



**UZAMSAL ÇELİK UZAY YAPILARIN
DEPREM ETKİSİ ALTINDA
DİNAMİK DAVRANIŞI**

Mehmet FENKLİ

**Yüksek Lisans Tezi
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ISPARTA 2001**

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAMSAL ÇELİK UZAY YAPILARIN
DEPREM ETKİSİ ALTINDA DİNAMİK DAVRANIŞI

106020

Mehmet FENKLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ISPARTA 2001

106020
T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü' ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak Kabul Edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Süleyman KODAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT (Danışman)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Zeki AY

ONAY

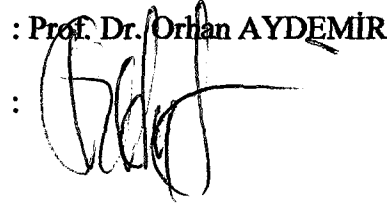
Bu tez 03/08/2001 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu' nca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

03/08/2001

S.D.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Adı ve Soyadı : Prof. Dr. Orhan AYDEMİR

İmza :



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Depremın Meydana Geliş ve Bazı Özellikleri	2
1.2. Çelik ve Çelik Yapılar	4
1.2.1. Çelik	4
1.2.2. Çelik Yapılar	6
1.3. Uzamsal (Spatial) Çelik Uzay Sistemler	8
1.4. Konunun Tanımı, Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	10
1.5. Çalışmada İzlenen Yöntem ve Yapılan Kabuller	11
2. KAYNAK BİLGİSİ	13
3. MATERYAL ve METOT	17
3.1. Materyal	17
3.1.1. Çelik Kubbe Ağ-Kabuklar	17
3.1.1.1. Genel Bilgiler	17
3.1.1.2. Çelik Kubbe Ağ-Kabukların Sınıflandırılması	19
3.1.2. Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemler	25
3.1.2.1. Genel Bilgiler	25
3.1.2.2. Uzay Kafes Sistemlerin Kurulması	26
3.1.3. SAP2000 Yapısal Analiz Programı	28
3.1.3.1. Genel bilgiler	28
3.1.3.2. Grafıksel Kullanıcı Arayüzü	30
3.1.3.3. Yapısal Model	30
3.1.3.4. Koordinat Sistemleri	31
3.1.3.5. SAP2000 Ekranı ve Çalışma sistemi	31
3.1.4. Analize Esas Modellerin Kurulması	45
3.1.4.1. Çalışmaya esas modeller hakkında bilgiler	45
3.1.4.2. Bir Modelin Kurulması	47
3.2. Metot	48
3.2.1. Sap2000 Sonlu Eleman Yapısal Analiz Programı' nda Zaman Tanım Alanı (Time History) Analizi İçin Model Tanımlaması	48
3.2.1.1. Analizin Çalıştırılması	50
3.2.1.2. Sonuçların Kullanılması	51
3.2.1.3. Davranış Spektrumu Bilgisinin Üretilmesi	53
3.2.1.4. Analizin Çalıştırılması	56
3.2.1.5. Sonuçların İrdelenmesi	56
3.2.1.6. Son Açıklamalar	57
3.2.2. Deprem Hesap Yöntemleri	58
3.2.2.1. Adım Adım Çözüm Yöntemi	61
3.2.2.2. Mod Süperpozisyonu Yöntemi	61
3.2.2.3. Response Spektrum Analizi	62

3.2.2.4. Frekans Alanında Çözüm	63
3.2.2.5. Sismik Yük Davranış Spektrumunu Kullanarak Dinamik Analiz	64
3.2.2.6. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi	64
3.2.3. Deprem Hesap Yöntemlerinin Değerlendirilmesi	65
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	67
4.1. Modellere Göre Doğal Frekans Değerleri ve Modlar	67
4.2. Elcentro Depremi Etkisiyle Modellerin Deforme Olmuş Şekilleri ve Maksimum ve Minimum Deplasmanlar	74
4.3. Modellere Göre Taban Kesme Kuvveti Sonuçları	79
4.4. Modellere Göre Taban Momentleri	87
4.5. Analizlere Esas Modellerin Toplam Çelik Sarfiyatları	92
5. SONUÇLAR	96
6. KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ	102



ÖZET

Düzlem sistemlerde kemer veya kırık çerçeve, uzay sistemlerde kabuk veya kubbe formunda, bir mekan örten çubuk sistemlerden meydana gelen ve yüklerin düğüm noktalarına uygulandığı sistemler **uzamsal yapılar** olarak adlandırılmaktadır.

Bilindiği gibi, özellikle büyük açıklıkları geçmek için çelik yapılardan faydalanılır. Gerek mimari sebeplerden dolayı gerekse ekonomik çözümler üretmek için, büyük açıklıklı mekanlarda taşıyıcı sistem olarak kubbe veya kubbe formunda konstrüksiyonlar kullanılır. Çoğu kez, bu tip yapılar düzgün bir geometriye sahip değildir. Dolayısıyla, deprem etkisi altında bu yapıların hesabı için eşdeğer statik yöntemin kullanılması uygun görülmemektedir. Bu nedenle, bu tip yapıların dinamik davranış analizinin yaklaşık yöntemler yerine, dinamik yöntemlerle yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, deprem etkisine maruz Uzamsal Çelik Uzay Yapılarda, yapı geometrisindeki değişimin, hız, deplasman, ivme gibi dinamik büyüklüklere etkisi incelenmiştir. Deprem hesap yöntemi **Zaman Tanım Alanı (Time History)** yöntemidir. Yöntemde, California El Centro (Imperial vadisi depremi-1940) depremi ivme kayıtları Zaman Tanım Alanı (Time History) fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

Uzamsal Çelik Uzay Yapı olarak çok farklı geometriye sahip yapı sistemleri vardır. Böyle bir çalışma kapsamı içerisinde tüm sistemlerin ele alınması olanaksızdır. Bu nedenle geometrik modellerin oluşturulmasında sadece Schwedler ve Zeiss-Dywidag kubbeler çalışmaya esas sistem olarak alınmıştır. Geometri değişiminde ise, **geometrik frekans sayıları ve basıklık oranları** parametre olarak seçilmiştir. Geometrik frekans sayıları (N) 2, 4, 6, 8 ve 10 dur. Basıklık oranları (μ) ise 0.05, 0.15, 0.25, 0.35, 0.50 dir. Sonuç olarak, frekans sayıları ve basıklık oranlarına göre toplam on dokuz ayrı geometriye sahip Uzamsal Çelik Uzay Yapının deprem etkisi altında dinamik davranışı incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER : Uzamsal Çelik Uzay Yapı, Kubbe, Zaman Tanım Alanı Yöntemi, Deprem

ABSTRACT

Curved Structural frames belong to a class of structures where a large proportion of the applied loading is resisted by the axial force in the members. These type-curved frames are called spatial frames. Spatial frames may have two and three dimensions.

As it is known, especially steel structures are used to cover the large span structural systems. Because of architectural and economic conditions, domes or dome formed constructions are used for large span system. In general, this type structures don't have regular geometry. Therefore, for these types, equivalent static lateral force method is not suitable for earthquake analysis. For this reason, dome or dome formed structures have to be analyzed by using dynamic methods instead of equivalent static lateral force methods.

In this study, the effects of geometry changing on the dynamic parameters such as velocity, displacement and acceleration are investigated in the spatial steel space structures subjected to earthquake excitations. Earthquake analysis method is Time History. In this method, El Centro (1940) earthquake acceleration records are used for the Time History Functions.

There are structural systems, which have much different geometry, in spatial steel space structures. It is impossible to take into account all of possible systems. Therefore, in the study, Schwedler and Zeiss-Dywidag domes are used as base systems to form geometric models. In the geometry changing, geometric frequency and rise-span ratios are taken selected as parameters. Geometric frequencies (N) are 2, 4, 6, 8 and 10. Rise-span ratios (μ) are 0.05, 0.15, 0.25, 0.35 and 0.50

As a result, dynamic response of spatial steel space structures that have nineteen different models are investigated according to the number of frequency and rise-span ratios.

KEY WORDS: Spatial Steel Space Structure, Dome, Time History Method, Earthquake.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bilindiği gibi, özellikle büyük açıklıkları geçmek için çelik yapılardan faydalanılır. Gerek mimari sebeplerden dolayı gerekse ekonomik çözümler üretmek için, büyük açıklıklı mekanlarda taşıyıcı sistem olarak kubbe veya kubbe formunda konstrüksiyonlar kullanılır. Çoğu kez, bu tip yapılar düzgün bir geometriye sahip değildir. Dolayısıyla, deprem etkisi altında bu yapıların hesabı için eşdeğer statik yöntemin kullanılması uygun görülmemektedir. Bu nedenle, bu tip yapıların dinamik davranış analizinin yaklaşık yöntemler yerine, dinamik yöntemlerle yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada Uzamsal Çelik Uzay yapılara örnek teşkil edecek iki tip (Schwedler ve Zeiss-Dywidag) kubbenin çeşitli parametreler değiştirilerek oluşturulan on dokuz farklı modeli üzerinde SAP2000 Nonlinear Sonlu Eleman Yapısal Analiz Programı kullanılarak deprem analiz yaptırılmış ve sonuçlar incelenmiştir.

Bu çalışmanın ortaya çıkış süresinde son dönem danışmanlığımı üstlenen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT' e teşekkür ediyorum. Ayrıca, iki yıl süreyle danışmanlığımı sürdüren ve bu süre boyunca ilgisini kesmeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Süleyman KODAL' a teşekkürü bir borç biliyorum.

Çalışmalarında her an bana destek olan Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Zeki AY' a çok teşekkür ederim. Katkı ve yardımlarından dolayı değerli arkadaşlarım Uzm. Gülhan DURMUŞ ve İnş. Müh. M. Afşin DOLUNAY' a içten teşekkürler.

Ayrıca çalışma hayatım süresince her zaman, her yönden bana destek ve moral kaynağı olan sevgili arkadaşlarım, Arş. Gör. Serdal TERZİ ve Arş. Gör. Özlem Gencer TERZİ' ye çok teşekkür ediyorum.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Gerilme-şekil değiştirme diyagramı	5
Şekil 3.1. Radyal nervürlü kubbeler	21
Şekil 3.2. Schwedler kubbeler	22
Şekil 3.3. Ağ (Net-Work) kubbeler	22
Şekil 3.4. Geodezik kubbeler	24
Şekil 3.5. Üçgen tabanlı piramit modül	27
Şekil 3.6. SAP2000 Programı ekranı genel görünümü	31
Şekil 3.7. Modellerde kullanılan basıklık tipleri	45
Şekil 3.8. Modellerde kullanılan geometrik frekanslar	46
Şekil 3.9. Time History Function Definition ve TimeHistory Cases Data Formları	50
Şekil 3.10. El Centro depreminin ivme-zaman grafiği	50
Şekil 3.11. Taban kesmesi grafiği	53
Şekil 3.12. Zaman alanında çatı kotu deplasmanı grafiği	53
Şekil 3.13. El Centro depreminin zaman tanım alanında davranış spektrumu	54
Şekil 3.14. El Centro depreminin ivme kayıtlarının bulunduğu data dosyasının düzenlenmesi	55
Şekil 4.1. ZD.005.8 Modeline Ait Modlar	67
Şekil 4.2. ZD.015.8 Modeline Ait Modlar	67
Şekil 4.3. ZD.035.8 Modeline Ait Modlar	68
Şekil 4.4. ZD.050.8 Modeline Ait Modlar	68
Şekil 4.5. ZD.025.8 Modeline Ait Modlar	68
Şekil 4.6. ZD.025.10 Modeline Ait Modlar	69
Şekil 4.7. ZD.025.6 Modeline Ait Modlar	69
Şekil 4.8. ZD.025.4 Modeline Ait Modlar	69
Şekil 4.9. ZD.025.2 Modeline Ait Modlar	70
Şekil 4.10. SCH.005.8 Modeline Ait Modlar	70
Şekil 4.11. SCH.015.8 Modeline Ait Modlar	70
Şekil 4.12. SCH.025.8 Modeline Ait Modlar	71
Şekil 4.13. SCH.035.8 Modeline Ait Modlar	71
Şekil 4.14. SCH.050.8 Modeline Ait Modlar	71
Şekil 4.15. SCH.025.10 Modeline Ait Modlar	72
Şekil 4.16. SCHT.025.10 Modeline Ait Modlar	72
Şekil 4.17. SCH.025.6 Modeline Ait Modlar	72
Şekil 4.18. SCH.025.4 Modeline Ait Modlar	73
Şekil 4.19. SCH.025.2 Modeline Ait Modlar	73
Şekil 4.20. Sabit Basıklık Oranında (0.25) ve Değişen Geometrik Frekanslarda, X Yönü Maksimum Deplasman Grafiği	75
Şekil 4.21. Sabit Basıklık Oranında (0.25) ve Değişen Geometrik Frekanslarda, Y Yönü Maksimum Deplasman Grafiği	75
Şekil 4.22. Sabit Basıklık Oranında (0.25) ve Değişen Geometrik Frekanslarda, Z Yönü Maksimum Deplasman Grafiği	76
Şekil 4.23 Sabit Geometrik Frekans Sayısında (8) ve Değişen Basıklık Oranlarında X Yönü Maksimum Deplasman Grafiği	76

Şekil 4.24 Sabit Geometrik Frekans Sayısında ve Değişen Basıklık Oranlarında Y Yönü Maksimum Deplasman Grafiği	77
Şekil 4.25 Sabit Geometrik Frekans Sayısında ve Değişen Basıklık Oranlarında Z Yönü Maksimum Deplasman Grafiği	77
Şekil 4.26. SCH.025.2 Modeline ait 10 no' lu düğüm noktasında, Z yönünde meydana gelen deplasmanın zamana bağlı olarak değişimi	78
Şekil 4.27. ZD.035.8 Modeline Ait Deplasman Şekli	78
Şekil 4.28. ZD.035.8 modeline ait maksimum deplasman yapan "1" nolu düğüm noktasının deplasmanının zamana bağlı değişimi	79
Şekil 4.29. El Centro Depremi' nin 10 sn'lik ivme zaman grafiği	81
Şekil 4.30. SCH.035.8 modeline ait X yönü taban kesme kuvveti diyagramı	82
Şekil 4.31. SCH.035.8 modeline ait Y yönü taban kesme kuvveti diyagramı	83
Şekil 4.32. SCH.035.8 modeline ait Z yönü taban kesme kuvveti diyagramı	83
Şekil 4.33. Basıklık Oranı Sabit (0.25) Tutularak Geometrik Frekans Sayısına Göre X Yönündeki Taban Kesme Kuvvetleri Değişimi	84
Şekil 4.34. Basıklık Oranı Sabit (0.25) Tutularak Geometrik Frekans Sayısına Göre Y Yönündeki Taban Kesme Kuvvetleri Değişimi	84
Şekil 4.35. Basıklık Oranı Sabit (0.25) Tutularak Geometrik Frekans Sayısına Göre Z Yönündeki Taban Kesme Kuvvetleri Değişimi	85
Şekil 4.36. Geometrik Frekans Sayısı (8) Sabit Tutularak Basıklık Oranına Göre X Yönündeki Taban Kesme Kuvvetleri Değişimi	85
Şekil 4.37. Geometrik Frekans Sayısı (8) Sabit Tutularak Basıklık Oranına Göre Y Yönündeki Taban Kesme Kuvvetleri Değişimi	86
Şekil 4.38. Geometrik Frekans Sayısı (8) Sabit Tutularak Basıklık Oranına Göre Z Yönündeki Taban Kesme Kuvvetleri Değişimi	86
Şekil 4.39. SCH.035.8 modeline ait X yönü taban momenti diyagramı	88
Şekil 4.40. SCH.035.8 modeline ait Y yönü taban momenti diyagramı	88
Şekil 4.41. SCH.035.8 modeline ait Z yönü taban momenti diyagramı	89
Şekil 4.42. Basıklık Oranı Sabit (0.25) Tutularak Geometrik Frekans Sayısına Göre X Yönündeki Taban Momentleri Değişimi	89
Şekil 4.43. Basıklık Oranı Sabit (0.25) Tutularak Geometrik Frekans Sayısına Göre Y Yönündeki Taban Momentleri Değişimi	90
Şekil 4.44. Basıklık Oranı Sabit (0.25) Tutularak Geometrik Frekans Sayısına Göre Z Yönündeki Taban Momentleri Değişimi	90
Şekil 4.45. Geometrik Frekans Sayısı Sabit (8) Tutularak Basıklık Oranlarına Göre X Yönündeki Taban Momentleri Değişimi	91
Şekil 4.46. Geometrik Frekans Sayısı Sabit (8) Tutularak Basıklık Oranlarına Göre Y Yönündeki Taban Momentleri Değişimi	91
Şekil 4.47. Geometrik Frekans Sayısı Sabit (8) Tutularak Basıklık Oranlarına Göre Z Yönündeki Taban Momentleri Değişimi	92
Şekil 4.48. Modellerin Geometrik Frekans Sayısı Değişimine Göre Toplam Malzeme Ağırlığı	93
Şekil 4.49. Modellerin Basıklık Oranı Değişimine Göre Toplam Malzeme Ağırlığı	94
Şekil 4.50. Modellerin Çubuk atama ve Otomatik Analiz için İsimlendirme mantığının tanımı	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Çelik Emniyet Gerilmesi	6
Çizelge 4.1. Modellere Göre Maksimum ve Minimum Nokta Deplasmanları	74
Çizelge 4.2. El Centro Depremi' nin Dijital ivme kayıtları	80
Çizelge 4.3. Modellere Göre Maksimum ve Minimum Taban Kesme Kuvvetleri	82
Çizelge 4.4. Modellere Göre Maksimum ve Minimum Taban Momentleri	87
Çizelge 4.5. Modellere Göre Toplam Çelik Sarfiyatları	93
Çizelge 4.6 ZD.025.8 Modeline Ait Hesap Sonucu Profilleri	95



1.GİRİŞ

Deprem, önceden uyarı olmaksızın yerkabuğunun çeşitli sebeplerden dolayı titreşimi ile meydana gelen en büyük doğal afetlerden birisidir. Deprem meydana gelmeden önce bazı ön belirtiler olsa bile depremin önceden güvenilir biçimde tahmin edilmesi günümüzde de mümkün değildir. Halen dünyanın önemli bir kısmı aktif deprem bölgesidir ve bu bölgelerde de nüfusun yoğunluğu oldukça fazladır (Ay, 1995).

Deprem kuşağı olarak adlandırılan sık sık ve şiddetli depremlerin olduğu aktif deprem bölgelerinde meydana gelen yer hareketlerinin inceleme işi deprem mühendisliği açısından büyük önem taşır. Deprem mühendisliği bilim dalı, yer hareketini inceleyen "sismoloji" ve yer hareketine yapıların verdiği cevabı inceleyen "yapı dinamiği" bilim dallarının birlikte ele alındığı bir bilim dalıdır. Deprem mühendisliği, yapılarda hasar meydana getiren kuvvetli yer hareketleri ile ilgilenmesi açısından sismoloji biliminden yararlanır. Diğer taraftan her türlü yapının deprem etkisi altında davranışının incelenmesi noktasında, deprem mühendisliğinin konusu olarak karşımıza gelmektedir. Depremlerin, yer kabuğu (tektonik) hareketi, volkanik ve nükleer patlamalardan, yer altında meydana gelen büyük göçüklerden dolayı meydana gelir (Ay ve Keskin, 1996).

Deprem sırasında meydana gelen yer hareketi, yerkabuğunda meydana gelmiş gerilme yığılmalarının veya deformasyon enerjisi birikimlerinin jeolojik fay hatlarında meydana gelen ani kaymalarla serbest kalmaları sonucu ortaya çıkan sismik dalgalar tarafından oluşturulur. Yerkabuğunun ve burada depolanmış deformasyon enerjisi boşalmalarının harmonik olması, deprem hareketinin de oldukça karmaşık olmasına sebep olmaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımının önemli iki adımından biri yapının taşıyıcı sisteminin iyi düzenlenmesi ve inşaatta kullanılan malzemenin yeterli kalitede olmasıdır. Diğerisi ise, bu yapıda depremin oluşturacağı kesit zorlarını yeterli yaklaşıklıkla belirleyerek, bunları yapının karşılamasını sağlamaktır. Deprem etkisi, yapıları alışılmış yüklerin üzerinde zorlayarak, yapının tasarımında ve uygulamasında yapılmış hataları ortaya çıkarır.

Yüklere ve deplasmana maruz kalan bütün gerçek yapılar dinamik davranış sergilerler. Eğer, yapıya uygulanan veya gelen kuvvet yapıya çok yavaş bir şekilde etki ediyorsa atalet etkileri ihmal edilir. Yani bir cisme gelen etkinin frekansı, cismin en küçük doğal titreşim frekansının yaklaşık olarak $1/3'$ ünden küçük ise atalet etkileri ihmal edilebilir ve böyle problemler statik olarak ele alınır (Cook, vd.,1989).

Eğer etkinin frekansı yapının en küçük doğal titreşim frekansının yaklaşık olarak $1/3'$ ünden büyükse atalet etkileri önem kazanır ve böylece problem, dinamik problem olarak tanımlanır. Bir dinamik problem ya dalga yayılımı problemi ya da yapı dinamiği problemi olarak esasta iki sınıfa ayrılır (Cook, vd., 1989).

Yapı dinamiği problemleri de kendi arasında iki kısma ayrılır. Birincisinde mod şekillerine karşı gelen titreşim frekanslarını ararız ve böylece yapının titreşim frekansları ile etkinin frekansını karşılaştırabiliriz. İkincisinde yapının mesnet hareketini inceleriz. Buna "Time-History Analysis" denir.

Deprem, yapı üzerindeki etkilerini ve yapı elemanlarında meydana getirdiği zorlanmaları hesaplamak için çeşitli deprem hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Kullanılacak hesap yöntemi, deprem bölgesine, yapı yüksekliğine ve yapı düzensizliklerine bağlı olarak seçilir.

1.1. Deprem Meydana Gelişi ve Bazı Özellikleri

Doğal afetlerin en önemlilerinden biri olan deprem, yerkabuğunun bir titreşimi olduğu için, yapıların mesnetlerinde zamana bağlı bir yer değiştirme hareketi doğurarak dinamik bir etki oluşturur. Deprem meydana gelmesi dünyanın yapısı ile ilgilidir. Dünyamız yaklaşık olarak, 6400 km yarıçapında, küresel bir şekle sahiptir. Depremler yerkabuğunun titreşimi olduğu için, titreşimlerin yayılması dünyanın içindeki yapısal durumla yakından ilgilidir. Dünyanın yapısı incelendiğinde, farklı özellikte üç tabakanın varlığı ortaya çıkmıştır. Bunlar, çekirdek, manto tabakası ve dış kabuk tabakasıdır. Çekirdeğin 3500 km yarıçapı ile en azından dış tabakalarının sıvı olması nedeniyle, burada enine şekil değiştirmelerle ilerleyen dalgalar yayılmaz.

Manto tabakası, kabuk tabakası ile çekirdek arasında sürekliliği sağlar. Yeryüzünü oluşturan kabuk tabakasının kalınlığı ve birleşimi oldukça farklılıklar gösterir.

Depremler oluş nedenlerine göre değişik türlerde olabilir. Levhaların hareketi sonucu olan depremler, genellikle “tektonik” depremler olarak nitelenir ve bu depremler çoğunlukla levhaların sınırlarında oluşurlar. İkinci tip depremler “volkanik” depremlerdir. Bunlar volkanların püskürmesi sonucu oluşurlar. Yerin derinliklerinde ergimiş maddenin yeryüzüne çıkışı sırasında fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalarla bu tür depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bir başka tip depremler de “çöküntü” depremlerdir. Bunlar yeraltındaki boşlukların, kömür ocaklarında galerilerin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu olan boşlukların tavan bloğunun çökmesi ile oluşurlar (Deprem, 1984).

Depremlerin çok büyük bir bölümü, yer kabuğunda soğuma veya çeşitli etkilerden meydana gelen şekil değiştirme enerjisinin ani olarak açığa çıkmasından meydana gelir. Böyle bir olay sırasında yer kabuğunu oluşturan plakalar, kendisini sınırlayan çizgiler olan faylar boyunca ani olarak kayar. Bu tür tektonik depremde ortaya çıkan yer değiştirme dalgaları, sönmümlenerek uzaklara yayılır. Deprem yer ve şiddetine göre yer kabuğunda yeni fayları da oluşturabilir. Deprem hareketinin bu tür açıklanmasına, Elastik Geri Sekme Teorisi denir (Celep ve Kumbasar, 1993).

Plaka tektoniği olarak bilinen bilim dalı, yer kabuğunun birkaç parçadan oluştuğunu, bu plakaların birbirine göre hareket ettiklerini kabul etmekte ve birçok tektonik olayı bu esasa göre açıklamaktadır. Yer kabuğunda artan gerilmeler zayıf olan çizgiler üzerinde veya belirli zayıf bölgelerde yer kabuğunun taşıma gücünü aşarak, ani bir kayma oluşur. Böylece uzun zamanda toplanan şekil değiştirme enerjisi, kayma hareketi ile yer kabuğunun taşıyabileceği seviyeye ani olarak iner. Yer kabuğunda meydana gelen kaymanın, bir dalga hareketi olarak yayılması sonucu oluşan yüzey titreşimleri, deprem olarak algılanır (Polat, 1994).

Depremler nedeniyle yerkürenin dış kısmını oluşturan kabukta meydana gelen yırtılmaya fay adı verilmektedir. Faylar açığa çıkan enerjinin miktarına ve odak

derinliğine göre de yeryüzünde gözlenebilirler. Depremin büyüklüğü, yerküredeki yırtılma sırasında boşalan enerji ve fayın boyutu ile ilgilidir (Sucuoğlu, 1996). Yerkürenin derinliklerinde depremin meydana geldiği noktaya odak noktası denir. Yerkürenin yüzeyinde odak noktasına en yakın noktaya merkez üstü adı verilir. Merkez üstü ile odak noktası arasındaki mesafeye odak derinliği adı verilir. Odak derinliği, 0-50 km arasında olan depremlere yüzeysel depremler, 50-300 km arasında olan depremlere orta derinlikte depremler ve odak derinliği 300 km den fazla olan depremlere derin depremler adı verilmektedir. Yüzeysel depremler az bir alanda etki göstermekte, ancak hasar çok olmaktadır. Orta ve derin depremler ise büyük alanda etki göstermekte ve hasar az olmaktadır (Tuna, 1991).

Afet yönetmeliğine göre depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde, yapılardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarların onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacıyla yapıların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir (Gençer, 2000).

1.2. Çelik ve Çelik Yapılar

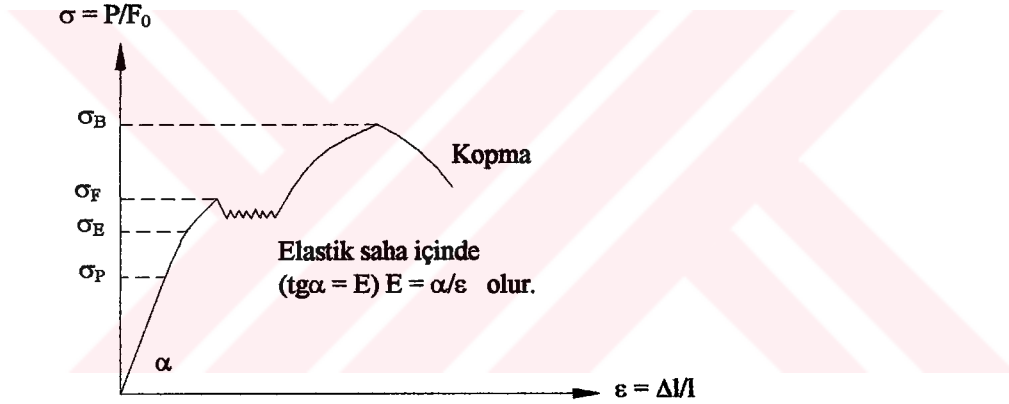
1.2.1. Çelik

Çelik, dövülerek, preslenerek, haddeden geçirilerek şekil verilebilen bir demir alaşımıdır. Saf demir özellikleri itibariyle yapı malzemesi olarak kullanılmaz. Çeliğin özelliğini belirleyen en önemli eleman karbondur. Karbon çeliğin sertliğini ve mukavemetini artırır. Aynı zamanda da kırılma uzamasını ve çekme mukavemetini azaltır (Karaduman, 1999).

Çelik demir cevherinden elde edilir. Demir cevheri tabiatta saf olarak bulunmaz, oksit, hidroksit veya karbon halinde diğer maddelerle karışık halde bulunur. Karışımında bulunan zararlı maddelerin (fazla karbon, kükürt, fosfor, arsen, bakır, silisyum, azot vs.) belirli bir yüzdeye kadar uzaklaştırılması ve bazı maddelerin (krom, bakır, manganez, silisyum, molibden) de ilave edilmeleri gerekmektedir.

En çok kullanılan çelik cinsi ST 37 çeliğidir (buradaki 37 sayısı kg/mm^2 cinsinden kopma, kırılma mukavemetini ifade eder). Karabük ve Ereğli Demir Çelik Fabrikalarının imal ettikleri çelik bu cinstendir. ST 00 yapı çeliği olarak isimlendirilen çelik de ST 37 niteliğindedir. Yalnız emniyet gerilmeleri ST 37' den düşüktür. Bundan başka önemli diğer bir çelik cinsi olarak, St 52 çeliği mevcuttur. Daha yüksek mukavemetli bir çelik olan ST 52 çeliği daha ziyade köprü inşaatlarında kullanılır. Bunlardan başka perçinlerin yapılmasında kullanılan ST 34 ve ST 44 çelikleri ve ayrıca bulon çelikleri mevcuttur.

Yapı çeliklerinin elastik özellikleri çekme deneyi ile tespit edilir. Şekil 1.1' de çekme deneyinde elde edilen gerilme-uzama (σ - ϵ) diyagramı görülmektedir.



Şekil 1.1. Gerilme-şekil değiştirme diyagramı (Erşen, 1996)

Yapı çeliklerinin uzamaları, elastik sınır (σ_E) aşılmadığı müddetçe elastiktir. Yani yük kaldırılınca uzama da yok olur. Çelik yapıların incelenmesinde $\sigma_E = \sigma_P$ alınabilir. σ ve ϵ arasında doğrulan bir münasebetin mevcut olduğu bu saha elastik saha olup Hook kanununun geçerli olduğu sahadır. Σ ve ϵ arasındaki bu doğrulan münasebet Hook kanunu adını alır.

Gerilme σ_F akma gerilmesi değerine eriştiğinde malzemede büyük plastik deformasyonlar meydana geldiğinden, çelikte emniyet gerilmeleri akma sınırına göre tayin edilmiştir (Erşen, 1996). Çizelge 1.1.' de en çok kullanılan çelik türlerinin emniyet gerilmeleri verilmiştir.

Çizelge 1.1. Çelik Emniyet Gerilmesi (kg/cm²) (Odabaşı, 1997)

Çelik Türü	σ_a	"TS 648" e göre				"DIN 18800" e göre					
		$\sigma_{çem}$		τ_{em}		$\sigma_{çem}$		σ_{bem}		τ_{em}	
		H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ
St 37	2400	1440	1656	831	956	1600	1800	1400	1600	900	1050
St 52	3600	2160	2484	1247	1434	2400	2700	2100	2400	1350	1550

1.2.2. Çelik Yapılar

Çelik karkas yapılar, taşıyıcı iskeleti çelik olan çok katlı yapılar olarak tanımlanabilir. Bu yapı türünün tarihçesi, dökme demirin binalarda ilk defa 19. yüzyılın ortalarında kullanılmasıyla başlamaktadır. Demir cevherinden büyük ölçüde ham demir üretimine geçiş 1720 ve ilk font köprünün yapılışı 1778 tarihleri göz önüne alındığında, çeliğin binalarda oldukça geç tarihlerde kullanılmaya başlaması dikkat çekicidir.

19. yüzyıl ortalarından sonlarına kadar (1850-1890) Amerika' daki çok katlı yapılar, kolon ve ana kirişleri font ve diğer yapı elemanları da çeşitli yapı malzemelerinden olmak üzere inşaa edildi. Demir elemanlarının bağlantıları bulon kullanılarak el ile yapıldı. Dökme demire istenilen şeklin kolayca verilebilmesi yapı cephelerinde oldukça süslü mimari formların kullanılmasına olanak sağladı. Bu yapılarda rijitliğin az olması ve yangın emniyetinin olmaması yüzünden kat sayısı beş olarak sınırlı kaldı.

19. yüzyıl sonlarına doğru özellikle New York' ta arazi fiyatlarının artması ve konut ihtiyacı, yüksek yapı inşaatını bir zorunluluk haline getirdi. Bu arada, asansör yapımındaki teknolojik gelişme ve yangına karşı korunma yöntemlerinin gelişmesi de yüksek yapıların kullanım kolaylığını ve emniyetini artırdı.

New York' ta köprülerden sonra taşıyıcı iskeleti çelik olan ilk yüksek yapı, 1883 yılında inşaa edilen Hürriyet Anıtı (Statue of Liberty) olmuştur. Chicago' da ise ilk çelik yapının kullanılmaya başlanması endüstrideki gelişimi hızlandırdı ve 1890 dan

1893 e kadar çelik yüksek yapıların çoğu burada inşaa edildi. Yüksek yapı tarihinde, 1913 yılında tamamlanmış olan 55 katlı Woolworth Tower önemli bir yer tutmaktadır. Bu yapı, 1930 senesine kadar dünyanın en yüksek yapısı olma özelliğini korumuştur. 1930 senelerinde, 102 katlı Empire State Building inşaatıyla yüksek yapıda önemli aşamalar kaydedilmiştir. II. Dünya Savaşı' ndan sonraki yüksek yapılarda bölme duvarlarında ilk defa olarak hafif yapı elemanları kullanılmaya başlandı.

Bina inşaatlarında gelişme sağlayan önemli bir faktör de 1881 yıllarında ilk olarak elektrik kaynağının kullanılmaya başlanmasıdır.

Zamanla, elektronik hesap makinalarındaki gelişme ve hesap metotlarına getirilen yeni yöntemler, yüksek yapıların taşıyıcı sistemlerinde daha zarif çözümlerin uygulanabilmesini sağladı. Empire State Building' in yüksekliğini aşan ilk bina, 1970' de inşaaı tamamlanan 110 katlı Word Trade Center oldu. Daha sonra Chicago' da, Sears Towers (109 kat-1450 feet) tüp sistemi ile yapıldı.

