

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

56135

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ KULLANARAK
TAŞIT YAPI ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Osama A. S. ABDALLA
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ruhi KAYKAYOĞLU

56135

ŞUBAT 1996

ÖNSÖZ

Sonlu Elemanlar Yöntemi "Finite Element Method (FEM)", sayısal yöntemler içerisinde mühendisler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni, mühendislerin karşılaştığı bir çok problemin analitik yöntemler ile çözümünün zor olmasıdır. Bu sebeple geometrisi, malzeme özellikleri ve sınır koşulları karmaşık olan fiziksel problemleri kabul edilebilir bir yaklaşıklıkla çözebilen sayısal yöntemleri kullanmak zorunlu olmuştur. Bu yöntemlerin başında Sonlu Elemanlar Yöntemi gelmektedir.

Sonlu Elemanlar Yönteminin, bugün mühendislikte yaygın olarak kullanılmasındaki en büyük etken, bilgisayar teknolojisinin hızlı bir şekilde gelişmesidir. Bu yüksek lisans tez çalışması, Sonlu Elemanlar Yöntemi ile değişik yapıların analizlerini gerçekleştirmektedir. Bu yapılar içinden taşıt şasi analizi önemli bir yer tutmuştur.

Çalışmamda beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım, Sayın **Prof.Dr. Ruhi KAYKAYOĞLU'** na saygılarımı sunar ve teşekkür etmek isterim.

Ayrıca programlamada yardımlarından dolayı **Doç.Dr. Saleh ABDALLA** 'ya ve bu tezi hazırlaması esnasında bana imkan hazırlayan **Diş Hekimi Esmâ ABDALLA** 'ya ve **Mosab ABDALLA**'ya ayrı ayrı teşekkür ederim.

Aynı zamanda bana destek veren **Demiray Kalıp SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.** genel müd. **Mehmet DEMİRAY** 'a ve yardımcısı **Can DEMİRAY** 'a özellikle teşekkür etmek isterim.

Mak. Müh.
Osama A.S. ABDALLA
ŞUBAT, 1996

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖN VE ABSTRACT	V
NOTASYON LİSTESİ	VI
I. GİRİŞ	
1.1. Tanıtım	1
1.2. Sonlu Elemanları Tercih Etme Nedenleri	2
1.3. Tezin Temel Hedefleri ve Faaliyet Alanı	3
II. SONLU ELEMANLAR METODUNUN TANITIMI VE TEORİSİ	
2.1. Tanıtım	5
2.2. Sonlu Elemanlar Metodu	6
2.3. Sonlu Elemanlar Sisteminin Teknolojisi	7
2.4. Sonlu Elemanlar Metoduna Giriş	7
2.5. SEM Yönteminde Kullanılan Başlıca Eleman Tipleri	7
2.5.1. Metodda Kullanılacak Olan Eleman Tipinin Seçimi	8
2.5.2. Eleman Boyutları	8
2.6. Eleman Sayısı	9
2.6.1. Nodların Yerleştirilmesi	11
2.6.2. Sonsuz Yapıların Modellenmesi	12
2.7. Sonlu Elemanlar Deplasmanlar (Yerdeğişimi) Metodu	13
2.7.1. Temel Düğüm Değişkenleri - Genelleştirilmiş Deplasmanlar	13
2.7.2. Deformasyon - Deplasman İlişkisi	15
2.7.3. Teşekkül Kuralı	16
2.7.4. Denge Denklemi - Virtüel İş	16
2.7.5. Programda Kullanılan Rijitlik Matrisi	18
2.7.6. Sınırlarda Yayılmış Yükleme	19
2.8. Çubuk (Kiriş) Elemanlar Modellenmesi	20
2.8.1. Tanıtım	20
2.8.2. Deplasmanlar İnterpolasyonu ve Eleman Şekil Fonksiyonu	21
2.8.3. Gerilme - Deplasman Matrisi	22
2.8.4. Gerilme Enerjisi ve Eleman Katılık Matrisi	22
2.9. İki Boyutlu Düzlemde Çubuğun Transformasyon İşlemi	24
2.10. Serbestlik Derecesi	25
2.11. Katılık Matrisi ve Katılık Denklemi	26

2.11.1. Katılık Tesir Katsayıları	26
2.11.2. Katılık Matrisi ve Katılık Denklemi	27
2.12. Katılık Matrisinde Band Genişliği	27
2.13. Yarı Band Genişliğinin Hesaplanması	28
2.14. Sonlu Elemanlar Program Yapısı	30
2.15. Değişken Terminolojisi	33
BÖLÜM 3. GİRİŞ VE ÇIKIŞ BİLGİSİ	
3.1. Tanıtım	34
3.2. Giriş Bilgileri	35
3.3. Kontrol Bilgisi	35
3.4. Geometrik Bilgi	35
3.5. Sınır Şartları	36
3.6. Malzeme Özellikleri	37
3.7. Giriş (INPUT) Dosyası	38
3.8. INPUT Dosyası İçin Gerekli Açıklamalar	39
3.9. Çıkış Sunumu	42
3.10. Otomatik Bilgi Hazırlama ve Çıkış Grafiği	42
3.11. Giriş Bilgilerin Kontrolü ve Hata Teşhisleri Altprogramı	43
BÖLÜM 4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE YAPILAN ANALİZİN YAZILIMI KULLANIMI	
4.1. Program Tanımı	46
4.2. Program Çalıştırılması	46
4.3. Programın Bilgi Girişi	46
4.4. Programın Bilgi Çıkışı	47
III. BULGULAR	
5.1. Örnek 1	49
5.2. Örnek 2	52
5.3. Örnek 3	56
IV. TARTIŞMA VE SONUÇ	88
V. ÖZET	89
SUMMARY	91
VI. KAYNAKLAR	97
VII. ÖZGEÇMİŞ	98

ÖZ

Bu çalışmada, değişik yapıların analizlerini gerçekleştirmek için SONLU ELEMANLAR METODU (SEM) tanıtılacaktır. Metodun teoriden uygulamaya geçişi yapılacaktır. Bu nedenle ikinci bölümde, Sonlu Elemanlar Metodu ve (SEM) 'de kullanılan eleman tipleri, kullanılacak eleman tipinin seçimi, eleman boyutları, eleman sayısı, nodların yerleştirilmesi ve modellenmesi, ayrıca deplasmanlar metodu (yerdeğişimi) ve yapının modellenmesi anlatılmıştır. Teoriden programlamaya geçiş yapılarak SEM program yapısı tanımlanmıştır. Üçüncü bölümde ise, programın akış diyagramı gösterilerek giriş dosyaları hazırlanması, geometrik bilgi girilmesi, sınır şartları belirlenmesi, malzeme özellikleri verilmesi ve çıkış dosyaları tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde de, Sonlu Elemanlar Yöntemi ile yapılan analizin yazılımı, kullanımı ve çalıştırılması açıklanmıştır. Son olarak, bilgisayar programının kullanımının daha iyi kavranabilmesi için, beşinci bölümde değişik örnekler yer verilmiştir. Bu bölümde, birinci ve ikinci örnek, iki boyutlu yapı analizin örneği olarak verilmiştir. Üçüncü örnek taşıt şasi analizi ise üç boyutlu yapı analizinin bir örneğidir.

ABSTRACT

THE ANALYSIS OF SOLID STRUCTURES WITH FINITE ELEMENT PROGRAMMING

In this thesis The Finite Element Method Theory, which will help any user to understand the structure of the program is presented. Therefore in Chapter 2 introduction and the basic expressions of the finite element method for structural applications, the kinds of finite elements and the structure of the program are presented. The subroutines performing the standard steps, such as shape function and stiffness formulation, equivalent nodal force generation and stress resultant evaluation, are developed at this stage. Chapter 3 deals with the problems associated with input and output. The input data required for finite element analysis with bar element is discussed and subroutines for data assimilation are presented. Chapter 4 deals with the problems associated with input and output for data. The subroutines developed for finite element analysis are assembled in Chapter 5 to form complete program which can be employed for structural analysis. Numerical example for structural problems are also presented demonstrating the efficiency of the structural analysis element. In this thesis, a Fortran-77 program which was written earlier was modified. It consists of 1100 statements on an IBM PC/DX compatible machine.

NOTASYON LİSTESİ

A	Kesit Alanı.
a_j	Ağırlık Faktörü.
B	Deformasyon Matrisi.
C	Rotatif Kuvvet.
D	Elastisite Matrisi.
D,d	Çap.
E	Elastisite Modülü.
EI	Eğilme Rijitliği.
F	Uygulanan Kuvvet.
I	Eylemsizlik (Atalet) Momenti.
M	Bileşik Moment.
M_b	Burulma Moment.
M_{ex}, M_{ey}	Eğilme Momenti.
N	Eksenel Kuvvet.
N	Şekil Fonksiyonu.
P	Uygulanan Basınç.
P_x, P_y, P_z	Tekil Kuvvetler.
Q	Kesme Kuvveti.
q_x, q_y, q_z	Yayılı Yükler.
R	Bileşik Kuvvet.
S	Yüzey Alanı.
S_e	Yüklenmiş Eleman Yüzey Alanı.
SEM	Sonlu Elemanlar Metodu.
T_x, T_y	Kesme Kuvvetleri.
t_x, t_y	Çekme Kuvvetleri.
U_i	Düğüm Deplasmanı.
V	Hacim.
V_e	Eleman Hacmi.
V_i	Düğüm Deplasmanı.
δ_i	Deplasman.
δ^e	Eleman Düğüm Deplasmanları Vektörü.
ϵ	Deformasyon Vektörü.
$\epsilon^o_x, \epsilon^o_y$	Başlangıç Deformasyonları.
μ	Tekil Moment.
ν	Poisson Oranı.

Π	Toplam Potansiyel Enerjisi.
ρ	Eğrilik Yarıçapı.
σ	Gerilme Vektörü.
σ_x, σ_y	Gerilme Bileşenleri.
σ^o_x, σ^o_y	Başlangıç Gerilme Bileşenleri.
τ_{xy}	Gerilme Bileşenleri.
τ^o_{xy}	Başlangıç Gerilme Bileşenleri.
φ	Dönme Açısı.



BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Tanıtım

Sonlu elemanlar metodu (Finite Element Method) geniş çapta tatbik edilebilen bir mühendislik vasıtası olarak tesis edilmiştir. Yakın zamana kadar metod, araştırmacıların taban bilgi alanı veya soyut bir yöntem olarak kabul ediliyordu, Fakat bugün metod, teknolojinin birçok dallarında dizayn maksatları için kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar metodunun başlıca avantajlarından biri, muhtelif mühendislik problemlerinin çözümünü veren birleştirme yaklaşımıdır.

Genellikle Sonlu Elemanlar yöntemi ile ilgili kitaplarda sunulan uygulamalarla birlikte metodun genel teorik görünüşü üzerinde durulmaktadır. Bununla beraber, Sonlu Elemanlar yönteminin temel teorisi ile bir bilgisayar programı geliştirmesi arasında büyük bir fark vardır. Bu çalışmada sonlu elemanlar yönteminden yola çıkılarak taşıt şasi analizini gerçekleştirmek için geliştirilen bir sonlu eleman programının tanıtımı yapılmıştır.

Sonlu Elemanlar Yöntemi sürekli ortamların çok küçük bölgelere ayrılarak temsil edilmesi düşüncesine dayanır. Böyle küçük bölgelere de Sonlu Elemanlar (SE) denir. SEM'in uygulamaları üç şekilde olur. Bunlar :-

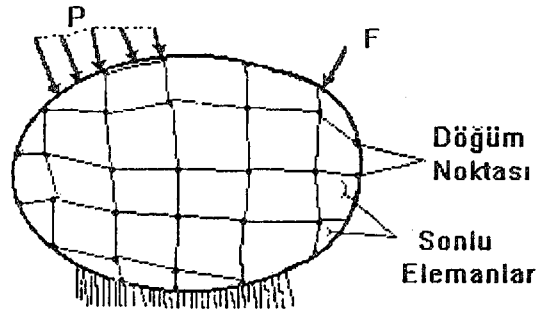
- a) DEPLASMAN METODU .
- b) KUVVET METODU .
- c) KARMA METOD.

Birinci yöntemde nodların kayması, ikinci yöntemde ise, iç kuvvetler bilinmeyenler olarak değerlendirilir. Karma yöntemde ise, iç kuvvetler ve deplasmanların her ikisi de değişken olarak kabul edilmektedir.

Yerdeğişimi yaklaşımı ile hesaplanan katılık katsayıları genellikle gerçek değerlerinden daha büyüktür. Buna göre Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) ile hesaplanan yerdeğişimleri ve deformasyonlar, gerçek değerlerden daha küçük olur. Yapının sonlu elemanları küçültülürse normal şartlarda, yaklaşık çözüm gerçek çözüme yaklaşacaktır.

Bir sürekli ortamın (continuum) en uygun şekilde Sonlu Elemanlara bölünmesi problemi yöntemi uygulayan araştırmacıya bağlıdır. Önce sonlu elemanın şekli (Tipi)

seçilmelidir. Bu seçim, sürekli ortamın boyutuna, yapının veya cismin geometrisine uygun olmalıdır.



ŞEKİL: 1.1. İki Boyutlu Sürekli Bölge

Sonlu Elemanlar Metodu (SEM)'nin temelini oluşturan denklem sistemleri, zorunlu olarak matris hesaplamaları yardımıyla kurulmaktadır. Analizi gerçekleştirilecek sistem **YAPI** diye adlandırılır; ve bu sistem **NODLAR** (düğüm noktaları) ile birbirine bağlı olan uygun **ELEMANLARA** bölünür. Elemanların 2 veya 3 boyutlu olması, yapının geometrisine çok bağlıdır. Sistem böylece metodu uygulamaya hazır hale getirilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile çözümü yapılabilmek için atılacak temel adımlar sırasıyla;

1-Probleme ait bilgilerin verilmesi ve kontrol edilmesi.

2-Eleman katılık (STIFFNESS) matrislerinin düzenlenmesi.

3-Tüm yapı için katılık matrisleri ve yük vektörlerinin birleştirilmesi (GLOBAL matrisin oluşturulması).

4-Sınır şartları kullanarak denklem sisteminin çözülmesi.

5-Yerdeğiştirmelerin ve hesaplanan gerilmelerin çıkışların alınması .

olarak verilir.

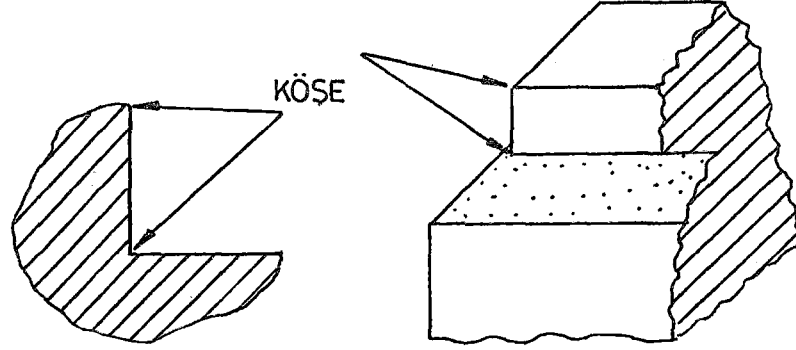
Ayrı altprogramlar vasıtasıyla icra edilen çeşitli ana sonlu eleman operasyonları ile birlikte burada sunulan programlar için bir yaklaşım benimsenmektedir.

1.2. Sonlu Elemanlar Metodunu Tercih etme Nedenleri

Özellikle oldukça eski, güvenilir ve güncel olan sonlu farklar metodu gibi diğer nümerik metodlar varken, SEM' in kullanılması tercih edilir. Bunun nedeni, SEM' in diğer metodlara göre bazı önemli avantajları olmasıdır. Bunlar ;[1]

1- Boyutlarını ve şekillerinin esnek olmasıdır. Aynı zamanda sonlu elemanlar, verilen bir yapıyı daha iyi temsil edilebilir. Kompleks şekiller için daha uygun ve düzenli olması,

2- Çok bağımlı alanlar (içerisinde bir veya daha çok delikli olan yapılar gibi) veya bu alanların köşelerinin (Şekil 1.2) daha kolay bir şekilde modellenebilir olması,



ŞEKİL: 1.2. İki Ve Üç Boyutlu Köşeler

3- Değişik malzeme özellikleri ve/veya değişken geometrilere sahip yapıların, sonlu elemanlar metodu ile çözümünde herhangi ilave bir şey gerektirmez. Karmaşık geometri ve malzeme heterojenliği, hatta problemin zamana bağlı olması gibi durumlarda bile izafi çözümler oldukça kolay olabilmeleri,

4- Etki - tepki ilişkisi olan problemlerde, sonlu elemanlarla bütün katılık (Stifness) matrisinin oranlanmış deplasmanlarının ve kuvvetlerinin çok kolay formüle edilmiş olmaları bir kolaylık getirmiş ve problem çözümünü kolaylaştırma imkanı vermeleri,

5- Sınırlarda her türlü sınır şartı kolayca verilebilmesidir.

1.3. Tezin Temel Hedefleri ve Faaliyet Alanı

Bu tez, sonlu eleman metodunun değişik yapı analizleri üzerine programlaması ile ilgilidir. Sonlu elemanlar bir yönteminin gerisindeki teoriyi anlama ve pratik uygulama için metodu programlama yeteneği arasında çok büyük bir fark vardır. Tezin hedefi bu boşluğu kapamayı denemektir. Muhtemel okuyucuların genellikle farklı tahsillere ve sonlu eleman tecrübesine sahip olacağı takdir edilmektedir. Tezin esas amacı, teoriden programa başlıca

geçişin nasıl alınacağını göstermek olduğundan tüm programlama kasitli olarak mümkün olduğunca açık ve karmaşık olmayan bir tarzda yapılmaktadır.

Herhangi bir sonlu eleman analizinde sarfedilen zamanın büyük bir miktarı, giriş bilgilerinin kontrolü ve kaçınılmaz surette vuku bulan hataların düzeltilmesi için harcanmaktadır. Eğer hesaplama başlamadan önce giriş bilgileri iyice incelenir ve herhangi bir hata otomatik bir tarzda teşhis edilirse, hesaplama zamanı ve sarfedilen çalışma zamanında takdir edilir tasarruflar gerçekleşir. Bu amaç için, sunulan programlarda hata teşhis altprogramları mevcuttur. Bu altprogramlar giriş bilgilerini kontrol ederler ve herhangi bir hata teşhis edilirse uygun mesajları yayımlanır.

Fakat bu programların uygulayıcılara tam bir rahatlık vermemelidir. Çünkü karmaşık hata teşhis altprogramları tüm bilgi hatalarını bulmayı garantileyemeyebilir. Sonlu eleman metodunu fiilen programlamak için programcı;

*Bazı programlama dillerini çalıştırma bilgisine sahip olmalıdır. (Bu tezde tüm programlar Fortran dilinde yazılmıştır) [8,9].

*Matris metodlarına alışık olmalıdır. Herhangi bir program boyunca, matris çarpımı, inversiyon, v.s. gibi işlemler sık sık bulunur. Gerçekten yapısal kafeslerin matris analizine ait önceki tecrübeler sonlu eleman işlemlerine faydalı bir tanıtım olarak hizmet eder.

*Sonlu eleman metodları bilgisine sahip olmalıdır. Yöntemin teorik ifadelerini tam olarak bilmek tabii ki gereklidir.

*Problemin fizik ve mühendislik varsayımlarının farkında olmalıdır.

BÖLÜM 2. SONLU ELEMANLAR METODU TANITIMI VE TEORİSİ

2.1. TANITIM

Sonlu Elemanlar Metodu (Finite Element Method) geniş çapta tatbik edilebilen bir mühendislik yöntemi olarak uygulama gelmiştir. Yakın zamana kadar, metod, araştırmacıların taban bilgi alanı veya soyut olarak kabul ediliyordu. Ancak günümüzde metod teknolojinin birçok dallarında dizayn maksatları için kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar metodunun başlıca avantajlarından biri, muhtelif mühendislik problemlerinin çözümünü veren birleştirme yaklaşımıdır.

Metodun gerilme analizi problemleri için ilk gelişmesi esnasında, metod esas olarak yapının herhangi bir sayıda ayrı düğüm noktalarında fiziksel olarak birleşen elemanlardan oluştuğunun kabul edildiği fiziksel bir yorum üzerine kurulmuştur. Daha sonra metodun yapısal (Structural) mekanik problemlere uygulanması Virtual İş Metodları sayesinde geliştirilmiştir. Daha sonra metod genelleştirilmiş ve daha geniş matematiksel temellerinin farkına varılmıştır. Sonlu elemanların bir değişmeli fonksiyonelliğinin bulunduğu herhangi bir matematik problemine uygulanabileceği meydana çıkarıldı.

Son zamanlarda Ağırlıklı Artık Metodları (Weighted Residual Methods) olarak bilinen tanınmış klasik teknikler üzerinde kurulmuş olan sonlu elemanlar çözümleri geliştirilmiştir. Örneğin; Galerkin, sıraya koyma (Collocation) ve En Küçük Kareler Yaklaşımı (Least Squares Approximation) gösterilebilir. Gerçekte metod yaygın olarak uygun sınır ve başlangıç koşullarına maruz kısmi diferansiyel denklem sistemlerinin çözümü için genel bir sayısal teknik olarak tanınmıştır.

Mühendislik, fizik ve uygulamalı matematikte, Sonlu Elemanlar Metodunun üç ana uygulama alanı olduğu söylenebilir [6,12]. Bunlar :

a) Sistemin zamanla değişmediği denge problemleri (Equilibrium Problems). Bu şekildeki problemler örnek olarak, düzgün elastik sistemlerin gerilme analizi, elektrostatik manyeto-statik, sabit durum ısı iletilmesi ve delikli ortamlarda sıvı akışı gösterilebilir. Yapı ilk olarak üzerinde ana değişkenlerinin bulunacağı, elemanlar (Elements) olarak adlandırılan yeterli sayıda olan bağımsız bölgelere ayrılır. Bu elemanlar çevrelerindeki farklı sayıda, nod veya düğüm noktaları (Nodal Points) olarak bilinen noktalarda bağlanırlar

b) Öz değer problemleri (Eigenvalue Problems), belli parametreleri spesifik veya kritik değerlerinin tayin edilmesinin gerektiği denge problemlerinin uzantıdır. Yapıların dengesi ve düzgün elastik sistemlerin doğal frekanslarının tayini bu tür problemlere örnektir. Bir titreşim probleminin sonlu elemanlar çözümünde, herbir mod şekil veya hakiki vektörel belirli bir frekans veya hakiki değer arasında ilişki kurur.

c) Yayılma Problemleri (Propagation Problems), içerisinde bazı zamana bağımlı olayların gerçekleştiği problemleri içerir. Hidrodinamik ve elastik sürekliliğin dinamik süreksiz analizi bu tür problemlere iki örnektir.

2.2. SONLU ELEMANLAR METODU

Süreklili ortamların çok küçük bölgelere ayrılarak temsil edilmesi düşüncesine dayanır. Bu küçük bölgelere de sonlu elemanlar denir .

Mekanikte sonlu ve büyük elemanların her türlü mukavemet problemlerini sayısal matematik yardımıyla çözmeye yarayan metodlardan bir tanesi de Sonlu Elemanlar Metodu'dur. Sonlu Elemanlar Metodunun bugün mekanikte yaygın kullanılmasındaki en büyük etken bilgisayar teknolojisinin hızlı bir şekilde gelişmesidir . Sonlu elemanlar metodu (SEM)'nin temelini oluşturan denklem sistemleri, zorunlu olarak matris hesaplamaları yardımıyla kurulur. Analizi gerçekleştirilecek sistem (Yapı) diye adlandırılır ve bu sistem nodlar (düğüm noktaları) ile birbirine bağı olan uygun elemanlara bölünür. Çünkü elemanlar 2- veya 3- boyutlu yapıları, yapının geometrisine çok bağımlıdır. Sistem böylece SEM ile çözülebilecek hale gelmiştir.

SEM uygulamaları üç şekilde olur. Bunlar:- a-) DEPLASMAN METODU b-) KUVVET METODU c) KARMA METOD yöntemleridir. Birinci yöntemde nodların kayması, ikinci yöntemde ise iç kuvvetler bilinmeyenler olarak değerlendirilir. Karma yöntemi ise iç kuvvetler metodu ve deplasmanlar metodu her ikisi de değişken kabul eder.

Bu yüksek lisans tezinde birinci yöntem seçilmiş olup, üç boyutlu elemanların (X, Y, ve Z koordinat sisteminde) gerilme ortamındaki analizi için bir uygulama yapılmıştır.

2.3. SONLU ELEMANLAR SİSTEMİNİN TEKNOLOJİSİ

Gağdaş anlamda SEM'in ortaya çıkması birçok bilim adamı ve matematikçinin katkısıyla gerçekleşmiştir. Matematikçilerin sayısal çözüm yöntemlerini geliştirmeleri, mühendislerin de çözümü zor olan problemler için sonlu elemanlara bölme düşüncesini ortaya atmaları SEM'in gelişmesinin temel taşlarını oluşturmuştur. SEM ilk olarak yapısal problemlerde uygulanmaya başlandığı zaman formülasyon için deplasman matris yöntemi uygulanmaktaydı. Fakat 1955 yılından sonra enerji ve varyasyon yöntemlerinin uygulamaya sokulması ile birlikte SEM çok büyük ölçekteki ve çok değişik alanlardaki problemlere uygulanabilir duruma gelmiştir. Bilgisayarların gelişmeye başlaması ve ucuzlaması bu metodun daha da yaygınlaşmasını sağlamıştır.

2.4. SONLU ELEMENLER METODUNA GİRİŞ

Daha önce belirtildiği gibi SEM mekanik yapıların statik, dinamik veya termik, plastik ve elastik uyumunu bulmada kullanılan bilgisayar destekli bir metottur. Manual olarak yapılan hesaplamaların uzun sürede yapılması ve bu hesaplamalarda hata oranının fazla olması metodun gelişmesine yardımcı olmuştur. Sonlu Elemanlar Metodunda yapılacak olan ilk iş, sistemin çözüleceği bölgeyi elemanlara ayırmaktır. Bu işlem, aynı zamanda sonsuz serbestlik dereceli sisteme dönüştürmek anlamındadır. Elemanların şekil seçiminde dikkat edilecek önemli husus, seçilen elemanların boyutları ve sayıları sistemi en iyi temsil edecek hesapları da en aza indirecek şekilde olmalıdır.[7]

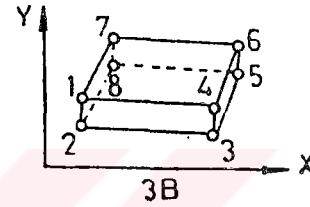
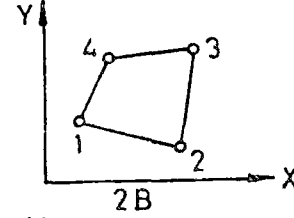
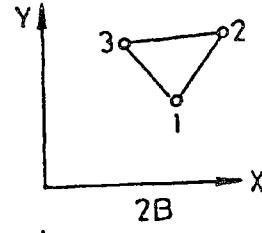
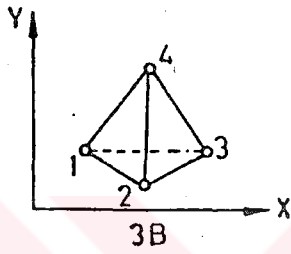
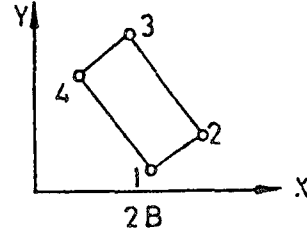
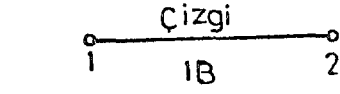
2.5. SEM'DE KULLANILAN BAŞLICA ELEMAN TIPLERİ

Sonlu elemanlar metodunda kullanılan elemanlar çoğunlukla;

- 1- Bir boyutlu analizde elastik çubuk,
- 2- İki boyutlu analizde üçgen ve dörtgen,
- 3- Üç boyutlu analinde ise dört yüzlü elemanlardır.

Fakat bunun yanı sıra yay, dörtkenarlı , paralelkenar, dikdörtgen prizma ve altıyüzlü gibi elemanlar da gerektiğinde kullanılır.

Geometrik açıdan eğri bir yapıya sahip olan sistemlerde ise eğri elemanların kullanılması daha çok yararlıdır. Örneğin eğri kenarlı dörtyüzlü, eğri kenarlı altıyüzlü kullanılabilecek eleman tiplerinden birkaç tanesidir.



