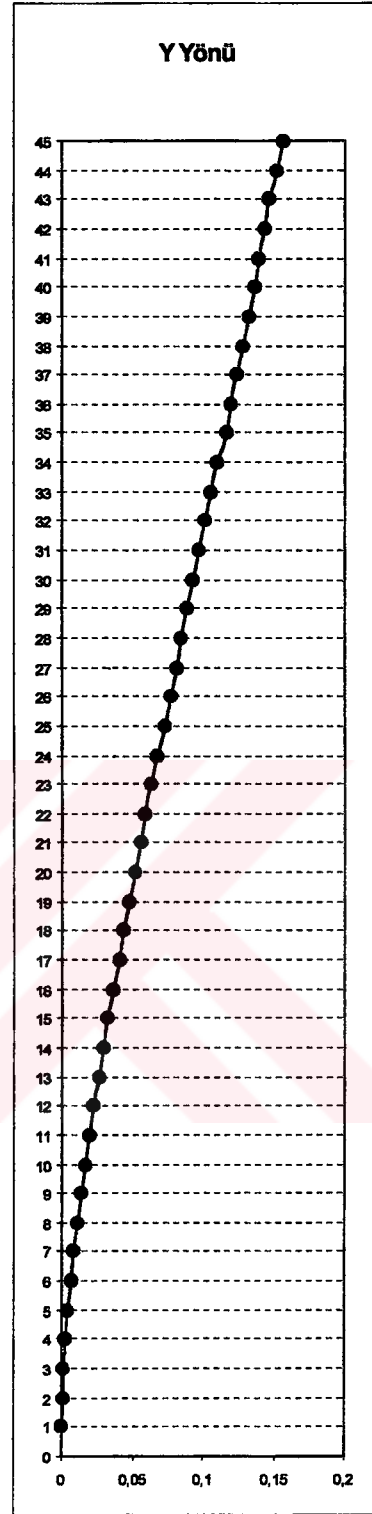
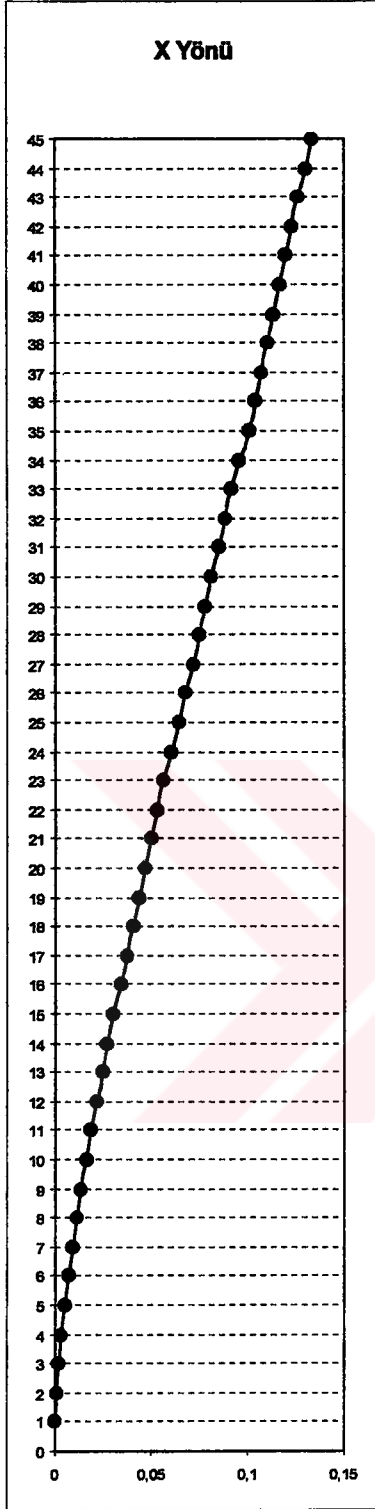
Şekil B.12-İkinci modelin perspektif açıdan görünüşü



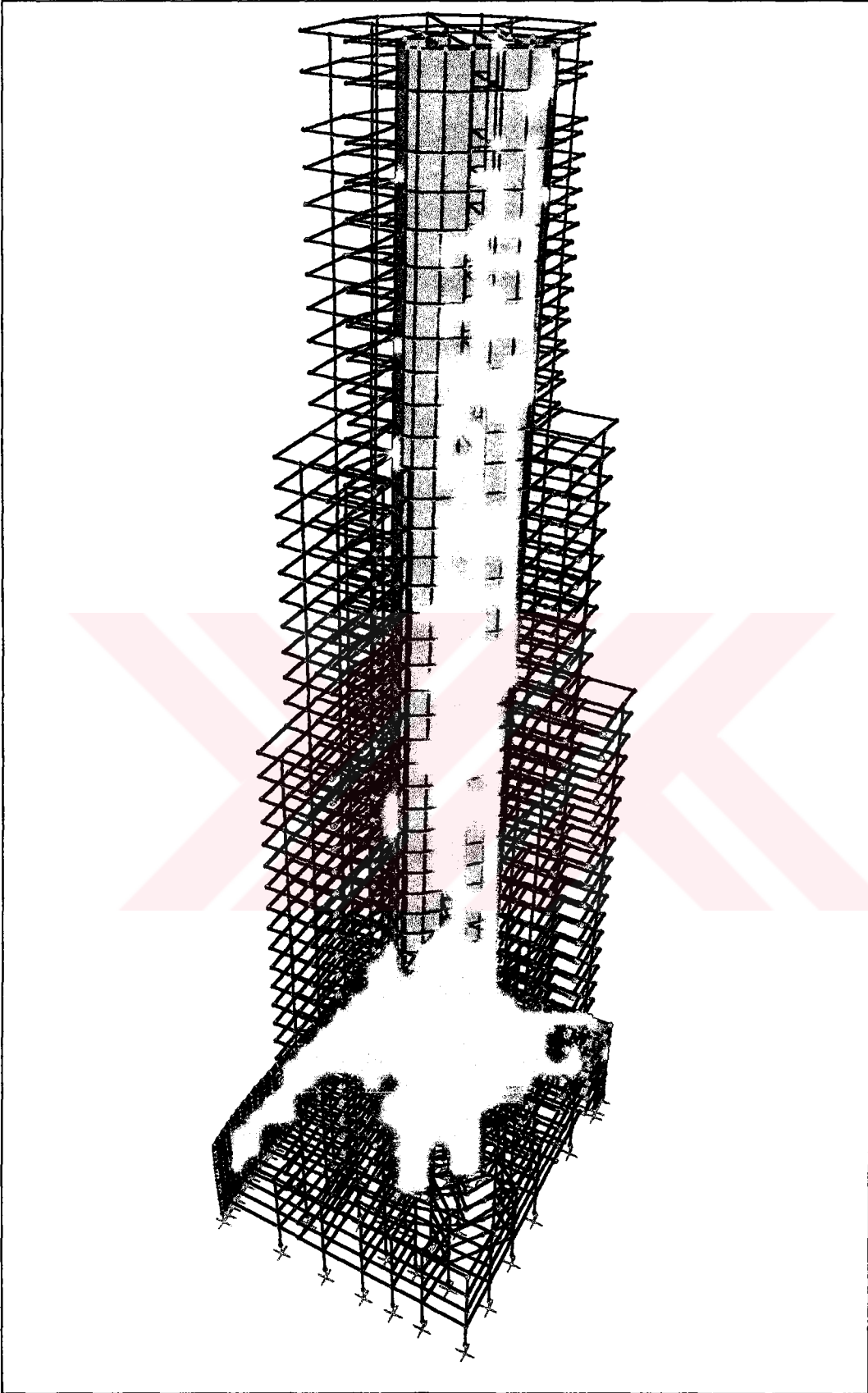
Şekil B.13-İkinci modelin birinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



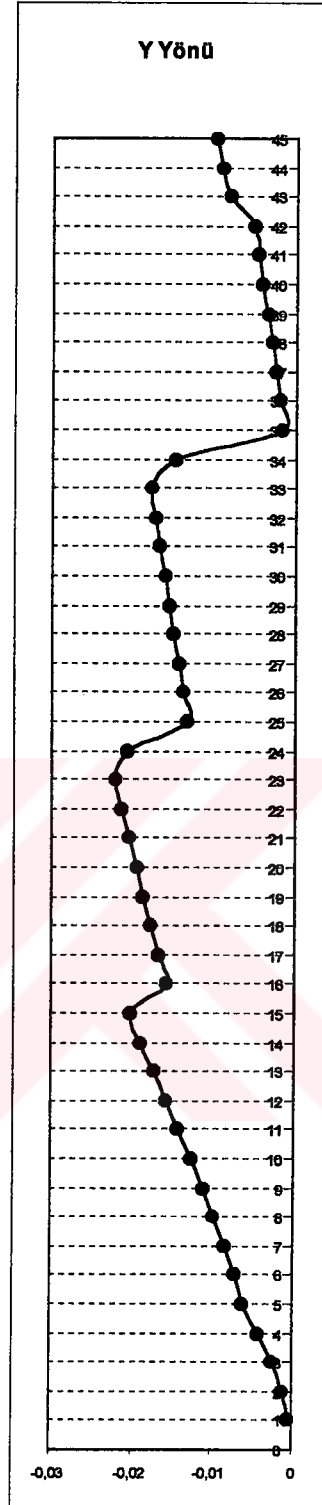
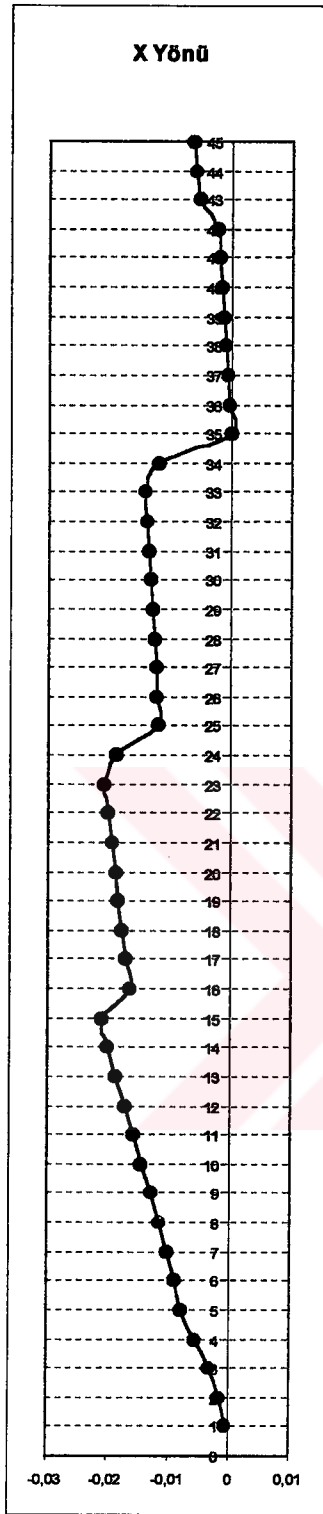
Şekil B.14-İkinci modelin birinci modunun SAP2000 programındaki görünüşü



