

T C  
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

SONLU ELEMANLAR METODU İLE BAĞLAMA GÖVDESİNDE  
GERİLME ANALİZİ

98 209

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: İdris TUNÇTÜRK

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

VAN-2000

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Şükrü İsmail İPEK danışmanlığında, İdris TUNÇTÜRK tarafından hazırlanan Sonlu Elemanlar Metodu ile Bağlama Gövdesinde Gerilme Analizi isimli bu çalışma .../.../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan:..... *Doç. Dr. Ş. İsmail İpek*

İmza: *[Signature]*

Üye:..... *Doç. Dr. Hasan YUMAK*

İmza: *[Signature]*

Üye:..... *Yrd. Doç. Dr. Tamer UÇAR*

İmza: *[Signature]*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...16...103...12001...Gün ve ...2001/9-1..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

*[Signature]*  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

### SONLU ELEMANLAR METODU İLE BAĞLAMA GÖVDESİNDE GERİLME ANALİZİ

TUNÇTÜRK, İdris

Yüksek Lisans Tezi, Tarımsal Yapılar ve Sulama

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ş. İsmail İPEK

Şubat 2000, 57 Sayfa

Bağlamalar güvenli olması istenen ve emniyet katsayıları yüksek alınan yapılardır. Bu çalışmada, yanal basınç, öz ağırlık, alttan kaldırma kuvveti gibi kuvvetlerin etkisi altında bulunan bağlama gövdesinde oluşacak gerilmeler sonlu elemanlar metodu ile incelenmiştir. Hesaplamaları yapmak için bir bilgisayar programı geliştirildi. Ayrıca zeminde oluşacak gerilme değerleri de elde edilmiştir. Hazırlanan program ile Akdeniz Bölgesi Kartalkaya projesi Dehliz regülatörü boyutları için hesaplar yapılmıştır. Gerilme değerlerinin, gerilme emniyet değerlerinin çok altında kaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bağlama gövdesi, Sonlu Elemanlar Metodu, Gerilme Analizi

## **ABSTRACT**

### **STRESS ANALYSIS OF FILLED CROSSBAR BODY AND GROUND USING FINITE ELEMENTS METHOD**

**TUNÇTÜRK, İdris**

**Msc, Agricultural Buildings and Irrigation Science**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şükrü İsmail İPEK**

**February 2000, 57 pages**

Crossbars are the buildings desired to have high safety coefficient. In this study stress that will occur in crossbar body which is under impact of lateral pressure, building weight and the buoyancy force from bottom was investigated using finite elements method. A computer program was developed in order to carry out the computations. By this computer program calculations for dimensions for Kartalkaya Project Entrance-Hall Regulator were done. It was determined that stress values were much lower than safety stress values.

**Key words: Crossbar Body, Finite Elements Method, Stress analysis.**

## ÖN SÖZ

Tarımsal yapıların kilit yapılarını bağlamalar oluştururlar. Sulama amacı ile inşa edilen bağlamalar, suyun kontrollü olarak sulama kanallarına aktarılma amacını gerçekleştirmek için kullanılırlar. Bu amacı gerçekleştirmek için su istenilen bir seviyeye kadar yükseltilmelidir. Bağlamalar genellikle betondan ve dolu gövdeli olarak inşa edildikleri için ağır bir kütleye ulaşırlar.

Bağlama gövdesinin ağırlığı gövdenin üzerine yerleştirildiği zeminde büyük gerilmeler oluşturur. Bu arada gövde içinde de gerilmeler oluşacaktır. Bağlamanın ve üzerine oturduğu zemindeki gerilmeler yeterli yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Ancak elde edilen sonuçlar yaklaşıktır ve gövde içinde oluşacak gerilmeler için bir fikir elde edilememektedir.

Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonlu farklar, sonlu elemanlar gibi yöntemlerin daha etkin bir şekilde kullanılmasına imkan tanımıştır. Bir yapının iç gerilmelerini, oldukça esnek olarak kullanılabilen sonlu elemanlar yöntemi ile sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile bir bağlama gövdesinde ve bağlamanın üzerine oturduğu zeminde oluşacak gerilmeleri belirleyecek bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Hazırlanan program ile Kartalkaya Dehliz Regülatörü için gerilme hesapları yapılmıştır.

Bu çalışmanın bütün aşamalarında beni yönlendirerek, yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Doç. Dr. Şükrü İsmail İPEK'e teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

ABSTRACT	i
ÖZET	iii
ÖN SÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
EKLER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	2
2.1. Su Alma Yapıları	2
2.1.1. Regülatör tipinin belirlenmesi	2
2.1.2. Dolu gövdeli bağlamalar	2
2.1.3. Bağlama gövdesine etkiyen kuvvetler	4
2.1.4. Suyun alttan kaldırma etkisi	5
2.1.5. Devrilme tahkiki	6
2.1.6. Kayma tahkiki	6
2.1.7. Zemin gerilmesi tahkiki	6
2.1.8. Akım ağı	7
2.2. Sonlu Elemanlar Metodu İle Gerilme Analizi	8
2.2.1. Sonlu elemanlar	9
2.2.2. Mühendislik sistemlerinin matrislere dönüştürülmesi	9
2.2.3. Çubuk uç deplasman ve kuvvetleri	11
2.2.4. Transformasyon matrisi	12
2.2.5. Sistem denklemleri	13
2.3. Sonlu Elemanlar Metodunun Su Yapılarında Kullanımı	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. Materyal	15
3.1.1. Kartalkaya projesi dehliz regülatörü	15
3.1.2. Bağlama gövdesine etkiyen kuvvetler	16
3.2. Yöntem	16
3.2.1. Sızma hesabı	16
3.2.2. Kartalkaya projesi dehliz regülatöründe gerilme analizi	17
3.2.3. Hazırlanan programın kullanılması	18
4. BULGULAR	21
4.1. Zeminde Su Sızma Hesabı	21
4.2. Beşe Bölünerek Kesit Tesirlerinin Hesabı	22
4.3. Altıya Bölünerek Kesit Tesirlerinin Hesabı	26
4.4. Sekize Bölünerek Kesit Tesirlerinin Hesabı	30
4.5. Klasik Yöntem İle Zeminde Gerilme Hesabı	35
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	37
EKLER	40

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Bağlama planı	3
Şekil 2.2 Bağlama kesiti	3
Şekil 2.3 Suyun alttan kaldırma etkisi	5
Şekil 2.4 Akım ağı	7
Şekil 2.5. Sonlu elemanlara ayrılmış cisimler.	9
Şekil 2.6. Kafes çerçeve	10
Şekil 2.7. Sonlu elemanlara ayrılmış çubuk	10
Şekil 2.8. Çubuk uç deplasman ve kuvvetleri	11
Şekil 2.9. Elemanın i ucu için deplasmanlar.	11
Şekil 2.10. Çubuk ve sistem koordinatları	12
Şekil 3.1. Kartalkaya projesi dehliz regülatörü vaziyet planı	15
Şekil 3.2. Bağlama kesiti	16
Şekil 3.3. Bağlama gövdesine etkileyen kuvvetler	16
Şekil 3.4. Sonlu elemanlara ayrılmış kesit	18
Şekil 3.5. Programın ekran görüntüsü	19
Şekil 4.1. Alt su basıncı diyagramı	22
Şekil 4.2. Beşe bölünmüş kesit eleman yüzey ve düğüm noktaları.	23
Şekil 4.3 Bağlama kendi ağırlığı gerilme diyagramı.	24
Şekil 4.4 Toplam yük için gerilme diyagramı	25
Şekil 4.5 Altya bölünmüş kesit eleman yüzey ve düğüm noktaları.	26
Şekil 4.6 Bağlama kendi ağırlığı gerilme diyagramı	28
Şekil 4.7 Toplam yük için gerilme diyagramı	30
Şekil 4.8 Sekize bölünmüş kesit eleman yüzey ve düğüm noktaları.	30
Şekil 4.9 Bağlama kendi ağırlığı gerilme diyagramı	32
Şekil 4.10 Toplam yük için gerilme diyagramı	35
Şekil 4.11 Bağlama kesiti yaklaşık boyutları	35
Şekil 4.12 Öz yük için gerilme diyagramı	36
Şekil 4.13 Toplam yük için gerilme diyagramı	36
Şekil 5.1. Bağlama kütle ağırlığı için zemin gerilme diyagramı	38
Şekil 5.2. Toplam yük için zemin gerilme diyagramları	39

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Akış şeması	20
Çizelge 4.1. Kartalkaya dehliz regülatörü su sızma basıncı hesabı	21
Çizelge 4.2. Beşe bölünmüş kesit için 1. yükleme bağlama öz ağırlığı	22
Çizelge 4.3. Beşe bölünmüş kesit 1.yükleme gerilmeleri	23
Çizelge 4.4. Beşe bölünmüş kesit birinci yük zemin gerilmeleri	24
Çizelge 4.5. Beşe bölünmüş kesit için 2. yükleme tüm yükler	24
Çizelge 4.6. Beşe bölünmüş kesit 2. yükleme gerilmeleri	25
Çizelge 4.7. Beşe bölünmüş kesit ikinci yük zemin gerilmeleri	25
Çizelge 4.8. Altıya bölünmüş kesit için 1. yükleme bağlama öz ağırlığı	27
Çizelge 4.9. Altıya bölünmüş kesit 1. yükleme gerilmeleri	27
Çizelge 4.10. Altıya bölünmüş kesit birinci yük zemin gerilmeleri	28
Çizelge 4.11. Altıya bölünmüş kesit için 2. yükleme tüm yük	28
Çizelge 4.12. Altıya bölünmüş kesit 2. yükleme gerilmeleri	29
Çizelge 4.13. Altıya bölünmüş kesit ikinci yük zemin gerilmeleri	29
Çizelge 4.14. Sekize bölünmüş kesit için 1. yükleme bağlama öz ağırlığı	31
Çizelge 4.15. Sekize bölünmüş kesit 1. yükleme gerilmeleri	31
Çizelge 4.16. Sekize bölünmüş kesit birinci yük zemin gerilmeleri	32
Çizelge 4.17. Sekize bölünmüş kesit için 2. yükleme tüm yük	33
Çizelge 4.18. Sekize bölünmüş kesit 2. yükleme gerilmeleri	34
Çizelge 4.19. Sekize bölünmüş kesit ikinci yük zemin gerilmeleri	35



## **EKLER DİZİNİ**

Ek 1 Program listesi	36
Ek 2 Hesaplama giriş değerleri	48



## 1. GİRİŞ

Su kontrol altına alınmazsa tahribatlara neden olabilmekte veya kullanılabilir su boşuna akıp gitmektedir. Verimli ovalar susuz kalırken; araziler, yollar, binalar vs su baskını ile zarar görmektedir. İlerleyen zaman içinde bu olumsuzlukları yenmek için su biriktirme ve su alma yapıları inşa edilmiştir. Bu yapılar yıkılacak olurlarsa çok büyük zararlara ve ekonomik kayıplara yol açacaklardır. Güvenlik katsayılarının yüksek tutulması ve sürekli kontrol altında tutulmaları gerekmektedir.

Bağlamalar sulama projelerinin kilit yapılarını oluştururlar. Sulama sistemlerine akarsulardan arzu edilen suyu veren yapılardır. Akarsu yatağından geçen su debisi mevsimlere göre büyük farklar göstermesine rağmen bağlamalar ile su kanallara kontrollü bir şekilde verilebilmektedir. Hasar görmeleri durumunda büyük ekonomik kayıplara neden olacaktırlar.

Bağlamalar suyun debisi üzerinde kontrol sağlama amacına yönelik inşa edilmezler. Ancak suyun kontrollü olarak sulama ana kanallarına alınmasını sağlarlar. Bu amaçla inşa edilen değişik tip bağlamalar mevcuttur. Su debisinin az değişken olduğu akarsuların üzerinde dolu gövdeli bağlamalar, çok değişken olduğu akarsular üzerinde kapaklı bağlamalar inşa edilir.

Herhangi bir yapıda sistem davranışı matematik olarak izah edilebilmektedir. Matematik çözümlerde cebrik, diferansiyel denklemler elde edilmektedir. Bu denklemlerin çözümü yapı elemanları kesit tesiri veya gerilme değerlerini vermektedir. Karmaşık yapılarda cebrik, diferansiyel denklemlerin çözümü zordur ve çok zaman almaktadır. Bu olumsuzluğu yenmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemler problemin çözümünde yeterli yaklaşık çözümler sunmaktadırlar. Sonlu farklar yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi gibi yöntemler sayısal çözüm sağlarlar ve bilgisayara uygulanabilme gibi bir avantajları vardır.

Bu çalışmada, dolu gövdeli bağlamalar için analiz yapılmıştır. Bağlama gövdesi ve bağlamanın üzerinde bulunduğu zeminde oluşacak gerilmeler sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir.

## 2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

### 2.1. Su Alma Yapıları

Bir akarsudan istenen miktarda ve istenen seviyede su almaya yarayan yapılara su alma yapısı denir. Genel olarak Bağlama, Regülatör olarak isimlendirilirler. Üzerine inşa edildikleri akarsuyun 100 yıllık frekansına göre sınıflandırılırlar(Sungur, 1976).

1-Küçük bağlamalar. (Q100) 0-100 m<sup>3</sup> /sn

2-Orta büyüklükte bağlamalar. (Q100) 100-500 m<sup>3</sup> /sn

3-Büyük bağlamalar. (Q100) >500 m<sup>3</sup> /sn

#### 2.1.1. Regülatör tipinin belirlenmesi

En önemli etken akarsuyun taşıdığı sürüntü malzemesidir. Sürüntü malzemesinin fazla olduğu durumlarda kapaklı regülatörler genellikle daha uygundur.

Dolu gövdeli bağlamalar az eğimli mansap kısmında dere yatağı eğimi çok küçük olan bölgelerde inşa edilirler. Bu bölgelerde dere yatağı geniş sürüntü maddesi miktarı azdır( Sungur, 1976).

#### 2.1.2. Dolu gövdeli bağlamalar

Kabartma seviyesi ve suların membadan mansaba geçişi akarsu yatağını enine kapatan bir dolu gövde ile sağlanan bağlamalardır. Dolu gövdenin tepe noktası sabittir. Debi değişimlerinde memba bölgesindeki su seviyesi de büyük ölçüde değişir. Bu nedenle sabit bağlamalar kabartma seviyesi değişimlerinin zararlı etkileri görülmeyen yerlerde planlanarak inşa edilirler (Şekil 2.1). Dolu gövdeli bağlamalar ile ilgili tanımlar şunlardır.

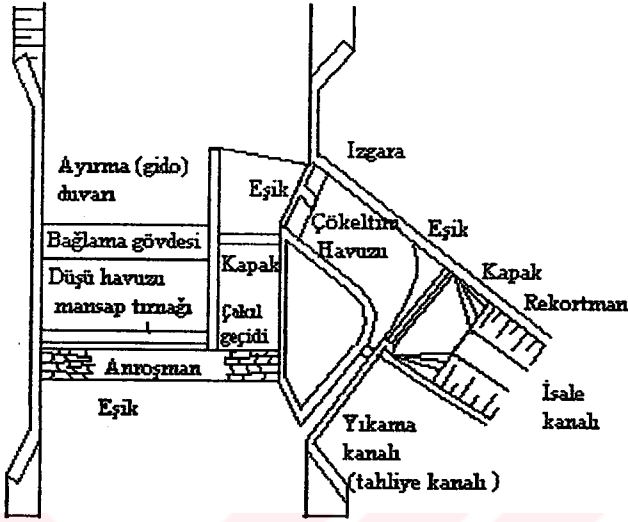
**Su Napı:**Sabit bağlama üzerinden geçen su tabakası olup bir alt ve bir üst yüzeyi vardır.

**Savak yükü:** Bağlama gövdesinin üzerinden geçen suyun bağlama tepe kotu ile kabarma kotu arasındaki yükseklik farkıdır.