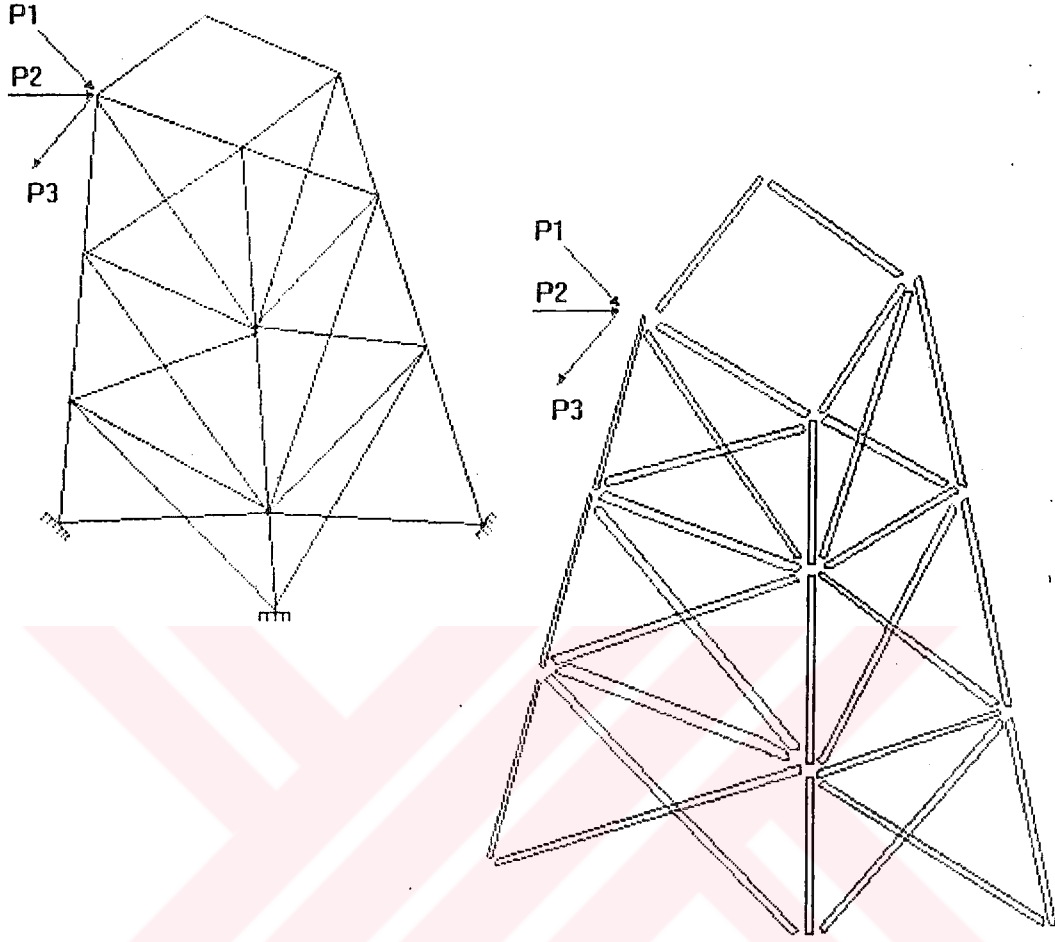
2.5.1. METODDA KULLANILACAK OLAN ELEMAN TİPİNİN SEÇİMİ

Seçilecek elemanın tipi genelde çözümü yapılacak olan sisteme bağlıdır. Örneğin bir kafes yapı sistemi analiz yapılmak isteniyorsa, seçilecek olan en uygun eleman tipi çubuktur. O halde bu kafes sistemini çubuklara ayırdığımızda sistemi çözmek oldukça kolaylaşır. Aşağıdaki örnek bunu daha da iyi bir şekilde açıklamaktadır.

Eleman tipleri seçiminde istenen serbestlik derecesi, sonuçtan beklenen kesinlik, gereken denklemlerin oluşturulmasındaki kolaylık ve bazı yaklaşımlara gerek kalmaksızın fiziksel yapının modellenenebilmesi başlıca etkenlerdir. Ancak bazı sistemler yapı itibarı ile bir tek eleman tipi kullanılarak modellenemez. Bundan dolayı değişik eleman tiplerini kullanmak mümkündür.

2.5.2. ELEMAN BOYUTLARI

Elemanların boyutları çözümde kesinliği doğrudan etkiler. Eleman boyutları küçüldükçe sonuçtaki kesinlikte o derecede artar. Ancak, elemanların boyutlarındaki küçülmenin hesaplama süresini uzatacağı unutulmamalıdır.

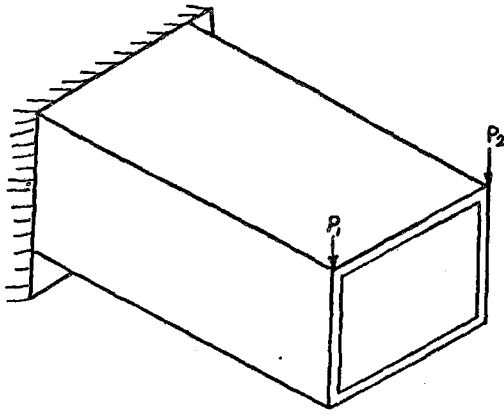


Şekil : 2-1 Kafes Sistemi Yapı Analizi

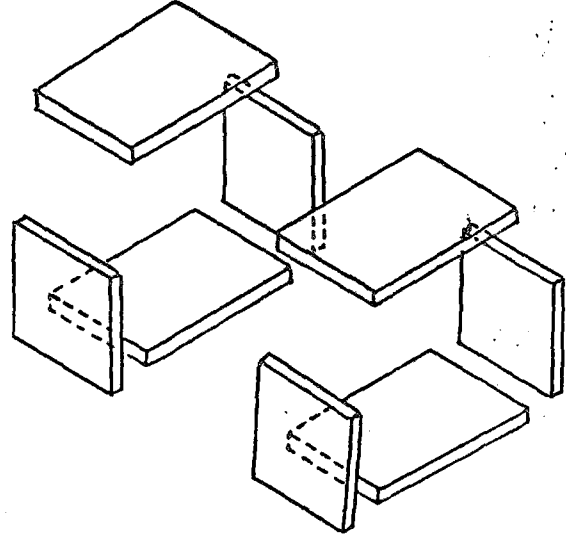
Bazen aynı yapı içerisinde farklı boyutta elemanlar da kullanılır. Genel olarak problem değişkenlerinin ani değişimler göstermesi beklenen bölgelerde elemanlar küçük seçilmelidir. Sonucun kesinliği üzerinde bir başka etken de elemanların açıklık oranıdır. Örneğin; iki boyutlu elemanlar için açıklık oranı, elemanın en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranıdır.

2.6. ELEMAN SAYISI

Sistemin sonuçlarındaki kesinlik seçilen eleman sayısına bağlıdır. Eleman sayısı arttıkça sonuçtaki kesinlik o derecede artar. Bununla birlikte elemanların boyutları ve sistemin serbestlik derecesi de kesin netice alınmasını etkileyen faktörlerdir. Çünkü eleman sayısı arttıkça serbestlik derecesi de artacağından elde edilen matrisler bilgisayar hafızasına sığmayabilir.

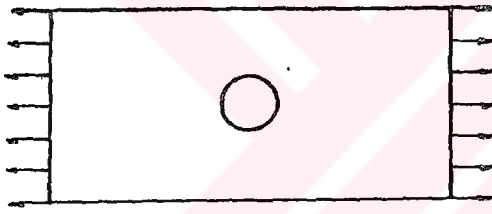


Orjinal yapı

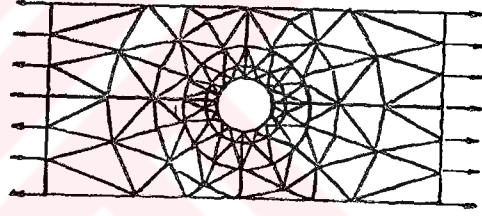


Aynı boyda elemanlarla modelleme.

Kutu kiriş



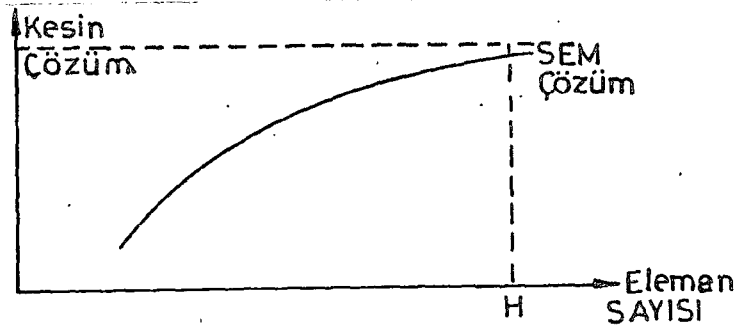
Orjinal yapı



Değişik boyda elemanlarla modelleme.

ŞEKİL: 2.2.

Şekil (2.3) kesin çözüm ile SEM ile yapılan çözüm arasındaki bağlantıyı göstermektedir. Görüldüğü gibi H 'dan sonra önemli bir değişiklik olmamaktadır.[10]

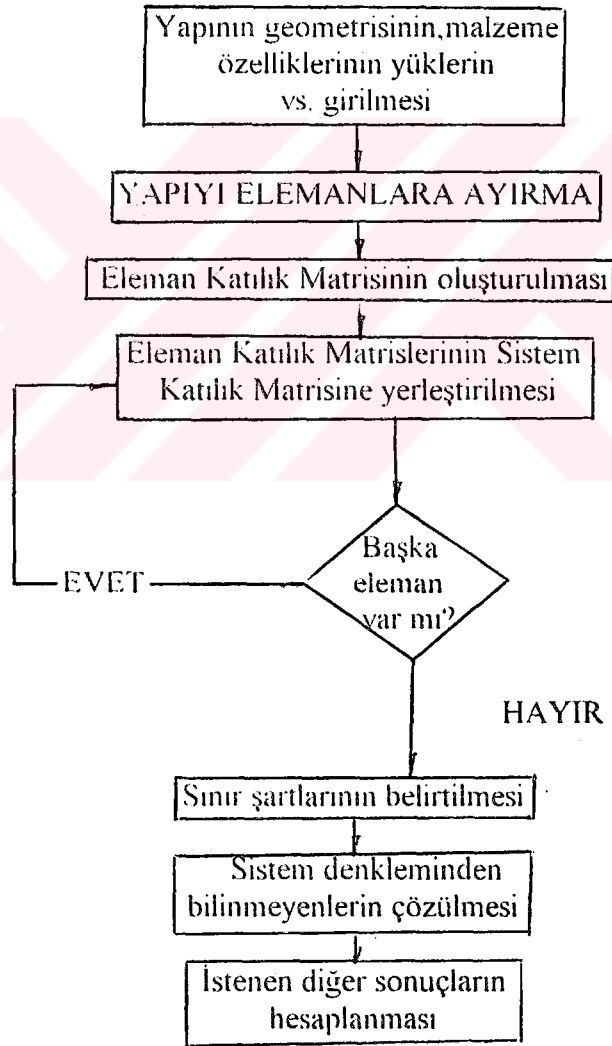


ŞEKİL: 2.3

2.6.1. NODLARIN YERLEŞTİRİLMESİ

Sistemin geometrisi eğer sıcaklık ve yük gibi dış ortamda ani deęiŐmelere uğramıyorsa sistem eşit boyda elemanlara ayrılabilir. Tabii bununla birlikte düğüm noktaları arasındaki uzaklıklar da eşit olabilir. Burada dikkat edilecek bir husus da eğer sistemde bir süreksizlik mevcut ise nodların bu süreksizliklerin bulunduğu yerlerde fazlalaŐtırılması gereklidir.

S.E.M. AKIŞ ÇİZELGESİ



ŞEKİL: 2.4

2.6.2. SONSUZ YAPILARIN MODELLENMESİ

İncelenecek olan sistemlerin sınırları genelde açıkça belirtilir. Ancak yapıların temelleri, barajlar ve yarı sonsuz yapılarda olduğu gibi bazı durumlarda sınırlar tam olarak tanımlanamayabilir. Sistemin geometrisi uniform yapıya sahip ise, yükler uzunluk boyunca değişmediğinden sistemin küçük bir dilimi, sistemin modellenmesinde yeterlidir. Örneğin; barajlar temel problemleri yarı sonsuz olduğundan, sistemi sonlu elemanlara ayırmak mümkün değildir. Bu nedenle yapıyı sonsuz olarak düşünmek yerine yüke yakın bir bölge ele alınır. Çünkü yükleme noktasından uzaklaştıkça yükün etkisi düşer.

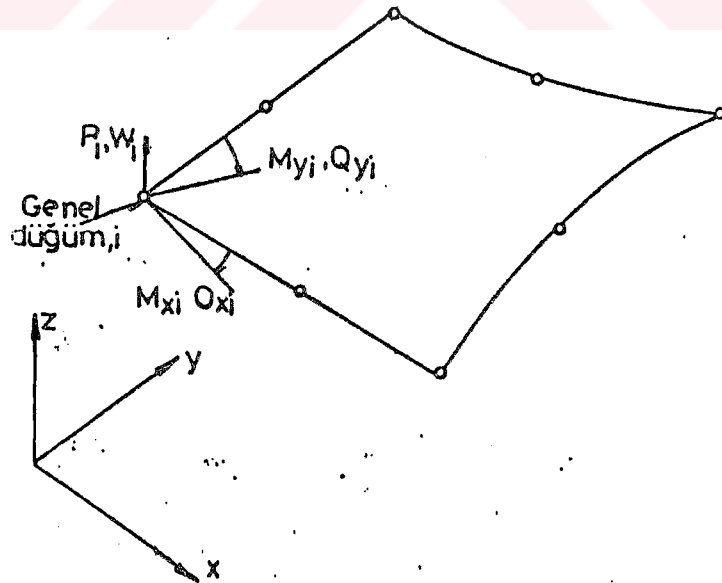
Buraya kadar "Sonlu Elemanlar Metodu" hakkında bilgi ve bu metodu kullanırken dikkat edilmesi gereken hususlar ve metodda takip edilecek yol açıklanmaya çalışılmıştır. Bunları anlatıldıktan sonra akış çizelgesini yapmak, metodun anlaşılmasını daha da kolaylaştıracaktır. Şekil 2.4

2.7. SONLU ELEMENLAR DEPLASMANLAR (Yerdeğişimi) METODU

2.7.1. Temel Düğüm Değişkenleri - Genelleştirilmiş Deplasmanlar

Burada sadece kiriş yapısal uygulaması göz önünde tutulmasına rağmen, çeşitli tercihler, düğüm değişkenlerinin seçimi için hala açık kalmakta ve problemler birkaç farklı tarzdaki formül halinde ifade edilebilmektedir. Deplasmanları veya gerilmeleri veya ikisinin birleşiminin temel değişkenler olarak gözönüne alınmasıyla alternatif yaklaşımlar sunulmaktadır. Eğer hesaplanmış deplasman alanından tayin edilen gerilmelerle, asıl bilinmeyenler olarak deplasmanlar seçilirse, işlem Deplasman Metodu (Displacement Method) olarak adlandırılır ve matris analizinin Deplasman Metoduna benzerliğinden dolayı mühendislere hitap eder.

Değer taraftan, asıl bilinmeyenler olarak gerilmeler ile ilerlemek mümkündür ki bu Denge Metodu (Equilibrium Method) olarak adlandırılan bir yaklaşımdır. Eğer gerilmeler ve deplasmanların her ikisi birlikte değişkenler olarak kullanılırsa, metodun karma (Mixed) veya melez (Hybrid) olduğu söylenir. Burada sadece deplasman modeli kullanılacaktır. Gerek duyulan bileşenlerin tümü, doğrudan doğruya deplasmanlar olarak fiziksel anlamda yorumlanamayabileceğinden, kullanılan deplasman değişkenlerine genelleştirilmiş yerdeğişimleri (Generalised Displacements) denir [6]. Örneğin, Şekil 2.5 eğik disk analizindeki durumu göstermektedir.



Şekil: 2.5. Eğik Disk Elemanı için Genelleştirilmiş kuvvetler ve deplasmanlar

Burada i'inci düğümde w_i düşey sapmasına ilaveten sırasıyla xz ve yz düzlemlerindeki orta yüzlere dikeyin Q_{xi} ve Q_{yi} dönmeleri, deplasman değişkenleri olarak seçilmektedir. Daha sonra düğüm kuvvetleri seçilmelidir. Bunlar genelleştirilmiş kuvvetler (generalized forces) olarak isimlendirilir. Yapısal uygulamalar için temel ihtiyaç, genelleştirilmiş deplasman ve buna karşılık gelen genelleştirilmiş kuvvet sonucunun bir iş terimini teşkil etmesidir.

Ardından her bir eleman için genelleştirilmiş deplasmanlar ve kuvvetler kısımlara ayrılmış bir şekilde yazılabilir :

$$\delta^e = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_n \end{bmatrix} \quad F^e = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Burada, bir elemanın n tane düğüm noktasına sahip olduğu kabul edilmektedir. Örneğin, disk eğme uygulamalarında (2.1) tipik terimler;

$$\delta_i = \begin{bmatrix} w_i \\ Q_{xi} \\ Q_{yi} \end{bmatrix} \quad F_i = \begin{bmatrix} P_i \\ M_{xi} \\ M_{yi} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

şeklinde dir.

Burada P_i diske dikey uygulanan düğüm yükü M_{xi} ve M_{yi} şekil 2.5'te gösterildiği gibi sırasıyla xz ve yz düzlemlerinde uygulanan düğüm rotatif kuvvetleridir.

İki boyutlu elastiklik için genelleştirilmiş kuvvetler ve deplasmanlar basit olarak şu şekildedir :

$$\delta_i = \begin{bmatrix} U_{xi} \\ V_{yi} \end{bmatrix} \quad F_i = \begin{bmatrix} P_{xi} \\ P_{yi} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Burada, U_i , V_i ve P_{xi} , P_{yi} sırasıyla düğüm deplasmanları ve kuvvetlerin kartezyen bileşenleridir.

Böylece düğüm deplasmanlarını tayin ederek, eleman içerisindeki herhangi bir noktanın deplasmanları, bu düğüm deplasmanlarına dayanarak genellikle uzaysal koordinatların fonksiyonları olan bir cebirsel fonksiyonlar dizisi N_i vasıtası ile ifade edilirler. Bu fonksiyonlara şekil fonksiyonları (shape function) denilmekte ve bunlar[10];

$$\begin{aligned} N_1(X') &= 1 - (X'/L) \\ N_2(X') &= X'/L \end{aligned} \quad (2.4)$$

şeklindedir. Böylece eleman içinde bir noktadaki deplasmanı şu şekilde ifade edilebilir.

$$\delta = \begin{bmatrix} U \\ V \end{bmatrix} = N \delta^e = \sum_{i=1}^n N_i \delta_i \quad (2.5)$$

Genelleştirilmiş kuvvetler ve deplasmanlar arasındaki ilişkiyi belirtmeden önce, ilk olarak deplasmanlarına dayanarak deformasyonları tayin etmek ve ardından gerilmelerin ve deformasyonların karşılıklı dayanışmasını dikkatle gözden geçirmek gereklidir.

2.7.2. Deformasyon - Deplasman İlişkisi

Eleman içindeki deformasyonlar, deplasmanlar veya onların türevleri ile ilgili olarak kolaylıkla ifade edilmektedir. Örneğin, düzlem gerilme durumlarında, deformasyonlar şu şekilde tanımlanmaktadır :

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} du/dx \\ dv/dy \\ du/dy + dv/dx \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

(2.5)'den deplasmanlarını yerine konulursa aşağıdaki sonuç elde edilir :

$$\varepsilon = B \delta^e = \sum_{i=1}^n B_i \delta_i \quad (2.7)$$

Burada,

$$B_i = \begin{bmatrix} dN_i/dx & 0 \\ 0 & dN_i/dy \\ dN_i/dy & dN_i/dx \end{bmatrix} \quad \text{'dir. (2.8)}$$

Böylece, eleman deformasyonları doğrudan doğruya düğüm deplasmanlarına dayanarak, deformasyon matrisi olarak uygun şekilde isimlendirilen **B** matrisi vasıtasıyla ifade edilir.

2.7.3. Teşekkül Kuralı

Gerilmeler ve deformasyon arasındaki ilişki, planlanan uygulamaya da bağlıdır. Düzlem gerilme durumları için deformasyonların gerilme bileşenlerine dayanarak ifade edilebilirliği kolaylıkla ispat edilmektedir.

$$\begin{aligned}\varepsilon_x + \varepsilon_x^0 &= (1/E)\sigma_x - (\nu/E)\sigma_y \\ \varepsilon_y + \varepsilon_y^0 &= (1/E)\sigma_y - (\nu/E)\sigma_x \\ \gamma_{xy} + \gamma_{xy}^0 &= ((1+\nu)/E)\tau_{xy}\end{aligned}\quad (2.9)$$

Burada, σ_x , σ_y , τ_{xy} gerilme bileşenleri, ε_x^0 , ε_y^0 , γ_{xy}^0 , katıda mevcut olan başlangıç deformasyonlarıdır. E ve ν sırası ile elastikiyet modülü ve poisson oranıdır. Başlangıç deformasyonları, termik deformasyonlar veya dislokasyonlar olarak açıklanabilecektir. (2.9) denklemleri, gerilmeler ve yükleme ilave edilmeden önce gövdede mevcut olan herhangi bir başlangıç gerilmesi katkısı σ^0 için çözüldüğünde, ortaya çıkan gerilmeler şu şekilde yazılabilir.

$$\sigma = D(\varepsilon - \varepsilon^0) + \sigma^0 \quad (2.10)$$

Burada,

$$D = \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2}(1-\nu) \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

ve ;

$$[\sigma^0]^T = [\sigma_x^0, \sigma_y^0, \tau_{xy}^0] \quad \text{'dir.} \quad (2.12)$$

Bu suretle gerilmeler (2.10)'deki deformasyonlarla ilgili olarak **D** matrisi vasıtasıyla tamamen tanımlanır [11].

2.7.4. Denge Denklemleri - Virtüel İş

Düğümlere uygulanan kuvvetlere iek olarak, yayılmış gövde kuvvetlerine de maruz olan bir eleman dengesini düşünelim. Uygulamada bunlar, örneğin ağırlık yüklemesi veya

santrifüj etkileri olabilecektir. Bu yayılmış kuvvetler, düzlem gerilme durumlarında aşağıdaki ifade vasıtasıyla belirtilebileceklerdir.

$$P = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Burada, X ve Y birim malzeme hacmi başına kartezyen gövde kuvveti bileşenleridir.

Bir elemana ait denklemler, yapısal uygulamalar için toplam potansiyel enerji olarak yorumlanabilir. Toplam potansiyel enerji

$$\pi_e = \frac{1}{2} \int_{V_e} [\delta^e]^T [B]^T DB \delta^e dV - \int_{V_e} [\delta^e]^T [N]^T p dV - \int_{S_e} [\delta^e]^T [N]^T q ds$$

şeklinde yazılabilir. Burada, (V_e) eleman hacmi ve (S_e) yüklenmiş eleman yüzey alanıdır. Düğüm yerdeğiştirmeleri (δ^e) 'ye göre (e) elemanı için minimuma indirgeme işleminin gerçekleştirilmesi şu sonucu doğurur :

$$\begin{aligned} d\pi_e/d\delta^e &= \int_{V_e} ([B]^T DB) \delta^e dV - \int_{V_e} [N]^T p dV - \int_{S_e} [N]^T q ds \\ &= K^e \delta^e - F^e \end{aligned} \quad (2.14a)$$

Burada,

$$F^e = \int_{V_e} [N]^T p dV + \int_{S_e} [N]^T q ds \quad (2.14b)$$

F^e elemana ait eşdeğer düğüm kuvvetleri (Equivalent Nodal Forces) 'dir, ve

$$K^e = \int_{V_e} [B]^T DB dV \quad (2.14c)$$

(K^e) eleman katılık matrisi (Element Stiffness Matrix) olarak isimlendirilir. (2.14a) denklemindeki baştan başa bütün elemanlara ait terimlerin toplamı sifıra eşitlendiğinde tüm sürekli ortam için denge denklemleri sistemi meydana gelir. Daha sonra, bu denklemler düğüm yerdeğiştirmelerini verecek herhangi bir standart yöntem vasıtasıyla çözülür [14].

Diğer bir yaklaşım, virtüel iş teoreminin doğrudan bir uygulamasıyla sunulmakta ve denklemler, başlangıç gerilmeleri ve deformasyonlar ile birlikte bu prensibi kullanarak tekrar çıkarılacaktır. Denge sağlayan bir gerilme alanı σ 'yı getiren, F^e düğüm yükleri ve P gövde kuvvetlerinin etkisi altında olan tek bir eleman düşünün. Bu elemanın sırasıyla uygun δ_* iç deplasmanı ve σ_* deformasyon dağılımlarını meydana getiren, δ_*^e keyfi

gerçek bir düğüm deplasmanı kalıbına maruz kaldığını farzedin. Netice olarak, vırtüel iş prensibi aşığıdaki ifadeyi gerektirir ;

$$[\delta_*^o]^T F^e + \int_{ve} [\delta_*^o]^T p \, dv = \int_{ve} [\epsilon_*^o]^T \sigma \, dv \quad (2.14d)$$

Burada integrasyon eleman hacmi üzerindedir. (2.5) ve (2.7) denklemlerinin kullanımını şu şekilde sonuç verir :

$$[\delta_*^e]^T \{ F^e + \int_{ve} [N]^T p \, dv \} = [\delta_*^e]^T \int_{ve} [B]^T \sigma \, dv \quad (2.15)$$

Gerçek düğüm deplasman sistemi keyfi olduğından dolayı üstteki ifade δ_*^e 'nin tüm değerlerini içermelidir. bundan dolayı.

$$F^e + \int_{ve} [N]^T p \, dv = \int_{ve} [B]^T \sigma \, dv \quad (2.16)$$

olacaktır. (2.10) denkleminde s için yerine koyarsak,

$$F^e + \int_{ve} [N]^T p \, dv = \{ \int_{ve} [B]^T DB \, dv \} \delta^e - \int_{ve} [B]^T D \epsilon^o \, dv + \int_{ve} [B]^T D \sigma^o \, dv \quad (2.17)$$

veya,

$$F^e + F_p^e + F_{\epsilon^o}^e + F_{\sigma^o}^e = K^e \delta^e \quad (2.18)$$

elde edilir. Burada,

$$K^e = \int_{ve} [B]^T DB \, dv \quad (2.19)$$

$$F_p^e = \int_{ve} [N]^T p \, dv \quad (2.20)$$

$$F_{\epsilon^o}^e = \int_{ve} [B]^T D \epsilon^o \, dv \quad (2.21)$$

$$F_{\sigma^o}^e = - \int_{ve} [B]^T D \sigma^o \, dv \quad (2.22)$$

(2.14d)'den (2.18)'ye kadar ifadelerin sadece tek bir eleman düşünöldüğünde doğru olduğı vurgulanmalıdır. Birden çok eleman için bu denklemlerdeki tüm terimleri, yapıda mevcut tüm elemanlar üzerine toplanmalıdır. (2.19)'den (2.22)'e kadar olan ifadeler sırasıyla, eleman katılık matrisi, gövde kuvveti için eşdeğer düğüm kuvvetlerinin, başlangıç gerilme yüklemelerini tanımlamaktadır.

2.7.5. PROGRAMDA KULLANILAN RİJİTLİK MATRİSİ

Bu tezde oldukça sık kullanılan STIFNES (STIFFNEES) kelimesi ingilizceden alınmıştır. Kelime anlamı itibarı ile eğilmezlik veya bükölmezlik yani rijitlik veya katılık demektir. Yapı statikinde stifnes denildiğı zaman, belirli bir doğrultuda eleman bir

deplasman temin edebilmek için sisteme etki etmesi gereken kuvvet demektir. Bunu belirtirken istenilen deplasmanın ve etki eden kuvvetin doğrultusu, yönü ve etki ettiği nodların (düğüm noktaların) açıkça belirtilmesi gerekir.

(2.18) katılık denklemleri bütün yapı için monte edilir ve düğüm deplasmanları için çözülür. (2.7) ve (2.10) ifadelerinin kullanım ile eleman gerilmeleri şu ilişkiden elde edilir :

$$\sigma = D (B \delta^e - \varepsilon^0) + \sigma^0 \quad (2.23)$$

2.7.6. Sınırlarda Yayılmış Yükleme

Bir eleman yüzeyinin çekme kuvvetlerine maruz kaldığını farzedin.

$$t = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Burada t_x ve t_y sırasıyla x ve y yönlerinde birim yüzey alanına düşen kuvvet bileşenleridir.

$$\int_{S_e} [\delta_*]^T t dS \quad (2.25)$$

(2.25) ilave terimi şimdi (2.14d) denkleminin sol tarafında görülmektedir. (2.25) 'deki integrasyon, yüklenmiş eleman yüzeyi üzerinden alınır. Bu, (2.18) denklemin sol tarafında bulunan ilave eşdeğer düğüm kuvveti terimi F_t^e 'yi doğurur. Burada,

$$F_t^e = \int_{S_e} [N]^T t dS \quad \text{'dir.} \quad (2.26)$$

Böylece yayılmış yüzey yüklemelerine eşdeğer düğüm kuvvetleri olarak alınırlar. Eğer birden fazla eleman mevcut ise, tekrar herbir eleman katkısı toplanmalıdır.[12]

Sınır şartları, bütünsel rijitlik matrisinde doğrudan verilir.

2.8. Çubuk (Kiriş) Elemanların Modellenmesi

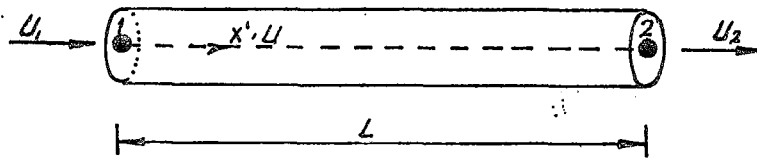
2.8.1. Tanım

Bu bölümde, enine kesme deformasyonu (Transverse Shear Deformation) etkilerinin önemli olabileceği kirişleri analiz etmek için kullanılan doğru çizgi elemanın sonlu elemanlar formülasyonu elde edilecektir.

Bu bölümde amaçlanan, daha sonra üç boyutlu (3D) elemanlar için tartışılacak belirli kavramları tanımlamak amacıyla bir boyutlu (1D) kiriş elemanının basit örneği kullanılmaktadır. Bu kavramalar, altprogramların geliştirilmesinde, kiriş elemanı için katılık ve gerilme matrislerinin ve eşdeğer yük vektörlerinin değerlerinin tayininde kullanılır.

Her zamanki kiriş eleman tiplerinden farklı olarak, kiriş elemanı, formülasyonda eğilmenin göz önüne alınmasına ek olarak kesme sebebiyle oluşan enerjiden dolayı enine kesme deformasyonu da hesaba katılabilir. Eleman oldukça çok yönlüdür ve sadece kesme deformasyonun ihmal edilebildiği ince kirişleri değil, fakat kesme etkilerinin önemli olduğu kalın kirişleri ve sandviç konstrüksiyonundaki kirişleri analiz etmek için de kullanılabilir. Bununla beraber, biz sadece homojen kısmı kirişleri göz önüne alacağız.