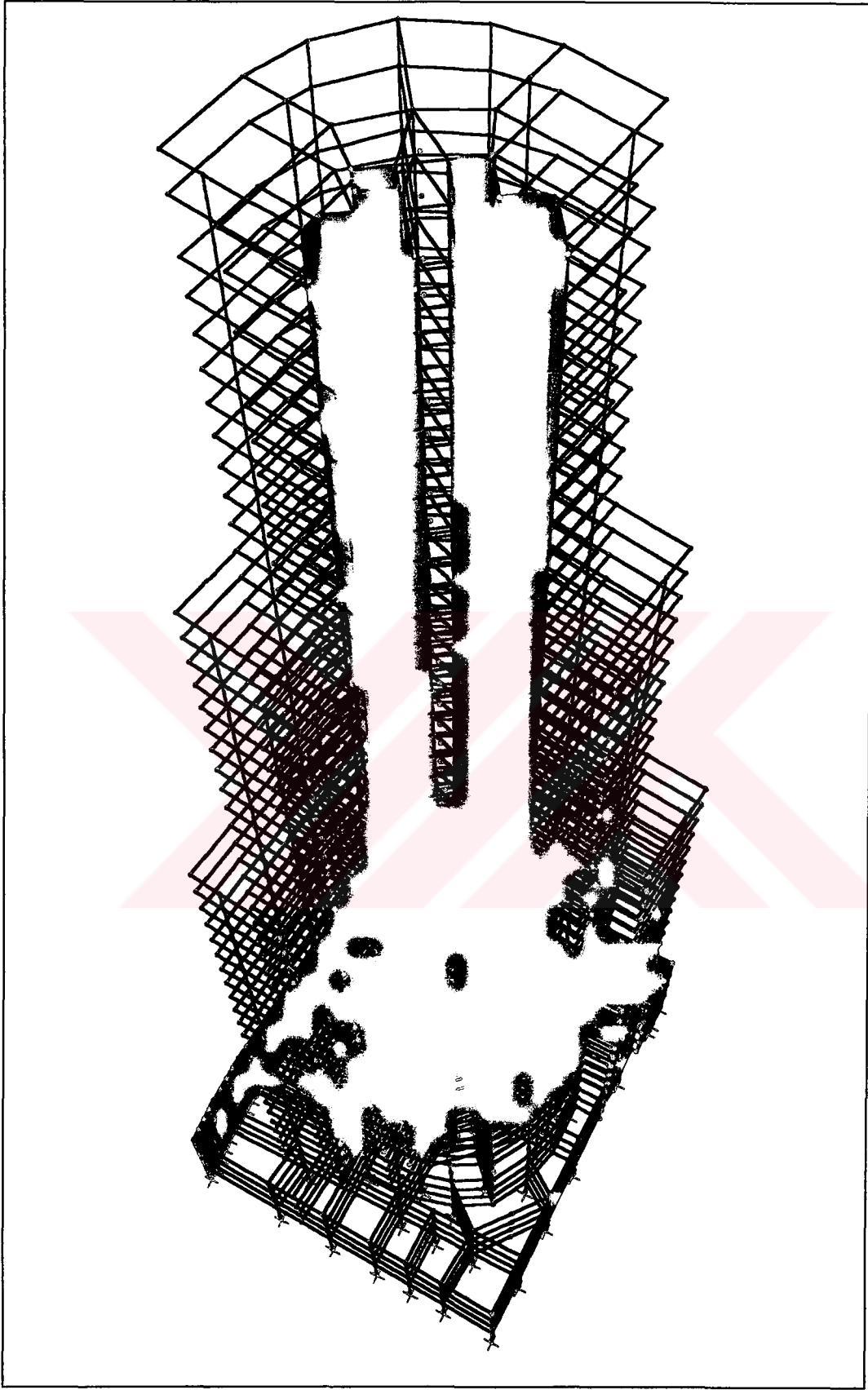
Şekil B.15-İkinci modelin ikinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



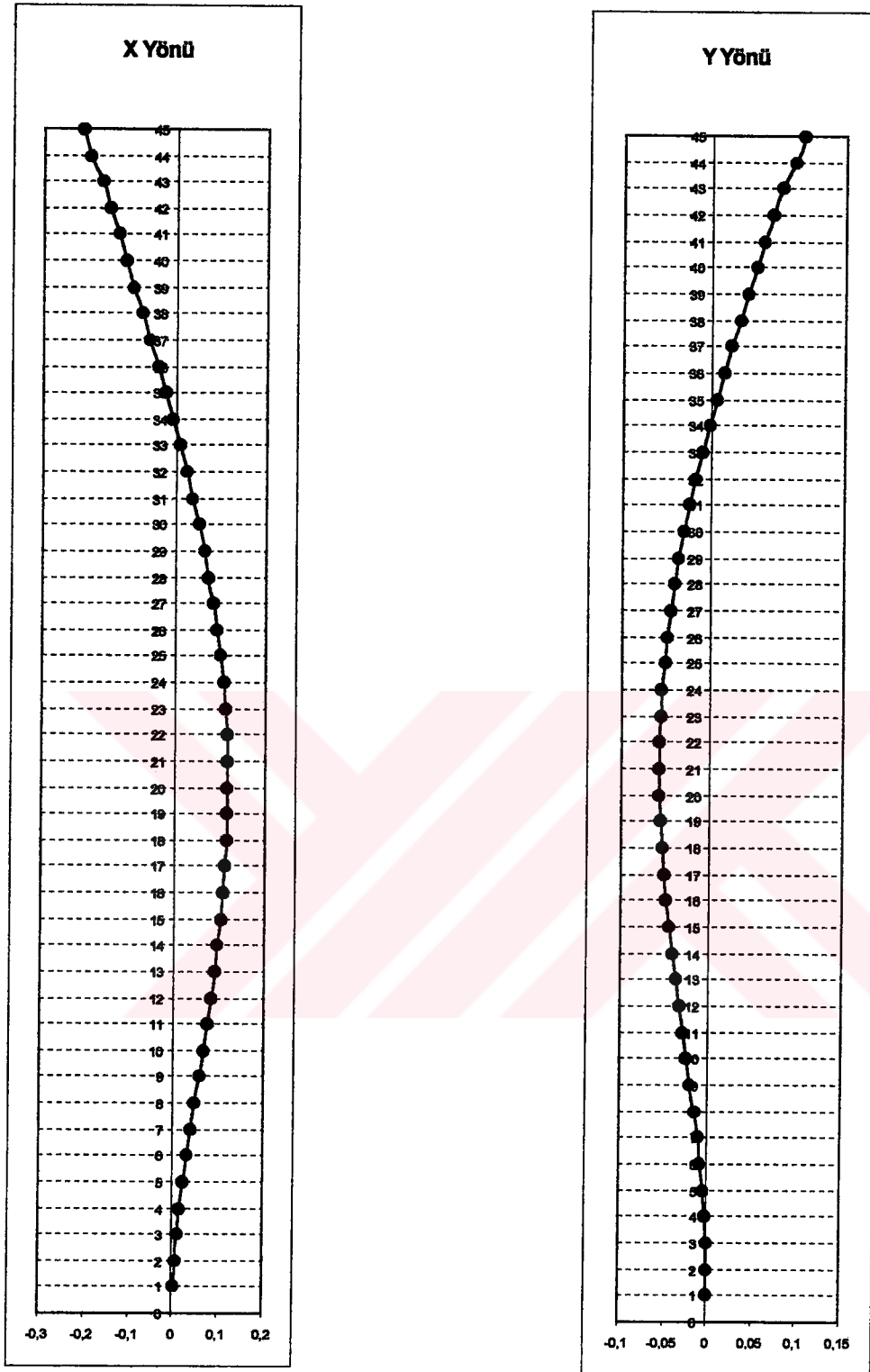
Şekil B.16-İkinci modelin ikinci modunun SAP2000 programındaki görünüşü



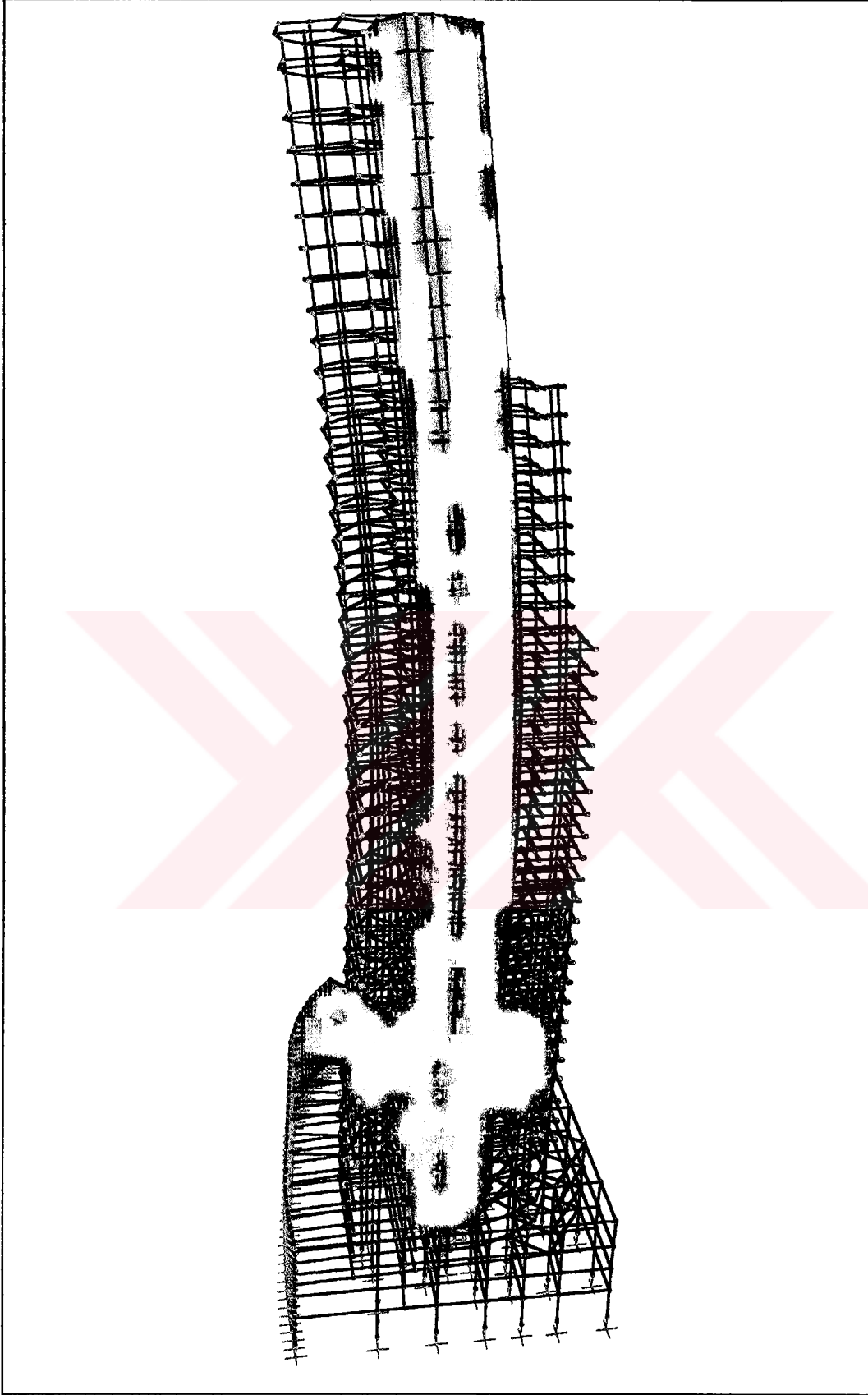
Şekil B.17-İkinci modelin üçüncü mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



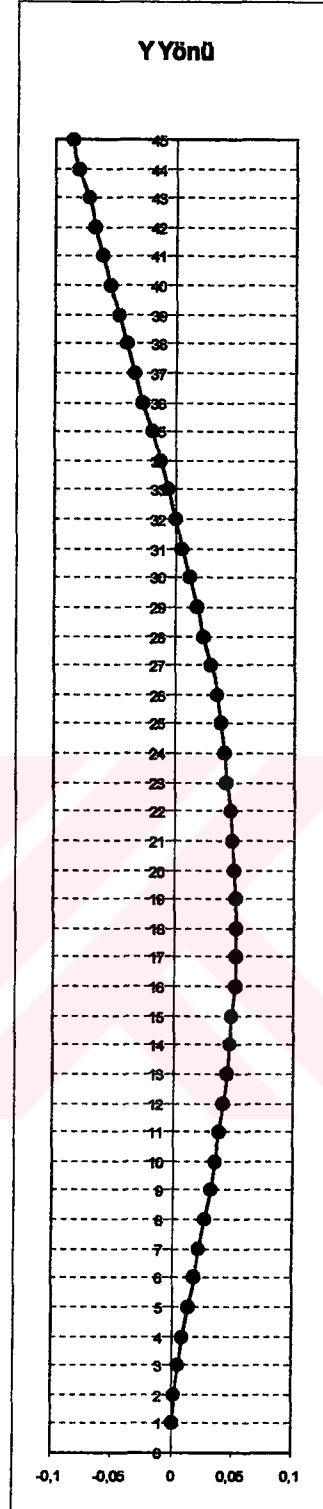
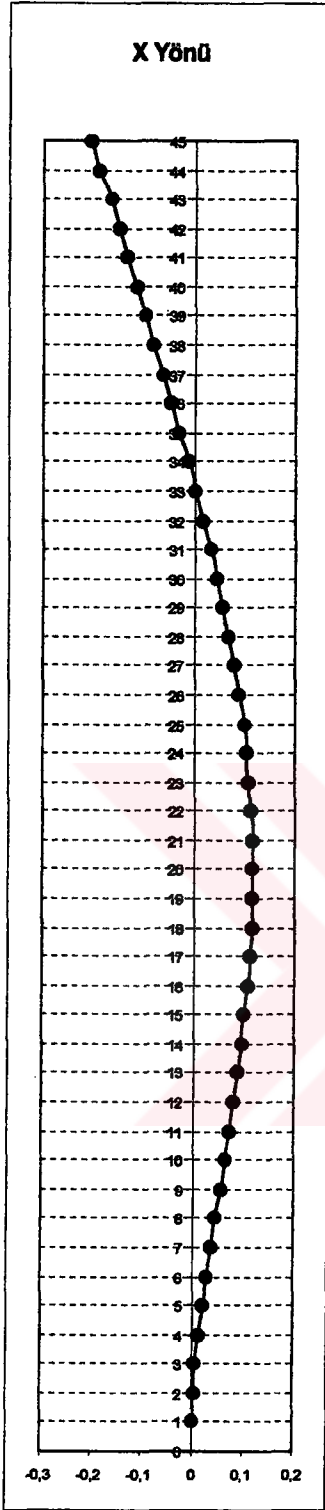
Şekil B.18-İkinci modelin üçüncü modunun SAP2000 programındaki görünüşü