Sürekli artmakta olan çelik cinsleri ve profiller, kaynak, bulon ve yüksek mukavemetli bulonlardaki gelişmelerle, çelik karkas yapıların geleceği bundan böyle mimar, mühendis ve konstrüktörlerin yeteneğine bağlı kalmaktadır.

Çeliğin ilk yüksek yapılarda kullanılması ve halen diğer yapı malzemelerine oranla yoğun biçimde kullanılmakta olması, inşaatın çeşitli safhalarında gösterdiği üstünlük nedeniyledir. Bunlar ana hatlarıyla, projelendirmede, büyük açıklık geçmede rahatlık, küçük kolon kesitleri, yapı yüksekliğinin fazla olabilmesi, yüksek mukavemet elde edilmesi, yapı ağırlığının azlığı ve tesisat geçirmede kolaylı olarak sıralanabilir. İnşaat safhasında da prefabrik elemanların montajı sayesinde yapı süresinin kısalığı, montajının hava şartlarından bağımsız olması, kuru inşaat tarzı, küçük şantiye alanı gereksinimi gibi avantajlar sağlar. Diğer taraftan kullanma sırasındaki olanaklar da küçümsenemeyecek ölçüdedir. Hacimlerin kullanılmasında önemli derecede kolaylıklar sağlar. Yapının kullanılış amacının değiştirilebilmesi olanağı sayesinde yapı ömrü uzamaktadır.

Bütün bu üstünlüklerin iyi değerlendirilmesi projelendirme safhasında, çelik malzemenin özelliklerinin sürekli olarak göz önünde tutulmasıyla mümkündür (Özgen ve Aşkar, 1983).

1.3. Uzamsal (Spatial) Çelik Uzay Sistemler

Uzamsal (Spatial) sistem kavramından kastedilen, düzlem sistemlerde kemer veya kırık düzlem çerçeve, uzay sistemlerde kabuk veya kubbe formunda, bir mekanı örten çubuk sistemlerden müteşekkil yapılar kastedilmektedir. Uzamsal yapılar rijit veya mafsallı düğüm sistemine sahip olabilirler. Bu durumda uzay çerçeve veya kafes sistem olarak analiz için modellenir. Birçok yapı elemanı bir noktada birleşerek düğüm sistemi meydana getirdiği için, bu yapıların düğümleri yüksek hiperstatiklik derecesine sahiptir. Yapıya gelen yüklerin düğüm noktalarına tatbik edilmesi yüklemeye en önemli esastır. Kabul edilmelidir ki yüksek hiperstatikliğe sahip bu sistemlerde yüklerin doğrudan elemanlara gelmesi yapının analizini oldukça zorlaştıracaktır (Ay, 1993).

Kabuk veya kabuk formunda (sürekli veya süreksiz) yapılan çok eski zamanlardan beri, açıklıkları örtmek amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. Özellikle estetik ve ekonomik açıdan sağladığı faydalar, mühendislerin her zaman bu tip yapılara karşı özel bir ilgi duymalarına sebep olmuştur.

İlk zamanlar, kagir malzemedan yapılan kabuk yapılar, dairesel plandaki mekanları örtmek amacıyla kubbe formunda, dikdörtgen plandaki mekanları örtmek amacıyla tonoz formunda kullanılmaktaydı. İnşaat teknolojisindeki gelişmeye paralel olarak zamanla çok farklı geometriye sahip mekanları örtmek için çeşitli kabuk tipleri bir arada kullanılmaya başlandı.

Özellikle 19. yüzyıl sonlarından itibaren betonarme ve çelik üretim teknolojisindeki gelişmeye paralel olarak betonarme ve çelik kabuk sistem yapılar inşaa edilmeye başlandı. Özellikle 1811 yıllarından itibaren çeliğin kabuk sistemlerin inşaatında kullanılmaya başlandığını görüyoruz. Pik ya da kaba demir elemanların kullanıldığı ilk yıllardan sonra, çelik üretim teknolojisinde hızlı gelişmelerin olduğu 19. yüzyılda

büyük açıklıkların örtülmesinde çok değişik yüzey formlarında uzamsal çelik uzay yapılar inşa edilmişlerdir.

Bu yüzyılda yapılmış (1867-1871) ve hala ayakta duran çelik uzamsal uzay yapılar eksen uzunlukları 76-56 m ve oval bir plana sahip Royal Albert Hall' ı örten Londra kubbelerini örnek verebiliriz (Ay, 1993).

Günümüze kadar yapılan çeşitli geometrik formlardaki çelik uzay sistem yapılar genellikle dizayn edenlerin adları ile anılmaktadırlar. Bu kubbelerden örnek verecek olursak, Fobble, Zimmerman, Fuller, Mohr kubbelerini sayabiliriz.

Uzamsal çelik uzay yapıların sınıflandırılmasını konu ile ilgili çeşitli bilim adamları aşağıdaki şekilde yapmaktadır :

- A. Hat (tabaka) sayısına göre
 1. Tek hatlı
 2. Çift hatlı
- B. Yüzey geometrisine göre
 1. Tonoz sistemler
 2. Kubbe sistemler
 - a. Nervürlü kubbeler
 - b. Schwedler kubbeler
 - c. Üç doğrultuda ızgara kubbeler
 - d. Paralel levhali kubbeler
 - e. Geodezik kubbeler
 3. Diğer formda yüzeye sahip sistemler
- C. Düğüm noktalarına göre
 1. Rijit düğüm noktalı
 2. Mafsal düğüm noktalı
- D. Plan tipine göre
 1. Dairesel planlı
 2. Dikdörtgen veya kare planlı

3. Oval planlı
4. Çokgen planlı v.s.

Diğer taraftan, çeşitli literatürlerde, sınıflandırma ve yapının tanımlanmasıyla ilgili kavram farklılıklarının bulunduğunu bu konuda henüz standartlaşmanın tamamlanmadığını belirtmek gerekir (Ay, 1993).

1.4. Konunun Tanımı, Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yapıların hesabının amacı, yapının faydalı ömrü boyunca maruz kalacağı çeşitli etkileri emniyetli bir şekilde karşılamasıdır. Yapının dinamik yüklere göre hesabının amacı da, benzer şekilde, yapıya gelebilecek dinamik etkileri emniyetli bir şekilde karşılaması, böylece olası mal ve can kayıplarının en aza indirilmesidir.

Bilindiği gibi, yapıya gelen etkinin frekansı, yapının en küçük doğal frekansının yaklaşık 1/3' ünden küçük ise, yapı atalet etkileri ihmal edilir ve problem statik bir problem olarak ele alınır. Eğer, etkinin frekansı, yapının en küçük doğal frekansının yaklaşık 1/3' ünden büyükse atalet etkileri önem kazanmaktadır ve bu durumda, problem bir dinamik problem olarak ele alınmaktadır (Ay, 1993).

Dinamik problem ise, y dalga yayını ya da yapı dinamiği problemi olarak ikiye ayrılır. Yapı mühendisliği açısından bizi yapı dinamiği problemleri ilgilendirmektedir. Yapı dinamiği problemleri de genelde ikiye ayrılır. Birincisinde, mod şekillerine karşı gelen titreşim frekanslarını ararız ve böylece titreşim frekansı ile etkinin frekansını karşılaştırırız. İkincisinde, yapının mesnet hareketlerini veya önceden belirli yük altında yapının zamanla değişen hareketleri incelenir. Buna yapı dinamiğinde, "Dinamik Davranış Analizi (Dynamic Response Analysis veya Time History Analysis)" denir (Ay, 1993).

Bu çalışmada, halen dünyada yaygın olarak kullanılmakta olan uzamsal (spatial) çelik uzay yapıların deprem etkisi altında bu tip yapıların hareketinin zamanla değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamı içerisinde

gerçekleştirilen uzamsal çelik uzay yapıların deprem etkisi altında dinamik davranışının incelenmesinin gerekçesi ise aşağıdaki şekilde izah edilebilir.

Bilindiği gibi, herhangi bir etkiden dolayı titreşen bir sistemin doğal frekansı ile etkinin frekansı uyuşacak olursa, yani üst üste gelecek olursa “Rezonans” olayı meydana gelir. Rezonans olayı neticesinde çok büyük salınımlara maruz kalan yapı fonksiyonunu kısmen ya da tamamen kaybedebilir. Bu nedenle sadece sistemin kütle ve rijidliklerinin dağılımına bağlı olan frekanslarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma kapsamında ele alınan yapıların, dinamik davranışlarının incelenmesinin amacı ise, yapıların deprem etkisi altında hareketinin zamanla değişimini incelemek, böylece hız, deplasman, ivme gibi dinamik büyüklüklerinin yapı geometrisindeki değişim ile ilişkilerini tespit etmektir.

1.5. Çalışmada İzlenen Yöntem ve Yapılan Kabuller

Bu çalışma kapsamı içerisinde farklı bölümlenme sistemine sahip olan iki tip daire tabanlı uzamsal çelik uzay yapı ve bunların 5 tip frekans sayısı (N) ve 5 tip basıklık oranına (μ) göre çeşitli kombinasyonları ele alınmıştır. Her tip yapıya ait 9 ayrı model AutoCAD2000 ve SAP2000 programlarında uzay kafes olarak modellenmişlerdir. Daha sonra 0.05, 0.15, 0.25, 0.35, 0.50 basıklık oranları ve 2, 4, 6, 8, 10 frekans sayılarına göre modellenen 19 ayrı model üzerinde, Elcentro depremi dijital ivme değerleri kullanılarak ayrı ayrı Time History’ e göre analizleri yapılmış ve bu analiz sonuçları tek tek incelenerek karşılaştırmaları yapılmıştır.

Özet olarak her tip yapının deprem etkisi altında dinamik davranışı, herhangi bir basıklık oranıyla ve frekans sayısı ile ilgili hesap sonuçları, ayrı ayrı çıktı alınarak incelenmiştir.

Bu çalışmada, problemlerin çözümlenmesinde temel kabuller şöyledir :

- Sistem geometri yönünden lineerdir.
- Malzeme lineer elastiktir.
- Deprem yükleri Time History Yöntemi' ne göre analiz edilmiştir.
- Çubuklar doğru eksenli ve prizmatiktir.



2. KAYNAK BİLGİSİ

Tatemichi vd. (1997), ince cidarlı bir kubbe ve germe bir sistemden oluşan bir asma kubbe yapısal sistemi tanıtmışlar ve tam ölçekli bir yapı üzerinde vibrasyon (titreşim) deneylerinin sonuçlarını ve genel bir görünümünü vermişlerdir. Bu deneyler asma kubbenin vibrasyon özelliklerini ortaya çıkarmıştır. Dizayn bilgisine bağlı analitik sonuçlar ve deney sonuçları arasındaki yakın uyuşma, kullandıkları dizayn metodunun uygun olduğunu doğrulamıştır. "Elastik deprem davranışı analizi" sayesinde deprem hareketlerine özellikle dikey hareketlere karşı asma kubbenin etkililiğini doğrulamışlardır.

Ishikawa ve Kato (1997), çalışmalarında dikey deprem hareketine maruz dinamik eğim davranışı üzerinde önemli olan bir metot sunmuşlardır. Çalışmalarını büyük bir kubbenin elemanlarının elastik-plastik eğimi üzerinde aynı zamanda kubbenin global kabuğa benzer eğimi üzerinde de odaklamışlardır. Tahmini çökme ivmeleri için bir metot önerirken, analiz boyunca, ileri sürülen analitik metodun etkililiğini tartışmışlardır.

Kato vd. (1997), çalışmalarında, hem yüksek artış hem de düşük artış için kubbeler uygulanan statik olarak eşdeğer sismik kuvvetlerin nasıl tahmin edildiği ve kubbelerin dinamik olarak hangi çökme ivmeleri altında çöktüğünün nasıl tahmin edildiği görüş noktalarından hareket ederek, yatay deprem hareketlerine maruz tek tabakalı karma sistem kubbelerin dinamik davranış özelliklerini araştırmışlardır. Bu amaçlar için lineer davranış analizleri, lineer eğim analizleri, geometrik ve materyal olarak nonlineer statik analizler ve geometrik ve materyal olarak nonlineer deprem davranış analizleri yapmışlardır.

Kunieda (1997), çalışmasında, matematiksel analitik çözümler kullanarak Kobe depremine maruz, yoğunluğun sayısal sonuçlarını, davranış ivmelerinin dağıtımını küresel kubbelerin gerilmelerini ve silindirik çatı kabuklarını vermiştir. Gerilmelerin özellikle silindirik çatı kabuklarının iç düzlem kesme gerilmesinin, Kobe depreminin NS-bileşenleri gibi böyle bir sınıfın depremlerine maruz kaldığı zaman oldukça büyük olduğunu görmüştür.

Saka ve Taniguchi (1997), çalışmalarında, Hyogoken-Nanbu depremi olarak bilinen depremle uzamsal yapılara sebep olunan hasarların bir incelemesinin sonuçlarını göstermişlerdir. Yazarlar depremin ikinci gününden sonra uzamsal yapılara olan hasarı incelemeye başlamışlardır. Bütün sonuçlar felaket bölgeleri boyunca gezintileri esnasında elde edilmiştir. Yazarlar, bu çalışmalarının mühendisler ve araştırmacılar için kullanışlı olabileceğine inanmalarına rağmen, incelemenin sonuçları bir istatistiksel rapor olarak hizmet vermez.

Horr ve Schmidt (1996), çalışmalarında, kesirli hesap teorisi ve spektral vibrasyon teorisine bağlı olarak, (spektral olarak formüle edilmiş yeni bir sonlu elemanlar metodu analizi) ilave perdeli yapıların dinamik davranışının tam tahminini yapabilmesi için geliştirmişlerdir. Yapısal materyallerin frekans-bağımlı damping özelliği kesirli türev modelini kullanarak tam olarak modellenebilir. Önerilen metodun yapısal perdeleri modelleyebilmek için kullanılabilen nonlinear bir damping elemanını geliştirmek için genişletilebileceği görülmüştür. Bu yaklaşım fiziksel motivasyonu eksik görünen genel viskoz davranış üzerinde bir avantaja sahiptir. Nonlinear damping çözümü grafik olarak göstermişler ve metodun tutarlılığını araştırmışlardır. Bir bilgisayar programı kullanarak, önerilen formülasyon ilaveli bir viskoelastik perdeli uzun bir yapının dinamik davranışını çıkarmak için kullanılmıştır.

Makowski (1988), bu çalışmasında, çelik kubbe-ağ kabukların, daha genel anlamda uzamsal çelik uzay yapıların tarihçesini ve günümüze kadar konu ile ilgili gelişmeleri anlatmıştır. Özellikle bu tip yapıların sınıflandırılması ve adlandırılmasının halâ önemini koruduğu düşünülürse bu çalışma derli toplu bilgi veren bir yayın olma özelliğindedir.

Meek ve Loganathan (1989), uzamsal çelik uzay yapıların, genelde, çelik uzay yapıların geometrice nonlinear analizi gerçekleştirdikleri bu çalışmalarda Riks ve Crisfield tarafından önerilen ve nonlinear yük sehim eğrisinde katlı kritik noktasını aşmada etkili bir yöntem olan Arc-Lenght yöntemini düzeltilmiş Newton Raphson

iterasyon stratejisi ile birlikte kullanmışlar ve konu ile ilgili daha önce yapılan deneysel ve teorik sonuçları karşılaştırmışlardır.

Kenata ve Nishizawa (1980), bu çalışmalarında çelik yapıların dinamik davranışlarının incelenmesinde temel esaslar ortaya koymuşlardır. Özellikle kaynak dikişlerinin depremden sonra nasıl kontrol edileceği ve kontrol yöntemleri belirtilmiştir.

Mecitoğlu (1988), doktora tezinde takviyeli dairesel silindirik kabukların serbest titreşimlerinin takviye eleman özellikleri ile değişimini incelemiştir.

Bathe, Ramns ve Wilson (1975), büyük deformasyon yapan sistemlerin dinamik analizi için sonlu eleman formülasyonu verilmiştir. Özellikle geometrice nonlinear dinamik analizi için gerekli bir kaynak olduğu söylenebilir.

Mohraz, vd. (1991), bu makalede, nonlinear dinamik analizi için geliştirilen artımsal modların süperpozisyonu yöntemi verilmiştir.

Malla ve Pai (1995), düğüm noktası ve eleman başlangıç hatalarını, kafes tipi bir uzay yapının deterministik ve olasılıklı davranışını belirlemek için çalışmışlardır. Hem deterministik hem de olasılıklı çalışmalardan elde edilen sonuçlar, eleman-sonu bağlantı hataları birleşim frekanslarında özellikle ilk modda önemli etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte deterministik sonuçların yer değiştirmeler ve eğilme yükleri üzerinde etkilerinin küçük olduğunu göstermiştir. Olasılıklı analizden elde edilen sonuçlar, bütün kümülatif yer değiştirmelerin olasılıkları ve eğilme yüklerinin başlangıç eleman hatalarının bir sonucu olarak çok yavaş değişmesine rağmen, farklı dizayn değişken kümelerinin düğüm nokta kusuru durumundan daha büyük hassasiyet gösterdiğini belirtir.

Kunieda vd. (1994), matematiksel analitik metoda bağlı dinamik etkiye maruz küresel bir kubbenin davranış analizi için daha gerçekçi bir yöntem elde etmek için çalışmışlardır (yani yeterli doğruluk ve pratikliği olan model analizinde Galerkin

yöntemi). İlk olarak bu çalışma anti simetrik ve asimetrik durumlarda davranış analizi için yaklaşık modların yaklaşık çözümünü sağlamıştır. İkinci aşamada ise yatay deprem etkisine maruz bir kubbenin davranış analizi bu yaklaşık modların uygulaması olarak gerçekleştirilmiştir. Parametrik malzeme incelemesi ve geometrik özellikler vasıtası ile çok önemli davranış özellikleri kendi kendilerini ortaya çıkarabilir.

Escobedo ve Ricles (1993)' e göre, büyük uzay yapıların modelleri büyük serbestlik dereceleri ile karakterize edilir ve analizleri uzun işlemler gerektirir. Geleneksel çözüm metotları, sistemin özvektörlerinin bir alt kümesini kullanır, çok serbestlik dereceli sistemlerinin özdeğer problemlerinin çözümü çoğu durumlarda oldukça uzun işlemler gerektirir. Yük bağımlılığı Ritz vektör metodu, büyük uzay yapıların dinamik davranışı için normal mod metotlarına bir alternatif olarak sunulmuştur. Sonuçlar Ritz vektör metodunun dinamik davranışı klasik normal mod metodundan daha iyi tahmin ettiğini göstermiştir.

Blandford (1996), çalışmasında, inelastik malzemeye sahip ve büyük deformasyonları içeren geometri yönünden nonlineer uzay kafes yapıların statik analizini incelemiştir. Eleman malzeme davranış biçimleri eğilme, akma, inelastik eğilme sonrası boşalma ve yüklemeyi içerir. Büyük deformasyon davranışı nonlineer düzeltilmiş Lagrangian uzay kafes yer değiştirme denklemlerine bağlıdır. Sonuçlar uzay kafes yapıların inelastik, sürekli göçme davranışları için modelin yeteneklerini göstermiştir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Bu bölümde, tezde kullanılan yapı geometrisi olan kubbe tipi ağ kabuklar, uzay taşıyıcı sistemler ve çeşitleri ile bunların yapısal modellerinin kurulurak çeşitli analizlerinin yapılabildiği SAP2000 (Structural Analysis Program) sonlu eleman yapısal analiz programı hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1.1. Çelik Kubbe Ağ-Kabuklar

3.1.1.1. Genel Bilgiler

Genel olarak uzay taşıyıcı sistemler, kabuk kavramından başlayarak incelenebilirler. Gerçekten de, II. Dünya Savaşı'ndan önceki yıllarda küresel ve silindirik kabuk türündeki kubbeler, büyük alanları kolonsuz olarak örtmede kullanılan en iyi sistem olmuştur.

Aslında yüzyılı aşan bir süreden beri başka sistemler de bu amacı gerçekleştirmek için kullanılmaktaydı. 20. yüzyılda inşaa edilmiş olan tren istasyonları incelenirse, çelik sistemlerin büyük açıklıkları geçmedeki elverişliliği kolayca gözlenebilir. Bunlar arasında, eğri eksenli kafes kiriş türündeki çelik kemerler sayılabilir. Endüstri yapıları ve köprüler için çelik kafes kirişler, geniş açıklıkları geçmede olağan yapı sistemi olmuştur.

Sonraki yıllarda yapı mühendisliğinin uygulamalı mekanik ile girişimi sonucu, yerleşmiş sistemlerin dışında da olanaklar bulabileceği ortaya çıkmıştır. Böylece, kiriş plak-kabuk sistem dizisinden, kiriş-ızgara-uzay kafes sistem dizisine geçiş sağlanmıştır.

Kabuklar plak kavramından doğmuş ; üç boyutlu ve küçük kalınlıklı taşıyıcı yapı sistemleridir. Yapı mühendisliği açısından basık kabuklar teoride basitleştirilmelere olanak sağladığından önem kazanmıştır (Aşkar, 1985).

II. Dünya Savaşı'ndan önce, çoğunlukla dairesel kabukların kullanılmasına karşın savaştan sonraki gelişmeler pek çok değişik formda kabukların kullanılmasına olanak vermiştir. Çeşitli sınır şartlarına sahip kabuklara ait bilgisayar programlarının geliştirilmesi de daha önce çözülemeyen problemlerin ele alınmasını sağlamıştır. Sadece 40-50 yıl öncesine kadar hesapların, diferansiyel denklemlerin kapalı çözümleri ile sınırlı kalması göz önüne alınırsa bu çok önemli bir gelişmedir. Ayrıca uygulamalı bilimlerdeki yeni yöntemler de etkinlik göstermiştir.

Bilgisayarların kullanılması, olanakları ve hesapların kapsamını önemli ölçüde genişletmiştir. Sayısal hesap yöntemlerinin sonucunda ortaya çıkan büyük sayıdaki lineer denklem takımlarının çözümü bu sayede gerçekleşmiştir.

Sonuçta, bu tür yapılarda klasik mimari şekillerden tamamiyle uzaklaşarak yeni biçimler sınırsız bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Bu düşünce tarzını daha da ilerletip örtülecek alanın boyutlarını artırdığımızda bir optimum çözümlerle sınırlandırdığımız görülecektir. Bu da, oldukça ince olan kabuğun burkulma problemidir. Önlemlerden biri t / R oranını uygun seçmektir (t : kalınlık, R : Asal çap). Ayrıca, kabuğun kırık kabuk biçiminde düzenlenmesi, öz yükü artırmadan en kesit rijidliğini artırıcı başka bir yoldur. Çeşitli şekillerde düzenlenen katlanmış plaklar bu rijidliği çok etkili bir şekilde artırmaktadır (Aşkar, 1985).

Kubbelerin bir yapı sistemi olarak, çok eski zamanlardan beri, büyük açıklıkları örtmek amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. Özellikle estetik ve ekonomik açıdan sağladığı faydalar, mühendislerin her zaman kubbelere karşı özel bir ilgi duymalarına sebep olmuştur.

İlk zamanlar, dairesel plandaki yapıları örtmek için uygun bir çatı sistemi olmaları bakımından tercih edilen kubbeler, günümüzde, çok çeşitli düzlem geometrik şekillerde plana sahip yapıların örtülmesinde de yaygın olarak kullanılabilirler.

Kubbe yapılar, önceleri kagir malzemededen inşaa edilmekteydiler. Betonarme ve çelik üretim teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, özellikle 19. Yüzyıl sonlarından itibaren betonarme ve çelik kubbeler de inşaa edilmeye başlandı. Günümüzde halâ ayakta duran kagir iki kubbeye, Roma' da bulunan PANTHEON (Ms. 120-124) ve İstanbul' daki AYASOFYA (Ms. 532-537) örnek verilebilir. Bunlardan PANTHEON, 44 m çapında ve dairesel bir plana sahiptir. Ayasofya' nın kubbesi ise Mimar Sinan tarafından birkaç kez onarımdan geçmiş ve kubbenin açılmaması için yanlardan desteklenmiştir. Bu günkü haliyle 32.6 m açıklığa karşılık 14 m yüksekliğe sahip olan Ayasofya kubbesinin tam küresel formda olduğu söylenemez.

Kagir kubbeler çok eskiden beri inşaa edilmelerine rağmen, çeliğin kubbe inşasına girişi 1811 yıllarına rastlar. Pik, ya da kaba demir elemanların kullanıldığı ilk yıllardan sonra, çelik üretim teknolojisindeki hızlı gelişmelerin olduğu 19. yüzyılda, büyük açıklıkların örtülmesinde de, çok değişik tipteki çelik Kubbe Ağ-Kabukların kullanıldığını görüyoruz. Bu yüzyılda yapılmış (1867-1871) ve hala ayakta duran Royal Albert Hall' ı örten Londra kubbesi eksen uzunlukları 76 ve 56 m olan oval bir plana sahiptir. Çelik kubbelere genellikle dizayn edenlerin adlarıyla anılırlar. Föble, Zimmerman, Fuller, Mohr kubbelerini buna örnek verebiliriz.

İngilizce literatürde "Braced Domes" olarak adlandırılan Kubbe Ağ-Kabuklar ifadesi, genel anlamda iskeleti hem çelik hem de ahşap olabilen Kubbe Ağ-Kabukları kapsamaktadır¹.

3.1.1.2. Çelik Kubbe Ağ-Kabukların Sınıflandırılması

Çelik Kubbe Ağ-Kabuklar dört ana grupta sınıflandırılabilirler (Makowski, 1988).

Makowski' nin sınıflandırmasına göre ;

- a) Tek hatlı (single layer) kubbeler
- b) Çift hatlı (double layer) kubbeler
- c) Gerdirilmiş deri tipinde kubbeler

¹ Uzay Sistem Ders Notları. Yrd. Doç. Dr. Zeki AY. Süleyman Demirel Üniv. Müh. Mim Fak. İnşaat Müh. Bölümü

d) Özel formda yüzeye sahip kubbeler

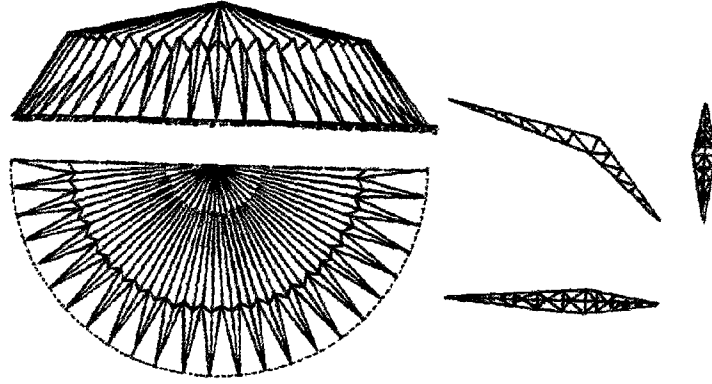
Çelik Kubbe Ağ-Kabukların sınıflandırılması bu alanda halâ karışıklıklara neden olmaktadır. Çünkü gerek kubbenin geometrisinde sürekli yeni yeni formların elde edilmesi, gerekse taşıyıcı sistemde, değişik konstrüksiyonların ve düğüm sistemlerinin kullanılması sınıflandırmada belirli bir standarda gitmeyi zorlaştırmaktadır. Yukarıdaki sınıflandırmaya göre en çok kullanılanı birinci tip kubbelerdir. Genellikle 100 m' ye kadar açıklıkları geçmek için kullanılırlar. 100 m' den daha fazla açıklıkları geçmek için ise ikinci tip kubbeler kullanılır. İkinci tipe bir örnek vermek istersek, New Orleans spor stadyumunu örten dünyanın en büyük kubbesinin net açıklığı 213 m' dir. Diğer taraftan son 20 yılda inşaa edilmiş çelik kubbe Ağ-Kabuklar gözden geçirilirse, pratikte en çok kullanılanlarının 4 veya 5 tip oldukları görülür¹. Bunlar ;

- a) Nervürlü kubbeler (Ribbed Domes)
- b) Schwedler kubbeler
- c) Üç doğrultuda ızgara tek hatlı kubbeler
- d) Paralel-lamella kubbeler
- e) Geodezik kubbeler

Radyal Nervürlü Kubbeler

Dolu gövdeli, petek kiriş, düzlem veya uzay kafes olarak düzenlenen radyal nervürlerin tabanda çekme çemberine tepede ise basınç çemberine veya birbirlerine bağlanması ile meydana getirilirler. Nervür elemanlar daha önce ayrı bir yerde imal edilirler ve sonra bir araya getirilirler. Bu özelliğinden dolayı radyal nervürlü kubbelerin prefabrikasyona uygun olduğunu söyleyebiliriz. (Şekil 3.1).

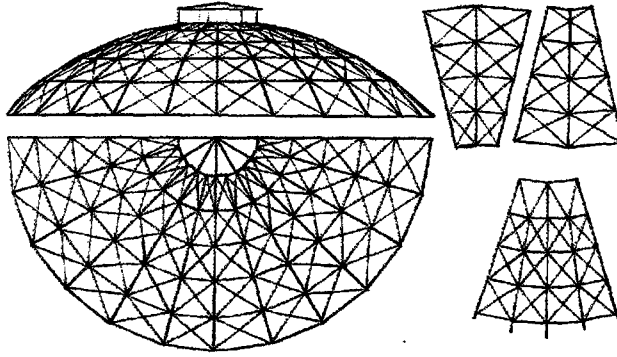
¹ Uzay Sistem Ders Notları. Yrd. Doç. Dr. Zeki. AY. Süleyman Demirel Üniv. Müh. Mim Fak. İnşaat Müh. Bölümü



Şekil 3.1. Radyal nervürlü kubbeler

Schwedler Kubbeler

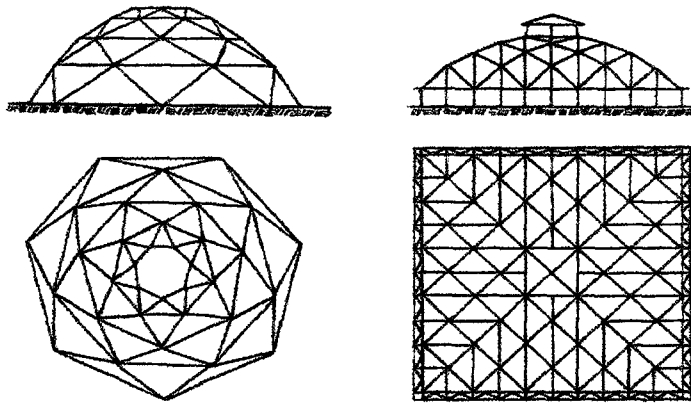
Schwedler kubbeler nervürlü kubbeler sınıfına girerler. Aralarındaki fark radyal nervürlerin Radyal Nervürlü kubbelerde her biri tek eleman olarak düşünülürken Schwedler kubbelerde 3 hatta 4 radyal nervür, kendi aralarında öyle düzenlenir ki kubbenin imalatında bu elemanların yan yana getirilmesi ile kubbe inşaatı tamamlanmış olur. Şekil 3.2 radyal nervürler kubbenin tepesinde basınç çemberine rijit ya da mafsallı olarak, tabanda ise çekme çemberine genellikle mafsallı olarak bağlanırlar. Temele sadece düşey yükün gelmesi istenildiği durumlarda ise tabana konan çekme çemberine radyal nervürler rijid olarak bağlanır. Yapının stabilitesini artırmak için radyal nervürler birbirlerine yatay kararlılık bağları ile birleştirilir. Yatay kararlılık bağları arasına ise bazen tek bazen de çift köşegen elemanlar konulur. Köşegen elemanların tek veya çift olması durumuna göre de tek köşegenli veya çift köşegenli schwedler kubbeler olarak adlandırılırlar. Gerek yatay kararlılık bağları gerekse köşegen elemanlar schwedler kubbeleri radyal nervürlü kubbelerden ayıran en önemli farklardır. Schwedler kubbelerin yüksek hiperstatiklik özelliğine sahip olmaları, düğüm noktalarının kaynaklı birleşimine rağmen mafsallı gibi düşünmemizi sağlar. Bu özellik ise hesabın el ile yapılabilme kolaylığını getirir. Schwedler kubbelerin prefabrikasyona uygunluğu diğer bir avantajıdır.



Şekil 3.2. Schwedler kubbeler

Ağ (Net-work) Kubbeler

Bu tip kubbeler, schwedler kubbeler için kullanılan şekilden çıkartılmıştır. Fakat ondakinin tam aksine, aynı düzlemde üç çubuğa sahiptir. Bu yüzden kubbenin ağ sistemi mafsallı birleşim kabulüne göre bile, aktif olmayan bir çubuğa sahip değildir. Herhangi bir düğüm noktasına gelen yük, sistemin geometrisinden dolayı, bütün elemanlarda gerilmelere sebep olur. Ağ-kubbelerin çoğu 1. Dünya savaşı' ndan önce Almanya' da inşaa edilmiştir. Son zamanlarda Almanya' nın Mero firması, hazır boru elemanları ve özel düğüm (Mero Düğümü) sistemi kullanarak Ağ-kubbelerin daha yaygın kullanımını sağlamıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Ağ (Net-Work) kubbeler

Üç doğrultuda ızgara kubbeler

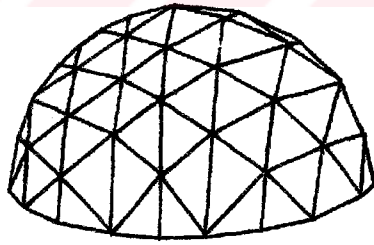
Bugün Avrupa' nın bir çok ülkesinde kullanılmakta olan bu tip kubbelere, İngiltere' de 1951' de Britain festivali için yapılan kubbeyi örnek verebiliriz. Üç doğrultuda ızgara kubbelerin teorik analizi, simetrik olmayan yüklemeler altında bile malzeme tüketiminde eşit bir dağılım olduğunu göstermiştir. Son 20 yılda, Japonya' da bu tip pek çok güzel ve büyük açıklıklı kubbe inşaa edilmiştir. Uje-Je (Japonya) spor kompleksi için yapılan üç doğrultuda ızgara bir kubbenin net açıklığı 42 m ve kullanılan çelik malzeme miktarı sadece 170 tondur (Makowski, 1988). Ayrıca bu tip kubbeler, kare, dikdörtgen, daire, üçgen ve altıgen plandaki yapıları örtmek için en uygun olanıdır.