(Şekil 2.6)'deki elemanın uzunluğu L , kesit alanı A ve elastisite modülü E ise bu elemanın tanımlayabilmemiz için birinci nodu (düğüm) 1 ve bu nodun deplasmanı u_1 olacak ise diğer nodu 2 ve bu nodun deplasmanı u_2 olacaktır. Göz önüne alınan bu kiriş elemanı tek eksenli ve eksenini x eksenine paralel olarak alınmıştır. Daha sonra çubuk eleman döndürülmüş durumu da kiriş elemanlar için tartışılacaktır. Fakat belirli kavramları tanımlamak amacıyla eleman tek eksenli ve eksenini x eksenine paralel olan kiriş elemanının basit örneğini kullanılmaktadır.



ŞEKİL : 2.6 Tek Eksenli Kiriş Elemanın Geometrisi Ve Topolojisi

2.8.2. Deplasmanların İnterpolasyonu ve Eleman Şekil Fonksiyonu

İnterpolasyon işlemi başlamadan önce ilk olarak elemanın lokal koordinat sistemi bulmaya çalışalım. Bunun için, eleman orijini 1 nolu düğüm yapıldıktan sonra bu orijin noktasından başlayan aksenal koordinatı x' kabul edelim. x' eksenine göre 1. düğümün ve 2. düğümün koordinatları sırasıyla 0 ve L olacaktır. Bundan sonra, interpolasyon yapabilmek için model hazır hale gelmiş olup aksenal deplasmanlar u , x' e göre yapılabilmektedir. Bu interpolasyon lineer kabul edilirse,

$$u(x') = \alpha_1 + \alpha_2 x' \quad (2.27)$$

elde edilir. α_1 ve α_2 değerleri $u(0) = u_1$ ve $u(L) = u_2$ değerlerine bağlıdır.

$$\alpha_1 = u_1, \\ \alpha_2 = (u_2 - u_1)/L$$

Eğer (2.27) denklemini,

$$u = n_1(x')u_1 + n_2(x')u_2, \quad (2.28)$$

şeklinde yazarsak,

$$n_1(x') = 1 - x'/L \text{ ve } n_2(x') = x'/L \quad (2.29)$$

elde edilir. Burada, $n_1(x')$ ve $n_2(x')$ 'ne eleman şekil fonksiyonları (Shape Function) denilmektedir. Bir eleman iki düğüm noktası ve iki şekil fonksiyonuna sahiptir. Eleman sayısının artması, düğümler ve şekil fonksiyonlarının artmasına neden olur ve problem kompleks hale gelir. Bu nedenle için (2.28) denklemini matris şeklinde yazılacak olursa,

$$\mathbf{u} = \mathbf{N}^e \delta^e \quad (2.30)$$

elde edilir. Burada,

$$\mathbf{u} = [u], \quad \mathbf{N}^e = [n_1(x'), n_2(x')]$$

ve

$$\delta^e = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Notasyon :

\mathbf{u} = Kolon vektör ve deplasmanlar bulunur. 1×1 matris.

\mathbf{N}^e = Şekil matrisi. 1×2 matris.

δ^e = Kolon vektör ve nodal deplasmanları verir. 2×1 matris.

Buradaki matrisler bir eleman için yazılmıştır. Elemanların artması ile matrislerin boyutlarının büyümesine neden olacaktır [10].

2.8.3. Gerilme - Deplasman Matrisi

İki boyutlu basit kiriş durumundaki elemanın gerilme-deplasman denklemi (2.6)'da verilmiştir. Eğer bu denklem basit bir eleman için yazılacak olursa;

$$\varepsilon_x = du/dx = u_1(dn_1/dx') + u_2(dn_2/dx') \quad (2.31)$$

(2.29) denklemi (2.31)'de yerine konursa ve gereken işlemler yapılırsa,

$$\varepsilon = B^e \delta^e \quad (2.32)$$

$$\varepsilon = [\varepsilon_x] \text{ ve } B^e = [-1/L, 1/L] \quad (2.33)$$

Burada; e Kolon vektör, deformasyonları içerir ve B^e Deformasyon-deplasman matrisini göstermektedir

Gerilmeleri hesaplayabilmek için HOOK Kanunu'nu hatırlarsak ;

$$\sigma_x = \varepsilon_x E$$

(2.33) denklemi Hook Kanunu'nda yerleştirilirse,

$$s = D \varepsilon_x = D B^e \delta^e \quad (2.34)$$

$$s = [\sigma_x] \text{ ve } D = [E] \quad (2.35)$$

Genel durumda s kolon vektör ve gerilmeler bulundurulur. D ise 1×1 matris ve elastisite göstermektedir.

2.8.4. Gerilme Enerjisi ve Elemanın Katılık Matrisi

Herhangi bir elemanın gerilme enerji yoğunluğu $\frac{1}{2}\sigma_x \varepsilon_x$ şeklinde yazılır. Gerilme enerjisi U^e ise aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$U^e = \int_0^L (\frac{1}{2}\sigma_x \varepsilon_x) A dx' \quad (2.36)$$

(2.34) denklemini (2.36) denkleminde kullanılırsa ve gereken düzenlemeler yapılırsa,

$$U^e = \int_0^L \frac{1}{2} \left(\frac{u_2 - u_1}{L} \right)^2 A dx = \frac{1}{2} k (u_2 - u_1)^2$$
$$k = E A / L$$
$$U^e = \frac{1}{2} (k u_2^2 + (-k) u_1 u_2 + (-k) u_1 u_2 + k u_1^2)$$

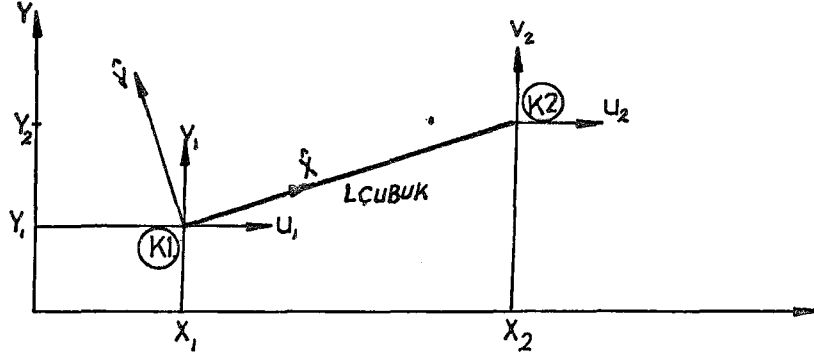
$$U^e = \frac{1}{2} [u_1 \ u_2] \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

elde edilir. (2.37) nolu denklem notasyonel şekilde yazılırsa,

$$U^e = \frac{1}{2} \delta^e T \mathbf{K}^e \delta^e \quad (2.38)$$

Burada, \mathbf{K}^e Eleman Katılık (Rijitlik) Matrisi (Element Stiffness Matrix) isimlendirilir [12].

2.9. İKİ BOYUTLU DÜZLEMDE ÇUBUĞUN TRANSFORMASYON İŞLEMİ



ŞEKİL: 2.7. İki Boyutlu Çubuğun Transformasyonu

Herhangi bir çubuğun nodları $K_1 (x_1/y_1)$, $K_2 (x_2/y_2)$ olarak verilmiş olsun. Bu nodların x ve y yönlerindeki deplasmanları olan U_1, V_1, U_2 ve V_2 'nin verildiğini kabul edip bunları yerel koordinat sistemine göre yazmak gerekir. Global sistemdeki birim vektörleri e_1 ve e_2 diye tanımlarsak;

$$e_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad e_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Nodların koordinatlarından birim vektörleri f_1 ve f_2 hesaplanmak gerektiğinde birinci noddan ikinci noda kadar olan birim vektör ise,

$$L_{\text{Çubuk}}^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \quad \text{ise}$$

$$f_1 = \frac{1}{L_{\text{Çubuk}}} \begin{bmatrix} x_2 - x_1 \\ y_2 - y_1 \end{bmatrix}$$

f_2 birim vektörü de, matematiki çevirme yönüne doğru (saatin ters yönünde) ve f_1 göre 90° döndürüldüğünde ;

$$f_2 = \frac{1}{L_{\text{Çubuk}}} \begin{bmatrix} -(y_2 - y_1) \\ x_2 - x_1 \end{bmatrix}$$

olarak bulunur. Buradan da transformasyon matrisi ;

$$D_2 = \frac{1}{L_{\text{çubuk}}} \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ -(y_2 - y_1) & x_2 - x_1 \end{bmatrix}$$

biçiminde olur:

$$x_2 - x_1 = L_{\text{çubuk}} \cdot \cos\alpha \quad \text{ve} \quad y_2 - y_1 = L_{\text{çubuk}} \cdot \sin\alpha$$

olduğuna göre bu değerleri yukarıdaki denklemde koyarsak ;

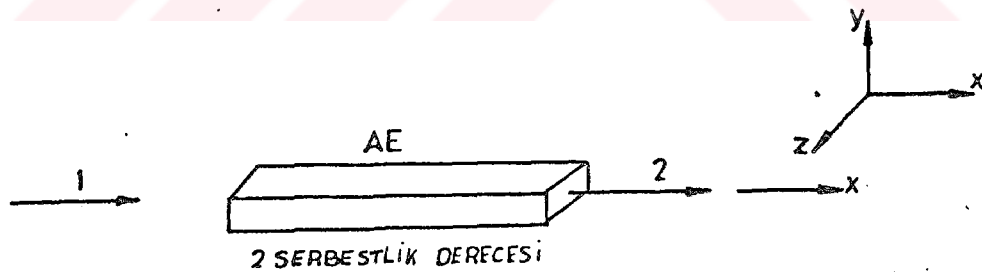
$$D_1 = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix}$$

elde edilir.

2.10. Serbestlik Derecesi

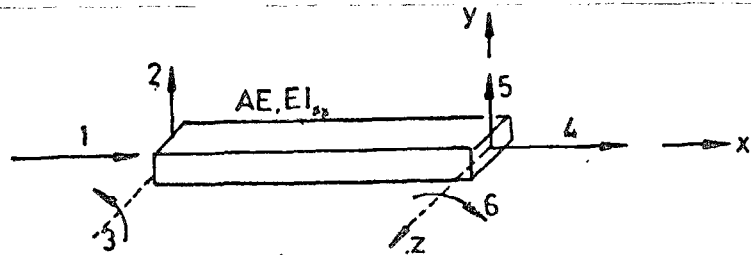
Serbestlik derecesini anlamak için herhangi bir elemanı gözönüne alalım. Bu elemanın tüm serbestlik derecelerini göstermeye çalışalım. Bunun için bir işaret kuralı belirleyip, bunun üzerinde tüm serbestlik derecelerini bir okla ve okun yönünde belirlenen işaret kuralında pozitif yönü göstermek şartıyla çizelim. Kuvvetleri gözönüne aldığımızda sistemin serbestlik derecesini böylece bulabiliriz. Bunu örnekle gösterdiğimizde serbestlik derecesi daha iyi anlaşılacaktır.

ÖRNEK 1



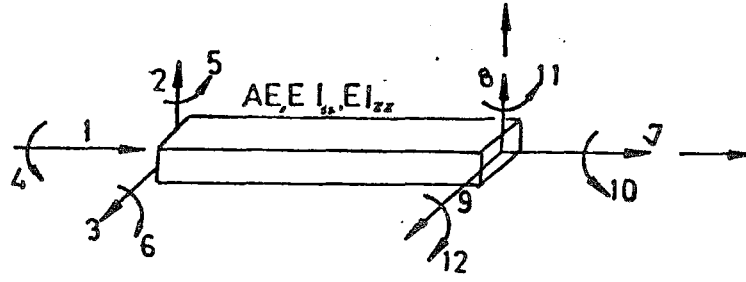
Bu örnekte yalnız bir eksende kuvvet bulunan bir çubuğun serbestlik derecesi ikidir.

ÖRNEK 2



Örnek 2 eğilebilen yapabilecek bir çerçeve çubuğu olduğundan, bu çubuğun serbestlik derecesi altıdır.

İki ayrı düzlemde eğim yapabilecek bir uzay çubuğunun serbestlik derecesini göstermek istersek.



12 SERBESTLİK DERECESİ

biçiminde olup serbestlik derecesi on ikidir.

2.11. KATILIK MATRİSİ VE KATILIK DENKLEMİ

Herhangi bir sistemdeki elemanın toplam serbestlik derecesinin karesi adedindeki katılık tesir katsayılarını içeren $R \times R$ boyutlu kare matrise katılık matrisi denir.

(R = Elemanın toplam serbestlik derecesi). Bu arada şunu da belirtmek gerekir ki, toplam serbestlik derecesi R^2 olan bir elemanın katılık katsayılarının adedi R dir. Buradaki katsayılar birbirlerinden tamamen bağımsız değildirler ve aralarında statik denge denklemini sağlarlar.

2.11.1. KATILIK TESİR KATSAYILARI

Sistemdeki elemanın tanımlanan tüm serbestlik dereceleri, doğrultularındaki deplasmanlar sıfır iken, yalnız bir doğrultudaki birim deplasman oluşturulması için, yine bu doğrultuda o eleman dıştan etki eden veya etki etmesi gereken kuvvettir.

Bunu biraz daha açıklamak gerekirse kuvvetin etki ettiği okun numarası i ile, birim deplasmanın bulunduğu yerdeki okun numarasına da j dersek, bu elemanın K_{ij} katılık tesir sayısını aşağıdaki gibi tarif edebiliriz.

K_{ij} = Elemanın bütün serbestlik dereceleri doğrultularındaki deplasmanlar sıfır iken yalnız j oku doğrultusunda birim bir deplasman oluşturabilmesi için i doğrultusunda elemana dıştan etkieden kuvvet demektir.

2.11.2. KATILIK MATRİSİ VE KATILIK DENKLEMİ

Bir katılık matrisindeki K_{ij} teriminin ilk indisi olan i , matristeki satır numarasını, ikinci indis j ise matristeki sütun numarasına denk gelir. Örnek 1'i ele alırsak, buradaki kafes çubuğunun uçlarındaki kuvvetler p_1 ve p_2 ile, uçlardaki deplasmanları d_1 ve d_2 ile gösterirsek, "KATILIK TESİR KATSAYILARI" tanımına göre uç kuvvetler ile uç deplasmanlar arasındaki bağıntı;

$$\begin{aligned} p_1 &= k_{11} \cdot d_1 + k_{12} \cdot d_2 \\ p_2 &= k_{21} \cdot d_1 + k_{22} \cdot d_2 \end{aligned}$$

şeklinde dir. Bunları genelleştirecek olursak;

$$[p] = [K] \cdot [d]$$

biçiminde yazılır. Elde edilen bu denkleme **KATILIK DENKLEMİ** denir.

ANALOG: p = Yük kolon vektörü,

k = Katılık matrisi,

d = Deplasman kolon vektörü,

Yukarıdan da anlaşılacağı gibi katılık matrisi çubuğun uç deplasmanlarına karşı gelen doğrultudaki uç kuvvetlere bağlayan eğilmezlik, bükülmezlik (Rijitlik) parametresi rolündedir.

2.12. KATILIK MATRİSİNDE BAND GENİŞLİĞİ

Katılık matrisinde sıfırdan farklı terimler ana diagonalde ve buna paralel bandlar içinde kalır. Bunların dışında kalan tüm değerler sıfırdır. Yani diagonalin üzerindeki bir değerden başlayıp buna komşu diagonalin üzerinde sıfır olmayan en uzak değere kadar olan değerlerin maksimumuna yarım band genişliği denir. Katılık matrisinde amaç, bu şeridin mümkün olduğu kadar dar olmasını sağlamaktır. Çünkü yapılacak olan işlem sayısı yarım band genişliğinin karesi ile orantılıdır. Bundan dolayı sistemin katılık matrisini mümkün olduğu kadar dar tutmak gerekir.

Bunun yanısıra band genişliği sistemdeki nodların numaralandırılması ile ilgilidir. Çünkü katılık matrisinde sıfırdan farklı elemanlar, eleman uçlarındaki numaraların belirttiği satır ve sütunlardadır. Aşağıdaki örnekte simetrik bir katılık matrisindeki yarı band genişliği görülmektedir

$$\begin{bmatrix} a_{11} & 0 & a_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & a_{22} & a_{23} & 0 & a_{25} & 0 & 0 \\ & & a_{33} & a_{34} & a_{35} & 0 & 0 \\ & & & a_{44} & a_{45} & a_{46} & \dots \\ & & & & a_{55} & a_{56} & \dots \\ & & & & & a_{66} & \dots \\ & & & & & & \dots \end{bmatrix}$$

2.13. YARI BAND GENİŞLİĞİNİN HESAPLANMASI

Daha önce de belirtildiği gibi katılık matrisini mümkün olduğu kadar dar bir band halinde oluşturmak için elemanların iki ucundaki nod numaraları arasındaki fark minimum yapılmaya çalışılmalıdır.

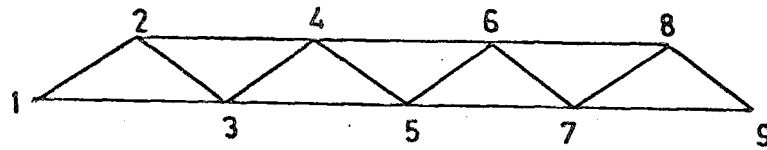
Nod numaralarına bakarak bir sistemin katılık matrisinin yarı band genişliğini bulmak mümkündür. Bunun için sistemdeki herhangi bir nodun serbestlik derecesi sayısına S , bir elemanla (kiriş veya çubuk) bağlı olan iki komşu nod numarası arasındaki farka F dersek, sistemin maksimum yarı band genişliğidir ve

$$B = (F + 1) * S$$

şeklinde hesaplanır.

Buna göre aşağıdaki örneklerde yarı band genişliğini hesaplayalım.

ÖRNEK 1



Örnek 1' de görüldüğü gibi sistemlerdeki nodlar arasındaki en büyük fark 2 dir. ($4-2=2$, $8-6=2$, $9-7=2$ vs.)

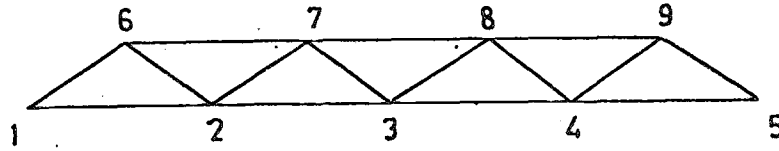
Yani $F = 2$ dir. Örnekte S de 2 dir çünkü iki boyutlu bir sistem ve böyle sistemlerde nodların serbestlik derecesinin iki olduğunu görmüştük. O halde bu sistemin yarı band genişliği :

$$B = (F + 1) * S$$

$$B = (2 + 1) * 2$$

$$B = 6$$

Örnek 1'i aşağıdaki gibi numaralandığımız takdirde ;



Burada S yine 2 fakat $F = 5$ dir. O halde sistemin yarı band genişliği :

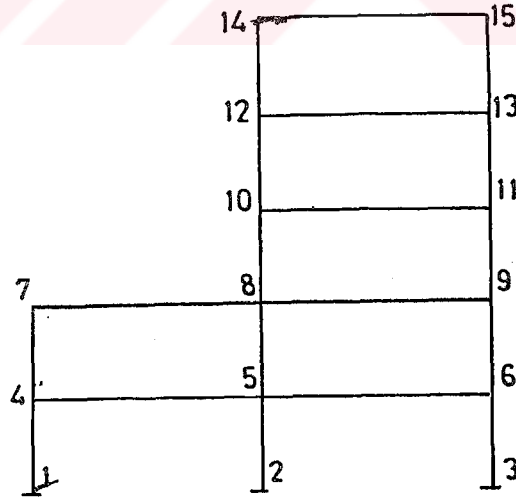
$$B = (F + 1) * S$$

$$B = (5 + 1) * 2$$

$$B = 12$$

Birinci örnekteki numaralandırmada yarı band genişliğinin ikinci örnekteki numaralandırmadan küçük olduğuna göre doğru olarak numaralandırılan birinci örnektir.

ÖRNEK



Buradaki düzlem çerçeve doğru olarak numaralandırıldığında yukarıdaki denkleme göre yarı band genişliği $B = (3 + 1) * 3 = 12$ bulunur

2.14. Sonlu Elemanlar Program Yapısı

PROGRAMIN TANITIMI : Program verilen bir yapıyı sonlu elemanlar yöntemi ile analiz ederek elemanlardaki gerilmeleri bulmaktadır.

Sonlu elemanlar analizinde deplasman metodu kullanılmıştır. Elde edilen denklem takımı band matrisi halinde depolanmış ve alt üst matrislere ayrılarak deplasmanlar çözülmüş ve bunlardan da eleman kesit iç kuvvet ve momentleri çözülmüştür.

Bu tezde sunulan programın operasyonları şekil 2.8'de gösterilmiştir. Temel sonlu eleman adımları, ikinci derecede olan operasyonları icra eden yardımcı altprogramlara (Auxiliary Subroutines) dayanan ana alt programlar (Primary Subroutines) tarafından yerine getirilir. Bir yardımcı altprograma, şekil 2.8'de görüldüğü gibi, birden çok ana altprogram tarafından ihtiyaç duyulabilecektir. Ana altprogramları çağırma düzeni bir ana kısım tarafından kontrol edilir.

Deplasmanlar metodu kullanan sonlu eleman programlarının yapısı doğal olarak üç aşamaya ayrılır.

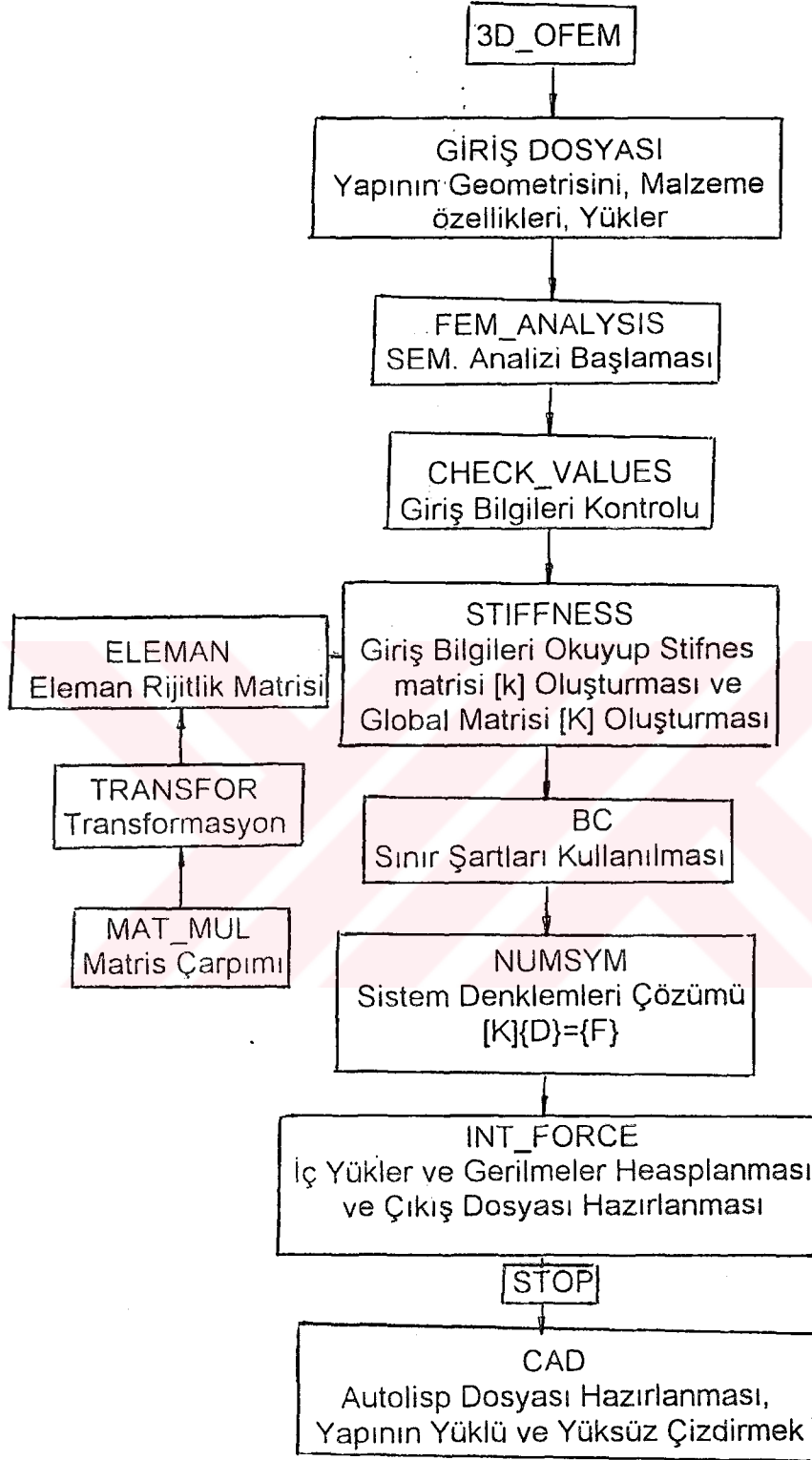
1.Aşama : Giriş bilgileri hazırlaması ve çıkış bilgileri elde edilmesi gibi yarı teorik durumlar

Uygulamalı mühendisliğin bakış açısından bir sonlu eleman analizinin teknolojik olarak giriş/çıkış konusu en önemlisidir. Giriş bilgilerini Kontrol eden altprogram ayrıntılı olarak Bölüm 3'te gözününe alınmaktadır. Bilgi giriş dosyası uzantısı INP (Örnek 'DATA.INP') şeklinde olmalıdır.

Sonuçların çıkışı için ayrı bir altprogram kullanılmaktadır. Bunun için NUM_SYM denklem çözüm altprogramında yerdeğiştirmeleri ve elemanlar için INT_FORCE olarak adlandırılan gerilme bileşenleri çıkış olmaktadır.

2.AŞAMA: Katılık matrisleri, gerilme matrisleri ve yük vektörünün oluşturulması.

Sonlu eleman teorisinin temel ifadelerinin esas kullanımı bu aşamada olmaktadır. Deplasmanlar metodu ile yapısal analiz için işlem, açık olarak yapısal kafes analizi matris metodlarında alınan adımları izlemektedir.



şekil 2.8. Program Organizasyonu

Katılık ve gerilme matrisleri Bölüm 2.6.4'te hesaplanmaktadır. Bu işlemi yerine getiren altprogram , FEM_ANALYSIS olarak adlandırılmıştır. Düğüm deplasmanları çözümden sonra, gerilme bileşenleri veya gerilme sonuçlarının hesaplanmasında eleman gerilme matrisleri kullanılır. Bu INT_FORCE altprogramı aracılığı ile yapılır.

Sonlu eleman analizi deplasman metodu, tanımlandığı gibi, eşdeğer düğüm kuvvetleri olarak belirtilen tüm yapısal yüklemelere dayanır. Örneğin, eleman yüklerine uygulanan ağırlık yüklemesi veya basınçlar ayrı eşdeğer düğüm kuvvetlerine çevrilmelidir. Yükleme bilgisini kabul etmeye ilaveten, bunu yapabilen altprogram BC'dir.

3.AŞAMA: Katılık denklemlerinin çözümü.

Yapının katılık denklemleri çözümüne harcanan zaman, toplam hesaplama zamanının büyük bir oranını ifade eder. Bu yüzden, denklemleri çözüme metodu kritiktir.

1. ve 2. aşamalarda taslağı çizilen işlemlerin yapılmasında birkaç yol olmasın rağmen, optimal yaklaşım bilgisayar çekirdek belleği ve çözüm maliyetlerinin her ikisinde de düşük tasarruflar meydana getirecektir.

NUMSYM altprogram, fonksiyonu eleman katılık denklemlerini monte etmek ve band matris metodu kullanarak bilinmeyen deplasmanları ve reaksiyonları çözmek olan denklemler çözümleri altprogramıdır.

Daha önce de bahsedildiği gibi yardımcı altprogramların fonksiyonu, bir veya daha fazla ana altprogram tarafından gerek duyulan hesaplamaları yerine getirmektedir ve herbirinin görevi aşağıda tanımlanmaktadır.

ELEMAN Altprogramı

Eleman rijitlik matrisini bu altprogramda oluşturulmaktadır.

STIFFNESS Altprogramı

Giriş bilgileri okunduktan sonra eleman katılık matrisi bu altprogram tarafından hesaplanır.

TRANSFOR Altprogramı

Bu altprogramı matris transformasyonu yapmaktadır.

MAT_MUL Altprogramı

Gerilme tayini için gerekli matris çarpımını bu altprogram hesaplar.

CHECK_VALUES Altprogramı

Kontrol parametreleri (Örneğin max. eleman sayısı, max. düğüm sayısı, v.b.) giriş dosyasından okunur okunmaz, bu bilgi kısmını iyice incelemek için CHECK_VALUES altprogram çağırılır. Herhangi bir hata teşhis edilirse teşhis mesajları yayımlanır ve işlevini bitirmeden önce bilginin geri kalanı yansıtılır.

2.15. Değişken Terminolojisi

Sunulan programlarda, değişkenleri mantıksal bir tarzda isimlendirilmiştir. İsimlerden, değişkenlerin çoğunun kullanımı kendiliğinden kolay anlaşılabilir ve böylece program asimilasyonu görevinde büyük yardımcı olur. Aşağıda bazı örnek kullanımlar verilmiştir.

