

G.L.1 TUNÇBILEK ÖMERLER  
YERALTI İŞLETMESİNDE  
TABAN YOLLARINDA  
GERİLME VE BİRİM DEFORMASYONLARIN  
DAĞILIMI

Hüseyin Ankara

Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı  
Maden İşletme Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.


Danışman: Doç. Dr. Güner Ünce

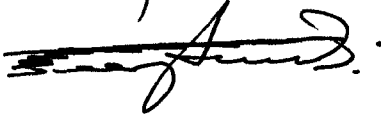
✓

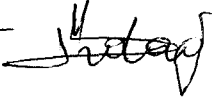
Agustos-1988

Hüseyin Ankara'nın YÜKSEK LİSANS olarak hazırladığı "G.L.1 TUNÇBILEK ÖMERLER YERALTI İŞLETMESİNDE TABAN YOLLARINDA GERİLME VE BİRİM DEFORMASYONLARIN DAĞILIMI" başlıklı bu çalışmada, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.


..29.9.1988

Başkan : Doç. Dr. Güner ÖNCE 

Üye : Doç. Dr. Rifat BOZKURT 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Özdağ 

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim kurulu'nun 27.9.1988.....  
gün ve .....188-1..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

  
Prof. Dr. Rüstem KAYA  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Bu çalışmada sonlu elemanlar metodunun madencilige uygulaması sunulmuştur. Çalışma bölgesi olarak G.L.1 Tunçbilek Ümerler yeraltı işletmesi seçilmiştir. Bu bölgedeki kalın kömür damarlarının üretimi sırasında taban yollarında oluşan gerilmeler ve birim deformasyonlar SAP IV adlı sonlu elemanlar paket programı kullanılarak hesaplanmış ve bu tez içinde altı bölüm olarak sunulmuştur.

Birinci bölüm, sonlu elemanlar metodunun mühendisliğe uygulanmasını içerir.

İkinci bölümde ise, bu metodunun iki boyutlu statik analizi yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, sonlu elemanlar yönteminin sağladığı faydaları, geleceği ve yeraltı yapılarına uygulanması sırasında alınması gereken önlemleri içermektedir.

Dördüncü bölümde ise, SAP IV bilgisayar programının yapılardaki statik ve dinamik analizi sunulmuştur.

Program ise aşağıdaki eleman tiplerini içermektedir,

- a. Üç boyutlu kafes eleman,
- b. Üç boyutlu kiriş eleman,
- c. Düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme elemanları,
- d. İki boyutlu axisymmetric birleşkeler,
- e. Üç boyutlu birleşkeler,
- f. Kalın kabuk eleman,
- g. İnce plaka ve ince kabuk eleman,
- h. Sınır eleman.
- i. Boru eleman,

bu yapısal elemanlar hem dinamik hemde statik analizde kullanılabilir.

Beşinci bölümde, Ümerler ocagındaki taban yollarının çevresindeki yerdeğiştirme ve gerilme dağılımlarının mik-

## ÖZET

tarları SAP IV bilgisayar programı kullanılarak hesap edilmiştir.

Altıncı bölüm ise, bu çalışmanın sonuçlarını içermektedir.

## SUMMARY

In this study, mining applications of the finite element method were presented. Omerler Colliery-G.L.I Tuncbilek area was chosen as the investigation area. When thick coal seams are excavated, stresses and displacements around the bottom roadways can be computed by a computer program named SAP IV. This subject was presented as six chapters in this thesis.

In the first chapter, engineering applications of the finite element method were given.

In the second chapter, two dimensional static analysis of this method was analysed.

In the third chapter, the advantages, future improvement and applications of the finite element method on underground structures were described.

In the fourth chapter, the computer program SAP IV for static and dynamic analysis of structures was explained.

The program presently includes the following element types,

- a. Three dimensional truss element,
- b. Three dimensional beam element,
- c. Plane stress and plane strain element,
- d. Two dimensional axisymmetric solid,
- e. Three dimensional solid,
- f. Thick shell element,
- g. Thin plate or thin shell element,
- h. Boundary element,
- i. Pipe element,

these structural elements can be used in a static or dynamic analysis

## SUMMARY

In the fifth chapter, the results of stress distributions and displacements around the bottom roadways in Omerler Colliery were computed by using SAP IV computer program.

The last chapter, includes the conclusions of this research.

## TESEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesi sırasında hiçbir yardımı esirgemeyen hocam sayın Doç. Dr. Güner Ünce başta olmak üzere, Doç. Dr. Çetin Yılmaz'a (O.D.T.Ü İnşaat Mühendisliği Bölümü), Y. Müh Halis Günel'e (O.D.T.Ü İnşaat Mühendisliği Bölümü), Anadolu Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümündeki Öğretim elemanlarına ve O.D.T.Ü Bilgi İşlem Merkezindeki Bütün çalışanlara teşekkürü bir borç bilirim.

Hüseyin ANKARA

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
2. SONLU ELEMANLAR METODUNUN ANALİZİ .....	4
2.1. Sürekli Yapıların Parçalara Ayrılması .....	4
2.2. İki Boyutlu Analiz .....	5
2.2.1 Hesaplama yöntemi .....	6
2.3. Rijitlik Matrisi .....	7
2.4. Anizotrop-Elastik Analiz .....	11
3. SONLU ELEMANLAR METODUNUN MADENCİLİĞE UYGULANMASI	14
3.1. Sonlu Elemanlar Metodunun Kaya Mekanikine Uygulanması .....	14
3.2. Madencilik ve Dizayn .....	15
3.2.1. Verilerin toplanması .....	15
3.2.2. Yaklaşım yöntemleri .....	15
3.2.2.1. Analitik yaklaşımlar .....	15
3.2.2.2. Sayısal yaklaşımlar .....	16
3.2.2.3. Fiziksel modeller .....	16
3.3. Dizayn .....	16
3.4. Galeri ve Ayaklarda Statik sisteminin seçimi	16
3.5. Sonlu Elemanlar Metodunun Sağladığı Olanaklar, Sınırlamaları ve Geleceği .....	19
3.5.1. Doğrusal olmayan problemler .....	19
3.5.1.1. Adım adım yöntemi .....	20
3.5.1.2. Öteleme yöntemi .....	20
3.5.1.3. Karışık yöntem .....	20
3.5.2. Süreksiz malzeme .....	20
3.5.2.1. Hayali çatlak yöntemi .....	20
3.5.2.2. Çekme mukavemeti olmayan malzeme yöntemi .....	20
3.5.2.3. Çatlak, kırık elemanları yöntemi .....	21

## İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
3.5.3. Üç boyutlu analizler .....	21
3.5.4. Çözümün güvenilirliği ve alınması gereken önlemler .....	21
3.5.4.1. Sonlu eleman tipi .....	21
3.5.4.2. Sonlu eleman ağı ve eleman büyüklüğü .....	22
3.5.4.3. Problem sınırlarının seçimi .....	22
3.5.4.4. Arazi gerilmeleri ve yerçekim kuvveti .....	22
3.5.4.5. Yapı kesitinin etkisi .....	22
3.5.4.6. Kazı tekniğinin etkisi .....	23
3.5.5. Sonlu elemanlar metodunun uygulanabilirliği .....	23
4. SAP IV PROGRAMININ İŞLEVİ .....	24
4.1. Kompleks Yapı Sistemleri İçin Denge denklemi .....	24
4.1.1. Eleman yapı matrisi .....	24
4.1.2. Sınır şartları .....	24
4.2. Yapının Kütle ve Rijitlik Matris İçin Program Analizi .....	25
4.2.1. Serbestlik derecesi ve düğüm noktası giriş verisi .....	25
4.2.2. Elemanın kütle ve rijitlik hesaplaması .....	27
4.2.3. Yapının kütle ve rijitlik düzenlemesi .....	28
4.3. Programın Eleman İçeriği .....	30
4.3.1. Üç boyutlu giriş eleman .....	30
4.3.2. Üç boyutlu kafes eleman .....	30
4.3.3. Düzlem gerilmesi, düzlem birim deformasyon ve simetrik olmayan eleman ..	31
4.3.4. Üç boyutlu katı eleman .....	31
4.3.5. Kalın kabuk eleman .....	31
4.3.6. İnce plaka ve kabuk eleman .....	32
4.3.7. Sınır eleman .....	32
4.3.8. Boru eleman .....	34
4.4. Statik Analiz .....	34
4.4.1. Denge denklemlerinin çözümü .....	34
4.4.2. Eleman gerilmelerinin değerlendirilmesi .....	35
5. İKİ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR ANALİZİNİN TUNÇBİLEK YERALTI İŞLETMESİNE UYGULANMASI .....	36
5.1. Bilgisayar Çıktılarının Ömerler Yeraltı İşletmesi İçin Değerlendirilmesi .....	45
5.1.1. Taban yollarındaki yerdeğiştirmeler .....	45
5.1.2. Taban yollarındaki gerilmelerin incelenmesi .....	50
6. SONUÇLAR .....	69
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	71

## SEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Sonlu eleman parçaları .....	4
2.2 Tabakaların yatayla yaptığı açı .....	12
3.1 Düzlem plakasının sınır geometrisi .....	17
3.2 Model I ve Model II'deki sonlu elemanların boy- yutu, geometrisi ve sınır şartları .....	18
4.1 Giriş örneğinin düğüm noktalarının düzeni ve ID sirasında okutulması ve/veya tanımlanması .....	27
4.2 Aktif serbestlik dereceleri için denklem numara- larının yerine yerleştirilmesinden sonraki giriş örneğinin ID matris düzeni .....	27
4.3 Tipik bir örnek giriş eleman için ilişki sırası (vektör LM) .....	28
4.4 Rijitlik ve kütle matrisinin bellekte korunması	29
4.5 Yapının kütle ve rijitlik matris hesapları için akış diyagramı .....	29
4.6 SAP IV'ün eleman içeriği .....	33
5.1 Düğüm noktalarının yönleri .....	40
5.2 Model A için oluşturulan sonlu eleman ağı .....	41
5.3 Model B için oluşturulan sonlu eleman ağı .....	42
5.4 Model C için oluşturulan sonlu eleman ağı .....	43
5.5 Gerilme çıktılarının pozitif yönleri .....	40
5.6 Bir elemanın içindeki gerilmeler .....	44
5.7 Model A için taban yollarındaki yerdeğiştirmeler	45
5.8 Model B için taban yollarında oluşan yerdeğiş- tirmeler .....	46
5.9 Model C için taban yollarında oluşan yerdeğiş- tirmeler .....	46
5.10 Taban yollarındaki kesit daralmasının grafik- sel gösterimi .....	49
5.11 Model A'daki taban yolu çevresinde oluşan eş- değer düşey gerilme eğrileri .....	57
5.12 Model A'daki taban yolu çevresinde oluşan eş- değer yanal gerilme eğrileri .....	58
5.13 A modelinin taban yolu etrafında oluşan düşey ve yanal gerilmeler .....	59
5.14 Model B'daki taban yolu çevresinde oluşan eş- değer düşey gerilme eğrileri .....	60
5.15 Model B'daki taban yolu çevresinde oluşan eş- değer yanal gerilme eğrileri .....	61

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam ediyor)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.16 B modelinin taban yolu etrafında oluşan düşey ve yanıl gerilmeler .....	60
5.17 Model B'daki taban yolu çevresinde oluşan eş-değer düşey gerilme eğrileri .....	61
5.18 Model B'daki taban yolu çevresinde oluşan eş-değer yanıl gerilme eğrileri .....	62
5.19 C modelinin taban yolu etrafında oluşan düşey ve yanıl gerilmeler .....	66
5.20 Taban yolları çevresindeki gerilme dağılımları	67

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Sonlu elemanlar metodunun uygulama alanı .....	2
5.1 Üç model için düğüm noktası koordinatlarının bilgisayar giriş değerleri .....	37
5.2 Model A, B ve C için eleman düğüm noktası numaralarının bilgisayar girdisi .....	38
5.3 "n" değerine bağlı olarak gerilme konumları ...	40
5.4 Düğüm noktaları için hesaplanan yerdeğiştirme miktarlarının bilgisayar çıktısı .....	47
5.5 Model A'daki elemanlarda hesaplanan düşey ve yanıl gerilme değerlerinin bilgisayar çıktısı	51
5.6 Model B'deki elemanlarda hesaplanan düşey ve yanıl gerilme değerlerinin bilgisayar çıktısı	53
5.7 Model C'deki elemanlarda hesaplanan düşey ve yanıl gerilme değerlerinin bilgisayar çıktısı	55

## 1. GİRİŞ

Mühendislik yapıları genellikle iki ana grupta toplanabilir. Birinci grup bina, köprü, gemi, uçak gibi bir çok parçanın birleştirilmesi ile oluşurlardır. Madenleri kapsayan ikinci grup genellikle bir bütün malzemenin işlenmesi ile oluşur. Kaya mekaniği açısından madenler, kayaların çeşitli şekillerde kazısı ile oluşan yapılardır. Kayalar doğal yapısal malzemeler olarak değerlendirilir ve özellikleri yapay malzemelerden farklıdır.

Malzeme özelliklerinin ve yapı geometrisi ile sınır koşullarının karmaşık olduğu durumlarda, mühendis sayısal metodları kullanır. Sonlu elemanlar metodu bunlardan birisidir. Çizelge 1,1 sonlu elemanlar metodunun hangi alanlarda uygulandığını göstermektedir (Bilgin, 1977;Ataman, 1982).

Sonlu elemanlar yöntemi, boyutları bilinen bir malzeme yük altında meydana gelecek gerilme ve deformasyon gibi özellikleri, analitik hesaplamalarla elde etmenin olası olmadığı veya çok zor olduğu durumlarda bilgisayar kullanarak istenen değerlerin elde edildiği bir yöntemdir. Bu yöntem madencilikte, maden yatağının ve çevrenin oluşturduğu jeolojik yapının bir jeomekanik model üzerinde birçok sonlu elemanlara ayrılması ve bu elemanların düğüm noktalarında deformasyonları, eleman üzerindeki gerilmeleri izlemesi esasına dayanır (Önce, 1986). Sonlu elemanlar metodunun, gerilme analizinde kullanımı yapı problemlerin çözümüne kolayca uygulanabilmesi önemli bir etkidir (Kidybinski, 1973). Zamanımızda, sonlu elemanlar analizinin gerçekleştirilebilmesi için bir çok paket program yapılmış ve kullanılmaktadır (Önce, 1986). Bu paket programlarından biriside SAP IV'dür. Bu paket program hakkında daha detaylı bilgi ilerki bölümlerde verilecektir.

Uygulama alanı	Denge problemleri	Aygendeğer problemleri	Yayıma problemleri
1. İnşaat mühendisliği	Kiriş, plaka, kabuk yapılarının analizi.	yapıların emniyetliliği.	Gerilme dalgalarının yayılması.
2. Yapı mekaniği	Karmaşık yapıların analizi.	Yapıların titreşim analizi	Yapıların dinamik mukavemeti.
3. Zemin mekaniği	Yapı ve kazı problemleri		Gerilim dalgalarının yayılması.
4. Temel mühendisliği	Şev problemleri Yapı temel problemleri tünel, sondaj, baraj, kanal, menfez, köprü analizi. Zemin ve kayalarda kararlı sıvı akışı.		Dinamik zemin yapı etüdü.
5. Hidrolik ve su kaynakları mühendisliği	Sıvıların potansiyel ve viskoz akış problemleri. Gözenekli ortamda kararlı sıvı akışı. Hidrolik yapı ve baraj etüdü.	Göl ve limanlarda ritmik su seviyesi değişimi problemleri. Rijit kaplarda sıvı çalkalanması problemleri.	Nehir ağzlarında kirlilik ve tuzluluk etüdü. Tortu taşınması problemleri. Dalga yayılımı problemleri.
6. Kaya mekaniği	iki ve üç boyutlu gerilim analizleri.	Zemin yapı kombinezonunun dinamik etüdü.	Zemin ve kayalarda kararlı sıvı akışı zemin oturması problemleri.
7. Isı transferi	kıta ve sıvılarda kararlı ısı dağılımı.		Kıta ve sıvılarda kararlı ısı dağılımı.
8. Uzay mühendisliği	iki ve üç boyut gerilim analizleri. Pirizmatik kesitlerin bükülmesi problemleri.	Doğrusal viskoelastik salınım.	Termoelastisite ve termoviskoelastisite problemleri. Gözenekli ortamda sıvı akışı problemleri.
9. Nükleer mühendisliği	Nükleer santral yapıları etüdü. Nükleer santral ve reaktörlerde kararlı ısı dağılımı problemleri.		Dinamik ve termoviskoelastik nükleer santral yapı etüdü. Reaktör ve santrallarda kararlı ısı dağılımı

Çizelge 1,1 Sonlu elemanlar metodunun uygulama alanları.

Kütahya ili Tavşanlı ilçesine bağlı Tunçbilek Ömerler bölgesindeki kalın kömür damarlarının dilimler halinde, dolgulu ve ilerletimli yöntemle işletilmesi sırasında, taban yollarında oluşan gerilme ve yerdeğiştirmeler sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir.

Bu ocakta sekiz metrelik kömür damarının üretimi tavan, taban ayak olarak geri dönümlü ve göçertmeli yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemin uygulanması sırasında taban yollarında duraylılık biraz daha güçleşmekte ve tahkimat yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. Diğer bir sakınca ise göçertilen dört metrelik kömür damarının kazanılması sırasında büyük oranlara varan kömür kayıpları meydana gelmekte ve göçük kısmında kalan kömür ayacın hızlı ilerleyemesinden dolayı ocak yangınlarına neden olduğundan, kısa ayak uygulaması yapılmakta ve ekonomikliği büyük ölçüde etkilemektedir.

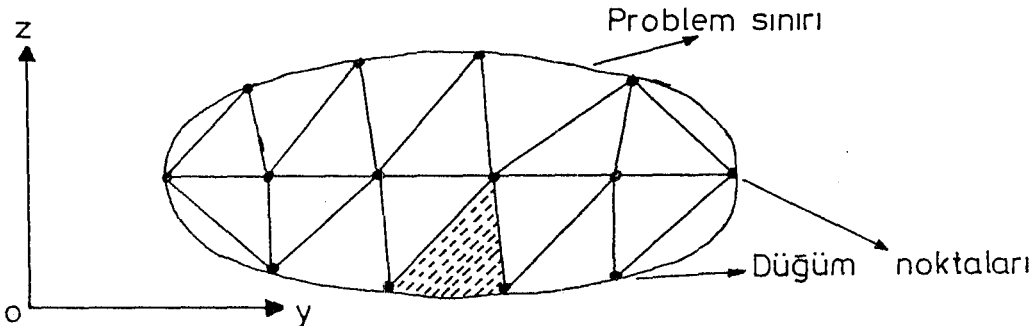
Uygulanan yöntemin yukarıda belirtilen olumsuzlukları nedeniyle, G.L.1 Ömerler yeraltı ocağı için yatay dilimli dolgulu ve ilerletimli uzun ayak yöntemi önerilmiştir (Duygun, 1988). Bu tez çalışmasında ise, dolgulu yöntemdeki taban yollarında oluşan deformasyonların ve gerilmelerin şiddetinin ve dağılımının araştırılması, değerlendirilmesi yapılmaktadır. Önerilen üretim yönteminin özellikle taban yollarındaki duraylılık (emniyet) yönünden uygun olup olmadığı sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılmasında bu tez çalışmasının ana amacını taşımaktadır.

## 2. SONLU ELEMANLAR METODUNUN ANALİZİ

### 2.1 Sürekli Yapıların Parçalara Ayrılması

Süreklilik, analizi istenen fiziksel bir yapıdır (Bilgin, 1977). Kaya mekaniği problemlerinde işleme tarzı için izotropik ve homojenlik tahminine gereksinme duymadan uygun gelmektedir. Sonlu elemanlar metodu, örneğin akışkan ortam ve sıcaklık şartları gibi çok farklı analizlere uygulanmasıyla yapı analizi alanlarında geliştirilmiştir (Bennet, 1968). Sonlu elemanlar metodu bir bütün yapının parçalara ayrılıp incelenmesini öngörür. Şekil 2,1'de görülen bu parçaların her biri bir sonlu elemandır. Sonlu elemanlar, düğüm noktaları denilen belirli noktalarda birbirine bağlanır (Bilgin, 1977). Sürekli elemanlara izotropik veya anizotropik özellikler atanabilir, her elemanın özellikleri ise elemenda toplama yönteminde herhangi bir düzeltme gerektirmeksizin tamamen keyfi bir şekilde değişebilir (Bennet, 1968).

Problemi bir bütün olarak çözmek yerine, herbir sonlu eleman için denge koşulu formüle edilir ve formülasyonlar birleştirilerek yapının tümü için çözüm bulunur. İki boyutlu analizlerde sonlu elemanlar üçgen veya dörtgen şeklindedir (Bilgin, 1977). Yani düzlem gerilmesi, düzlem birim deformasyonu ve simetrik olmayan problemlerin çözümünde üçgen veya dörtgen elemanlar kullanılır (Bennet, 1968). Üç boyutlu analizlerde üçgen, dörtgen prizmalar veya küpler kullanılır.



Şekil 2.1 Sonlu eleman parçaları

Yapıyı parçalara ayırma işlemi problemin sonuçlarını ve dizaynın güvenilirliğini etkileyeceği için son derece önemlidir ve mühendislik zekası ve deneyimi gerektirir (Bilgin, 1977). Açıkça metodun çok yönlü uygulaması ve düzlem problemleri için diğer deneysel tekniklerin yerine geçmesi yüksek doğrulukta, düşük maliyetli ve çok yönlü olarak büyük faydalar sağlamanın olanaklı olduğu içindir (Bennet, 1968).

## 2.2 İki Boyutlu Analiz

İki boyutlu düzlemsel yapı içinde Şekil 2.1'deki gibi hayali sınırlar tarafından elemanlara ayrılır. Doğru ve çok yönlü olmalarından dolayı üçgen elemanlar sık sık kullanılmaktadır. Bir üçgenin sınır geometrisi kendine özgü bir uygulanabilme yeteneğine sahiptir. Dörtgen elemanlar üçgen elemanlara göre verilen bir düğüm modeli için daha iyi bir gerilme ve yerdeğiştirme vermektedir. Elemanın biçim fonksiyonunun tanımlanması doğru bir deformasyon örneklenmesinin daha uygun olduğu içindir. Bunun için hem problem sınırları hemde doğruluk gereksinmesi için uygun bir eleman olarak kabul edilir. Yüksek gerilmenin olduğu bölgelerde eleman boyutunun küçültülmesine ve daha detaylı olmasına gereksinim vardır. Eleman boyutunun küçültülmesiyle tam çözüm ile sonlu elemanlar çözümünün birbirine yaklaşmasından dolayı, bu şekilde doğru bir çözümü bulmak mümkündür.

Yapısal analizde olduğu gibi, düğüm noktalarının yerdeğiştirmeleri bu analizin bilinmeyen parametresidir. Her bir elemanda düğüm noktalarının yerdeğiştirme şartlarında tek bir yerdeğiştirme yönü tanımlanır ve bir yerdeğiştirme fonksiyonu seçilir. Bu fonksiyonda minimum potansiyel enerji prensipleri uygulanarak veya daha basiti, doğrusal bir yerdeğiştirme fonksiyonu tasarlanarak çıkarılabilir. Bundan dolayı bir eleman içerisinde birim deformasyon durumu doğrusal yerdeğiştirme fonksiyonu için düğüm yerdeğiştirme şartı tanımlanmalıdır. Bu dönüşümde gerilme baştan başa

elemanda ve bununla birlikte sınırlarında tanımlanır. Bu sınır gerilme sonuçları, rijitlikle bağıntıları ve düğüm sistemi kuvvetleri tarafından dengelenmelidir.

$$\{F\}^e = \{K\}^e \{\delta\}^e + \{F\}_p^e + \{F\}_{\epsilon_0}^e \quad (2.1)$$

Burada;

$\{F\}^e$  : Eleman üzerindeki kuvvet

$\{K\}^e$  : Elemanın rijitliği

$\{\delta\}^e$  : Düğümlerin yerdeğiştirmesi

$\{F\}_p^e$  : Herhangi bir ilk yük dağılımı için düzenlenmesi gereken düğüm noktası kuvveti

$\{F\}_{\epsilon_0}^e$  : Herhangi bir ilk birim deformasyon için düzenlenmesi gereken düğüm noktası kuvveti

### 2.2.1 Hesaplama yöntemi

Temel sonlu elemanlar denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir (Bennet, 1968; Fleck, 1973),

$$\{F\} = |K| \{R\} \quad (2.2)$$

$\{F\}$  : Düğüm noktası kuvvet vektörü,

$\{R\}$  : Düğüm noktası yerdeğiştirme vektörü,

$|K|$  : Rijitlik matrisi.

Yerdeğiştirmelerin çözümü bilinmediğ i için ya rijitlik matrisinin tersi kullanılabilir yada iterasyon teknikleri kullanılır. Rijitlik matrisi gibi sıfır olmayan şartlar ile seyrek olarak kurulmasıyla en hızlı iterasyon metodları tarafından denklem daha kolay çözülür. Seyreklik yönü düğüm numaraları sistemi için uygun bir seçime bağlıdır. Sıfır şartları tek bir  $|K|$ 'da kaydedilir. Tersinin alınmasında diğer bir sakınca ise küçük sistemler ile daha yavaş olarak elde edilir.

