

SAP2000®

Yapıları Sonlu Elemanlarla
Çözümleme ve Boyutlama
Yazılımları Serisi

ÖRNEKLER ve SAĞLAMA KILAVUZU



Version 6.1, Temmuz 1997
Türkçe baskı 1.1.2001

TELİF HAKKI

Copyright Computer & Structures, Computers & Engineering. Her hakkı saklıdır. SAP2000 programı ve ilgili tüm yazılı belgeler sahiplik ve çoğaltma hakları saklı ürünlerdir. Evrensel sahiplik hakları Computers & Structures Inc.'a aittir. Türkçe yazılı belgelerin sahiplik hakları Computers & Engineering kuruluşuna aittir. Computers & Structures Inc. ve Computers & Engineering kuruluşlarından yazılı izin alınmadan programın lisanssız kullanımı veya yazılı belgelerinin çoğaltılması tamamen yasaktır.

Daha ayrıntılı bilgi, yazılım lisansı ve belgelerin kopyaları için başvuru adresi:

Türkiye, Almanya ve Rus Fed. Devletleri

Ana Dağıtım:

COMPUTERS & ENGINEERING

Holzmühlerweg 87-89

D-35457 Lollar, ALMANYA

Tel: 0049 6406 73667

Fax: 0049 6406 4745

E-Mail: baser@comp-engineering.com

<http://www.comp-engineering.com>

<http://www.csiberkeley.com>

<ftp://ftp.csiberkeley.com/webdd>

© Copyright Computers and Structures Inc., 1978-2000

© Copyright Computers & Engineering 1992-2000

CSI Logo'su Computers & Structures Inc. kuruluşunun tescilli ticari markasıdır.

SAP2000 Computers & Structures Inc. kuruluşunun ticari markasıdır.

SORUMLULUK

SAP2000 programının ve yazılı belgelerinin hazırlanmasına büyük zaman, çaba harcanmış ve maddi fedakarlık yapılmıştır. Program tam olarak test edilmiş ve kullanılmıştır. Bununla birlikte programı kullanırken, kullanıcı, programın güvenilirliği veya kesinliği konusunda programı hazırlayan veya dağıtanların herhangi bir sorumluluk almadığını veya bunu ima etmediğini kabul eder ve anlar.

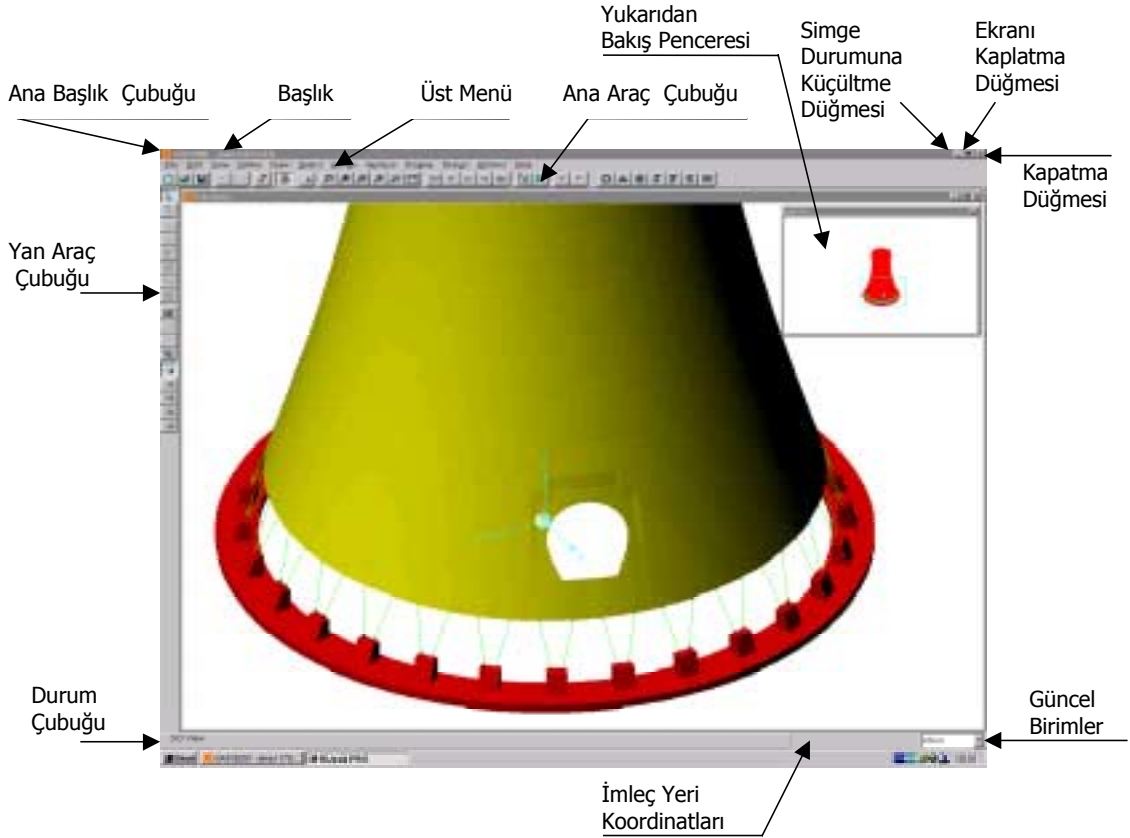
Program, betonarme çerçevelerin boyutlaması için çok pratik bir araçtır. Programın bundan önceki sürümleri çok başarılı olmuş ve çeşitli tür yapılarda kullanılmıştır. Bununla beraber kullanıcı, bu kılavuzu tamamen ve dikkatlice okumalı ve betonarme hesabında program algoritmalarının **kapsamadığı** durumları iyice anlamalıdır.

Kullanıcı, programın temel varsayımlarını açıkça anlamalı ve programın oluşturduğu sonuçları kendisi bağımsız olarak kontrol etmelidir.

TEŐEKKÜR

Bu ürünün bugünkü durumuna gelmesinde yıllar boyu süren değerli çalışmalarıyla katkı sağlayan bütün mühendis meslekdaşlarımızıa teőekkür ederiz.

Özellikle orjinal SAP serisi programlarının kavramsallaştırılması ve geliştirilmesinden sorumlu, California Berkeley Üniversitesi emekli profesörlerinden Dr. Edward L. Wilson'ı özel olarak anıyoruz. Kendisinin devam eden orijinal çözümler üretmesi, programın bu versiyonunda kullanılan eşsiz kavramlar oluşturulmasında rol oynamıştır.



SAP2000 MENÜLERİNİN TANIMLARI

SAP2000 komutlarına Uygulama Simgeli (İkon'lu) **Ana Araç Çubuğu**, **Yan Araç Çubuğu**, ve **Üst Menü**'den (Pull Down) erişilecektir. Bununla birlikte Uygulama Simgeli araç çubukları **Üst Menü**'de bulunan işlemlerin çoğuna, daha çabuk erişimi sağlar.

Atama (*Assign*) işlemi sırasında hatırlamanız gereken iki önemli nokta vardır. Birincisi; bir değeri atayacağınız nesneyi belirtmeden önce o değeri tanımlamış (*Define*) olmalısınız. İkincisi; önce elemanları seçmeli (*Select*) sonra onlara yeni büyüklükler atamalı (*Assign*) ya da eskilerini değiştirmelisiniz .

İçindekiler

Örnek 1	İki Boyutlu Çerçeve, Statik ve Dinamik Yükler	1
Örnek 2	Bathe ve Wilson Çerçevesi, Özdeğerler Analizi	7
Örnek 3	Üç Boyutlu Çerçeve, Dinamik Yükler	11
Örnek 4	ASME Çerçevesi, Özdeğerler Analizi	15
Örnek 5	Üç Boyutlu Çaprazlı (kontrvantmanlı) Çerçeve, Dinamik Yükler	19
Örnek 6	Kiriş, Düzgün Harmonik Yükler	23
Örnek 7	Düzlem Makas, Statik Yükler	27
Örnek 8	Üç Boyutlu Bina, Dinamik Yükler	31
Örnek 9	Patch Test, Önceden Tanımlanmış Deplasman Yükü	33
Örnek 10	Düz Kiriş, Statik Yükler	35
Örnek 11	Eğri Kiriş, Statik Yükler	41
Örnek 12	Burulmuş Kiriş, Statik Yükler	45
Örnek 13	Elastik Mesnetli Temel Kirişi, Statik Yükler	49
Örnek 14	Dörtgen Plak, Statik Yükler	53
Örnek 15	Konsol Plak, Özdeğer Problemi	57
Örnek 16	Scordelis-Lo Çatı, Statik Yükler	61
Örnek 17	Yarım Küre Kabuk, Statik Yükler	65
Örnek 18	İkinci Mertebe Etkileri ile Düzlem Çerçeve	67
Örnek 19	İki düzlem çerçevenin çarpışması, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Analiz	71
Örnek 20	Sürtünme Pandüllü, Taban İzolatörleri Üzerinde 3 Boyutlu Çerçeve ile Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	75

Giriş

Bu kılavuz SAP2000 Yapı Analiz Programı ile çözülmüş çeşitli problem örneklerini kapsamaktadır. Örnekler SAP2000 programının bazı özelliklerini tanıtmaktadır. Değerlendirme amacıyla, bu kılavuzda kullanılan örneklerin sonuçları, kitaplarda verilen teorik sonuçlar ve diğer analiz programları sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Değerlendirme örnekleri arasında, her türlü yapı elemanları için, hem statik hem de dinamik örnekler bulunmaktadır.

Bu kılavuzdaki her örnek için şu bilgiler sağlanmıştır:

- Problemin kısa bir tanıtımı
- Kullanılan önemli SAP2000 seçenekleri
- Modelin üretiminde kullanılan veri datasının tanımı
- Önemli sonuçların, varsa kitaplarda bulunan teorik sonuçlar ve/veya diğer analiz programları ile karşılaştırmaları

Bazı örnekler birkaç tip eleman, değişik örgü aralıkları ve farklı mesnet şartları için çözülmüştür. Bu çözümlerden elde edilen önemli sonuçlar, karşılaştırma amacı ile verilmiştir.

Veri bilgisi dosyaları ve seçilmiş çıktı dosyaları SAP2000\Examples alt dizininde bulunmaktadır. Bazı örnekler için, değişik tip eleman ve/veya örgü boyutları ile birden çok veri dosyası sağlanmıştır.

Her örnek için şu dosyalar sağlanabilir:

- **.SDB** uzantılı SAP2000 Modeli dosyası. Bu dosyayı açmak için **File > Open** komutu kullanılır.
- **.S2K** uzantılı ve text formatında veri dosyası. SAP2000 modeli text olarak üretildi ise **File > Import** komutu ile **.S2K** olarak açılır.
- Farklı tanımlı uzantılarda **Binary** sonuç dosyaları. Bu dosyalar varsa analiz sonuçları ekranda izlenebilir.

Bazı örnekler için değişik çözümleri içeren birden fazla veri dosyası sağlanmıştır. Veri dosyalarından SAP2000 Nonlinear (veya Plus) için hazırlanmış olanların SAP2000 Standard sürümünde çalışmayacağına dikkat çekilir.

Birimlerle ilgili not. Örneklerde kullanılan birimler her an istenilen birim sistemine dönüştürülebilir. Sağ alt köşedeki Güncel Birimler kutusunu tıklayınız.

Örnek 1

İKİ BOYUTLU ÇERÇEVE, STATİK VE DİNAMİK YÜKLER

TANIM

Bu örnekte yatay ve düşey statik etkiler ve bir davranış spektrumu ile tanımlı yatay dinamik etkiler ile yüklü iki boyutlu yedi katlı bir çerçeve yapısı tanıtılmaktadır. Yapı, bir keresinde mod birleştirme yöntemiyle ve bir kere de taban ivmesiyle zaman zaman tanım alanında hesaplanmıştır. Bu problemin diğer bir bilgisayar yazılımı ile çözümü Kaynak [1]'de bulunabilir. Çerçeve ile statik yükler Şekil 1-8 de gösterilmiştir. Sismik tahrik şekil 1-2 de gösterilmiştir, ve bu 1940 El Centro Depreminin N-S (Kuzey-Güney) bileşenine eşittir. Çerçeve ve yükleri Ref. [1] dekinin aynıdır.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- İki boyutlu çerçeve analizi
- Rijit Kat Diyaframı
- Düğüm noktalarında yatay yükler
- Düşey düzgün yayılı yükler
- Mod Birleştirme Yöntemiyle analiz
- Taban tahrikine zaman tanım alanında (time history) hesap yöntemiyle tepki

VERİ DATASI

Kullanılan model Şekil 1-1 ve 1-2' de gösterilmiştir. Kip-Inch birimleri kullanılmıştır. İlk dosyadaki data, yapıyı düşey ve yatay statik ve mod birleştirme yöntemiyle analiz etmek içindir. Bu analiz için veri dosyası ismi FRAME' dir. İkinci veri dosyası dinamik analizi tekrarlar fakat taban ivmesini zaman tanım alanı (time history) yükü olarak uygular. Bu çözüm için veri dosyası ismi FRAMETH dır. Taban ivmesi ise ELCENTRO isimli dosya ile sağlanmıştır. (Şekil 1-8).

FRAME dosyasındaki uygulama ilk olarak açıklanmaktadır. Düşey yükler kirişler üzerinde düzgün yayılı yük olarak 1 nolu yüklemeye verilmiştir. Dış kolonların her kattaki yatay (Y yönünde) deplasmanları o katta rijit diyafram olarak modellenmiştir. Ayrıca kat kütleleri sadece yatay (Y) yönünde tanımlanmıştır. Yukarıda bahsedilen modelleme teknikleri çözülecek denklem sayısını azaltmak için yapılmıştır ve bahsedilen kaynakta da kullanılmıştır.

Rijit diyafram modellemesi ile kirişlerdeki aksel deformasyonun engellenmesi ve düşey yönde kat kütlelerinin olmayışı problemi yedi doğal salınım modlu dinamik analiz haline dönüştürmektedir. Yedi modun hepsi analizde sağlanmıştır.

Otomatik AISC kesit değerleri seçeneği bu örnekte kullanılmamıştır ve kesit değerleri dışardan girilmiştir.

FRAMETH veri dosyası, FRAME dosyasına eşittir. Bununla beraber statik ve davranış spektrumu yükleri kullanılmamıştır. Bunun yerine Y doğrultusunda taban ivmesi tanımlanmıştır. İvme datası eşit olmayan zaman aralıklarıyla sağlanmıştır. Çıktı zaman aralıkları 0.02 saniyedir ve tepki ilk 8 saniye için hesaplanmıştır. Bütün modlarda 0.05 değerinde sönüm katsayısı kullanılmıştır.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

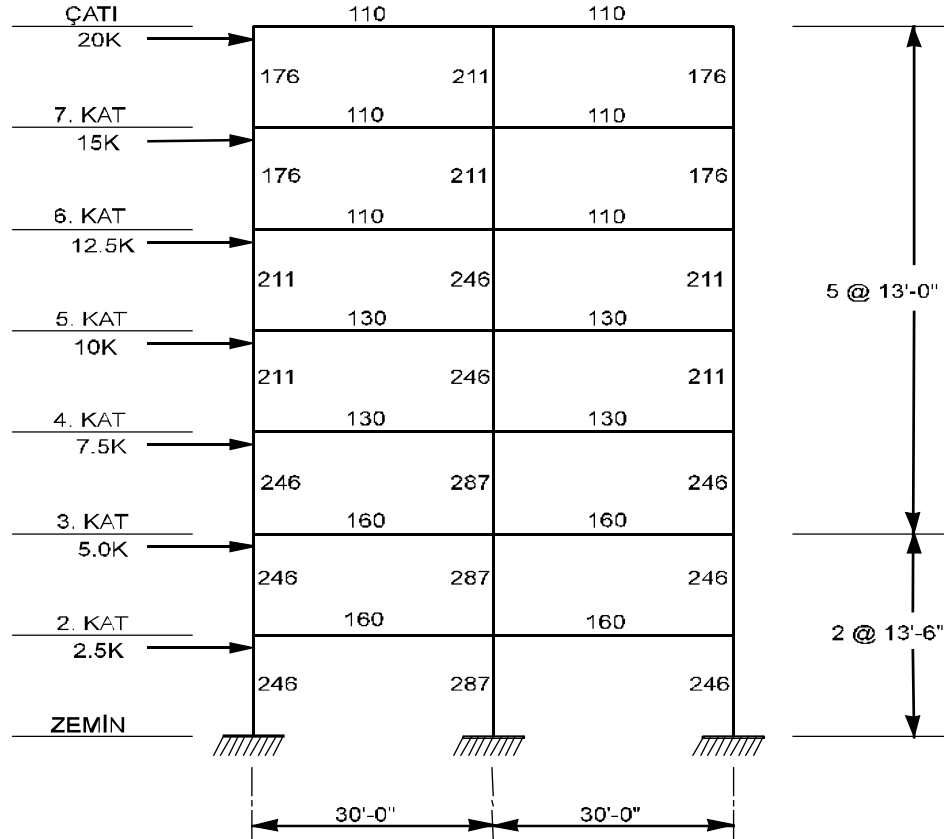
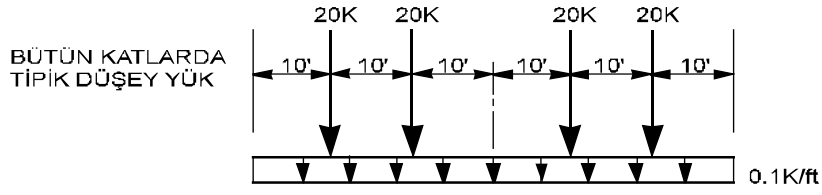
Kaynak [1]'de sonuçlar sadece yatay statik ve dinamik analiz için verilmiştir. Önemli sonuçların karşılaştırılmalı analizi Şekil 1-3, 1-4 ve 1-5 de verilmiştir. Her iki program için de statik sonuçlar aynıdır. Mod Birleştirme Yöntemi ile hesapta sonuçlar mükemmeldir ve zaman tanım alanında hesapta iyidir.

Kaynak [1]'deki program modal kombinezonların toplamının kare kökü (Square Root of the Sum of the Squares SRSS) yöntemini kullanmaktadır. SAP2000 ise SRSS e ek olarak kombinezonların Tam Kuadratik Kombinezonunu da (Complete Quadratic Combination CQC) kullanmaktadır. Şekil 1-5 de SAP2000 tarafından kullanılan iki değişik çözüm tekniğine göre sonuçlar (CQC, SRSS) verilmektedir.

Bu örneğin seçilmiş çözüm çıktıları yapının yatay yükleri altında ve altıncı modu Şekil 1-6 ve 1-7 de verilmiştir. Bina tepesinin zaman-deplasman grafiği ise şekil 1-9 da gösterilmiştir.

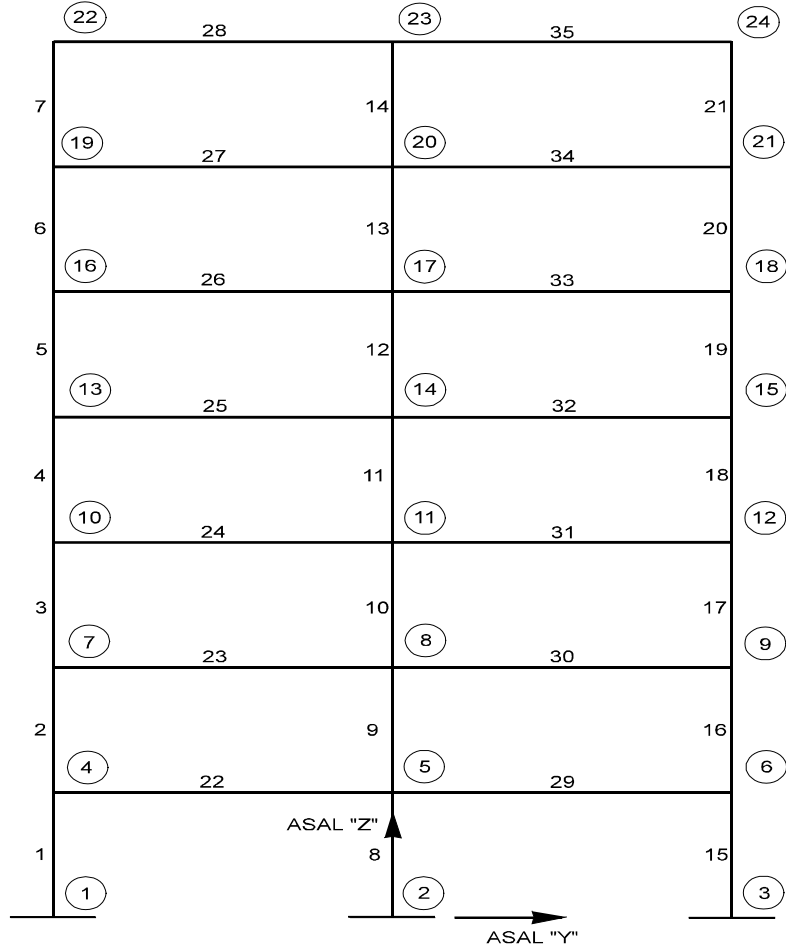
KAYNAKLAR

1. "Statik and Dynamic Analysis of Multistory Frame Structure Using DYNAMIC/EASE2," Engineering Analysis Corporation and Computers/Structures International.