**Bağlama Tepe Kotu:** Kabarma kotundan minimum savak yükünü çıkarmak suretiyle bulunur.

**Maksimum Kabarma Kotu:** Bağlama tepe kotuna maksimum savak yükünü eklemek suretiyle bulunur.

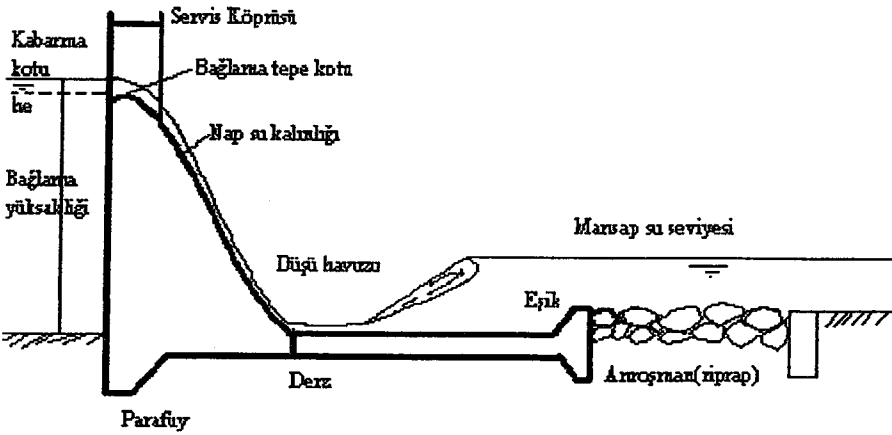
**Bağlama Yüksekliği:** Bağlama tepe kotundan akarsu taban kotunu çıkarmak suretiyle bulunur. Bazen bağlama yüksekliği olarak bağlama tepe kotu ile düşüm yatağı kotu farkı verilmektedir(Şekil 2.2). Bu önceden belirtilmelidir(Özşahin, 1989).



Şekil 2.1 Bağlama planı (Özşahin, 1989).

Dolu Gövdeli bağlamının kısımları şunlardır(Şekil 2.2).

- 1-Bağlama Gövdesi
- 2-Çakıl Geçidi
- 3-Kenar Ayaklar
- 4-Düşü Havuzu (Düşüm Yatağı)
- 5-Anroşman (Rıprap)
- 6-Sızdırmazlık Yapıları



Şekil 2.2 Bağlama kesiti(Özşahin, 1989).

### 7-Prizler (Su Alma Ağızı)

- a-Giriş eşiği
- b-Dalgıç perde
- c-Giriş ızgaraları
- d-Kapaklar ve ayaklar
- e-Çökeltim havuzu
- f-Yıkama (tahliye) kanalı
- g-Çökeltim havuzu eşiği
- h-Geçiş kanalı
- i-Ölçüm savağı
- j-Çevre duvarları

**Bağlama Gövdesi:** Akarsu yatağını bir baştan bir başa kapatarak memba su seviyesinin ayarlanmasını sağlayan yapıdır. Bir kıyıdan diğerine geçişi sağlayan bir servis köprüsü öngörülmesi durumunda köprü ayakları bağlama gövdesi üzerine oturtulur.

**Çakıl Geçidi:** Su alma prizinin önünde sürüntü maddesinin yığılmasını önlemek için akarsu yatağının en alçak seviyesinde planlanan kapaklı geçitlerdir.

**Düşü Havuzu:** Bağlama üzerinden geçen suyun enerjisini kırarak bağlamaya zarar vermesini ve akarsuyun yatağının oyulmasını önlemek için dolu gövdenin devamı şeklinde planlanan koruyucu kısımdır.

**Kenar Ayaklar:** Bağlamayı kıyılarda sınırlar ve buradaki toprak etkilerini tutan ve servis köprüsüne mesnet görevi yapan istinat duvarıdır.

**Anroşman(Riprap):** Bağlamanın mansabındaki akarsu yatağının oyulmasını önlemek için düşü havuzundan sonra belirli uzunluktaki taş ve kaya parçaları ile korunan kısımdır.

**Sızdırmazlık Yapıları:** Saplama duvarı, paplanj, memba örtüsü, ters filtre gibi elemanlar inşa edilerek bağlama altındaki sızma istenilen seviyeye düşürülür.

**Prizler(Su alma ağızı):** Giriş eşiği, dalgıç perde, giriş ızgaraları, kapaklar ve ayaklar, çökeltim havuzu, yıkama kanalı, geçiş kanalı, çevre duvarları su alma ağızını oluştururlar.

### 2.1.3. Bağlama gövdesine etkileyen kuvvetler

Bir bağlama gövdesine şu kuvvetler etkimektedir(Gemalmaz ve Hanay, 1995)

- 1- Su kaldırma kuvveti
- 2- Memba bölgesi su ve toprak itkisi
- 3- Bağlama gövde ve düşü havuzu ağırlığı

Stabilite hesaplarında betonun birim ağırlığı  $2.2t/m^3$  olarak alınabilir. Kullanılan malzemenin ölçülerek birim hacim ağırlığının tespit edilmesi tavsiye edilir. Zira kullanılan malzemeye göre birim hacimler farklılıklar gösterebilmektedir.

Bağlama gövdesi hesaplarında suyun tamamının sulama kanallarına alındığı düşüncesiyle hesaplar yapılır. Bu durumda yanıl su basıncı maksimumdur ve üstten su basıncı yoktur. Güvenli taraf tercih edilmektedir.

#### 2.1.4. Suyun alttan kaldırma etkisi

Zeminlerde tanelerin sürüklenmesini engellemek için bir sızma mesafesi oluşturulmalıdır (Özyar ve ark, 1989).

1 Bu sızma mesafesi zeminlerin geçirimsizlik katsayılarına bağlı olarak belirlenir.

$$L_{ihtiyac} = C * H$$

L=Sızma boyu uzunluğu

C=Zemin katsayısı

H=Hidrostatik yük

Feyezan anında H=Memba su seviyesi-Mansap su seviyesi

Suyun tamamı kanallara alındığında H=Bent kabartma yüksekliği

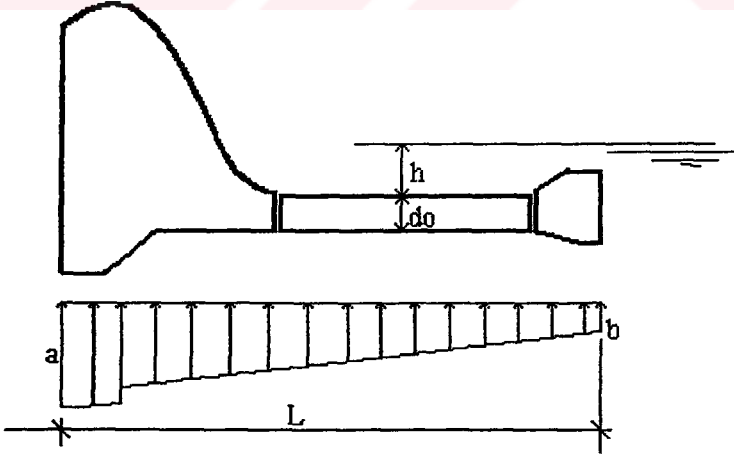
2 Bent kesit ebatlarına göre

$$L_{mevcut} = \Sigma L_{düşey} + \Sigma L_{yatay} / 3$$

3  $L_{mevcut} > L_{ihtiyac}$  olmalıdır. Bu büyüklük sağlanmamış ise radye boyunun artırılması, parafuy derinliğinin artırılması gibi tedbirler alınır (Gemalmaz ve Hanay, 1995).

Bentin altından sızan su nedeniyle oluşan yukarı kaldırma kuvvetleri kontrol kesiti ile dengelenmelidir (Şekil 2.3). Bir temel parçasına tesir eden kaldırma kuvveti iki kırık noktaya ait basınçların ortalaması ile (1 m genişlikteki temel şeridi için) ifade edilir (Şekil 2.3). İki kırık nokta arasındaki alanın uzunluk ile çarpılması neticesinde elde edilir. Her noktanın kaldırma emniyeti 1.1 den küçük olamaz (Gemalmaz ve Hanay, 1995).

$$\text{Kaldırma emniyeti} = \frac{\text{Düşey ağırlık}}{\text{Kaldırma tesiri}} \geq 1.1 \text{ olmalıdır.}$$



Şekil 2.3 Suyun alttan kaldırma etkisi.

Memba bölgesinde su memba gövdesinin en üst kotuna kadar çıkmıştır. Mansap bölgesine hiç su bırakılmamaktadır.

### 2.1.5 Devrilme tahkiki

Dolu gövdenin şekilde görüldüğü gibi mansap alt temel noktasına(A) göre devrilme tahkiki yapılır. Daha emniyetli çıkması için parafüyer dikkate alınmaz(Özşahin, 1989).

Devrilme tahkikinde etkili olan kuvvetlerin A noktasına göre momentleri alındığında, bu kuvvetlerden gövdenin ağırlığı ( $G_1, G_2, G_3$ ) dengeleyici, su itki kuvveti  $H_1$  toprak itki kuvveti  $H_2$  ve suyun alttan kaldırma kuvveti  $G$  ise devirici etki yapar. Gövdenin devrilmeye karşı emniyetli olabilmesi için yapılan tahkikte şu şart sağlanmalıdır.

$$\text{Devrilme emniyeti için; } \frac{\sum M_{\text{denge}}}{\sum M_{\text{devirme}}} \geq 1.5 \text{ olmalıdır.}$$

### 2.1.6 Kayma tahkiki

Dolu gövdenin kayma tahkikinde etkili olan kuvvetler, kaymaya karşı koyan düşey kuvvetler ile kaymaya neden olan yatay kuvvetlerdir. Kayma tahkikinde düşü havuzu radyesinin etkisi de dikkate alınır. Gövdenin inşa edildiği zemin üzerinde kaymaması için tahkikte aşağıdaki şart sağlanmalıdır.

$$\text{Kayma emniyeti için ; } \frac{\sum W}{\sum H} \geq 1.5 \text{ olmalıdır. Burada}$$

$F$ =Zemin sürtünme katsayısı

$\sum W$ =Toplam düşey kuvvet

$\sum H$ =Toplam yatay kuvvet

### 2.1.7 Zemin gerilmesi tahkiki

Bağlamanın inşa edildiği zeminin taşıma gücünün bağlama gövdesini taşımaya elverişlilik durumunun belirlenmesi için bu tahkik yapılır. Her zeminin emniyetle taşıyabileceği maksimum bir gerilme değeri vardır. Buna zemin emniyet gerilmesi denir. Bağlama gövdesine etkileyen toplam kuvvet etkilerinin zeminde emniyet gerilmesini açacak bir gerilme oluşturmaması gerekir.

$$G_{\max} \leq \tau_{\text{emn}} ; G_{\min} \geq 0 \text{ olmalıdır.}$$

$$G_{\max, \min} = \frac{\sum V}{F} * \left(1 \pm \frac{6e}{b}\right) ; e = b/2 - x_r$$

$$x_r = \frac{\sum M_{\text{denge}} - \sum M_{\text{devir}}}{\sum V}$$





2- Toprak bünyesindeki permaabilite katsayısı her yönde aynıdır.

3- Toprakta tüm boşluklar su ile doludur.

4 Su akımı laminer ve devamlıdır.

5 Toprak hacminin ve boşluk oranının değişmez olduğu kabul edilir.

6 Su sıkışmaz kabul edilir.

7 Su sabit yoğunlukta kabul edilir.

8 Akış çizgileri ve eşpotansiyel çizgileri birbirine diktir.

9 Birbirini takip eden her iki akım çizgisi ile her iki eşpotansiyel çizgisi birbirine benzer kareler oluşturmaktadır.

10 Akım ağında birbirini takip eden herhangi iki akım çizgisinin teşkil ettiği akım kanalından aynı miktarda su geçer.

11 Akım ağında birbirini takip eden herhangi iki eşpotansiyel çizgi arasındaki yük kaybı sabittir.

12 Akım hızı ve hidrolik eğim, akım ağı çizgileri ara mesafeleri ile ters orantılıdır.

13 Akım ağını teşkil eden dikdörtgenlerden bir tanesinde akımın eğimişöyle bulunur.

$$i = \Delta h / b ; \Delta h = h / n$$

Burada

$i$  = Akımın eğimi

$\Delta h$  = İki eşpotansiyel çizgi arasındaki yük kaybı

$b$  = Bir akış alanının akım çizgileri doğrultusundaki kenar uzunluğu

$n$  = Eşpotansiyel çizgilerinin toplam aralık sayısı

14 Eşpotansiyel çizgiler serbest yüzey çizgisini eşit mesafelerde keserler.

15 Hemen her akım ağı dört sınır şartına sahiptir. Bunlardan ikisi akım çizgisi diğer ikisi ise eşpotansiyel çizgi şartıdır.

## 2.2. Sonlu Elemanlar Metodu İle Gerilme Analizi

Sonlu elemanlar metodu zor ve kompleks olan mühendislik problemlerinde sistematik çözüm sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemin gelişmesi bilgisayarın gelişme süreci ile doğru orantılı olmuştur. Elde edilen denklemler matrislere dönüştürülmekte; matrislerin çözümünde bilgisayarın sayısal hesaplamalarının doğruluk ve hızından faydalanılmaktadır.

Kullanılan diğer hesap yöntemlerine göre tercih edilme nedenleri şu şekilde açıklanabilir.

Sonlu elemanlar, boyutları ve şekillerinin esnekliği nedeniyle verilen bir cisimi temsil edebilir. Karmaşık şekilli bir cisimde daha güvenilir olabilir. Çok bağlantılı bölgeler zorluk çekilmeksizin incelenebilir. Değişik malzeme ve geometrik özellikleri bulunan problemler ek bir zorluk göstermez.

Sebepler sonuç bağlantılarına ait problemler tümel direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş kuvvetler ve yer değiştirmeler cinsinden formüle edilebilir. Sınır şartları kolayca uygulanır. Çok yönlülük ve esnekliği karmaşık yapılarda, sürekli ortam, alan ve diğer problemlerde sebepler sonuç ilişkilerini hesaplamak için çok etkin bir şekilde kullanılabilir.

### 2.2.1. Sonlu elemanlar

Uzaydaki cisim üç boyutta tarif edilir. Cismi sonsuz sayıda hayali çizgilerle ayrılmış eleman ve bu elemanların bağlandığı düğüm noktalarından oluşuyormuş gibi düşünebiliriz. Bu eleman ve düğüm noktalarının uzaydaki koordinat ve boyutları tarif edilirse cismin gerçek yapı ve koordinatları tarif edilmiş olur. Ancak sonsuz sayıda eleman ve düğüm noktasının göz önüne alınması mümkün görünmemektedir. Yeterli sayıda (sonlu) ve uygun eleman ve düğüm noktasının seçilerek tarif edilmesi mühendislik problemlerinin çözümü için yeterli yaklaşık sonuçlar vermektedir(Nath, 1990).

Yapılan genel kabulleri şu şekilde sayabiliriz:

1-Sürekli ortam hayali çizgiler veya yüzeyler ile belirli sayıda sonlu elemana ayrılabilir.

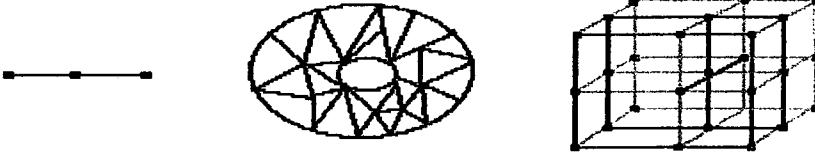
2-Elementler sınırları üzerinde bulunan belirli sayıda düğüm noktasında temas halinde farz olunur. Basit yapı sistemleri analizinde çubukların düğüm noktalarından ayrılarak incelenmesi gibi.

3-Her sonlu elemanın bünyesinde, kendi düğüm noktaları deplasmanları cinsinden,deplasman durumunu tarif etme üzere fonksiyonlar seçilir.

4-Deplasman fonksiyonları, bir eleman içinde, düğüm noktaları deplasmanları cinsinden, deformasyon durumunu tarif ederler(Celâsun, 1976).

Mühendislik problemlerinde dış yükler veya ısı değişiminden oluşan diferansiyel denklem sistemleri ile karşılaşılır. Bu denklemlerin sistematik bir çözüme bağlanması mümkün değildir ve çözümleri uzun zaman almaktadır. Sonlu elemanlar metodunda sistemler matrisler ile ifade edilerek nümerik çözüm aranmaktadır. Bu metotla sistematik çözüm bilgisayara aktarılabilir. Bu yöntemle akışkan, statik, dinamik problemleri çözülebilmektedir.

Cisim uzayda  $n(=1, 2, 3)$  boyuta sahip ise  $n$  boyutlu sonlu elemanlar sistemine ayrılır(Şekil 2.5).



Bir boyutlu cisim

İki boyutlu cisim

Üç boyutlu cisim

Şekil 2.5. Sonlu elemanlara ayrılmış cisimler.

### 2.2.2. Mühendislik sistemlerinin matrislere dönüştürülmesi

Sonlu elemanın uçlardan birbirlerine düğümlerle bağlıdır. Düğümler kaldırıldığında elemanların sürekliliği biter. Metodun çözümünde bundan sonraki adım cisim temsil eden elemanların her birinin eleman direngenlik matrisini tanımlamaktır. Daha sonra eleman direngenlik matrisleri parçalara ayrılmış cismin

tamamına ait tümel direngenlik matrisini oluşturmak üzere toplanır. Burada direngenlik cismin şekil değiştirmeye karşı koyma direncidir.