Daha kolay bir çözüm için denge denkleminde Gauss Seidel iterasyon yöntemi kullanılarak çözülür ve aşağıdaki gibi yazılır.

$$F_n = \sum_{i=1}^N K_{n,i} R_i \quad (2.3)$$

$$F_n = K_{n,1} R_1 + K_{n,2} R_2 + K_{n,3} R_3 + \dots + K_{n,N} R_N \quad (2.4)$$

$F_n$  : "n" düğümündeki dış kuvvet

$R_i$  : "i" düğümündeki yerdeğiştirme

$K_{n,i}$  : "n" düğümündeki kuvvet yapısı için "i" düğümündeki birim yerdeğiştirme sonucu

$N$  : Toplam düğüm sayısı

Bu denklem  $[K]$  matrisinin en alt köşegeni ve en üst köşegeni için ayrılabilir,

$$F_n = \sum_{i=1}^{n-1} K_{n,i} R_i + K_{n,n} R_n + \sum_{i=n+1}^N K_{n,i} R_i \quad (2.5)$$

olduğundan,

$$R_n^{(s+1)} = K_{n,n}^{-1} \left\{ F_n - \sum_{i=1}^{n-1} K_{n,i} R_i^{(s+1)} - \sum_{i=n+1}^N K_{n,i} R_i \right\} \quad (2.6)$$

Buradaki denklem 2,6'daki üstsel kuvvetler iterasyon sayısını gösterir.

### 2.3 Rijitlik Matrisi

Rijitlik matrisi denge denkleminde kullanılmaktadır, bunun için elemanın rijitliği aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$[K] = [B]^T [D] [B] t dx dy \quad (2.7)$$

Burada;

$[B]$  :  $[B]$  matrisinin devriği

$t$  : Elemanın kalınlığı

$[D]$  : Matris içinde birim deformasyon veyerdeğiştirme ilişkisi

$[B]^T$  : Yerdeğiştirme fonksiyonundan çıkarılan matris

iki boyutlu analiz için, bir izotropik malzemedeki birim deformasyonlar,

$$\epsilon_x = \frac{\sigma}{E} - \frac{\nu \sigma}{E} + \epsilon_{x0}$$

$$\epsilon_y = \frac{\sigma}{E} - \frac{\nu \sigma}{E} + \epsilon_{y0} \quad (2.8)$$

$$\gamma_{xy} = 2(1+\nu) \frac{\tau_{xy}}{E} + \epsilon_{xy0}$$

$$\{\sigma\} = [D] (\{\epsilon\} - \{\epsilon_0\}) \quad (2.9)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\nu/2 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Burada;

$\epsilon_i$  : Birim deformasyon yönü alt indis tarafından ifade edilir

$\sigma_i$  : Gerilme yönü alt indis tarafından ifade edilir.

$\nu$  : Poisson oranı.

E : young modülü.

$\epsilon_{i0}$  : İlk birim deformasyon yönü alt indis tarafından ifade edilir.

Bir anizotropik malzemenin tamamı için 21 tane bağımsız elastik bileşkeye ve üç boyutlu analizde gerilme-birim deformasyon ilişkisinin tanımlanmasına gerek duyulur.

Denklem 2.7'deki  $[B]$  matrisi elemanın yerdeğiştirmesi düğüm için birim deformasyonu ifade eder.

Tipik bir i, j, k'lı üçgen eleman için "i" düğümündeki yerdeğiştirmesi  $\{\xi\}_i$ ,  $u_i$  ve  $v_i$  gibi iki bileşkeye sahip olmalıdır.

$$\{\xi\}_i = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix}$$

Yerdeğiştirme elemanı altı bileşkelili bir eleman olarak gösterilir.

$$\{\varepsilon\}^e = \begin{Bmatrix} \varepsilon_i \\ \varepsilon_j \\ \varepsilon_k \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_k \\ v_k \end{Bmatrix} \quad (2.11)$$

Bir eleman içindeki yerdeğiştirmeler tek olarak tanımlanmalı iki doğrusal polinomla en basit şekilde ifade edilir.

$$\begin{aligned} u &= \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \\ v &= \alpha_4 + \alpha_5 x + \alpha_6 y \end{aligned} \quad (2.12)$$

düğüm noktası koordinatları eklenmesiyle  $\alpha_i$  ( $i=1,2,3,\dots,6$ ) için altı benzer denklem çözümü için gereklidir ve  $u$ ,  $v$  için genel bir çözüm bulunur.

$i$ ,  $j$ ,  $k$  ve  $l$ 'li bir dörtgen eleman için benzer bir yerdeğiştirme fonksiyonu oluşturulur.

$$\begin{aligned} u &= \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy \\ v &= \alpha_5 + \alpha_6 x + \alpha_7 y + \alpha_8 xy \end{aligned} \quad (2.13)$$

$u_i, u_j, u_k, u_l$  ve  $v_i, v_j, v_k, v_l$  düğüm noktaları yerdeğiştirme şartları  $\alpha_i$  ( $i=1,2,\dots,8$ ) için çözümlenebilir ve sonunda  $|B|$  bulunur.

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \partial u / \partial x \\ \partial v / \partial y \\ \partial u / \partial y + \partial v / \partial x \end{Bmatrix} = |B| \{\varepsilon\}^e \quad (2.14)$$

Burada  $\{\varepsilon\}^e$  denklem 2.11'de tanımlandığı gibidir.

Denklem 2.5 ve denlem 2.6'da belirtildiği gibi kendi içlerinde 2x2'lik alt matrislere ayrılırlar ve bununla birlikte aşağıdaki ilişkiler kurulur.

$$|K_{ij}| = |B_i|^T \cdot |D| \cdot |B_j| \cdot t \cdot \Delta \quad (2.15)$$

$\Delta$  : üçgen elemanın alanıdır

veya

$$|K_{ij}| = |B_i|^T \cdot |D| \cdot |B_j| \cdot t \cdot A \quad (2.16)$$

A : Dörtgen elemanın alanıdır.

Genellikle programlar aşağıdaki düzende çalıştırılarak organize edilir. Bu organizasyon eldeki problem özellikleri için yalnız ikincil değişiklikler hesaplanır. Programın esas amacı alışılmış yöntemlerin dışında, çalışma akışının kontrolüdür. Verilerin hepsi okunmasından sonra bant genişliği belirlenir ve art arda yaklaşımlarla program çözümlenir.

İlk görev olarak rijitlik matrisi düzenlenir ve bu amaç için özel bir alt programa gerek vardır. Bu alt program bir başka alt programa gider ve birim deformasyon, gerilme ilişkileri hazırlanır ve sonra yerdeğiştirme olayı belirlenir. Son alt programda ise esas program tarafından tanımlanmış her bir elemanın merkezindeki gerilme durumları belirlenir, gerekli bir alt programla asıl gerilmeler için doğrudan çizgisel diyagram elde edilebilir, bu işin elle yapılması ise bazı güçlükleri beraberinde getirir. Bununla birlikte hesaplama zamanı gerilme durumlarının çizilmesinden dolayı önemli miktarda artış gösterir ve ara veri yönteminde daha yavaştır. Sisteme diyagram çizici bağlanırsa önemli gerilmeleri işaretler ve ayrılan bir alt programla, gerilme bölgelerin büyüklüğü ve eleman yerleride elde edilir.

Programdaki giriş verilerine önem verilmelidir. Bu özen hem düğüm noktaları eleman girdilerine ardışık sayılar verilmesiyle sağlanır. Bu özen gösterilmesse, program kendi içinde ortalama bir şekilde veri tanımları için değerler kullanır. Kontrol işaret sayıları çeşitli yönlerdeki boyutlar içinde gerçek veri girdileri sağlanmasıyla oluşturulmalıdır (Bennet, 1968).

#### 2.4 Anizotrop-Elastik Analiz

Açıklık çevresindeki kayaç gerçekten hem anizotrop hemde elastik olmayan bir malzemedir. Bu durumda ya izotrop malzemeler için önerilen akma kriterlerini anizotrop malzemeler için geçerli olabilecek hale dönüştürmek, yada yeni akma kriterleri tanımlamak gerekmektedir. Zemin ve kaya için bu seçeneklerin her ikisinde zor olması nedeniyle malzemenin anizotrop kabul edilmesi halinde elastik olduğu varsayılacaktır. Diğer bir basitleştirici kabulde malzeme özelliklerinin her üç doğrultuda değil, sadece tabakalara dik doğrultuda değiştiği ve tabaka düzleminde izotrop olduğudur. Bu, zemin ve kaya gibi malzemeler için oldukça gerçekçi bir kabuldür, çünkü zeminde herhangi bir noktadaki yatay ve düşey gerilmelerin farklılığı bu doğrultudaki elastisite modüllerinin farklı olmasına yol açmaktadır.

Böyle bir malzemede düzlem şekil değiştirme için gerilme şekil değiştirme ilişkisi,

$$\{\sigma\} = [D] \{\epsilon\} \quad (2.17)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ & d_{22} & d_{23} \\ \text{Sim.} & & d_{33} \end{bmatrix}$$

Burada,

$$d_{11} = A \cdot n \cdot \frac{(1 - n \cdot \nu^2)}{\nu}$$

$$d_{22} = A \cdot \frac{(1 - \nu^2)}{H}$$

$$d_{33} = A \cdot \frac{(1 + \nu)}{H} \cdot \frac{(1 - \nu - 2 \cdot n \cdot \nu^2)}{\nu}$$

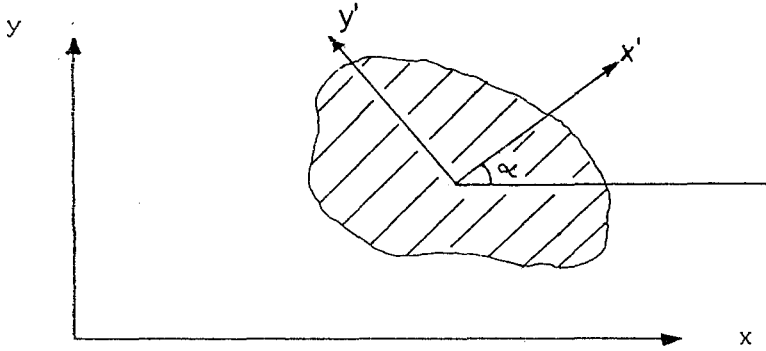
$$d_{12} = A \cdot n \cdot \frac{\nu}{\nu} \cdot \frac{(1 + \nu)}{H}$$

$$A = \frac{E \nu}{(1 + \frac{\nu}{H}) \cdot (1 - \frac{\nu}{H} - 2 \cdot n \cdot \frac{\nu^2}{\nu})}$$

$$n = \frac{E_H}{E_v}, \quad m = \frac{G_v}{E_v}$$

ve  $E_H$ ,  $\nu_H$  tabaka doğrultusundaki,  $E_v$ ,  $\nu_v$ ,  $G_v$  ise tabakaya dik doğrultudaki elastisite katsayılarıdır.

Eğer tabakalar yatay değilde yatayla bir alfa açısı yapıyorsa eğer eksenine göre elde edilmiş bu matrisin sistem eksenine aşağıdaki şekilde dönüştürülmesi gerekir.



Şekil 2.2 Tabakaların yatayla yaptığı açı

$$[D] = [T][D'] [T]^T \quad (2.18)$$

Burada,

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha & \sin^2 \alpha & -2\sin \alpha \cdot \cos \alpha \\ \sin^2 \alpha & \cos^2 \alpha & 2\sin \alpha \cdot \cos \alpha \\ \sin \alpha \cdot \cos \alpha & -\sin \alpha \cdot \cos \alpha & \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha \end{bmatrix}$$

Eğer tabaka doğrultusundaki gerilme ve şekil değiştirmeler isteniyorsa aşağıdaki dönüşümlerin yapılması gerekir.

$$\begin{aligned} \{\epsilon\}' &= [T]^T \{\epsilon\} \\ \{\sigma\}' &= [T] \{\sigma\} \end{aligned} \quad (2.19)$$

Sonlu elemanlar yöntemini anizotrop malzemelerde kullanırken malzeme matrisi  $D$ 'nin bu şekilde değiştirilmesi, eleman rijitlik matrisi hesabında ve gerilme şekil değiştirme ilişkilerinde bu değiştirilmiş matrisin kullanılması yeterli olmaktadır (Yılmaz, 1987).

### 3. SONLU ELEMANLAR METODUNUN MADENCİLİĞE UYGULANMASI

#### 3.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Kaya Mekanikine Uygulanması

Metod olduğu gibi yerdeğiştirme fonksiyonlarına dayandırılmaktadır. Modelde her bir elemanın özelliği farklı olduğundan kaya kütlelerinin heterojen davranış göstermesi gerekmektedir. Blake (1967) iki soruna işaret etmiştir, bir yeraltı açıklığının gerilme problemleri, yani bir yeraltı açıklığının çevresindeki bölgenin gevşetilmesi ve jeolojik özelliklerinin etkisini açıklamıştır. Blake'nin verdiği sonuçlarda, test alanlarındaki gerilme yoğunlaşma faktörlerinin uygulandığı zaman belirli bir jeolojik şartların gerektiğine işaret etmiştir.

Blake (1967)'de belirttiği gibi, bir açık işletme etrafındaki gravite yüklerinin, gerilme ve yerdeğiştirmeler malzemenin süreksizlik özelliklerinde ve fiziksel özelliklerini önemli oranda etkilememektedir. Goodman (1968) sonlu elemanlar yöntemini süreksizliklerin etkisini uygulayarak geliştirmiştir. Sürekli bir elemanda bir süreksizlik seçilirse, doğrusal bir eleman olmadığı için hatalı gerilmeler sonucu ortam homojen ve izotrop olmadığı için süreksizlikler boyunca farklı gerilmeler oluşacağı için sonuçlar farklı olacaktır.

bu durum şu özelliklere bağlıdır,

- a. Çatlaklar düzgün düzlemlerdir,
- b. Çatlaklar gerilme direncine sahip değildir,
- c. Çatlaklar yüksek basınç direncine sahiptir,
- d. Kesme direnci doğrusal bir mohr zarfı tarafından temsil edilir,
- e. Kesme direnci sürtünmelidir,
- f. Küçük kesme yerdeğişimleri kesme gerilmesinin oluşmasıyla meydana gelir.

Goodman (1968) modellerinde kırılmış ve göçmüş yapıları kullanmıştır. Bunlarda, dirençlere ilaveten normal ve teğetsel gerilmeler sayesinde çatlakların sınıflan-

dirılmasına güvenılır. Çatlak özelliklerinin ölçümü çok önemli olduğu anlaşılmış ve hatta kaya özelliklerinden daha önemli olmasıda olasıdır. Bunun için kaya mekanığının sanatsal veya bilimsel durumu kaya kütleli davranış modelinde daha çok gerceği yansıtmaktadır. Çok derine gitmeyen zeminler homojen ve izotrop olarak kabul edilir (Bennet, 1968).

### 3.2 Madencilik ve Dizayn

Kaya mekanığı açısından madenler pek çok galeri, kuyu, ayak, topuk v.b 'dan oluşan büyük yapılardır. Her çeşit mühendislik yapısında olduğu gibi, madenlerde de dizaynın önemi büyüktür. Özellikle üretim ile emniyetin birlikte yürütölmelerinin gereği hatırlanınca bu önem daha da artar.

Bu noktada, maden yapılarının dizaynını kısaca inceleyelim.

#### 3.2.1 Verilerin toplanması

Bunların başlıcaları kayaçların içinde buldukları gerilim durumları, kayaların mekanik özellikleri, bölgenin jeolojik yapısı, fay ve diğer yapısal çatlak sistemlerinin saptanması ve varsa dolgu malzemesinin özellikleri, artık suyu durumu, kazı kesiti v.b dir.

#### 3.2.2 Yaklaşım yöntemleri

Kendisinden bekleneni verebilen madencilik yapılarının oluşabilmesini sağlamak için, toplanan verilerin ışığı altında, fiziksel açıdan bu yapılara benzeyen ve çözümü bilinen basit problemler yaklaşım olarak kullanılmalıdır. Bu yöntemler üç sınıfta toplanabilir.

##### 3.2.2.1 Analitik yaklaşımlar

Galeri ince veya kalın duvarlı silindirler, kaçamak dörtgen kesitli galeri tavanını kiriş olarak düşünebiliriz.

### 3.2.2.2 Sayısal yaklaşımlar

ençok kullanılan sonlu elemanlar metodu ile sonlu sınır elemanları metodlarıdır.

### 3.2.2.3 Fiziksel modeller

Bunlar laboratuvar çapında yapılan modellerdir ve gözlem değerindedir. Sayısal sonuç vermezler.

## 3.3 Dizayn

İlk dizayn toplanan verilerin, laboratuvar modellerinin veya diğer yaklaşımların ışığı altında daha gerçekçi bir şekilleme yapılabilir. Genellikle ilk dizayn esas olmakla birlikte gerçek boyutta uygulamaya geçildikten sonra çıkabilecek sorunlar, nedenleri saptanarak ilk dizaynın değiştirilmesinde kullanılabilir (Bilgin, 1977).

## 3.4 Galeri ve Ayakların Statik Sisteminin Seçimi

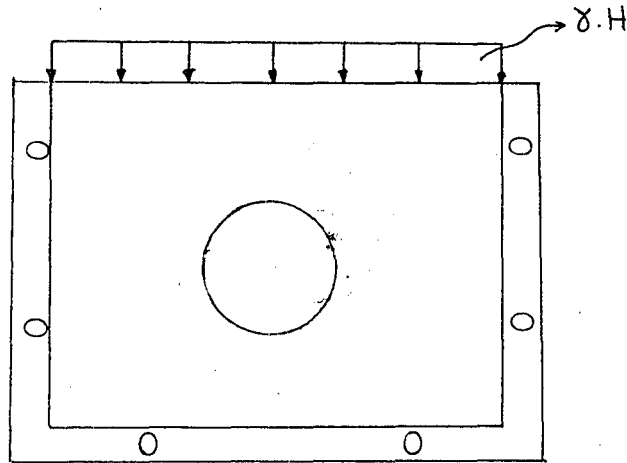
Yerin altındaki herhangi bir nokta düşey ve yatay gerilmeler altındadır ve ortam bu gerilmeler altında denge bozulur, açıklık çevresindeki belirli bir bölgede gerilme durumu değişir, ortam belirli bir deplasman yaparak yeni bir denge konumuna ulaşır. Bu gerilme değişimi ve deplasmanlar galeri çevresindeki belirli bir bölgede dikkate değer büyüklükte olduğu halde bu bölgenin dışında ihmal edilebilecek düzeye inmekte yani orjinal gerilme değerine ulaşmaktadır. Sonsuz bir ortamın sonlu elemanlar yöntemi ile modellerken işte bu gerilme değişiminin olduğu bölge düzlem şekil değiştirme ( $\epsilon = 0$ ) problemi olarak düşünülür. Sonlu elemanlara bölünen bu plakanın büyüklüğü öyle seçilmelidir ki sınırlarda elde edilen gerilmeler yaklaşık olarak orjinal gerilmeye eşit olsun. Açıklığın açılmasıyla oluşan gerilme değişimi sınırlarda kabul edilebilen değerden büyükse deneme yanılma yöntemiyle sınırların yeri belirlenebilir. Galeri çapı, galeri açma yöntem, ortamın özel-

likleri bunu etkilediği için sabit bir sayı vermek olanaksız olmakla birlikte yapılan denemelerde plakanın düşey sınırlarınının galeri merkezinden en az altı kez ötede olması gerektiği anlaşılmıştır.

Bu durumda plakanın düşey sınırlarında yatay deplasmanlar alt yatay sınırlarında ise düşey deplasmanlar tutulur ve plakanın üst kısmında kalan ölü yükü yayılı olarak uygulanır Şekil 3,1'deki gibi.

Çogunlukla sistem galeri merkezinden geçen düşey eksene göre simetrik olduğu için sistemin tamamı yerine yarısı sonlu elemanlar ile modellenir (Yılmaz, 1987).

İki sonlu eleman model, boyutları, sınırları ve geometrik şartları şekil 3.2'de gösterilmiştir. Düzlem şekil değiştirme şartları altında kömür madencilik sisteminde tipik bir uzun ayak içersine düşey bir bölümde çalışması

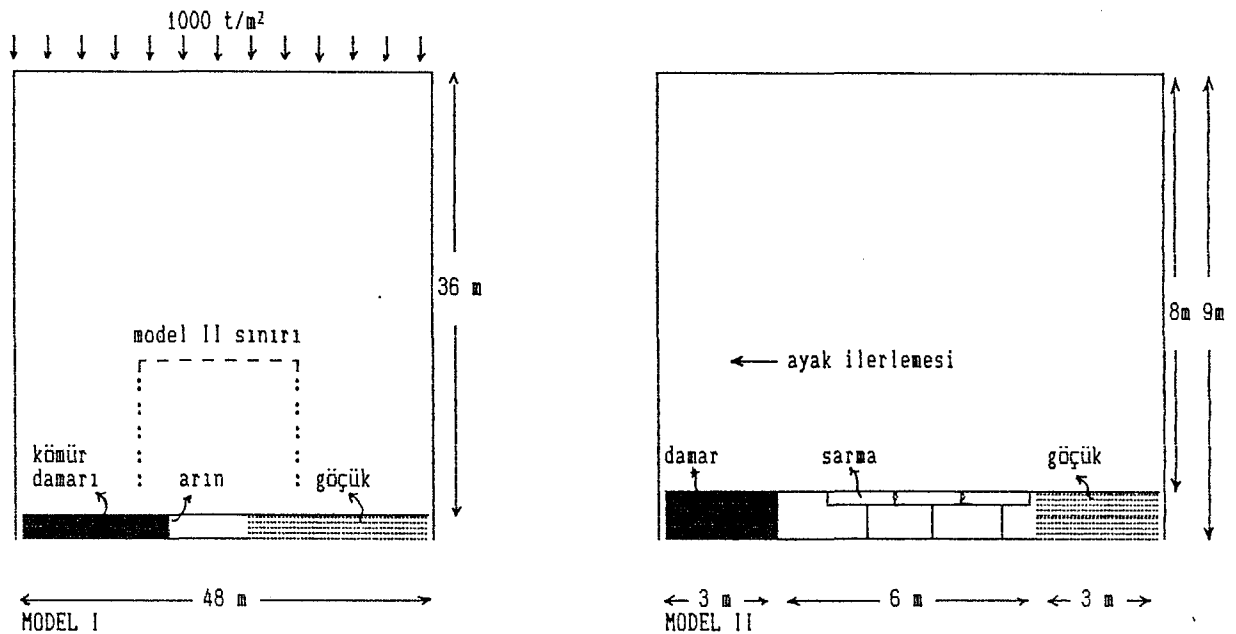


Şekil 3.1 Düzlem plakasının sınır geometrisi

için kullanılmıştır. Kömür damarı 2 metre kalınlığında ve ayak genişliği 6 metredir. Tavan üç çelik sarma tarafından her biri tek bir sürtünmeli direk ile desteklenmiştir. Kömür damarı üzeri şisttir. Açıklık çevresindeki detaylı çözümlerin yeterli olarak bulunması için iki üçgen eleman şebekeleri ile iki evrede çalışılır. Model I'in kullanımı, esasına göre uygun sınır şartları model II

için bulunur (açıklık nedeni ile etki alanı içinde olduğu kabul edilir), model I'deki sonlu eleman şebekesi model II'nin dış sınırındaki düğüm noktaları iç düğüm noktaları gibi içine alarak dizayn edilir. Bu yolla, model II'nin sınır şartları, düğüm noktası yerdeğiştirme şartlarında model I'den elde edilir ve gerilme analizi için yeterli doğrulukla model II içinde uygulanır.

Sınır şartları model I için sınır kenarındaki düğüm noktalarının yatay yerdeğişimleri, kömür damarının merkez hattı boyunca düğüm noktalarının düşey yerdeğişimleri sıfır olarak kabul edilir ve eklenen dış düşey yükler neticesinde 400 metrelik kayaç örtüsü yukarıdaki sınır düğüm noktalarına uygulanır. Sarmaların desteklenmesinde direklerin etkileri ve eski üretim alanının düşey reaksiyon kuvvetleri Bilinski(1968) tarafından eski üretim bölgelerindeki kuvvetlerin çalışma etkileri ve sürtünmeli direklerin ortalama bir taşıma kapasiteleri hesaplanır ve düğüm noktalarına verilecek kuvvetlerin uygulanmasıyla modellenmiştir. Eski üretim alanında yukarı doğru bir kuvvet uygulandığı kabul edilerek.



Şekil 3.2 Model I ve II'deki sonlu elemanların boyutu, geometrisi, sınırlarının şartları.

Birinci şeklin model I'deki eski üretimin sağındaki son dan sol taraftaki sonuna doğru gidilirken kuvvet sıfırdan 35 kg/cm<sup>2</sup> kadar hemen hemen doğrusal olarak değişir. Sonlu elemanların boyutları gerilme analizinin doğru bir şekilde elde edilmesi için en yüksek gerilmenin olduğu bölgede en küçük elemanlar bulunur. Eleman boyutları model I ve model II için sırasıyla 0.5 metreden 4.0 metreye ve 0.12 metreden 1.0 metreye kadar değişmektedir. Her iki modeldeki gravite yükleri örtü tabakasının ağırlığı ile oluşan düşey kuvvetler ile veya sınır değişimleri ile birlikte kullanılır (Kidybinski et al., 1973).

### 3.5 Sonlu Elemanlar Metodunun Sağladığı olanaklar, Sınırlamaları ve Geleceği

Sonlu elemanlar analiz yöntemi elastik teori prensiplerinden doğmuştur. Bu nedenle önceleri sadece homojen, izotropik ve doğrusal elastik malzemelerin analizi yapılabilmıştır. Yöntemde yapılan değişikliklerle, süreksiz ve doğrusal olmayan malzemelerin analizine olanak sağlamıştır.