Lamella (ince levhalı) Kubbeler

Lamella kubbeler birbirine benzer çok sayıda birimlerden oluşur. Elmas ya da baklava dilimi şeklinde düzenlenmiş bu elemanlar Lamella olarak adlandırılır. Her bir Lamella birimi baklava dilimi (eşkenar dörtgen) ya da elmasın bir kenarının uzunluğunun iki katı bir uzunluğa sahiptir. Kubbenin yüzeyindeki stabiliteyi çatı örtüsü veya aşıklar olarak kullanılan baklava dilimi şeklindeki bu elemanlar sağlar. Lamella kubbe tipinde inşaa edilen Houston kubbesi 9 hektar alanı örtmektedir (Makowski, 1988). Esas kubbenin dış çapı 217 m ve yüksekliği 63.4 m' dir. Lamella kafeslerin derinliği 1.52 m' dir. Toplam 2150 ton çelik, 276 ton çekme çemberi 32516 m² alanı örtmek için esas kubbede kullanılmıştır. Lamella kubbeler Dr. Kiewitt tarafından geliştirilmiş ve büyük açıklıkları geçmek için daha uygun hale getirilmiştir. Lamella kubbelerin en önemli özelliği, yangın, sismik etkide ve rüzgar yükleri etkisinde iyi bir yapısal davranış sergilemesidir. Japonya' da pek çok firma bu tip kubbelerin prefabrikasyon üretimi ile ilgilenmekte ve ayrıca geliştirmeye çalışmaktadırlar. 240 km/h hıza sahip rüzgar tesirinde, Miami' deki böyle bir kubbenin hiç hasar görmediğini söyleyebiliriz.

Geodezik Kubbeler

Çelik kubbe Ağ-Kabukların küresel formda olabilmeleri için altıgen elemanlar arasına bazen bozuk beşgen elemanların katılmasıyla elde edilirler. Geodezik kubbe Buckminster Fuller tarafından 1954' lerde geliştirilmiştir. İdeal prefabrikasyon bir sistem bütün düğüm noktaları için aynı özelliğe sahip basit düğüm sistemine ve özdeş elemanlara sahip olmalıdır. Bu gibi durumlarda elemanlar ve düğüm sistemleri büyük ekonomi sağlamaktadır. Diğer taraftan bu sayede çok değişik formlarda tek veya çift hatlı ızgara kubbeler üretmek mümkün olmaktadır. Bununla birlikte kubbe ağ-kabukları bu şekliyle herhangi bir sınıfa sokmak mümkün olmamaktadır. İşte, bu noktada Buckminster Fuller tarafından geliştirilen Geodezik Kubbelerin prefabrikasyona uygunluğu ve küresel formda kubbe üretiminde sağladığı avantajlar nedeni ile bu alanda önemli bir problem ortadan kalkmış oldu. İlk uygulanan Geodezik kubbeler herhangi teorik analize başvurulmadan inşaa edildi. Buradaki Geodezik kelimesi geometrik bir anlam ifade eder. Yoksa esas gerilme analizi metodunu ifade etmez. Son zamanlarda bilgisayarlar yardımı ile kolayca bunların analizi yapılabilmektedir. Geodezik kubbelerin lineer ve non-lineer yapısal davranışlarıyla ilgili araştırmalar halen yapılmaktadır (Şekil 3.4) (Meek ve Loganathan, 1988).



Şekil 3.4. Geodezik kubbeler

Çift Hatlı Kubbeler

60 m' nin üzerinde açıklığa sahip alanların örtülmesinde hafif elemanlardan teşkil edilen tek hatlı kubbeler yeterli derecede stabil olamamaktadırlar. Tecrübeler göstermiştir ki, özellikle kar yükü gibi simetrik olmayan yükler altında malzeme akma durumuna gelmeden, basınç çubuklarının instabilitesinden dolayı kubbe göçebilmektedir. Alüminyum gibi hafif malzemelerin kubbe inşasına girmesiyle önem kazanan bu durum, gerçekte daha öncelerden bilinmekteydi. Elastik instabilite

önem kazanan bu durum, gerçekte daha öncelerden bilinmekteydi. Elastik instabilite eğilimli narin elemanların kullanılması, yapının öz yüklerinde büyük azalılara sebep olmuştur. Öz yüklerde büyük azalılar sağlanırken, aynı zamanda elemanların daha düşük kuvvetlerde burkulmaları problemi ortaya çıkınca, bu problemin aşılması için çift hatlı Ağ-Kabuklar düşünülmüştür. Çift hatlı ağ kabuklar, narin elemanların sebep olduğu instabilite durumunu en aza indirmişdir. Bunun başlıca sebebi düğüm noktalarındaki yüksek hiperstatikliklidir. Herhangi bir düğüm noktasında elemanlardan biri burkularak taşıma gücünü kaybedince diğer elemanlar fazladan gelen tesirleri kolayca karşılayabilmektedirler. Her iki hatı tipik bir ağ-kabuk olan kubbenin hatları birbirlerine ara elemanlarla bağlanmıştır. Yapılan araştırmalar, 60 m' nin üzerindeki açıklıkların örtülmesinde hafif elemanlardan müteşekkil tek hatlı kubbe yerine çift hatlı kubbe inşaatının daha ekonomik olduğunu göstermiştir (Makowski, 1988).

Yukarıda açıkladığımız Çelik Kubbe Ağ-Kabuklardan başka, Gerdirilmiş-Deri geodezik kubbeleri ve Tridetic kubbeleri aynı ad altında toplayabiliriz. Diğer taraftan dizayn edenlerin adlarına göre ise Schlink kubbeleri, Zimmerman kubbeleri ve düğüm noktaları rijidliğine göre ise Rijid Düğüm noktalı kubbeleri sayabiliriz.

3.1.2. Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemler

3.1.2.1. Genel Bilgiler

Uzay kafes sistemler, düzlem yada eğri birbirine paralel iki çubuklar ağı ile bu ağların birbirinin düğüm noktalarına bağlayan çubuklardan kurulu taşıyıcı düzenlerdir. Her iki çubuklar ağının aynı biçimde olması zorunlu değildir.

Bu taşıyıcı sistem Amerika Birleşik Devletleri' nde Le Ricolais, Fransa' da S. du Chateau ve İngiltere' de Z. Makowski' nin çalışmalarıyla 1950' den beri hızlı bir gelişme tanımıştır.

Başlangıçta, düğüm noktaları geleneksel birleşimler olarak bulonlar ya da kaynakla gerçekleştiriliyordu. Aşamalı olarak, bu taşıyıcı düzene ilgi çekici bir endüstrileşme olanağı sağlayan çok sayıda özel birleşim düzenlemelerinin ortaya çıktığı görüldü.

Bu teknolojik gelişme, doğal olarak standartlaşma ve hazır yapıma yol açtı. Hazır yapım: ya düğüm noktaları ve çubuklar gibi basit elemanlara, ya da üçgen veya dörtüzlü gibi birleşik elemanlara dayanmaktadır. Modüllendirme taşıyıcı düzenlerin biçim değişimini kolaylaştırmaktadır.

Uzay kafes sistemler birçok üstünlük gösterirler :

- ⊕ Hafiflik,
- ⊕ Rijidlik,
- ⊕ Bir elemanın yetersizliği durumunda bir mukavemet ihtiyatı sağlayan yüksek mertebeden hiperstatiklik yaratma olanağı,
- ⊕ Hemen hemen hiçbir eğilme elemanı bulunmaması nedeniyle malzemeden en uygun yararlanma,
- ⊕ Biçimlendirme ve çizimde büyük özgürlük,
- ⊕ Hazır yapım ve montaj kolaylıkları,
- ⊕ Sökme ve değiştirme kolaylıkları,

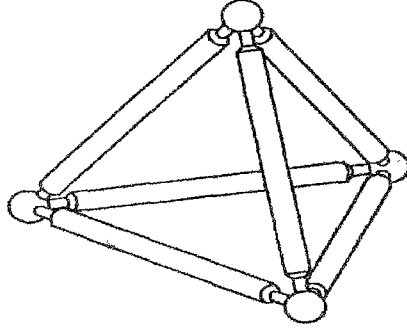
Başlangıçtaki sakıncalar aşamalı olarak yok edilmiştir :

- ⊕ Değişik uzay açılar yapan çubukların birleşimlerinden doğan teknolojik zorluklar, piyasaya çıkan çok sayıda yapım sistemi sayesinde çözümlenmişlerdir;
- ⊕ Hesap zorlukları, bilgisayarların kullanımının yaygınlaşmasından sonra artık bir engel değildir (Arda, 1985).

3.1.2.2. Uzay Kafes Sistemlerin Kurulması

Uzay kafesler, rijid ya da mafsalı bağlı uçları düğüm noktalarını oluşturan doğru eksenli çubuklardan bileşiktirler. Üçgenleme çubuklarıyla bağlayan birbirine paralel iki ağ, genellikle düzlemdirler. Bununla birlikte eğri de olabilir ve böylece silindirik örtüler, küresel kubbeler oluşturabilirler.

Uzay kafes taşıyıcı sistemlerin temel elemanı, 6 çubuk ve 4 düğüm noktasından oluşan dörtüzlüdür (Şekil 3.5). Düğüm noktaları mafsalı da olsa dörtüzlü kesinlikle şekil değiştirmez; bilindiği gibi, bir düğüm noktasını üç diğerine rijid olarak bağlamak için üç çubuk gerekli ve yeterlidir.



Şekil 3.5. Üçgen tabanlı piramit modül

Böyle bir elemandan hareketle ve her bir yeni düğüm noktasını üç eskisine üç çubukla bağlayarak taşıyıcının iç-izostatiklik özelliği korunur. Bir uzay kafesin gerekli izostatiklik koşulu,

$$t + \ç = 3d$$

yazılır. Burada : "t" mesnet tepkileri bileşenlerinin sayısını, "ç" çubukların sayısını, "d" düğüm noktalarının sayısını göstermektedir.

Kafes tam olarak şekil değiştirmezse sistemin tümüyle ilgili 6 denge denklemi yazılır ve "t" 6' ya eşit alınır. Bu durumda izostatiklik koşulu,

$$\ç = 3d - 6$$

olur ki dörtyüzlü için gerçeklemeyi sağladığı kolaylıkla kontrol edilebilir.

Bununla birlikte, tamamiyle şekil değiştirmez olmakla beraber, dörtyüzlüden, üçlü çubuklar katarak türetilen, "karmaşık" denilen sistemler de vardır (Arda, 1985).

3.1.3. SAP2000 Yapısal Analiz Programı

3.1.3.1. Genel bilgiler

SAP2000, SAP serisi bilgisayar programlarının en ileri versiyonudur. Programın tamamı Windows uyumludur. Bu özelliğinden dolayı sınırsız kullanım ve üretim özelliğine sahip olan çok güçlü bir arayüzü vardır.

Modelin oluşturulması ve geliştirilmesi, analizin yapılması, boyutlamanın kontrolü ve optimizasyonu bu arayüzle yapılabilir. Zaman Tanım Alanındaki (Time history) deplasmanların eşzamanlı gösterimlerini içeren grafik sonuçlar kolaylıkla elde edilebilir. Bu program modelin oluşturulması ve geliştirilmesi ile analizi ve boyutlamanın yapılmasında büyük bir avantaj sağlar.

Analitik yetenekleri, sayısal tekniklerdeki ve çözüm algoritmalarındaki en son gelişmeleri içerir. Program; hızlı denklem çözücü, kuvvet ve deplasman yükü, prizmatik olmayan çubuk elemanları, çok hassas kabuk elemanları, Eigen ve Ritz dinamik analizi, simetrik olmayan yapılar için çok sayıda koordinat sistemleri, birçok değişik bağımlılık seçme hakkı, bağımsız tanımlanmış sonlu eleman modellerinin birleştirilmesi, tam kuppel (bağımlı) 6*6 yay rijitliği ve aynı işlemde birden birçok dinamik analizin zarflarının bulunması gibi gelişmiş yeteneklere sahiptir.

SAP2000 PLUS programa, köprü analiz teknikleri, sonlu eleman tekniğinin tamamını, zaman tanım alanında hesap (Time History) seçenekleri ekler. Çok sayıda taban tahrikli zemin hareketleri de bunlara eklenebilir.

SAP2000 Nonlinear versiyonu PLUS' ın yapabileceklerini boşluklar (gap), kancalar (hook), izolatörler, damperler, mafsallar ve daha birçokları için dinamik lineer olmayan bağlantı elemanları ekleyerek artırır. Bu lineer olmayan bağlantı elemanı, kullanıcıya her şeyin dinamik davranışını modelleme olanağı sağlar (binalardaki sadece çekme alan çaprazlardan, üç boyutlu çubuklardaki plastik mafsallara kadar). SAP2000 Nonlinear versiyonu bunlara ek olarak performans kriterine göre yapıların tasarımında statik itme analizi özelliğini de ekler.

Program, hem tasarım, hem de analiz için kullanılan arayüz sayesinde, çok güçlü çelik ve betonarme binaların boyutlandırılmasına imkan verir. Çelik çubuk elemanları için boyutlama ve iteratif optimizasyon sağlanmaktadır. Betonarme çubuk elemanları içinde gerekli donatı hesabı yapılmaktadır. Elemanlar boyutlama amaçlarına göre sınıflandırılabilirler ve elemanın üzerine tıklanarak o eleman için detaylı boyutlama hesaplamaları görülebilir.

SAP2000 Programı betonarme ve çelik elemanların otomatik kontrolü ve tasarımı için birçok ulusal ve evrensel boyutlama yönetmeliklerinin en son durumlarına uyumludur.

Program aşağıdaki betonarme yönetmeliklerine uyumludur.

- U.S. ACI 318-95 (1995) ve AASHTO LRFD (1997)
- Kanada CSA-A23.3-94 (1994)
- İngiliz BS 8110-85 (1989)
- Eurocode 2ENV 1992-1-1 (1992)
- Yeni Zellanda NZS 3101-95 (1995)
- TS 500 ve Türk Deprem Yönetmeliği' ne uyumluluk Türkçe Betonarme Kullanma Kılavuzu ile sağlanmıştır.

Program aşağıdaki çelik boyutlama yönetmeliklerine uyumludur.

- U.S. AISC/ASD (1989), AISC/LRFD (1994), AASHTO LRFD (1997)
- Kanada CAN/CSA-S16.1-94 (1994)
- İngiliz BS 5950 (1990) ve
- Eurocode 3 (ENV 1993-1-1)
(CSI, 2001)

Programın daha önceki versiyonu olan SAP90' da bulunan birçok modelleme ve analiz özellikleri SAP2000' de de bulunur. Ayrıca SAP2000' de bunlara birçok yeni

özellik eklenmiştir. Sadece SAP90' ın Isı Transferi Analizi Modülü SAP2000' de bulunmamaktadır.

SAP90 veri data dosyaları (versiyon 5.4 ve 5.5) direkt olarak SAP2000 grafiksel kullanıcı arayüzüne aktarılabilir ve otomatik olarak SAP2000 modellerine çevrilir. Bu modeller daha sonra geliştirilebilir, analiz edilebilir, boyutlandırılabilir ve görüntülenebilir (CSI, 2001).

3.1.3.2. Grafiksel Kullanıcı Arayüzü

SAP2000' in Grafiksel Kullanıcı Arayüzü yapının modellenmesi, analizi, boyutlanması ve görüntülenmesi amaçlarıyla kullanılır. Bu bölümde grafiksel kullanıcı arayüzünün bazı temel kavramları ile eğitim için gerekli aşamalar hakkında bilgi verilecektir.

3.1.3.3. Yapısal Model

SAP2000 grafiksel kullanıcı arayüzü kullanarak tanımlanan modele göre yapının analiz ve boyutlamasını yapar. Model yapıyı temsil edecek aşağıdaki özellikleri içermelidir.

- Malzeme özellikleri
- Kirişleri, kolonları ve/veya çapraz elemanlarını içeren çubuk elemanları
- Duvarları, tabanları ve diğer ince düzlemsel elemanları temsil eden kabuk (shell) elemanları
- Elemanların bağlantılarını gösteren düğüm noktaları
- Düğüm noktalarını destekleyen mesnetlerin sınır şartları (restraints) ve yaylar
- Kendi ağırlığı, sıcaklık, sismik, vb. yükleri içeren yükler
- SAP2000 yapıyı analiz ettikten sonra, modelin deplasmanları, kuvvet ve dayanımlarını da içerecektir.

Grafiksel kullanıcı arayüzü modeli yaratmak için bir çok güçlü özellik sağlar. Basit bir modelle başladıktan sonra, SAP2000' in boyutlama ve optimizasyon seçeneklerini kullanarak küçük bir çabayla model geliştirilebilir.

Aşağıdaki anlatımlarda, nesnelar terimi, modelin geometrik parçaları, çubuk elemanları, Shell elemanları ve düğüm noktaları için kullanılacaktır.

3.1.3.4. Koordinat Sistemleri

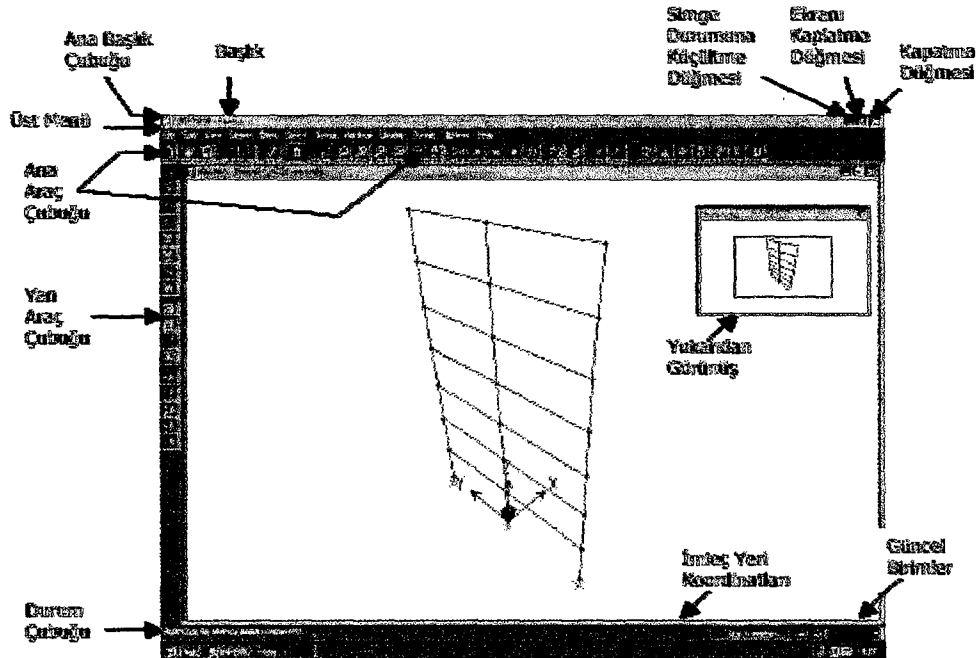
Modeldeki bütün adresler birtek global (asal) koordinat sistemine göre tanımlanır. Bu da üç boyutlu, sağ el kuralına uygun, karesel koordinat sistemidir. Üç ekseninde, X,Y ve Z birbirlerine göre dik ve sağ el kuralına uygundur.

Modeldeki her nesne (düğüm noktaları, çubuk elemanları, kabuk-shell elemanları, v.b.) özellikleri, yükleri tanımlamak için kendi yerel koordinat sistemine sahiptir. Yerel koordinatların eksenleri 1,2 ve 3 olarak adlandırılır.

Modelin geliştirilmesine ve görüntülenmesine yardımcı olması için ek koordinat sistemleri tanımlanabilir.

3.1.3.5. SAP2000 Ekranı ve Çalışma sistemi

SAP2000 grafiksel kullanıcı arayüzü aşağıdaki şekilde çeşitli kısımlarıyla tanıtılmıştır.



Şekil 3.6. SAP2000 Programı ekranı genel görünümü

Şimdi şekil üzerindeki bu kısımlar tek tek açıklanacaktır.

Ana Pencere

Ana pencere grafiksel kullanıcı arayüzün tamamından oluşur. Bu pencere standart Windows işlemlerini kullanarak taşınabilir, yeniden boyutlanabilir, büyütülebilir, simge durumuna küçültülebilir veya kapatılabilir. Pencerenin en üstündeki ana başlık çubuğu ise programın adını ve modelin adını gösterir.

Üst Menü (Aşağı Çekmeli)

Üst menüdeki komutlar SAP2000 ile yapılabilecek tüm işlemleri içerir.

Ana Araç Çubuğu (Uygulama Simgeli)

Ana araç çubuğu sık yapılan işlemlere özellikle dosya, görüntü ve ayırma işlemlerinde, hızlı ulaşımı sağlar. Ana araç çubuğunda bulunan tüm işlemlere üst menüden de ulaşılabilir.

Yan Araç Çubuğu

Yan araç çubuğu modelin geometrisini değiştirmek için sıkça yapılan işlemlere çabuk ulaşmayı sağlar. Bunlar çizme ve seçme işlemleri ile nokta yakalayarak ilerleme (Snap) işlemleridir. Yan araç çubuğu ile yapılabilen tüm işlemlere ve seçeneklere üst menüden de ulaşılabilir.

Görüntüleme Pencereleeri

Görüntüleme pencereleri modelin özelliklerini, yüklemesini, analiz ve boyutlama sonuçlarının yer aldığı modelin geometrisini gösterir. Aynı ekranda birden dörde kadar görüntüleme penceresi açabilirsiniz.

Her pencere kendi bakış açısına, görüntüleme şekline ve görüntüleme seçeneklerine sahiptir. Örneğin, şekil değiştirmemiş model bir pencerede, uygulanmış yükler başka

birinde, animasyonlu şekil değiştirmiş model üçüncüde ve boyutlama gerilim (stress) oranları dördüncüde gösterilebilir. İkinci bir seçenek olarak şekil değiştirmemiş modelin dört değişik görüntüsü veya başka çeşit bir görüntüleme olabilir (örneğin tepeden görünüm, iki katlı görünüm ve yandan görünüm).

Aynı anda sadece bir pencere aktiftir. Görme ve görüntüleme işlemleri sadece aktif olan pencereyi etkiler. Herhangi bir pencere başlık çubuğuna tıklanılarak veya pencerenin içine tıklanılarak aktif hale getirilebilir.

Durum Çubuğu

Durum çubuğu o andaki durumla ilgili bilgileri, güncel koordinat sistemini ve imleç yeri koordinatlarını gösterir.

Görüntüleme Seçenekleri

Aktif görüntüleme penceresinde yapının nasıl görüneceği, görüntüleme seçenekleri ayarlanarak etkilenebilir. Bu seçenekler view (görünüm) menüsünde ve ana araç çubuğunda mevcuttur.

İki ve Üç Boyutlu Görüntüleme

İki boyutlu görünüm koordinat eksenlerinden birine (XY, XZ, YZ) paralel olan tek bir düzlemden oluşur. Sadece bu düzlemdeki nesnelere görünebilir. İstenildiği zaman düzlemin dışının koordinatları değiştirilebilir.

Üç boyutlu görünüm bütün modeli iyi bir görünüm veren noktadan gösterir. Görünür nesnelere tek bir düzleme sınırlandırılmamıştır. Görünümün yönü yatay düzlemdeki ve yatay düzlemin üzerindeki açıyla tanımlanır.

Perspektif Görüntüleme

Üç boyutlu görünüm bakılan açının görüntüsü ile ortografik izdüşümün birleştirilmesidir. Perspektif görünüm genellikle düzlemin dışındaki üçüncü boyutun

gösterilmesinde faydalıdır. Perspektif iki boyutta kullanılırsa, görünüm perspektif kapatılana kadar üç boyutlu olur.

Yapıya ne kadar yakın olunacağını belirleyen perspektif açıklık (APERTURE) açısı ayarlanabilir. Açı ne kadar büyürse, yapıya yakınlık o kadar artar ve yapının görünümü de o kadar bozulmuş görünür.

Görüntüyü Kaydırma (Pan), Büyültme (Zoom) ve Limitler

Detaylı görmek için içeriye doğru yaklaşır (zoom in), yapının daha çok alanını görmek için dışa doğru uzaklaşırız (zoom out). İçeriye yaklaşma ve dışarı doğru uzaklaşma önceden belirlenen oranlarda yapılır. Yapının bir kısmına içe doğru yaklaşmak için, pencerede o kısmı farenin yardımıyla seçilmelidir.

Görüntüyü kaydırma (pan) yapıyı fareyle seçip hareket ettirerek görüntüleme penceresinde hareket etmesine olanak verir. Diğer bir ifadeyle yapıyı görüntüleme penceresi içerisinde bir yerden bir yere hareket ettirilebilir.

Yapının pencerede görünen kısmını sınırlamak için X, Y ve Z koordinatlarının üst limitleri tanımlanır. Yaklaştırma ve modeli kaydırma (pan) işlemleri yapının bu limitler içindeki kısmına uygulanır.

Eleman Görüntüleme Seçenekleri

Düğüm noktalarının ve elemanların görüntüleme penceresindeki görünümüne karar vermek için bir çok seçenek ayarlanabilir. Bu seçenekler özellikle şekil değiştirmemiş şeklin görüntüsünü etkilerler. Değişik elemanlar için değişik seçenekler mevcuttur. Seçeneklerin içerisinde bir elemanın seçilip seçilmediği ve eleman isimleri, kesit tipleri, kesit boyutları ve yerel eksenlerin yer aldığı bilgilerden hangilerinin gösterileceği yer alır.

Önemli bir seçenek de elemanın görünümünün kısaltılmasıdır. Bu özellik modelin bağlantı şartlarını daha iyi görebilmek için düğüm noktalarından itibaren elemanları kısaltır.

Diğer Seçenekler

Gridler ve genel eksenler görüntülenip kaybedilebilir. Görünüm parametreleri istenilen bir isimle kaydedilebilir ve herhangi bir görüntüleme penceresine uygulamak için daha sonra çağrılabilir.

Grid (Hasır)

Gridler model çizilirken, yardımcı olması amacıyla yapılmış olan koordinat eksenlerine paralel çizgilerdir. Herbir yönde, aralığı kullanıcı tarafından belirlenen, herhangi bir sayıda grid olabilir. Yeni bir modele başlanıldığında, gridler için sabit bir açıklık tanımlanmalıdır. Ondan sonra grid eklenebilir, silinebilir ve yerleri değiştirilebilir.

Çizim işlemleri, eğer bu özellik kapatılmadıysa, gridlerin kesişimlerini yakalayarak çalışır. Bu modelin daha hassas bir şekilde kurulmasına imkan sağlar. Grid çizgisi hareket ettirileceği zaman, onun üzerinde yeralan düğüm noktalarının da hareket edip etmeyeceklerinin belirtilmesi gerekir.

Temel İşlemler

Aşağıdaki konular SAP2000 ile yapılabilecek temel işlemleri anlamak için faydalı olacaktır. Program yapılmakta olunan işleme bağlı olarak görüntüleme penceresinde farenin hareketlerine farklı tepkilerde bulunur.

Dosya İşlemleri

Dosya işlemleri yeni bir modeli başlatmak, mevcut olan bir modelin göstermek veya değiştirmek için çağrılması, çalışılan modelin kaydedilmesi ve çıktı üretmek için

kullanılır. Dosya işlemleri dosya menüsünden ve ana araç çubuğundaki uygun tuşlardan seçilir.

Yeni modellere sıfırdan başlanabilir veya programla sağlanmış olan önceden hazırlanmış şablonlarla başlatılabilir.

SAP200 grafiksel kullanıcı arayüzüyle oluşturulmuş olan, SAP90 veya SAP2000 analiz dosyalarıyla tanımlanan veya AutoCAD-DXF (sadece geometrik) dosyası üreten programlarca üretilmiş modeller açılabilir.

Modeller standart SAP2000 veritabanı dosyası (.SDB uzantılı) olarak kaydedilebilirler. Model geometrisi ise AutoCAD veya diğer programlar tarafından kullanılması için .DXF dosyası olarak kaydedilebilir.

Çıktılar şu formatlarda olabilir: Tablo (çizelge) halinde veri, analiz ve boyutlama datası o andaki aktif pencerenin grafik baskısı veya hareketli mod şekilleri ve Zaman Tanım Alanında şekil değiştirme videoları

Tanımlama

Tanımlama modelin geometrisinin bir parçası olmayan öğeleri yaratmak için kullanılır. Bu öğeler:

- Malzeme özellikleri
- Çubuk ve kabuk (shell) kesit değerleri
- Sabit yük durumları
- Sıcaklık ve basınç yük durumları için düğüm noktası pattern' i
- Nesne grupları
- Davranış spektumu (response spectrum) fonksiyonları ve analizleri
- Zaman Tanım Alanı (Time-History) fonksiyonları ve analizleri
- Yük Kombinezonları

Bu öğeleri tanımlamak Tanımla (Define) menüsü kullanılarak yapılır ve nesnelere önceden seçimini gerektirmez.

Bu öğelerin ilk beşi seçilmiş nesnelere ayrılır. Bu öğeler ayırma işlemi sırasında ayırma menüsünden de tanımlanabilir.

Kalan öğeler modelin tümüne uygulanır ve nesnelere ayrılmazlar.

Görüntü Seçenekleri Ayarları

Yukarıda “görüntü seçenekleri” başlığında tanımlanan tüm görünüm seçenekleri görüntü menüsünden veya ana araç çubuğunda karşılığı olan tuşları kullanarak ayarlanabilir.

Çizim

Çizim modele yeni nesnelere eklemek veya her defasında bir nesneyi değiştirmek için kullanılır. Nesnelere çubuk elemanları, kabuk (shell) elemanları ve düğüm noktalarıdır.

Çizmek için programı kenar araç çubuğundaki altı çizim düğümlerinden birine tıklanılarak çizim moduna getirilmesi gerekir. Ayrıca, çizim menüsündeki altı çizim işlemi de seçilebilir. Bu işlemler:

- Varolan şeklin yerini değiştirmek veya yeniden şekillendirmek
- Yeni düğüm noktaları eklemek
- Uç noktalarına tıklayarak yeni çubuk elemanları eklemek
- Köşe noktalarına tıklayarak yeni kabuk (Shell) elemanları eklemek
- Grid parçasına veya boşluğuna tıklayarak yeni çubuk elemanları eklemek
- Grid boşluğuna tıklayarak yeni kabuk (Shell) elemanları eklemek

Yeni düğüm noktaları çubuk elemanlarının sonunda ve kabuk (Shell) elemanlarının köşelerinde otomatik olarak oluşturulacaktır. Eş düğüm noktaları program tarafından otomatik olarak eklenecektir.

Çizim modunda, sol fare tuşu nesnelere çizmek ve düzenlemek için, sağ tuş ise nesnelere özelliklerini öğrenmek için kullanılır.

Üç boyutlu görünümde imleç yerleşimi grid çizgileri ve varolan düğüm noktaları gibi bilinen adreslerle sınırlandırılmıştır. İki boyutlu görünümde üçüncü boyut (düzlemin dışı) bilindiğinden imleç her yere yerleştirilebilir.

İki boyutlu görünümde, çizim ve yeniden şekillendirme esnasında göstergenin hareketi nokta yakalama (snap) ve çizim limitleri aracı ile kontrol edilir. Nokta yakalama aracı model üzerinde ilerlerken göstergeye en yakın snap noktasını bulur. Nokta yakalama araçları, elemanları hızlı ve doğru bir şekilde çizimi ve düzenlemesini sağlar. Nokta yakalama araçları çizim yapılırken açılıp kapatılabilir. Kayma noktası yerlerinin seçiminin yapılmasını sağlamak için birden çok nokta yakalama aracı açılabilir. Şu anda beş tane nokta yakalama seçeneği vardır:

- Düğüm noktalarına ve grid noktalarına nokta yakalama aracı imlece en yakın düğüm noktasının veya grid çizgilerinin kesişimini bulur ve oraya kayar.
- Orta ve uç noktalara nokta yakalama aracı en yakın orta noktanın veya kabuk (Shell) ve çubuk elemanlarının uçlarını bulur ve oraya kayar. Bu araç ayrıca NL Link elemanının son noktasına kaydırır.
- Elemanların kesişim noktalarına nokta yakalama aracı iki çubuk elemanın ve kabuk elemanı ile çubuk elemanın kesişim noktasını bulur ve o noktaya kayar.
- Dikeye nokta yakalama imlece en yakın çubuk elemanına veya kabuk köşesine dik olan ve son girilen noktadan çizilmiş olan doğrunun kesişim noktasını bulur ve oraya kayar.
- Çizgilere ve köşelere nokta yakalama aracı en yakın çubuk elemanını, grid çizgisini veya kabuk elemanın köşesini bulur ve o noktaya kayar.

Çizim limitleri aracı eksenlerden birine paralel olan ve son çizilmiş noktadan geçen çizgilerin üzerine nokta yerleştirilmesini sağlayan özelliktir. Bu özellik sayesinde genel eksenlere paralel olan çubuk elemanı hızlıca çizilebilir. Çizim limitleri :

- Sabit X çizilecek bir sonraki noktanın X koordinatını sabitler
- Sabit Y çizilecek bir sonraki noktanın Y koordinatını sabitler
- Sabit Z çizilecek bir sonraki noktanın Z koordinatını sabitler
- None (Hiç birşey) veya boşluk (spacebar) bağımlılığı (constraint) kaldırır.

Çizim modu ve Seçim modu karşılıklı diğer özelliklerden farklıdır. Program çizim modunda iken başka hiçbir işlem yapılamaz.

Seçme

Seçme bir sonraki işlemin hangi nesnelere uygulanacağını belirlemek amacıyla kullanılır.

SAP2000 “isim-fiil” kavramını kullanır. Buna göre önce seçim yapılır daha sonra onun üzerinde işlem yapılır. Daha önceden seçim yapılmış olmasını bekleyen işlemler : işlem (Edit), atama, basma ve görüntü işlemleridir.

Seçmek için, kenar araç çubuğundaki seçme tuşlarından birine tıklayarak program seçme moduna sokulur. Ya da, seçme veya görüntü menülerinden herhangi bir işlemin seçilmesi programı seçme moduna geçirir.

Birçok türde değişik seçme vardır, bunlar:

- Tek nesnenin seçilmesi
- Nesnelerin etrafına pencere çizilerek seçilmesi
- Nesneleri kesen çizgilerin çizilmesi
- Belirli bir düzlemin tanımlanması
- Aynı özellik sınıfındaki nesnelerin seçilmesi
- Aynı gruba dahil olan nesnelerin seçilmesi

- Ve diğeri

Seçme modunda, sol fare tuşu nesnelere seçmek, sağ tuş ise nesnelere özelliklerini öğrenmek için kullanılır.

Çizim ve seçme modları özel olarak diğeriinden farklıdır. Program seçme modunda iken çizim modu haricinde başka hiçbir işlem yapılamaz.