Elde edilen tümel direngenlik matrisi ile

$$[K] * \{\delta\} = \{P\}$$

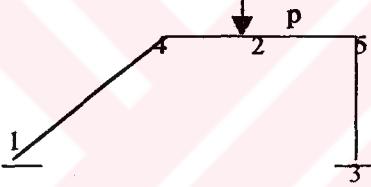
sisteme ait deplasmanlar(yer değiştirme) hesaplanır.

Burada  $[K]$  tümel(sistem) direngenlik matrisini,  $\{P\}$  tümel kuvvet vektörünü,  $\{\delta\}$  bütün düğümlerin yer değiştirmesini göstermektedir.

Elde edilen deplasman değerlerinden faydalanılarak moment, kesme kuvveti, normal kuvvet kesit tesiri değerleri hesaplanacaktır(Nath, 1990). Cismi elemanlara ayırmak için öneriler şöyle sayılabilir.

Verilen bir problemde sistem rijitlik matrisinin boyutu ve çözümün hassasiyeti büyük ölçüde cismin sonlu elemanlar sistemine ayrış yöntemiyle ilgilidir. Çözüm yapılırken yaklaşım metodu iyi seçilmelidir. Düğümlerin bırakılacağı yerler şöyle sayılabilir(Şekil 2.6).

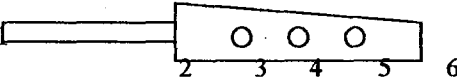
- İki veya daha fazla elemanın birleştiği birleşme noktasına (4ve 5 düğümleri).
- Konsantre tekil kuvvetin uygulandığı noktalara (2. Düğüm).
- Her mesnede veya yer değiştirmenin belirlendiği her noktaya (1 ve 3 düğümleri)(Kasumov, 1997).



Şekil 2.6. Kafes çerçeve.

Bir diğer durum için(Şekil 2.7).

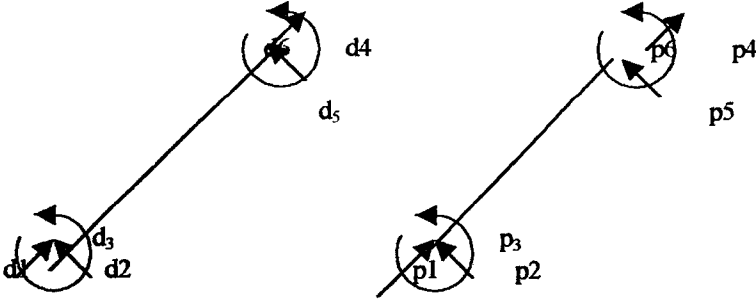
- Çubuk rijitliğinin ani değiştiği her noktaya 1,2 ve 6 düğümleri (Şekil 2.7)
- Çubuk rijitliğinin sürekli değiştiği durumda yeterli aralıklarla(3,4 ve 5 düğümleri)



Şekil 2.7. Sonlu elemanlara ayrılmış çubuk.

Matris analizinin yapılabilmesi için her bir elemanın sistem içinde konum ve davranışının bilinmesi gerekir. Yani dış yükler için her bir elemanın stabilitesinin (rijitlik matrisi) elemana etkiyen yükün (yük matrisi) oluşturulması gerekir. Bilinen bir deplasman metodu ile birim yükler altında çubuğun rijitlik ifadeleri oluşturulur(Dündar ve Kral, 1986).

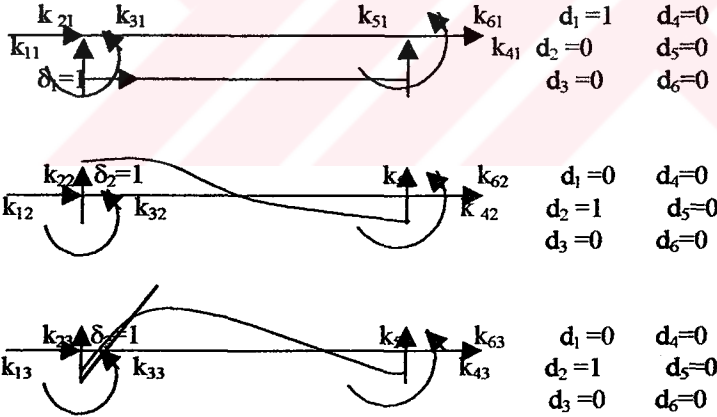
### 2.2.3. Çubuk uç deplasman ve kuvvetleri



Şekil 2.8. Çubuk uç deplasman ve kuvvetleri.

Çubuk uç deplasmanları ve kuvvetleri Şekil 2.8'de verilmiştir. Burada  $d$  deplasmanı  $p$  kuvveti göstermektedir.

Rijitlik etki katsayısı  $k_{ij}$   $j$  doğrultusunda birim deplasmandan dolayı,  $i$  doğrultusunda meydana gelen kuvvet olarak tarif edilmektedir (Şekil 2.8). Diğer doğrultudaki deplasmanlar sıfır tutulmaktadır. Bu katsayılar mohr, diferansiyel katsayılar gibi yöntemler ile bulunabilmektedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Elemanın  $i$  ucu için deplasmanlar.

Tanımlanan ifadeler  $i$  ucu içindir. Çubuğun  $j$  ucu için de aynı yol takip edilir. Birim deplasmanlar için rijitlik ifadeleri aşağıda verilmiştir (Dündar ve Kral, 1986).

$$\begin{array}{|c|} \hline P_1 \\ \hline P_2 \\ \hline P_3 \\ \hline P_4 \\ \hline P_5 \\ \hline P_6 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline k_{ii} & k_{ij} \\ \hline k_{ji} & k_{jj} \\ \hline \end{array}$$

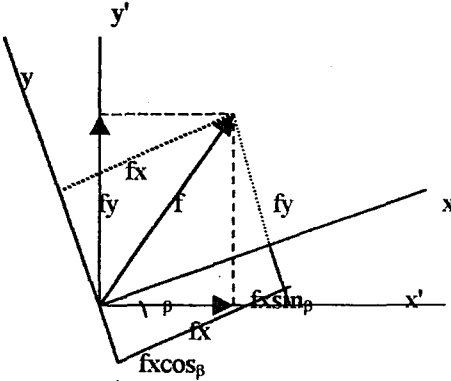
Çubuk rijitlik matrisi düzlem sistemler için

$$k_{ii} = \begin{bmatrix} EA/L & 0 & 0 \\ 0 & 12EI/L^3 & 6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 4EI/L \end{bmatrix}$$

şeklinde ifade edilmektedir.

#### 2.2.4. Transformasyon matrisi

Çerçeve uzuvlarının farklı doğrultularda bulunmalarından dolayı, bir tek koordinat sistemine göre, tüm elemanları göstererek kuvvet ve yer değiştirmeleri ifade edemeyiz. Bu nedenle, eğimli uzuvlara sahip ortak bir formülasyonunu yapmak için, çerçevenin bölüdüğü bütün sonlu elemanlara uygulanabilen, bütün kuvvet ve yerdeğiştirmelerin ölçülebildiği genel bir koordinat sistemi oluşturmak zorundayız (Şekil 2.10). Bu durumda çubuğun sistem içindeki yerinin de ifade edilmesi gerekir.  $x, y$  eleman koordinatlarını  $x', y'$  sistem koordinatlarını göstermek üzere bir elemanın sistem koordinatlarındaki ifadesi grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 2.10) (Dündar ve ark, 1986).



Şekil 2.10. Çubuk ve sistem koordinatları.

$$F_x = F_{x'} \cos \beta + F_{y'} \sin \beta$$

$$\begin{aligned} f_y &= f_y' \cos \beta - f_x' \sin \beta \\ f_z &= f_z' \end{aligned}$$

Bu ifadeler matris formunda yazılırsa

$$T = \begin{vmatrix} \cos & \sin & 0 \\ -\sin & \cos & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

matrisi elde edilir.

Eleman rijitlik matrisi sistem koordinatlarına  $k = t^t k t$  ifadesi ile dönüştürülmektedir. Bu aşamadan sonra sistem denklemlerinin oluşturulması gerekmektedir.

### 2.2.5. Sistem denklemleri

Elemanların bağlı oldukları düğüm noktası deplasman numaralarından faydalanılarak sistem rijitlik, kütle, yük matrisleri oluşturulur.

Sistem rijitlik matrisi şematik olarak

$$K = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 1 & \dots & n-1 & n & n+1 & \dots & n+x \end{array} \\ \begin{array}{cccccc} & & & & & & \\ & & k_{ij} & & k_{ij} & & \\ & & & & & & \\ & & k_{ji} & & k_{ji} & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \end{array} \end{array}$$

Statik analizde deplasmanlar

$$K \cdot d = P$$

Denklemin çözümü ile elde edilir. Çözüm için gauss eliminasyon yöntemi gibi bilgisayara aktarılabilen sayısal metotlar kullanılır (Çakıroğlu ve ark. 1970).

Elde edilen deplasman ifadelerinden faydalanılarak her bir elemanın uçlarına etkiyen kesit tesiri değerleri bulunur.

### 2.3. Sonlu Elemanlar Metodunun Su Yapılarında Kullanımı

Viskoz ve sıkışmayan akışkanlar ele alınırsa lineer momentumun korunumundan elde edilen denklem ve kütle korunumundan (süreklilik) elde edilen denklemler ile akışkan problemleri çözülmektedir.

Lineer momentum ve süreklilik denklemleri kullanılarak sonlu elemanlar modeli kurulmaktadır. Hız, basınç ve penaltı sonlu eleman modelleri arasında hız-basınç veya penaltı yöntemleri avantajlı durumlarına göre tercih edilerek

kullanılmaktadırlar. Zamanla değişen hallerin çözümü için ısı iletimi tipi problemlerle, akışkanlar mekaniği problemleri zamanla değişiyor ise, yere göre yapılan sonlu eleman yaklaşımından sonra

$M\dot{U}+KU=F$  gibi zamana bağlı adi diferansiyel denklem takımı elde edilmektedir. Burada

M=Sistem kütle matrisi

U=Tüm düğümlerde bilinmeyen deplasmanlar.

K=Sistem kütle matrisi

F=Düğüm kuvvetlerini göstermektedir.

Diferansiyel denklem sistemi euler, gauss gibi yöntemlerle çözülebilmektedir(Kral ve ark, 1990).

Sonlu elemanlar metodu ile Ardıçlıoğlu,1990 Aslantaş baraj gövdesinde sızma analizi yapmıştır. Ardıçlıoğlu,1990 tarafından bildirildiğine göre sonlu elemanlar metodunun sınırlandırılmış sızma akımına uygulanması ilk kez Zienkiewicz ve ark. tarafından yapılmış ve zonlu izotropik olmayan akım bölgeleri için çözümler toplam enerji  $h(x,y)$  nin dağılımı şeklinde elde edilmiştir. Ele alınan baraj dolgusundaki iki boyutlu  $(x,y)$  sızma akımına ait birim zamandaki enerji değişimi

$$E=\gamma /2 \int [i_x v_x + i_y v_y] d_x d_y -\gamma H_q$$

şeklinde tanımlanmaktadır(Ardıçlıoğlu, 1990).

Doymamış ve kısmi doymuş gözenekli ortamlarda suyun iki boyutlu akış problemi Galerkin tipi sonlu elemanlar metoduyla çözülmektedir. Atmosferik sınırların canlandırılmasına ve bitki kökleriyle su alımına özel önem verilmektedir. Sonlu elemanlar yönteminin, geleneksel sonlu farklar yöntemine göre çok sayıda avantajlarının olduğu görülmektedir. Düzensiz sınıra sahip üniform olmayan akış bölgelerinin ve yerel rastgele derecelerinin değerlendirilmesinde kolaylıkla ele alınabilmektedir(Reinder ve ark., 1975).

Sonlu elemanlar yöntemi ile teorik ifadeler oluşturulmuş; bir arazi uygulaması yapılarak, tek boyutlu sonlu farklar yönteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırma yoluna gidilmektedir(Reinder ve ark., 1975).

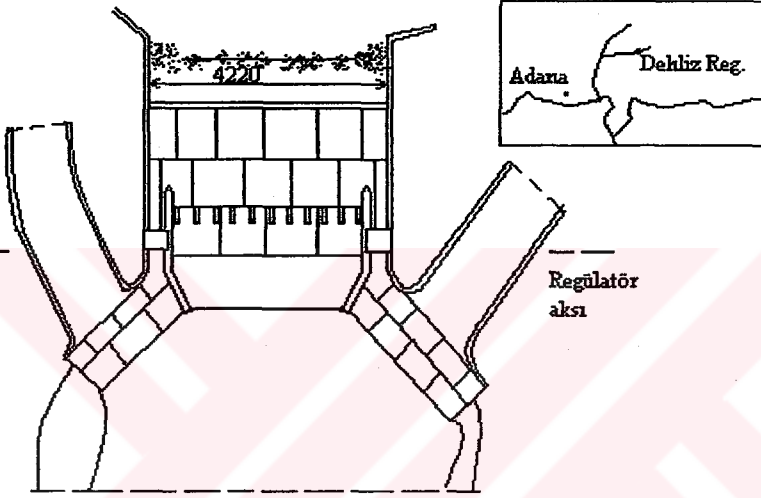
Sonlu elemanlar yöntemi kompleks fakat gerçekçi iki boyutlu akış durumuna uygulanabilmektedir. Bu amaçla yapılan alan ölçümleri ile nümerik çözüm sonuçları karşılaştırılmaktadır. Hollanda'da bulunan bir kuruluştaki alan ölçümleri arazide yapılmıştır. Beş anizotropik tabakadan oluşan ürünli arazideki akış sonlu elemanlar yöntemiyle nümerik olarak hesaplanmış ve alan ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır(Reinder ve ark., 1975).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Kartalkaya projesi dehliz regülatörü

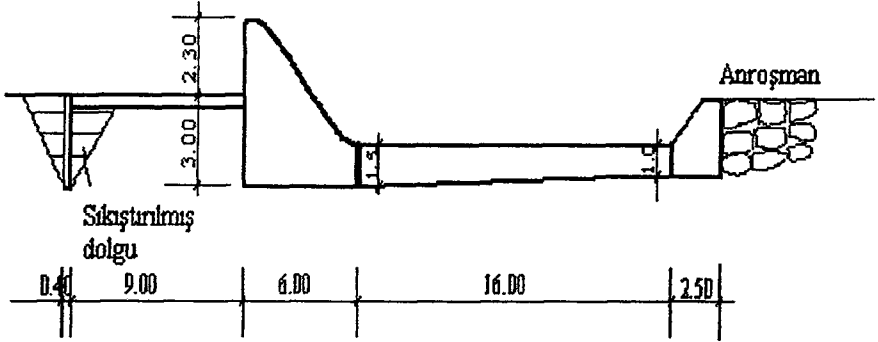
Materyal olarak Akdeniz bölgesinde yer alan Kartalkaya projesi dehliz regülatörü alınmıştır(Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kartalkaya dehliz regülatörü vaziyet planı(Özyar ve ark., 1988).

Bağlama inşası için 300 dozlu portland çimentosu kullanılmıştır. Bu oran C16 betonunun karşılığı olarak alınacaktır. C16 için basınç emniyet gerilmesi  $f_{cd}=1.1 \text{ kN/cm}^2$ , çekme emniyet gerilmesi  $f_{ctd}=0.09 \text{ kN/cm}^2$  dir. Bağlama kesit boyutları (Şekil 3.2) de verilmiştir.

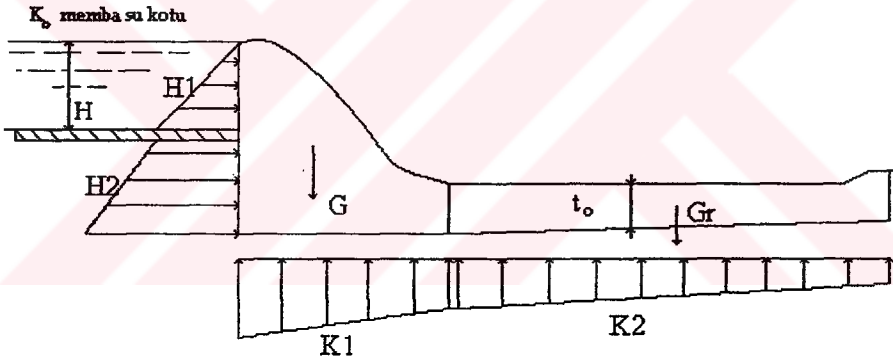




Şekil 3.2 Bağlama kesiti.

