

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DAYANMA YAPILARINDA YATAY ŞİŞME BASINÇLARININ ARAKESİT  
ELEMENLARIN KULLANILDIĞI SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE  
MODELLENMESİ**

127542

**İnş. Yük. Müh. Ahmet ŞENOL**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce  
“Doktor”**

**Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

127542

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01 – Mayıs - 2002**

**Tezin Savunma Tarihi : 17 – Eylül - 2002**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa AYTEKİN**

**Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ahmet Orhan EROL**

**Jüri Üyesi : Prof. Dr. Bayram Ali UZUNER**

**Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fikri BULUT**

**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Zekai ANGIN**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU**

**Trabzon 2002**

## ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak yapılan bu çalışmada, dayanma yapılarında yatay şişme basınçlarının arakesit elemanların kullanıldığı sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi incelenmiştir.

Bu çalışmayı bana önererek, yoğun işlerine rağmen çalışmanın her aşamasında ilgisini, sabrını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, çalışmamda bana yol gösteren danışman hocam **Prof. Dr. Mustafa AYTEKİN'** e şükran ve minnetlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen bütün hocalarıma, çalışmalarımın başından sonuna kadar her konuda yakın ilgi ve yardımlarını gördüğüm iş arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bütün eğitim ve öğrenimim süresince, beni hoşgörü ve sabırla destekleyen, hiçbirşeyi benden esirgemeyen rahmetli babamı saygıyla anar, anneme ve ailemin tüm bireylerine müteşekkir olduğumu belirtir, gösterdikleri yakın ilgi ve destek dolayısıyla aileme ve eşime en derin sevgilerimi sunarım.

Bu çalışmanın bilim ve uygulama alanında çalışanlara yararlı olmasını içtenlikle temenni ederim.

**Ahmet ŞENOL**

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

|   |      |
|---|------|
| ÖNSÖZ   | II   |
| İÇİNDEKİLER   | III  |
| ÖZET  | VI   |
| SUMMARY   | VII  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ   | VIII |
| TABLolar DİZİNİ   | XII  |
| SEMBOLLER DİZİNİ  | XIII |
| 1. GENEL BİLGİLER   | 1    |
| 1.1. Giriş  | 1    |
| 1.2. Killerin Minerolojik, Fiziksel ve Mühendislik Özellikleri  | 4    |
| 1.3. Şişen Kil Zeminlerin Orijini                               | 12   |
| 1.4. Şişen Zeminlerde Şişme Mekanizması                         | 13   |
| 1.5. Zemin Suyu Potansiyeli                                     | 21   |
| 1.5.1. Matris Potansiyeli                                       | 22   |
| 1.5.2. Yerçekimi Potansiyeli                                    | 22   |
| 1.5.3. Katman Basıncı Potansiyeli                               | 22   |
| 1.6. Şişme Potansiyelinin Belirlenmesi                          | 23   |
| 1.7. Zemin Emme Gerilmesinin Belirlenmesi ile İlgili Çalışmalar | 29   |
| 1.8. Şişme Yüzdesinin Belirlenmesi ile İlgili Çalışmalar        | 34   |
| 1.9. Emme Gerilmesinin Şişme Davranışına Etkisi                 | 35   |
| 1.10. Şişmeye Etki Eden Diğer Faktörler                         | 39   |
| 1.11. Yatay Doğrultuda Şişme Basıncı                            | 41   |
| 1.11.1. Teorik yaklaşımlar                                      | 41   |
| 1.12. Başlıca Deneysel Analizler                                | 47   |
| 1.13. Zemin Elastisite Modülünün Belirlenmesi                   | 56   |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR   | 63   |
| 2.1. Şişen Zeminlerde Şekil Değişimleri ve Gerilmeler           | 63   |
| 2.2. Süreksizliğin Mekanik Özellikleri                          | 64   |
| 2.3. Şişen Zemin Modeli ve Arakesit Davranışı                   | 65   |

|   |     |
|---|-----|
| 2.4. Zemin-Yapı Elemanları  | 65  |
| 2.5. Arakesit Davranışı   | 66  |
| 2.6. Şişen Zemin Modeli   | 68  |
| 2.7. Zemin Elemanın Yük-Rijitlik-Deplasman İlişkisi   | 69  |
| 2.8. Zemin Elemanın Birim Boy Kısalması – Deplasman İlişkisi  | 70  |
| 2.9. Zeminin Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi  | 73  |
| 2.10. Eleman Rijitlik Matrisi   | 77  |
| 2.11. Zemin Elemanına Etkiyen Kuvvetler   | 77  |
| 2.12. Arakesit Eleman   | 80  |
| 2.13. Arakesit Deformasyon Modeli   | 80  |
| 2.14. Arakesitin Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi  | 82  |
| 2.15. Arakesit Elemanın Rijitlik Matrisi  | 84  |
| 2.16. Arakesitteki Başlangıç Gerilmeleri  | 85  |
| 2.17. Bilgisayar Programı “SWELPRES”  | 87  |
| 2.18. Programın Yapısı  | 87  |
| 2.19. Şişme Kuvvetleri  | 89  |
| 3. BULGULAR VE TARTIŞMA   | 91  |
| 3.1. Deneysel Çalışma İle Karşılaştırma   | 91  |
| 3.2. Dolgu Malzemesi : Şişen Zemin  | 92  |
| 3.3. Dolgu Malzemesi : Kohezyonlu Şişmeyen Zemin  | 97  |
| 3.4. Dolgu Malzemesi: Farklı Kalınlıklarda Kohezyonlu<br>Şişmeyen Dolgu Zemini İle Birlikte Şişen Zemin | 101 |
| 3.5. İncelenen Durumlar   | 106 |
| 3.5.1. İncelenen Durum .I Dolgular İstinat Duvarı Arkasında,<br>Dolgu Malzemesi : KŞZ                   | 111 |
| 3.5.2. İncelenen Durum .II Dolgular Doğal Zemin Üzerine Serilmiş,<br>Dolgu Malzemesi : KŞZ              | 122 |
| 3.5.3. İncelenen Durum .III Dolgular İstinat Duvarı Arkasında,<br>Dolgu Malzemesi : Gevşek Kum          | 129 |
| 3.5.4. İncelenen Durum .IV KŞZ ile Gevşek Kum Dolgunun Karşılaştırılması                                | 134 |

3.5.5. İncelenen Durum .V Dolgu Malzemesi Expanded Polistiren (EPS)

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Sert KöpükStyropor-----       | 134 |
| 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ----- | 139 |
| 5. KAYNAKLAR-----             | 141 |
| 6. EKLER-----                 | 148 |
| ÖZGEÇMİŞ -----                | 207 |



## ÖZET

Doğadaki gerçek durumu yansıtmaması açısından zemin ortamının daha iyi modellenmesi için özellikle zemin-yapı arasındaki süreksizlik yüzeylerinin dikkate alınması gerekmektedir. Zeminler genellikle sürekli modeller kullanılarak analiz edilmiş olmasına rağmen bu çalışmada zemin-duvar, farklı zeminler arası süreksizlik yüzeyi olarak göz önünde bulundurulmuştur. Süreksizlik yüzeyleri sonlu elemanlar metodunda kullanılan “arakesit eleman” ile modellenmiştir.

Bu çalışmada, genel bilgiler başlığı altında şişen zeminlerle ilgili literatür çalışması verilerek teorik ve deneysel çalışmalar anlatılmıştır. Yapılan çalışmalar bölümünde arakesit elemanlı sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. Bu model dikkate alınarak Fortran dilinde SWELPRES adında sonlu elemanlar programı hazırlanmıştır. Bulgular ve tartışmalar bölümünde, zeminin derinliği ile değişen emme gerilmesi dikkate alınarak yatay şişme basınçları SWELPRES ile bulunmuştur. Bulunan sonuçlar başka araştırmacılar tarafından yapılan, deneysel sonuçlar ve arakesit eleman kullanılmadan yapılmış sonlu elemanlar modeli (LATEXP2D) sonuçları ile karşılaştırılarak irdelenmiştir.

Ek olarak, çeşitli modellerde farklı dolgu kalınlıkları kullanılarak istinat duvarına aktarılan yatay basınçlar incelenmiştir. Dolgular dayanma duvarı arkasına ve zemin yüzeyine çeşitli kalınlıklarda yerleştirilmiştir. Dolgu malzemesi olarak kohezyonlu şişmeyen zemin (KŞZ) ile gevşek kum kullanılarak bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dolgu kalınlığı ve maksimum yatay basınç arasında bir ilişki geliştirilerek, tahmin edilen şişme basıncına karşılık ne kadarlık kalınlıkta dolgu yapılabileceği önceden belirlenebilecektir. Ayrıca, Sert Köpük Styropor (Expanded Polistiren, EPS ) malzemesinin dayanma duvarı arkasında kullanılabilirliği araştırılmış ve SWELPRES programının uygulanıp uygulanamayacağı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Zemin emme gerilmesi, şişen zemin, şişme basıncı, arakesit eleman, sonlu elemanlar yöntemi, dayanma yapıları

## SUMMARY

### **Modeling of Lateral Earth Pressures Transmitted to Retaining Structures by Finite Element Method Using Joint Element**

Discontinuities must be considered to express real condition of nature in the soil media. Although soil is analysed using continuities models, in this study soil-structure and various soils interaction is considered as discountinities. Discountinities have friction between soil and structure as well as various soils. Therefore, interaction between the wall and backfill is modelled by using finite element model with joint element.

In this study, under the title of introduction the literature is given about the theoretical and experimental analyses. In following chapter, the finite element model and a Fortran-90 code that is called SWELPRES is given. In the investigation and discussion chapter, transmitted lateral pressure distributions behind the retaining structure are determined by SWELPRES. The results of SWELPRES have been compared with both the results of LATEXP2D, and the experimental observations performed by others.

In addition, transmitted lateral pressure distributions behind the retaining wall are examined in various models with different thickness of backfills. Backfills and covers with various thickness are placed behind retaining wall and on the soil surface. Cohesive Non-Swelling soils and loose sand are used as backfill materials and their swelling pressures compared with each other. A relationship is developed between thickness of backfill and maximum lateral swelling pressure. Thus, how much thickness of backfill is necessary for the estimated lateral swelling pressure is determined at first. Besides, Expanded Polistiren (EPS) is research as backfill materials behind the retaining wall.

**Key Words** : Soil suction, expansive soil, swelling pressure, joint element, finite element method, retaining wall

IC. YURSEKOGRETİM KURULU  
BODUMANTASYON MERKEZİ

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1. Kaolinit gurubu killerin kristal yapısı ve şematik gösterimi-----  | 8  |
| Şekil 2. İllit gurubu killerin şematik gösterimi -----  | 9  |
| Şekil 3. Smektit gurubu killerin kristal yapısı ve şematik gösterimi -----  | 11 |
| Şekil 4. Saf sudaki kil “misel” (Aytekin, 1992) -----   | 15 |
| Şekil 5. İki kil partikülü arasındaki basınçlar (Aytekin, 1992) -----   | 16 |
| Şekil 6. Osmotik basıncın şematik gösterimi (Aytekin, 1995) -----   | 18 |
| Şekil 7. Kil partikülleri arasındaki çift tabakalar (Aytekin, 1992)-----  | 20 |
| Şekil 8. Başlağıç su muhtevası.- Hacim değişimi ilişkisi -----  | 24 |
| Şekil 9. Başlangıç kuru birim hacim ağırlığı- Hacim değişimi ilişkisi-----  | 24 |
| Şekil 10. Sürşarj basıncı – Hacim değişimi ilişkisi -----   | 25 |
| Şekil 11. Van Der Merwe metoduna göre potansiyel kabarma ilişkisi-----  | 26 |
| Şekil 12. Ön konsolidasyon basıncına göre düzeltilmiş şişme basıncı -----   | 28 |
| Şekil 13. Düzeltilmiş şişme basıncının bulunması -----  | 33 |
| Şekil 14. Emme indisi tahmini için abak -----   | 38 |
| Şekil 15. Duvar ile şişen zemin arasındaki değişik kalınlıklardaki kohezyonlu şişmeyen zemin (KŞZ) durumunda, şişen zemin için, sadece şişen zemin için, ayrıca sadece kohezyonlu şişmeyen (KŞZ) zemin için yatay basınçların derinlikle değişimi. (Katti ve diğerleri, 1983) -----   | 53 |
| Şekil 16. Şişen zemin üstünde değişik kalınlıklarda kohezyonlu şişmeyen zemin (KŞZ) durumunda, şişen zemin için, sadece şişen zemin için, ayrıca sadece kohezyonlu şişmeyen (KŞZ) zemin için yatay basınçların derinlikle değişimi. (Katti ve diğerleri, 1983) -----                  | 54 |
| Şekil 17. Duvar arkası ve şişen zemin üstünde değişik kalınlıklardaki kohezyonlu şişmeyen zemin (KŞZ) durumunda, şişen zemin için, sadece şişen zemin için, ayrıca sadece kohezyonlu şişmeyen (KŞZ) zemin için yatay basınçların derinlikle değişimi. (Katti ve diğerleri, 1983)----- | 55 |
| Şekil 18. Zeminin gerilme – şekil değiştirme eğrisi -----   | 57 |



|   |     |
|---|-----|
| Şekil 19. Direkt kesme deney düzeneği düzeneği -----  | 65  |
| Şekil 20. Arakesitin gerilme-deplasman eğrileri -----   | 67  |
| Şekil 21. Üç düğüm noktalı üçgen eleman -----   | 71  |
| Şekil 22. Arakesit eleman-----  | 81  |
| Şekil 23. Düğüm noktaları ve eleman sayıları. (a) problemin koordinat aksları,<br>(b) üçgen ve (c) arakesit elemanın lokal düğüm noktası sıralaması -----   | 88  |
| Şekil 24. Bir elemandaki başlangıç ve son emme gerilmesi değerleri -----  | 90  |
| Şekil 25. MRBC-76'ya ait derinliğe bağlı kayma gerilmesi dağılımı -----   | 95  |
| Şekil 26. Şişen zemin kullanılması halinde Katti'nin deneysel verileri, Aytekin'in<br>sayısal verileri ve arakesit kullanılmış olarak bulunan sayısal veriler<br>arasındaki yatay şişme basıncı karşılaştırması. -----  | 96  |
| Şekil 27. Şişen zemin ve kohezyonlu şişmeyen zemin için emme gerilmesi – su<br>muhtevası arasındaki ilişki -----  | 99  |
| Şekil 28. Kohezyonlu şişmeyen zemin kullanılması halinde Katti'nin deneysel<br>verileri, Aytekin'in sayısal verileri ve arakesit kullanılmış olarak bulunan<br>sayısal veriler arasındaki yatay şişme basıncı karşılaştırması -----                             | 100 |
| Şekil 29. Arka dolgu olarak 20 cm kohezyonlu şişmeyen zemin kullanılması halinde<br>Katti'nin deneysel verileri, Aytekin'in sayısal verileri ve arakesit<br>kullanılmış olarak bulunan sayısal veriler arasındaki yatay şişme basıncı<br>karşılaştırması. ----- | 102 |
| Şekil 30. Arka dolgu olarak 40 cm kohezyonlu şişmeyen zemin kullanılması halinde<br>Katti'nin deneysel verileri, Aytekin'in sayısal verileri ve arakesit<br>kullanılmış olarak bulunan sayısal veriler arasındaki yatay şişme basıncı<br>karşılaştırması. ----- | 103 |
| Şekil 31. Arka dolgu olarak 60 cm kohezyonlu şişmeyen zemin kullanılması halinde<br>Katti'nin deneysel verileri, Aytekin'in sayısal verileri ve arakesit<br>kullanılmış olarak bulunan sayısal veriler arasındaki yatay şişme basıncı<br>karşılaştırması. ----- | 104 |
| Şekil 32. Arka dolgu olarak 100 cm kohezyonlu şişmeyen zemin kullanılması halinde<br>Katti'nin deneysel verileri, Aytekin'in sayısal verileri ve arakesit<br>kullanılmış olarak bulunan sayısal veriler arasındaki yatay şişme basıncı<br>karşılaştırması ----- | 105 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 33. İki ekstrem statik şart için emme gerilmesi zarfı (kuru ve doygun), Aytekin (1992)-----   | 108 |
| Şekil 34. Zemin derinliğinin ve su muhtevasının fonksiyonu olarak şişen zeminin elastisite modülünün değişimi -----                               | 110 |
| Şekil 35. İncelenen durum için zemin sisteminin boyutları ve sınır şartları-----  | 113 |
| Şekil 36. İstinat duvarı dolgu kalınlıkları ve sonlu elemanlar modeli-----  | 114 |
| Şekil 37. İstinat duvarı arkasında yalnızca şişen zemin (dolgu yok) olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı -----  | 115 |
| Şekil 38. İstinat duvarı arkasında 0.5 metre KŞZ dolgu olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı -----               | 116 |
| Şekil 39. İstinat duvarı arkasında 1 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı -----                       | 117 |
| Şekil 40. İstinat duvarı arkasında 1.5 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı -----                     | 118 |
| Şekil 41. İstinat duvarı arkasında 2 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı -----                       | 119 |
| Şekil 42. İstinat duvarı arkasında 3 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı -----                       | 120 |
| Şekil 43. Maksimum şişme gerilmesi – Dolgu kalınlığı ilişkisi-----  | 121 |
| Şekil 44. Doğal zemin üzerine serilen dolgu kalınlıkları ve sonlu elemanlar modeli---   | 123 |
| Şekil 45. Doğal zemin üzerine serilmiş 0.5 metre KŞZ olması halinde derinlik -----  | 124 |
| Şekil 46. Doğal zemin üzerine serilmiş 1 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basınçları dağılımı -----                | 125 |
| Şekil 47. Doğal zemin üzerine serilmiş 1.5 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basınçları dağılımı -----              | 126 |
| Şekil 48. Doğal zemin üzerine serilmiş 2 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basınçları dağılımı -----                | 127 |
| Şekil 49. Doğal zemin üzerine serilmiş 3 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basınçları dağılımı -----                | 128 |
| Şekil 50. Doğal zemin üzerine serilen dolgu kalınlıkları ve sonlu elemanlar modeli  | 130 |
| Şekil 51. İstinat duvarı arkasında 0.5 metre gevşek kum dolgu zemini olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı ----- | 131 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 52. İstinat duvarı arkasında 1 metre gevşek kum dolgu zemini olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı ----- | 132 |
| Şekil 53. İstinat duvarı arkasında 1 metre gevşek kum dolgu zemini olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı ----- | 133 |
| Şekil 54. İstinat duvarı arkasında 0.5 metre kohezyonlu şişmeyen zemin ile gevşek kum dolgusu arasındaki fark basınç dağılımı farkları -----    | 135 |
| Şekil 55. İstinat duvarı arkasında 1 metre kohezyonlu şişmeyen zemin ile gevşek kum dolgusu arasındaki fark basınç dağılımı farkları -----      | 136 |
| Şekil 56. İstinat duvarı arkasında 1.5 metre kohezyonlu şişmeyen zemin ile gevşek kum dolgusu arasındaki fark basınç dağılımı farkları -----    | 137 |
| Şekil 57. EPS için direkt kesme deneyi-----   | 138 |
| Ek Şekil 1. Arakesit elamanın gerçek davranışını idealize eden alternatif iteratif çözüm şekilleri-----   | 204 |

## TABLolar DİZİNİ

|   | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| Tablo 1. Killerin sınıflandırılması -----   | 6               |
| Tablo 2. İndeks özellikleri ve muhtemel hacim değişikliği-----  | 23              |
| Tablo 3. Plastisite ve şişme potansiyeli arasındaki ilişki-----   | 27              |
| Tablo 4. Şişen killerde muhtemel hacim değişikliği -----  | 34              |
| Tablo 5. Hacim değişikliği, şişme ve muhtemel hasar arasındaki ilişki -----   | 34              |
| Tablo 6. Potansiyel kabarmanın tahmininde diğer ampirik formüller-----  | 39              |
| Tablo 7. Şişmeye etki eden faktörler (Dhowian ve diğerleri. 1984) -----   | 40              |
| Tablo 8. SPT ve CPT deneylerinden elde edilen çeşitli zemin türlerine ait<br>zemin elastisite modülü denklemleri (Bowles, 1997) ----- | 61              |
| Tablo 9. Çeşitli zemin türleri için gerilme-şekil değiştirme ortalama<br>elastisite modülü değerleri (Bowles, 1997) -----             | 62              |
| Tablo 10. Bazı zemin türleri için ortalama Poisson oranı değerleri (Bowles, 1999) ----  | 62              |
| Tablo 11. Katti'nin deneysel çalışmalarında kullandığı<br>zeminlerin Özellikleri (Wray,1987a)-----                                    | 92              |
| Tablo 12. Zemin türü ve koşullarına bağlı yatak katsayısı değerleri -----   | 111             |

## SEMBOLLER DİZİNİ

|                     |   |
|---------------------|---|
| $A_c$               | : Aktivite  |
| $C_w$               | : Nem indeksi   |
| CBR                 | : Kaliforniya taşıma oranı                                      |
| $CEA_c$             | : Katyon değiştirme aktivitesi                                  |
| CEC                 | : Zeminin katyon değiştirme kapasitesi                          |
| $E_o$               | : Sıfır su muhtevsındaki zeminin elastisite modülü              |
| $E_s$               | : Zeminin elastisite modülü                                     |
| $h_m$               | : Matris emme gerilmesi   |
| $h_s$               | : Osmotik emme gerilmesi  |
| $h_T$               | : Toplam zemin emme gerilmesi                                   |
| K                   | : Sistem rijitlik matrisi                                       |
| $K_a$               | : Aktif toprak basıncı katsayısı                                |
| $K_o$               | : Sükünet halindeki toprak basıncı katsayısı                    |
| $K_p$               | : Pasif toprak basıncı katsayısı                                |
| $k_n$               | : Normal doğrultudaki rijitlik (sürtünme direnci)               |
| $k_s$               | : Kesme doğrultudaki rijitlik (sürtünme direnci)                |
| KŞZ                 | : Kohezyonlu şişmeyen zemin                                     |
| LL                  | : Likit limit   |
| OCR                 | : Aşırı konsolidasyon oranı                                     |
| $P_o$               | : Osmotik basınç  |
| $p_F$               | : Zemin emme gerilmesi  |
| $p_{F_{başlangıç}}$ | : Başlangıç emme gerilmesi                                      |
| $p_{F_{son}}$       | : Son emme gerilmesi  |
| PI                  | : Plastisite indisi   |
| PL                  | : Plastik limit   |
| SCI                 | : Zemin emme değişimi indeksi (sıkışma indisi)                  |
| $S_p$               | : Şişme yüzdesi   |
| w                   | : Su muhtevası  |
| $w_o$               | : Teorik olarak elastisite modülü sıfır olan kilin su muhtevası |

|                    |  |
|--------------------|--|
| $\gamma$           | : Zeminin birim hacim ağırlığı                 |
| $\gamma_h$         | : Zemin emme değişimi indeksi (sıkışma indisi) |
| $\Delta pF$        | : Zemin emme gerilmesindeki değişim            |
| $\epsilon_{şişme}$ | : Şişme ile oluşan birim boy değişimi          |
| $\Phi_t$           | : Toplam zemin suyu potansiyeli                |
| $\Phi_m$           | : Matris potansiyeli                           |
| $\Phi_o$           | : Osmotik potansiyel                           |
| $\Phi_g$           | : Yerçekimi potansiyeli                        |
| $\Phi_{ov}$        | : Katman basıncı potansiyeli                   |
| $\phi$             | : İçsel sürtünme açısı                         |



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

İnşaat mühendisliği açısından zeminlerin önemli özelliklerinden biri de üzerlerindeki yüklerden bağımsız, ancak su muhtevsındaki değişimle şişme ve büzülme sonucu hacminde meydana gelen değişikliklerdir. Hacim değişikliklerinin çok yüksek boyutlara çıkması durumunda, büyük maddi hasarlar olması çeşitli mühendislik problemlerini ortaya çıkarmıştır. Çeşitli ülkelerde zeminlerin hacim değiştirmesinden dolayı meydana gelen hasarlar nedeniyle yapılan harcamalar çok büyük seviyelere çıkmıştır. Öyleki diğer doğal felaketlerden oluşan harcamaların bile üzerine çıkabilmiştir. Bu durum, problemin maddi yönünün dikkate alınacak derecede büyük olduğunu göstermektedir (Jones, Holtz, 1973). Ayrıca kil dolgu ile oluşturulan yapılarda (toprak veya kaya dolgu barajlar ve dolgular) çok ciddi hasarlara neden olmaktadır.

1940' lı yıllara kadar çeşitli yapılarda oluşan hasarların zeminde oluşan hacim değişikliklerinden meydana geldiği üzerinde çok fazla düşünülmemiştir. 1930' larda beton ve tuğla yapılardaki çatlaklarda hacim değiştiren zeminlerin rolü bilinmediğinden, problemler başka sebeplere bağlanmıştır. Fakat 1940'lı yıllardan sonra artan hava meydanları ve karayolu kaplamaları, su kanalları gibi hafif beton yapıların artmasıyla, hasarların başka sebeplerden de olabileceği anlaşılmış ve şişen zemin problemlerinin varlığı ortaya çıkmıştır. Bu yıllardan sonra, birçok araştırmalar yapılmış ve hacim değişimi ile ilgili parametrelerin belirlenebilmesi için bugüne kadar çeşitli deneysel yöntemler geliştirilmiştir.

Şişen zeminlere dünyanın her yerinde rastlamak mümkündür. Bu ülkeler başında, A.B.D, Kanada, Avustralya, Arjantin, Hindistan, İsrail, Suudi Arabistan ve Sudan gelmektedir. Bu tür zeminlere Türkiye de Trakya bölgesinde yoğun olmak üzere özellikle bölgelede rastlamak mümkündür.

LC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Hacim değiştiren zeminlere en iyi örnek killi zeminlerdir. Killi zeminlerde hacim değişiklikleri, kilin orjini, mineralojik yapısı, kil plakalarının yerleşim biçimi, zeminin gerilme geçmişi, su muhtevası, birim hacim ağırlığı, permeabilitesi, boşluk oranı ve bitki örtüsü gibi faktörlere bağlıdır.

Killer birçok durumda özelliklerinden dolayı geoteknik mühendisliğinde kullanılır. Özellikle dolgu barajların çekirdek kısmında, atık depolarında geçirimsizliğin sağlanması, göletlerin su tutması için ve kazıldığında kendini tutamayan zeminlere de destek sağlamak amaçlarıyla kullanılır. Killer zeminlere karıştırıldığında, özellikle iri daneleri fazla olan zeminlerde, bağlayıcı görevi de yaparlar. Endüstride yüksek plasiteli killer çeşitli malzemelere katılarak işlenebilirlik özelliğini artırmaktadır. Bunların başında seramik ve porselen sanayisi gelmektedir. Ancak, genelde kil varlığı şişme ve büzülme özelliklerinden dolayı da çeşitli mühendislik işlerinde istenmeyen bir malzemedir. (Önalp, 1997)

Suya doğgun olmayan bazı kil zeminlerin su emerek hacminin artması ya da bu hacim artışının engellenmesi için yüksek basınçlara ihtiyaç duyulması kilin “şişme” özelliği olarak tanımlanabilir.

Zeminde buhar halindeki mevcut nemin termal akımlarla hareket ederek daha serin bölgelerde yoğunlaşması ya da yol, havaalanı, boru hatları ve bunun gibi yapıların altındaki şişebilen kuru zemin tabakasının çeşitli sebeplerle su muhtevasının artması killi zeminin şişmesine yol açar. Kilin mineralojisi, orijini, başlangıç fiziksel durumu, su muhtevası, kil plakalarının yerleşimi ise şişmeye etki eden faktörlerin başında gelmektedir.

Şişen zeminler düşey olarak gösterdikleri hacim değişiklikleri kadar yatay olarak da şişerler. Süreksizlik yüzeylerinin ve çatlakların olduğu bölgelere doğru yatay ve düşey yerdeğiştirmeler oluşur. Yer değiştirmelerin engellenmesi durumunda her iki doğrultuda şişme basınçlarının oluşmasına sebep olur. Bu durumdaki şişme basıncı çok yüksek miktarlara çıkabilir. Chen (1975), bu basınçların 2145 kpa (20tsf) ' ye kadar çıktığını rapor etmiştir. Bazen yatay şişme basıncı düşey şişme basıncının iki katı olabilmektedir (Andy, 1989). Jashi, Katti (1980), yatay şişme basıncının 0.28 m' ye kadar düşey şişme basıncının 10 katı olduğunu göstermiştir.



Yatay basınçların tahmini çok uzun zaman öncesine dayanmaktadır. İlk mantıksal yaklaşımlar 1773' de Coulomb tarafından yapılmış, bunu 1857` de Rankine izlemiştir. Bu iki yaklaşım da farklı yöntemler kullanarak problemi basitleştirici bir duruma getirir ve çözümlerini sağlamaya yardımcı olur. Bunlara ek olarak diğer yardımcı yöntemler de başkaları tarafından geliştirilmişlerdir. Coulomb ve Rankine' in kendi adları ile anılan yöntemleri çok basit ve uygulamada çok kullanılmaktadır. Bunlar yatay zemin basınçlarının belirlenmesinde klasik yöntemler olarak kabul edilmektedirler.

Pekçok dayanma duvarlarında ve yapılarda, zemine çakılan istinat duvarları hariç, duvarın arkasında çeşitli amaçlar için kullanılmak üzere arka dolgu malzemesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu malzemelerin yerleştirilmesi ise iki metotla gerçekleştirilmektedir. Metotlardan biri, duvarın kazı içerisine inşa edilmesi ve yapı ile zemin arasındaki boşluğun doldurulması, ikinci metot ise yapının orjinal zemin seviyesinde yapılarak, yapı yüksekliği boyunca dolgu malzemesi ile doldurulması şeklinde olmaktadır.

Genellikle granüler bir malzemedan oluşan dolgu malzemelerinin kullanılması uygun olmaktadır, çünkü bu malzemeler oturma ve drenaj özellikleri bakımından kohezyonlu zeminlere göre iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca gerilme özelliklerinde de zamana bağlı olarak değişiklikler göstermemektedir. Ancak, dünyada pekçok alanda, serbest drenajlı granüler malzeme az miktarda bulunmaktadır ve fiyatı da inşaatın maliyeti karşısında çok yüksek değerlere çıkabilmektedir. (Clayton ve diğ., 1990). Kohezyonlu malzemelerin dolgu malzemesi olarak kullanılması durumunda ise dayanma yapılarının tasarımında başka belirsizliklerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Çünkü, yapı inşa edildikten sonra ortaya çıkabilecek hacim değişikliklerinin tahmini konusunda az bilgi bulunmaktadır (Aytekin, 1992).

Boşluk suyu basınçları, sınır değerlerle dengede değildir. Kil dolgu, kısmen ıslak dayanımı düşük olarak yapıldığında, artık boşluk suyu basınçlarının pozitif olur ve kalıcı konsolidasyon beklenir. Kil dolgunun kısmen kuru olarak yapılması durumunda ise yüksek direnç ve yüksek emme gerilmesi oluşacaktır. Şişme, suyun dolgu sınırlarına ulaştığı anda başlayabilir. Dolgunun kuru başlangıç permeabilitesi boşluksuyu basınçlarının dengeye gelmesini kontrol eder. İyi sıkıştırılmış, yüksek plastisiteli kil dolgularda, şişme olayı

muhtemelen yıllarca devam edecektir. Yukarıdaki nedenlerden dolayı, dayanma yapıları arkasında, şişen zeminlerden oluşan yatay basınçların tahmininde klasik metodlar kullanılmazlar. Şişme özellikleri olmayan zeminlerdeki yatay zemin basınçlarının tahmin edilmesinde pekçok yöntemin olmasına rağmen çevresinde şişen zeminlerin var olduğu istinat yapıları ve temel duvarlarında yatay basınçların tahmin ve hesabı için mühendise yardımcı olabilecek metodlar mevcut değildir.

## 1.2. Killerin Mineralojik, Fiziksel ve Mühendislik Özellikleri

Genel olarak kil, bir miktar su karıştırıldığında plastisite özelliği gösteren ince plakalardan oluşmuş bir zemin türünü ifade eder. Kil plakalarının boyutu kilin şişme özellikleri üzerinde etkilidir. Kil minerallerinin boyutu küçüldükçe zemindeki hacim değişimi artar. Bu nedenle, şişen bir zeminin şişmesi kil minerallerinin boyutuna da bağlıdır. Bu mineraller genelde genişleyebilen tabaka minerali olarak adlandırılır. Kristal yapısı ve tabakalanma sırasına göre kil minerallerini, benzer mühendislik özellikleri açısından guruplandırmak mümkündür. Kil mineralleri karışık yapıli kristaller şeklinde olup bu kristallerin dizilişine göre guruplandırılırlar ve aynı gruba ait kil mineralleri de yaklaşık olarak benzer özelliklerle birbirine bağlı olurlar. Killerin sınıflandırılmasında esas alınan özellikler,

- 1- Tabaka kalınlığı,
- 2- Tabakanın di- veya tri- oktahedral özelliği ve iyon içeriği,
- 3- Tabakaların diziliş ve diziliş düzeni,

olabilir. Bunlardan üçüncüsü killeri benzer mühendislik özelliklerine göre ayırdığından Tablo 1.'de verilen özellikler genelde kabul görmektedir.

Tüm kil mineralleri, iki, üç veya dört tabakalı kristallerden oluşmuştur. Bu tabakalar arasındaki zayıf bağların varlığı su ve diğer iyonların buralara yerleşmesine izin verebilir. Tabaka sayısı 2:1 minerallerin ayırımı bu bağlama gücü açısından yapıli ve araya giren su molekülleri ve/veya katyon türü her kile ayrı bir ad verir. Bazı zeminlerde kristal yapının kesin olarak belirlenemediği ve bir gurup tarafından içerilemeyen organik karakterli


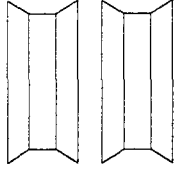
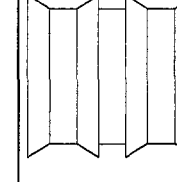
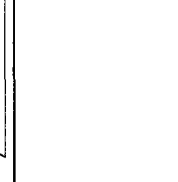

malzeme bulunabilir. Bu tür malzemelere alofan denmektedir. Benzer şekilde, kile benzer boyut ve özellikler gösteren alüminyum, demir ve silikonun koloidal ve hidratlanmış oksitleri pelte ve çökelti biçiminde daneleri kaplayarak veya onları çimentolayarak zemine çok değişik özellikler verirler. Bu oksitler hematit, gibsit, boksit gibi ayırık olarak da zemin içerisinde bulunabilirler (Önalp, 1997).

Kil mineral yapısında iki temel blok vardır. Bunlardan birincisi 4 orijinali tetrahedron yapısıdır. İkinci temel yapıda ise altı oksijen atomu arasında bir alüminyum veya magnezyum atomu bulunan oktahedron yapısıdır.

Tabakalanma sayıları cinsinden ise kil mineralleri üç gruba ayrılır; iki tabakalı, üç tabakalı ve karışık tabakalı mineraller (Moore, Reynolds,1987). İnşaat mühendisliğinde, kil mineralleri hacimsel aktivitelerine göre 3 gruba ayrılır. Bunlar, kaolin, illit ve simektit guruplarıdır. Bu guruplarda, mineraller değişik dizilişlerle silika tetrahedra ve oktahedral alüminyum gibsite tabakalanmaları ile birleşimler oluşturmaktadır.

Kaolin mineralleri 4 ayırıcı özellik içerir. Bunlar, dictite, nacrite, kaolinite, ve halloysite'dir. Yapısı bir oktahedral ve bir tetrahedral yaprağın üstüste dizilmesi ile meydana gelir. Bağlantılar rölatif olarak kuvvetlidirler. Hidrojen bağı tabakaları sınıksız tutmakta ve suyun tabakalar arasına girip şişmesini önlemektedir (Tuncan,1995). Kaolinit kristali çok sayıda (yaklaşık 100 veya daha çok) yaprağın istiflenmesinden oluşur. Bu yaprakları ayırmak zordur. Kaolinit elektrik yükü bakımından nötrdür, fakat su ile temas edince hidroksillerin bazıları ayrışır ve hidrojen atomları kristali zayıfca negatif yüklü olarak bırakarak, serbest kalırlar; bu negatif yük topraktaki suyun pozitif iyonları ile dengelenirler. İyon değişimi kaolinitte yüksek, montmorillonitte ise düşüktür. Kaolinit plakalarının kenarları üzerindeki iyon değişimi hemen gerçekleştiği halde , montmorillonit tabakaları arasındaki geçiş iyon değişimini geciktirmektedir. Montmorillonitte iyon değişimi kilin şişmesi ve tabakalar arası açıklığın artması ile meydana gelmektedir (Grim,1962). Kaolinit'in orta derecede bir plastisitesi vardır ve diğer kil minerallerinden daha büyük içsel sürtünmeye sahiptir. Bu guruptaki minerallerin özgül ağırlıkları 2,60-2,68 gr/cm<sup>3</sup> ve özgül yüzeyleri 10 m<sup>2</sup>/gr. civarındadır (Önalp,1982). Kaolinitin tipik formülü, ( Si<sub>4</sub> AL<sub>4</sub>O<sub>10</sub> (OH)<sub>8</sub> ) şeklindedir. Şekil 1. de kaolinit grubunun yapısı gösterilmiştir.

Tablo 1. Killerin sınıflandırılması

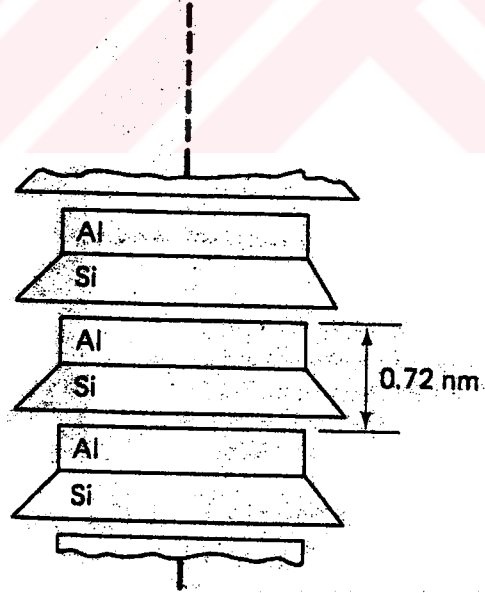
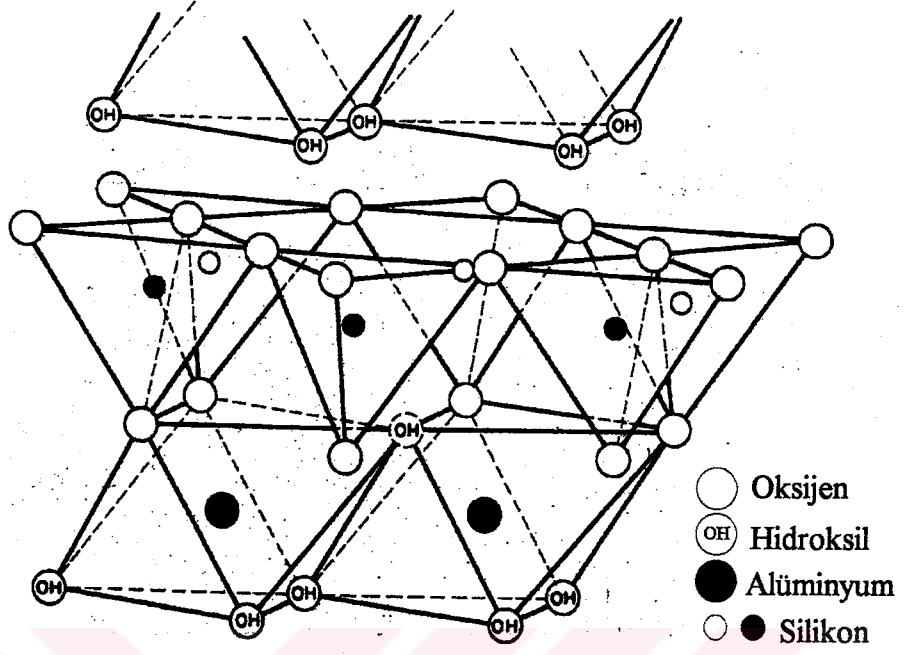
| TABAKA SAYISI | GURUP VE BİRİM YÜK   | ALT GURUP   | KİLİN TÜRÜ (*)  | TEMEL YAPISI  |
|---------------|--|---|---|---|
| 1 : 1         | Kalonit-Serpantin<br>$X \approx 0$                                 | Kaolinit<br>Serpantin   | Kaolinit , dicitit<br>Lizardit<br>halloysit   |    |
| 2 : 1         | Profilit-Talk<br>Smektit<br>montmorillonit<br>$X \approx 0.25-0.6$ | Profilitler<br>Talkler<br>Dioktahedral smektit<br>Trioktahedral smektit<br>Yada saponin | Profilit<br>Talkler<br>Montmorillonit, beidellit,<br>nontronit<br>Saponit, hektorit |    |
| 2 : 1         | Vermikülit<br>$X \approx 0.6-0.9$                                  | Dioktahedral vermikülit<br>Trioktahedral vermikülit                                     | Dioktahedral vermikülit<br>Triok. vermikülit  |   |
| 2 : 1         | Mika<br>$X \approx 1$  | Dioktahedral mika<br>Trioktahedral mika   | Muskovit<br>Biyotit   |  |
| 2 : 1         | Gevrek mika<br>$X \approx 2$                                       | Diokt. gevrek mika<br>Triokt. Gevrek mika   | Margarit<br>Klintonit   |  |
| 2 : 1 : 1     | Klorit<br>$X$ - değişken   | Dioktahedral klorit<br>Di/Tri-oktahedral klorit<br>Trioktahedral klorit                 | Donbasit<br>Sudoit<br>Klinoklor   |  |

(\*) Yalnız birkaç örnek verilmiştir

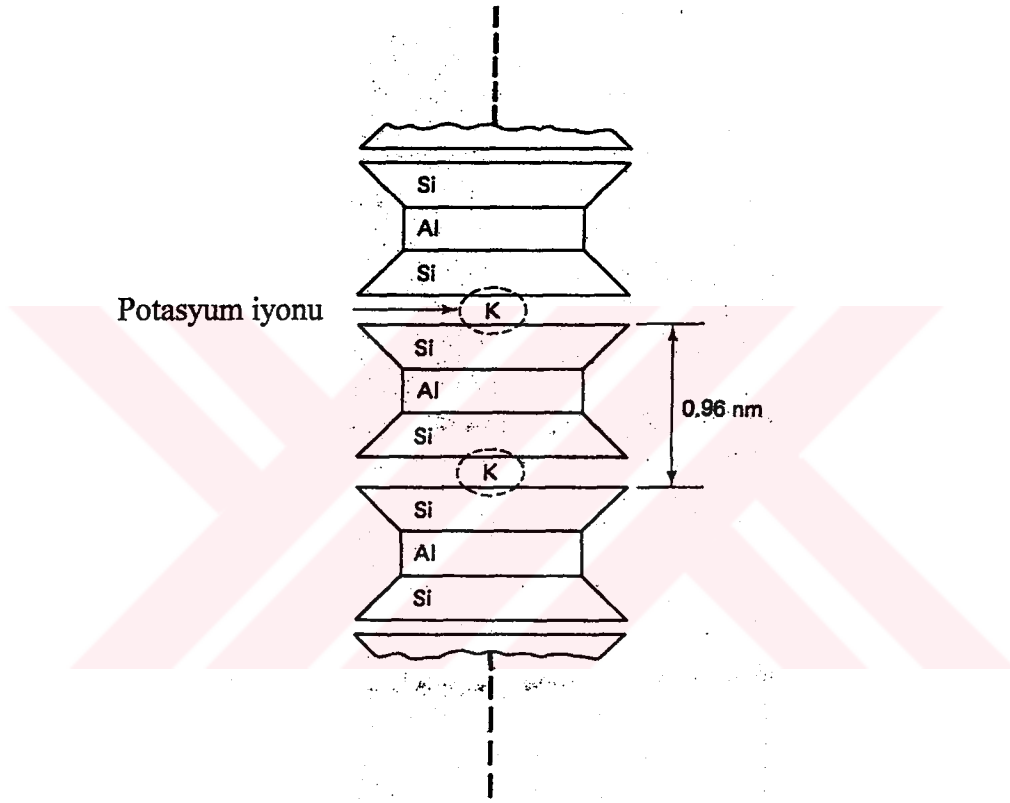
İllit, muskovite benzeyen ancak daha az potasyum ve çok daha fazla su içeren bir kil mineralidir. Bağımsız bir mineral mi veya karışık tabakalı mineral mi olduğu belirlenmemiştir. İllit'in 10-40 me olan kation değiştirme kapasitesi kaolinit ve smektit gruplarının değerleri arasındadır. Mikalara oranla daha az olan potasyum iyonlarının çoğunluğu yer değiştirmez ve su, tabakaları arasına kısıtlı hacimlerde girebilir. Tabakalar arası uzaklık 10Å dolayındadır. Elektron mikroskobu incelemeleri illit danelerinin doğada çok küçük boyutlarda ortaya çıktığını göstermektedir. Şekil 2. de illit in şematik gösterimi verilmiştir.

Smektitler ise tabaka birim yükü 0,2-0,6 arasında değişen 2:1 tabakalı grubun üyesidir. Tabakalarda iyonik yer değiştirmeler negatif yük belirmesine neden olur. Bu grubun en önemli özelliklerinden biri, tabakalar arasına su ve organik sıvılar girmesi sonucu tabaka kalınlığının değişkenlik göstermesidir. Bu olayın sonucu, hacimde büyük artışlar oluşmakta, hacim artışlarının önlenmesi halinde ise şişme basınçları meydana gelmektedir. Smektit kristalinin teorik yapısı kafeste yer alan kation dışında  $((OH)_4 Si_8 Al_4 O_{20} \cdot nH_2 O)$  olarak verilir (Önalp 1997).

Killer çok nadir olarak saf halde bulunurlar. Diğer yabancı maddeler ile karışık haldeki killerin fiziksel özellikleri, bu maddelerin etkisi sonucunda daha karmaşıktır. Fiziko kimyasal özellikler bakımından alkali bazlar, toprak alkaliler ve asitler killerin karakterini değiştirirler. Ayrıca killerin morfolojik ve kolloidal karakterini de göz önünde bulundurmak gerekir. Kolloidlik karakteri özellikle montmorillonitlerde ve bentonitlerde bariz olarak görülmektedir. Şekil 3. de Montmorillonit grubunun yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1. Kaolinit gurubu kristal yapısı ve şematik gösterimi



Şekil 2. İllit grubu killerin şematik gösterimi

Bentonitler kendi ağırlıklarının 6-7 katı su ile şişerler ve jelliklerini artırırlar (Sowers,Sowers, 1970). İlkel ayrışmalar sonucunda kolloidal şekiller altında silisyum ve aliminyumun serbest kalması mümkün olabilir. Silisyum negatif, aliminyum pozitif bir kolloid meydana getirir. Bunların serbest kalması sonucunda karşılıklı pıhtılaşma oluşur ve pıhtı gitgide yavaş fakat sürekli olarak aliminyum hidro silikat kristaline döner.

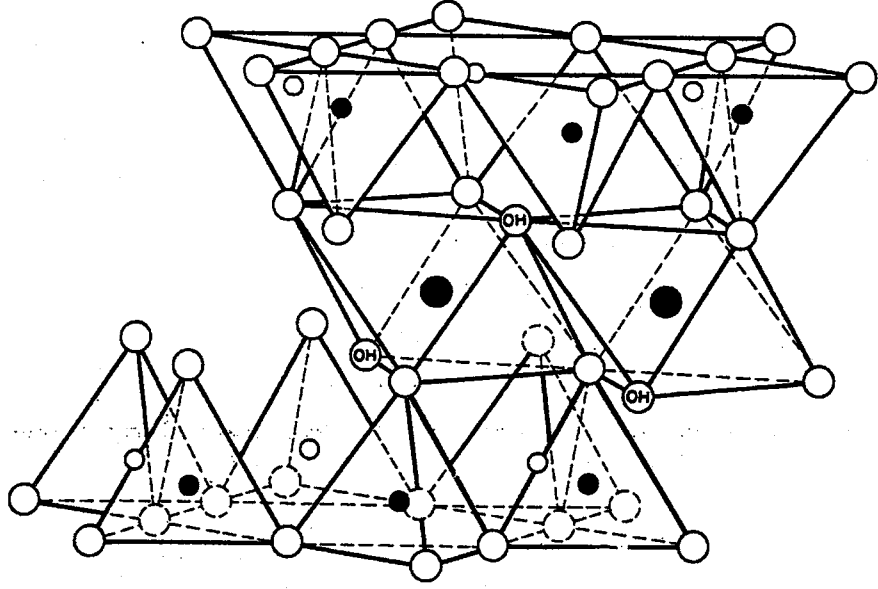
Killerin başlıca özelliklerinden biri de ısı işlemlerde eski haline gelmeyecek şekilde değişikliğe uğramalarıdır. Diğer bir özelliği de sülfirik asit ile sulandırıldıktan sonra alün formasyonuna sahip olmalarıdır (çift potasyum sülfat ve kuvvetli alüminyum hidrat). Killerin yoğunlukları içerdikleri kristal arası su oranlarıyla orantılı olarak değişir. Killerin yoğunlukları genel olarak 2,0-2,3 gr/cm<sup>3</sup> arasındadır. Teorik olarak killer geçirgen değildir. Gerçekte ise çok az geçirgendirler ve kil danelerinin arasındaki boşluk çapı 50 milimikronu geçmez. Bu nedenle geçirgen olmadığı halde kilin içerisinde kapiler yollarla giren su daima bulunur.