BÜTÜN KOLONLAR : W14
 BÜTÜN KİRİŞLER : W24
 ELEMAN AĞIRLIKLARI GÖSTERİLMİŞTİR.
 TİPİK KAT KÜTLESİ: 0.49 kip-sn²/in
 ELASTİSİTE MODÜLÜ: 29500 ksi

Düzlem Çerçeve Örneği
Şekil 1-1



- ②① DÜĞÜM NOKTASI NUMARASI
 21 ELEMEN NUMARASI

Düzlem Çerçeve Örneği Modeli
 Şekil 1-3

Değer	SAP2000	Kaynak [1]
(22) Nolu Düğüm Noktasında Yatay Deplasman	1.450764	1.450764
1 Nolu Elemanda Eksenel Yük	69.99	69.99
1 Nolu Eleman (1) Nolu Düğüm Noktasında Moment	2324.68	2324.68

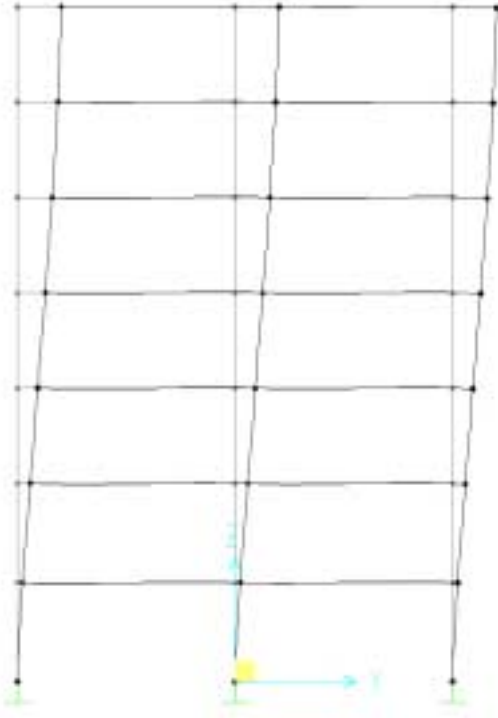
Statik Yatay Yük Sonuçlarının Karşılaştırılması
Şekil 1-3

MODE	SAP2000	Kaynak [1]
1	1.2732	1.2732
2	0.4313	0.4313
3	0.2420	0.2420
4	0.1602	0.1602
5	0.1190	0.1190
6	0.0951	0.0951
7	0.0795	0.0795

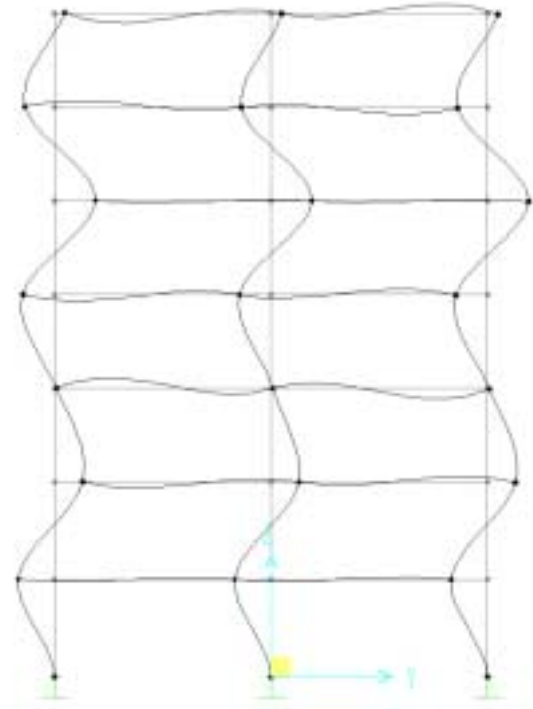
Titreşim Peryotları Sonuçlarının Karşılaştırılması
Şekil 1-4

Değer	SAP2000			Kaynak [1]	
	Davranış Spektrumu (CQC)	Davranış Spektrumu (SRSS)	Zaman Tanım Alanında Hesap	Davranış Spektrumu (SRSS)	Zaman Tanım Alanında Hesap
(22) Nolu Düğüm Noktasında Yatay Deplasman	5.431	5.437	5.486	5.438	5.46
1 Nolu Elemanda Eksenel Yük	261.5	261.7	263.0	261.8	258.0
1 Nolu Eleman (1) Nolu Düğüm Noktasında Moment	9916	9864	9104	9868	8740

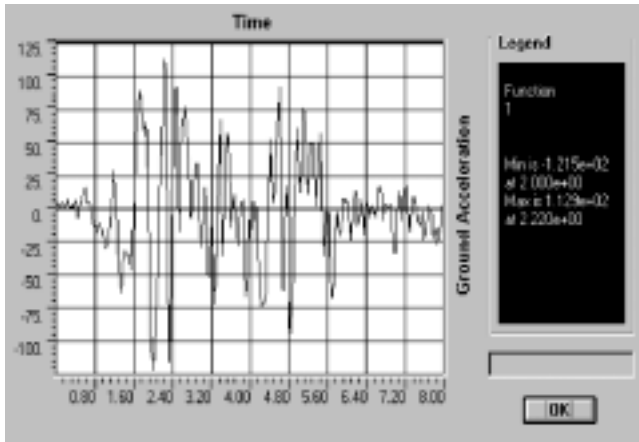
Dinamik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması
Şekil 1-5



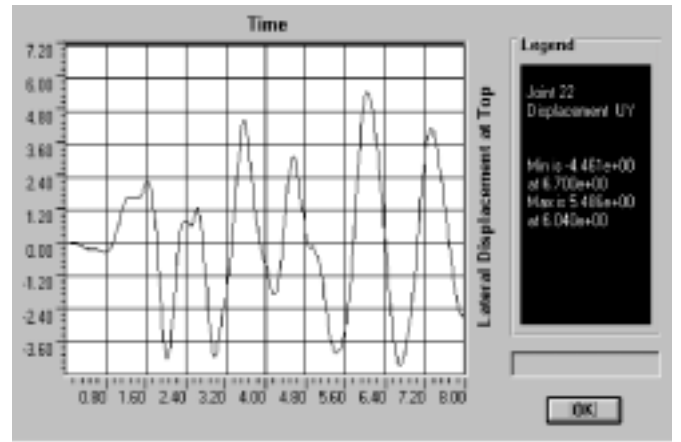
*Yatay Yük Deplasmanı
Şekil 1-6*



*6. Mod şekli
Şekil 1-7*



*El Centro Zemin İyme Verisi
Şekil 1-8*



*Düğüm Noktası 22 de Yatay Deplasman
Şekil 1-9*

Örnek 2

BATHE ve WILSON ÇERÇEVESİ ÖZDEĞERLER ANALİZİ

TANIM

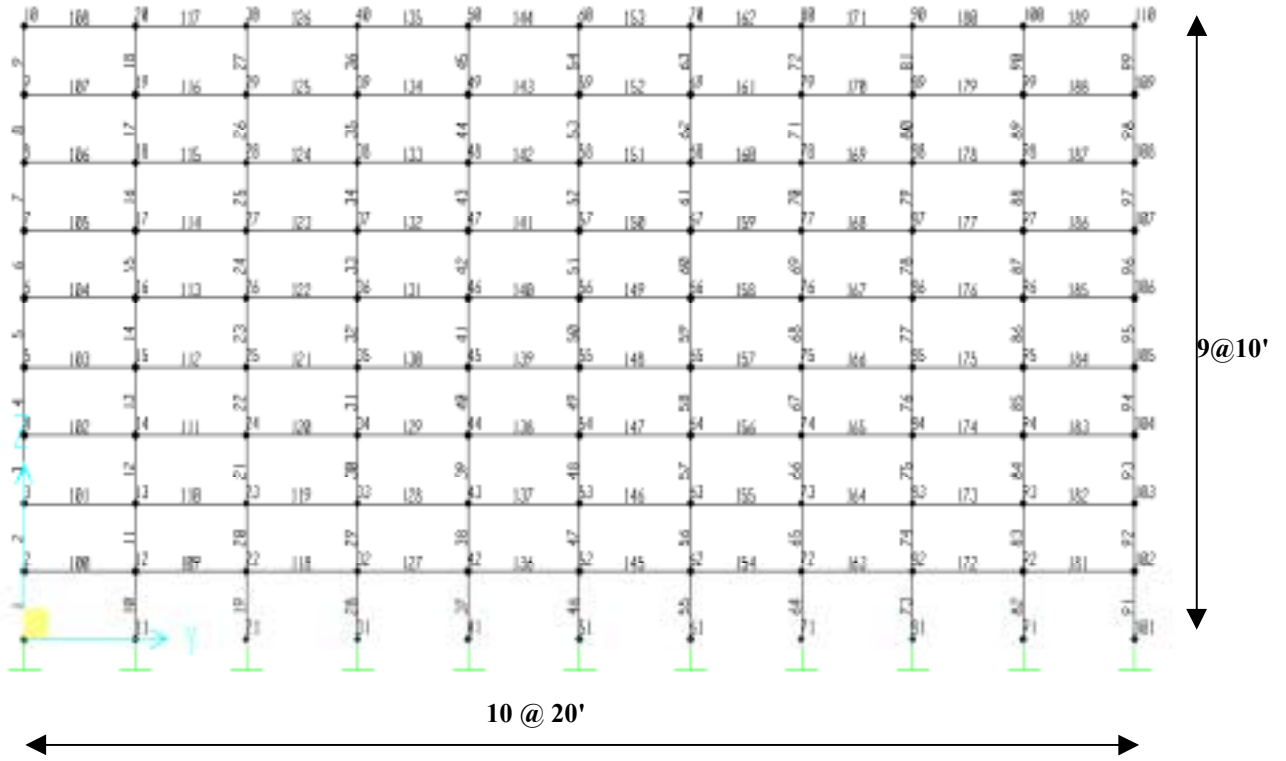
Bu örnekte Kaynak [1]'de çözümü bulunan 10 açıklıklı, dokuz katlı iki boyutlu bir çerçeve tanıtılmaktadır. Çerçeve, malzeme ve kesit özellikleri Şekil 2-1 de gösterilmiştir. Kütle ve diğer birimler kıyaslamanın yapılacağı Kaynak [1] ve 2' ye uygundur. Sadece ilk üç özdeğer hesaplanmıştır.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- İki boyutlu çerçeve
- Özdeğer Analizi

VERİ DATASI

Kullanılan model Şekil 2-1' de gösterilmiştir. Kip-foot birimleri kullanılmıştır. Elemanların birim boyda kütleleri gösterilmiştir. Program özdeğer analizinde kullanılacak düğüm noktası kütlelerini otomatik olarak hesap etmektedir. Bu örnek için veri dosyası adı FRAMEBW'dir.



Tipik Kesit Değerleri:

Alan = 3 ft²
 Atalet Momenti = 1 ft⁴
 Elastisite Modülü = 4.3*10⁵ ksf
 Birim Boydaki Kütle = 3 kip - sec² / ft / ft

***Bathe ve Wilson - Çerçeve Örneği
 Şekil 2-1***

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

SAP2000 tarafından hesaplanan ile Kaynak [1] ve 2' de verilen özdeğerlerin karşılaştırılması Şekil 2-2' de gösterilmiştir. Uyum mükemmeldir.

Mod	SAP2000	KAYNAK [1]	KAYNAK [2]
1	0.589541	0.589541	0.589541
2	5.52696	5.52695	5.52696

Şekil 2-2
Özdeğerlerin Karşılaştırılması

KAYNAKLAR

1. Bathe, K.J. and Wilson, E.L., "Large Eigenvalue Problems in Dynamic Analysis," Journal of the Eng. Mech. Div., ASCE, Vol.98, No.EM6, Proc. Paper 9433, Dec. 1972.

2. Peterson, F.E., "EASE2, Elastic Analysis for Structural Engineering, Example Problem Manual," Engineering Analysis Corporation, Berkeley, California, 1981.

Örnek 3

ÜÇ BOYUTLU ÇERÇEVE, DİNAMİK YÜKLER

TANIM

Bu örnekte, iki katlı, rijit diyafram döşemeli üç boyutlu çerçeveli bir yapı tanıtılmaktadır. Problem Kaynak [1] deki ile aynıdır. Yapı çerçeve girişmeleri Şekil 3-1 ve Şekil 3-2 de gösterilmiştir. Yapı planda her iki yönde simetrik olmakla beraber her kattaki ağırlık noktaları Şekil 3-1' de 28 ve 29 nolu noktalar ile gösterilmiş olup merkezde kayık ve $X = 38$ feet ile $Y = 27$ feet koordinatlarındadırlar.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

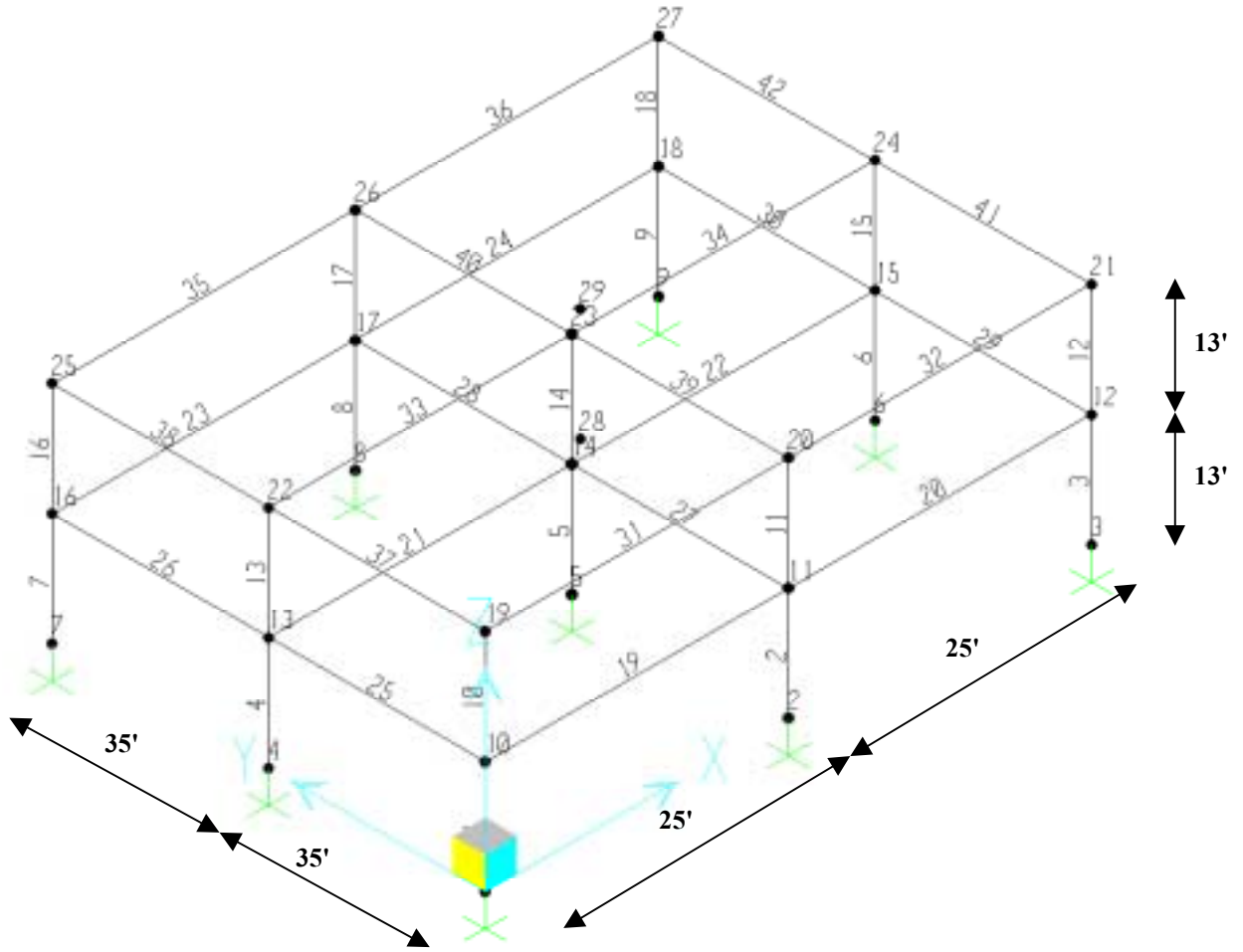
- Üç boyutlu çerçeve analizi
- Rijit diyafram modeli
- Mod birleştirme Yöntemi ile analiz

VERİ DATASI

Model Şekil 3-1 ve Şekil 3-2' de gösterilmiştir. Kip-foot birimleri kullanılmıştır. Tüm kat kütlelerinin verilmesi için her katta ağırlık merkezinde ek noktalar tanımlanmış ve kat kütleleri bu noktalara atanmıştır.

Her iki katta birer rijit diyafram bağımlılığı tanımlanmıştır. 1. Kattaki düğüm noktaları kendi içinde bağlanmıştır. 2. Kattaki düğüm noktaları da yine kendi içinde bağlanmıştır. Böylece bu noktaların X ve Y deplasmanlarıyla Z eksenini etrafındaki dönmeleri birbirine bağlanmış olmaktadır.

Kaynak [1]' e uyumlu olabilmek için elemanlara herhangi bir dönme rijitliği girilmemiştir. Yapının sadece 4 doğal modu olduğuna dikkat edilmelidir. Dört modun tamamı hesaplarda kullanılmıştır.



1. Kat Ağırlık Merkezi (28 Noktası) Koordinatları (38,27,13)
 2. Kat Ağırlık Merkezi (29 Noktası) Koordinatları (38,27,26)
 Tipik Kat Kütlesi = 6.212 kip-sec² / ft

Üç Boyutlu Çerçeve Örneği – Boyutlar
Şekil 3-1

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

SAP2000 sonuçları ile Kaynak [1] sonuçlarının 4 salınım modu ve 29 nolu noktanın X deplasmanları başında karşılaştırılması Şekil 3-3' de verilmiştir. Uyum mükemmeldir.

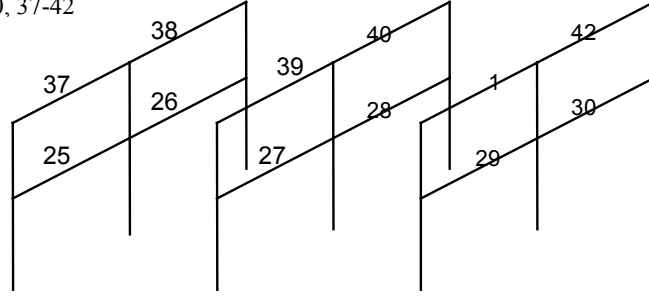
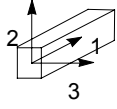
KAYNAKLAR

1. *Peterson, F. E., "EASE2, Elastic Analysis for Structural Engineering, Example Problem Manual"* Engineering Analysis Corporation, Berkeley, California, 1981

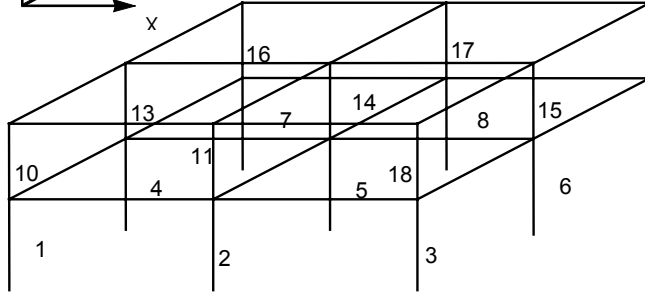
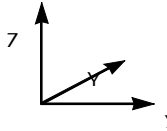
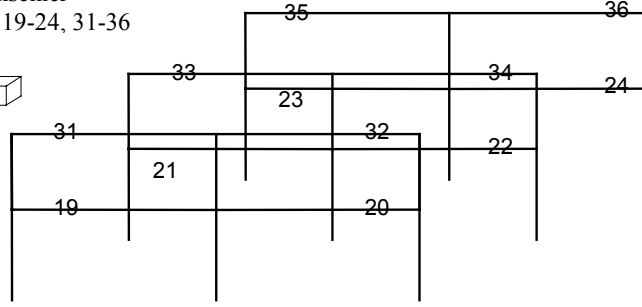
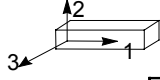
DEĞER	SAP2000	KAYNAK [1]
Peryot, Mode 1	0.2271	0.2271
Peryot, Mode 2	0.2156	0.2156
Peryot, Mode 3	0.0733	0.0733
Peryot, Mode 4	0.0720	0.0720
X-Deflection, Joint 29	0.0201	0.0201

*Üç Boyutlu Çerçeve Örneği Sonuçlarının Karşılaştırılması
Şekil 3-3*

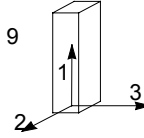
Yerel eksenler
Kirişler 25-30, 37-42



Yerel Eksenler
Kirişler 19-24, 31-36



Yerel Eksenler
Kolonlar 1-18



Tipik Kesit Değerleri:

Kolonlar

Kirişler

Alan =

4 ft²

5 ft²

Atalet Momenti =

1.25 ft⁴

1.67 ft⁴

Atalet Momenti =

1.25 ft⁴

2.61 ft⁴

Elastisite Modülü =

3.5*10⁵ ksf

5.0*10⁵ ksf

Üç Boyutlu Çerçeve Örneği - Elemanların Numaralandırılması Şekil 3-2

Örnek 4

ASME ÇERÇEVESİ, ÖZDEĞERLER ANALİZİ

TANIM

Bu örnekte tek katlı, iki yönde de tek açıklıklı, üç boyutlu ve Şekil 4-1' de gösterildiği gibi 2-inç çelik borular ile 2.75-inç çelik küpler ile yapılmış olan bir yapı tanıtılmaktadır. Çerçeve sistemi Kaynak [1] ve Kaynak [2] ile ASME 1972 Program Verification and Qualification Library (Kaynak [3]) de modellenen gibidir.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- Üç boyutlu çerçeve analizi
- Çubuk elemanlarda rijit bölge tanımı
- Özdeğerler analizi
- Ritz vektör analizi

VERİ DATASI

Model Şekil 4-2' de gösterilmiş ve veri dosyası sunulmuştur. Pound- inç birimleri kullanılmıştır. Borular, çubuk (FRAME) eleman tanımı kullanılarak modellendirilmiştir. Kaynak [1] ile uyum sağlayabilmek amacıyla çubuk eleman birim ağırlıkları girilmemiş ve kütleler sadece düğüm noktalarında çelik küpler için tanımlanmıştır. Kaynak [1]' de tanımlanan kütleler aynen girilmiştir. Kütleler 14 noktada üç yönde tanımlandığı için bu problemde $3 \times 14 = 42$ dinamik serbestlik derecesi bulunmaktadır. İlk 24 mod, hem özdeğer hem de Ritz vektör analizi kullanılarak bulunmuştur. Ritz vektör analizi kullanılan veri dosyası ismi FRAMASME' dir. Özdeğerler analizi için istenilen mode sayısını vermek yeterlidir.