### 3.1.2. Bağlama gövdesine etkiyen kuvvetler

Bağlamanın gövdesine yatay su basıncı, kendi ağırlığı, alt su basıncı etkimektedir(Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Bağlama gövdesine etkiyen kuvvetlerin tümü.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Sızma hesabı

Bağlama altından sızan su bağlama gövdesine ve radyesine alttan kaldırma kuvveti uygular. Bağlama sızma uzunluğu Lane metoduna göre hesaplanmıştır. Bu durumda sızma boyu şöyle ifade edilmektedir.  $L = \sum \text{düşey uzunluk} + \sum \text{yatay uzunluk}/3$

$$L = 3 + 0.4/3 + 3 + 9/3 + 3 + 6/3 + 16/3 + 2.5/3 + 2.5 = 22.9$$

### 3.2.2. Kartalkaya Dehliz Regülatörü gövdesinde gerilme analizi

Bağlama gövdesine etkiyen dış kuvvetler suyun zemin içindeki alttan kaldırma kuvveti ve yanal basınç etkisidir. Ayrıca bağlamanın kendi ağırlığı ve deprem etkisi de zeminde gerilme oluşturur. Bu kuvvetlerin tümü aynı zamanda beton gövde içinde de gerilmeler meydana getirir. Kullanılan yöntemde bağlama gövdesinde oluşacak basınç ve çekme gerilmesi değerlerinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Hesap sonucunda zeminde oluşacak gerilme değerlerine de ulaşılmıştır. Sistem kafes sistem ağ örgüsüne benzetilerek hesaplar yapılmıştır.

Eleman rijitlik matrisleri hesaplanarak

$$k=t^{-1} * k * t$$

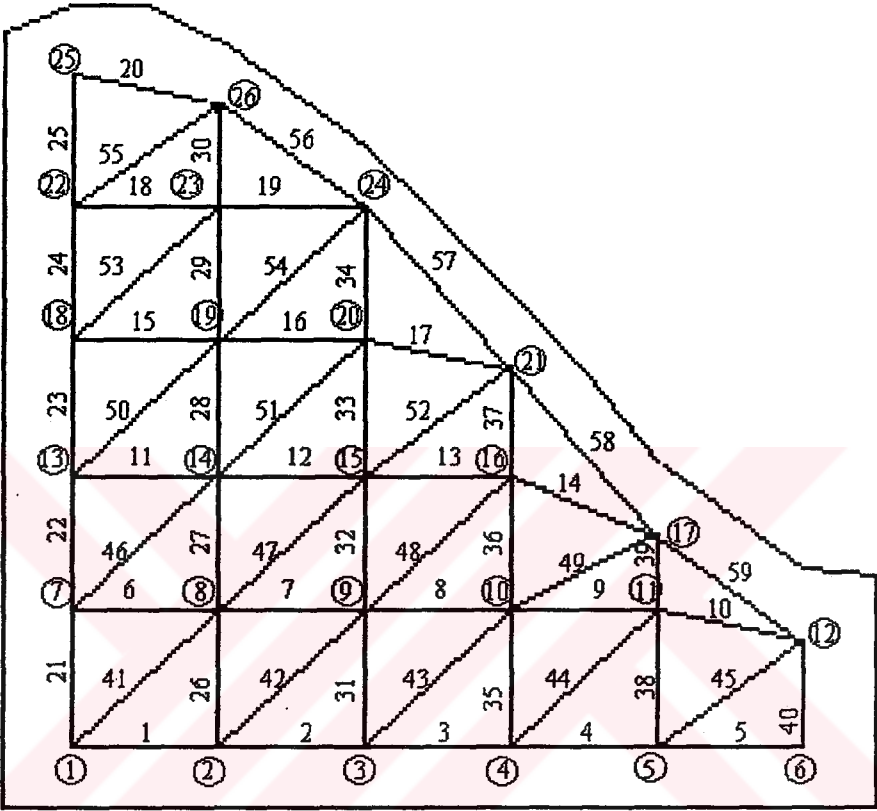
denklemleri ile sistem koordinatlarına dönüştürülmektedir.

Sistem koordinatlarındaki direngenlik ifadeleri sistem matrisini oluşturmak için basit bir sayısal yöntem ile toplanırlar. Toplama işleminde rijitliğin bağlı olduğu deplasman numarasından faydalanılır. Bütün yükler düğüm noktalarına uygulanacağı için sistem yük matrisi doğrudan elde edilmiştir.

$K=\delta * P$  denkleminin çözümü ile sistem deplasmanları elde edilir.

$k * \delta = p$  denklemleri ile eleman uç kuvvetleri bulunur.

Bağlama dolu gövdesi yeterli sıklıkta sonlu elemanlara bölünmektedir. Her eleman ve her düğüm noktası sırası ile numaralanmıştır. Elde edilen gerilme değerlerinin farklı bölme hassasiyetlerinin karşılaştırılabilmesi için, kesit yatay ve düşey olarak sırası ile 5, 6 ve 8 e bölünerek hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Program aktif halinde iken düğüm noktası deplasman numaralarını otomatik olarak belirlemektedir. Çözümün gerçekleşmesi için eleman ve düğüm noktalarına verilen numaraların (Şekil 3.4) deki formata uygun olması gerekmektedir.



Şekil 3.4 Sonlu elemanlara bölünmüş kesit.

### 3.2.3. Hazırlanan programın kullanılması

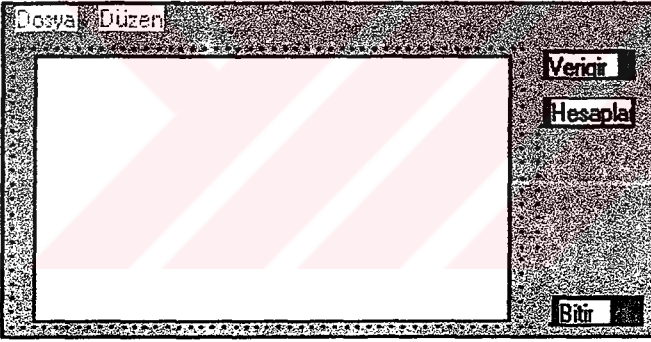
Statik sistemlerin çözümü uzun zaman almaktadır. Bu hızı sağlayacak Windows altında yazılım imkanı sağlayan Delphi ile program hazırlanmıştır. Windows altında çalışması kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Programda bütün işlemler bir form üzerinde yürütülmektedir. Formda üç adet menü üç adet buton tanımlanmıştır. Sade bir ekran görüntüsü sağlanmıştır. Veriler düğmesi ile tanımlamalar yapılmakta, hesaplar düğmesi ile yük girişi ve sistem çözümü yapılmaktadır. Programın akış diyagramı (Şekil 3.6) da ekran görüntüsü (Şekil 3.5) de verilmiştir.

Bağlama gövdesi, yeterli hassasiyeti sağlamak için beşten az olmamak üzere yatay ve dikey olarak bölünmekte, elde edilen düğüm noktaları ve elemanlar numaralanmaktadır. Zemine temas halinde olan ilk düğüm noktası birinci düğüm noktasıdır, yatay ve düşey koordinatları sıfırdır. Zemine temas halinde farz olunan

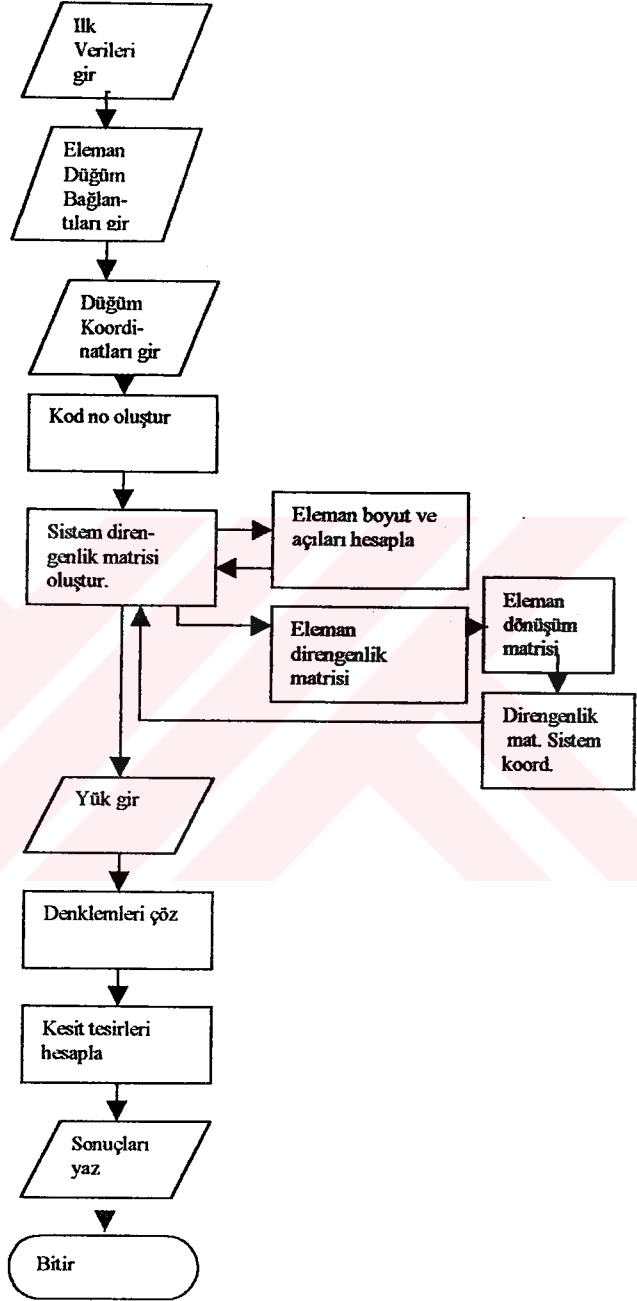
düğüm noktalarının sadece yatay koordinatları girilmekte, diğer düğümlerin yatay ve düşey koordinatları girilmektedir. Elastisite 1 olarak alınabilir. Öz yük için ortalama düğüm alanı girilmelidir. Yatay ve düşey kuvvetler düğüm noktaları için bölünerek akış esnasında istendiğinde girilmelidir.

Program sonuç olarak elemanlar için gerilme değerlerini maksimum çekme ve basınç gerilmeleri olarak vermektedir. Elemanlar arası mesafenin küçük bir kısmı ihmal edildiği için gerilme değerlerinde yeterli yaklaşık bir sonuç elde edilmektedir. Bu değer büyütüldüğü için güvenli taraf doğrultusundadır. Ayrıca zemin gerilmesi değerleri de elde edilmektedir.

Bağlama gövde yüzeyi hidrolik eğime uygun yapılmaktadır. Eğri yüzeyin sonlu elemanlara bölünmesi otomatik olarak gerçekleştirilememektedir. Bu durum veri girişinin çok fazla olmasına ve zaman kaybına neden olmaktadır. Geliştirilen program ile dolu gövdede oluşacak maksimum gerilmeler ve zeminde oluşacak maksimum gerilmeler elde edilebilmektedir. Yüksek gövdeli bağlama gövdelerinde oluşacak gerilme değerlerinin tespitinde kullanılması durumunda maksimum gerilmelerin beton gövde emniyet gerilmeleri ile karşılaştırılmaları mümkün olacaktır. Elde edilen bulgulara göre yüksekliği az olan bağlama gövdesinde uygun beton kullanılması durumunda gerilme problemi oluşmamaktadır.



Şekil 3.5 Programın ekran görüntüsü.



Şekil 3.6. Akış şeması.

#### 4. BULGULAR

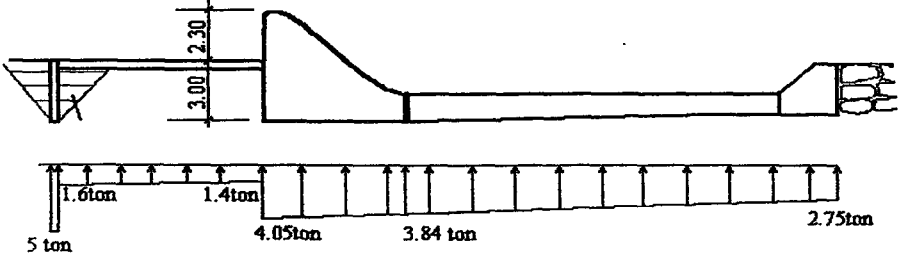
Program sonuç olarak bağlama gövde kesitinde oluşacak gerilme değerlerini  $kN/cm^2$  birimi zeminde oluşacak gerilme değerlerini  $ton/m^2$  birimi ile vermektedir. Bağlama kesiti 5,6,8 dikey ve yatay bölgeye ayrılmıştır. Her durum için iki yükleme yapılmıştır. Yüklemelemlerden birincisi bağlama gövdesinin arkasında su olmayacağı durumu için sadece bağlamanın öz ağırlığının göz önüne alındığı durumdur. İkinci yükleme olarak, bağlama gövdesinin en üst kotuna kadar su ile dolu olacağı ve bütün suyun sulama kanallarına alınacağı durum olarak göz önüne alınmıştır. İkinci yüklemde etkin olan kuvvetler öz ağırlık, yanal su basıncı ve suyun alttan kaldırma kuvvetidir. Kesitin bölünme sayısının artırılması hesaplardaki hassasiyeti artıracaktır. Ancak 5,6 ve 8 e bölünerek yapılan hesap sonuçlarına göre maksimum gerilme değerleri aynı bölgelerde oluşmaktadır.

##### 4.1. Zeminde Su Sızma Hesabı Sonuçları

Bağlama gövdesine alttan etkiyen basıncın hesaplanması için gövdenin altından sızan suyun sızma hesabının yapılması zorunludur. Zeminde su sızma analizi yapılarak verilmiştir (Çizelge 4.1). Bu hesap sonuçları gerilme analizinde kullanılmıştır.

Çizelge 4.1 Kartalkaya dehliz regülatörü su sızma basıncı hesabı sonuçları

Kırık nokta no	İki nokta arasındaki uzunluk m.	İki nokta arasındaki sızma uz m.	Sızma uzunluğu (L) m.	Metrede yük kaybı $J=H/L$	Toplam yük kaybı $J*L$ m.	Statik basınç ton	Effektif basınç $g*f$ ton
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
1	0	0	0	0.1004	0	2.3	2.3
2	3	3	3	0.1004	0.301	5.3	5
3	0.4	0.1	3.1	0.1004	0.311	5.3	5
4	3	3	6.1	0.1004	0.612	2.3	1.68
5	9	3	9.1	0.1004	0.914	2.3	1.38
6	3	3	12.1	0.1004	1.215	5.3	4.05
7	6	2	14.1	0.1004	1.416	5.3	3.84
8	16	5.3	19.4	0.1004	1.948	4.8	2.85
9	2.5	1	20.4	0.1004	2.048	4.8	2.75
10	2.5	2.5	22.9	0.1004	2.299	2.3	0



Şekil 4.1 Alt su basıncı diyagramı.

#### 4.2. Beşe Bölünerek Kesit Tesirlerinin Hesabı

Beş yatay ve beş dikey bölgeye ayrılarak gerilme analizinin yapılması ile ilgili sonlu elemanlar grafik Şekil 4.2 de gösterilmiştir. Yapılan sonlu elemanlar analizi birinci yükleri olarak sadece bağlama ağırlığı alınmış (Çizelge 4.2) ve hesap sonucu elde edilen gerilme değerleri verilmiştir (Çizelge 4.3). Düğüm noktaları için maksimum gerilme değerleri çizelgenin altına eklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre maksimum gerilmeler emniyet gerilmesi değerinin altındadır.