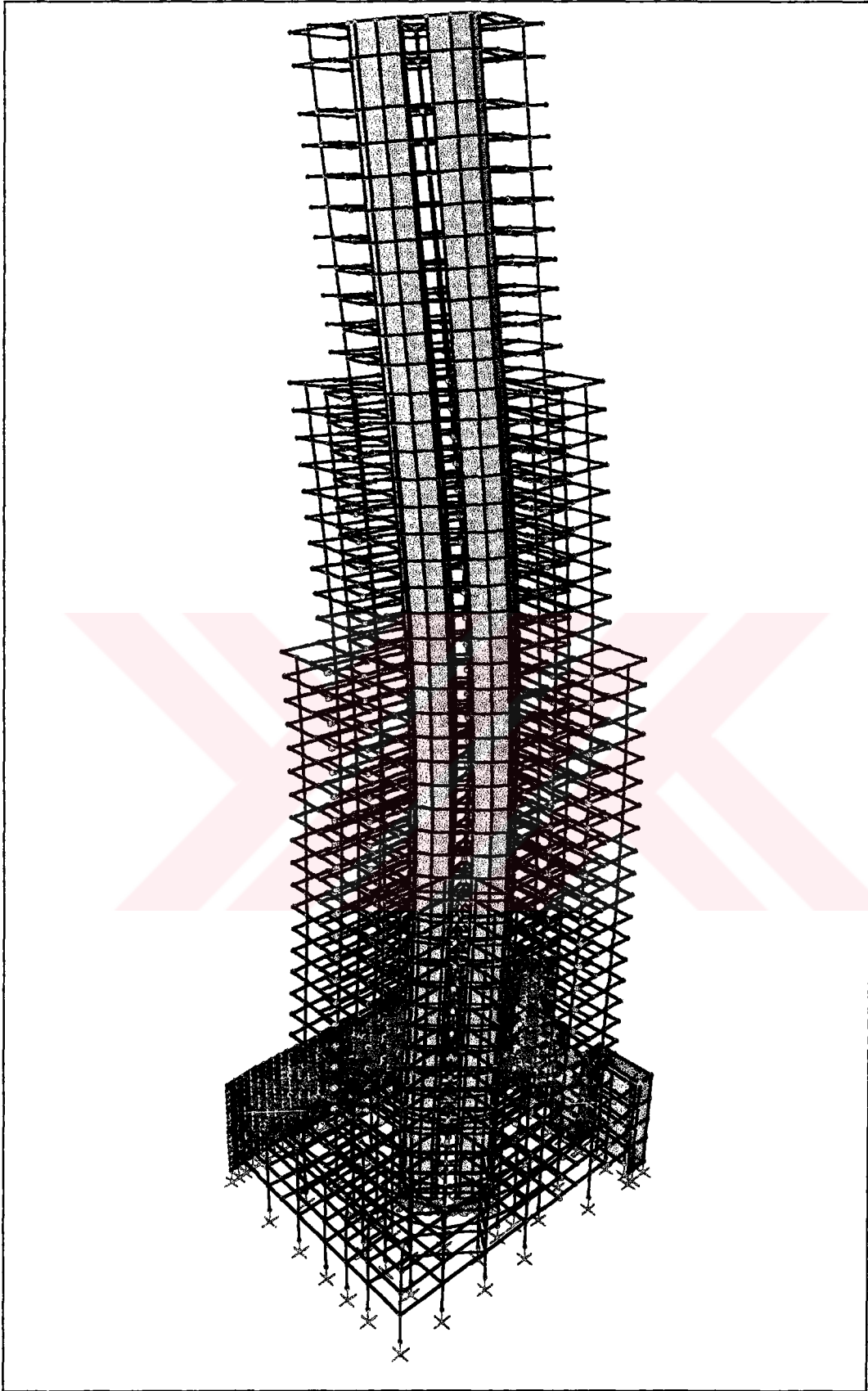
Şekil B.19-İkinci modelin dördüncü mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



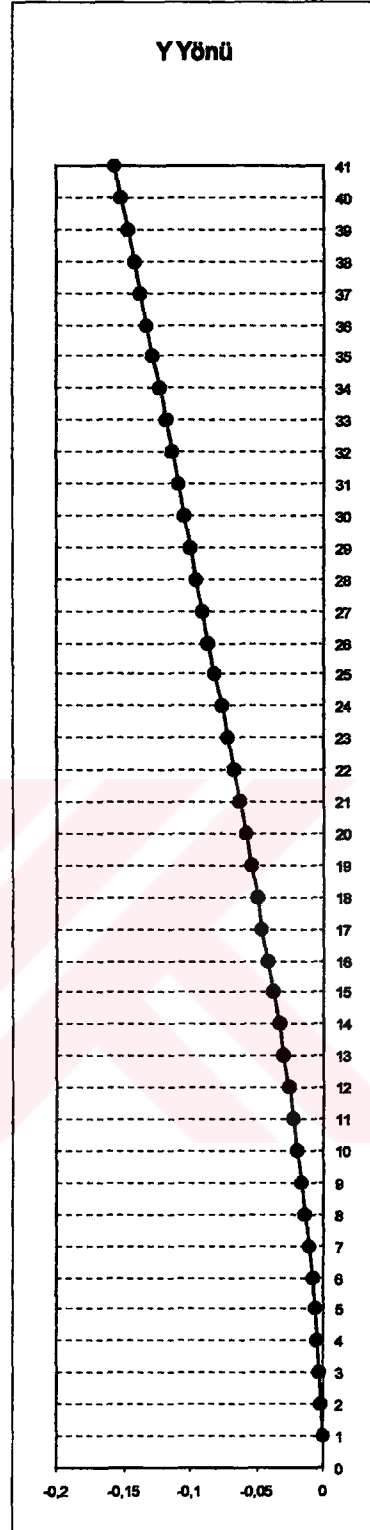
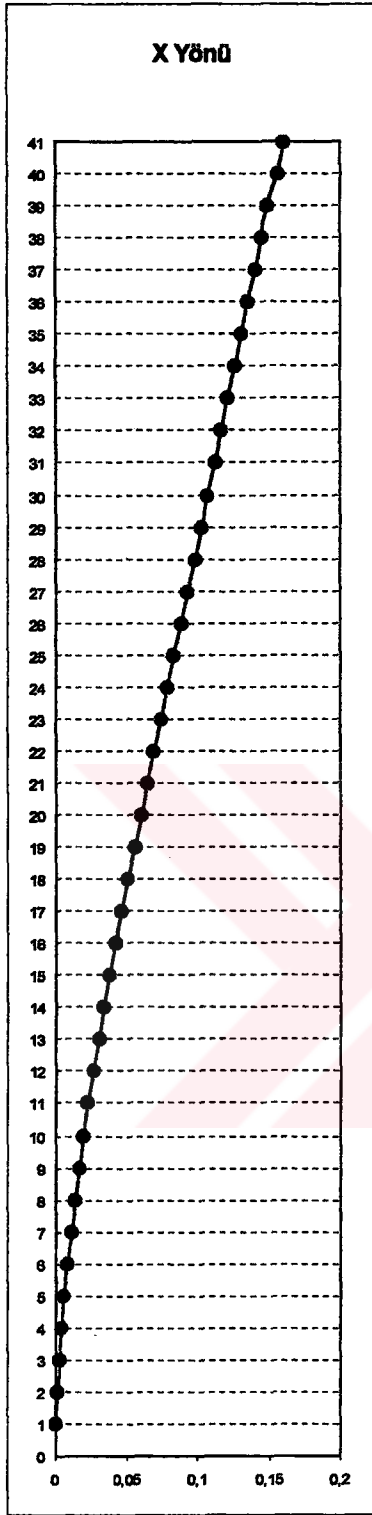
Şekil B.20-İkinci modelin dördüncü modunun SAP2000 programındaki görünüşü



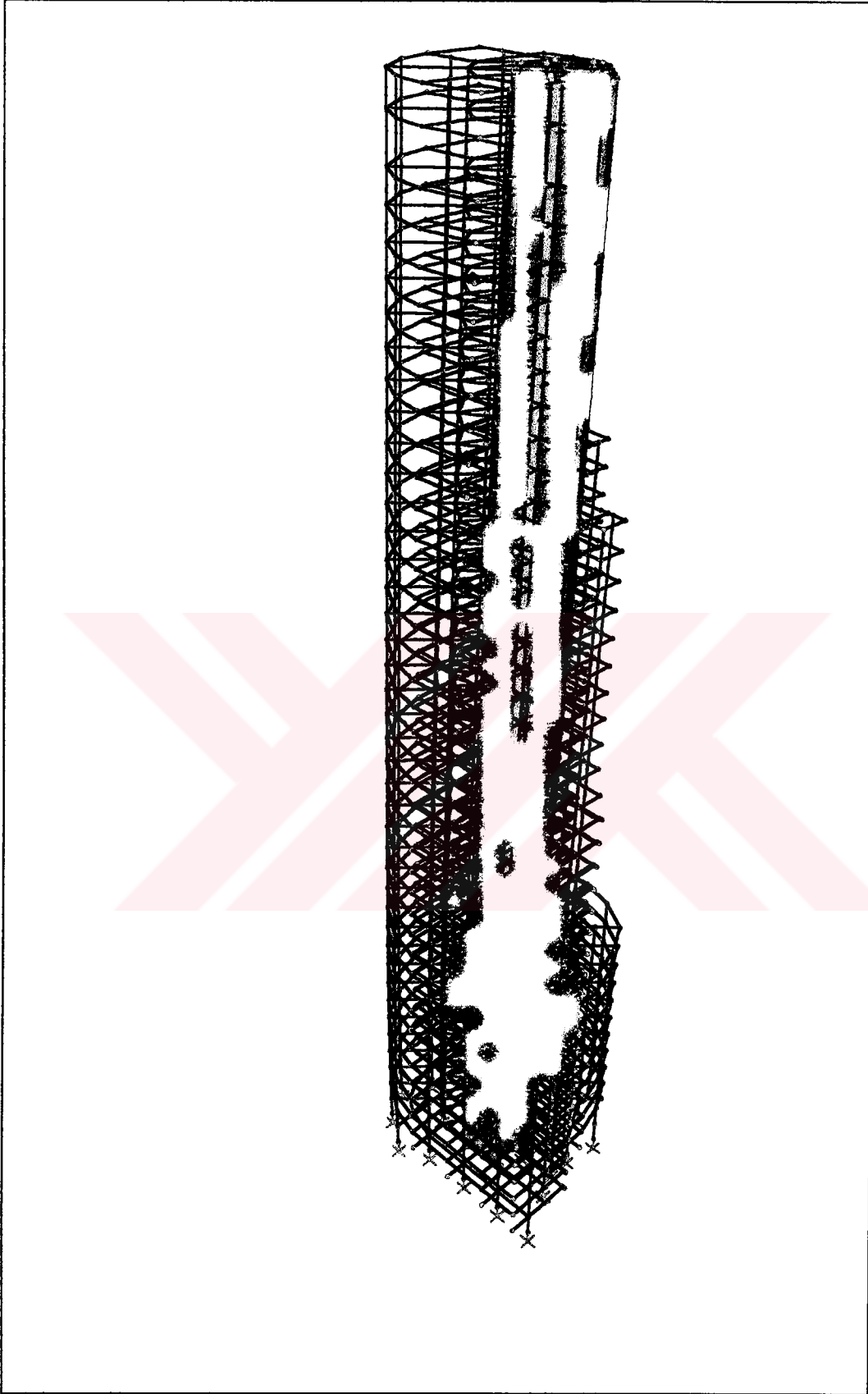
Şekil B.21-İkinci modelin beşinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