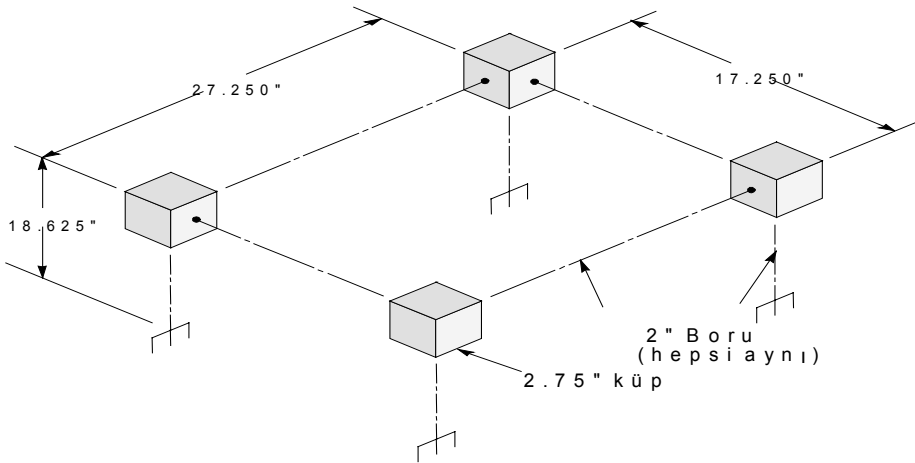
SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Kaynak [1] ve Kaynak [2]'nin 42 serbestlik derecesini 24'e indirmek amacıyla yaklaşık sonuçlar bulan Guyan Azaltma Yöntemini kullanması sonucu bu Kaynaklar ile SAP2000 sonuçları arasında tam bir karşılaştırma mümkün değildir. İlk 12 doğal frekans için karşılaştırmalar Şekil 4-3' de verilmiştir. SAP2000 sonuçları hem Ritz vektör analizi hemde Özdeğer analizi için verilmiştir. Ritz Vektörleri ve Eigen Vektörleri (Özdeğerler) kullanılarak sonuçlar iki takım halinde sunulmuştur.

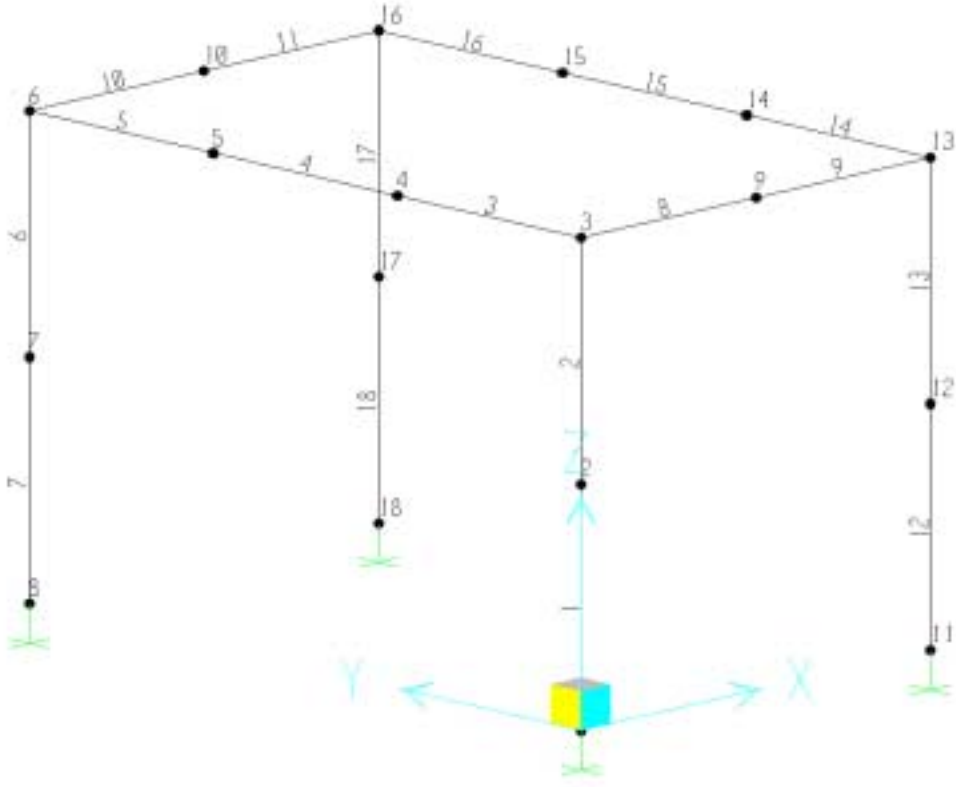
SAP2000 sonuçlarıyla Kaynak [1] ve [2] karşılaştırılmasında uyum iyidir. İlk 11 mod için Eigen ve Ritz Vektörleri sonuçları aynıdır. Genelde sadece Eigen Vektörleri yapının doğal modlarını sağlar. Ritz vektörleri ise Mod Birleştirme ve Zaman Tanım Alanında Hesap yöntemleri için daha iyi bir taban yaratır fakat Eigen Vektörlerdeki aynı frekansları üretmeyebilir.

KAYNAKLAR

1. Peterson, F.E., "EASE2, Elastic Analysis for Structural Engineering, Example Problem Manual," Engineering Analysis Corporation, Berkeley, California, 1981.
2. DeSalvo, G.J. and Swanson, J.A. ANSYS, Engineering Analysis System, Examples Manual, Swanson Analysis Systems, Inc., Elizabeth, Pennsylvania, 1977.
3. Program Verification and Qualification Library, ASME Pressure Vessel and Piping Division, Committee on Computer Technology, 1972.



ASME Çerçeve Örneği
Şekil 4-1



Tipik Kesit Değerleri:

Boru: Dış Çapı = 2.375 in, Et Kalınlığı = 0.154"
 Elastisite Modülü = $27.9 \cdot 10^6$ psi
 Poisson Oranı = 0.3
 Düşüm Noktası Kütleleri = $8.942 \cdot 10^{-3}$ lb-sec²/in
 3, 6, 13 ve 16 Düşüm
 Noktaları Ek Kütleleri = $16.439 \cdot 10^{-3}$ lb-sec²/in

ASME Çerçeve Örneği - Model
Şekil 4-2

MOD	SAP2000 RİTZ ANALİZİ	SAP2000 ÖZDEĞER ANALİZİ	Kaynak [1] ve Kaynak [2]
1	114	114	112
2	119	119	116
3	141	141	138
4	222	222	218
5	399	399	404
6	422	422	423
7	450	450	452
8	550	550	554
9	774	774	736
10	800	799	762
11	909	909	853
12	955	946	894

* Her iki sonuç da 42 ila 24 dinamik serbestlik dereceli Guyan azaltma yöntemine göredir.

Tabii Frekans Sonuçlarının Karşılaştırılması
Şekil 4-3

Örnek 5

ÜÇ BOYUTLU ÇAPRAZLI ÇERÇEVE, DİNAMİK YÜKLER

TANIM

Bu örnekte üç katlı, L şeklinde deplasmanı engellenmiş ve kat döşemeleri rijit diyafram olarak çalışan bir çerçeve sistemi tanıtılmaktadır. Yapı dört benzer çerçeveden oluşmakta ve çerçeve elemanları sadece eksenel yükler taşımaktadır. Çerçeve sistemi Şekil 5-1' de gösterilmiştir.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- Üç boyutlu çerçeve analizi
- Sadece eksenel yük taşıyan çerçeve elemanları
- Rijit diyafram modeli
- Mod Birleştirme Yöntemi ile analiz

VERİ DATASI

1. çerçeve için kullanılan model Şekil 5-2' de gösterilmiştir. Kip-inç birimleri kullanılmıştır. 2,3 ve 4. çerçeveler düğüm noktası numaraları (12 şer artması) ve eleman numaraları (21' er artması) hariç tamamen aynıdır. Referans (1) de kullanılan modele uygunluk açısından 2 ve 3. çerçevelerin ortak kolonları ikişer kere modellendiğine dikkat ediniz. 1,2 ve 3. katlar için kat ağırlık merkezleri sırasıyla 49,50 ve 51. düğüm noktalarıdır. X ve Y yönlerinde kütleler ile Z eksenine göre kütle atalet momentleri kat ağırlık merkezlerinde verilmiştir. Her katta bütün noktalar rijit diyafram olarak birleştirilmiştir.

- Kullanılan model Kaynak (1) deki ile aynıdır. Mod Birleştirme Yöntemi ile analizde sadece ilk iki mod kullanılmıştır.

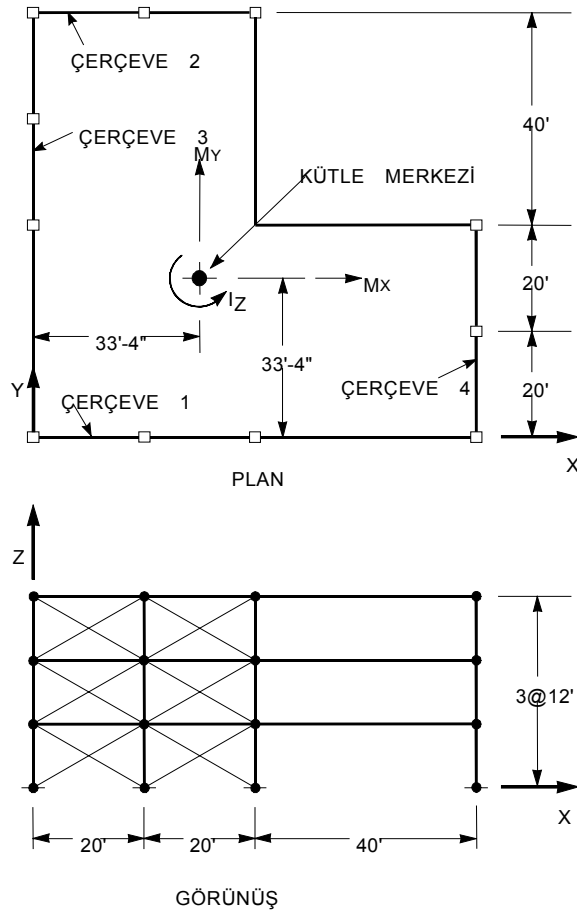
Veri dosyasının ismi FRAMBRAC'dır.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

SAP2000 analiz sonuçları ile Kaynak (1)'deki çözümler karşılaştırılmıştır. Uyum mükemmeldir. (Şekil 5-3)

KAYNAKLAR

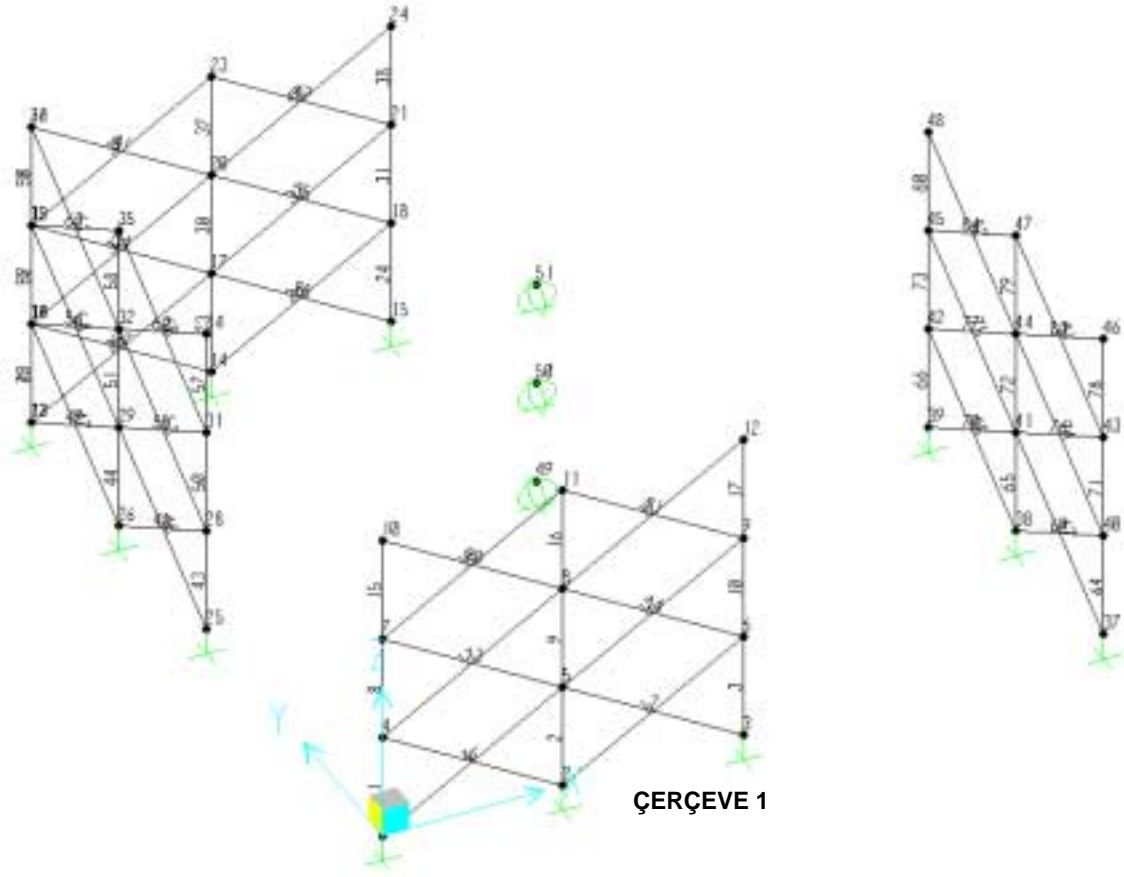
1. Peterson. F.E. "EASE2, Elastic Analysis for Structural Engineering, Example Problem Manual," Engineering Analysis Corporation, Berkeley, California, 1981.



TİPİK KAT KÜTLELERİ, M_x VE $M_y = 1.24224 \text{ kip-sec}^2/\text{in}$

TİPİK KAT KÜTLE ATALET MOMENTİ, $I_z = 174.907 \times 10^3 \text{ kip-sec}^2\text{-in}$

Üç Boyutlu, Çaprazlı Çerçeve Örneği Şekil 5-1



Tipik Kesit Değerleri:

Alan = 6 in²
Elastisite Modülü = 29500 ksi

Üç Boyutlu Çaprazlı Çerçeve Örneği - Modeli
Şekil 5-2

DEĞER	SAP2000	KAYNAK [1]
Peryot, Mod 1	0.326887	0.326887
Peryot, Mod 2	0.320640	0.320640
Eksenel Kuvvet, Eleman 1	279.47	279.48
Eksenel Kuvvet, Eleman 4	194.50	194.50
Eksenel Kuvvet, Eleman 5	120.52	120.52

Üç Boyutlu Çaprazlı Çerçeve Örneği Sonuçlarının Karşılaştırılması
Şekil 5-3

Örnek 6

KİRİŞ, DÜZGÜN HARMONİK YÜKLER

TANIM

Bu örnekte zamanla değişken düzgün harmonik yükler etkisi altında bir ucu iki boyutta ankastre olarak tutulmuş bir kiriş tanıtılmaktadır. Kiriş Şekil 6-1' de gösterilmiştir. Problem Kaynak (1) deki ile aynıdır. Kiriş iki defa çözülmüştür. Birincisinde sönümsüz düzgün harmonik yükleme seçeneği kullanılmış, ikincisinde ise zaman tanım alanında periyodik yükleme ile çözülmüştür.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- İki boyutlu çerçeve analizi
- Düzgün harmonik yükler
- Periyodik yükleme için zaman tanım alanında hesap

VERİ DATASI

Model Şekil 6-1' de gösterilmiştir. Pound-inç birimleri kullanılmıştır.

Düzgün harmonik yükleme kuvvet (zorlama) fonksiyonunun frekansı saniyedeki tur sayısı verilerek sağlanmıştır. Bu problem için Veri dosyası ismi BEAM' dir.

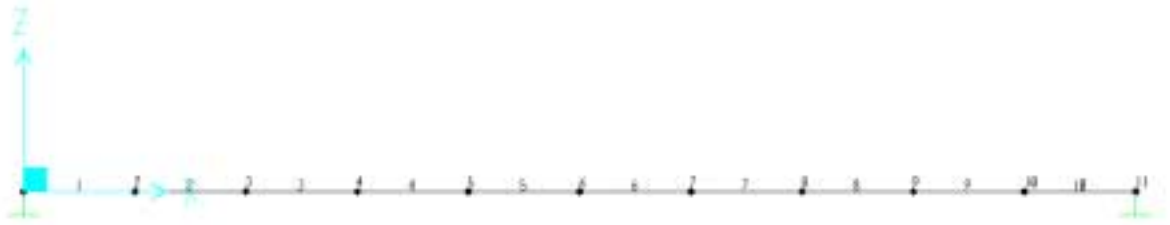
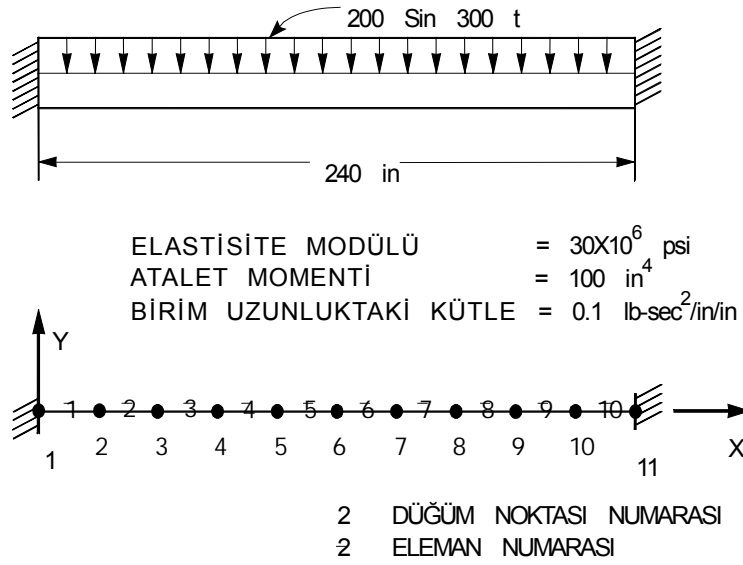
Zaman tanım alanında hesapta zamana bağlı titreşim datası için, yükün zaman fonksiyonu (sinüs dalgası) bölümü, eşit aralıklı (ve yüklemenin tam bir turunu kapsayan) 37 nokta ile ifade edilmiştir. Şekil 6-2 ye bkz. Bu örnek için veri data dosyası BEAMTH dir.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

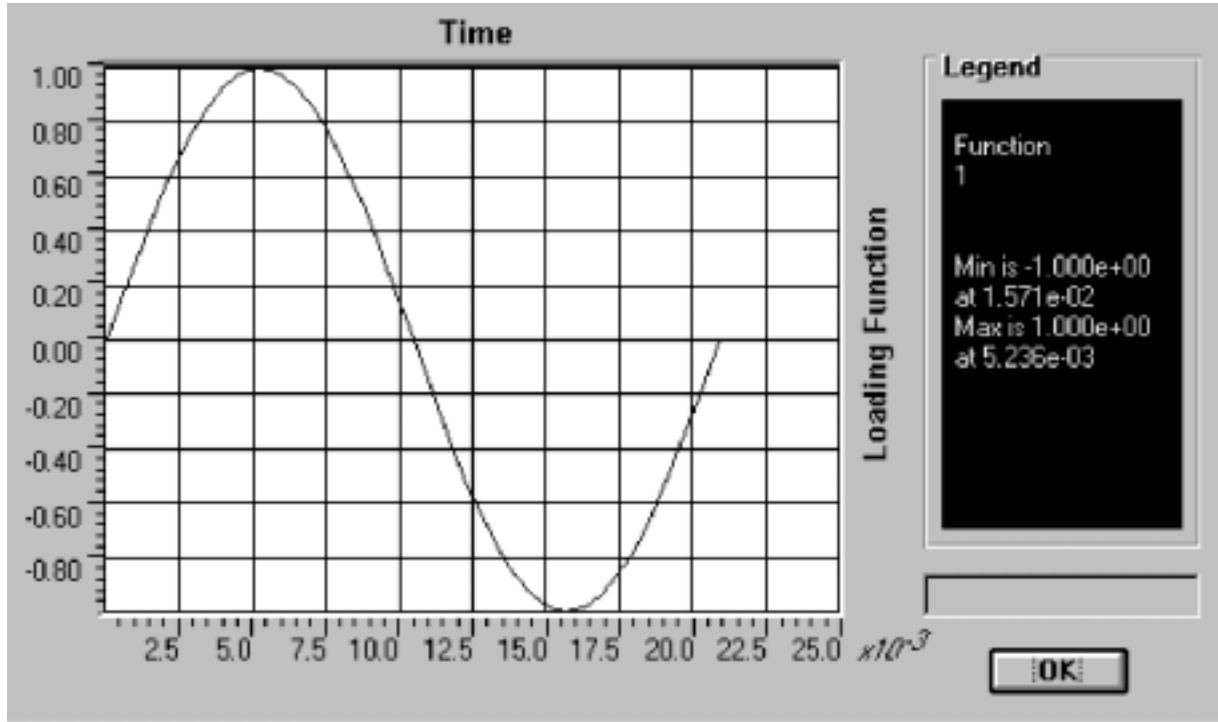
Kaynak (1)' de kirişin orta noktasındaki deplasman değeri -0.0541 sin 300 t olarak bulunmuştur. SAP2000 ise aynı noktadaki değeri -0.054535 olarak bulmaktadır. Refarans (1) deki çözümde sadece ilk altı modu kullandığı düşünülecek olursa, uyumun mükemmel olduğu sonucuna varılabilir.