İşleme (Edit)

İşleme modele değişiklikler yapmak için kullanılır. Çoğu işleme, seçilmiş olan bir veya daha fazla nesnenin üzerinde uygulanır. Bunlar Edit menüsünden seçilirler ve bunlar:

- Seçilmiş nesnelere geometrilerinin ve Windows Panosuna (clipboard) kesilmesi veya kopyalanması. Panoya atılan geometri bilgilerine tablolar programlarıyla (örneğin; Excel) ulaşabiliriz.
- Windows clipboard' daki nesne geometrisini modele yapıştırmak. Bu önceki kes ve kopyala komutları arasında tablolar programı sayesinde düzenlenebilir.
- Hazır şablondan modele ekleme
- Nesnelere silme
- Düğüm noktalarının yerlerini değiştirmek. Bu ayrıca birleştirilmiş elemanları da değiştirir.
- Nesnelere lineer veya radyal dizi şeklinde üretme
- Çubuk ve kabuk (Shell) elemanlarını küçük parçalara ayırmak
- Ve daha birçok özellikler

Modelere ekleme veya yapıştırma işlemleri seçilmiş nesnelere üzerinde yapılmaz, çizim ve seçme modlarında yapılabilir. Diğeri bütün işlemler nesnelere daha önce seçilmesini gerektirir.

Atama

Atama, özellikleri ve yükleri, seçilmiş olan nesne veya nesnelere uygulamak için kullanılır. Atama işlemleri atama menüsünden seçilirler ve bunlar:

- Düğüm noktalarına, mesnetler, sınır şartları, yaylar, kütleler ve yerel koordinat eksenleri atamak
- Çubuk elemanlarına kesit değerleri, uç serbestlikleri, yerel koordinat sistemleri, end offsetleri, çıktı adresleri, öngerilme pattern' li modeller, P-Delta kuvvetleri, itme analizi mafsallarına yükler atamak
- Kabuk (Shell) elemanlarına kesit değerleri, koordinat eksenleri ve yükler atamak
- Düğüm noktalarına ısı ve basınç yüklerini tanımlayacak örnek değerler atamak
- İlerideki seçme işlemlerine yardımcı olması için adlandırılmış gruplara yeni elemanlar eklemek

Geri Alma ve İleri Alma (Undo, Redo)

SAP2000 yapılmış olan tüm çizim, atama ve düzenleme işlemlerini hatırlar. Önceden yapılmış olan bir kısım işlem istenilirse geri alınabilir. Geri alma işleminde çok geri gidildi ise, bu işlemler ileri de alınabilir. Geri al ve ileri al işlemlerine işlem (Edit) menüsünden veya ana araç çubuğundan ulaşılabilir.

Analiz

Yukarıdaki işlemleri kullanarak tam bir model oluşturduktan sonra, sonuç deplasmanlarını, gerilmeleri ve reaksiyonları hesaplamak için analiz yapılabilir.

Analizden önce, analiz menüsünden analiz seçenekleri ayarlanmalıdır.

Bu seçenekler:

- Analiz için programdaki serbestlik derecesi
- Model analiz parametreleri
- P-Delta analiz parametreleri

- Çıktı dosyasına hangi analiz sonuçlarının yazılacağı
- Ne kadarlık RAM kullanılacağı

Analizi başlatmak için *Analyze* menüsünden *Run* (çalıştır)' ı seçilir veya ana araç çubuğundaki 'analizi çalıştır' tuşuna tıklanır.

Program, modeli SAP2000 veritabanı dosyasına kaydeder ve daha sonra modeli kontrol ve analiz eder. Kontrol ve analiz işlemleri sırasında, ekranda arama motorundan mesajlar belirir. Analiz tamamlandığında, ekrandaki kaydırma çubuğu kullanılarak mesajlar incelenebilir. Mesajları inceleme işlemi bitirildikten sonra tamam tuşuna basılarak analiz sonuç penceresi kapatılabilir.

Analiz devam ederken ve işlem penceresi ekrandayken başka hiçbir SAP2000 işlemi yapılamaz. Fakat başka windows programları çalıştırılabilir. Eğer fazla zaman alacak büyük bir model analiz edilecekse, analiz menüsünden çalıştır yerine 'küçültülmüş çalıştır' seçilir.

Görüntüleme (Display)

Görüntüleme modeli analiz sonuçlarını görmek için kullanılır. Grafikselleme, tablosal görüntüleme ve fonksiyon çizimleri mevcuttur. Bütün görüntüleme seçenekleri görüntüleme menüsünde mevcuttur. Bunların bazılarını ana araç çubuğundan da ulaşılabilir.

Grafiksel Görüntüler

Her bir görüntüleme penceresi için değişik bir grafiksel görüntüleme çeşidi seçilebilir. Her pencere kendi yerleşim ve görüntüleme seçeneklerine sahiptir.

Şekil değiştirmemiş geometri, yükler ve basınç ve ısı yüklemeleri için kullanılan düğüm noktaları modellerini görüntüleme özellikleri mevcuttur.

Analiz sonuçları grafiksel olarak görüntülenebilir, bunlar: şekil değiştirmiş model, titreşim modu şekilleri, çubuk elemanı kuvveti, moment ve etki-çizgi (influence-line) diyagramı, kabuk (Shell) eleman kuvveti ve moment-gerilme diyagram çizimleridir. Şekil değiştirme ve mod şekilleri hareketlendirilebilir. Etki-çizgi diyagramları sadece Plus ta ve Nonlinear versiyonlarından elde edilebilir.

Görüntülenmiş sonuçların detayları düğüm noktasına veya elemana farenin sağ tuşu ile tıklanarak elde edilebilir.

Tablosal Görüntüleme

Detaylı analiz sonuçları bir düğüm noktası veya eleman için özel bir metin penceresinde gösterilebilir. Görüntüleme menüsünden (tablo şeklinde çıktı)' yı seçtikten sonra, sonuçlar farenin sağ tuşu ile düğüm noktasına veya elemana her tıklanıldığında görüntülenir. Görüntülenen metin penceresi yazdırılabilir, ya da dosya menüsünden (veri tablolarını yaz) veya (ç çıktı tablolarını yaz) komutu seçilerek, seçilmiş düğüm noktaları ve elemanlar için tablosal bilgiler yazdırılabilir veya görüntülenebilir. Eğer düğüm noktası veya eleman seçilmemiş ise, bütün model için tablolar üretilir. Bu çıktı tablo modunun (Output Table Mode) açılmadığı her zaman yapılabilir.

Fonksiyon Çizimleri

Fonksiyon çizimleri bir değişkenin diğerine göre grafikleridir. Bunlar, davranış spektrumu analizi, itme analizi (pushover) eğrileri, zaman tanım alanında hesap (Time-History) göstergeleridir. Bütün bunlar zaman tanım alanında analizin sonuçlarından elde edilir. Fonksiyon çizimleri özel bir çizim penceresinde görüntülenebilir ve bastırılabilir. İtme analizi ve itme analizi eğrileri sadece nonlinear versiyonda mevcuttur.

Davranış spektrum eğrilerini görüntülemeye önce ilgilenilen bir veya daha fazla düğüm noktası seçilmelidir. Zaman tanım alanı görüntülemeye önce, bir ve/veya daha fazla düğüm noktasını veya elemanı seçme olanağı bulunmaktadır. Performansı

ölçmek için bir kontrol düğüm noktası seçilmesi gerekmesine rağmen, itme analizi eğrisi yapının kapsamlı bir performansını gösterir.

Boyutlama (Dizayn)

Boyutlama çelik ve/veya betonarme çubuk elemanlarının değişik boyutlama yönetmeliklerine göre kontrol edilmesi için kullanılır. Dizayn yapı analiz edildikten sonra uygulanabilir.

Çelik çubuk elemanları tanımlanan kesitlerden en hafif olanını otomatik olarak seçer. Yapı daha sonra yeniden analiz edilmeli ve dizayn yeniden kontrol edilmelidir. Betonarme çubuk elemanı seçilmiş olan boyutlama yönetmeliğine (design code) göre kayma ve boyuna donatının alanını otomatik olarak seçer. Yeni analize gerek yoktur.

Gerilme oranları ve dizayn parametrelerinin grafiksel görüntülemeleri olanaklıdır. Tek bir çubuk elemanı için o eleman sağ tuşla tıklanarak çizelge halinde dizayn bilgileri elde edilebilir. Ya da, seçilmiş elemanlar için çizelge halinde dizayn bilgileri, Dosya (File) menüsünden Dizayn Tablolarını yaz komutu seçilerek, yazdırılabilir veya gösterilebilir.

Kilitleme ve Kilidi Kaldırma

Analiz yapıldıktan sonra, model analiz sonuçlarına bir değişiklik yapılmaması için otomatik olarak kilitlenir. Kullanıcı da, herhangi bir zamanda modelde daha fazla değişiklik olmaması için modeli kilitleyebilir veya değişikliklere verilmesi için kilidi kaldırabilir. 'Kilitle' ve 'kilidi kaldır' komutuna (Lock & Unlock) ana araç çubuğundan ulaşılabilir.

Analizden sonra modelin kilidi kaldırılırsa, analiz sonuçlarının silineceğine dair uyarılır. Eğer bunun olması istenilmiyorsa (sonuçların silinmesi istenilmiyorsa), kilidi kaldırmadan önce, model başka bir isimle kaydedilmelidir. Daha sonra, modele takip eden değişiklikler yapılacaktır.

Görüntüleme Penceresini Yenileme (Refreshing)

Bazı işlemleri yaptıktan sonra, görüntüleme penceresi yeniden çizilmeye ihtiyaç duyulur. Normalde bu işlem otomatik olarak yapılır, ama büyük modellerle çalışılırken, zaman kazanılması bakımından, bu özellik seçenekler (Options) menüsü kullanılarak kapatılabilir. Bu durumda, aktif görüntüleme penceresini yeniden çizmek veya güncellemek (update) için ana araç çubuğundan pencereyi yenile (refresh window) tuşuna basılmalıdır (CSI, 2001).

3.1.4. Analize Esas Modellerin Kurulması

3.1.4.1. Çalışmaya esas modeller hakkında bilgiler

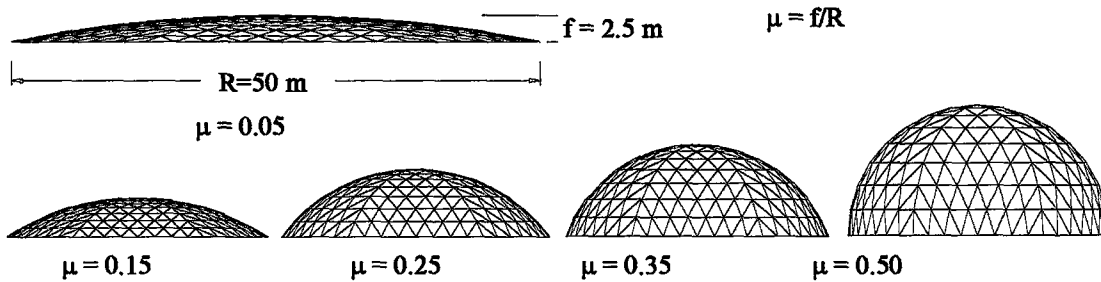
Schwedler tipi modellerde Geometrik Frekans sayısı $\times 4$, Zeiss-Dywidag tipi modellerde Geometrik Frekans Sayısı $\times 6$ mesnet sayısına sahip olup tüm mesnetler hareketsizdir. Tüm modelleri teşkil eden elemanlar çeşitli ebatlardaki boru profilleridir. Modellere yapılan yüklemeler malzemenin öz yükü ve deprem yüküdür. Deprem yükü olarak da El Centro depremi dijital ivme kayıtları esas alınmıştır. Kullanılan deprem hesap yöntemi Time History metodudur.

Modeller SAP2000 Sonlu eleman programında Time-History (zaman tanım alanı) yöntemi ile analiz edilerek her modele ait sonuçlar ve sayısal değerler tek tek incelenerek karşılaştırmaları yapılmıştır.

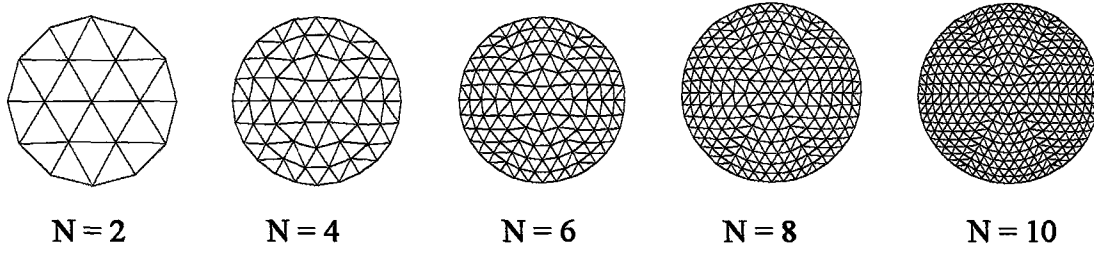
N : Frekans sayısı

μ : Basıklık Oranı

R: çap



Şekil 3.7. Modellerde kullanılan basıklık tipleri



Şekil 3.8. Modellerde kullanılan geometrik frekanslar

Model isimleri

Bu çalışmadaki analizlere esas olacak modeller, ilerde isim kullanımı sırasında kolaylık olması bakımından geometrik özellikleri de dikkate alınarak aşağıda tanımlanan sisteme göre kısaca isimlendirilmişlerdir.



Özel Model :

SCHT.025.10 : Basıklık oranı 0.25, Frekans sayısı 10 ve tek yönlü diyagonal elemanlı

ZD : Zeiss-Dywidag Tipi Kubbe

SCH : Schwedler Tipi Kubbe

Bu tanımlamaya göre çalışmada kullanılan model isimleri aşağıdaki gibi ifade edilecektir.

Zeiss-Dywidag Tipi Kubbe Modelleri :

ZD.005.8 ZD.015.8 ZD.025.8 ZD.035.8 ZD.050.8

ZD.025.2 ZD.025.4 ZD.025.6 ZD.025.10

Schwedler Tipi Kubbe Modelleri :

SCH.005.8 SCH.015.8 SCH.025.8 SCH.035.8 SCH.050.8
SCH.025.2 SCH.025.4 SCH.025.6 SCH.025.10 SCHAT.025.10

3.1.4.2. Bir Modelin Kurulması

Geometrik olarak AutoCAD genel amaçlı tasarım ve çizim programında çizilen modeller .DXF data dosyası kullanılarak SAP2000 Sonlu Eleman Yapısal Analiz Programı' na transferi yapılmıştır. Daha sonra bu programda, aşağıda kısaca anlatılan aşamalar takip edilerek model analiz aşamasına getirilmiştir.

- SAP2000 Programı açıldıktan sonra durum çubuğundan birim ayarı (Ton.cm) yapılır.
- File menüden Import komutuyla DXF. Seçeneğinden data dosyası çağrılarak Sap2000 programında modelin görüntülenmesi sağlanır.
- Model üzerinde mesnetler işaretlenerek, Assign (atama) menüden Joints daha sonra Restraints seçenekleri seçilerek açılan formdan sabit mesnet seçilerek tüm mesnetler sabit yapılır.
- Define (Tanımla) menüden Frame Section seçeneği kullanılarak Ana Elemanlar, Geometrik Frekans Elemanları ve Diyagonallere sırasıyla, Auto1, Auto2 ve Auto3 olmak üzere eleman Avrupa Standartlarındaki çelik profilleri kullanılarak kesit tanımlamaları yapılır. Daha sonra bu Frame (Çubuk) elemanlar işaretlenerek Assign menüden atamaları yapılır.
- Define (Tanımla) menüden Static Load Cases seçeneği kullanılarak Frame elemanların özyükleri tanımlanır ve Frame' ler işaretlenmek şartıyla Assign (Atama) menüden Frame Static Loads komutuyla Gravity (Kendi ağırlığından kaynaklanan yük) yükleri -Z yönünde (Aşağıya doğru) yüklenir.
- Daha sonraki işlemlerde eleman işaretleme kolaylığı sağlanması bakımından ortak özellikli kabul edilen elemanların grup yapılması uygun olacaktır. Bu sebeple Define menüden Group seçeneği ile Grup isimleri tanımlanır ve Assign menüden Group Name seçeneği ile ilgili elemanlara grup isimleri atanır.
- Define (Tanımla) menüden Time History Functions seçeneği ile açılan formdan Add Function From File düğmesi ile yeni deprem fonksiyonu belirlenir.

Belirleme işlemi, depreme ait dijital bilgilerin (Zaman-İvme değerleri) bulunduğu data dosyası bulunup forma ilave edilerek olur.

- Sonra Define menüden Time History Cases seçeneği ile açılan formdan Add New History düğmesi ile açılan diyalog penceresinden, deprem verileri, ölçek faktörü (kullanılan birime uygun yerçekimi ivmesi), sönümlleme, depremin etki yönü, tanıtılan deprem data dosyasında bulunan verilerin düzenine ilişkin bilgiler v.b. gibi ayarlamalar yapılır.
- Gerekliyse, analiz sonucunda ayrı ayrı incelemek için birden fazla yük olması durumunda, bu yükleri içeren birkaç Kombinasyon (COMBO) yapılır. Bu kombinasyonlarda Define menüsünden Load Combination seçeneği ile yapılabilir.
- Analyze menüsünden Space Truss seçeneği seçilir. Dynamic analysis kutucuğu doldurulup Set Dynamic Parameters düğmesinden Mod sayısı verilir. Generate Output seçeneği de Analiz sonucunda alınabilecek çıktı bilgilerinin seçilmesine imkan tanır.
- Tüm bu işlemlerden sonra model analiz edilerek sonuçlar kontrol edilir.

3.2. Metot

Bu bölümde incelemesi yapılan uzamsal çelik uzay yapı sınıfında olan ve çalışmada kullanılan yapı modellerinin analiz edildiği SAP2000 Sonlu Eleman Yapısal Analiz Programında Time History (Zaman Tanım Aralığı) Analizi için model tanımlama ve bazı deprem hesap yöntemleri kısaca anlatılmaktadır.

3.2.1. Sap2000 Sonlu Eleman Yapısal Analiz Programı' nda Zaman Tanım Alanı (Time History) Analizi İçin Model Tanımlaması

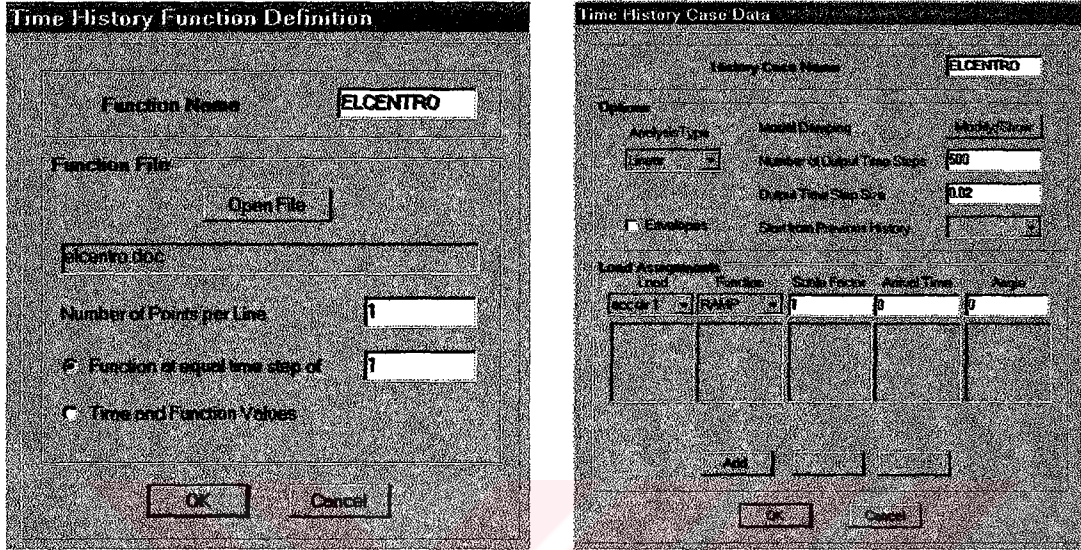
Zaman tanım alanı belirli zaman dilimlerinde, belirli bir yönde, depreme ait zemin ivmelerinin kayıdır. Kayıt genellikle normalize edilir, bu yüzden mutlaka yerçekimi (g) veya uygun bir katsayı ile çarpılmalıdır.

- Programda öncelikle Define (Tanımla) menüsünden Time History Functions (Zaman Tanım Alanı Fonksiyonu) seçilir.

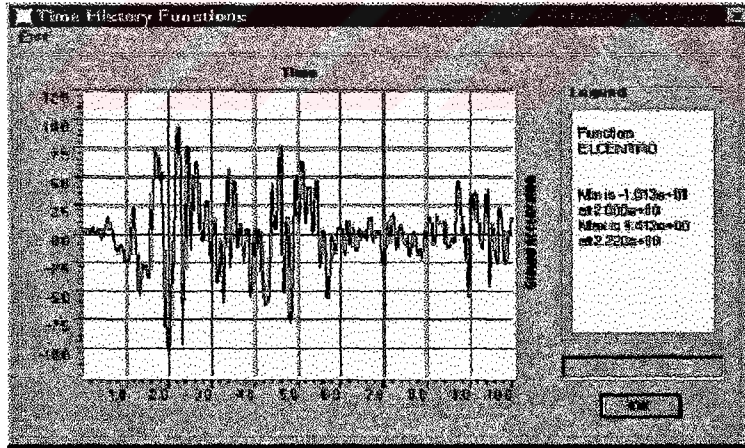
- Add Function From File (Dosyadan Fonksiyon Ekle) düğmesi tıklattılır.
- Open File (Dosya Aç) düğmesinden ilgili depremin (Elcentro) dijital zaman-ivme değerlerinin bulunduğu data dosyası seçilir.
- Bu data dosyasının düzeninde her satırda üç çift bilgi kolonu vardır. Her çift ilk kolonu zaman ikinci kolonu ivmedir.
 - Bu dosya düzeninden dolayı Points Per Line' a (satırdaki nokta sayısı) 3 girilir.
 - Time and Function Values (Zaman ve Fonksiyon Değerleri) seçilir.
 - OK düğmesine basılır.
- Yapılan ilavelerin kabulü için OK düğmesine basılır.
- Modelin zaman tanım alanı özelliklerini tanımlamak için Define (tanımla) menüsünden Time History Cases (Zaman Tanım Alanı Durumları=Z.T.A.) seçilir.
 - Add New History (Yeni Z.T.A. ekle) düğmesi seçilir.
 - Modify/Show Modal Damping (Modal Sönümü Göster/Değiştir) düğmesine basılır ve tüm modlar için 0.05 (%5) girilir.
 - Number of Output Time Steps (Çıktı Zaman Adımları Sayısı) için 500 girilir.
 - Output Time Step Sizes için 0.02 saniye girilir. Bu analize 10 saniyelik bir deprem zamanı verir.
 - Analysis Type (Analiz Tipi) listesi kutusundan Linear seçilir.
 - Load Assignment (Yük ataması) sahasında ;
 - Load' (yük) ın altında ACC DIR1 seçilir.
 - Function' un (Fonksiyonun) altında Elcentro seçilir.
 - Scale Function (Fonksiyonu Ölçekle) için uygun bir yerçekimi ivmesi kullanılan birime uyarlanarak seçilir.
 - Yük tanımlamasını eklemek için Add (Ekle) düğmesine basılır ve girilenlerin kabulü için OK düğmesine basılır.
 - İlavelerin kabulü için formdaki OK düğmesine de basılmalıdır.

Artık zaman tanım alanı analizi için gerekli tüm bilgiler girilmiştir.

Şekil 3.9 da Time History Function Definition ve Time History Cases Data diyalog pencereleri görülmektedir. Şekil 3.10 da El Centro depremi zemin ivme grafiği görülmektedir.



Şekil 3.9. Time History Function Definition ve TimeHistory Cases Data formları



Şekil 3.10. El Centro depreminin ivme-zaman grafiği

3.2.1.1. Analizin Çalıştırılması

- Geometrik olarak modellemesi, gerekli tanımlama (define) ve atamaları (assign) yapılan model kaydedilir (save).

- Dizayn parametreleri ayarlanır. Analyze (Analiz Et) menüsünden Set Options (seçenekleri belirle) seçilir.
 - Dynamic Analysis ayarları kontrol edilir.
- Yapının analizi için Analyze (Analiz Et) menüsünden Run (Çalıştır) seçilir.

3.2.1.2. Sonuçların Kullanılması

Sonuçların Kontrolü

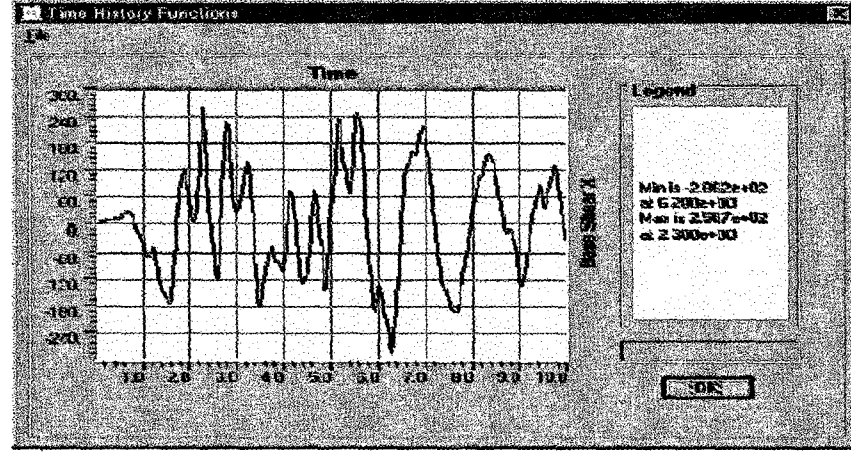
Model analizi problem vermeden başarı ile tamamlandığında çıktılarda umulan sonuçları görmek için kontrol edilmesi gerekir. Bunlar:

- Zaman Tanım Alanının oluşturduğu taban kesmelerinin kontrolü
 - Display (Görüntüle) menüsünden Show Time History Traces (Z.T.A. izleri) seçilir.
 - Time History Display Definition (Z.T.A. Görüntüleme tanımları) formunda DEFINE FUNCTIONS (Fonksiyonları tanımla) seçeneği seçilir.
 - Time History Function (Z.T.A. Fonksiyonu) formunda Add Base Function (Taban Fonksiyonlarını Ekle) ve Base Shear X (Taban Kesmesi X) seçilir.
 - Daha sonra Time History Display Definition formuna geri dönmek için OK tuşuna basılır.
 - Plot Function (Fonksiyonları Çiz) liste kutusuna Base Shear (Taban Kesmesi) eklenir.
 - Ve Display düğmesine basılarak global X yönünde zamanın fonksiyonu olarak taban kesmeleri görülür (Şekil 3.11.).
- Zaman Tanım Alanı boyunca düğüm noktasının yerdeğiştirmesi de izlenebilir.
 - Bir düğüm noktası seçilir ve Display (Görüntüle) menüsünden Show Time History Traces (Z.T.A. izleri) seçilir.
 - Define Functions düğmesine basılarak Time History Functions (Zaman Tanım Alanı Fonksiyonu) formundaki listeden düğüm noktası numarası

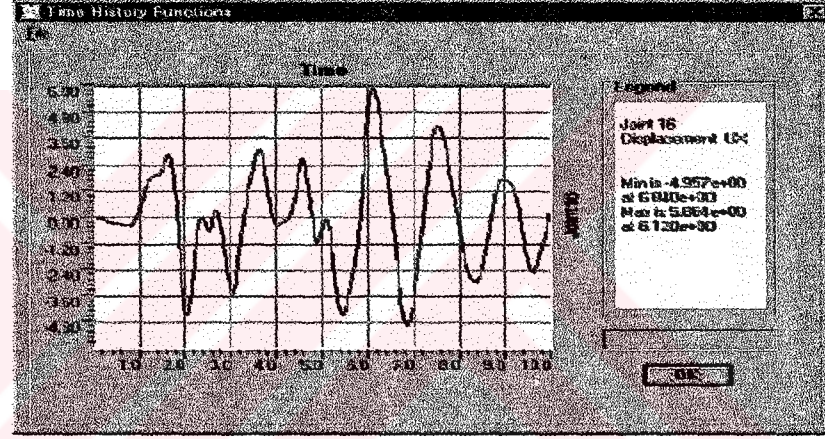
seçilir. ve Modify/Show TH Function (Z.T.A. Fonksiyonunu Göster/Değiştir) düğmesine basılır.

- Time History Joint Function (Z.T.A. Düğüm Noktası Fonksiyonu) formunda Displ Vector Type (Vektör Tipini Görüntüle) ve UX Vector Direction (Vektör Doğrultusu) seçilir.
- Değişikliklerin kabulü için için OK tuşuna basılır.
- Time History Display Definition (Z.T.A. Görüntüleme Tanımları) formuna geri dönmek için OK düğmesine basılır.
- List of Functions (Fonksiyon Listesi) nden Plot Functions listesine düğüm eklenir ve Taban Kesmesi (Base Shear) X fonksiyonu silinir.
- Düğümün zamana bağlı deplasmanını görmek için Display düğmesine basılır. Şekil 3-3
- Önceden seçmeden de Time History Display Definition formunda bir düğüm noktası fonksiyonu tanımlanabilir.
 - Time History Display Definition formunda Define Functions düğmesine basılır ve Time History Functions formundaki Add Joint Disps/Forces (Düğüm Deplasman/Kuvvetlerini Ekle) seçilir.
 - Time History Joint Function (Z.T.A. Düğüm Noktası Fonksiyonları) formunda düğüm noktası adı girilir (Joint ID).
 - Vector Type (Vektör Tipi) ve Vector Direction (Vektör Doğrultusu) girilir.
 - Time History Display Definition formuna geri dönmek için OK düğmesi tıklanır. List of Function liste kutusunda artık yeni düğüm noktası fonksiyonu da bulunur.

Şekil 3.11. de Taban Kesmesi grafiği ve Şekil 3.12. de Zaman Tanım Alanında Çatı Kotu Deplasmanı Grafiği görülmektedir.



Şekil 3.11. Taban kesmesi grafiği



Şekil 3.12. Zaman alanında çatı kotu deplasmanı grafiği

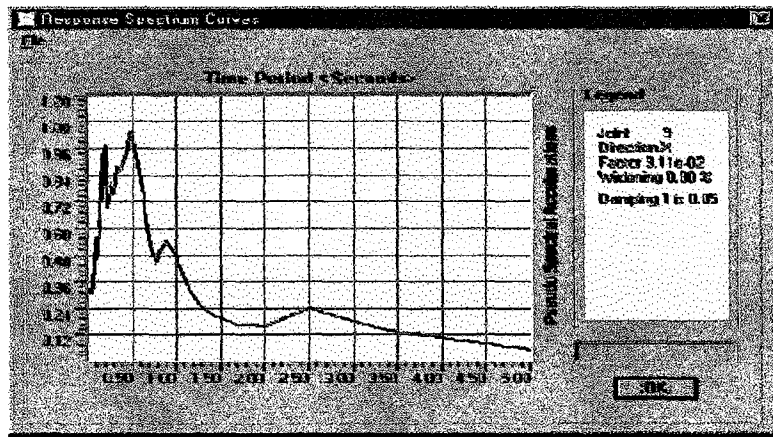
3.2.1.3. Davranış Spektrumu Bilgisinin Üretilmesi

Yapılacak ilk şey zaman alanı datasından Davranış Spektrumunun çizilmesidir. Daha sonra bu bilgilerin bir dosyaya yazılması ve SAP2000' in okuyacağı formatta düzenlenmesi gerekir.

Davranış Spektrumunun Çizilmesi

- Yapının taban kotundan bir düğüm noktası seçilir.
- Display (Görüntüle) menüsünden Show Response Spectrum Curves (Davranış Spektrumu Eğrilerini Göster) seçilir. Bu seçeneğin aktif hale gelebilmesi için bir düğüm noktasının önceden seçilmiş olması gerekmektedir.

- Response Spectrum Generation formunda seçilen düğüm noktasının adı bulunur.
 - Define (Tanımla) menüsünde X Vector Direction seçilir.
 - Axes tablosunu altında Abscissa için Period ve Ordinate için PSA (Pseudo Spectral Acceleration) seçilir.
 - Options tablosu altında Abscissa ve Ordinate' nin her ikisi için de Arithmetic seçilerek Ordinate için ölçek faktörü girilmelidir.
 - Ölçek faktörü davranış spektrumunu normalize etmek için kullanılır. Davranış Spektrumu üretilecek Z.T. Alanı 'g' ile çarpılır ve böylece normalize edilmiş değerlere dönmek için aynı değerlere bölünür.
 - Davranış spektrumunu üretmek için Period tablosu altında Default (Ön değer) ve Structural frekanslar seçilir. Default olarak isimlendirilen frekanslar tipik olarak yapısal olanlara benzer şekilde oluşturulan frekanslardır. Structural frekanslar yapının tabii frekanslarıdır.
 - Damping tablosu altındaki Damping value (Sönüm Değeri) 0.05 olarak korunur. Çünkü yapı 0.05 sönüm var gibi davranır, bu nedenle başka bir değere ihtiyaç yoktur.
 - İş bittiği zaman Display düğmesine basılır.
- Ekranda El Centro depreminin 0.05 sönümlü Davranış Spektrumu görülür (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13. El Centro depreminin zaman tanım alanında davranış spektrumu

- Response Spectrum Curves formunda File menüsünü ve Print Tables to File seçilir. Bu iki kolondan oluşan bir dosya oluşturur. Birinci kolon periyot ikincisi ise bu periyoda karşı gelen (PSA) Spektral ivmedir.
 - Bu dosya RS-El Cent.txt gibi uygun bir isimle saklanır.

Tablonun Düzenlenmesi

Bundan sonraki adım RS-El Cent.txt text dosyasında bazı küçük değişiklikler yaparak dosyayı SAP2000 in okuyabileceği düzene getirmektir. Dosya oluşturulurken, dosyanın içeriği ile ilgili kullanıcıya yardımcı olabilecek bazı ek bilgiler de oluşturulur. Bu ek bilgilerin silinmesi gerekmektedir.

- RS-El Cent.txt dosyası Wordpad veya Notepad gibi bir text editörü ile açılır.
 - Şekil 3.14 te görüldüğü gibi bütün yazılar seçilir ve silinir.
 - Aynı isim ile RS-El Cent.txt dosyası saklanır.
- Şimdi dosya yalnızca periyot ve sahte spektral ivmeleri bulunan ve SAP2000 in okuyabileceği düzende bir dosyadır (Şekil 3.14.).