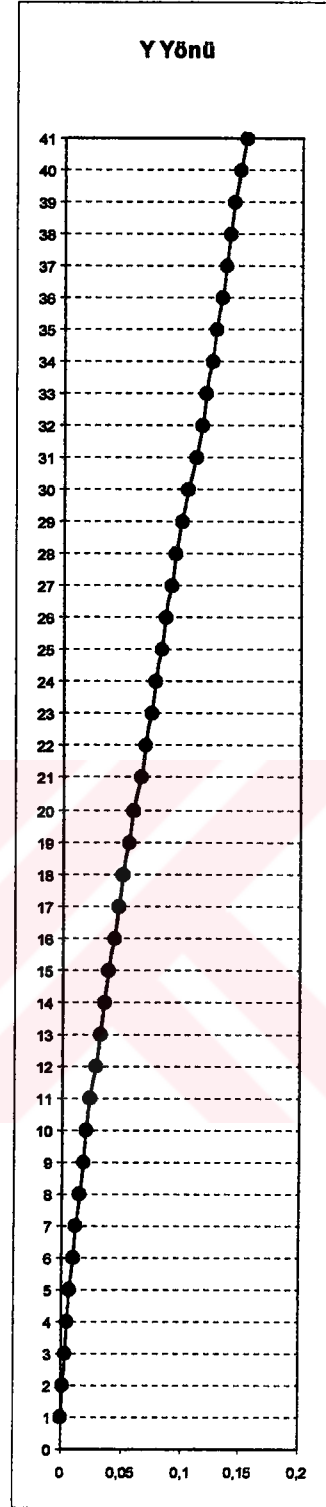
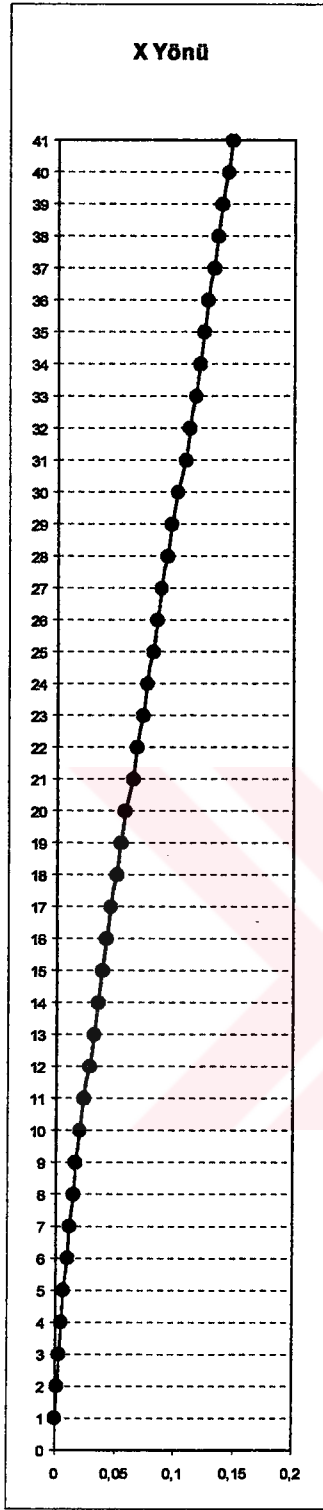
Şekil B.22-İkinci modelin beşinci modunun SAP2000 programındaki görünüşü



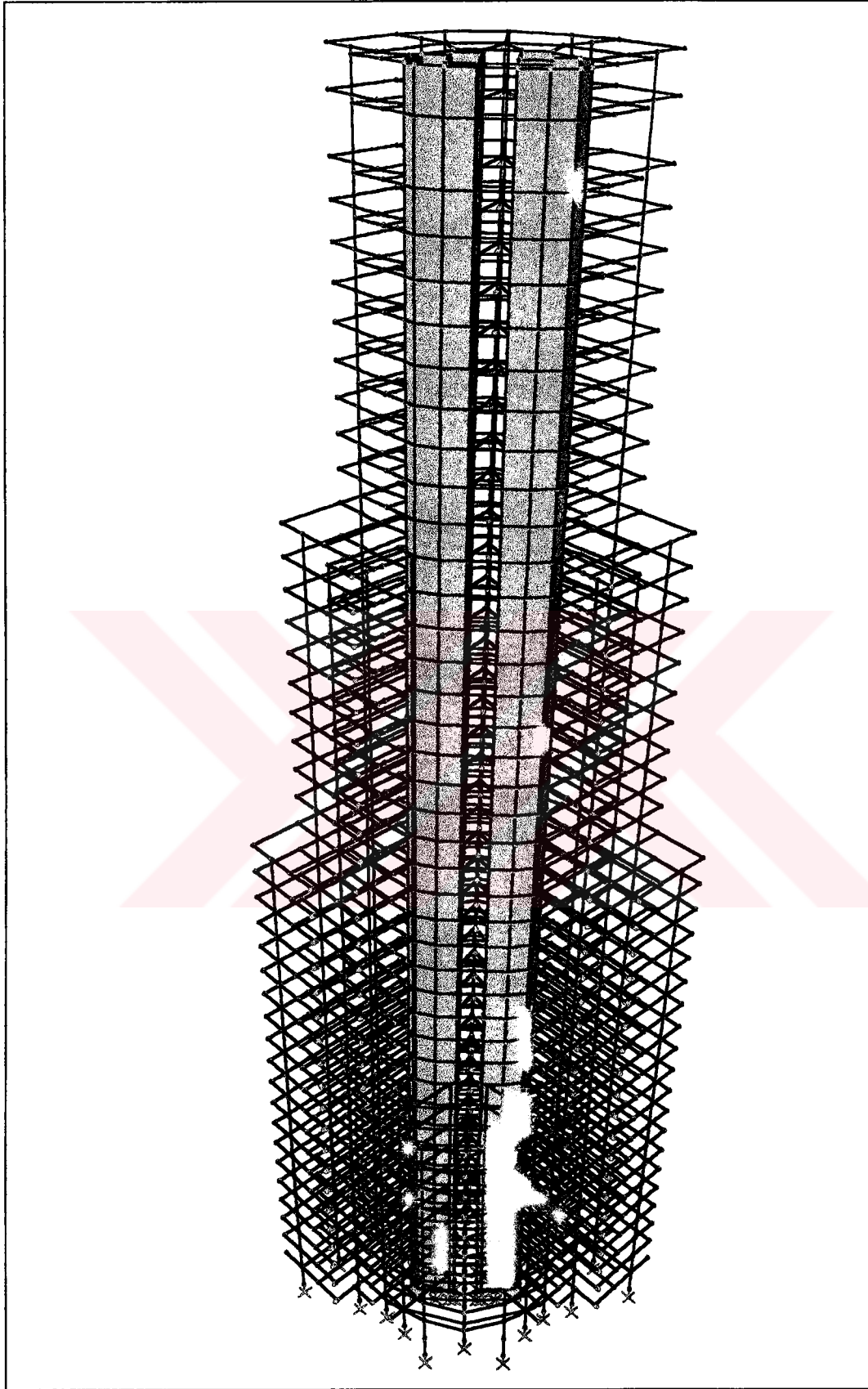
Şekil B.23-Kule kısmın birinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



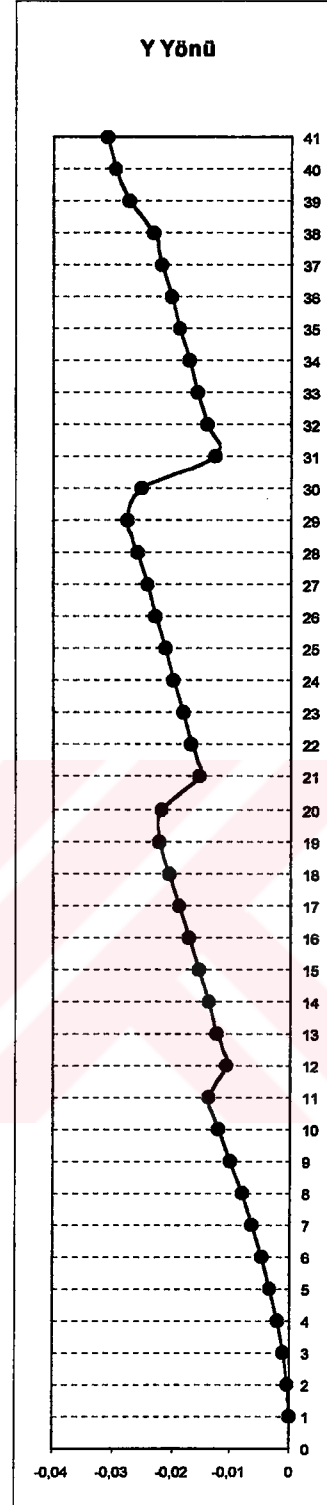
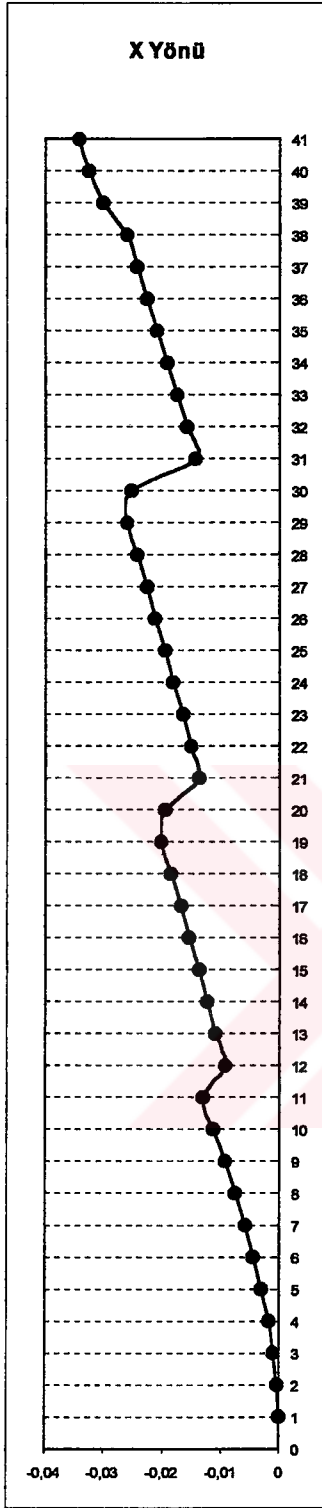
Şekil B.24-Kule kısmının birinci modunun SAP2000 programındaki görünüşü