- NUM_NOD : Nod (düğüm) sayısı
(the NUMber of NODes)
- NUM_EL : Eleman sayısı
(the NUMber of ELements)
- NUM_FOR : Yapıya etkiyen toplam kuvvet sayısı
(the NUMber of effect FORces)
- NUM_BC : Sınır şartları sayısı
(the NUMbur of Boundary Conditions)

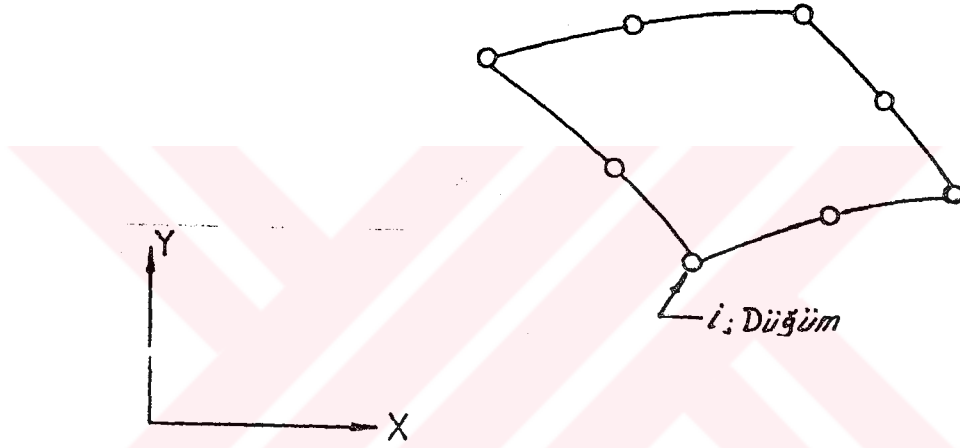
Ayrıca program tanımlama planında tüm altprogramlar standart bir formda sunulmaktadır. Altprograma ve altprogramdan transfer edilecek ana değişkenleri gösteren bir giriş/çıkış diyagramı verilmektedir. Bilgi transferinin başarılı olduğu mod (Örneğin, ortak ifade, altprogram argümanı) da gösterilmektedir.

Altprogramların ilk sefer sunulduğu bölümlerin başlangıcında, okuyucuya program organizasyonunu hatırlatmak için bir diyagram verilmektedir (Şekil 2.8). Bu yeni altprogramlar taralı olarak gösterilmektedir.

BÖLÜM 3. GİRİŞ VE ÇIKIŞ BİLGİLERİ

3.1. Tanıtım

Gerekli bilgilerin herhangi bir sonlu eleman programına giriş ve sonuçların programdan çıkışı teknik olarak daha az çaba isteyen durumlardan biri olmasına rağmen, mühendislik için önem arz etmektedir [5]. Sonlu elemanlar metodu, mühendislik analizinde kullanıldığında, bilgi hazırlama ve nihai sonuçların yorumunda sarfedilen zaman genellikle, toplam zamanın büyük bir bölümünü oluşturur. Bundan dolayı, bu yönde yapılabilir herhangi bir tasarrufun kullanıcıya faydası olacaktır.



ŞEKİL 3.1 Tipik İki Boyutlu Parabolik Eleman

Basit elemanlar ailesi gibi karmaşık elemanların kullanımı, genellikle aynı hassasiyet derecesini vermek üzere daha basit, sabit gerilim elemanlarının kullanılmasından ziyade daha az sayıda elemana gereksinim duyulduğu anlamına gelir. Kaba bir örnek olarak Şekil 3.1'de gösterilen tek bir parabolik eleman yaklaşık olarak 10 üçgen sabit gerilim elemanı yerine sık sık kullanılabilir; tabii ki bu, problem geometrisine ve yüklemenin tabiatına bağlıdır. Sonuç olarak, basit elemanların kullanımı genellikle bilgi hazırlamada bir azaltmaya sebep olur. Bununla beraber, ince geometrik detayların modellenmesi zorunluluğu olduğu durumlarda, havacılık sanayinde sık sık karşılaşıldığı gibi, basit elemanların kullanımı hala kaçınılmaz olabilecektir.

Sonuçların çıkışına gelince, karmaşık elemanların ortaya çıkışı zorluklar yaratır. Yerdeğişimi metodu vasıtasıyla yapısal analizlerde, düğüm noktalarındaki yerdeğişimleri

bir yan ürün olarak tayin edilen gerilim alanıyla birlikte ana değişkenlerdir. Düğüm (Nod) deplasmanları her zamanki yolla hesaplanır ve çıkarılır. Bununla beraber, hesaplama ve gerilmelerin çıkışına özel önem verilmelidir.

Düğüm noktaları genellikle elemanların sınırları boyunca yoğunlaştırılmaktadır ve bu yüzden sadece düğüm gerilmelerinin çıkışı tatminkar olmamaktadır. Gerilme değerlerinin eleman içerisindeki noktalarda üretilmesi arzu edilmekte ve kolaylık için, eleman katılıkları ve yük terimlerinin sayısal integrasyonundan sık sık istifade edilmektedir.

3.2. Giriş Bilgileri

Herhangi bir sonlu eleman analizi için gerekli giriş bilgisi beş ana bölüme ayrılabilir. Birinci bölüm, yapının geometrisini tanımlamak için numaralandırılan her düğüm noktasının koordinat sistemindeki konumunun değerleridir. İkinci bölüm olarak, sistemde kullanılan giriş elemanı değerlerinin yazılması gerekir. Üçüncü bölüm, sistemde uygulanan yüklemelerdir. Dördüncü bölüm, sistemin sınır şartlarını içerir. Beşinci bölümde ise analizde kullanılan mühendislik sabitleri verilir.

Tüm giriş bilgileri için birbirine uygun birimler kullanılmalıdır.

3.3. Kontrol Bilgisi

Gerekli bütün altprogramların sayısını azaltabilmek için, tek kontrol altprogramı kullanılması planlanmaktadır. Bunu başarmak için giriş bilgisi olarak bazı kontrol bilgilerinin sağlanması gereklidir.

3.4. Geometrik Bilgi

Analizi yapılacak yapı, sonlu elemanlara ayrıldığında, yapısal geometri sayısal olarak tanımlanmalıdır. İlk olarak her bir noktanın numarası tayin edilmek suretiyle her bir düğüm teşhis edilir. Eğer kullanılan toplam bantlı matris (Overal Banded Matrix) üzerinde çalışan bir denklem çözüm metodu kullanılmalıysa, düğüm noktaları sistematik bir tarzda numaralandırılmalıdır. Herbir eleman, bir eleman numarasıyla, uygun olan bir sırada isimlendirilmelidir.

Yapının geometrisi, iki grup bilgi vermek suretiyle tümüyle tanımlanabilir.

a) Eleman bağlantılarının belirtilmesi:

Herbir elemanın geometrisi, onun tanımlayan düğüm numaraları sistemetik bir yolla verilerek belirtilmelidir. Herbir eleman, eleman numarası vasıtasıyla tanımlandıktan sonra katılık formülasyonu ve eleman matrislerinin birleştirilmesi için elemanların işleme tabi tutulduğu düzeni de gösterir. Eleman topolojisi, aşağıdaki dizi içerisinde kaydedilir :

LOCAT(I ,1)

Burada I , gözden geçirilmekte olan elemanın numarasına karşılık gelen ve 1 indisi, elemanın birinci nod (düğüm) numarası göstermektedir. Prensip olarak, herbir elemana farklı malzeme özelliklerini atamak mümkün olduğundan, malzeme özelliği numarası da herbir elemana tahsis edilir.

Düğüm bağlantı numaralarının belirtilmesi sistemetik bir modeli izlemelidir. Kiriş analizi için, iki eleman düğüm bağlantı numarası, herhangi bir uçtan başlayarak ve kullanılan koordinat eksenleri yönünde birbirini izleyerek bir numaralama yapılır.

b) Herbir düğüm noktasının uzaysal koordinatlarının belirtilmesi.

Her bir düğüm noktasının koordinatları normal bir koordinat sistemi ile verilmelidir. Bu bilgi, aşağıdaki dizi içinde okunacak ve saklanacaktır ;

COORD(I ,1)

Burada I nod (düğüm noktası) numarasını ve 1 ise koordinat bileşenlerini gösterir. Kiriş analizi için, her bir düğüm noktasının pozisyonu tek bir koordinat bileşeni, genellikle keyfi bir başlangıç noktasından ölçülen yatay mesafe vasıtasıyla tarif edilir.

3.5. Sınır Şartları

Tanımlanan yapı geometrisi ile birlikte, sınır koşullarını da belirtmek gereklidir. Deplasmanlar metodunda, bunlar düğüm noktalarındaki ilgili serbestlik derecelerinin verilmiş değerleri ile belirtilir. Eğer yapının herhangi bir kısmı üzerinde çekme bileşenlerinin değerlerini vermek gerekirse, bu durumda bunlar eşdeğer düğüm kuvvetleri olarak girilmelidir.

Düğüm başına serbestlik derecesi sayısı kiriş analizi, üç boyutlu katılar ve disk eğme durumlarında değişeceğinden, sınırlandırılmış düğüm noktaları için bilgi girişi, herbir

durumda aynı giriş yapısı izlenmesine rağmen farklı olacaktır. Bir veya daha fazla serbestlik derecesinin sınırlandırıldığı düğümler şu dizi içerisinde okunur :

NDE

Bu, verilecek NDE 'ninci düğüm noktası sınır düğüm noktası anlamına gelir.

Şimdi bir düğümde hangi serbestlik derecesinin sınırlandırıldığını veya düğümün hangi belirtilmiş deplasman değerleriyle birlikte verileceğini tayin etmenin yolu verilmelidir. Bu, aşağıdaki dizi yolu ile bir tamsayı kod girişinin kullanılmasıyla yapılabilir :

$$NDE(I, J), J=1,8$$

Burada I sınır şart numarasını göstermektedir. Sınır şartının verildiği eleman numarası $NDE(I, 1)$, uç numarası $NDE(I, 2)$, 6 serbestlik derecesine ait bağlantı tipleri $NDE(I, J)$, $J=3,8$ sahip olduğunu ifade eder

$NDE(I, 3)$, $J=3,8$ değerleri bağlantı tiplerine bağlıdır. Burada, ilk üç değer X, Y, Z, yönlerindeki ötelemelerinin serbestliği göstermektedir. Son üç değer ise X, Y, Z, yönlerindeki dönme serbestliğini göstermektedir. Örneğin, 5' nolu giriş elemanı için sınır şartını yazacak olursak ,

$$5 \ 2 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$$

Burada;

$NDE(I, 1)=5$ 5 nolu giriş eleman sınır şartı

$NDE(I, 2)=2$ kuvvetin elemanın ikinci ucuna etki ettiğini

$NDE(I, 3)=0$ X yönündeki öteleme yapabileceği (serbest)

$NDE(I, 4)=1$ Y yönündeki öteleme yapamayacağını (sabit)

$NDE(I, 5)=1$ Z yönündeki öteleme yapamayacağını (sabit)

$NDE(I, 6)=1$ X yönündeki dönme yapamayacağını (sabit)

$NDE(I, 7)=1$ Y yönündeki dönme yapamayacağını (sabit)

$NDE(I, 8)=1$ Z yönündeki dönme yapamayacağını (sabit), göstermektedir.

3.6. Malzeme Özellikleri

Çözüm için gerek duyulan malzeme özellikleri aşağıda gösterilmiştir.

$E = 210000 \text{ N/mm}^2$ (ELASTISITE MODULU)

POISSON ORANI (ν_u) = 0.3

3.7. Giriş (INPUT) Dosyası

Giriş dosyası, kontrol bilgisi, geometrik bilgi, sınır koşulları ve malzeme özelliklerini içerir. Buna ilaveten, komşu köşe düğümlerini birleştiren sınır şartları da içerilmektedir. Giriş bilgileri ana program tarafından okunduktan sonra CHECK_VALUES altprogramı tarafından kontrol edilir. Giriş dosyası hazırlanması için gerekli açıklamalar aşağıda gösterilmektedir.

INPUT DOSYASI FORMATI

NUM_NOD NUM_EL IGER IGRAF IAGIRLIK

1 COORD(1,1) COORD(1,2) COORD(1,3)

2 COORD(2,1) COORD(2,2) COORD(2,3)

I COORD(I,1) COORD(I,2) COORD(I,3)

1 LOCAT(1,1) LOCAT(1,2) ALAN(1) YI(1) ZI(1) TJ(1) ANG(1)

HZ(1) HY(1) AFZ(1) AFY(1)

2 LOCAT(2,1) LOCAT(2,2) ALAN(2) YI(2) ZI(2) TJ(2) ANG(2)

HZ(2) HY(2) AFZ(2) AFY(2)

I LOCAT(I,1) LOCAT(I,2) ALAN(I) YI(I) ZI(I) TJ(I) ANG(I)

HZ(I) HY(I) AFZ(I) AFY(I)

NUM_LOAD NUM_FOR

IC ID IL P

IC ID IL P

NUM_BC

NDE(1,1) NDE(1,2) NDE(1,3) NDE(1,4) NDE(1,5) NDE(1,6) NDE(1,7) NDE(1,8)

NDE(2,1) NDE(2,2) NDE(2,3) NDE(2,4) NDE(2,5) NDE(2,6) NDE(2,7) NDE(2,8)

NDE(I,1) NDE(I,2) NDE(I,3) NDE(I,4) NDE(I,5) NDE(I,6) NDE(I,7) NDE(I,8)

EMNIYET_GER

3.8. INPUT DOSYASI İÇİN GEREKLİ AÇIKLAMALAR:

3.8.1. INPUT DOSYASININ İLK SATIRINDAKİ RAKAMLARIN ANLAMLARININ AÇIKLANMASI :-

(99 141 1 0 1)

99 = Analizi yapılan sistemdeki toplam düğüm noktası sayısı.

(Düğüm noktaları minimum değerinden maksimum değere göre sıralanması gerekir).

141 = Analizi yapılan sistemde kullanılan giriş elemanı sayısı.

(veya düğüm veya düğüm noktalarını birbirine bağlayan giriş elemanları sayısı).

1 = Sistemin gerilme hesaplarının yapılabilmesini elde etme değeridir.

(Eğer gerilmelerin yapılması istenmiyorsa " 1 " değeri yerine " 0 " değeri yazılır.).

0 = Sistemin grafik çiziminin yapılabilmesini elde etme değeridir.

(Eğer grafik çizimi istenmiyorsa " 0 " değeri yerine " 1 " değeri yazılır. Bunun için sistemin grafik programına sahip olması şarttır.) .

1 = Sistemde kullanılan giriş elemanlarının ağırlıkları gözönüne alınma değeridir. Şayet ağırlıklar gözönüne alınmayacak ise " 1 " değeri yerine " 0 " değeri yazılır.

INPUT DOSYASININ FORMATSIZ OLARAK VERİLMESİNDE BİR MAHSUR YOKTUR.

3.8.2. INPUT Dosyası Bölümleri

INPUT dosyası beş bölümden oluşmaktadır. Bu bölümleri taşıyıcı şasi analizi giriş dosyası üzerinde açıklanacaktır. Bunlar ;

1. BÖLÜM

1.DEN 99. SATIRA KADAR OLAN DEĞERLER HAKKINDAKİ AÇIKLAMALAR:

Numaralandırılan her düğüm noktasının koordinat sistemindeki konumunun değerleridir. Düğüm noktasının değerleri metre cinsinden ve sırasıyla X, Y, Z yönlerinde yazılır.

ÖRNEK :

NOD.NUM.	X	Y	Z	---	(BU SATIR INPUT DOSYASINA AZILMAZ.)
23	1.265	-0.817	0.820		
64	7.077	-0.093	-1.335		

2.BÖLÜM :-

BURADA SİSTEMDE KULLANILAN KİRİŞ ELEMANI DEĞERLERİ YAZILMIŞTIR.

BUNLARI TEK TEK TANIMLAMAK GEREKİRSE :-

İlk değer kiriş elemanı numarasıdır . İkinci ve üçüncü değer ise o profilin bağlı olduğu NOD numaralarının göstermektedir.

BUNDAN SONRAKI BEŞ DEĞER SIRASIYLA ;

- 1- Profilin kesit alanı,
- 2- Profilin X- Yönündeki atalet momenti,
- 3- Profilin Y- Yönündeki atalet momenti,
- 4- Burulma atalet momenti,
- 5- Profilin LOKAL eksenlerinin GLOBAL eksene göre pozisyonu dur.

İkinci satırdaki birinci değer, aynı profilin Z- yönündeki, ikinci değer ise Y- yönündeki maksimum mesafelerini göstermektedir .

Üçüncü değer Z- yönünde dik olarak etki edecek kuvvetlere karşılık gelen alanların toplamı,

Dördüncü değer ise Y- Yönünde dik olarak etki edecek kuvvetlere karşılık gelen alanların toplamıdır.

3.BÖLÜM

SİSTEMDE UYGULANAN YÜKLER:

Taşıtın şasisine etki eden yüklerin standartlarının sistemde karşılık gelen düğüm noktalarına tatbik edilmesinden ibarettir. Bunu bir örnekle açıklamaya çalışalım.

ÖRNEK:-

2 1 1 -50000.0

Buradaki " 2 " ilk rakam kuvvetin etki ettiği düğüm noktasıdır . Diğer etkiyen kuvvetin doğrultusunu (X Yönü için 1 , Y Yönü için 2 , Z yönü için 3 değeri verilir.),

Diğer 1 değeri yük halini göstermektedir.

-50000.0 değeri ise etki eden kuvvettir [N].

4.BÖLÜM

SINIR ŞARTLARI:

Bu bölüm de sistemin sınır şartlarını ihtiva etmektedir.

Sistemde toplam 3 adet sınır şartı uygulanmış olup bunlardan bir tanesi, ortada diğerleri ise trenin arka kesimindedir.

ŞAŞİ ORTASINDAKİ SINIR ŞARTI:

Burada 2 değeri kiriş elemanının ikinci ucuna kuvvetin etki ettiğini, 0 1 1 değerleri X, Y, Z yönlerindeki ötelemelerini, 1 1 1 değerleri de X, Y, Z yönlerindeki dönmeleri göstermektedir.

ÖRNEK:

59 NOLU KİRİŞ ELEMANI İÇİN SINIR ŞARTINI YAZACAK OLURSAK;

59 2 0 1 1 1 1 1

Şeklinde olur . Bu da 59 nolu kiriş elemanının ikinci ucundan X yönünde öteleme yapabilecek şekildedir.

X doğrultusunda serbest olup Y ve Z doğrultularında ise sabittir.

5.BÖLÜM

ANALİZDE KULLANILAN DEĞERLER:

E = 210000 N/mm² (ELASTISİTET MODULU)

POISSON ORANI (ν_u) = 0.3

EMNİYETLİ GERİLME = 220 N/mm² OLARAK ALINMIŞTIR.

3.8.3. EK AÇIKLAMALAR

Yapının belirli kuvvetlerin etkisinden sonra deforme olmuş durumlarının çizimlerini AUTOCAD PROGRAMI "AUTOLISP" yardımı ile PLOTTER'den çizim imkanı bulunmaktadır.

3.9. Çıkış Sunumu

Bu safhada yükleme bilgisi dışındaki diğer tüm bilgiler girilmiş durumdadır ve eleman katılıklarının formasyon ve denklemlerin çözümü ilerleyebilir. Düğüm yerdeğişimleri denklem çözümü altprogramında hesaplanacaktır. Daha sonra, geriye bu yerdeğişimlerini çıkarmak ve her bir elemandaki gerilmeleri hesaplamak kalır. Gerilmeler, (2.32) ilişkisi sayesinde deplasmanlarından elde edilir. **B** ve **D** matrisleri henüz açıkça formüle edilmediklerinden dolayı bu safhada bir gerilme çıkışı altprogramı geliştirmeye çalışılmamıştır. Her bir eleman bilinmeyen katsayılar hesaplanması için Gauss Eleminasyon (Gaussian Elimination) Metodunu uygularsak katsayıları kolay bir şekilde çözülür. Her bir elemanın gerilme bileşenlerinin çıkışı için sonraki bölümde formüle edilecektir.

3.10. Otomatik Bilgi Hazırlama ve Çıkış Grafiği

Bu safhada, giriş bilgisini hazırlama ve kontrol etme ve nihai sonuçları işleme için elde edilebilir yardımlardan kısaca bahsetmek belki uygun olacaktır. Herhangi bir sonlu elemanlar analizindeki büyük bir farkla en önemli görev genellikle, giriş bilgisini hazırlama ve özellikle düğüm koordinatlarının ve eleman topolojisinin tanımlanmasından dolayı, bu alanda yapılabilen herhangi bir tasarruf önemli olacaktır. Bu amaçla, ağ üretim (Mesh Generation) programları geliştirilebilir. Bunlar genellikle iki tiptedir :

*Geometrik bilgiyi tanımlamak ve üretmek için kullanılan elektronik digitiser'lar.

*Yapının birkaç geniş bölgeye ayrıldığı ve herbiri içindeki eleman altbölümü inceliğinin belirtildiği yarı otomatik yaklaşım. Başlangıç bilgisi normal yolla girilir ve alt bölme otomatik olarak ilerler.

Geometrik giriş bilgisi hazırlandıktan sonra sonlu elemanlar çözümüne girişmeden önce bunu otomatik olarak göstermek faydalıdır. Gerçekten, bir ağ grafik planı, geometrik bilgi üzerinde, hata altprogramı kullanımından çok daha iyi bir kontrol sunar. Çünkü, hata bulma altprogramları tarafından hiçbir bilgi hatası teşhis edilmese ve bir sonlu elemanlar çözümü icra edilse bile, bazı düğüm noktalarının koordinat yerleşimi yanlış olabilecek ve bazı elemanların en/boy oranı veya şekil değiştirmeleri hassas bir çözüm için makbul olmayabilecektir.

PC bilgisayarların ortaya çıkışı ve birbirinin etkileyen grafik sistemlerinin paralel gelişimi, bilgi hazırlama alanında belirgin bir etkiye sahip olmayı da bereberinde getirir. İlk olarak, ağ üretilen çizim programı optik bir teşhis birimi üzerine çizilebilir. Bu tezde giriş dosyasındaki yapının elemanları geometrik bilgileri CAD adlı programı çalıştırılması ile okunur. Bu program, yapının ağı üretilmek için bir çizim dosyası Autolisp programı şeklinde hazırlanmaktadır. Bu dosya AUTOCAD programına okutulduktan sonra bir ağ üretilir. Daha sonra, hata düzeltmeleri veya düğüm koordinat ayarlamaları dolaysız olarak, birbirini etkileyen bir bağlantı tarafından yapılabilir.

Nihai sonuçların işlenmesinde CAD programları da kullanılabilir. Deforme olmuş yapıların şeklini çizmek, gerilme konturlarını veya ana gerilme vektörlerini üretmek için çizim paketleri geliştirilmiştir. Bilgisayar çıktısının kullanıldığı bu safhada, bunun gibi taslaklar daha sıkı gerilme kontrolünün gerekli olduğu alanları mühendislere gösterir. Birbirini etkileyen grafik sistemleri, mühendislere, bir yapının kritik bölgelerini ayırma, gösterme ve çıkış niteliklerini değiştirme imkanı vermek için geliştirilen programlarla hemen hemen bu alanda da etkiye sahip oluyor.

Sonuçta bir operasyonda üretilen bilgi, elde edilen ve taşır edilen sonuçlarla, netice olarak birbirini etkileyen bir analiz/dizayn işlemine rehberlik ederek, tüm operasyonu birleştirmek mümkün olabilecektir.

3.11. Giriş Bilgilerinin Kontrolü Ve Hata Teşhisleri Altprogramı

CHECK _ VALUES

Kullanıcıya bilgiyle ilgili hataların ne olduğunu ve bilgisayarın niçin durduğunu söyleyen mesajları veren programdır. Bu kısımda hata bulma altprogramı, INPUT dosyasından okunan bilgileri iyice incelemek için kullanılmaktadır. Problem kontrol parametreleri girilir girilmez, bu değişkenleri kontrol etmek için FEM_ANALYSIS altprogramı tarafından CHECK_VALUES altprogramı çağrılır. Herhangi bir hatanın teşhis edilmesi durumunda, bu kullanıcıya verilir.

CHECK_VALUES Altprogramının FORTRAN listesi :-

```
SUBROUTINE CHECK_VALUES(NUM_EL,NUM_NOD,NUM_DOF,NBAND,  
INUM_BC, LOCATION,ALAN,YI,ZI,TJ,COORD)  
REAL COORD(125,3),ALAN(255),YI(255),ZI(255),TJ(255)
```

```

INTEGER NUM_NOD,NUM_EL,LOCATION(255,2),
I NUM_BC,NUM_DOF
IF(NUM_EL.GT.255) THEN                                *{1}
  I_CONT=1
  PRINT*, ' NUMBER OF ELEMENTS EXCEDED MAX ELEMENT NUMBER(255)'
  END IF
IF(NUM_NOD.GT.125) THEN                                *{2}
  I_CONT=1
  PRINT*, ' NUMBER OF NODES MAX NODE NUMBER(125)'
  END IF
IF(NUM_DOF.GT.655) THEN                                *{3}
  I_CONT=1
  PRINT*, ' NUMBER OF DOF EXCEDED MAX DOF NUMBER (655)'
  END IF
IF(NUM_BC.GT.50) THEN                                  *{4}
  I_CONT=1
  PRINT*, 'NUMBER OF BOUNDARY CONDITIONS EXCEDED MAX NUMBER(50)'
  END IF
IF(NBAND.GT.185) THEN                                  *{5}
  I_CONT=1
  PRINT*, ' BAND WIDTH IS GREATER THAN 185'
  END IF
DO I=1,NUM_EL                                          *{6}
IF(ALAN(I).EQ.0.) THEN                                  *{7}
  I_CONT=1
  PRINT*, I, 'TH ELEMENT SECTION AREA IS ZERO'
  END IF
IF(YI(I).EQ.0.) THEN                                  *{8}
  I_CONT=1
  PRINT*, I, 'TH ELEMENT MOMENT OF INERTIA (Iy) IS ZERO'
  END IF
IF(ZI(I).EQ.0.) THEN                                  *{9}
  I_CONT=1
  PRINT*, I, 'TH ELEMENT MOMENT OF INERTIA (Iz) IS ZERO'
  END IF
IF(TJ(I).EQ.0.) THEN                                  *{10}
  I_CONT=1
  PRINT*, I, 'TH ELEMENT TORSIONAL MOMENT OF INERTIA IS ZERO'
  END IF
IF(LOCATION(I,1).EQ.0) THEN                              *{11}
  I_CONT=1
  PRINT*, I, 'TH ELEMENT FIRST LOCATION IS ZERO'
  END IF
IF(LOCATION(I,2).EQ.0) THEN                              *{12}
  I_CONT=1
  PRINT*, I, 'TH ELEMENT SECOND LOCATION IS ZERO'
  END IF
  LOC1=LOCATION(I,1)
  LOC2=LOCATION(I,2)
  X1=COORD(LOC1,1)
  X2=COORD(LOC2,1)
  Y1=COORD(LOC1,2)
  Y2=COORD(LOC2,2)
  Z1=COORD(LOC1,3)
  Z2=COORD(LOC2,3)

```

```

DX=X2-X1
DY=Y2-Y1
DZ=Z2-Z1
ELENGTH=SQRT(DX*DX+DY*DY+DZ*DZ)
IF(ELENGTH.EQ.0.) THEN
I_CONT=1
PRINT*, I,'TH ELEMENT LENGTH IS ZERO'
END IF
END DO
IF(I_CONT.EQ.1) THEN
PRINT*, '***** ERROR IN ELEMENTS PROPERTIES *****'
STOP
END IF
RETURN
END

```

- 1* Yapıdaki belirtilmiş toplam eleman sayısı 255 elemandan fazla olması
- 2* Yapıdaki belirtilmiş toplam düğüm noktaları sayısı 256 noktadan fazla olması
- 3* Yapıdaki belirtilmiş toplam DOF sayısı 655 dan fazla olması
- 4* Yapıdaki belirtilmiş toplam sınır şartları sayısı 50 dan fazla olması
- 5* Analizi yapılacak modelin global matrisin bant genişliği 185 dan fazla olması
- 6* E eleman üzerinde kontrol çeviri yap
- 7* Elemanın kesit alanı sıfıra eşit olması
- 8* Elemanın yatay eksenine atalet momenti sıfıra eşit olması
- 9* Elemanın düşey eksenine atalet momenti sıfıra eşit olması
- 10* Elemanın burulma atalet momenti sıfıra eşit olması
- 11* Elemanın birinci düğümü numarası sıfıra eşit olması
- 12* Elemanın ikinci düğümü numarası sıfıra eşit olması
- 13* Elemanın uzunluğu sıfıra eşit olması
- 14* Yukarıdakilerden herhangi birisinin olması durumunda programı durur. Yayınlanan hata mesajı " Eleman parametrelerinde hata bulunmuştur ".

BÖLÜM 4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE YAPI ANALİZİ YAZILIMI KULLANIMI

4.1. Programın Tanımı

Sonlu elemanlar analizinde deplasman metodu kullanılmıştır. Elde edilen denklem takımı band matrisi halinde depolanmış ve alt üst matrislere ayrılarak deplasmanlar çözülmüş ve bunlardan da eleman kesit iç kuvvet ve momentleri çözülmüştür.

Gerilme analizi yapılırken sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan eleman kesit iç kuvvetleri ve momentleri kullanılarak elemanter mukavemet kurallarına uygun olarak yapılmıştır.

4.2. Program Çalıştırılması

Program '3D_OFEM.EXE' çağrılarak çalıştırılır. Program ilk olarak giriş dosyasının adını sorar. Bu dosyanın adı verildikten sonra program dosyadaki bilgileri okur ve gerekli hesapları yaptıktan sonra çıkış dosyalarını oluşturur. Çıkış dosyalarında nod deplasmanları, eleman iç kuvvet ve momentleri, mesnet tepkileri ve eleman gerilme değerleri vardır.