KAYNAKLAR

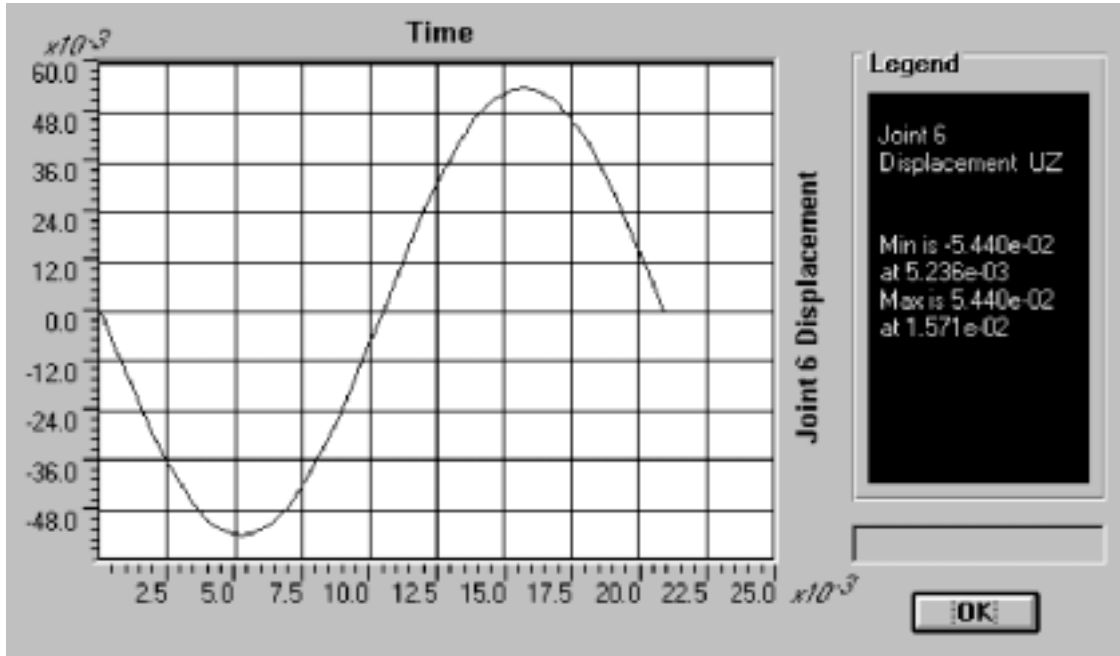
1. Paz, M., "Structural Dynamics, Theory and Computations," Van Nostrand Reinhold, 1985.



Kiriş Örneği
Şekil 6-1



Kiriş Örneği - Yükün Zamana göre Değişimi
Şekil 6-2



Kiriş Örneği - Merkezde Deplasman
Şekil 6-3

Örnek 7

DÜZLEM MAKAS, STATİK YÜKLER

TANIM

Bu örnekte iki boyutlu bir makas tanıtılmaktadır. Tüm elemanlar sadece eksenel yükler taşıyabilmektedir. Sistem Şekil 7-1' de verilmiştir.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- İki boyutlu kafes analizi
- Düşey düğüm noktası yükleri

VERİ DATASI

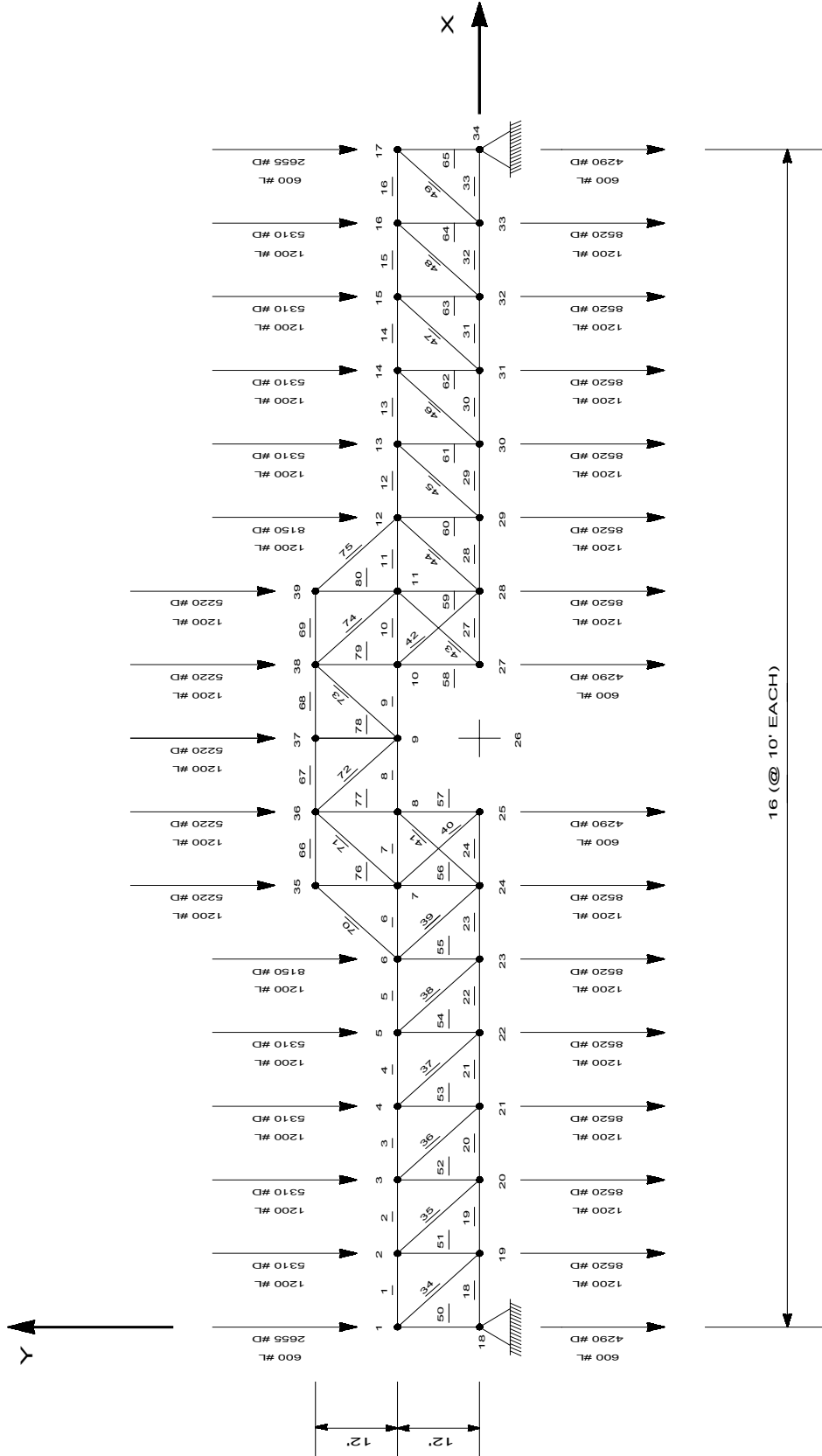
Kullanılan model Şekil 7-1' de gösterilmiştir. Pound-foot birimleri kullanılmıştır.

1. yükleme hareketli yükler ve 2. yükleme de öz ağırlıklardır. Yüklerin kombinezonları 1 ve 2 ise sırasıyla hareketli yükler ve öz ağırlıklardır. Yükleme kombinezonu 1 ise hareketli yükler ile öz ağırlıkların kombinezonlarıdır.

Veri dosyası adı TRUSS' dır.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çözüm için karşılaştırılacak sonuçlar yoktur ve çözüm sadece örnek olarak verilmiştir.



TYPICAL PROPERTIES
 AREA = 8 in²
 MODULUS OF ELASTICITY= 29500 ksi

8 = Node ID's
 8 = Element ID's

Düzlem Makas Örneği
Şekil 7-1

Örnek 8

ÜÇ BOYUTLU BİNA, DİNAMİK YÜKLER

TANIM

Bu örnekte iki katlı, üç boyutlu çerçevesel bir yapı tanıtılmaktadır. Sistem Şekil 8-1' de gösterilmiştir. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak modellenmişlerdir. Yapı simetrik değildir ve bina eksenlerine 30° açı ile yatay düzlemde etkiyen dinamik yüklere maruzdur.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

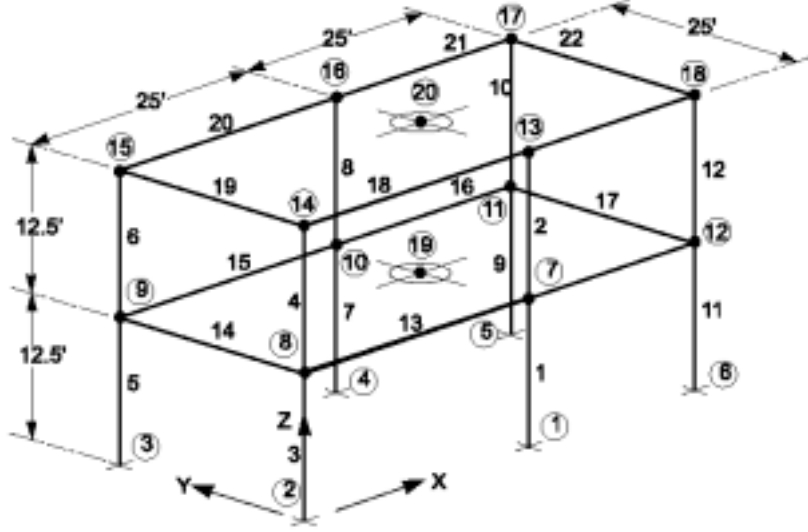
- Üç boyutlu çerçeve analizi
- Rijit diyafram modeli
- İki yönde Mod Birleştirme Yöntemi ile analiz

VERİ DATASI

Kullanılan model Şekil 8-1' de gösterilmiştir. Kip-foot birimleri kullanılmıştır. 19 ve 20 nolu denge noktaları sırasıyla 1. ve 2. katlardaki esas noktalardır, ve X ve Y yönlerindeki kütleler ile Z eksenine göre kütle atalet momentleri bu düğüm noktalarında tanımlanmışlardır. Altı mod da çözümde kullanılmıştır. Davranış spektrumu bina eksenleri 30° derece ile yatay düzlemlerde tanımlanmıştır. Veri dosyası adı BUILDING' dir.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çözüm için karşılaştırılacak sonuçlar yoktur ve çözüm sadece örnek olarak verilmiştir.



Tipik Kesit Değerleri:

Tipik Kolon: 18" x 18"

Tipik Kiriş: 12" x 24"

Elastisite Modülü =

$4.3 \cdot 10^5$ ksf

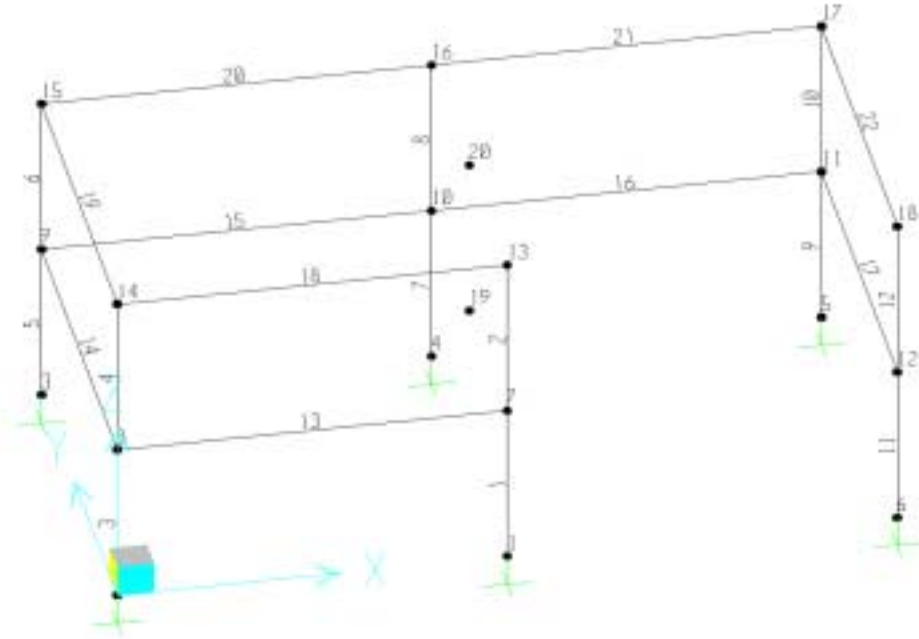
Tipik Kat Kütleleri M_x ve M_y =

3.88 kip - sec² / ft

Tipik Kat Atalet Momenti, I_z =

1011 kip - sec² - ft

Üç Boyutlu Bina Örneği Şekil 8-1



Örnek 9

PATCH TEST, ÖNCEDEN TANIMLANMIŞ DEPLASMAN YÜKLEMESİ

TANIM

Bu örnekte köşelerdeki deplasmanları önceden tanımlanmış değişik şekilli elemanlardan oluşan bir dörtgen plak tanıtılmaktadır. Plak Şekil 9-1' de gösterilmiştir. Dörtgen plağın içinde noktalar ve köşelerdeki tanımlanmış önceden deplasmanlar Kaynak [1]' deki gibidir. Problem hem düzlem gerilme elemanları, hemde SHELL elemanları kullanılarak çözülmüştür.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- 4-noktalı PLANE elemanları kullanılarak düzlem gerilme analizi
- Deplasman tanımlanması
- SHELL elemanı kullanarak plak eğilme ve membran analizi

VERİ DATASI

Kullanılan model Şekil 9-1 de gösterilmiştir. Kenar düğüm noktalarında önceden tanımlanan deplasmanlar aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır.

$$u = 10^{-3} \left(x + \frac{y}{2} \right)$$

$$v = 10^{-3} \left(y + \frac{x}{2} \right)$$

$$w = 10^{-3} \frac{(x^2 + xy + y^2)}{2}$$

$$\Theta_x = 10^{-3} \left(y + \frac{x}{2} \right)$$

$$\Theta_y = 10^{-3} \left(-x - \frac{y}{2} \right)$$

Bu formüller sabit gerilme bölgelerini tanımlamaktadır.

PLANE elemanları çözümü için sadece X ve Y yerdeğiştirmeleri tutulmamıştır. Diğer tüm serbestlik dereceleri tutulmuştur. SHELL elemanları çözümünde, bu tip elemanlarda zar formülasyonunun eleman düzlemine dik yönde dönme rijitlik bileşimleri verdiğinden altı serbestlik derecesinin tümü serbest bırakılmıştır.

Bu örnek için PLANE elemanlar kullanan veri dosyası ismi PATCHPLN, SHELL elemanlarını kullanan veri dosyası ismi ise PATCHSHL' dir.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

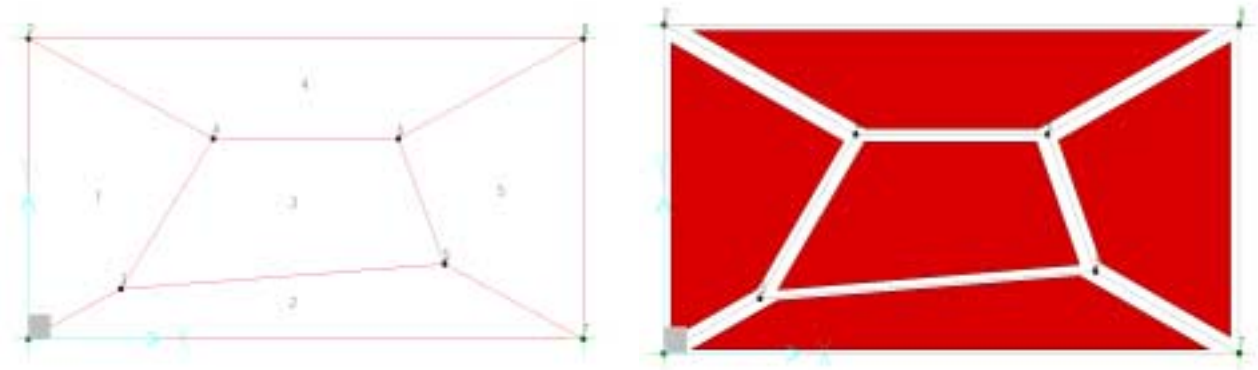
Bu problem için teorik sonuçlar zar kuvvetleri bileşenleri

$$S_{xx} = S_{yy} = 1333 \text{ ve } S_{xy} = 400 \text{ ve plak eğilme bileşenleri}$$

$M_{xx} = M_{yy} = 1.111 \times 10^{-7}$ ve $M_{xy} = 0.333 \times 10^{-7}$ dir. Bu teorik değerler SAP2000 tarafından da sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. *MacNeal, R.H. and Harder, R.C., "A Proposed Standard Set of Problems to Test Finite Element Accuracy," Finite Elements in Analysis and Design 1 (1985), p.p.3-20, North-Holland.*



Kalınlık = 0.001
Elastisite Modülü = 1.0×10^6
Poisson Oranı = 0.25

iç Nokta koordinatları:
3 X=0.04 Y=0.02
4 X=0.08 Y=0.08
5 X=0.18 Y=0.03
6 X=0.16 Y=0.08

Patch Test Örneği *Şekil 9-1*

Örnek 10

DÜZ KİRİŞ, STATİK YÜKLER

TANIM

Bu düz kirişin boyutları Şekil 10-1 de gösterilmiştir. Bu kirişin uçlarında üç ortogonal doğrultuda birim yükler ve birim dönme yükü vardır. Bunların her biri ayrı yük durumu olarak hazırlanmıştır. Bu kiriş Kaynak [1] de teklif edildiği gibi farklı örgü geometrileriyle modellenmiştir. Problem üç türlü çözülmüştür; SHELL elemanı kullanarak, 9 düğümlü düzlem gerilme PLANE stress elemanı kullanarak ve SOLID elemanı ile.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- SHELL Elemanı Analizi
- Düzlem gerilme seçenekli PLANE elemanı kullanımı
- Uyumsuz modları olan ve olmayan SOLID elemanı

VERİ DATASI

Daha önce bahsedildiği gibi, çeşitli örgü geometrileri kullanılmış ve sonuçları sunulmuştur.

- Dikdörtgensel bir örgü sistemi kullanarak SHELL elemanlarından meydana gelen düz kiriş. Dosya ismi: STRBMSHL
- Dikdörtgensel bir örgü sistemi kullanarak PLANE elemanlarından meydana gelen düz kiriş. Dosya ismi: STRBMPLN
- Uygun olmayan eğilme modlu SOLID elemanlarıyla, dikdörtgensel bir örgü sistemi kullanarak. Dosya ismi: STRBMSOL

Şekil 10-1 ile 10-3 bu elemanlar kullanılarak hazırlanan modelleri göstermektedir.