Killerin değişik cinsleri, oluşum farklılıkları ve mineralleri, killerin özellikle şişme davranışını değiştirmektedir. Şişmeye yol açan kil minerallerinin ana kaynağı mağmatik kayalar, özellikle bazalttır. Feldspat bulunan metamorfik ve püskürük kayaların kimyasal ayrışması sonucunda ortaya çıkan montmorillonit şişmeye neden olan en önemli kil mineralidir (Gilot,1963). Lambe ,Whitman (1969), Millot (1970), Chen (1983), şişmenin ayrışma koşulları ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Örneğin, montmorillonit ve kaolinit, mağmatik kayaların ayrışmasıyla oluşmasına rağmen ayrışma koşullarındaki farklılıklar nedeniyle montmorillonit yüksek, kaolinit düşük şişme potansiyeline sahiptir. Ayrışmamış kayalarda ana kil mineral klorittir. Kayaçtaki permeabilitenin düşük olması nedeniyle ayrışma sırasında yıkama oluşur ve klorit simektite dönüşür.

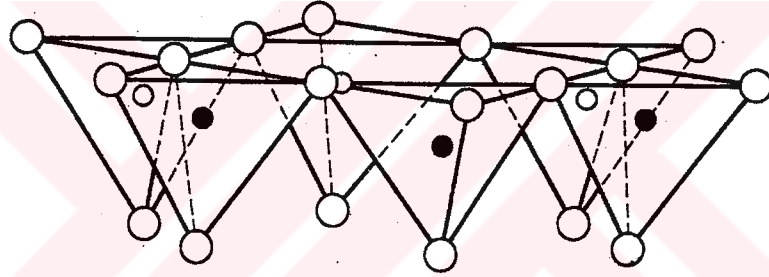
Kristal yapıya sahip kil minerallerinin özgül yüzeyleri büyük dolayısıyla su tutma kapasiteleri fazladır. Örneğin, illitten sekiz kat daha fazla yüzeye sahip montmorillonitin su tutma kapasitesi diğerine oranla daha büyüktür. Değişebilir katyon cinsi ve miktarı da önemli bir faktördür. Özellikle kil minerallerinin üzerindeki negatif elektron şarjları tabakalar arası bağ kuvvetlerini ve katyon kapasitesini, dolayısıyla kilin şişme potansiyelini tamamıyla artırmaktadır.

Bunlardan başka killer serpantin grubu, pirofilit-talk grubu, vermikülit grubu ve mika grubu olmak üzere de ayrılmaktadır. Ancak burada belli başlı olan kaolinit, illit simektit üzerinde durulmuştur.

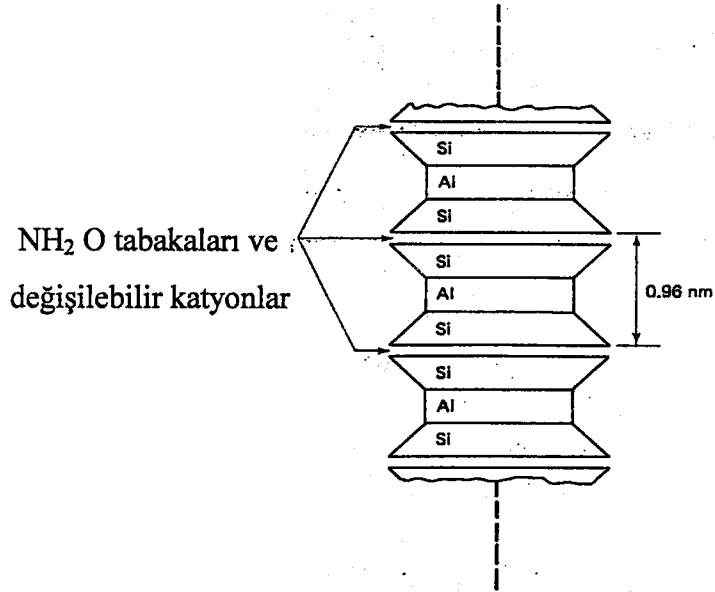




$nH_2$  Tabakaları ve değiştirilebilir katyonlar



○ Oksijen ○ OH Hidroksil ● Alüminyum, demir, magnezyum



Şekil 3. Montmorillonit grubu killerin kristal yapısı ve şematik gösterimi

### 1.3. Şişen Kil Zeminlerin Orijini

Kil minerallerinin suyla temas ettiğinde şişebilmesini sağlayan kimyasal oluşumu, bazı yöntem ve koşulların karmaşık bir kombinezonudur. Kilin mineralojisini belirleyen yöntemler, ana kayacın kompozisyonu ve maruz kaldığı fiziksel ve kimyasal ayrışmanın derecesi ile ilgilidir. Şişmeye yol açan kil mineralinin ana kaynağı mağmatik kayalar, özellikle de bazalttır. Ayrışma işleminin başlangıç ve ara safhalardaki ana kayacın oluşumu kil cinsini belirler. Ayrışma şartlarındaki farklılıklar zeminin şişme özelliği ile doğrudan ilişkilidir. Örneğin, hem montmorillonit hem de kaolinit mağmatik kayalardan ayrılmış kil mineralleri oldukları halde, ayrışma şartlarındaki farklılıklar nedeniyle montmorillonit yüksek, kaolin ise düşük şişme potansiyeline sahiptir. Paige ve Green (1980), bazaltın ayrışma sırasında katyon teminine çalıştığını, bunun da Ca ve Mg olarak montmorillonitin oluşumuna katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir.

**Donaldson (1967)**, şişen kil zeminlerin ana kayacını iki grupta sınıflandırmıştır. Birinci grup kayalar metal ağırlıklı, silika yüzdesi nispeten düşük mağmatik kayalar olan bazalt ve volkanik camları içerir. İkinci grup kayalar ise montmorillonit içeren çökel kayalardan şeyl, kiltası ve volkanik küllerdir.

**Krumbein, Sloss (1963)**, fiziksel ayrışmanın ana malzemenin kompozisyonunda önemli bir değişikliğe yol açmadan dane çapını ve birim hacim ağırlığını değiştirdiğini, kimyasal ve biyolojik ayrışmanın ise zeminin agrega durumunda ve kimyasal kompozisyonunda önemli değişimlere yol açtığını göstermiştir. Suyun ayrışmada önemli rol oynaması ise iklim koşullarının ayrışma üzerinde önemli rolü olduğunu ortaya çıkarır.

**Millot'a (1970)** göre tropikal iklimlerde bazaltın aşınması ile en önemli şişen kil minerali olan montmorillonite dönüşmesi iki aşamada olmaktadır. İlk olarak nemli mevsimler boyunca hidroliz sonucu bazalt, silikat, alüminyum ve magnezyuma ayrışır. Drenajın olmadığı alanlarda bu mineraller taşınmazlar.

#### 1.4. Şişen Zeminlerde Şişme Mekanizması

Killerde hacim değişikliği, uygulanan farklı dış gerilmelerin, emmenin ve zemin danelerinin etrafını kuşatan su tabakasının varlığı nedeniyle meydana gelmektedir. Kil daneleri etrafında adsorbe su denilen, hemen hemen bitişik dört su tabakasının var olduğu ve bunların kil danesine güçlü bir şekilde bağlandıkları çeşitli analizler sonucu belirlenmiştir. Bu suyun dışında bulunan, daha zayıf bir bağla bağlanmış olan bir su tabakası mevcuttur ve buna da çift tabaka denilmektedir. Adsorbe su tabakasının ve çift tabakanın kalınlıklarındaki değişiklikler ise zeminin rötresine ve şişmesine neden olmaktadır (Schreiner, 1987).

Aralarındaki uzaklığa bağlı olarak, iki cisim arasında karşılıklı itme ve çekme kuvvetlerinin varlığı fiziğin temel kavramlarından biridir. Bu kuvvetler elektron bulutlarının karışması ile beliren Born itme kuvveti; maddenin maddeyi çekişini gösteren Van der Waal kuvveti olarak özetlenebilir. Aynı kurallar doğal olarak killer içinde geçerlidir. Ancak killerin yüzey alanı, boyutu ve kütesine göre öyle büyüktür ki insanın günlük yaşamında, cisimler arasında fark edemediği bu kuvvetler kil boyutuna inildiğinde, özellikle kilin su ortamında bulunması durumunda dengeyi tümüyle etkileyebilmektedir. Su için de bulunan ve özgül ağırlığı suyun üç katına varan kil ve kolloidlerin çok uzun süre dibe çökmeden yüzebilmesi bu özelliğin basit bir göstergesidir. (Önalp, 1997).

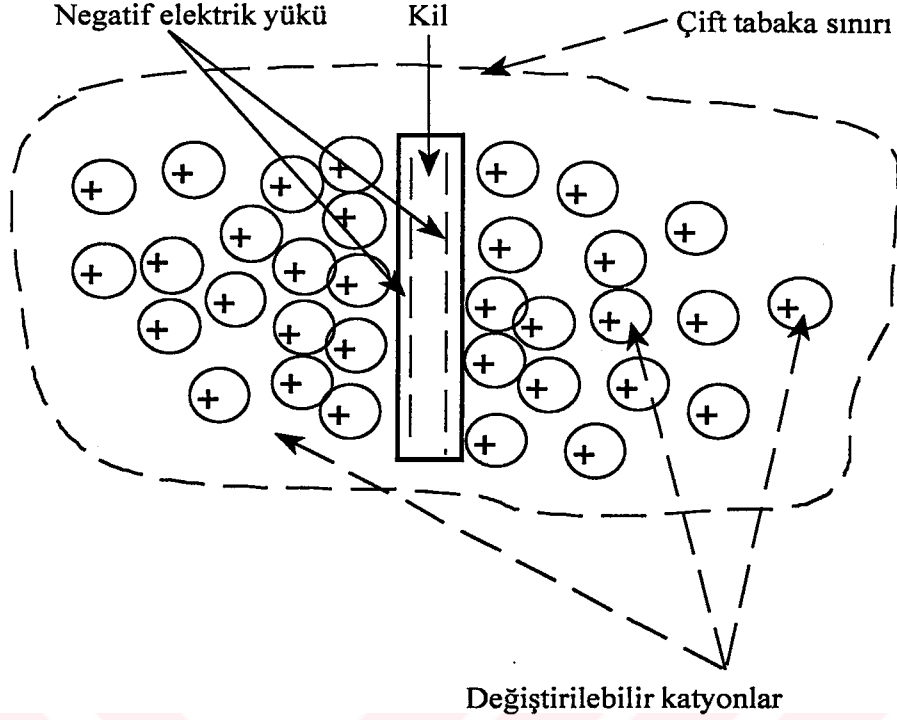
Kapilarite, zemin ile su molekülleri arasında meydana gelen yüzey gerilim kuvvetleri ile oluşur. Kuvvetlerin büyüklüğü zemin boşluklarına giren suyun oluşturduğu menüsküsün konkavlığına ve boşluk büyüklüğüne bağlıdır (Aytekin, 1992).

İçerisinde London kuvvetlerini ve hidrojen bağlarını bulunduran Van der Waal kuvvetleri, kil minarelleri yüzeyinde gelişen zayıf elektriksel çekim kuvvetleridir. Kil minerali yüzeyine bitişik ve yüzey sınırlarına yakın bir yerdedir. Bu kuvvetler, kuru ve yaş durumlarda, suyun adsorbesini kontrol eder. Kuvvetler adsorbe işlemine başladıktan sonra kil yüzeylerine su moleküllerinin bağlanmasında küçük bir rol oynarlar. Van der Waal kuvvetleri 3 tipte zayıf elektiriksel çekim kuvveti içerir. Bunlar; dipol-dipol çekim kuvvetleri, indiksiyon etki kuvvetleri ve London kuvvetleridir (Snethen, 1979).

Dipol-dipol çekim kuvvetleri kalıcı momentler oluşturan polar molekülleri arasında oluşur ve kil minerallerini çevreleyen su moleküllerinin yönlendirilmesinden de bir miktar sorumludur.

İndüksiyon etki kuvvetleri dipol-dipol çekimine benzer ve bir dipol ile diğer dipolün polarize olmuş elektronunun arasındaki etkileşim tarafından yönlendirilmemiş moleküllerin arasında oluşur. Dağıtıcı olarak da adlandırılan London kuvvetleri, bütün moleküller arasında yada polar olmayan türlerdeki son derece küçük partiküller içerisinde oluşur. Bu kuvvetler, iki partikülün birbirine doğru yaklaşmaya başladıkları zaman aralarındaki sürekli olmayan dipol moment ve ani gelişmelerden ortaya çıkar. Van der Waal kuvvetlerinin etkisi, kil minerallerinin suyu çektikleri yerlerde çift tabakanın oluşmasıyla hızlı bir şekilde ortaya çıkar (White, 1979). Bu olayın ölçülmesi oldukça zordur. Bu yapılsa bile çok az veya pratik değeri olmayan bir bilgi imkanı verir. Bu nedenle, hacim değişmelerinden sorumlu mikron mertebesindeki mekanizmaların sayısı üç'e düşmektedir. Bunlar; kil partikül çekimi, katyon hidratasyonu ve osmotik itme' dir. Pek çok durumda, bu üç mekanizma başlıca şişme kaynağının temelidir. Bu durum, şişmeye osmotik itme basıncının neden olduğu optimum su muhtevasının ıslak tarafında sıkıştırılmış örnekler için oluşmaktadır ve optimum su muhtevasının kuru tarafında sıkıştırılan örnekler için, şişme çeşitli faktörlerden etkilenir. Bunlar; katyon hidratasyonu, su için kil partikül yüzeylerinin çekimi, london Van der Waal kuvvetleri, elastik geri tepme, partikül uyumu ve mevcut hava, ek olarak da osmotik basınçlardır (Ladd, 1960).

Doymun killerde herhangi bir hacim artışı, kildeki suyun hacmindeki artışa eşit gibi düşünülebilir. Şekil 4. de bir kil partikülü saf suya daldırılmış durumdadır. Yeterli değişebilir katyonlar, katyonların elektiriksel ağ sisteminin oluşumu artırmak için partikülleri sararlar. Bu sistem kil "misel" olarak adlandırılır. Misel içerisindeki iyonlar ve su çift tabakayı oluşturur. Sudaki bir kil çözeltisinde anyon ve katyon konsantrasyonundaki değişim, kil partikülleri yüzey mesafesinin bir fonksiyonu olarak kolloidal kimya prensiplerinde hesaplanabilir (Aytekin, 1992).



Şekil 4. Saf sudaki kil “misel” (Aytekin, 1992)

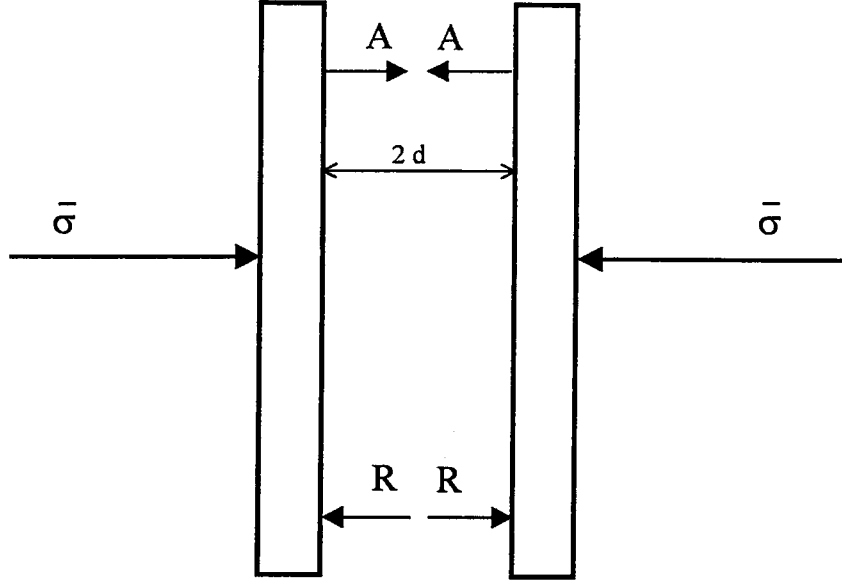
Kil daneleri suyla karşılaştığında, yani su molekülleri kil yüzeyine yapışık katyonlara bağlandığında (hidratlanma), killeri yeni dengeyi sağlamak için yüzeyden ve birbirlerinden ayrılma eğilimi gösterirler. Böylece saf suya giren bir kil partikülünün yüzeyindeki katyonlar kil yüzeyleri arasındaki sıvı içerisine doğru girerek iki tabakayı birbirinden uzaklaştırır. Böylece genişleyerek “çift tabaka” olarak anılan bölgeyi oluştururlar.

Şişmenin neden olduğu kil partikülleri arasındaki “R” ile ifade edilen gerilme, iki kil partikülü arasındaki ilişkiden doğan itme gerilmesidir. Toplam çekim gerilmesi ise “A” olarak ifade edilmektedir. Şekil 5. de bu gerilmeler görülmektedir.

Standart konsolidasyon deneyinde sınır şartlarının değiştirilmesi ile oluşan numunenin kabarma miktarı direkt olarak efektif gerilmelerin azalmasıyla ilişkilidir. Efektif gerilmeler kil partikülleri arasında hareket eden fiziko-kimyasal kuvvetlerle ilişkilendirilebilir.

$$\bar{\sigma} = R - A \quad (1)$$

burada;  $\bar{\sigma}$  = efektif gerilmedir.



Şekil 5. İki kil partikülü arasındaki gerilmeler (Aytekin, 1992)

$R$ 'nin değeri zeminlerde şişme olması için  $A$  değerinden büyük olmalıdır. Bu itme gerilmesinin pek çok bileşkesinin olduğu bilinir. Bunlar;

1- En önemli bileşkeye, serbest haldeki boşluk suyundan çok, çift tabakalı kil de iyon konsantrasyonundan artan osmotik basınçlar neden olur.

2- Sudaki kil partiküllerini saran ikincil saçak etkisi veya London van der Waal kuvvetleridir.

3- Suyun çift tabakadaki elektrik alan etkisidir.

Zemin suyu içerisinde bulunan çözeltiler suyun termodinamik özelliklerini etkileyerek potansiyel etkisini azaltırlar. Zemin suyu içerisinde bulunan bu çözeltiler özellikle buhar basıncını düşürürler.

Bu durum suyun sıvı fazda akımını önemli ölçüde etkilemez iken çözeltiler ile su arasında bir zar bulunması halinde su akımını büyük ölçüde etkiler. Osmotik etki buhar yayılımında ve zemin ile bitkilerin karşılıklı etkileşiminde önemlidir. Şekil 6. da görüldüğü

gibi saf su ile çözelti arasına konulan yarı geçirimli ince zar dikkate alınır. Burada saf su, çözelti tarafına doğru akarak solda bulunan çözelti seviyesini, çözelti içerisine giren suyun yayılma (difüzyon) basıncına eşdeğer bir hidrostatik basınç elde edilinceye kadar yükseltecektir (Aytekin, 1995).

Yükselmenin durması ve dengeye gelmesi durumunda ki hidrostatik basınç osmotik basınç olarak adlandırılır ve aşağıdaki bağıntıdan elde edilebilir.

$$P_o = R \times T (C_a - C_b) \quad (2)$$

burada;

$P_o$  = osmotik basınç (gr/cm<sup>2</sup>)

$R \times T$  = 2,5x 10<sup>7</sup> gr/moler (20 °C' de)

R = gaz sabiti

T = mutlak sıcaklık

$C_a$  ve  $C_b$  = yarı geçirimli zarın her bir tarafındaki çözelti konsantrasyonları (mole/1 CC çözelti)

Osmotik basınç kilde olacaktır, çünkü, bu durumda ki çözülmüş konsantrasyonda farklılıklar mevcuttur ve negatif yüklü kil partiküllerini saran bir zar gibi davranır.

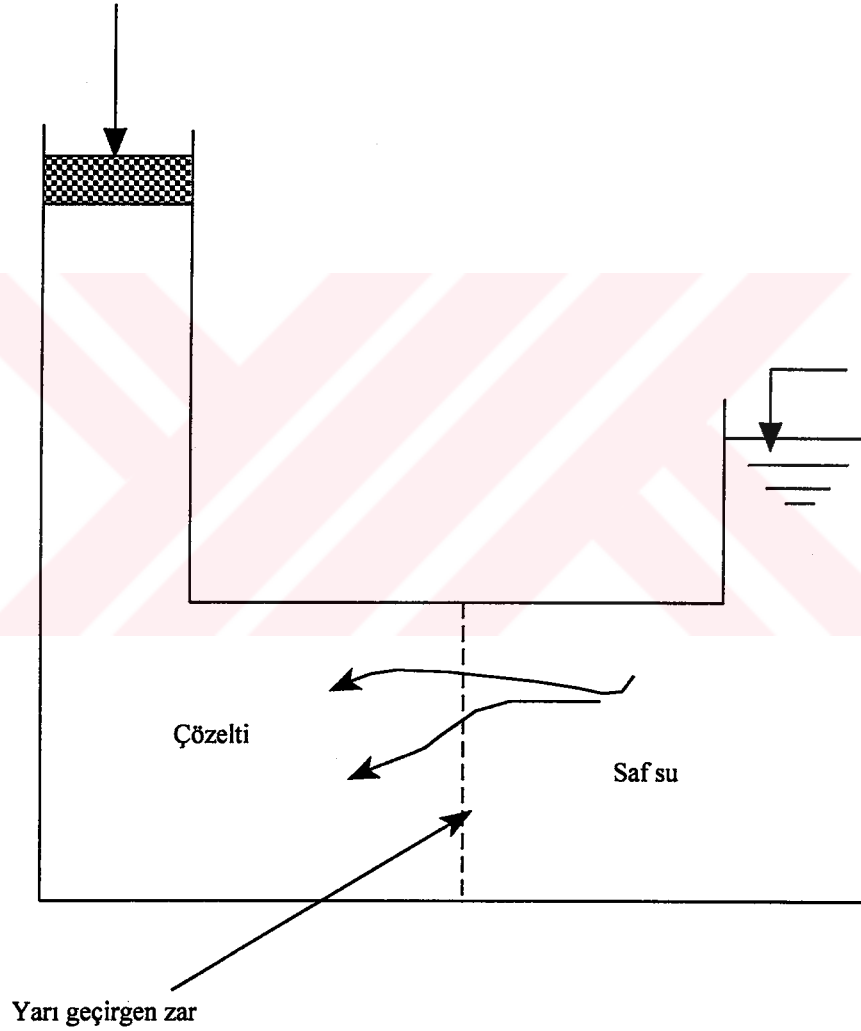
Değişebilen katyonlar, partiküllerdeki negatif yüklerin artarak net negatif elektrik alanlarından dolayı kil partiküllerine doğru çekilirler. Bu nedenle, elektrik alanı değişebilir katyonların çift tabakadan ayrılmasına izin vermeyen fakat suyun girmesine izin veren yarı geçirgen bir zar olarak davranır. Şekil 7. de yarı-geçirgen zar gösterilmektedir.

Şekil 7. de su a bölgesinden b bölgesine geçebilir. Efektif gerilme,  $\bar{\sigma}$ , ve A'nın çekme gerilmesi partikül girme mesafesinin büyümesini yada şişmeyi önlemesi gerekir. Eğer  $\sigma + A$  düşürülürse, su b bölgesinden a bölgesine akar. Bu nedenle, a bölgesinde iyon konsantrasyonu azalır. Bir başka deyişle, çift tabaka osmotik basınç tekrar efektif ve çekme gerilmeleriyle dengeleninceye kadar genişler (Aytekin, 1992).

Partiküller arasındaki osmotik itme basıncını belirleyen iyon konsantrasyonu farkı negatif iyon düzleminin arasındaki serbest suda orta bir yerdedir ( a noktası ). Bu nedenle, Vant Hoff denkleminde göre osmotik basınç

$$P_o = R \times T ( C_c - C_o ) \text{ olur.} \quad (3)$$

$P_o = \text{Osmotik Basınç}$



Şekil 6. Osmotik basıncın şematik gösterimi (Aytekin, 1995)

Burada  $C_c$  ve  $C_o$  serbest boşluk suyunda ve konsantrasyon düzleminin ortasındaki toplam iyon (kation ve anyon) konsantrasyonunu gösterir. Serbest boşluk suları iyon konsantrasyonu,  $C_o$ , kolayca hesap edilebilir. Düzlemdeki konsantrasyon,  $C_c$ , kil partikül



yüzeyle aralığı ile iyon konsantrasyonu ile ilgili teoriden hesaplanmalıdır. İdeal oluşumlar için, Gouy-Chapman teorisi kullanılmaktadır ve osmotik basınçlar deneysel olarak da kontrol edilebilmektedir (Aytekin, 1992).

Şişme olayına etki eden mekanizmaların ardında kapiler emme, katyon hidratasyonu, ve elastik bir gevşeme kalır. Fiziksel katyon hidratasyonu kil partikülünün içinde yada ona bitişik olarak konumlanır. Katyonlar hidratlandığı zaman, iyon yarıçapları artar ve büyüme zemin kütlelerinin net hacim değişimi içerisinde sonlanır. Bir kil kütlelerinin içerisindeki su hareketine kapiler emme denir. Boşluklarda oluşan menisküsler kil partiküllerine sıkıştırıcı kuvvetler uygularlar. Serbest su doymun olmayan kil kütlelerinde oluşmaya başladığı zaman boşluksuyu menisküsleri büyümeye başlar ve kil partikülleri üzerindeki sıkıştırıcı kuvvetler gevşer. Kapiler film tabakası büyür ve zemindeki hacim değişimi ile son bulur yada başka şişme mekanizmaları için su kaynağı olarak davranır. Killerin şişmesini etkileyen bir diğer mekanizma elastik gevşemedir, buda kil partiküllerinin birbirine yapışması, bir yerde toplanması gibi oluşumlar yüzünden kil partiküllerini yeniden ayarlar. Zemin yapısında partiküllerin yeniden yönlendirilmesi ve değişiminden dolayı, zemin kütlelerinde hacimsel değişiklikler ortaya çıkar.

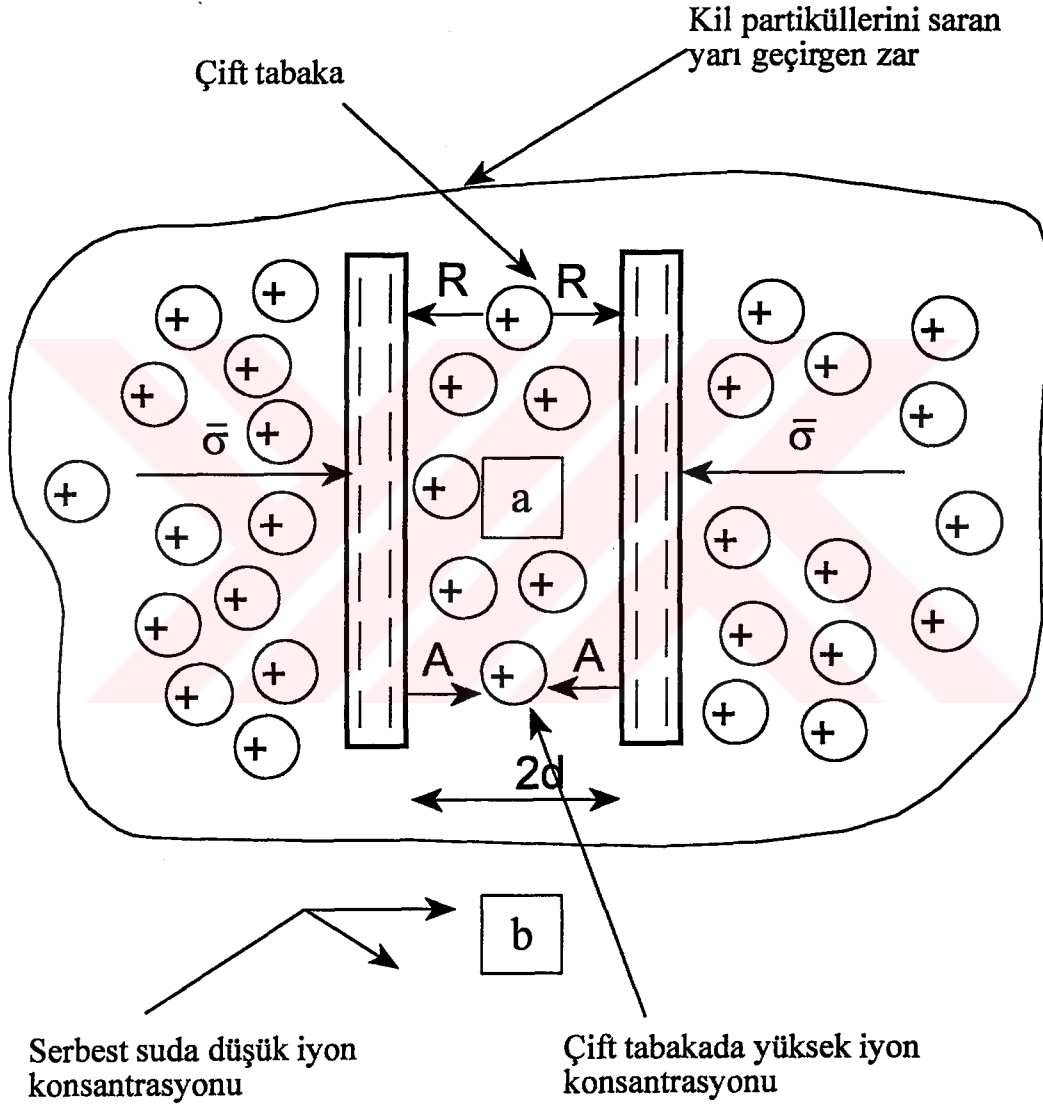
Zemindeki sular, içinde buldukları koşullara uygun olarak, değişik enerjiye sahip olur. Bunlar, kinetik enerji ve potansiyel enerji olarak adlandırılır. Kinetik enerji suyun akım hızından oluşacaktır. Zemin içerisindeki suyun akımı Darcy yasasına uygun olarak çok yavaştır. Bunun içinde oluşturduğu kinetik enerji ihmal edilebilir düzeydedir.

Potansiyel

enerji ise iç koşullara ve suyun pozisyonuna bağlıdır.

Zemin içerisindeki suyun hareketi potansiyel enerjisine bağlı olarak açıklanabilir. Zemin içerisindeki suyun potansiyel enerjisi koşullara bağlı olarak çok büyük bir değişim aralığı gösterebilir. Zemin kütleleri içerisindeki iki ayrı noktadaki zemin suyuna ait potansiyel enerjiler arasındaki fark zemin suyunun iki nokta arasında hareket etmesine sebep olur. Doğada bulunan bütün maddelerdeki evrensel eğilim, bulunduğu ortamı dengeleyebilmek için yüksek potansiyel enerjiye sahip bölge yada noktalardan potansiyel enerjisi daha düşük olan noktalara doğru hareket etme yönündedir. Zemin suyu da bu

evrensel kurala uyarak zemin içerisinde “denge” olarak adlandırdığımız potansiyel enerjinin üniform olarak dağılımını sağlamaya çalışır. (Aytekin,1995).



Şekil 7. Kil partikülleri arasındaki çift tabakalar (Aytekin, 1992)

Zemin suyu, zemin kütlesi içerisinde potansiyel enerjisi yüksek bölgelerden potansiyel enerjisi düşük olan bölgelere doğru hareket eder. Zemin içerisindeki rölatif potansiyel enerjilerin bilinmesiyle, zemin içerisindeki sulara bütün noktalarda etki eden gerilmeler değerlendirilerek zemin kütlelerindeki suyun dengeden ne kadar uzakta olduğu belirlenebilir. Bu durum, yüksek seviyede bulunan bir cismin daha aşağı seviyeye doğru kendiliğinden yuvarlanabileceği şeklinde düşünülebilir. Bu cismin bulunduğu seviyede durabilmesi için bir gerilme uygulanmalıdır. Bu durum da zemin içerisindeki suyun hareketini engellemek için uygulanan gerilmeyle aynı anlamdadır. Bu gerilmeye de “zemin emme gerilmesi” adı verilmektedir. Zemin emme gerilmesi bir zemin için sabit olmayıp, zeminin su muhtevasına bağlı olarak değişmektedir. Zeminin su muhtevası azaldıkça emme gerilmesi artmakta ve su muhtevası arttıkça emme gerilmesi azalmaktadır.

Potansiyel enerjisi yüksek bir bölgeden, düşük potansiyel enerjili bir bölgeye doğru su hareketini sağlayan kuvvet negatif potansiyel eğime  $(-\frac{d\phi}{dx})$  eşittir. Burada,  $(d\phi)$  potansiyel enerjideki  $(dx)$  mesafesi boyunca oluşan değişimi göstermektedir. (Aytekin, 1995)

### 1.5. Zemin Suyu Potansiyeli

Zemin suyu potansiyeli çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Zemin suyunun toplam potansiyeli aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\phi_t = \phi_m + \phi_o + \phi_g + \phi_{ov} + \dots \quad (4)$$

burada,

$\phi_t$  = Toplam potansiyel

$\phi_m$  = Matris potansiyeli

$\phi_o$  = Osmotik potansiyel

$\phi_g$  = Yerçekimi potansiyeli

$\phi_{ov}$  = Katman basıncı potansiyeli

Bağıntı 1 de görülen noktalar teorik olarak ilave terimlerinde buraya konulabileceğini göstermektedir (Aytekin, Şenol, 1998).

### 1.5.1. Matris Potansiyeli

Zemin suyunun atmosfer basıncından daha büyük bir basınç altında bulunması durumunda matris potansiyeli negatif olarak dikkate alınır. Matris potansiyelini oluşturan iki fiziksel durum vardır. Bunlardan birincisi zemin içerisindeki boşluk büyüklüğüne bağlı olan kapilerite olayı, ikincisi ise killerin yüzeyinde bulunan negatif elektrik yükünden dolayı meydana gelen çekim kuvvetleridir. Bu kuvvetler zemindeki suları danelere doğru çekmektedirler.

### 1.5.2. Yerçekimi Potansiyeli

Yeryüzünde bulunan bütün cisimler dünyanın merkezine doğru, cismin ağırlığına eşit bir kuvvetle çekilirler. Bu cismin kaldırılabilmesi için bir iş yapılmalıdır. Bu iş kaldırılan cisim tarafından depo edilir. Depo edilen bu iş, yerçekimi potansiyel enerjisi olarak adlandırılır.

Zemin kütlesi içindeki değişik noktalarda zemin suyunun yerçekimi potansiyeli rasgele seçilen bir referans seviyesine göre belirlenir.

$$\phi_g = z * \gamma_w * g \quad (5)$$

burada,

$z$  = Seçilen referans seviyesinden olan yükseklik

$\gamma_w$  = Suyun yoğunluğu

$g$  = Yerçekimi ivmesi

### 1.5.3. Katman Basıncı Potansiyeli

Zemin kütlesinde dikkate alınan nokta veya seviye üzerinde bulunan zemin ve yapıların ağırlıklarından dolayı meydana gelen potansiyeldir. Genellikle ihmal edilir

## 1.6. Şişme Potansiyelinin Belirlenmesi

Şişme potansiyeli zeminin ihtiva ettiği kil minerali ve kil oranına bağlıdır. Montmorillonit tipi killer mineralojik yapıları nedeniyle en fazla şişme gösteren zeminlerdir. Bazı araştırmacılar, şişme potansiyelini zeminin içerdiği kil türü ve yüzdesini yansıtan indeks özelliklerine bağlı olarak ifade etmişlerdir.

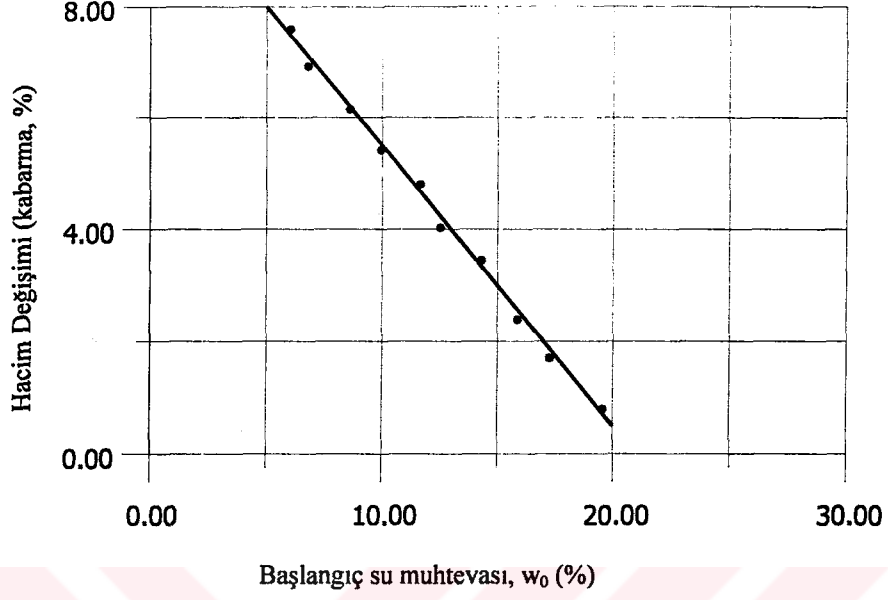
**Holtz, Gibbs (1956)**, zeminin içerdiği kil türü ve kil yüzdesini yansıtan indeks özelliklerinin şişme potansiyeline etkisini araştırmışlar, bu amaçla, zemin numunelerinin kolloid içeriği ve indeks özelliklerini belirlemişler, numuneleri 7.0 kPa'lık sürşarj yükü altında doygun hale getirmişlerdir. Daha sonra numunelerin şişme potansiyellerini toplam hacim yüzdesi cinsinden belirlemişlerdir. Bunların sonucunda Tablo 2.'deki sonuçları elde etmişlerdir.

Tablo 2. İndeks özellikleri ve muhtemel hacim değişikliği

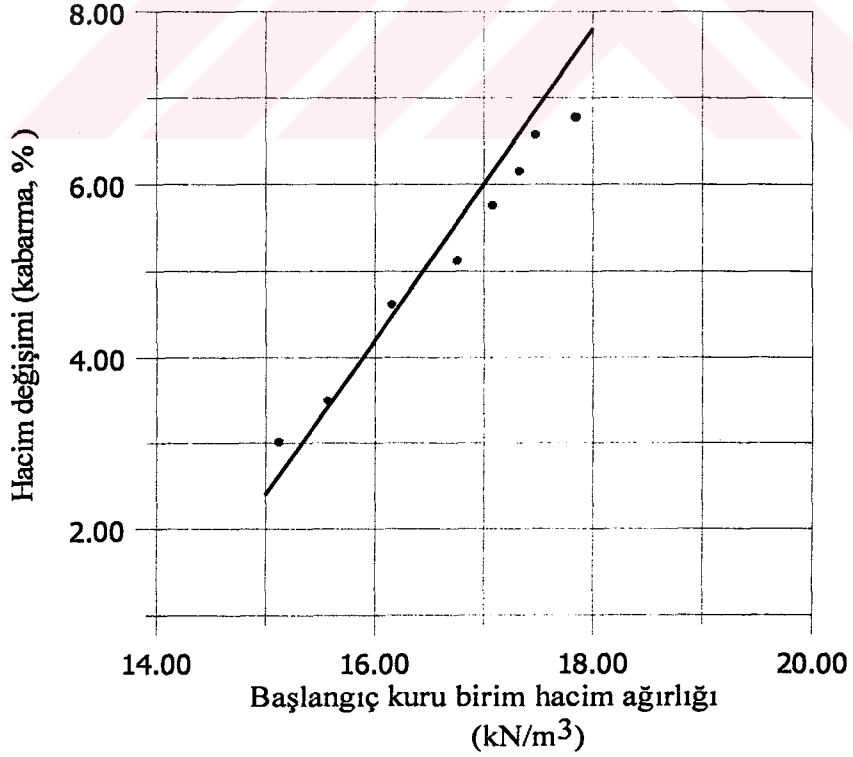
| İndeks özellikleri          |                         |                        |  |                |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------|--|----------------|
| Kolloid içeriği (<0.002 mm) | Plastisite indisi, (PI) | Rötre limiti ( $w_R$ ) | Toplam hacim yüzdesi olarak muhtemel şişme (%) | Şişme derecesi |
| >38                         | >35                     | >11                    | >30  | Çok yüksek     |
| 20-31                       | 25-41                   | 7-12                   | 20-30  | Yüksek         |
| 13-23                       | 13-28                   | 10-16                  | 10-20  | Orta           |
| <15                         | <10                     | <15                    | <10  | Düşük          |

Başlangıç su muhtevasının, kuru birim hacim ağırlığının ve sürşarj basıncının zeminin toplam şişme miktarı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla, sabit kuru birim hacim ağırlıkta sıkıştırdıkları numuneleri, farklı başlangıç su muhtevalarında konsolidasyon deneyine tabii tutmuşlar, başlangıç su muhtevasında azalma ve toplam şişme miktarında artma gözlemişlerdir. Diğer grup deneylerde, başlangıç su muhtevaları sabit olan numunelerin toplam şişme miktarının, başlangıç kuru birim hacim ağırlığındaki artışla orantılı olarak değiştiğini göstermişlerdir. Toplam şişme miktarının, kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası gibi zemin özelliklerinin yanında; toplam gerilmenin de bir

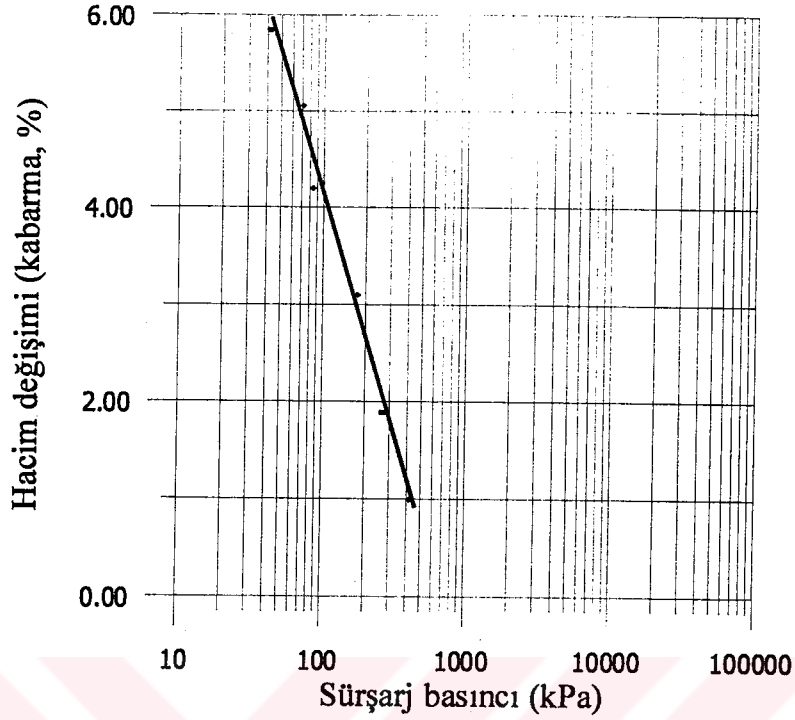
fonksiyonu olduğunu belirtmiştir. Bunlarla ilgili grafikler Şekil 8., Şekil 9. ve Şekil 10. da gösterilmiştir.



Şekil 8. Başlangıç su muhtevası.- Hacim değişimi ilişkisi



Şekil 9. Başlangıç kuru birim hacim ağırlığı- Hacim değişimi ilişkisi



Şekil 10. Sürşarj basıncı – Hacim değişimi ilişkisi

Van Der Merwe (1964), şişme derecesi, plastisite indisi, kil boyutu yüzdesi ve sürşarj basıncı arasında ampirik bir ilişki geliştirmiştir. Zemin yüzeyindeki toplam kabarmayı Bağıntı 6 ile tanımlamıştır.

$$\Delta H = \sum_{D=1}^{D=n} F \times PE \quad (6)$$

burada,

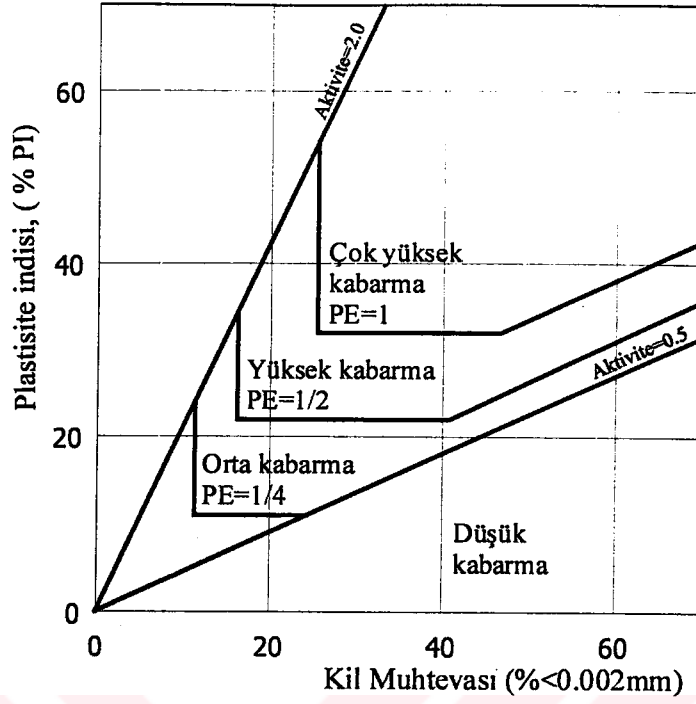
$\Delta H$  = Toplam kabarma

$D$  = Zemin tabakası derinliği

$F$  = Sürşarj basıncı azaltma faktörü,  $F = 10^{-D/20}$

$PE$  = Derinliğe bağlı potansiyel şişmeler (inch/foot)

Potansiyel şişme Şekil 11. de plastisite ve  $2\mu$  altındaki boyutların fonksiyonu olarak tanımlanır.



Şekil 11. Van Der Merwe metoduna göre potansiyel kabarma ilişkisi

**Komornik ve David (1969)**, killi zeminlerin şişme değerleri ile plastisite indisleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Zeminler üzerinde serbest şişme deneyi yapılmış, deney sırasında zemin numunelerinin su muhtevası kuru halden doymun hale getirilmiştir. Deneylerin sonucunda, serbest şişme değerinin plastisite indisi ile doğru orantılı bir şekilde lineer olarak arttığını belirtmişlerdir.

**Sherif ve Ishibashi (1982)**, sıcaklık değişimlerinin zeminlerin şişme karakteristiklerine etkisini araştırmışlardır. Likit limiti %35'den daha az olan zeminlerin şişme açısından önemli olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca 24 ° C' den başlayarak 66° C'ye kadar sıcaklık artışında şişme davranışını incelemişlerdir. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen şişme miktarının %17-%28 arasında arttığını belirtmişlerdir.

**Nagaraj ve Srinivasamurthy (1983)**, zeminin şişmiş haldeki boşluk oranının, arazideki boşluk oranı ile likit limit durumundaki boşluk oranı ve jeolojik yük ile ilişkisini araştırmışlardır. İncelenen tüm numuneler %96 doymunlukta laboratuvarında sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Şişen zeminler üzerinde çalışan daha önceki araştırmacıların elde etmiş



oldukları verilerden yararlanarak, şişmiş haldeki boşluk oranını önceden tahmin için çeşitli bağıntılar geliştirmişlerdir.

**Snethen (1984)**, zeminlerin şişme potansiyeli ile likit limit değerleri arasındaki ilişkiyi, plastisite indisinin ve emme oranının potansiyel şişme miktarına etkisini araştırmıştır. Bu amaçla örselenmemiş numuneler kullanmış, numuneler arazideki jeolojik yük altındaki doğal su muhtevasından daha doymun hale getirilmişlerdir. Elde edilen bağıntı, jeolojik yükü kapsamamasına karşın her plastisite aralığı için emme oranını göz önünde bulundurmıştır.

**Chen (1988), Wayne ve diğerleri (1984)**, plastisite indisi ve şişme potansiyeli ilişkisini belirlemek amacıyla yapmış oldukları çalışmaların sonuçlarını aşağıdaki Tablo 3. ile göstermişlerdir.

Tablo 3. Plastisite ve şişme potansiyeli arasındaki ilişki

| Plastisite indisi | Şişme potansiyeli |
|-------------------|-------------------|
| 0-15              | Düşük             |
| 10-35             | Orta              |
| 20-35             | Yüksek            |
| ≥35               | Çok yüksek        |

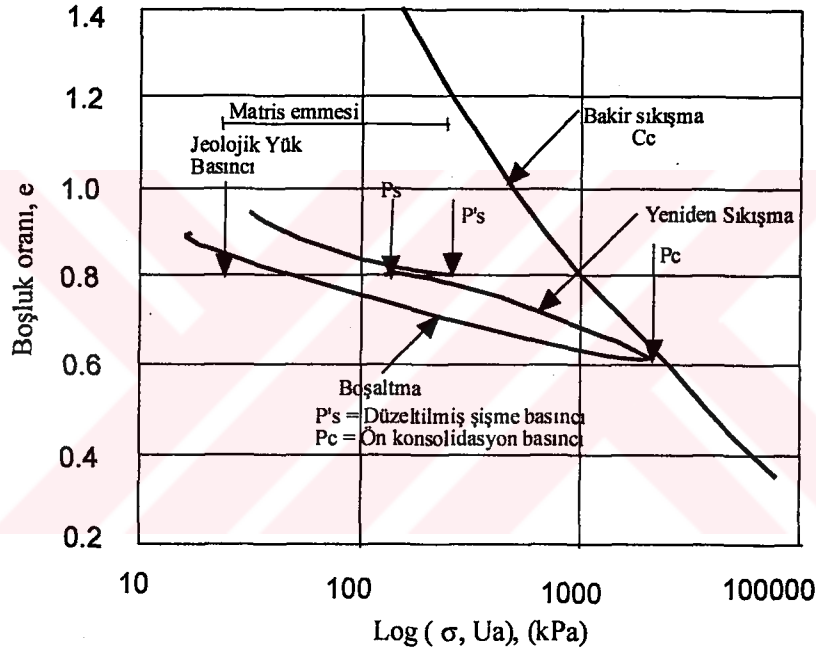
**Fredlund ve Rohardjo (1991)**, şişme miktarının tahmin edilmesinde zemindeki gerilme durumu değişimlerinden yararlanarak birtakım bağıntılar önermişlerdir. Bu çalışmada, doymun olmayan zeminlerin davranışını tanımlamada birbirlerinden bağımsız iki tane gerilme durumu değişkeni kullanmışlardır. Bunlardan birincisi, net toplam gerilme ( $\sigma - U_a$ ), burada,  $U_a$  :boşluk-hava basıncı, ikincisi, zemin emmesi ( $U_a - U_w$ ). Burada,  $U_w$  : Boşluk suyu basıncıdır. Toplam şişmenin büyüklüğünün arazideki mevcut gerilme ile bir süre sonraki gerilme arasındaki farkın bir fonksiyonu olarak yazılabileceğini belirtmişlerdir. Odometre deneyinin arazideki gerilme durumunu, net normal gerilme düzlemi üzerine dönüştüğü not edilmiştir. Arazideki gerilme durumu: düzeltilmiş gerilme basıncı  $P_s'$  olarak verilmiştir. Bu toplam katman yükü basıncına eşittir. Bir zeminin gerilme geçmişinin, zeminin şişme davranışı üzerinde büyük bir rol oynadığı belirtilmiş ve bu konu

üzerinde yapılan odometre sonuçları Şekil 12. de gösterilmiştir. Şekil 12. de görülen ön konsolidasyon basıncı  $P_c$  ile  $P_s'$  arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır.

$$OCR = P_c / P_s' \quad (7)$$

Burada,

OCR= Aşırı konsolidasyon oranını göstermektedir.