0.0003	3.0866E-01
0.0357	3.2687E-01
0.0400	3.1189E-01
0.0454	3.2217E-01
0.0500	3.3205E-01
0.0556	3.3008E-01
0.0606	3.4265E-01
0.0667	3.7481E-01

Şekil 3.14. El Centro depreminin ivme kayıtlarının bulunduğu data dosyasının düzenlenmesi

Spektral Bilginin Okunması

Yukarıdaki anlatımlarda da açıklandığı gibi hazırlanan RS-El Cent.txt dosyası artık SAP2000 programının okuyabileceği formattadır. Bundan sonra yapılması gereken dosyanın, nerede ve hangi düzende olduğunun programa anlatılmasıdır.

- Model kilitli ise, üst menüdeki Modeli Kilitle/Aç düğmesine basılır. Bu kilidi açacak ve değişiklik yapılmasına izin verilecektir.
- Define (Tanımla) menüsünden Response Spectrum Functions seçilir.
- Response Spectrum Function formunda Add Function From File düğmesine basılır.
 - Spektrum adı "RS-El Cen" dir.
 - Open File (Dosya Aç) düğmesine basılır ve Pick File formundan RS-El Cent.txt dosyası seçilir.
 - Number of Points Per Line 1 olarak korunur. Çünkü bu dosyadaki her satırda bir davranış (Response) bilgisi vardır.
 - Period and Acceleration Value seçilir.
 - Formu kapatmak için OK düğmesine basılır.
- Define (Tanımla) menüsünden Response Spectrum Cases seçilir.
- Response Spectrum formunda Add New Spectra düğmesine basılır.
 - Modal Damping için 0.05 girilir.
 - Input Response Spectra sahasında U1 yönü için RS-Elcen dosyası seçilir ve Scale Factor (Çarpım) için yerçekimi ivmesi (kullanılan birim gözönüne alınarak) girilir.
 - Geriye kalan değerler kabul edilebilir.
 - Formu kapatmak için OK düğmesine basılır.

3.2.1.4. Analizin Çalıştırılması

Buraya kadar anlatılan değişiklikler yapıldıktan sonra, model çalıştırılıp sonuçlar alınarak incelenir.

- Model saklanır (save).
- Analyze (Analiz Et) menüsünden Run Minimized seçilip analiz başlatılır.

3.2.1.5. Sonuçların İrdelenmesi

Kontrolde yapılacak ilk şey Zaman Tanım Alanı ve Davranış Spektrumu gereği yapının üst kotundaki yer değiştirmeler ve taban kesmelerinin kontrolüdür. Bu taslak

yöntem çalışmasının ne düzeyde iyi olduğunu gösterir. Bu bölümün sonunda statik yatay yükler, Zaman Tanım Alanı Yükleri ve Davranış Spektrumu yükleri sonuçları görülebilir.

Davranış Spektrumu Şekil Değiştirmeleri

- Display (Görüntüle) menüsünden Display Deformed Shape seçilir.
 - Deformed Shape formunda spektral analiz için yük durumu seçilir.
 - OK düğmesine basılır.
- Yapının en üst kotundaki bir düğüm noktasına sağ tuş ile tıklayarak global X yönündeki deplasmanlar görülebilir.

Davranış Spektrumu Taban Kesmesi

Base Shear grubu kullanılarak Davranış Spektrumlarından oluşan taban kesmeleri görülebilir.

Zaman Tanım Alanı Şekil Değiştirmeleri ve Taban Kesmeleri

- Bu bölümün ilk kısmında ana hatlarıyla kullanılan yöntem ile yapının en üst kotundaki yer değiştirmeler görülebilir.
- Plot Functions listesinden silinir ve Time History Display Definitions formunda List of Functions dan Base Shear X seçilerek X yönü taban kesmeleri çizilebilir ve listelenebilir.

3.2.1.6. Son Açıklamalar

Görüldüğü gibi Zaman Tanım Alanında hesap, Davranış Spektrumu Analizine göre çok daha fazla zaman harcar. Davranış Spektrumu ve Zaman Tanım Alanı analizleri birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Bununla beraber her iki yöntemin de sınırlarının ve gücünün kullanıcılar tarafından tam olarak anlaşıldıktan sonra kullanılması çok önemlidir.

3.2.2. Deprem Hesap Yöntemleri

Dinamik Analiz

Yüklere ve deplasmana maruz kalan bütün gerçek yapılar dinamik davranış sergilerler. Dinamik davranış sergileyen bir yapıda Newton' un ikinci kanunundan hareketle, kütle ve ivmenin çarpılmasıyla bulunan atalet kuvvetleri de yapıya etki eder. Eğer, yapıya uygulanan veya gelen kuvvet yapıya çok yavaş bir şekilde etki ediyorsa atalet etkileri ihmal edilir ve yapıyı statik olarak analiz etmek yeterlidir. Burada dinamik analizi, statik analizin daha geniş bir hali olarak tanımlayabiliriz.

Ayrıca, bütün gerçek yapılar sonlu sayıda deplasmanlara sahiptirler. Bu yüzden, yapı analizinin en kritik durumu veya yapı analizinde en önemli nokta, yapının bilgisayar modelinin oluşturulmasıdır. Çünkü yapının bilgisayar modelinin oluşturulmasında sonlu sayıda deplasmanlar ve sonlu sayıda kütsüz elemanları kullanarak yapının gerçek davranışını ortaya koyacak bir bilgisayar modelini oluşturmak oldukça zordur. Yapı sisteminin kütlesi, eğer tam doğru tahmin edilmişse kütlenin düğüm noktalarında toplandığını kabul edebiliriz. Ayrıca, lineer elastik yapılar için, elemanların rijitlik özelliklerinin belirlenmesinde deneysel datalara ihtiyaç duyulur. Bu dataların büyük oranda yüksek doğruluk derecesinde olduğu kabul edilebilir. Buna rağmen, dinamik yüklemelerde pek çok yapı için sınır (mesnetleme) şartlarını ve enerji dağılım özelliklerini tahmin etmek zordur. Bu, rüzgar yükleri veya sismik etkilerin oluşumları için her zaman doğrudur.

Bir önceki paragrafta özetlenmiş olan yaklaşımların sebep olduğu hataları azaltmak için farklı yükleme ve sınır şartları için farklı bilgisayar modelleri kullanarak yapının dinamik analizini yapmak gerekir. Mevcut yapıda bütün varyasyonların incelenmesi için veya yeni bir yapı dizayn etmek birbirleriyle bağlantılı yirmi veya daha fazla bilgisayar çalıştırmak gerçekçi bir yaklaşım değildir.

Tipik bir dinamik analiz için çok sayıda bilgisayara ihtiyaç olmasından dolayı bilgisayar programları içinde doğru ve etkin numerik metodların kullanımı büyük önem taşımaktadır.

Dinamik Denge

Zamanın fonksiyonu olarak kütleleri toplu çok serbestlik dereceli bir sistemin kuvveti aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$F(t)_I + F(t)_D + F(t)_S = F(t) \quad (3.1)$$

- (t) : t anındaki kuvvet vektörleri sırasıyla;
 $F(t)_I$: Düğüm kütlelerine etkiyen atalet kuvvetleri
 $F(t)_D$: Viskoz sönümleme veya enerji dağılımından kaynaklanan kuvvet vektörleri
 $F(t)_S$: Yapının iç kuvvet vektörü
 $F(t)$: Uygulanan dış kuvvet vektörleri

Fiziksel kanunlara dayalı denklem (3.1) lineer sistemler için geçerlidir. Eğer denklem (3.1) dengesi yapının deforme olmuş geometrisine göre yazılmış ise aynı denklem nonlineer sistemler için de geçerlidir.

Pek çok yapı sistemleri fiziksel denge durumuna çevirmenin lineer yapısal davranış yaklaşımı yapılmıştır. Bunun için denklem (3.1) aşağıdaki gibi 2. mertebe lineer diferansiyel denklem şeklinde ifade edilir.

$$M\ddot{u}(t)_a + C\dot{u}(t)_a + Ku(t)_a = F(t) \quad (3.2)$$

Burada;

- M : Kütle matrisi
C : Viskoz sönüm matrisi (gerçek yapılarda yaklaşık enerji dağılımına göre seçilir).
K : Yapının sistem rijitlik matrisi

Zamana bağlı vektörler $U(t)_a$, $\dot{U}(t)_a$, $\ddot{U}(t)_a$, sırasıyla mutlak düğüm deplasmanları, hızlar ve ivmelerdir.

Yapı dinamiğinde pek çok kitap denklem (3.2)' nin tam (mutlak) çözümü için çok değişik yöntemler vermektedirler. Geçmiş birkaç yıl içinde, kompleks matematik tekniklerini kullanmaksızın, yüksek hızlı, kişisel bilgisayarlar yardımıyla denklem (3.2)' nin tam çözümünü elde etmek mümkün hale gelmiştir. Bu yüzden çağdaş yapı mühendisleri yapı analizini dinamik denge ve enerji dağılımını fiziksel olarak anlamakta, kompleks yapı sistemlerinin dinamik analizini gerçekleştirebilmektedirler.

Sismik harekette, yapı temeline etki eden deprem etkisinin üç doğrultuda ivme, hız ve deplasman bileşenleri mevcuttur. Bu yüzden denklem (3.2) üç doğrultuda bileşenlere göre yazılabilir. Böylece, mutlak deplasmanlar, hızlar ve ivmeler denklem (3.2)' de aşağıdaki şekilde yazılarak elimine edilebilir (Wilson, 1997).

$$\begin{aligned} u(t)_a &= u(t) + I_x u(t)_{xg} + I_y u(t)_{yg} + I_z u(t)_{zg} \\ \dot{u}(t)_a &= \dot{u}(t) + I_x \dot{u}(t)_{xg} + I_y \dot{u}(t)_{yg} + I_z \dot{u}(t)_{zg} \\ \ddot{u}(t)_a &= \ddot{u}(t) + I_x \ddot{u}(t)_{xg} + I_y \ddot{u}(t)_{yg} + I_z \ddot{u}(t)_{zg} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Burada I_i i yönünde bir, diğer bütün yönlerde sıfır olan bir vektördür.

Denklem 3.2' de denklem 3.3' ü yazarsak;

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = -M_x \ddot{u}(t)_{xg} - M_y \ddot{u}(t)_{yg} - M_z \ddot{u}(t)_{zg} \quad (3.4)$$

Burada $M_i = MI_i$ (3.4)' ün basitleştirilmiş formu, sadece taban hareketinin sebep olduğu deplasmanlar ve hızlardan hareketle yazılmıştır. Bu denklemde yapıya gelen dış kuvvetler ve sönüm kuvvetleri yoktur.

Mesnet hareketi yapan bir sistemin deplasmanlarının hesabı mühendisler için çok önemlidir. Çünkü mesnet hareketi altında bir yapıda, temelde meydana gelen deplasman yapının düğüm noktalarında harici olmayan kuvvet meydana getirir. Bu deplasmanların el ile hesabı oldukça zordur. Bu nedenle bilgisayar yardımıyla hesaplanmaları daha gerçekçi analiz yapılmasını sağlar. Örneğin, yapının statik Pushover analizi kompleks zamana bağımlı taban (mesnet) hareketine maruz üç

boyutlu yapının dinamik davranışında ilkel bir yaklaşımdır. Ayrıca bir diğer nokta taban izolasyon sistemlerinin doğru bir şekilde elde edilmesi için mutlak deplasmanlar hesaplanmalıdır.

Denklem (3.4)'ün çözümü için kullanılabilir pek çok farklı klasik yöntem vardır. Yükleme ve yapının tipine bağlı olarak her bir yöntem avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

3.2.2.1. Adım Adım Çözüm Yöntemi

Dinamik analiz için en genel çözüm yöntemi Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$ gibi zaman aralıklarında denge denklemlerinin çözüldüğü artımsal yöntemdir. Çok sayıda farklı artımsal çözüm yöntemleri vardır. Genelde, bu yöntemler, herhangi bir zaman artımında denge denklemlerinin tamamının çözümünü içerir. Nonlineer analiz durumunda her zaman adımında yapının tamamı için rijitlik matrisini oluşturmak gerekebilir. Ayrıca dengeyi sağlamak için her zaman artımında iterasyon gerekebilir. Sadece birkaç yüz serbestlik dereceli bir sistemi çözmek bile uzun hesaplama gerektirir ve bu işlemi oldukça uzatır. Stabil çözümler elde etmek için artımsal çözüm yöntemlerine yapay veya nümerik sönüm eklenmelidir. Bu nedenle sonuçların yorumlanmasında mühendisler çok dikkatli olmalıdır. Sismik hareketlere maruz, bazı nonlineer yapılar için artımsal çözüm yöntemleri gerekir.

Çok büyük yapı sistemleri için mod süperpozisyonu ve artımsal yöntemlerin kombinasyonu olan yöntemler bulunmuştur. Bu yöntemlerin etkili olması için sistemin az sayıda nonlineer elemanlara sahip olmaları gerekir.

3.2.2.2. Mod Süperpozisyonu Yöntemi

Lineer yapı sistemlerinin sismik analizi için en yaygın ve etkin yaklaşım, mod süperpozisyonu yöntemidir. Bu metot, ortogonal vektörlerin elde edilmesinden sonra, büyük global denge denklemlerini nispeten daha az sayıda bağımsız, ikinci mertebe diferansiyel denklemlere indirgenmesi esasına dayanır. Bu denklemlerin nümerik çözümleri hesaplama süresini oldukça azaltır.

Sismik hareketlerin yapıyı daha alt frekanslarda harekete geçirdiği gösterilmiştir. Deprem yer ivmeleri bir saniyenin ikiyüzde biri ($1/200'$ ü) zaman artımlarında kaydedilir. Bu yüzden temel yükleme saniyede elli devir üstündeki bilgileri içermez. Böylece sistemin yüksek frekans ve mod şekillerinin ihmal edilmesi hataya sebep olmaz.

3.2.2.3. Response Spektrum Analizi

Lineer elastik analiz ile sınırlandırılmış olan mod süperpozisyon yöntemi, spesifik yer hareketi yükünden dolayı meydana gelen eleman kuvvetleri ve düğüm deplasmanlarının zaman ortamında bütünüyle davranışını ortaya koyar. Bu davranışın kullanılmasının iki büyük dezavantajı vardır. Birincisi, bu metot çok büyük çıktı bilgilerine sebep olur ve bu bilgileri de elde etmek için de büyük çaba sarf etmek gerekir. Zamanın fonksiyonu olarak bu bilgileri birleştirmek ve dizayn bilgilerini ortaya koymak oldukça uzun zaman gerektirir. İkincisi, belirli bir yönde düzgün bir fonksiyona sahip olmayan bir deprem için, etkinin davranış spektrumunda bütün modlar için (temin etmek için) analiz, pek çok farklı deprem hareketinde tekrarlanmalıdır.

Yapı sistemlerinde eleman kuvvetleri ve deplasmanların tahmini için, sismik analizin response spektrum yönteminin kullanılması avantaj sağlar. Bu metot hiçbir modda pek çok deprem hareketinin ortalaması olarak elde edilen düzgün dizayn spektrumlarını kullanarak eleman kuvvetlerinin ve deplasmanların sadece maksimum değerlerinin hesabını zorunlu kılar. Burada, kuvvet deplasmanların muhtemel pik değerlerini elde etmek için bu maksimum modal response değerlerini birleştirmek için CQC (Complete Quadratic Combination) (Tam Kare Kombinasyonu) yöntemi önerilecektir. İlave olarak yapıdaki bütün elemanlara ait dizayn kuvvetlerini elde etmek için ortogonal deprem hareketlerini birleştirmenin sonuçlarının SRSS (Maksimum Mod Değerlerinin Karelerinin Toplamının Karekökü) ve CQC3 yöntemleri dinamik analize izin vermektedir.

3.2.2.4. Frekans Alanında Çözüm

Temel yaklaşım dış yük $F(t)$ yi Fourier serisine açarak frekans alanında denge denklemlerinin çözülmesidir. Çözüm $-\infty$ ' dan $+\infty$ zaman aralığında kompleks sayılar cinsinden elde edilir. Bu yüzden yöntem rüzgar, deniz dalgası, akustik mekanik titreşimler gibi periyodik yük tipleri için oldukça etkilidir. Bununla birlikte, deprem hareketine maruz yapıların çözüm yönteminin kullanılması aşağıdaki dezavantajlara sahiptir.

Birçok yapı mühendisi için matematiği kendi kendine anlamak oldukça zordur. Ayrıca çözümlerin doğruluğunu tespit etmek de zordur.

Deprem yükü periyodik değildir, bu yüzden yüklemenin sonraki periyodunun başında aynı depremin bir önceki uygulamasına tamamen sönümsüz sonlu uzunluktaki depremden çözüm elde etmek için uzun zaman periyodu seçmek gereklidir.

Sismik yükleme durumunda; yöntem nümerik olarak etkili değildir. Frekans ortamından zaman ortamına sonuçların transformasyonu hızlı Fourier transformasyon yöntemleri kullanılsa bile hesaplar için büyük çaba sarfetmek gerekir.

Yöntem lineer yapı sistemlerinin çözümünü sınırlandırmıştır.

Zemin yapı etkileşim problemleri ve yerel davranış problemlerinin yaklaşık nonlineer çözümü için teorik yönden yeterli derecede tatmin edici olmasa bile metot kullanılmaktadır. Frekans alanında çözümde lineer denklemleri meydana getirmek için iteratif yöntem de kullanılır. Zemindeki yaklaşık enerji dağılımında her bir iterasyondan sonra lineer sönüm terimleri değiştirilir (Wilson, 1997).

3.2.2.5. Sismik Yük Davranış Spektrumunu Kullanarak Dinamik Analiz

Lineer elastik analizle sınırlanmış olan esas mod süperpozisyonu metodu ile, düğüm noktası deplasmanları ve eleman kuvvetlerinin zaman tanım aralığı (Time-history) davranışı tamamen hesaplanabilmektedir. Geçmişte, bu yaklaşımın kullanımında iki büyük sakınca olagelmıştır. Birincisi, metodun, zamanın bir fonksiyonu olarak bütün mümkün tasarım kontrollerini yönetebilmek için büyük ölçüde hesaplama işi gerektirebilen fazla miktarda çıktı bilgisi üretmesidir. İkincisi, belirli bir yöndeki bir deprem için davranış spektrumu düzgün bir fonksiyon olmadığından, bütün frekansların incelendiğinden emin olmak amacıyla, birkaç farklı deprem hareketi için analizin tekrarlanması zorunluluğudur.

Yapı sistemlerinde eleman kuvvetleri ve deplasmanların tahmini için sismik analizin davranış spektrumu metodunun kullanılmasında hesaplama avantajları vardır. Bu metod, birkaç deprem hareketinin ortalamaları olan düzgün tasarım spektrumlarını kullanan her bir mod için, deplasmanların ve eleman kuvvetlerinin sadece maksimum değerini hesaba katmaktadır.

Bu metod üç boyutlu karmaşık bir yapısal sistemin doğrusal olmayan (nonlinear) davranışını incelemekte kullanılmaz

Bilgisayarların hızında son zamanlarda meydana gelen artış, zaman tanım alanı analizini kısa bir zaman periyodunda çok sayıda çalıştırmayı pratikleştirmiştir. Dahası, her bir elemanın tasarımı, davranış spektrumu metodunun gerektirdiği maksimum uç değerler kullanarak yapılmadığından, artık tasarım kontrolleri zamanın bir fonksiyonu olarak yapılabilmekte ve daha iyi sonuçlar alınmaktadır (Wilson, 1998).

3.2.2.6. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Kiriş, kolon ve perdelerden oluşan betonarme iskeletli yapılara etkiyen deprem yükleri genellikle yapıya döşemeleri seviyesinde etkiyen yatay yükler olarak kabul edilir. Yatay yüklerin binanın asal doğrultularında ayrı ayrı etkidiği kabul edilerek,

taşıyıcı sistemlerin elemanlarında kesit etkileri bulunur. Yapıların depreme direnci olarak boyutlandırılmasında kullanılan Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü, taban kuvveti olarak bilinir ve W toplam yapı ağırlığı olmak üzere,

$$V_t = WA(T_1)/R_a(T_1) \geq 0.10 A_0 IW \quad (3.6)$$

Şeklinde belirlenir. İfadede ' A_0 ' etkin yer ivmesi Katsayısı, ' I ' Yapı Önem Katsayısı, ' S ' Spektrum Katsayısı, ' T_1 ' Yapının Birinci Titreşim Periyodu, ' W ' Toplam Yatay Ağırlığı, ' R_a ' Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ve ' A ' Spektral İvme Katsayısı olup

$$A(T_1) = A_0 IS(T_1) \quad (3.6)$$

olarak verilmiştir (Celep ve Kumbasar, 2000).

3.2.3. Deprem Hesap Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Yapıların dinamik analizinde "Davranış Spektrumu Metodu" dikkatli kullanılmalıdır. Kaçınılabılır hataların ortaya çıkmasını en aza indirmek için modların maksimum değerlerinin kombinasyonunda CQC metodu kullanılmalıdır. Bir sismik analizde hesaplama işindeki artış, SRSS metodu ile mukayese edildiğinde, toplam bilgisayar zamanı açısından daha azdır. CQC metodunun teorik esaslı bir vurgusu olup, deprem mühendisliğinde uzmanların çoğu tarafından kabul edilmiştir. Mod kombinasyonunda SRSS metodu veya mutlak değerler toplamı kullanılmasının doğruluğu ispat edilememektedir.

Bir yapının bütün yönlerdeki deprem hareketlerine eşit direnç gösterebilmesi için, üç boyutta uygulanan deprem spektrumlarının etkilerini kombine etmekte CQC3 metodunun kullanılması zorunludur. Yüzde kuralı metodlarının teorik temeli yoktur ve bunlar referans sisteminden bağımsızdırlar.

"Davranış Spektrumu Metodu", kuvvet ve deplasmanların maksimum pik değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılan yaklaşık bir metottur ve oldukça önemli sınırlamaları vardır. Bu metod, güvenilirlik derecesi düşük bir tarzda sadece tahmin

edilebilen sönümlenme özelliklerine sahip lineer elastik analizle sınırlandırılmıştır. Yaygın olarak kullanılan doğrusal olmayan (nonlinear) spektrumlar için çok küçük bir teorik arka planı vardır ve karmaşık üç boyutlu yapıların analizinde kullanılmalıdır. Bu gibi yapılarda, gerçek doğrusal olmayan (nonlinear) zaman tanım aralığı (time history) davranışının kullanılması zorunludur.

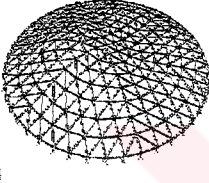
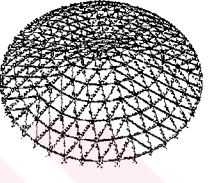
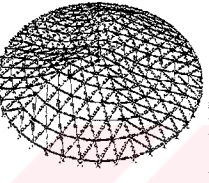
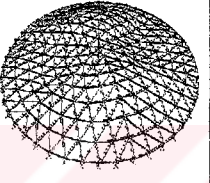
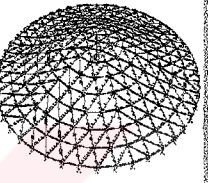
“Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” nde yapının birinci modu esas alınır ve katlara etkiyen deprem kuvvetlerinin kat kütlesi ve katın temelden yüksekliği ile orantılı olduğu kabul edilir. Titreşim periyodunun hesabına ve deprem yükünün dağıtılmasında binanın kütlesi hesaba katıldığı için bu yöntemde yapının birinci serbestlik derecesini esas alan dinamik bir yöntem olarak da kabul edilebilir. “Mod Birleştirme Yöntemi” nde toplam deprem kuvvetinin bulunmasında diğer titreşim periyotları ve mod şekilleri esas alınır. Bu yöntem çok serbestlik dereceli sistemlerin davranışını veren ifadelerin her mod şekli için ayrı ayrı değerlendirilmesi olarak da görülebilir.

Matematiksel bir bakış açısında Mod Birleştirme Yöntemi, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’ ne göre daha kesin bir yöntem olarak görülür. Ancak taşıyıcı sistemin elemanlarının atalet momentlerinde, davranışlarındaki belirsizlikler yanında hesapta depremi temsil eden spektrum eğrisindeki kabuller bu yöntemin de önemli bir yaklaşıklık içerdiğini gösterir. Elastik deprem yükünün azaltılması, kesit hesaplarının daha sonra doğrusal olmayan kabullere dayanan taşıma gücü yöntemine göre yapılması da bu yöntemin yaklaşımlar içerdiğine işaret eder. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’ nin kabullerinin daha az sayıda olması pek çok durumda yöneme olan güveni artırır. Bu nedenle Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen çözümleme sonuçlarının Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’ nininkilerle karşılaştırılması faydalı olur (Dolunay, 2000).

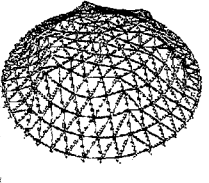
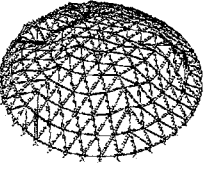
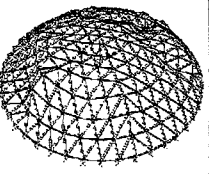
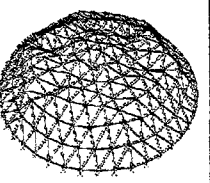
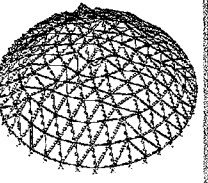
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Modellere Göre Doğal Frekans Değerleri ve Modlar

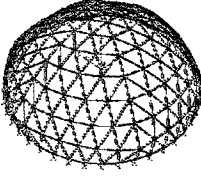
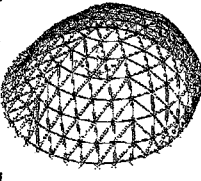
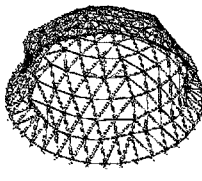
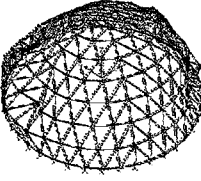
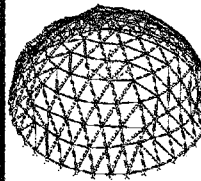
Çalışmada kullanılan yapı modellerinin analizinde toplam on mod tanımlanmıştır. Tanımlanan bu modlara göre tüm modellerin deformasyonları incelenmiş ve aşağıdaki tablolarda her modelin ilk beş modu için doğal frekans değerleri, şekilleri ve maksimum deplasman (*Max. deplasmanl.:*) değerleri verilmiştir. Deplasman değerlerinin birimi *milimetredir.*

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.2557 Doğal Frekans : 3.911 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -9.33 Y = 7.01 Z = 94.08	Period : 0.2557 Doğal Frekans : 3.911 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -6.11 Y = -9.38 Z = -93.61	Period : 0.2386 Doğal Frekans : 4.191 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -9.08 Y = -9.16 Z = 82.73	Period : 0.2386 Doğal Frekans : 4.191 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 8.29 Y = 9.80 Z = 86.95	Period : 0.2347 Doğal Frekans : 4.261 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 6.64 Y = 5.11 Z = 93.41

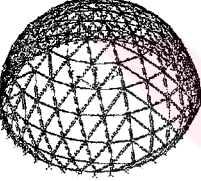
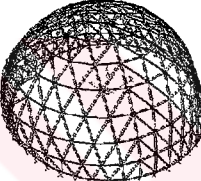
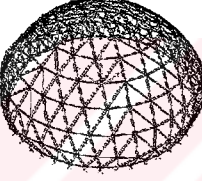
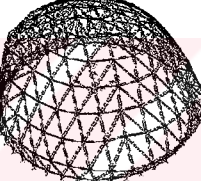
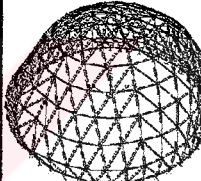
Şekil 4.1. ZD.005.8 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.1161 Doğal Frekans : 8.613 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -35.95 Y = 30.82 Z = 100.46	Period : 0.1160 Doğal Frekans : 8.621 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 23.84 Y = -41.26 Z = 118.00	Period : 0.1160 Doğal Frekans : 8.621 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -53.54 Y = -25.11 Z = 132.44	Period : 0.1148 Doğal Frekans : 8.711 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 32.77 Y = 30.52 Z = -99.95	Period : 0.1142 Doğal Frekans : 8.757 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -32.15 Y = -33.45 Z = -131.13

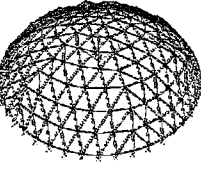
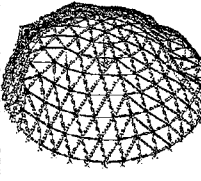
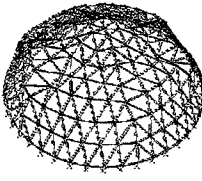
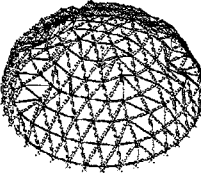
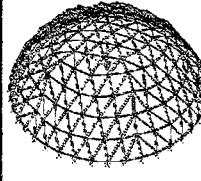
Şekil 4.2. ZD.015.8 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.0843 Doğal Frekans : 11.862 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -41.79 Y = -45.31 Z = 23.97	Period : 0.0843 Doğal Frekans : 11.862 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 39.64 Y = -46.69 Z = -23.60	Period : 0.0751 Doğal Frekans : 13.316 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -69.11 Y = -59.90 Z = 48.92	Period : 0.0734 Doğal Frekans : 13.624 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -79.32 Y = 61.54 Z = 66.74	Period : 0.0734 Doğal Frekans : 13.624 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 53.29 Y = 81.65 Z = 74.75

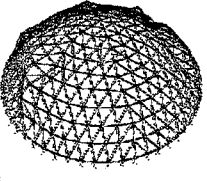
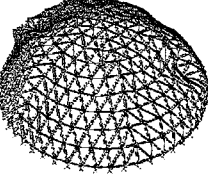
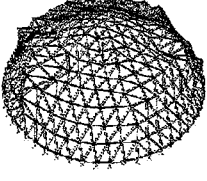
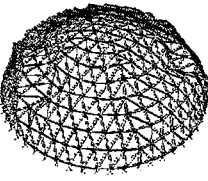
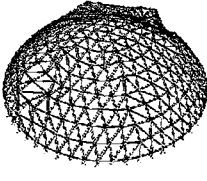
Şekil 4.3. ZD.035.8 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.1242 Doğal Frekans : 8.052 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -18.12 Y = -30.62 Z = 4.20	Period : 0.1242 Doğal Frekans : 8.052 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -31.38 Y = 25.16 Z = -3.35	Period : 0.1047 Doğal Frekans : 9.551 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 38.58 Y = -33.33 Z = -19.61	Period : 0.0913 Doğal Frekans : 10.953 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -24.73 Y = -42.33 Z = 24.86	Period : 0.0913 Doğal Frekans : 10.953 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -51.55 Y = 28.61 Z = 25.93

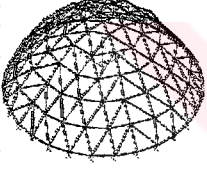
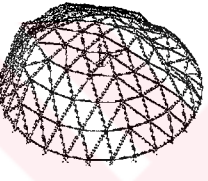
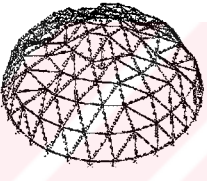
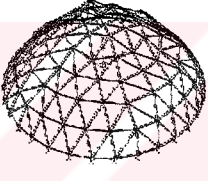
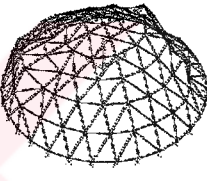
Şekil 4.4. ZD.050.8 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.0830 Doğal Frekans : 12.048 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -53.17 Y = -74.52 Z = 89.82	Period : 0.0830 Doğal Frekans : 12.048 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -69.87 Y = 68.66 Z = 85.39	Period : 0.0809 Doğal Frekans : 12.361 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 61.55 Y = 51.86 Z = -96.19	Period : 0.0805 Doğal Frekans : 12.422 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 64.02 Y = -55.10 Z = -96.47	Period : 0.0804 Doğal Frekans : 12.438 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -55.15 Y = -70.18 Z = -144.67

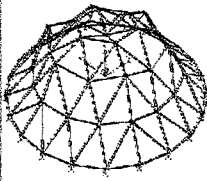
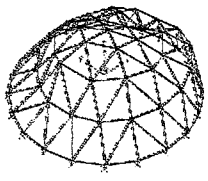
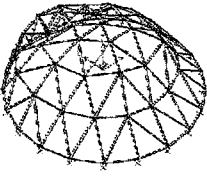
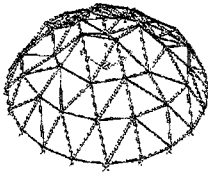
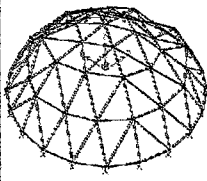
Şekil 4.5. ZD.025.8 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.0850 Doğal Frekans : 11.765 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -120.40 Y = -60.63 Z = -122.19	Period : 0.0850 Doğal Frekans : 11.765 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -59.62 Y = 97.99 Z = 112.69	Period : 0.0839 Doğal Frekans : 11.919 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 102.80 Y = -87.67 Z = 104.57	Period : 0.0838 Doğal Frekans : 11.933 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 85.37 Y = 74.12 Z = -123.79	Period : 0.0835 Doğal Frekans : 11.976 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -94.65 Y = -71.92 Z = 140.03

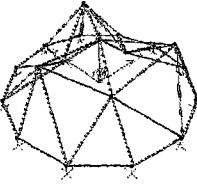
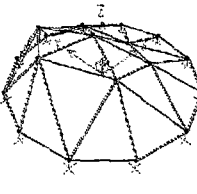
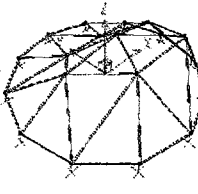
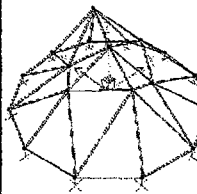
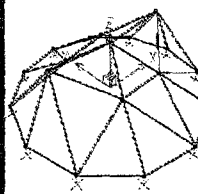
Şekil 4.6. ZD.025.10 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.0819 Doğal Frekans : 12.210 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 43.87 Y = 58.02 Z = 70.34	Period : 0.0819 Doğal Frekans : 12.210 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -53.96 Y = 53.96 Z = -74.67	Period : 0.0802 Doğal Frekans : 12.469 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -39.48 Y = -35.33 Z = -74.38	Period : 0.0792 Doğal Frekans : 12.626 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -39.43 Y = -56.81 Z = 102.93	Period : 0.0792 Doğal Frekans : 12.626 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -58.89 Y = 45.85 Z = -91.95