#### 3.5.1 Doğrusal olmayan problemler

Bu problemlerin birinci grubu, malzemenin doğrusal olmayan davranış göstermesi durumunu kapsar. Doğrusal olmayan elastik veya elastik-plastik malzemeleri ve genel viskoelastik problemleri, örneğin yükleme hızının (zaman) ve malzemenin ön deformasyonlarının etkisini incelemek olanakları vardır.

İkinci grup doğrusal olmama durumu geometrik doğrusal olmamadır. Bilindiği gibi elastik teori küçük deformasyonları ve yerdeğişimleri kabul eder. Son gelişmelerle birim deformasyonların büyük olduğu problemlerde çözülebilmektedir.

Doğrusal olmayan problemler başlıca üç yöntemle çözümlür.

### 3.5.1.1 Adım adım yöntemi

Bu yöntemin esasını doğrusal olmayan problemleri, her bir doğrusal olan bir takım problemçikler demeti halinde çözmek oluşturur.

### 3.5.1.2 öteleme yöntemi

Bu yöntem problemin bir bütün olarak çözümlenip, denge sağlanıncaya dek çözümün düzeltilmesini öngörür.

### 3.5.1.3 Karışık yöntem

"5.1.1" ve "5.1.2" yöntemlerin birlikte uygulanması demektir.

## 3.5.2 Süreksiz malzeme

Çatlaklar ve kırıklarla parçalanmış bir kayaç süreksiz malzemedir. Bu gibi malzemenin bulunduğu problemlerde bugün çözülebilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi gerçek bir problemi basit bir şekle indirgeyerek, probleme gerçeğe yaklaşık çözümler getirir.

### 3.5.2.1 Hayali çatlak yöntemi

Hoek çatlakları sadece yön ve yatımlarıyla temsil etmeyi önermektedir. Bu yaklaşımda problem çatlaksız malzeme varmışcasına çözülür. Bilgisayar programına eklenen bir alt program çatlağın bulunduğu yön ve açıdaki gerilmelerle, çatlağın daha önce ölçülmüş ve bilinen makaslama mukavemeti ile karşılaştırılır. Böylece herhangi bir göçük veya kaymaya neden olabilecek çatlaklı bölgelerin analizi yapılır ve yapının emniyetlilik durumu irdelenmiş olur.

### 3.5.2.2 Çekme mukavemeti olmayan malzeme yöntemi

Genellikle kayaçların çekme mukavemetleri çok düşüktür. Bu nedenle kayaçta oluşabilecek çekme gerilmeleri önem kaza-

nır. Problem doğrusal elastik olarak çözülür ve bir bilgisayar alt programı kayada oluşın gerilmeleri kontrol eder. Herhangi bir göçük veya kaymaya neden olabileçek çekme gerilmesi bölgeleri belirlenir. Çekme gerilmeleri "gerilme taşınması" denilen bir yöntemle yok edilerek yapının dengeli ve emniyetli olma durumu araştırılır.

### 3.5.2.3 Çatlak, kırık elemanları yöntemi

Bu yaklaşımda kayanın kırık ve çatlaklar, kayanın sürekli kısımları için kullanılandan farklı bir elemanla temsil edilir. Çatlak ve kırık elemanları Goodman tarafından bulunmuş ve formülasyonları tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan problemler alanına giren bu yöntemin kullanılması özel önlemler gerektirir. Bir diğer nokta hızlı ve geniş bellekli bir bilgisayara gerek olmasıdır.

### 3.5.3 Üç boyutlu analizler

Üç boyutlu analizlerin geniş bilgisayar belleği gerektirmektedir. Üç boyutlu analizlerde daha fazla sayıda sonlu eleman ve düğüm noktası olması bu gereksinimi doğurmaktadır.

### 3.5.4 Çözümün güvenirligi ve alınması gereken önlemler

Gerçeğe en yakın çözümleri, en ucuza (en az bilgisayar zamanı kullanarak) verecek yaklaşım modelleri seçilmesi bazı koşulların varolmasına bağlıdır.

#### 3.5.4.1 Sonlu eleman tipi

Eleman tipi çok önemlidir. Doğrusal birim deformasyon olanağı olan elemanların jeoteknik ve madencilik problemleri için yeterli olduğu görülmüştür. Buna karşın yüksek dereceli izoparametrik elemanlar iyi netice vermekle beraber, fazla bilgisayar zamanı gerektirdiklerinden daha pahalıya malolmaktadır.

#### 3.5.4.2 Sonlu eleman ağı ve eleman büyüklüğü

Kulhawy'ye göre homojen kayalarda, basit ve bir simetri ekseni olan problemlerde 125 ile 150 dogrusal birim deformasyon olanaklı eleman gerekmektedir. Model ağıın eleman sayısı kadar önemli olan bir diğer nokta, elemanın büyüklüğüdür. Yüksek gerilme beklenen bölgelerde eleman boyutunu küçültmek gerekir. Bu yapılmadığı takdirde, sayısal yanlış yapma olasılığı artar ve güvenirligini yitirir.

#### 3.5.4.3 Problem sınırlarının seçimi

Analitik çözümlerde yapının sonsuz bir ortam içinde varsayıldığı hatırlanırsa, problem sınırlarının seçiminin önemi artar. Sınırların yapıya çok yakın olması çözümün sonuğunu etkiler, buna karşın yapıdan uzak olması, inceleme alanını büyüttüğünden fazla bilgisayar zamanı kullanımına yol açar. Kulhawy galeri genişliğinin 3 katı uzaklığı yeterli görürken Dahl sınırların yapıdan, yapı genişliğinin 4.5 katı uzak olmasını önermektedir. Dahl'ın önerisinin daha hassas sonuç vermesi olagandır.

#### 3.5.4.4 Arazi gerilmeleri ve yerçekim kuvveti

Homojen kayalar için yapılan pek çok sonlu eleman analizinde, yerçekiminin yarattığı gerilmeler değişmez kabul edilmiştir. Kulhawy 150 metreden fazla derinle için bunun kullanılabilceğini, ancak daha az derinlerdeki yapıların analizinde, normal arazi gerilmesi yanı sıra, yerçekim kuvvetinde analizlere katılması gerektiğini göstermiştir.

#### 3.5.4.5 Yapı kesitinin etkisi

Yapı kesitinin, yerçekim kuvvetinin etkisiyle yapının emniyetine olan etkisini değiştirdiği gözlenmiştir.

### 3.5.4.6 Kazı tekniğinin etkisi

Bazı yapılar kullanma amaçına bağlı olarak geniştiriler. Geniş yapılar, özellikle yeraltındakiler, bir defa daha kazılamazlar. Bu nedenle önce klavuz bir tünel açılır ve daha sonra aşama aşama kazılarla yapı son şeklini alır. Bu gibi yapı tekniği uygulandığında, yapıyı çevreleyen kayalardaki deformasyonlar ve gerilmeler farklı olduğundan, Bu adım adım kazı yöntemi sonlu elemanlar analizine konulmalıdır. Bu yaklaşım yöntemi Kulhawy tarafından tanımlanmıştır.

### 3.5.5 Sonlu elemanlar metodunun uygulanabilirliği

Sonlu elemanlar metodunun uygulanabilirliğini ve geçerliliğini tartışmak gerekirse; Bütün sınırlamalarına rağmen, hızlı ve ucuz bir analiz yöntemidir. Madencilikte dizayn malzemesi diğer mühendisliklerin malzemeleri (örneğin: çelik, beton) gibi homojen olmadığından, kayaları modellemek kolay değildir. Bu açıdan sonuçun geçerliliği tartışılabilir.

Tüm bu dezavantajlarına rağmen, yöntem bize yapı çevresindeki kayaların yerdeğişim ve gerilme durumları hakkında fikir vermesi ve aydınlatması bakımından, tahkimat sisteminin seçiminde önemli yarar sağlar. Hoek ve Londe sonlu elemanlar analiz yöntemi dönemi "sonlu eleman çağı" olarak nitelemişlerdir. Bunun nedeni zamanımıza dek hiç bir analitik yöntemin kaya mekaniğine getiremediği katkıları, sonlu elemanlar analiz yönteminin getirmesidir. Metodun madencilikte kesin dizayn için kullanılması, bazı gelişmelere bağlıdır ve bu açıdan metodun geleceğine ümitlenmelidir (Bilgin,1977).

#### 4. SAP IV PROGRAMININ İŞLEVİ

##### 4.1 Kompleks Yapı Sistemleri İçin Denge Denklemi

###### 4.1.1 Eleman yapı matrisleri

Yapı elemanlarının doğrusal bir sistemi için düğüm noktası denge denklemleri farklı yaklaşımlar tarafından çıkarılır. Bütün metodlar aşağıdaki formda doğrusal denklemlerin hazırlanmasıyla üretilir.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = R \quad (4.1)$$

Burada  $M$  kütle matrisi,  $C$  Malzeme matrisi ve  $K$  rijitlik matrisidir. Vektörler  $u$ ,  $\dot{u}$ ,  $\ddot{u}$  ve  $R$  sırasıyla düğümdeki yerdeğiştirme, hız, ivme ve yön yükleridir. Yapı matrisleri eleman matrislerinin direk olarak eklenmesiyle elde edilir.

$$K = \sum K_m \quad (4.2)$$

Burada  $K_m$  m'inci eleman rijitlik matrisi.  $K_m$   $K$  gibi benzer şekilde form edilir,  $K_m$ 'in tek şartı elemanın serbestlik derecesinin sıfır olmaması gerekir. Eleman matrisinin eklenmesi gerçek elemandaki yapı serbestlik dereceleri için eleman matrisleri kimlik sırasıyla birlikte form edilmesiyle uygulanır.

Programda yapı matrisi ve diyagonal bir kütle matrisi bir araya getirilir. Bununla birlikte, bir parçanın kütle analizi farzedilerek, yapı ise seçilmiş bir serbestlik derecesi belirlenerek kütleler pozitif olarak toplanarak eleman kütle matrisine eklenir. Malzeme modeli malzeme faktöründe form edilerek belirtilir ve orantılı olduğu kabul edilir.

###### 4.1.2 Sınır şartları

Yerdeğiştirme birleşkeleri sıfırsa yerini tutan denklem, yapı denge denkleminde bulundurulmaz. Birinci denklemde yerini tutan eleman rijitliği ve kütle şartlarına önem

verilmez, şayet yerdeğiştirmeler sıfır değilse  $i$ 'nin serbestlik derecesi belirtilerek  $u_i = x$  olarak söylenir denklemler ise,

$$K_{i \quad x} = K \quad (4.3)$$

ve birinci denkleme eklenir. Burada  $K \gg \gg \gg K_{ii}$  birinci denklemin çözümü  $u_i = x$  vermelidir. Fiziksel olarak bunun yorumlanması  $i$  serbestlik derecesindeki  $K$  rijitliğinin büyüklüğünü ve bir yükü belirtme ile eklenerek olur. Çünkü bu serbestlik derecesindeki yapı gerçekteki bir kalıba sokulur ve  $x$  yerdeğiştirmesine ihtiyaç vardır.

#### 4.2 Yapının Kütle ve Rijitlik Matris Hesabı İçin Program Analizi

Yapının rijitlik ve kütle matris hesaplaması şu üç ana başlık altında yapılır,

- a. Düğüm noktası giriş verileri program tarafından okunur ve tanınır. Bu safhada denklem numaraları ve aktif serbestlik derecesi her bir düğüm için saptanır.
- b. Elemanın rijitlik ve kütle matrisleri eksenlerle olan ilişkileri beraber hesaplanır ve hafızaya eksenler ardışık olarak kaydedilir.
- c. Yapı kütle ve rijitlik matrisi eleman matrislerine eklenmesiyle hafızada blok olarak düzenlenir ve korunur.

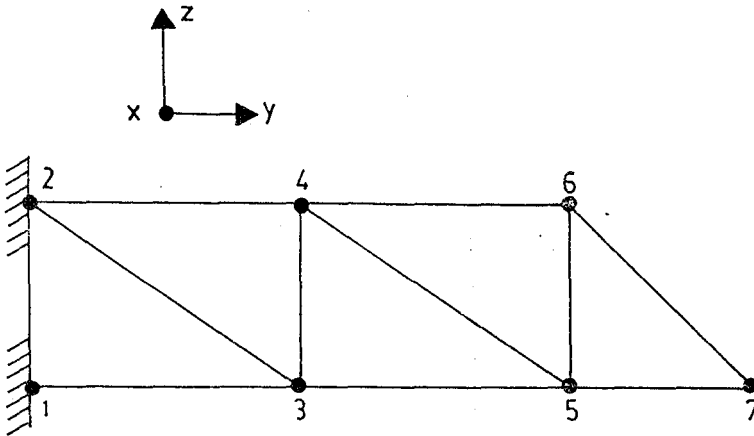
Şunu belirtmek gerekir ki bu temel kademeler kullanılan eleman tipine göre ayırılır fakat hem statik hemde dinamik analiz için aynıdır.

##### 4.2.1 Serbestlik derecesi ve düğüm noktası giriş verisi

Yapı sisteminin düğüm noktalarının sayısı tarafından programın kapasitesi tespit edilir. Her bir düğüm noktası için altı sınır şartına (ID sırasında), üç koordinat ( $X, Y, Z$  ekseninde) ve düğüm noktası sıcaklığı ( $T$  ekseninde) tanımlanır ve ihtiyaç gösterilen kapasite tedarik edilir. Bütün

düğüm noktası verileri rijitlik ve kütle matrisi düzenlenmesi süresince yüksek hızlı belleklere kaydedilir. Yüksek hızlı belleklere eleman alt programları için ihtiyac vardır ve verilen bir problem için minimum bir yer kapsaması sistemdeki düğüm sayılarından on defa daha az büyüklükte olur

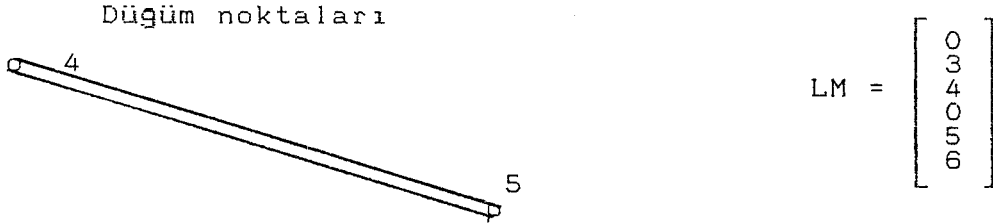
Şunu belirtmek gerekir ki, Kullanıcı elemanı bir düğüme birleştirilmesi uygun olduğu için bu serbestlik derecelerinden teki verilmelidir. Program daima her bir düğüm için altı serbestlik derecesi ile işini görür ve aktif olmayan bütün serbestlik derecelerini silerek, böylelikle yapı matrisinin sayısını azaltır. Özellikle bir "1" ID sırasında belirtilir ve denklemsiz serbestlik derecesi ile ilişki kurulacaktır. "0" sıfır ise şunu gösterir, bunun aktif bir serbestlik derecesi olduğunu gösterir. Bu şekil 6.1'de program tarafından okunan veya tanımlanmış olarak ID sırasında basit bir giriş yapı sistemi için gösterilmiştir. İlk defa ID ve X,Y,Z sırasında ele alındıysa, denklem numaraları bütün aktif serbestlik dereceleri ile arasında ilişki kurulur. ID sırasındaki sıfırların yerini tutan denklem sayıları tarafından yerine konulur ve herhangi biri için şekil 4,2'de gösterildiği gibidir.



Kirişin düğüm noktaları tertibi



çağrılır sonra bütün eleman matrisleri kurulur, ID ve X,Y,Z sıralarınada daha fazla ihtiyac yoktur, uygun koruma alanında yapı matrislerine şekil verilmesi için ve denge denkleminin çözülmesi için kullanılır



Şekil 4.3 Tipik bir örnek kiriş elemanı için ilişki sırası (vektör LM)

#### 4.2.3 Yapı kütlelerinin ve rijitliğinin düzenlenmesi

Rijitlik ve kütle matrisleri şekil 4,4'de görüldüğü gibi bloklar şeklinde teşkil ettirilir. Çok büyük sistemler makul boyutlu bilgisayarlarda dinamik ve statik tepkiler için analiz edilebilir. Her blok denklem numarası ile bilinir, rijitlik ve kütle matrisi eleman matrislerine doğrudan eklenmesiyle bir defada ikisi birleştirilmiş olunur. Bu yöntemde eleman matrislerine gerekli işlemler yapılarak bellekte korunur. Düzenli olarak bellekte okutulmasını minimize etmek, geçilen her bir eleman matrisleri, sonraki bloklara mahsus olarak diğer belleğe aktarılır. Bu şekilde bellek okunması gereksinimi bu blokların tertibi için anlamlı bir şekilde azaltılır. Rijitlik ve kütle matrisinin akış diyagramı Şekil 4,5'de gösterildiği gibidir. Blok şeklindeki matrisler ile muhafaza edilmesiyle hem statik analiz hemde dinamik analiz uygulanabilir.



### 4.3 Programın Eleman İçeriği

SAP IV'ün eleman içeriği sekiz farklı eleman tipinden meydana gelmektedir. Bu elemanlar hem statik hemde dinamik analiz için kullanılabilir. Bu eleman tipleri Şekil 4,6'da gösterilmiştir.

#### 4.3.1 Üç boyutlu kiriş eleman

Eleman üniform bir sıcaklık değişimine etkisi altında kalabilir.

#### 4.3.2 Üç boyutlu kafes eleman

Kafes eleman programına burulma dahil edilerek göz önüne alınır, yaklaşık iki eksenli eğilme ve aksiyal kesme deformasyonları gözönüne alınır. Eleman prizmatiktir. Atalet yükleri üç yönlü olup sabit ve son kuvvetler eleman yük durumlarını belirtir. Kuvvetler (aksiyal, kesme), momentler (eğilme, kesme) kafesin lokal eksen sisteminde hesaplatılır.

Tipik bir kafes eleman Şekil 4,6b'de gösterildiği gibidir. Kafesin eğilme eksenleri  $i$ ,  $j$ ,  $k$  yüzeyi tarafından tanımlanır.  $k$  düğüm noktası tek bir geometriye gereksinim duyar;  $k$  düğüm noktasına serbestlik dereceleri eklenmeden bilgisayar programında kullanılır. Kafes elemanının önemli bir seçimide, kafesin sonuna ana bir düğüm geometrik olarak bağlanabilmesidir. Kafesin sonundaki serbestlik derecesine dönüştürülür ve formüle edilerek yerine konulur. Bu teknik sistemdeki toplam birleşik denge denklem sayısını azaltır (bant genişliği artışı zaman) ve bir çok yapı tipinde hassasiyetle sayısal olabirliklere indirgenir. Bu metod yapı sistemlerinde rijitlik katlarının belirtilmesinde kullanılabilir.

#### 4.3.3 Düzlem gerilmesi, düzlem birim deformasyonu ve simetrik olmayan elemanlar

Bir düzlem gerilmesi dörtgen (veya üçgen) elemanlar ortotropik malzeme özelliklerinde kullanışlıdır. Her bir düzlem gerilme eleman farklı kalınlıkta olabilir ve üç boyutlu koordinat sistemi itibariyle keyfi bir düzleme yerleştirilebilir. Düzlem birim deformasyon ve simetrik olmayan elemanlar y-z düzleminde sınırlandırılır. Gravite atalet ve sıcaklık yükleri göz önüne alınabilir. Gerilme eleman merkezinde ve herbir elemanın kenar ortalarında hesaplatılabilir. Eleman isoparametrik formülasyonlara dayandırılır. Eşdeğer olmayan yerdeğiştirme koşulları burulan eleman özellikleri ıslah edilerek düzenli olarak hesaba katılabilir.

#### 4.3.4 Üç boyutlu katı eleman

Genel olarak sekiz düğüm noktalı (dikdörtgenler prizması şeklinde) bir elemandır. Her düğüm noktası serbestlik dereceleri üç çevrim ile kullanılabilir. Şekil 4,6d'de izotropik malzeme özellikleri üç yöndeki atalet, yüzey basıncı ve sıcaklık yüklerinden eleman yüklerinin oluştuğu kabul edilir. Gerilmeler eleman merkezinde ve her bir yüzeyin merkezinde hesaplatılabilir.

#### 4.3.5 Kalın kabuk eleman

Egik onaltı düğüm, izoparametrik katı eleman ve kalın plaka ve kabuk analizleri için kullanılabilir. Yerdeğişim çevrimlerin kullanımında serbestlik derecesinin normalde ince kabuk formülasyonlara çevrilmesiyle benzetme zorluklarından kaçınılmalıdır. Dörtgenler prizması ve kabuk eleman eşdeğer olmayan koşullara formüle edilmesinde kullanılır. Biçimi bozulmuş elemanların titizlikle bulunuşu genellikle yetersizdir. Her iki eleman içinde sekiz veya yirmi düğüm tarafından yerleştirilir. Üzgül eşdeğer olmayan koşullar bir tercihtir.

#### 4.3.6 İnce plaka ve kabuk eleman

İnce kabuk eleman eldeki mevcut programda keyfi geometrik dörtgenle ve dört üçgenden form edilir. Kabuk elemanda devamlı olarak birim deformasyon üçgenleri kullanılır ve LCCT 9 membran eleman burulma hareketinin oluştuğu sıra ile tasfir edilir. Merkezi düğüm dört köşedeki düğüm koordinatların ortasına yerleştirilir. Eleman içinde altı serbestlik derecesine sahiptir ve bir önceki eleman gurubundan çıkarılır. Dörtgen eleman yirmidört tane serbestlik derecesine sahiptir. Global koordinat sisteminde her düğümün altı tane serbestlik derecesi vardır.

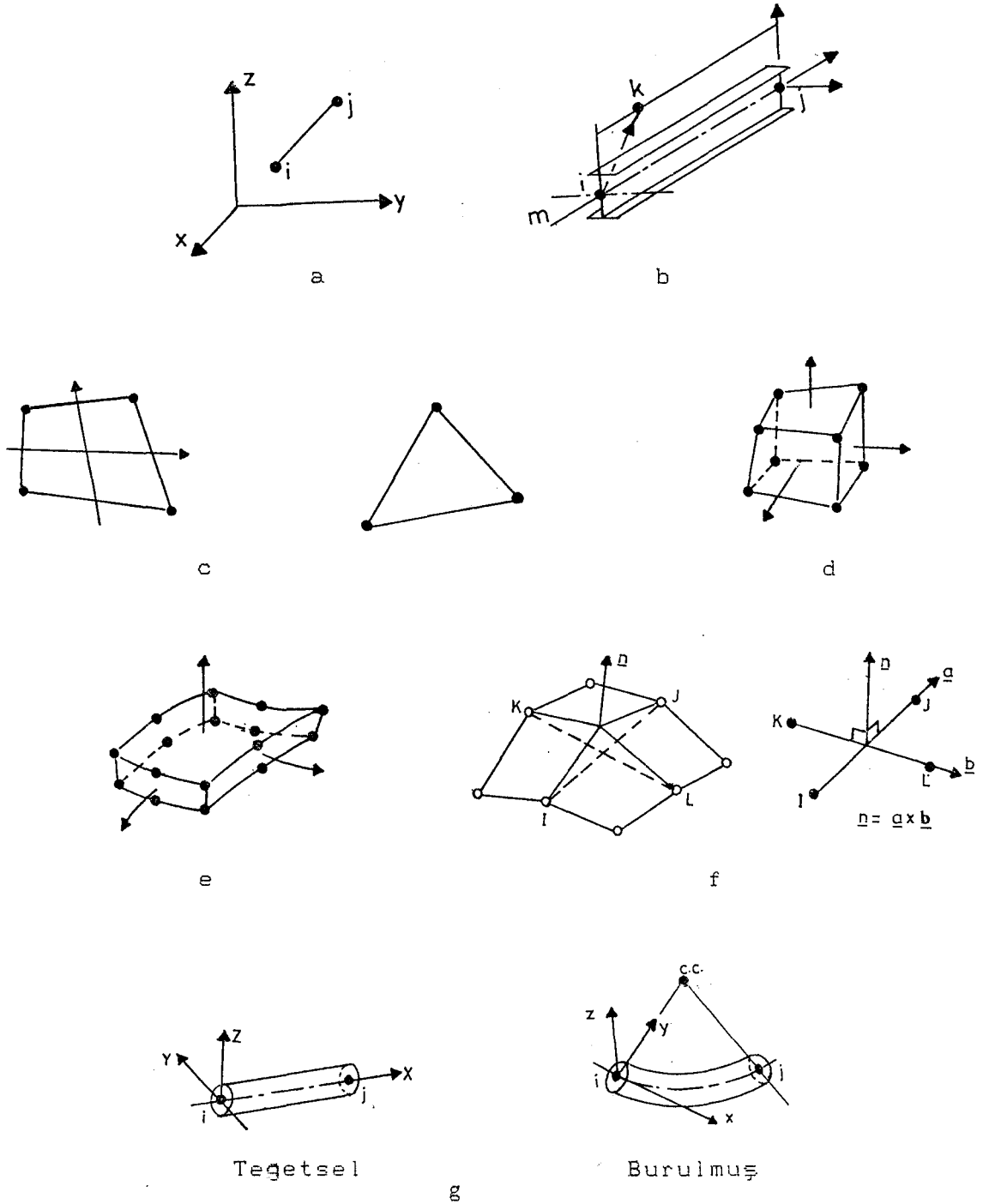
Düz plaka analizlerinde rijitlik üyesi normal dönüşümle kabuk yüzeyinde tanımlanmaz. Serbestlik dereceleri normal dönüşüm analizlerini içermemelidir. Eğri kabuk için, normal dönüşümlerde ekstra bir serbestlik derecesinin tanımlanması gereklidir. Bu durumda eğrilikler çok küçük olur. Serbestlik derecelerine bir "sınır eleman" eklenmesiyle küçük bir normal rijitlik dönüşümü ile sınırlandırılmalıdır. Eleman burulma rijitliği yaklaşık %10 veya daha az olduğu söylenir.