Şekil 12. Ön konsolidasyon basıncına göre düzeltilmiş şişme basıncı

Day (1994), ıslanma kuruma döngüsünün zeminin kayma mukavemetini artırdığını gözlemiş ve bunun da ıslanma kuruma döngüleri sonucunda efektif kohezyonda (c) meydana gelen artıştan dolayı kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Proktor kalıbında optimum su muhtevasından %6 daha fazla su muhtevasında hazırlanan numuneler ıslanma ve kuruma döngülerine maruz bırakılmıştır. Islanma - kuruma çevrimlerinin sonucunda zemin numunelerinin şişme potansiyellerinin arttığını, maksimum artışın birinci çevrim sonunda meydana geldiğini belirtmiştir. Ayrıca Day (1991)'de sıkıştırılmış çakıllı killerde, şişme testi aşamalarında genellikle ihmal edilen çakıl boyutlu danelerin etkilerini incelemiştir. Bu

çalışmanın sonucunda Day, sıkıştırılmış çakıllı kilin şişme davranışını, kuru birim hacim ağırlığı sabit olan çakıl miktarından ileri gelen hacim azalmasına bağlıdır demiştir. Çakıl miktarı arttıkça kilin şişmeye karşı gösterdiği davranış azalır, çakıl miktarı azaldıkça kilin şişme davranışının da arttığını belirtmiştir.

### 1.7. Zemin Emme Gerilmesinin Belirlenmesi ile İlgili Çalışmalar

Zemin suyunun atmosfer basıncından düşük bir basınçta olması halinde matris potansiyeli, matris emme gerilmesi olarak adlandırılır. Toplam zemin emme gerilmesi zemin suyu potansiyelinin özel bir halidir (Aytekin, 1995). Toplam emme gerilmesi, zeminin su tutuşundan sorumlu gerilmeyi temsil etmektedir. Bir başka deyişle, emme, zeminin suya uyguladığı çekme kuvvetinin ölçümü olan gerilme terimidir. (Kandemir, Erol, 1996). Kısaca, emme gerilmesi, zeminin suyu tutmaya karşı gösterdiği bir eğilim olarak tanımlanır (Aytekin,1995). Zemin emme gerilmesi, zeminin suyu çekim kapasitesini ve su tutma özelliğini ölçmede kullanılan özel bir enerji miktarıdır ve arazi ölçümlerde su depolanması ve su hareketinin karakterini belirleyen bir anahtar rolü üstlenir (Lee, Wray, 1995). Zemin suyu düşük emme gerilmelerinin olduğu yerden, yüksek emme gerilmelerinin olduğu yöne hareket eder. Bu nedenle, zemin suyu, doymun zeminlerde gerilmenin eğimine benzer olarak emme gerilmesi eğimi tarafından başka bir yere nakledilebilir. Toplam zemin emme gerilmesi iki bileşenden oluşur. Bunlar, matris emme gerilmesi ve osmotik basınçtır. Toplam emme gerilmesi Bağını 8 deki gibi ifade edilir (Park, Lytton, Button, 1998).

$$h_T = h_m + h_s \quad (8)$$

burada,

$h_T$  = toplam zemin emme gerilmesi

$h_m$  = matris emme gerilmesi

$h_s$  = osmotik emme gerilmesi

$$h_T = \frac{RT}{mg} \ln \left( \frac{p}{P_0} \right) \quad (9)$$

burada,

$h_T$  = toplam zemin emme gerilmesi (gm-cm/gm yada yalnız cm), işareti negatiftir

$R$  = universal molar gaz sabiti ( $8,31432 * 10^7$  erg/mol K )

$T$  = mutlak ısı (sıcaklık) ( ° C + 273,16 K )

$m$  = su basıncı molekül kütlesi ( 18,016 g/mole)

$P$  = kısmi boşluk suyu buhar basıncı

$P_o$  = serbest saf suyun buhar basıncı (kPa)

$P/P_o$  = zemin suyunun denge halindeki izafi nem oranıdır.

Bağıntı 9 toplam potansiyel ile buhar basıncı arasındaki ilişkiyi tarif eder. Zeminin toplam emme gerilmesi Bağıntı 9 kullanılarak hesap edilebilir. Bu nedenle kabarma işlemi enerji yaklaşımıyla modellenebilir, çünkü nem hareketi pekçok doygun olmayan zeminlerde buhar şeklindedir.

Osmotik emme gerilmesi zemin suyundaki çözülmüş tuzlardan kaynaklanmaktadır. (Edil, Motan, 1980). Matris emme gerilmesi su muhtevasına ve yüke bağlı olarak değişirken, osmotik emme gerilmesi su muhtevası ve yüke bağlı olmayıp ancak zemin boşluk suyu ile zemini ıslatan çevre suyunun çözelmiş tuz konsantrasyonlarının farklı olması halinde şişmeye neden olmaktadır (Snethen,1980, Lee, Wray, 1995). Osmotik emme gerilmesin de Von't Hoff's denklemini kullanılarak ifade edilebilir (Lytton, 1996).

$$\pi = -\frac{RTC}{g} \quad (10)$$

burada,

$\pi$  = osmotik emme (gm-cm/gm yada yalnızca cm )

$R$  = universal molar gaz sabiti ( $8,31432*10^7$  erg/mol.K)

$T$  = mutlak ısı (sıcaklık) (K)

$C$  = molar konsantrasyonu (moles/litre)

$g$  = yerçekimi ivmesi ( $981 \text{ cm/sn}^2$  )

Zeminin önemli miktarlarda çözülebilir tuzlar içermesi halinde osmotik gerilme bileşeninin etkisi söz konusu olabileceğinden, çoğu geoteknik uygulamalarında osmotik kuvvetler sabit düşünülebilir.

**Krahn ve Fredlund (1972)**, çalışmalarında su muhtevastaki değişikliklerden osmotik emmenin çok az etkilendiğini, yüksek su muhtevastında toplam ve matris emmesinin birbirine yakın olduğunu, toplam emmedeki değişikliğin matris emmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu nedenle, geoteknik problemlerinde osmotik emme ihmal edilmektedir (Yıldırım, Çimen, Keskin, Kara, 1999).

Matris emme gerilmesi hava-su geçişlerindeki oluşan basınç farkıdır ve suyun yüzey gerilim kuvvetlerinden oluşan kapilarite ile ilişkilidir ve Bağntı 11 de verilen toplam ve osmotik emme gerilmesi farkına eşittir.

$$h_m = h_t - \pi (h_o) \quad (11)$$

Genel olarak mühendislik uygulamalarında zemin emme gerilmesi pF birimi kullanılarak gösterilmektedir. pF bir su kolonunun cm olarak yüksekliğinin logaritması alınarak bulunmaktadır.

$$h (pF) = \text{Log}_{10} (h_T) \quad (12)$$

burada,

$h_T$  = Toplam zemin emme gerilmesi ( cm olarak su kolonu yüksekliği cinsinden ).

pF birimi ilk defa Schofield (1935) tarafından pH' den esinlenerek kullanılmıştır. "p" logaritmik karakteri gösterirken "F" de serbest enerji farkını sembolize etmektedir. pF biriminin kullanılmasıyla zemin emme gerilmesi olarak bulunan büyük rakamlar yerine daha küçük rakamların kullanılması sağlanmıştır.

Şişen zeminlerde hacim değişikliğinin hesaplanmasında pekçok model önerilmiştir. Bunlardan yalnızca birkaçı ön plana çıkmıştır (Bratton, 1991). Bunlar, Mitchell ve Avalue

model, Lytton-Gardner-McKeen modeli ve Wray modelidir. Bu üç model de birbirine çok benzer. İlk iki model aynı genel forma sahiptir. Üçüncü model ise ikinci modelin adaptasyonu ve genişletilmiş halidir.

**Sullivan ve McClelland (1969)**, toplam şişme miktarını ve şişme basıncını tahmin etmek için örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde odometre deneyleri yapmışlardır. Bu deneylerde zemin numunesinin su emmeye başladıktan sonra hacminde meydana gelen artışı önleyecek şekilde basınç uygulanmıştır. Numune hacminde bir değişim meydana getirmeyen basınç şişme basıncı olarak adlandırılmıştır. Laboratuvarlarda elde edilen şişme basınçlarının, numune alma sırasındaki örselenmelerin etkisi ile arazideki değerlerinden daha büyük olduğu belirlenmiştir. Şişme miktarının belirlenmesinde Bağntı 13'ü kullanmışlardır (Hekimoğlu, 1996).

$$pF = \sigma_y + \Delta\sigma_y - U_{wf} \quad (13)$$

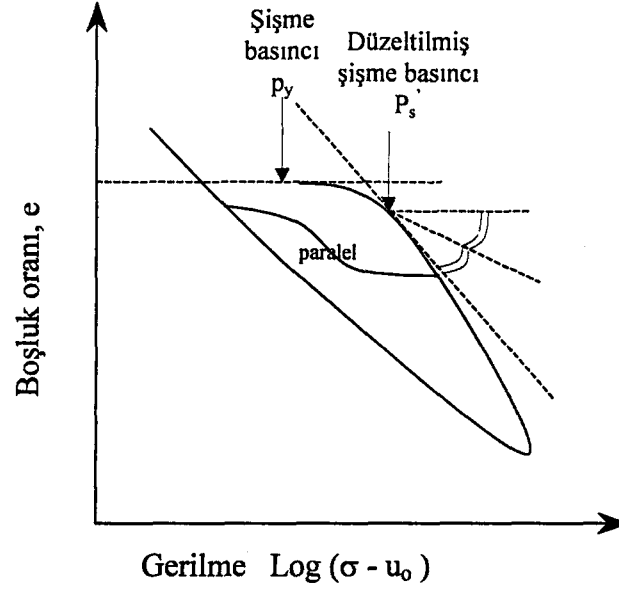
burada,

$\sigma_y$  = toplam jeolojik yük

$U_{wf}$  = önceden tahmin edilen nihai boşluk suyu basıncı

$\Delta\sigma_y$  = kazıdan veya dolgudan dolayı meydana gelen toplam gerilmedeki değişiklik değerini göstermektedir.

Şişme miktarının tahmini için Bağntı 13'de önerilen gerilme değerleri, tabakaların orta noktasındaki değerlerdir. Buradaki  $P_0$  basıncının, başlangıctaki toplam jeolojik yüke, zemindeki negatif boşluk suyu basıncını karakterize eden bir değer ilave edilmesi ile bulunacağı belirtilmiştir. Ancak, bu değer doğru ölçülmesi zor olduğundan,  $P_0$  daima temsili zemin numuneleri üzerinde odometre deney aletinde tayin edilen şişme basıncı değeri olarak alınmıştır. Deney düşük bir basınç altında numuneye su verildiğinde şişmeye engel olan basıncın ölçüldüğü yöntemle yapılmıştır. Daha sonra, normal konsolidasyon deneyindeki yük kademeleri uygulanmıştır. Ancak numunenin alınması sırasındaki örselenmenin etkisini hesaba katmak için şişme basıncının Şekil 13. de gösterildiği gibi düzeltilmesi gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca şişme basıncının genellikle derinlikle azaldığı belirtilmiş,  $pF$  gerilmesini hesaplamak için Bağntı 13'ü kullanılmıştır (Keskin, 1993).



Şekil 13. Düzeltilmiş şişme basıncının bulunması

**Fredlund ve Raharjo (1991)**, toplam şişme miktarını, ödometre deney sonuçlarındaki başlangıç ve nihai gerilme durumlarına karşılık gelen boşluk oranlarındaki değişikliklerden ve şişme indisinden yararlanarak hesaplamışlardır.

**Chen (1988)**, şişme basıncını tayin edebilmek için, incelenen örselenmemiş zemin numunelerinin 50 kPa'lık sürşarj yükü altında su emerek tamamen şişmelerine izin vermiş, nihai şişme değerlerini elde ettikten sonra tekrar yüklemiştir. Bu numunelerin eski hacimlerine dönebilmeleri için gereken basınç değerlerini elde ettikten sonra tekrar yüklemiştir. Bu numunelerin eski hacimlerine dönebilmeleri için gereken basınç değerlerini bulmuş ve bu değerleri şişme basıncı olarak almıştır. Bu yöntemle yaptığı deneylerden, sürşarj basıncı, numunenin başlangıçtaki su muhtevası, doyumluk derecesi, numunenin kalınlığı gibi faktörlerin şişme miktarını etkilediğini bulmuştur. Şişme basıncının ise pratik olarak sabit kaldığı yalnızca başlangıçtaki kuru birim hacim ağırlığı arttıkça arttığı gözlenmiştir. Elde edilen deney sonuçları, zemin indeks özellikleri ve SPT değerleri göz önüne alınarak Tablo 4. de verilmiştir.

Tablo 4. Şişen killerde muhtemel hacim değişikliği

| Laboratuvar ve arazi verileri       |                |                        |   |                           |                   |
|-------------------------------------|----------------|------------------------|---|---------------------------|-------------------|
| 200 No'lu<br>elekten geçen<br>yüzde | Likit<br>limit | SPT<br>darbe<br>sayısı | Toplam hacim<br>yüzdesi olarak<br>muhtemel<br>şişme (%) | Şişme<br>basıncı<br>(kPa) | Şişme<br>derecesi |
| >35                                 | >60            | >30                    | >10   | >1000                     | Çok               |
| 60-95                               | 60-40          | 20-30                  | 3-10  | 250-1000                  | yüksek            |
| 30-60                               | 30-40          | 10-20                  | 1-5   | 150-250                   | Yüksek            |
| <30                                 | <30            | <10                    | <1  | 50                        | Orta<br>Düşük     |

Wayne ve diğ. (1984), temel tasarımlarında kullanılmak üzere, Tablo 5.' i vermiştir.

Tablo 5. Hacim değişikliği, şişme basıncı ve muhtemel hasar arasındaki ilişki

| Hacim<br>değişikliği<br>(%) | Şişme basıncı<br>(kPa) | Muhtemel<br>hasar |
|-----------------------------|------------------------|-------------------|
| 0-1,5                       | 0-50                   | Düşük             |
| 1,5-5                       | 50-250                 | Orta              |
| 5-25                        | 250-1000               | Yüksek            |
| >25                         | >1000                  | Çok yüksek        |

### 1.8. Şişme Yüzdesinin Belirlenmesi ile İlgili Çalışmalar

Bracley (1983), potansiyel şişme yüzdesinin başlangıç boşluk oranına, plastisite indisine, sürşarj basıncına ve başlangıç su muhtevasına göre değişimini incelemiştir. Şişme yüzdesinin önceden tahmini için çeşitli parametreler kullanılmış olmasına rağmen, önceden tahmin edilen ve ölçülen şişme değerleri karşılaştırılmış ve doğru sonuç vermedikleri saptamıştır. Tahmin edilen değerler, ölçülen değerlerden 1/2 ile 6 kat daha farklı çıkmıştır.

Nayak ve Christensen (1971), şişme yüzdesi ile plastisite indisi, kil içeriği ve arazideki su muhtevası arasındaki ilişkiyi gösteren Bağıntı 14'ü geliştirmişlerdir.



$$S_p = (0,00229PI) * (1,45 C) / W_o + 6,38 \quad (14)$$

Burada,

$S_p$  = şişme yüzdesi

PI = plastisite indisi

C = kil yüzdesi

$W_o$  = başlangıç su muhtevası'dır.

**Vijayvergiya ve Ghazzaly (1973)**, şişme yüzdesinin likit limit, su muhtevası ve arazideki nemlilik oranı ile değişimini incelemiştir. Deneyler sonucunda, şişme yüzdesi, likit limit ve başlangıç boşluk oranı arasında Bağıntı 15'i elde etmişlerdir.

$$\text{Log} ( S_p ) = 1 / 12 ( 0,44 LL - w_o + 5,54 ) \quad (15)$$

Burada,

$S_p$  = şişme yüzdesi

$w_o$  = başlangıç su muhtevası

LL = likit limit değeri'dir.

### 1.9. Emme Gerilmesinin Şişme Davranışına Etkisi

**McKeen (1991)**, emme indisinin belirlenmesi için bir seri deney yapmış ve bu deneylerin sonucunda emme gerilmesinin kilin aktivitesine ve katyon değiştirme aktivitesine bağlı olduğunu belirlemiştir. Bundan yola çıkarak Şekil 14.'deki abağı geliştirmiştir. Abak, zeminin aktivitesinin, katyon değiştirme kapasitesinin belirlenmesi ile kullanılır. Buna bağlı olarak Bağıntı 16, Bağıntı 17 ve Bağıntı 18 de verilen değerler bulunur.  $\gamma_h$  derinliğe bağlı olarak değişir. McKeen'in bağıntısında geliştirilen bu değer belirlenmesi oldukça güçtür. Bu amaçla X-ışınları analizi ve hidrometre deneyi ile bu değerleri belirler. Bu amaçla geliştirdiği abak'tan faydalanır. Lytton'un çalışmalarını genişleterek aşağıdaki gerime değerlerini bulmuştur.

$$\text{Kaolin,} \quad \gamma_h = 0,00018 (\% \text{ Kil}) - 0,000098 \quad (16)$$

$$\text{İllit,} \quad \gamma_h = 0,00047 (\% \text{ Kil}) - 0,00351 \quad (17)$$

$$\text{Montmorillonit,} \quad \gamma_h = 0,00056 (\% \text{ Kil}) - 0,00433 \quad (18)$$

burada,

$\gamma_h$  = Emme değışimi indeksi olarak adlandırılır ve kil yüzdesi ( $<0,0002\mu\text{m}$ ) toplam örneğe göre hesaplanır.

Lytton (1977) tarafından  $\gamma_h$  aşağıdaki şekilde tarif edilmiştir.

$$\gamma_h = \frac{\frac{\Delta V}{V}}{\text{Log}_{10} \frac{h_f}{h_i}} \quad (19)$$

burada,

$\gamma_h$  = emme değışimi indeksi

$\frac{\Delta V}{V}$  = başlangıç hacmine göre hacim değışimi

$h_i, h_f$  = başlangıç ve nihai (son) zemin emme değeri

Kasyon değıştirme aktivitesi,  $CEA_c$ , aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A_c = \frac{PI}{\% \text{ Kil}} \quad (20)$$

$$CEA_c = \frac{CEC}{\% \text{ Kil}} \quad \text{me/100 g} \quad (21)$$

burada,

CEC = zeminin kasyon değıştirme kapasitesi

PI = plastisite indisi

Şekil 14.'deki abakta emme indisi değerleri, % 100 killi zeminler için verilmiştir.

Düşey gerilme, emme gerilmesi indisinin ( $\gamma_h$ ) bir fonksiyonudur, gerçek emme değişimi ile çarpılır,  $\Delta pF$ .

$$\frac{\Delta H}{H} = \gamma_h (pF_{\text{başlangıç}} - pF_{\text{nihai(son)}}) = \gamma_h (\Delta pF) \quad (22)$$

**Brackley (1980)**, emme indisi ( $c\psi$ ) ve şişme yüzdesi için Bağıntı 23 ve 24'ü geliştirmişlerdir.

$$c\psi = \frac{PI - 10}{10} \quad (23)$$

$$\frac{\Delta H}{H} = c\psi \text{ Log } \frac{\psi_i}{\sigma_v} \quad (24)$$

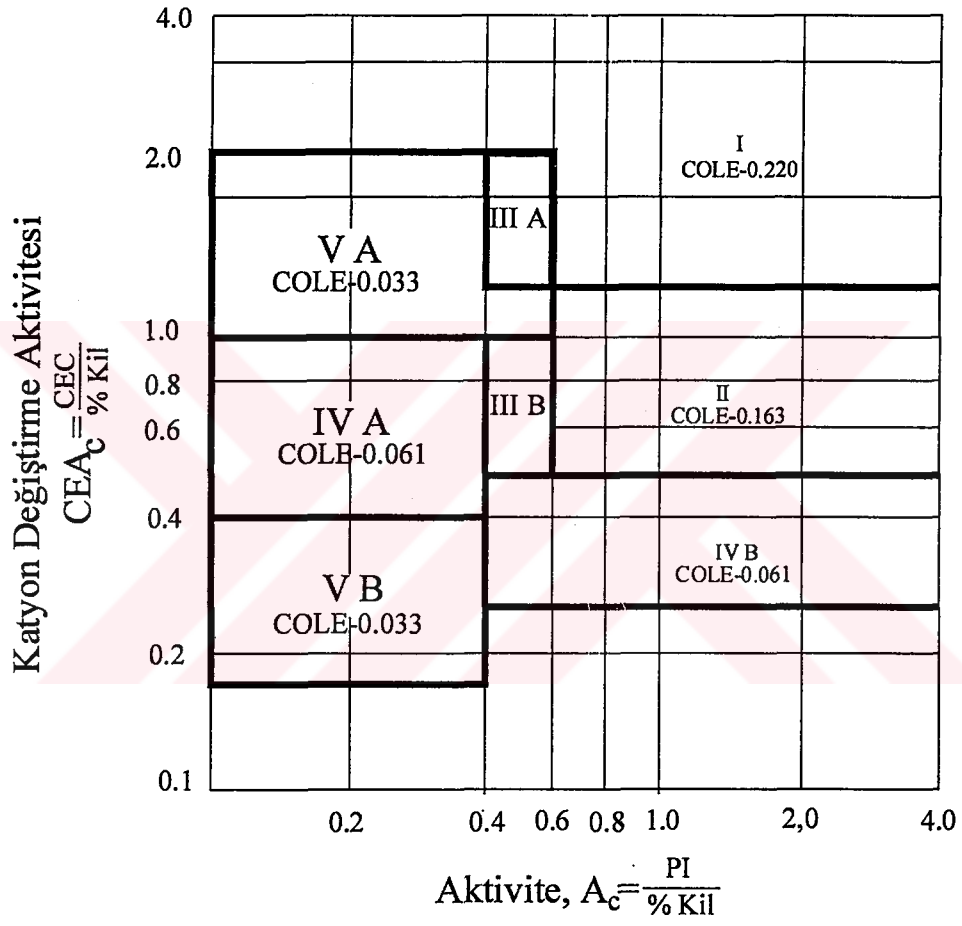
burada,

$c\psi$  = emme indisi

PI = plastisite indisi

$\psi_i$  = başlangıçtaki zemin emmesi

$\sigma_v$  = düşey gerilme'dir.



Şekil 14. Emme indisi tahmini için abak (Aytekin, 1992)

Bunlardan başka şişme yüzdesinin belirlenmesinde Tablo 6. da gösterilen metodlar başka bilim adamları tarafından geliştirilmiş ampirik formüller verilmiştir.

Tablo 6. Potansiyel kabarmanın tahmininde diğer ampirik formüller

| Metot                    | Tanımlama  |
|--------------------------|--|
| Vijayvergiya ve Ghazzaly | $\text{Log } S_p = 1/12 ( 0,44LL - w_o + 5,5 )$ başlangıç su muhtevasının 0,1 tsf surşarj basıncı olduğu yere kadar  |
| Schneider ve Poor        | $\text{Log } S_p = 0,9 ( PI/w_o ) - 1,19$  |
| MCKeen-Lytton by McKeen  | $S_p = -100 \gamma_h \log_{10} \frac{t_f}{t_o}$<br>burada, $\gamma_h$ = emme gerilmesi indeksi<br>$t_f$ = başlangıç emme gerilmesi<br>$t_o$ = nihai (son) emme gerilmesi<br>$\gamma_h$ Şekil1-9 daki karttan bulunur |
| Johnson                  | $PI \geq 40 S_p = 23,82 + 0,1458H - 1,7w_o + 0,0025Pw_o - 0,00884PIH$<br>$PI \leq 40 S_p = -9,18 + 1,5546PI + 0,0842H + 0,1w_o - 0,0432Pw_o - 0,01215PIH$  |

$S_p$  = Şişme yüzdesi, LL = Likit limit, PI = Plastisite indisi,  
 $w_o$  = Başlangıç su muhtevası, H = Zemin derinliği

### 1.10. Şişmeye Etki Eden Diğer Faktörler

Fiziksel şartlardaki diğer değişikliklerin etkisiyle nemlilik derecesi azalan killi zeminler tekrar kapiler su emdiklerinde, sahip oldukları şişme potansiyeline yeniden kavuşurlar. Ancak kuruma ve ıslanmanın her döngüsü için zeminin şişme davranışında bir yorulma gözlenir. Yapılan incelemeler, kurutma ve ıslatma işlemlerinin tekrarlanması halinde ilk çevrimde oluşan şişmenin, sonrakilerden fark edilir derecede büyük olduğunu göstermiştir. Yıllar sonra mevsime bağlı bu hareketlerin bir stabilizasyona uğradığı gözlenmiştir. Şişen zeminlerin bu özelliği şişme yorulması olarak adlandırılmaktadır.

Dhowian ve diğ. (1984), şişen zeminlerdeki hacim değişikliklerine yol açan doğal mikro mekanizmaları, osmotik itme gerilmesi, kil partiküllerinin çekimi, katyon hidrasyonu, London-Van Der Wall kuvvetleri ve kapiler emme olarak açıklamışlardır. Şişmeye etki eden faktörleri ise Tablo 7.' deki şekilde ifade etmiştir.

Tablo 7. Şişmeye etki eden faktörler (Dhowian ve diğerleri. 1984)

| Faktör                         | Tanım  |
|--------------------------------|--|
| Zeminlerin kompozisyonu        | Aktif kil mineralleri-montmorillonit ve diğer kil mineralleri ile montmorillonit tabakaların kombinezonu   |
| Boşluk suyu tuz konsantrasyonu | Boşluk suyundaki yoğun katyon konsantrasyonunun, zemin hacim değişimlerini azaltıcı etkisi vardır. Osmotik şişmenin uzun süreli etkisi düşünülebilir.  |
| Boşluk suyu bileşimi           | Bir değerli katyonların baskın olduğu ortamda, şişme ve rötreyi azaltmaktadır.   |
| Yapı                           | Yumak partiküller, dağılmış partikülere oranla daha fazla şişme gösterir. Çimentolaşmaya sahip partiküller, şişmeyi azaltıcı etkiye sahiptir. Su emme eğilimine sahip killer, diğerlerine göre daha fazla şişme gösterirler. |
| İklim                          | Kuru iklimler, zemin profilinin kurumasına, nemli iklimler ise profilin ıslak olmasına neden olurlar.  |
| Yeraltı suyu                   | Yer altı su seviyesinin düşük oluşu ve su seviyesindeki dalgalanmalar, şişme ve kabarmaların ortaya çıkmasına yol açar.  |
| Drenaj                         | Zayıf yüzey drenajı, nem birikimi ve göllenmelere neden olur.  |
| Bitki örtüsü                   | Ağaçlar, çalılar ve otlar, terleme ile zemindeki suyun tüketilmesini sağlar. Bitki örtüsünden arındırılmış alanlarda, nem birikimleri söz konusu olabilmektedir.   |
| Yatay etkiler                  | Büyük yatay basınçlar şişmenin azalmasına neden olur. Hafriyat nedeniyle açılan yarmalarda şişme görülmesi çok daha olasıdır. Genelde yatay basınç, düşey sürşarj basıncına eşit olmayabilir.                                |
| Zemin geçirimliliği            | Fisürler, geçirimliliği artırıcı etki yaptığından, şişme artışlarının daha hızlı olmasını sağlar   |

### 1.11. Yatay Doğrultuda Şişme Basıncı

Şişen zeminlerde eğer bir şişme varsa, zeminin şişmesine engel olan bir sınır yok demektir. Zemin yüzeyi, şişen zeminin şişmesi durumunda, düşey olarak yükselir. Eğer zemin yüzeyi kırıklı (süreksiz) veya çatlak ise, hacimdeki yatay artışlar nedeniyle, zemin kütlesi boşluklara ve çatlaklara doğru şişer ve buraları kapatarak bu kısımlara yerleşir. Ancak, kırık ve çatlaklıkların olmaması yada çok küçük olması durumunda zemin yatay doğrultuda sınırlanır. Bu nedenle, yatay şişme basınçları oluşurken, hacim değişimi olmaz.

Teknik literatürde pekçok makale, yatay şişme basıncı konusunu iki gruba ayırmıştır. Bunlardan birincisi, başlıca teorik yaklaşımlar, ikincisi ise, deneysel metodlardır. Teorik makalelerin çoğu, gelecekteki sonuçları tahmin etmede, denklemlerin geliştirilmesinde kullanılan laboratuvar verilerini yada belirli faktörlerin değerini hesaplamak için laboratuvar deneylerini kullandılar. (Aytekin, 1992). Bu amaçla yapılan çalışmalar deneysel ve teorik olarak tartışılmıştır.

#### 1.11.1. Teorik yaklaşımlar

**Bolt (1956)**, iyon konsantrasyonunun, sıcaklığın adsorbe edilmiş, katyon değerinin, boşluk oranının, kil minerali yoğunluğunun, kil yüzey alanının ve kil minerali kütlesinin bir fonksiyonu olarak Bağıntı 25' i belirlemiştir.

$$P_s = R \times T \times C_o \left( \frac{C_c}{C_o} + \frac{C_o}{C_c} - 2 \right) \quad (25)$$

burada,

$P_s$  = şişme basıncı

$R$  = gaz sabiti

$T$  = mutlak sıcaklık

$C_o$  = çözelti konsantrasyonu

$C_c$  = merkezi düzlemde katyon konsantrasyonu

**Skempton (1961)**, yaptığı çalışmada aşırı konsolide bir zeminde yapılan derin kazıda, (stabilitesini kaybedecek düzeyde bir dik kazıdır), sukunet halindeki toprak basıncı katsayısı,  $K_0$ , ve efektif yatay zemin basıncını üç ayrı metotla hesaplamıştır. Araştırmalarının sonucunda, Skempton, iki önemli gözlem yapmıştır. Bunlar,

- a) Sukunet halindeki toprak basıncı katsayısının,  $K_0$ , derinlik arttıkça artması,
- b) Yaklaşık 3 metre (10ft) derinliğinde  $K_0$  değeri azalmış ve azalma sebebi olarak hava koşullarından ve kil tabakasının yüzeye yakın tarafının ayrışması ve yumuşaması sonucu olduğunu belirtmiştir.

Araştırmalarından sonra, Skempton aşağıdaki sonuçlara varmıştır:

- a) Şişme basıncı, zemin emme gerilmesine eşittir.
- b) Şişme basıncı drenajsız kesme deneyinden elde edilebilir.

**Seed, Woodward ve Lungren (1962)**, %8 ile %65 arasında kil muhtevasına sahip olan doğal zeminler için şişme potansiyelini  $I_p$  'ye bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile vermişlerdir.

$$S = 2.16 \times 10^{-3} \times (I_p)^{2.44} \quad (26)$$

Burada,

$S$  = şişme potansiyeli

$I_p$  = plastisite indisi

**Brooker ve Ireland (1965)**, sukunet halindeki toprak basıncı katsayısı ve laboratuvar araştırmalarından elde ettiği zemin özellikleri arasında bazı ilişkiler bulmuştur. Likit limiti yaklaşık 0.5 olan, uygun miktarda su muhtevası olan örselenmiş numeler üzerinde deneylerini yaptılar. Bütün test edilen zeminlerde su muhtevası optimum su muhtevasının üzerinde idi. Buldukları sonuçların bazıları aşağıdaki gibidir.

a) Jakky bağıntısı,  $K_0 = 1 - \sin \Phi'$ ,  $K_0$  muhtemelen kumlar için çok uygun olmasına rağmen,  $K_0 = 0.95 - \sin \Phi'$  normal konsolide killer için uygundur.



b) Aşırı konsolidasyon oranı 20'nin üstünde olan yerlerde,  $K_o$  değeri pasif toprak basıncı  $K_p$  'ye yaklaşır. Bundan dolayı, aşırı konsolidasyon oranı, OCR,  $K_o$  'ın hesaplanmasında kullanılan faktörlerdendir.

c)  $K_o$  başlangıçta artan efektif içsel sürtünme açısının ( $\Phi'$ ) artmasından dolayı artar. OCR de artarak 20 ye yaklaşır. OCR 20 olduğu zaman  $K_o$  azalmaya başlar. Bundan dolayı,  $\Phi'$  , içsel sürtünme açısı  $K_o$  'ın hesaplanmasında kullanılan bir faktördür. İçsel sürtünme açısı düştüğü zaman, plastisite indisi artar.

**Komornik ve David (1969)**, likit limit (LL), doğal su muhtevası ( $w_n$ ) ve kuru birim hacim ağırlıkla ( $\gamma_d$ ) bağlantılı olarak, şişme basıncı ile ilişkili bir regresyon bağıntısı,  $P_s$ , geliştirilmiştir.

$$\text{Log } P_s = 2.132 + 0.0208LL + 6.65 \times \gamma_d - 0.0269w_n \quad (27)$$

**Nayak ve Christensen (1971)**, sıkıştırılmış şişen kil zeminlerden, deneysel dataları kullanarak, paralel killer için osmotik basınç ve çift tabaka difzyonu teorik ilişkilerinden çıkartılmış temel bir ilişki formu bulmuşlardır. Şişme basınçları için genel regresyon bağıntıları,  $P_p$  aşağıdaki gibidir.

$$P_p = (3.5817 \times 10^{-2}) (PI)^{1.12} \times \frac{C^2}{w_i} + 3.7912 \quad (28)$$

ve şişme potansiyelleri için genel regresyon bağıntıları,  $S_p$ ,

$$S_p = (2.29 \times 10^{-2}) (PI)^{1.45} \times \frac{C}{w_i} + 6.38 \quad (29)$$

burada,

PI = plastisite indisi

C = kil miktarı

$w_i$  = başlangıç su muhtevası.

**Pufahl, Fredlund ve Rahardjo (1983)**, çalışmalarında, Mohr-Coulomb kırılma kriterlerini ve Rankine toprak basıncı teorisini kullanarak toplam gerilme şartında basit toprak basıncı bağıntıları formülize ettiler. Doygun killerde yatay toprak basınçları meydana gelir. Bu basıncın meydana gelmesinde negatif boşluksuyu basınçları yanında teorik limit analizinden elde edilen pozitif matris emme gerilmesine sahip doygun olmayan killerde genişlemesi dikkate alınır. Boşluk suyu basınçlarının azalmasından yada matris emme gerilmesindeki artışından oluşan yatay toprak basıncı değişimini göstermişlerdir. Araştırmacılar, bazı durumlarda oluşabilen maksimum yatay basınçların, zeminler doygun olduğunda pasif basınca eşit olduğunu göstermişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, düşey yüzey gerilme çatlaklarının projelendirmede etkisinin çok az olduğunu göstermişlerdir.

**Duncan ve Seed (1986)**, yatay toprak basınçlarının neden olduğu maksimum ve artık sıkıştırmaların ortaya çıkarılmasında analitik model ve yöntemler gösterdiler. Uygun bir modelin belirlenmesine ilişkin tavsiyeleriyle birlikte, yüklü yada yüksüz dönüşümlerden çıkarılmış gerilmeler için bir histerezlik (manyetik gecikme) modeli geliştirmişlerdir. Daha sonra zeminin sıkıştırılmasından ve yerleştirilmesinden oluşan artık ve pik toprak basınçlarının çıkarılması için bu model analitik metotlara adapte edilmiştir.

**Dhowian (1990)**, zemin emme gerilmesi değişimi ile ilişkilendirilen şişen kabuk formasyonunun kabarmasının tahmininde bir model önerdiler. Kabarma miktarını belirlemek için su muhtevası değişimi kullanılarak, bir tahmin metodu geliştirdiler. Nem indisi adını verdikleri terimi aşağıdaki gibi tanımladılar.

$$C_w = \frac{\alpha G_s}{1 + e_o} \quad (30)$$

burada,

$C_w$  = nem indeksi

$\alpha$  = hacim sıkışabilirlik faktörü

$G_s$  = katı partiküllerin özgül kütlesi

$e_o$  = başlangıç boşluk oranı

EC FÜTSEKÖĞRETİM KURULU  
ROMANTASTON MEYVEZİ

Kabarmayı belirlemek için ,

$$\frac{\Delta H}{H} = C_w (w_s - w_b) \quad (31)$$

bağıntısı kullanılır.

Burada,

$w_s$  = son (nihai) su muhtevası

$w_b$  = başlangıç su muhtevası'dır.

**Xin ve Ling (1992)**, çalışmalarında, su muhtevasının derinliğe bağlı olarak değişimini birçok arazi deneyinden elde etmişlerdir. Su muhtevası ile şişme basıncı arasında bir ilişki vermişlerdir. Araştırmacılara göre, şişme basıncı, zemin özelliklerinin, su muhtevasının ve değişiminin, dayanma yapılarındaki deformasyonun bir fonksiyonudur. Çalışmaların sonucunda, araştırmacılar, dayanma yapıları arkasında, yatay şişme basıncı dağılımını hesaplayan bir bağıntı önermişlerdir. Dayanma yapısında deformasyonun sıfır olması durumunda, bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$P_z = P_{maks.} \frac{\Delta W_z}{W_h - W_s} \quad (32)$$

burada,

$P_z$  = z derinliğindeki yatay şişme basıncı

$P_{maks.}$  = maksimum yatay şişme basıncı

$\Delta W_z = \Delta w_{maks} e^{-az}$

$\Delta w_{maks}$  = maksimum su muhtevası farkı

$W_h$  = şişme limiti

$W_s$  = büzülme limiti

$z$  = derinlik

$a$  = su muhtevası sabiti  $a = \frac{P_w}{P_{maks}}$

$P_w$  = doğal su muhtevasında yatay şişme basıncı

Araştırmacılar, dayanma yapıları arkasında oluşan şişme basınçlarını 3 farklı durum için vermişlerdir. Bunlar,

- a) Aktif tabaka sınırları dayanma yapısının yüksekliğinden daha derindedir.
- b) Aktif tabaka sınırları, dayanma yapısıyla eşit yüksekliktedir.
- c) Aktif tabaka sınırları, dayanma yapısı yüksekliğinden düşüktür.

Araştırmacılara göre, üç durumda da yatay şişme basıncı, su muhtevası değişiminin,  $\Delta w_z$ , eşit yada  $(w_h - w_s)$  den büyük olması durumunda, maksimum yatay şişme basıncını vermektedir. Maksimum yatay şişme basıncı,  $\Delta w_z$  'nin  $(w_h - w_s)$  'den küçük olması halinde sabit kalacaktır.  $\Delta w_z$  'nin sonraki azalmalarında, yatay şişme basıncı da azalacaktır.

**Aytekin (1992)**, Xin ve Ling yaptıkları çalışmalarla ilgili olarak bazı görüşler belirtmiştir. Bağıntı 32 de yatay şişme basıncını hesaplayan denklemin bazı nedenlerden dolayı doğru olamayabileceğini ileri sürmüştür. Bu sebeplerden ilki, çok düşük bir başlangıç su muhtevasından itibaren zeminin son su muhtevası likit limite, LL, eşit yada daha büyük olduğu zaman Bağıntı 32'ye göre su muhtevasının zeminin likit limitinden daha fazla olması halinde bile oluşacak olan maksimum şişme basıncı hidrostatik basınçtan büyük olacağını söylemiştir.

Araştırmacı, şişme basıncının, zeminin likit limitinden daha fazla su muhtevası yada eşit olması durumunda, sıfır olacağını iddia etmiştir. Bu nedenle, Bağıntı 32'nin yatay şişme basınçlarının hesaplanmasında hatalı sonuçlar vereceği belirtilmiştir. Ayrıca bu fikirlerini destekleyen iki deneysel çalışma örneği vermiştir. Zeminin elastisite modülünün,  $E_s$ , su muhtevasının bir fonksiyonu olduğunu belirtmiştir. Su muhtevasının azalması durumunda, elastisite modülü artar. (Barkan 1962). Bu durum Bağıntı 33' de görülmektedir.

$$E_s = E_o \left( 1 - \frac{w^2}{w_o^2} \right) \quad (33)$$

burada,

$E_0$  = sıfır su muhtevsındaki kilin elastisite modülü

$w_0$  = teorik olarak elastisite modülü sıfır olan kilin su muhtevası

Ek olarak, yüzeyde kesme gerilmesinin sıfır olmasından ve kesme gerilmesinin bir fonksiyonu olarak derinlikle artacağından dolayı, araştırmacı doygun kil yüzeyinde elastisite modülünün sıfır olduğunu iddia etmiştir. Bu iddialarının, Skempton, Henkel (1957) ve Sundhindra, Moza (1987) tarafından desteklendiğini belirtmiştir (Aytekin, 1992).

### 1.12. Başlıca Deneysel Analizler

**Parcher ve Liu (1965)**, Kompaksiyon (sıkıştırma) nasıl olursa olsun, araştırmacılar yatay doğrultudaki birim şişmenin, laboratuarda sıkıştırılmış şişen zemin deneyinde bulunan düşey doğrultudaki şişmeden daha büyük olduğunu bulmuştur. Sonra sonuçları zemin yapısı ve çift tabakalı durum için ilişkilendirmiştir. Araştırmacılar, şişme basıncını ve kabarmanın büyüklüğünü etkileyen sekiz faktör belirtmiştir. Bunlar,

- 1) Zemin bileşenlerinin mineralojik oluşumu şişme/büzülme potansiyelinin belirlenmesinde en önemli faktördür.
- 2) Başlangıçta kuru daha sonra içine su almasına izin verilen şişen zeminler, başlangıçta ıslak ve su almasına izin verilmemiş olan zeminden daha fazla şişecektir. Büzülme için bunun tersi doğrudur.
- 3) Kil plaka partikülleri birbirine paralel olarak ve şişme doğrultusuna dik olarak düzenlenen zeminler, partikülleri farklı şekilde düzenlenmiş olandan daha büyük şişme miktarı ve şişme basıncı gösterir.
- 4) Serbest su zemindeki hacmin artmasına sebep olur. Ayrıca, boşluk suyundaki çözülmüş değişebilir katyonlar şişen zeminin ihtiyaç duyduğu suyun miktarını etkiler.
- 5) Şişen zeminlerdeki şişmenin engellenme miktarı zemine etki eden çevre basıncı olarak dikkate alınabilir.
- 6) Laboratuarda hazırlanan örnekler bir kür zamanına sahip olmak zorundadır. Genelde doğada kurutulmuş zeminler test için hazırlanır ve istenilen su miktarı zemine eklenir. Bundan dolayı, zemin küçük miktarda su içerir. Deney başlamadan önce numunede

üniform zemin suyu durumunun sağlanabilmesi ve eklenen suyun yayılabilmesi için yeterli zaman geçmelidir.

- 7) Numunedeki zemin yapısı ve zemin örneğinin mineralojik bileşenleri eklenen suyun numune boyunca yayılımını etkiler, bu yüzden takip eden günlerde kaygan bir yüzey yada çatlaklar tarafından sınırlandırılmış zemin karışımında suyun ilerlemesi sırasında bazı başlangıç şişmeleri meydana gelir.
- 8) Geçirimsizlik ve çift tabakanın kalınlığı da sıcaklıktan etkilenir. Sıcaklığın artması daha hızlı oranda suyun geçmesine izin verir fakat sıcaklığın artması durumunda tabaka kalınlığı artmalıdır.

**Blight (1967)**,  $K_0$  değerinin kilin gerilme geçmişine bağlı olduğunu göstermiş ve aşırı konsolidasyon oranının artması durumunda  $K_0$  değerinde arttığını göstermiştir. OCR yaklaşık olarak 5 – 6' yı aştığı zaman  $K_0$  değeri 1'den daha büyük olacaktır. Blight ayrıca Skempton'un daha önce karşılaştığı, örselenmemiş örnekler üzerinde yaptığı izotrop efektif gerilme ile arazideki efektif yüzeysel gerilmelerin karşılaştırması ile yaptığı çalışmalarda, arazideki  $K_0$  değerinin ortaya çıkarılabileceğine ilişkin sonuçlarını özetlemiştir. Bu çalışma yatay efektif gerilmelerin kilin pasif basınç direncine yaklaştığına da göstermiştir. Araştırmacı iki Güney Afrika zemininde  $K_0$  değerini ölçmüştür. Bu çalışmada üç sonuca ulaşmıştır. Bunlar,

- 1) Arazide kuruma ve ıslatmalar yoluyla aşırı konsolide olmuş doygun göl kilinde yatay efektif gerilmeler çatlaklı kilin pasif basınç direncine yaklaşabilir.
- 2) Su seviyesinin düşmesinden dolayı oluşan kilin kuruması ve bu kuruma ile oluşan büyük büzülme sonucunda yatay efektif gerilmeler azalır.
- 3) Göl kili orijinli şişen killerde sükunet halindeki yatay gerilmeler, kil tamamen yüzeysel kabarma altında olsa bile kilin minimum pasif basınç direncinden genellikle düşük olacaktır.

**Komornik ve Livneh (1968)**, Laboratuvar araştırmalarından yola çıkarak, şişme miktarının kompaksiyon yapılan doğrultuda fazla olduğunu rapor etmişlerdir. Buna, kullanılan montmorillonitik kilin plaka yapısının kompaksiyon doğrultusuna dik doğrultuda olmasını sebep göstermişlerdir. Araştırmacılar aynı düşey şişme miktarı için

paralel doğrultuda elde edilen yatay şişme basınçlarının, dikey doğrultuda elde edilen yatay şişme basıncından daha küçük olduğunu söylemişlerdir. Araştırmacılara göre bu bulgunun önemi, dayanma yapıları arkasında sıkıştırılmış bir dolgu kullanılıyorsa bu dolgunun oluşturacağı yatay basınçlar , laboratuarda örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen yatay basınçlardan daha az olmasıdır. Araştırmacılar ayrıca %1 oranında düşey şişmeye izin verilen anizotrop zeminlerin, düşük düşey basınçlarda %40 ve %50 oranlarında yatay şişme basınçlarını etkilediğini rapor etmişlerdir. Sonuç olarak, araştırmacılar kil plakalarının yerleşim biçiminin etkisi kilin yapısı konusundaki yapılan deneylerde bulunan sonuçlardan doğru etkilerinde göz önüne alınması gerektiği sonucunu çıkarmışlardır.

**Saito ve Yanai (1969)**, çalışmalarında sıkıştırılmış örnekleri yatay doğrultuda sınırlandırılarak doymuş hale getirdiler. Aşamalı yükleme programı süresince şişme basınçlarını ölçtüler. Sonuçlardan bazıları aşağıdaki gibidir.

- 1) Maksimum şişme basıncı ve optimum su muhtevsındaki şişme yüzdesi plastisite indisi arttıkça artar.
- 2) Plastisite indisi, PI ve plastik limit, PL büyükse, kuru birim hacim ağırlık değişiminin bir fonksiyonu olarak şişme basınçlarının değişim oranında büyür.
- 3) Su muhtevası optimum su muhtevasından fazla olduğu zaman, fazla sayıda darbe ile sıkıştırılmış zemin daha az şişer.
- 4) Plastisite indisi büyüdüğü zaman, doymuş olmadan önce ve sonra drenajsız kesme direnci farkı büyüktür.

**Satyanarayana (1969)**, şişen zemine kum karıştırılması veya şişen zeminlerin şişme basınçlarının düşürülmesinde kumun etkisini araştırmıştır. Laboratuar çalışmalarında, sıkıştırılmış “Hindistan Siyah Pamuk Zemini” adındaki türü kullandılar. Buldukları sonuçların bazıları aşağıdadır.

- 1) Yüzde olarak şişme basıncındaki azalma, kum eklenmesi durumunda büyür.
- 2) Kil partiküllerinin net şişme hacmi, şişme basıncını oluşturan sebeptir. Düşük yüzdeli kumda kum parçaları tarafından biçimlendirilen boşluklarda kil bir dolgu malzeme gibi

davranır. Şişme basınçlarının ölçülmesinde mantıksal sonuçlar çıkarabilmek için deneyler yapılırken özel bir dikkat gerektirmektedir.

**Komornik ve Zeitlen (1970)**, araştırmacılar farklı yerleştirme şartlarında sıkıştırılmış kilden düşey ve yatay basınç gelişimini ölçtükleri laboratuvar araştırmalarının sonucunda aşağıdaki sonuçları rapor etmişlerdir.

- 1) Örnekler sabit birim hacim ağırlığında, düşük su muhtevasında sıkıştırıldıkları zaman, yüksek su muhtevalarında sıkıştırılan ve diğer özelliklerinin sabit kaldığı laboratuvar örneklerine göre daha az şişme miktarına sahip olur.
- 2) Sabit su muhtevasında, örnekler yüksek birim hacim ağırlıkta sıkıştırıldığında şişme miktarı daha büyüktür.
- 3) Örnekler aynı birim hacim ağırlığında olduğu zaman, düşey hareket de yok ise şişme basınçları, su muhtevasının değişmesi ile büyük farklılıklar göstermez.
- 4) Birim hacim ağırlığı arttığı zaman, örnekteki su muhtevası ne kadar olursa olsun düşey şişme basınçlarında artacaktır.