4.3. Programın Bilgi Girişi

Program bilgi girişi sıralı bir dosya yardımı ile yapılmaktadır. Bu dosyanın adı değişken olarak verilebilir. Fakat tipi '*.INP' olmak zorundadır. Bu dosyada sırası ile sonlu elemanlar çözümü için gerekli olan nod sayısı, eleman sayısı, nod koordinatları, eleman tanımlamaları, yük sayısı, yük durumu sayısı ve yük tanımlamaları, sınır şartı sayısı ve sınır şartı tanımlamaları verilmektedir.

Giriş dosyasında okutulan değişkenler:

- NUM_NOD : Nod Sayısı
- NUM_EL : Eleman Sayısı.
- COORD(I,1) : I. Nodun X Koordinatı [m].
- COORD(I,2) : I. Nodun Y Koordinatı [m].
- COORD(I,3) : I. Nodun Z Koordinatı [m].
- LOCAT(I,1) : I. Elemanın 1. Ucunun Nod Numarası.
- LOCAT(I,2) : I. Elemanın 2. Ucunun Nod Numarası.

ALAN (I)	: I. Elemanın Kesit Alanı [m ²].
YI(I)	: I. Elemanın Yatay Eksene Göre Atalet Momenti [m ⁴].
ZI(I)	: I. Elemanın Düşey Eksene Göre Atalet Momenti [m ⁴].
TJ(I)	: I. Elemanın Burulma Atalet Momenti [m ⁴].
ANG(I)	: I. Elemanın Duruş Açısı [Derece].
HZ(I)	: I. Elemanın Yüksekliği [m].
HY(I)	: I. Elemanın Genişliği [m].
AFZ(I)	: I. Elemanın Düşey Kuvvete Maruz Kayma Alanı [m ²].
NUM_FOR	: Yapıya Etkiyen Toplam Kuvvet Sayısı.
IC	: Kuvvetin Etkidiği Nod Numarası.
ID	: Kuvvetin Etkidiği Doğrultu (1=X , 2=Y , 3=Z).
P	: Kuvvetin Şiddeti [N].
NUM_BC	: Sınır Şartı Sayısı.
NDE	: Sınır Şartının Verildiği Eleman Numarası, Uç Numarası, 6 Serbestlik Derecesine Ait Bağlantı Tipleri.
EMNIYET_GER	: Emniyet Gerilmesi [N/mm ²].

Giriş dosyası formatı Bölüm.3 'te detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Ayrıca bir örnek verilmiştir.

4.4. Programın Bilgi Çıkışı

Programın bilgi çıkışı sıralı dosyalara yazılır.

Tipi '*:FOU' olan 1. dosya nodlardaki deplasmanlar, elemanın uç kesitindeki iç kuvvetler ve momentler ile mesnetlerdeki tepkiler bulunmaktadır. İlk olarak her elemanın uç noktalarındaki deplasmanlar [Metre] birimi cinsinden dönmelerde [Radyan] olarak verilmektedir. Deplasmanlar ve dönmelerin doğrultuları sütun başlarında verilmiştir. Daha sonraki kısımda her eleman ucundaki kesit kuvvetleri momentleri elemanın kendi lokal eksen takımına göre verilmektedir. Bunların birimleri Kuvvetler için [Newton], momentler için [Newton.Metre] cinsinden verilmektedir. dosyanın son kısmında ise bütün yapının dış bağıntı noktalarında meydana gelen tepkiler aynı kuvvet ve moment birimleriyle global eksen takımında verilmiştir.

Element Number	-X- (m)	-Y- (m)	-Z- (m)	Teta X (rad)	Teta Y (rad)	TetaZ (rad)
11	0.177E-09 -0.285E-04	-0.224E-05 -0.101E-05	-0.288E-10 -0.810E-07	-0.112E-07 -0.466E-05	-0.730E-07 -0.466E-06	-0.785E-07 -0.423E-04
.
.
N
.

Element Number	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN.m)	B.Moment-y (kN.m)	B.Moment-z (kN.m)
11	0.107E+00 -0.107E+00	-0.801E-01 0.801E-01	-0.248E+01 0.248E+01	0.835E-02 -0.835E-02	0.521E+00 0.520E+00	-0.385E-01 0.489E-02
.
.
.
N
.
.

Support Number	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN.m)	B.Moment-y (kN.m)	B.Moment-z (kN.m)
11	0.000E+00	0.865E+01	0.577E+00	0.101E-01	0.775E-03	0.000E+00
.
.
N
.

BÖLÜM 5. SAYISAL ÖRNEKLER

ÖRNEK 1:-

GİRİŞ DOSYASI

3 3 1 0 1

1 2.540 0.0000 0.0000

2 0.0000 0.0000 0.0000

3 0.0000 2.5400 0.0000

1 1 2 3.230E-03 8.481E-06 8.481E-06 1.6963E-05 0.000E+00
0.400E-01 0.400E-01 0.160E-03 0.144E-03

2 2 3 3.870E-03 1.903E-07 1.903E-07 3.8050E-05 9.000E+01
0.400E-01 0.400E-01 0.160E-03 0.144E-03

3 3 1 2.580E-03 8.481E-06 8.481E-06 1.6963E-05 -4.500E+01
0.400E-01 0.400E-01 0.240E-03 0.136E-03

1 2

1 1 1 222000.0

1 2 1 -111000.0

2

2 1 1 1 1 1 1 0

2 2 1 1 1 1 1 0

160.0000

ÇIKIŞ DOSYASI

Element	-X-	-Y-	-Z-	Teta X	Teta Y	Teta Z
Number	(m)	(m)	(m)	(rad)	(rad)	(rad)

11	.413E-03	-.107E-02	-.319E-11	.279E-12	.173E-11	-.306E-03
	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.466E-03

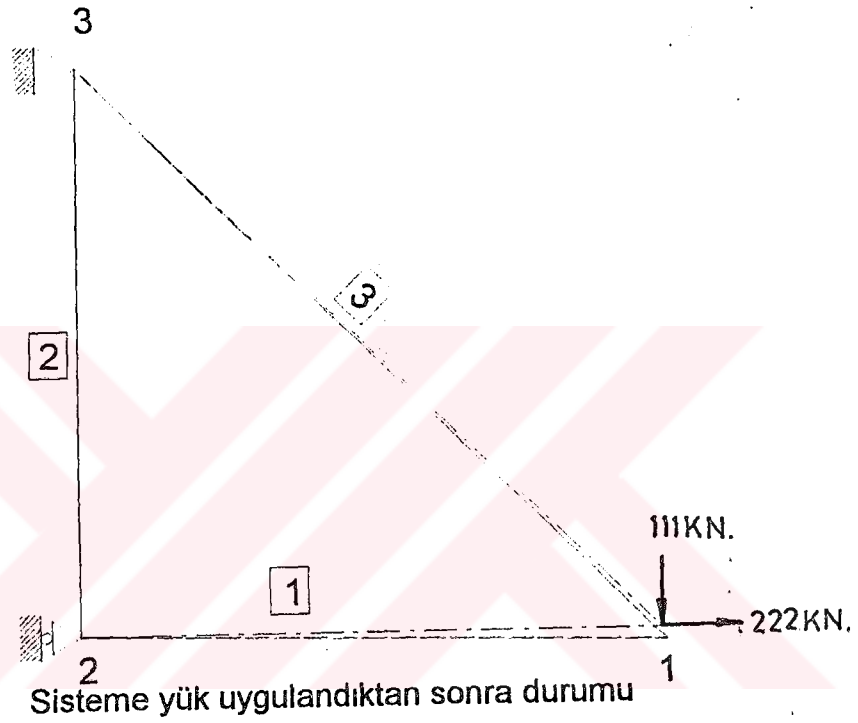
21	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.466E-03
	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.317E-04
31	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.317E-04
	.413E-03	-.107E-02	-.319E-11	.279E-12	.173E-11	-.306E-03	

Element Number	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN.m)	B.Moment-y (kN.m)	B.Moment-z (kN.m)
----------------	------------	--------------	--------------	----------------	-------------------	-------------------

11	-.110E+03	-.112E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.255E+00
	.110E+03	.112E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.303E-01
21	.000E+00	.000E+00	.185E-01	.000E+00	-.303E-01	.000E+00
	.000E+00	.000E+00	-.185E-01	.000E+00	-.167E-01	.000E+00
31	-.158E+03	-.470E-01	-.470E-01	.000E+00	-.118E-01	.118E-01
	.158E+03	.470E-01	.470E-01	.000E+00	.180E+00	-.180E+00

Support Number	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN.m)	B.Moment-y (kN.m)	B.Moment-z (kN.m)
----------------	------------	--------------	--------------	----------------	-------------------	-------------------

11	-.110E+03	.112E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00
21	-.112E+03	.112E+03	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00



—— YÜKLÜ
 - - - - YÜKSÜZ

ÖRNEK 1

ÖRNEK 2 :-

GİRİŞ DOSYASI

6	9	1	0	0
1	0	0	0	
2	1	1	0	
3	1	0	0	
4	2	1	0	
5	2	0	0	
6	3	0	0	

1	12	2.580E-03	8.481E-06	8.481E-06	1.6963E-05	45
		0	1.0	0.0000000	0.1360E-03	
2	13	3.870E-03	1.903E-07	3.805E-05	1.6963E-05	0
		0	0	0	0.1440E-03	
3	23	3.230E-03	8.481E-06	8.481E-06	1.6963E-05	90
		0	1.000	0	0.1440E-03	
4	24	3.870E-03	1.903E-07	3.805E-05	1.6963E-05	0
		0	1	0	0.1440E-03	
5	34	2.580E-03	8.481E-06	8.481E-06	1.6963E-05	45
		0	1.0	0.0000000	0.1360E-03	
6	35	3.870E-03	1.903E-07	3.805E-05	1.6963E-05	0
		0	0	0	0.1440E-03	
7	45	3.230E-03	8.481E-06	8.481E-06	1.6963E-05	90
		0	1.000	0	0.1440E-03	
8	46	2.580E-03	8.481E-06	8.481E-06	1.6963E-05	-45
		0	1.0	0.0000000	0.1360E-03	
9	56	3.870E-03	1.903E-07	3.805E-05	1.6963E-05	0
		0	0	0	0.1440E-03	

1	3			
2	2	1	-22000	
4	1	1	10000	
4	2	1	-10000	

2

1	1	0	1	1	1	1	1
6	2	1	1	1	1	1	1

ÖRNEK 2 :-

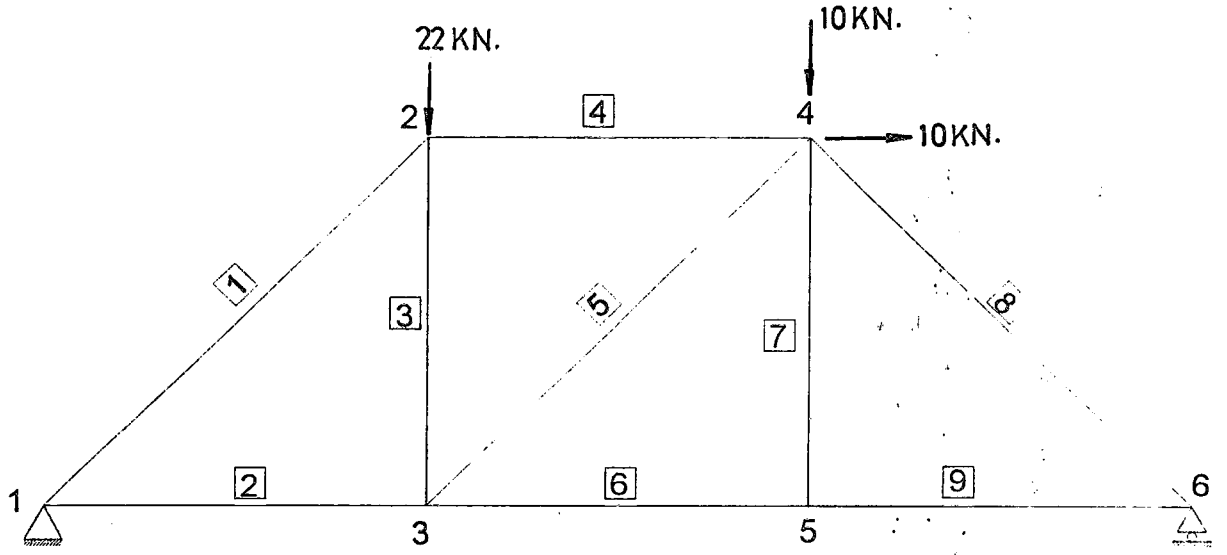
ÇIKIŞ DOSYASI

Element Number	-X- (m)	-Y- (m)	-Z- (m)	Teta X (rad)	Teta Y (rad)	Teta Z (rad)
11	.417E-05 .656E-04	.000E+00 -.934E-04	.000E+00 .756E-12	.000E+00 .187E-11	.000E+00 -.121E-11	.000E+00 -.887E-04
21	.417E-05 .114E-04	.000E+00 -.705E-04	.000E+00 -.684E-13	.000E+00 -.111E-12	.000E+00 .437E-13	.000E+00 -.149E-04
31	.656E-04 .114E-04	-.934E-04 -.705E-04	.756E-12 -.684E-13	.187E-11 -.111E-12	-.121E-11 .437E-13	-.887E-04 -.149E-04
41	.656E-04 .584E-04	-.934E-04 -.376E-04	.756E-12 .188E-11	.187E-11 .236E-11	-.121E-11 -.110E-11	-.887E-04 -.518E-04
51	.114E-04 .584E-04	-.705E-04 -.376E-04	-.684E-13 .188E-11	-.111E-12 .236E-11	.437E-13 -.110E-11	-.149E-04 -.518E-04
61	.114E-04 .000E+00	-.705E-04 .000E+00	-.684E-13 .000E+00	-.111E-12 .000E+00	.437E-13 .000E+00	-.149E-04 .000E+00
71	.584E-04 .000E+00	-.376E-04 .000E+00	.188E-11 .000E+00	.236E-11 .000E+00	-.110E-11 .000E+00	-.518E-04 .000E+00
81	.584E-04 .444E-07	-.376E-04 -.958E-04	.188E-11 .127E-12	.236E-11 .272E-11	-.110E-11 -.906E-13	-.518E-04 -.641E-04
91	.000E+00 .444E-07	.000E+00 -.958E-04	.000E+00 .127E-12	.000E+00 .272E-11	.000E+00 -.906E-13	.000E+00 -.641E-04

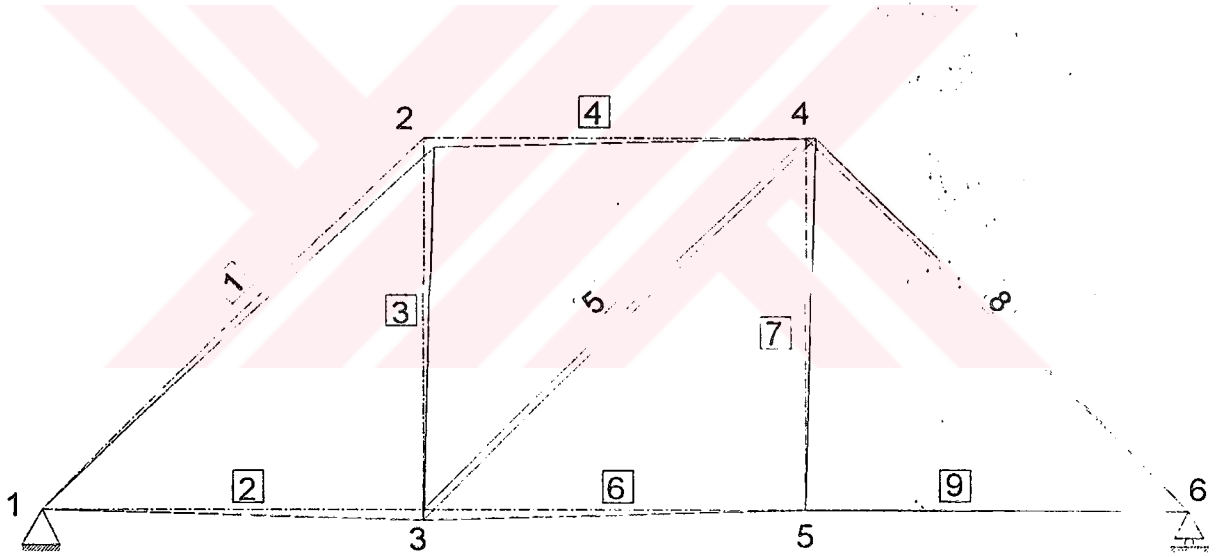
Element Number	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN.m)	B.Moment-y (kN.m)	B.Moment-z (kN.m)
11	.867E+01 -.867E+01	.250E+00 -.250E+00	-.250E+00 .250E+00	.000E+00 .000E+00	.256E+00 .975E-01	.256E+00 .975E-01
21	-.588E+01 .588E+01	.302E-01 -.302E-01	.000E+00 .000E+00	.000E+00 .000E+00	.000E+00 .000E+00	.157E-01 .145E-01
31	.156E+02 -.156E+02	.000E+00 .000E+00	.505E-01 -.505E-01	.000E+00 .000E+00	.106E+00 -.157E+00	.000E+00 .000E+00
41	.583E+01 -.583E+01	-.604E-01 .604E-01	.000E+00 .000E+00	.000E+00 .000E+00	.000E+00 .000E+00	-.317E-01 -.287E-01
51	-.216E+02	-.198E+00	.198E+00	.000E+00	-.107E+00	-.107E+00

.216E+02 .198E+00 -.198E+00 .000E+00 -.173E+00 -.173E+00
61 .927E+01 -.374E-01 .000E+00 .000E+00 .000E+00 -.193E-01
-.927E+01 .374E-01 .000E+00 .000E+00 .000E+00 -.181E-01
71 .255E+02 .000E+00 .695E+00 .000E+00 -.255E+00 .000E+00
-.255E+02 .000E+00 -.695E+00 .000E+00 -.440E+00 .000E+00
81 .471E-01 .274E-02 .274E-02 .000E+00 -.129E-01 .129E-01
-.471E-01 -.274E-02 -.274E-02 .000E+00 .901E-





Sisteme yük uygulamadan önce durumu



Sisteme yük uygulandıktan sonra durumu

— YÜKLÜ
 - - - YÜKSÜZ

ÖRNEK 2

ÖRNEK 3:-

GİRİŞ DOSYASI

99		141	1	0	1
1	0.00000	-0.08170	-1.29850		
2	0.00000	-0.08170	-0.87900		
3	0.00000	-0.08170	-0.33800		
4	0.00000	-0.08170	0.33800		
5	0.00000	-0.08170	0.87900		
6	0.00000	-0.08170	1.29850		
7	0.00000	-0.07720	-1.29850		
8	0.00000	-0.07720	1.29850		
9	0.00000	0.72500	-0.87900		
10	0.00000	0.72500	-0.33800		
11	0.00000	0.72500	0.33800		
12	0.00000	0.72500	0.87900		
13	0.33710	0.72500	-1.34940		
14	0.33710	0.72500	1.34940		
15	0.68190	-0.16270	-0.32500		
16	0.68190	-0.16270	0.32500		
17	0.68190	-0.08170	-0.32500		
18	0.68190	-0.08170	0.32500		
19	1.26560	-0.08170	-1.33590		
20	1.26560	-0.08170	-0.82050		
21	1.26560	-0.08170	-0.20940		
22	1.26560	-0.08170	0.20940		
23	1.26560	-0.08170	0.82050		
24	1.26560	-0.08170	1.33590		
25	1.26560	-0.07720	-1.33590		
26	1.26560	-0.07720	1.33590		
27	2.38140	-0.09350	-0.82050		
28	2.38140	-0.09350	-0.20940		

29	2.38140	-0.09350	0.20940
30	2.38140	-0.09350	0.82050
31	2.38140	-0.08170	-1.33590
32	2.38140	-0.08170	-0.82050
33	2.38140	-0.08170	-0.20940
34	2.38140	-0.08170	0.20940
35	2.38140	-0.08170	0.82050
36	2.38140	-0.08170	1.33590
37	2.38140	-0.07720	-1.33590
38	2.38140	-0.07720	1.33590
39	3.74100	-0.09350	-0.82050
40	3.74100	-0.09350	-0.30240
41	3.74100	-0.09350	0.00000
42	3.74100	-0.09350	0.30240
43	3.74100	-0.09350	0.82050
44	3.74100	-0.08170	-1.33590
45	3.74100	-0.08170	-0.82050
46	3.74100	-0.08170	-0.30240
47	3.74100	-0.08170	0.30240
48	3.74100	-0.08170	0.82050
49	3.74100	-0.08170	1.33590
50	3.74100	-0.07720	-1.33590
51	3.74100	-0.07720	1.33590
52	5.07750	-0.09350	-1.33590
53	5.07750	-0.09350	-0.30240
54	5.07750	-0.09350	0.30240
55	5.07750	-0.09350	1.33590
56	5.07750	-0.07720	-1.33590
57	5.07750	-0.07720	1.33590
58	6.07750	-0.09350	-1.33590
59	6.07750	-0.09350	-0.30240
60	6.07750	-0.09350	0.30240
61	6.07750	-0.09350	1.33590
62	6.07750	-0.07720	-1.33590

63	6.07750	-0.07750	1.33590
64	7.07750	-0.09350	-1.33590
65	7.07750	-0.09350	-0.30240
66	7.07750	-0.09350	0.30240
67	7.07750	-0.09350	1.33590
68	7.07750	-0.07720	-1.33590
69	7.07750	-0.07750	1.33590
70	8.07750	-0.09350	-1.33590
71	8.07750	-0.09350	-0.30240
72	8.07750	-0.09350	0.30240
73	8.07750	-0.09350	1.33590
74	8.07750	-0.07720	-1.33590
75	8.07750	-0.07750	1.33590
76	9.07750	-0.09350	-1.33590
77	9.07750	-0.09350	-0.30240
78	9.07750	-0.09350	0.30240
79	9.07750	-0.09350	1.33590
80	9.07750	-0.07720	-1.33590
81	9.07750	-0.07750	1.33590
82	10.07750	-0.09350	-1.33590
83	10.07750	-0.09350	-0.30240
84	10.07750	-0.09350	0.30240
85	10.07750	-0.09350	1.33590
86	10.07750	-0.07720	-1.33590
87	10.07750	-0.07750	1.33590
88	11.07750	-0.09350	-1.33590
89	11.07750	-0.09350	-0.30240
90	11.07750	-0.09350	0.30240
91	11.07750	-0.09350	1.33590
92	11.07750	-0.07720	-1.33590
93	11.07750	-0.07750	1.33590
94	12.07750	-0.09350	-1.33590
95	12.07750	-0.09350	-0.30240
96	12.07750	-0.09350	0.30240

97	12.07750	-0.09350	1.33590					
98	12.07750	-0.07720	-1.33590					
99	12.07750	-0.07750	1.33590					
1	1	2	0.265E-02	0.931E-05	0.256E-05	0.100E-05	0.000E+00	
			0.1475	0.1	0.160E-02	0.105E-02		
2	2	3	0.265E-02	0.931E-05	0.256E-05	0.100E-05	0.000E+00	
			0.1475	0.1	0.160E-02	0.105E-02		
3	4	5	0.265E-02	0.931E-05	0.256E-05	0.100E-05	0.000E+00	
			0.1475	0.1	0.160E-02	0.105E-02		
4	5	6	0.265E-02	0.931E-05	0.256E-05	0.100E-05	0.000E+00	
			0.1475	0.1	0.160E-02	0.105E-02		
5	1	7	0.102E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00	
			0.219	0.09	0.522E-03	0.657E-03		
6	6	8	0.102E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00	
			0.219	0.09	0.522E-03	0.657E-03		
7	2	9	0.216E-02	0.162E-03	0.760E-08	0.100E-05	0.000E+00	
			0.725	0.800E-02	0.216E-02	0.216E-02		
8	3	10	0.216E-02	0.162E-03	0.760E-08	0.100E-05	0.000E+00	
			0.725	0.800E-02	0.216E-02	0.216E-02		
9	4	11	0.216E-02	0.162E-03	0.760E-08	0.100E-05	0.000E+00	
			0.725	0.800E-02	0.216E-02	0.216E-02		
10	5	12	0.216E-02	0.162E-03	0.760E-08	0.100E-05	0.000E+00	
			0.725	0.800E-02	0.216E-02	0.216E-02		
11	9	10	0.140E-02	0.227E-08	0.113E-05	0.100E-05	0.000E+00	
			0.500E-02	0.286	0.140E-02	0.140E-02		
12	10	11	0.140E-02	0.227E-08	0.113E-05	0.100E-05	0.000E+00	
			0.500E-02	0.286	0.140E-02	0.140E-02		
13	11	12	0.140E-02	0.227E-08	0.113E-05	0.100E-05	0.000E+00	
			0.500E-02	0.286	0.140E-02	0.140E-02		
14	9	13	0.140E-02	0.227E-08	0.113E-05	0.100E-05	0.000E+00	
			0.500E-02	0.286	0.140E-02	0.140E-02		
15	12	14	0.140E-02	0.227E-08	0.113E-05	0.100E-05	0.000E+00	
			0.500E-02	0.286	0.140E-02	0.140E-02		
16	3	15	0.327E-02	0.250E-04	0.267E-05	0.100E-05	0.000E+00	
			0.225	0.2	0.160E-02	0.167E-02		
17	4	16	0.327E-02	0.250E-04	0.267E-05	0.100E-05	0.000E+00	
			0.225	0.200	0.160E-02	0.167E-02		
18	15	16	0.604E-02	0.981E-04	0.124E-04	0.100E-05	0.000E+00	
			0.281	0.200	0.320E-02	0.284E-02		
19	15	17	0.604E-02	0.981E-04	0.124E-04	0.100E-05	0.000E+00	
			0.281	0.200	0.320E-02	0.284E-02		
20	16	18	0.604E-02	0.981E-04	0.124E-04	0.100E-05	0.000E+00	
			0.281	0.200	0.320E-02	0.284E-02		

21	2	20	0.286E-02	0.988E-05	0.688E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.080	0.143E-02	0.143E-02	
22	15	21	0.327E-02	0.250E-04	0.742E-05	0.100E-05	0.000E+00
			0.225	0.200	0.160E-02	0.167E-02	
23	17	20	0.328E-02	0.112E-04	0.134E-04	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.100	0.185E-02	0.143E-02	
24	16	22	0.327E-02	0.250E-04	0.742E-05	0.100E-05	0.000E+00
			0.225	0.200	0.160E-02	0.167E-02	
25	18	23	0.328E-02	0.112E-04	0.134E-04	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.100	0.185E-02	0.143E-02	
26	5	23	0.286E-02	0.988E-05	0.688E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.080	0.143E-02	0.143E-02	
27	7	25	0.286E-02	0.988E-05	0.688E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.080	0.143E-02	0.143E-02	
28	8	26	0.286E-02	0.988E-05	0.688E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.080	0.143E-02	0.143E-02	
29	19	20	0.278E-02	0.968E-05	0.278E-05	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.100	0.160E-02	0.118E-02	
30	20	21	0.278E-02	0.968E-05	0.278E-05	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.100	0.160E-02	0.118E-02	
31	21	22	0.278E-02	0.968E-05	0.278E-05	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.100	0.160E-02	0.118E-02	
32	22	23	0.278E-02	0.968E-05	0.278E-05	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.100	0.160E-02	0.118E-02	
33	23	24	0.278E-02	0.968E-05	0.278E-05	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.100	0.160E-02	0.118E-02	
34	19	25	0.120E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.219	0.090	0.522E-03	0.657E-03	
35	24	26	0.120E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.219	0.090	0.522E-03	0.657E-03	
36	20	32	0.278E-02	0.118E-04	1.338E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.100	0.160E-02	0.118E-02	
37	21	33	0.278E-02	0.118E-04	1.338E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.100	0.160E-02	0.118E-02	
38	22	34	0.278E-02	0.118E-04	1.338E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.100	0.160E-02	0.118E-02	
39	23	35	0.278E-02	0.118E-04	1.338E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.100	0.160E-02	0.118E-02	
40	27	32	0.120E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.219	0.090	0.522E-03	0.657E-03	
41	28	33	0.120E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.219	0.090	0.522E-03	0.657E-03	
42	29	34	0.120E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.219	0.090	0.522E-03	0.657E-03	
43	30	35	0.120E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.219	0.090	0.522E-03	0.657E-03	

44	31	32	0.278E-02	0.968E-05	0.278E-05	0.100E-05	0.000E+00		
			0.1635	0.100	0.160E-03	0.118E-02			
45	32	33	0.278E-02	0.968E-05	0.278E-05	0.100E-05	0.000E+00		
			0.1635	0.100	0.160E-03	0.118E-02			
46	33	34	0.278E-02	0.968E-05	0.278E-05	0.100E-05	0.000E+00		
			0.1635	0.100	0.160E-03	0.118E-02			
47	34	35	0.278E-02	0.968E-05	0.278E-05	0.100E-05	0.000E+00		
			0.1635	0.100	0.160E-03	0.118E-02			
48	35	36	0.278E-02	0.968E-05	0.278E-05	0.100E-05	0.000E+00		
			0.1635	0.100	0.160E-03	0.118E-02			
49	31	37	0.120E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00		
			0.219	0.090	0.522E-03	0.657E-03			
50	36	38	0.120E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00		
			0.219	0.090	0.522E-03	0.657E-03			
51	27	39	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00		
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02			
52	28	40	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00		
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02			
53	29	42	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00		
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02			
54	30	43	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00		
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02			
55	37	50	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00		
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02			
56	38	51	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00		
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02			
57	39	45	0.120E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00		
			0.219	0.090	0.522E-03	0.657E-03			
58	40	46	0.120E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00		
			0.219	0.090	0.522E-03	0.657E-03			
59	40	41	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00		
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02			
60	41	42	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00		
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02			
61	42	47	0.120E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00		
			0.219	0.090	0.522E-03	0.657E-03			
62	43	48	0.120E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00		
			0.219	0.090	0.522E-03	0.657E-03			
63	44	45	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00		
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02			
64	45	46	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00		
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02			
65	46	47	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00		
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02			
66	47	48	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00		
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02			