#### 4.3.7 Sınır eleman

Sınır eleman Şekil 4,6f'de gösterildiği gibidir ve aşağıdaki koşullar için kullanılır.

- Bir düğüm dıştan gelen bir elastik desteğin idealleştirilmesinde.
- Bir eğilme rolü oynayan destekte.
- Bir yerdeğişimin belirlenmesinde veya,
- Yassı kabukların yanındaki analizlerde "altıncı" serbestlik derecesi ile sayısal zorlukların benzetimle çıkarılmasında.

Eleman bir aksiyal veya burulma rijitlikleri ile tek boyutludur. Eleman rijitlik katsayısı direk olarak toplam rijitlik matrisine eklenir.



Sekil 4.6 SAP IV'ün eleman içerigi. a. Kiriş eleman b. Üç boyutlu kafes eleman c. Düzlem gerilme, düzlem birim deformasyon ve simetrik olmayan eleman d. Üç boyutlu katı eleman e. Kalın kabuk eleman f. İnce kabuk ve sınır eleman g. boru eleman

#### 4.3.8 Boru eleman

Sekil 4,6g'de gösterildiği gibidir.

#### 4.4 Statik Analiz

Bir statik analiz denge denklerin çözümünü içerir

$$K_u = R \quad (4.4)$$

ve elemanın gerilme hesaplanmasıyla devam eder.

##### 4.4.1 Denge denklemlerinin çözümü

Kuvvet vektörü R rijitlik ve kütle matrisinin düzenlendiği gibi aynı zamanda bir araya getirir. Denklemlerin çözümü doğrusal denklem çözümü SESOL büyük bir kapasite kullanımıyla oluşturulur. Bu alt programda denklemlerin simetrik sistemleri pozitif tanımıyla GAUSS eliminasyon yöntemi kullanılır. Algoritim minimum bir sayıda işle uygulanır. Sıfır elemanlar ile herhangi bir işlem yapılmaz. Programda K'nın L<sup>T</sup> DL ayrımı kullanılır ve şu şekilde yazılır,

$$L^T V = R \quad (4.5)$$

$$v = DLu \quad (4.6)$$

beşinci denklemden v için çözüm kuvvet vektörlerinin bir azaltılmasıyla oluşturulur. Yerdeğiştirme vektörü u bir sonrakinin yerini almasıyla hesaplanır

Çözümlerde K ayrıştığı için yük vektörleri eşit sürelerle indirilir. Bütün işlemlerde herhangi bir zamanda matris elemanları istendiğinde bellekte korunmuş olması gerekir. Azaltmalarda, iki blok bellekte korunmuş olur (kütle ve rijitlik matris düzenindeki durum olduğu içindir). "Başta bulunan" blok L ve D'nin elemanlarının sonuna kadar korunur. Birbirinin yerini alan bu bloklarda "başta bulunan" bloğun ayrışmasıyla etkilenir.

#### 4.4.2 Eleman gerilmelerinin değerlendirilmesi

Düğüm noktalarının yerdeğişiminden sonra düşük hızdaki korumalarda eleman gerilme-yerdeğişim matrisleri okunması sonuğunda değerlendirilir ve eleman gerilmeleri hesaplanır.

## 5. İKİ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR ANALİZİNİN TUNÇBİLEK ÖMERLER YERALTI İŞLETMESİNE UYGULANMASI

Yapılan bu analizde, düzlemsel üçgen ve dörtgen elemanlar birlikte kullanılmıştır.

- a. Aksiyal yön Z-ekseni olarak, radyal yön ise Y-ekseni olarak belirtilir. Elemanlar birbirlerine bağlanırken dikkat edilmelidir.
- b. Düzlem şekil değiştirmede Y-Z eksen sistemi yüzeyinde eleman kalınlığı birim kalınlık olarak kabul edilir.
- c. Düzlem gerilme analizinde Y-Z eksen sistemi yüzeyinde eleman kalınlığı kesin olarak belirtilmelidir (Bathe et al., 1973).

Ömerler yeraltı işletmesi için önerilen yöntemde, taban yollarındaki gerilme analizleri için yapılan sonlu elemanlar çalışmasında, düzlem şekil değiştirme analizi uygulandığından herhangi bir eleman kalınlığı tanımlanması gerekli değildir.

Eleman verileri ise, ardışık olarak tanımlanmalıdır. Şayet bu duruma uyulmаса eleman tanımlanmamış olarak bilgisayar tarafından kabul edilir. Düğüm noktaları ise, ilk satırda belirtilen yönlerde bütün elemanlar için tanımlanmalıdır Şekil 5,1 (bu yön saat yönünün tersidir) (Bathe et al., 1973). Çizelge 5,1 ve Çizelge 5,2'de yapılan bu çalışma için düğüm noktaların koordinatları ve elemanlar için düğüm noktası numaraları verilmiştir. Şekil 5,2, Şekil 5,3 ve Şekil 5,4'de oluşturulan sonlu elemanlar ağının Model-A, Model-B ve Model-C için sırasıyla gösterilmektedir.

İki boyutlu sonlu elemanlar analizinde gerilme çıktıları "n" değeri ile girilir, bu değerler 1,0,8,16 ve 20 olarak verilebilir. n=20 ise üçgen eleman için geçerli olmayıp, program tarafından n=16 olarak kabul edilir. Eleman kenarlarının orta noktalarına 1,2,3 ve 4 orijin noktası ise 0 olarak tanımlanırsa, Çizelge 5,3'de "n" değerine bağlı olarak gerilme yerinin konumu verilmektedir.

Düğüm no	A ve B Modelinin Düğüm noktası Koordinatları		C modelinin Düğüm noktası Koordinatları		Düğüm no	A ve B Modelinin Düğüm noktası Koordinatları		C modelinin Düğüm noktası Koordinatları	
	Y	Z	Y	Z		Y	Z	Y	Z
1	0.0	0.0	0.0	0.0	55	18.1	11.8	13.68	12.33
2	5.0	0.0	5.0	0.0	56	19.2	11.8	16.92	12.33
3	9.3	0.0	9.6	0.0	57	20.3	11.8	17.87	12.63
4	15.3	0.0	15.3	0.0	58	10.39	12.76	18.82	12.94
5	21.4	0.0	21.0	0.0	59	11.51	12.76	19.77	13.25
6	25.6	0.0	25.6	0.0	60	12.67	12.76	13.14	13.42
7	30.6	0.0	30.6	0.0	61	13.16	13.6	13.94	12.8
8	0.0	4.3	0.0	3.0	62	13.9	14.22	14.32	13.1
9	5.0	4.3	5.0	3.0	63	14.81	14.56	15.3	13.5
10	9.3	4.3	9.6	3.0	64	15.7	14.56	16.28	13.1
11	15.3	4.3	15.3	3.0	65	16.7	14.22	16.66	12.8
12	21.4	4.3	21.0	3.0	66	17.44	13.6	17.46	13.4
13	25.6	4.3	25.6	3.0	67	17.93	12.76	0.0	14.0
14	30.6	4.3	30.6	3.0	68	19.09	12.76	5.0	14.0
15	0.0	7.3	0.0	6.0	69	20.21	12.76	9.6	14.0
16	5.0	7.3	5.0	6.0	70	0.0	13.6	11.18	14.0
17	9.3	7.3	9.6	6.0	71	5.0	13.6	12.35	14.0
18	11.4	7.3	15.3	6.0	72	9.3	13.6	13.75	14.0
19	13.6	7.3	20.0	6.0	73	10.59	13.6	15.3	14.0
20	15.3	7.3	21.7	6.0	74	11.76	13.6	16.85	14.0
21	17.0	7.3	25.6	6.0	75	12.31	14.31	18.25	14.0
22	19.2	7.3	30.6	6.0	76	13.35	15.18	19.42	14.0
23	21.4	7.3	9.6	7.9	77	14.62	15.64	21.7	14.0
24	25.6	7.3	15.3	7.9	78	15.98	15.64	25.6	14.0
25	30.6	7.3	20.0	7.9	79	17.25	15.18	30.6	14.0
26	13.6	9.6	10.6	9.8	80	18.29	14.31	12.35	15.0
27	15.3	9.6	13.6	9.8	81	18.84	13.6	13.75	15.0
28	17.0	9.6	15.3	9.8	82	20.0	13.6	15.3	15.0
29	0.0	10.8	17.9	9.8	83	21.4	13.6	16.85	15.0
30	5.0	10.8	20.0	9.8	84	25.6	13.6	18.25	15.0
31	9.3	10.8	0.0	10.8	85	30.6	13.6	12.35	16.0
32	11.4	10.8	5.0	10.8	86	9.3	15.01	15.3	16.0
33	12.5	10.8	9.6	10.8	87	11.47	15.01	18.25	16.0
34	13.6	10.8	10.6	10.8	88	12.8	16.13	0.0	19.5
35	15.3	10.8	12.6	10.8	89	14.43	16.72	5.0	19.5
36	17.0	10.8	13.6	10.8	90	16.17	16.72	9.6	19.5
37	18.1	10.8	15.3	10.8	91	17.8	16.13	12.35	19.5
38	19.2	10.8	17.0	10.8	92	19.13	15.01	15.3	19.5
39	21.4	10.8	18.0	10.8	93	21.4	15.01	18.25	19.5
40	25.6	10.8	20.0	10.8	94	0.0	18.8	21.7	19.5
41	30.6	10.8	21.7	10.8	95	5.0	18.8	25.6	19.5
42	10.4	11.8	25.6	10.8	96	9.3	18.8	30.6	19.5
43	11.4	11.8	30.6	10.8	97	15.3	18.8	0.0	24.3
44	12.5	11.8	10.6	11.8	98	21.4	18.8	5.0	24.3
45	13.6	11.8	11.6	11.8	99	25.6	18.8	9.6	24.3
46	13.7	12.38	12.6	11.8	100	30.6	18.8	12.35	24.3
47	14.0	12.89	13.6	11.8	101	0.0	24.3	15.3	24.3
48	14.45	13.27	17.0	11.8	102	5.0	24.3	18.25	24.3
49	15.0	13.47	18.0	11.8	103	9.3	24.3	21.7	24.3
50	15.6	13.47	19.0	11.8	104	15.3	24.3	25.6	24.3
51	16.15	13.27	20.0	11.8	105	21.4	24.3	30.6	24.3
52	16.6	12.89	10.83	13.25	106	25.6	24.3		
53	16.9	12.38	11.78	12.94	107	30.6	24.3		
54	17.0	11.8	12.73	12.63					

Cizelge 5.1 İç model için düğüm noktası koordinatlarının bilgisayar giriş değerleri

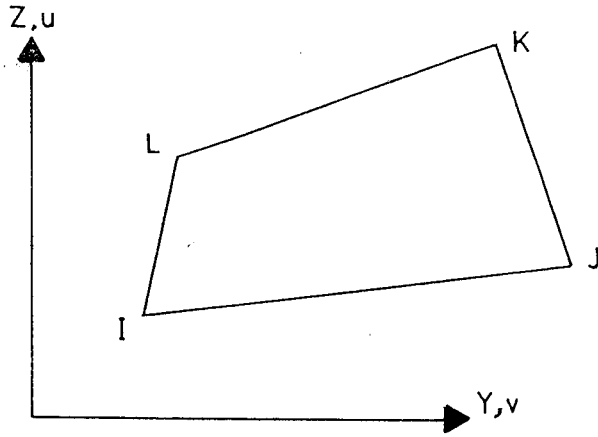
Eleman no	Model A ve B				malzeme no	Model C				malzeme no
	i	j	k	l		i	j	k	l	
1	1	2	9	8	1	1	2	9	8	1
2	2	3	10	9	1	2	3	10	9	1
3	3	4	11	10	1	3	4	11	10	1
4	4	5	12	11	1	4	5	12	11	1
5	5	6	13	12	1	5	6	13	12	1
6	6	7	14	13	1	6	7	14	13	1
7	8	9	16	15	1	8	9	16	15	1
8	9	10	17	16	1	9	10	17	16	1
9	10	18	17	17	1	10	11	18	17	1
10	10	11	19	18	1	11	12	19	18	1
11	11	20	19	19	1	12	20	19	19	1
12	11	21	20	20	1	12	13	21	20	1
13	11	12	22	21	1	13	14	22	21	1
14	12	23	22	22	1	15	16	32	31	2
15	12	13	24	23	1	16	23	33	32	2
16	13	14	25	24	1	16	17	23	23	2
17	15	16	30	29	1	17	18	24	23	2
18	16	17	31	30	1	18	19	25	24	2
19	17	18	32	31	1	19	20	25	25	2
20	18	26	33	32	1	20	21	42	41	2
21	18	19	26	26	1	21	22	43	42	2
22	19	20	27	26	1	23	26	34	33	2
23	20	21	28	27	1	23	24	27	26	2
24	21	22	28	28	1	24	28	27	27	2
25	22	38	37	28	1	24	29	28	28	2
26	22	23	39	38	1	24	25	30	29	2
27	23	24	40	39	1	20	41	30	25	2
28	24	25	41	40	1	26	27	35	34	2
29	26	34	33	33	1	27	36	35	35	2
30	26	27	35	34	1	27	28	37	36	2
31	27	28	36	35	1	28	29	38	37	2
32	28	37	36	36	1	29	39	38	38	2
33	29	30	71	70	2	29	30	40	39	2
34	30	31	72	71	2	31	41	40	40	2
35	31	42	58	72	2	31	32	68	67	2
36	31	32	43	42	2	32	33	69	68	2
37	32	33	44	43	2	33	34	44	44	2
38	33	34	45	44	2	34	35	45	44	2
39	36	37	55	54	2	35	46	45	45	2
40	37	38	56	55	2	35	36	47	46	2
41	38	39	57	56	2	38	39	49	48	2
42	39	83	69	57	2	39	50	49	49	2
43	39	40	84	83	2	39	40	51	50	2
44	40	41	85	84	2	40	41	51	51	2
45	42	43	59	58	2	41	42	78	77	2
46	43	44	60	59	2	42	43	79	78	2
47	44	45	46	60	2	33	44	52	69	2
48	54	55	67	53	2	44	45	53	52	2
49	55	56	68	67	2	45	46	54	53	2
50	56	57	69	68	2	46	47	55	54	2
51	58	73	72	72	2	48	49	57	56	2
52	58	59	74	73	2	49	50	58	57	2
53	59	60	61	74	2	50	51	59	58	2
54	60	46	47	61	2	51	41	77	59	2
55	47	48	62	61	3	52	70	69	69	2
56	48	49	63	62	3	52	53	71	70	2
57	49	50	64	63	3	53	54	60	71	2
58	50	51	65	64	3	54	55	61	60	2
59	51	52	66	65	3	60	72	71	71	2
60	53	67	66	52	2	61	62	72	60	2
61	67	68	81	66	2	62	63	73	72	2
62	68	69	82	81	2	63	64	74	73	2

Çizelge 5.2 Model A, B ve C için eleman düğüm noktası numaraları bilgisayar girdisi.

Çizelge 5.2'nin devamı

Eleman no	Model A ve B				malzeme no	Model C				malzeme no
	i	j	k	l		i	j	k	l	
63	69	83	82	82	2	64	65	66	74	2
64	70	71	95	94	3	56	57	66	65	2
65	71	72	86	95	3	66	75	74	74	2
66	72	73	87	86	3	57	58	75	66	2
67	73	74	75	87	3	58	59	76	75	2
68	74	61	62	75	3	59	77	76	76	2
69	75	62	76	76	3	67	68	89	88	4
70	62	63	77	76	3	68	69	90	89	4
71	63	64	78	77	3	69	70	80	85	4
72	64	65	79	78	3	70	71	80	80	4
73	65	80	79	79	3	71	72	81	80	4
74	66	81	80	65	3	72	73	82	81	4
75	81	82	92	80	3	73	74	83	82	4
76	82	83	93	92	3	74	75	84	83	4
77	83	84	99	93	3	75	76	84	84	4
78	84	85	100	99	3	76	77	87	84	4
79	86	96	95	95	3	80	81	86	85	4
80	86	87	88	96	3	81	82	86	86	4
81	75	76	88	87	3	82	83	86	86	4
82	76	77	89	88	3	83	84	87	86	4
83	77	78	90	89	3	69	85	91	90	4
84	78	79	91	90	3	85	86	92	91	4
85	79	80	92	91	3	86	87	93	92	4
86	92	93	98	91	3	87	77	94	93	4
87	93	99	98	98	3	77	78	95	94	4
88	88	89	97	96	3	78	79	96	95	4
89	89	90	97	97	3	88	89	98	97	4
90	90	91	98	97	3	89	90	99	98	4
91	94	95	102	101	4	90	91	100	99	4
92	95	96	103	102	4	91	92	101	100	4
93	96	97	104	103	4	92	93	102	101	4
94	97	98	105	104	4	93	94	103	102	4
95	98	99	106	105	4	94	95	104	103	4
96	99	100	107	106	4	95	96	105	104	4

Çizelge 5.2 Model A, B ve C için eleman düğüm noktası numaraları bilgisayar girdileri.



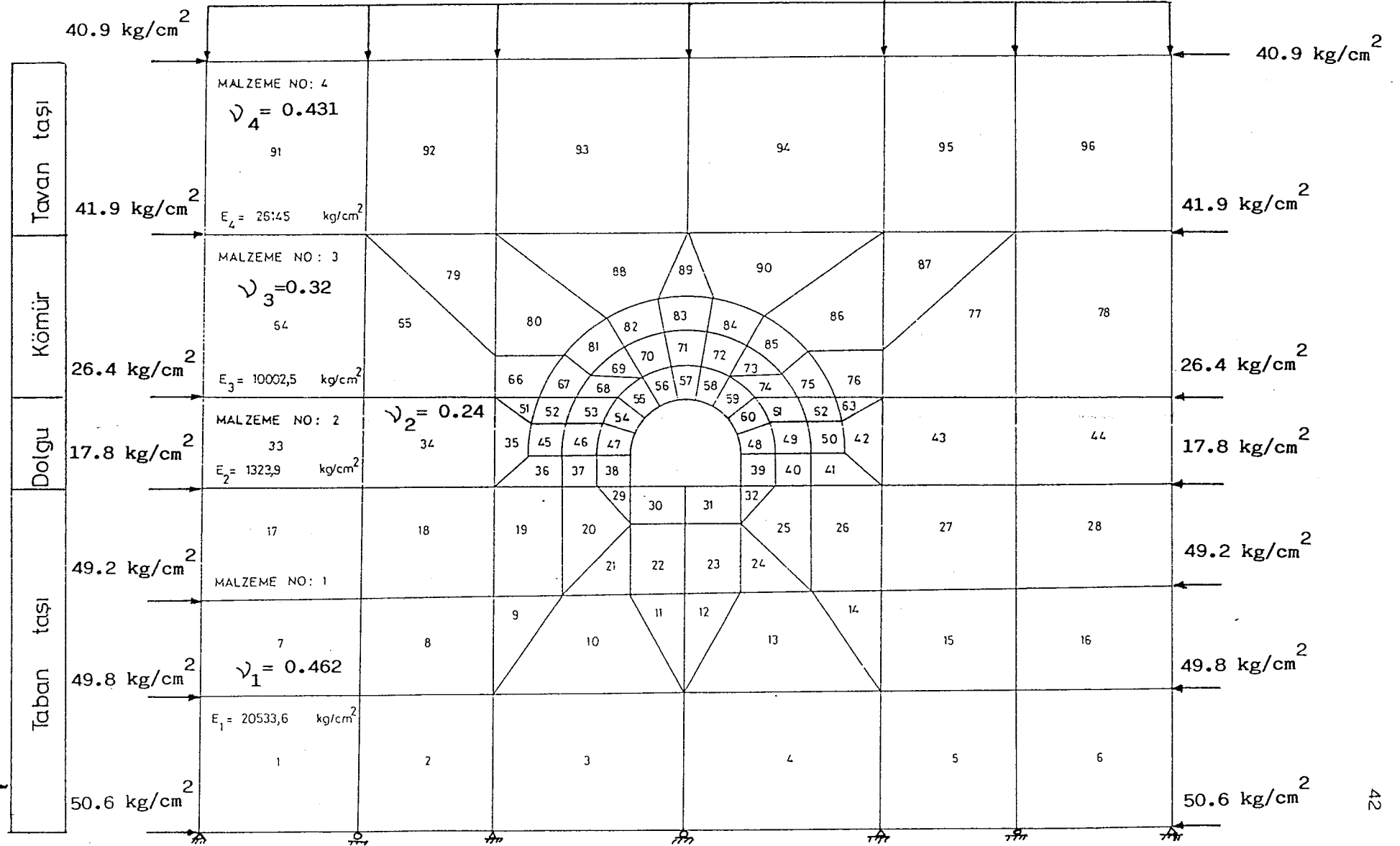
Sekil 5.1 Dügüm noktalarının yönleri

<u>n</u>	<u>Gerilme konumu</u>
1	Hiç biri
0	0
8	0, 1
16	0, 1, 2, 3
20	0, 1, 2, 3, 4

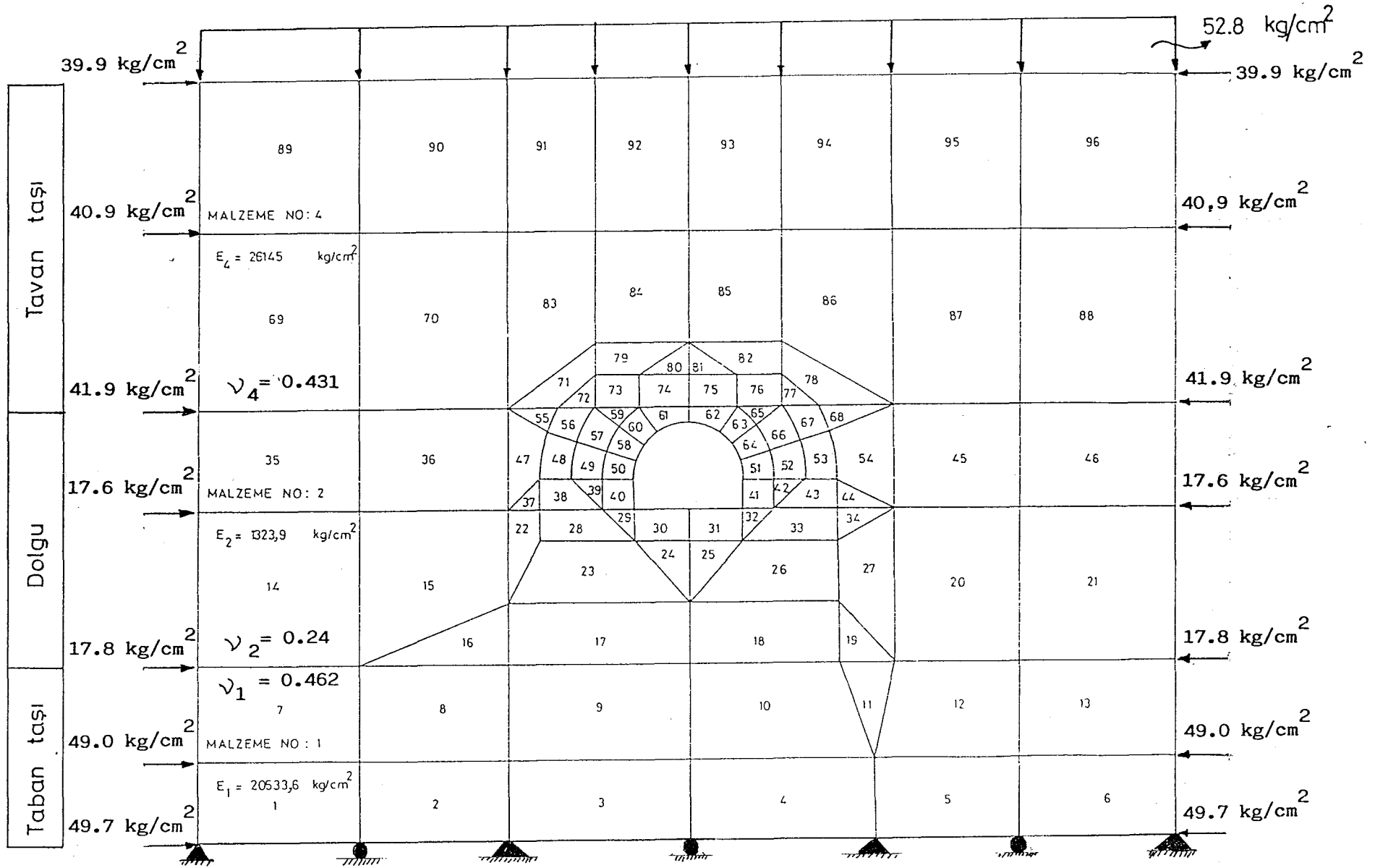
Çizelge 5.3 "n" değerine bağlı olarak gerilme konumları

İki boyutludüzlemsel şekil değiştirme analizinde 1, 2, 3, ve 4 noktalarındaki gerilme çıktılarının pozitif yönleri sırasıyla L'den I'ya, J'den K'ya, I'dan J'ye ve K'dan L'ye olacak şekilde tanımlanmıştır. Şekil 4,5.