**Brackley (1973)**, dinamik olarak sıkıştırılmış Güney Afrika şişen killeri üzerinde yaptığı laboratuvar deney sonuçlarından şişme basıncının boşluk oranının bir fonksiyonu olduğunu söyledi ve şişme basıncının su muhtevası eğrisine karşı olarak emmeden tahmin edilebileceğini önerdi. Çalışmasında, serbest şişme yüzdesinin tahmini için aşağıdaki denklemi önerdi.

$$FS = \frac{m_s - m_0}{0.36 + m_0} \times 100 \quad (34)$$

burada,

FS = serbest şişme

$m_0$  = orijinal su muhtevası

$m_s$  = örneklerin suya yerleştirildiği zaman şişmenin olmadığı sıkıştırılmış su muhtevası

**Joshi ve Katti (1980)**, araştırmacılar "Hindistan Siyah Pamuk" zeminini yatay şişme basınçlarının belirlenmesinde kullandılar. Buldukları sonuçların bazıları aşağıdadır.



- 1) Doymun hale geldikten sonra yatay ve düşey şişme basınçları yaklaşık olarak üç eksenli deney sonuçlarından bulunanla aynıdır.
- 2) Yaklaşık 1 metre (3 ft) 'nin altında, yatay şişme basınçları yüzeiden bu derinliğe kadar artarken 1 metre'nin altında yatay şişme basınçları yaklaşık olarak sabit kalır.
- 3) Doymun hale geldikten sonra, yatay şişme basınçları zamana bağılı olarak artar. Maksimum değerine yaklaşık 20 – 30 gün arasında ulaşır. Sonra şişme yavaşca azalır ve bir süre sonra hemen hemen sabit kalır.
- 4) Sürşarj artarken  $K_0$  azalır fakat yaklaşık olarak minimum 2.0 değerine doğru yaklaşır.
- 5) Yatay basınç gelişimi, yaklaşık olarak  $2,19 \text{ kg/cm}^2$  (2tsf) 'ye doğru artan sürşarj basıncı altında doğrusal ve hızlıdır, sonra artmaya devam ederken hızı azalır.
- 6) Şişme basıncı azaldıkça yatay basınçlar şişmeyen zeminin yatay basıncı ile aynı olmaya başlar.

**Katti, Bhangale ve Moza (1983)**, araştırmacılar, çok geniş kapsamlı, büyük ölçekte laboratuvar deneylerinden, kohezyonlu şişmeyen zeminlerin kumun ve “Hindistan Siyah Pamuk” zemininin şişme basınçları üzerindeki etkilerini incelediler. Laboratuvar modelinde duvarın hareketine izin verilmemiştir, bunun sonucunda deneylerden elde edilen sonuçlar sükunet halindeki zemin basıncı katsayısı  $K_0$  durumunu gösterir. Başlangıç sonuçları, tamamen suya doymun halde 45 gün boyunca içerisine su girmesine izin verilmiş “Hindistan Siyah Pamuk” zemini ile ilgilidir. Ek olarak araştırmacılar sonuçtan emin olmak için zemini 70 gün süreyle su içerisinde bırakmışlardır. Katti'nin deneysel olarak ulaştığı sonuçların bazıları aşağıda özetlenmiştir.

1) Jakky'nin denklemi,  $K_0 = 1 - \sin\phi$ , kuru, gevşek yerleştirilmiş zemin için geçerlidir fakat sıkıştırılmış zeminler için geçerli değildir.

a) Yatay basınçlardan bulunan  $K_0$  değeri, havada kurumuş kum için 0.63, havada kurumuş kohezyonlu şişmeyen zemin için 0.48 ve “Hindistan Siyah Pamuk” zemini için 0.26 olarak belirlenir.  $K_0$  değerleri Jakky'nin denklemi ile aynı zeminler için sırasıyla 0.625, 0.48 ve 0.59 olmaktadır.

b)  $K_0$  değeri havada kurutulmuş zemin sıkıştırıldığında herbir zemin için 1.0 dan daha fazla olarak bulunmuştur. Bu değerler kum için 2.33, kohezyonlu şişmeyen zemin için 1.16 ve şişen “Hindistan Siyah Pamuk” zemini için 1.1 olarak belirlenir.

c) Zemin sıkıştırılmış ve doymun halde iken  $K_0$  değeri kum ve kohezyonlu şişmeyen zemin için doymun kumlarda 2.33 den 2.58’e kadar, doymun kohezyonlu şişmeyen zemin için ise 1.16 dan 1.50’ye kadar yavaş bir şekilde artmıştır.

d) Yatay basınç dağılımı dokuz deneyin sekiz tanesinde havada kurutulmuş kum, kohezyonlu şişmeyen zemin, şişen zemin, sıkıştırılmış kum, sıkıştırılmış kohezyonlu şişmeyen zemini ve sıkıştırılmış şişen zemin için derinlik boyunca doğrusal olduğu saptandı. Ölçülen yatay basınç verilerinin hepsi derinliğin bir fonksiyonu olarak Şekil 15., Şekil 16. ve Şekil 17. de gösterilmiştir.

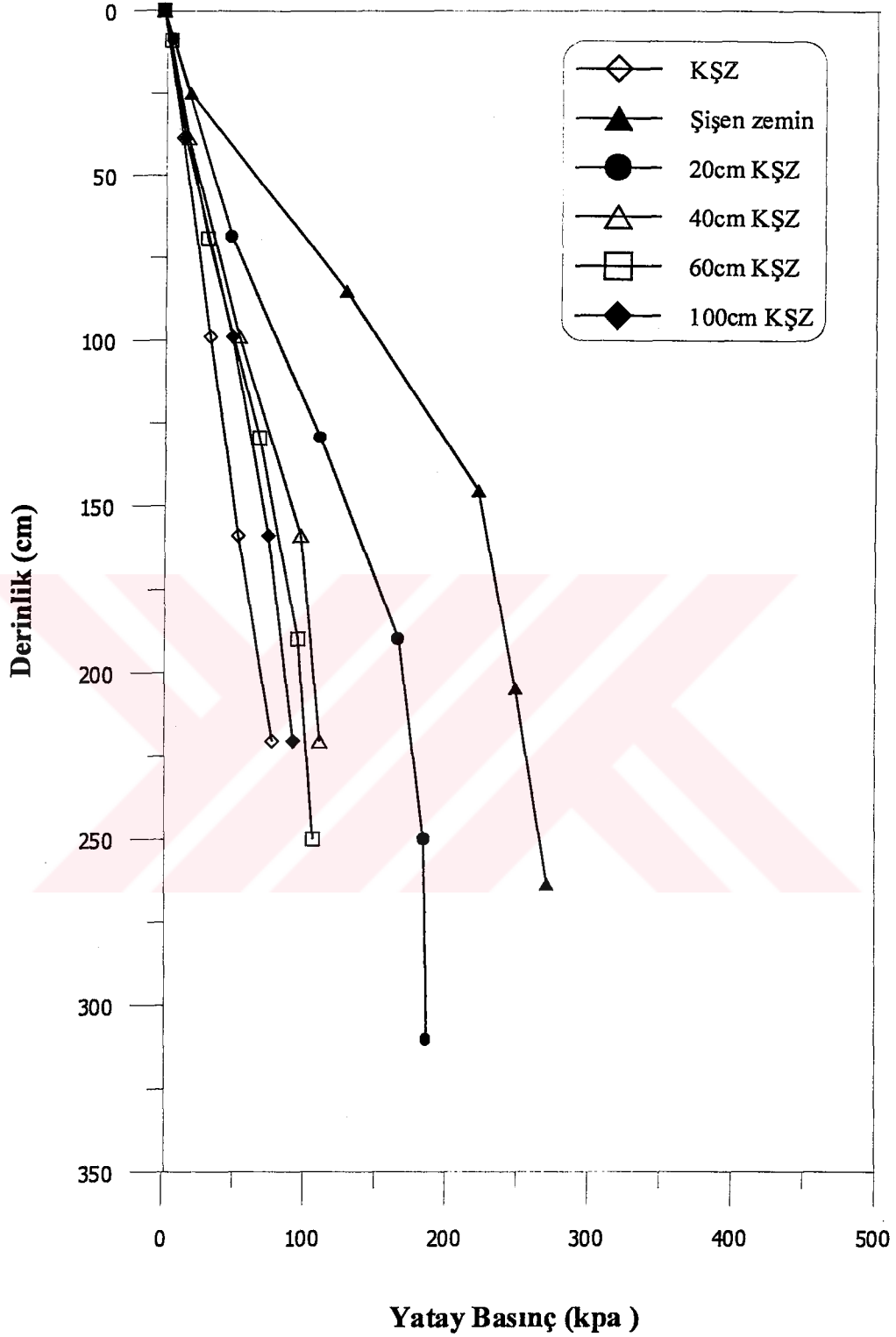
2) Şişmesine izin verilmiş, sıkıştırılmış şişen zemin için, yatay basınç ve derinlik arasında ölçülen ilişkinin doğrusal olmadığı (nonlinear) bulundu ve yüzeyden yaklaşık 145 cm’ye kadar hızlı bir şekilde arttığı belirlendi. Bu derinlikten sonra yatay basınçlar artmaya devam etmiş fakat aynı oranda olmamıştır

3) En büyük yatay şişme basıncının, doymunluk derecesi %100 den az olan bazı durumlarda ortaya çıktığı bulunmuştur.

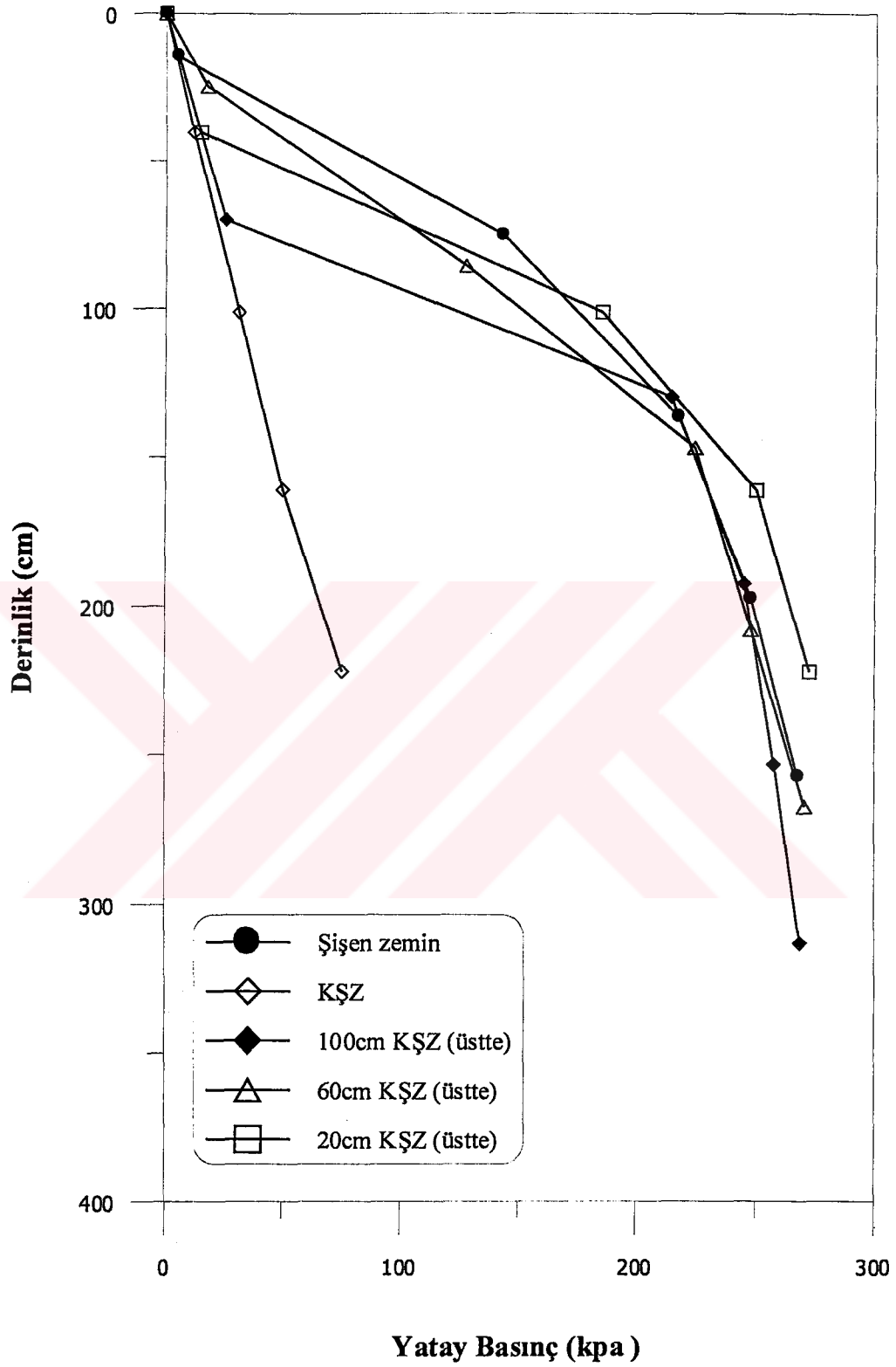
4) Değişik kalınlıklarda kohezyonlu şişmeyen zemininin etkisini belirlemek için 3 farklı deney serisi yapılmıştır. (I) Kohezyonlu şişmeyen zemin şişen zeminin en üstüne yerleştirilmiştir. (II) Kohezyonlu şişmeyen zemin duvar ile şişen zemin arasına yerleştirilmiştir. (III) Kohezyonlu şişmeyen zemin 1. ve 2. durumun bir kombinezonu olarak yerleştirilmiştir. Bulunan sonuçlar aşağıda açıklandığı gibidir.

a) Arkadaki kohezyonlu şişmeyen zemin kalınlığı 0’dan 1 metre kalınlığa doğru artarken yatay basıncın ölçülen değeri azalmakta ve doymun sıkışmış zemine yaklaşmaktadır.

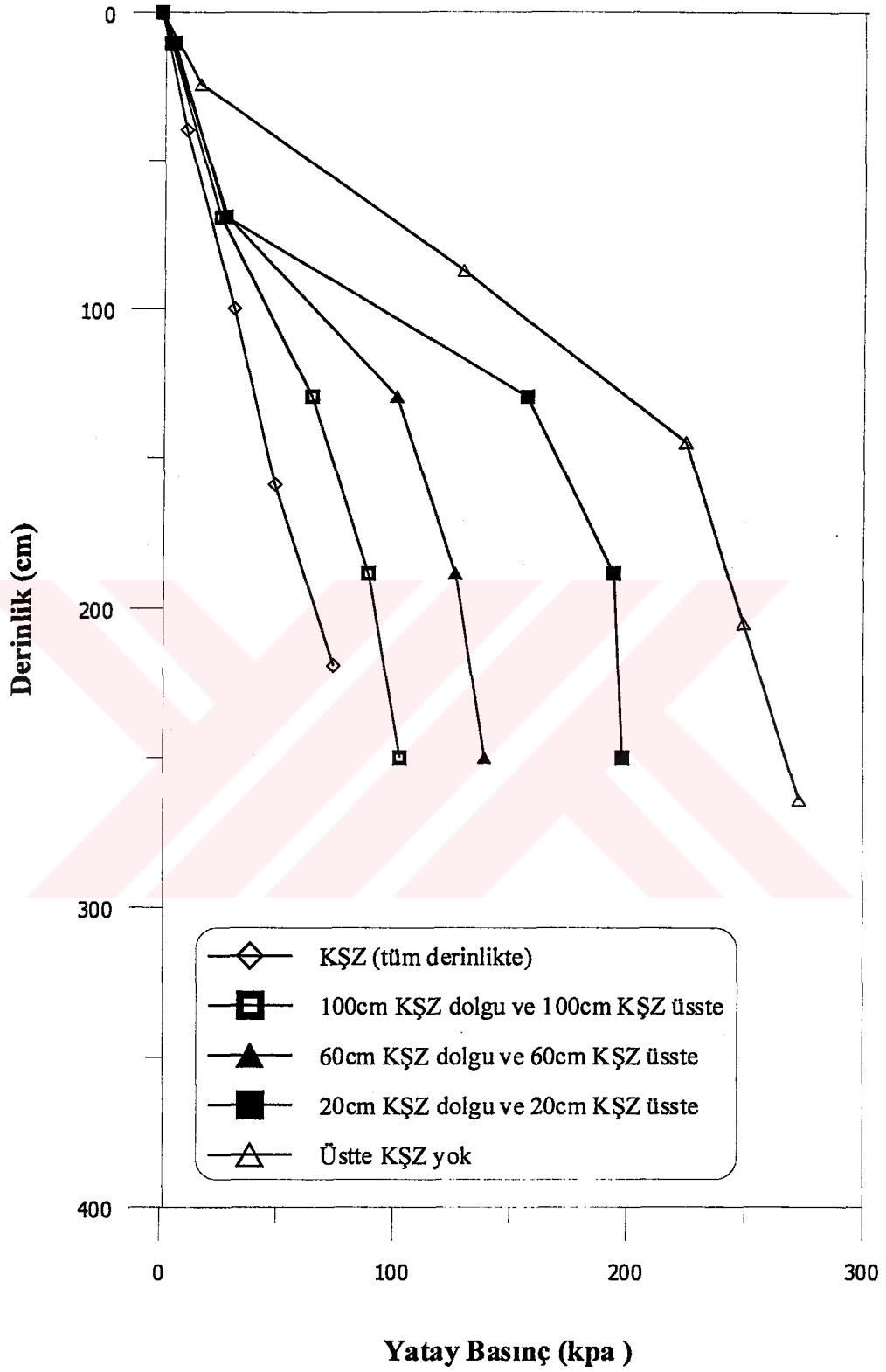
b) Ölçülen yatay basıncın büyüklüğü ölçülebilecek ölçüde azalmamıştır. Yani çok azdır ancak arkaya konan dolgu malzemesinin kalınlığı 0’dan 1m’ye doğru artırılırken düşey kabarmasının büyüklüğü azalmakta ve kabarma olmaması durumuna yaklaşmaktadır.



Şekil 15. Duvar ile şişen zemin arasındaki değişik kalınlıklardaki kohezyonlu şişmeyen zemin (KŞZ) durumunda, şişen zemin için, sadece şişen zemin için, ayrıca sadece kohezyonlu şişmeyen (KŞZ) zemin için yatay basınçların derinlikle değişimi. (Katti ve diğerleri, 1983)



Şekil 16. Şişen zemin üstünde değişik kalınlıklarda kohezyonlu şişmeyen zemin (KŞZ) durumunda, şişen zemin için, sadece şişen zemin için, ayrıca sadece kohezyonlu şişmeyen (KŞZ) zemin için yatay basınçların derinlikle değişimi. (Katti ve diğerleri, 1983)



Şekil 17. Duvar arkası ve şişen zemin üstünde değişik kalınlıklardaki kohezyonlu şişmeyen zemin (KŞZ) durumunda, şişen zemin için, sadece şişen zemin için, ayrıca, sadece kohezyonlu şişmeyen (KŞZ) zemin için yatay basınçların derinlikle değişimi. (Katti ve diğerleri, 1983)

c) Arkaya konan dolgu malzemesinin kalınlığı 0'dan 1m'ye kadar artırıldığında, yatay basınç ve düşey kabarma için ölçülen büyüklükteki azalma, her iki durum için deneyde gözlenen davranışa benzer davranış göstermiştir.

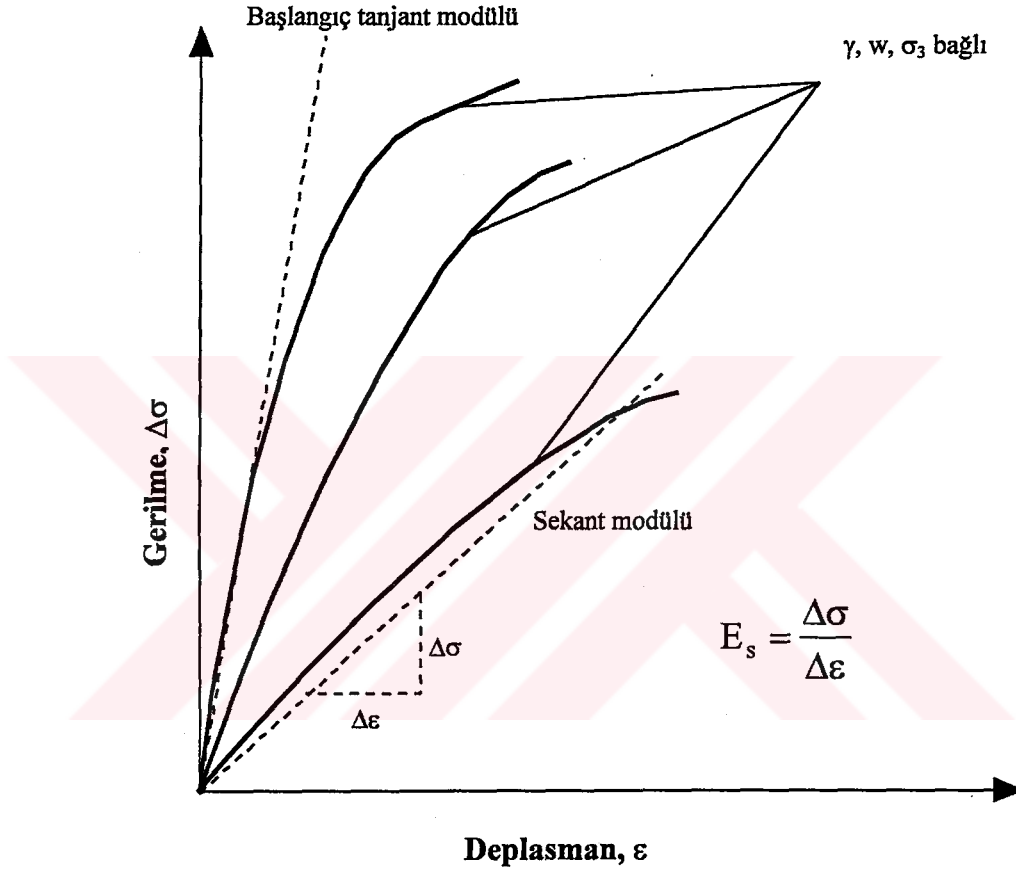
**Erol ve Ergun (1994)**, çalışmalarında yatay ve düşey şişme basınçları ile aralarındaki ilişkileri, sıkıştırılmış şişen zemin örnekleri kullanarak laboratuvarında kendi geliştirip imal ettikleri ince cidarlı ödometre deney aletine uygulayarak belirtmişlerdir. Yatay şişme basınçları ve şişme davranışı üzerinde sürşarj yükü ve başlangıç su muhtevasının etkilerini göstermişler ve sabit normal gerilme altında yatay şişme basınçlarının pik bir değere kadar hızlı bir şekilde arttığını ve nihai hacimden sonra kademeli olarak azaldığını ifade etmişlerdir. Yatay ve düşey şişme basınçları arasında değişim oranını raporlarında göstermişlerdir. Statik olarak sıkıştırılmış numuneler üzerinde, CVS (Constant Volume Swell) ve SO (Swell Overburden) deneyleri yaparak çalışmalarının sonucunda, CVS deneyinde bulunan yatay şişme basınçlarının miktarını düşey şişme basınçlarından büyük veya eşit olarak elde etmişlerdir. Yatay ve düşey şişme basınçlarının, başlangıç su muhtevasının ve yüksek su muhtevalarında açığa çıkan büyük şişme basıncı oranlarının artmasıyla azalmakta olduğu sonucunu belirterek, pratik uygulamalarda, yatay şişme basıncının pik ve nihai değerlerinin, katman basıncı seviyesine bağlı olarak dikkate alınması gerektiği sonucuna varmışlardır.

### 1.13. Zemin Elastisite Modülünün Belirlenmesi

Zemin elastisite modülünün belirlenmesinde pek çok deney yöntemi kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan yöntemler, üç eksenli basınç deneyi, serbest basınç deneyi, plaka yükleme deneyi, California taşıma gücü deneyi, presiyometre deneyi, statik koni deneyi, standart penetrasyon deneyi ve kesme kutusu deneyidir.

- 1) **Üç eksenli kesme deneyi:** Gerilme – şekil değiştirme eğrisinden  $E_s$  belirlenir. Şekil 18. de grafik üzerinde görüldüğü gibi, eğrinin başlangıç noktasından eğriye teğet olarak çizilen doğrunun eğimi başlangıç teğet modülü olarak adlandırılır ve birbirinden ayrı iki noktayı birleştiren doğrunun eğimi ise sekant modülü olarak adlandırılır. Sekant modülü değeri, zeminin tahmin edilen gerilme seviyesine bağlı belirlenen nokta ile

başlangıç noktalarının bir araya toplanmasından elde edilir. Genelde pik deviatör gerilmenin 1/2 veya 1/3 'üne karşılık gelen noktanın ikinci nokta olarak kullanılması tavsiye edilir (Gunalan, 1966). Proje için umulan gerilmeyi ve temel oturma seviyesini göz önünde bulundurarak hangi modülün kullanılacağına karar verir.



Şekil 18. Zeminin gerilme – şekil değiştirme eğrisi

- 2) **Plaka yükleme deneyi:** Aynı şekilde fakat farklı boyutlardaki plaka yükleme serisinden çıkarılan oturma ve yük değerleri arasında bir eğri çizilir. Bu eğrinin eğimi  $E_s$  ile ilişkilidir (Bowles, 1988). Bu ilişki aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$E_s = \frac{1 - \mu^2}{s} \cdot q B I \quad (35)$$

burada,

$s$  = oturma (in)

$q$  = temel yükü (psi)

$B$  = temel genişliği (in)

$E_s$  = zeminin elastisite modülü (psi)

$\mu$  = zeminin Poisson oranı

$I$  = temelin şekline ve rijitliğine bağlı etki faktörü

- 3) **Presiyometre deneyi:** Aşağıdaki denklem kullanılarak elastisite modülü,  $E_s$  bulunur (Lukas ve Bussey, 1976).

$$E_s = \alpha E_{sp} \quad (36)$$

burada,

$\alpha$  = yapısal sabit (killler için 2/3, siltler için 1/2 )

$E_s$  = zeminin elastisite modülü (tsf)

$E_{sp}$  = küresel elastisite modülü (tsf)

- 4) **Statik koni deneyi:** Statik koni deneyi sonuçları elastisite modülü,  $E_s$  ile aşağıdaki şekilde ilişkilidir (Schmertmann, 1970).

$$E_s = 2q_c \quad (37)$$

burada,

$E_s$  = zeminin elastisite modülü ( $\text{kg/cm}^2$ )

$q_c$  = koni direnç değeri ( $\text{kg/cm}^2$ )

- 5) **Standart penetrasyon deneyi:** Standart penetrasyon deneyinden elde edilen vuruş sayısından aşağıdaki denklemler, zeminin elastisite modülü,  $E_s$  ile ilişkili olarak çıkarılmıştır (Bowles, 1988).

$$E_s = 10 (N + 15) \quad \text{kumlar için} \quad (38)$$

$$E_s = 6 (N + 5) \quad \text{killler için} \quad (39)$$



burada,

$E_s$  = zeminin elastisite modülü (ksf)

$N$  = vuruş sayısı

6) **California taşıma gücü deneyi:** Arazide yapılan California taşıma gücü deneylerinden elastisite modülü,  $E_s$  için aşağıdaki denklem bulunmuştur (Crossley ve Beckwith, 1978).

$$E_s = 500 \text{ CBR} \quad (40)$$

burada,

$E_s$  = zeminin elastisite modülü (psi)

CBR = Kaliforniya taşıma oranı (boyutsuz)

Elastisite modülünü bulmakta deneysel çalışmaların ardından, Skempton ve Henkel (1957)'de kayma direnci ve plastisite indisi yaklaşık %50 olan Londra kili elastisite modülü arasında bir ilişki verdiler (Cooling ve Skempton, 1942). Bu ilişki aşağıdaki gibidir.

$$E_s = 140 \times c \quad (41)$$

burada,

$c$  = zeminin kayma direnci

Bunlardan başka olarak Tablo 8. ve Tablo 9. da pekçok deney yönteminin gerilme şekil değiştirme ilişkisinden elde edilen elastisite modülü denklemleri ve çeşitli zemin türleri için gerilme-şekil değiştirme ortalama elastisite modülü değerleri , Tablo 10. da zemin türüne bağlı Poisson oranları gösterilmektedir (Bowles, 1999).

Bu çalışmada ise, derinliğe bağlı olarak elastisite modülünün değiştiği, homojen, izotropik ve doğrusal elastik malzemenin sonlu matematik modelinin yerine daha karmaşık bir model kullanılabilir. Ancak model basitleştikçe daha az ve daha basit mekanik özelliklere sahip olur. Bunun karşısı olarak daha karmaşık bir model de daha fazla mekanik

parametreler gerektirir. Sonuç olarak hesaplamalar ve deney yöntemleri bu parametreleri çok zor ve uygulanması güç bir hale sokar. Bundan başka, bu çalışma, zemine uygulanan dış yüklerden ve emme gerilmelerinin bir bileşkesinden dolayı deformasyon ve gerilmelere göre bir hesap yaptığı için şişme ve termal gerilmeler arasında bir benzeşim kurulabilir.

Şişen killerdeki hacim değişimi doğrusal olarak zemin emme gerilmesine ve buda zeminin termal şişme benzeşimine bağlıdır (Aitchison ve Woodburn, 1969). Bundan dolayı şişmeyi tanımlarken yada zemin kütlelerinin şişme davranışını tanımlarken, iki boyutlu termoelastik şişme teorisi kullanılabilir.



Tablo 8. SPT ve CPT deneylerinden elde edilen çeşitli zemin türlerine ait elastisite modülü denklemleri (Bowles, 1997)

| Zemin   | SPT   | CPT  |
|---|---|--|
| Kum ( Normal konsolide )  | $E_s = 500 ( N + 15 )$<br>$= 7000 \sqrt{N}$<br>$= 6000 N$<br>-----<br>$\# E_s = ( 15000 \sim 22000 ) \times \ln N$  | $E_s = ( 2 \sim 4 ) q_u$<br>$= 8000 \sqrt{q_c}$<br>-----<br>$E_s = 1.2 ( 3D_r^2 + 2 ) q_c$<br>• $E_s = ( 1 + D_r^2 ) q_c$<br>$E_s = F q_c$<br>$e = 1.0 \quad F = 3.5$<br>$e = 0.6 \quad F = 7.0$ |
| Kum (Normal konsolide)<br>Kum (Aşırı konsolide)   | ♣ $E_s = ( 2600 \sim 2900 ) N$<br>♦ $E_s = 40000 + 1050 N$<br>$E_{s(OCR)} \approx E_{s,nc} \sqrt{OCR}$  | $E_s = ( 6 \sim 30 ) q_c$  |
| Çakıllı kum   | $E_s = 1200 ( N + 6 )$<br>$= 600 ( N + 6 ) \quad N \leq 15$<br>$= 600 ( N + 6 ) + 2000 \quad N > 15$  |  |
| Killi kum<br>Silt, kumlu silt ve killi silt   | $E_s = 320 ( N + 15 )$<br>$E_s = 300 ( N + 6 )$<br>$Q_c < 2500 \times 10^7 \text{ (kg/m}^2\text{)}$<br>$\Rightarrow$<br>$2500 < q_c < 5000 \Rightarrow$<br>$E_s' : \text{sıkıştırılmış modül}$<br>$E_s' = \frac{E_s(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} = \frac{1}{m_v}$ | $E_s = ( 3 \sim 6 ) q_c$<br>$E_s = ( 1 \sim 2 ) q_c$<br>♥ $E_s' = 2.5 q_c$<br>$E_s' = 4 q_c + 5000$  |
| Yumuşak kil ve killi silt   |   | $E_s = ( 3 \sim 8 ) q_c$   |
| <b>Birim <math>s_u</math> için drenajsız kesme gerilmesi <math>s_u'</math> 'yu kullanın</b> |   |  |
| Kil ve silt<br>Siltli yada kumlu kil  | $IP > 30$ yada organik<br>$IP < 30$ yada katı   | $E_s = ( 100 \sim 500 ) s_u$<br>$E_s = ( 500 \sim 1500 ) s_u$<br>Tekrar $E_{s,OCR} \approx E_{s,nc} \sqrt{OCR}$<br>Yüksek plastisiteli killer için küçük $s_u$ sabitini kullanın                 |
| Killerin genel uygulamalarında  | $E_s = K s_u$<br>$K = 4200 - 142.54 IP + 1.73 IP^2 - 0.007 IP^3$<br>$IP : \text{Plastisite indeksi (\%)}$<br>$20 (\%) \leq IP \leq 100 (\%)$  |  |

Vesic (1970), ♣ USSR, ♦ Japon standartlarından, ♥ Senneset et al. (1988), # D'

Appolonia et al. (1970)

Tablo 9. Çeşitli zemin türleri için gerilme-şekil değiştirme ilişkisine göre ortalama elastisite modülü değerleri (Bowles, 1997)

| Zemin                   | $E_s, (\text{Kg/m}^2) \times 10^5$ |
|-------------------------|------------------------------------|
| Kil                     |                                    |
| Çok yumuşak             | 2 – 15                             |
| Yumuşak                 | 5 – 25                             |
| Orta                    | 15 – 50                            |
| Sıkı                    | 50 – 100                           |
| Kumlu                   | 25 – 250                           |
| Buzlanma olması halinde |                                    |
| Gevşek                  | 10 – 150                           |
| Yoğun                   | 150 – 720                          |
| Çok yoğun               | 500 – 1440                         |
| Lös                     | 15 – 60                            |
| Kum                     |                                    |
| Siltli                  | 5 – 20                             |
| Gevşek                  | 10 – 25                            |
| Yoğun                   | 50 – 81                            |
| Kum ve çakıl            |                                    |
| Gevşek                  | 50 – 150                           |
| Yoğun                   | 100 – 200                          |
| Şeyl                    | 150 – 5000                         |
| Silt                    | 2 - 20                             |

Tablo 10. Bazı zemin türleri için ortalama poisson değerleri (Bowles, 1999)

| Zemin Türü                  | Poisson Oranı ( $\mu$ )             |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| Pek çok kil zeminler        | 0.4 - 0.5                           |
| Doygun haldeki kil zeminler | 0.45 – 0.50                         |
| Kumlu kil                   | 0.2 – 0.3                           |
| Silt                        | 0.3 – 0.35                          |
| Kum, çakıllı kum            | 0.1 – 1.0, sık kullanılan 0.3 – 0.4 |
| Kohezyonsuz – orta ve yoğun | 0.3 – 0.4                           |
| Kohezyonsuz – gevşek, orta  | 0.2 – 0.35                          |

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Şişen Zeminlerde Şekil Değişimleri ve Gerilmeler

Daha önceki bölümlerde tanımlandığı gibi, şişen zeminlerin su muhtevasında değişiklik olduğunda, hacimlerinde büyük miktarlarda değişiklik olur. Zeminin su muhtevası arttığında şişerken, azaldığında büzülür. Şişme deformasyonları, dış yüklerden, bitişik zeminlerden, dayanma yapıları ve temellerden dolayı, engellendiği zaman zemin kütlelerinin içinde gerilmelerin doğmasına sebep olur. Pek çok zeminin, temellerdeki düşey basınçlar nedeniyle serbest bir şekilde deforme olmasına engel olunur. Bundan dolayı, ortaya çıkan gerilmelerin miktarı ve deformasyonların tahmini şişen zeminlerde önemli bir problemdir. Genelde, gerilme ve deformasyon, sürşarj ve temel yükü gibi dış yüklerle karşı oluşmuş bir tepkidir. Buna ilave olarak şişen zeminlerde, zemin kütleindeki emme gerilmesi ve su muhtevasına karşı gerilme ve deformasyon oluşur.

Bunlardan ayrı olarak, toprak basıncı hesabında, duvar sürtünmesinin hesaba alınıp alınmaması, daima tartışma konusu olmuştur. Bununla beraber, herkes tarafından benimsenen toprak basıncı teorilerinde, duvarın az bir miktar hareket ettiği kabulü yapıldığından, duvar ile toprak arasındaki sürtünme direncinin, zeminin kırılma düzlemleri arasındaki sürtünme gibi göz önüne alınması kabul edilmiştir. Her ne kadar bu direncin değerini tam olarak elde etmek zorsa da, genel olarak deneyler bu kabulü desteklemektedir. Packshaw (1946), duvar sürtünme açısı ile, içsel sürtünme açısı arasında direk bir bağıntı olmadığını göstermiş ve kohezyonsuz zeminler için,  $\delta$ 'nın  $17^\circ$  ile  $30^\circ$  arasında bir değerlere denk geldiğini belirtmiştir.  $\delta$  için  $\frac{1}{2}\phi$  ile  $\frac{3}{4}\phi$  arasında bir değer kabulü uygun görülebilir.

Deney neticelerinin bulunmaması halinde,  $\delta$ , beton veya tuğla duvarlar için  $20^\circ$ , katran veya bitümlü örtülü çelik paplans'lar için  $30^\circ$ , ve örtüsüz paplans'lar için  $15^\circ$  olarak alınabilir (Kumbasar, Kip, 1984).

Rankine teorisi duvar ile dolgu arasındaki sürtünmeyi gözönüne almamıştır (Kumbasar, Kip, 1984). Yatay yüzü bir zeminde, düşey bir duvar yüzüne etkiyen basıncın yatay olarak etkidiği kabul edildiğinden sürtünme söz konusu değildir. Bununla beraber,

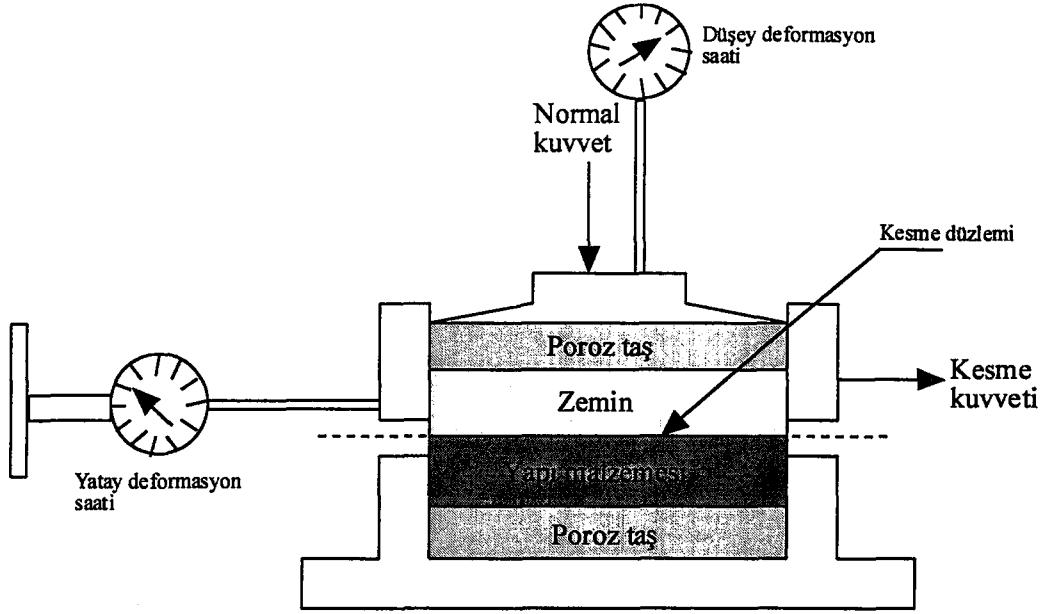
eğik zemin yzeyleri için dzyey bir duvara gelen basıncın, toprak yzüne paralel olarak etkidiği kabul edildiğinden toprak basıncının hem normal hemde teğetsel bileşeni vardır.

Duvar srtünmesinin göz önüne alınması halinde, toplam itkinin (aktif toprak basıncının) değeri azalır. Aynı zamanda duvar normali ile yaptığı açı artarak duvarın devrilme momentini azaltır. Duvar ile zemin arasında oluşan boşluk, zemin tabakalarında, daha çok kayalarda rastlanan süreksizlik veya çatlak olan bölgelere benzer. Kaya mekaniğinde süreksizliğin mekanik davranışları pekçok araştırmacı tarafından tartışılmıştır. Bu tartışmalardan yola çıkarak, şişen zeminlerde oluşan duvar ile zemin arasında veya herhangi bir atlakda, kaya mekaniğinde oluşan süreksizliklerle bir benzeşim kurulabilir. Dolayısı ile zeminlerde, genellikle zemin-yapı arasında süreksizlik yzeyleri mevcuttur. Süreksizlik yzeyleri yapı ile zemin arasında bir srtünmeye sahiptir. Genellikle sürekli modeller kullanılarak analiz edilmiş olmasına rağmen bu çalışmada zemin-duvar, zemin-zemin arası süreksizlik bölgesi olarak göz önünde bulundurulacaktır. Bu süreksizlik olan kısım da sonlu elemanlar metodunda kullanılan “arakesit eleman” ile modellenecektir. Problemin çözümünde ihtiyaç duyulan parametreler, zemin mekaniğinde kullanılan deneysel metodlardan alınacaktır.

## 2.2. Süreksizliğin Mekanik Özellikleri

Süreksizlik yzeylerini karakterize edebilmek için, zeminin detaylı bir şekilde incelenmesi ve testlere tabi tutulması gerekebilir. Bunun için bazı laboratuvar deneyleri kullanılabilir. Bazen de, arazide yapılan deneyler boşluk özelliklerini karakterize etmede daha uygun olabilir.

Düşük, normal doğrultusundaki basınçlarda direkt kesme deneyi süreksizlik parametrelerinin belirlenmesinde en çok kullanılan yoldur. şekil 19. da kesme kutusu deney numunesi modeli gösterilmiştir.



Şekil 19. Direkt kesme düzeneği

### 2.3. Şişen Zemin Modeli ve Arakesit Davranışı

Zeminin içine veya üstüne yapılan yapıların tasarımında ve hesabında zemin-yapı davranışı özelliklerinin bilinmesine ihtiyaç duyulur. Zemin - yapı etkileşiminden oluşan problemlerde (statik ve dinamik) sonlu elemanlar metodu (SEM) gerçekçi ve uygun çözümler ortaya koymuştur. Sayısal metotlar arasında sonlu elemanlar metodu ile, geniş bir alana yayılan problemlerde belirgin sonuçlar elde edilmiştir. Temeller, kazıklar, dayanma yapıları, zemin altına yapılan yapılar, binalar ve barajlar bu problemlerden bazılarıdır.

### 2.4. Zemin-Yapı Elemanları

Zemin - yapı elemanlarının rijitliği bünye denklemleri ya da gerilme-şekil değiştirme kanunlarının ortaya koyduğu şekilde tanımlanmıştır. Genellikle, yapı elemanları, zeminlere göre daha yüksek dayanıma sahiptir. Bu nedenle doğrusal-elastik davrandıkları kabul edilir. Zeminler ise genellikle doğrusal olmayan davranışlar sergilerler. En genel yaklaşım olarak elastik-plastik davranış kabul görür.

## 2.5. Arakesit Davranışı

Zemin-yapı arasında, yüklemeler ile belirli miktarlarda rölatif bir kayma oluşmuyor ise, ikisinin arasında tam bir uyumluluk var demektir. Ancak, pekçok durumda, arakesitin açılıp kapanması dönüşümünün ve zemin ile yapının veya zemin ile farklı diğer zeminin yapışıp açılması durumlarında rölatif kaymanın belirlenmesi gerekmektedir. Bu davranışın belirlenmesinde özel sonlu eleman modelleri önerilmiştir. Bu elemanlar “arakesit eleman” olarak adlandırılırlar. Arakesit elemanlarının rijitlik özellikleri, direkt kesme deneyinden yararlanarak bulunabilir. Yapı malzemesi ile zemin arasında direkt kesme deneyi bu özelliklerin belirlenmesi için kullanılmaktadır. (Gudehun, 1977)

Arakesit eleman için pekçok yaklaşım kullanılmıştır. En basit yöntemeye göre, arakesit elemanının kesme doğrultusunda ve normal doğrultusundaki rijitliği aşağıdaki şekilde formülüne edilebilir. (Goodman, Taylor, 1968)

$$[K] = \begin{bmatrix} k_n & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \quad (42)$$

burada,

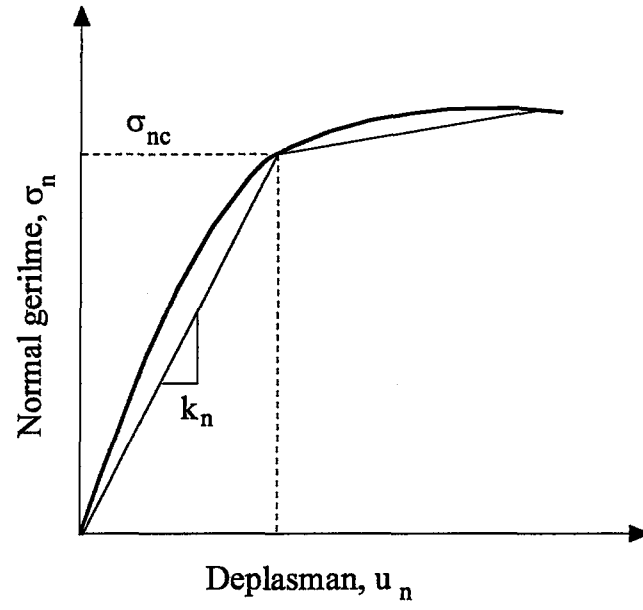
$k_n$  = normal doğrultusundaki rijitlik

$k_s$  = kesme doğrultusundaki rijitlik

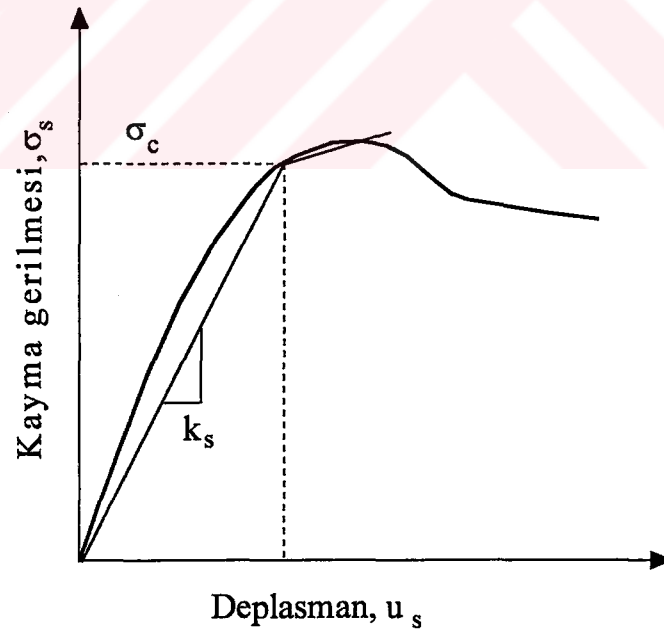
Arakesitin gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden Şekil 20.’deki gibi  $k_n$  ve  $k_s$  belirlenir.

Direkt kesme deneyine tabi tutulan zemin ve malzemenin tipik şekli Şekil 19. da gösterilmiştir. Yapı malzemesini temsil eden malzeme kesme düzlemine kadar bir yükseklikte deney düzeneğinin altına yerleştirilerek, üste şişen zemin veya dolgu zeminini temsil eden malzemeler belli bir sıklıkta yerleştirilerek direkt kesme deneyi yapılır. Normal doğrultuda ve yatay doğrultuda kuvvetler uygulanır. Normal yük altında,  $\sigma_n$ , düşey deformasyon eğrisi Şekil 20 (a).’daki gibi ve kesme doğrultusundaki yüklemelerden de Şekil 20 (b).’deki gibi eğriler elde edilir.





(a)



(b)

Şekil 20. Arakesitin gerilme-deplasman eğrileri

## 2.6. Şişen Zemin Modeli

Sayısal metotlar kullanarak zeminin emme gerilmesini ve şişme büyüklüğünü bulmak amacıyla, emme gerilmesi değişiminden kaynaklanan zemin hacim değişimlerini hesaplamada pekçok faktör gözönünde bulundurulur. Zeminler üç genel bileşenden oluşur. Bunlar, daneler (katı), daneler arası boşluklarda bulunan su (sıvı) ve gaz (hava) dır. Klasik sürekli ortamlar mekaniği yaklaşımı bu bileşenleri ifade etmede uygun değildir. Çünkü bu yaklaşım ortamı sürekli olarak dikkate alır. (Sharabi 1975). Şişme olayı sırasındaki değişim doğrusal değildir. Zeminin şekil değiştirmesi, geçirimliliği ve bazı özelliklerindeki değişimler de doğrusal değildir. Dolayısı ile zemin davranışı ile ilgili bağıntılar elde etmek güçtür. Bunun için bazı basitleştirici kabuller yapılır. Örneğin, zeminin elastisite modülünü hesaplamak çok önemlidir. Elastisite modülünü belirleyen pek çok deney mevcuttur. Elastisite modülü  $E_s$  , zeminin gerilme geçmişinden, gerilme miktarından, zemin türünden, yükleme tipinden, zemin dağılımından ve zamandan etkilenir. (Gunalan,1986). Bu nedenle elastisite modülünün  $E_s$  , her duruma göre ayrı ayrı çıkarılması gerekmektedir.  $E_s$  , değerinin derinliğe bağlı olarak değiştiğini ilk ortaya koyan Gibson'dur (1967).  $E_s$  değerinin tahmini için Gibson aşağıdaki bağıntıyı önermiştir. Gibson modeli olarak da adlandırılır.

$$E_s = E_0 + m z \quad (43)$$

Burada,

$E_s$  = zemin elastisite modülü

$E_0$  = yüzeydeki elastisite modülü

$m$  = eğim

$z$  = derinlik

Bu çalışmada, zemindeki deformasyon ve gerilme durumu, elastisite modülü derinlikle değişen, homojen, izotrop ve doğrusal elastik bir zemin olarak, basitleştirici matematik model ile modellenir. Ayrıca, bu çalışmada,  $E_s$  , Çok geniş ölçekli, derinlikle değişen zemin kayma gerilmesinin bir fonksiyonu olarak kabul edilir. (Katti, 1983). Çünkü zeminin kayma gerilmesi dağılımı bilinmemektedir.