Çizelge 4.2. Beşe bölünmüş kesit için 1.yükleme bağlama öz ağırlığı

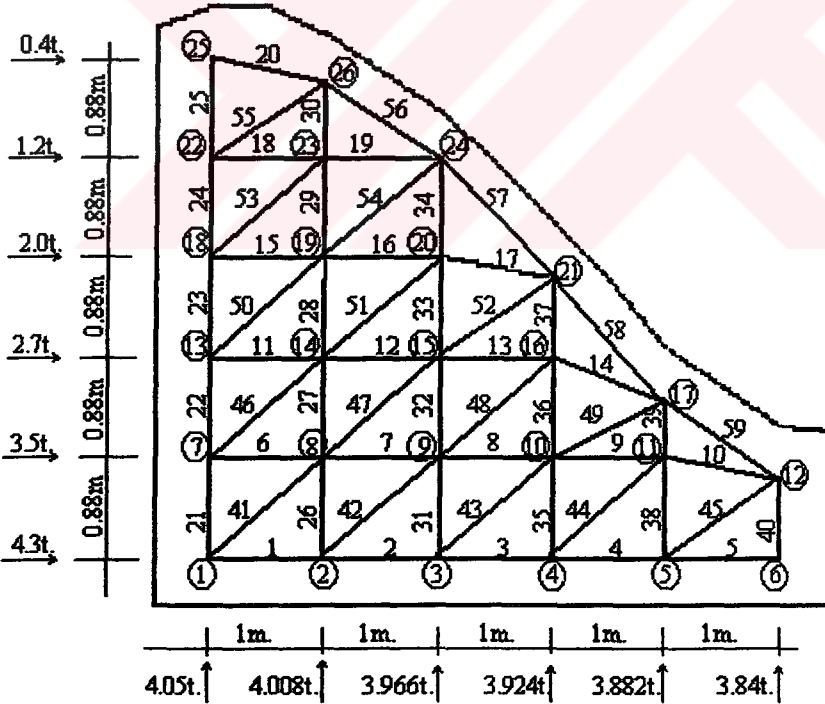
Bağlama kendi ağırlığı bütün düğümler (ton)	Yatay su basıncı		Düşey su basıncı	
	Düğüm no	Yük (ton)	Düğüm no	Yük (ton)
1.87	1	0	1	0
	7	0	2	0
	13	0	3	0
	18	0	4	0
	22	0	5	0
	25	0	6	0

Çizelge 4.3. Beşe bölünmüş kesit 1.yükleme gerilmeleri (kN/cm<sup>2</sup>)

No Gerilme	No Gerilme	No Gerilme	No Gerilme	No Gerilme
1 0.000049	13 -0.000535	25 -0.003740	37 -0.003105	49 0.000394
2 0.000043	14 -0.001150	26 -0.015863	38 -0.008419	50 -0.000977
3 0.000016	15 0.000568	27 -0.012819	39 -0.004402	51 -0.000874
4 0.000083	16 0.000227	28 -0.009444	40 -0.006768	52 -0.000109
5 -0.000097	17 -0.000433	29 -0.006004	41 -0.002339	53 -0.000757
6 0.001059	18 0.000595	30 -0.002765	42 -0.001021	54 -0.000523
7 0.000256	19 0.000026	31 -0.012496	43 0.000112	55 -0.000769
8 0.000033	20 0.000000	32 -0.008947	44 0.000401	56 -0.000769
9 -0.000232	21 -0.021275	33 -0.005991	45 0.002609	57 -0.001379
10 0.000069	22 -0.016593	34 -0.002893	46 -0.001417	58 -0.002196
11 0.000733	23 -0.012208	35 -0.009595	47 -0.001276	59 -0.002692
12 0.000330	24 -0.007968	36 -0.005962	48 -0.000728	

maksimum basınç gerilmesi = 1. düğüm-0.021275 kN/cm<sup>2</sup>

maksimum çekme gerilmesi = 5. düğüm0.002609 kN/cm<sup>2</sup>



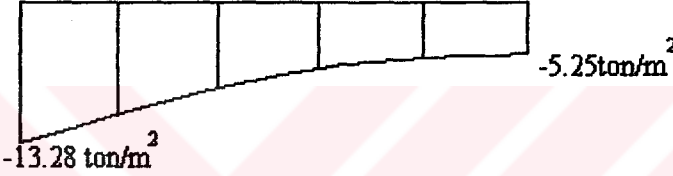
Şekil 4.2 Beşe bölünmüş kesit eleman yüzey ve düğüm noktaları.



Sadece bağlama öz ağırlığı alınarak yapılan analize göre zemin gerilmeleri elde edilerek (Çizelge 4.4) de gösterilmiş; grafik olarak verilmiştir(Şekil 4.3).

Çizelge 4.4. Beşe bölünmüş kesit birinci yük zemin gerilmeleri

Düğüm No	Gerilme (ton/m <sup>2</sup> )
1	-13.28
2	-10.14
3	-8.08
4	-6.53
5	-5.33
6	-5.25



Şekil 4.3. Bağlama kendi ağırlığı gerilme diyagramı.

Yapılan sonlu elemanlar analizi ikinci yükleri olarak bağlama ağırlığı yatay ve düşey su basıncı birlikte alınmış (Çizelge 4.5) ve hesap sonucu elde edilen gerilme değerleri verilmiştir(Çizelge 4.6). Düğüm noktaları için maksimum gerilme değerleri çizelgenin altına eklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre gerilme değerleri birinci yüklemeye olduğu gibi emniyet gerilmesinin altındadır.

Çizelge 4.5. Beşe bölünmüş kesit için 2. Yükleme tüm yükler

Bağlama kendi ağırlığı bütün düğümler (ton)	Yatay su basıncı		Düşey su basıncı	
	Düğüm no	Yük (ton)	Düğüm no	Yük (ton)
1.87	1	4,3	1	4.050
	7	3,5	2	4.008
	13	2,7	3	3.996
	18	2,0	4	3.924
	22	1,2	5	3.882
	25	0,4	6	3.840

Çizelge 4.6. Beşe bölünmüş kesit 2. yükleme gerilmeleri (kN/cm<sup>2</sup>)

No	Gerilme	No	Gerilme	No	Gerilme	No	Gerilme	No	Gerilme
1	0.000040	13	-0.005502	25	-0.003684	37	-0.003538	49	0.002991
2	-0.000042	14	-0.004090	26	-0.017704	38	-0.013675	50	-0.000543
3	-0.000044	15	-0.003467	27	-0.011695	39	-0.007795	51	0.000566
4	0.000148	16	-0.004191	28	-0.008277	40	-0.012131	52	0.002446
5	-0.000265	17	-0.003808	29	-0.005175	41	0.005902	53	-0.000710
6	-0.007059	18	-0.001646	30	-0.001904	42	0.004999	54	0.000422
7	-0.004460	19	-0.002179	31	-0.014811	43	0.004466	55	-0.000975
8	-0.002373	20	-0.000802	32	-0.009252	44	0.003069	56	-0.002009
9	-0.001675	21	-0.020037	33	-0.005324	45	0.007031	57	-0.004904
10	0.000639	22	-0.016350	34	-0.001775	46	0.000079	58	-0.007741
11	-0.004993	23	-0.012251	35	-0.012652	47	0.002452	59	-0.007798
12	-0.005359	24	-0.008042	36	-0.007342	48	0.002231		

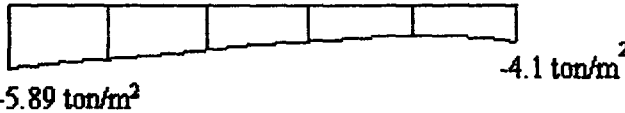
maksimum basınç gerilmesi = 1. düğüm -0.020037 kN/cm<sup>2</sup>

maksimum çekme gerilmesi = 5. düğüm 0.007031 kN/cm<sup>2</sup>

Bağlama öz ağırlığı, yatay ve düşey su basıncı birlikte alınarak yapılan analize göre zemin gerilmeleri elde edilerek (Çizelge 4.7) de gösterilmiş; grafik olarak verilmiştir (Şekil 4.4). Zeminde oluşan gerilmeler birinci yükler göre oluşan gerilmelerden daha düşük tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7. Beşe bölünmüş kesit ikinci yük zemin gerilmeleri

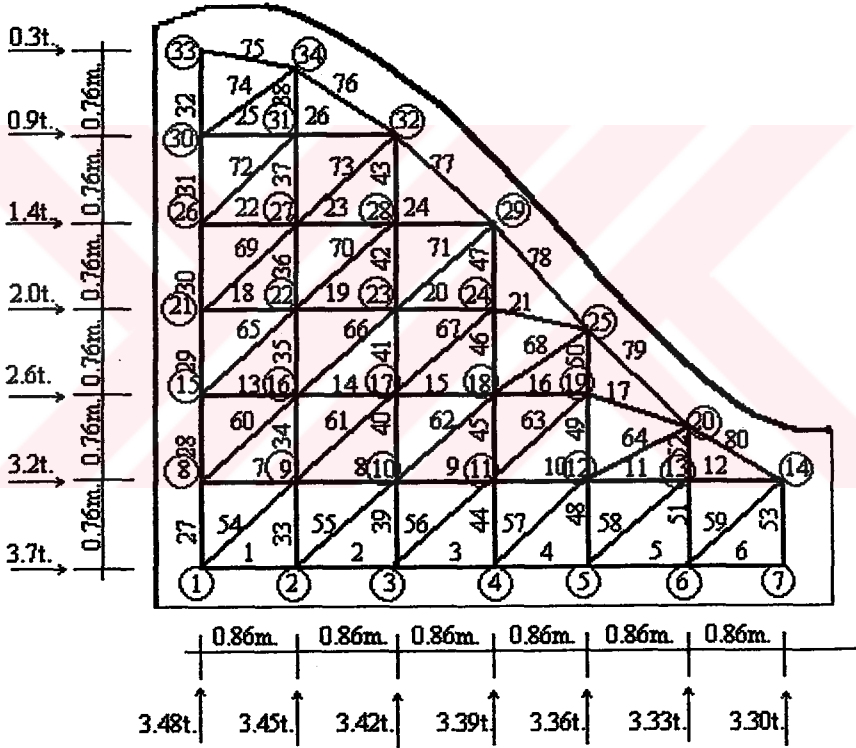
Düğüm No	Gerilme (ton/m <sup>2</sup> )
1	-5.89
2	-5.06
3	-3.83
4	-3.26
5	-2.81
6	-4.10



Şekil 4.4 Toplam yük için gerilme diyagramı.

### 4.3. Altıya Bölünerek Kesit Tesirlerinin Hesabı

Altı yatay ve altı dikey bölgeye ayrılarak gerilme analizinin yapılması ile ilgili sonlu elemanlar grafik Şekil 4.5 de gösterilmiştir. Yapılan sonlu elemanlar analizi birinci yükleri olarak sadece bağlama ağırlığı alınmış (Çizelge 4.8) ve hesap sonucu elde edilen gerilme değerleri verilmiştir (Çizelge 4.9). Düğüm noktaları için maksimum gerilme değerleri çizelgenin altına eklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre gerilme maksimum sınırların altındadır. Altı yatay ve dikey bölgeye ayrılarak yapılan analiz sonuçları bir önceki analiz ile çok yakın gerilme değerleri vermiştir. Maksimum gerilmeler kesitin yakın bölgelerinde bulunmuştur.



Şekil 4.5. Altıya bölünmüş kesit eleman yüzey ve düğüm noktaları.

Çizelge 4.8 Altıya bölünmüş kesit için 1. Yükleme bağlama öz ağırlığı

Bağlama kendi ağırlığı bütün düğümler (ton)	Yatay su basıncı		Düşey su basıncı	
	Düğüm no	Yük (ton)	Düğüm no	Yük (ton)
1.43792	1	0	1	0
	8	0	2	0
	15	0	3	0
	21	0	4	0
	26	0	5	0
	30	0	6	0
	33	0	7	0

Çizelge 4.9. Altıya bölünmüş kesit 1. yükleme gerilmeleri (kN/cm<sup>2</sup>)

No	Gerilme	No	Gerilme	No	Gerilme	No	Gerilme
1	0.000052	17	-0.001072	33	-0.017570	49	-0.005870
2	0.000047	18	0.000553	34	-0.014892	50	-0.003062
3	0.000038	19	0.000287	35	-0.011777	51	-0.008427
4	0.000016	20	-0.000278	36	-0.008664	52	-0.004440
5	0.000045	21	-0.000788	37	-0.005539	53	-0.006149
6	-0.000086	22	0.000533	38	-0.002666	54	-0.002426
7	0.001048	23	0.000282	39	-0.014266	55	-0.001219
8	0.000297	24	-0.000173	40	-0.011293	56	-0.000183
9	-0.000106	25	0.000518	41	-0.008452	57	0.000680
10	0.000016	26	-0.000015	42	-0.005615	58	0.000971
11	-0.000011	27	-0.022912	43	-0.002678	59	0.002182
12	0.000716	28	-0.018654	44	-0.011612	60	-0.001391
13	0.000721	29	-0.014673	45	-0.008163	61	-0.001422
14	0.000439	30	-0.010840	46	-0.005349	62	-0.000671
15	-0.000132	31	-0.007025	47	-0.002596	63	-0.000344
16	-0.000767	32	-0.003344	48	-0.009359	64	0.000617

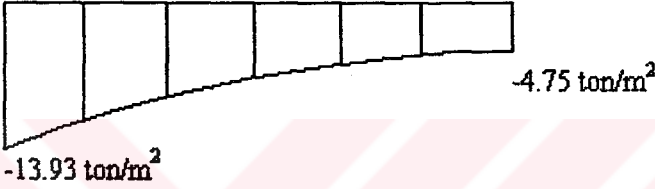
maksimum basınç gerilmesi = 1. düğüm-0.022912 kN/cm<sup>2</sup>

maksimum çekme gerilmesi = 6. düğüm0.002182 kN/cm<sup>2</sup>

Sadece bağlama öz ağırlığı alınarak yapılan analize göre zemin gerilmeleri elde edilerek (Çizelge 4.10) de gösterilmiş; grafik olarak verilmiştir(Şekil 4.6).

Çizelge 4.10. Altya bölünmüş kesit birinci yük zemin gerilmeleri

Düğüm No	Gerilme(ton/m <sup>2</sup> )
1	-13.93
2	-10.86
3	-8.87
4	-7.25
5	-6.03
6	-5.16
7	-4.75



Şekil 4.6 Bağlama kendi ağırlığı gerilme diyagramı.

Yapılan sonlu elemanlar analizi ikinci yükleri olarak bağlama ağırlığı yatay ve düşey su basıncı birlikte alınmış (Çizelge 4.11) ve hesap sonucu elde edilen gerilme değerleri verilmiştir(Çizelge 4.12). Düğüm noktaları için maksimum gerilme değerleri çizelgenin altına eklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre gerilme değerleri birinci yüklemeye olduğu gibi maksimum sınırların altındadır.

Çizelge 4.11. Altya bölünmüş kesit için 2. Yükleme tüm yük

Bağlama kendi ağırlığı bütün düğümler (ton)	Yatay su basıncı		Düşey su basıncı	
	Düğüm no	Yük (ton)	Düğüm no	Yük (ton)
1.43792	1	3.7	1	3.480
	8	3.2	2	3.450
	15	2.6	3	3.420
	21	2.0	4	3.390
	26	1.4	5	3.360
	30	0.9	6	3.330
	33	0.3	7	3.300

Çizelge 4.12. Altıya bölünmüş kesit 2. yükleme gerilmeleri (kN/cm<sup>2</sup>)

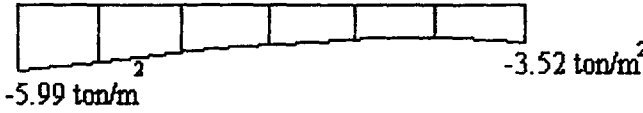
No	Gerilme	No	Gerilme	No	Gerilme	No	Gerilme	No	Gerilme
1	-0.000513	17	-0.003337	33	-0.019628	49	-0.008644	65	-0.000458
2	-0.000061	18	-0.004238	34	-0.013700	50	-0.004699	66	0.000845
3	-0.000016	19	-0.004778	35	-0.010612	51	-0.014462	67	0.001716
4	-0.000031	20	-0.005539	36	-0.007747	52	-0.008559	68	0.003089
5	0.000076	21	-0.004335	37	-0.004840	53	-0.011375	69	-0.000551
6	-0.000246	22	-0.002713	38	-0.001975	54	0.006861	70	0.000264
7	-0.007793	23	-0.003206	39	-0.016828	55	0.005782	71	0.001856
8	-0.004872	24	-0.003010	40	-0.011900	56	0.004973	72	-0.000724
9	-0.003165	25	-0.001281	41	-0.007733	57	0.004709	73	0.000107
10	-0.001236	26	-0.001824	42	-0.005055	58	0.003865	74	-0.000969
11	-0.000656	27	-0.021279	43	-0.001535	59	0.006148	75	-0.000714
12	0.002240	28	-0.018242	44	-0.014757	60	0.000466	76	-0.001808
13	-0.005703	29	-0.014595	45	-0.009687	61	0.002961	77	-0.004341
14	-0.005982	30	-0.010886	46	-0.005819	62	0.003455	78	-0.007176
15	-0.005047	31	-0.007062	47	-0.002180	63	0.002383	79	-0.009249
16	-0.004990	32	-0.003190	48	-0.013425	64	0.003395	80	-0.007875

maksimum basınç gerilmesi = 1. düğüm-0.021279 kN/cm<sup>2</sup>  
maksimum çekme gerilmesi = 1. düğüm0.006861 kN/cm<sup>2</sup>

Bağlama öz ağırlığı, yatay ve düşey su basıncı birlikte alınarak yapılan analize göre zemin gerilmeleri elde edilerek (Çizelge 4.13) de gösterilmiş; grafik olarak verilmiştir(Şekil 4.7). Zeminde oluşan gerilmeler birinci yüklere göre oluşan gerilmelerden daha düşük tespit edilmiştir.