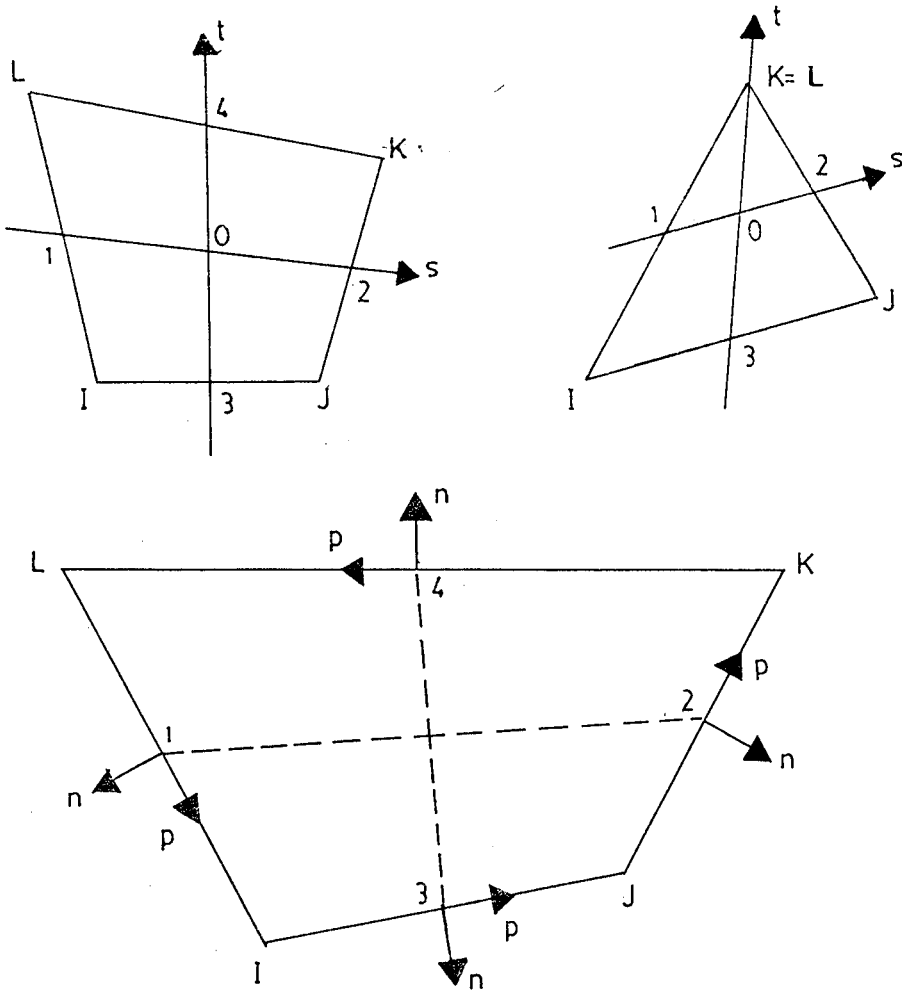
Bir eleman içindeki gerilmeler;  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{33}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{13}$ ,  $S_{23}$  ve açı olarak çıktı alınır.  $S_{11}$  ve  $S_{22}$  sırasıyla dikey ve yatay asal gerilmeleri,  $S_{12}$  kesme gerilmesini,  $S_{13}$  eleman yüzeyindeki üçüncü asal gerilmeleri,  $S_{23}$  ise kesme gerilmesinin sıfır olduğu ana asal gerilmeleribelirli bir açı altında bu değerler elde edilir. Şekil 5,6'da gösterildiği gibi (Bathe et al., 1973).



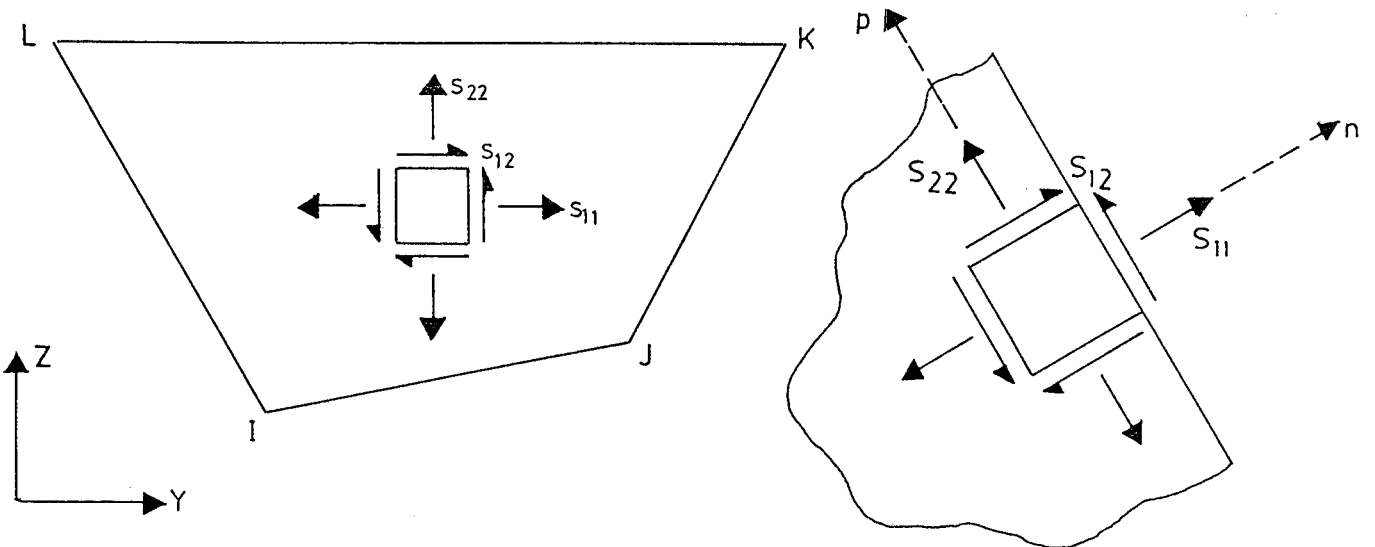
Şekil 5.3 Model B için oluşturulan sonlu eleman ağı.



Şekil 5.4 Model C için oluşturulan sonlu eleman ağı.



Şekil 5.5 Gerilme çıktılarının pozitif yönleri.



Şekil 5.6 Bir elemanın içindeki gerilmeler.

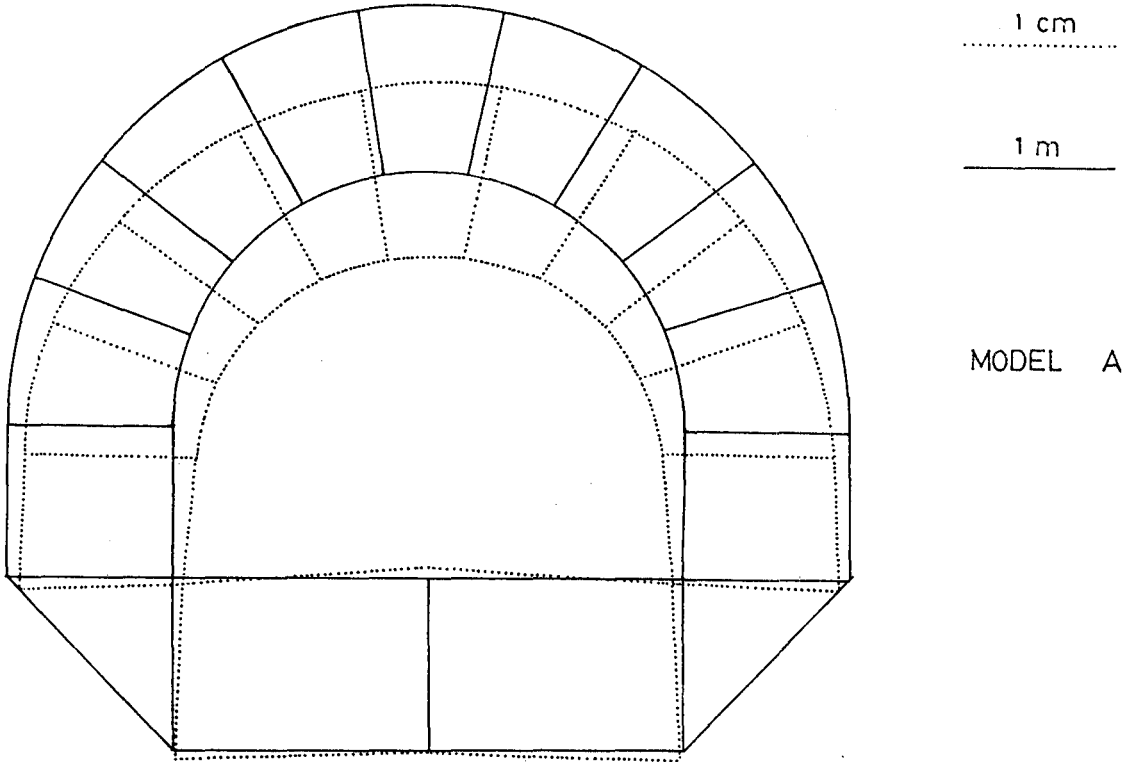
## 5.1 Bilgisayar Çıktılarının Ömerler Yeraltı İşletmesi İçin Değerlendirilmesi

### 5.1.1 Taban yollarındaki yerdeğiştirmeler

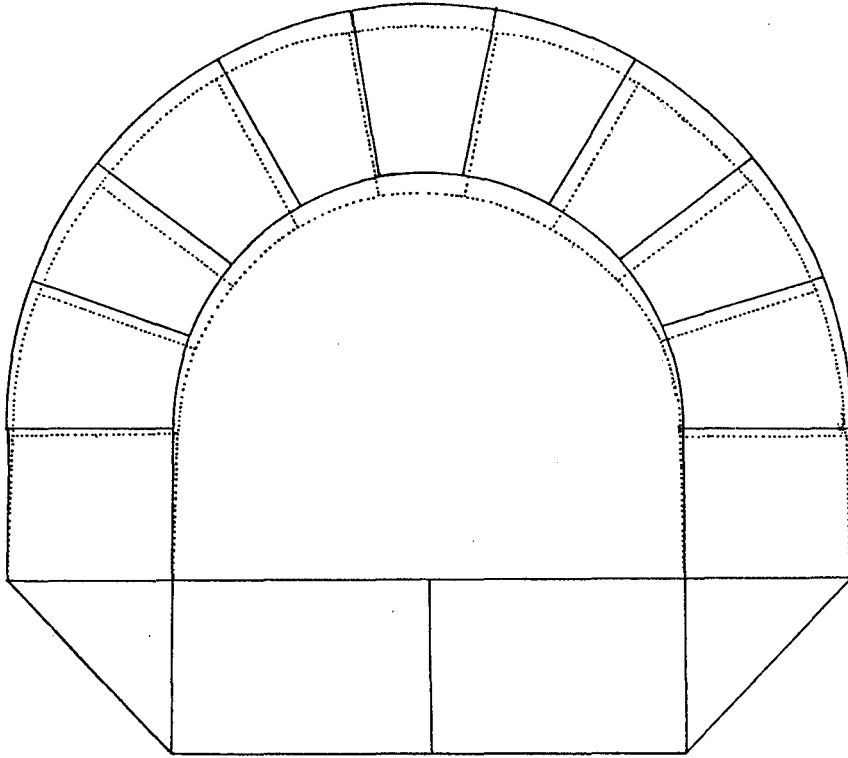
Model A, B ve C için taban yollarındaki yerdeğiştirmeleri, en büyük değerler alınarak sırasıyla, Model A için 0.52 cm, Model B için 2.66 cm ve Model C için 9.2 cm olarak tavan bölgesinde hesaplanmıştır. Taban yolları çevresindeki yerdeğiştirmeleri Çizelge 5,4'de verilmiş ve bu üç model için Şekil 5,7, Şekil 5,8 ve Şekil 5,9'da gösterilmiştir.

Bunlara bağlı olarak taban yollarında oluşan konverjansları hesaplırsak.

Model A için;	%k = % 0.19	k = 1.92 mm/m
Model B için;	%k = % 0.98	k = 9.88 mm/m
Model c için;	%k = % 3.4	k = 34.07 mm/m



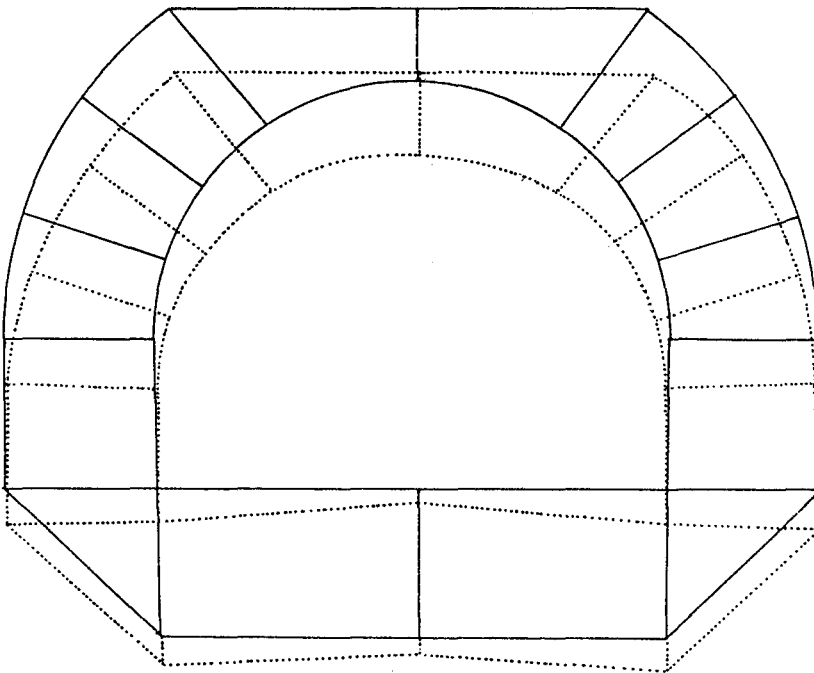
Şekil 5.7 Model A için taban yollarındaki yerdeğiştirmeler.



1 m  
20 cm

MODEL B

Şekil 5.8 Model B için taban yollarında oluşan yerdeğiştirmeler.



20 cm  
1 m

MODEL C

Şekil 5.9 Model C'deki taban yollarında oluşan yerdeğiştirmeler.

Düğüm no	A model Koordinatlar		B model Koordinatlar		C model Koordinatlar	
	Y	Z	Y	Z	Y	Z
	(mm)		(mm)		(mm)	
1	0	0	0	0	0	0
2	0.33	0	0.335	0	0.563	0
3	0	0	0	0	0	0
4	-0.007	0	-0.005	0	-0.015	0
5	0	0	0	0	0	0
6	-0.324	0	-0.348	0	-0.418	0
7	0	0	0	0	0	0
8	1.23	-0.49	1.20	-0.56	0.422	-0.867
9	0.81	-0.50	0.828	-0.515	0.029	-0.279
10	0.70	-0.26	0.751	-0.269	0.293	-0.399
11	-0.008	-0.198	-0.009	-0.143	-0.094	-0.204
12	-0.719	-0.281	-0.764	-0.282	-0.246	-0.524
13	-0.811	-0.507	-0.827	-0.518	0.055	-0.255
14	-1.22	-0.501	-1.18	-0.572	-0.352	-0.853
15	1.63	-0.688	1.58	-0.817	-2.20	-2.04
16	1.04	-0.62	1.02	-0.628	-0.132	-0.907
17	0.845	-0.688	0.839	-0.726	0.263	-1.00
18	0.83	-0.849	0.859	-0.837	0.124	-0.118
19	0.266	-0.549	0.296	-0.423	-0.366	-1.08
20	-0.011	-0.158	-0.01	-0.034	-0.268	-1.23
21	-0.268	-0.501	-0.297	-0.377	0.133	-0.936
22	-0.805	-0.847	-0.833	-0.838	2.33	-2.10
23	-0.832	-0.69	-0.822	-0.728	0.036	-21.28
24	-1.04	-0.632	-1.01	-0.639	0.887	-10.61
25	-1.61	-0.711	-1.56	-0.841	1.13	-21.13
26	0.435	-0.283	0.458	-0.137	2.45	-44.85
27	0.0003	0.081	0.0004	0.286	1.09	-34.61 *
28	-0.432	-0.265	-0.455	-0.121	-0.856	-22.41 *
29	0.198	-1.39	-0.014	-1.66	-2.05	-39.73 *
30	1.18	-1.09	1.09	-1.06	-1.38	-42.19
31	1.22	-1.02	1.11	-1.10	-3.91	-52.37
32	0.983	-0.967	0.903	-1.04	-1.07	-52.58
33	0.803	-0.773	0.624	-0.701	2.62	-54.21
34	0.659 *	-0.292 *	0.449 *	-0.099 *	2.13	-53.33
35	-0.0007 *	0.646 *	-0.0004 *	0.721 *	-0.425	-52.87
36	-0.653 *	-0.28 *	-0.443 *	-0.09 *	-0.872	-43.75
37	-0.792 *	-0.768	-0.611	-0.699	1.24	-19.71
38	-0.976	-0.976	-0.896	-1.06	-1.45	-45.08
39	-1.21	-1.02	-1.10	-1.09	-1.29	-50.88
40	-1.15	-1.11	-1.06	-1.08	-0.75	-52.88
41	-0.166	-1.42	0.052	-1.70	1.59	-53.09
42	0.935	-1.98	0.64	-10.77	1.11	-53.71
43	0.853	-1.78	0.177	-9.32	4.29	-53.31
44	0.928	-1.71	1.02	-9.62	0.236	-63.73
45	1.56 *	-2.04 *	3.85 *	-11.62 *	0.034	-65.69
46	1.34 *	-3.07 *	2.43 *	-18.70 *	-0.372	-63.32
47	1.12 *	-4.07 *	0.77 *	-25.53 *	3.62 *	-65.05 *
48	0.754 *	-4.85 *	0.629 *	-26.30 *	-4.97 *	-64.59 *
49	0.284 *	-5.28 *	0.277 *	-26.68 *	-0.732	-62.89
50	-0.243 *	-5.27 *	-0.175 *	-26.68 *	-0.137	-65.61
51	-0.714 *	-4.85 *	-0.529 *	-26.29 *	-0.598	-63.61
52	-1.09 *	-4.06 *	-0.674 *	-25.53 *	-0.556	-81.24
53	-1.31 *	-3.06 *	-2.37 *	-18.69 *	0.274	-77.06
54	-1.54 *	-2.02 *	-3.81 *	-11.61 *	1.41	-74.17
55	-0.909	-1.71	-0.989	-9.62	3.43 *	-74.61 *
56	-0.841	-1.78	-0.167	-9.29	-4.12 *	-74.15 *
57	-0.939	-2.02	-0.667	-10.97	-1.66	-74.14
58	1.01	-2.77	0.926	-18.03	-0.412	-77.17
59	1.00	-2.60	1.23	-17.47	0.387	-80.87
60	1.07	-2.80	1.47	-18.25	1.96	-84.26

Çizelge 5.4 Düğüm noktalarının hesaplanan yerdeğiştirme miktarlarının bilgisayar çıktısı.

\* Taban yolu kesitinin çevresindeki düğüm noktaları

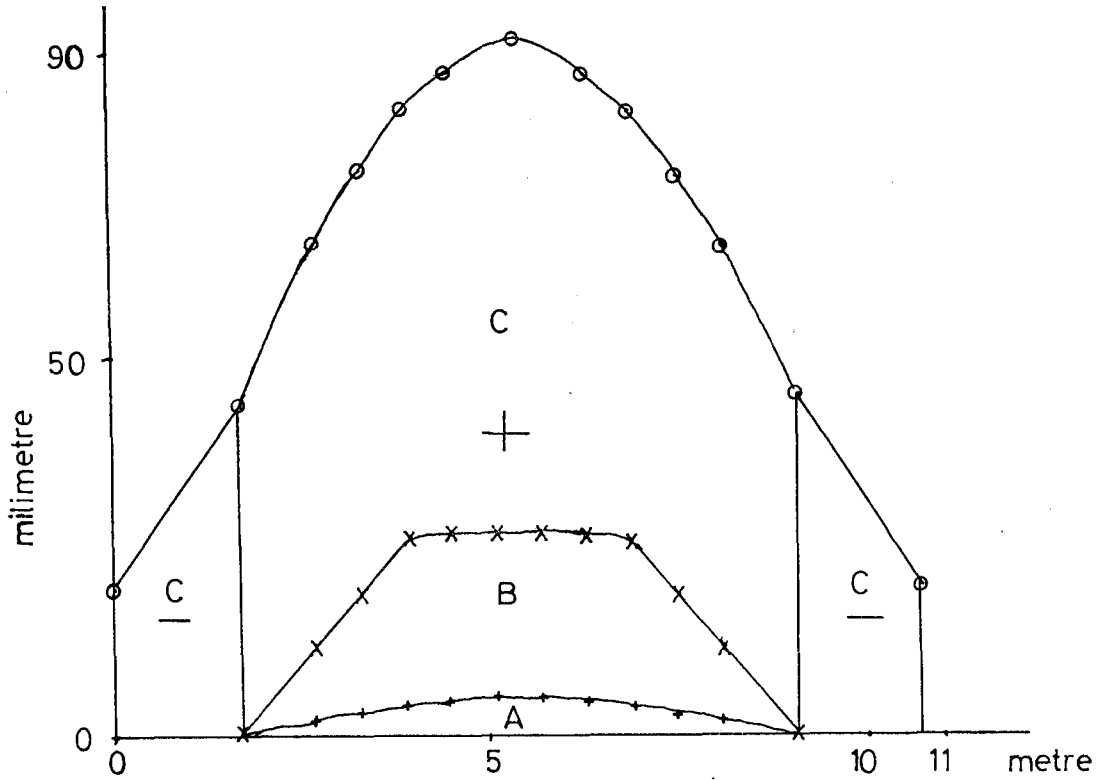
Cizelge 5.4'ün devamı

Düğüm no	A model Koordinatlar (mm)		B model Koordinatlar (mm)		C model Koordinatlar (mm)	
	Y	Z	Y	Z	Y	Z
61	1.00	-3.77	0.998	-25.09	3.57 *	-82.87 *
62	0.746	-4.64	0.865	-25.97	2.90 *	-87.21 *
63	0.281	-5.22	0.35	-26.56	0.116 *	-92.09 *
64	-0.241	-5.22	-0.245	-26.56	-2.91 *	-87.14 *
65	-0.705	-4.63	-0.761	-25.96	-3.78	-82.65
66	-0.968	-3.76	-0.899	-25.09	-1.88	-84.30
67	-1.04	-2.80	-1.40	-18.25	-0.614	-85.71
68	-0.98	-2.60	-1.15	-17.46	-0.86	-86.95
69	-0.996	-2.77	-0.89	-18.09	-0.276	-86.64
70	1.37	-4.24	3.98	-27.52	-0.475	-88.54
71	1.54	-4.02	3.55	-25.90	-0.229	-89.52
72	1.46	-3.36	2.60	-24.42	0.08	-90.32
73	1.19	-3.33	1.95	-24.27	0.151	-91.19
74	1.04	-3.28	1.40	-24.17	0.179	-90.47
75	1.02	-3.90	1.42	-24.91	0.633	-89.83
76	0.630	-4.88	0.955	-25.99	0.981	-88.63
77	0.286	-5.56	0.435	-26.74	0.711	-89.02
78	-0.246	-5.56	-0.325	-26.75	1.20	-88.12
79	-0.583	-4.87	-0.841	-25.99	0.980	-87.56
80	-0.987	-3.88	-1.32	-24.91	0.037	-89.96
81	-1.00	-3.28	-1.31	-24.18	0.185	-90.48
82	-1.15	-3.34	-1.85	-24.30	0.205	-91.25
83	-1.43	-3.38	-2.56	-24.50	0.228	-90.60
84	-1.50	-4.05	-3.46	-26.02	0.285	-90.34
85	-1.32	-4.29	-3.88	-27.69	0.189	-90.22
86	1.42	-4.56	2.36	-25.53	0.261	-91.42
87	1.14	-4.39	1.72	-25.25	0.311	-90.48
88	0.809	-4.86	1.25	-25.79	-0.176	-87.10
89	0.066	-6.19	0.218	-27.22	0.624	-88.36
90	-0.023	-6.20	-0.097	-27.24	0.484	-90.01
91	-0.767	-4.83	-1.13	-25.77	0.517	-91.25
92	-1.10	-4.39	-1.61	-25.27	0.513	-91.75
93	-1.38	-4.59	-2.27	-25.62	0.470	-91.47
94	1.24	-10.35	1.85	-33.29	0.445	-90.42
95	1.76	-9.04	2.29	-30.75	0.394	-89.63
96	1.14	-7.80	1.49	-28.80	1.28	-89.00
97	0.021	-7.67	0.068	-28.47	2.56	-89.03
98	-1.10	-7.86	-1.37	-28.92	1.92	-88.64
99	-1.70	-9.11	-2.14	-30.90	1.53	-90.94
100	-1.16	-10.43	-1.69	-33.49	1.24	-92.11
101	0.509	-12.75	-0.059	-35.60	0.778	-92.50
102	0.284	-9.35	-0.219	-31.11	0.304	-92.17
103	0.216	-8.41	-0.035	-29.46	-0.025	-91.34
104	0.044	-7.57	0.113	-28.33	-0.297	-90.09
105	-0.137	-8.47	0.259	-29.58	-0.945	-90.85
106	-0.203	-9.44	0.435	-31.28		
107	-0.43	-12.87	0.278	-35.80		

Cizelge 5.4 Düğüm noktalarının hesaplanan yerdeğiştirme miktarlarının bilgisayar çıktısı.

\* Taban yolu kesitinin çevresindeki düğüm noktaları

Bu üç model için yerdeğiştirme değerlerine bağlı olarak, taban yollarının çevresinde oluşan kesit daralması Şekil 5,10'da grafiksel olarak ifade edilmiştir. Model A ve B için taban yollarının tabanında çok çok küçük değerlerde oluşan taban kabarması vardır (Model A için 0.6 mm ve Model B için 0.7 mm kadar).



Şekil 5.10 Taban yollarındaki kesit daralmasının grafiksel gösterimi.