Uçtaki birim yüklemeler her düğüm noktasında aşağıdaki şekilde uygulanmıştır; SHELL elemanı için 1/2 lerde, PLANE elemanı için her köşe noktasında 1/6 sı, kenar orta noktasında 4/6 sı olarak ve SOLID elemanlarında ise her düğüm noktasında 1/4 ü olarak. Bu, elemanlara uygulanan tutarlı yük takımlarını ifade eder. SHELL ve SOLID elemana uygulanan burulma kuvveti ise kuvvet çifti olarak ifade edilmiştir.

SHELL elemanını kullanarak hazırlanan modelde, ankastre uçtaki düğüm noktaları aksel yönde, düzlem dışı yönünde ve düzlem dışı moment yaratacak dönmelere karşı tutulmuşlardır. Düzlem içinde, enlemesine yönde ise yerel Poisson etkisi olmaması için sadece bir düğüm noktasında tutulmuştur. Bununla beraber diğer düğüm noktasında enlemesine mesnet reaksiyonu yük olarak sağlanmıştır.

PLANE elemanları kullanarak kurulan modeldeki ankastre uçtaki düğüm noktaları aksel yönde tutulmuştur. Bunlardan biri ayrıca düzlem içinde (SHELL elemanında olan nedenlerden dolayı) enlemesine yönde tutulmuştur. Bununla birlikte diğer düğüm noktalarında enlemesine mesnet reaksiyonları yük olarak sağlanmıştır. Bütün dönmeler ve bütün düğüm noktaları için düzlem dışı doğrultularda tutulmuştur.

SOLID elemanı kullanılarak kurulan modelde ankastre uçtaki düğüm noktaları da aksel yönde tutulmuşlardır. Bu noktalardan biri ayrıca enlemesine yönde (SHELL elemanında olduğu gibi) tutulmuştur. Bu, modeli stabil yapmaya yetmemektedir. Model hala aksel doğrultuda dönebilmektedir. Diğer üç mesnette, bu dönmeyi önlemek için enlemesine yönde çok küçük yatay yaylar kullanılmıştır. Bununla beraber, diğer düğüm noktalarında, enlemesine yönde yükler sağlanmıştır. Bütün düğüm noktalarındaki bütün dönmelerde tutulmuştur.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

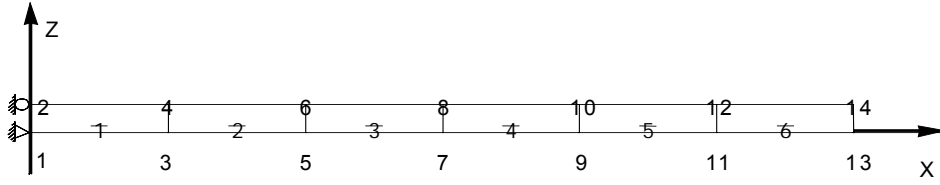
Her tür elemanla ve farklı örgülü modellerle elde edilen uç deplasmanları ve teorik sonuçlar Şekil 10-4, 10-5 ve 10-6 da karşılaştırılmıştır.

SHELL elemanı için sonuçlar (düzensiz örgülü haldeki düzlem içi kesme ve birim burulma haricinde) iyidir. Burulma (twist) sonuçları çok serttir. Eleman, SHELL elemanı ile ince plak dönmesi hareketi için modellendirmeye nazaran çok kalındır. Düzlem içi kesmedeki düzensiz örgü davranışı, elemanların en/boy oranı azaltılarak ve daha sık eleman kullanılarak düzeltilebilir. 9 düğümlü PLANE elemanı için sonuçlar bütün örgü tiplerinde mükemmeldir. 4 düğümlü PLANE elemanı eğilmede çok serttir ve eğilme davranışını hassas olarak yakalamak için daha sık örgü gerekecektir.

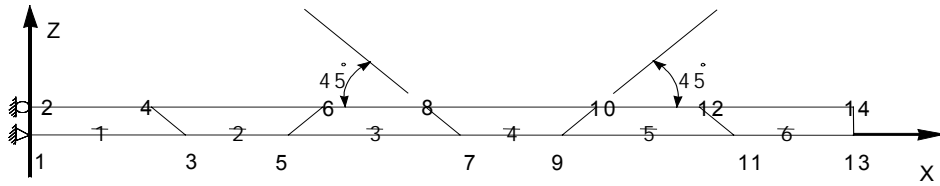
SOLID elemanın dikdörtgen örgülü, uyumsuz modları kullanarak elde edilen sonuçlar, birim burulma dışında iyidir. Burulma davranışını hassas olarak yakalamak için kiriş boyunca daha fazla eleman gerekmektedir. Uyumsuz eğilme modlu SOLID elemanı modeli eğilme modunda çok serttir. Tekrar daha sık örgülü bir model daha iyi sonuçlar verecektir.

KAYNAKLAR

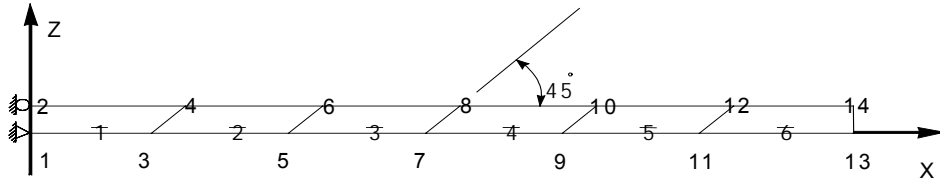
1. MacNeal, R.H. and Harder, R.C., "A Proposed Standard set of Test Finite Element Accuracy," Finite Elements in Analysis and Design 1 (1985), pp. 3-20, North-Holland.



a) Düzenli Şekilli Elemanlar



b) Trapez Şekilli Elemanlar

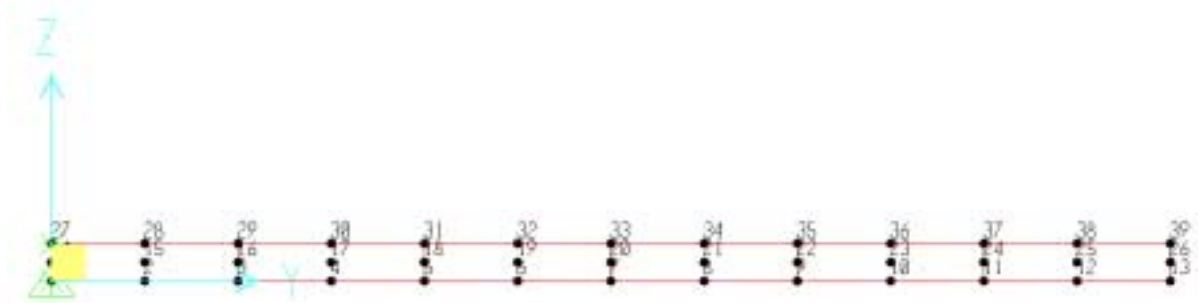


c) Paralelkenar Şekilli Elemanlar

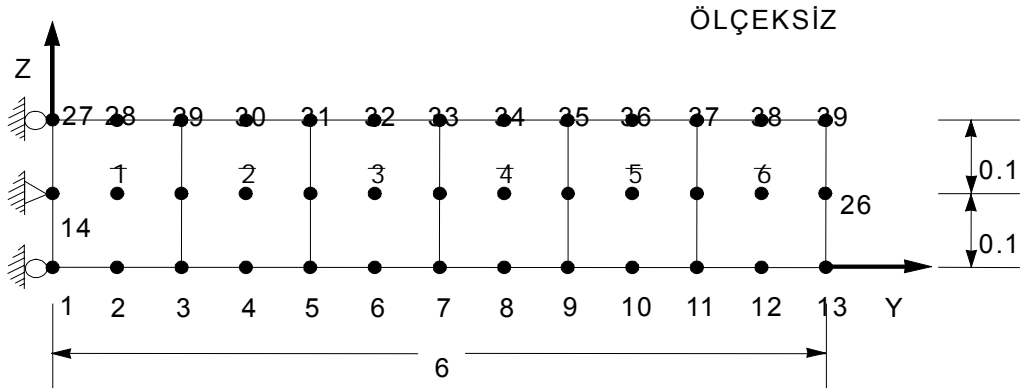
3 Düşüm Noktası Numarası
3 Eleman Numarası

UZUNLUK = 6.0
GENİŞLİK = 0.2
KALINLIK = 0.1
ELASTİSİTE MODÜLÜ = 1.0×10^7
POISSON ORANI = 0.30

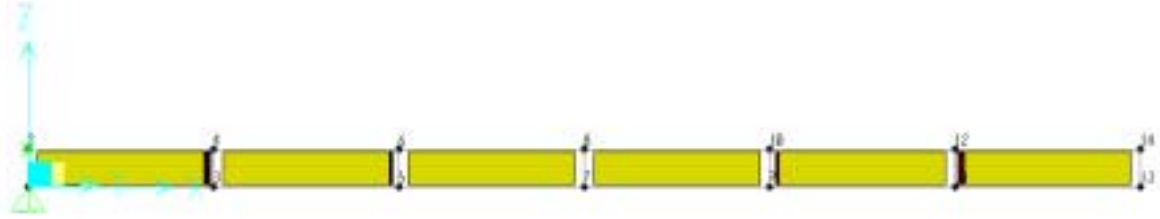
YÜKLEME: SERBEST KENARDA BİRİM YÜK



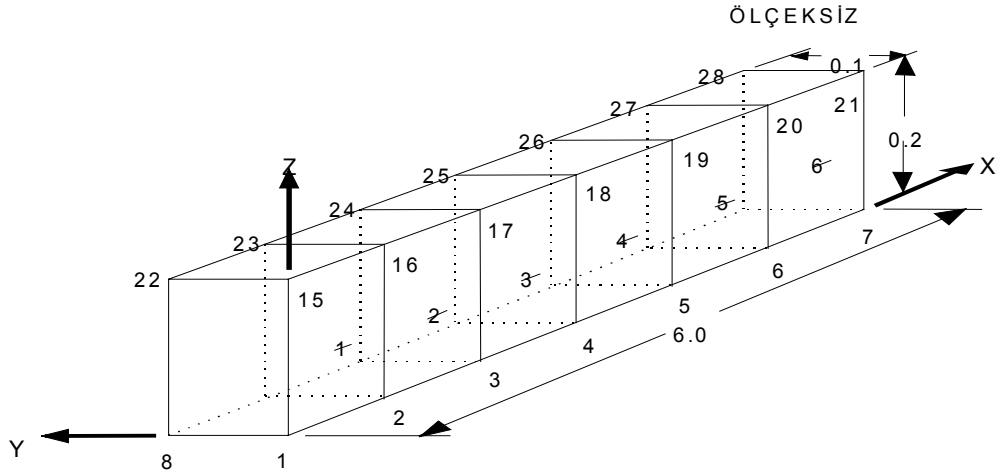
Düz Kiriş Örneği – SHELL Elemanlı Model
Şekil 10-1



6 DÜĞÜM NOKTASI NUMARASI
6 ELEMEN NUMARASI

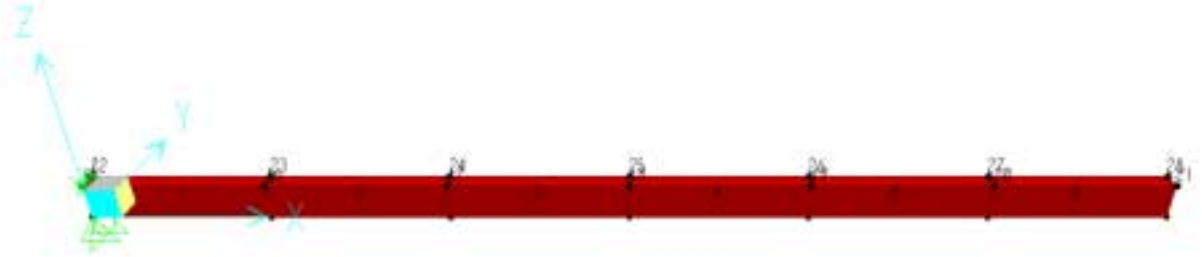


Düz Kiriş Örneği - PLANE Elemanlı Model
Şekil 10-2



6 DÜĞÜM NOKTASI NUMARASI
6- ELEMAN NUMARASI

1 NUMARALI DÜĞÜM NOKTASI ANKASTREDİR.
8, 15 VE 22 NUMARALI DÜĞÜM NOKTALARI
EKSENEL OLARAK TUTULMUŞTUR.



Şekil 10-3
Düz Kiriş Örneği - SOLID Elemanlı Model

SAP2000

YÜK DOĞRULTUSU	Dörtgensel Örgü	Yamuksal Örgü	Paralelkenar Örgü	TEORİK
Uzama	3.000×10^{-5}	3.000×10^{-5}	3.000×10^{-5}	3.000×10^{-5}
Düzlem dışı kesme	0.4263	0.4266	0.4266	0.4321
Düzlem içi kesme	0.1072	0.00221	0.0790	0.1081
Burulma	0.00233	0.00233	0.00233	0.00321

***SHELL Elemanı Kullanarak Uçtaki Deplasmanların
Yük Doğrultusunda Karşılaştırılması
Şekil 10-4***

SAP2000

YÜK DOĞRULTUSU	Dörtgensel Örgü 4 Dügümlü Eleman	Dörtgensel Örgü 9 Dügümlü Eleman	Yamuksal Örgü 9 Dügümlü Eleman	Paralelkenar Örgü 9 Dügümlü Eleman	TEORİK
Uzama	3.000×10^{-5}	3.000×10^{-5}	3.000×10^{-5}	3.000×10^{-5}	3.000×10^{-5}
Düzlem içi kesme	0.0101	0.1076	0.1063	0.1065	0.1081

***Düzlem gerilme (PLANE) Elemanı Kullanarak Uçtaki Deplasmanların
Yük Doğrultusunda Karşılaştırılması
Şekil 10-5***

YÜK DOĞRULTUSU	Uyumsuz Eğilme Modlu SAP2000 Dörtgensel Örgülü	Uyumsuz Eğilme Modları Olmadan SAP2000 Dörtgensel Örgülü	TEORİK
Uzama	3.000×10^{-5}	3.000×10^{-5}	3.000×10^{-5}
Düzlem dışı kesme	0.4284	0.0109	0.4321
Düzlem içi kesme	0.1072	0.0101	0.1081
Burulma	0.00286	0.00286	0.00321

***SOLID Elemanı Kullanarak Uçtaki Deplasmanların
Yük Doğrultusunda Karşılaştırılması
Şekil 10-6***

Örnek 11

EĞRİ KİRİŞ, STATİK YÜKLER

TANIM

Bu örnekte Şekil 11-1' de gösterilen konsol kiriş tanımlanmaktadır. Kiriş serbest ucunda birim kuvvetler ile yüklenmiştir. Problem Kaynak [1]' de verilenin aynısı olup SHELL ve PLANE elemanlar kullanılarak çözülmüştür.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- SHELL (KABUK) eleman analizi
- PLANE eleman analizi (düzlem gerilme seçeneği ile)

VERİ DATASI

SHELL (KABUK) elemanlarında kullanılan veri dosyası ismi CRVBMSHL, PLANE elemanlarında kullanılan veri dosyası ismi ise CRVBMPLN' dir.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

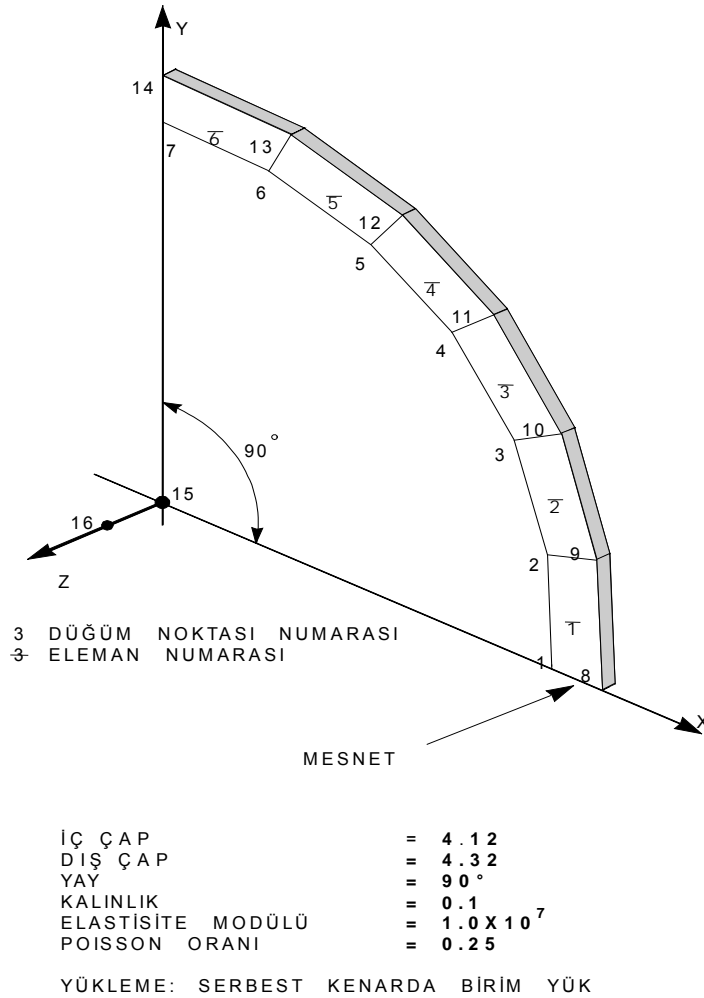
Serbest uçtaki yük yönündeki deplasmanlar Kaynak [1]' deki teorik sonuçlar, her iki eleman tipi için Şekil 11-2' de karşılaştırılmıştır.

PLANE elemanları çözümü için, ne kadar çok eleman örgüsü tanımlanırsa sonuç o kadar gerçeğe yaklaşmaktadır. Bu örnekteki eleman sayısı oldukça yetersizdir.

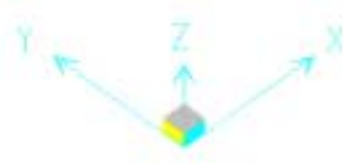
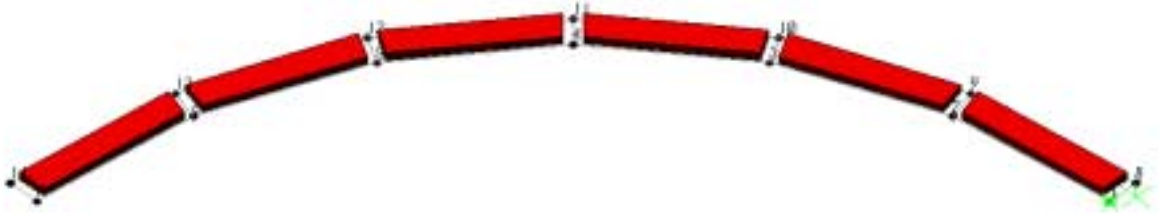
SHELL (KABUK) elemanları için düzlem içi (zar) sonuçları iyi, düzlem dışı (eğilme) sonuçları ise o kadar iyi değildir. Nedeni, kalınlığın genişliğe oranının büyük olmasının yarattığı dönme mukavemetinin sebep olmasıdır.

KAYNAKLAR

1. MacNeal, R. H. ve Harder, R.C., "A Proposed Standard Set of Problems to Test Finite Element Accuracy," Finite Elements in Analysis and Design 1(1985), p.p. 3-20, North-Holland



Eğri Şekilde Kiriş Örneği - SHELL Elemanlı Model
Şekil 11-1



YÜK DOĞRULTUSU	SAP2000		TEORİK
	9 Düğümlü PLANE Elemanı	SHELL Elemanı	
Düzlem içi kesme	0.0775	0.0851	0.0873
Düzlem dışı kesme	—	0.4518	0.5022

Deplasmanların Karşılaştırılması
Şekil 11-2

Örnek 12

BURULMUŞ KİRİŞ, STATİK YÜKLER

TANIM

Bu örnekte burulmuş bir konsol kiriş tanıtılmaktadır. Boş uçta birim yükler verilmiştir. Problem Kaynak [1]'deki ile aynıdır, ve SHELL (KABUK) elemanları kullanılarak çözülmüştür.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- SHELL (KABUK) elemanları

VERİ DATASI

Model Şekil 12-1' de gösterilmiş ve veri dosyasının yazıcı çıktısı verilmiştir. Çözümde SHELL (KABUK) eleman modeli kullanılmıştır.

Veri dosyası ismi TWSBMSHL' dir.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Uç noktalarda yük yönlerindeki deplasmanlar Kaynak [1]'deki teorik sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Uyum mükemmeldir.

KAYNAKLAR

1. *MacNeal, R. H. ve Harder, R.C., "A Proposed Standard Set of Problems to Test Finite Element Accuracy," Finite Elements in Analysis and Design*1(1985), p.p. 3-20,North-Holland.