Çizelge 4.13 Altıya bölünmüş kesit ikinci yük zemin gerilmeleri

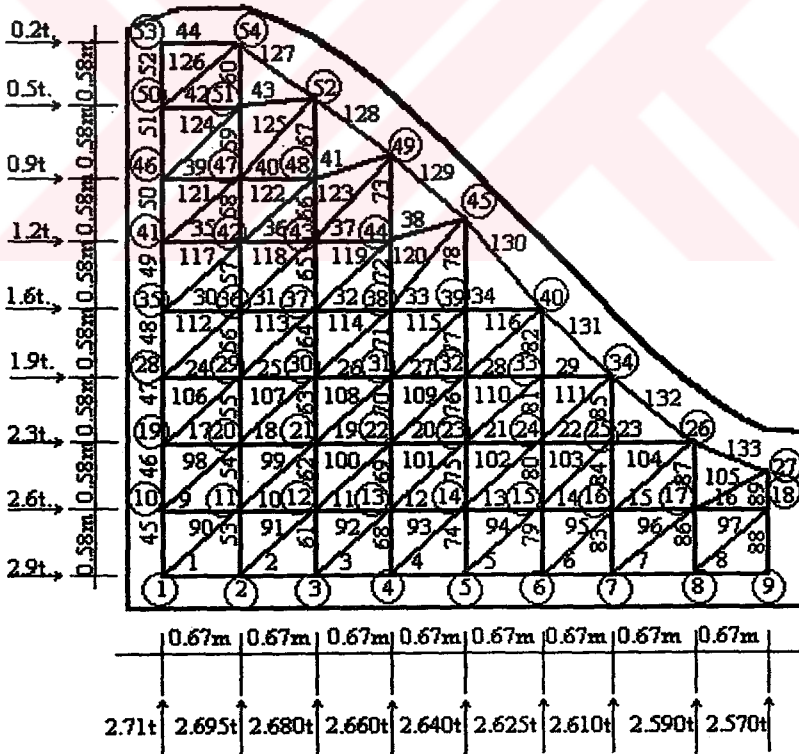
Düğüm No	Gerilme(ton/m <sup>2</sup> )
1	-5.99
2	-5.55
3	-4.46
4	-3.55
5	-3.20
6	-2.98
7	-3.52



Şekil 4.7 Toplam yük için gerilme diyagramı.

#### 4.4. Sekize Bölünerek Kesit Tesirlerinin Hesabı

Sekiz yatay ve sekiz dikey bölgeye ayrılarak gerilme analizinin yapılması ile ilgili sonlu elemanlar grafik Şekil 4.8 de gösterilmiştir. Yapılan sonlu elemanlar analizi birinci yükleri olarak sadece bağlama ağırlığı alınmış (Çizelge 4.14) ve hesap sonucu elde edilen gerilme değerleri verilmiştir (Çizelge 4.15). Düğüm noktaları için maksimum gerilme değerleri çizelgenin altına eklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre gerilme maksimum sınırların altındadır. Sekiz yatay ve dikey bölgeye ayrılarak yapılan analiz sonuçları bir önceki analiz ile çok yakın gerilme değerleri vermiştir. Maksimum gerilmeler kesitin yakın bölgelerinde bulunmuştur.



Çizelge 4.14. Sekize bölünmüş kesit için 1. yükleme bağlama öz ağırlığı

Bağlama kendi ağırlığı bütün düğümler (ton)	Yatay su basıncı		Düşey su basıncı	
	Düğüm no	Yük (ton)	Düğüm no	Yük (ton)
0.8976	1	0	1	0
	10	0	2	0
	19	0	3	0
	28	0	4	0
	35	0	5	0
	41	0	6	0
	46	0	7	0
	50	0	8	0
	53	0	9	0

Çizelge 4.15. Sekize bölünmüş kesit 1. yükleme gerilmeleri (kN/cm<sup>2</sup>)

No	Gerilme	No	Gerilme	No	Gerilme	No	Gerilme	No	Gerilme
1	0.000061	28	-0.000652	55	-0.014957	82	-0.002288	109	-0.000395
2	0.000049	29	-0.000681	56	-0.012338	83	-0.008625	110	-0.000038
3	0.000040	30	0.000314	57	-0.009700	84	-0.005843	111	0.000491
4	0.000029	31	0.000268	58	-0.007143	85	-0.002728	112	-0.000613
5	0.000028	32	-0.000190	59	-0.004400	86	-0.007402	113	-0.000807
6	0.000014	33	-0.000509	60	-0.002001	87	-0.004552	114	-0.000681
7	-0.000033	34	-0.000716	61	-0.016695	88	-0.007344	115	-0.000275
8	-0.000045	35	0.000317	62	-0.014249	89	-0.004116	116	-0.000074
9	0.001023	36	0.000170	63	-0.012038	90	-0.002448	117	-0.000416
10	0.000304	37	0.000088	64	-0.009690	91	-0.001319	118	-0.000551
11	0.000002	38	-0.000059	65	-0.007424	92	-0.000494	119	-0.000190
12	-0.000217	39	0.000286	66	-0.004707	93	0.000182	120	-0.000297
13	-0.000292	40	0.000284	67	-0.002216	94	0.000676	121	-0.000422
14	-0.000271	41	0.000123	68	-0.014166	95	0.001153	122	-0.000225
15	-0.000126	42	0.000430	69	-0.011671	96	0.001431	123	-0.000520
16	-0.000624	43	0.000147	70	-0.009364	97	0.000831	124	-0.000382
17	0.000680	44	0.000000	71	-0.007063	98	-0.001374	125	-0.000466
18	0.000530	45	-0.024537	72	-0.004608	99	-0.001530	126	-0.000573
19	0.000035	46	-0.020942	73	-0.002035	100	-0.000941	127	-0.000524
20	-0.000364	47	-0.017663	74	-0.012028	101	-0.000209	128	-0.000750
21	-0.000491	48	-0.014579	75	-0.009424	102	0.000288	129	-0.001095
22	-0.000647	49	-0.011628	76	-0.006858	103	0.000652	130	-0.001659
23	-0.000161	50	-0.008669	77	-0.004391	104	0.000977	131	-0.002444
24	0.000460	51	-0.005738	78	-0.001893	105	0.001756	132	-0.002861
25	0.000381	52	-0.002679	79	-0.010181	106	-0.000906	133	-0.001716
26	0.000019	53	-0.019612	80	-0.007491	107	-0.001172		
27	-0.000411	54	-0.017501	81	-0.004942	108	-0.000848		

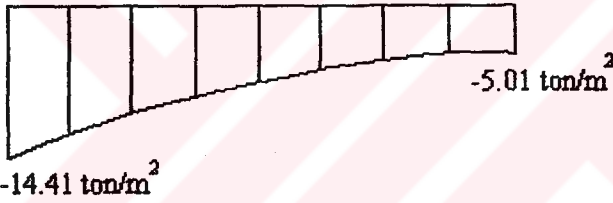


maksimum basınç gerilmesi = 1. düğüm-0.024537 kN/cm<sup>2</sup>  
maksimum çekme gerilmesi = 17. düğüm0.001756 kN/cm<sup>2</sup>

Sadece bağlama öz ağırlığı alınarak yapılan analize göre zemin gerilmeleri elde edilerek (Çizelge 4.16) de gösterilmiş; grafik olarak verilmiştir(Şekil 4.9).

Çizelge 4.16 Sekize bölünmüş kesit birinci yük zemin gerilmeleri

Düğüm No	Gerilme(ton/m <sup>2</sup> )
1	-14.41
2	-11.58
3	-9.85
4	-8.36
5	-7.13
6	-6.05
7	-5.18
8	-4.77
9	-5.01



Şekil 4.9 Bağlama kendi ağırlığı gerilme diyagramı.

Yapılan sonlu elemanlar analizi ikinci yükleri olarak bağlama ağırlığı yatay ve düşey su basıncı birlikte alınmış (Çizelge 4.17) ve hesap sonucu elde edilen gerilme değerleri verilmiştir(Çizelge 4.18). Düğüm noktaları için maksimum gerilme değerleri çizelgenin altına eklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre gerilme değerleri birinci yüklemeye olduğu gibi maksimum sınırların altındadır.

Çizelge 4.17. Sekize bölünmüş kesit için 2. Yükleme tüm yük

Bağlama kendi ağırlığı bütün düğümler (ton)	Yatay su basıncı		Düşey su basıncı	
	Düğüm no	Yük (ton)	Düğüm no	Yük (ton)
0.8976	1	2.9	1	2.710
	10	2.6	2	2.695
	19	2.3	3	2.680
	28	1.9	4	2.660
	35	1.6	5	2.640
	41	1.2	6	2.625
	46	0.9	7	2.610
	50	0.5	8	2.590
	53	0.2	9	2.570

Çizelge 4.18. Sekize bölünmüş kesit 2. yükleme gerilmeleri (kN/cm<sup>2</sup>)

No	Gerilme	No	Gerilme	No	Gerilme	No	Gerilme	No	Gerilme
1	-0.000654	28	-0.005091	55	-0.013640	82	-0.003580	109	0.003247
2	-0.000110	29	-0.002915	56	-0.011392	83	-0.013660	110	0.002918
3	-0.000048	30	-0.004646	57	-0.009095	84	-0.010528	111	0.004008
4	-0.000034	31	-0.005081	58	-0.006658	85	-0.005410	112	-0.000092
5	-0.000005	32	-0.005797	59	-0.003955	86	-0.012893	113	0.000683
6	-0.000007	33	-0.006233	60	-0.001408	87	-0.009904	114	0.001601
7	-0.000089	34	-0.004722	61	-0.019634	88	-0.012548	115	0.002014
8	-0.000167	35	-0.003336	62	-0.015238	89	-0.007793	116	0.002566
9	-0.008875	36	-0.003611	63	-0.011509	90	0.008516	117	-0.000172
1	-0.008875	37	-0.003707	64	-0.008897	91	0.007254	118	0.000487
11	-0.003584	38	-0.002601	65	-0.006823	92	0.006047	119	0.001620
12	-0.002473	39	-0.002220	66	-0.004380	93	0.005296	120	0.002532
13	-0.001692	40	-0.002246	67	-0.000881	94	0.004723	121	-0.000329
14	-0.000867	41	-0.002211	68	-0.017346	95	0.004644	122	0.000195
15	-0.000245	42	-0.000950	69	-0.013862	96	0.004639	123	0.000725
16	-0.002362	43	-0.001444	70	-0.010166	97	0.003144	124	-0.000622
17	-0.006893	44	-0.000597	71	-0.006990	98	0.001495	125	-0.000327
18	-0.006887	45	-0.021694	72	-0.005184	99	0.004276	126	-0.000723
19	-0.005798	46	-0.020011	73	-0.000666	100	0.004698	127	-0.001389
20	-0.004760	47	-0.017356	74	-0.015666	101	0.004647	128	-0.003465
21	-0.003474	48	-0.014616	75	-0.012450	102	0.004355	129	-0.005927
22	-0.003260	49	-0.011823	76	-0.008615	103	0.003655	130	-0.008205
23	-0.000537	50	-0.008927	77	-0.005500	104	0.003877	131	-0.010752
24	-0.005602	51	-0.005836	78	-0.001490	105	0.006251	132	-0.010628
25	-0.006084	52	-0.002679	79	-0.014523	106	0.000036	133	-0.006110
26	-0.006178	53	-0.021618	80	-0.011164	107	0.001486		
27	-0.005615	54	-0.016326	81	-0.008204	108	0.002764		

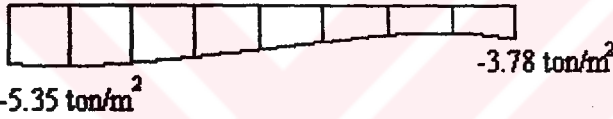
maksimum basınç gerilmesi = 1. düğüm-0.021694 kN/cm<sup>2</sup>

maksimum çekme gerilmesi = 1. düğüm0.008516 kN/cm<sup>2</sup>

Bağlama öz ağırlığı, yatay ve düşey su basıncı birlikte alınarak yapılan analize göre zemin gerilmeleri elde edilerek (Çizelge 4.19) de gösterilmiş; grafik olarak verilmiştir(Şekil 4.10). Zeminde oluşan gerilmeler birinci yüklere göre oluşan gerilmelerden daha düşük tespit edilmiştir.

Çizelge 4.19. Sekize bölünmüş kesit ikinci yük zemin gerilmeleri

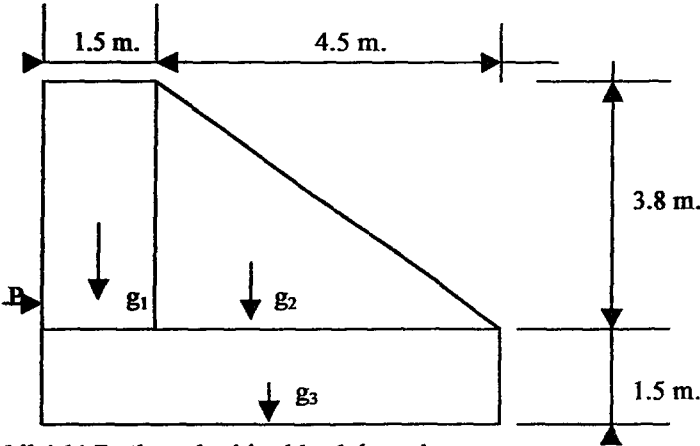
Düğüm No	Gerilme(ton/m <sup>2</sup> )
1	-5.35
2	-5.76
3	-5.18
4	-4.31
5	-3.67
6	-3.16
7	-2.76
8	-2.88
9	-3.78



Şekil 4.10 Toplam yük için gerilme diyagramı.

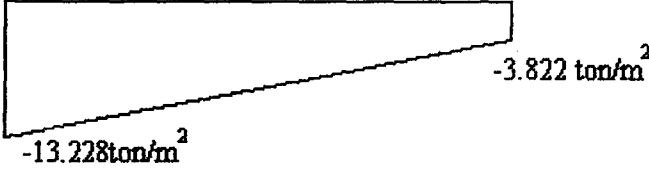
#### 4.5. Klasik Yöntem İle Zeminde Gerilme Hesabı

Klasik yöntem ile yapılan zemin gerilme analizi sonuçları hesaplanarak grafik olarak gösterilmiştir. Bağlama kesiti Şekil 4.11 de gerilme diyagramları Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Bağlama kesiti yaklaşık boyutları.

$$\begin{aligned}
 g_1 &= 1.5 \cdot 3.8 \cdot 2.2 = 12.54 \text{ ton} & x &= 0.75 \text{ m.} \\
 g_2 &= 3.8 \cdot 4.5 \cdot 2.2 / 2 = 18.81 \text{ ton} & x &= 3 \text{ m.} \\
 g_3 &= 1.5 \cdot 6 \cdot 2.2 = 19.8 \text{ ton} & x &= 3 \text{ m.} \\
 \Sigma G &= 51.15 \text{ ton} \\
 x_{a\bar{g}} &= (12.54 \cdot 0.75 + 3 \cdot 18.81 + 3 \cdot 19.8) / 51.15 = 2.448 \text{ m.} \\
 e &= 3 - 2.448 = 0.552 \text{ m.} \\
 M &= 0.552 \cdot 51.15 = 28.215 \text{ tm.} \\
 \sigma_{z\text{maks}} &= -51.15 / (1 \cdot 6) - 28.215 / ((1 \cdot 6^2) / 6) = -8.522 - 4.703 = -13.228 \text{ t/m}^2 \\
 \sigma_{z\text{min}} &= -51.15 / (1 \cdot 6) + 28.215 / ((1 \cdot 6^2) / 6) = -8.522 + 4.703 = -3.822 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$



Şekil 4.12 Öz yük için gerilme diyagramı.

$$\begin{aligned}
 &\text{Toplam yük için} \\
 P &= 5.3 \cdot 5.3 / 2 = 14.045 \text{ ton} & y &= 1.767 \text{ m.} \\
 M_{su} &= 1.767 \cdot 14.045 = 24.813 \text{ tm.} \\
 G_a &= (4.05 + 3.84) / 2 \cdot 6 = 23.67 \text{ ton} \\
 M &= 1 \cdot 0.63 = 0.63 \text{ tm.} \\
 \Sigma M &= -28.215 + 24.813 + 0.63 = 2.772 \text{ tm} \\
 \Sigma G &= -51.15 + 23.67 = 27.480 \text{ ton} \\
 \sigma_{z\text{maks}} &= -27.48 / (1 \cdot 6) - 2.772 / ((1 \cdot 6^2) / 6) = -4.58 - 0.462 = -5.042 \text{ t/m}^2 \\
 \sigma_{z\text{min}} &= -27.48 / (1 \cdot 6) + 2.772 / ((1 \cdot 6^2) / 6) = -4.58 + 0.462 = -4.118 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$



Şekil 4.13 Toplam yük için gerilme diyagramı.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

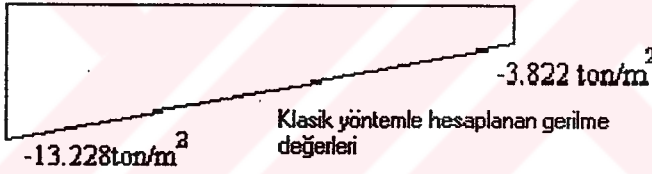
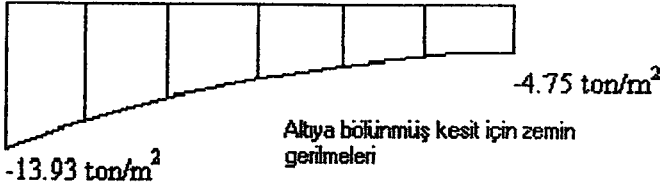
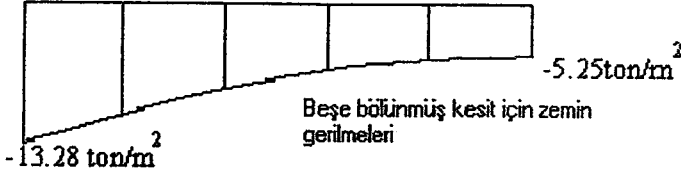
Bu çalışmada dolu gövdeli bağlama gövdelerinde oluşacak gerilme problemi ele alınmıştır. Kartalkaya projesi dehliz regülatörü gövde boyutları için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda gövde gerilmeleri ile birlikte zeminde oluşacak gerilme değerleri de elde edilmiştir.