## 2.7. Zemin Elemanın Yük-Rijitlik-Deplasman İlişkisi

Zemin kütesinin herhangi bir bölgesindeki toplam şekil değiştirmeler iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi, zemin emme gerilmesine bağlı olarak tüm doğrultularda oluşan üniform genişlemedir. Zeminin genişmesi (şişmesi) tüm doğrultularda oluşan üniform genişlemedir. Zeminin genişmesi (şişmesi) tüm doğrultularda aynı kabul edilebileceğinden, genişlemenin engellenmesi halinde sadece asal şekil değiştirmeler meydana gelecek, kayma şekil değiştirmeleri olmayacaktır.

Düzlem şekil değiştirme durumu için zeminin şişmesinden dolayı, herhangi bir doğrultuda oluşacak birim boy değişimi aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir. (Aytekin, Şenol, 2000)

$$\varepsilon_{\text{şişme}} = \frac{\gamma_h (\Delta p F)}{2} \quad (44)$$

burada,

$\varepsilon_{\text{şişme}}$  = şişme ile oluşan birim boy değişimi

$\gamma_h$  = zemin emme gerilmesi sıkışma indisi

$\Delta p F$  = zemin emme gerilmesindeki değişim

Bu çalışmada şişen zeminlerde gerilme ve şekil değiştirmelerin tahmininde düzgün bir geometrik şekli olmayan ortamların çözümüne uygun olması nedeniyle sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanılmıştır. Zemindeki şişmenin yatay ve düşey doğrultularda farklı olabildiği çeşitli çalışmalarda görülmüş ise dahi herhangi bir teoriye dayandırılmamıştır. Bunun için sayısal modelde yatay ve düşey doğrultulardaki şişmeler sukunet halindeki zeminler için eşit alınmıştır. Modelde üç düğüm noktalı, orthotropik üçgen eleman kullanılmıştır. Zemin - yapı arasındaki süreksizliği tanımlamada 4 noktalı, teorik olarak sıfır kalınlıklı kabul edilen doğrusal geçiş elemanı kullanılmıştır.

Sonlu elemanlar yönteminde yük-rijitlik-deplasman ilişkisi aşağıdaki gibidir.

$$\{F\} = [k] \{u\} \quad (45)$$

burada,

$\{F\}$  = düğüm noktaları yük vektörü

$[k]$  = eleman rijitlik matrisi

$\{u\}$  = eleman düğüm noktaları deplasman vektörü

Rijitlik matrisi için genel formül aşağıdaki gibidir (Zienkiewicz,1971)

$$K = \int_{\text{alan}} (L_o)^T (C) (L_o) da \quad (46)$$

burada,

$L_o$  = düğüm noktalarındaki şekil değiştirme matrisi

$C$  = gerilme-şekil değiştirme matrisi

$K$  = rijitlik matrisi

## 2.8. Zemin Elemanın Birim Boy Kısılması – Deplasman İlişkisi

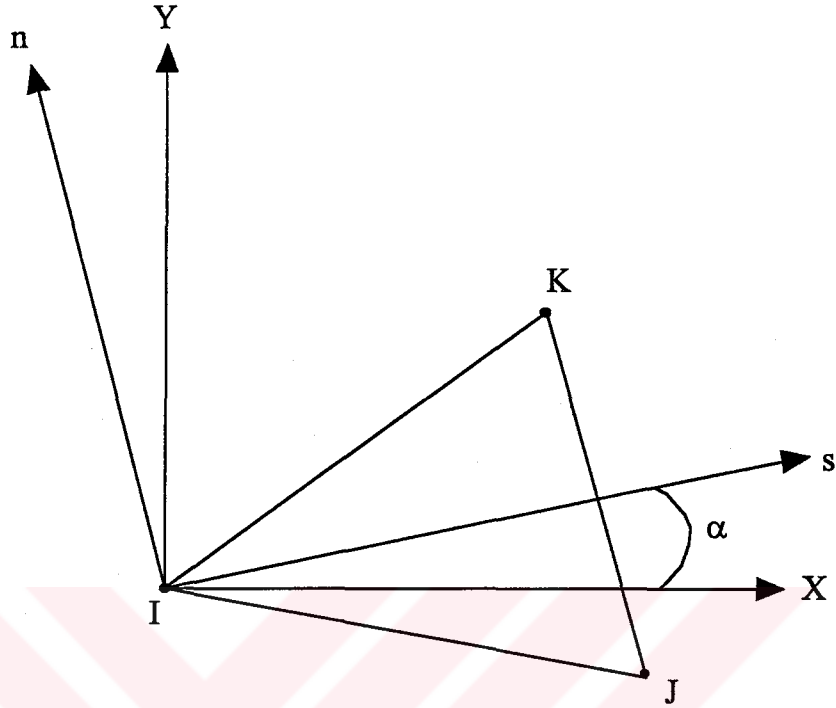
Şekil 21.'deki gibi üç düğüm noktalı bir üçgen elemanı dikkate alalım. Bu eleman için aşağıdaki bağıntılar yazılabilir. Şekil 21.'deki x-y global koordinatları, s-n ise doğal koordinatları göstermektedir. Üçgenin iç noktasında, x-y doğrultularındaki deplasmanlar sırasıyla  $u_x$  ve  $u_y$  olmak üzere şu biçimde yazılabilir.

$$\begin{aligned} u_x(x, y) &= a + a_1 + a_1x + a_2y \\ u_y(x, y) &= b + b_1 + b_2x + b_2y \end{aligned} \quad (47)$$

Bağıntı 47 aşağıdaki gibi de yazılabilir.

$$\begin{Bmatrix} u_x(x, y) \\ u_y(x, y) \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & x & 0 & y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & x & 0 & y \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ b_0 \\ a_1 \\ b_1 \\ a_2 \\ b_2 \end{Bmatrix} \quad (48)$$

veya kısaca,  $\{u(x, y)\} = \phi \{\alpha\}$  (49)  
yazılabilir.



Şekil 21. Üç düğüm noktalı üçgen eleman

Düğüm noktalarındaki deplasmanlar ile ilgili olduğumuza göre, Bağıntı 48 bu noktalara uygulanır. I noktasının doğal başlangıç alınmasıyla sonuçlar basitleştirilir. Bu uygun bir adımdır çünkü, eleman rijitlik matrisi yapıdaki pozisyonundan bağımsız olmalıdır. Bu durumda aşağıdaki biçimde yazılabilir.

$$\begin{Bmatrix} u_{x,I} \\ u_{y,I} \\ u_{x,J} \\ u_{y,J} \\ u_{x,K} \\ u_{y,K} \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & x_J & 0 & y_J & 0 \\ 0 & 1 & 0 & x_J & 0 & y_J \\ 1 & 0 & x_K & 0 & y_K & 0 \\ 0 & 1 & 0 & x_K & 0 & y_K \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ b_0 \\ a_1 \\ b_1 \\ a_2 \\ b_2 \end{Bmatrix} \quad (50)$$

veya kısaca,  $\{u\} = (\phi_0) \{\alpha\}$  (51)

yazılabilir.

Bundan sonra, düğüm noktalarındaki deplasmanlardan  $\{\alpha\}$ 'yi elde edebiliriz.

$$\{\alpha\} = (\phi_0)^{-1} \{u\} \quad (52)$$

gerekli matrisin tersi,

$$(\phi_0)^{-1} = \frac{2}{x_J y_K - x_K y_J} \begin{pmatrix} x_J y_K - x_K y_J & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_J y_K - x_K y_J & 0 & 0 & 0 & 0 \\ y_J - y_K & 0 & y_K & 0 & -y_J & 0 \\ 0 & y_J - y_K & 0 & y_K & 0 & -y_J \\ x_K - x_J & 0 & -x_K & 0 & x_J & 0 \\ 0 & x_K - x_J & 0 & -x_K & 0 & x_J \end{pmatrix} \quad (53)$$

$$x_J - y_K - x_K y_J = 2a \quad (54)$$

burada,  $a$  = elemanın alanı.

Üçgen elemanın şekil değiştirme bileşenleri,

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u_x}{\partial x} \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial u_y}{\partial y} \\ \gamma_{xy} &= \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \end{aligned} \quad (55)$$

Bağıntı 55 aşağıdaki gibide yazılabilir.

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_x(x, y) \\ u_y(x, y) \end{pmatrix} \quad (56)$$

Bağıntı 5'den  $\{u(x, y)\}$  yukarıdaki Bağıntı 55'de yerine yazılırsa aşağıdaki hale gelir.

$$\{\varepsilon\} = (\psi) \{\alpha\} \quad (57)$$

$$\text{burada, } (\psi) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (58)$$

son olarak Bağıntı 52'den  $\{\alpha\}$  Bağıntı 57'de yerine konduğunda,

$$\{\varepsilon\} = (\psi) (\phi_o^{-1}) \{u\} = (L_o) \{u\} \quad (59)$$

olur. Şekil değiştirme-deplasman matrisi  $(L_o)$  aşağıdaki biçimde belirlenir.

$$(L_o) = (\psi) (\phi_o^{-1}) = \frac{1}{x_J y_K - x_K y_J} \begin{pmatrix} y_J - y_K & 0 & y_K & 0 & -y_J & 0 \\ 0 & x_K - x_J & 0 & -x_K & 0 & x_J \\ x_K - x_J & y_J - y_K & -x_K & y_K & x_J & -y_J \end{pmatrix} \quad (60)$$

veya,

$$(L_o) = \frac{1}{2a} (L_1) \quad (61)$$

olarak yazılabilir.

## 2.9. Zeminin Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi

Şekil değiştirme ile gerilme arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu kabul edilir. Poisson oranı  $\nu_{ij}$ ,  $i$  doğrultusunda gerilmeden dolayı  $j$  yönünde ne kadar şekil değişimi olduğunu işaret eder. Şekil değiştirme-gerilme arasındaki ilişki,

$$\begin{aligned}
\varepsilon_s &= \frac{1}{E_s} \Delta\sigma_s - \frac{\nu_{ns}}{E_n} \Delta\sigma_n - \frac{\nu_{ts}}{E_t} \Delta\sigma_t \\
\varepsilon_n &= \frac{-\nu_{sn}}{E_s} \Delta\sigma_s + \frac{1}{E_n} \Delta\sigma_n - \frac{\nu_{tn}}{E_t} \Delta\sigma_t \\
\varepsilon_t &= \frac{-\nu_{st}}{E_s} \Delta\sigma_s - \frac{\nu_{nt}}{E_n} \Delta\sigma_n + \frac{1}{E_t} \Delta\sigma_t
\end{aligned} \tag{62}$$

Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi simetriktir. Malzemenin düzlemde izotropik olmasından aşağıdaki bağıntı yazılır.

$$\begin{aligned}
E_s &= E_t \\
\nu_{st} &= \nu_{ts} \\
\nu_{sn} &= \frac{E_s}{E_n} \nu_{ns} \\
\nu_{nt} &= \frac{E_n}{E_s} \nu_{sn} \\
G_{st} &= \frac{E_t}{2(1 + \nu_{ts})}
\end{aligned} \tag{63}$$

Düzlem şekil değiştirme için,  $\varepsilon_t = 0$ , ve Bağıntı 62 ve Bağıntı 63 aşağıdaki gibi olur.

$$\Delta\sigma_t = \nu_{st} \Delta\sigma_s + \nu_{sn} \Delta\sigma_n \tag{64}$$

Şekil değiştirme-gerilme ilişkisi kısaca,

$$\{\varepsilon\} = (D) \{\Delta\sigma\} \tag{65}$$

olur, burada (D) ise,

$$(D) = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_s}(1 - \nu_{st}^2) & \frac{-\nu_{sn}}{E_s}(1 + \nu_{st}) & 0 \\ \frac{-\nu_{sn}}{E_s}(1 + \nu_{st}) & \frac{1}{E_n} - \frac{\nu_{sn}^2}{E_s} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{sn}} \end{pmatrix} \tag{66}$$

Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi,



$$\{\sigma\} = (C)\{\varepsilon\} \quad (67)$$

burada,  $(C) = (D)^{-1}$

$$(C) = \frac{1}{m} \begin{pmatrix} E_s - E_n v_{sn}^2 & E_n v_{sn} (1 + v_{st}) & 0 \\ E_n v_{sn} (1 + v_{st}) & E_n (1 - v_{st}^2) & 0 \\ 0 & 0 & G_{sn} m \end{pmatrix} \quad (68)$$

burada,

$$m = (1 + v_{st}) \left[ 1 - v_{st} - (2E_n / E_s) v_{sn}^2 \right]$$

burada,

$v_{st}$ ,  $v_{sn}$ ,  $E_s$ ,  $E_n$  ve  $G_{sn}$  zeminin deformasyon ve süreksizlik özelliklerinden hesaplanabilir. (Goodman and Duncan, 1971).

Boşuk mesafesi,  $h$ , ve izotrop zemin arasında,

$$\begin{aligned} E_n &= \frac{1}{\frac{1}{E} + \frac{1}{k_n h}} \\ E_s &= E \\ G_{sn} &= \frac{1}{\frac{2(1+\nu)}{E} + \frac{1}{k_s h}} \\ v_{sn} &= \frac{E_n}{E_s} \nu \\ v_{st} &= \nu \end{aligned} \quad (69)$$

burada,  $k_n$  ve  $k_s$ , zemin-yapı-zemin arasında oluşan normal ve kayma rijitliğidir.

$E$  = zeminin elastisite modülü

$\nu$  = Poisson oranı

Doğal koordinatlarda gerilme şekil değiştirme ilişkisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\{\Delta\sigma\}_{s,n} = (C) \{\varepsilon\}_{s,n} \quad (70)$$

Bu ilişki global koordinatlarda genelleştirilirse,

$$\{\varepsilon\}_{s,n} = (T_\varepsilon) \{\varepsilon\}_{x,y} \quad (71)$$

ve  $\{\Delta\sigma\}_{s,n} = (T_\sigma) \{\Delta\sigma\}_{x,y} \quad (72)$

olur. Bu bağıntılar, Bağıntı 70'de yerine konduğunda aşağıdaki gibi olur,

$$(T_\sigma)^{-1} = (T_\varepsilon)^T \quad (73)$$

$$\{\Delta\sigma\}_{x,y} = (T_\varepsilon)^T (C) (T_\varepsilon) \{\varepsilon\}_{x,y} \quad (74)$$

burada,  $(T_\varepsilon)$  Jaeger ve Cook, (1969) tarafından tanımlanmıştır.

$$(T_\varepsilon) = \begin{pmatrix} \cos^2 \alpha & \sin^2 \alpha & \frac{1}{2} \sin 2\alpha \\ \sin^2 \alpha & \cos^2 \alpha & -\frac{1}{2} \sin 2\alpha \\ -\sin 2\alpha & \sin 2\alpha & \cos 2\alpha \end{pmatrix} \quad (75)$$

İzotrop zeminde,  $E_s = E_n = E_t = E$ , ve her yönde poisson oranı,  $\nu$ , ve  $G_{sn} = \frac{E}{2(1+\nu)}$  dir.

Düzlem şekil değiştirme hali için gerilme – şekil değiştirme ilişkisi,

$$(C) = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{pmatrix} 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 \\ \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \end{pmatrix} \quad (76)$$

## 2.10. Eleman Rijitlik Matrisi

Şekil değiştirme - deplasman ilişkisi ( $L_o$ ) Bağıntı 61, gerilme - şekil değiştirme ilişkisi Bağıntı 70'de yerine konur ve her iki bağıntı Bağıntı 46'ya göre de yerine yazabiliriz. Bu durumda rijitlik matrisi aşağıdaki şekli alır.

$$a = \frac{1}{2}(x_j y_k - x_k y_j) \text{ üçgen elemanın alanı olmak üzere,}$$

$$(K) = \frac{1}{4a} (L_1)^T (T_e)^T (C) (T_e) (L_1) \quad (77)$$

elastik izotrop zeminler için,

$$(K) = \frac{1}{4a} (L_1)^T (C) (L_1) \quad (78)$$

olur.

## 2.11. Zemin Elemanına Etkiyen Kuvvetler

Bu çalışmada kullanılan üç düğüm noktalı isoparametrik eleman üzerine etkiyen kuvvetler; başlangıç gerilmeleri, öz ağırlıklar, şişme kuvvetleri ve eşdeğer düğüm noktası yükleri olarak adlandırılabilir.

$$(K) \{u\} = \{F_d\} - \{F_o\} + \{F_{ağ}\} + \{F_s\} \quad (79)$$

burada,

$$\{F_d\} = \text{dış yük vektörü}$$

$$\{F_o\} = \text{başlangıç yük vektörü}$$

$$\{F_{ağ}\} = \text{öz ağırlıklar yük vektörü}$$

$$\{F_s\} = \text{şişme kuvvetleri vektörü}$$

Başlangıç gerilmeleri yük vektörüne önemli bir katılım yaparlar. Başlangıç gerilmeleri altındaki denge komşu elemanların basıncıyla gerilen her bir elemanın başlangıç iç gerilmesini ifade eder. Toplam gerilme aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\{\sigma\} = \{\sigma_o\} + \{\Delta\sigma\}_{x,y} \quad (80)$$

burada,  $\{\sigma_o\}$ , başlangıç gerilmesi olup aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\{\sigma_o\} = \begin{Bmatrix} \sigma_{x,o} \\ \sigma_{y,o} \\ \tau_{x,y} \end{Bmatrix} \quad (81)$$

İç gerilmelerle denge halindeki dış kuvvet vektörü,  $F_o$  ise,

$$\{F_o\} = \int_{\text{alan}} (L_o)^T \{\sigma_o\} \quad (82)$$

$(L_o)$ 'ı Bağıntı 61'den alıp Bağıntı 82'de yerine koyduğumuzda,

$$\{F_o\} = \frac{1}{2} (L_1)^T \{\sigma_o\} \quad (83)$$

Elemanın kendi ağırlığından oluşan kuvvetler.

$$\begin{Bmatrix} F_{x,I} \\ F_{y,I} \\ F_{x,J} \\ F_{y,J} \\ F_{x,K} \\ F_{y,K} \end{Bmatrix} = \frac{ay}{3} \begin{Bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \end{Bmatrix} \quad (84)$$

Zeminin şişmesinden doğan kuvvetlerin hesaplanması ise öncelikle zeminde meydana gelen şişme sonucu oluşacak birim boy uzamalarının belirlenmesi gerekmektedir. Şişme sonucu oluşacak birim boy uzamaları çevrede bulunan çeşitli yapılar veya

zeminlerin etkisinden dolayı engelleneceğinden ilave kuvvetler (şişme kuvvetleri) meydana gelecektir. Şişme sebebiyle meydana gelen birim boy uzamaları zemin emme gerilmesindeki değişimlerin değerine bağlı olarak bulunabilir (Aytekin,1992). Mevsimlere bağlı olarak zemin elemanlarının su muhtevasında meydana gelen değişimlerden zemin elemanlarındaki emme gerilmesi değişimini veren zemin emme gerilmesi zarfının elde edilmesi Aytekin(1995) tarafından ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Zemin emme gerilmelerindeki değişim en kurak ve en yağışlı durumlarda bir eleman için aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Aytekin, Şenol, 2000).

$$\Delta pF = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 (h_b - h_s)_k \quad (85)$$

burada,

$h_b$  = başlangıçtaki zemin emme gerilmesi

$h_s$  =son (nihai) zemin emme gerilmesi

$pF$  cinsinden ifade edilmektedir. Bağıntı 85'de bulunan  $\Delta pF$  değeri Bağıntı 44'de yerine konularak  $\epsilon_{\text{şişme}}$  değeri hesaplanabilir. Şişme kuvvetleri vektörü ise,

$$\{F_{\text{şişme}}\} = \int_{\text{alan}} (L_o)^T (C) \{\epsilon_{\text{şişme}}\} da \quad (86)$$

olarak bulunur.

Toplam yük ise aşağıdaki gibidir.

$$\{F_e\} - \{F_o\} + \{F_{\text{ağ.}}\} + \{F_{\text{şişme}}\} = (K) \{u\} \quad (87)$$

## 2.12. Arakesit Eleman

Blok yüzleri arasındaki süreksizlik, özel bir geçiş elemanı olarak düşünülebilir. Bloklardan biri, gerilmeye karşı bir tepki, kayma gerilmesine karşı bir kayma tepkisi, sıkıştırmaya karşı herhangi bir güç geçişi olarak ifade edilebilen tepkileri karşılar. Bu deformasyon modellerinden herbiri başlıca elastik olmayan deplasmanlar üzerine yayılır. Bu çalışmada elastik geçiş elemanı geliştirilecek ve iteratif çözüm yöntemi uygulanarak, süreksizlik bölgesi için uygun doğrusal olmayan deformasyon kurallarına ve elastik olmayan davranışa göre çözüm yapılmıştır.

Şekil 22 (b). dört düğüm noktalı arakesit elemanı, doğadaki halinden idealize edilmiş olarak göstermektedir. Blok yüzleri arasındaki mesafe, düzensiz ve değişen süreksizlik yüzeyleri ile benzerlik kurularak, çok az kalınlıkta kabul edilir ( $e \cong 0$ ). Basitleştirici olarak, gerçekte doğrusal özellikleri dikkate alınacaktır. Doğal koordinatlarda (s,n) arakesit elemanın rijitlik bağıntıları adım adım aşağıda çıkarılmıştır (Goodman, 1976).

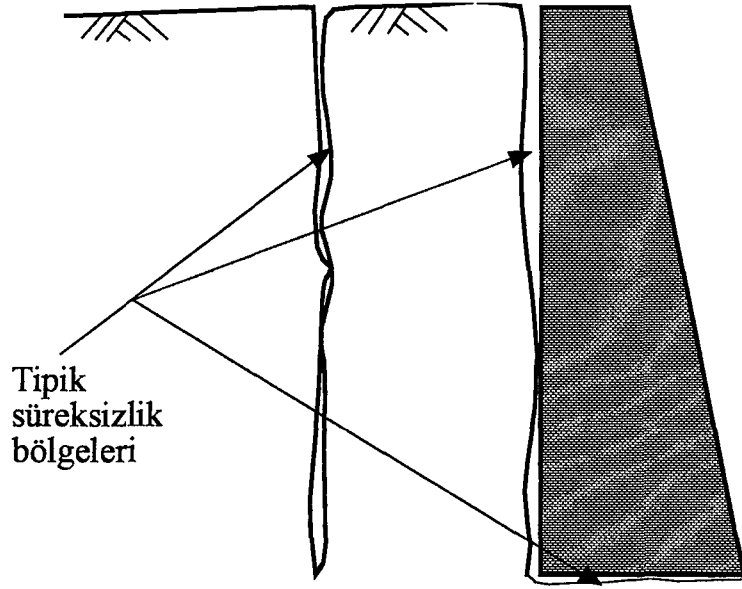
## 2.13. Arakesit Deformasyon Modeli

Şekil değiştirme-deplasman ilişkisi ( $L_o$ ), düğüm noktalarının bir fonksiyonu olarak, iki blok yüzeyi arasındaki ( $K,L$  ve  $I,J$ ) rölatif deplasmanı tanımlar.

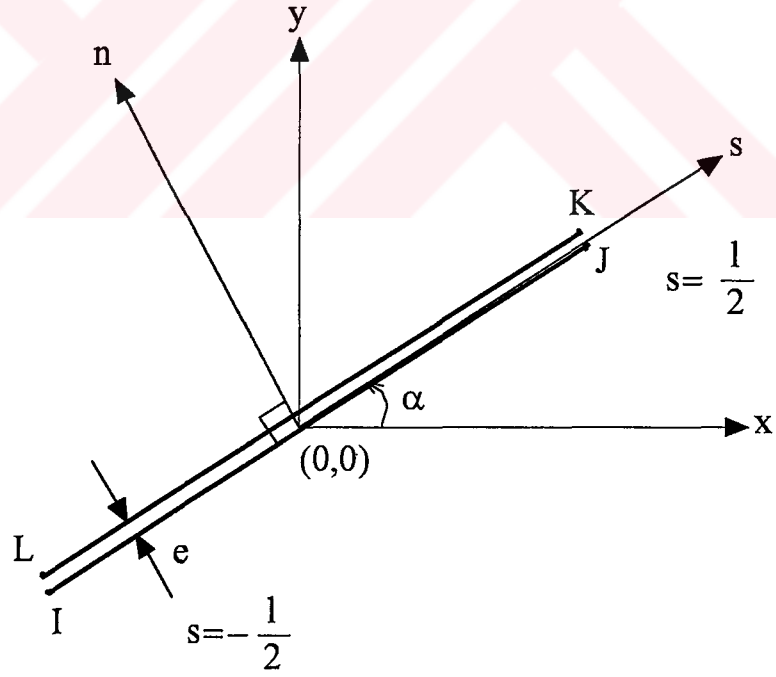
$$\{u\}_{s,n} = \langle u_I, v_I, u_J, v_J, u_K, v_K, u_L, v_L \rangle^T \quad (88)$$

burada,  $u_I$  ve  $v_I$ , I düğüm noktasının, doğal koordinatlarda (s,n) toplam deplasmanıdır.

$$\{\epsilon_j\} = \begin{Bmatrix} u_o \\ v_o \\ \omega \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{u_K + u_L}{2} - \frac{u_I + u_J}{2} \\ \frac{v_K + v_L}{2} - \frac{v_I + v_J}{2} \\ \frac{v_K - v_L}{\ell} - \frac{v_J - v_I}{\ell} \end{pmatrix} \quad (89)$$



(a)



(b)

Şekil 22. Arakesit eleman

Şekil değiştirme-deplasman matrisi,  $(L_o)$

$$\begin{Bmatrix} u_o \\ v_o \\ \omega \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2} & 0 & -\frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & 0 & -\frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{1}{\ell} & 0 & -\frac{1}{\ell} & 0 & \frac{1}{\ell} & 0 & -\frac{1}{\ell} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} u_I \\ v_I \\ u_J \\ v_J \\ u_K \\ v_K \\ u_L \\ v_L \end{Bmatrix} \quad (90)$$

yada kısaca aşağıdaki gibi olur.

$$\{\varepsilon\}_j = (L_o) \{u\}_{s,n} \quad (91)$$

#### 2.14. Arakesitin Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi

Temas noktalarında bir yük aktarımı oluyorsa, arakesit elemanının gerilmelerinin belirlenmesi gerekir. Blok yüzeylerinde normal ve kayma doğrultularında, birim alandaki gerilmelerin toplamı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_n = \frac{1}{\ell} (\Delta F_{n,K} + \Delta F_{n,L}) \quad (92)$$

$$\Delta\tau = \Delta\tau_{n,s} = \frac{1}{\ell} (\Delta F_{s,K} + \Delta F_{s,L}) \quad (93)$$

buradaki delta ( $\Delta$ ) sembolü, deformasyona sebep olan  $\{u\}_{s,n}$ , gerilme ve kuvvet artışlarını ifade eder. Arakesit elemanın merkezinde, düğüm noktası kuvvetlerinden doğan moment ( $M_o$ ) aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$M_o = \Delta F_{n,K} \frac{\ell}{2} - \Delta F_{n,L} \frac{\ell}{2} \quad (94)$$



Bağıntı 92 ve Bağıntı 94 arakesit elemanda normal kuvvetlerin belirli bir dağılımına ihtiyaç duyar. Bağıntı 92, Bağıntı 93 ve Bağıntı 94'den,  $F_I = -F_L$  ve  $F_J = -F_K$  olacak şekilde aşağıdaki bağıntılar türetilir.

$$\begin{Bmatrix} \Delta F_{s,I} \\ \Delta F_{n,I} \\ \Delta F_{s,J} \\ \Delta F_{n,J} \\ \Delta F_{s,K} \\ \Delta F_{n,K} \\ \Delta F_{s,L} \\ \Delta F_{n,L} \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{\ell}{2} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\ell}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{\ell}{2} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\ell}{2} & -\frac{1}{2} \\ \frac{\ell}{2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\ell}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\ell}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{\ell}{2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\ell}{2} & -\frac{1}{2} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \tau_{ns} \\ \Delta \sigma_n \\ M_o \end{Bmatrix} \quad (95)$$

yada kısaca,

$$\{\Delta F\}_{s,n} = (B)\{\Delta \sigma_J\}_{s,n} \quad (96)$$

Arakesit "gerilme" ve "şekil değiştirme" aşağıdaki şekilde arakesit rijitliği özelliğine dönüştürülür.

$$\begin{Bmatrix} \Delta \tau_{ns} \\ \Delta \sigma_n \\ M_o \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} k_s & 0 & 0 \\ 0 & k_n & 0 \\ 0 & 0 & k_\omega \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} u_o \\ v_o \\ \omega \end{Bmatrix} \quad (97)$$

yada kısaca,

$$\{\Delta \sigma_J\} = (C_J) \{\epsilon_J\} \quad (98)$$

burada,

$$(C_J) = \begin{pmatrix} k_s & 0 & 0 \\ 0 & k_n & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{4}\ell^3 k_n \end{pmatrix} \quad (99)$$

### 2.15. Arakesit Elemanın Rijitlik Matrisi

Arakesit elemanın düğüm noktalarında ve dış kuvvet artımları arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\{\Delta F\}_{s,n} = (B) \{\Delta \sigma_J\} = (B) (C_J) \{\epsilon_J\} \quad (100)$$

ve,

$$\{\Delta F\}_{s,n} = (B) (C_J) (L_o) \{u\}_{s,n} \quad (101)$$

burada,

(B), Bağıntı 95 ve Bağıntı 96 ile tanımlanmıştır.

(C<sub>J</sub>), Bağıntı 99 ile tanımlanmıştır.

(L<sub>o</sub>), Bağıntı 90 ve Bağıntı 91 ile tanımlanmıştır.

Bağıntı 101'deki çarpımlardan sonra arakesit eleman rijitliği aşağıdaki şekilde yazılır

$$(K)_{s,n} = \frac{1}{4} \ell \begin{pmatrix} k_s & 0 & k_s & 0 & -k_s & 0 & -k_s & 0 \\ 0 & 2k_n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2k_n \\ k_s & 0 & k_s & 0 & -k_s & 0 & -k_s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2k_n & 0 & -2k_n & 0 & 0 \\ -k_s & 0 & -k_s & 0 & k_s & 0 & k_s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2k_n & 0 & 2k_n & 0 & 0 \\ -k_s & 0 & -k_s & 0 & k_s & 0 & k_s & 0 \\ 0 & -2k_n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2k_n \end{pmatrix} \quad (102)$$

Rijitlik matrisinden global koordinat sistemine geçerken aşağıdaki dönüşümler yapılır.

$$\begin{Bmatrix} \Delta F_s \\ \Delta F_n \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \end{Bmatrix} \quad (103)$$

$$\alpha = \arctan \frac{y_J - y_I}{x_J - x_I} \quad (104)$$

$$\{\Delta F\}_{s,n} = (T) \{\Delta F\}_{x,y} \quad (105)$$

$$\{u\}_{s,n} = (T) \{u\}_{x,y} \quad (106)$$

burada, (T),aşağıdaki şekilde olur.

$$(T) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (107)$$

$(T)^{-1} = (T)^T$  olduğundan Bağıntı 101'i tekrar yazarsak,

$$\{\Delta F\}_{x,y} = (T)^T (K_{s,n}) (T) \{u\}_{x,y} \quad (108)$$

yada kısaca,

$$\{\Delta F\}_{x,y} = (K_{s,n}) \{u\}_{x,y} \quad (109)$$

olur.

## 2.16. Arakesitteki Başlangıç Gerilmeleri

Arakesit eleman kalınlığı çok ince olduğundan, normal ve kayma gerilmeleri komşu elemanlardaki gerilme bileşenleri ile aynıdır. Bu durumda arakesit elemanındaki gerilmeler aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\{\sigma_{o,j}\}_{s,n} = \begin{Bmatrix} \tau_{sn,o} \\ \sigma_{n,o} \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2} \sin 2\alpha & \frac{1}{2} \sin 2\alpha & \cos 2\alpha \\ \sin^2 \alpha & \cos^2 \alpha & -\sin 2\alpha \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{x,o} \\ \sigma_{y,o} \\ \tau_{xy,o} \end{Bmatrix} \quad (110)$$

yada kısaca,

$$\{\sigma_{o,J}\}_{s,n} = (T_{\sigma,J}) \{\epsilon_o\}_{x,y} \quad (111)$$

olur.

Arakesit gerilmeleri aşağıdaki gibi verilir,

$$\{\sigma_J\}_{s,n} = \{\sigma_{o,J}\}_{s,n} + \{\Delta\sigma_J\}_{s,n} \quad (112)$$

Başlangıç kuvvetleri,  $\{F_{o,J}\}$ , yapı dış yük vektörü,  $\{F_e\}$ 'den çıkarılır.

$$\{F_{o,J}\} = \{F_{o,J}\}_{x,y} = (T)^T \{F_{o,J}\}_{s,n} = (T)^T (B) (T_{\sigma,J}) \{\sigma_o\}_{x,y} \quad (113)$$

burada,

(T), Bağıntı 107'da tanımlanmıştır.

(B), Bağıntı 95 ve Bağıntı 96 ile tanımlanmıştır

( $T_{\sigma,J}$ ), Bağıntı 110 ve Bağıntı 111 ile tanımlanmıştır

Sistem denklemlerinin toplamı ise aşağıdaki son hali alır.

$$\{F_e\} - \{F_{o,J}\} - \{F_{o,R}\} = (K) \{u\} \quad (114)$$

### 2.17. Bilgisayar Programı “SWELPRES”

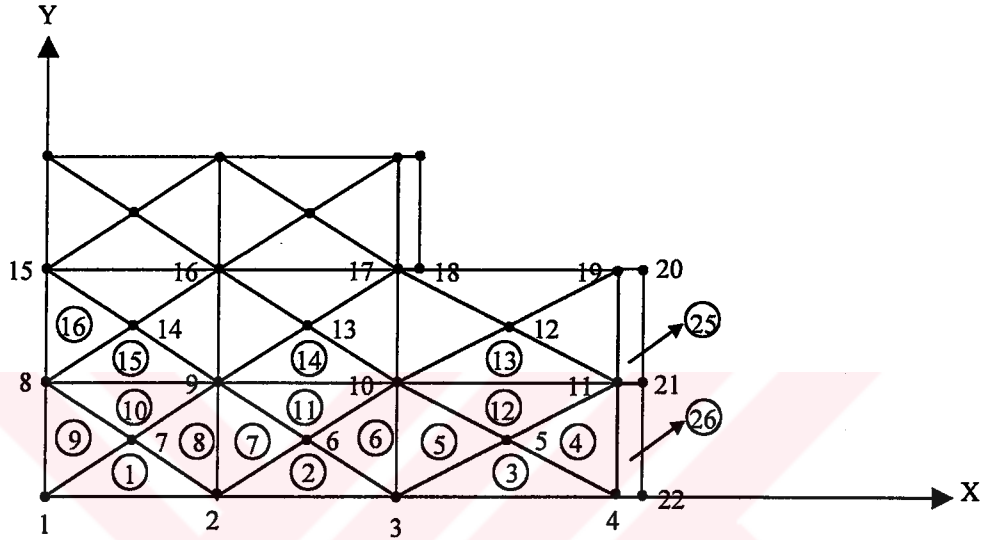
Düzlem şekil değiştirme şartları içinde temel duvarı ve istinat duvarı gibi dayanma yapılarının arkasında, kohezyonlu ve kohezyonsuz dolgulardan oluşan yüzeylerde, dayanma yapılarına yatay şişme gerilmelerinin aktarılması hesaplanırken, doğadaki gerçek durumu süreksizlik yüzeylerinde daha iyi yansıtacağını düşündüğümüz arakesit eleman kullanılarak **SWELPRES** adında, Fortran-90 dilinde program geliştirildi. Programda sonlu elemanlar modeli üç düğüm noktalı, orthotropik, üçgen elemanlar kullanılarak, zemin yapı arasındaki süreksizliğin 4 düğüm noktalı, teorik olarak kalınlığı sıfır kabul edilen arakesit eleman (doğrusal geçiş elemanı) kullanılarak oluşturuldu.

Programda herbir sonlu elemanın kendi elastisite modülü, Poisson oranı, birim hacim ağırlığı ve derinliğe bağlı olarak zemin emme gerilmesi, zemin sıkışma indisi ve elastisite modülü farklı alınabilmektedir. Program zeminin şişmesinden meydana gelen şekil değiştirmelerinin yanısıra dış yüklerden gelecek şekil değiştirmeleri de dikkate alır. Kütle kuvvetleri, sürşarj sınır yükleri de ayrıca hesap edilir. Programın kullanımı ile ilgili olarak bir rehber EK- 4 de verilmiştir.

### 2.18. Programın Yapısı

Program, problemle ilgili olarak girdi dosyasından, geometrik ve malzeme özellikleri, başlangıç gerilmeleri, başlangıç ve son emme gerilmesi değerlerini okuduktan sonra ana program çalışarak alt programlar yardımı ile çözüme gider. Eleman koordinat seçimi ve düğüm noktaları sırası Şekil 23. de açıklanmıştır. Ana program, girdileri okuduktan sonra yapısal rijitlik ( $KS$ ) ve yük vektörü  $\{R\}$ 'yi toplamak için alt program “*Sistem Katılık Matrisi*”i çağırır. Burdaki işlemler “*Üçgen Eleman Katılık Matrisi*” ve “*Arakesit Eleman Katılık Matrisi*” alt programlarını çağırarak tamamlanır. Sistem rijitlik matrisinin Gauss Eliminasyon yöntemi kullanılarak tersi alınır. Gauss Eliminasyon yöntemi, kullanılan fortran derleyici programının kütüphanesinden çağırılarak kullanılabilir. Sınır şartlarını da içinde bulunduran rijitlik matrisinin tersi ( $KS$ ) dizisi içinde depolanır. Programın ana iterasyonu ilk yer değiştirme sonuçları elde edildikten sonra başlar. Bu noktada toplam yer değiştirme  $\{U\} = (KS) \times \{R\}$  olur. Bu yer değiştirmelerden sonra gerilmeler alt program “*Gerilmeler*” ile arakesit elemanındaki deformasyonlar alt

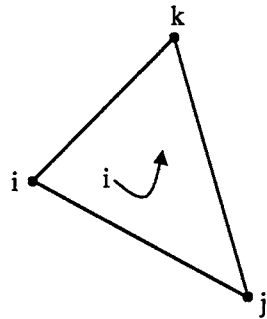
program “*Döngü*.” kullanarak hesap edilir. Başlangıç yük artımları yine alt program “*Döngü*” kullanılarak hesap edilir. İterasyon döngüsü başlangıç kuvvet artışlarını ve yer değiştirmeleri tekrar hesap eder. Yani,  $\{U\} = (KS) \times \{R\} + \{U\}$  olarak tekrar bulunur.



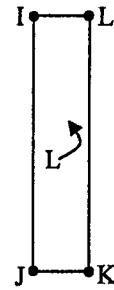
(a)

Ⓟ eleman numarası

i düğüm numarası



(b)



(c)

Şekil 23. Düğüm noktaları ve eleman sayıları. (a) problemin koordinat aksları, (b) üçgen ve (c) arakesit elemanın lokal düğüm noktası sıralaması

## 2.19. Şişme Kuvvetleri

Önce, şişmeden kaynaklanan şekil değişimleri, her bir elemandaki şişme kuvvetlerinden hesaplanması için, belirlenmelidir. Her bir elemandaki şişme şekil değişimini hesaplamak için sınır (uç) durumdaki zemin emme gerilmesi değerlerinin bilinmesi gerekir. Bu durum genelde mevsimin en yağışlı ve en kurak olduğu durumlarda ortaya çıkar. İlk önce başlangıç ve son emme gerilmesi değerleri Şekil 24. de görülen elemanın her bir düğüm noktası için hesaplanmalıdır. Ortalama zemin emme gerilmesi değişimi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} (\Delta pF) &= \frac{1}{3} [(h_b - h_s)_1 + (h_b - h_s)_2 + (h_b - h_s)_3] \\ (\Delta pF) &= \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 (h_b - h_s)_k \end{aligned} \quad (115)$$

burada,

$(h_b - h_s)$  = başlangıç ve son emme gerilmesi değerleri

Bağıntı 116 kullanılarak elemanın şekil değişimleri hesaplanabilir.

$$\varepsilon_{\text{şişme}} = \frac{\gamma_h (\Delta pF)}{2} \quad (116)$$

burada,

$\varepsilon_{\text{şişme}}$  = şişme ile oluşan birim boy değişimi

$\gamma_h$  = zemin emme gerilmesi sıkışma indisi

$\Delta pF$  = zemin emme gerilmesindeki değişim

Şişme kuvvetleri vektörü ise aşağıdaki şekilde hesap edilir,

$$\{f\}_{\text{şişme}} = \int_{\text{alan}} (L_0)^T (C) \{\varepsilon_{\text{şişme}}\} da \quad (117)$$

olarak bulunur.

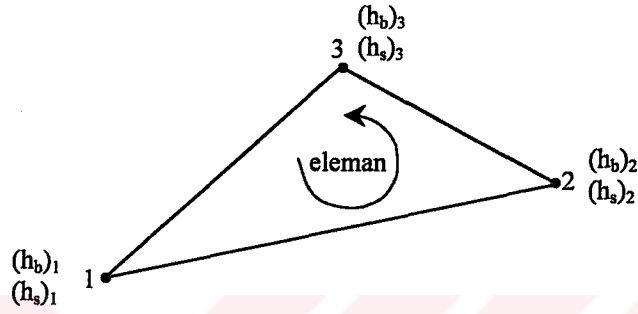
Burada,

$\{f\}_{\text{şişme}} = \text{şişme kuvvet vektörü}$

$(L_0) = \text{şekil değiştirme deplasman matrisi}$

$\{\epsilon_{\text{şişme}}\} = \text{şişme ile oluşan birim boy değişimi}$

$(C) = \text{düzlem şekil değiştirme matrisi}$



Şekil 24. Bir elemandaki başlangıç ve son emme gerilmesi değerleri



### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Deneysel Çalışma İle Karşılaştırma

Bu bölümde, daha önce şişen zeminlerdeki yatay basınçların bulunması ile ilgili Katti (1983) tarafından yapılan deneysel çalışma ve Aytekin (1992) tarafından yapılan sayısal model göz önünde bulundurularak bu çalışmanın uygulaması ve geçerliliği araştırılmıştır. Katti'nin ve Aytekin'in bulduğu sonuçlar arakesit eleman kullanılarak oluşturulan sayısal modelin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Katti'nin deneysel çalışma modelinin bilgisayar programında kullanılmak üzere sayısal modeli çıkarılmıştır. Katti deneysel modelinde, yalnız şişen zemin ve şişen zeminle birlikte duvar arkasında sırasıyla, 20 cm, 40 cm, 60 cm, ve 100 cm kalınlıkta kohezyonlu şişmeyen zemini dolgu olarak kullanmış ve bu kalınlıklardaki dogularda duvara gelen, derinlik boyunca değişen şişme basınçlarını ölçmüştür. Deneysel çalışma şartları arakesit elemanlı sayısal modelde oluşturularak bu şişme basınçları bilgisayar programı ile bulunmuştur. Arakesit elemanlı sayısal modelden bulunan sonuçlar, Katti'nin deneysel sonuçları ile Aytekin'in sayısal modelden bulduğu sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Şişen zemin ve kohezyonlu şişmeyen zemin özellikleri Tablo 11.'de verilmektedir. Katti çalışmalarını, yüksekliği 3m ~ 4m, genişliği 0.9m ~ 1.35m ve derinliği 1.25m ~ 2.45m olan rijit bir tankta yaptı (Aytekin, 1992). Analizler aynı şartlar altında, yatay duvar hareketinin olmadığı varsayılarak sükunet halindeki zemin basıncı şartlarında kabul edildi.

Buna ilave olarak, dayanma yapısı arkasında dolgu olarak farklı kalınlıklardaki kohezyonlu şişmeyen zemin ile gevşek kum kullanılarak, derinlik boyunca değişen emme gerilmesinden kaynaklanan yatay basınçlar dikkate alınan modeller üzerinde analiz edilmiştir.

Bilgisayar modelinde, herbir deneydeki gerçek boyutlar tam olarak bilinmediği için yükseklik 3.05m, genişlik 1.22m ve derinlik 1.22m olarak dikkate alınmıştır.

Tablo 11. Katti'nin deneysel çalışmalarında kullandığı zeminlerin Özellikleri (Wray, 1987a)

| Seçilen Zemin Özellikleri                      | Şişen Zemin          | Kohezyonlu<br>şişmeyen<br>zemin | Kum                  |
|--|----------------------|---------------------------------|----------------------|
| <b>Fiziksel Özellikler</b>                     |                      |                                 |                      |
| Likit Limit, %                                 | 71.4                 | 48                              | -                    |
| Plastik Limit, %                               | 42                   | 24                              | -                    |
| Büzülme Limiti, %                              | 10.4                 | 15                              | -                    |
| Özgül Kütle                                    | 2.64                 | 2.74                            | 2.8                  |
| Serbest Şişme, %                               | 105                  | -                               | -                    |
| Serbest Şişme Farkı, %                         | 137                  | -                               | -                    |
| <b>Zemin Dokusu</b>                            |                      |                                 |                      |
| Çakıl, (>2.00 mm), %                           | 4.8                  | 16                              | 18                   |
| Kum, (2.00 – 0.06 mm), %                       | 11.2                 | 29                              | 81.5                 |
| Silt, (0.06 – 0.002 mm), %                     | 29                   | 20                              | 0.5                  |
| Kil, (<2.0), %                                 | 55                   | 35                              | -                    |
| AASHTO Sınıflandırması                         | A-7-6                | A-2-7                           | A-1-6                |
| <b>Mühendislik Özellikleri</b>                 |                      |                                 |                      |
| Standart Proktor Yoğunluğu, gr/cm <sup>3</sup> | 1.46                 | 1.88                            | -                    |
| Optimum Su Muhtevası, %                        | 29                   | 15                              | -                    |
| Permeabilite, cm/sn                            | 1 x 10 <sup>-7</sup> | 2 x 10 <sup>-4</sup>            | 3 x 10 <sup>-2</sup> |
| <b>Kimyasal Özellikler</b>                     |                      |                                 |                      |
| PH   | 8.1                  | 7                               | -                    |
| Organik madde muhtevası, %                     | 0.63                 | 0.25                            | -                    |
| <b>Değişim Kapasitesi</b>                      |                      |                                 |                      |
| 5m Kil Fraction, meq/100 mg                    | 97                   | 35                              | -                    |
| 2m Kil Fraction, meq/100 mg                    | 124                  | 37                              | -                    |

### 3.2. Dolgu Malzemesi : Şişen Zemin

Katti'nin deneylerinde, zeminin sükunet halinde kabul eden, yatay bir hareketin olmadığı durumda, yatay şişme basınçlarını bulurken Hindistan'ın Karnataka eyaletine "Malaprabha Right Bank Canal KM. No: 76 (MRBC-76)" adında veya "Hindistan Şişen Pamuk Zemini" olarak da bilinen zemini kullanmıştır (Katti ve Katti, 1987). Bu zeminin

suya tam doygun hale gelmesi için belli bir süre suda bekletilmiştir. Bu süre boyunca, 60 cm düşey aralıklarla yükleme ve deformasyon halkaları yerleştirilerek yatay basınçlar ölçülmüştür.

Sayısal modelde, elastisite modülü,  $E_s$  ve Poisson oranı,  $\mu$  her eleman için ayrı ayrı belirtilmiştir. Ancak, MRBC-76'nın bu özellikleri Katti'nin çalışmalarında belirtilmemiştir. Bundan dolayı,  $E_s$  ve  $\mu_s$ , MRBC-76'nın bilinen bazı özelliklerinden tahmin edilmiştir. Örneğin, elastisite değeri,  $E_s$  MRBC-76'nın kayma direnci,  $C$ 'den hesap edilmiştir. Derinliğe bağlı olarak MRBC-76'nın vane kayma direnci ( $C_v$ ) dağılımı Şekil 25. de görülmektedir. Bağntı 41 den derinliğe bağlı  $E_s$  değerleri hesaplanarak kullanılmıştır. Zeminin Şekil 25. de verilen vane kayma direnci ve plastisite indisi'nin bir fonksiyonu olan düzeltme faktörü,  $\lambda$  dizayn kayma direncinin hesabında kullanılmak zorundadır (Bowles, 1988). Bu nedenle Bağntı 118 kayma direncinin hesabında kullanılmaktadır. Derinliğe bağlı elastisite modülü,  $E_s$  ise kayma direnci  $C$ , değerleri kullanılarak hesap edilmektedir.

$$C = \lambda C_v \quad (118)$$

burada,

$C$  = proje kayma direnci

$C_v$  = Vane kayma direnci

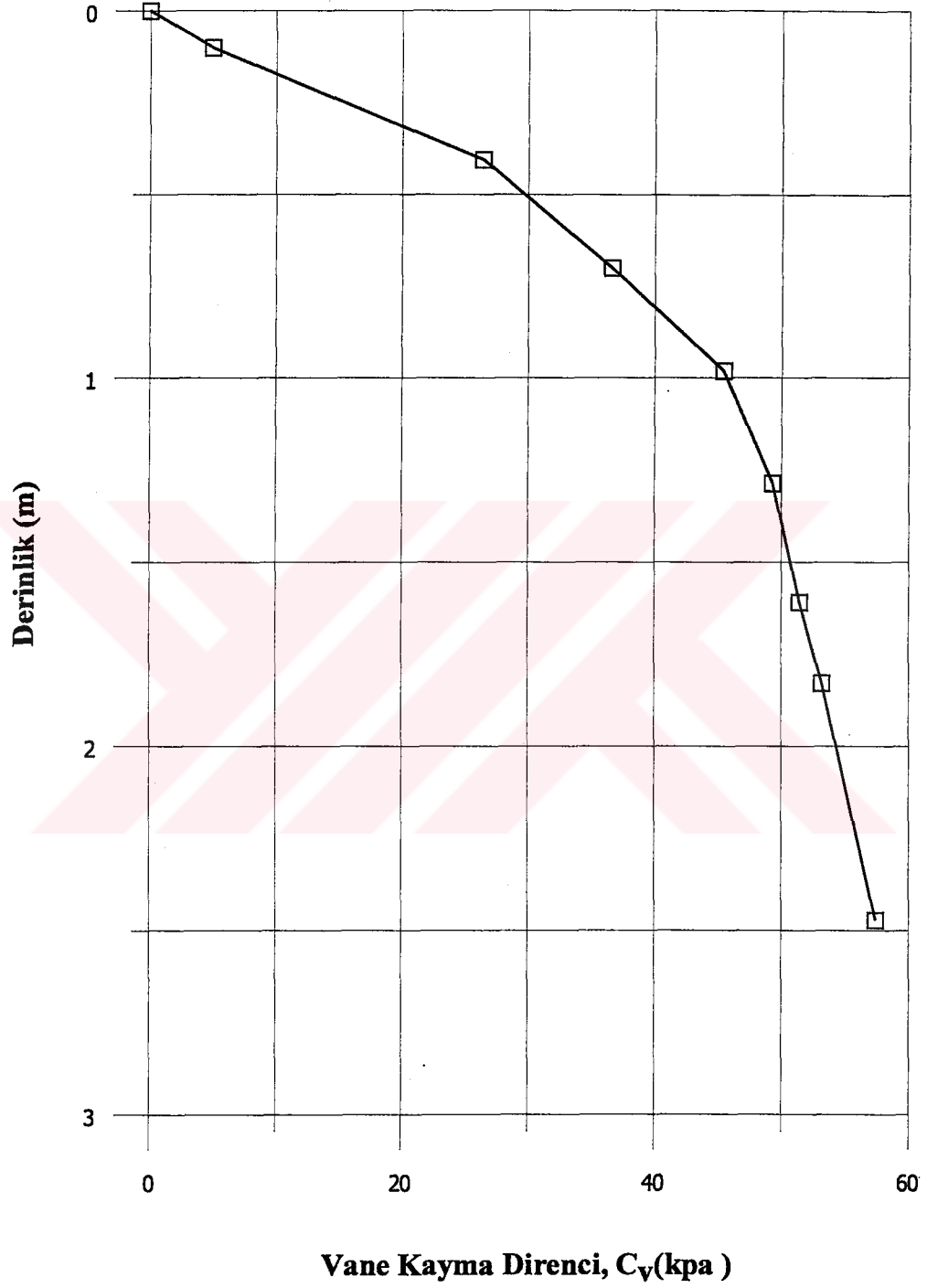
$\lambda$  = düzeltme faktörü PI'nin bir fonksiyonudur. MRBC-76 için  $\lambda = 0.92$ 'dir. Şişen zemin için tipik Poisson oranı,  $\mu_s = 0.3$  kullanılmıştır (Amir ve Sokolov, 1980).