YÜK DOĞRULTUSU	SAP2000 SHELL Elemanı 12 x 2 Örgü	TEORİK
Düzlem içi kesme	0.005413	0.005424
Düzlem dışı kesme	0.001770	0.001754

***Yük Doğrultusunda Üstte Deplasman Karşılaştırılması
Şekil 12-2***

Örnek 13

ELASTİK MESNETLİ TEMEL KİRİŞİ STATİK YÜKLER

TANIM

Bu örnekte elastik temel üzerine oturmuş bir basit kiriş tanımlanmaktadır. Kirişin yarısı Şekil 13-1' de gösterilen şekilde modellenmiştir. Geometri ve yükler Kaynak [1] ile aynıdır.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- Düzlem gerilmeler seçeneği ile PLANE eleman üretimi
- Elastik temel modeli için yaylar

VERİ DATASI

Kullanılan model Şekil 13-1'de gösterilmiştir. Pound-inç birimleri kullanılmıştır. Dokuz köşeli PLANE eleman modeli düzlem gerilmeler seçeneği ile kullanılmıştır. 10 eleman kullanılarak kirişin yarısı modellenmiş ve sınır şartlarının sağlanması için simetri kullanılmıştır. Elastik mesnet modeli için yaylar kullanılmıştır.

Veri dosyası adı BEAMONFN' dir.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Kirişin ortasındaki deplasman ile maksimum eğilme gerilmesi (üst ve alt liflerdeki değerlerin ortalaması) Kaynak [1] ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma uyumludur. (Şekil 13-2).

Eksendeki Yeri	ENLEMESİNE DEPLASMANLAR		MAKSİMUM EĞİLME MOMENTİ	
	SAP2000	Teorik	SAP2000	Teorik
0	1.0458	1.0453		
6			18029	18052
12	1.0336	1.0331		
18			17751	17773
24	0.9973	0.9967		
30			17183	17206
36	0.9373	0.9367		
42			16304	16327
48	0.8546	0.8541		
54			15082	15106
60	0.7507	0.7502		
66			13476	13501
72	0.6275	0.6270		
78			11436	11462
84	0.4874	0.4870		
90			8902	8930
96	0.3335	0.3331		
102			5810	5839
108	0.1695	0.1693		
114			2089	2119
120	0.0002	0.0000		

Elastik Mesnetli Temel Kirişi Örneği Sonuçlarının Karşılaştırılması
Şekil 13-2

Örnek 14

DÖRTGEN PLAK, STATİK YÜKLER

TANIM

Bu örnekte Şekil 14-1' de gösterilen dörtgen plak tanımlanmaktadır. Bu problem 2 x 2 ve 2 x 10 boyutlarındaki iki dörtgen plak için çözülmüştür. Birincisi tekil nokta yükler, ikincisi ise düzgün yayılı yükler olmak üzere iki yükleme durumu kullanılmıştır. Problem ayrı ayrı hem sistem uçları tutulmuş, hem de serbest halde çözülmüştür. Çözüm SHELL (KABUK) ve SOLID elemanları kullanılarak yapılmıştır. Geometri, kesit özellikleri ve yükler Kaynak [1]' de verilenin aynısıdır.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- SHELL (KABUK) elemanları kullanılarak düzlem eğilme analizi
- SOLID (TUĞLA) elemanları kullanılarak düzlem eğilme analizi
- Statik yük analizi

VERİ DATASI

SHELL (KABUK) elemanları kullanılarak oluşturulan model Şekil 14- 1' de gösterilmiştir. Plagın dörtte birinde 6 x 6 örgü elemanlar kullanılmıştır. Tutulmuş köşe noktaları ile SHELL (KABUK) eleman modeli ve basit mesnetli köşe noktaları ile SOLID (TUĞLA) eleman modeli veri dosyaları sağlanmıştır.

Uyumsuz eğilme modları SOLID (TUĞLA) eleman çözümünde kullanılmıştır.

Tutulmuş köşe noktaları ile SHELL (KABUK) eleman modeli veri dosyası adı RCPLTSHL ve basit mesnetli köşe noktaları ile SOLID (TUĞLA) eleman modeli veri dosyası adı RCPLTSOL' dir. İki modelde de 2 x 10 boyutlarında plaklar kullanılmıştır.

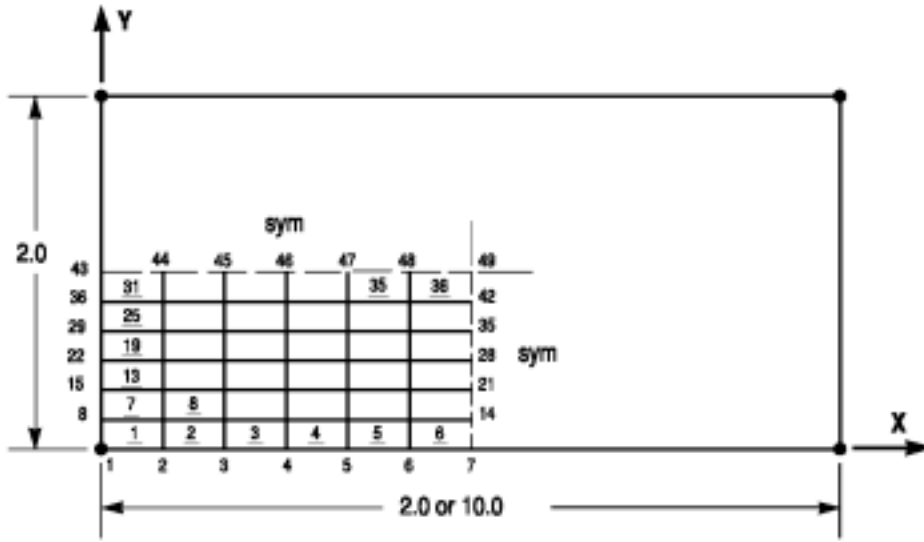
SOLID (KABUK) eleman modellerinde biri SHELL (KABUK) eleman modelinden 100 kat, diğeri 1000 kat kalın iki tip kalınlık kullanıldığı halde, aynı yayılı yük tanımlanmıştır.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Merkez deplasmanları, farklı sınır Şartları , yökleme durumları ve iki değişik eleman için teorik sonuçlar ile Şekil 14-2 ' de karŐılaŐtırılmıř ve uygunluğu görölmüştür. SOLID (TUĞLA) elemanları ile yapılan daha kalın modeller, modelleme oranları daha uygun olduğu için daha doğru sonuçlar verirler.

KAYNAKLAR

1. *MacNeal, R. H. ve Harder, R.C., "A Proposed Standard Set of Problems to Test Finite Element Accuracy, " Finite Elements in Analysis and Design (1985), pp.3-20, North-Holland*



Kabuk (Shell) Elemanı Kalınlığı = 0.0001
 Tuğla (Solid) Elemanı Kalınlığı = 0.1 veya 0.1
 Elastisite Modülü = $1.7472 \cdot 10^7$
 Poisson Oranı = 0.3
 Yükleme: Düzgün Yayılılı Yük = $1.0 \cdot 10^{-4}$
 Yükleme: Merkezi Yük = $4.0 \cdot 10^{-4}$
 Sınırlar: Serbest Mesnetli veya Ankastré



Dikdörtgensel Plak Örneği
Şekil 14-1

Yükleme	Sınır Şartları	Kenar Oranı (b/a)	SAP2000			TEORİK
			0.0001 Kalınlığında Kabuk Elemanı	0.01 Kalınlığında Tuğla Elemanı	0.1 Kalınlığında Tuğla Elemanı	
Düzgün Yayılılı Yük	Basit Mesnetli	1.0	4.061	3.175	4.084	4.062
		5.0	12.92	9.37	12.91	12.97
	Ankastré	1.0	1.29	0.83	1.30	1.26
		5.0	2.60	1.83	2.61	2.56
Tekil Yük	Basit Mesnetli	1.0	11.77	8.76	11.89	11.60
		5.0	17.74	6.40	15.97	16.96
	Ankastré	1.0	5.76	3.44	5.87	5.60
		5.0	7.80	1.78	6.39	7.23

Merkezdeki Deplasmanın Karşılaştırılması
Şekil 14-2

Örnek 15

KONSOL PLAK, ÖZDEĞER PROBLEMİ

TANIM

Bu örnekte, ilk beş özdeğeri hesap edilen bir konsol plak tanıtılmaktadır. Plak Şekil 15-1 de gösterilmektedir.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- Plak eğilme analizi için SHELL (KABUK) elemanları
- Özdeğer analizi
- Büyük problem çözümü: 4900' in üzerinde dinamik serbestlik derecesi

VERİ DATASI

10 x 10, 19 x 19 ve 40 x 40 olmak üzere üç değişik örgü düzeni kullanılmıştır. 19 x 19 örgü düzeni için kullanılan model Şekil 15-1' de gösterilmiştir. Kip-inç birimleri kullanılmıştır. Kütle matrisinin yaratılabilmesini sağlamak amacıyla plak için birim kütleler tanımlanmıştır.

19 x 19 örgü düzeni için veri dosyası PLATE ve 40 x 40 örgü düzeni için ise LARGEPLT' dir.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

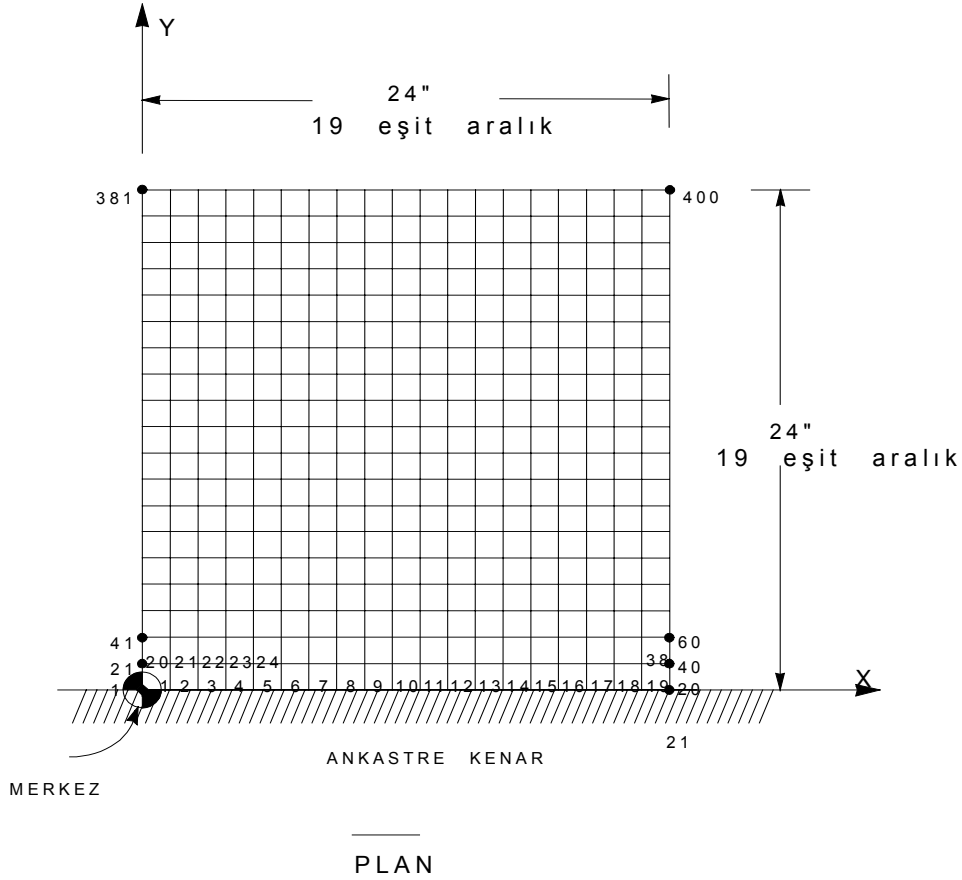
Kaynak [1]' de giriş mod şekilleri ile Ritz Analiz Yöntemi kullanılarak bulunmuş ve yapının beş doğal frekansı verilmiştir. SAP2000 sonuçları ile Kaynak [1] sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 15-2' de gösterilmiştir.

Birinci, üçüncü ve dördüncü mod değerlerinin karşılaştırmaları kusursuzdur, fakat beşinci ve ikinci mod değerlerinde karşılaştırma, teorik çözümlerde plak şekilleri kiriş eğilme şekilleri ile tanımlandığı için, diğerleri kadar iyi değildir.

SAP2000' nın üç değişik örgü düzeni için yaptığı çözümler birbirlerine çok yakındır.

KAYNAKLAR

1. Harris, C. M. and Crede, C. E., "Shock and Vibration Handbook," McGraw Hill, 1976



Plak 24"x 24"x 1"
Elastisite Modülü = 29500 ksi
Kütle yoğunluğu = 0.49/1728/386.4 kip-sec² /in/in³

Konsol Plak Örneği
Şekil 15-1

MOD	SAP2000 40 x 40 ÖRGÜLÜ	SAP2000 19 x 19 ÖRGÜLÜ	SAP2000 10 x 10 ÖRGÜLÜ	* Kaynak [1]
1	0.01779	0.01781	0.01787	0.01790
2	0.00647	0.00648	0.00654	0.00732
3	0.00284	0.00285	0.00288	0.00292
4	0.00221	0.00223	0.00228	0.00228
5	0.00186	0.00187	0.00190	0.00201

**Kiriş modal şekilleriyle Ritz yöntemini kullanarak*

Tabii Titreşim Peryotlarının Karşılaştırılması
Şekil 15-2

Örnek 16

SCORDELIS-LO ÇATI, STATİK YÜKLER

TANIM

Bu örnekte Şekil 16-1' de gösterilen betonarme silindirik bir çatı tanıtılmaktadır. Çatı sistemi yerçekimi yükleri altında analiz edilmektedir. Problem Kaynak [1]' de önerildiği şekilde çözülmüştür.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- Üç boyutlu SHELL (KABUK) analizi
- Yerçekimi yükleri analizi
- Büyük problem çözümü: 7991 statik sebestlik derecesi

VERİ DATASI

Şekil 16-1' de gösterildiği gibi sistemin dörtte birinin tanımlandığı 6 x 6 örgü düzeni ve yarısının tanımlandığı 18 x 72 örgü düzeni olmak üzere iki model hazırlanmıştır. Veri dosyası sağlanmıştır. Pound-foot birimleri kullanılmıştır. Simetri, sınır şartlarının tanımlanmasında kullanılmıştır. Düzgün yayılı yük tanımı için birim ağırlık tanımlanmıştır.

6 x 6 örgü düzeni için veri dosyası adı ROOF ve 18 x 72 örgü düzeni için ise LARGEROOF' dur.

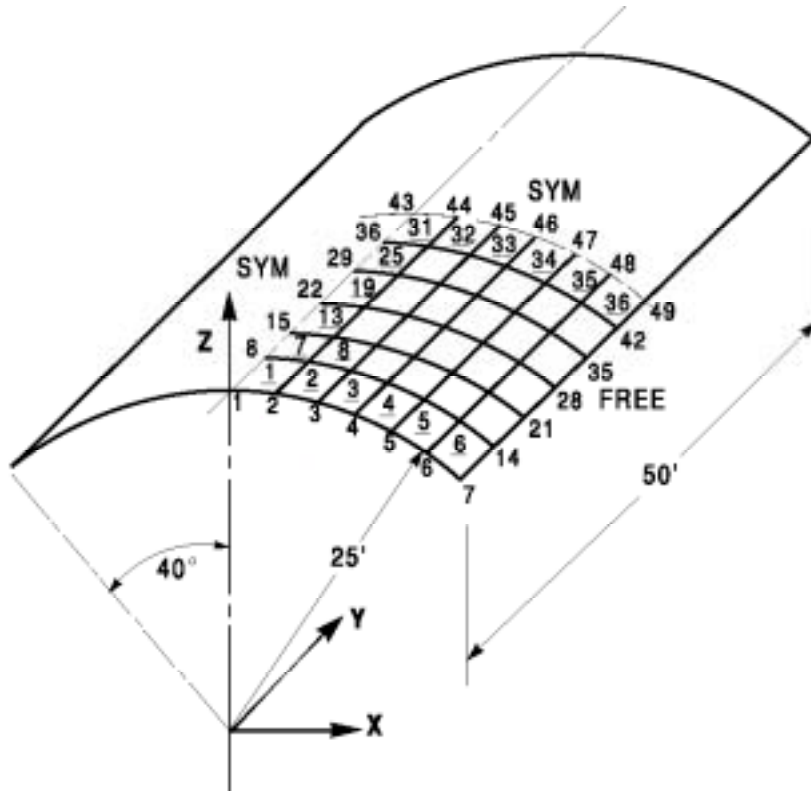
SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Serbest köşenin ortasındaki düşey deplasmanın teorik değeri 0.3086, Kaynak' de sonlu elemanlar davranışı karşılaştırması için verilen değer ise 0.3024' dir. SAP2000 6 x 6 örgü düzeni için 0.3068 ve 18 x 72 örgü düzeni için 0.3012 değerlerini vermektedir.

SAP2000' nın 6 x 6 örgü düzeni için verdiği deplasman ve eğilme momenti değerleri Kaynak [2]' de verilen teorik değerler ve Kaynak [3]' de verilen teori ile karşılaştırılması Şekil 16-2 ve Şekil 16-3' de gösterilmiştir. Karşılaştırmalar uygundur. SAP2000 eğilme momentleri için düğüm noktalarındaki değerlerin ortalamaları kullanılmıştır.

KAYNAKLAR

1. *MacNeal, R. H. ve Harder, R.C., "A Proposed Standard Set of Problems to Test Finite Element Accuracy" Finite Elements in Analysis and Design (1985), p.p.3-20, North-Holland*
2. *Zienkiewski, O. C., "The Finite Element Method" McGraw-Hill, 1977*
3. *Scordelis, A. C. ve Lo, K. S., "Computer Analysis of Cylindrical Shells " Journal of the American Concrete Institute, Vol.61 1964*



Kabuk (Shell) Elemanı Kalınlığı = 3 in
Elastisite Modülü = $4.32 \cdot 10^8$ psf
Poisson Oranı = 0.0
Ağırlık Yüğü = 90 psf (Alanda düzgün yayılı)
Sınır şartları: Eğri kenarda basit mesnetli, düz kenarda serbest

Scordelis-Lo Çatı Örneği *Şekil 16-1*

Yeri	Mesnette Eksenel Deformasyon		Orta kesitte Düşey Deplasmanlar	
	SAP2000 6x6 Örgü	Teorik	SAP2000 6x6 Örgü	Teorik
0°	0.0000	0.0004	0.046	0.045
6.67°	0.0005	0.0009	0.031	0.027
13.33°	0.0018	0.0020	-0.013	-0.018
20.00°	0.0029	0.0030	-0.078	-0.082
26.67°	0.0024	0.0021	-0.155	-0.155
33.33°	-0.0017	-0.0016	-0.234	-0.241
40.00°	-0.0118	-0.120	-0.307	-0.309

Şekil 16-2

Mevki	Orta kesitte enlemesine momentler		Mesnette burulma momentleri	
	SAP2000 6x6 Örgü	Teorik	SAP2000 6x6 Örgü	Teorik
0°	-2099	-2090	-91	0
6.67°	-1987	-2000	-359	-380
13.33°	-1614	-1620	-698	-670
20.00°	-1045	-1000	-982	-1000
26.67°	-408	-430	-1183	-1240
33.33°	37	100	-1248	-1290

Eğilme Momenti Sonuçlarının Karşılaştırılması
Şekil 16-3

Örnek 17

YARIM KÜRE KABUK, STATİK YÜKLER

TANIM

Bu örnekte Şekil 18-1' deki gibi köşelerinden noktasal yükler ile yüklenmiş, bir yarım küre kabuk yapı tanıtılmaktadır.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- Üç boyutlu kabuk analizi

VERİ DATASI

Şekil 18-1' de gösterilen model kullanılmıştır. Yarım küre kabuğun dörtte birinde 8 x 8 örgü düzeni kullanılmıştır. Simetri, sınır şartlarının sağlanmasında kullanılmıştır. Serbest köşenin orta noktasında dengeyi sağlayabilmek için düşey yönde nokta bağımlılıkları tanımlanmıştır.

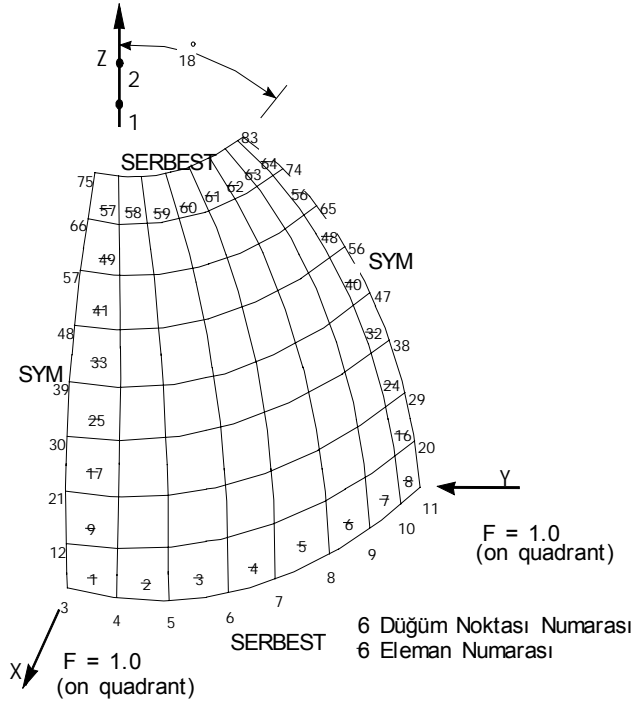
Veri dosyası ismi SHELL' dir.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Yükleme yönünde deplasman için teorik alt sınır, merkezde bulunan delik yokken, 0.0924'dir. Kaynak [1] 0.094 değerini, SAP2000 ise 0.0937 değerini vermektedir. Karşılaştırmalar mükemmeldir.