Bağlama gövde kesiti 5, 6, 8 dikey ve yatay bölgeye bölünmüş iki farklı durum için yüklemeye yapılmıştır. Birinci yük olarak sadece bağlamanın kendi ağırlığı alınmıştır. İkinci yüklemeye için yanal su basıncı, suyun alttan kaldırma kuvveti ve bağlamanın kendi ağırlığı alınmıştır. Her üç bölünme durumunda yapılan hesapların sonucuna göre gövdede oluşan maksimum gerilme değerleri birbirine çok yakındır. Maksimum gerilmelerin oluştuğu düğüm noktaları da gövde kesitinde aynı koordinatlardadır. Tespit edilen maksimum gerilme değerleri betonun dayanımı ile karşılaştırıldığında oldukça küçük kalmaktadır. Gövde inşaatında portlant çimentosu 300 doz kullanılmıştır. Bu oranlar C16 betonunu ifade eder. C16 basınç emniyet gerilmesi  $f_{cd}=1.1 \text{ kN/cm}^2$ , çekme emniyet gerilmesi  $f_{ctd}=0.09 \text{ kN/cm}^2$  dir. Elde edilen en büyük basınç gerilmesi değeri  $0.024 \text{ kN/cm}^2$  emniyet gerilmesinin ellide biri kadar küçük kalmaktadır. Aynı şekilde en büyük çekme gerilmesi değeri  $0.008 \text{ kN/cm}^2$  çekme emniyet gerilmesinin onüçte biri kadar küçüktür. Dolayısıyla gövdede mukavemet açısından herhangi bir problem oluşmamaktadır.

Bulunan zemin gerilmeleri sadece bağlama ağırlığının alındığı durum için maksimum değerine çıkmaktadır. Gövdenin arkasında su bulunması durumunda alttan kaldırma kuvveti zemindeki gerilmeyi azaltmaktadır. Program ile bulunan maksimum zemin gerilmesi değerleri  $-13.28 \text{ ton/m}^2$ ,  $-13.93 \text{ ton/m}^2$ ,  $-14.41 \text{ ton/m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerler birbirine çok yakındır. Küçük farklar farklı bölme yaklaşıklığından kaynaklanmıştır(Şekil 5.1).

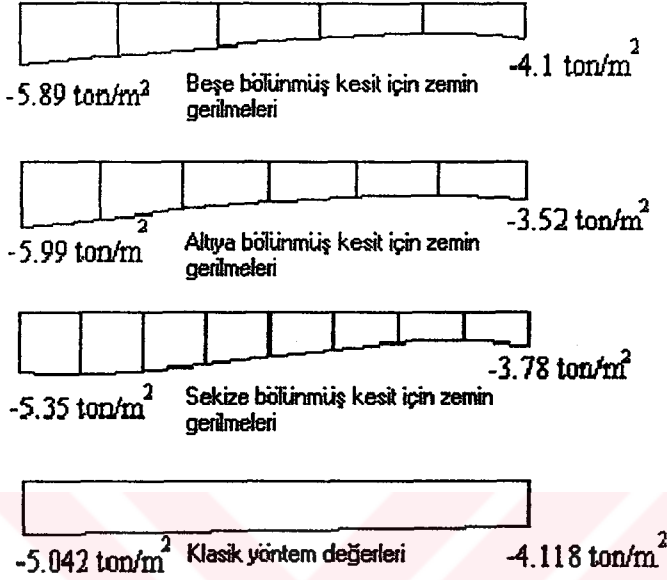
Klasik yöntemle zeminde oluşacak maksimum gerilme değeri  $-13.228 \text{ ton/m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Program çözümü ile elde edilen zemin gerilme değerleri ile klasik yöntem ile elde edilen zemin gerilme değerleri büyük oranda uyusmaktadır. Küçük farklar zemin emniyet katsayısının büyük bir değer olarak alınması nedeniyle önemsiz olarak görünmektedir.

Sekize bölünmüş kesit



Şekil 5.1. Bağlama kütle ağırlığı için zemin gerilme diyagramı .

Bütün yüklerin birlikte alındığı durum için zeminde gerilme değerleri sadece bağlama öz yükünün alındığı duruma göre daha düşük elde edilmiştir(Şekil 5.2). Suyun alttan kaldırma etki faktörü bu durumu oluşturmuştur.



Şekil 5.2. Toplam yük için zemin gerilme diyagramları.



## EK 1. Program listesi

unit baglama1;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, ComCtrls, Grids, Menus;

type

TForm1 = class(TForm)  
  RichEdit1: TRichEdit;  
  Button2: TButton;  
  Button6: TButton;  
  Button1: TButton;  
  MainMenu1: TMainMenu;  
  dosya1: TMenuItem;  
  kaydet1: TMenuItem;  
  yazdr1: TMenuItem;  
  ilem1: TMenuItem;  
  tmnsec1: TMenuItem;  
  sil1: TMenuItem;  
  Kopyala1: TMenuItem;  
  Bitir1: TMenuItem;  
  Son1: TMenuItem;

  procedure Button2Click(Sender: TObject);  
  procedure Button6Click(Sender: TObject);  
  procedure FormCreate(Sender: TObject);  
  procedure Button1Click(Sender: TObject);  
  procedure Son1Click(Sender: TObject);  
  procedure sil1Click(Sender: TObject);  
  procedure Kopyala1Click(Sender: TObject);  
  procedure tmnsec1Click(Sender: TObject);

private

  { Private declarations }

public

  { Public declarations }

end;

var

  Form1: TForm1;

implementation

```

const
  elsay1=500;
  depsay1=300;
  depsay2=300;
type
  boyut=array[1..elsay1] of real ;
  boyutint=array[1..elsay1] of integer;
  kodboyut=array[1..elsay1,1..6] of integer;
  kodboyut1=array[1..elsay1,1..3] of integer;
  matboyut=array[1..6,1..6] of real;
  eyukboyut=array[1..depsay1,1..6] of real;
  syukboyut=array[1..depsay1] of real;
  srijboyut=array[1..depsay1,1..depsay2] of real;
  sonboyut=array[1..elsay1,1..6] of real;
var
  elas,yuk,uzaklik,alan:real;
  elsay,depsay:integer;
  s,i,j,k,l,n,sup,tip:integer;
  gerilme,kesit,atmom:boyut;
  dugsay,dugsayi:integer;
  bas,son:boyutint;
  bag1,bag2:boyut;
  kod:kodboyut;
  kod1:kodboyut1;
  boyx,boyy:real;
  boy,cosaci,sinaci:boyut;
  donusum:matboyut;
  yukm,k_yukmat,yukmat:eyukboyut;
  syuk,xx:syukboyut;
  eleman1,eleman2,eleman3,eleman4:real;
  rijmat,k_rijmat:matboyut;
  srmat:srijboyut;
  m,ipl,t,kp1,jj:integer;
  big,ab,temp,quot,sum:real;
  sayi:integer;
  sonmat,sonmatson:sonboyut;
  eh:char;
  yuksay,depno:integer;
  yuksid:real;
  z:string;
  say:integer;
  devam:integer;
  maxgercekme,maxgerbasinc:real;
{$R *.DFM}
procedure degerleri_sifirla;
begin

```

```

say:=1;
elsay:=2;
dugsay:=2;
maxgercekme:=0;
maxgerbasinc:=0;
for l:=1 to depsay do
  begin
  syuk[l]:=0;
  for i:=1 to depsay do
    srmal[l,i]:=0;
  end;
for i:=1 to elsay do
  begin
  kesit[i]:=0;
  atmom[i]:=0;
  bas[i]:=0;
  son[i]:=0;
  cosaci[i]:=0;
  sinaci[i]:=0;
  boy[i]:=0;
  for j:=1 to 6 do
    begin
    kod[i,j]:=0;
    yukm[i,j]:=0;
    yukmat[i,j]:=0;
    k_yukmat[i,j]:=0;
    sonmatson[i,j]:=0;
    for n:=1 to 6 do
      begin
      donusum[j,n]:=0;
      end;
    end;
  end;
for j:=1 to dugsay do
  begin
  bag1[j]:=0;
  bag2[j]:=0;
  end;
end;
procedure deg_sif;
begin
maxgercekme:=0;
maxgerbasinc:=0;
for l:=1 to depsay do
  begin
  syuk[l]:=0;

```

```

    xx[l]:=0;
    for i:=1 to deysay do
        srmal[l,i]:=0;
    end;
for i:=1 to elsay do
    begin
    for j:=1 to 6 do
        begin
        yukm[i,j]:=0;
            yukmat[i,j]:=0;
            k_yukmat[i,j]:=0;
            sonmatson[i,j]:=0;
        end;
    end;
end;
procedure aci_boy;
begin
    for k:=1 to elsay do
        begin
        n:=bas[k];
        j:=son[k];
        boyx:=bag1[j]-bag1[n];
        boyy:=bag2[j]-bag2[n];
        boy[k]:=sqrt(sqr(boyx)+sqr(boyy));
        cosaci[k]:=boyx/boy[k];
        sinaci[k]:=boyy/boy[k];
        end;
    end;
procedure donusum_mat;
begin
    for i:=1 to 6 do
        begin
        for j:=1 to 6 do
            donusum[i,j]:=0;
        end;
        donusum[1,1]:=cosaci[k];
        donusum[1,2]:=sinaci[k];
        donusum[2,1]:=-sinaci[k];
        donusum[2,2]:=cosaci[k];
        donusum[3,3]:=1;
        donusum[4,4]:=cosaci[k];
        donusum[4,5]:=sinaci[k];
        donusum[5,4]:=-sinaci[k];
        donusum[5,5]:=cosaci[k];
        donusum[6,6]:=1;
    end;

```

```

procedure sis_yuk_mat;
begin
  yuksid:=strtofloat(inputbox('yük ','ortalama'
+' düğüm alanı','1'));
n:=0;
form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text+'bağlama kendi ağırlığı'+#13#10;
for i:=1 to dugsay do
begin
n:=n+2;
syuk[n]:=syuk[n]-yuksid*2.2;
form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text
+'düğüm no='+inttostr(i)+'yük şiddeti'+floattostr(yuksid*2.2)+#13#10;
end;
n:=0;
form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text+
'suyun alttan kaldırma etkisi'+#13#10;
for i:=1 to dugsayi do
begin
n:=n+2;
yuksid:=strtofloat(inputbox('yük ',inttostr(i)
+' düğümüne etkileyen alt su basıncı','1'));
syuk[n]:=syuk[n]+yuksid;
form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text
+'düğüm no='+inttostr(i)+'yük şiddeti'+floattostr(yuksid)+#13#10;
end;
form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text+'yanal basınç'+#13#10;
for i:=1 to dugsay do
begin
if bagl[i]=0 then
begin
yuksid:=strtofloat(inputbox('yük ',inttostr(i)
+' düğümüne etkileyen yanal su basıncı','1'));
n:=kodl[i,1];
syuk[n]:=syuk[n]+yuksid;
form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text
+'düğüm no='+inttostr(i)+'yük şiddeti'+floattostr(yuksid)+#13#10;
end;
end;
end;
{ RÜJİTLİK MATRİSİ }
{////////////////////////////////////}
procedure rij_mat;
begin
for i:=1 to 6 do
begin
for j:=1 to 6 do

```

```

    rijmat[i,j]:=0;
end;
eleman1:=elas*kesit[k]/boy[k];
eleman2:=12*elas*atmom[k]/(boy[k]*boy[k]*boy[k]);
eleman3:=6*elas*atmom[k]/sqr(boy[k]);
eleman4:=2*elas*atmom[k]/boy[k];
rijmat[1,1]:=eleman1;
rijmat[1,4]:=-eleman1;
rijmat[2,2]:=eleman2;
rijmat[2,3]:=eleman3;
rijmat[2,5]:=-eleman2;
rijmat[2,6]:=eleman3;
rijmat[3,2]:=eleman3;
rijmat[3,3]:=2*eleman4;
rijmat[3,5]:=-eleman3;
rijmat[3,6]:=eleman4;
rijmat[4,1]:=-eleman1;
rijmat[4,4]:=eleman1;
rijmat[5,2]:=-eleman2;
rijmat[5,3]:=-eleman3;
rijmat[5,5]:=eleman2;
rijmat[5,6]:=-eleman3;
rijmat[6,2]:=eleman3;
rijmat[6,3]:=eleman4;
rijmat[6,5]:=-eleman3;
rijmat[6,6]:=2*eleman4;
for i:=1 to 6 do
    begin
        for j:=1 to 6 do
            begin
                end;
            end;
        end;
    end;
procedure rij_mat_sis_koor;
begin
    for i:=1 to 6 do
        begin
            for j:=1 to 6 do
                begin
                    k_rijmat[i,j]:=0;
                    for l:=1 to 6 do
                        k_rijmat[i,j]:=k_rijmat[i,j]+donusum[l,i]*rijmat[l,j];
                    end;
                end;
            end;
        end;
    for i:=1 to 6 do
        begin

```

```

for j:=1 to 6 do
  begin
    rijmat[i,j]:=0;
    for l:=1 to 6 do
      rijmat[i,j]:=rijmat[i,j]+k_rijmat[i,l]*donusum[l,j];
    end;
  end;
end;
end;
procedure s_r_mat;
begin
  aci_boy;
for k:=1 to 6 do
  begin
    rij_mat;
    donusum_mat;
    rij_mat_sis_koor;
    for i:=1 to 6 do
      begin
        n:=kod[k,i];
        if n>0 then
          begin
            for j:=1 to 6 do
              begin
                s:=kod[k,j];
                if s>0 then
                  begin
                    srmat[n,s]:=srmat[n,s]+rijmat[i,j];
                  end;
                end;
              end;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;
end;
end;
procedure matriscoz;
begin
  m:=depsay+1;
  n:=depsay;
  for i:=1 to m do
    begin
      srmat[i,m]:=syuk[i];
    end;
  l:=n-1;
  for k:=1 to l do
    begin
      jj:=k;big:=abs(srmat[k,k]);
      kp1:=k+1;

```

```

    for i:=kp1 to n do
    begin
    ab:=abs(srmat[i,k]);
    if big<=ab then
    begin
    big:=ab; jj:=i;
    end;
    end;
if jj>k then
begin
for j:=k to m do
begin
temp:=srmat[jj,j];
srmat[jj,j]:=srmat[k,j];
srmat[k,j]:=temp;
end;
end;
for i:=kp1 to n do
begin
quot:=srmat[i,k]/srmat[k,k];
for j:=kp1 to m do
srmat[i,j]:=srmat[i,j]-quot*srmat[k,j];
end;
for i:=kp1 to n do
srmat[i,k]:=0;
end;
xx[n]:=srmat[n,m]/srmat[n,n];
for t:=1 to l do
begin
sum:=0;
i:=n-t;
ipl:=i+1;
for j:=ipl to n do
sum:=sum+srmat[i,j]*xx[j];
xx[i:]=(srmat[i,m]-sum)/srmat[i,i];
end;
for i:=1 to deptsay do
begin
end;
end;
procedure son_mat;
begin
for k:=1 to elsay do
begin
rij_mat;
donusum_mat;