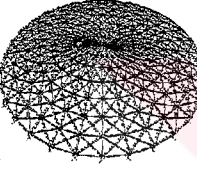
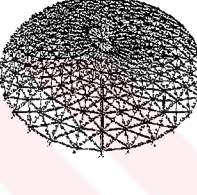
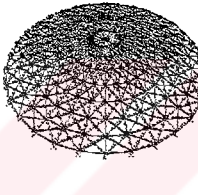
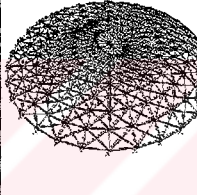
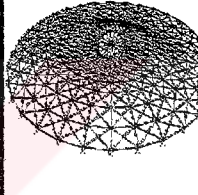
Şekil 4.7. ZD.025.6 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.0839 Doğal Frekans : 11.919 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -30.39 Y = 32.60 Z = 51.28	Period : 0.0817 Doğal Frekans : 12.240 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 48.85 Y = 23.16 Z = -48.66	Period : 0.0817 Doğal Frekans : 12.240 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -22.67 Y = 54.49 Z = -52.68	Period : 0.0792 Doğal Frekans : 12.626 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 26.57 Y = -30.17 Z = -69.06	Period : 0.0779 Doğal Frekans : 12.837 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -41.08 Y = 19.41 Z = -87.03

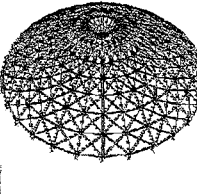
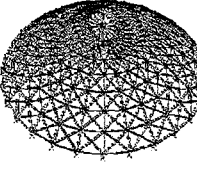
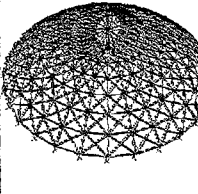
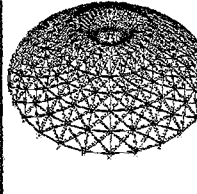
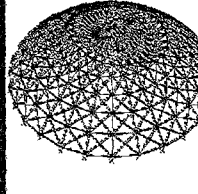
Şekil 4.8. ZD.025.4 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.0754 Doğal Frekans : 13.263 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -24.18 Y = 20.94 Z = 32.29	Period : 0.0713 Doğal Frekans : 14.025 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -34.15 Y = 8.14 Z = 41.17	Period : 0.0713 Doğal Frekans : 14.025 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -8.12 Y = -29.51 Z = 35.70	Period : 0.0704 Doğal Frekans : 14.205 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 17.92 Y = 25.24 Z = 42.57	Period : 0.0704 Doğal Frekans : 14.205 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 32.78 Y = 20.94 Z = 45.26

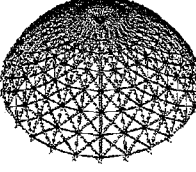
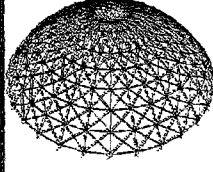
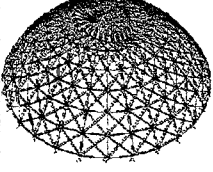
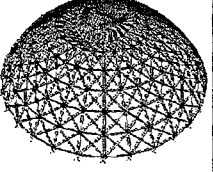
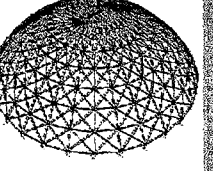
Şekil 4.9. ZD.025.2 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.3107 Doğal Frekans : 3.219 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -5.30 Y = -3.65 Z = 47.87	Period : 0.3107 Doğal Frekans : 3.219 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -3.65 Y = 5.06 Z = 47.86	Period : 0.2787 Doğal Frekans : 3.588 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 3.09 Y = -3.08 Z = 40.10	Period : 0.2173 Doğal Frekans : 4.602 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 4.58 Y = -7.53 Z = 42.84	Period : 0.2173 Doğal Frekans : 4.602 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -7.39 Y = -4.56 Z = -40.89

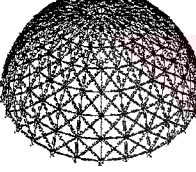
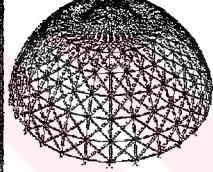
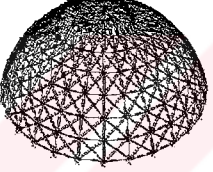
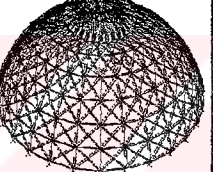
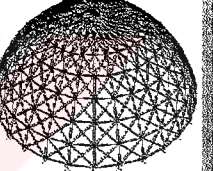
Şekil 4.10. SCH.005.8 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.1836 Doğal Frekans : 5.447 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -8.24 Y = 8.35 Z = -116.80	Period : 0.1772 Doğal Frekans : 5.643 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -8.05 Y = 15.90 Z = 109.87	Period : 0.1772 Doğal Frekans : 5.643 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 16.39 Y = 8.07 Z = -109.84	Period : 0.1695 Doğal Frekans : 5.900 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 11.26 Y = 11.30 Z = -74.40	Period : 0.1607 Doğal Frekans : 6.223 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -15.12 Y = 20.52 Z = -97.58

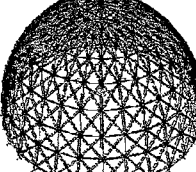
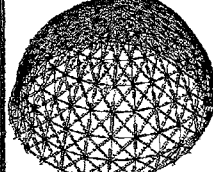
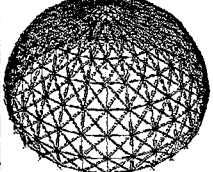
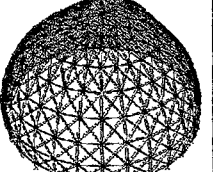
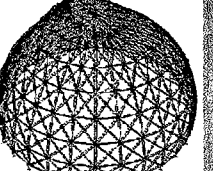
Şekil 4.11. SCH.015.8 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.1335 Doğal Frekans : 7.491 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -14.95 Y = -14.93 Z = -133.70	Period : 0.1289 Doğal Frekans : 7.758 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 16.50 Y = -16.55 Z = -135.77	Period : 0.1252 Doğal Frekans : 7.987 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 15.78 Y = 28.09 Z = 122.47	Period : 0.1252 Doğal Frekans : 7.987 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 32.43 Y = -15.81 Z = 122.56	Period : 0.1206 Doğal Frekans : 8.292 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 13.29 Y = -24.66 Z = 165.34

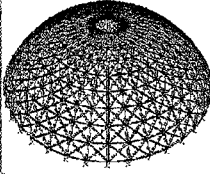
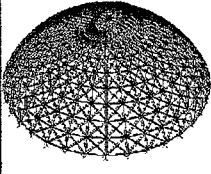
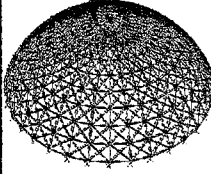
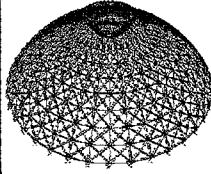
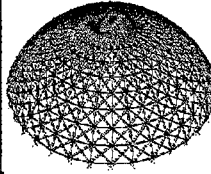
Şekil 4.12. SCH.025.8 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.1295 Doğal Frekans : 7.722 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 20.95 Y = 20.91 Z = 180.03	Period : 0.1221 Doğal Frekans : 8.190 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -24.53 Y = 24.46 Z = 81.53	Period : 0.1179 Doğal Frekans : 8.482 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -27.15 Y = 26.20 Z = -117.52	Period : 0.1179 Doğal Frekans : 8.482 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 26.18 Y = 30.13 Z = -117.47	Period : 0.1133 Doğal Frekans : 8.826 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -25.47 Y = 30.40 Z = -128.26

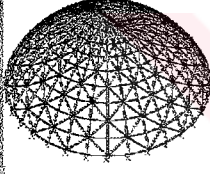
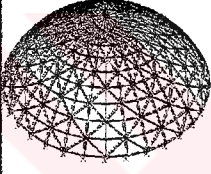
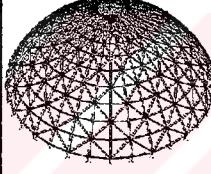
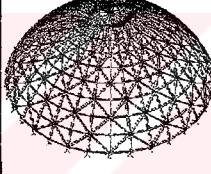
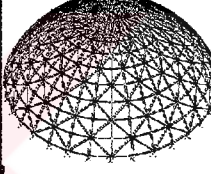
Şekil 4.13. SCH.035.8 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.1422 Doğal Frekans : 7.032 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 15.24 Y = 18.38 Z = 12.85	Period : 0.1422 Doğal Frekans : 7.032 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 18.38 Y = 15.27 Z = -12.87	Period : 0.1229 Doğal Frekans : 8.137 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 9.21 Y = 9.26 Z = -35.08	Period : 0.1223 Doğal Frekans : 8.177 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -12.13 Y = 6.83 Z = 48.02	Period : 0.1223 Doğal Frekans : 8.177 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -5.84 Y = -12.12 Z = 48.03

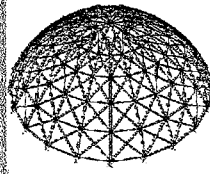
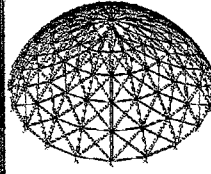
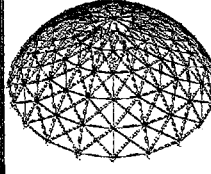
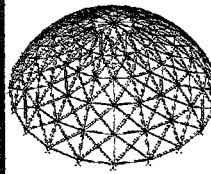
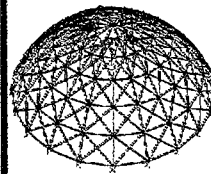
Şekil 4.14. SCH.050.8 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.1254 Doğal Frekans : 7.975 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -13.06 Y = -11.73 Z = 189.66	Period : 0.1218 Doğal Frekans : 8.210 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 26.02 Y = -17.98 Z = 137.94	Period : 0.1218 Doğal Frekans : 8.210 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -17.98 Y = 26.95 Z = 138.03	Period : 0.1212 Doğal Frekans : 8.251 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 20.06 Y = -20.02 Z = 100.19	Period : 0.1144 Doğal Frekans : 8.741 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -19.59 Y = 16.08 Z = 183.63

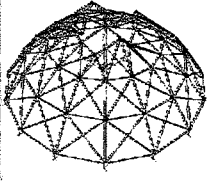
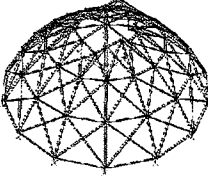
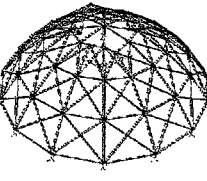
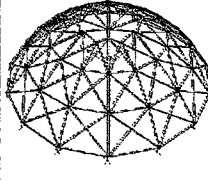
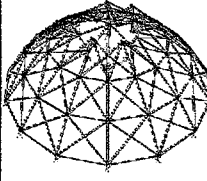
Şekil 4.15. SCH.025.10 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.1144 Doğal Frekans : 8.741 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -38.75 Y = 21.41 Z = 200.84	Period : 0.1144 Doğal Frekans : 8.741 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 21.42 Y = 38.76 Z = 200.96	Period : 0.1105 Doğal Frekans : 9.050 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 17.46 Y = 17.48 Z = -264.59	Period : 0.1046 Doğal Frekans : 9.560 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 15.65 Y = -38.99 Z = 178.74	Period : 0.1046 Doğal Frekans : 9.560 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 39.47 Y = 15.60 Z = -178.58

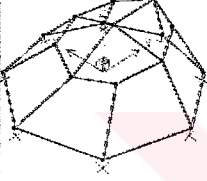

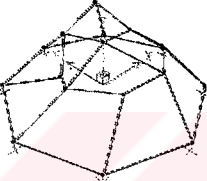
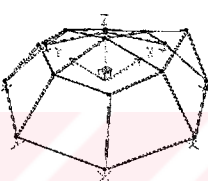
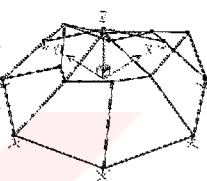
Şekil 4.16. SCHK.025.10 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.2199 Doğal Frekans : 4.548 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 41.05 Y = 41.05 Z = -168.29	Period : 0.2195 Doğal Frekans : 4.556 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 52.04 Y = 49.17 Z = 237.23	Period : 0.2195 Doğal Frekans : 4.556 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 49.19 Y = -52.05 Z = -237.24	Period : 0.2178 Doğal Frekans : 4.591 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 43.05 Y = 43.05 Z = -235.87	Period : 0.2178 Doğal Frekans : 4.591 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 51.31 Y = -51.30 Z = 208.59

Şekil 4.17. SCH.025.6 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 0.3771 Doğal Frekans : 2.652 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 43.07 Y = 43.07 Z = -111.00	Period : 0.3591 Doğal Frekans : 2.785 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 60.36 Y = -38.41 Z = 153.27	Period : 0.3591 Doğal Frekans : 2.785 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -38.41 Y = -60.36 Z = -153.27	Period : 0.3453 Doğal Frekans : 2.896 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 22.76 Y = 22.76 Z = 57.62	Period : 0.3044 Doğal Frekans : 3.285 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 40.27 Y = -23.24 Z = 102.81

Şekil 4.18. SCH.025.4 Modeline Ait Modlar

				
MODE 1	MODE 2	MODE 3	MODE 4	MODE 5
Period : 1.3155 Doğal Frekans : 0.760 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 2.32 Y = 43.25 Z = 51.12	Period : 1.2697 Doğal Frekans : 0.787 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -43.02 Y = 2.23 Z = 45.15	Period : 1.0831 Doğal Frekans : 0.923 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -59.95 Y = 52.23 Z = 12.82	Period : 0.9966 Doğal Frekans : 1.003 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = 36.38 Y = 43.62 Z = 67.78	Period : 0.8535 Doğal Frekans : 1.716 Mhz. Max. Deplasmanl.: X = -39.59 Y = 29.75 Z = 51.58

Şekil 4.19. SCH.025.2 Modeline Ait Modlar

4.2. Elcentro Depremi Etkisiyle Modellerin Deforme Olmuş Şekilleri ve Maksimum ve Minimum Deplasmanlar

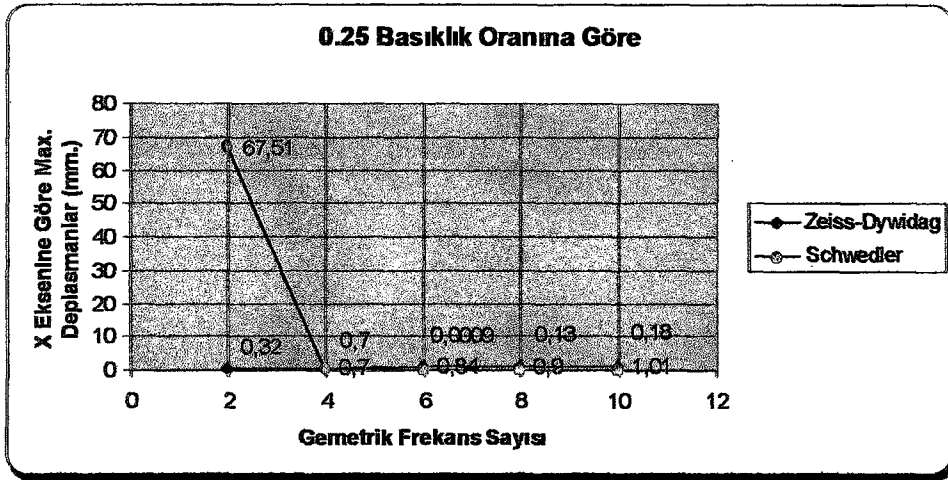
Modellerin analizlerinin neticesinde elde edilen düğüm noktası deplasmanları incelenerek karşılaştırmaları yapılmış ve tüm bu bilgiler doğrultusunda her modele ait Maksimum ve Minimum deplasman değerleri karşılaştırmalı olarak milimetre cinsinden bir tablo halinde sunulmuştur. Ayrıca, Geometrik Frekans ve Basıklık Oranına göre modellerin deplasmanları ile ilgili karşılaştırma grafik haline getirilmiştir.

Elcentro depreminin 10 sn. lik etki süresinin sonunda SCH.025.2 Modeline ait 10 no' lu düğüm noktasında, Z yönünde meydana gelen deplasmanın zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.26' daki grafikte verilmiştir. Grafiği verilen bu modelin özellikle seçilmesinin sebebi, analizleri yapılan modeller arasında en büyük deplasmanı yapmış olmasıdır. Bu deplasman da Z yönündeki deplasmandır.

Çizelge 4.1. Modellere Göre Maksimum ve Minimum Nokta Deplasmanları

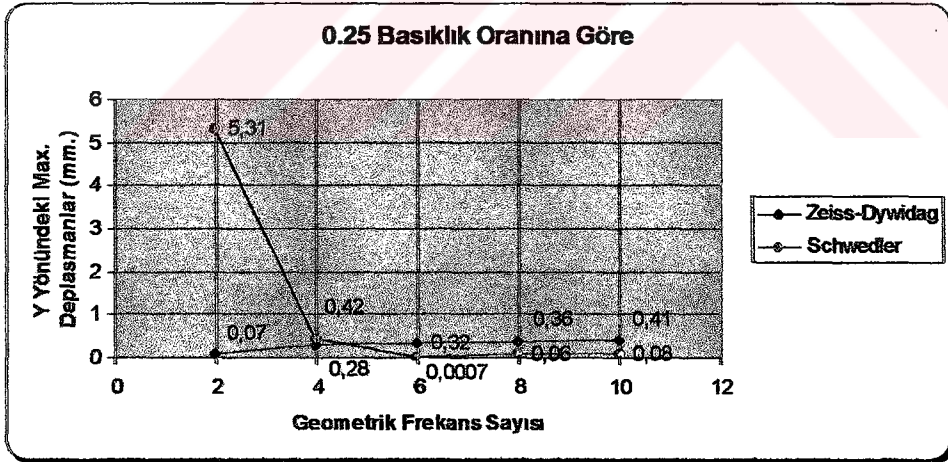
Model Tipleri	Model İsimleri	Max. Deplasman Değerleri (mm.)						Min. Deplasman Değerleri (mm.)					
		X	*	Y	*	Z	*	X	*	Y	*	Z	*
Zeiss-Dywidag	ZD.005.8	0.43	29	0.20	167	3.50	7	-0.56	28	-0.19	174	-3.51	28
	ZD.015.8	0.17	14	0.07	42	0.33	14	-0.17	14	-0.07	28	-0.35	14
	ZD.025.8	0.90	14	0.36	138	0.86	2	-0.87	14	-0.37	138	-0.87	14
	ZD.035.8	1.25	1	0.56	97	0.52	1	-1.17	1	-0.56	122	-0.52	15
	ZD.050.8	3.72	1	1.50	30	0.42	10	-2.94	1	-1.50	16	-0.42	6
	ZD.025.2	0.32	3	0.07	6	0.35	1	-0.30	3	-0.07	5	-0.35	3
	ZD.025.4	0.70	7	0.28	14	0.60	2	-0.69	7	-0.27	14	-0.60	7
	ZD.025.6	0.841	37	0.32	58	0.72	37	-0.84	37	-0.32	58	-0.71	37
	ZD.025.10	1.01	2	0.41	39	0.99	2	-0.77	2	-0.42	36	-0.98	18
Schwedler	SCH.005.8	0.63	4	0.26	134	4.31	10	-0.67	4	-0.26	111	-4.31	7
	SCH.015.8	0.15	7	0.06	201	0.75	10	-0.14	7	-0.06	209	-0.75	7
	SCH.025.8	0.13	42	0.06	149	0.45	39	-0.12	44	-0.07	156	-0.45	42
	SCH.035.8	0.48	169	0.42	173	0.97	171	-0.45	169	-0.40	173	-0.96	186
	SCH.050.8	3.97	41	1.20	66	1.63	41	-4.04	41	-1.20	59	-1.63	39
	SCH.025.2	67.51	14	5.31	17	73.59	10	-58.34	15	-5.31	15	-73.59	11
	SCH.025.4	0.70	21	0.42	64	2.13	21	-0.83	20	-0.44	53	-2.13	20
	SCH.025.6	0.0009	135	0.0007	139	0.003	131	-0.0007	135	-0.0009	139	-0.003	135
	SCH.025.10	0.18	48	0.08	292	0.64	48	-0.18	48	-0.08	302	-0.67	52
	SCHT.025.8	0.60	53	0.18	293	1.59	48	-0.50	53	-0.18	320	-1.60	53

(*) Deplasmanın meydana geldiği düğüm noktası numarası



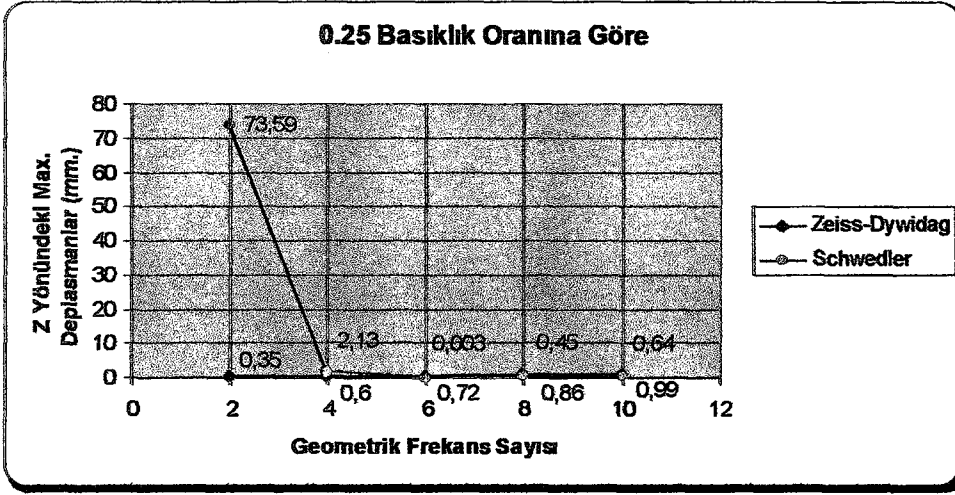
Şekil 4.20. Sabit Basıklık Oranında (0.25) ve Değişen Geometrik Frekanslarda, X Yönü Maksimum Deplasman Grafiği

Şekil 4.20' deki grafikte de görüldüğü gibi maksimum deplasman, geometrik frekans değeri 2' de ve Schwedler tipi kubbede olmak üzere X yönünde 67.51 mm olarak gerçekleşmiştir. Minimum deplasman da aynı geometrik frekans sayısında Zeiss-Dywidag tipi kubbede 0.32 mm olarak gerçekleşmiştir.



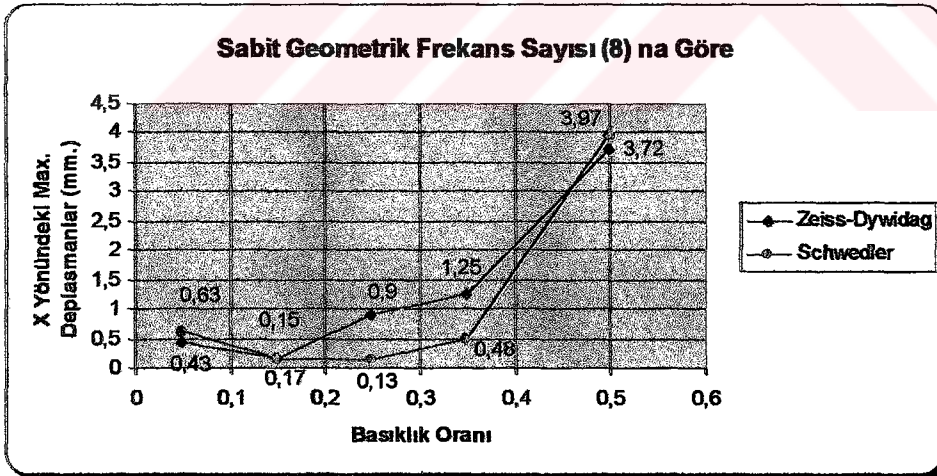
Şekil 4.21. Sabit Basıklık Oranında (0.25) ve Değişen Geometrik Frekanslarda, Y Yönü Maksimum Deplasman Grafiği

Y yönünde maksimum deplasman 5.31 mm olarak Schwedler tipi kubbede geometrik frekans sayısı 2' de görülmekte olup minimum deplasman da 0.0007 mm ile yine Schwedler tipi kubbede geometrik frekans sayısı 6' da gerçekleşmiştir (Şekil 4.21).



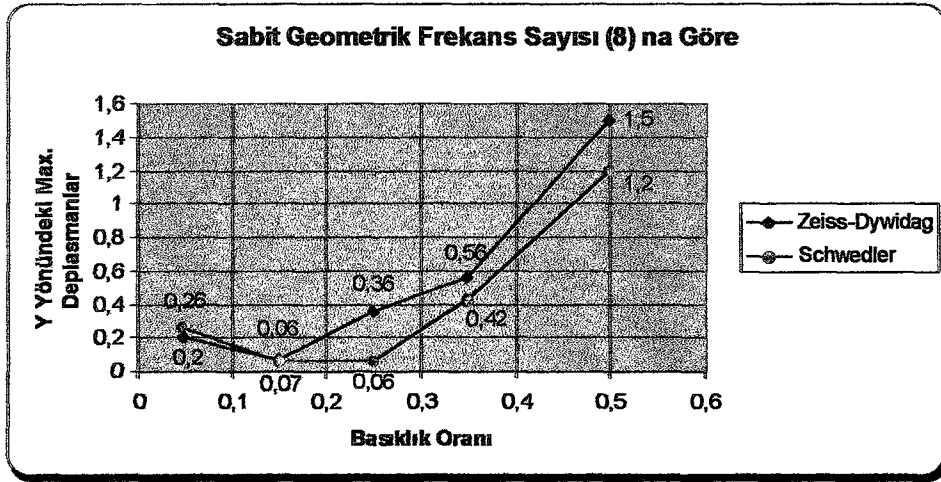
Şekil 4.22. Sabit Basıklık Oranında (0.25) ve Değişen Geometrik Frekanslarda, Z Yönü Maksimum Deplasman Grafiği

Z yönünde maksimum deplasman 73.59 mm olarak Schwedler tipi kubbede geometrik frekans sayısı 2' de görülmekte olup minimum deplasman da 0.003 mm ile yine Schwedler tipi kubbede geometrik frekans sayısı 6' da gerçekleşmiştir (Şekil 4.22).



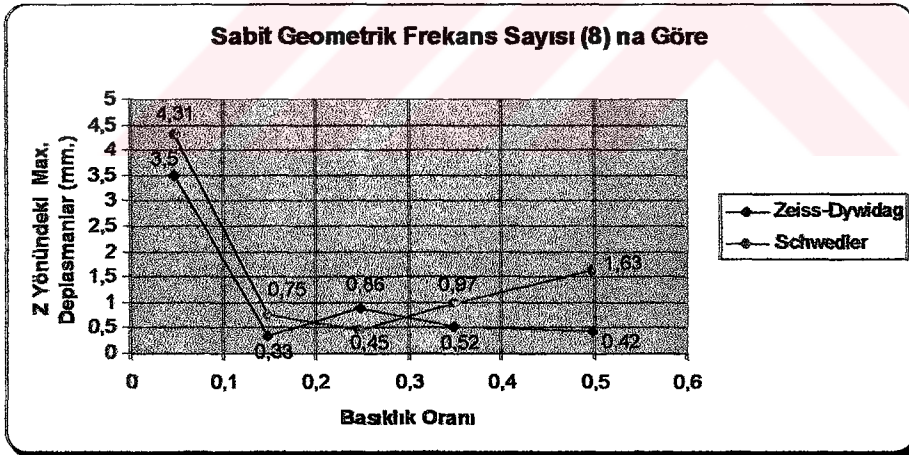
Şekil 4.23 Sabit Geometrik Frekans Sayısında (8) ve Değişen Basıklık Oranlarında X Yönü Maksimum Deplasman Grafiği

Şekil 4.23' deki grafikte görüldüğü gibi, geometrik frekans sayısı sabit (8) tutulduğunda maksimum deplasman X yönünde, 3.97 mm ile 0.5 basıklık oranında olmak üzere Schwedler tipi kubbede gerçekleşmiştir. Minimum deplasman da yine aynı kubbe tipinde 0.25 basıklık oranında, 0.13 mm olarak gerçekleşmiştir.



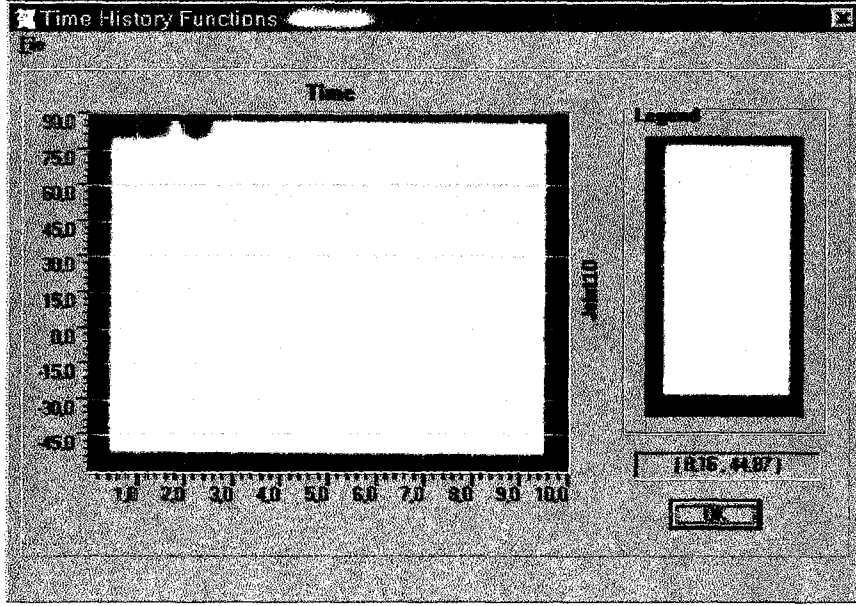
Şekil 4.24 Sabit Geometrik Frekans Sayısında ve Değişen Baskılık Oranlarında Y Yönü Maksimum Deplasman Grafiği

Geometrik frekans sayısı 8 alınarak baskılık oranı değişimine göre, Y yönünde maksimum deplasman Zeiss-Dywidag tipi kubbede, 0.5 baskılık oranında 1.50 mm'ye ulaşmıştır. Yine aynı yönde minimum deplasman 0.06 mm ile Schwedler tipi kubbede, 0.25 baskılık oranında gerçekleşmiştir (Şekil 4.24).



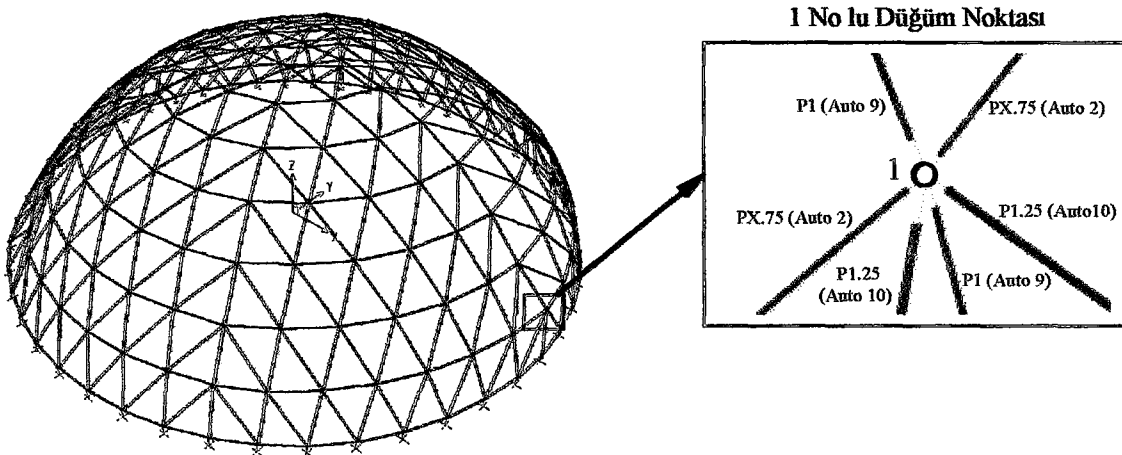
Şekil 4.25 Sabit Geometrik Frekans Sayısında ve Değişen Baskılık Oranlarında Z Yönü Maksimum Deplasman Grafiği

Şekil 4.25' deki grafikte görüldüğü gibi, geometrik frekans sayısı sabit (8) tutulduğunda maksimum deplasman Z yönünde, 4.31 mm ile 0.05 baskılık oranında olmak üzere Schwedler tipi kubbede gerçekleşmiştir. Minimum deplasman da Zeiss-Dywidag tipi kubbede 0.15 baskılık oranında, 0.33 mm olarak gerçekleşmiştir.