67	48	49	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
68	44	50	0.120E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.219	0.090	0.522E-03	0.657E-03	
69	49	51	0.120E-02	0.466E-05	0.919E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.219	0.090	0.522E-03	0.657E-03	
70	40	53	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
71	42	54	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
72	50	56	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
73	51	57	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
74	52	53	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
75	53	54	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
76	54	55	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
77	52	56	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
78	55	57	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
79	53	59	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
80	54	60	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
81	56	62	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
82	57	63	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
83	58	59	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
84	59	60	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
85	60	61	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
86	58	62	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
87	61	63	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
88	59	65	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
89	60	66	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	

90	62	68	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
91	63	69	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
92	64	65	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
93	65	66	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
94	66	67	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
95	64	68	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
96	67	69	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
97	65	71	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
98	66	72	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
99	68	74	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
100	69	75	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
101	70	71	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
102	71	72	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
103	72	73	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
104	70	74	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
105	73	75	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
106	71	77	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
107	72	78	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
108	74	80	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
109	75	81	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
110	76	77	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
111	77	78	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
112	78	79	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	

113	76	80	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
114	79	81	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
115	77	83	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
116	78	84	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
117	80	86	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
118	81	87	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
119	82	83	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
120	83	84	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
121	84	85	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
122	82	86	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
123	85	87	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
124	83	89	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
125	84	90	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
126	82	92	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
127	87	93	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
128	88	89	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
129	89	90	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
130	90	91	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
131	88	92	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
132	91	93	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
133	89	95	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
134	90	96	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
135	92	98	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	

136	93	99	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
137	94	95	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
138	95	96	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
139	96	97	0.164E-02	0.541E-05	0.449E-06	0.100E-05	0.000E+00
			0.140	0.073	0.0006	0.100E-02	
140	94	98	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	
141	97	99	0.104E-01	0.981E-04	0.257E-03	0.100E-05	0.000E+00
			0.1635	0.500	0.800E-02	0.240E-02	

1	2		
2	1 1	-50000.0	
5	1 1	-50000.0	
3			

59	2	0 1	1 1 1 1
134	2	1 0	1 1 1 1
133	2	1 0	1 1 1 1

220.000

ÖRNEK 3:-

ÇIKIŞ DOSYASI

Element Number	-X- (m)	-Y- (m)	-Z- (m)	Teta X (rad)	Teta Y (rad)	Teta Z (rad)
11	0.177E-09	-0.224E-05	-0.288E-10	-0.112E-07	-0.730E-07	-0.785E-07
	-0.285E-04	-0.101E-05	-0.810E-07	-0.466E-05	-0.466E-06	-0.423E-04
21	-0.285E-04	-0.101E-05	-0.810E-07	-0.466E-05	-0.466E-06	-0.423E-04
	0.245E-05	0.725E-05	-0.428E-07	-0.398E-05	0.430E-04	-0.536E-05
31	0.247E-05	0.748E-05	0.187E-07	0.122E-05	0.287E-06	-0.554E-05
	-0.291E-04	-0.626E-06	0.837E-07	0.919E-05	-0.233E-05	-0.437E-04
41	-0.291E-04	-0.626E-06	0.837E-07	0.919E-05	-0.233E-05	-0.437E-04
	0.483E-10	-0.766E-06	0.472E-09	-0.100E-06	0.950E-04	-0.215E-07
51	0.177E-09	-0.224E-05	-0.288E-10	-0.112E-07	-0.730E-07	-0.785E-07
	0.353E-09	-0.225E-05	-0.538E-10	-0.111E-07	-0.933E-07	-0.785E-07
61	0.483E-10	-0.766E-06	0.472E-09	-0.100E-06	0.950E-04	-0.215E-07
	0.966E-10	-0.770E-06	0.247E-09	-0.100E-06	0.925E-04	-0.215E-07
71	-0.285E-04	-0.101E-05	-0.810E-07	-0.466E-05	-0.466E-06	-0.423E-04
	0.324E-04	-0.130E-05	-0.625E-04	0.993E-04	-0.525E-04	-0.320E-04
81	0.245E-05	0.725E-05	-0.428E-07	-0.398E-05	0.430E-04	-0.536E-05
	0.447E-05	0.701E-05	-0.614E-10	0.258E-06	-0.469E-04	0.723E-05
91	0.247E-05	0.748E-05	0.187E-07	0.122E-05	0.287E-06	-0.554E-05
	0.426E-05	0.724E-05	0.189E-10	0.272E-05	-0.426E-05	0.735E-05
101	-0.291E-04	-0.626E-06	0.837E-07	0.919E-05	-0.233E-05	-0.437E-04
	0.334E-04	-0.914E-06	0.643E-04	-0.995E-04	0.471E-04	-0.324E-04
111	0.324E-04	-0.130E-05	-0.625E-04	0.993E-04	-0.525E-04	-0.320E-04
	0.447E-05	0.701E-05	-0.614E-10	0.258E-06	-0.469E-04	0.723E-05
121	0.447E-05	0.701E-05	-0.614E-10	0.258E-06	-0.469E-04	0.723E-05
	0.426E-05	0.724E-05	0.189E-10	0.272E-05	-0.426E-05	0.735E-05
131	0.426E-05	0.724E-05	0.189E-10	0.272E-05	-0.426E-05	0.735E-05
	0.334E-04	-0.914E-06	0.643E-04	-0.995E-04	0.471E-04	-0.324E-04

141 0.324E-04 -0.130E-05 -0.625E-04 0.993E-04 -0.525E-04 -0.320E-04
0.113E-03 -0.106E-02 -0.843E-04 0.136E-03 0.185E-06 -0.103E-03

151 0.334E-04 -0.914E-06 0.643E-04 -0.995E-04 0.471E-04 -0.324E-04
0.117E-03 -0.106E-02 0.869E-04 -0.137E-03 0.328E-05 -0.103E-03

161 0.245E-05 0.725E-05 -0.428E-07 -0.398E-05 0.430E-04 -0.536E-05
0.307E-07 0.143E-04 0.148E-06 -0.198E-05 -0.299E-05 0.323E-06

171 0.247E-05 0.748E-05 0.187E-07 0.122E-05 0.287E-06 -0.554E-05
0.307E-07 0.130E-04 -0.865E-06 0.106E-04 0.885E-06 0.336E-06

181 0.307E-07 0.143E-04 0.148E-06 -0.198E-05 -0.299E-05 0.323E-06
0.307E-07 0.130E-04 -0.865E-06 0.106E-04 0.885E-06 0.336E-06

191 0.307E-07 0.143E-04 0.148E-06 -0.198E-05 -0.299E-05 0.323E-06
0.770E-08 0.143E-04 0.122E-06 -0.147E-05 0.122E-04 0.438E-06

201 0.307E-07 0.130E-04 -0.865E-06 0.106E-04 0.885E-06 0.336E-06
0.676E-08 0.129E-04 -0.493E-06 0.995E-05 -0.113E-04 0.453E-06

211 -0.285E-04 -0.101E-05 -0.810E-07 -0.466E-05 -0.466E-06 -0.423E-04
-0.845E-05 -0.112E-04 -0.335E-06 -0.339E-04 -0.411E-05 -0.384E-04

221 0.307E-07 0.143E-04 0.148E-06 -0.198E-05 -0.299E-05 0.323E-06
0.869E-06 0.427E-05 0.367E-08 0.305E-05 0.544E-05 -0.459E-04

231 0.770E-08 0.143E-04 0.122E-06 -0.147E-05 0.122E-04 0.438E-06
-0.845E-05 -0.112E-04 -0.335E-06 -0.339E-04 -0.411E-05 -0.384E-04

241 0.307E-07 0.130E-04 -0.865E-06 0.106E-04 0.885E-06 0.336E-06
0.823E-06 0.511E-05 -0.564E-07 -0.753E-06 -0.258E-05 -0.431E-04

251 0.676E-08 0.129E-04 -0.493E-06 0.995E-05 -0.113E-04 0.453E-06
-0.882E-05 -0.462E-05 0.250E-06 0.105E-04 0.108E-05 -0.309E-04

261 -0.291E-04 -0.626E-06 0.837E-07 0.919E-05 -0.233E-05 -0.437E-04
-0.882E-05 -0.462E-05 0.250E-06 0.105E-04 0.108E-05 -0.309E-04

271 0.353E-09 -0.225E-05 -0.538E-10 -0.111E-07 -0.933E-07 -0.785E-07
-0.458E-10 -0.199E-04 -0.148E-08 0.664E-06 0.183E-05 0.632E-08

281 0.966E-10 -0.770E-06 0.247E-09 -0.100E-06 0.925E-04 -0.215E-07
-0.173E-10 -0.542E-05 0.164E-08 -0.734E-06 0.172E-04 0.105E-08

291 -0.346E-10 -0.199E-04 -0.299E-08 0.670E-06 0.187E-05 0.501E-08
-0.845E-05 -0.112E-04 -0.335E-06 -0.339E-04 -0.411E-05 -0.384E-04

301 -0.845E-05 -0.112E-04 -0.335E-06 -0.339E-04 -0.411E-05 -0.384E-04
0.869E-06 0.427E-05 0.367E-08 0.305E-05 0.544E-05 -0.459E-04

311 0.869E-06 0.427E-05 0.367E-08 0.305E-05 0.544E-05 -0.459E-04
0.823E-06 0.511E-05 -0.564E-07 -0.753E-06 -0.258E-05 -0.431E-04

321 0.823E-06 0.511E-05 -0.564E-07 -0.753E-06 -0.258E-05 -0.431E-04
-0.882E-05 -0.462E-05 0.250E-06 0.105E-04 0.108E-05 -0.309E-04

331 -0.882E-05 -0.462E-05 0.250E-06 0.105E-04 0.108E-05 -0.309E-04
-0.184E-10 -0.542E-05 0.331E-08 -0.738E-06 0.187E-04 -0.500E-09

341 -0.346E-10 -0.199E-04 -0.299E-08 0.670E-06 0.187E-05 0.501E-08
-0.458E-10 -0.199E-04 -0.148E-08 0.664E-06 0.183E-05 0.632E-08

351 -0.184E-10 -0.542E-05 0.331E-08 -0.738E-06 0.187E-04 -0.500E-09
-0.173E-10 -0.542E-05 0.164E-08 -0.734E-06 0.172E-04 0.105E-08

361 -0.845E-05 -0.112E-04 -0.335E-06 -0.339E-04 -0.411E-05 -0.384E-04
-0.487E-08 -0.634E-04 -0.201E-06 -0.170E-04 0.270E-06 0.451E-06

371 0.869E-06 0.427E-05 0.367E-08 0.305E-05 0.544E-05 -0.459E-04
-0.241E-08 -0.609E-04 -0.114E-06 -0.967E-05 -0.358E-06 0.192E-06

381 0.823E-06 0.511E-05 -0.564E-07 -0.753E-06 -0.258E-05 -0.431E-04
-0.206E-08 -0.580E-04 -0.268E-06 -0.226E-04 0.226E-06 0.163E-06

391 -0.882E-05 -0.462E-05 0.250E-06 0.105E-04 0.108E-05 -0.309E-04
-0.307E-08 -0.535E-04 -0.113E-06 -0.961E-05 -0.745E-07 0.315E-06

401 -0.221E-08 -0.634E-04 -0.101E-06 -0.171E-04 0.261E-06 0.347E-06
-0.487E-08 -0.634E-04 -0.201E-06 -0.170E-04 0.270E-06 0.451E-06

411 -0.128E-08 -0.609E-04 -0.568E-07 -0.964E-05 -0.341E-06 0.202E-06
-0.241E-08 -0.609E-04 -0.114E-06 -0.967E-05 -0.358E-06 0.192E-06

421 -0.109E-08 -0.580E-04 -0.134E-06 -0.227E-04 0.218E-06 0.173E-06
-0.206E-08 -0.580E-04 -0.268E-06 -0.226E-04 0.226E-06 0.163E-06

431 -0.121E-08 -0.535E-04 -0.568E-07 -0.961E-05 -0.716E-07 0.206E-06
-0.307E-08 -0.535E-04 -0.113E-06 -0.961E-05 -0.745E-07 0.315E-06

441 0.242E-10 -0.667E-04 -0.150E-08 0.337E-06 -0.127E-06 -0.107E-07
-0.487E-08 -0.634E-04 -0.201E-06 -0.170E-04 0.270E-06 0.451E-06

451 -0.487E-08 -0.634E-04 -0.201E-06 -0.170E-04 0.270E-06 0.451E-06
-0.241E-08 -0.609E-04 -0.114E-06 -0.967E-05 -0.358E-06 0.192E-06

461 -0.241E-08 -0.609E-04 -0.114E-06 -0.967E-05 -0.358E-06 0.192E-06
-0.206E-08 -0.580E-04 -0.268E-06 -0.226E-04 0.226E-06 0.163E-06

471 -0.206E-08 -0.580E-04 -0.268E-06 -0.226E-04 0.226E-06 0.163E-06
-0.307E-08 -0.535E-04 -0.113E-06 -0.961E-05 -0.745E-07 0.315E-06

481 -0.307E-08 -0.535E-04 -0.113E-06 -0.961E-05 -0.745E-07 0.315E-06
0.109E-10 -0.528E-04 0.267E-07 -0.592E-05 0.435E-07 -0.474E-08

491 0.242E-10 -0.667E-04 -0.150E-08 0.337E-06 -0.127E-06 -0.107E-07
0.482E-10 -0.667E-04 -0.745E-09 0.333E-06 -0.125E-06 -0.106E-07

501 0.109E-10 -0.528E-04 0.267E-07 -0.592E-05 0.435E-07 -0.474E-08
0.215E-10 -0.528E-04 0.133E-07 -0.593E-05 0.429E-07 -0.474E-08

511 -0.221E-08 -0.634E-04 -0.101E-06 -0.171E-04 0.261E-06 0.347E-06
0.367E-08 -0.378E-05 -0.323E-07 -0.549E-05 -0.803E-08 0.311E-06

521 -0.128E-08 -0.609E-04 -0.568E-07 -0.964E-05 -0.341E-06 0.202E-06
-0.183E-08 -0.710E-06 -0.722E-07 -0.182E-05 0.102E-10 -0.155E-06

531 -0.109E-08 -0.580E-04 -0.134E-06 -0.227E-04 0.218E-06 0.173E-06
-0.962E-09 -0.491E-06 -0.769E-08 -0.279E-06 0.108E-07 -0.819E-07

541 -0.121E-08 -0.535E-04 -0.568E-07 -0.961E-05 -0.716E-07 0.206E-06
0.310E-08 -0.205E-05 -0.173E-08 -0.305E-06 0.567E-09 0.262E-06

551 0.482E-10 -0.667E-04 -0.745E-09 0.333E-06 -0.125E-06 -0.106E-07
-0.338E-09 -0.565E-05 -0.179E-08 0.798E-06 0.352E-09 0.751E-07

561 0.215E-10 -0.528E-04 0.133E-07 -0.593E-05 0.429E-07 -0.474E-08
-0.835E-10 -0.253E-05 0.379E-08 -0.169E-05 -0.526E-08 0.186E-07

571 0.367E-08 -0.378E-05 -0.323E-07 -0.549E-05 -0.803E-08 0.311E-06
0.184E-08 -0.377E-05 -0.646E-07 -0.547E-05 0.118E-08 0.311E-06

581 -0.183E-08 -0.710E-06 -0.722E-07 -0.182E-05 0.102E-10 -0.155E-06
-0.914E-09 -0.954E-06 -0.827E-07 -0.172E-05 -0.349E-08 -0.155E-06

591 -0.183E-08 -0.710E-06 -0.722E-07 -0.182E-05 0.102E-10 -0.155E-06
-0.221E-08 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00

601 -0.221E-08 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
-0.962E-09 -0.491E-06 -0.769E-08 -0.279E-06 0.108E-07 -0.819E-07

611 -0.962E-09 -0.491E-06 -0.769E-08 -0.279E-06 0.108E-07 -0.819E-07
-0.478E-09 -0.649E-06 -0.950E-08 -0.301E-06 0.149E-08 -0.813E-07

621 0.310E-08 -0.205E-05 -0.173E-08 -0.305E-06 0.567E-09 0.262E-06
0.155E-08 -0.203E-05 -0.352E-08 -0.302E-06 0.165E-08 0.263E-06

631 -0.169E-09 -0.563E-05 -0.360E-08 0.803E-06 -0.549E-09 0.751E-07
0.184E-08 -0.377E-05 -0.646E-07 -0.547E-05 0.118E-08 0.311E-06

641 0.184E-08 -0.377E-05 -0.646E-07 -0.547E-05 0.118E-08 0.311E-06
-0.914E-09 -0.954E-06 -0.827E-07 -0.172E-05 -0.349E-08 -0.155E-06

651 -0.914E-09 -0.954E-06 -0.827E-07 -0.172E-05 -0.349E-08 -0.155E-06
-0.478E-09 -0.649E-06 -0.950E-08 -0.301E-06 0.149E-08 -0.813E-07

661 -0.478E-09 -0.649E-06 -0.950E-08 -0.301E-06 0.149E-08 -0.813E-07
0.155E-08 -0.203E-05 -0.352E-08 -0.302E-06 0.165E-08 0.263E-06

671 0.155E-08 -0.203E-05 -0.352E-08 -0.302E-06 0.165E-08 0.263E-06
-0.417E-10 -0.252E-05 0.758E-08 -0.169E-05 -0.533E-08 0.186E-07

681 -0.169E-09 -0.563E-05 -0.360E-08 0.803E-06 -0.549E-09 0.751E-07
-0.338E-09 -0.565E-05 -0.179E-08 0.798E-06 0.352E-09 0.751E-07

691 -0.417E-10 -0.252E-05 0.758E-08 -0.169E-05 -0.533E-08 0.186E-07
-0.835E-10 -0.253E-05 0.379E-08 -0.169E-05 -0.526E-08 0.186E-07

701 -0.183E-08 -0.710E-06 -0.722E-07 -0.182E-05 0.102E-10 -0.155E-06
-0.129E-08 -0.905E-04 -0.183E-10 0.326E-04 -0.147E-07 -0.284E-05

711 -0.962E-09 -0.491E-06 -0.769E-08 -0.279E-06 0.108E-07 -0.819E-07
-0.282E-08 -0.733E-04 0.529E-11 -0.149E-03 0.245E-08 -0.529E-05

721 -0.338E-09 -0.565E-05 -0.179E-08 0.798E-06 0.352E-09 0.751E-07
-0.283E-09 -0.259E-04 0.197E-10 -0.241E-08 0.218E-08 0.173E-07

731 -0.835E-10 -0.253E-05 0.379E-08 -0.169E-05 -0.526E-08 0.186E-07
0.100E-09 -0.415E-04 0.367E-10 -0.460E-08 -0.203E-08 -0.631E-08

741 -0.142E-09 -0.259E-04 0.393E-10 -0.241E-08 0.254E-08 0.173E-07
-0.129E-08 -0.905E-04 -0.183E-10 0.326E-04 -0.147E-07 -0.284E-05

751 -0.129E-08 -0.905E-04 -0.183E-10 0.326E-04 -0.147E-07 -0.284E-05
-0.282E-08 -0.733E-04 0.529E-11 -0.149E-03 0.245E-08 -0.529E-05

761 -0.282E-08 -0.733E-04 0.529E-11 -0.149E-03 0.245E-08 -0.529E-05
0.496E-10 -0.415E-04 0.735E-10 -0.460E-08 -0.169E-08 -0.631E-08

771 -0.142E-09 -0.259E-04 0.393E-10 -0.241E-08 0.254E-08 0.173E-07
-0.283E-09 -0.259E-04 0.197E-10 -0.241E-08 0.218E-08 0.173E-07

781 0.496E-10 -0.415E-04 0.735E-10 -0.460E-08 -0.169E-08 -0.631E-08
0.100E-09 -0.415E-04 0.367E-10 -0.460E-08 -0.203E-08 -0.631E-08

791 -0.129E-08 -0.905E-04 -0.183E-10 0.326E-04 -0.147E-07 -0.284E-05
-0.861E-09 0.722E-04 -0.133E-10 -0.240E-04 0.257E-08 0.228E-03

801 -0.282E-08 -0.733E-04 0.529E-11 -0.149E-03 0.245E-08 -0.529E-05
-0.425E-08 0.522E-04 -0.160E-10 0.120E-03 -0.435E-08 0.176E-03

811 -0.283E-09 -0.259E-04 0.197E-10 -0.241E-08 0.218E-08 0.173E-07
-0.845E-09 0.258E-04 -0.144E-10 0.177E-08 -0.766E-09 0.543E-07

821 0.100E-09 -0.415E-04 0.367E-10 -0.460E-08 -0.203E-08 -0.631E-08
-0.139E-09 -0.121E-04 -0.182E-10 0.228E-08 0.272E-07 0.105E-07

831 -0.403E-09 0.258E-04 -0.289E-10 0.177E-08 -0.814E-09 0.543E-07
-0.861E-09 0.722E-04 -0.133E-10 -0.240E-04 0.257E-08 0.228E-03

841 -0.861E-09 0.722E-04 -0.133E-10 -0.240E-04 0.257E-08 0.228E-03
-0.425E-08 0.522E-04 -0.160E-10 0.120E-03 -0.435E-08 0.176E-03

851 -0.425E-08 0.522E-04 -0.160E-10 0.120E-03 -0.435E-08 0.176E-03
-0.547E-10 -0.121E-04 -0.364E-10 0.228E-08 0.259E-07 0.105E-07

861 -0.403E-09 0.258E-04 -0.289E-10 0.177E-08 -0.814E-09 0.543E-07
-0.845E-09 0.258E-04 -0.144E-10 0.177E-08 -0.766E-09 0.543E-07

871 -0.547E-10 -0.121E-04 -0.364E-10 0.228E-08 0.259E-07 0.105E-07
-0.139E-09 -0.121E-04 -0.182E-10 0.228E-08 0.272E-07 0.105E-07

881 -0.861E-09 0.722E-04 -0.133E-10 -0.240E-04 0.257E-08 0.228E-03
-0.400E-09 0.205E-03 -0.959E-10 -0.733E-04 -0.206E-08 -0.328E-04

891 -0.425E-08 0.522E-04 -0.160E-10 0.120E-03 -0.435E-08 0.176E-03
-0.569E-08 0.153E-03 -0.901E-10 0.340E-03 0.128E-07 -0.260E-04

901 -0.845E-09 0.258E-04 -0.144E-10 0.177E-08 -0.766E-09 0.543E-07
0.720E-10 0.621E-04 -0.440E-10 0.540E-08 -0.300E-09 -0.476E-08

911 -0.139E-09 -0.121E-04 -0.182E-10 0.228E-08 0.272E-07 0.105E-07
0.918E-09 -0.257E-04 -0.589E-10 0.747E-08 -0.142E-06 -0.579E-07

921 0.332E-10 0.621E-04 -0.881E-10 0.540E-08 -0.247E-09 -0.476E-08
-0.400E-09 0.205E-03 -0.959E-10 -0.733E-04 -0.206E-08 -0.328E-04

931 -0.400E-09 0.205E-03 -0.959E-10 -0.733E-04 -0.206E-08 -0.328E-04
-0.569E-08 0.153E-03 -0.901E-10 0.340E-03 0.128E-07 -0.260E-04

941 -0.569E-08 0.153E-03 -0.901E-10 0.340E-03 0.128E-07 -0.260E-04
0.455E-09 -0.257E-04 -0.119E-09 0.746E-08 -0.132E-06 -0.575E-07

951 0.332E-10 0.621E-04 -0.881E-10 0.540E-08 -0.247E-09 -0.476E-08
0.720E-10 0.621E-04 -0.440E-10 0.540E-08 -0.300E-09 -0.476E-08

961 0.455E-09 -0.257E-04 -0.119E-09 0.746E-08 -0.132E-06 -0.575E-07
0.918E-09 -0.257E-04 -0.589E-10 0.747E-08 -0.142E-06 -0.579E-07

971 -0.400E-09 0.205E-03 -0.959E-10 -0.733E-04 -0.206E-08 -0.328E-04
0.197E-09 0.262E-04 -0.456E-10 -0.378E-05 -0.761E-08 -0.233E-03

981 -0.569E-08 0.153E-03 -0.901E-10 0.340E-03 0.128E-07 -0.260E-04
-0.744E-08 0.163E-04 -0.110E-09 0.426E-04 0.187E-07 -0.180E-03

991 0.720E-10 0.621E-04 -0.440E-10 0.540E-08 -0.300E-09 -0.476E-08
0.745E-09 0.183E-04 -0.227E-11 0.279E-09 0.318E-08 -0.482E-07

1001 0.918E-09 -0.257E-04 -0.589E-10 0.747E-08 -0.142E-06 -0.579E-07
0.675E-10 -0.207E-04 -0.266E-11 0.333E-09 -0.659E-07 -0.609E-08

1011 0.352E-09 0.183E-04 -0.454E-11 0.279E-09 0.321E-08 -0.482E-07
0.197E-09 0.262E-04 -0.456E-10 -0.378E-05 -0.761E-08 -0.233E-03

1021 0.197E-09 0.262E-04 -0.456E-10 -0.378E-05 -0.761E-08 -0.233E-03
-0.744E-08 0.163E-04 -0.110E-09 0.426E-04 0.187E-07 -0.180E-03

1031 -0.744E-08 0.163E-04 -0.110E-09 0.426E-04 0.187E-07 -0.180E-03
0.188E-10 -0.207E-04 -0.533E-11 0.333E-09 -0.614E-07 -0.609E-08

1041 0.352E-09 0.183E-04 -0.454E-11 0.279E-09 0.321E-08 -0.482E-07
0.745E-09 0.183E-04 -0.227E-11 0.279E-09 0.318E-08 -0.482E-07

1051 0.188E-10 -0.207E-04 -0.533E-11 0.333E-09 -0.614E-07 -0.609E-08
0.675E-10 -0.207E-04 -0.266E-11 0.333E-09 -0.659E-07 -0.609E-08

1061 0.197E-09 0.262E-04 -0.456E-10 -0.378E-05 -0.761E-08 -0.233E-03
0.990E-09 -0.110E-03 0.248E-09 0.490E-04 0.372E-07 0.304E-04

1071 -0.744E-08 0.163E-04 -0.110E-09 0.426E-04 0.187E-07 -0.180E-03
-0.942E-08 -0.885E-04 0.484E-09 -0.184E-03 -0.115E-06 0.252E-04

1081 0.745E-09 0.183E-04 -0.227E-11 0.279E-09 0.318E-08 -0.482E-07
-0.990E-10 -0.156E-04 0.295E-10 -0.361E-08 -0.117E-07 0.640E-08

1091 0.675E-10 -0.207E-04 -0.266E-11 0.333E-09 -0.659E-07 -0.609E-08
-0.359E-09 -0.339E-04 0.420E-10 -0.525E-08 0.528E-06 0.227E-07

1101 -0.469E-10 -0.157E-04 0.589E-10 -0.361E-08 -0.121E-07 0.640E-08
0.990E-09 -0.110E-03 0.248E-09 0.490E-04 0.372E-07 0.304E-04

1111 0.990E-09 -0.110E-03 0.248E-09 0.490E-04 0.372E-07 0.304E-04
-0.942E-08 -0.885E-04 0.484E-09 -0.184E-03 -0.115E-06 0.252E-04

1121 -0.942E-08 -0.885E-04 0.484E-09 -0.184E-03 -0.115E-06 0.252E-04
-0.178E-09 -0.339E-04 0.840E-10 -0.525E-08 0.498E-06 0.227E-07

1131 -0.469E-10 -0.157E-04 0.589E-10 -0.361E-08 -0.121E-07 0.640E-08
-0.990E-10 -0.156E-04 0.295E-10 -0.361E-08 -0.117E-07 0.640E-08

1141 -0.178E-09 -0.339E-04 0.840E-10 -0.525E-08 0.498E-06 0.227E-07
-0.359E-09 -0.339E-04 0.420E-10 -0.525E-08 0.528E-06 0.227E-07

1151 0.990E-09 -0.110E-03 0.248E-09 0.490E-04 0.372E-07 0.304E-04
0.143E-08 0.583E-04 -0.743E-09 -0.144E-04 -0.131E-06 0.207E-03

1161 -0.942E-08 -0.885E-04 0.484E-09 -0.184E-03 -0.115E-06 0.252E-04
-0.108E-07 0.449E-04 -0.145E-08 0.950E-04 0.496E-06 0.164E-03

1171 -0.990E-10 -0.156E-04 0.295E-10 -0.361E-08 -0.117E-07 0.640E-08
0.186E-09 0.286E-04 -0.868E-11 0.106E-08 0.317E-07 0.511E-07

1181 -0.359E-09 -0.339E-04 0.420E-10 -0.525E-08 0.528E-06 0.227E-07
-0.873E-09 0.177E-04 -0.204E-10 0.255E-08 -0.287E-05 0.563E-07

1191 0.608E-09 0.286E-04 -0.174E-10 0.107E-08 0.337E-07 0.519E-07
0.143E-08 0.583E-04 -0.743E-09 -0.144E-04 -0.131E-06 0.207E-03

1201 0.143E-08 0.583E-04 -0.743E-09 -0.144E-04 -0.131E-06 0.207E-03
-0.108E-07 0.449E-04 -0.145E-08 0.950E-04 0.496E-06 0.164E-03

1211 -0.108E-07 0.449E-04 -0.145E-08 0.950E-04 0.496E-06 0.164E-03
-0.423E-09 0.177E-04 -0.408E-10 0.255E-08 -0.270E-05 0.563E-07