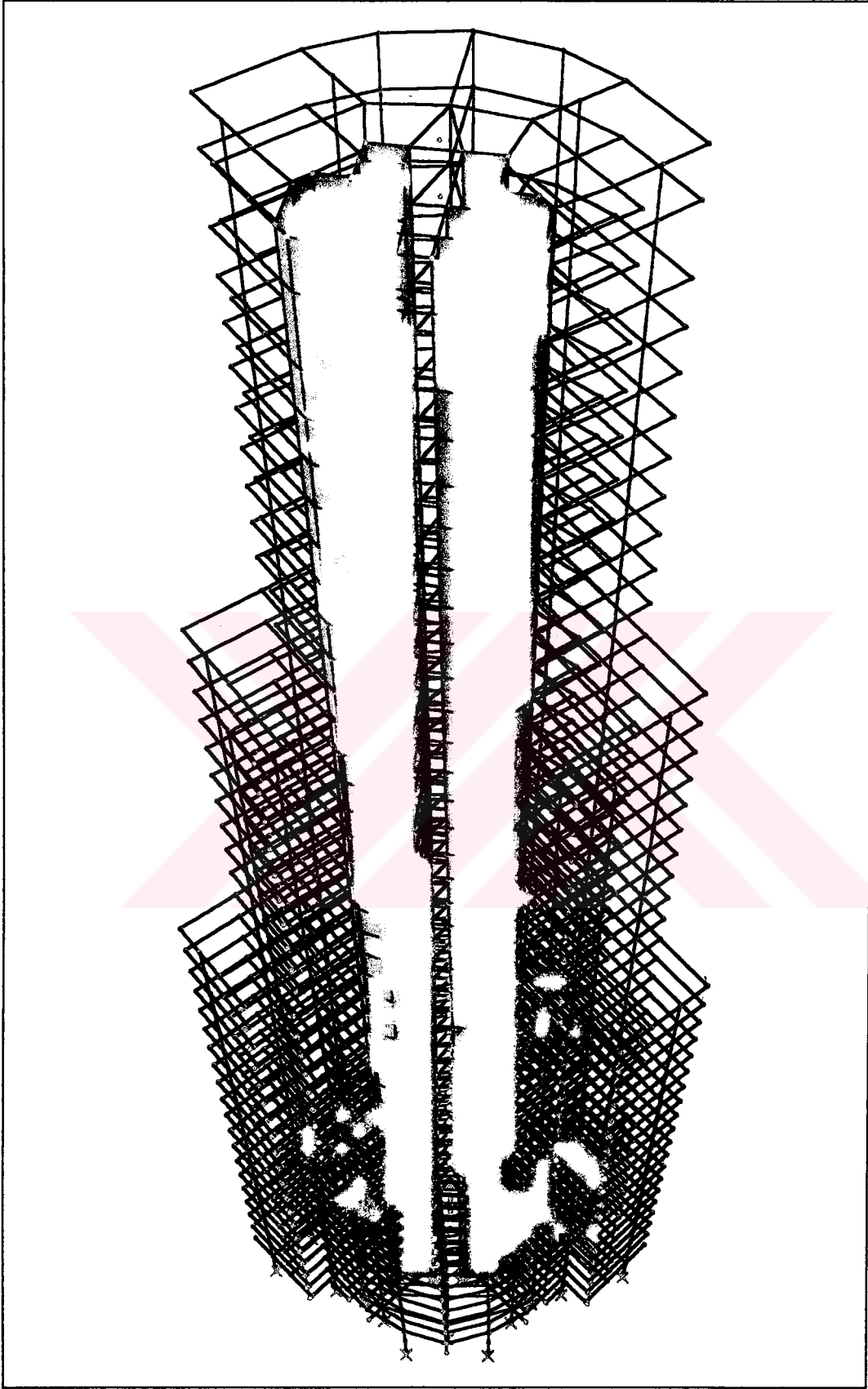
Şekil B.25-Kule kısmın ikinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



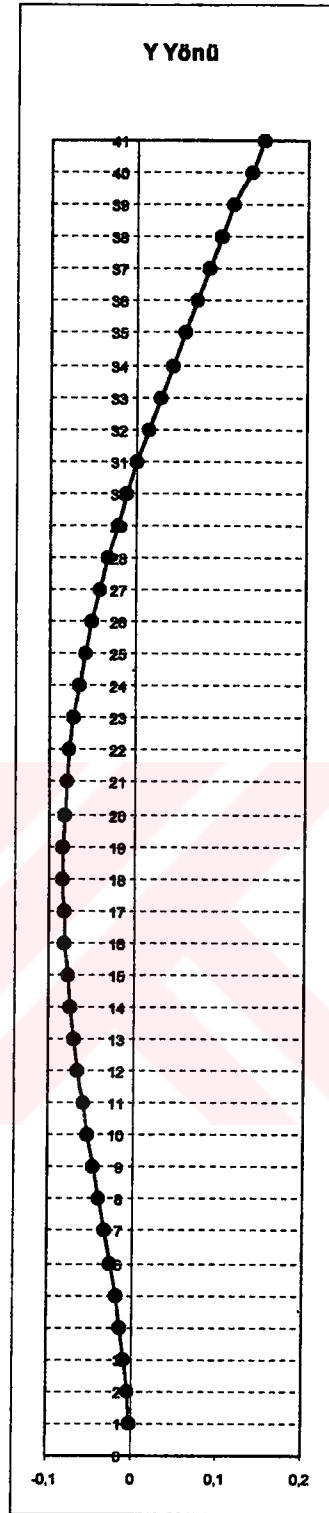
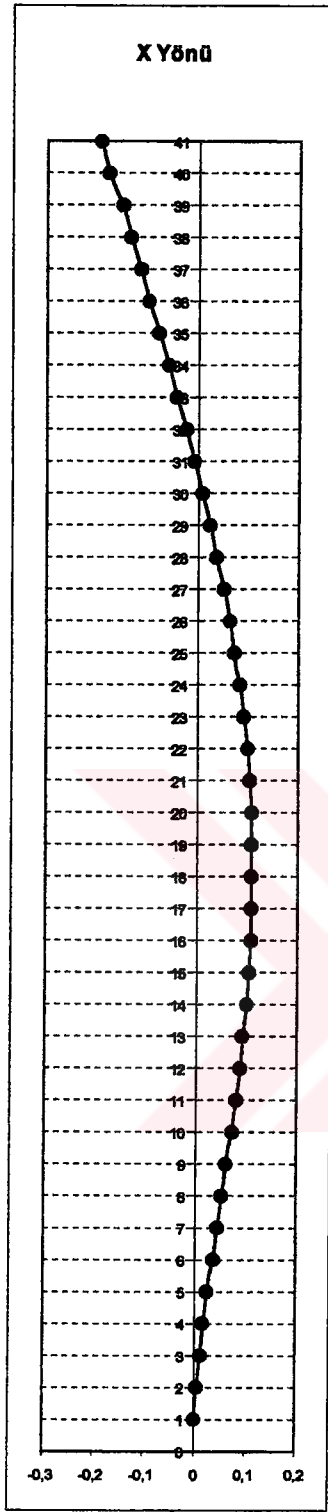
Şekil B.26-Kule kısmının ikinci modunun SAP2000 programındaki görünüşü



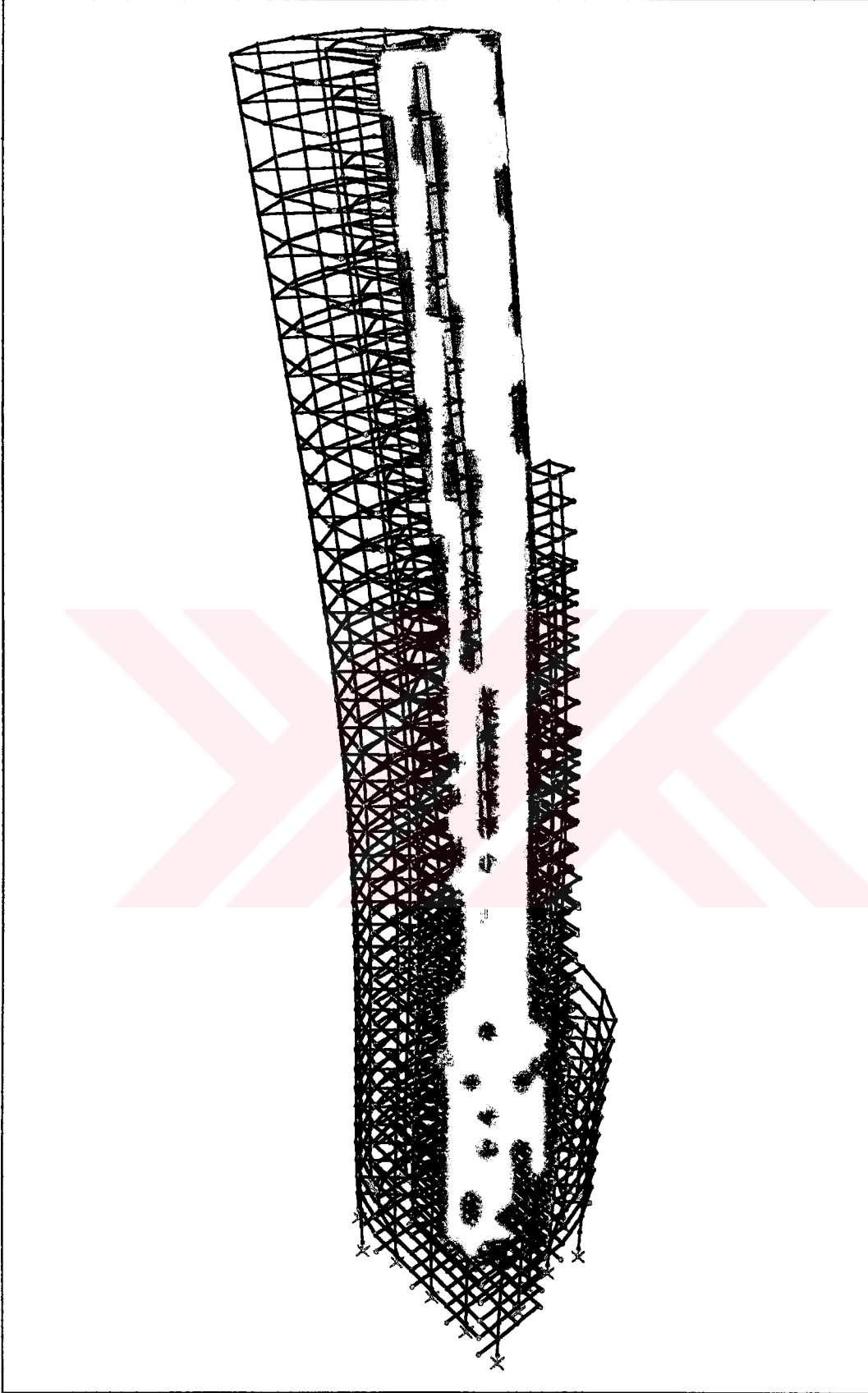
Şekil B.27-Kule kısmın üçüncü mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



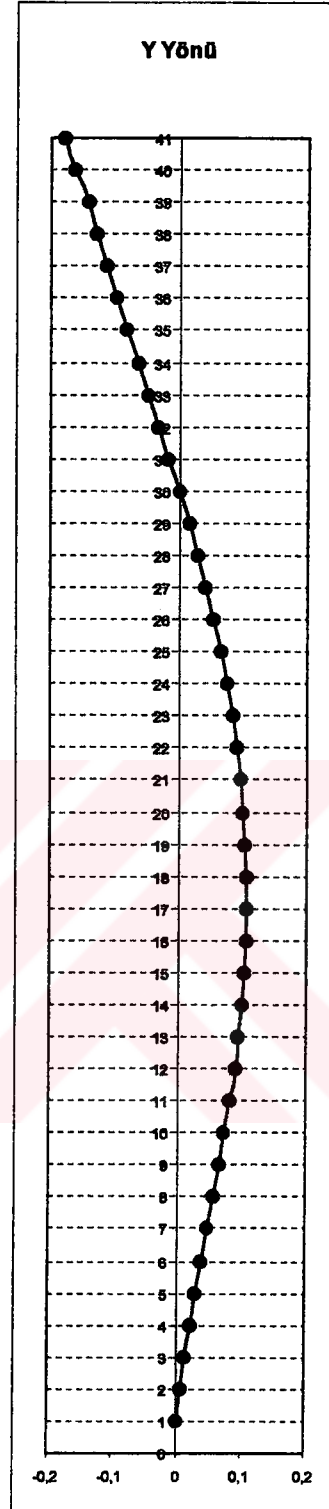
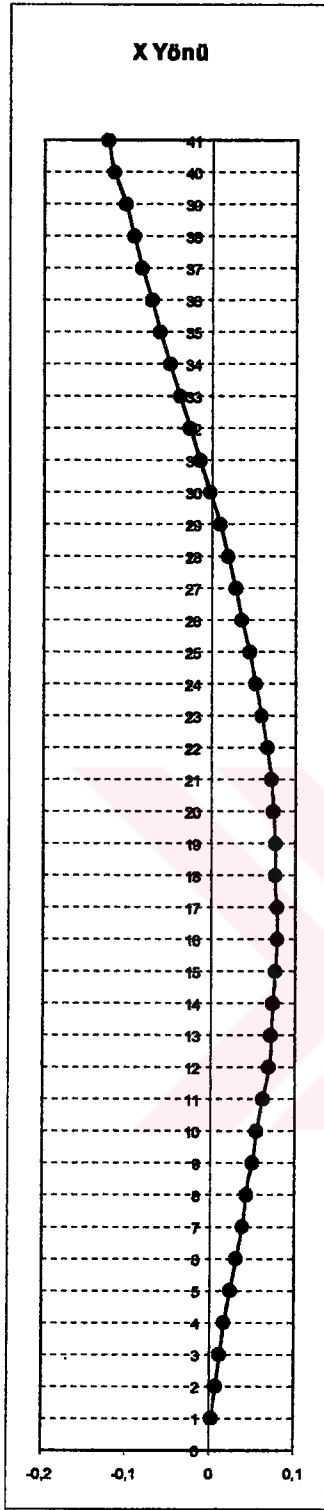
Şekil B.28-Kule kısmının üçüncü modunun SAP2000 programındaki görünüşü