Şekil 5,10'da eğrilerin alanları hesap edilerek, taban yollarındaki kesit daralmasının değeri hesaplanmıştır. Negatif işaretli alan, Model C'deki tabanın çökmesi sonucu galeri tabanında kesit genişlemesine neden olan alandır. Pozitif işaretli olan alanlar ise kesitin daralmasını gösteren alanlardır. Buna bağlı olarak Model A'da  $0.022 \text{ m}^2$ , Model B'de  $0.113 \text{ m}^2$  ve Model C'de  $0.54 - 0.105 = 0.435 \text{ m}^2$  lik kesit daralması meydana gelir (Taban yolunun ilk kesit alanı  $7.93 \text{ m}^2$ 'dir).

### 5.1.2 Taban yollarındaki gerilmelerin incelenmesi

Taban yollarındaki eşdeğer gerilme eğrileri üç model için düşey ve yanal gerilmeler olarak irdelenmiş ve Çizelge 5,5 Çizelge 5,6 ve Çizelge 5,7'de sayısal değerleri verilmiştir.

Şekil 5,11 ve Şekil 5,12'de Model A için verilen eşdeğer gerilme eğrileridir. Taban yolunun her iki kenarında 20-25 kg/cm<sup>2</sup> arasında düşey gerilme, 15-20 kg/cm<sup>2</sup> arasında yanal basma gerilmeleri hesaplanmıştır. Tabanın tam orta noktasında ise düşey çekme, köşe noktalarında ise 10-15 kg/cm<sup>2</sup> arasında düşey basma gerilmeleri hesaplanmıştır. Yanal gerilmeler olarak, tabanda 0-5 kg/cm<sup>2</sup>, köşe noktalarında ise 10-15 kg/cm<sup>2</sup> arasında yanal basma gerilmeleri meydana gelmektedir. Taban yollarının tavanında ise, 10-15 kg/cm<sup>2</sup> arasında düşey ve 0-10 kg/cm<sup>2</sup> arasında yanal basma gerilmeleri hesaplanmıştır. Şekil 5,13'de düşey ve yanal gerilmelerin taban yolunun hemen cidarında sırasıyla, 22.5 kg/cm<sup>2</sup> düşey ve 5.5 kg/cm<sup>2</sup>'lik yanal basma gerilmeleri oluşmaktadır. Düşey gerilmeler galerinin 1.5 metre uzağında sabit bir değere ulaşmakta ve bu galeri merkezinden, galeri yarı çapının 1.88 katı kadar olmaktadır. Yanal gerilmeler ise taban yolunun 4 metre uzağında 9.7 kg/cm<sup>2</sup>'lik bir pik değer vermektedir, yani galeri merkezinden galeri yarı çapının 3.35 katı kadar uzaklıkta oluşmaktadır.

Şekil 5,14 ve Şekil 5,15'de Model B için verilen eşdeğer gerilme eğrilerini göstermektedir. Taban yolunun her iki kenarında 15-20 kg/cm<sup>2</sup> arasında düşey, 10-15 kg/cm<sup>2</sup> arasında yanal basma gerilmeleri oluşmaktadır. Galeri tabanında düşey çekme gerilmeleri ve 0-5 kg/cm<sup>2</sup> arasında yanal basma gerilmeleri oluşur. Galeri tabanın köşe noktalarında ise, 5-15 kg/cm<sup>2</sup> arasında düşey ve 5-15 kg/cm<sup>2</sup> arasında yanal basma gerilmeleri meydana gelir. Tavanda, 10-15 kg/cm<sup>2</sup> arasında düşey ve 0-5 kg/cm<sup>2</sup> arasında yanal basma gerilmeleri oluşmaktadır. Şekil 5,16'da gösterildiği gibi taban yolunun hemen cidarında en büyük değerler gözönüne alınırsa, 17.5 kg/cm<sup>2</sup> düşey ve 4 kg/cm<sup>2</sup>'lik yanal basma gerilmeleri hesaplanmıştır.

Ele- man No	Model A									
	S11					S22				
	Merkez	L-I	J-K	I-J	K-L	Merkez	L-I	J-K	I-J	K-L
1	-11.05	-11.05	-11.05	-12.56	-12.56	-12.56	-12.52	-12.61	-9.03	-13.06
2	-12.98	-12.98	-12.98	-13.54	-13.54	-13.54	-14.27	-12.81	-13.67	-12.29
3	-10.77	-10.84	-10.85	-10.75	-10.57	-10.70	-10.98	-10.55	-9.26	-12.18
4	-10.75	-10.62	-10.64	-10.67	-10.85	-10.71	-10.35	-10.88	-9.13	-10.77
5	-13.00	-13.00	-13.00	-13.61	-13.61	-13.61	-12.91	-14.31	-13.74	-12.27
6	-11.08	-11.08	-11.08	-12.64	-12.64	-12.64	-12.66	-12.62	-9.13	-13.04
7	-14.83	-14.83	-14.83	-14.13	-14.13	-14.13	-14.49	-13.77	-14.40	-15.25
8	-11.43	-11.43	-11.43	-12.19	-12.19	-12.19	-10.84	-13.53	-11.13	-11.72
9	-12.93	-12.93	-14.82	-13.35		-14.82	-14.82	-12.93	-14.40	
10	-29.28	27.49	27.91	-17.14	-47.53	-29.33	20.68	20.60	-17.82	-47.63
11	-14.75	-12.64	-12.10	-14.64		-12.10	-14.22	-14.75	-12.21	
12	-14.79	-14.89	-12.53	-13.06		-12.53	-12.43	-14.79	-14.26	
13	-28.49	25.65	25.84	-16.81	-45.86	-28.46	18.98	19.29	-17.59	-45.88
14	-13.06	-13.45	-14.84	-13.06		-14.84	-14.45	-13.06	-14.84	
15	-11.39	-11.39	-11.39	-12.15	-12.15	-12.15	-13.41	-10.89	-11.01	-11.76
16	-14.82	-14.82	-14.82	-14.21	-14.21	-14.21	-13.83	-14.58	-14.38	-15.25
17	-10.70	-10.70	-10.70	-13.69	-13.69	-13.69	-14.56	-12.81	-14.87	-6.52
18	-12.03	-12.03	-12.03	-13.43	-13.43	-13.43	-13.96	-12.90	-12.76	-11.27
19	-11.82	-11.82	-11.82	-11.88	-11.88	-11.88	-12.72	-11.05	-10.40	-13.24
20	-27.53	-2.60	-5.14	0.40	-1.23	-25.36	-3.12	-14.38	1.49	-5.40
21	-15.89	-14.84	-15.89	-10.56		-10.56	-11.60	-10.56	-15.89	
22	-11.69	-11.69	-11.69	-7.11	-7.11	-7.11	-6.96	-7.26	-10.45	-12.92
23	-11.59	-11.59	-11.59	-7.20	-7.20	-7.20	-7.17	-7.22	-10.22	-12.96
24	-15.82	-15.82	-15.09	-10.86		-10.86	-10.86	-11.60	-15.82	
25	-27.44	0.06	-2.07	-2.22	-4.42	-25.36	1.41	-6.24	-2.89	-13.83
26	-11.81	-11.81	-11.81	-11.90	-11.90	-11.90	-11.12	-12.68	-10.54	-13.08
27	-12.05	-12.05	-12.05	-13.46	-13.46	-13.46	-12.89	-14.03	-12.89	-11.21
28	-10.69	-10.69	-10.69	-13.75	-13.75	-13.75	-12.86	-14.65	-14.86	-6.53
29	-13.94	-8.68	-12.16	-13.94		-12.16	-17.42	-13.94	-12.16	
30	-12.45	-12.45	-12.45	-4.51	-4.51	-4.51	-10.89	1.85	-10.70	-14.21
31	-12.38	-12.38	-12.38	-4.51	-4.51	-4.51	1.91	-10.95	-10.66	-14.10
32	-13.83	-13.83	-12.20	-8.61		-12.20	-12.20	-13.83	-17.43	
33	-5.28	-5.28	-5.28	-13.97	-13.97	-13.97	-13.82	-14.12	-4.38	-6.19
34	-6.39	-6.39	-6.39	-13.46	-13.46	-13.46	-14.64	-12.29	-6.22	-6.55
35	-10.46	-5.33	-15.54	1.35	0.33	-14.17	-11.79	-16.44	-5.78	-5.60
36	-7.79	-0.22	-1.91	-9.21	-19.35	-14.09	-6.53	-10.06	-5.60	-10.03
37	-6.63	-6.63	-6.63	-12.96	-12.96	-12.96	-12.28	-13.63	-7.92	-5.33
38	-5.87	-5.87	-5.87	-17.76	-17.76	-17.76	-13.28	-22.25	-9.82	-1.91
39	-5.84	-5.84	-5.84	-17.75	-17.75	-17.75	-22.23	-13.27	-9.75	-1.93
40	-6.66	-6.66	-6.66	-12.91	-12.91	-12.91	-13.65	-12.17	-7.94	-5.38
41	-7.85	-1.77	-0.07	-9.67	-19.34	-14.27	-9.86	-6.56	-5.74	-10.10
42	-10.11	0.69	-0.81	-5.08	-14.85	-13.95	-6.20	-5.82	-11.77	-15.63
43	-6.39	-6.39	-6.39	-13.54	-13.54	-13.54	-12.38	-14.69	-6.22	-6.55
44	-5.29	-5.29	-5.29	-14.03	-14.03	-14.03	-14.18	-13.89	-4.39	-6.19
45	-6.30	-6.19	-6.32	-13.07	-11.67	-12.36	-12.04	-12.12	-7.07	-5.59
46	-5.75	-5.94	-5.98	-14.05	-13.33	-13.69	-11.94	-14.82	-5.85	-5.66
47	-2.90	-2.31	-3.83	-15.13	-15.21	-15.75	-13.09	-21.79	-0.68	-3.63
48	-2.92	-3.86	-2.32	-15.13	-15.22	-15.75	-21.82	-13.08	-0.70	-3.63
49	-5.78	-5.99	-5.96	-14.03	-13.30	-13.66	-14.80	-11.93	-5.90	-5.66
50	-6.37	-6.66	-6.64	-12.43	-12.21	-12.31	-12.26	-11.77	-6.85	-5.90
51	-7.53	-8.76	-11.12	-8.20		-11.12	-9.88	-7.53	-10.45	
52	-6.21	-6.98	-6.99	-11.74	-11.24	-11.50	-9.88	-11.49	-5.62	-6.76
53	-5.65	-5.28	-5.09	-13.45	-11.15	-12.28	-10.68	-12.33	-5.72	-5.53
54	-5.48	-3.34	-5.50	-14.09	-13.62	-13.23	-11.51	-20.96	-3.10	-3.48
55	-7.26	-12.09	-11.55	-4.88	-2.98	-8.92	-2.77	-3.47	-17.21	-10.12
56	-8.74	-9.96	-9.41	-4.82	-2.89	-5.27	-2.73	-3.89	-13.42	-8.71
57	-9.18	-8.47	-8.47	-5.03	-3.08	-3.77	-3.45	-3.44	-12.17	-7.39
58	-8.76	-9.44	-10.00	-4.83	-2.90	-5.29	-3.90	-2.72	-13.49	-8.73
59	-7.29	-11.61	-12.15	-4.88	-2.98	-8.95	-3.47	-2.76	-17.32	-10.16
60	-5.52	-5.51	-3.35	-14.12	-13.66	-13.24	-21.05	-11.52	-3.12	-3.46
61	-5.67	-5.09	-5.29	-13.44	-11.14	-12.26	-12.34	-10.70	-5.73	-5.55
62	-6.20	-7.01	-7.00	-11.70	-11.30	-11.50	-11.50	-9.86	-5.66	-6.71

Çizelge 5.5 Model A'daki elemanlarda hesaplanan düşey ve yanıl gerilme değerlerinin bilgisayar çıktısı

Çizelge 5.5 (devamı)

Ele- man No	Model A					S22				
	Merkez	L-I	J-K	I-J	K-L	Merkez	L-I	J-K	I-J	K-L
63	-7.50	-8.19	-11.10	-8.95		-11.10	-10.42	-7.50	-9.65	
64	-6.22	-6.22	-6.22	-14.86	-14.86	-14.86	-16.03	-13.70	-6.61	-5.83
65	-6.89	-2.90	-10.71	-11.43	-6.49	-13.75	-12.13	-14.59	-5.59	-9.31
66	-7.76	-5.35	-4.74	-16.10	-9.57	-12.80	-12.07	-8.42	-9.87	-5.91
67	-7.00	-6.17	-11.84	-7.49	-7.50	-12.06	-9.10	-11.71	-4.99	-7.69
68	-6.23	-5.74	-5.70	-11.45	-10.15	-10.67	-8.84	-11.39	-5.67	-6.45
69	-6.32	-5.17	-9.34	-9.25		-8.95	-10.10	-5.94	-6.02	
70	-7.36	-8.24	-7.63	-8.01	-5.78	-8.33	-5.42	-6.95	-11.12	-7.29
71	-8.56	-7.60	-7.60	-8.81	-6.35	-7.50	-6.94	-6.98	-10.09	-7.36
72	-7.34	-7.62	-8.24	-8.01	-5.78	-8.35	-6.99	-5.38	-11.14	-7.27
73	-6.33	-9.37	-5.14	-9.25		-8.94	-5.91	-10.13	-6.03	
74	-6.25	-5.68	-5.72	-11.43	-10.14	-10.66	-11.43	-8.81	-5.69	-6.45
75	-6.97	-11.82	-6.17	-7.52	-7.44	-12.05	-11.68	-9.08	-4.93	-7.74
76	-7.73	-4.77	-5.36	-15.91	-9.81	-12.82	-8.41	-12.12	-9.76	-5.96
77	-6.91	-10.77	-2.92	-11.43	-6.32	-13.83	-14.67	-12.21	-5.56	-9.40
78	-6.22	-6.22	-6.22	-14.92	-14.92	-14.92	-13.76	-16.08	-6.60	-5.83
79	-7.83	-10.04	-13.20	-7.83		-13.20	-10.98	-7.83	-13.20	
80	-7.50	-1.45	-5.47	-13.49	-5.95	-12.46	-10.20	-6.17	-7.75	-7.98
81	-7.04	-7.73	-7.30	-7.98	-6.22	-8.56	-7.80	-4.19	-11.43	-6.52
82	-7.92	-9.31	-8.61	-8.24	-6.42	-9.16	-5.13	-9.93	-8.45	-10.41
83	-6.82	-5.54	-5.54	-11.09	-8.67	-9.74	-8.49	-8.61	-9.59	-4.65
84	-7.93	-8.66	-9.37	-8.22	-6.40	-9.20	-10.08	-5.01	-8.42	-10.51
85	-7.05	-7.24	-7.66	-7.94	-6.19	-8.45	-4.01	-7.85	-11.45	-6.40
86	-7.49	-5.47	-1.46	-13.50	-6.14	-12.50	-6.07	-10.30	-7.70	-8.06
87	-7.84	-7.84	-13.30	-10.01		-13.30	-13.30	-7.84	-11.13	
88	-9.99	5.75	6.05	-22.59	-7.37	-15.58	-2.47	-4.01	-18.02	-5.55
89	-5.52	-6.25	-6.28	-10.52		-10.52	-9.80	-9.76	-5.52	
90	-10.07	6.36	6.10	-23.06	-7.45	-15.80	-3.81	-2.29	-18.34	-5.56
91	-11.60	-11.60	-11.60	-16.55	-16.55	-16.55	-22.52	-10.57	-9.25	-13.95
92	-10.62	-10.62	-10.62	-10.68	-10.68	-10.68	-9.83	-11.52	-12.65	-8.58
93	-10.53	-10.53	-10.53	-9.43	-9.43	-9.43	-11.46	-7.40	-13.01	-8.04
94	-10.52	-10.52	-10.52	-9.43	-9.43	-9.43	-7.39	-11.46	-12.96	-8.08
95	-10.63	-10.63	-10.63	-10.75	-10.75	-10.75	-11.54	-9.96	-12.62	-8.64
96	-11.60	-11.60	-11.60	-16.60	-16.60	-16.60	-10.70	-22.50	-9.21	-14.00

Çizelge 5.5 Model A'daki elemanlarda hesaplanan düşey ve yanıl gerilme değerklerinin bilgisayar çıktısı

Ele- man No	Model B									
	S11					S22				
Merkez	L-I	J-K	I-J	K-L	Merkez	L-I	J-K	I-J	K-L	
1	-11.10	-11.10	-11.10	-12.86	-12.86	-12.86	-13.00	-12.72	-9.15	-13.04
2	-13.05	-13.05	-13.05	-13.63	-13.63	-13.63	-14.40	-12.87	-13.91	-12.18
3	-10.60	-10.60	-10.60	-10.43	-10.26	-10.39	-10.84	-10.07	-8.98	-12.13
4	-10.58	-10.44	-10.46	-10.36	-10.53	-10.40	-9.86	-10.73	-8.87	-12.39
5	-13.80	-13.80	-13.80	-13.71	-13.71	-13.71	-12.98	-14.44	-13.98	-12.17
6	-11.42	-11.42	-11.42	-12.94	-12.94	-12.94	-12.77	-13.11	-9.26	-13.02
7	-14.90	-14.90	-14.90	-14.44	-14.44	-14.44	-15.08	-13.80	-14.40	-15.41
8	-11.35	-11.35	-11.35	-12.28	-12.28	-12.28	-10.75	-13.80	-11.02	-11.68
9	-12.30	-12.30	-14.62	-12.90		-14.62	-14.62	-12.30	-14.01	
10	-28.74	26.38	27.12	-16.65	-46.17	-28.53	19.72	20.27	-17.62	-46.46
11	-14.48	-12.22	-11.26	-14.37		-11.26	-13.52	-14.48	-11.37	
12	-14.53	-14.62	-11.68	-12.66		-11.68	-11.59	-14.53	-13.55	
13	-28.06	25.09	24.97	-16.42	-44.79	-27.79	18.87	18.53	-17.45	-44.96
14	-12.43	-12.99	-14.63	-12.43		-14.63	-14.07	-12.43	-14.63	
15	-11.32	-11.32	-11.32	-12.24	-12.24	-12.24	-13.68	-10.79	-10.91	-11.73
16	-14.89	-14.89	-14.89	-14.52	-14.52	-14.52	-13.86	-15.18	-14.38	-15.40
17	-10.53	-10.53	-10.53	-13.94	-13.94	-13.94	-15.51	-12.37	-14.98	-6.08
18	-11.97	-11.97	-11.97	-13.37	-13.37	-13.37	-13.60	-13.13	-12.61	-11.32
19	-11.92	-11.92	-11.92	-12.47	-12.47	-12.47	-13.09	-11.84	-10.45	-13.40
20	-27.46	0.64	0.61	-2.86	-9.33	-25.65	-1.05	-8.10	-0.54	-14.77
21	-15.11	-14.36	-15.11	-9.67		-9.67	-10.42	-9.67	-15.11	
22	-11.34	-11.34	-11.34	-6.23	-6.23	-6.23	-6.43	-6.03	-10.16	-12.52
23	-11.24	-11.24	-11.24	-6.32	-6.32	-6.32	-5.94	-6.70	-9.92	-12.57
24	-15.05	-15.05	-14.61	-9.97		-9.97	-9.97	-10.41	-15.05	
25	-27.40	-3.26	-10.31	1.07	1.43	-25.68	-0.65	-15.76	-0.78	-7.45
26	-11.91	-11.91	-11.91	-12.48	-12.48	-12.48	-11.94	-13.03	-10.58	-13.24
27	-11.97	-11.97	-11.97	-13.37	-13.37	-13.37	-13.09	-13.66	-12.71	-11.24
28	-10.52	-10.52	-10.52	-14.01	-14.01	-14.01	-12.42	-15.61	-14.97	-6.08
29	-13.34	-8.25	-10.62	-13.34		-10.62	-15.71	-13.34	-10.62	
30	-9.93	-9.93	-9.93	-3.28	-3.28	-3.28	-7.69	1.12	-9.99	-9.87
31	-9.86	-9.86	-9.86	-3.29	-3.29	-3.29	1.18	-7.77	-9.96	-9.76
32	-13.21	-13.21	-10.65	-8.17		-10.65	-10.65	-13.21	-15.69	
33	-4.35	-4.35	-4.35	-14.09	-14.09	-14.09	-14.34	-13.84	-4.14	-4.57
34	-4.40	-4.40	-4.40	-13.47	-13.47	-13.47	-13.85	-13.09	-4.24	-4.56
35	-5.59	-2.80	-8.19	-3.32	-4.58	-13.19	-12.59	-13.20	-7.53	-6.79
36	-4.89	-0.32	-0.64	-9.53	-20.02	-14.53	-6.58	-11.83	-3.15	-6.97
37	-3.83	-3.83	-3.83	-13.29	-13.29	-13.29	-12.83	-13.75	-4.55	-3.11
38	-3.15	-3.15	-3.15	-15.36	-15.36	-15.36	-13.53	-17.19	-5.07	-1.24
39	-3.15	-3.15	-3.15	-15.36	-15.36	-15.36	-17.18	-13.54	-5.06	-1.24
40	-3.84	-3.84	-3.84	-13.27	-13.27	-13.27	-13.76	-12.78	-4.55	-3.14
41	-4.93	-0.58	-0.26	-9.95	-19.90	-14.68	-11.75	-6.66	-3.27	-6.92
42	-5.47	-3.84	-5.04	-2.70	-7.89	-13.10	-7.79	-6.48	-12.60	-12.78
43	-4.41	-4.41	-4.41	-13.52	-13.52	-13.52	-13.14	-13.91	-4.25	-4.57
44	-4.37	-4.37	-4.37	-14.15	-14.15	-14.15	-13.89	-14.42	-4.15	-4.58
45	-4.08	-4.00	-4.14	-13.36	-11.92	-12.63	-11.88	-12.90	-4.86	-3.37
46	-3.51	-3.70	-3.76	-13.63	-12.93	-13.28	-12.76	-13.31	-3.22	-3.79
47	-2.25	-1.61	-2.68	-13.98	-13.98	-14.33	-12.63	-18.07	-0.80	-3.06
48	-2.26	-2.69	-1.62	-13.99	-13.99	-14.33	-18.09	-12.64	-0.81	-3.06
49	-3.53	-3.76	-3.71	-13.65	-12.94	-13.30	-13.32	-12.80	-3.26	-3.78
50	-4.14	-4.42	-4.39	-12.76	-12.53	-12.64	-13.03	-11.68	-4.66	-3.62
51	-4.45	-8.35	-11.88	-5.21		-11.88	-7.98	-4.45	-11.13	
52	-4.00	-4.76	-4.83	-12.45	-11.92	-12.19	-10.99	-11.74	-3.54	-4.43
53	-3.92	-4.41	-4.54	-13.28	-11.00	-12.15	-11.61	-10.32	-3.90	-3.87
54	-4.24	-2.71	-4.47	-12.19	-11.61	-11.66	-9.74	-17.40	-2.49	-3.52
55	-6.63	-10.19	-9.79	-4.70	-2.87	-7.61	-3.65	-2.92	-13.56	-9.03
56	-8.35	-9.20	-8.88	-3.72	-2.24	-4.17	-2.64	-3.17	-10.53	-8.97
57	-8.79	-8.23	-8.24	-3.83	-2.34	-2.97	-2.87	-2.86	-10.21	-7.88
58	-8.37	-8.90	-9.24	-3.73	-2.24	-4.19	-3.17	-2.63	-10.58	-9.00
59	-6.65	-9.84	-10.23	-4.70	-2.87	-7.63	-2.92	-3.64	-13.61	-9.07
60	-4.26	-4.48	-2.72	-12.21	-11.65	-11.67	-17.46	-9.76	-2.50	-3.53
61	-3.93	-4.54	-4.41	-13.30	-11.02	-12.17	-10.33	-11.65	-3.89	-3.89
62	-4.02	-4.89	-4.83	-12.43	-12.00	-12.21	-11.80	-10.93	-3.59	-4.44

Çizelge 5.6 Model B'deki elemanlarda hesaplanan düşey ve yanıl gerilme değerlerinin bilgisayar çıktısı

Çizelge 5.6 (devamı)