1221 0.608E-09 0.286E-04 -0.174E-10 0.107E-08 0.337E-07 0.519E-07
0.186E-09 0.286E-04 -0.868E-11 0.106E-08 0.317E-07 0.511E-07

1231 -0.423E-09 0.177E-04 -0.408E-10 0.255E-08 -0.270E-05 0.563E-07
-0.873E-09 0.177E-04 -0.204E-10 0.255E-08 -0.287E-05 0.563E-07

1241 0.143E-08 0.583E-04 -0.743E-09 -0.144E-04 -0.131E-06 0.207E-03
0.428E-08 0.162E-03 -0.272E-09 -0.469E-04 0.317E-06 -0.492E-04

1251 -0.108E-07 0.449E-04 -0.145E-08 0.950E-04 0.496E-06 0.164E-03
-0.166E-07 0.127E-03 -0.527E-09 0.265E-03 -0.166E-05 -0.394E-04

1261 0.608E-09 0.286E-04 -0.174E-10 0.107E-08 0.337E-07 0.519E-07
-0.298E-09 0.677E-04 -0.282E-10 0.346E-08 -0.580E-07 0.176E-07

1271 -0.873E-09 0.177E-04 -0.204E-10 0.255E-08 -0.287E-05 0.563E-07
-0.288E-09 0.599E-04 -0.574E-10 0.765E-08 0.157E-04 0.176E-07

1281 -0.155E-09 0.677E-04 -0.563E-10 0.346E-08 -0.647E-07 0.179E-07
0.428E-08 0.162E-03 -0.272E-09 -0.469E-04 0.317E-06 -0.492E-04

1291 0.428E-08 0.162E-03 -0.272E-09 -0.469E-04 0.317E-06 -0.492E-04
-0.166E-07 0.127E-03 -0.527E-09 0.265E-03 -0.166E-05 -0.394E-04

1301 -0.166E-07 0.127E-03 -0.527E-09 0.265E-03 -0.166E-05 -0.394E-04
-0.147E-09 0.599E-04 -0.119E-09 0.767E-08 0.147E-04 0.176E-07

1311 -0.155E-09 0.677E-04 -0.563E-10 0.346E-08 -0.647E-07 0.179E-07
-0.298E-09 0.677E-04 -0.282E-10 0.346E-08 -0.580E-07 0.176E-07

1321 -0.147E-09 0.599E-04 -0.119E-09 0.767E-08 0.147E-04 0.176E-07
-0.288E-09 0.599E-04 -0.574E-10 0.765E-08 0.157E-04 0.176E-07

1331 0.428E-08 0.162E-03 -0.272E-09 -0.469E-04 0.317E-06 -0.492E-04
0.000E+00 0.608E-04 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00

1341 -0.166E-07 0.127E-03 -0.527E-09 0.265E-03 -0.166E-05 -0.394E-04
0.000E+00 0.469E-04 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00

1351 -0.298E-09 0.677E-04 -0.282E-10 0.346E-08 -0.580E-07 0.176E-07
0.661E-09 0.589E-04 0.164E-15 0.210E-13 0.149E-07 -0.406E-07

1361 -0.288E-09 0.599E-04 -0.574E-10 0.765E-08 0.157E-04 0.176E-07
-0.288E-09 0.312E-04 -0.421E-04 0.599E-04 0.394E-04 -0.506E-04

1371 0.331E-09 0.589E-04 -0.808E-17 -0.562E-14 0.139E-07 -0.406E-07
0.000E+00 0.608E-04 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00

1381 0.000E+00 0.608E-04 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.469E-04 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00

1391 0.000E+00 0.469E-04 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.825E-07 -0.110E-03 0.542E-08 0.678E-04 0.702E-07 0.770E-05

1401 0.331E-09 0.589E-04 -0.808E-17 -0.562E-14 0.139E-07 -0.406E-07
0.661E-09 0.589E-04 0.164E-15 0.210E-13 0.149E-07 -0.406E-07

1411 0.825E-07 -0.110E-03 0.542E-08 0.678E-04 0.702E-07 0.770E-05
0.918E-09 -0.257E-04 -0.589E-10 0.747E-08 -0.142E-06 -0.579E-07

Element Number	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN.m)	B.Moment-y (kN.m)	B.Moment-z (kN.m)
-------------------	---------------	-----------------	-----------------	-------------------	----------------------	----------------------

11	0.107E+00	-0.801E-01	-0.248E+01	0.835E-02	0.521E+00	-0.385E-01
	-0.107E+00	0.801E-01	0.248E+01	-0.835E-02	0.520E+00	0.489E-02

21	-0.393E-01	-0.878E+00	0.794E+00	-0.566E-02	-0.258E+00	-0.235E+00
	0.393E-01	0.878E+00	-0.794E+00	0.566E-02	-0.171E+00	-0.240E+00

31	-0.669E-01	0.784E+00	-0.126E+01	0.585E-02	0.344E+00	0.241E+00
	0.669E-01	-0.784E+00	0.126E+01	-0.585E-02	0.339E+00	0.183E+00

41	0.110E+00	-0.561E+00	0.844E+00	-0.864E-02	-0.302E+00	-0.161E+00
	-0.110E+00	0.561E+00	-0.844E+00	0.864E-02	-0.521E-01	-0.745E-01

51	0.358E+00	-0.228E+02	-0.638E+00	0.374E-03	0.144E-02	-0.512E-01
	-0.358E+00	0.228E+02	0.638E+00	-0.374E-03	0.144E-02	-0.513E-01

61	0.200E+00	-0.622E+01	-0.573E+01	0.462E-01	0.129E-01	-0.140E-01
	-0.200E+00	0.622E+01	0.573E+01	-0.462E-01	0.129E-01	-0.140E-01

71	0.162E+00	0.241E+02	0.367E-02	0.536E-02	-0.127E-02	0.927E+01
	-0.162E+00	-0.241E+02	-0.367E-02	-0.536E-02	-0.169E-02	0.101E+02

81	0.136E+00	0.216E+01	0.000E+00	0.925E-02	0.000E+00	0.340E+00
	-0.136E+00	-0.216E+01	0.000E+00	-0.925E-02	0.000E+00	0.140E+01

91	0.137E+00	0.196E+01	0.000E+00	0.468E-03	0.000E+00	0.247E+00
	-0.137E+00	-0.196E+01	0.000E+00	-0.468E-03	0.000E+00	0.133E+01

101	0.162E+00	0.247E+02	-0.367E-02	-0.509E-02	0.127E-02	0.949E+01
	-0.162E+00	-0.247E+02	0.367E-02	0.509E-02	0.170E-02	0.104E+02

111	-0.339E+02	-0.127E-02	-0.180E-01	-0.602E-02	0.243E-02	-0.432E-03
	0.339E+02	0.127E-02	0.180E-01	0.602E-02	0.733E-02	-0.257E-03

121 0.000E+00 0.000E+00 0.158E+00 0.000E+00 -0.682E-01 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00 -0.158E+00 0.000E+00 -0.383E-01 0.000E+00

131 -0.350E+02 0.124E-02 0.315E+00 0.609E-02 -0.108E+00 0.245E-03
0.350E+02 -0.124E-02 -0.315E+00 -0.609E-02 -0.627E-01 0.426E-03

141 -0.330E+02 0.322E-01 -0.559E+00 -0.113E-01 0.140E+00 0.934E-02
0.330E+02 -0.322E-01 0.559E+00 0.113E-01 0.184E+00 0.932E-02

151 -0.340E+02 0.322E-01 0.589E+00 0.114E-01 -0.152E+00 0.934E-02
0.340E+02 -0.322E-01 -0.589E+00 -0.114E-01 -0.188E+00 0.932E-02

161 0.323E+01 -0.164E+01 -0.283E+00 -0.908E-03 0.134E+00 -0.605E+00
-0.323E+01 0.164E+01 0.283E+00 0.908E-03 0.601E-01 -0.518E+00

171 0.305E+01 -0.134E+01 0.104E-02 -0.110E-02 -0.173E-02 -0.505E+00
-0.305E+01 0.134E+01 -0.104E-02 0.110E-02 0.102E-02 -0.413E+00

181 0.198E+01 -0.131E+01 0.780E-01 0.000E+00 -0.409E-01 -0.279E-01
-0.198E+01 0.131E+01 -0.780E-01 0.000E+00 -0.981E-02 -0.823E+00

191 0.490E+00 0.361E+01 -0.666E+01 -0.156E-01 0.286E+00 0.117E+00
-0.490E+00 -0.361E+01 0.666E+01 0.156E-01 0.253E+00 0.175E+00

201 0.491E+00 0.372E+01 0.269E+02 0.124E-01 -0.111E+01 0.121E+00
-0.491E+00 -0.372E+01 -0.269E+02 -0.124E-01 -0.107E+01 0.181E+00

211 -0.950E+01 -0.486E+00 0.348E-02 0.190E-02 -0.179E-02 -0.316E+00
0.950E+01 0.486E+00 -0.348E-02 -0.190E-02 -0.262E-02 -0.299E+00

221 0.648E+00 -0.100E+01 -0.639E-01 0.397E-03 -0.391E-02 0.104E+00
-0.648E+00 0.100E+01 0.639E-01 -0.397E-03 0.423E-01 -0.706E+00

231 0.554E+01 0.357E+00 0.205E+00 0.000E+00 -0.184E-01 0.292E+00
-0.554E+01 -0.357E+00 -0.205E+00 0.000E+00 -0.138E+00 -0.185E-01

241 0.509E+00 -0.121E+01 0.245E-01 0.430E-03 0.630E-03 0.296E-01
-0.509E+00 0.121E+01 -0.245E-01 -0.430E-03 -0.153E-01 -0.753E+00

251 0.562E+01 0.226E+00 -0.179E+00 0.215E-02 0.234E-01 0.161E+00
-0.562E+01 -0.226E+00 0.179E+00 -0.215E-02 0.114E+00 0.119E-01

261 -0.960E+01 -0.522E+00 -0.265E-03 0.000E+00 -0.222E-03 -0.352E+00
0.960E+01 0.522E+00 0.265E-03 0.000E+00 0.558E-03 -0.310E+00

271 0.169E-03 0.216E+00 -0.938E-03 0.000E+00 0.374E-03 0.136E+00
-0.169E-03 -0.216E+00 0.938E-03 0.000E+00 0.813E-03 0.137E+00

281 0.000E+00 0.571E-01 -0.593E-01 0.000E+00 0.462E-01 0.361E-01
0.000E+00 -0.571E-01 0.593E-01 0.000E+00 0.290E-01 0.362E-01

291 0.376E+00 -0.142E-01 -0.403E+00 0.618E-02 0.111E+00 -0.140E+00
-0.376E+00 0.142E-01 0.403E+00 -0.618E-02 0.971E-01 0.133E+00

301 -0.324E+00 -0.652E+00 0.274E+00 0.102E-02 -0.927E-01 -0.763E-01
0.324E+00 0.652E+00 -0.274E+00 -0.102E-02 -0.745E-01 -0.322E+00

311 0.837E-01 -0.438E+00 -0.615E-01 -0.564E-03 0.241E-01 -0.110E+00
-0.837E-01 0.438E+00 0.615E-01 0.564E-03 0.169E-02 -0.732E-01

321 -0.293E+00 0.721E+00 -0.282E+00 -0.165E-02 0.827E-01 0.258E+00
0.293E+00 -0.721E+00 0.282E+00 0.165E-02 0.897E-01 0.183E+00

331 0.280E+00 -0.307E+00 0.190E+00 -0.498E-02 -0.689E-01 -0.124E+00
-0.280E+00 0.307E+00 -0.190E+00 0.498E-02 -0.290E-01 -0.348E-01

341 -0.730E-01 0.183E+01 0.379E+02 0.814E-03 -0.856E-01 0.384E-02
0.730E-01 -0.183E+01 -0.379E+02 -0.814E-03 -0.851E-01 0.441E-02

351 0.854E-01 0.306E+00 -0.419E+02 0.290E-01 0.945E-01 0.352E-03
-0.854E-01 -0.306E+00 0.419E+02 -0.290E-01 0.941E-01 0.103E-02

361 -0.442E+01 0.664E+00 0.487E-02 -0.125E-02 -0.382E-02 0.284E+00
0.442E+01 -0.664E+00 -0.487E-02 0.125E-02 -0.161E-02 0.457E+00

371 0.456E+00 0.850E+00 -0.660E-02 0.947E-03 0.514E-02 0.372E+00
-0.456E+00 -0.850E+00 0.660E-02 -0.947E-03 0.222E-02 0.577E+00

381 0.432E+00 0.838E+00 0.370E-02 0.163E-02 -0.277E-02 0.371E+00
-0.432E+00 -0.838E+00 -0.370E-02 -0.163E-02 -0.136E-02 0.563E+00

391 -0.461E+01 0.681E+00 -0.484E-03 0.150E-02 0.562E-03 0.310E+00
0.461E+01 -0.681E+00 0.484E-03 -0.150E-02 0.000E+00 0.449E+00

401 0.234E+00 0.146E+02 -0.142E+03 0.000E+00 0.837E+00 0.776E-01
-0.234E+00 -0.146E+02 0.142E+03 0.000E+00 0.836E+00 0.949E-01

411 0.237E+00 0.854E+01 -0.801E+02 0.116E-03 0.472E+00 0.513E-01
-0.237E+00 -0.854E+01 0.801E+02 -0.116E-03 0.473E+00 0.495E-01

421 0.222E+00 0.730E+01 -0.189E+03 0.000E+00 0.111E+01 0.439E-01
-0.222E+00 -0.730E+01 0.189E+03 0.000E+00 0.111E+01 0.422E-01

431 0.190E+00 0.869E+01 -0.799E+02 0.000E+00 0.472E+00 0.422E-01
-0.190E+00 -0.869E+01 0.799E+02 0.000E+00 0.472E+00 0.603E-01

441 0.226E+00 0.171E+00 -0.213E-02 0.000E+00 0.100E-03 -0.244E-01
-0.226E+00 -0.171E+00 0.213E-02 0.000E+00 0.998E-03 0.113E+00

451 -0.834E-01 0.609E+00 0.900E-03 0.000E+00 0.324E-03 0.210E+00
0.834E-01 -0.609E+00 -0.900E-03 0.000E+00 -0.874E-03 0.161E+00

461 0.214E+00 0.126E+01 0.266E-02 0.000E+00 -0.137E-02 0.201E+00
-0.214E+00 -0.126E+01 -0.266E-02 0.000E+00 0.257E-03 0.327E+00

471 -0.147E+00 0.575E+00 -0.145E-02 0.000E+00 0.731E-03 0.219E+00
0.147E+00 -0.575E+00 0.145E-02 0.000E+00 0.157E-03 0.132E+00

481 -0.159E+00 0.585E+00 0.567E-03 0.000E+00 -0.280E-03 0.165E+00
0.159E+00 -0.585E+00 -0.567E-03 0.000E+00 0.000E+00 0.136E+00

491 -0.243E+00 -0.309E+01 0.190E+02 0.000E+00 -0.430E-01 -0.694E-02
0.243E+00 0.309E+01 -0.190E+02 0.000E+00 -0.426E-01 -0.694E-02

501 -0.185E+00 -0.138E+01 -0.339E+03 0.000E+00 0.762E+00 -0.310E-02
0.185E+00 0.138E+01 0.339E+03 0.000E+00 0.763E+00 -0.309E-02

511 -0.149E-02 -0.321E+00 -0.108E-03 -0.706E-03 0.000E+00 -0.218E+00
0.149E-02 0.321E+00 0.108E-03 0.706E-03 0.000E+00 -0.218E+00

521 -0.127E-03 -0.327E+00 0.111E-03 -0.476E-03 0.000E+00 -0.223E+00
0.127E-03 0.327E+00 -0.111E-03 0.476E-03 0.000E+00 -0.223E+00

531 -0.221E-02 -0.303E+00 -0.126E-03 -0.136E-02 0.100E-03 -0.205E+00
0.221E-02 0.303E+00 0.126E-03 0.136E-02 0.000E+00 -0.208E+00

541 -0.109E-02 -0.277E+00 0.000E+00 -0.568E-03 0.000E+00 -0.189E+00
0.109E-02 0.277E+00 0.000E+00 0.568E-03 0.000E+00 -0.188E+00

551 0.000E+00 -0.331E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.225E+00
0.000E+00 0.331E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.225E+00

561 0.000E+00 -0.273E+00 0.000E+00 -0.259E-03 0.000E+00 -0.185E+00
0.000E+00 0.273E+00 0.000E+00 0.259E-03 0.000E+00 -0.185E+00

571 -0.410E+00 0.131E+02 -0.456E+02 0.000E+00 0.270E+00 0.773E-01
0.410E+00 -0.131E+02 0.456E+02 0.000E+00 0.269E+00 0.774E-01

581 0.522E+01 -0.652E+01 -0.146E+02 0.000E+00 0.879E-01 -0.384E-01
-0.522E+01 0.652E+01 0.146E+02 0.000E+00 0.845E-01 -0.385E-01

591 -0.521E+00 -0.389E+01 -0.893E-02 0.000E+00 0.135E-02 -0.464E+00
0.521E+00 0.389E+01 0.893E-02 0.000E+00 0.135E-02 -0.711E+00

601 0.555E-01 0.476E+01 -0.890E-02 0.000E+00 -0.574E-03 0.701E+00
-0.555E-01 -0.476E+01 0.890E-02 0.000E+00 0.327E-02 0.739E+00

611 0.339E+01 -0.342E+01 -0.226E+01 0.000E+00 0.130E-01 -0.202E-01
-0.339E+01 0.342E+01 0.226E+01 0.000E+00 0.137E-01 -0.201E-01

621 -0.366E+00 0.111E+02 -0.253E+01 0.000E+00 0.150E-01 0.653E-01
0.366E+00 -0.111E+02 0.253E+01 0.000E+00 0.149E-01 0.653E-01

631 0.258E+00 -0.120E+01 0.872E-02 0.000E+00 -0.243E-02 -0.561E+00
-0.258E+00 0.120E+01 -0.872E-02 0.000E+00 -0.207E-02 -0.599E-01

641 0.763E-01 -0.169E+01 -0.100E-01 0.000E+00 0.308E-02 -0.289E+00
-0.763E-01 0.169E+01 0.100E-01 0.000E+00 0.211E-02 -0.587E+00

651 -0.264E+00 0.341E+00 0.305E-02 0.000E+00 -0.137E-02 0.151E+00
0.264E+00 -0.341E+00 -0.305E-02 0.000E+00 -0.476E-03 0.549E-01

661 -0.252E-01 0.273E+01 0.566E-02 0.000E+00 -0.148E-02 0.707E+00
0.252E-01 -0.273E+01 -0.566E-02 0.000E+00 -0.145E-02 0.707E+00

671 -0.470E-01 0.180E+01 -0.304E-02 0.000E+00 0.151E-02 0.410E+00
0.470E-01 -0.180E+01 0.304E-02 0.000E+00 0.000E+00 0.520E+00

681 0.621E+00 0.218E+02 0.456E+02 0.000E+00 -0.103E+00 0.490E-01
-0.621E+00 -0.218E+02 -0.456E+02 0.000E+00 -0.102E+00 0.490E-01

691 0.669E+00 0.538E+01 -0.964E+02 0.000E+00 0.217E+00 0.121E-01
-0.669E+00 -0.538E+01 0.964E+02 0.000E+00 0.217E+00 0.121E-01

701 -0.138E-03 0.501E+00 0.000E+00 -0.214E-02 0.000E+00 0.337E+00
0.138E-03 -0.501E+00 0.000E+00 0.214E-02 0.000E+00 0.333E+00

711 0.479E-03 0.395E+00 0.000E+00 0.925E-02 0.000E+00 0.269E+00
-0.479E-03 -0.395E+00 0.000E+00 -0.925E-02 0.000E+00 0.260E+00

721 0.000E+00 0.116E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.774E-01
0.000E+00 -0.116E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.773E-01

731 -0.230E-02 0.222E+00 0.000E+00 -0.104E-03 0.000E+00 0.149E+00
0.230E-02 -0.222E+00 0.000E+00 0.104E-03 0.000E+00 0.149E+00

741 0.000E+00 0.590E+00 0.000E+00 0.229E-03 0.000E+00 0.341E+00
0.000E+00 -0.590E+00 0.000E+00 -0.229E-03 0.000E+00 0.269E+00

751 0.000E+00 0.111E+01 0.000E+00 0.337E-03 0.000E+00 -0.545E-02
0.000E+00 -0.111E+01 0.000E+00 -0.337E-03 0.000E+00 0.678E+00

761 0.000E+00 0.559E+00 0.000E+00 -0.425E-03 0.000E+00 0.453E+00
0.000E+00 -0.559E+00 0.000E+00 0.425E-03 0.000E+00 0.125E+00

771 -0.663E+00 0.806E+01 -0.293E+01 0.000E+00 0.239E-01 0.657E-01
0.663E+00 -0.806E+01 0.293E+01 0.000E+00 0.239E-01 0.657E-01

781 -0.466E+00 -0.304E+01 -0.582E+01 0.000E+00 0.466E-01 -0.244E-01
0.466E+00 0.304E+01 0.582E+01 0.000E+00 0.466E-01 -0.244E-01

791 -0.149E-03 -0.685E+00 0.000E+00 0.470E-02 0.000E+00 -0.604E+00
0.149E-03 0.685E+00 0.000E+00 -0.470E-02 0.000E+00 -0.804E-01

801 0.491E-03 -0.545E+00 0.000E+00 -0.224E-01 0.000E+00 -0.479E+00
-0.491E-03 0.545E+00 0.000E+00 0.224E-01 0.000E+00 -0.658E-01

811 0.194E-03 -0.704E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.352E+00
-0.194E-03 0.704E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.352E+00

821 0.000E+00 -0.401E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.200E+00
0.000E+00 0.401E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.200E+00

831 0.000E+00 -0.419E+00 0.000E+00 -0.183E-01 0.000E+00 -0.243E+00
0.000E+00 0.419E+00 0.000E+00 0.183E-01 0.000E+00 -0.190E+00

841 0.000E+00 -0.562E+00 0.000E+00 0.705E-02 0.000E+00 0.101E+00
0.000E+00 0.562E+00 0.000E+00 -0.705E-02 0.000E+00 -0.441E+00

851 0.000E+00 0.270E-01 0.000E+00 0.142E-01 0.000E+00 -0.118E+00
0.000E+00 -0.270E-01 0.000E+00 -0.142E-01 0.000E+00 0.146E+00

861 0.346E+00 0.252E+02 0.216E+01 0.000E+00 -0.176E-01 0.206E+00
-0.346E+00 -0.252E+02 -0.216E+01 0.000E+00 -0.176E-01 0.206E+00

871 0.721E+00 0.507E+01 0.288E+01 0.000E+00 -0.230E-01 0.406E-01
-0.721E+00 -0.507E+01 -0.288E+01 0.000E+00 -0.230E-01 0.406E-01

881 -0.159E-03 -0.482E+00 0.000E+00 0.409E-02 0.000E+00 0.550E-01
0.159E-03 0.482E+00 0.000E+00 -0.409E-02 0.000E+00 -0.537E+00

891 0.498E-03 -0.343E+00 0.000E+00 -0.183E-01 0.000E+00 0.587E-01
-0.498E-03 0.343E+00 0.000E+00 0.183E-01 0.000E+00 -0.401E+00

901 -0.316E-03 -0.494E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.247E+00
0.316E-03 0.494E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.247E+00

911 -0.364E-03 0.185E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.927E-01
0.364E-03 -0.185E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.926E-01

921 0.000E+00 -0.130E+01 0.000E+00 0.264E-02 0.000E+00 -0.751E+00
0.000E+00 0.130E+01 0.000E+00 -0.264E-02 0.000E+00 -0.590E+00

931 0.000E+00 -0.174E+01 0.000E+00 -0.937E-03 0.000E+00 0.250E+00
0.000E+00 0.174E+01 0.000E+00 0.937E-03 0.000E+00 -0.130E+01

941 0.000E+00 0.296E-01 0.000E+00 -0.208E-02 0.000E+00 -0.359E+00
0.000E+00 -0.296E-01 0.000E+00 0.208E-02 0.000E+00 0.389E+00

951 0.122E+01 -0.222E+01 0.659E+01 0.000E+00 -0.537E-01 -0.181E-01
-0.122E+01 0.222E+01 -0.659E+01 0.000E+00 -0.537E-01 -0.181E-01

961 0.213E+01 -0.278E+02 0.944E+01 0.000E+00 -0.755E-01 -0.222E+00
-0.213E+01 0.278E+02 -0.944E+01 0.000E+00 -0.755E-01 -0.223E+00

971 -0.206E-03 0.626E+00 0.000E+00 -0.577E-02 0.000E+00 0.541E+00
0.206E-03 -0.626E+00 0.000E+00 0.577E-02 0.000E+00 0.858E-01

981 0.601E-03 0.455E+00 0.000E+00 0.247E-01 0.000E+00 0.402E+00
-0.601E-03 -0.455E+00 0.000E+00 -0.247E-01 0.000E+00 0.528E-01

991 -0.232E-03 0.597E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.298E+00
0.232E-03 -0.597E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.298E+00

1001 0.293E-03 -0.682E-01 0.117E-03 0.000E+00 0.000E+00 -0.341E-01
-0.293E-03 0.682E-01 -0.117E-03 0.000E+00 0.000E+00 -0.340E-01

1011 0.000E+00 -0.735E-01 0.000E+00 0.187E-01 0.000E+00 -0.421E-01
0.000E+00 0.735E-01 0.000E+00 -0.187E-01 0.000E+00 -0.338E-01

1021 0.000E+00 -0.114E+00 0.000E+00 -0.730E-02 0.000E+00 0.527E-01
0.000E+00 0.114E+00 0.000E+00 0.730E-02 0.000E+00 -0.122E+00

1031 0.000E+00 0.185E+00 0.000E+00 -0.144E-01 0.000E+00 0.486E-01
0.000E+00 -0.185E+00 0.000E+00 0.144E-01 0.000E+00 0.142E+00

1041 0.282E-03 -0.224E+02 0.340E+00 0.000E+00 -0.277E-02 -0.183E+00
-0.282E-03 0.224E+02 -0.340E+00 0.000E+00 -0.277E-02 -0.183E+00

1051 0.384E+00 -0.294E+01 0.421E+00 0.000E+00 -0.337E-02 -0.235E-01
-0.384E+00 0.294E+01 -0.421E+00 0.000E+00 -0.337E-02 -0.235E-01

1061 -0.273E-03 0.479E+00 0.000E+00 -0.438E-02 0.000E+00 -0.598E-01
0.273E-03 -0.479E+00 0.000E+00 0.438E-02 0.000E+00 0.539E+00

1071 0.681E-03 0.374E+00 0.000E+00 0.189E-01 0.000E+00 -0.458E-01
-0.681E-03 -0.374E+00 0.000E+00 -0.189E-01 0.000E+00 0.420E+00

1081 0.291E-03 0.462E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.231E+00
-0.291E-03 -0.462E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.231E+00

1091 0.147E-03 0.180E+00 -0.261E-03 0.000E+00 0.000E+00 0.901E-01
-0.147E-03 -0.180E+00 0.261E-03 0.000E+00 0.187E-03 0.902E-01

1101 0.000E+00 0.856E+00 0.000E+00 -0.244E-02 0.000E+00 0.496E+00
0.000E+00 -0.856E+00 0.000E+00 0.244E-02 0.000E+00 0.389E+00

1111 -0.134E-03 0.118E+01 0.000E+00 0.718E-03 0.000E+00 -0.805E-01
0.134E-03 -0.118E+01 0.000E+00 -0.718E-03 0.000E+00 0.797E+00

1121 0.133E-03 0.503E+00 -0.193E-03 0.202E-02 0.000E+00 0.463E+00
-0.133E-03 -0.503E+00 0.193E-03 -0.202E-02 0.156E-03 0.572E-01

1131 -0.929E+00 0.298E+01 -0.441E+01 0.000E+00 0.359E-01 0.243E-01
0.929E+00 -0.298E+01 0.441E+01 0.000E+00 0.359E-01 0.243E-01

1141 -0.747E+00 0.110E+02 -0.664E+01 -0.156E-03 0.531E-01 0.878E-01
0.747E+00 -0.110E+02 0.664E+01 0.156E-03 0.531E-01 0.878E-01

1151 -0.150E-03 -0.684E+00 0.000E+00 0.527E-02 0.000E+00 -0.542E+00
0.150E-03 0.684E+00 0.000E+00 -0.527E-02 0.000E+00 -0.142E+00

1161 0.480E-03 -0.526E+00 -0.214E-03 -0.232E-01 0.000E+00 -0.421E+00
-0.480E-03 0.526E+00 0.214E-03 0.232E-01 0.164E-03 -0.105E+00

1171 0.000E+00 -0.603E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.301E+00
0.000E+00 0.603E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.301E+00

1181 0.177E-03 -0.703E+00 0.133E-02 0.000E+00 -0.342E-03 -0.351E+00
-0.177E-03 0.703E+00 -0.133E-02 0.000E+00 -0.983E-03 -0.351E+00

1191 0.242E-03 -0.275E+00 0.000E+00 -0.166E-01 0.000E+00 -0.158E+00
-0.242E-03 0.275E+00 0.000E+00 0.166E-01 0.000E+00 -0.126E+00

1201 0.402E-03 -0.673E+00 -0.628E-03 0.577E-02 0.000E+00 0.197E-02
-0.402E-03 0.673E+00 0.628E-03 -0.577E-02 0.288E-03 -0.409E+00

1211 -0.469E-03 -0.270E+00 0.118E-02 0.132E-01 -0.316E-03 -0.244E+00
0.469E-03 0.270E+00 -0.118E-02 -0.132E-01 -0.899E-03 -0.352E-01

1221 0.674E+00 0.238E+02 0.130E+01 0.000E+00 -0.106E-01 0.195E+00
-0.674E+00 -0.238E+02 -0.130E+01 0.000E+00 -0.106E-01 0.193E+00