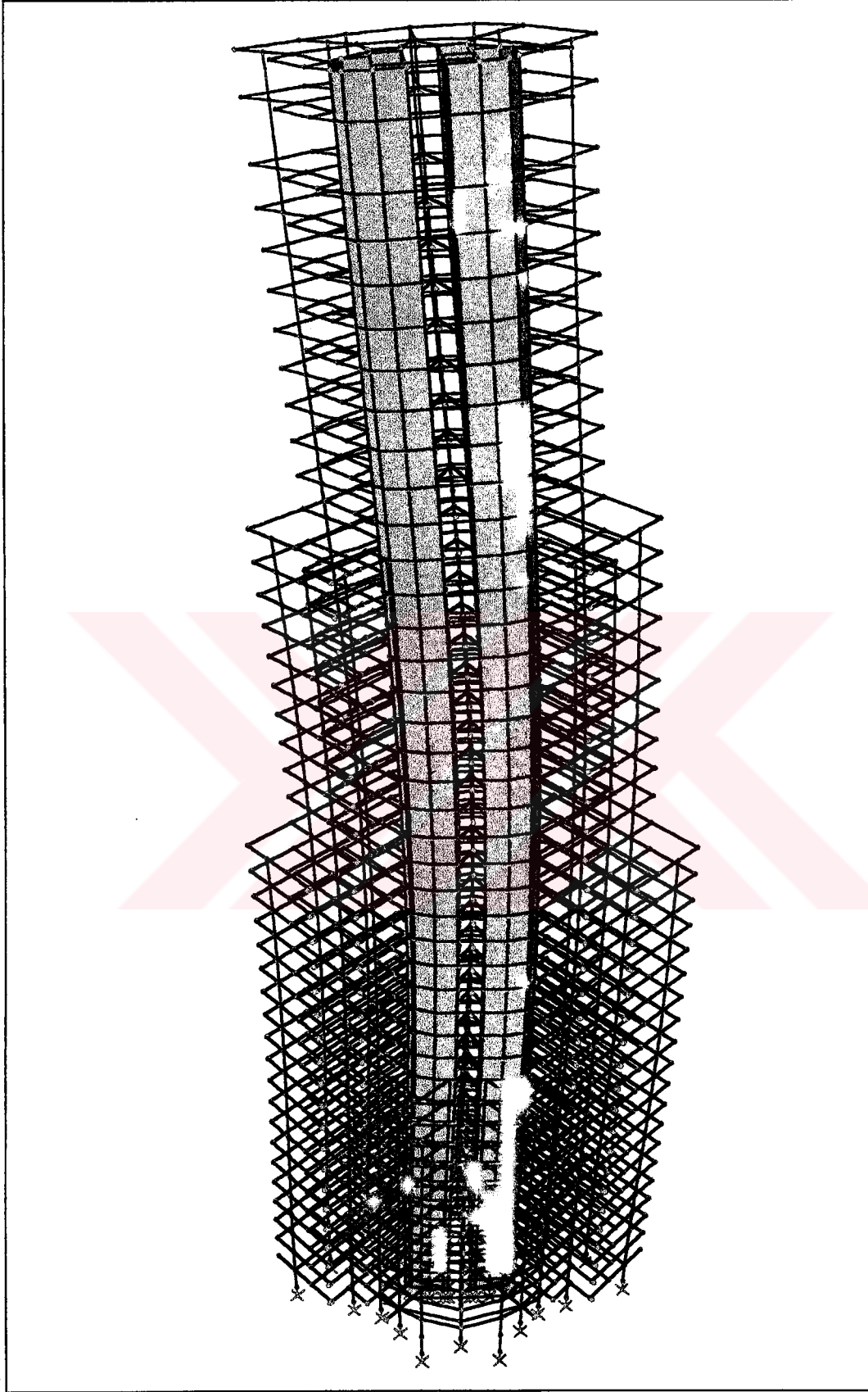
Şekil B.29-Kule kısmın dördüncü mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



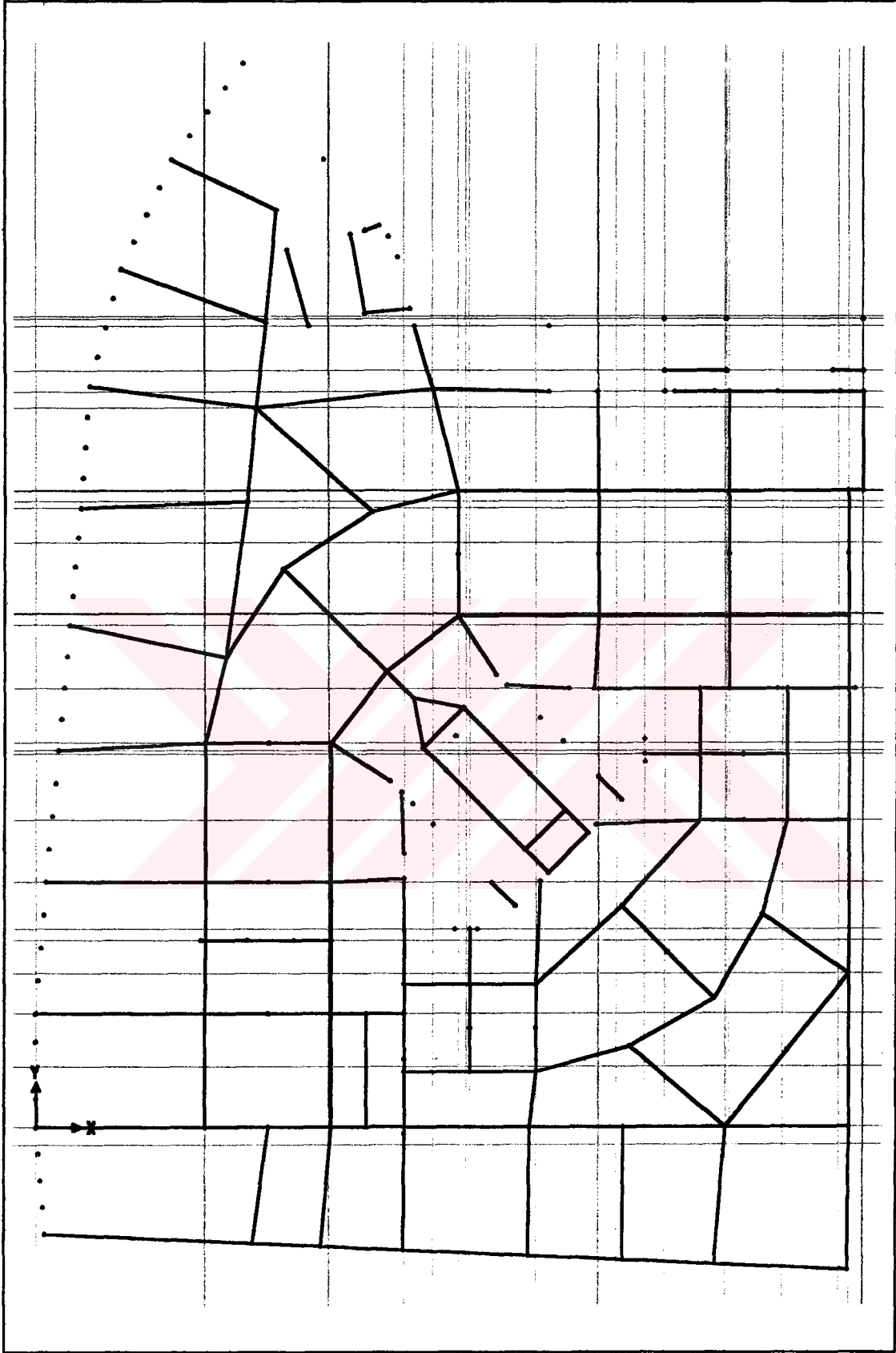
Şekil B.30-Kule kısmının dördüncü modunun SAP2000 programındaki görünüşü



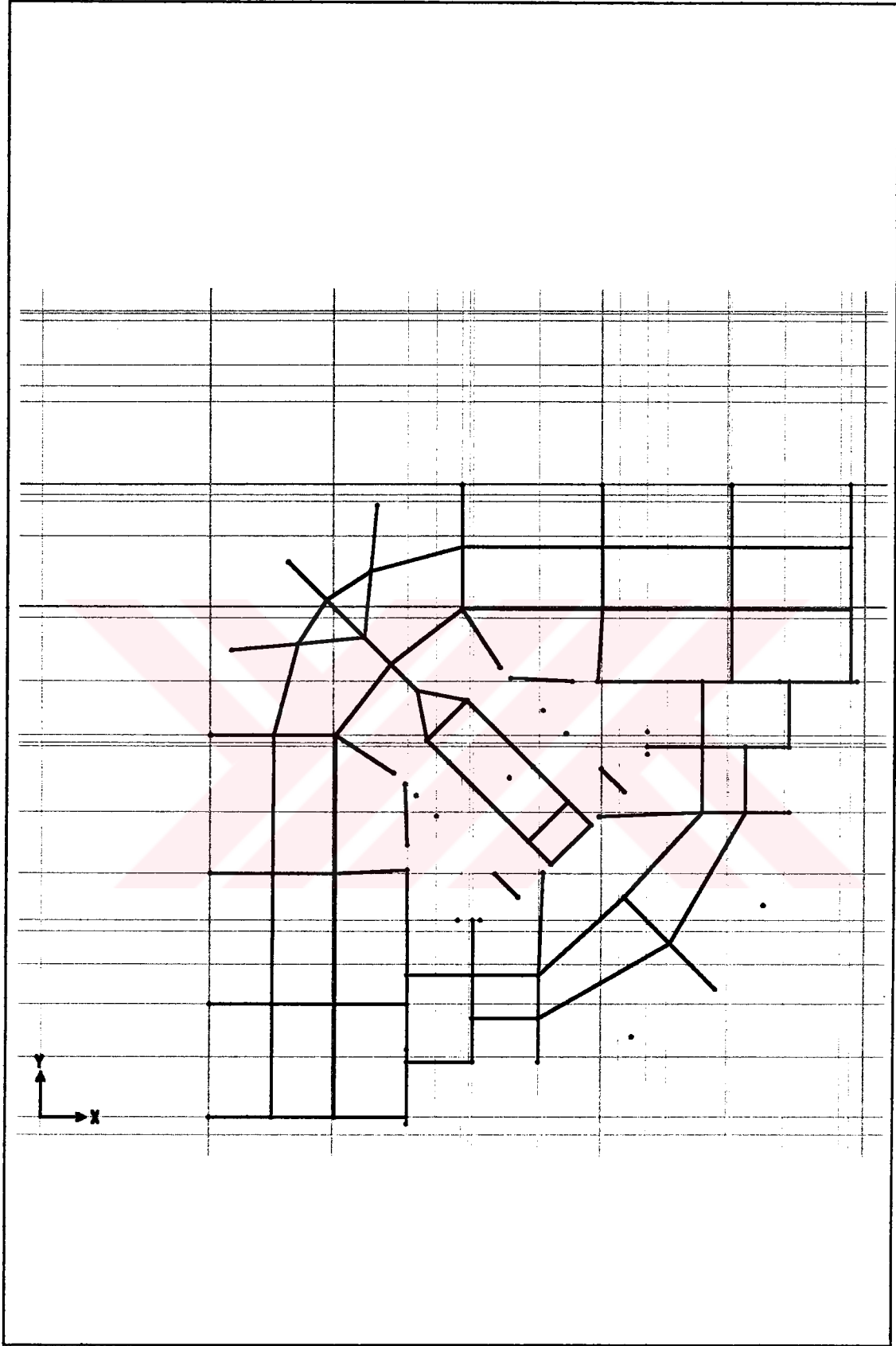
Şekil B.31-Kule kısmın beşinci mod şeklinin, global eksenlerde normalize edilmiş değerlere göre, grafik olarak gösterimi.