Dayanma yapısına aktarılan yatay basınçların hesaplanması için, bilgisayar programı, zemin derinliği boyunca başlangıç ve son emme gerilmesine gerek duymaktadır. Zemin oda sıcaklığında kurutulduğundan ve sonra Katti'nin deneyindeki şartların oluşması için zemin doygun hale gelinceye kadar su emdirildiğinden zemin derinliği boyunca başlangıç ve son emme gerilmesi değerlerinin sabit olduğu kabul edilir. İki ekstrem (uç) şart olan zemin yüzeyindeki emme gerilmesi değerleri, kuru iken = 6.0 pF (Russam ve Coleman, 1961) ve yaş iken = 2.0 pF (Aitchison ve Richards, 1969) olarak alınır. Bundan dolayı emme gerilmesi değerleri arasındaki en büyük fark 4.0 pF'dir, (6.0pF-2.0pF). Bu deneysel çalışmada derinliğe bağlı emme gerilmesi değişimi, 3.0pF olarak alınmıştır,

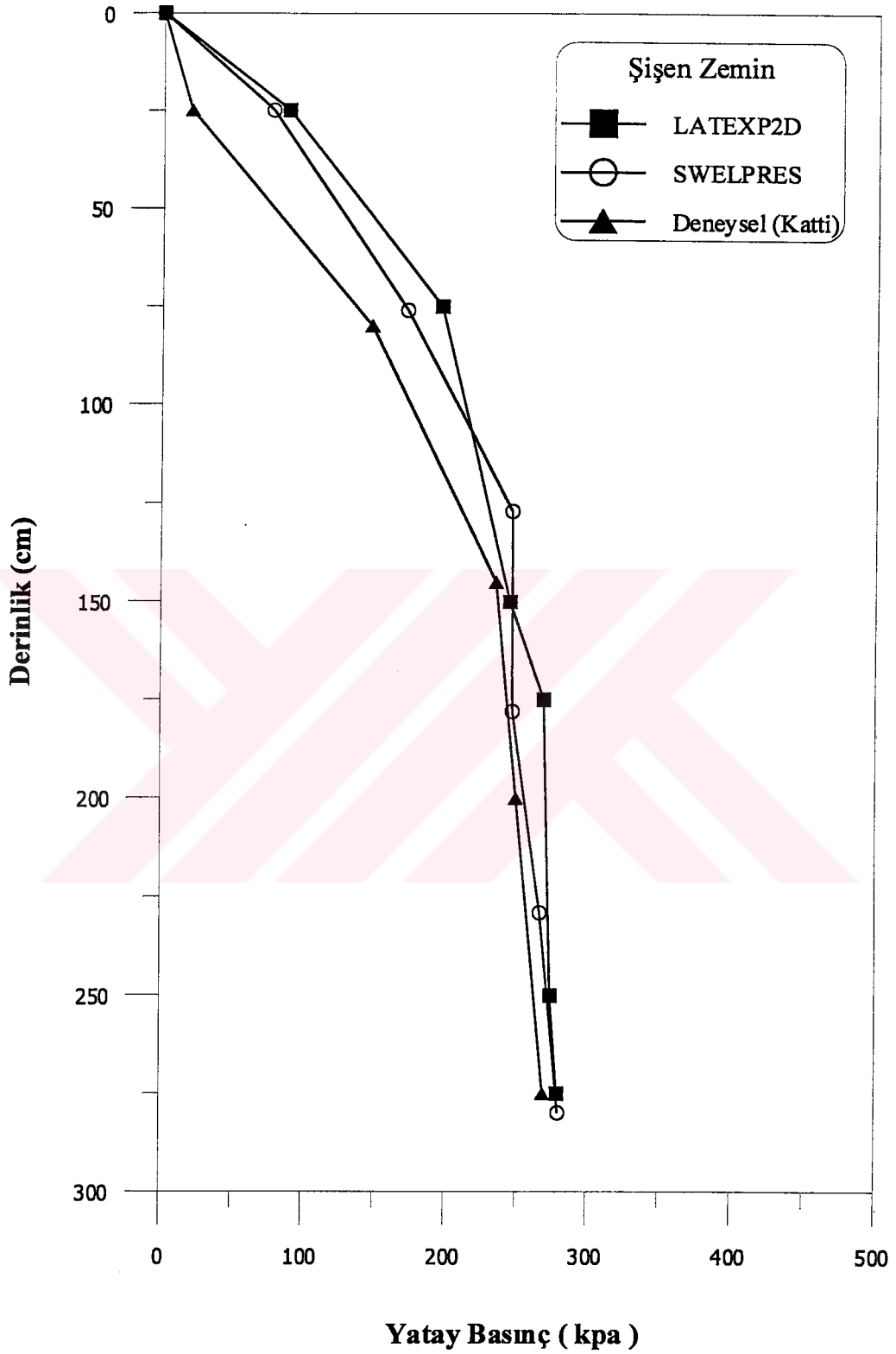
çünkü Katti'nin deneyindeki zemin için deney boyunca ekstrem şartlar kontrol edilememiş olabilir.

Bilgisayar programında kullanılan bir diğer parametre emme gerilmesi sıkışma katsayısıdır. Bu değer, ( $\gamma_h$ ) "Genel Bilgiler" bölümünde Bağıntı 16-17-18 kullanılarak, zeminin kil miktarının ve tipinin bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir. Bazı araştırmacılar, McKeen ve Hamberg (1981) gibi bu sabiti "suction compression index", (SCI) olarak da tarif eder. Katti'nin deneylerinde MRBC-76 şişen zemini, %55 kil içermektedir. Ayrıntılar Tablo 11. de görülebilir. Bu %55'lik kil miktarındaki bileşeler,  $\gamma_h$  değeri sırasıyla, 0.0098 kaolinite, 0.022 illit ve 0.026 simektit'den oluşmaktadır. Kil mineralojisinin kompozisyonu bilinmediği için, simektit, illit ve kaolinitin bir karışımı olarak kabul edilir. Bu nedenle emme gerilmesi sıkışabilirlik katsayısı,  $\gamma_h$  veya SCI, ortalama 0.020 olarak alınır.

MRBC-76 şişen zemini için, deneysel (Katti), LATEXP2D (Aytekin) sayısal ve arakesit elemanlı sayısal modelden (SWELPRES) elde edilen sonuçlar arasındaki karşılaştırma Şekil 26. da verilmektedir. Deneysel sonuçlar ile LATEXP2D sonuçları arasında bir miktar fark vardır bulunmaktadır. SWELPRES'den elde edilen sonuçlar ise deneysel ve LATEXP2D'den elde edilen eğriler arasında bulunmaktadır. Deneysel sonuçlara göre ortaya çıkan bu fark, Katti'nin deneylerindeki tank duvarının yatay yönde biraz sehim yapabileceği ihtimalinden kaynaklanmaktadır (Aytekin, 1992). Eğrilerden de anlaşılacağı üzere yüzeye yakın kısımlarda sehimin arttığını derinlik boyunca da azaldığını söyleyebiliriz. Her iki sayısal modelde ise derinlik boyunca sehim sıfır kabul edilmiştir. Sonuçları etkileyebilecek bir diğer fark da Katti'nin deneysel modeli ile sayısal modelin boyutlarında küçük farklılıkların olabileceğidir. Ayrıca, Katti'nin deneylerinde derinlik boyunca zemin emme gerilmesi değişimi belirtilmemiştir, yani derinlik boyunca sabit olmayabilir oysa zemin emme gerilmesi değişimi sayısal modellerde sabit kabul edilmiştir. Sayısal model ile elde edilen gerilmeler ile deneysel sonuçlar arasında ortaya çıkan bazı farklılıklar yukarıda açıklanan sebeplerden kaynaklanabilir.



Şekil 25. MRBC-76'ya ait derinliğe bağlı kayma direnci dağılımı



Şekil 26. Şişen zemin kullanılması halinde Katti'nin deneysel verileri, Aytekin'in sayısal verileri ve arakesit kullanılmış olarak bulunan sayısal veriler arasındaki yatay şişme basıncı karşılaştırması.

### 3.3. Dolgu Malzemesi : Kohezyonlu Şişmeyen Zemin

Katti şişen zeminler için kullandığı deney tankını, kohezyonlu şişmeyen zemin ve duvar arkasında dolgu kalınlıklarını değiştirerek oluşturduğu deney modellerinin hepsinde kullanmıştır. Bundan dolayı tüm sayısal analizlerde deney tankının boyutları sabittir. Sayısal modelde zeminin elastisite modülü  $E_s$ , zemin derinliği boyunca değişmektedir. Kohezyonlu şişmeyen zeminlerde (KŞZ) zeminin elastisite modülü derinlik boyunca yüzeyde 0 (sıfır) dan başlayarak 3 metre derinlikte 8.6 Mpa olacak şekilde doğrusal olarak değişmektedir. Kohezyonlu şişmeyen zeminin, şişen zemin aksine elastisite modülünün dağılımı ile ilgili veri olmadığı için  $E_s$  derinlik boyunca hesaplanmıştır. Poisson oranı  $\mu = 0.3$  olarak şişen zemininki ile aynı alındı.

Su muhtevası ile emme gerilmesi arasındaki ilişkiden faydalanarak Şekil 27. SUCENV programı kullanılarak oluşturulmuştur (Aytekin, 1992). Genelde, kuru durumda zemin emme gerilmesi değeri yaklaşık 6.0 pF'dir (Russam ve Coleman, 1961). Ayrıca, zemin emme gerilmesi değeri yaklaşık olarak plastik limitte 3.3 pF, likit limitte 0.1 pF'dir (Cronney ve Coleman, 1954). Bundan dolayı, Tablo 11.'den kohezyonlu şişmeyen zemin ile Katti'nin kullandığı şişen zemin özellikleri ve yukarıdaki zemin emme gerilmesi değerleri kullanılarak, Şekil 27. oluşturulmuştur (Aytekin, 1992). Bundan dolayı, zeminin 2.0 pF'lik emme gerilmesi Bağıntı 119'dan elde edilebilir.

$$(\Delta pF)_{KŞZ} = pF_{w15} - 2.5pF \quad (119)$$

burada,

$$(\Delta pF)_{KŞZ} = \text{kohezyonlu şişmeyen zeminde emme gerilmesi değişimi, pF}$$

$$pF_{w15} = \%15 \text{ su içeren kohezyonlu şişmeyen zeminde zemin emme gerilmesi,}$$

SWELPRES, zemin derinliği boyunca değişen başlangıç ve son emme gerilmesi değişimine ( $pF_{baş} - pF_{son}$ ) gerek duymaktadır. Katti'nin deneyinde dayanma yapısına aktarılan yatay basınçların hesaplanması için başlangıç ve son emme gerilmesinin tahmin edilmesine gerek yoktur. Katti'nin deneylerinde iki zemin emme gerilmesinin ( $pF_{baş}$  ve  $pF_{son}$ ) tahmininin yerine, bu iki dağılım arasındaki fark Şekil 27. ve Bağıntı 119 kullanılarak bulunur.

Emme gerilmesi indisi ( $\gamma_h$ ) parametresinin, kohezyonlu şişmeyen zemin için tahmin edilmesi gerekmektedir. Katti'nin deneylerinde kohezyonlu şişmeyen zeminin %35 kil içerdiği belirtilmektedir. Ancak, kilin mineralojik yapısı belirtilmemiştir. Bu nedenle kohezyonlu şişmeyen zeminin  $\gamma_h$  değeri, bağıntılar (16), (17) ve (18) de verildiği gibi, kaolin için 0.006, illit için 0.013 ve montmorillonit için 0.015 olarak hesaplanır.

Kaolinit:

$$\gamma_h = 0.00018 \times 35 - 0.000098 = 0.0062$$

İllit:

$$\gamma_h = 0.00047 \times 35 - 0.00351 = 0.00129$$

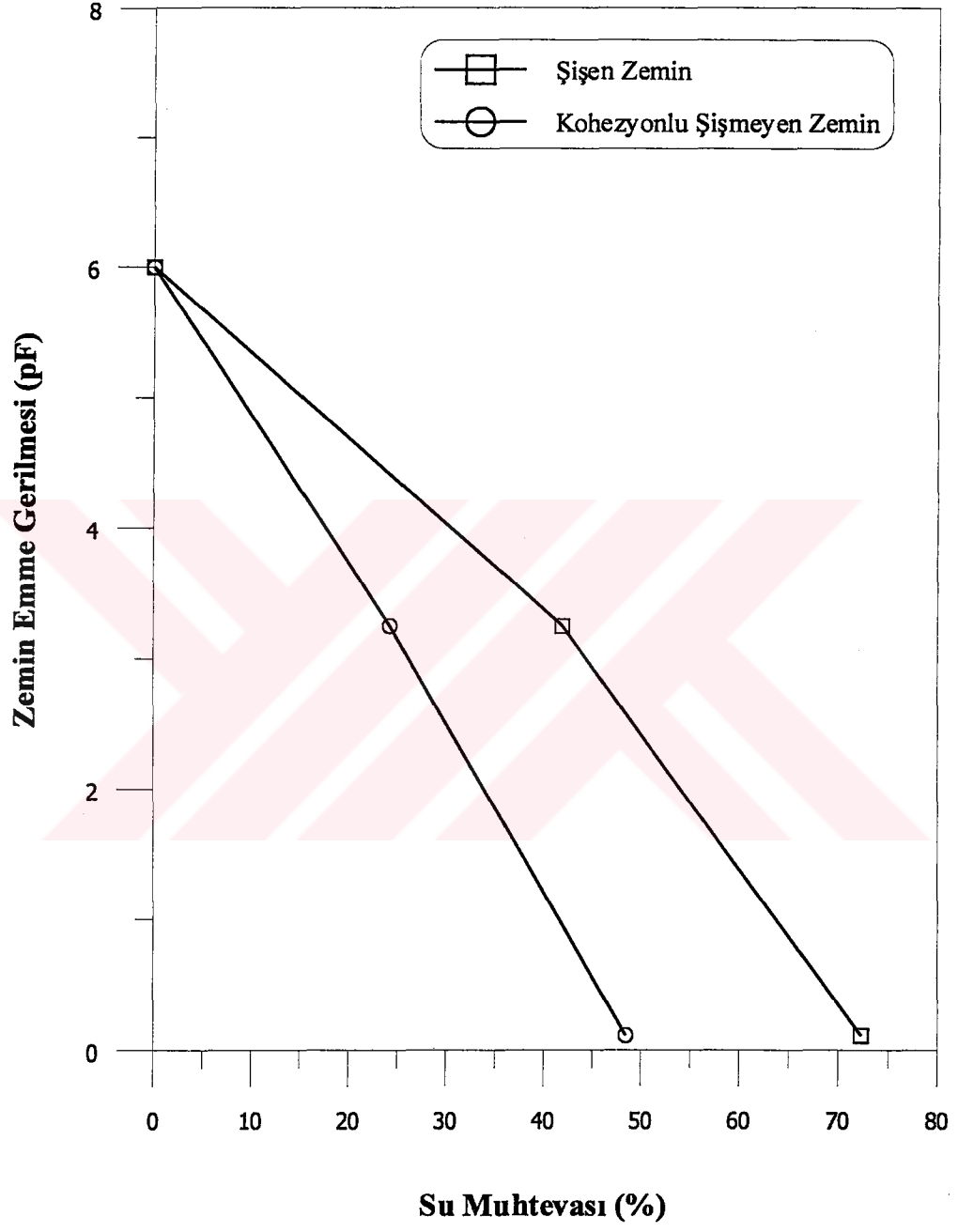
Montmorillonit:

$$\gamma_h = 0.00056 \times 35 - 0.00433 = 0.01527$$

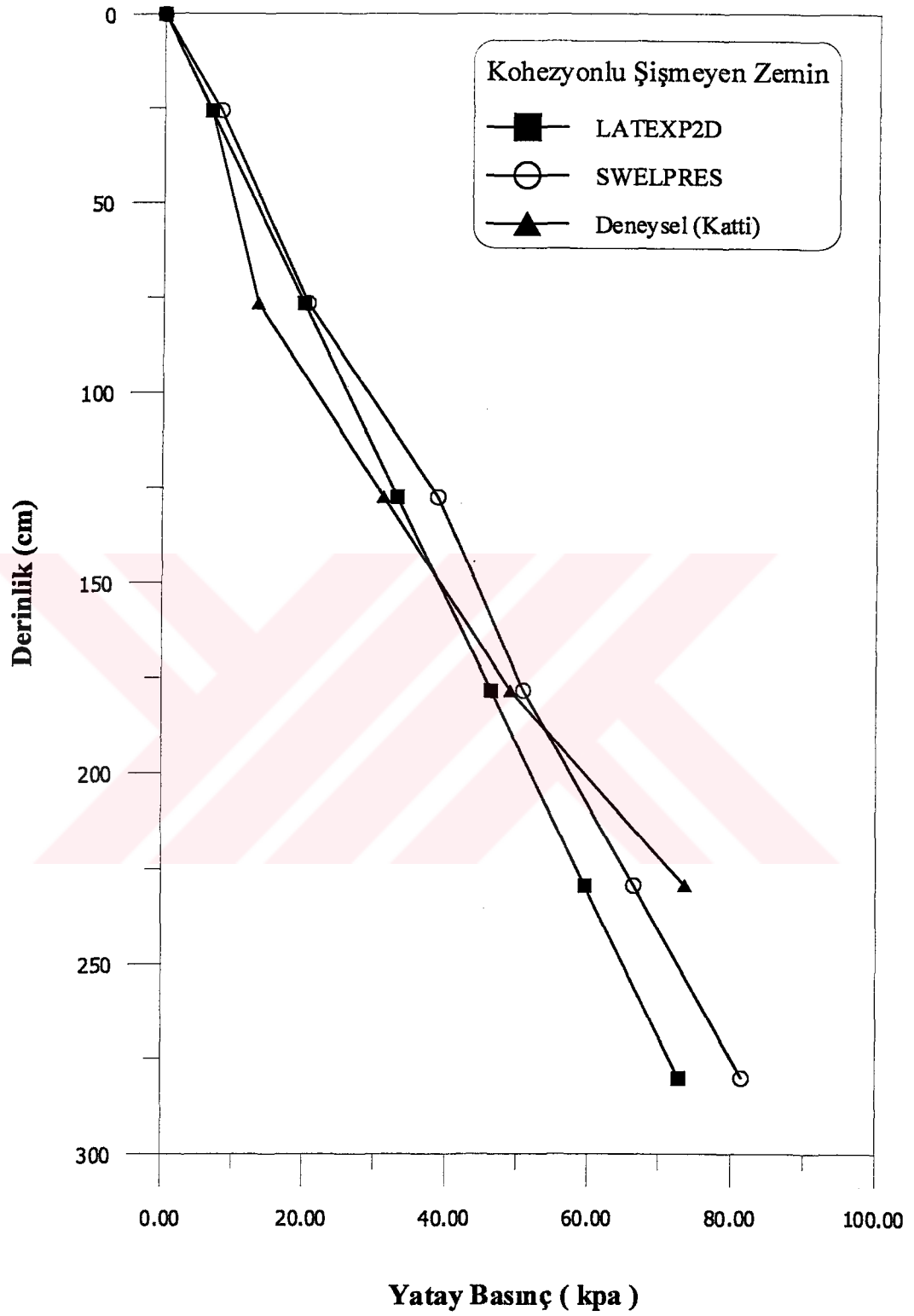
Bundan dolayı, kohezyonlu şişmeyen zemin için, zemin emme katsayısı,  $\gamma_h = 0.006$  alınmıştır. Çünkü Katti'nin deneylerinin amacı için seçilen zeminin potansiyel hacim değişimi, su muhtevası değişiminden oluşan hacim değişiminden daha az olması gerektiği tahmin edilmektedir (Aytekin, 1992).

Kohezyonlu şişmeyen zemin için, arakesit elemanlı sayısal modelden bulunan yatay şişme basınçlarının, deneysel ve LATEXP2D modeli sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 28.'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi deneysel çalışma ile LATEXP2D sonuçları birbirine çok yakındır. Arakesit eleman kullanılarak elde edilen sonuçlar ise deneysel sonuçlara LATEXP2D den elde edilenden daha yakındır.





Şekil 27. Şişen zemin ve kohezyonlu şişmeyen zemin için emme gerilmesi – su muhtevası arasındaki ilişki



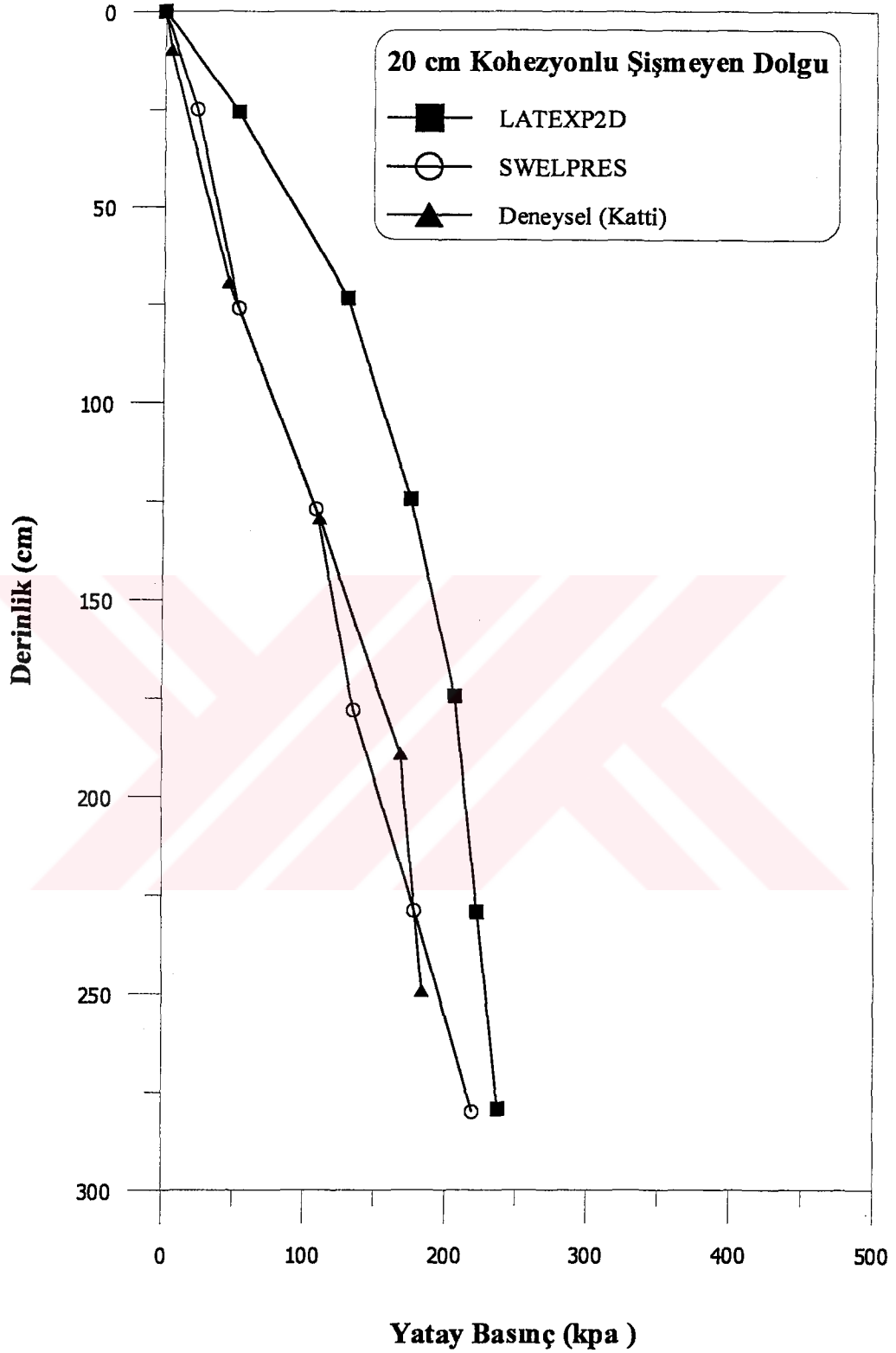
Şekil 28. Kohezyonlu şişmeyen zemin kullanılması halinde Katti'nin deneysel verileri, Aytakin'in sayısal verileri ve arakesit kullanılmış olarak bulunan sayısal veriler arasındaki yatay şişme basıncı karşılaştırması.

### 3.4. Dolgu Malzemesi: Farklı Kalınlıklarda Kohezyonlu Şişmeyen Dolgu Zeminini İle Birlikte Şişen Zemin

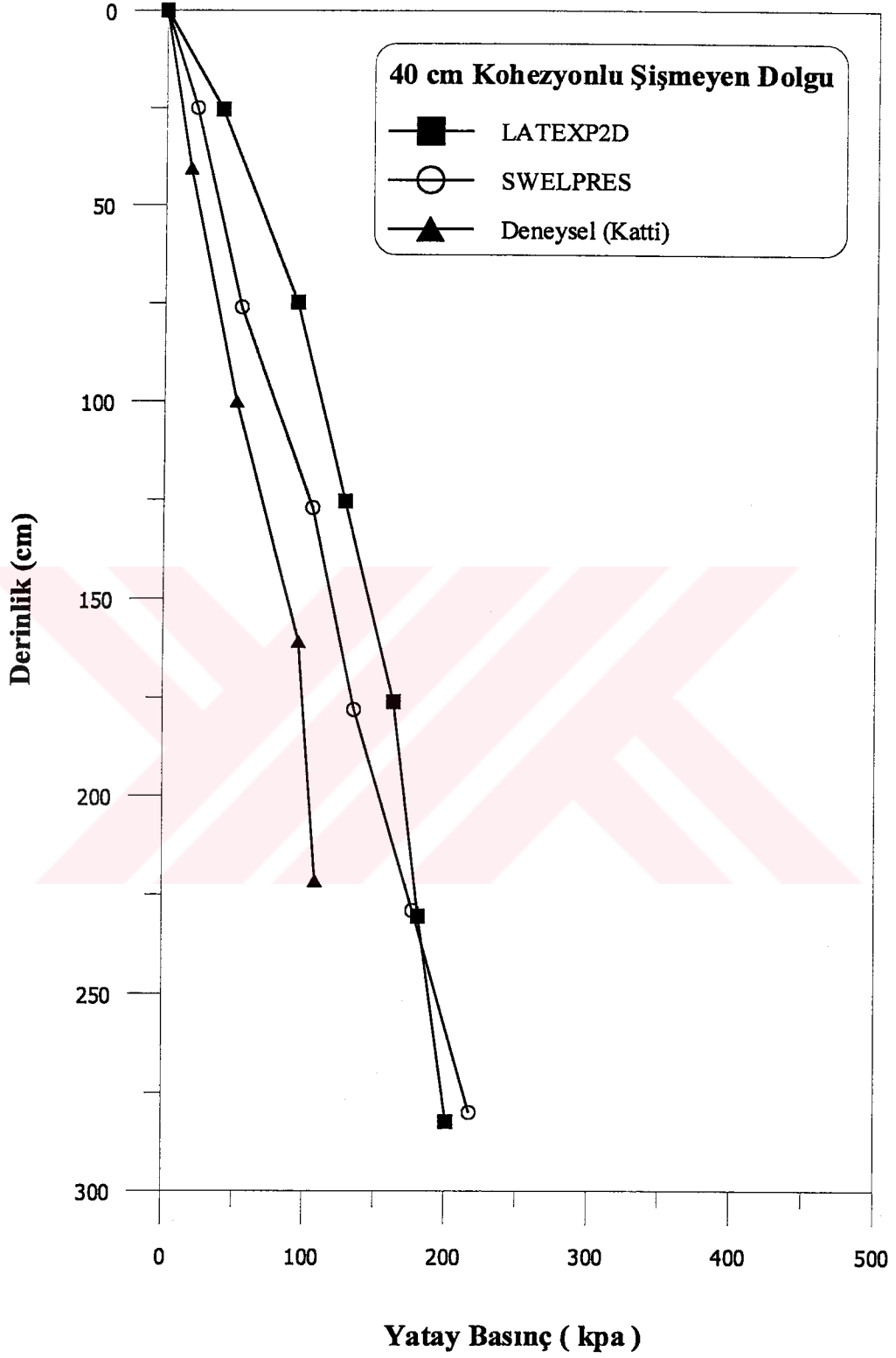
Katti laboratuvar çalışmalarında 4 farklı kalınlıkta kohezyonlu şişmeyen zemini duvar arkasında dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Şişen zemin ile tank duvarı arasındaki kohezyonlu şişmeyen zemin kalınlıkları sırası ile 100 cm, 60 cm, 40 cm ve 20 cm'dir. Bu çalışmada, aynı kalınlıkta dolgular arakesit elemanlı sayısal modelde incelenmiştir.

LATEXP2D ile Katti'nin 100 cm, 60 cm, 40 cm ve 20 cm kalınlıktaki dolgular kullanarak deneysel olarak ölçtüğü yatay şişme basıncı sonuçları, arakesit eleman kullanılması durumundaki sonuçlar ile karşılaştırılarak Şekil 29., Şekil 30., Şekil 31. ve Şekil 32. de verilmektedir.

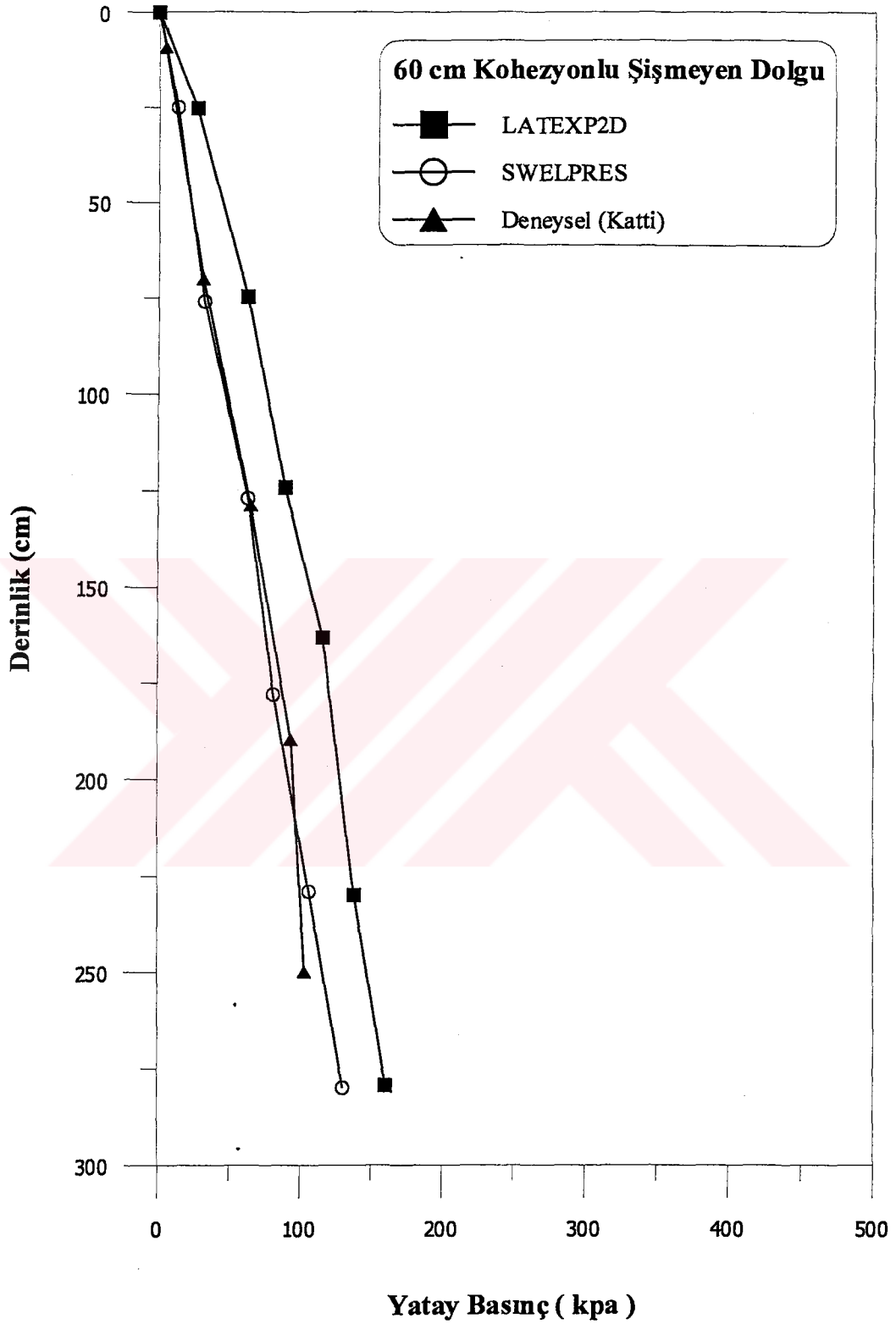
Şekil 32. de görüldüğü gibi, 100 cm kohezyonlu şişmeyen zeminin dolgu malzemesi olarak kullanıldığı durumda LATEXP2D ve SWELPRES'den elde edilen eğriler ile deneysel sonuçlardan elde edilen eğriler birbirine çok yakın değerdendirler. SWELPRES 'den elde edilen eğri LATEXP2D'den elde edilen eğriye göre deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara daha yakındır. Ancak, derinlik boyunca 20 cm, 40 cm ve 60 cm kalınlıkta dolgu malzemeli deneysel çalışmaya göre LATEXP2D ve SWELPRES'den elde edilen sonuçlar daha büyük yatay basınçlar vermektedir. Maksimum yatay basınç için sayısal modeller ile deneysel sonuçlar arasındaki en büyük fark 40 cm kalınlıklı arka dolgu malzemesinin olması durumunda olmuştur. Arka dolgu malzemesinin 40 cm kalınlıkta olduğu modelde 220 cm derinlikte aktarılan yatay basınç, deneysel çalışmada  $1,14 \text{ kg/cm}^2$ , LATEXP2D'de  $1,85 \text{ kg/cm}^2$  iken SWELPRES'de  $1,71 \text{ kg/cm}^2$  olarak elde edilmiştir. Bu fark diğer deneysel çalışmalardan bulunanlara göre daha fazladır yani diğer deneylerde fark bu miktara ulaşmamaktadır. Buna sebep olan parametrelere bakacak olursak, sayısal modelde zemin emme gerilmesinin deneydekinden farklı olabileceği ihtimalidir. Öte yandan deneyde kullanılan tankın yatay basınç doğrultusunda sehim yapmış olabileceğidir. Ayrıca, duvarın yapabileceğini düşündüğümüz bu sehim her deneyde farklı olabilir. Ek olarak Şekil 28., Şekil 29., Şekil 30., Şekil 31., Şekil 32.'den de anlaşılacağı gibi arakesit eleman kullanılan durumlarda bulunan sonuçlar deneysel sonuçlara daha fazla yaklaşmıştır.



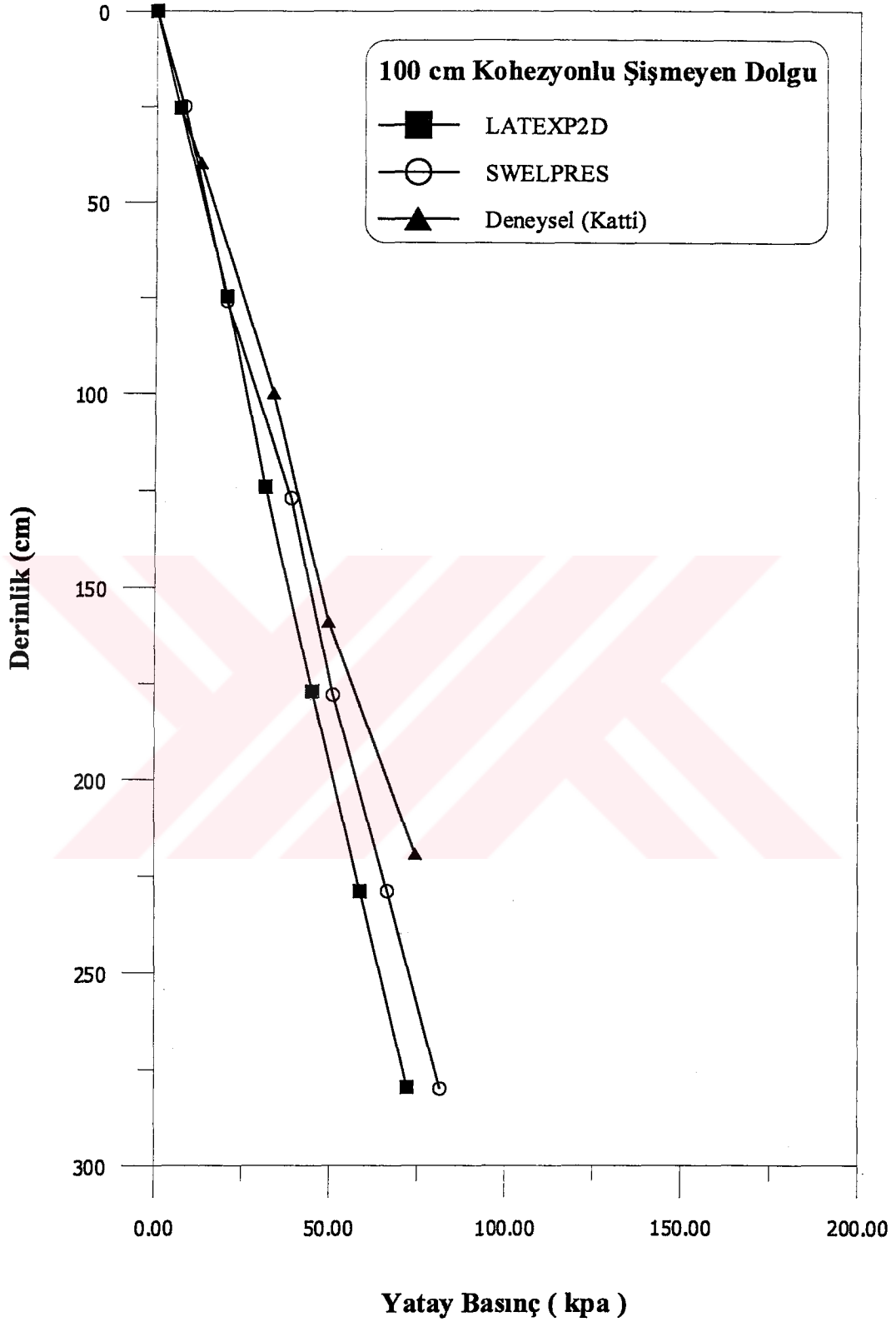
Şekil 29. Arka dolgu olarak 20 cm kohezyonlu şişmeyen zemin kullanılması halinde Katti'nin deneysel verileri, Aytakin'in sayısal verileri ve arakesit kullanılmış olarak bulunan sayısal veriler arasındaki yatay şişme basıncı karşılaştırması.



Şekil 30. Arka dolgu olarak 40 cm kohezyonlu şişmeyen zemin kullanılması halinde Katti'nin deneysel verileri, Aytakin'in sayısal verileri ve arakesit kullanılmış olarak bulunan sayısal veriler arasındaki yatay şişme basıncı karşılaştırması.



Şekil 31. Arka dolgu olarak 60 cm kohezyonlu şişmeyen zemin kullanılması halinde Katti'nin deneysel verileri, Aytakin'in sayısal verileri ve arakesit kullanılmış olarak bulunan sayısal veriler arasındaki yatay şişme basıncı karşılaştırması.



Şekil 32. Arka dolgu olarak 100 cm kohezyonlu şişmeyen zemin kullanılması halinde Katti'nin deneysel verileri, Aytekin'in sayısal verileri ve arakesit kullanılmış olarak bulunan sayısal veriler arasındaki yatay şişme basıncı karşılaştırması

### 3.5. İncelenen Durumlar

Bu kısımda varsayımlarla üretilen pekçok problem tipi dikkate alınabilir. Üretilen problemin amacı, dayanma yapılarına gelen yatay basıncın değişimini, istinat duvarı arkasında, doğal zemin üzerinde serilmiş veya her iki durumun bir kombinezonu olarak kullanılan dolguların, su muhtevasının, malzeme tipinin ve boyutlarının değişimine bağlı olarak elde etmektir. Bu amaçla üç model dikkate alınmıştır. Dolgu şekli olarak daha önce Aytekin'in (1992) de belirlemiş olduğu dikdörtgen dolgu tipinin en uygun olduğu bulgusunu dikkate alarak, birinci model olarak istinat duvarı arkasında 0.5 m, 1 m, 2 m ve 3 m, ikinci model olarak doğal zemin üzerine 0.5 m, 1 m, 2 m ve 3 m kohezyonlu şişmeyen zemin dolgular serilerek ve üçüncü model olarak istinat duvarı arkasında gevşek sıklıkta kum dolgu malzemesi kullanılarak, değişen yatay şişme basınç dağılımlar incelenmiştir.

Doğal şartlarda, killerin elastisite modülü,  $E_s$ , zeminin su muhtevasına (Barkan, 1967) ve dikkate alınan derinliğe (Gibson, 1967) bağlıdır. Bu nedenle hesaplamalarda, zemin yaş durumdayken en büyük şişme basıncının olacağından, zeminin yaş iken sahip olacağı elastisite modülü dikkate alınmalıdır. Elastisite modülü,  $E_s$ , aktif bölgedeki su muhtevasının ve derinliğin bir fonksiyonu olarak değişir. Bu çalışmada  $E_s$ , değerleri hesaplanırken, zemin elastisite modülünü belirlemede kullandığımız zemin su muhtevası değeri, Şekil 33.'deki yatay basınç dağılımının hesabında kullanılan son zemin emme gerilmesi eğrisi ve farklı zeminler için değişen zemin emme gerilmesi ile su muhtevası arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 27. kullanılarak hesap edilir.

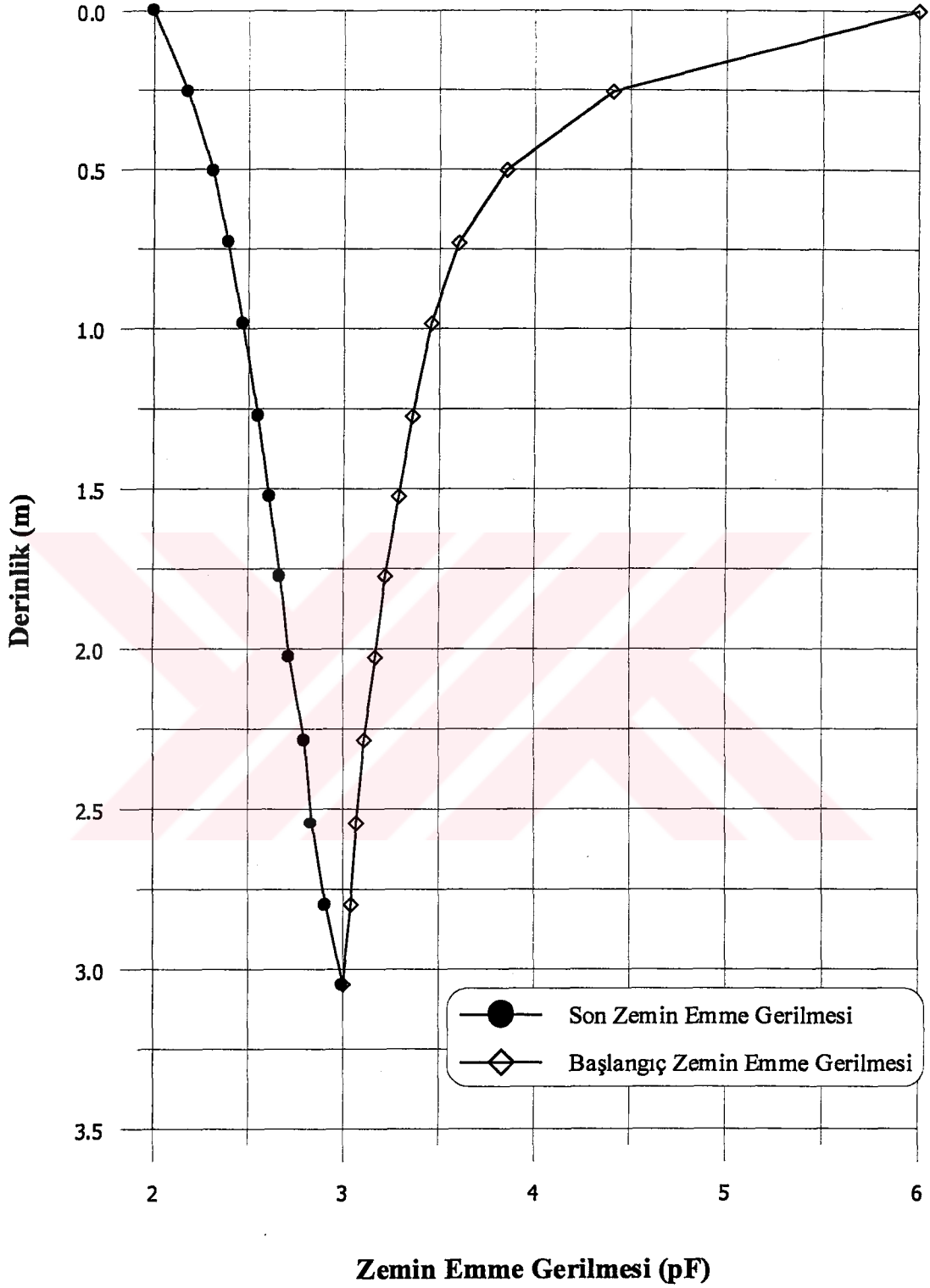
Statik denge halindeki zemin emme gerilmesi sınır değerleri, zeminin kuru durumundaki sınır şartı için 6.0pF değerini (Russam ve Coleman, 1961) ve doygun durumundaki sınır şartı için ise 2.0 pF (Aitchison ve Richards, 1969) değerlerini aldığı belirtilmektedir. Bunlardan dolayı, bu değerleri ve aktif bölgede denge halindeki emme gerilmelerini kullanarak statik dengede zemin emme gerilmesi zarfı hazırlanabilir (Wray, 1992). Sayısal modelde incelenecek olan dolgu varsayımları için tipik zemin emme gerilmesi zarfları statik emme gerilmesi teorisi kullanılarak üretilir. Zemin emme gerilmesi zarfları zemin derinlik artışı,  $\Delta x$ , boyunca hassas bir şekilde değiştiği için,  $\Delta x$  derinlik artışı çok hassas bir şekilde yapılmalıdır. Yaklaşık 30 cm'lik  $\Delta x$  artımı kabul edilebilir



sonuçlar vermektedir (Wray, 1989). Dikkate alınan dolgu durumlarında, aktif bölge derinliği 3 m olarak alınmıştır.

Emme gerilmesi ile su muhtevası arasındaki ilişki Şekil 27.'den faydalınarak bulunur. Buraya kadar yapılan kabuller ve tahminler tüm dikkate alınan dolgu durumlarında kullanılmıştır. Ancak gerçek durumda, emme gerilmesi ile su muhtevası arasındaki ilişki laboratuvar deneylerinden elde edilmelidir. Çünkü her zemin kendine ait bir su tutma eğrisine (zemin suyu karakteristik eğrisi) sahiptir. Bu amaçla "saykrometre, filtre kağıdı, ısı transferi sensörleri, camlifli nem hücresi, basınçlı hücre, jips bloku ve Agwa-II" olarak bilinen deneylerden faydalanılabilir (Aytekin, 1992). Bu ilişki zemininin kurumakta veya doygun olup olmamasına bağlıdır. Bu ilişki zeminin su tutma eğrisi olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde bu ilişkinin belirlenmesi için yoğun çalışmalar sürmektedir. Zemin artan miktarlarda ıslandığı zaman, tersi olarak kurumakta olan bir zemine göre, aynı su muhtevasında şişme basıncı daha yüksektir çünkü, zeminin ıslanması süresince zemine daha fazla enerji uygulanmaktadır. Daha fazla enerji gereksiniminin sebeplerinden birisi, kuruyan zeminin aksine ıslanmakta olan zeminin boşluklardaki hava kabarcıkları zemini dışarıya doğru iter. Bu ilişki histerisis olarak adlandırılan kuruma-ıslanma döngüsüne de bağlıdır. Kuruma ve ıslanma döngüsü çok sayıda olduğu zaman, ıslanma ile kuruma eğrileri arasındaki fark küçüldür (Croney ve Coleman, 1954).