Ele- man No	Model B					Model B				
	Merkez	L-I	S11 J-K	I-J	K-L	Merkez	L-I	S22 J-K	I-J	K-L
63	-4.45	-5.24	-11.85	-8.67		-11.85	-11.06	-4.45	-7.62	
64	-6.87	-6.87	-6.87	-14.60	-14.60	-14.60	-15.60	-13.61	-7.84	-5.89
65	-8.95	-3.64	-13.44	-11.58	-6.88	-14.25	-12.10	-15.09	-7.90	-9.84
66	-10.59	-7.86	-6.53	-17.38	-10.33	-13.69	-12.47	-9.48	-13.77	-8.16
67	-10.55	-8.43	-15.94	-7.52	-7.90	-13.59	-10.38	-14.56	-8.86	-8.24
68	-8.26	-7.12	-6.72	-10.81	-9.58	-10.11	-10.42	-10.84	-8.28	-8.00
69	-7.93	-5.22	-10.65	-8.72		-8.38	-11.09	-5.66	-7.59	
70	-8.32	-8.94	-8.57	-6.83	-4.92	-7.10	-4.85	-5.99	-11.14	-8.46
71	-9.44	-8.61	-8.61	-7.39	-5.32	-6.33	-6.00	-6.05	-10.25	-8.74
72	-8.29	-8.57	-8.94	-6.83	-4.92	-7.13	-6.03	-4.81	-11.16	-8.45
73	-7.94	-10.69	-5.19	-8.72		-8.38	-5.63	-11.14	-7.60	
74	-8.31	-6.72	-7.12	-10.82	-9.59	-10.12	-10.89	-10.41	-8.36	-8.01
75	-10.53	-15.93	-8.44	-7.57	-7.85	-13.60	-14.56	-10.34	-8.79	-8.33
76	-10.60	-6.58	-7.89	-17.18	-10.59	-13.72	-9.46	-12.50	-13.71	-8.21
77	-8.98	-13.53	-3.67	-11.55	-6.69	-14.32	-15.16	-12.17	-7.84	-9.92
78	-6.86	-6.86	-6.86	-14.66	-14.66	-14.66	-13.67	-15.65	-7.83	-5.89
79	-8.46	-10.51	-13.59	-8.46		-13.59	-11.55	-8.46	-13.59	
80	-9.19	-1.65	-5.72	-14.74	-6.72	-13.55	-10.38	-7.24	-10.23	-8.27
81	-8.46	-8.58	-8.40	-8.12	-6.33	-8.28	-8.56	-3.71	-12.46	-7.53
82	-9.39	-10.75	-10.18	-7.42	-5.78	-8.45	-4.82	-9.15	-9.64	-12.09
83	-7.98	-6.72	-6.71	-9.97	-7.79	-8.72	-7.52	-7.65	-10.93	-5.69
84	-9.40	-10.25	-10.83	-7.41	-5.77	-8.50	-9.31	-4.70	-9.62	-12.21
85	-8.47	-8.34	-8.51	-8.10	-6.31	-8.19	-3.53	-8.64	-12.51	-7.40
86	-8.40	-8.75	-1.66	-14.74	-6.92	-13.60	-7.13	-10.48	-10.17	-8.38
87	-8.48	-8.48	-13.69	-10.48		-13.69	-13.69	-8.48	-11.70	
88	-10.76	5.69	5.67	-22.75	-7.49	-15.52	-2.43	-3.35	-20.07	-6.17
89	-6.64	-7.09	-7.13	-9.81		-9.81	-9.36	-9.32	-6.64	
90	-10.86	6.01	6.07	-23.29	-7.59	-15.77	-3.13	-2.26	-20.46	-6.20
91	-11.51	-11.51	-11.51	-16.38	-16.38	-16.38	-21.97	-10.79	-9.64	-13.38
92	-10.52	-10.52	-10.52	-10.90	-10.90	-10.90	-10.04	-11.75	-14.10	-6.95
93	-10.48	-10.48	-10.48	-9.41	-9.41	-9.41	-11.72	-7.11	-14.62	-6.35
94	-10.47	-10.47	-10.47	-9.42	-9.42	-9.42	-7.10	-11.73	-14.56	-6.38
95	-10.53	-10.53	-10.53	-10.97	-10.97	-10.97	-11.78	-10.16	-14.08	-6.99
96	-11.52	-11.52	-11.52	-16.42	-16.42	-16.42	-10.91	-21.94	-9.60	-13.43

Çizelge 5.6 Model B'deki elemanlarda hesaplanan düşey ve yanal gerilme değerlerinin bilgisayar çıktısı

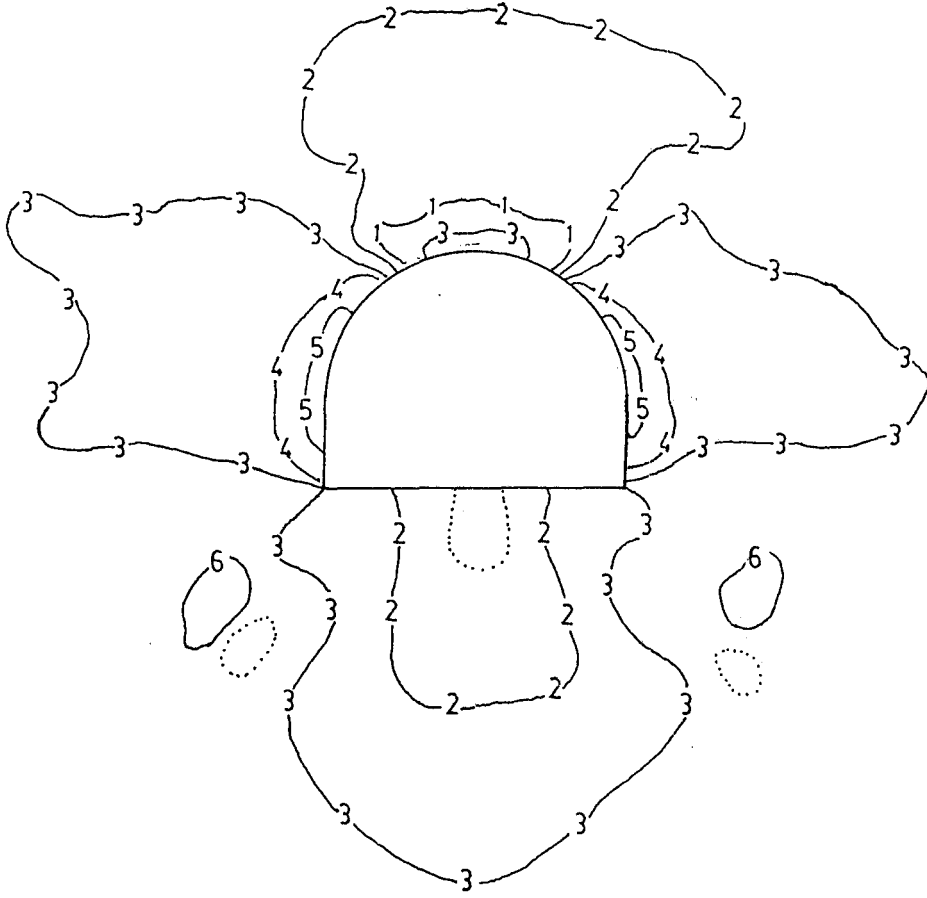
Ele- man No	Model C									
	S11					S22				
	Merkez	L-I	J-K	I-J	K-L	Merkez	L-I	J-K	I-J	K-L
1	-14.91	-14.91	-14.91	-17.89	-17.89	-17.89	-20.50	-15.29	-12.36	-17.46
2	-13.16	-13.16	-13.16	-14.31	-14.31	-14.31	-13.78	-14.84	-15.55	-10.76
3	-12.35	-12.35	-12.35	-13.28	-13.28	-13.28	-14.15	-12.42	-11.48	-13.22
4	-11.78	-11.78	-11.78	-13.35	-13.35	-13.35	-11.93	-14.77	-11.39	-12.17
5	-13.29	-13.29	-13.29	-14.88	-14.88	-14.88	-16.07	-13.68	-15.56	-11.03
6	-15.35	-15.35	-15.35	-18.10	-18.10	-18.10	-15.45	-20.76	-12.98	-17.72
7	-10.06	-10.06	-10.06	-16.93	-16.93	-16.93	-19.09	-14.76	-16.63	-3.48
8	-11.51	-11.51	-11.51	-15.63	-15.63	-15.63	-16.02	-15.25	-11.90	-11.13
9	-12.21	-12.21	-12.21	-12.79	-12.79	-12.79	-15.85	-9.73	-12.80	-11.63
10	-14.90	-8.68	-8.31	-14.35	-17.41	-15.43	-6.69	-11.27	-13.03	-17.73
11	-12.97	-13.83	-16.87	-12.82		-16.87	-16.01	-12.97	-17.02	
12	-12.44	-9.83	-9.91	-15.54	-18.32	-17.06	-14.45	-14.55	-11.59	-12.99
13	-9.88	-9.88	-9.88	-17.05	-17.05	-17.05	-14.52	-19.58	-16.82	-2.94
14	-4.46	-4.46	-4.46	-16.32	-16.32	-16.32	-16.14	-16.51	-4.57	-4.35
15	-4.82	-3.69	-6.11	-14.44	-16.56	-16.94	-16.27	-17.88	-6.70	-4.09
16	-5.12	-14.89	-5.12	-16.61		-16.61	-6.84	-16.61	-5.12	
17	-3.89	-3.89	-3.89	-12.60	-12.60	-12.60	-16.22	-8.99	-4.01	-3.77
18	-4.00	-4.00	-4.00	-12.55	-12.55	-12.55	-9.02	-16.09	-4.11	-3.89
19	-5.11	-5.11	-9.77	-16.44		-16.44	-16.44	-11.77	-5.11	
20	-4.74	-4.74	-4.74	-16.81	-16.81	-16.81	-16.67	-16.94	-5.16	-4.33
21	-4.49	-4.49	-4.49	-16.63	-16.63	-16.63	-16.86	-16.41	-4.63	-4.36
22	-4.59	-1.95	-5.66	-3.55	-14.64	-16.36	-16.56	-13.70	-14.03	-5.32
23	-6.04	5.89	8.57	-13.00	-24.70	-18.87	-11.04	-7.22	-3.89	-8.44
24	-4.84	-3.92	-10.25	-4.84		-10.25	-11.17	-4.84	-10.25	
25	-3.78	-3.78	-9.91	-3.92		-9.91	-9.91	-3.78	-9.77	
26	-5.65	2.57	1.55	-11.54	-25.83	-18.49	-7.71	-15.07	-3.57	-7.70
27	-6.34	-3.60	-7.83	-3.66	-9.26	-17.29	-9.82	-6.54	-16.33	-18.49
28	-7.28	-0.71	-0.28	-15.89	-23.84	-19.58	-12.14	-11.84	-5.66	-9.32
29	-5.21	-6.03	-14.48	-5.21		-14.48	-13.66	-5.21	-14.48	
30	-1.50	-1.50	-1.50	-5.00	-5.00	-5.00	-13.31	3.30	-3.18	0.17
31	-4.27	-1.55	-3.39	-8.03	-12.28	-9.49	3.29	-5.65	-3.18	-6.10
32	-4.96	-12.78	-16.42	-4.54		-16.42	-8.61	-4.96	-16.84	
33	-4.89	-4.81	-4.79	-16.40	-17.23	-16.81	-16.93	-16.54	-4.72	-5.05
34	-6.04	-6.04	-16.93	-14.37		-16.93	-16.93	-6.04	-8.60	
35	-4.80	-4.80	-4.80	-16.38	-16.38	-16.38	-16.15	-16.60	-4.37	-5.24
36	-4.56	-4.56	-4.56	-16.54	-16.54	-16.54	-16.53	-16.55	-4.09	-5.04
37	-5.90	-10.64	-5.90	-16.47		-16.47	-11.73	-16.47	-5.90	
38	-7.27	-2.52	-2.52	-12.77	-25.54	-18.96	-15.40	-10.12	-5.82	-8.34
39	-5.78	-9.85	-16.50	-5.78		-16.50	-12.44	-5.78	-16.50	
40	-5.05	-5.05	-5.05	-23.89	-23.89	-23.89	-16.27	-31.50	-8.18	-1.93
41	-4.32	-4.32	-4.32	-23.48	-23.48	-23.48	-28.73	-18.23	-7.19	-1.45
42	-4.98	-4.98	-18.44	-10.56		-18.44	-18.44	-4.98	-12.86	
43	-6.22	-1.03	-0.79	-13.53	-27.06	-19.84	-9.85	-15.32	-3.88	-9.19
44	-6.06	-6.06	-14.16	-16.98		-16.98	-16.98	-8.88	-6.06	
45	-4.77	-4.77	-4.77	-16.95	-16.95	-16.95	-17.28	-16.61	-4.37	-5.17
46	-4.82	-4.82	-4.82	-16.59	-16.59	-16.59	-16.63	-16.56	-4.34	-5.30
47	-7.25	-4.51	-10.09	-4.37	-6.67	-18.00	-16.54	-19.86	-9.75	-6.09
48	-5.00	-4.48	-5.70	-16.62	-16.18	-17.10	-18.08	-15.42	-5.53	-5.82
50	-2.17	-1.92	-3.00	-20.49	-20.14	-21.05	-18.07	-25.81	-0.85	-3.46
51	-2.05	-2.66	-1.70	-21.02	-20.79	-21.49	-26.01	-18.89	-0.67	-3.25
52	-4.20	-5.67	-4.13	-16.92	-16.02	-17.83	-20.14	-15.15	-4.50	-4.70
53	-5.21	-5.89	-4.63	-16.60	-16.21	-17.08	-15.70	-17.92	-5.89	-5.66
54	-5.85	-8.00	-3.58	-12.07	-12.57	-17.92	-18.98	-16.90	-8.22	-5.77
55	-5.00	-12.39	-15.28	-6.93		-15.28	-7.89	-5.00	-13.35	
56	-4.67	-7.75	-5.54	-16.88	-14.86	-16.75	-13.61	-14.84	-6.04	-4.39
57	-3.31	-4.69	-6.25	-15.19	-13.89	-17.26	-14.57	-15.70	-4.53	-6.31
58	-2.79	-2.68	-4.36	-16.56	-15.17	-17.06	-14.57	-19.70	-2.33	-4.15
59	-4.50	-13.56	-15.26	-7.99		-15.26	-6.20	-4.50	-11.77	
60	-3.06	-10.52	-9.39	-4.14	-2.64	-10.70	-2.68	-4.26	-10.58	-10.08
61	-2.45	-1.18	-1.37	-3.82	-3.28	-4.33	-1.67	2.10	-6.85	-0.97
62	-2.64	-1.55	-1.29	-4.05	-3.48	-4.60	-2.04	-1.74	-7.27	-1.07
63	-3.21	-9.85	-11.03	-4.32	-2.76	-11.18	-4.44	-2.74	-11.31	-10.45

Cizelge 5.7 Model C'deki elemanlarda hesaplanan düşey ve yanıl gerilme değerlerinin bilgisayar çıktısı

Çizelge 5.7 (devamı)

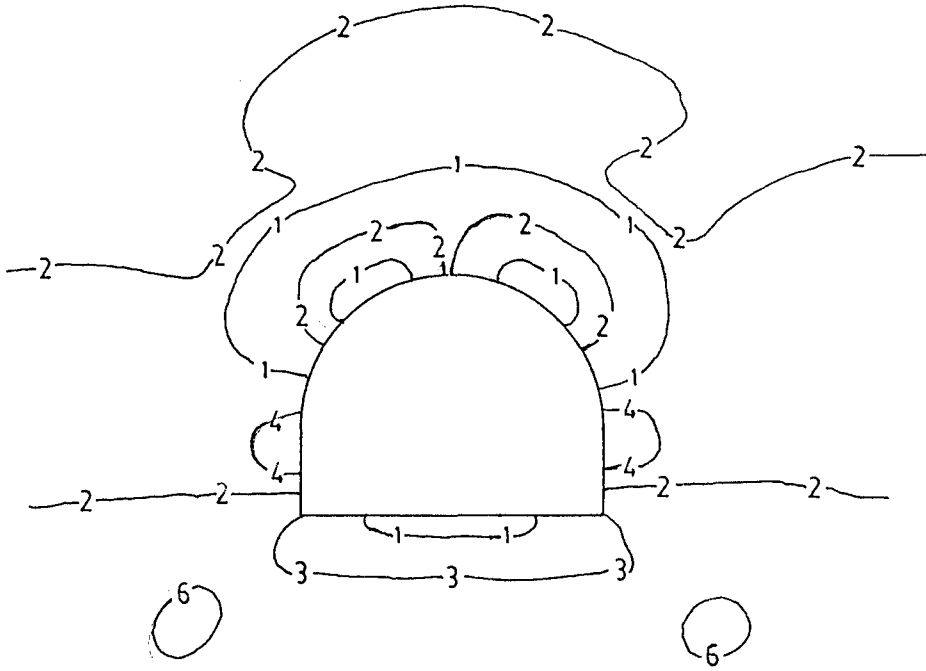
Eleman No	Model C									
	S11					S22				
	Merkez	L-I	J-K	I-J	K-L	Merkez	L-I	J-K	I-J	K-L
64	-2.84	-4.34	-2.67	-17.16	-15.75	-17.58	-20.80	-14.92	-2.10	-4.23
65	-4.49	-8.04	-15.67	-13.97		-15.67	-12.12	-4.49	-6.19	
66	-3.41	-6.24	-4.68	-15.60	-14.32	-17.58	-16.04	-15.06	-4.57	-6.30
67	-4.85	-5.38	-7.53	-17.47	-15.21	-17.07	-15.28	-14.75	-6.06	-4.38
68	-5.32	-7.06	-16.34	-15.09		-16.34	-14.60	-5.32	-6.56	
69	-10.15	-10.15	-10.15	-15.72	-15.72	-15.72	-15.68	-15.76	-13.45	-6.86
70	-10.57	-10.57	-10.57	-15.96	-15.96	-15.96	-16.07	-15.85	-8.09	-13.04
71	-40.40	-33.14	-70.81	56.49	69.56	-52.97	-30.24	-64.53	38.81	44.48
72	-8.86	-10.48	-8.86	-20.46		-20.46	-18.84	-20.46	-8.86	
73	-4.53	-4.53	-4.53	-12.78	-12.78	-12.78	-17.18	-8.39	-2.71	-6.36
74	-4.00	-4.00	-4.00	-6.51	-6.51	-6.51	-7.99	-5.02	-3.49	-4.52
75	-4.17	-4.17	-4.17	-6.20	-6.20	-6.20	-5.15	-7.24	-4.12	-4.23
76	-4.57	-4.57	-4.57	-13.62	-13.62	-13.62	-7.55	-19.69	-0.11	-9.04
77	-6.87	-6.87	-9.34	-21.43		-21.43	-21.43	-18.96	-6.87	
78	-44.92	-86.86	-37.86	62.80	88.48	-60.63	-77.68	-31.74	43.84	62.54
79	-12.73	9.33	12.25	-25.03	-11.88	-18.90	-11.39	16.76	-15.64	-8.23
80	-8.22	-6.83	-8.22	-11.39		-11.39	-12.78	-11.39	-8.22	
81	-8.08	-8.08	-6.43	-11.28		-11.28	-11.28	-12.93	-8.08	
82	-13.22	15.15	11.87	-26.61	-12.62	-18.49	3.41	4.51	-18.87	-9.02
83	-11.51	-9.07	-14.26	-4.31	-9.39	-17.13	-14.72	-20.12	-8.39	-6.74
84	-10.06	-10.06	-10.06	-13.76	-13.76	-13.76	-16.93	-10.59	-9.65	-10.46
85	-10.41	-10.41	-10.41	-13.80	-13.80	-13.80	-10.85	-16.75	-9.91	-10.91
86	-11.05	-13.44	-8.55	-7.72	-11.57	-16.70	-19.04	-14.47	-8.91	-8.99
87	-10.62	-10.62	-10.62	-16.37	-16.37	-16.37	-16.04	-16.71	-8.44	-12.81
88	-10.08	-10.08	-10.08	-16.07	-16.07	-16.07	-16.30	-15.85	-13.57	-6.59
89	-11.65	-11.65	-11.65	-16.05	-16.05	-16.05	-21.43	-10.66	-7.11	-16.20
90	-11.34	-11.34	-11.34	-12.58	-12.58	-12.58	-10.43	-14.74	-10.49	-12.20
91	-13.89	-13.89	-13.89	-16.39	-16.39	-16.39	-16.67	-16.11	-12.04	-15.74
92	-15.23	-15.23	-15.23	-16.79	-16.79	-16.79	-17.13	-16.45	-12.76	-17.71
93	-14.93	-14.93	-14.93	-16.07	-16.07	-16.07	-16.22	-15.91	-12.63	-17.23
94	-13.28	-13.28	-13.28	-15.40	-15.40	-15.40	-14.67	-16.12	-11.89	-14.68
95	-11.10	-11.10	-11.10	-12.94	-12.94	-12.94	-14.47	-11.41	-10.21	-11.99
96	-11.72	-11.72	-11.72	-16.47	-16.47	-16.47	-11.88	-21.05	-6.89	-16.56

Çizelge 5.7 Model C'deki elemanlarda hesaplanan düşey ve yanal gerilme değerlerinin bilgisayar çıktısı



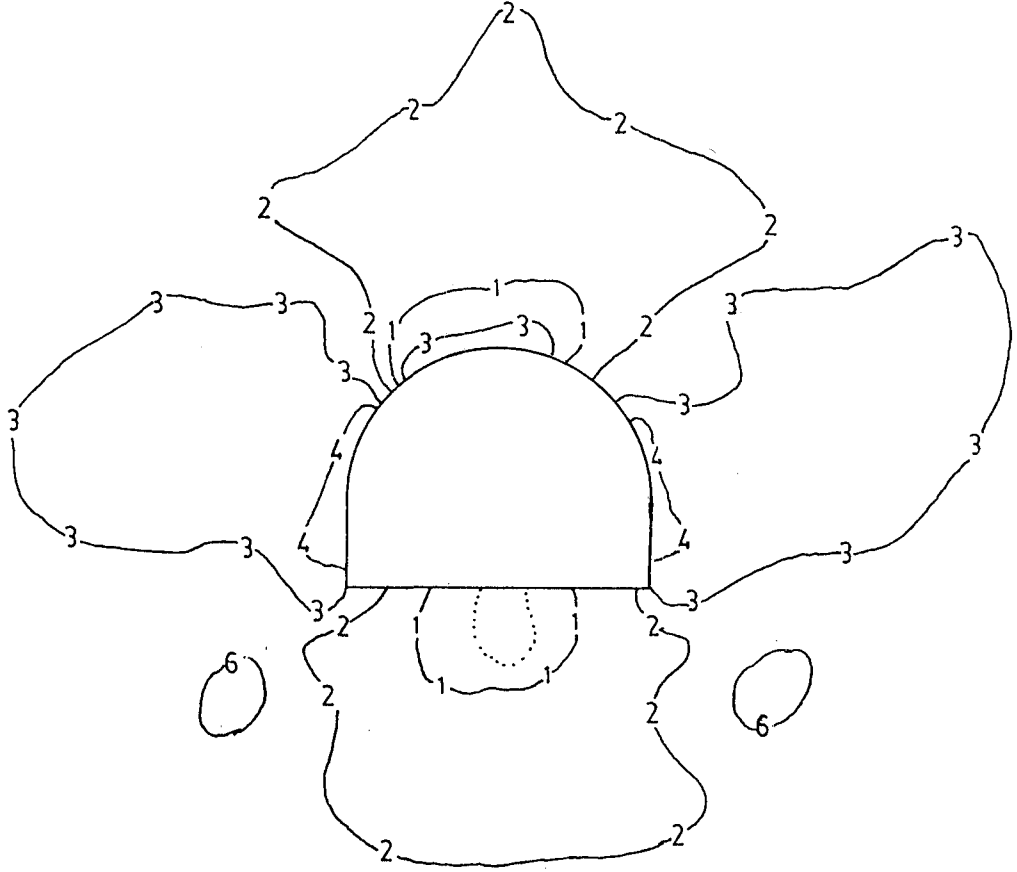
.....	çekme gerilmesi
—1—1—	0-5 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—2—2—	5-10 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—3—3—	10-15 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—4—4—	15-20 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—5—5—	20-25 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—6—6—	25-30 kg/cm <sup>2</sup> basınç

Sekil 5.11 Model A'daki taban yolu çevresinde oluşan eşdeğer düzey gerilme eğrileri



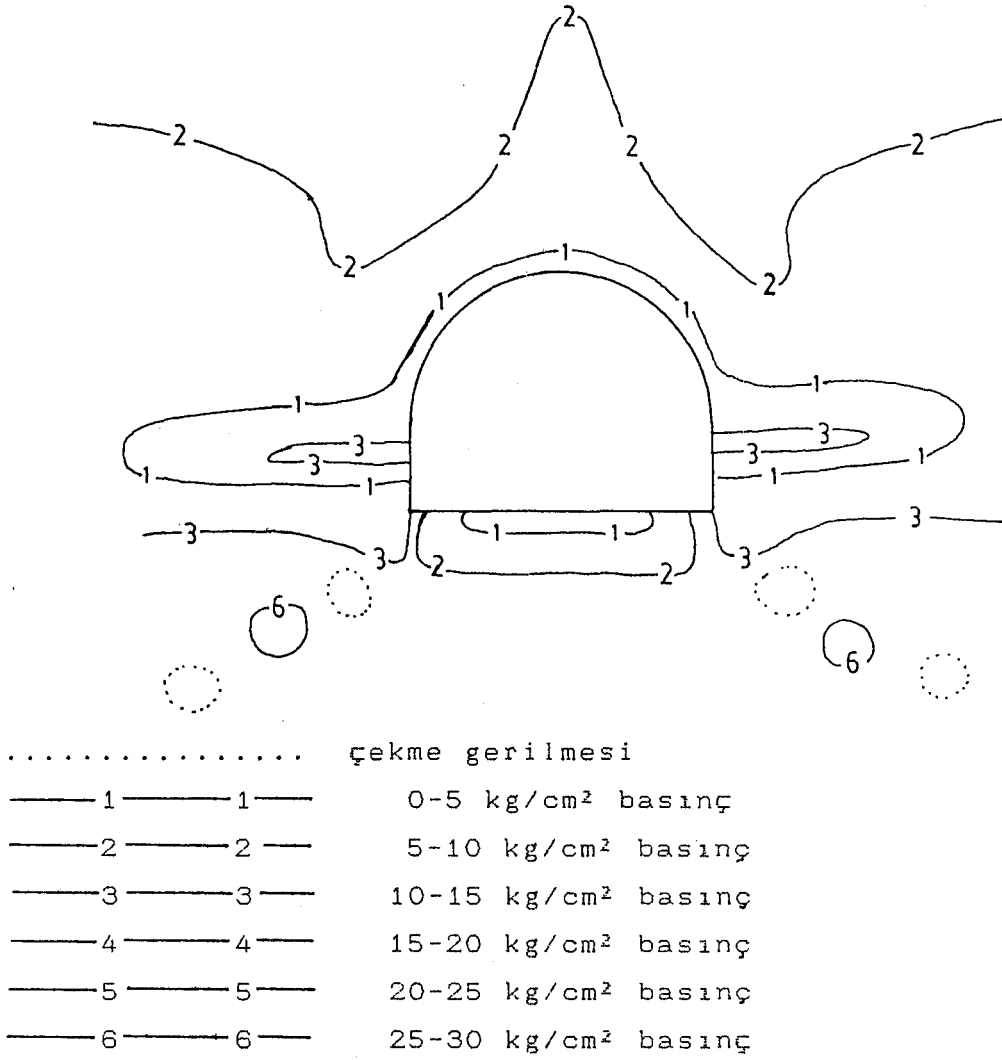
.....	çekme gerilmesi
—1—1—	0-5 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—2—2—	5-10 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—3—3—	10-15 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—4—4—	15-20 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—5—5—	20-25 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—6—6—	25-30 kg/cm <sup>2</sup> basınç