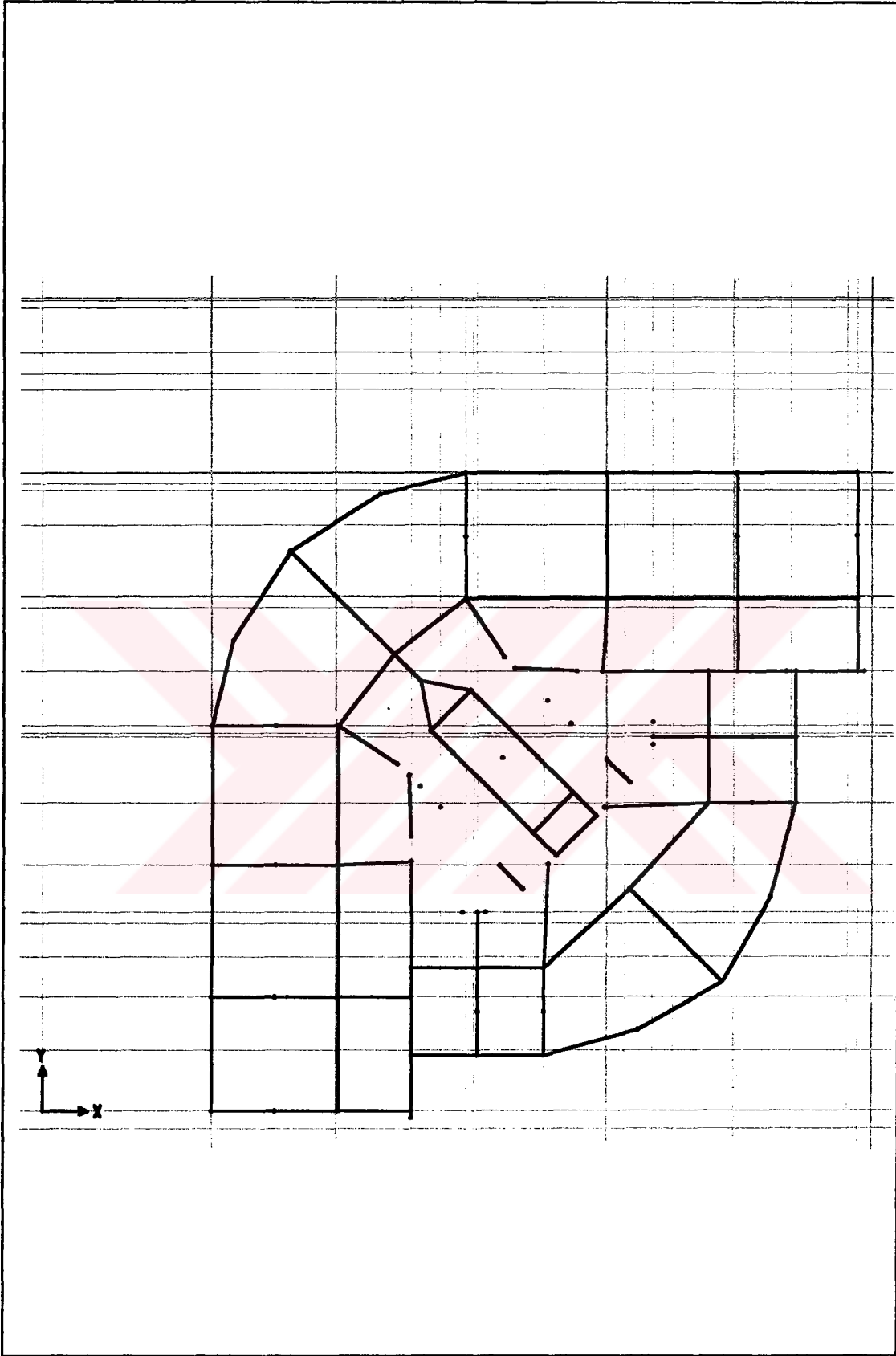
Şekil B.32-Kule kısmının beşinci modunun SAP2000 programındaki görünüşü



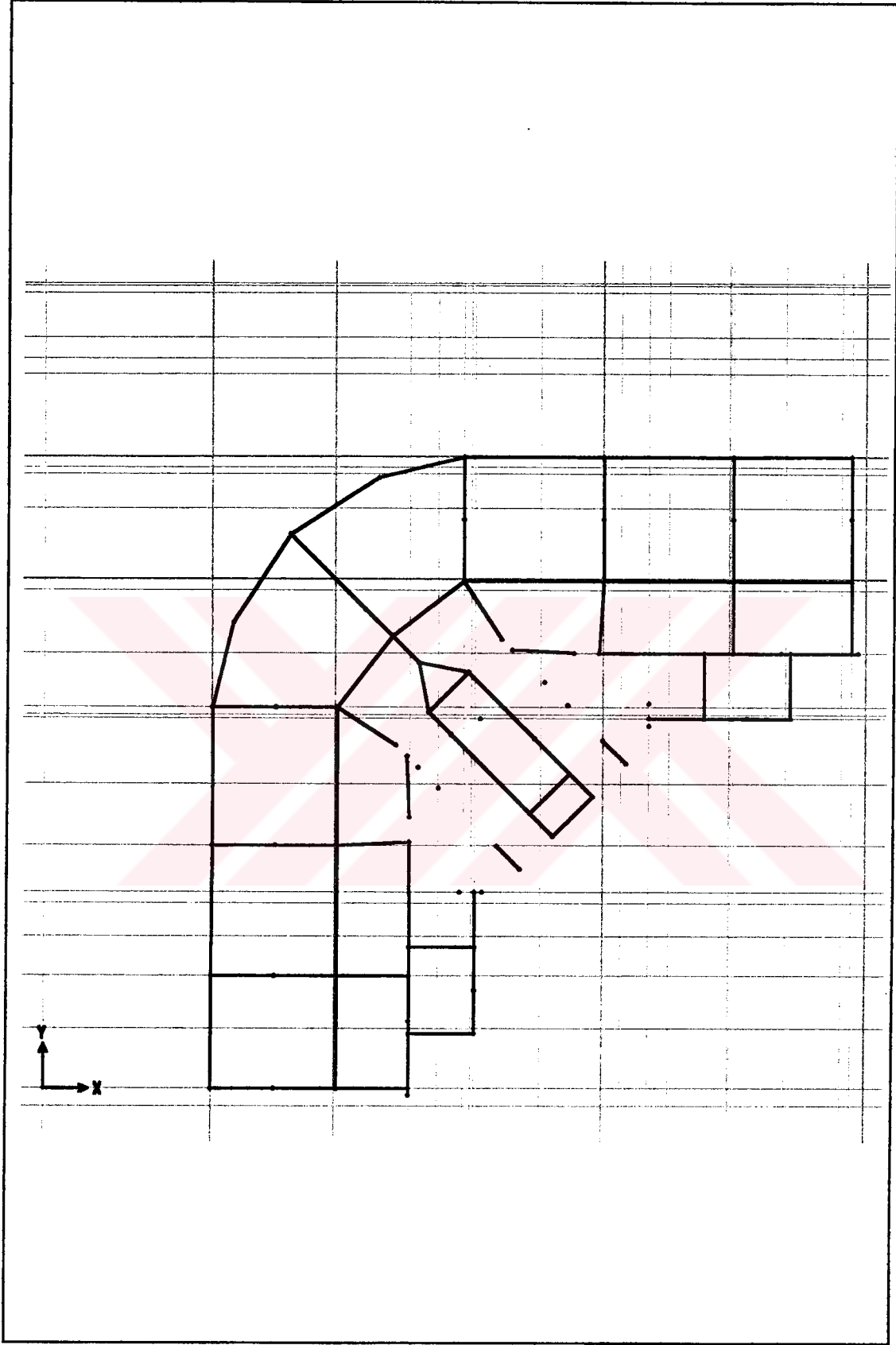
Şekil B.33-Yapının zemin katlarının modelinin görünüşü



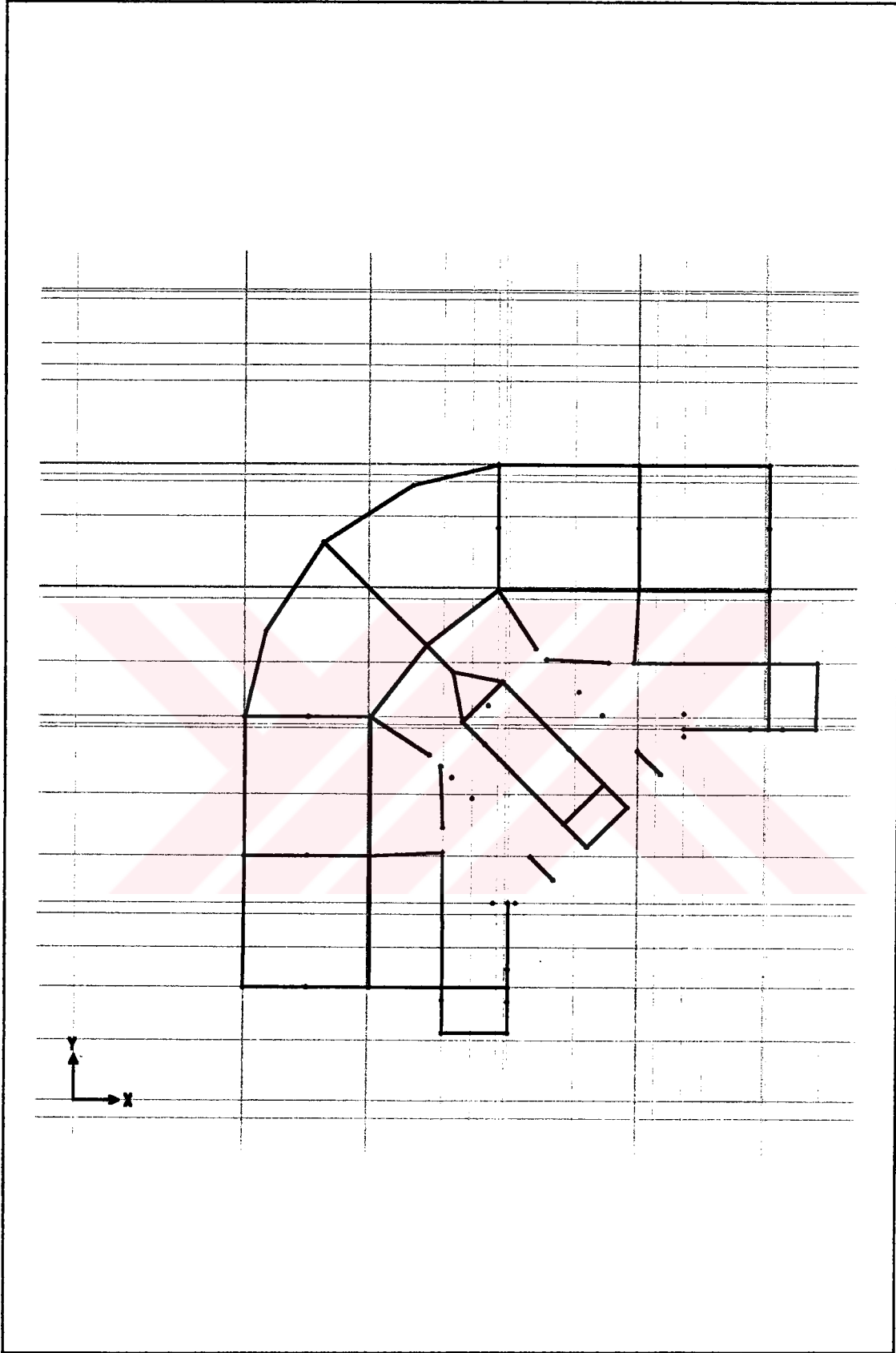
Şekil B.34-Yapının asma katının modelinin görünüşü