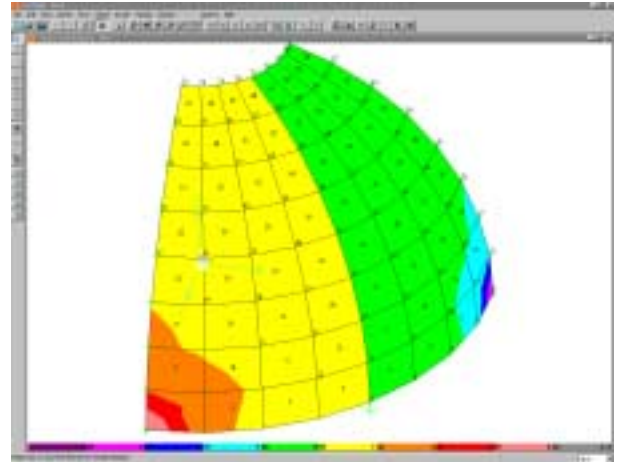
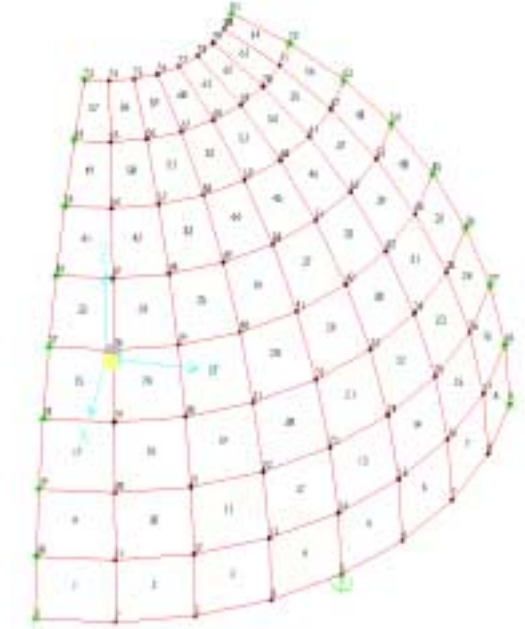
KAYNAKLAR

1. MacNeal, R. H. ve Harder, R.C., "A Proposed Standard Set of Problems to Test Finite Element Accuracy," Finite Elements in Analysis and Design1(1985), p.p.3-20, North-Holland



YARIÇAP = 10.0
KALINLIK = 0.4
ELASTİSİTE MODÜLÜ = 6.825×10^7
POISSON ORANI = 0.3

YÜKLEME: GÖSTERİLEN TEKİL YÜKLER



Yarım Küre Kabuk Örneği
Şekil 17-1

Örnek 18

İKİNCİ MERTEBE ETKİLERİ İLE DÜZLEM ÇERÇEVE (P-Delta)

TANIM

Bu örnekte, Şekil 27-1' de gösterilen, iki boyutlu, tek katlı, tek açıklıklı, temellerinden ankastre bağlı çerçeve tanıtılmaktadır. Çerçevelerden ilki, 1000 poundluk bir yükü tam ortasında, diğeri aynı yükü eksantrik olarak taşımaktadır. Kritik burkulma yükü, simetrik yatay ötelenmesiz durumda, 6082 pound ($P_{cr} = 2.55\pi^2 EI / h^2$) ve asimetrik yatay ötelenme modunda 1784 pounddur ($P_{cr} = .748\pi^2 EI / h^2$). Bu örneğin verilmesindeki amaç, SAP2000' in bu tip problemlerdeki çözüm özelliklerini göstermektir. Denge denklemleri kullanılarak, bu tip problemlerin teorik sonuçları elde edilebilir. Denge denklemleri için tablolar Kaynak[1]' de verilmiştir.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- Çerçevelerin ikinci mertebe etkileri ile çözümü (P-Delta)

VERİ DATASI

SAP2000 FRAME (Çubuk) eleman seçeneği kullanılarak iki çerçeve modellenmiştir. Yükler eleman yükleri olarak çerçevelerin kirişlerine uygulanmıştır. Veri dosyası sağlanmıştır. Pound-inç birimleri kullanılmıştır.

Teorik sonuçlar, eksenel ve kayma deformasyonları olmadan elde edilmiştir. Bu davranışı elde etmek için, elemanların eksenel alanları çok büyük ve kayma alanları da sıfır (bu, program tarafından kayma deformasyonlarının olmadığı varsayımı olarak algılanır) alınmıştır. Elemanlardaki eksenel deformasyonların olmamasının, düğüm noktalarının tutulması ile ilgisi olmadığına dikkat edilmelidir. Bahsedilen tipte bir uygulama, elemanlardaki eksenel yüklerin de sıfırlanmasına ve dolayısı ile ikinci mertebe etkilerinin oluşmasına engel olurdu. PDELTA bilgi bloğunda, relatif deplasman toleransı olarak 0.001 ve sonuç daha çabuk yakınsadığı halde, maksimum

iterasyon sayısı olarak 10 kullanılmıştır. Eksenel ve yatay yükler bir yükleme durumunda modellenmiş ve PDELTA bilgi bloğunda yük katsayısı olarak bir kullanılmıştır. Veri dosyası ismi PORTALPD' dir.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

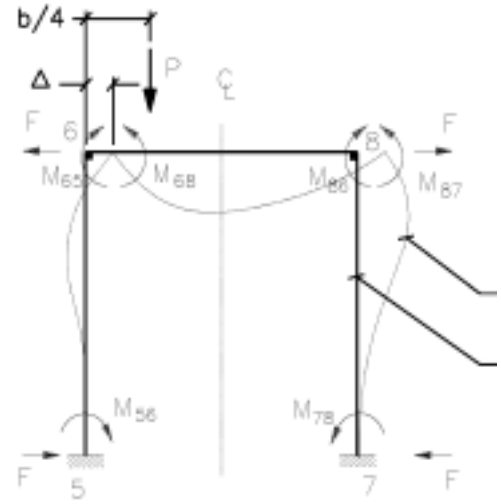
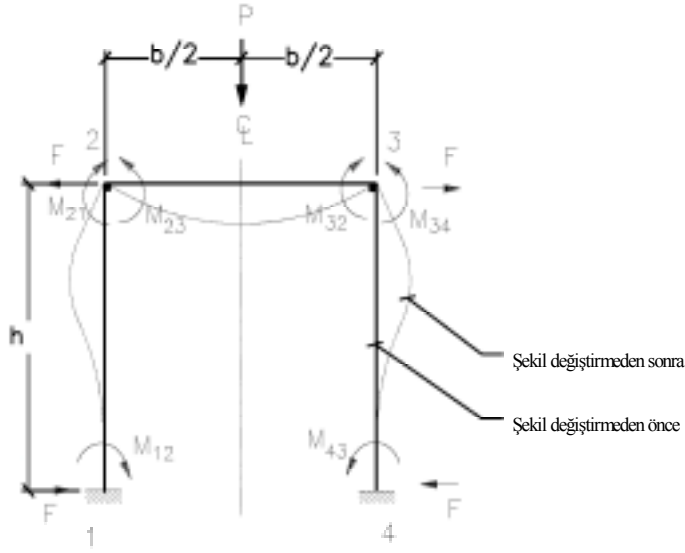
Şekil 27-2' de, iki tip yükleme için de, yatay deplasmanlar, düğüm noktaları dönmeleri, ve eleman uç momentleri ile teorik sonuçlar ve ikinci mertebeye etkileri ihmal edilerek yapılmış model kıyaslanmıştır. SAP2000 ve teorik sonuçların kıyaslaması mükemmeldir.

Teorik sonuçlar, elemanlardaki eksenel yükler de kullanılarak, açılış metodu ile hesaplanmıştır. Bu durumda, rijitlikler ve taşıma faktörleri, sabit değil, eksenel yükün fonksiyonları durumundadır. Bu fonksiyonlar Kaynak [1]' de verilmişlerdir.

Çerçevelerde, ikinci mertebeye etkilerinin incelenmesi çok ilginç sonuçlar vermektedir. Simetrik tip yüklemede, eksenel basınç yükleri sebebiyle kolon rijitliklerinde meydana gelen azalma, giriş uç momentlerinde (kolon tepe momentlerinde) azalmaya fakat kolon dip momentlerinde artmaya sebep olmaktadır. Asimetrik yüklemede ise, eksenel yükün çoğunu taşıyan kolonda benzer etkiler gözükmektedir. Fakat, eksenel yükün azını alan kolon, kıyasla daha rijitleşmekte ve ikinci mertebeye etkileri kullanılırsa, iki ucunda da, daha fazla moment etkileri almaktadır.

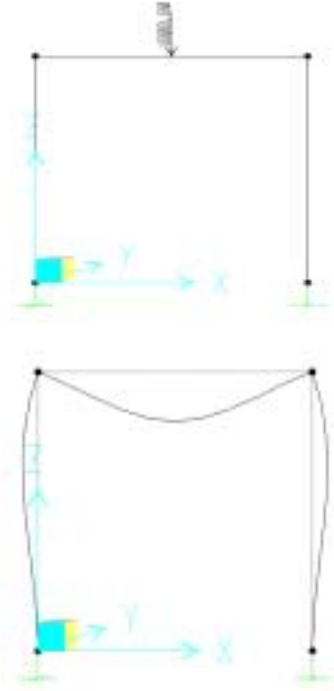
KAYNAKLAR

1. *Livesley, R.K., ve Chandler, D.B., "Stability Functions for Structural Frameworks,"* Manchester University Press, İngiltere, 1956.



(a) Açıklık ortasında tekil yüklemde şekil değiştirme

(b) Eksantrik tekil yüklemde şekil değiştirme



Açıklık, L =	100 in
Yükseklik, h =	100 in
Alan, A =	1 in ²
Atalet Momentleri, I ₂₂ ve I ₃₃ =	1/12 in ⁴
Elastisite Modülü, E =	29*10 ⁶ psi

Portal Çerçeve Örneği
Şekil 18-1

Değer	P-Delta' lı		P-Delta' sız SAP2000 ve Teorik
	SAP2000	Teorik	
2 No.lu Noktada Dönme (θ_2)	0.09178	0.09192	0.08620
1. No.lu Noktada Moment (M_{12})	4589.1	4606.6	4166.7
2. No.lu Noktada Moment (M_{21})	8260.4	8254.0	8333.3
Kesme Kuvveti (F)	128.5	128.6	125.0

(a) Açıklık Ortasında Tekil Yüklemeli Çerçeve

Değer	P-Delta' lı		P-Delta' sız SAP2000 & Teorik
	SAP2000	Teorik	
Yanal Deplasman (Δ)	1.894	1.893	1.385
6 No.lu Noktada Dönme (θ_6)	0.1014	0.1013	0.0924
(θ_8)	0.0367	0.0367	0.0369
5. No.lu Noktada Moment (M_{56})	2550.9	2544.9	2455.4
6. No.lu Noktada Moment (M_{65})	6183.6	6088.6	6919.6
7. No.lu Noktada Moment (M_{78})	4503.5	4456.9	3794.6
8. No.lu Noktada Moment (M_{87})	6124.9	6153.0	5580.4
Kesme Kuvveti (F)	101.6	101.4	93.75

(b) Eksantrik Yüklemeli Çerçeve

Örnek 19

İKİ DÜZLEM ÇERÇEVENİN ÇARPIŞMASI-ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN (NONLINEAR) ANALİZ

TANIM

İki açıklıklı yedi katlı düzlem çerçeve ve bir açıklıklı 4 katlı düzlem çerçeve lineer olmayan boşluk bağlantı elemanları (Nlink) kullanılarak birleştirilmiştir. Sistemin 1940 Kuzey-Güney El-Centro deprem dasetası kullanılarak zaman tanım alanında lineer olmayan analiz yapılmaktadır. Şekil 19-1 de yapının geometrisi gösterilmiştir.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- İki boyutlu çerçeve analizi
- Tek eksenli Nlink boşluk bağlantı elemanının kullanımı
- Zaman tanım alanında (Time-history) lineer olmayan analiz

VERİ DATASI

Her iki katta birer rijit diyafram bağımlılığı uygulanmıştır. Kip-inch birimleri kullanılmıştır.

3. kolon aksındaki düğüm noktaları 4. kolon aksındaki karşı gelen düğüm noktalarıyla Nlink boşluk elemanları kullanılarak bağlanmıştır. Bu elemanların lokal 1 aksları global X doğrultusudur ve boşluk elemanları özellikleri lokal 1 doğrultusundadır. Boşluk elemanlarındaki açılma deplasmanı iki yapının arasındaki mesafeyi koruyacak şekilde 0,25 inch tir.

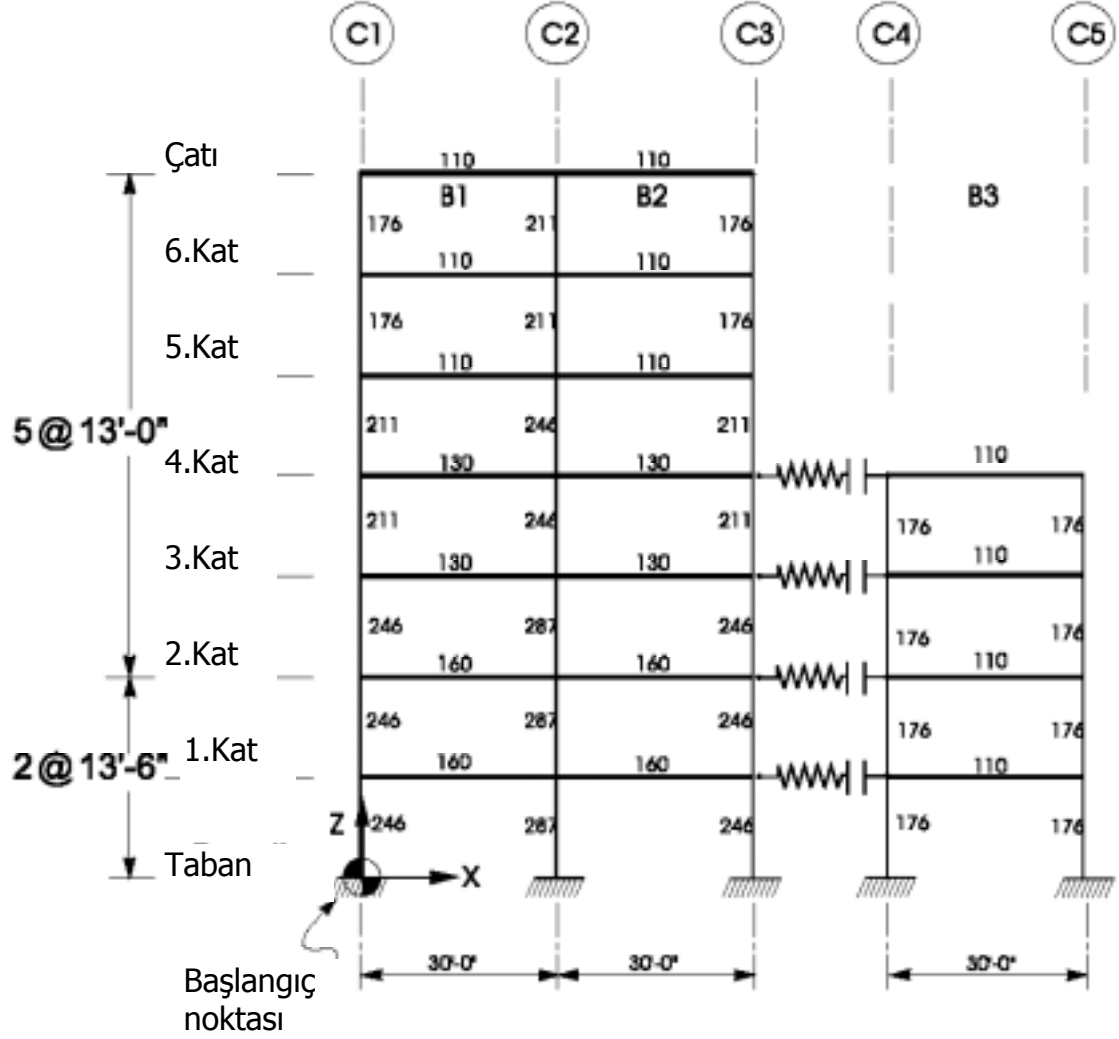
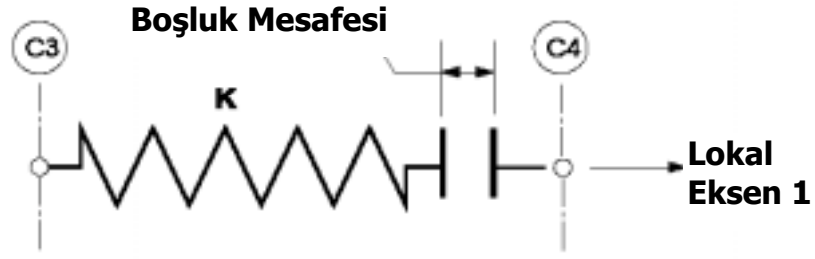
Lineer olmayan boşluk elemanı rijitliği 1000 k/in olarak alınmıştır. Bu rijitlik temas noktasının civarındaki bağımlı bölgenin rijitliğinin bir tahminidir. Modları hesaplamak için kullanılan lineer efektif rijitlik sıfır olarak alınmıştır, çünkü boşluk elemanları normal olarak açıktır. Lineer olmayan rijitlik veya lineer efektif rijitlik değerleri bağlayıcı elemanların rijitliklerine göre çok büyük olduğu düşünülerek kullanılmamasına dikkat edilmelidir. Rijitliğin hayli yüksek değerleri sayısal hassaslığı sağlar bu da çözümün etkinliğini ve doğruluğunu azaltır.

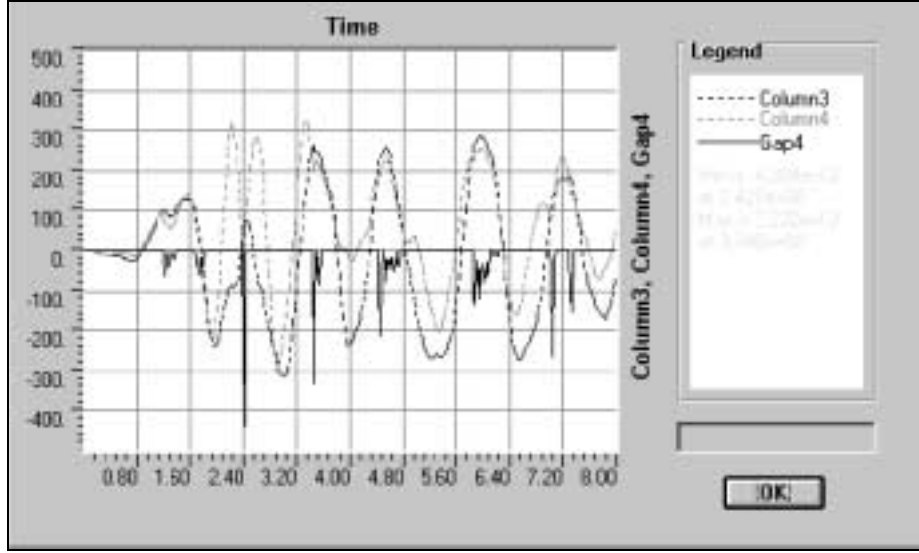
Başlangıç vektörleri yer ivmesi ve lineer olmayan deformasyon yükleri olan; Ritz vektörleri kullanılarak modlar hesaplanmıştır. Yapının bütün 11 modu istenmiştir.

Bu örnek için veri datası POUND'dur. Yer ivmesinin zaman tanım alanındaki datası ELCN-THU dosyasındadır.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu örnek yalnızca bir uygulama için verilmiştir. Şekil 19-2'de tipik sonuç grafiği gösterilmiştir. Bu grafik 3. ve 4. kolon akslarının deplasmanları ve 4. Kattaki bağlantı kuvveti değişkenlerini göstermektedir. İki kolon aksı kendi fazları içinde hareket ediyor ve belirlenmiş başlangıç açıklığından daha az açıklığa sahipse veya iki aks faz dışı hareket ediyorsa bağlantı kuvvetinin üretildiği grafikten kolayca anlaşılabilir. Büyük bir çoğunlukla çarpışma etkisi binaları kendi fazları içinde tutma etkisine sahiptir. Sunum amaçlı olarak deplasmanlar 100 faktörü ile büyütülmüştür.