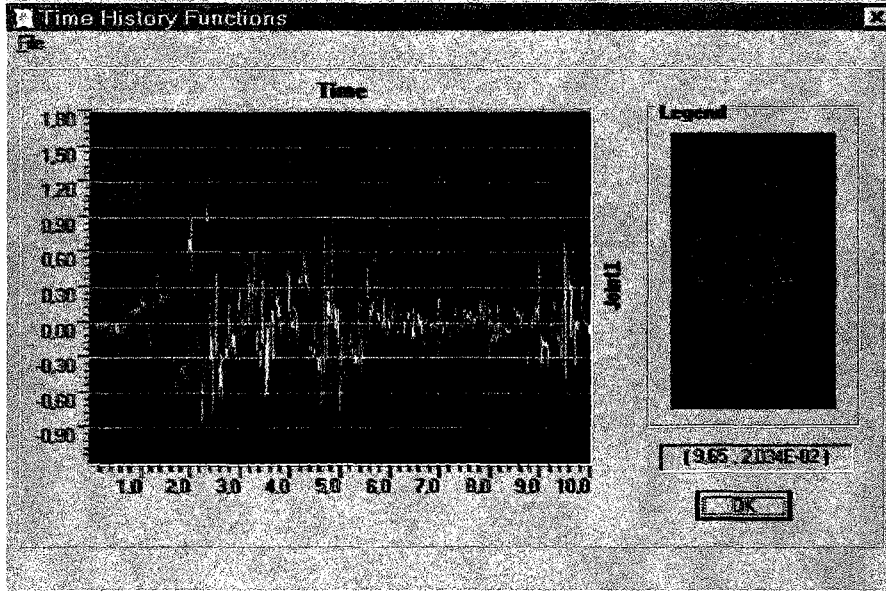


Şekil 4.26. SCH.025.2 Modeline ait 10 no' lu düğüm noktasında, Z yönünde meydana gelen deplasmanın zamana bağlı olarak değişimi

ZD.035.8 modelinin El Centro Fonksiyonu etkisiyle deplasman yapmış şekli aşağıdaki şekilde verilmiş, bu etki sonucunda max deplasman X yönünde, modelin "1" nolu düğümünde meydana geldiği görülmüştür ve Şekil 4.28' de de bu düğüm noktasına ait deplasmanın zamana bağlı olarak değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 4.27. ZD.035.8 modeline ait deplasman şekli



Şekil 4.28. ZD.035.8 modeline ait max. deplasman yapan “1” nolu düğüm noktasının deplasmanının zamana bağlı değişimi

4.3. Modellere Göre Taban Kesme Kuvveti Sonuçları

Modellerin depreme karşı analizlerinde kullanılan California El Centro Depremi (1940) nin ilk 10 sn. lik dijital ivme kayıtları Çizelge 4.2. de verilmiştir. Bu değerler modellerin deprem analizinde kullanılan Time History Yöntemi’ nde esas alınan deprem fonksiyonu değerleridir. Bu çizelgeden elde edilen ivme-zaman grafiği de Şekil 4.29’ da görülmektedir.

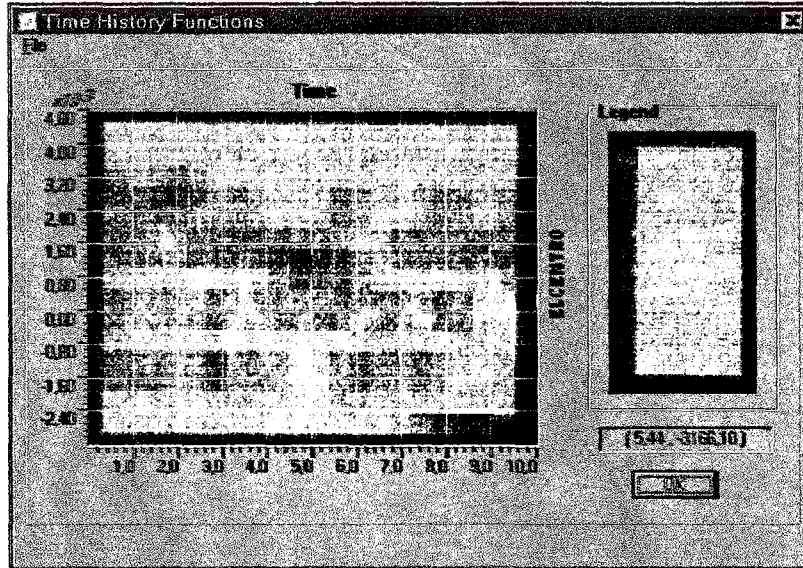
Kullanılan modellerin deprem analizlerinin sonucunda, modellerde oluşan taban kesme kuvvetleri incelenerek, Maksimum ve Minimum taban kesme kuvvetlerini içeren aşağıdaki çizelge elde edilmiştir (Çizelge 4.3.).

Çizelge 4.2. El Centro Depremi' nin Dijital ivme kayıtları

Zaman (sn.)	İvme	Zaman (sn.)	İvme	Zaman (sn.)	İvme
0.00000	.01080	.04200	.00100	.09700	.01590
.16100	-.00010	.22100	.01890	.26300	.00010
.29100	.00590	.33200	-.00120	.37400	.02000
.42900	-.02370	.47100	.00760	.58100	.04250
.62300	.00940	.66500	.01380	.72000	-.00880
.72010	-.02560	.78900	-.03870	.78910	-.05680
.87200	-.02320	.87210	-.03430	.94100	-.04020
.94110	-.06030	.99700	-.07890	1.06600	-.06660
1.06610	-.03810	1.09400	-.04290	1.16800	.08970
1.31500	-.16960	1.38400	-.08280	1.41200	-.08280
1.44000	-.09450	1.48100	-.08850	1.50900	-.10800
1.53700	-.12800	1.62800	.11440	1.70300	.23550
1.80000	.14280	1.85500	.17770	1.92400	-.26100
2.00700	-.31940	2.21500	.29520	2.27000	.26340
2.32000	-.29840	2.39500	.00540	2.45000	.28650
2.51900	-.04690	2.57500	.15160	2.65200	.20770
2.70800	.10870	2.76900	-.03250	2.89300	.10330
2.97600	-.08030	3.06800	.05200	3.12900	-.15470
3.21200	.00650	3.25300	-.20600	3.38600	.19270
3.41900	-.09370	3.53000	.17080	3.59900	-.03590
3.66800	.03650	3.73800	-.07360	3.83500	.03110
3.90400	-.18330	4.01400	.02270	4.05600	-.04350
4.10600	.02160	4.22200	-.19720	4.31400	-.17620
4.41600	.14600	4.47100	-.00470	4.61800	.25720
4.66500	-.20450	4.75600	.06080	4.83100	-.27330
4.97000	.17790	5.03900	.03010	5.10800	.21830
5.19900	.02670	5.23300	.12520	5.30200	.12900
5.33000	.10890	5.34300	-.02390	5.45400	.17230
5.51000	-.10210	5.60600	.01410	5.69000	-.19490
5.77300	-.02420	5.80000	-.00500	5.80900	-.02750
5.86900	-.05730	5.88300	-.03270	5.92500	.02160
5.98000	.01080	6.01300	.02350	6.08500	-.06650
6.13200	.00140	6.17400	.04930	6.18800	.01490
6.18810	-.02000	6.22900	-.03810	6.27900	.02070
6.32600	-.00580	6.36800	-.06030	6.38200	-.01620
6.40900	.02000	6.45900	-.01760	6.47800	-.00330
6.52000	.00430	6.53400	-.00400	6.56200	-.00990
6.57500	-.00170	6.60300	-.01700	6.64500	.03730
6.68600	.04570	6.71400	.03850	6.72800	.00090
6.76900	-.02880	6.76910	.00160	6.81100	.01130
6.85200	.00220	6.90800	.00920	6.99100	-.09960
7.07400	.03600	7.12100	.00780	7.14300	-.02770
7.14900	.00260	7.17100	.02720	7.22600	.05760
7.29500	-.04920	7.37000	.02970	7.40600	.01090
7.42500	.01860	7.46100	-.02530	7.52500	-.03470
7.57200	.00360	7.60000	-.06280	7.64100	-.02800
7.66900	-.01960	7.69100	.00680	7.75200	-.00540
7.79400	-.06030	7.83500	-.03570	7.87700	-.07160

Çizelge 4.2. nin devamı

7.96000	-.01400	7.98700	-.00560	8.00100	.02220
8.07000	.04680	8.12600	.02600	8.12610	-.03350
8.19500	-.01280	8.22300	.06610	8.27800	.03050
8.33400	.02460	8.40300	.03470	8.45800	-.03690
8.53300	-.03440	8.59600	-.01040	8.63800	-.02600
8.73500	.15340	8.81800	-.00280	8.86000	.02330
8.88200	-.02610	8.91500	-.00220	8.95600	-.18490
9.05300	.12600	9.09500	.03200	9.12300	.09550
9.15000	.12460	9.25300	-.03280	9.28900	-.04510
9.42700	.13010	9.44100	-.16570	9.51000	.04190
9.63500	-.09360	9.70400	.08160	9.81500	-.08810
9.89800	.00640	9.93900	-.00060	9.99500	.05860
10.02200	-.07130	10.05000	-.04480	10.05010	-.02210
10.10500	.00930	10.10510	.00240	10.18800	.05100
10.27200	-.12430	10.38200	.05870	10.42400	.01330
10.45200	.03860	10.46500	.11640	10.50700	-.03740
10.53400	-.05720	10.64500	.03080	10.70100	.02230
10.71400	.05150	10.77000	.09030	10.83900	-.01940
10.92200	.04710	10.92210	-.06770	10.96400	-.07940
10.99100	-.01200	11.07400	.06080	11.08800	-.02690
11.11600	-.04160	11.20700	.02930	11.20710	.05520
11.22700	.07560	11.26800	.04310	11.32400	.02080
11.43400	.11800	11.57300	-.09990	11.65600	-.12470
11.72500	-.20940	11.72510	-.14180	11.78000	-.11630
11.80800	0.00000	11.87700	.07620	11.91900	.05700
11.98800	.13540	12.04300	.06730	12.11300	.08650

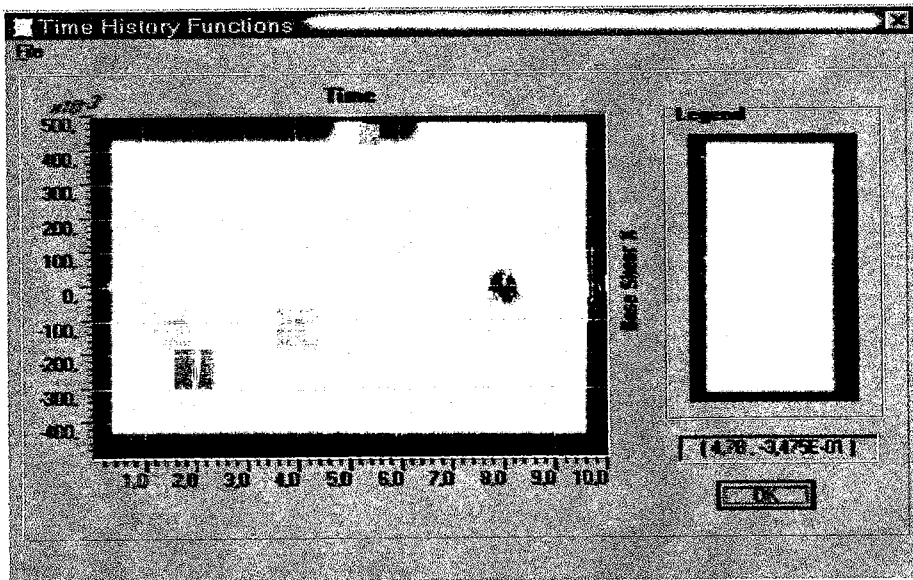


Şekil 4.29. El Centro Depremi' nin 10 sn'lik ivme zaman grafiği

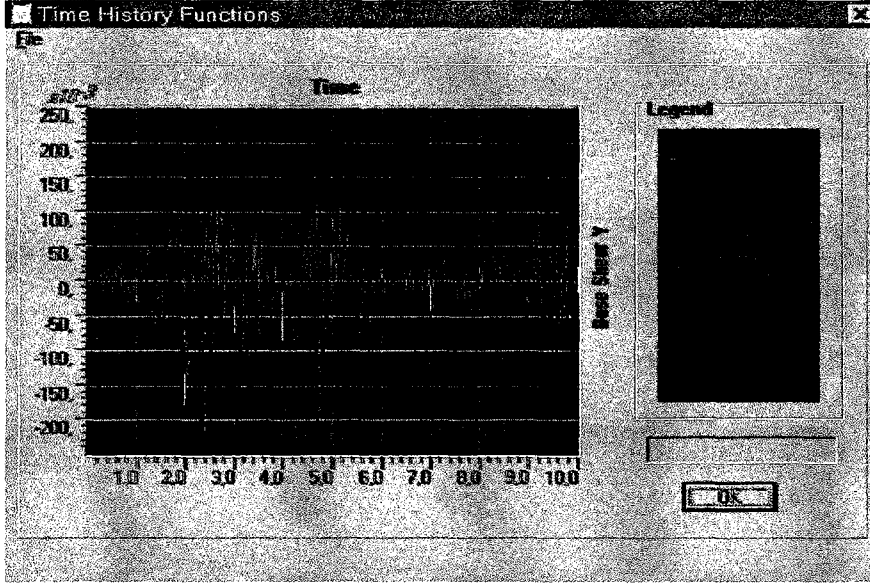
Çizelge 4.3. Modellere Göre Maksimum ve Minimum Taban Kesme Kuvvetleri

Model Tipleri	Model İsimleri	TABAN KESME KUVVETLERİ (Ton)					
		Maksimum			Minimum		
		X	Y	Z	X	Y	Z
Zeiss-Dywidag	ZD.005.8	0.126	0.0002	0.0001	-0.093	-0.0002	-0.0001
	ZD.015.8	0.012	0.0003	0.00003	-0.012	-0.0003	-0.00003
	ZD.025.8	0.935	0.023	0.0003	-0.957	-0.023	-0.0003
	ZD.035.8	2.389	0.0007	0.0003	-2.539	-0.0008	-0.0003
	ZD.050.8	9.572	0.001	0.001	-12.270	-0.001	-0.001
	ZD.025.2	2.007	0.000001	0.00001	-2.245	-0.000001	-0.00001
	ZD.025.4	1.504	0.149	0.0003	-1.532	-0.165	-0.0003
	ZD.025.6	1.237	0.001	0.001	-1.249	-0.001	-0.001
	ZD.025.10	0.312	0.003	0.0006	-0.411	-0.004	-0.0008
Schwedler	SCH.005.8	0.481	0.0002	0.0006	-0.451	-0.0002	-0.0005
	SCH.015.8	0.014	0.00004	0.0001	-0.016	-0.00004	-0.0001
	SCH.025.8	0.027	0.001	0.0001	-0.035	-0.002	-0.0001
	SCH.035.8	0.376	0.228	0.002	-0.412	-0.246	-0.002
	SCH.050.8	22.750	0.002	0.008	-23.840	-0.002	-0.009
	SCH.025.2	0.485	0.00000001	0.0000004	-0.598	-0.00000001	-0.0000004
	SCH.025.4	0.069	0.109	0.0000007	-0.071	-0.104	-0.0000009
	SCH.025.6	0.00000002	0.000000007	0.00000005	-0.000000001	-0.000000005	-0.00000006
	SCH.025.10	0.051	0.00005	0.0003	-0.063	-0.00005	-0.0004
SCHT.025.8	0.216	0.0002	0.0003	-0.287	-0.0002	-0.0004	

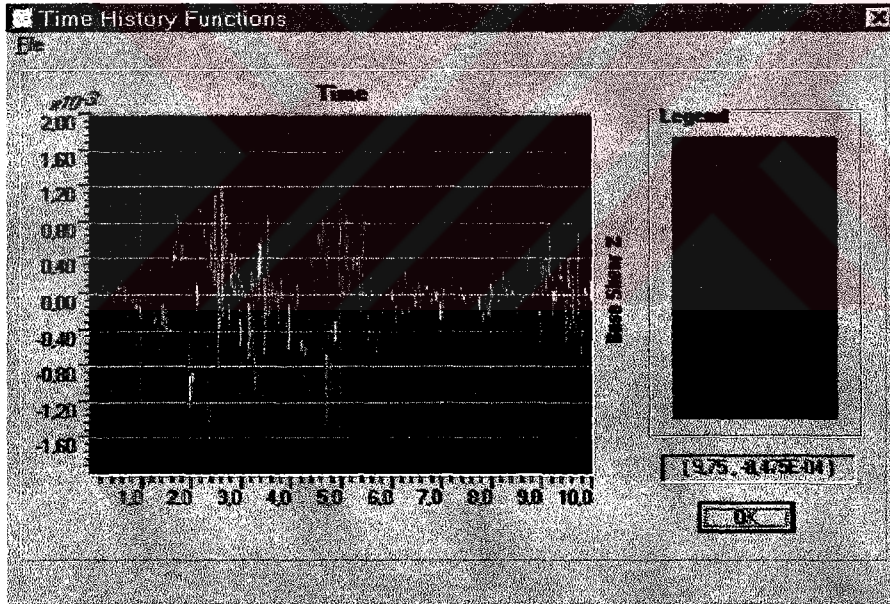
Aşağıdaki şekiller SCH.035.8 modeline ait taban kesme kuvvetlerinin X,Y,Z yönlerinde ayrı ayrı zamana bağlı değişimini vermektedir.



Şekil 4.30. SCH.035.8 modeline ait X yönü taban kesme kuvveti diyagramı

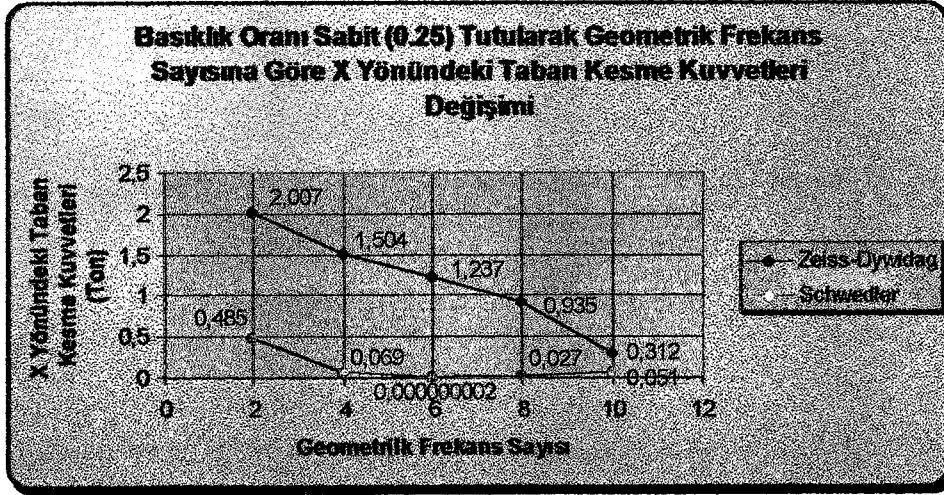


Şekil 4.31. SCH.035.8 modeline ait Y yönü taban kesme kuvveti diyagramı



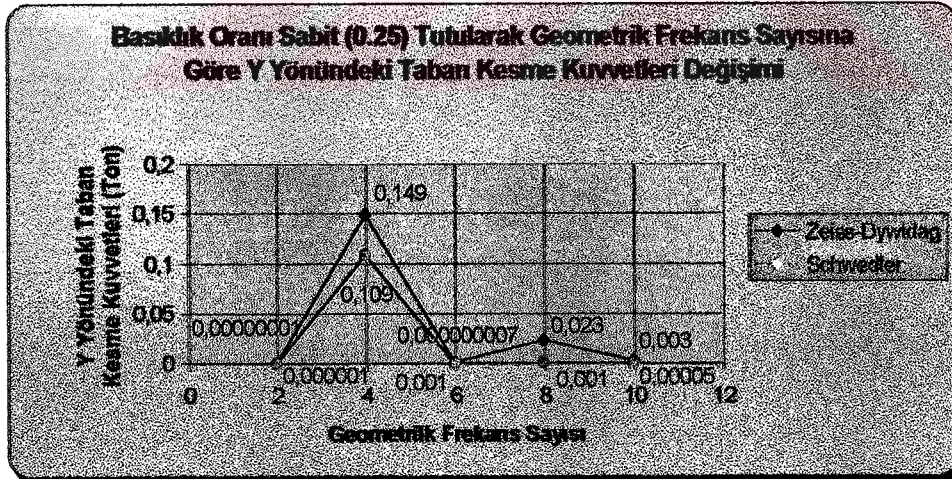
Şekil 4.32. SCH.035.8 modeline ait Z yönü taban kesme kuvveti diyagramı

Model tiplerine göre X,Y,Z yönlerinde elde edilen taban kesme kuvvetleri, basıklık oranı ve geometrik frekans sayıları sırasıyla sabit tutularak, basıklık oranı ve geometrik frekans sayılarına göre değişimleri aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



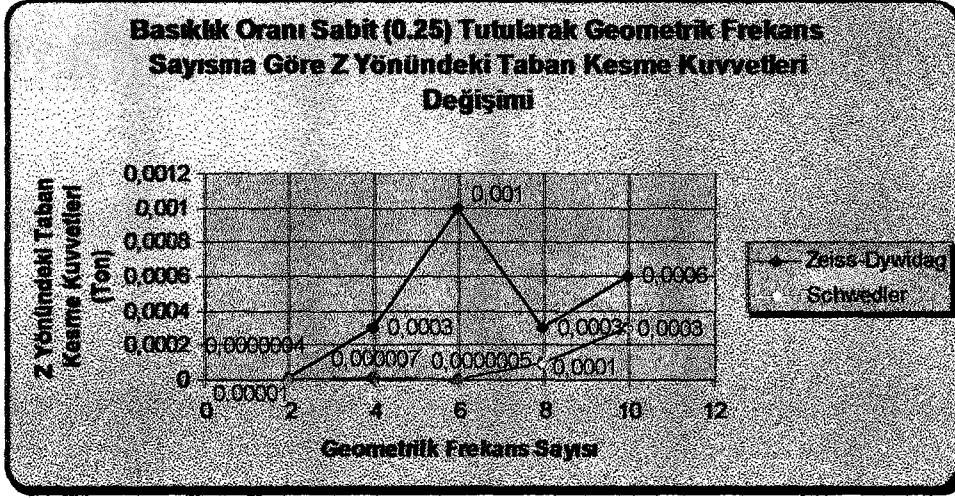
Şekil 4.33. Basıklık Oranı Sabit (0.25) Tutularak Geometrik Frekans Sayısına Göre X Yönündeki Taban Kesme Kuvvetleri Değişimi

Şekil 4.33’ deki grafikte görüldüğü gibi X yönündeki maksimum taban kesme kuvveti, Zeiss-Dywidag tipi kubbe geometrik frekans sayısı 2’ de olmak üzere 2.007 ton olarak gerçekleşmiştir. Minimum taban kesme kuvveti ise, Schwedler tipi kubbe geometrik frekans sayısı 6’ da olmak üzere 0.000000002 ton olmuştur.



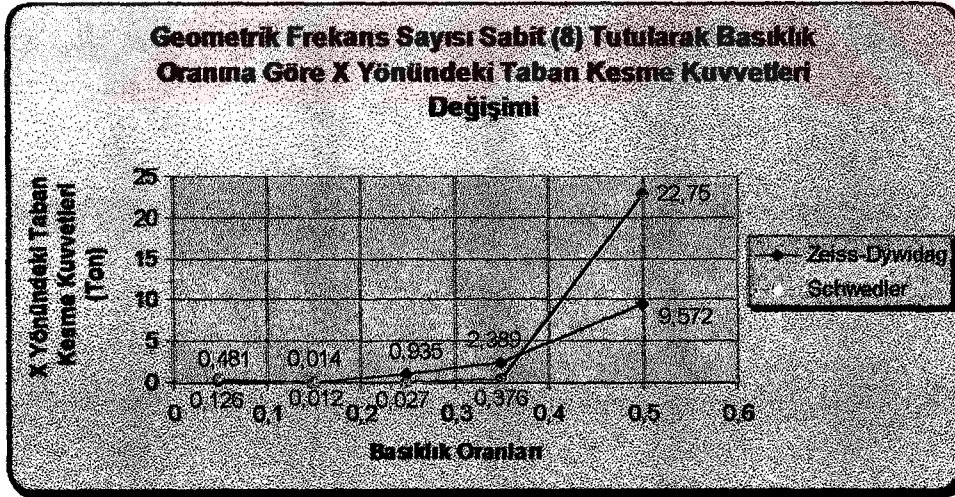
Şekil 4.34. Basıklık Oranı Sabit (0.25) Tutularak Geometrik Frekans Sayısına Göre Y Yönündeki Taban Kesme Kuvvetleri Değişimi

Y yönündeki maksimum taban kesme kuvveti frekans sayısı 4’ te Zeiss-Dywidag tipi kubbe 0.149 ton olarak görülmektedir. Minimum taban kesme kuvveti ise Schwedler tipi kubbe frekans sayısı 2’ de 0.00000001 ton olmuştur (Şekil 4.34).



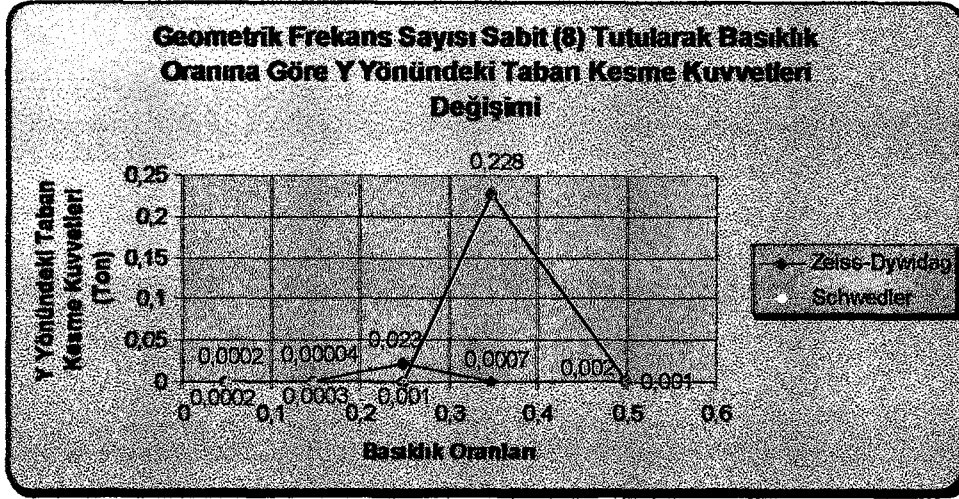
Şekil 4.35. Basıklık Oranı Sabit (0.25) Tutularak Geometrik Frekans Sayısına Göre Z Yönündeki Taban Kesme Kuvvetleri Değişimi

Şekil 4.33' deki grafikte görüldüğü gibi Z yönündeki maksimum taban kesme kuvveti, Zeiss-Dywidag tipi kubbede geometrik frekans sayısı 6' de olmak üzere 0.001 ton olarak gerçekleşmiştir. Minimum taban kesme kuvveti ise, Schwedler tipi kubbede geometrik frekans sayısı 2' da olmak üzere 0.000004 ton olmuştur.



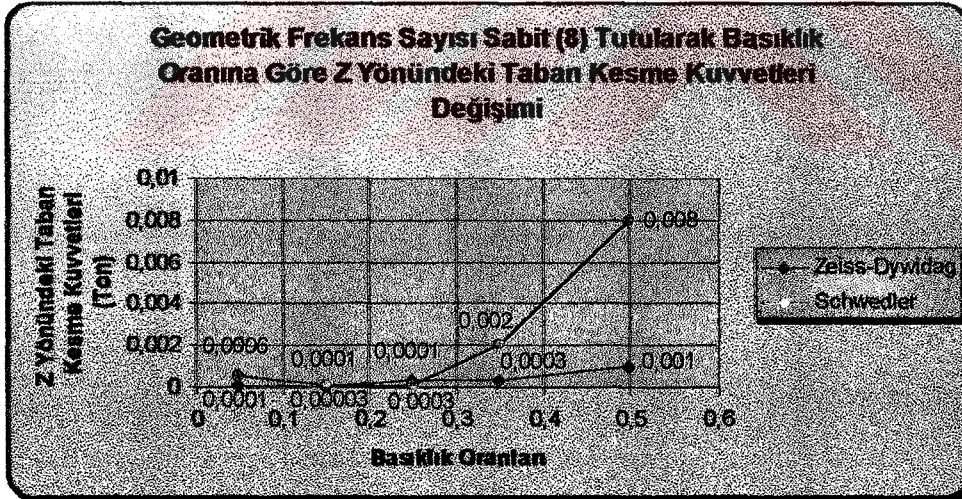
Şekil 4.36. Geometrik Frekans Sayısı (8) Sabit Tutularak Basıklık Oranına Göre X Yönündeki Taban Kesme Kuvvetleri Değişimi

X yönündeki maksimum taban kesme kuvveti 0.5 basıklık oranında Schwedler tipi kubbede 22.75 ton olarak görülmektedir. Minimum taban kesme kuvveti ise Zeiss-Dywidag tipi kubbede 0.15 basıklık oranında 0.014 ton olmuştur (Şekil 4.36).



Şekil 4.37. Geometrik Frekans Sayısı (8) Sabit Tutularak Basıklık Oranına Göre Y Yönündeki Taban Kesme Kuvvetleri Değişimi

Y yönündeki maksimum taban kesme kuvveti 0.35 basıklık oranında Schwedler tipi kubbeye 0.228 ton olarak görülmektedir. Minimum taban kesme kuvveti ise Schwedler tipi kubbeye 0.15 basıklık oranında 0.00004 ton olmuştur (Şekil 4.37).



Şekil 4.38. Geometrik Frekans Sayısı (8) Sabit Tutularak Basıklık Oranına Göre Z Yönündeki Taban Kesme Kuvvetleri Değişimi

Şekil 4.38' deki grafikte görüldüğü gibi Z yönündeki maksimum taban kesme kuvveti, Schwedler tipi kubbeye 0.5 basıklık oranında 0.008 ton olarak gerçekleşmiştir. Minimum taban kesme kuvveti ise, Zeiss-Dywidag tipi kubbeye basıklık oranı 0.15 olmak üzere, 0.00003 ton olarak gerçekleşmiştir.

4.4. Modellere Göre Taban Momentleri

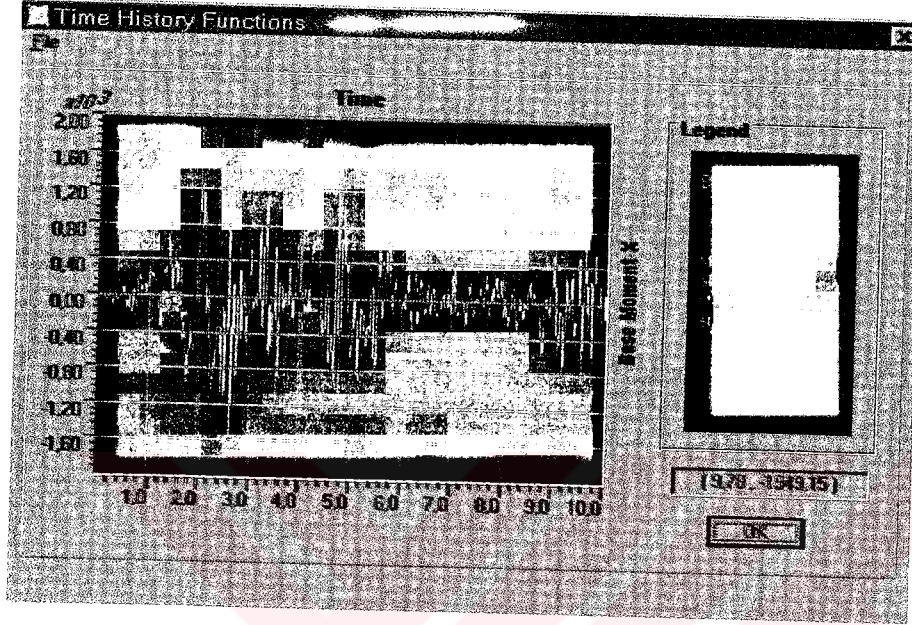
İncelemesi yapılan modellerde, uygulanan deprem kuvveti etkisiyle (Elcentro Depremi) yapı tabanlarında oluşan devirme momentleri incelenmiş ve modellere göre X,Y,Z, yönlerindeki Maksimum ve Minimum taban momentleri ayrı ayrı çıkartılarak aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Ayrıca örnek bir modele ilişkin elde edilen X, Y, Z yönündeki taban momentlerinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.39, 4.40, 4.41' deki grafiklerde gösterilmiştir.

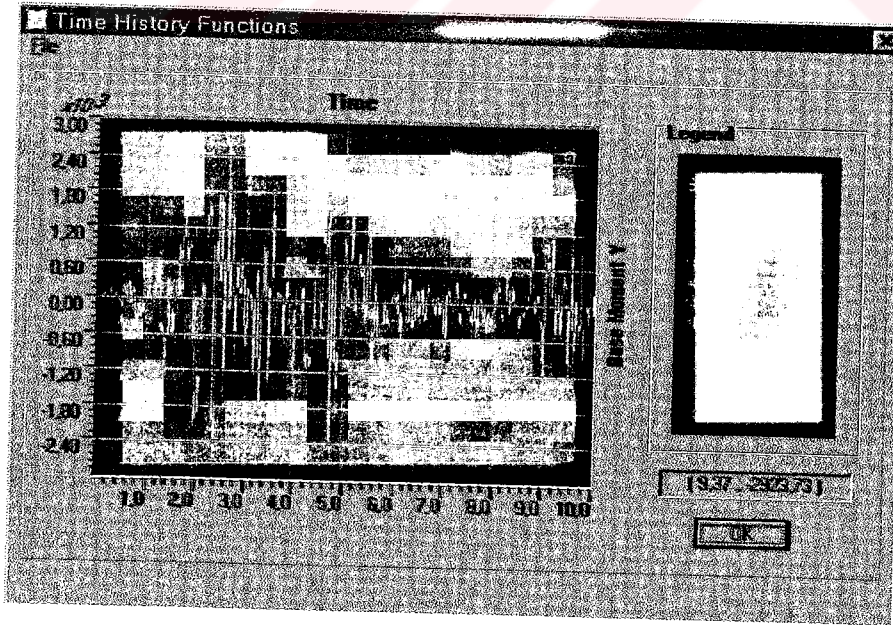
Çizelge 4.4. Modellere Göre Maksimum ve Minimum Taban Momentleri

Model Tipleri	Model İsimleri	TABAN MOMENTLERİ (Ton.mm.)					
		Maksimum			Minimum		
		X	Y	Z	X	Y	Z
Zeiss-Dywidag	ZD.005.8	9.589	5577	0.067	-9.589	-7483	-0.072
	ZD.015.8	4.529	209.3	0.018	-4.641	-204.3	-0.019
	ZD.025.8	20.470	1367	0.331	-20.600	-1334	-0.324
	ZD.035.8	6.460	13850	0.051	-6.352	-14730	-0.051
	ZD.050.8	11.640	135700	0.527	-12.350	-173800	-0.674
	ZD.025.2	0.003	19270	0.021	-0.003	-20120	-0.015
	ZD.025.4	160.80	2358	0.069	-177.30	-2321	-0.074
	ZD.025.6	1.142	1960	0.010	-1.152	-1944	-0.098
	ZD.025.10	3.250	675.0	0.156	-4.276	-513.3	-0.204
Schwedler	SCH.005.8	8.695	22660	0.0000006	-10.440	-24080	-0.0000006
	SCH.015.8	0.285	327.10	0.0002	-0.234	-299.60	-0.0002
	SCH.025.8	3.603	12.240	0.0005	-4.079	-92.150	-0.0005
	SCH.035.8	1758	2628	0.011	-1627	-2866	-0.011
	SCH.050.8	38.730	381900	0.031	-49.000	-402.200	-0.85
	SCH.025.2	0.003	1017.0	450.0	-0.0002	-1248.0	-566.60
	SCH.025.4	456.60	303.10	0.009	-476.90	-308.80	-0.010
	SCH.025.6	0.00004	0.00004	0.00005	-0.00004	-0.00003	-0.0000004
	SCH.025.10	0.267	82.600	0.006	-0.267	-65.580	-0.005
SCHT.025.8	0.412	139	0.007	-0.339	-180.7	-0.007	

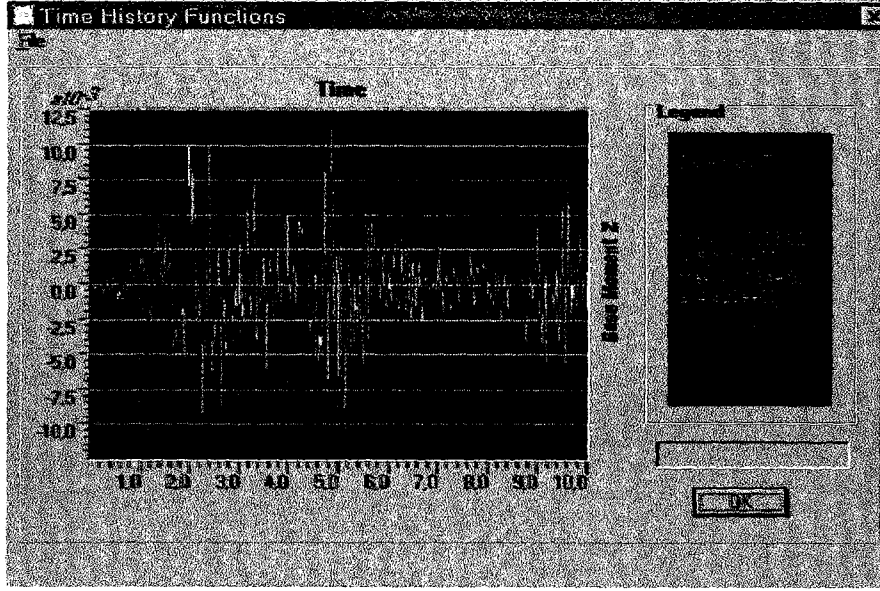
Şekil 4.39, 4.40, 4.41, SCH.035.8 modeline ait taban momentlerinin X,Y,Z yönlerinde ayrı ayrı, zamana bağlı değişimini vermektedir.