Doğal zemin için statik dengedeki zemin emme gerilmesi zarfı Şekil 33. de görülmektedir. Derinlik boyunca zeminin elastisite modülü dağılımı Şekil 27.'deki zemin emme gerilmesi ile su muhtevası arasındaki ilişkiden ve Bağıntı 120' deki şartı sağlayan, su muhtevası-elastisite modülü arasındaki ilişkiden faydalınarak hesap edilebilmektedir. Hesap edilmiş elastisite modülü değerleri Şekil 34. de görülmektedir. Derinlikle, elastisite modülü,  $E_s$  'nin hesaplanmasında Bağıntı 33 ile Bağıntı 43'deki Gibson (1967) modeli de hesaba katılarak bir denklemde birleştirilir. Ek olarak derinlik boyunca zemin su muhtevasının etkileri de dikkate alınır. Birleşimden oluşan denklem aşağdaki gibidir (Aytekin, 1992).



Şekil 33. İki ekstrem statik şart için emme gerilmesi zarfı (kuru ve doymun),  
(Aytekin, 1992)

$$E_{s(z)} = E_{d(z)} \left( 1 - \frac{w_{(z)}^2}{w_0^2} \right) \quad (120)$$

burada,

$E_{s(z)}$  = z derinliğinde  $w_{(z)}$  su muhtevasına sahip zeminin elastisite modülü

$E_{d(z)}$  = Kuru durumda, z derinliğindeki zeminin elastisite modülü (Gibson denkleminde elde edilir)

$w_{(z)}$  = z derinliğindeki zeminin su muhtevası

$w_0$  = elastisite modülünün teorik olarak sıfır olduğu yerdeki su muhtevası

Gibson modeli, derinliğin, zeminin elastisite modülüne etkisini dikkate alır. Gibson modelinin denklemini aşağıda gösterilmiştir.

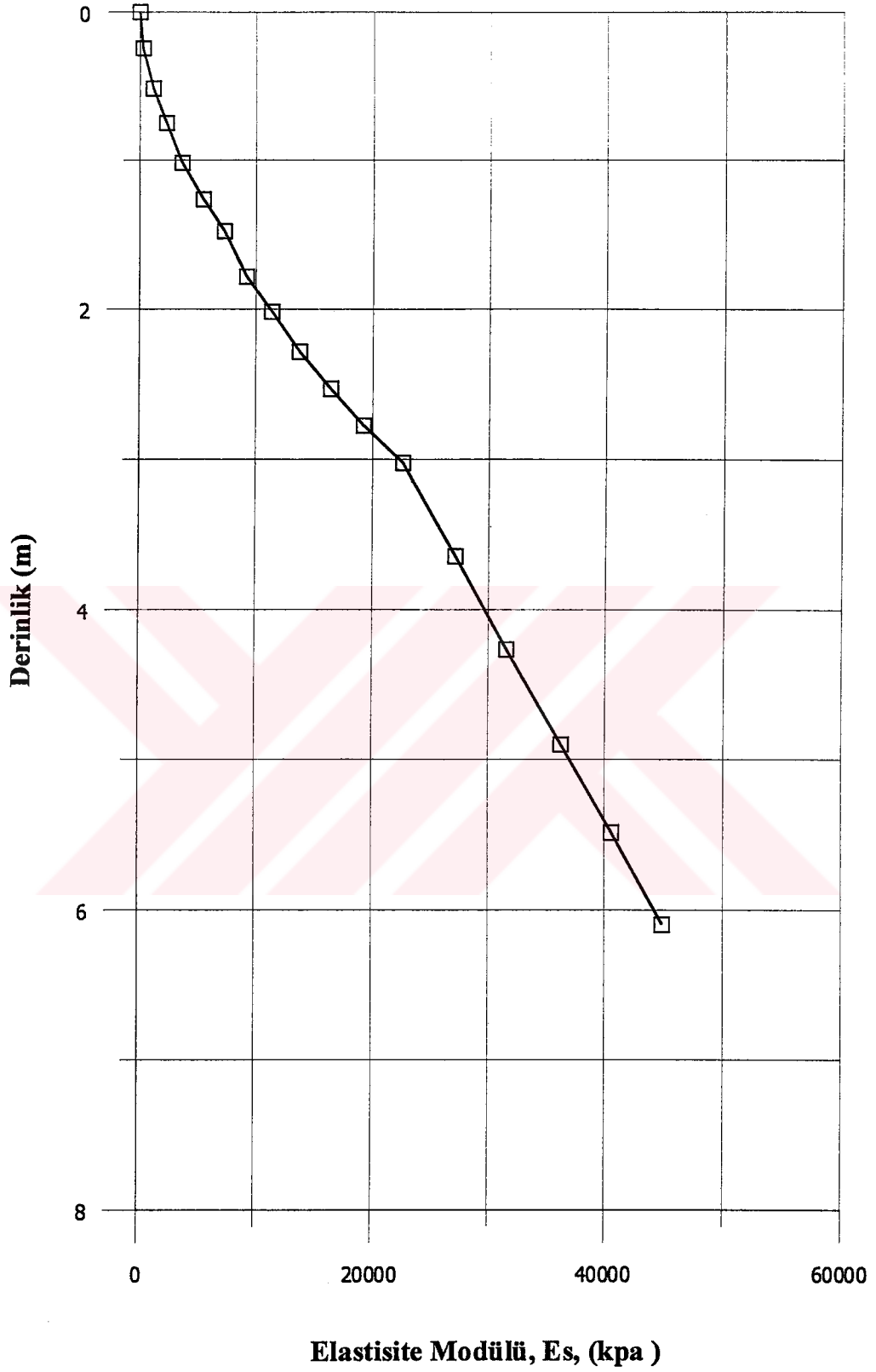
$$E_s = E_0 + mz \quad (121)$$

Gibson, (1967) bağıntısındaki  $m$  sabitinin, temel zemini yatak katsayısının yarısına eşit olduğunu göstermiştir.

$$m = \frac{k_s}{2} \quad (122)$$

Teknik literatürde farklı tür ve koşullardaki zeminlerin tipik  $k_s$  değerleri verilmektedir (McCarthy, 1988). Bazı  $k_s$  değerleri Tablo 12. de zemin tür ve koşulların bir fonksiyonu olarak verilmektedir. Örneğin, zemin yoğunluğunun  $1.44 \text{ gr/cm}^3$  ile  $1.76 \text{ gr/cm}^3$  arasında olduğu zeminlerde temel zemini yatak katsayısı,  $k_s$ ,  $2.4 \times 10^4 \text{ kN/m}^3$  ile  $4.8 \times 10^4 \text{ kN/m}^3$  arasında değişmektedir. Bu çalışmadaki örneklerde ise  $k_s = 1.6 \times 10^4 \text{ kN/m}^3$  alınmıştır. Çünkü zeminin doymun durumda yatak katsayısı küçük olmaktadır (McCarthy, 1988).  $k_s$  değerindeki azalmalar yeraltı su seviyesinin temele yakın olması durumunda önerilmektedir.

Buraya kadar bahsedilen parametreler ve denklemlerden faydalınarak dikkate alınan dolgu kalınlıklarında incelediğimiz modeller çözülmüştür. Tüm incelenen durumlarda dikkate alınan dolguların istinat duvarı ile birleştiği süreksizlik



Şekil 34. Zemin derinliğinin ve su muhtevasının fonksiyonu olarak şişen zeminin elastisite modülünün değişimi

Tablo 12. Zemin türü ve koşullarına bağlı yatak katsayısı değerleri

| Zemin                       | $k_s$ , kN/m <sup>3</sup> |
|-----------------------------|---------------------------|
| Gevşek kum                  | 4800 - 16 000             |
| Orta yoğunlukta kum         | 9600 - 80 000             |
| Yoğun kum                   | 64 000 - 128 000          |
| Killi orta yoğunlukta kum   | 32 000 - 80 000           |
| Siltli orta yoğunlukta kum  | 24 000 - 48 000           |
| Killi zemin                 |                           |
| $q_{em} \leq 200$ kPa       | 12 000 - 24 000           |
| $200 < q_{em} \leq 800$ kPa | 24 000 - 48 000           |
| $q_{em} > 800$ kPa          | > 48000                   |

yüzeylerinde arakesit elemanlar dikkate alınmıştır. İncelenen durumların hepsinde dayanma yapısı, istinat duvarı veya temel duvarı olarak kabul edilebilir. Dikkate alınan problemdeki sistemin geometrisi ve boyutları Şekil 35. de verilmiştir. Dayanma yapısına aktarılan yatay basınçlar için Şekil 35. de görülen istinat duvarı arkasındaki arakesit eleman yüzeyine gelen yatay basınçlar çeşitli dolgu kalınlıkları için hesap edilmiştir. Şişen zeminin ve kohezyonlu şişmeyen zeminin özellikleri Katti'nin deneysel çalışmasında kullandıkları ile aynıdır. Şişen zeminin ve kohezyonlu şişmeyen zeminin birim hacim ağırlıkları  $1.76 \text{ gr/cm}^3$  olarak aynı alınmıştır. Örneklerin sonuçları değerlendirilmiş ve bazı sonuçlara ulaşılmıştır.

### 3.5.1. İncelenen Durum .I Dolgular İstinat Duvarı Arkasında, Dolgu Malzemesi : KŞZ

Bu bölümde, şişen bir zemin içindeki istinat duvarı ve duvar arkasında KŞZ dolgusunun var olduğu düşünülmektedir. Aktif ve pasif zemin basınç dağılımları şişen zeminde herhangi bir şişme olmadığı düşünülerek gösterilmiştir. Daha sonra, istinat duvarı arkasında çeşitli kalınlıklarda KŞZ'nin dolgu malzemesi olarak kullanılması ile istinat duvarına aktarılan yatay basınç dağılımları hesap edilmiştir. Tüm varsayımlarda istinat

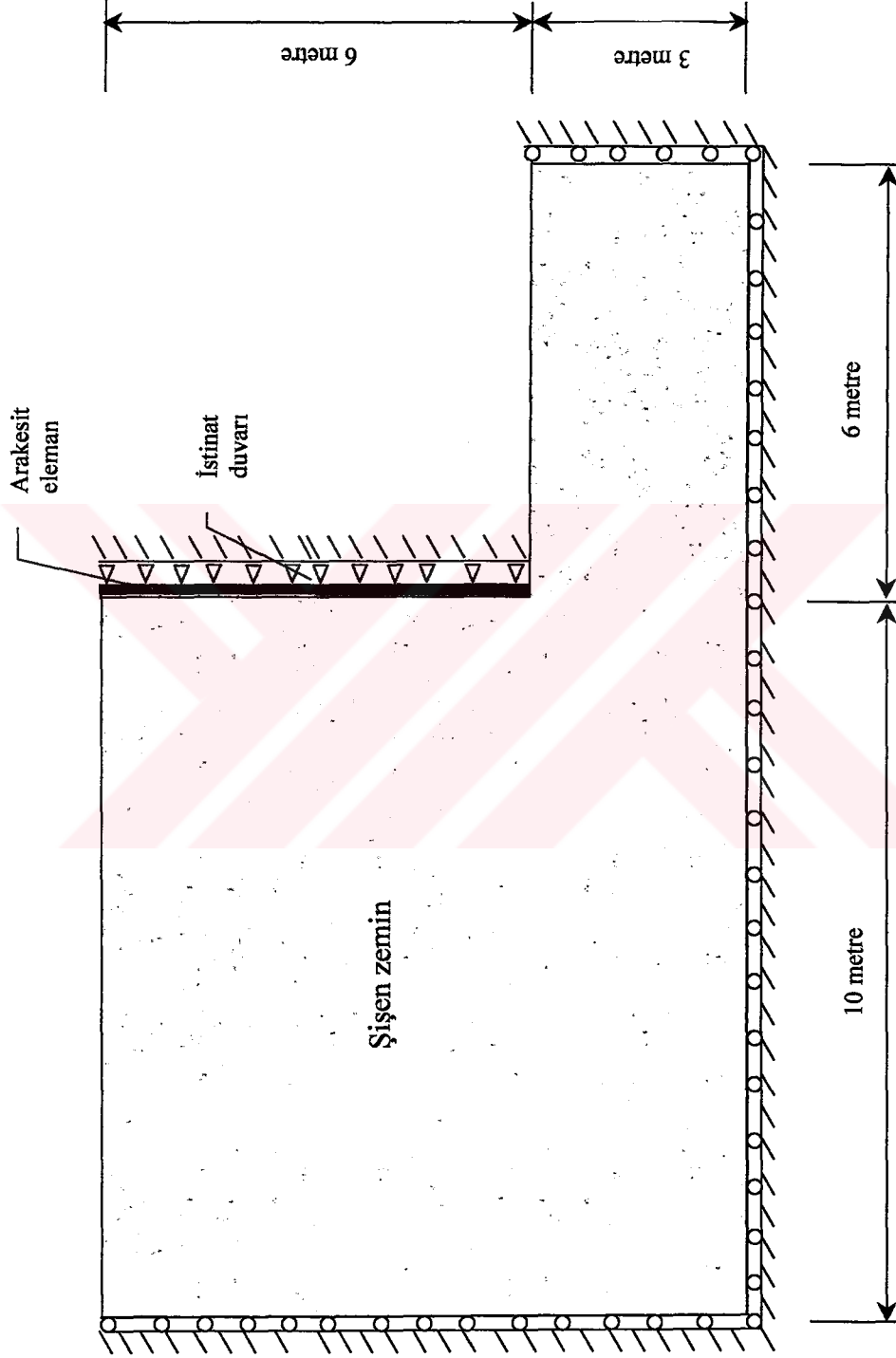
duvarının hareket etmediği kabul edilmiştir ve sayısal modelimizin hepsinde dolgu malzemesi ile istinat duvarı arasındaki süreksizlik yüzeylerinde, arakesit eleman vardır.

Önce herhangi bir dolgu malzemesi kullanmadan, yalnızca şişen zemin olması durumunda istinat duvarına aktarılan yatay basınçlar hesap edilmiştir. Sonra istinat duvarı arkasında sırasıyla, 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m, 3 m KŞZ kullanılarak istinat duvarına aktarılan yatay basınçlar hesap edilmiştir. Sonlu elemanlar modeli ve istinat duvarı dolgu kalınlıkları Şekil 36. da verilmektedir. Dolgu kalınlıklarına göre, derinlik boyunca istinat duvarına aktarılan yatay basınç dağılımları ile aktif ve pasif basınç dağılımları Şekil 37., Şekil 38., Şekil 39., Şekil 40, Şekil 41. ve Şekil 42. de verilmektedir.

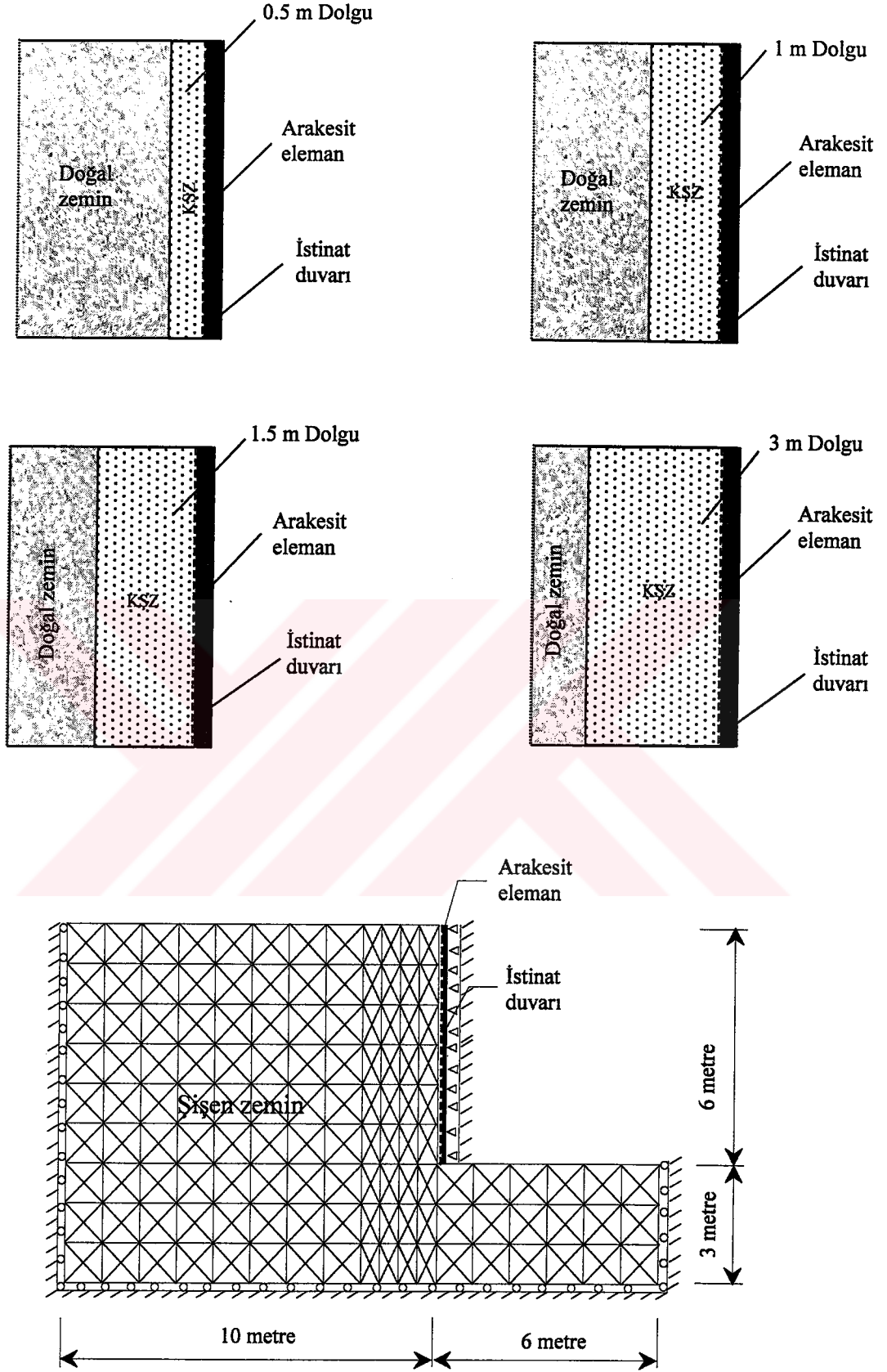
Şekil 37.'den görüleceği üzere hiçbir dolgu malzemesinin olmaması durumunda şişme basınçları yüzeyden itibaren yaklaşık 1.5 metre derinliğe kadar pasif toprak basınçlarına çok yakındır. Bu derinlikten itibaren pasif toprak basıncından uzaklaşmıştır. Dolgu olmadığı zaman, maksimum yatay şişme basıncı  $0.8 \text{ kg/cm}^2$  iken, istinat duvarı arkasında 0.5 metre kohezyonsuz dolgu olması halinde Şekil 38.'den de görüldüğü gibi maksimum yatay şişme basıncı  $0.32 \text{ kg/cm}^2$  'ye düşmekte, pasif toprak basıncından da uzaklaşmaktadır. Artan dolgu kalınlıklarında yatay şişme basınçları düşmeye devam ederken belli bir kalınlıktan sonra etkisini yitirmekte ve aktif toprak basıncının üstünde artmaya devam etmektedir.

Herbir dolgu kalınlığındaki maksimum yatay basınç değerleri ile dolgu kalınlığı arasında Şekil 43.'deki gibi ilişki bulunmaktadır. Grafikteki eğrinin şeklinden de anlaşılacağı üzere dolgu kalınlığına bağlı olarak yatay şişme basınçlarında belli bir düşüş görülmektedir. Şekil 43.'den görüldüğü gibi şişen zemin ile istinat yapısı arasında konulan dolgu, istinat yapısına aktarılan yatay basınçları hızla azaltmakta, ancak dolgu kalınlığı arttırıldığında bu azalma daha düşük olmaktadır.

Sayısal çalışmalarda ani sınır değişiklikleri, sonuçlar da ani değişimler verebilmektedir. Ayrıca seçilen eleman tipi, sonlu elemanlar ağı ve eleman sayısı da ani değişimler üzerinde etkili olabilmektedir. Bu nedenle istinat duvarının zeminle birleştiği yerdeki sınır şartının verebileceği olumsuzlukları gidermek için istinat duvarının zemine 1 metre gömülü olduğu varsayılmaktadır.

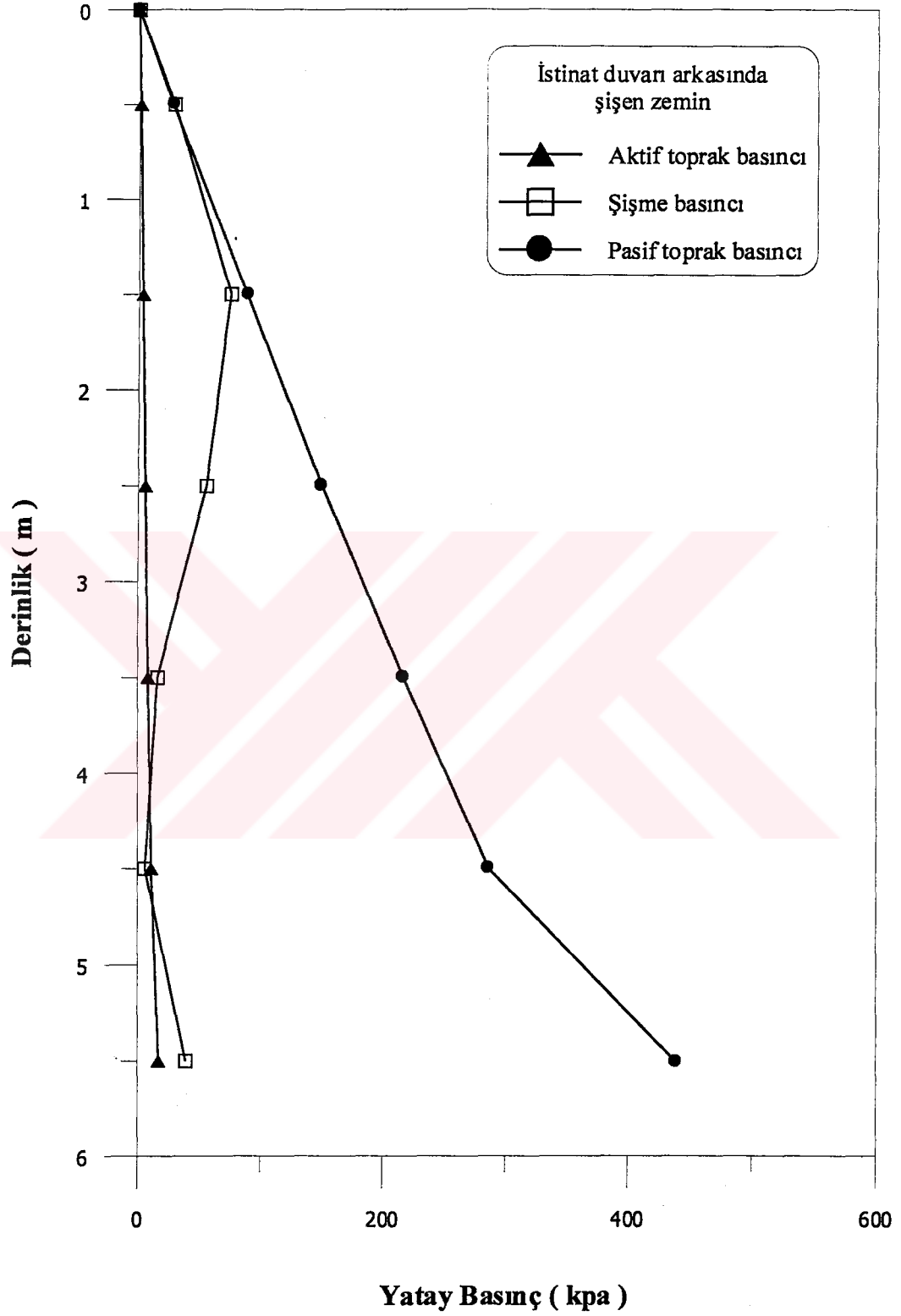


Şekil 35. İncelenen durumlar için zemin sisteminin boyutları ve sınır şartları

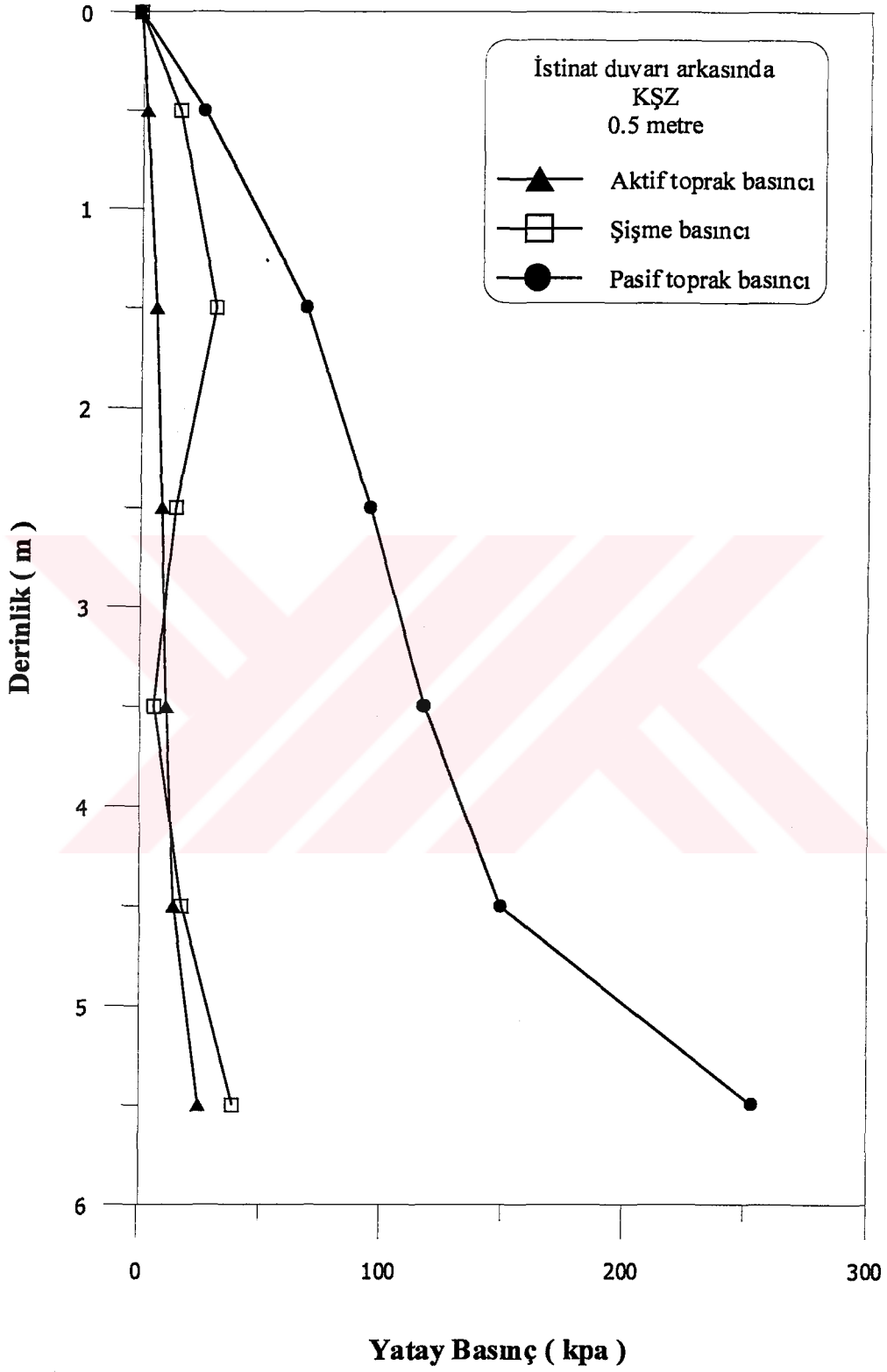


Şekil 36. İstinat duvarı dolgu kalınlıkları ve sonlu elemanlar modeli

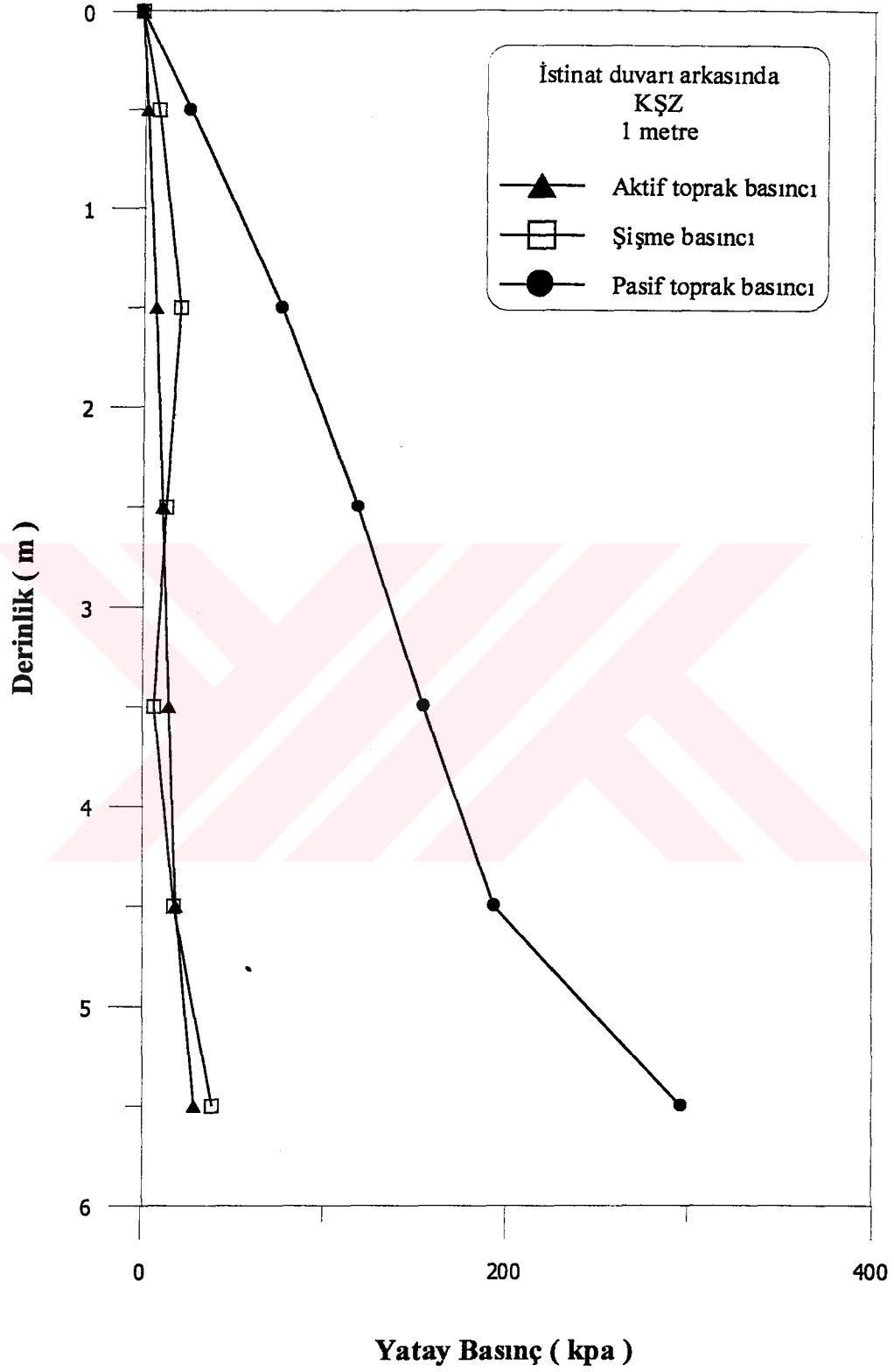




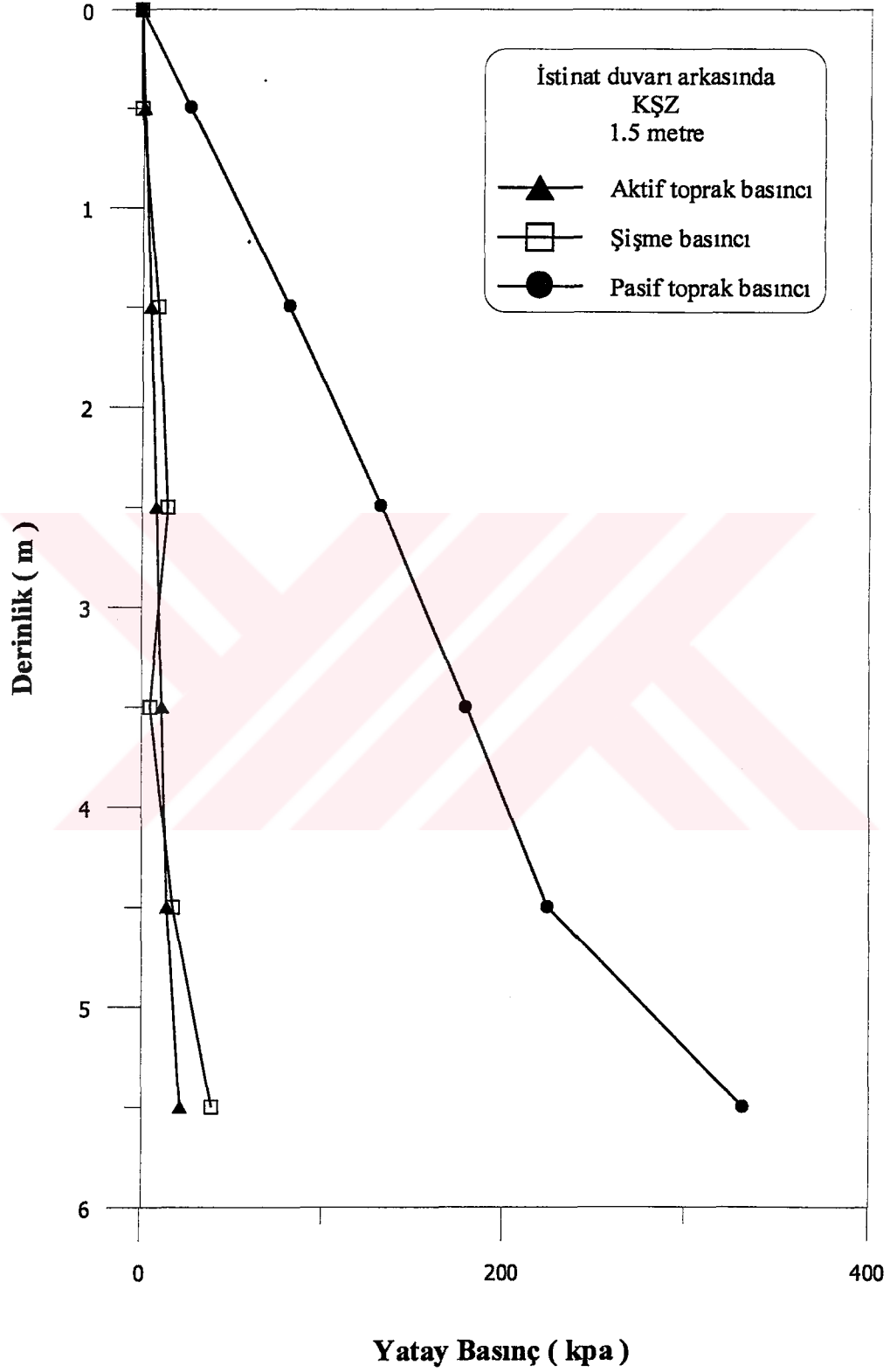
Şekil 37. İstinat duvarı arkasında yalnızca şişen zemin (dolgu yok) olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı



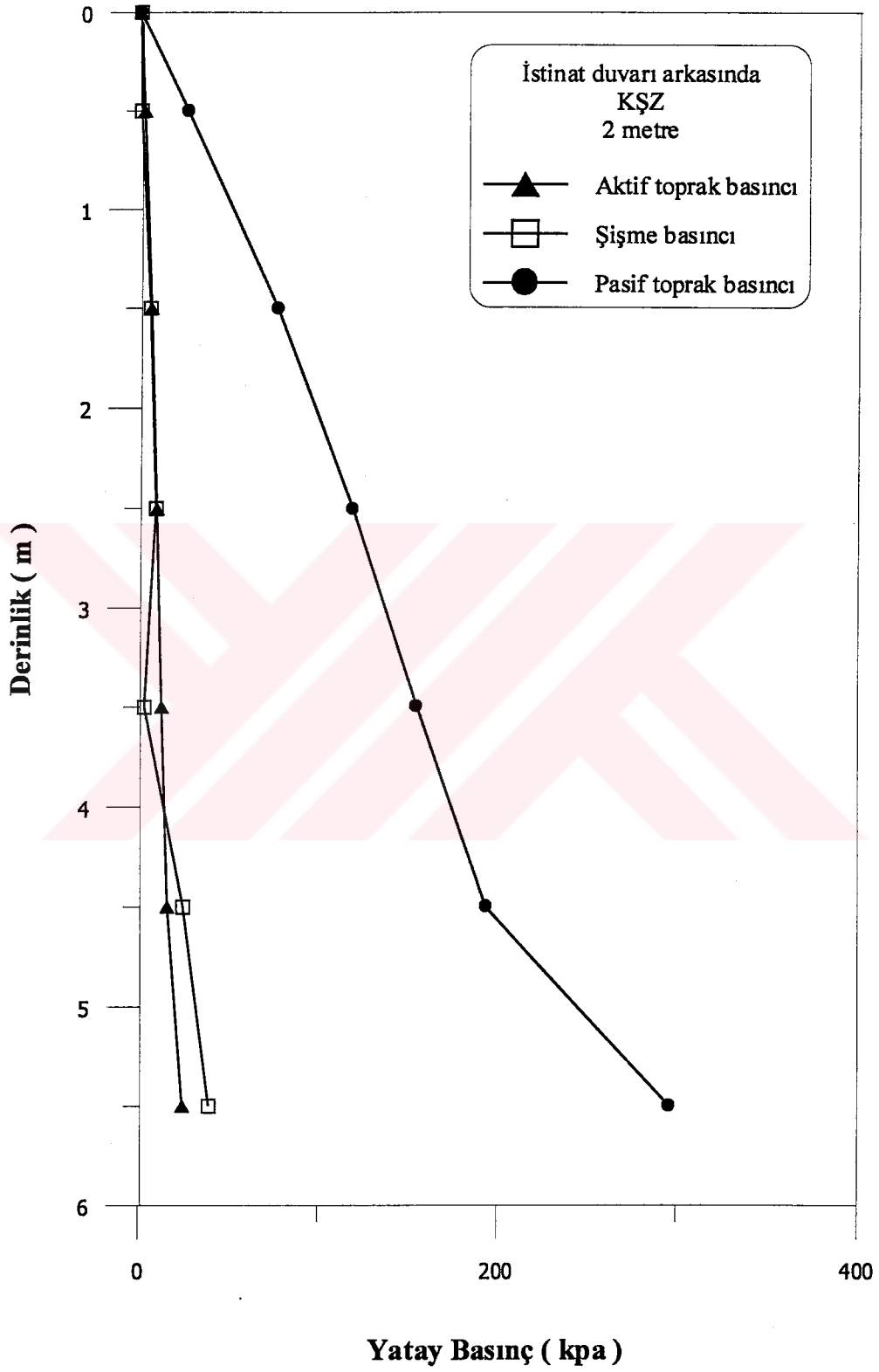
Şekil 38. İstinat duvarı arkasında 0.5 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı



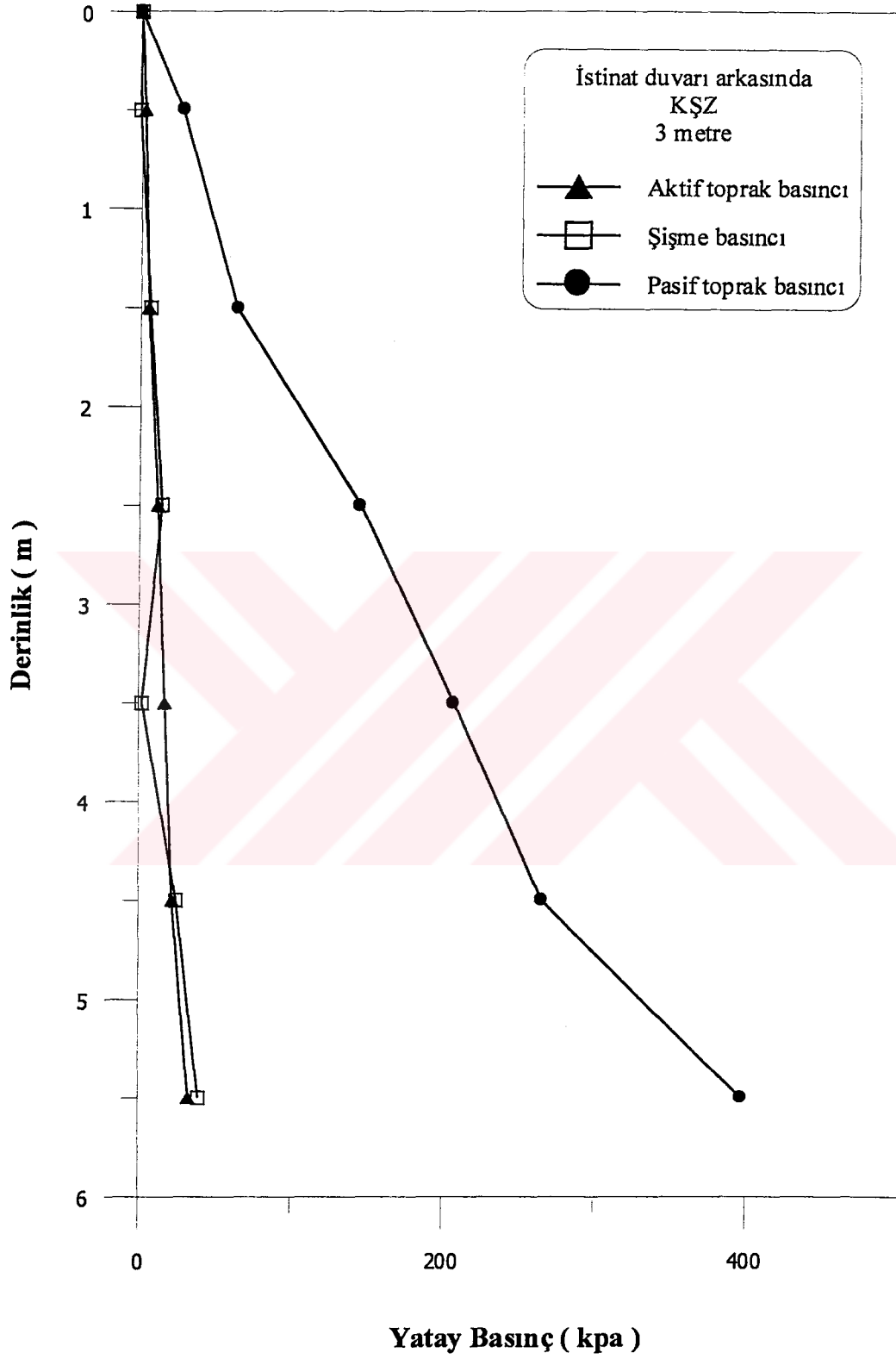
Şekil 39. İstinat duvarı arkasında 1 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı



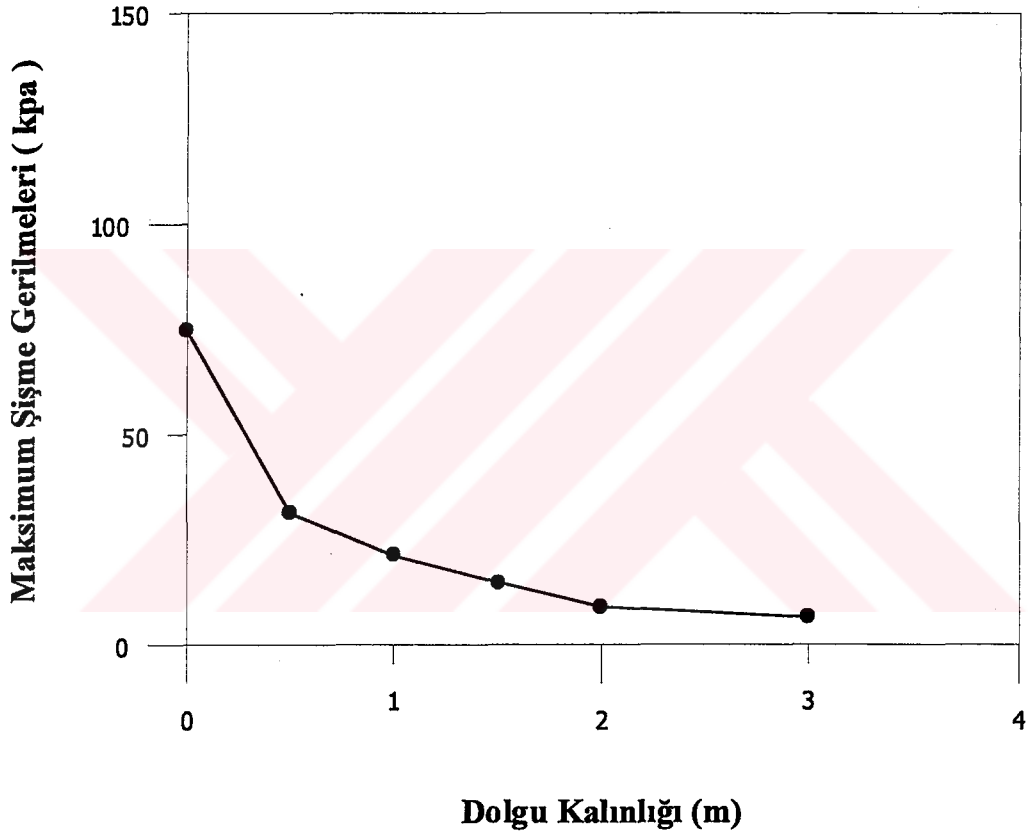
Şekil 40. İstinat duvarı arkasında 1.5 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı



Şekil 41. İstinat duvarı arkasında 2 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı



Şekil 42. İstinat duvarı arkasında 3 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı



Şekil 43. Maksimum şişme gerilmesi – Dolgu kalınlığı ilişkisi

### 3.5.2. İncelenen Durum .II Dolgular Doğal Zemin Üzerine Serilmiş, Dolgu Malzemesi : KŞZ

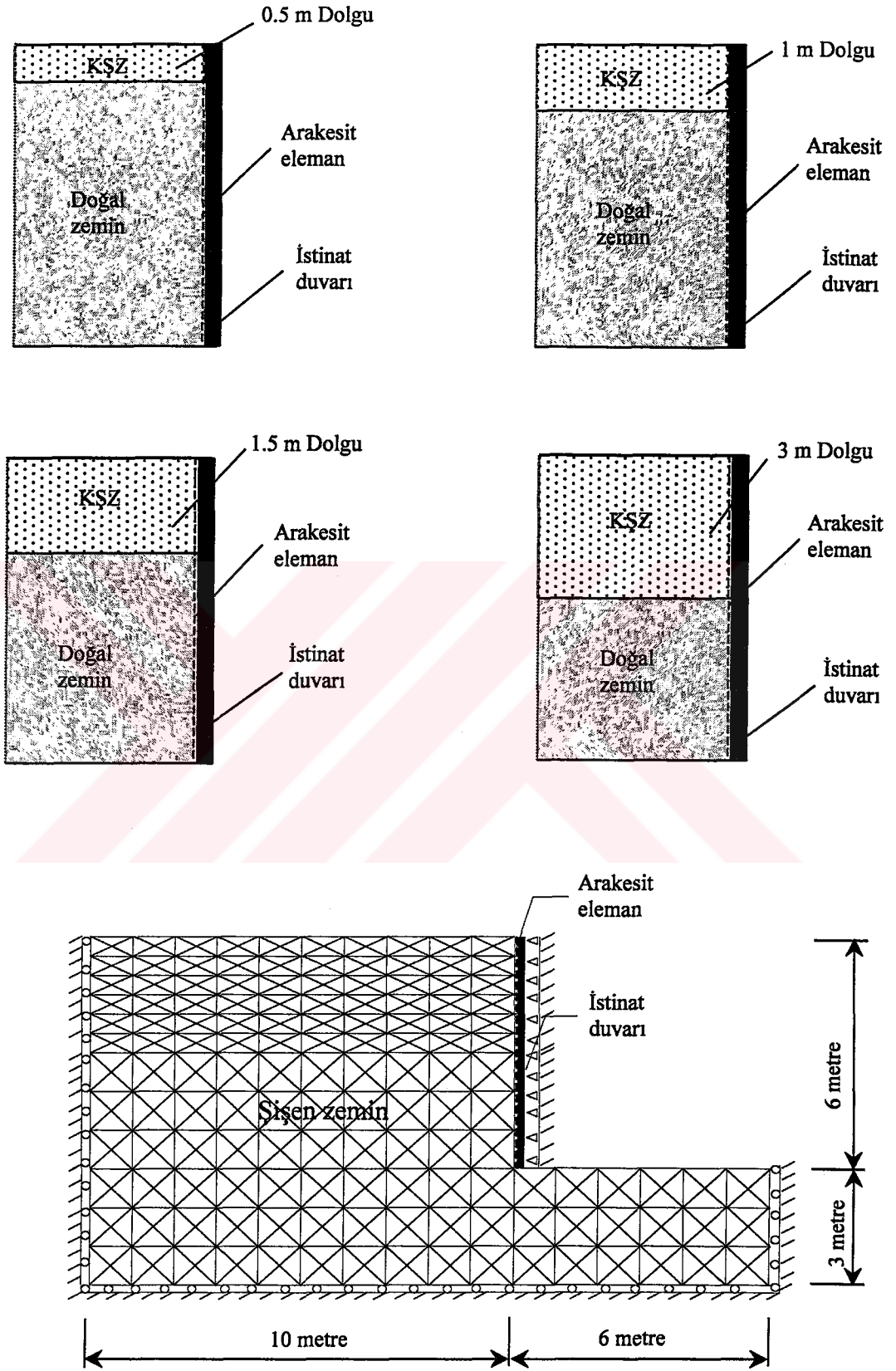
Bu incelenen durumda, şişen bir zemin içindeki istinat duvarı ve doğal zemin üzerine serili KŞZ dolgusunun var olduğu düşünülmektedir. Aktif ve pasif zemin basınç dağılımları şişen zeminde herhangi bir şişme olmadığı düşünülerek gösterilmiştir. Daha sonra, doğal zemin üzerine çeşitli kalınlıklarda KŞZ dolgu malzemesi olarak çeşitli kalınlıklarda serilmiştir. İstinat duvarına aktarılan yatay basınç dağılımları hesap edilmiştir. Tüm varsayımlarda istinat duvarının hareket etmediği kabul edilmiştir ve sayısal modelimizin hepsinde dolgu malzemesi ile istinat duvarı arasındaki süreksizlik bölgesinde, arakesit eleman vardır.