***Çarpışan Kolonların Deplasmanları ve 4. Kattaki Çarpma Kuvveti
Şekil 19-1***

Örnek 20

SÜRTÜNME PANDÜLLÜ, TABAN İZOLATÖRLERİ ÜZERİNDE 3 BOYUTLU ÇERÇEVE İLE ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN (NONLINEAR) ANALİZ

TANIM

Bu iki katlı, sürtünme pandüllü taban izolatörleri kullanılarak taban izolasyonlu (özel yaylı) 3 boyutlu çerçevedir. Yapı birbirine dik iki doğrultuda Loma Prieta ivme dataları kullanılarak deprem hareketine maruz bırakılmıştır.

Yapının geometrisi Şekil 20-1'de gösterilmiştir.

KULLANILAN ÖNEMLİ SAP2000 SEÇENEKLERİ

- Üç boyutlu çerçeve analizi
- İki eksenli 1 lineer olmayan sürtünme pandüllü bağlantı elemanı kullanımı
- Lineer olmayan zaman tanım alanında statik(quasistatik) analiz
- Lineer olmayan zaman tanım alanında analiz

BİLGİSAYAR MODELİ

Yapı 9 kolon akslı ve 12 açıklıklı betonarme çerçeve olarak modellenmiştir. Kip-inch birimleri kullanılmıştır. Elastisite modülü 3000 ksi olarak alınmıştır. Betonun kendi ağırlığı 150 pcf olarak alınmıştır.

Kat döşemesi zemin ve 1. Kat seviyelerindeki bütün döşeme açıklıklarında 8" kalınlığında alınmıştır. İkinci kat seviyesinde, iki kenar kirişi ve köşe kolonda birlikte konulmamış ve bu seviyede simetrik olmayan bir kat seviyesine Şekil 20-1'de gösterildiği gibi neden olmuştur. Rijid diyafram her kata uygulanmıştır. Kat döşemeleri shell membrane elemanları olarak modellenmiştir. Bunlar yalnızca kütle oluşturmak için kullanılmış ve rijit diyaframlara bağlı olarak rijitlikleri ihmal edilmiştir.

Referans [1]'de tanımlanan sürtünme pandüllü tip taban izolatörleri SAP2000 lineer olmayan izolatör 2 elemanları kullanılarak modellenmiştir.

İzolatör özellikleri aşağıda tanımlanmıştır:

1 doğrultusundaki rijitlik (düşey) :	1E3
2 ve 3 doğrultusundaki rijitlik (yatay) :	1E2
Yüksek hızdaki sürtünme katsayısı:	0.04
Düşük hızdaki sürtünme katsayısı:	0.03
Hıza bağlı sürtünme katsayısındaki değişimi belirleyen parametre:	20
2 ve 3 yönlerindeki temas yüzeyi yarıçapı:	60

Tek yük durumu binanın kendi ağırlığıdır. Sismik analizden önce bu yük durumu izolatörlerdeki uygun sürtünme davranışını anlamak için uygulanacaktır. Aşağıda anlatıldığı gibi bu bina ağırlığı zaman tanım aralığı analizinin bir parçası olarak mutlaka uygulanmalıdır.

17 Ritz vektörü modal analiz için istenmiştir, bu analizde iki yatay yer ivmesi, düşey yük ve bütün lineer olmayan deformasyon yükleri başlangıç yük vektörleri olarak kullanılmıştır. 27 lineer olmayan deformasyon yükü vardır, 9 izolatörün her biri için var olan her 3 serbestlik derecesinden birisi bu yüklere karşı gelmektedir. Fakat, 18 yatay serbestlik derecesinden 3'ü rijit diyaframa bağlı olarak bağımsızdır. Program otomatik olarak 15 bağımlı başlangıç yük vektörünü elimine eder. Bu yüzden bağımsız başlangıç yük vektörlerinin sayısı 15'dir. 17 modun toplamı için, iki yer ivme değerlerini ilk olarak yazarak, iki başlangıç yük vektörü için iki Ritz vektörü üretilir. Kalan 13 tane içinde bir Ritz vektörü üretilir.

Lineer olmayan davranışı yakalamak için lineer olmayan deformasyon yüklerinin başlangıç yük vektörleri olarak kullanılması çok önemlidir. Bu durumda, her bir izolatördeki normal kuvvet yeterince iyi tanımlanmalıdır çünkü kesme kuvveti şiddetle buna bağlıdır.

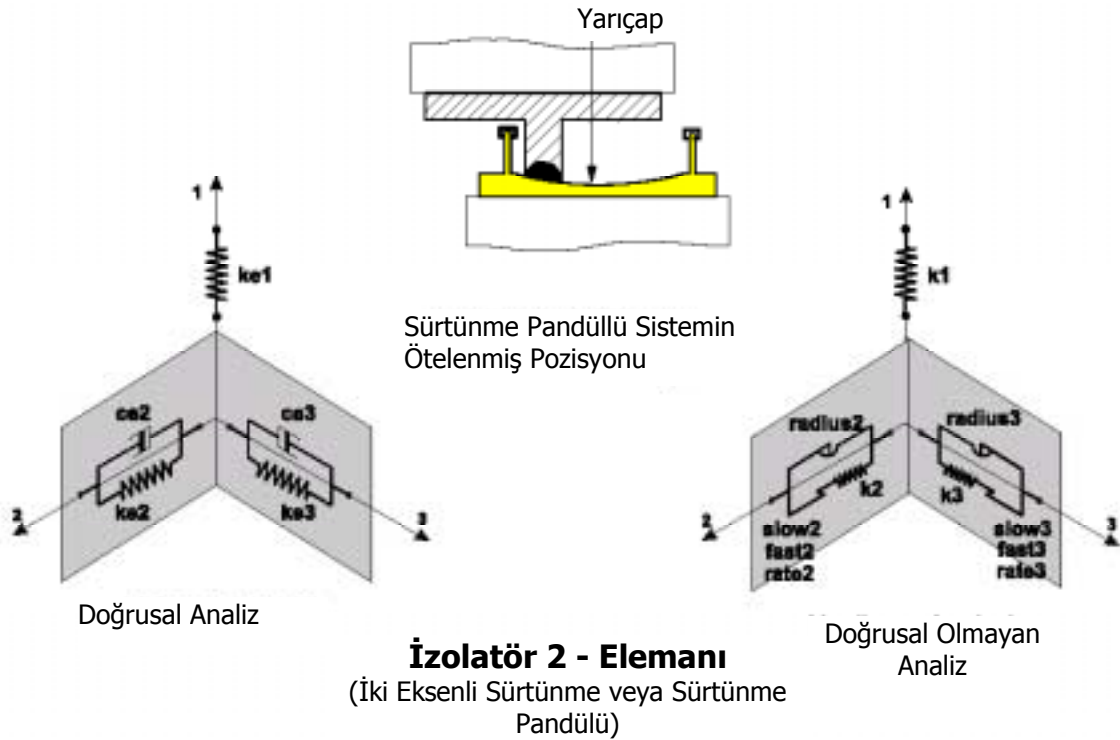
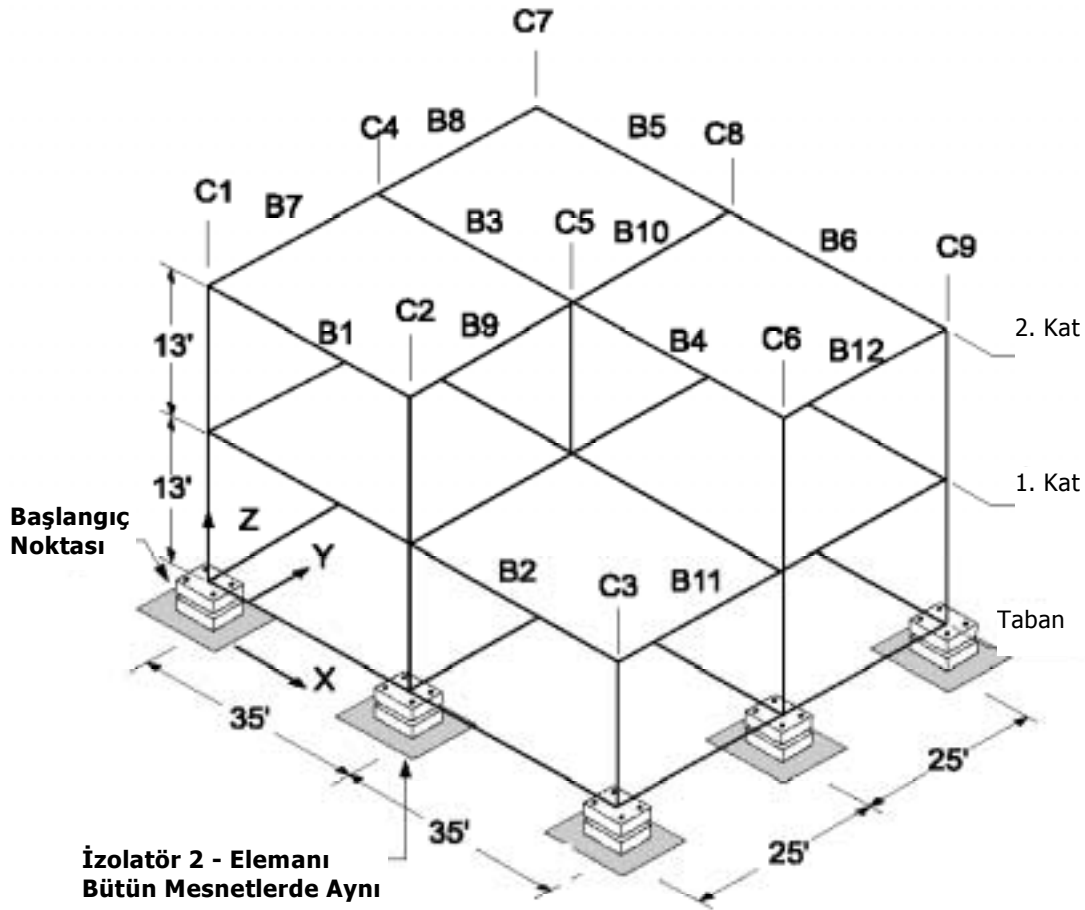
İki zaman tanım alanında analiz gerçekleştirilmiştir. İlki özağırlık statik(quasistatik) analizidir. Bu analiz herbir saniye için 10 zaman aralığı içerir ve toplam süre 10 sn. dir. İlk beş saniyede yük lineer olarak tam değere kadar artırılır ve kalan 5 saniye içinde de dengeye gelmesine izin verilir. Bütün modlarda titreşimi önlemek için % 99 sönüm oranı kullanılmıştır.

İkinci analiz ilk analizden başlar ve sismik ivme uygular ve 40 sn. için 0.02 sn. aralarla 2000 zaman aralığı içerir. İzolatörlerin sürtünme özelliklerinden dolayı büyük enerji sönümü beklendiğinden, bütün modlar için sıfır sönüm oranı kullanılmıştır ve bu üstyapıda az hasar oluşturur.

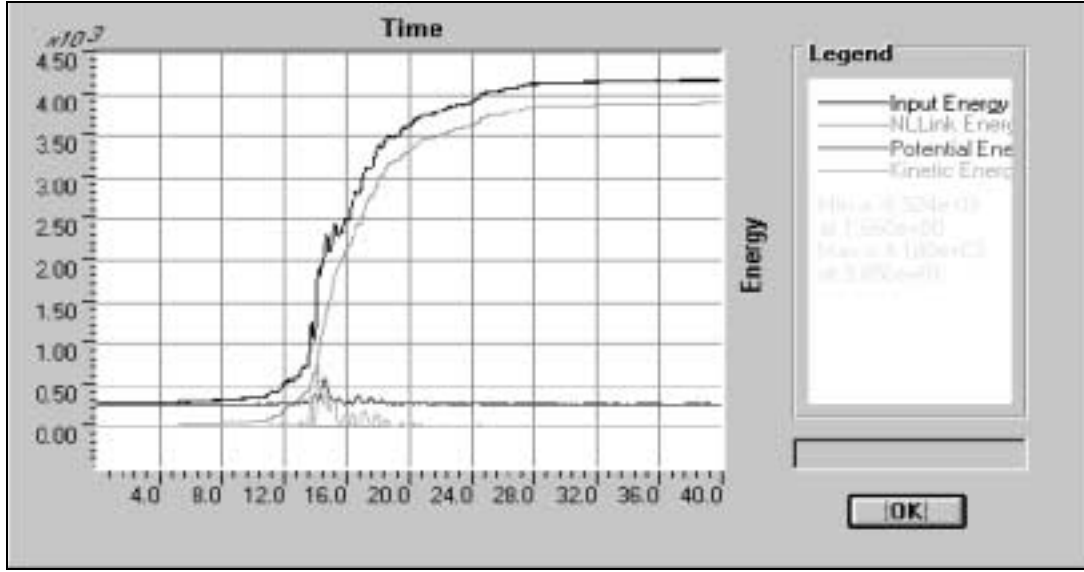
Bu örnek için data dosyası ISOLATOR2 dir ve zaman tanım alanı (deprem dataları) Dosyaları LP-THO ve LP-TH90 dir.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

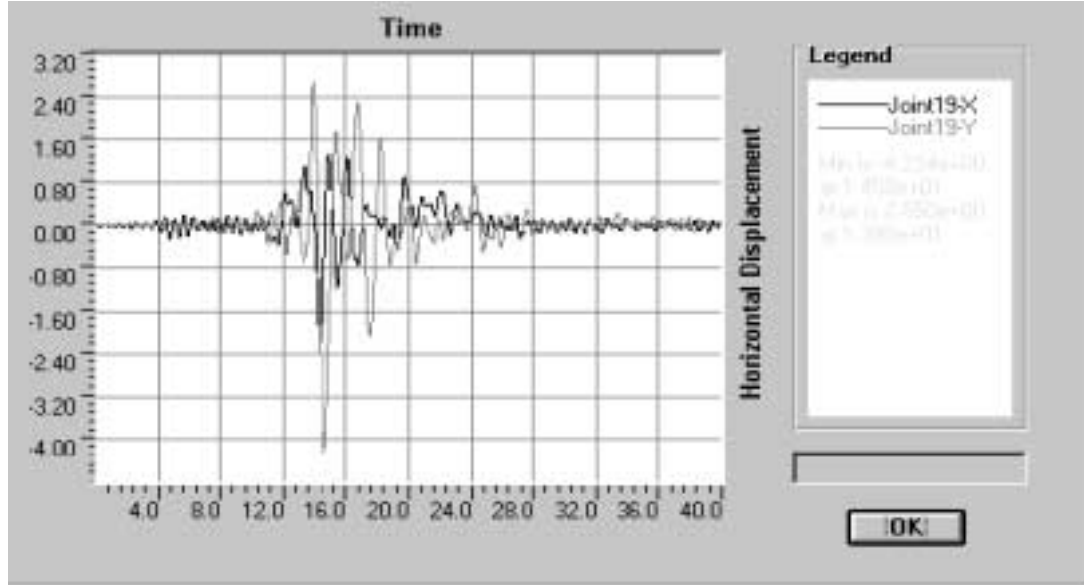
Bu örnek yalnızca bir uygulama içindir. Karşılaştırma için herhangi bir sonuç mevcut değildir. Tipik çizimler zaman tanım alanı için gösterilmiştir. Şekil 20-2 giriş datalarının zaman değişkenini, kinetik ve potansiyel (şekil değiştirme), sönüm ve sürtünme enerjilerini gösterir. Bu enerjilerin hiçbiri sıfırdan başlamazlar çünkü onlar özağırlık zaman tanım alanından itibaren başlarlar. Şekil 20-3 ikinci kattaki 1. kolon aksındaki deplasmanların zaman değişkeni ile değişimini göstermektedir. Şekil 20-4, 1. kolon aksının altındaki izolatörlerdeki iki doğrultudaki kayma kuvvetinin etki diyagramını gösterir. Şekil 20-5, 1. kolon aksının altındaki izolatörün X doğrultusundaki hareketinin kuvvet ve deplasman grafiğini göstermektedir.



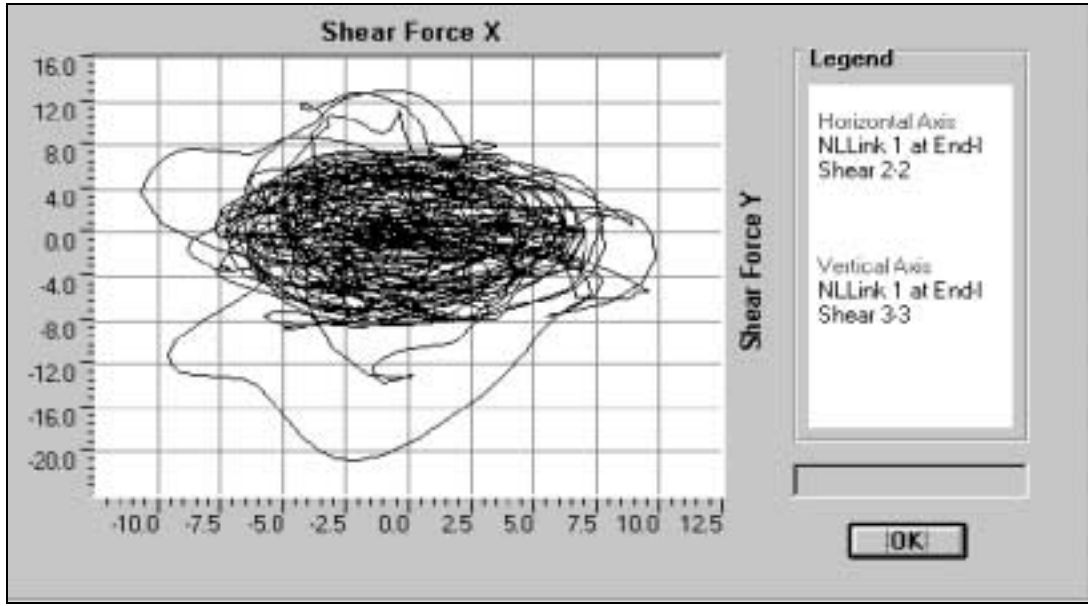
3 Boyutlu ve Tabanda Sürtünme Pandülü İzoleli Çerçeve Modeli
Şekil 20-1



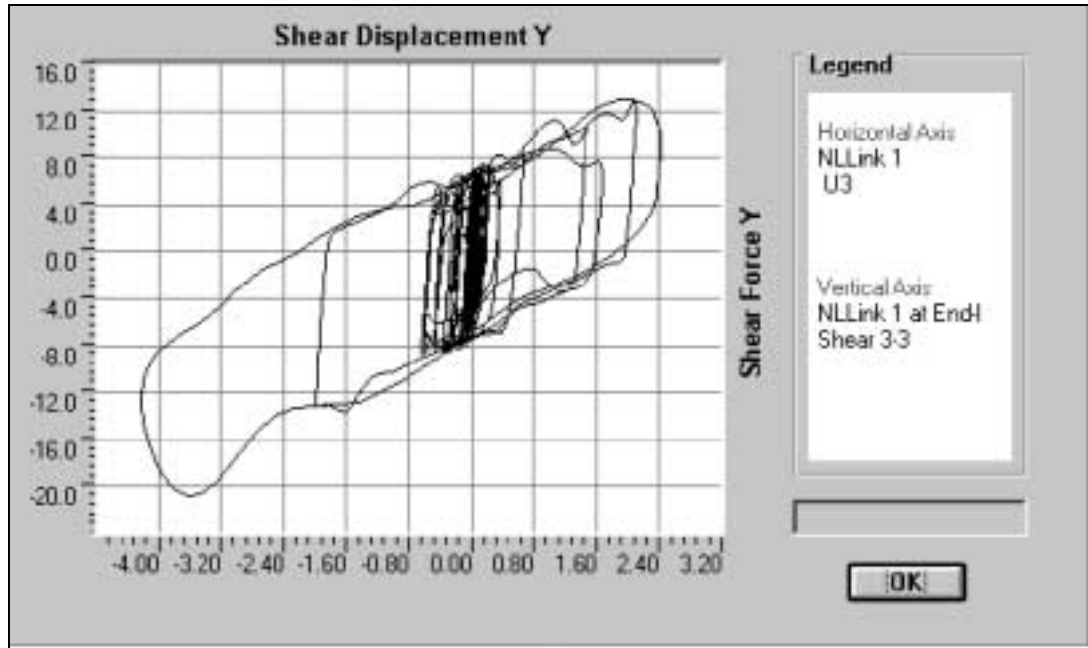
Sismik Tanım Zaman Alanında Enerjinin Değişimi
Şekil 20-2



Sismik Zaman Tanım Alanında Kolon 1'in Üstündeki Yatay Ötelenmeler
Şekil 20-3



*Sismik Zaman Tanım Alanında Kolon 1'in Altındaki İzolatörde
Kesme Kuvveti Etkileşimi
Şekil 20-4*



*Sismik Zaman Tanım Alanında Kolon 1'in Altındaki İzolatördeki
Ötelenmeye Karşı Gelen Kesme Kuvveti
Şekil 20-5*