Şekil 4.39. SCH.035.8 modeline ait X yönü taban momenti diyagramı

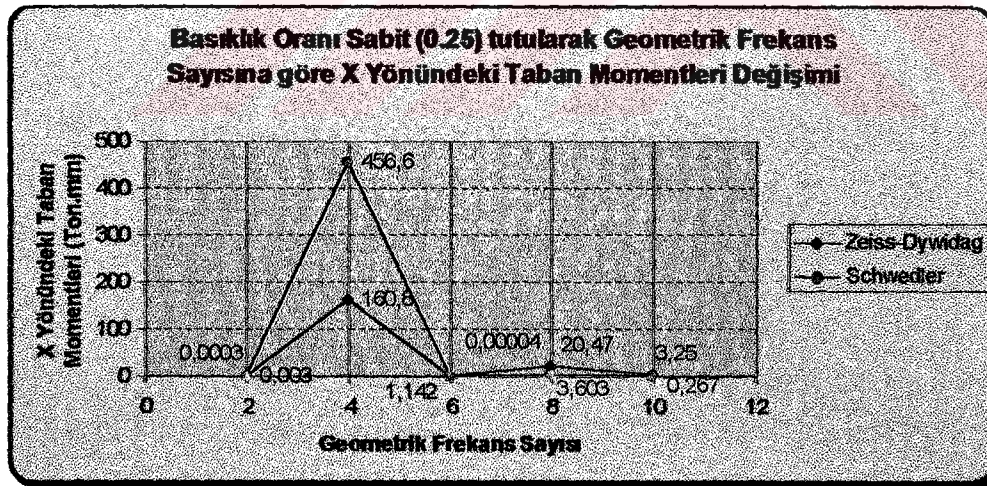


Şekil 4.40. SCH.035.8 modeline ait Y yönü taban momenti diyagramı



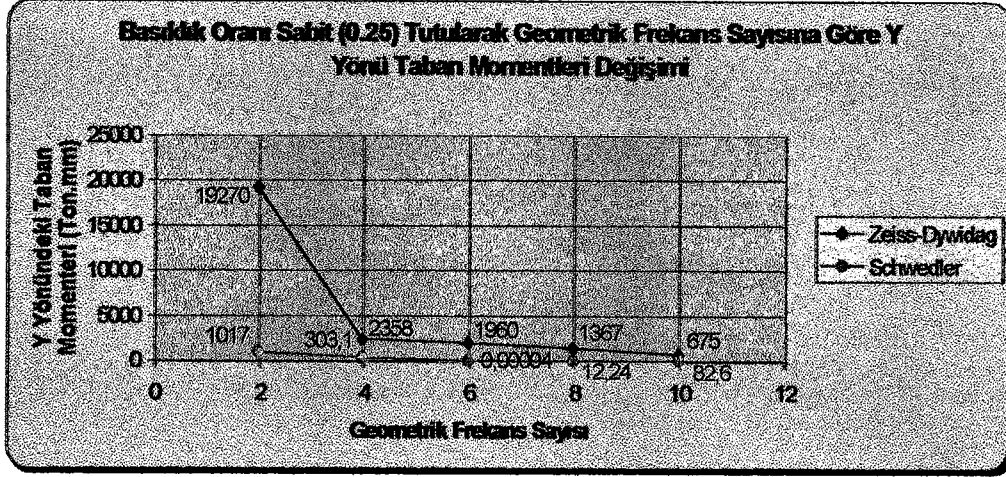
Şekil 4.41. SCH.035.8 modeline ait Z yönü taban momenti diyagramı

Model tiplerine göre X,Y,Z yönlerinde elde edilen taban momentleri, basıklık oranı ve geometrik frekans sayıları sırasıyla sabit tutularak , basıklık oranı ve geometrik frekans sayılarına göre değişimleri aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



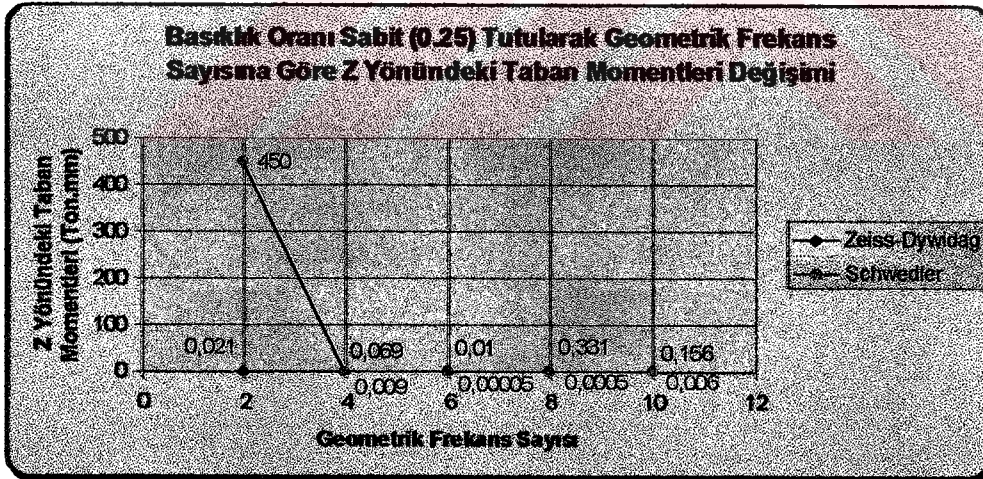
Şekil 4.42. Basıklık Oranı Sabit (0.25) Tutularak Geometrik Frekans Sayısına Göre X Yönündeki Taban Momentleri Değişimi

Şekil 4.42' deki grafikte görüldüğü gibi X yönündeki maksimum taban momenti, Schwedler tipi kubbede geometrik frekans sayısı 4'te 456.6 ton olarak gerçekleşmiştir. Minimum taban momenti ise, yine Schwedler tipi kubbede geometrik frekans sayısı 6'da olmak üzere, 0.00004 ton olarak gerçekleşmiştir.



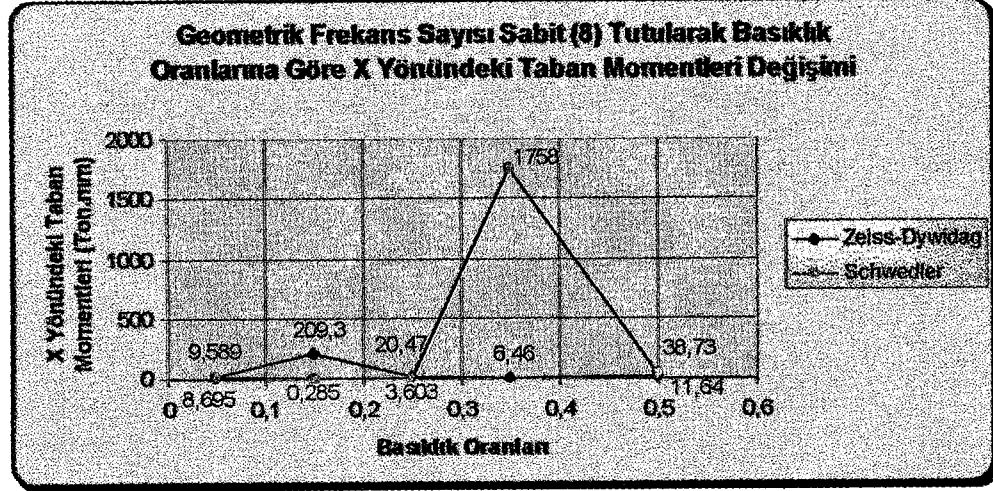
Şekil 4.43. Basıklık Oranı Sabit (0.25) Tutularak Geometrik Frekans Sayısına Göre Y Yönündeki Taban Momentleri Değişimi

Şekil 4.43’ deki grafikte görüldüğü gibi Y yönündeki maksimum taban momenti, Zeiss-Dywidag tipi kubbeye geometrik frekans sayısı 4’de 19270 ton olarak gerçekleşmiştir. Minimum taban momenti ise, Schwedler tipi kubbeye geometrik frekans sayısı 6’da olmak üzere, 0.00004 ton olarak gerçekleşmiştir.



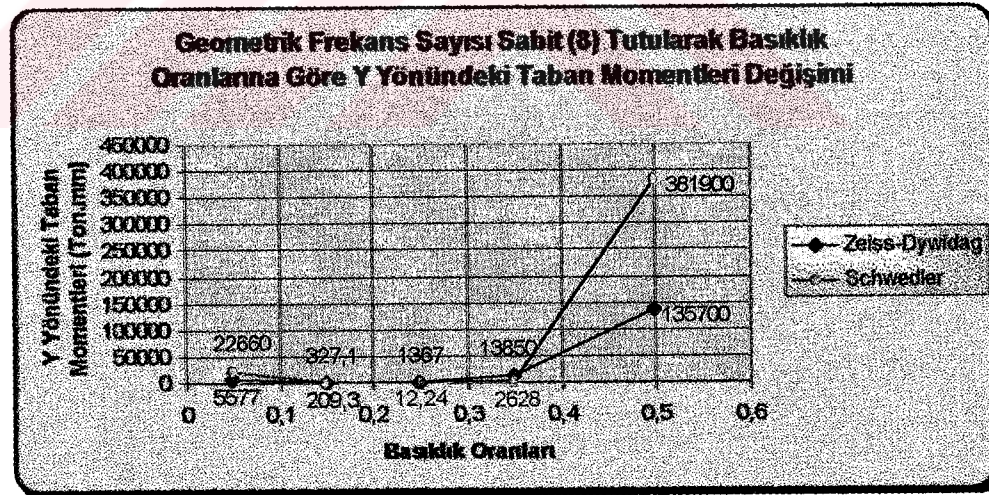
Şekil 4.44. Basıklık Oranı Sabit (0.25) Tutularak Geometrik Frekans Sayısına Göre Z Yönündeki Taban Momentleri Değişimi

Z yönündeki maksimum taban momenti geometrik frekans sayısı 2’de Schwedler tipi kubbeye 450 ton olarak görülmektedir. Minimum taban momenti ise yine Schwedler tipi kubbeye geometrik frekans sayısı 6’da 0.00005 ton olmuştur (Şekil 4.44).



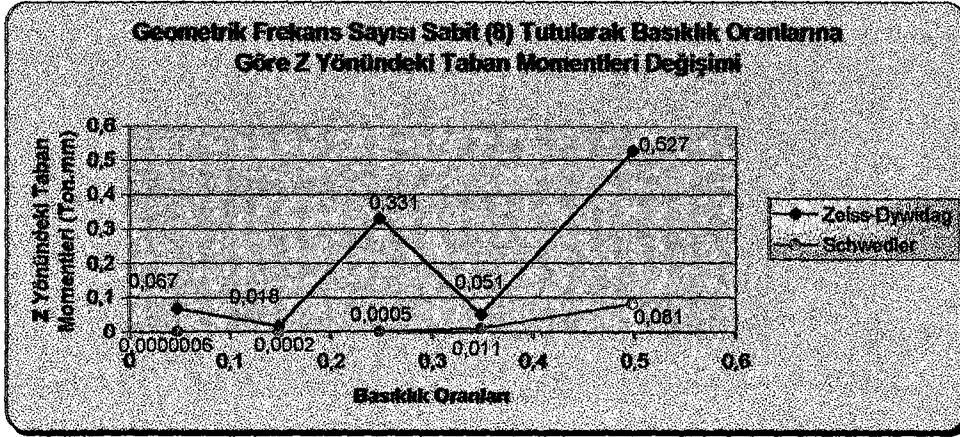
Şekil 4.45. Geometrik Frekans Sayısı Sabit (8) Tutularak Basıklık Oranlarına Göre X Yönündeki Taban Momentleri Değişimi

X yönündeki maksimum taban momenti 0.35 basıklık oranında Schwedler tipi kubbeye 1758 ton olarak görülmektedir. Minimum taban momenti ise yine Schwedler tipi kubbeye 0.15 basıklık oranında 0.285 ton olmuştur (Şekil 4.45).



Şekil 4.46. Geometrik Frekans Sayısı Sabit (8) Tutularak Basıklık Oranlarına Göre Y Yönündeki Taban Momentleri Değişimi

Şekil 4.46' deki grafikte görüldüğü gibi, Y yönündeki maksimum taban momenti, Schwedler tipi kubbeye 0.5 basıklık oranında 381900 ton olarak gerçekleşmiştir. Minimum taban momenti ise, Schwedler tipi kubbeye 0.25 basıklık oranında olmak üzere, 12.24 ton olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.47. Geometrik Frekans Sayısı Sabit (8) Tutularak Basıklık Oranlarına Göre Z Yönündeki Taban Momentleri Değişimi

Z yönündeki maksimum taban momenti 0.50 basıklık oranında Zeiss-Dywidag tipi kubbede 0.527 ton olarak görülmektedir. Minimum taban momenti ise Schwedler tipi kubbede 0.05 basıklık oranında 0.0000006 ton olmuştur (Şekil 4.47).

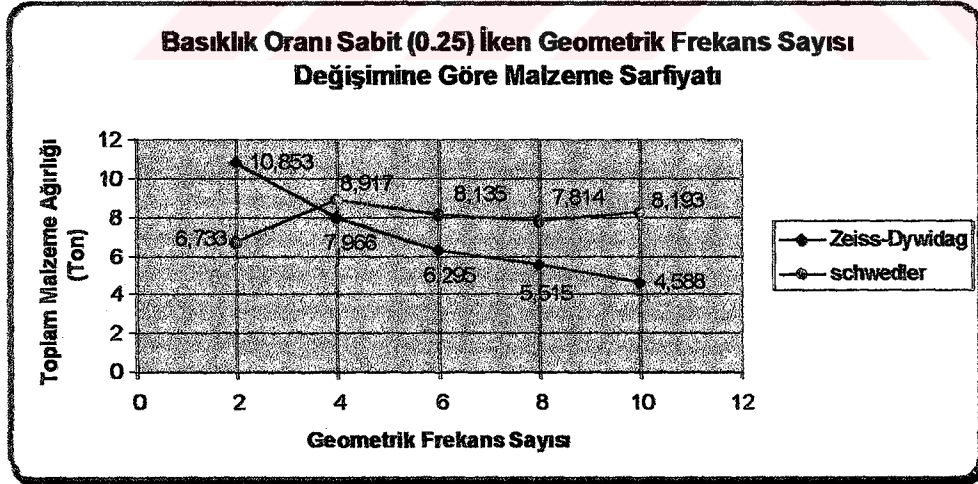
4.5. Analizlere Esas Modellerin Toplam Çelik Sarfiyatları

Çalışmada kullanılan ondokuz modelin toplam malzeme ağırlığı tek tek hesaplanarak, her modele ait çelik sarfiyatları ton birimi cinsinden aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Ayrıca, geometrik frekans sayısı ve daha sonra da basıklık oranı sabitlenerek, model tiplerine ait çelik gideri grafikleri Şekil 4.48 ve Şekil 4.49 da sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Modellere Göre Toplam Çelik Sarfiyatları

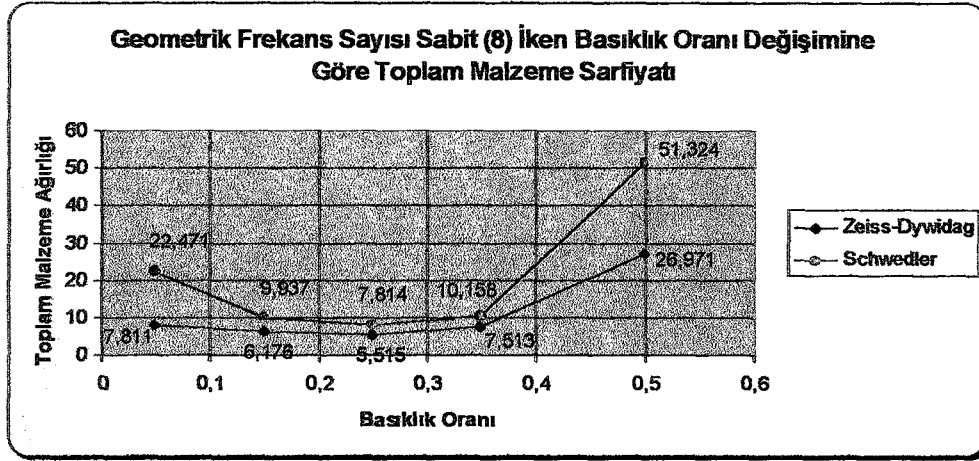
Model Tipleri	Model İsmi	Çelik Sarfiyatı (ton)
Zeiss-Dywidag	ZD.005.8	7.811
	ZD.015.8	6.176
	ZD.025.8	5.515
	ZD.035.8	7.513
	ZD.050.8	26.971
	ZD.025.2	10.853
	ZD.025.4	7.966
	ZD.025.6	6.295
	ZD.025.10	4.588
Schwedler	SCH.005.8	22.471
	SCH.015.8	9.937
	SCH.025.8	7.814
	SCH.035.8	10.158
	SCH.050.8	51.324
	SCH.025.2	6.733
	SCH.025.4	8.917
	SCH.025.6	8.135
	SCH.025.10	8.193
	SCHT.025.8	5.331



Şekil 4.48. Modellerin Geometrik Frekans Sayısı Değişimine Göre Toplam Malzeme Ağırlığı

Şekil 4.48'deki grafikte de görüldüğü gibi, maksimum malzeme ağırlığı geometrik frekans sayısı 2'de Zeiss-Dywidag tipi kubbeye 10.853 ton olarak gerçekleşmiştir.

Minimum ağırlık ise, 4.588 ton ile yine Zeiss-Dywidag tipi kubbede geometrik frekans sayısı 10' da görülmektedir.



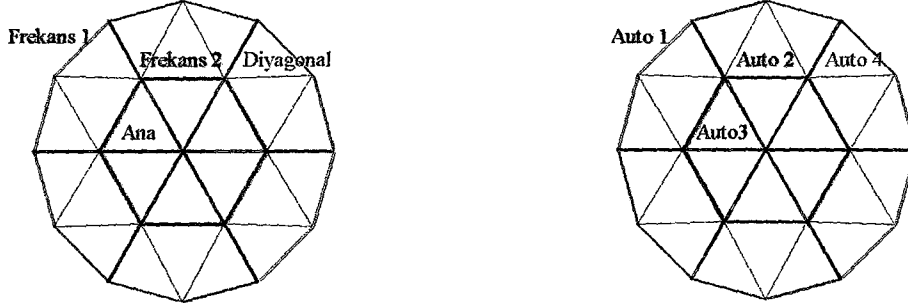
Şekil 4.49. Modellerin Basıklık Oranı Değişimine Göre Toplam Malzeme Ağırlığı

Maksimum malzeme ağırlığının 51.324 ton ile Schwedler tipi kubbede 0.5 basıklık oranında gerçekleştiği görülmektedir. Minimum ağırlığın ise, Zeiss-Dywidag tipi kubbede 0.25 basıklık oranında 5.515 ton olduğu görülmektedir (Şekil 4.49).

Analizler yapılırken malzeme atamasına esas teşkil etmesi ve otomatik dizayn yaptırılabilmesi için tüm çubuk elemanlar bir grup ismi ve birde otomatik dizayn ismi (Auto) ile etiketlenmişlerdir. Bu etiketlendirme işleminde şunlar dikkate alınmıştır.

- ◆ Modelin tipinin özelliğine bağlı olarak mesnetlerden tepe noktasına doğru giden elemanlar “Ana” grup ismi ve geometrik frekans sayısına bağlı olarak takibeden rakamla da “Auto X” ile isimlendirilmiştir.
- ◆ Yine model tipine bağlı olarak yan elemanlar (diyagonaller), çaprazlar “Diyagonal” grup ismi ile ve “Auto X” ile isimlendirilmişlerdir.
- ◆ Değişen geometrik frekans sayısına göre frekansı oluşturan çubuk elemanlar “Frekans” grup ismi ile ve takibeden rakam en alt kottaki frekans çubuklarından başlamak üzere yukarı doğru artan “Auto X” ismi ile isimlendirilmişlerdir.

Şekil 4.50 bu gruplandırmaya bir örnek teşkil etmektedir.



Şekil 4.50. Modellerin Çubuk Atama ve Otomatik Analiz İçin İsimlendirme Mantığının Tanımı

Çizelge 4.6' da tüm modellere atanarak hesabı yaptırılan ve analizler sonucunda elde edilen, Amerika Birleşik Devletleri' nin şartnamesinden (AISC-89) alınmış eleman kesit isimleri yer almaktadır. Kullanılan profil tipi tüm modeller ve tüm modellerin her grup elemanı için boru kesit olduğundan kesit isimlerinin tamamı borudur.

Tüm modellerin kesitleri yerine örnek olması bakımından ZD.025.8 Modelinin sonuçlarına yer verilmiştir.

Çizelge 4.6 ZD.025.8 Modeline Ait Hesap Sonucu Profilleri

Model Tipi	Model İsmi	Eleman Auto İsmi	Eleman Grup İsmi	Hesap Sonucunda Atanan Profil İsmi	Boru Dış Çapı (mm.)	Et Kalınlığı (mm.)
Zeiss-Dywidag	ZD.025.8	Auto1	Frekans 1	P.5	21.34	2.77
		Auto2	Frekans 2	PX.75	26.67	3.91
		Auto3	Frekans 3	PX.75	26.67	3.91
		Auto4	Frekans 4	PX.75	26.67	3.91
		Auto5	Frekans 5	P1	33.40	3.38
		Auto6	Frekans 6	P1	33.40	3.38
		Auto7	Frekans 7	P1	33.40	3.38
		Auto8	Frekans 8	P.75	26.67	2.87
		Auto9	Ana	P1	33.40	3.38
		Auto10	Diyagonal	P1	33.40	3.38

5. SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen en önemli sonuç, gerek doğal frekanslar ve modların, gerekse belirli yükler altında deplasman-hız-ivme gibi büyüklüklerin yapı geometrisi ile değişiminde, seçilen yapı tipinin en etken parametre olduğudur. Basıklık oranı, frekans sayısı, mesnet şartı, düğüm noktası tipi ise yapı tipine bağlı olarak birbiri ile etkileşim halinde deplasman-hız-ivme değerlerinin değişiminde etkili olmaktadır. Ayrıca hassas çözümler elde etmek için dinamik davranış analizinde zaman adımı artımı mümkün mertebe küçük tutulmalıdır. Diğer taraftan uzamsal çelik uzay yapıların incelenmesinde, yapının pratik tanımlanmış ve elde edilen sonuçların uygulanabilir olmasında fayda vardır.

Bu çalışmada, dinamik yük olarak sadece deprem yükü alınmıştır. Deprem yüklemesinde El Centro (1940) depremi ivme kayıtları kullanılmıştır. Kullanılan modeller geometri yönünden simetrik oldukları için deprem kuvvetleri tek yönlü alınmıştır (X yönü).

Çalışmada, Kubbe tipi Uzamsal Çelik Uzay Yapılarda, Geometrik Frekans Sayısı ve Basıklık Oranı gibi parametrelerin, dinamik yükler karşısında yapı davranışını nasıl etkilediğinin araştırılması amaçlanmıştır. Adı geçen parametrelerin yapıyı nasıl etkilediğinin sonuçları ayrı ayrı verilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda uygulamada, optimum parametrenin ne olması gerektiği grafikler ve tablolar halinde görülmektedir.

Analizler sonucunda görülmüştür ki, geometrik frekans ve basıklık oranı gibi değişen parametrelerle oluşturulan modellerde basıklık oranı azaldıkça yapı deprem kuvvetleri karşısında daha mukavemetli bir davranış sergilemektedir. Bunun sebebi, X yönünde verilen ve yatay bir kuvvet olan deprem yükünün, basıklık oranı düşük bir yapıda oluşturduğu devirme momentleri ve taban kesme kuvvetlerinin daha düşük olmasıdır. Yatay kuvvetler karşısında basıklık oranı düşük yapı yapmak uygun bir çözüm olarak düşünülmektedir.

Aynı alanı örtmek için Geometrik Frekans Sayısı düşürüldüğü ve bunun bir sonucu olarak alanı örtecek eleman sayısı azaltıldığında, ekonomik bir çözüme gitmenin aksine bu durum kesitlerde artışa sebep olacağından yapı ağırlığı artmakta ve deprem kuvvetleri karşısında düğüm noktalarında büyük deplasmanlar çıkmaktadır.



KAYNAKLAR

- Arda, T., S., 1985. Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemler. II. Çelik Yapılar Semineri, Cilt 2, 320 s, İstanbul.
- Aşkar, G., 1985. Çelik Uzay Taşıyıcı Sistemler, II. Çelik Yapılar Semineri, Cilt 2, 328 s., İstanbul .
- Ay, Z., 1993. Uzamsal Çelik Uzay Yapıların Serbest Titreşimlerinin ve İmpulsive Yükler Altında Dinamik Davranışlarının İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 123 s, İstanbul.
- Ay, Z., 1995. Sonlu Elemanlar Yöntemi. Ders Notları, Süleyman Demirel Üniversitesi., Isparta.
- Ay, Z., Keskin, N., 1996. Zemin Cinslerinin Yapı Deprem kuvvetlerine Etkisi, İnşaat Mühendisliği nde Bilgisayar Kullanımı V. Sempozyumu, İ.T.Ü., İstanbul.
- Bathe, K. J., Ramn, E., Wilson, E. L., 1975. Finite Element Formulations For Large Deformation Dynamic Analysis, International Journal For Numerical Methods in Engineering, Vol : 9, pp. 353-386.
- Blandford, G., E., 1996. Large Deformation Analysis of Inelastik Space Truss Structures, Journal of Structural Engineering, V : 122, pp. 407-415.
- Bowden, M, Dugundji, J., 1990. Joint Dumping and Nonlinearity in Dynamics of Space Structures, 740 s.
- Celep, Z., Kumbasar, N., 1993. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul.
- Celep, Z., Kumbasar, N., 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul.
- Chang, T., P., 1993. Dynamic Response of Space Structures Under Random Excitation, 575 s.
- Computer & Engineering, 2001. SAP2000' e Başlarken. CSI Computer Structures Inc., Germany.
- Cook, R.D., Malkus, D., Plerha, D.S., 1989. Concepts and Aplication of Finite Analysis, Wiley.
- Crisfield, M A., A Fast Incremental /Iterative Solution Procedure That Handles Snap-Through, Computer and Structures Vol : 13, pp. 55-62.

- Deprem, 1984. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yapı Malzemesi ve Deprem Araştırma Genel Müdürlüğü, 40 s. Ankara.
- Dolunay, M, A., 2000. Deprem Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Semineri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 51 s. Isparta.
- Erşen, N., 1996. Çelik Yapılar ve Çözümlemiş Problemler. Birsen Yayınevi, s 7-28. İstanbul.
- Escobedo, T., J., Ricles, J., 1993. Improved Dynamic Analysis Method Using Load Dependent Ritz Vectors. 1578 s.
- Fenkli, M, 2000. Çelik Yapılarda Birleştirme Elemanları ve Kimyasal Dubel Uygulamaları. Yüksek Lisans Semineri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 17 s, Isparta.
- Gençer, Ö., 2000. Pomza Katkılı Bimsbeton Bloklar İle Yapılmış Yığma Yapı Üzerinde Deprem Etkisinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66 s, Isparta.
- Horr, A., Schmidt, L., 1996. Fractional-Spectral Method for Vibration of Damped Space Structures. 947 s.
- Ishikawa, K., Kato, S., 1997. Elastic-Plastic Dynamic Buckling Analysis of Reticular Domes Subjected to Earthquake Motion. 205 s.
- Karaduman, M, Çelik Yapılar Cilt 1. Nobel Yayın Dağıtım, s 2, İstanbul.
- Kato, S., Ueki, T., Makaiyama, Y., 1997. Study of Dynamic Collapse of Single Layer Reticular Domes Subjected to Earthquake Motion and the Estimation of Statically Equivalant Seismic Forces. 203 s.
- Kenata, K., Nishizawa, H., 1980. Fundamental Study on the Evaluation of the Dynamic Behaviour of Steel Structures, Proceedings of 7 th World Conference on Earthquake Engineering (7 th W.C.E.E.), Vol : 6, İstanbul.
- Kunieda, H., Morooka, S., Onodero, K., 1994. Spherical Domes Subjected to Horizontal Earthquakes. 238 s.
- Kunieda, H., 1997. Earthquake Response of Roof Shells. 159 s.
- Malla, R., B., Pai, S., S., 1995. Probabilistic Response of Truss-Type Space Structure With Joint and Member Imperfections. 877 s.
- Makowski, Z., S., 1988. History of the Development of Braced Domes, Proceedings of IA.S-S.-MS.U. Symposium, İstanbul.

- Mecitoğlu, Z., 1988. Takviyeli Dairesel Silindirik Kabuk Yapıların Serbest Titreşimlerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Meek, J.L., Loganathan, S., 1988 Geometrically Nonlinear Behavior of Geodesic Domes, Proceeding of IA.S-S.-MS.U. Symposium, İstanbul.
- Meek, J. L., Loganathan, S., 1989. Geometrically Nonlinear Behaviour of Space Frame Structures, Computer and Structures, Vol : 31 No : 1, pp. 35-45
- Meek, J. L., Loganathan, S., 1989. Large Displacement Analysis of Space Frame Structures, Computer Methods In Applied Mechanics and Engineering, Vol : 72, pp. 57-75
- Mohraz, B., Elghadamsi, F. E., Chang, C., 1991. An Incremental Mode-Superposition for Nonlinear Dynamic Analysis, Earthquake Engineering and Structural Dynamic, Vol : 20, pp. 471-481.
- Nishida, A., Yasuhiko, H., 1997. Wave Propagation Behaviour of Spatial Structures: Impact Response Analysis of Single Layer Latic Domes. 237 s.
- Odabaşı, Y., 1997. Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları. Beta Basım Yayım Dağıtım, s 145, İstanbul.
- Özgen, A., Aşkar, G., 1983. Çelik Karkas Yapılar. I. Çelik Yapılar Seminer Notları. İstanbul.
- Pakandam, P., D., Retif, D., I., Ashraf, M, 1988 Structural Behavior of A Geodesic Domes, Proceeding of IA.S-S.-MS.U. Symposium, İstanbul.
- Paz, M, 1991. Structural Dynamic, Theory of Computation. Van Nostrand Reinhold, 509-583, New York.
- Polat, C., 1994. Birinci Derece Deprem Bölgelerindeki Betonarme Yapılar İçin Tasarım Kuralları. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78 s, Elazığ.
- Saka, T., Taniguchi, Y., 1997. Damage to Spatial Structures by the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake in Japan. 133 s.
- Sucuoğlu, H., 1996. Yapılarda Deprem Kuvvetlerinin Oluşması. Deprem ve Sonrası.(Karaesmen, E., eds.), 26-41, Türkiye Mütcahitler Birliđi, Ankara.
- Tatemichi, I., Hatato, T., Anma, Y., Fujiwara, S., 1997. Vibration Tests on a Full-Size Suspen-Dome Structure. 224 s.

Tuna, M, E., 1991. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarım İlkeleri. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 89s. Ankara.

Wilson, E. L., 1997. Three Dimensional Dynamic Analysis of Structures, Berkeley

Wilson, E. L., 1998. Dynamic Analysis Using Response Spectrum, Berkeley.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet FENKLİ
Doğum Yeri : Kayseri
Doğum Yılı : 1974
Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu :

Lise : 1989-1992 Kayseri Mimar Sinan Endüstri Meslek Lisesi Yapı
Bölümü
Önlisans : 1992-1994 Hacettepe Üniversitesi Ankara Meslek
Yüksekokulu İnşaat Bölümü
Lisans :1994-1998 Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim
Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü
Yabancı Dili : İngilizce

İş Deneyimi :

2000- Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı
Eğitimi Bölümü' nde Öğretim Görevlisi.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN İZLENİM KURULU