```



```

rij_mat_sis_koor:
for i:=1 to 6 do
  begin
  sonmat[k,i]:=0;
  for j:=1 to 6 do
    begin
    sayi:=kod[k,j];
    if sayi>0 then
      begin
        sonmat[k,i]:=sonmat[k,i]+(rijmat[i,j]*xx[sayi]);
      end;
    end;
  end;
end;
for i:=1 to 6 do
  begin
  for j:=1 to 6 do
    begin
    sonmat[i,j]:=sonmat[i,j]-k_yukmat[i,j];
    end;
  end;
  for k:=1 to 6 do
    begin
    donusum_mat;
    for j:=1 to 6 do
      begin
      sonmatson[k,j]:=0;
      for l:=1 to 6 do
        sonmatson[k,j]:=sonmatson[k,j]+donusum[j,l]*sonmat[k,l];
      end;
    end;
  end;
form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text+'elemanlarda gerilmeler '+#13#10;
for i:=1 to 6 do
  begin
  if sinaci[i]=0 then alan:=(bag2[dugsayi+1]-bag2[1])
  else alan:=(bag1[2]-bag1[1])/2;
  if alan>(bag1[2]-bag1[1])/2 then alan:=(bag1[2]-bag1[1])/2;
  { form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text+'N= '+
    floatostrF(sonmatson[i,4],ffixed,6,2);}
  gerilme[i]:=sonmatson[i,4]/alan/1000;
  form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text+'gerilme '+
  intostr(i)+' eleman'+floatostrF(gerilme[i],ffixed,8,6)+' kN/cm^2';
  form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text+#13#10;
  if gerilme[i]>=0 then
  begin
  if gerilme[i]>maxgercekme then

```

```

begin
n:=bas[i];
maxgercekme:=gerilme[i];
end;
end
else
if gerilme[i]<maxgerbasinc then
begin
k:=bas[i];
maxgerbasinc:=gerilme[i];
end;
end;
form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text+'maksimum basınç gerilmesi = '+
inttostr(k)+' düğüm'+floattostrF(maxgerbasinc,ffFixed,8,6)+
' kN/cm^2'+#13#10;
form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text+'maksimum çekme gerilmesi = '+
inttostr(n)+' düğüm'+ floattostrF(maxgercekme,ffFixed,8,6)+
' kN/cm^2'+#13#10;
form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text+'zemin gerilmeleri'+#13#10;
for i:=(elsay-dugsayi+1) to elsay do
begin
alan:=(bag1[2]-bag1[1]);
gerilme[i]:=sonmatson[i,4]/alan;
form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text+'alan= '+floattostr(alan)+
' gerilme '+floattostrF(gerilme[i],ffFixed,6,2)+' ton/m^2'+#13#10;
end;
form1.RichEdit1.Text:=form1.RichEdit1.text+#13#10+#13#10+#13#10;
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
close;
end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
if devam=111 then elsay:=elsay-dugsayi;
deg_sif;
elas:=strtofloat(inputbox('elastisite sabiti ', 'elastisite', floattostr(elas)));
elsay:=strtoint(inputbox('eleman sayısı', 'eleman', inttostr(elsay)));
dugsayi:=strtoint(inputbox('düğüm sayısı', 'zemine bağlı düğüm sayısı'
,inttostr(dugsayi)));
dugsay:=strtoint(inputbox('düğüm sayısı', 'toplam düğüm sayısı'
,inttostr(dugsay)));
for j:=1 to elsay do
begin
bas[j]:=strtoint(inputbox(inttostr(j)+
' eleman i ucu düğüm bağı no ', 'bağ', inttostr(bas[j])));

```

```

son[j]:=strtoint(inputbox(inttostr(j)+
'. eleman j ucu düğüm bağı no ','bağ',inttostr(son[j])));
end;
for i:=1 to dugsayi do
begin
bas[i+elsay]:=i;
son[i+elsay]:=i+dugsay;
end;
n:=0;
for i:=1 to dugsayi do
begin
n:=n+1;
kod1[i,1]:=n;
kod[elsay+i,1]:=n;
n:=n+1;
kod1[i,2]:=n;
kod[elsay+i,2]:=n;
kod1[i,3]:=0;
kod[elsay+i,4]:=0;
kod[elsay+i,5]:=0;
kod[elsay+i,6]:=0;
bag1[i]:=strtfloat(inputbox(inttostr(i)+
'. düğüm x koordinatı ','koordinat',floattostr(bag1[i])));
bag1[dugsay+i]:=bag1[i];
bag2[i]:=0;
bag2[dugsay+i]:=-0.25;
end;
for i:=dugsayi+1 to dugsay do
begin
n:=n+1;
kod1[i,1]:=n;
n:=n+1;
kod1[i,2]:=n;
kod[i,3]:=0;
bag1[i]:=strtfloat(inputbox(inttostr(i)+
'. düğüm x koordinatı ','koordinat',floattostr(bag1[i])));
bag2[i]:=strtfloat(inputbox(inttostr(i)+
'. düğüm y koordinatı ','koordinat',floattostr(bag2[i])));
bag2[i]:=bag2[i];
end;
for i:=1 to dugsayi do
begin
n:=n+1;
kod[elsay+i,3]:=n;
end;
depsay:=n;

```

```

for j:=1 to dugsayi-1 do
  begin
    k:=bas[j];
    kod[j,1]:=kod1[k,1];
    kod[j,2]:=kod1[k,2];
    kod[j,3]:=kod1[k,3];
    k:=son[j];
    kod[j,4]:=kod1[k,1];
    kod[j,5]:=kod1[k,2];
    kod[j,6]:=kod1[k,3];
  end;
for j:=dugsayi to elsay do
  begin
    k:=bas[j];
    kod[j,1]:=kod1[k,1];
    kod[j,2]:=kod1[k,2];
    kod[j,3]:=kod1[k,3];
    k:=son[j];
    kod[j,4]:=kod1[k,1];
    kod[j,5]:=kod1[k,2];
    kod[j,6]:=kod1[k,3];
  end;
for i:=1 to elsay do
  begin
    kesit[i]:=10;
    atmom[i]:=0;
  end;
for i:=elsay+1 to elsay+dugsayi do
  begin
    kesit[i]:=10;
    atmom[i]:=1;
  end;
elsay:=elsay+dugsayi;
devam:=111;
  end;
  procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
degerleri_sifirla;
end;

procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);
begin
  deg_sif;
  s_r_mat;
  sis_yuk_mat;
  matriscoz;

```

```
son_mat:  
end;  
procedure TForm1.Son1Click(Sender: TObject);  
begin  
close;  
end;  
  
procedure TForm1.sil1Click(Sender: TObject);  
begin  
richedit1.ClearSelection;  
end;  
  
procedure TForm1.Kopyala1Click(Sender: TObject);  
begin  
richedit1.copytoclipboard;  
end;  
  
procedure TForm1.tmnsec1Click(Sender: TObject);  
begin  
richedit1.selectall;  
  
end;  
  
end.
```

**EK 2 Sistemi tanımlamak için girilen değerler.**

**Çizelge Ek2.1. Beşe bölünmüş kesit eleman bağ numaraları**

Ele. No	i ucu	j ucu	Ele. No	i ucu	j ucu	Ele. No	i ucu	j ucu
1	1	2	21	1	7	41	1	8
2	2	3	22	7	13	42	2	9
3	3	4	23	13	18	43	3	10
4	4	5	24	18	22	44	4	11
5	5	6	25	22	25	45	5	12
6	7	8	26	2	8	46	7	14
7	8	9	27	8	14	47	8	15
8	9	10	28	14	19	48	9	16
9	10	11	29	19	23	49	10	17
10	11	12	30	23	26	50	13	19
11	13	14	31	3	9	51	14	20
12	14	15	32	9	15	52	15	21
13	15	16	33	15	20	53	18	23
14	16	17	34	20	24	54	19	24
15	18	18	35	4	10	55	22	26
16	19	19	36	10	16	56	24	26
17	20	21	37	16	21	57	21	24
18	22	23	38	5	11	58	17	21
19	23	24	39	11	17	59	12	17
20	25	26	40	6	12			

**Çizelge Ek2.2. Beşe bölünmüş kesit düğüm noktası koordinatları**

Düğ. No	x	y	Düğ. No	x	y	Düğ. No	x	y
1	0	0	10	3	0.88	19	1	2.64
2	1	0	11	4	0.88	20	2	2.64
3	2	0	12	5	0.70	21	3	
4	3	0	13	0	1.76	22	0	3.52
5	4	0	14	1	1.76	23	1	3.52
6	5	0	15	2	1.76	24	2	3.52
7	0	0.88	16	3	1.76	25	0	4.40
8	1	0.88	17	4		26	1	
9	2	0.88	18	0	2.64			

Çizelge Ek2.3.Altıya bölünmüş kesit eleman bağ numaraları

Ele. No	i ucu	j ucu	Ele. No	i ucu	j ucu	Ele. No	i ucu	j ucu
1	1	2	28	8	15	55	2	10
2	2	3	29	15	21	56	3	11
3	3	4	30	21	26	57	4	12
4	4	5	31	26	30	58	5	13
5	5	6	32	30	33	59	6	14
6	6	7	33	2	9	60	8	16
7	8	9	34	9	16	61	9	17
8	9	10	35	16	22	62	10	18
9	10	11	36	22	27	63	11	19
10	11	12	37	27	31	64	12	20
11	12	13	38	31	34	65	15	22
12	13	14	39	3	10	66	16	23
13	15	16	40	10	17	67	17	24
14	16	17	41	17	23	68	18	25
15	17	18	42	23	28	69	21	27
16	18	19	43	28	32	70	22	28
17	19	20	44	4	11	71	23	29
18	21	22	45	11	18	72	26	31
19	22	23	46	18	24	73	27	32
20	23	24	47	24	29	74	30	34
21	24	25	48	5	12	75	33	34
22	26	27	49	12	19	76	32	34
23	27	28	50	19	25	77	29	32
24	28	29	51	6	13	78	25	29
25	30	31	52	13	20	79	20	25
26	31	32	53	7	14	80	14	20
27	1	8	54	1	9			

Çizelge Ek2.4. Altıya bölünmüş kesit düğüm noktası koordinatları

Düğ. No	x	y	Düğ. No	x	y	Düğ. No	x	y
1	0	0	13	4.30	0.76	25	3.44	
2	0.86	0	14	5.16	0.76	26	0	3.04
3	1.72	0	15	0	1.52	27	0.86	3.04
4	2.58	0	16	0.86	1.52	28	1.72	3.04
5	3.44	0	17	1.72	1.52	29	2.58	3.04
6	4.30	0	18	2.58	1.52	30	0	3.80
7	5.16	0	19	3.44	1.52	31	0.86	3.80
8	0	0.76	20	4.30		32	1.72	3.80
9	0.86	0.76	21	0	2.28	33	0	4.56
10	1.72	0.76	22	0.86	2.28	34	0.86	
11	2.58	0.76	23	1.72	2.28			
12	3.44	0.76	24	2.58	2.28			

Çizelge Ek2.5. Sekize bölünmüş kesit eleman bağ numaraları

Ele. No	i ucu	j ucu	Ele. No	i ucu	j ucu	Ele. No	i ucu	j ucu
1	1	2	46	10	19	91	2	12
2	2	3	47	19	28	92	3	13
3	3	4	48	28	35	93	4	14
4	4	5	49	35	41	94	5	15
5	5	6	50	41	46	95	6	16
6	6	7	51	46	50	96	7	17
7	7	8	52	50	53	97	8	18
8	8	9	53	2	11	98	10	20
9	10	11	54	11	20	99	11	21
10	11	12	55	20	29	100	12	22
11	12	13	56	29	36	101	13	23
12	13	14	57	36	42	102	14	24
13	14	15	58	42	47	103	15	25
14	15	16	59	47	51	104	16	26
15	16	17	60	51	54	105	17	27
16	17	18	61	3	12	106	19	29
17	19	20	62	12	21	107	20	30
18	20	21	63	21	30	108	21	31
19	21	22	64	30	37	109	22	32
20	22	23	65	37	43	110	23	33
21	23	24	66	43	48	111	24	34
22	24	25	67	48	52	112	28	36
23	25	26	68	4	13	113	29	37



Çizelge Ek2.5. Sekize bölünmüş kesit eleman bağ numaraları(devamı)

Ele. No	i ucu	j ucu	Ele. No	i ucu	j ucu	Ele. No	i ucu	j ucu
24	28	29	69	13	22	114	30	38
25	29	30	70	22	31	115	31	39
26	30	31	71	31	38	116	32	40
27	31	32	72	38	44	117	35	42
28	32	33	73	44	49	118	36	43
29	33	34	74	5	14	119	37	44
30	35	36	75	14	23	120	38	45
31	36	37	76	23	32	121	41	47
32	37	38	77	32	39	122	42	48
33	38	39	78	39	45	123	43	49
34	39	40	79	6	15	124	46	51
35	41	42	80	15	24	125	47	52
36	42	43	81	24	33	126	50	54
37	43	44	82	33	40	127	52	54
38	44	45	83	7	16	128	49	52
39	46	47	84	16	25	129	45	49
40	47	48	85	25	34	130	40	45
41	48	49	86	8	17	131	34	40
42	50	51	87	17	26	132	26	34
43	51	52	88	9	18	133	26	27
44	53	54	89	18	27			

Çizelge Ek2.6. Sekize bölünmüş kesit düğüm noktası koordinatları

Düğ. No	x	y	Düğ. No	x	y	Düğ. No	x	y
1	0	0	19	0	1.16	37	1.34	2.32
2	0.67	0	20	0.67	1.16	38	2.01	2.32
3	1.34	0	21	1.34	1.16	39	2.67	2.32
4	2.01	0	22	2.01	1.16	40	3.35	2.32
5	2.67	0	23	2.67	1.16	41	0	2.90
6	3.35	0	24	3.35	1.16	42	0.67	2.90
7	4.02	0	25	4.02	1.16	43	1.34	2.90
8	4.69	0	26	4.69	1.16	44	2.01	2.90
9	5.36	0	27	5.36	0.85	45	2.67	3.20
10	0	0.58	28	0	1.74	46	0	3.48
11	0.67	0.58	29	0.67	1.74	47	0.67	3.48
12	1.34	0.58	30	1.34	1.74	48	1.34	3.48
13	2.01	0.58	31	2.01	1.74	49	2.01	3.65
14	2.67	0.58	32	2.67	1.74	50	0	4.06
15	3.35	0.58	33	3.35	1.74	51	0.67	4.06
16	4.02	0.58	34	4.02	1.74	52	1.34	4.25
17	4.69	0.58	35	0	2.32	53	0	4.64
18	5.36	0.58	36	0.67	2.32	54	0.67	4.64

## KAYNAKLAR

- Ardıçlıoğlu, M., 1990. *Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Aslantaş Baraj Gövdesinde Sızma Analizi*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Estitüsü. Adana.
- Celasun, H., 1976. *Yapı Sistemleri Matris Analizi ve Sonlu Elemanlar Metodu*. Eskişehir Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi. Eskişehir.
- Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G., 1970 *Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları*, Cilt 1. İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Dündar, C. ve Kral, E., 1986. *Perdeli Yapı Sistemlerinin Bilgisayar İle Hesabı*. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. Adana.
- Dündar, C., Kral, E., Mengi, Y., 1986. *Yapı Mekaniğinde Bilgisayar Programları*. Teknik Yayınevi.
- Gemalmaz, E. ve Hanay, A., 1995. *Topraksu Yapıları*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları No:181
- Kasumov, A., 1997. *Yapı Statiđi, Sonlu Elemanlar Metodu, Bilgisayar Destekli Sistem Analizi (Yapı Mekaniği 1)*. Beta Basım Yayım Dağıtım A. Ş. İstanbul.
- Kral, E., Laman, M., Temel, B., 1990. *Sonlu Elemanlar Metodu ile Hazır Paket Programlar*. Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi İnşaat Mühendisliđi Bölümü. Adana.
- Nath, B., Çev. Günay, D., 1990. *Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodunun Temelleri*. İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi. Adapazarı.
- Neuman, S., Feddes, R., Bresler, E., 1975. *Finite Element Anlysis Of Two-Dimensional Flow İn Soils Considering Water Uptake By Roots*. Soil Science Society of Amerika Proceedings Volume 39, no:2 USA.
- Özşahin, N., 1989 *Su Alma Yapıları*. T. C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Ankara
- Özyar, Z., Tümer, T., Çalık, N., Özsoy, E., 1988. *Regülatör Projesi Kriterleri*. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Reinder, A. F., Shlomo, P., Eshel, B., 1975. *Finite Element Analysis of Two Dimensional Flow in Soils Considering Water Uptake by Roots*. 677 South Segoe Rd., Medison, Wis. 53711 USA
- Sungur, T., 1976. *Su Yapıları*. T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Ankara

## ÖZ GEÇMİŞ

1970 yılında Van'da dünyaya geldi. İlk orta ve lise tahsilini Van'da tamamladı. 1988 yılında başlamış olduğu Uludağ Üniversitesi Balıkesir Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümünden 1992 yılında mezun oldu. Aynı yıl Bitlis Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen serbest mühendis olarak çalışmaktadır.