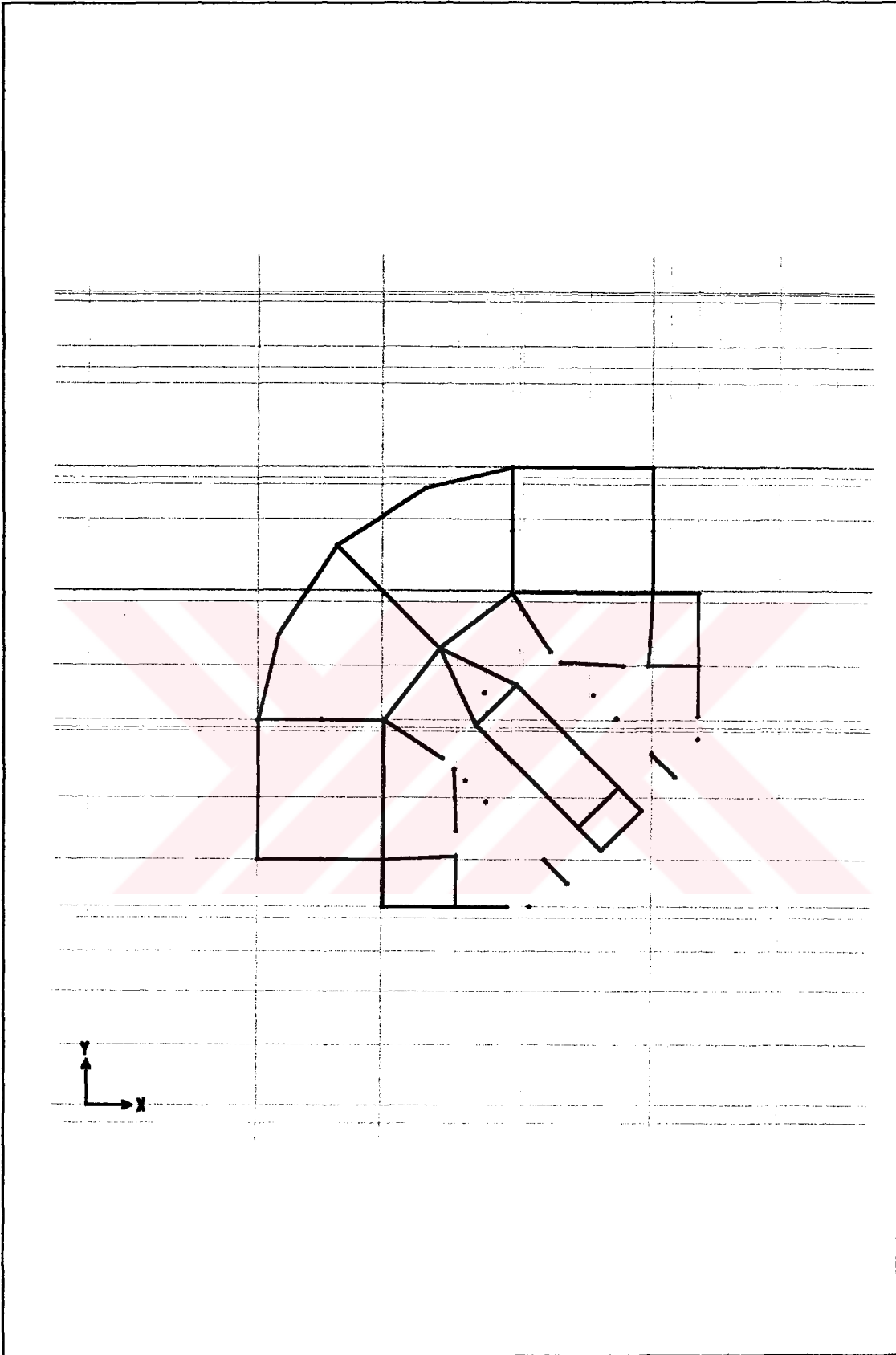
Şekil B.35-Yapının 1-10. katlarının modelinin görünüşü



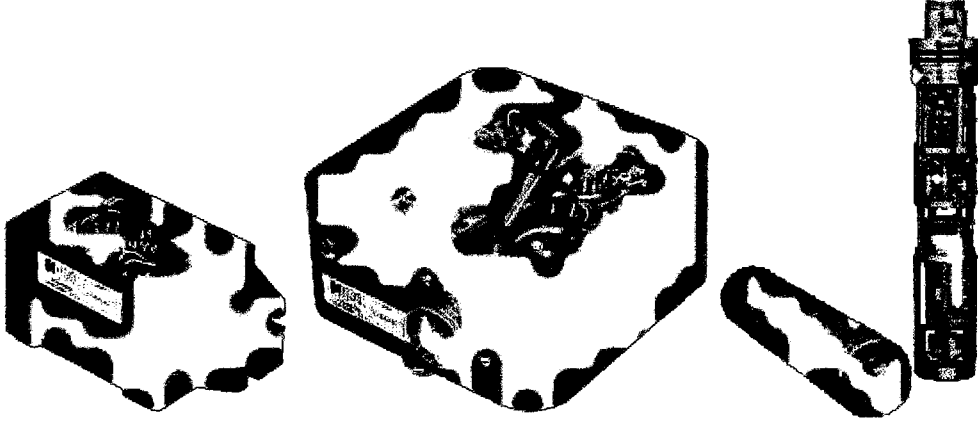
Şekil B.36-Yapının 11-19. katlarının modelinin görünüşü



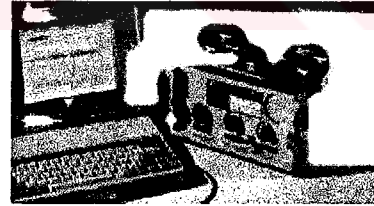
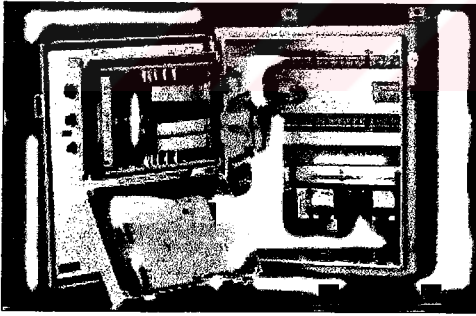
Şekil B.37-Yapının 20-29. katlarının modelinin görünüşü



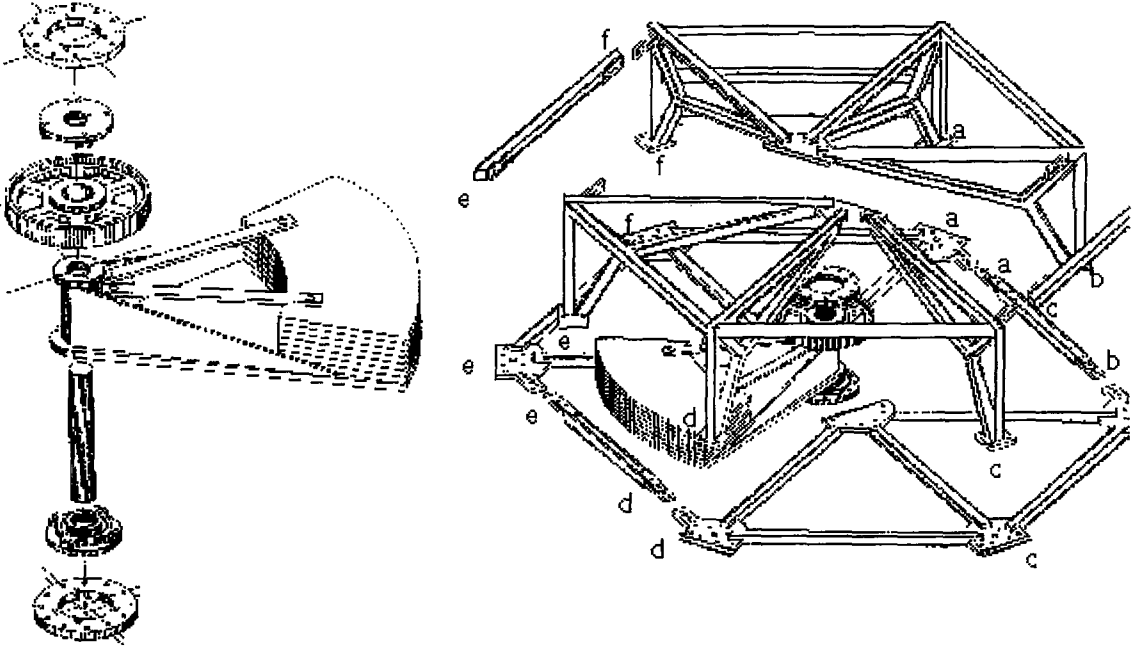
Şekil B.38-Yapının 30-40. katlarının modelinin görünüşü



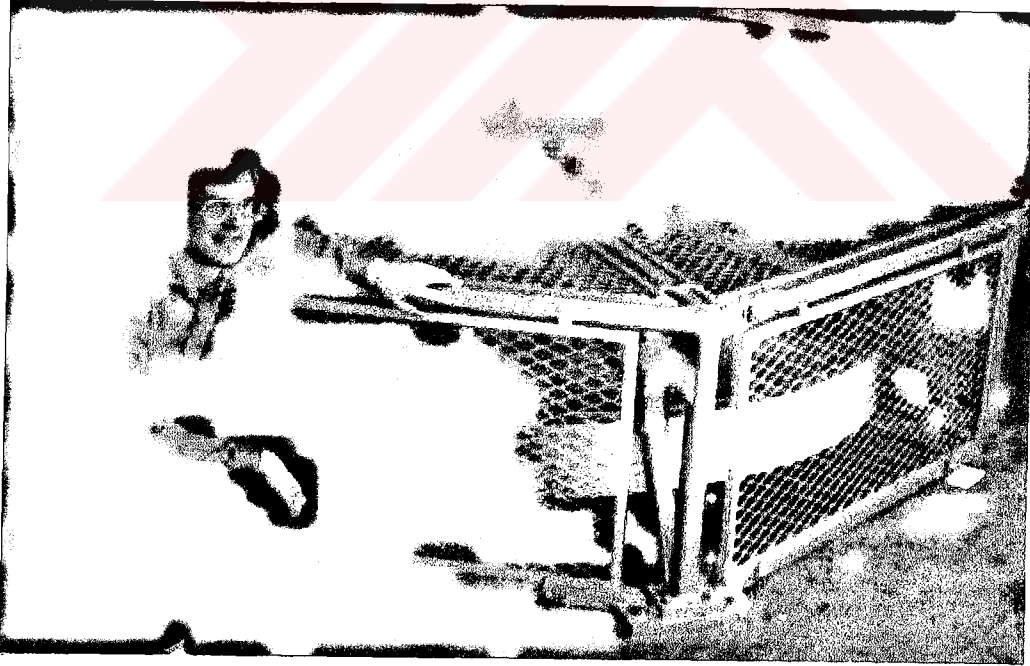
Şekil B.39-Tipik sensör örnekleri (soldan sağa, tek yönlü, üç yönlü, düşey yönlü ölçüm yapabilen).



Şekil B.40-Tipik kayıt cihazları



Şekil B.41a-Tipik titreşim üretici ve mekanik aksamaları.



Şekil B.41b-Binaya yerleştirilmiş titreşim üreticinin görünümü.

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında İstanbul’da doğan Kıvanç KOCACIK, ilköğrenimini Karşıyaka Ankara İlkokulu, ortaöğrenimini Karşıyaka Ortaokulu, lise öğrenimini İzmir Atatürk Lisesi’nde tamamlamıştır. 1998 yılında 9 Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