1231 0.263E+00 0.272E+02 0.322E+01 0.899E-03 -0.258E-01 0.217E+00
-0.263E+00 -0.272E+02 -0.322E+01 -0.899E-03 -0.258E-01 0.217E+00

1241 -0.981E-03 -0.342E+00 -0.106E-03 0.269E-02 0.000E+00 0.119E+00
0.981E-03 0.342E+00 0.106E-03 -0.269E-02 0.000E+00 -0.462E+00

1251 0.198E-02 -0.268E+00 0.656E-03 -0.141E-01 -0.125E-03 0.975E-01
-0.198E-02 0.268E+00 -0.656E-03 0.141E-01 -0.531E-03 -0.366E+00

1261 -0.219E+00 -0.533E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.266E+00
0.219E+00 0.533E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.266E+00

1271 -0.202E-03 -0.575E+00 -0.727E-02 0.000E+00 0.188E-02 -0.288E+00
0.202E-03 0.575E+00 0.727E-02 0.000E+00 0.539E-02 -0.288E+00

1281 0.000E+00 -0.866E+00 -0.129E-03 0.395E-02 0.000E+00 -0.499E+00
0.000E+00 0.866E+00 0.129E-03 -0.395E-02 0.102E-03 -0.396E+00

1291 0.145E-03 -0.191E+01 0.197E-02 -0.135E-02 -0.287E-03 0.742E-02
-0.145E-03 0.191E+01 -0.197E-02 0.135E-02 -0.903E-03 -0.117E+01

1301 -0.136E-03 -0.863E+00 -0.691E-02 -0.316E-02 0.208E-02 -0.738E+00
0.136E-03 0.863E+00 0.691E-02 0.316E-02 0.507E-02 -0.154E+00

1311 0.793E+00 0.832E+01 0.421E+01 0.000E+00 -0.343E-01 0.683E-01
-0.793E+00 -0.832E+01 -0.421E+01 0.000E+00 -0.343E-01 0.674E-01

1321 0.757E+00 0.848E+01 0.970E+01 -0.507E-02 -0.777E-01 0.678E-01
-0.757E+00 -0.848E+01 -0.970E+01 0.507E-02 -0.775E-01 0.678E-01

1331 0.147E-02 0.105E+01 -0.180E-03 -0.389E-02 0.120E-03 0.467E+00
-0.147E-02 -0.105E+01 0.180E-03 0.389E-02 0.000E+00 0.579E+00

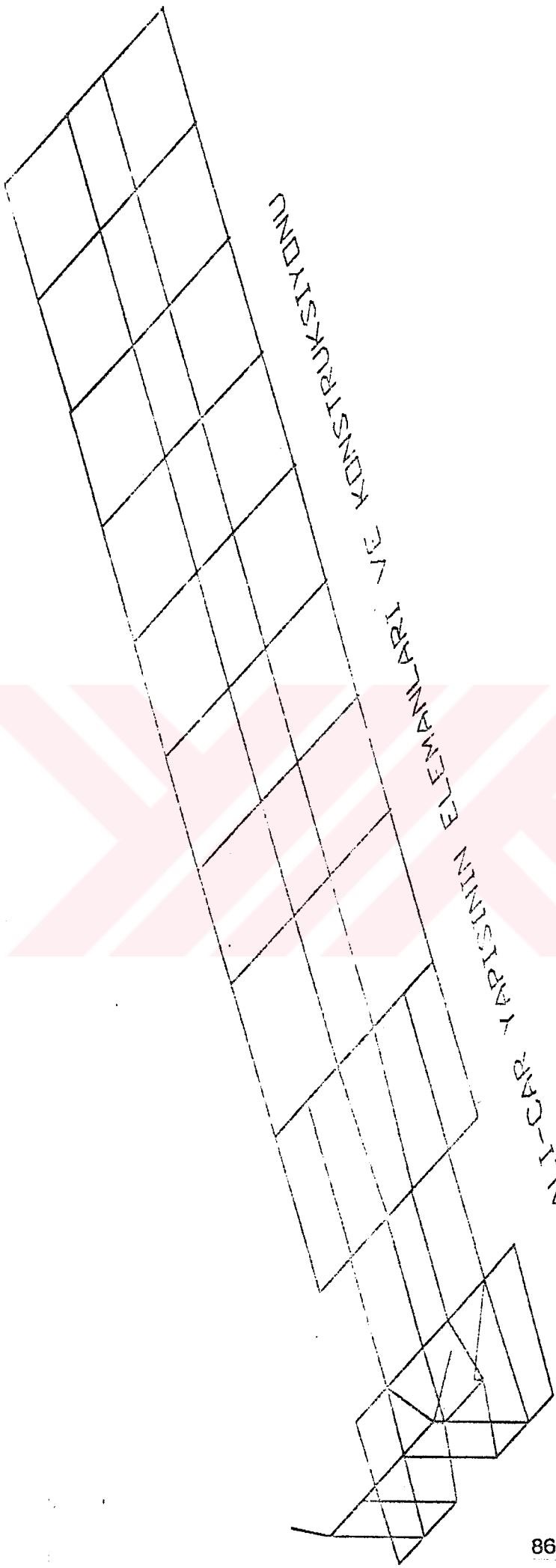
1341 -0.570E-02 0.825E+00 0.938E-03 0.220E-01 -0.625E-03 0.368E+00
0.570E-02 -0.825E+00 -0.938E-03 -0.220E-01 -0.312E-03 0.457E+00

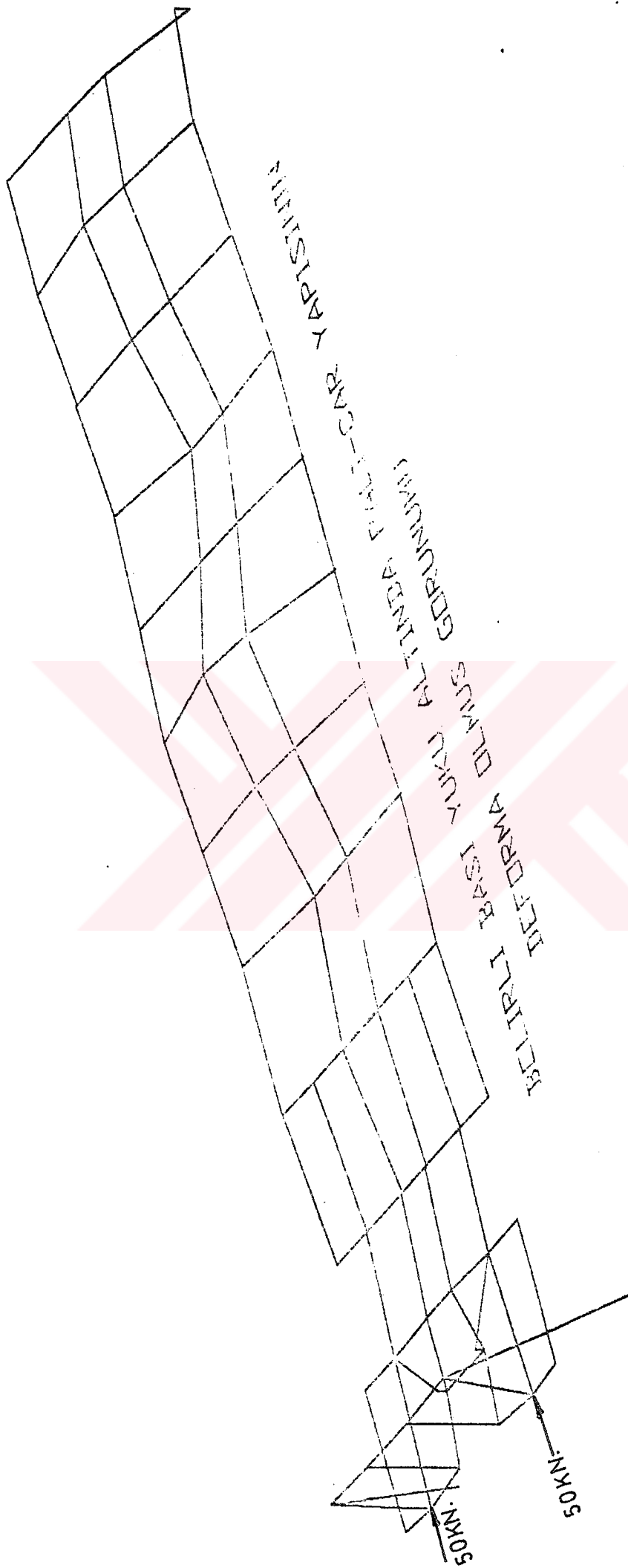
1351 -0.331E-03 0.121E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.604E-01
0.331E-03 -0.121E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.603E-01

1361 0.000E+00 0.469E-01 0.164E-01 -0.497E-02 -0.105E-01 0.809E-01
 0.000E+00 -0.469E-01 -0.164E-01 0.497E-02 -0.598E-02 -0.340E-01
 1371 0.000E+00 -0.235E-01 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.121E-01
 0.000E+00 0.235E-01 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.121E-01
 1381 0.000E+00 0.853E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.258E+00
 0.000E+00 -0.853E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.258E+00
 1391 -0.180E-02 0.151E+01 0.000E+00 -0.618E-03 0.000E+00 0.854E+00
 0.180E-02 -0.151E+01 0.000E+00 0.618E-03 0.000E+00 0.704E+00
 1401 -0.501E-01 -0.189E+02 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.154E+00
 0.501E-01 0.189E+02 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -0.154E+00
 1411 -0.154E+00 -0.205E+00 -0.192E-02 -0.113E-02 0.942E-02 -0.544E+00
 0.154E+00 0.205E+00 0.192E-02 0.113E-02 0.161E-03 -0.480E+00

Support Number	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN.m)	B.Moment-y (kN.m)	B.Moment-z (kN.m)
1 1	0.000E+00	0.865E+01	0.577E+00	0.101E-01	0.775E-03	0.000E+00
2 1	0.566E-02	-0.170E+00	-0.274E-02	-0.113E+01	-0.343E-03	0.456E+00
3 1	-0.148E-02	-0.170E+00	0.180E-03	-0.242E+00	0.000E+00	0.579E+00

RALI-CAR YAPISININ ELEMANLARI VE KONSTRUKSIYONU





SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yük altında yapıların davranışlarının incelenebilmesi için büyük ve karmaşık denklemlerin teşkil edilip bunların çözülmesi gerekmektedir. Bu tür mühendislik problemlerinin çözümü için yapılacak en iyi yaklaşık çözüm şekli nümerik çözüm metodları olmaktadır. Nümerik metodlardan, Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) " Finite Element Method (FEM) " en çok kullanılan metoddur. Dolayısıyla çalışmada SEM ele alınmıştır. SEM Mühendislik problemlerinde geniş uygulama alanına sahiptir. Bu metod, ısı transferi, akışkanlar mekaniği, elektromanyetik ve diğer mühendislik problemlerinin nümerik analizi için uygulanmaktadır.

Programın pratik uygulamalar için kullanılması gayet kolay olmakta ve elde edilen analiz sonuçları gerçek sonuçlarla mükemmel bir uyum göstermektedir.

Bu çalışmada, Taşıtın şasi yapısı SONLU ELEMANLAR METODU (SEM) ile analizi yapılmıştır. Metod teorik olarak açıklandıktan sonra uygulanması için iki basit örnek üzerinde uyguladıktan sonra otobüsün şasi sistemi üzerinde uygulanması tercih edilmiştir.

Sonlu Elemenler Metodu ve (SEM) 'de kullanılan eleman tipleri, boyutları, eleman sayısı, deplasmanlar metodu ve yapının modellenmesi anlatılmıştır. Teoriden programlamaya geçiş yapılarak (SEM) program yapısı tanımlanmıştır.

Herhangi bir problem için en genel olarak programın akış diyagramı gösterilerek giriş dosyaları hazırlanması ve çıkış dosyaları tanıtılmıştır.

Programın Aynı zamanda giriş bilgilerin kontrol edilebilmesi için Check_Values altprogramı tanıtılmıştır. Bu altprogram hatalı sonuçlar elde edilmesini engeller

Ayrıca sonuçların işlenmesi için CAD grafik programları da hazırlanmıştır. Deforme olmuş şekli çizerek çıkış dosyasını daha kolay bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır.

Yapı için gerekli boyutlandırmaları yapmak amacıyla program daha da geliştirilebilir. Böylece analiz ve dizayn amaçları için daha kompakt bir program hazırlanabilir.

ÖZET

Yük altında yapıların davranışlarının doğru bir şekilde incelenebilmesi için bir takım formüller ve denklemlerin teşkil edilip bunların çözülmesi gerekmektedir. Bu tür mühendislik problemlerinin çözümü için yapılacak en iyi yaklaşık çözüm şekli nümerik çözüm metodları olmaktadır. Nümerik metodlardan, Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) "Finite Element Method (FEM)" seçerek bu tezde anlatılmaya çalışacaktır. SEM Mühendislik problemlerinde geniş uygulama alanına sahiptir. Bu metod, ısı transferi, akışkanlar mekaniği, elektromanyetik ve diğer mühendislik problemlerinin nümerik analizleri içinde uygulanmaktadır.

Bu çalışmada, değişik yapıların analizlerini gerçekleştirmek için SONLU ELEMANLAR METODU (SEM) tanıtılacaktır. Bu yapıların içinden taşıt şası analizine önemli bir yer verilmiştir.

Metodun teoriden uygulamaya geçişi yapılacaktır. Bu nedenle ikinci bölümde, Sonlu Elemanlar Metodu ve (SEM) 'de kullanılan eleman tipleri, kullanılacak eleman tipinin seçimi, eleman boyutları, eleman sayısı, nodların yerleştirilmesi ve modellenmesi, ayrıca deplasmanlar metodu (yerdeğişimi) ve yapının modellenmesi anlatılmıştır. Teoriden programlamaya geçiş yapılarak SEM program yapısı tanımlanmıştır.

Üçüncü bölümde ise, programın akış diyagramı gösterilerek giriş dosyaları hazırlanması, geometrik bilgi girilmesi, sınır şartları belirlenmesi, malzeme özellikleri verilmesi ve çıkış dosyaları tanıtılmıştır. Aynı zamanda giriş bilgilerin kontrol edilebilmesi için Check_Values altprogramı tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde de, Sonlu Elemanlar Yöntemi ile yapılan analizi yazılımı kullanımı ve çalıştırılması açıklanmıştır. Değişik yapıların analizlerinin yapılması için giriş (INPUT) dosyası hazırlanması ve aynı zamanda çıkış dosyası tanıtılmıştır.

Son olarak, bilgisayar programının kullanımının daha iyi kavranabilmesi için, değişik örneklere beşinci bölümde yer verilmiştir. Bu bölümde, birinci ve ikinci örnek iki boyutlu

yapı analizinin örneği olarak verilmiştir. Üçüncü örnek ise taşıt şası analizi üç boyutlu yapı analizinin bir örneğidir.

Bu tezde bütün programlar FORTRAN-77 programlama dili ile yazılmıştır.



SUMMARY

THE ANALYSIS OF SOLID STRUCTURES WITH FINITE ELEMENT PROGRAMMING

The Finite Element Method (FEM) is a numerical analysis technique for obtaining approximate solutions to a wide variety of engineering problems. Although first developed for structural analysis, it now solves problems in heat transfer, fluid mechanics, acoustics, electromagnetics, and other specialized disciplines. The Finite Element Method is the unifying approach it offers to the solution of diverse engineering problems, so the method has attracted a wide variety of theoreticians and practitioners for various disciplines, including engineering, mathematics and computer science.

In more and more engineering situations today, we find that it is necessary to obtain approximate numerical solutions to problems rather than exact closed - form solutions. For example, we may want to find the load capacity of a plate that has several stiffeners and odd-shaped holes, we can write down the governing equations and boundary conditions for these problems, but we see immediately that no simple analytical solution can be found. The Finite Element Method is a numerical method for solving a system of governing equations over the domain of continuous physical system.

The basis of the Finite Element Method for analysis of solid structures is summarized in the following steps. Small parts called *elements* subdivide the domain of the solid structure illustrated in Figure S-1. These elements assemble through interconnection at a finite number of points on each element called *nodes*.

This assembly provides a model of the solid structure. Within the domain of each element we assume a simple general solution to the governing equations. The specific solution for each element becomes a function of unknown solution values at the nodes. Application of the general solution for to all the elements results in a finite set of algebraic equations to be solved for the unknown node values. By subdividing a structure in this manner, one can formulate equations for each separate finite element which are then combined to obtain the solution of the whole physical system. If the structure response is linear elastic, the algebraic equation are linear and are solved with common numerical procedures.

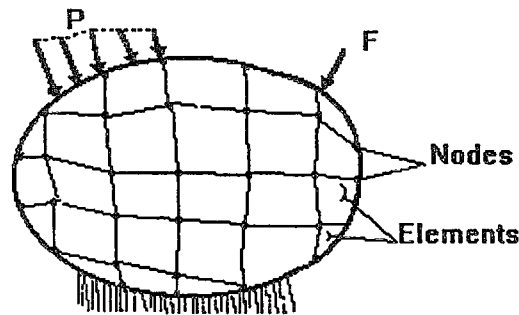


Figure S-1 Two-Dimensional Continuum Domain

Since the continuum domain is divided into finite elements with nodal values as solution unknowns, the structure loads and displacement boundary conditions must translate to nodal quantities. Single forces like F apply to nodes directly while distributed loads like P are converted to equivalent nodal values.

In the past, the economic limitations imposed by computer costs have restricted the general use of such techniques. However this barrier is being rapidly removed and the finite element solutions of such problems is already economically acceptable for selected industrial applications.

Such developments along with future enhancements in the element characteristics, equation solution techniques etc., suggest that the finite element method will play a major role in engineering design for many years to come.

As you will see, in this thesis not only the finite element program but also the finite element method theory which will help any user to understand the structure of the program is presented. Therefore in Chapter 2 introduction and the basic expressions of the finite element method for structural applications, the kinds of finite elements and the structure of the program are presented.

The major portion of this chapter is written for readers who have never programmed a digital computer to solve a continuum problem by the finite element method. Having an understanding mathematics of the finite element method and knowing how to derive element equations for a given problem are not enough to solve the problem; it is also necessary to know how to translate the equation into computer instructions so that the

element equation can be evaluated, assembled, and and solved. A reader familiar with the FORTRAN language should be able to follow all of the coding with the aid of the many comment statment appearing throughout the program.

Chapter 2 is devoted entirely to the development of specific expressions for the structural elements it is that stage that problems specifically associated with the finite element concept are first encountered and the structural elements serves as a convenient introductory vehicle in view of it is relative simplicity. In particular the transformation matrix, which enables transformation between local and global quantities to be made, is introduced and numerical integration techniques essential to isoparametric elements are discussed. The subroutines performing the standard steps, such as shape function and stiffness formulation, equivalent nodel force generation and stress resultant evaluation, are developed at this stage. These subroutines are essentially of the same form as for more sophisticated applications and Chapter 2 therefore allows the reader to familiarise himself with the general structure of finite element programs.

The solution of equation systems by the frontal method is dealt with in Chapter 2 and a sophisticated subroutine is developed which can be employed as a general purpose finite element solver. The Banded matrix solution technique is described in detail and it is advantages outlined.

Chapter 3 deals with the problems assosiated with input and output. The input data required for finite element analysis with bar element is discussed and subrotines for data assimilation are presented. For checking input values subrutine are presented. The data is checked in stages and if any errors are detected, appropriate diagnostic messages are printed and the remainder of the input data is echoed by lineprinter.

Chapter 4 deals with the problems associated with input and output for data.

The subroutines developed for finite element analysis are assembled in Chapter 5 to form complete program which can be employed for structural analysis. Numerical example for structural problems are also presented demostrating the efficiency of the structural analyses element.

The construction of a finite element programs employing the displacement approach falls naturally into three stages. The preprocessing stage creates the model of the structure from inputs provided by the analyst. A preprocessor then assembles the data into a format suitable for execution by the processor in the next stage. The processor is the computer code that generates and solves the system equations. The third stage is postprocessing. The solution in numeric form is very difficult to evaluate except in the most simple cases. The postprocessor accepts the numeric solution, presents selected data, and produces graphic displays of the data that are easier to understand and evaluate.

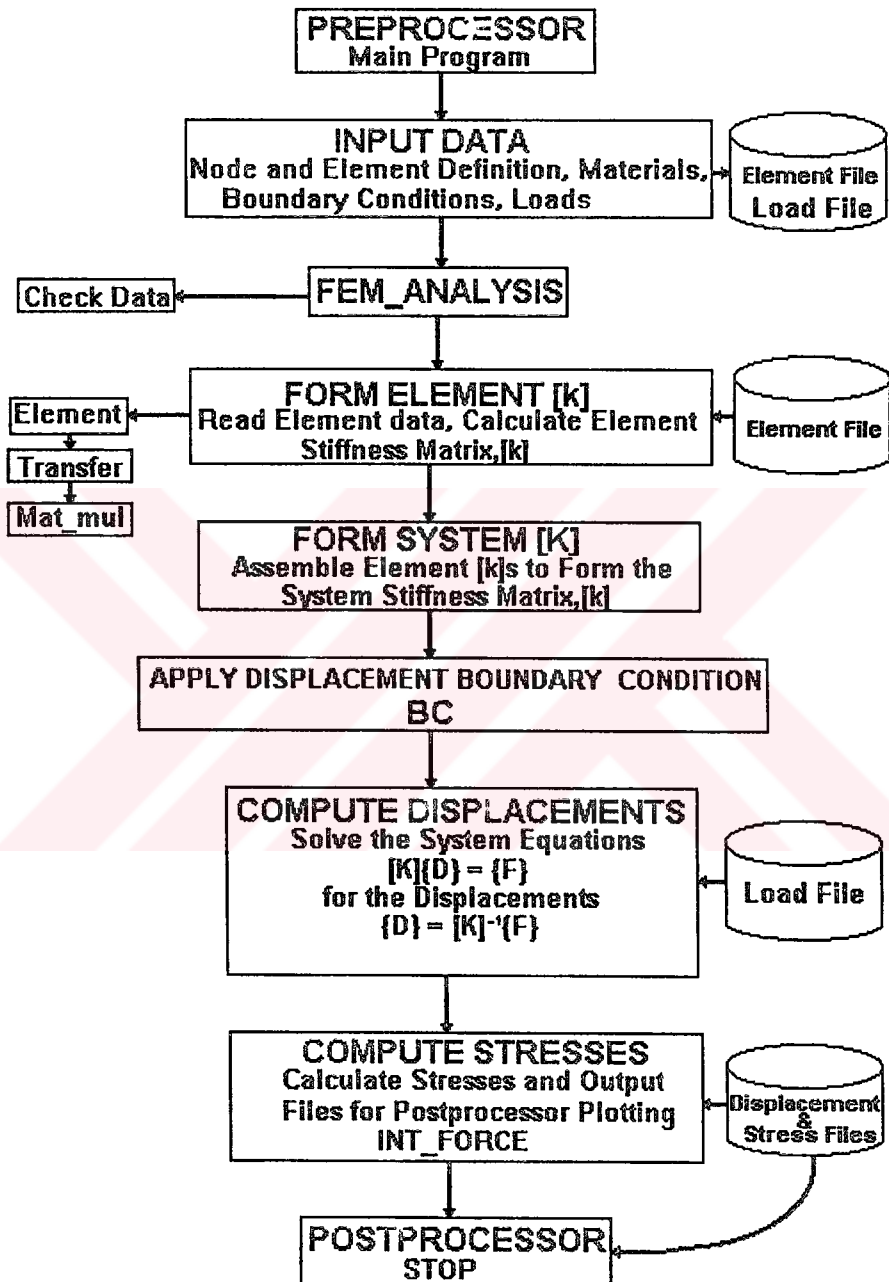
Figure S-2 draws a block diagram of a finite element computer program. Before entering the program's preprocessor, the user should have planned the model and gathered necessary data. In the preprocessor block, the user defines the model through the commands available in the preprocessor. The definition includes input and generation of all node point coordinates, input and generation of node connectivity to define all elements, input of material properties, and specifying all displacement boundary conditions, load and load cases. The completion of the preprocessing stage results in creation of an input data file for the analysis processor.

The processor reads from the input data file each element definition, calculates terms of the element stiffness matrix, and stores them in a data file. The element type selection determines the form of the element stiffness matrix. The next step is to assemble the structure stiffness matrix by matrix addition of all element stiffness matrices. The application of enough displacement boundary conditions to prevent rigid body motion reduces the structure stiffness matrix to a nonsingular form.

Then the equation solution here yields values for all node point displacement components in the model. The node displacements associated with each element combined with the element formulation matrix yield the element strains. The element strains with the material properties yield the stresses in each element. The processor then produces an output listing file with data files for postprocessing.

Postprocessing takes the results file and allows the user to create graphic displays of the structural deformation and stress components. The node displacements are usually very small for most engineering structures so they are magnified to show an exaggerated shape. Node displacements are single-valued, but node values of stress are multi-valued

if more than one element is attached to a given node. Node stress values are usually reached by extrapolation from internal element values and then averaged for all elements attached to the node. Contour plots or other stress plots desired by the user are created from the node values.



Figur S-2 Finite Element Computer Program Block Diagram

Postprocessing takes the results file and allows the user to create graphic displays of the structural deformation and stress components. The node displacements are usually very small for most engineering structures so they are magnified to show an exaggerated shape. Node displacements are single-valued, but node values of stress are multi-valued if more than one element is attached to a given node. Node stress values are usually reached by extrapolation from internal element values and then averaged for all elements attached to the node. Contour plots or other stress plots desired by the user are created from the node values.

The engineer is then responsible for interpreting the results and taking whatever action is proper. The user must estimate the validity of the results first. This is very important because the tendency is to accept the results without question. Experience, thorough checking of the modeling assumptions and resulting predicted behavior, and correlation with other engineering calculations or experimental results all contribute to estimating the validity of the results.

In this thesis, a Fortran-77 program which was written earlier was modified. It consists of 1100 statements on an IBM PC/DX compatible machine. The basic aim of this thesis is that this program should help the reader to take the painful step from theory to program, thus enabling him to develop programs for his own particular applications in his own environment.

KAYNAKLAR

- [1] ÇAVUŞOĞLU, Y., ABDALLA, O., Sonlu Elemanlar Metodu, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 1993.
- [2] KARATAŞ, H., ÜŞLER, Ö., Mühendislik Mekaniğinde Statik Problemleri, İ.T.Ü, Taşkışla, 1983.
- [3] KAYAN, İ., Cisimlerin Mukavemeti, İ.T.Ü, İnşaat Fakültesi, Gümüşsuyu, 1987.
- [4] ARISAN, F., Yapı Statiği, İ.T.Ü, İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1956.
- [5] OYDAŞIK, Ş.A., Mukavemet 1, Yıldız Üniversitesi, İstanbul, 1983.
- [6] HINTON, E., OWEN, J., Finite Element Programing, Department of Civil Engineering University College of Swansea, U.K. ,1956
- [7] BAŞOĞLU, H., KAYKAYOĞLU, C.R., KOBANER. C., Sonlu Elemanlar Metodu İle Yapı Analizi Yazılımı Ve Kullanım Kılavuzu, TÜBİTAK; 1990.
- [8] SEARHAN, S., Structured Fortran 77 For Engineers And Scientists, JORDAN Book CentreComp.LTD., JORDAN, 1991.
- [9] CHARLES, E., The Finite Element Method in Mechanical Design, PWS-KENT Publishing Com., USA, 1993.
- [10] ASTLEY, R.J., Finite Element in Solids and Structures, Ghapman&Hall, LONDON , U.K., 1992.
- [11] TIRUPATHI, R., & ASHOK, D., Introduction to Finite Elements in Engineering PWS-KENT Publishing Com., USA, 1993.
- [12] FAGAN, M.J., Finite Element Analysis Theory & Practice, University of Hull, LONGMAN, U.K., 1992.
- [13] Autolisp Programer's Reference Manual, Autodesk, June 1992.

ÖZGEÇMİŞ

Osama A. S. ABDALLA , 19 Ağustos 1969 yılında KUWAIT 'te doğdu. 1987 yılında Hawally lisesi fen bölümünden mezun oldu. Aynı yılda İstanbul Üniversitesin Yabancıdiller bölümünde Türkçe hazırlığı yaptı. 1988 yılında İ.T.Ü Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği bölümüne girdi ve 1992 yılında Otomatik Anabilim Dalı'den mezun oldu. Ekim 1993 MARMARA ÜNİ. Fenbilimleri Enstitüsü Teknik Eğitim Fakültesi Makina bölümünde yüksek lisansı başladı ve Kasım 1995'ta mezun oldu.

1993 yılında İstanbul Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliğinde yüksek lisans yapmaya hak kazandı.

1992 yılında A.C.S. Tic.Koll.Şti.'nde Makina Mühendisi olarak çalışmaya başladı.

1993 yılında Demiray Kalıp San. ve Tic.Ltd. Şti'nde araştırma ve geliştirme bölümünde makina mühendisi olarak çalışmaları devam etti.

1995 yılında Temposan Hidroelektronik Makina San. ve Tic.Ltd.Şti.'nde Tasarım ve ARGE müdürü olarak çalışmaktadır.

1992'den 1995 yılına kadar Gen-Tes Yapı End.San.Tic.Ltd.Şti için Tesisat Projeleri hazırlanmasında çalışmaktadır.

1993'den 1995 yılına kadar Hilal Kalıp San.Tic.Ltd.Şti için Kalıp Tasarımı ve imalat danışmanlık yaptı. Aynı yıllarda Yıldırım Torna makina kalıp san. için imalat danışmanı olarak çalıştı.

1992-1993 yıllarında Başsoy San.Tic.Koll.Şti.'nde Hidrolik Kriko İmalat projeleri hazırlanmasında danışman olarak çalıştı.