Şekil 5.12 Model A'daki taban yolu çevresinde oluşan eşdeğer yanıl gerilme eğrileri

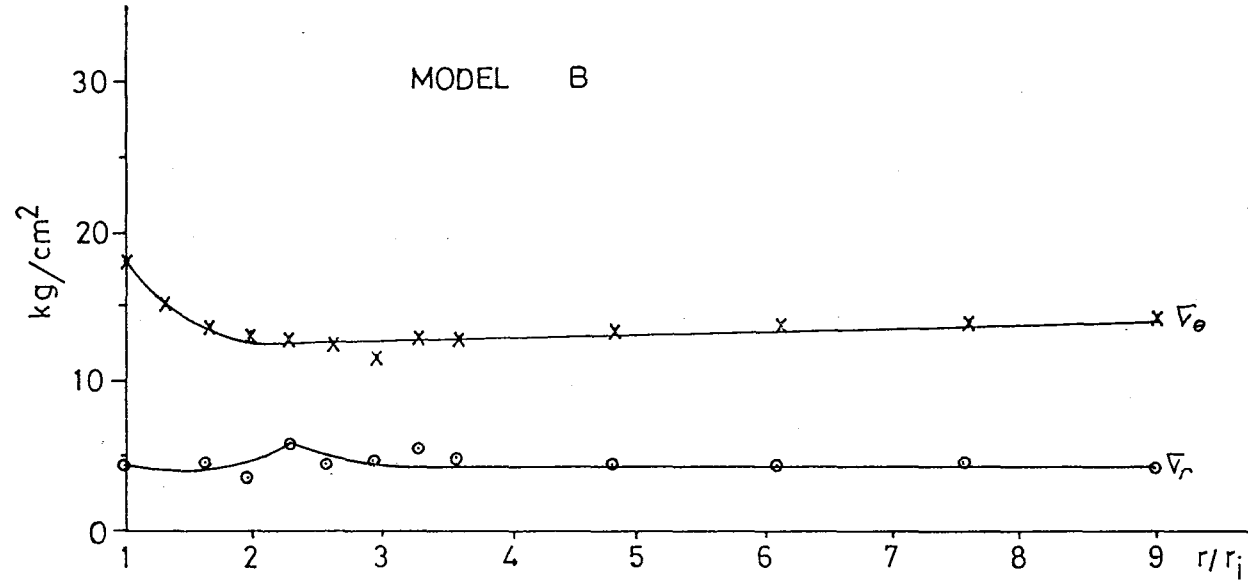


.....	çekme gerilmesi
—1—1—	0-5 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—2—2—	5-10 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—3—3—	10-15 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—4—4—	15-20 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—5—5—	20-25 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—6—6—	25-30 kg/cm <sup>2</sup> basınç

Sekil 5.14 Model B'daki taban yolu çevresinde oluşan eşdeğer düşey gerilme eğrileri



Sekil 5.15 Model B'daki taban yolu çevresinde oluşan eşdeğer yanıl gerilme eğrileri



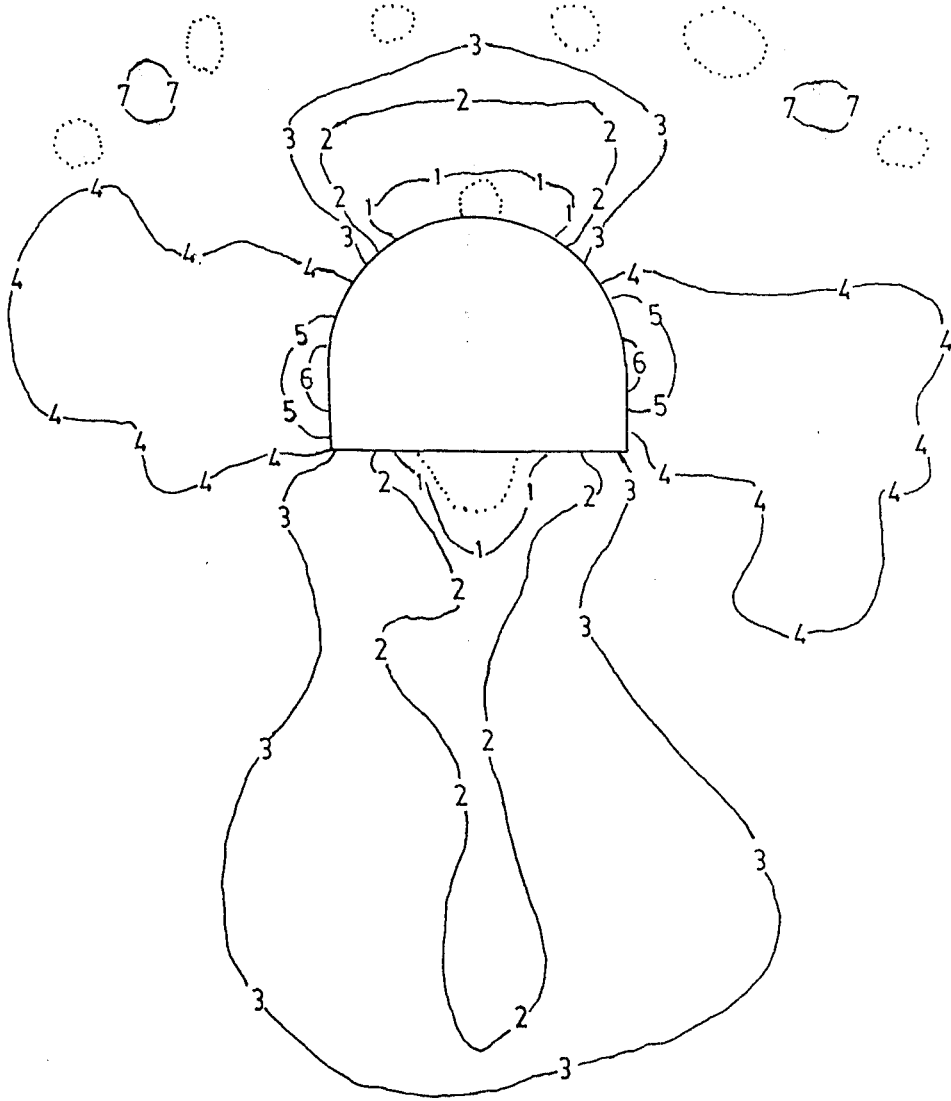
Şekil 5.16 B modelinin taban yolu etrafında oluşan düşey ve yanıl gerilmeler.

DüŖey gerilme galerinin 1.8 metre uzağında sabit değere ulaşmakta ve galeri merkezinden itibaren galeri yarı çapının 1.08 katıdır. Yanal gerilme ise, 2.2 metre kadar uzağında 5.5 kg/cm<sup>2</sup>'lik pik basınç oluşturmakta ve galeri merkezinden galeri yarı çapının 2.7 katı kadardır.

şekil 5,17 ve şekil 5,18'de Model C için oluşturulan eşdeğer gerilme eğrileri gösterilmiştir. Taban yolunun yan kenarlarında 20-25 kg/cm<sup>2</sup> arasında düşey ve 15-20 kg/cm<sup>2</sup> arasında yan al basma gerilmeleri hesaplanmıştır. Tabanda ise, Düşey ekme gerilmesi ve 0-5 kg/cm<sup>2</sup> arasında yan al basma gerilmeleri oluşmaktadır. Tabanın köşe noktalarında 10-20 kg/cm<sup>2</sup> arasında düşey ve 0-20 kg/cm<sup>2</sup> arasında yan al basma gerilmeleri oluşur. Tavanda oluşan düşey çekme gerilmesine karşılık, 0-5 kg/cm<sup>2</sup> arasında yan al basma gerilmesi hesaplanmıştır. şekil 5,19'da ki eğride düşey gerilme taban yolunun hemen idarında 28 kg/cm<sup>2</sup>'lik bir değerle maksimuma ulaşmaktadır, Yanal gerilme değer için ise 4.2 kg/cm<sup>2</sup>'lik bir basma gerilmesi hesaplanmıştır. Düşey gerilme taban yolunun idarından 2.8 metrelik uzaklıkta sabit gerilme değerine ulaşmakta, bu ise taban yolunun merkezinden tabanyolunun yarı çapının 2.6 katı kadar uzaklıktadır. Pik yan al basınç 6.5 kg/cm<sup>2</sup>'lik değer i le taban yolunun idarınıp 1 metre uzağında olup merkezden itibaren taban yolunun yarı çapının 1.5 katı uzaklığı belirtmektedir.

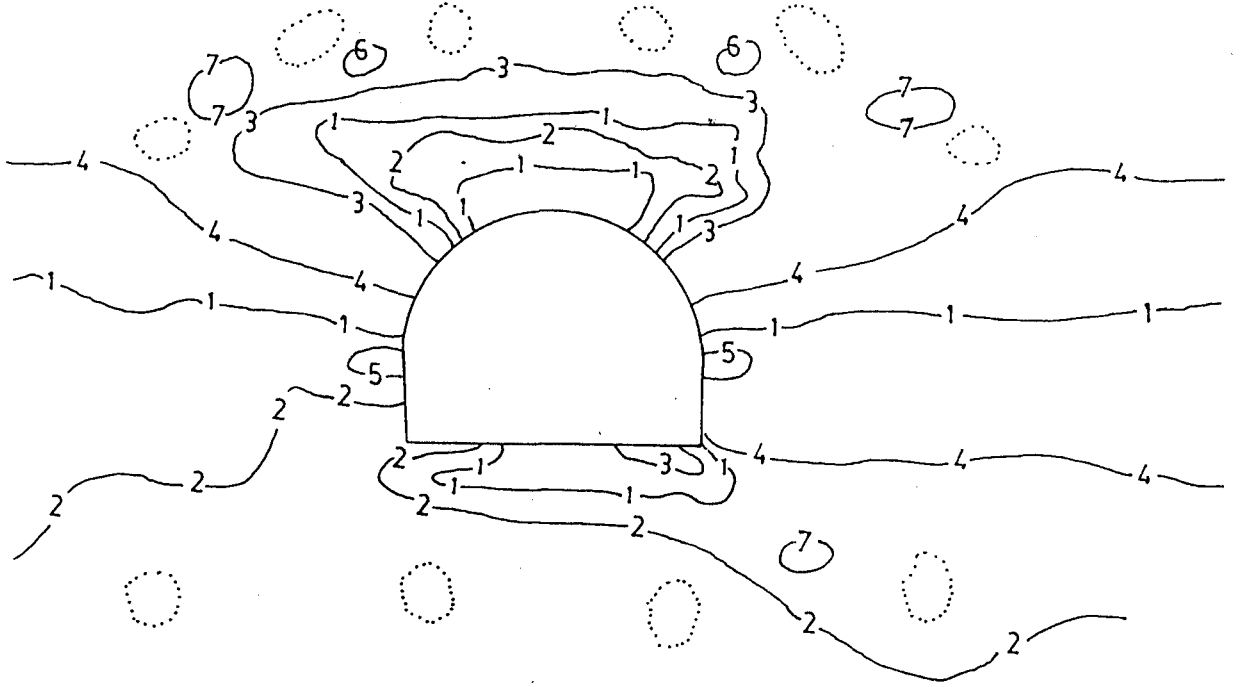
Taban yollarının kesit çevresindeki gerilmeler şekil 5,20'de yan al ve düşey gerilmeler olarak eğrileştirilerek, kesme gerilmelerinin ve doğadan koparılmış bölgelerin konumları belirlenmiştir.

Bu hesaplamalara göre, Model A için taban yolunun kesit çevresinde 2.6 metre ile 4.7 metre arasında doğadan koparılmış bölgenin oluştuğu sınırlar olup, bu noktalarda ise kesme gerilmesi maksimum bir değer alır. Bu noktalar düşey ve yan al gerilme eğrilerinin keşiştiği noktaları göstermektedir.



.....	çekme gerilmesi
—1—1—	0-5 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—2—2—	5-10 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—3—3—	10-15 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—4—4—	15-20 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—5—5—	20-25 kg/cm <sup>2</sup> basınç
—6—6—	25-30 kg/cm <sup>2</sup> basınç

Şekil 5.17 Model C'daki taban yolu çevresinde oluşan eşdeğer düşey gerilme eğrileri



.....	çekme gerilmesi
— 1 — 1 —	0-5 kg/cm <sup>2</sup> basınç
— 2 — 2 —	5-10 kg/cm <sup>2</sup> basınç
— 3 — 3 —	10-15 kg/cm <sup>2</sup> basınç
— 4 — 4 —	15-20 kg/cm <sup>2</sup> basınç
— 5 — 5 —	20-25 kg/cm <sup>2</sup> basınç
— 6 — 6 —	25-30 kg/cm <sup>2</sup> basınç

Şekil 5.18 Model C'daki taban yolu çevresinde oluşan eşdeğer yanıl gerilme eğrileri

Aynı biçimde diğer iki model için yorumlanacak olursa; Model B için 2.55 metre ile 4.85 metreler arasında doğadan koparılmış bölgeyi ve bu noktalar ise kesme gerilmelerinin maksimum değerinde olduğu noktalardır. Model C için daha ilginç bir durum oluşmaktadır. Çünkü yanal gerilmeler yaklaşık olarak taban yolunun kesit çevresinde sabit olarak kabul edilebilir ve sadece düşey gerilmeler farklı değerler vermektedir.

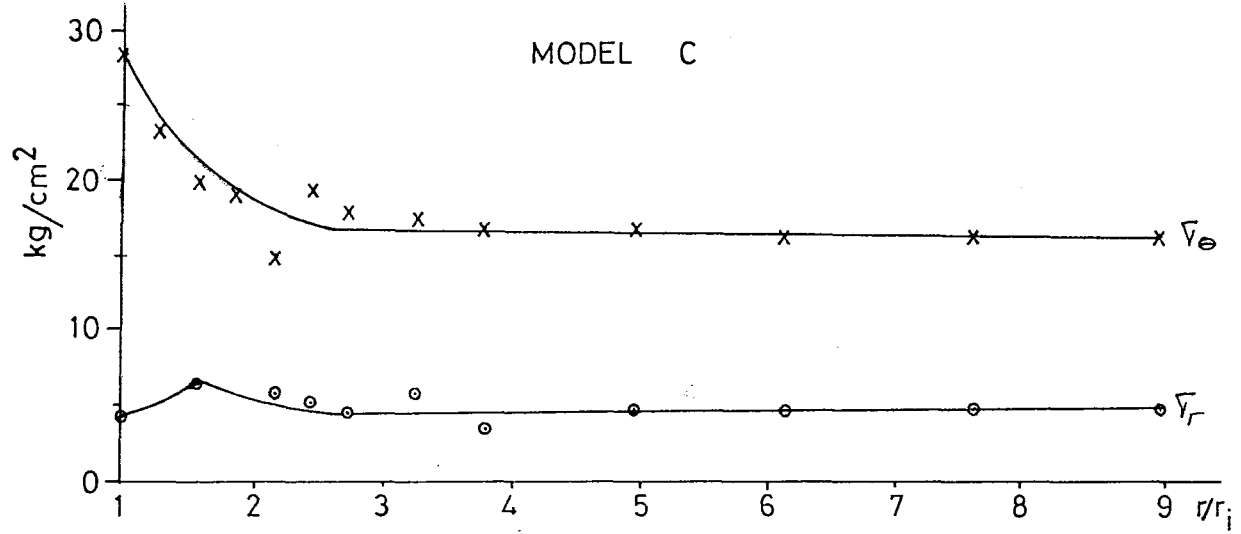
## 6. SONUÇLAR

Kalın kömür damarlarının ilerletimli ve dolgulu yöntem ile üretimi sırasında oluşan konverjans ve kesit daralması göçertmeli sisteme göre oldukça az olmaktadır. Göçertmeli sistem uygulandığında, göçük tarafı klasik bir takviye ile korunan bir uzun ayagın taban yolunda gözlenecek konverjansın nihai değeri % 50-60 olabilir (Birön vd.,1980). Dilimler halinde dolgulu ve ilerletimli olarak çalışılmak istenen ömerler bölgesindeki kalın kömür damarlarında, damar kalınlığının % 5 civarında ve taban yolunun yüksekliğine göre % 3.4'lük maksimum konverjans hesaplanmıştır. Taban yolunda kesit daralması ise  $0.435 \text{ m}^2$  ile orjinal kesit alanının % 5.48'lik maksimum değer olarak bulunulmuştur.

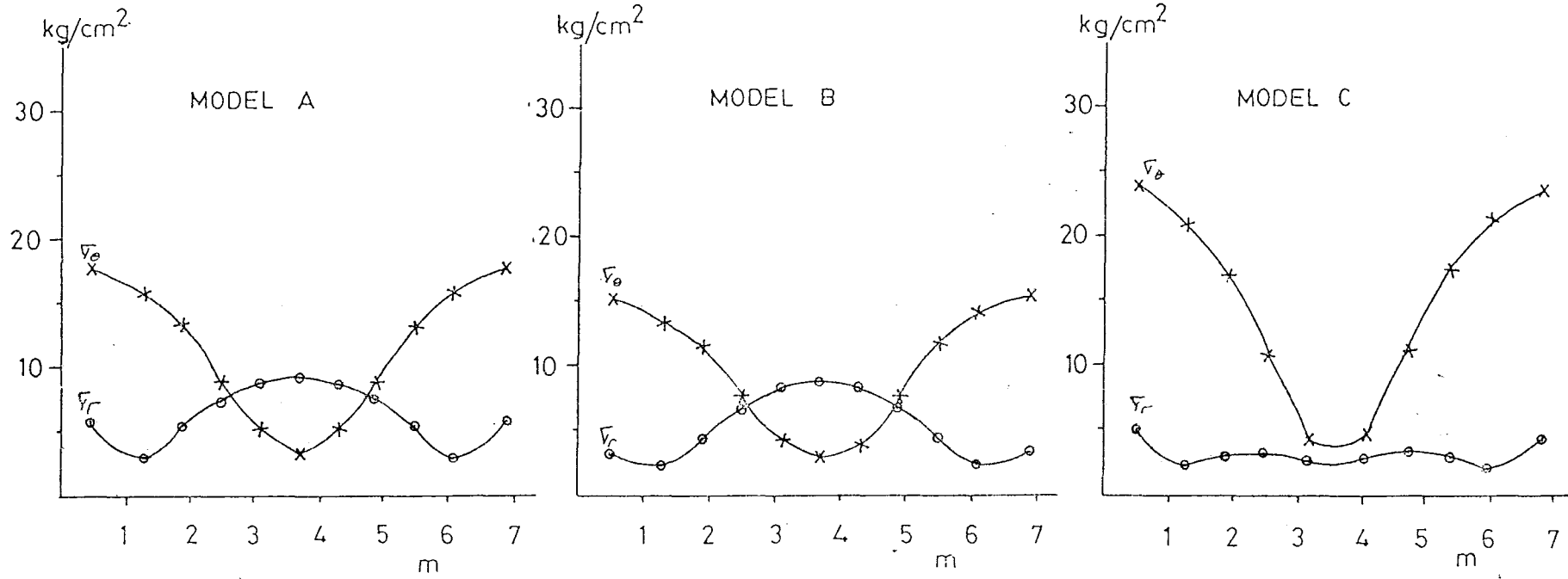
Hesaplanan yanal ve düşey basınç gerilmeleri, kayacın tek eksenli basınç direncine göre oldukça küçük olduğundan taban yolları stabil durumdadır. Model A'da gösterilen üretime başlamadan önceki durum için taban yolunda oluşan maksimum basınç gerilmesi  $20-25 \text{ kg/cm}^2$  arasındadır. Model B'deki gibi ilk dilimin alınmasından sonra oluşan maksimum basınç gerilmesi  $15-20 \text{ kg/cm}^2$  arasında olup ve Model C için gösterilen en son dilimin üretilmesi sırasında oluşan maksimum basınç gerilmesi ise  $25-30 \text{ kg/cm}^2$  arasında hesaplanmıştır. Malzemelerin tek eksenli basınç dirençleri ise:

Tavan taşının tek eksenli basınç direnci	$\sigma=295 \text{ kg/cm}^2$
Taban taşının tek eksenli basınç direnci	$\sigma=235 \text{ kg/cm}^2$
Kömürün tek eksenli basınç direnci	$\sigma=116 \text{ kg/cm}^2$
Cimentolu dolgunun tek eksenli basınç direnci	$\sigma=15 \text{ kg/cm}^2$

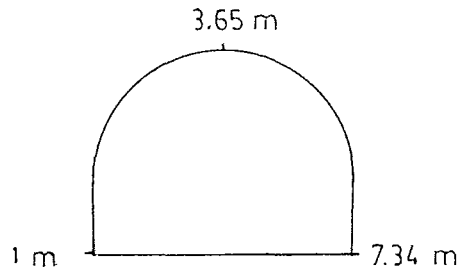
Ancak dolgunun tek eksenli basınç direnci Model C'de oluşan gerilmeler için az olduğundan taban yolu çevresindeki dolgunun kalitesinin artırılması gereklidir. Emniyet katsayısını 1.5 olarak alırsak, tek eksenli basınç direnci  $42 \text{ kg/cm}^2$  olan bir dolgu gereklidir.



Şekil 5.19 C modelinin taban yolunda oluşan düşey ve yatay gerilmeler



Şekil 5.20 Taban yollarının çevresindeki gerilme dağılımları.



Oluşan Maksimum Gerilme \* Emniyet katsayısı =  $28 * 1.5 = 42 \text{ kg/cm}^2$

Bu şartlar altında tahkimat sadece tavanda oluşan dom içersindeki kaya kütlelerini taşıyacağından, tahkimat yoğunluğu taban yollarında göçertmeli yöntemle göre daha az olacaktır. Buna göre;

Domun Tahkimata Etkiyen Yüğü = Yükleme alanı \* Yoğunluk olarak hesaplanır (Arioğlu vd., 1986).

Bu hesaplamalara göre Model A için 9.9 t/m, Model B için 10.94 t/m ve Model C için 16 t/m olarak tahkimata gelen yükler bulunmuştur.

Aynı şekilde ayak içersinde bu gerilmelerin oluştuğu varsayılırsa, tahkimatın tabana gömülmesi söz konusu olabilir. Direklerin arası birer metre olarak kabuledilirse, buna göre;

Tahkimata Gelen Yük / Direğin Taban Kesit Alanı =  $16000 \text{ kg} / (20*20) \text{ cm}^2 = 40 \text{ kg/cm}^2 > 15 \text{ kg/cm}^2$  olduğundan, direk tabana gömülerek tavan alçalmasına neden olacaktır. Direk tabanlarına 40\*40 buyutunda saç levhalar konulursa direklerin tabana gömülmesi engellenmiş olur..

$$0.1 * \frac{16}{0.4*0.4} * 1.5 \text{ (emniyet katsayısı)} = 15 \text{ kg/cm}^2$$

Bu değer de dolgunun tek eksenli basınç direncine denk olmaktadır ve ayak içinde stabilite sağlanmış olur.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Arıoğlu, E., Nasuf, E., 1986, Tabaka kontrolü, İ.T.Ü Rektörlüğü Yerbilimleri Yeraltı Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi, 222 s.
- Ataman, T., 1982, Kaya Mekanikine Giriş, O.D.T.Ü Mühendislik Fakültesi Dekanlığı Baskı İşleri, 239 s.
- Bennet, A.G., 1963, The finite element method a review of its application to underground excavations in discontinuous media, Rock Mechanics Symposium University of Sydney, 139-141 p.
- Bathe, K.J., Wilson, E.L. and Peterson, F.E., 1973, SAP IV A structural analysis program for static and dynamic response of linear systems, University of Berkeley, 250 p.
- Bilgin, A., 1977, Sonlu elemanlar yöntemi ve madencilige uygulama olanakları, 5. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, 1-27 s.
- Birön, C., Arıoğlu, E., 1980, Madenlerde tahkimat ve tasarım işleri, Birsen Yayınevi, 777s.
- Duygun, M., 1988, G.L.İ Tunçbilek bölgesi Ümerler yeraltı ocağında yangına müsait damarların göçertmeli sistem yerine dolgu ile sistemle üretilmesinin etüdü, Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, 316 s.
- Fleck, von H., 1975, Einfluss der elastischen stoffkonstanten auf die erforderliche feinmaschigkeit der finitisierung bei anwendung der methode der finiten elemente für ein homogenes und inhomogenes kontinuum, Technischen Universität München, 54 s.
- Kidybinski, A. and Babcock, C.O., 1973, Stress distribution and rock fracture zones in a coal mines, Rock Mechanics, 5, 1-19 p.
- Önce, G., 1986, Sonlu elemanlar yönteminin madencilige uygulanması, 4. Kaya Mekanik Sempozyumu, 429-441 s.
- Yılmaz, C. ve Yıldırım, M., 1987, Tünel hesaplarında karşılaşılan bazı problemler ve çözüm önerileri, 3. Yapı Mekanik Semineri, 183-198 s.