Doğal zemin üzerine sırasıyla, 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m, 3 m kalınlıklarında KŞZ serilmiştir. Herbir dolgu kalınlığına ait derinlik boyunca değişen yatay basınç dağılımı hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar modeli ve doğal zemin üzerine serilen dolgu kalınlıkları Şekil 44. de verilmektedir.

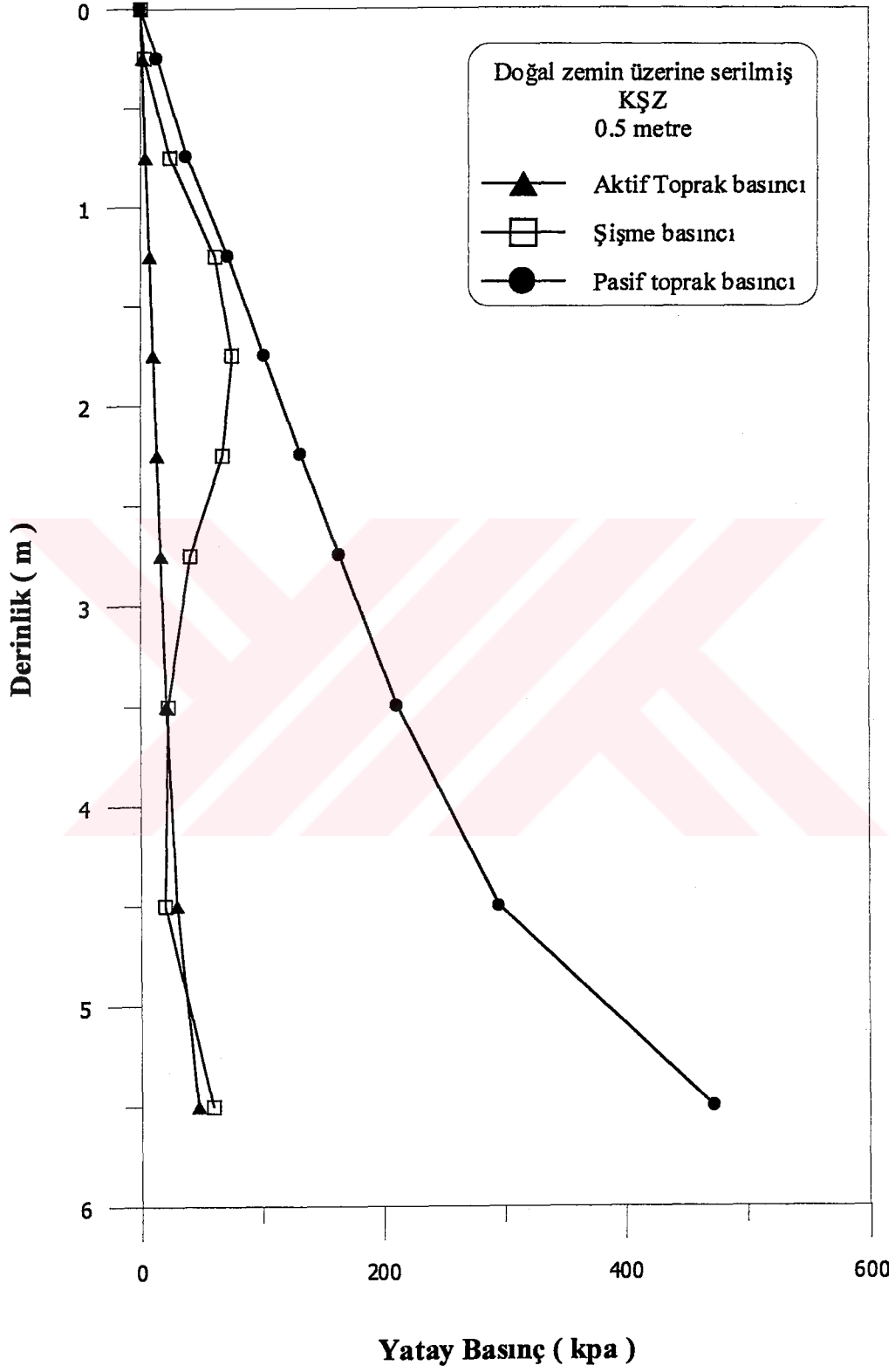
Dolgu kalınlıklarına göre, derinlik boyunca istinat duvarına aktarılan yatay basınç dağılım eğrileri ile aktif ve pasif basınç dağılımları Şekil 45., Şekil 46., Şekil 47., Şekil 48. ve Şekil 49. da verilmektedir.

Doğal zemin üzerine serilen 0.5 metre kalınlığındaki kohezyonlu şişmeyen zemin için elde edilen Şekil 45. 'deki eğriye baktığımızda, yüzeyden itibaren 0.5 metre için yatay şişme basıncında ani bir düşüş olmuştur. Bu derinlikten sonra emme gerilmesinin etkili olduğu derinliğe kadar şişen zemin de yatay şişme basınçları  $0.8 \text{ kg/cm}^2$  seviyesine aynı derinlikte ulaşmış emme gerilmesinin aktif olduğu derinliğe kadar azalarak gitmiştir. Bu derinlikten sonra tekrar aktif toprak basıncını üzerinde artmasına devam etmiştir. Serilen dolgu kalınlığı kadar derinlikte yatay şişme basınçları etkisini tamamen kaybedip bu kalınlıktan sonra zeminin sukunet halindeki yatay basınçlarıyla eşitlenmiştir.

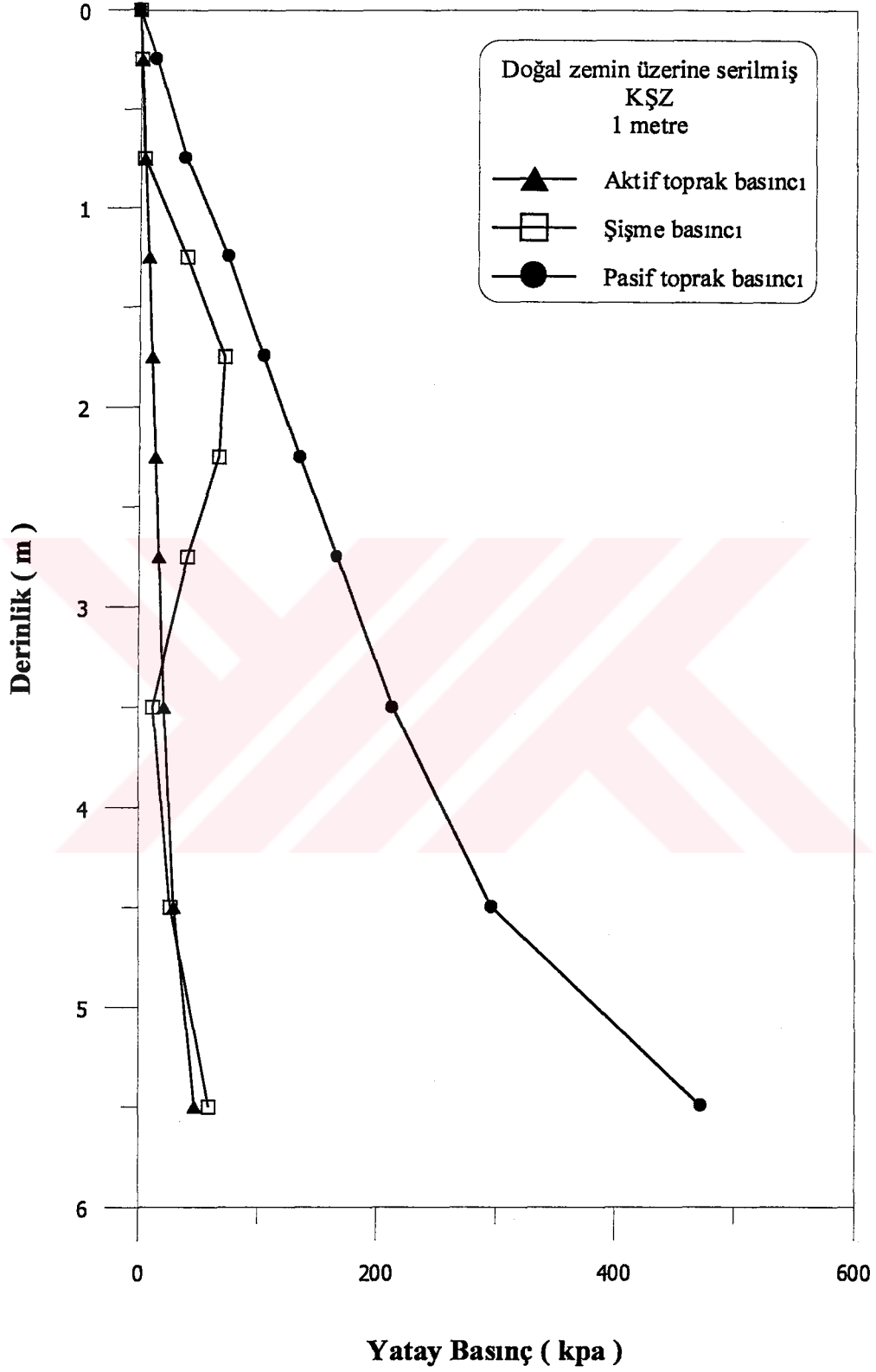




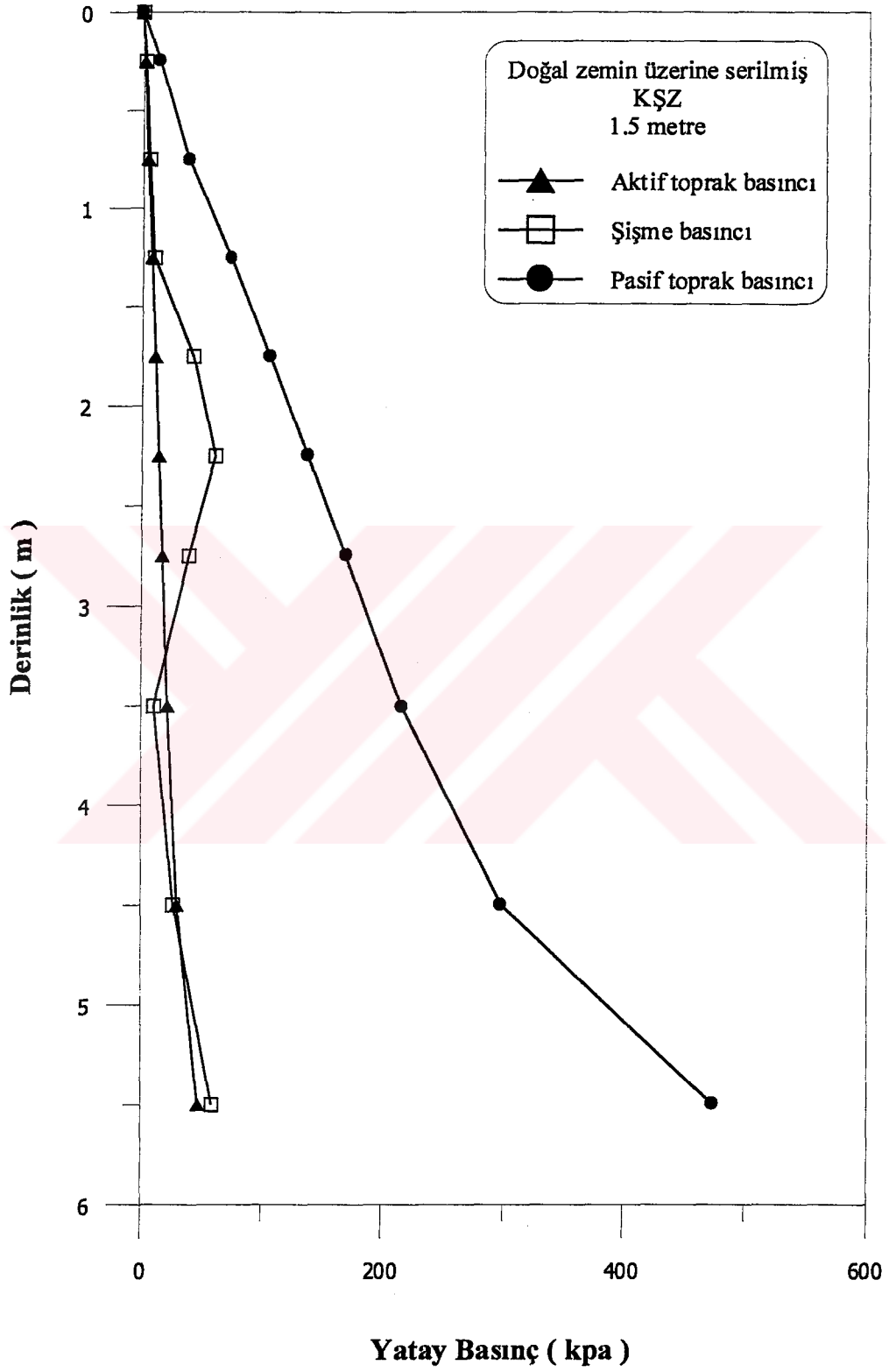
Şekil 44. Doğal zemin üzerine serilen dolgu kalınlıkları ve sonlu elemanlar modeli



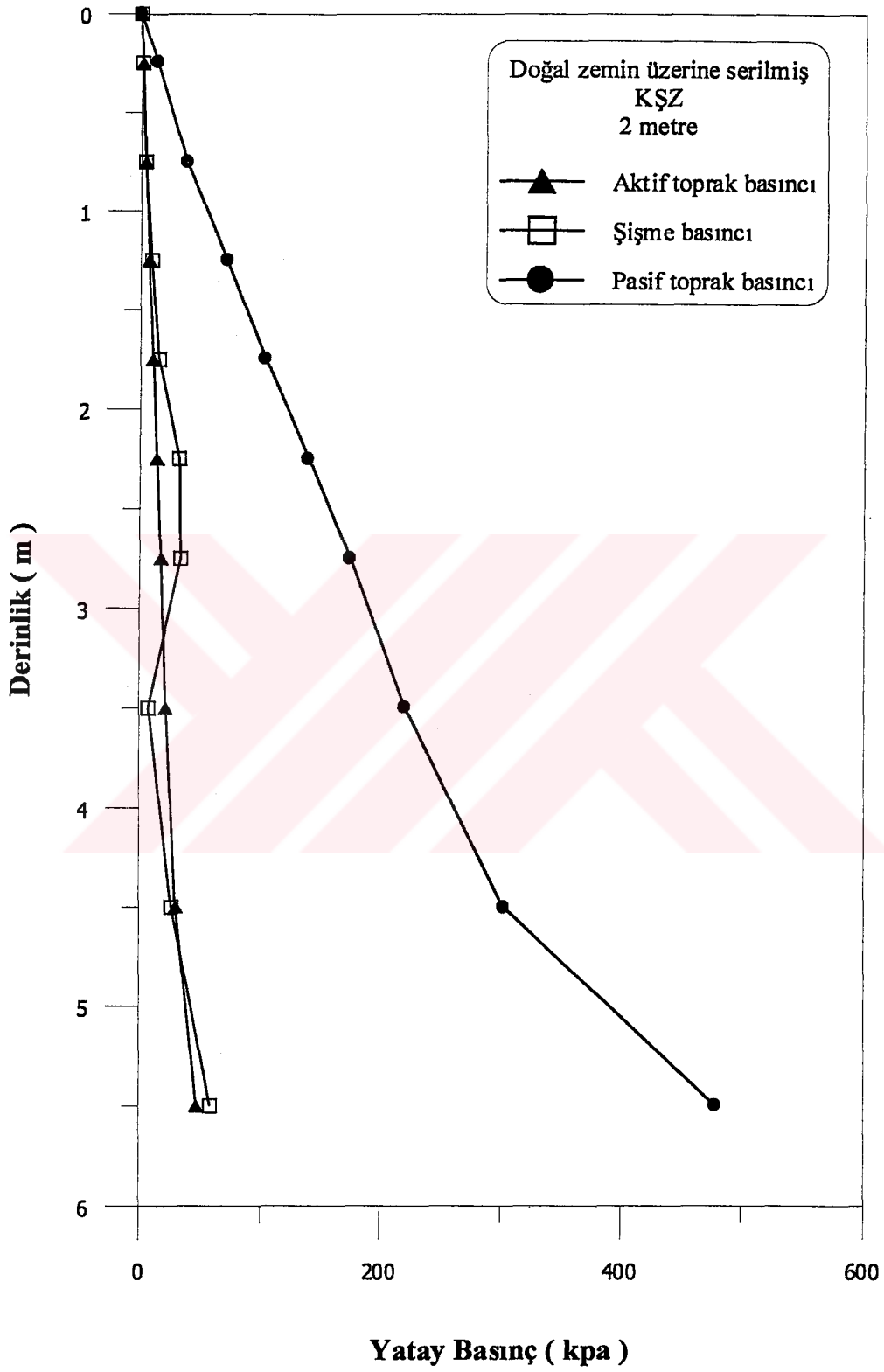
Şekil 45. Doğal zemin üzerine serilmiş 0.5 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basınçları dağılımı



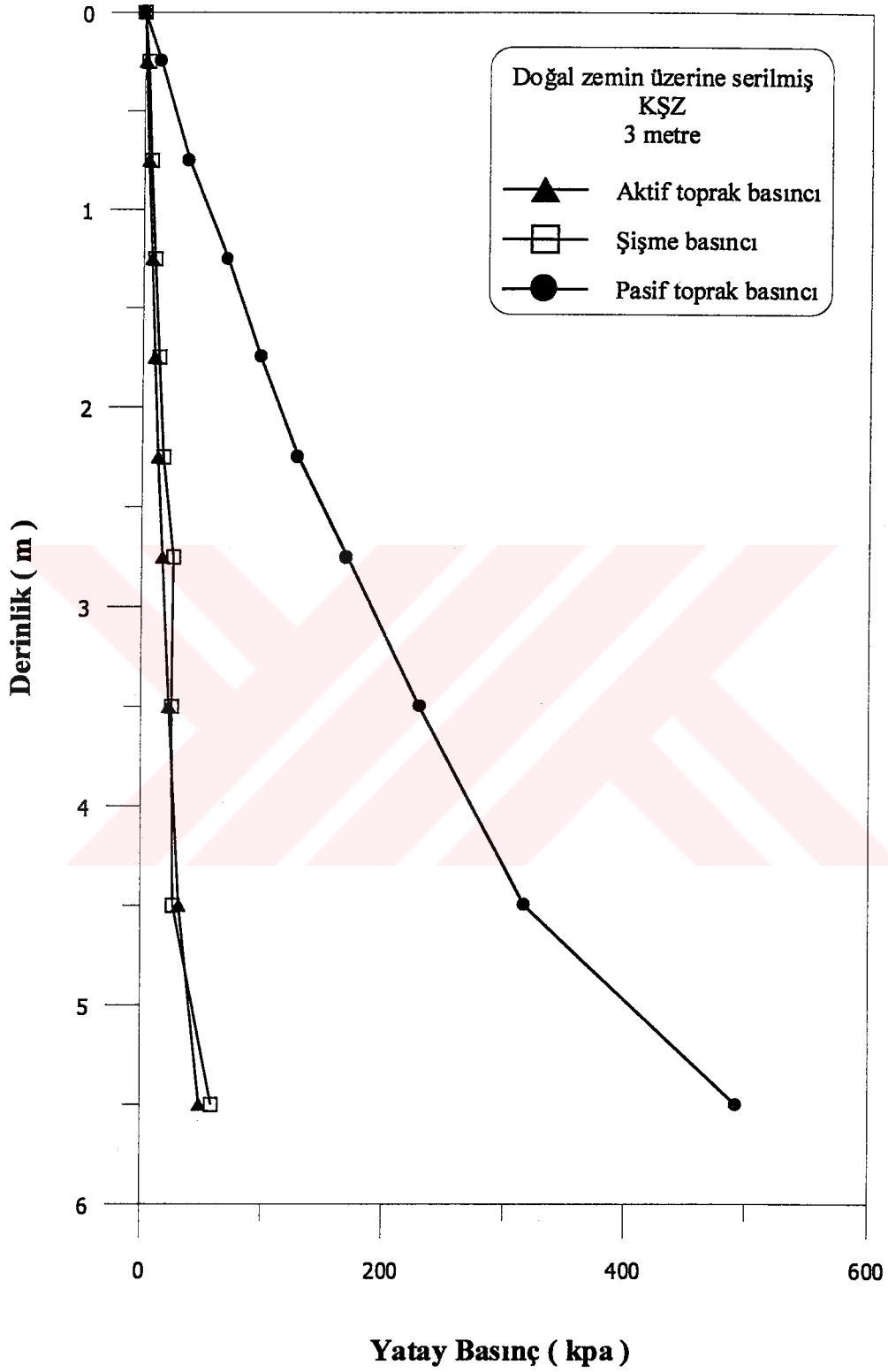
Şekil 46. Doğal zemin üzerine serilmiş 1 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basınçları dağılımı



Şekil 47. Doğal zemin üzerine serilmiş 1.5 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basınçları dağılımı



Şekil 48. Doğal zemin üzerine serilmiş 2 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basınçları dağılımı



Şekil 49. Doğal zemin üzerine serilmiş 3 metre KŞZ olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basınçları dağılımı

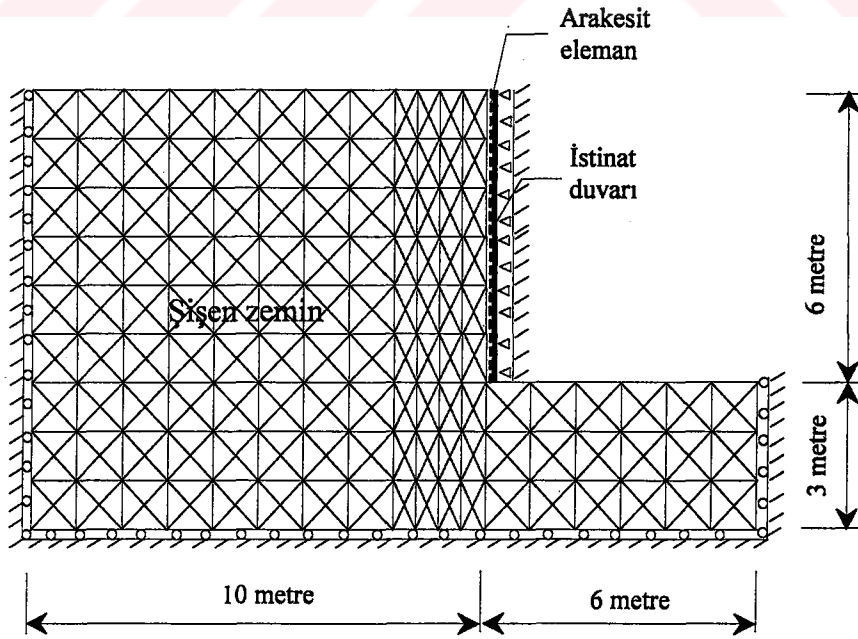
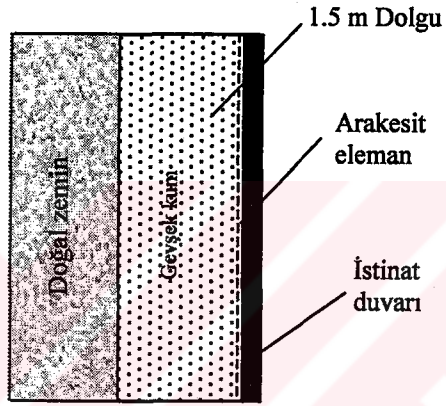
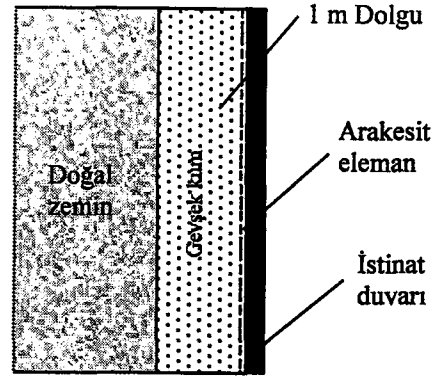
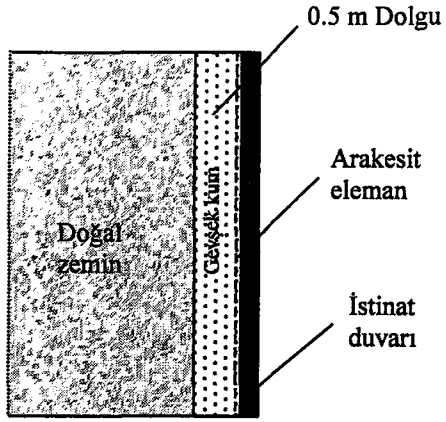
### 3.5.3. İncelenen Durum .III Dolgular İstinat Duvarı Arkasında, Dolgu Malzemesi : Gevşek Kum

Bu bölümde, şişen bir zemin içinde istinat duvarı ve duvar arkasında gevşek kum zemin dolgusunun var olduğu düşünülmektedir. Aktif ve pasif zemin basınç dağılımları şişen zeminde herhangi bir şişme olmadığı düşünülerek gösterilmiştir. Daha sonra, istinat duvarı arkasında çeşitli kalınlıklarda gevşek kum dolgu malzemesi kullanılması ile istinat duvarına aktarılan yatay basınç dağılımları hesap edilmiştir. Tüm varsayımlarda istinat duvarının hareket etmediği kabul edilmiş ve sayısal modelimizin hepsinde dolgu malzemesi ile istinat duvarı arasındaki süreksizlik bölgesinde, arakesit eleman vardır.

İstinat duvarı arkasında sırasıyla, 0.5 m, 1 m, 1.5 m, kalınlıklarında gevşek kum zemin kullanılarak istinat duvarına geçen yatay basınçlar hesap edilmiştir. Sonlu elemanlar modeli ve istinat duvarı dolgu kalınlıkları Şekil 50. de verilmektedir.

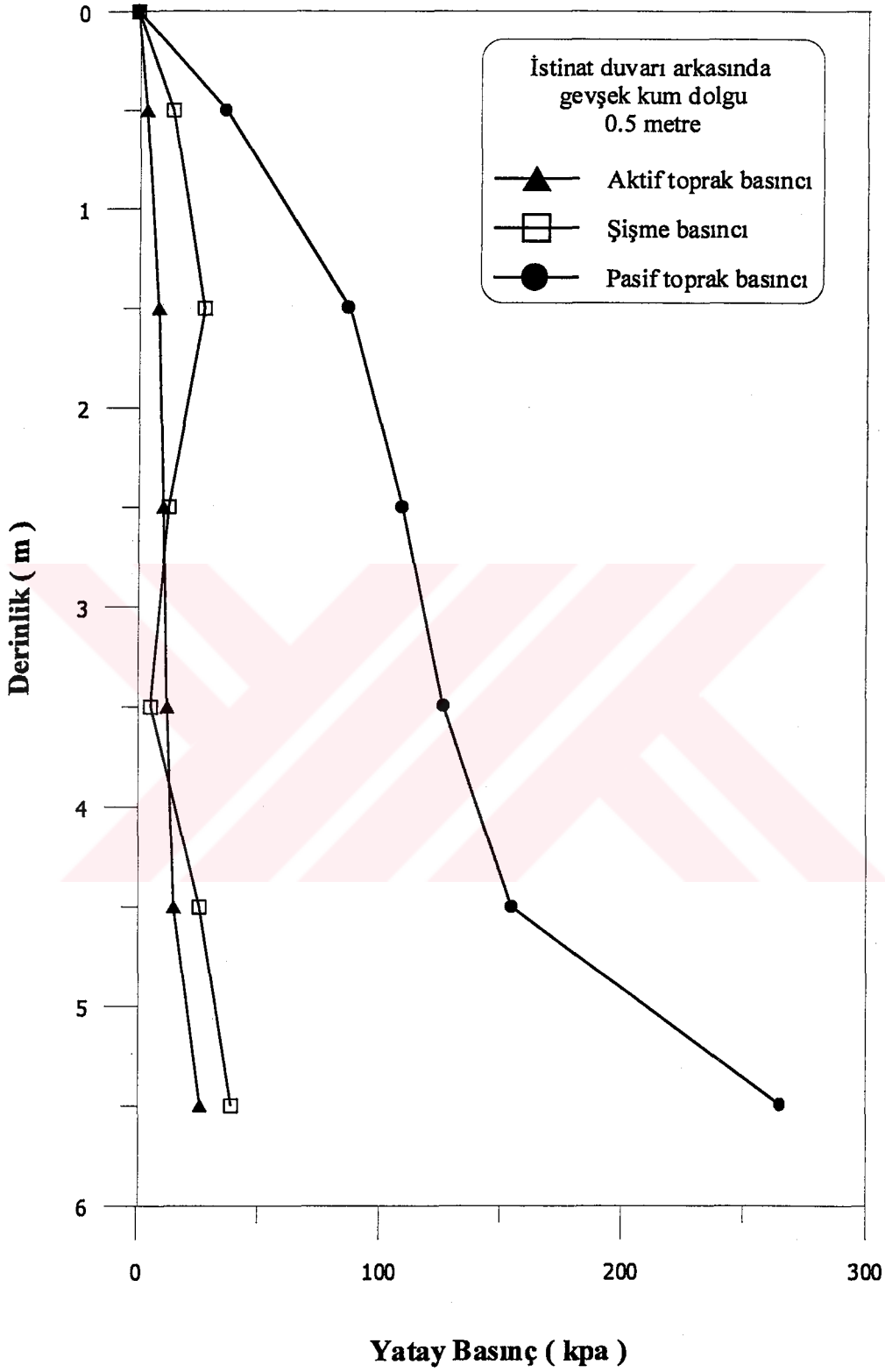
Dolgu kalınlıklarına göre, derinlik boyunca istinat duvarına aktarılan yatay basınç dağılımları ile aktif ve pasif basınç eğrileri Şekil 51., Şekil 52., ve Şekil 53.'de verilmektedir.

Şekillerden görüldüğü üzere, kohezyonlu şişmeyen dolgu zeminde olduğu gibi gevşek kum dolguda da 1.5 metre derinlikten itibaren pasif toprak basıncından uzaklaşmıştır. Dolgu olmadığı zaman, maksimum yatay şişme basıncı  $0.8 \text{ kg/cm}^2$  iken, istinat duvarı arkasında 0.5 metre gevşek kum dolgu olması halinde Şekil 51.'den de görüldüğü gibi maksimum yatay şişme basıncı  $0.28 \text{ kg/cm}^2$  'ye düşmekte, pasif toprak basıncından da uzaklaşmaktadır. Artan dolgu kalınlıklarında yatay şişme basınçları düşmeye devam ederken belli bir kalınlıktan sonra etkisini yitirmekte ve sükunet halindeki toprak basıncı ile üstüste düşmektedir.

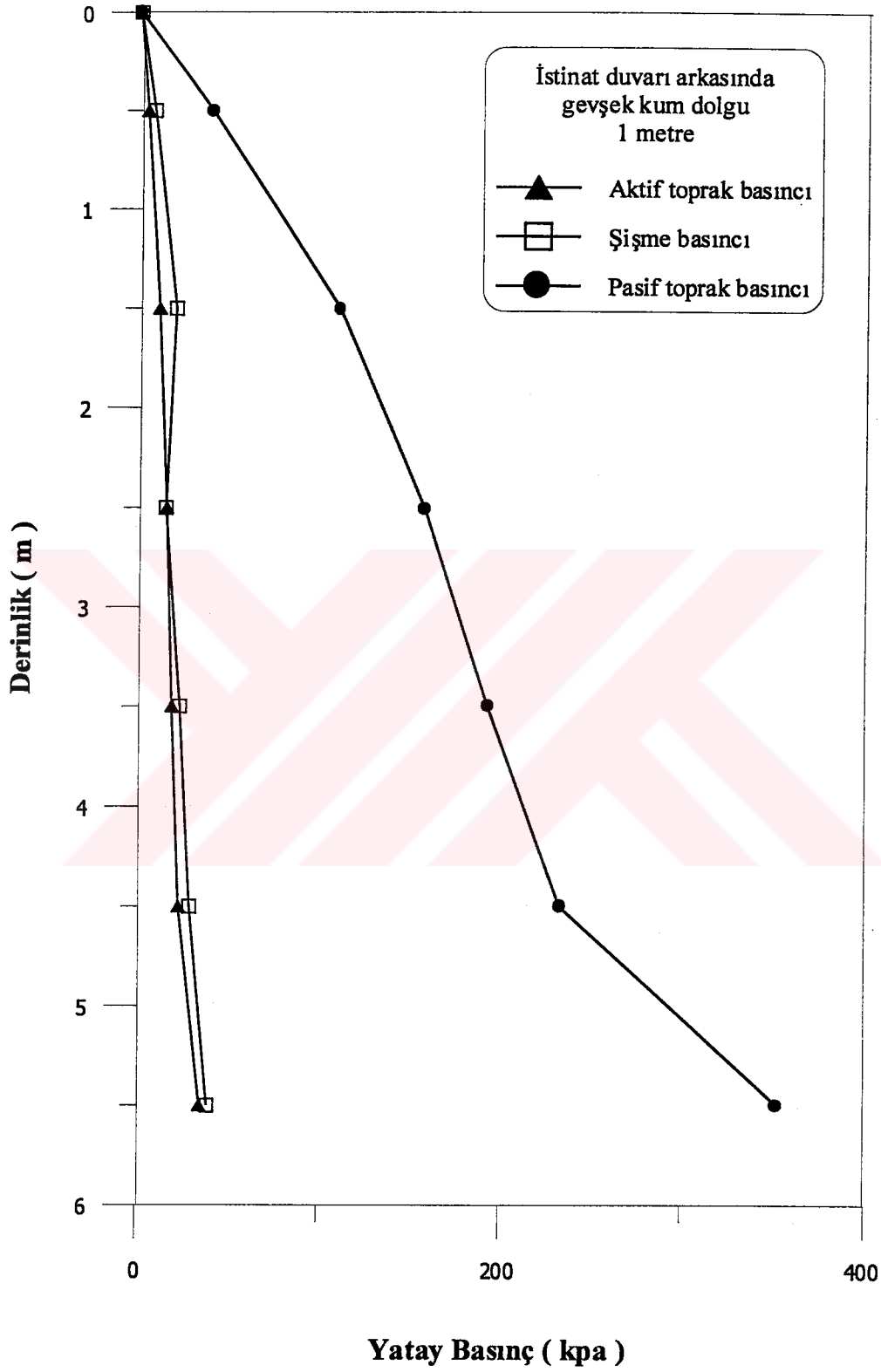




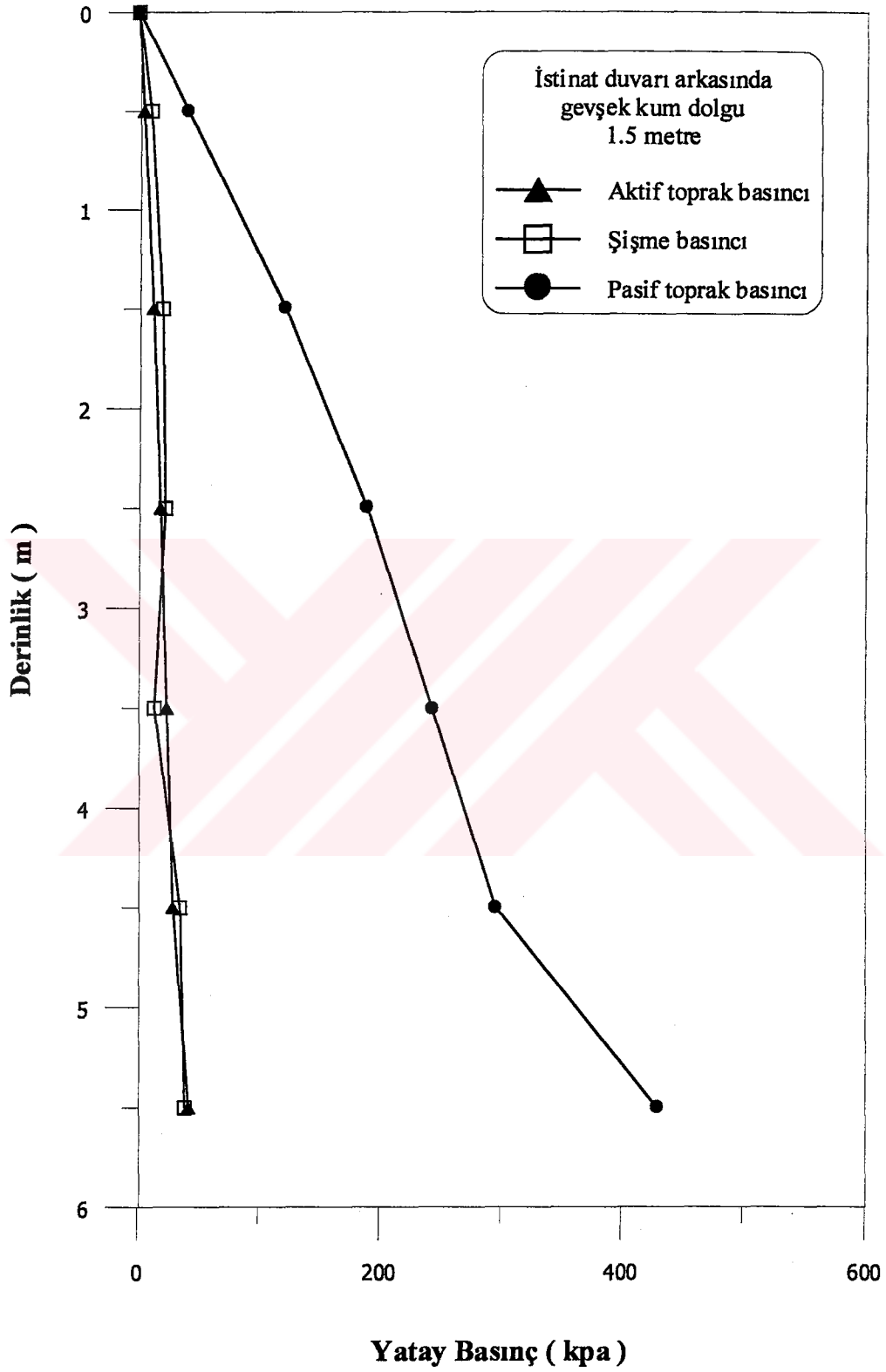
Şekil 50. Doğal zemin üzerine serilen dolgu kalınlıkları ve sonlu elemanlar modeli



Şekil 51. İstinat duvarı arkasında 0.5 metre gevşek kum dolgu zemini olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı



Şekil 52. İstinat duvarı arkasında 1 metre gevşek kum dolgu zemini olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı



Şekil 53. İstinat duvarı arkasında 1 metre gevşek kum dolgu zemini olması halinde derinlik boyunca aktif, pasif ve şişme basıncı dağılımı

### 3.5.4. İncelenen Durum .IV KŞZ ile Gevşek Kum Dolgunun Karşılaştırılması

Şekil 55. ve Şekil 56. da 0.5 metre ve 1 metre istinat duvarı arkasına konan kohezyonsuz şişmeyen zemin dolgusu ile gevşek kum zemin dolguları arasındaki farklar görülmektedir. Gevşek kumda aktif ve pasif basınçlar KŞZ göre daha fazla çıkarken yatay şişme basınçlarında azalmalar olmaktadır. Maksimum yatay şişme basınçları 0.5 m KŞZ için 31.38 kpa iken gevşek kum için 27.46 kpa, 1 m KŞZ için 21.57 kpa iken gevşek kum için 19.61 kpa olmaktadır. Dolayısı ile yatay şişme basınçları için gevşek kum KŞZ oranla daha güvenlidir.

### 3.5.5. İncelenen Durum .V Dolgu Malzemesi : Expanded Polistiren (EPS)

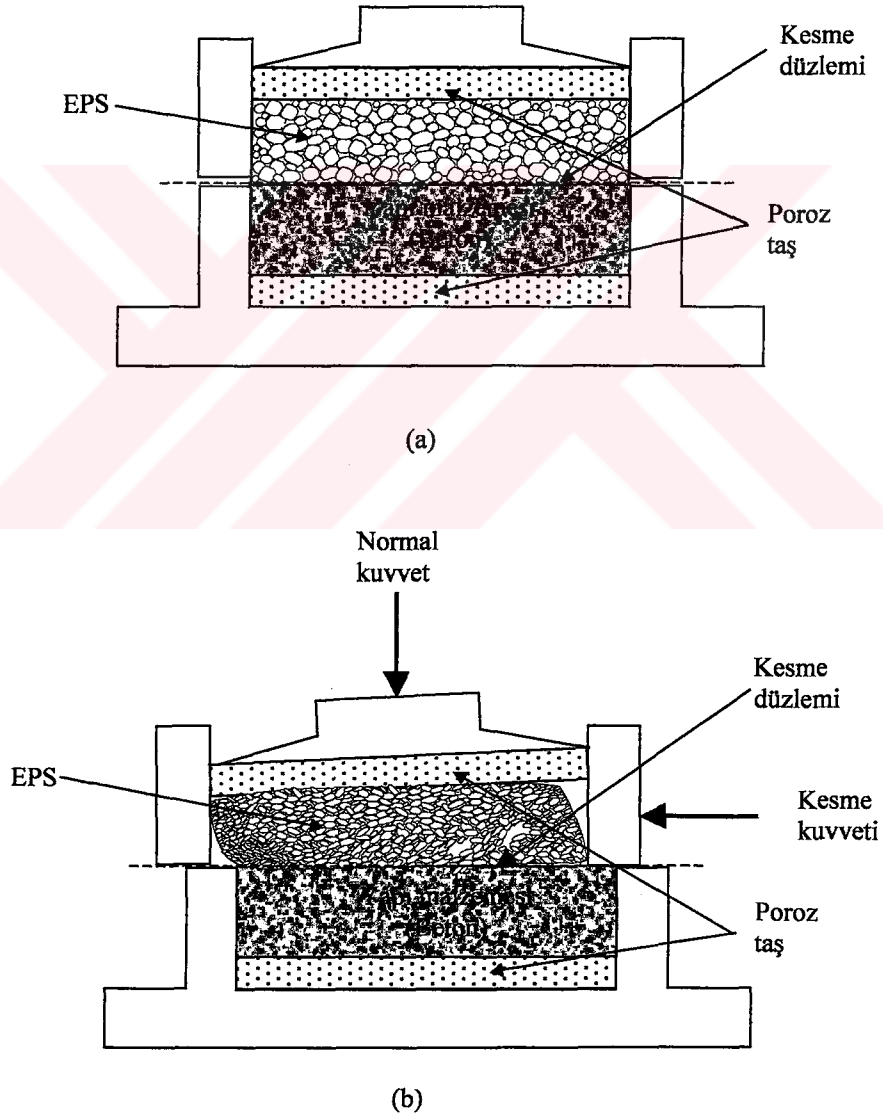
#### Sert Köpük Styropor

Bu malzeme petrolden elde edilen termoplastik bir yalıtım malzemesidir. Bünyesinde bulunan çok sayıdaki ( $1\text{m}^3$  EPS Styropor da 3- 6 milyar) küçücük kapalı gözenekli hücrelerinde durgun hava hapsolmuştur. Isı yalıtımını bu gözenekler sağlar. Malzemenin % 98' i havadır. Bu nedenle çok hafif bir malzemedir. Genel olarak  $10\text{-}30\text{ kg/m}^3$  yoğunlukta üretilir. Dünyada mevcut en iyi ısı yalıtımı sağlayan birkaç malzemeden biri olan EPS (Sytropor), öteki malzemelerden çok daha ekonomik olan tek malzemedir. Levha, boru ve form verilmiş elemanlar halinde yapıların ısı yalıtımında ve ambalaj sanayiinde kullanılır.

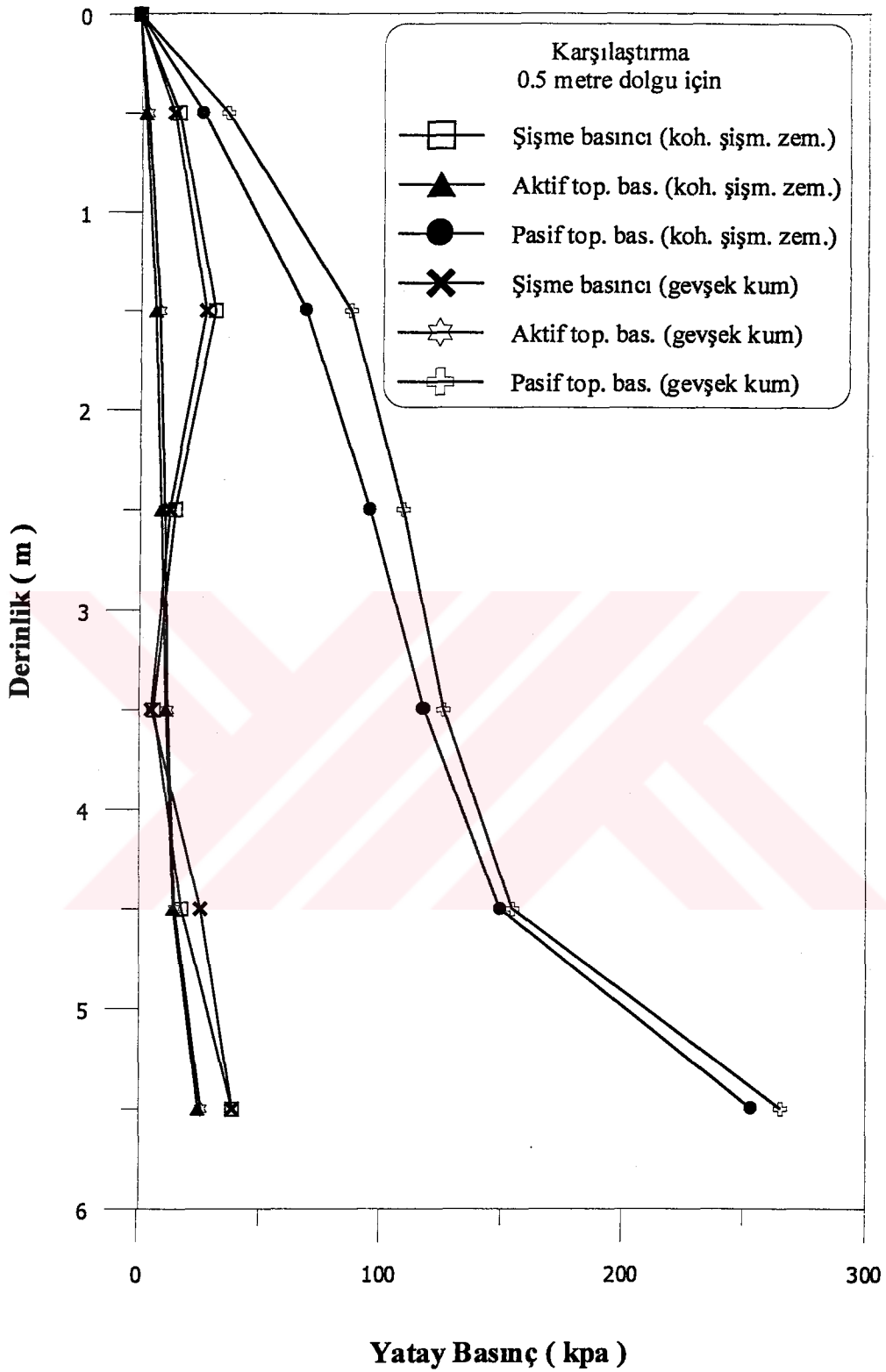
EPS'nin başlıca tercih edilme nedenleri ; Yüksek ısı yalıtımı sağlar. En ekonomik yalıtım malzemesidir. Basınca çok dayanıklıdır. Yoğunluk arttıkça basınç dayanımı artar. Kapalı gözenekli olduğu için pratik olarak ıslanmaz, yalıtımı sürekli yapar. Kapiler ve higroskopik değildir. Kalınlığı zamanla incelmez, sabit kalır. Çevre dostu bir malzemedir. İçinde ozon tabakasına zarar verici CFC (kloroflorokarbon) yoktur. Geri dönüşümlü (Recycle) bir malzeme olup, üretim sonrası çevreyi kirletecek atık çıkarmaz. Sonsuz ömürlüdür. Bina durdukça yalıtım görevine devam eder. Çok hafiftir, kolay taşınır, kolay uygulanır. Buhar geçirimsizliği yüksektir. Yoğunluk arttıkça buhar geçirimsizliği de artar.

Yukarıda teknik özelliklerinden bahsedilen malzemenin, beton yapı malzemesi ile arasındaki sürtünmenin belirlenmesi için kesme kutusu deneyi

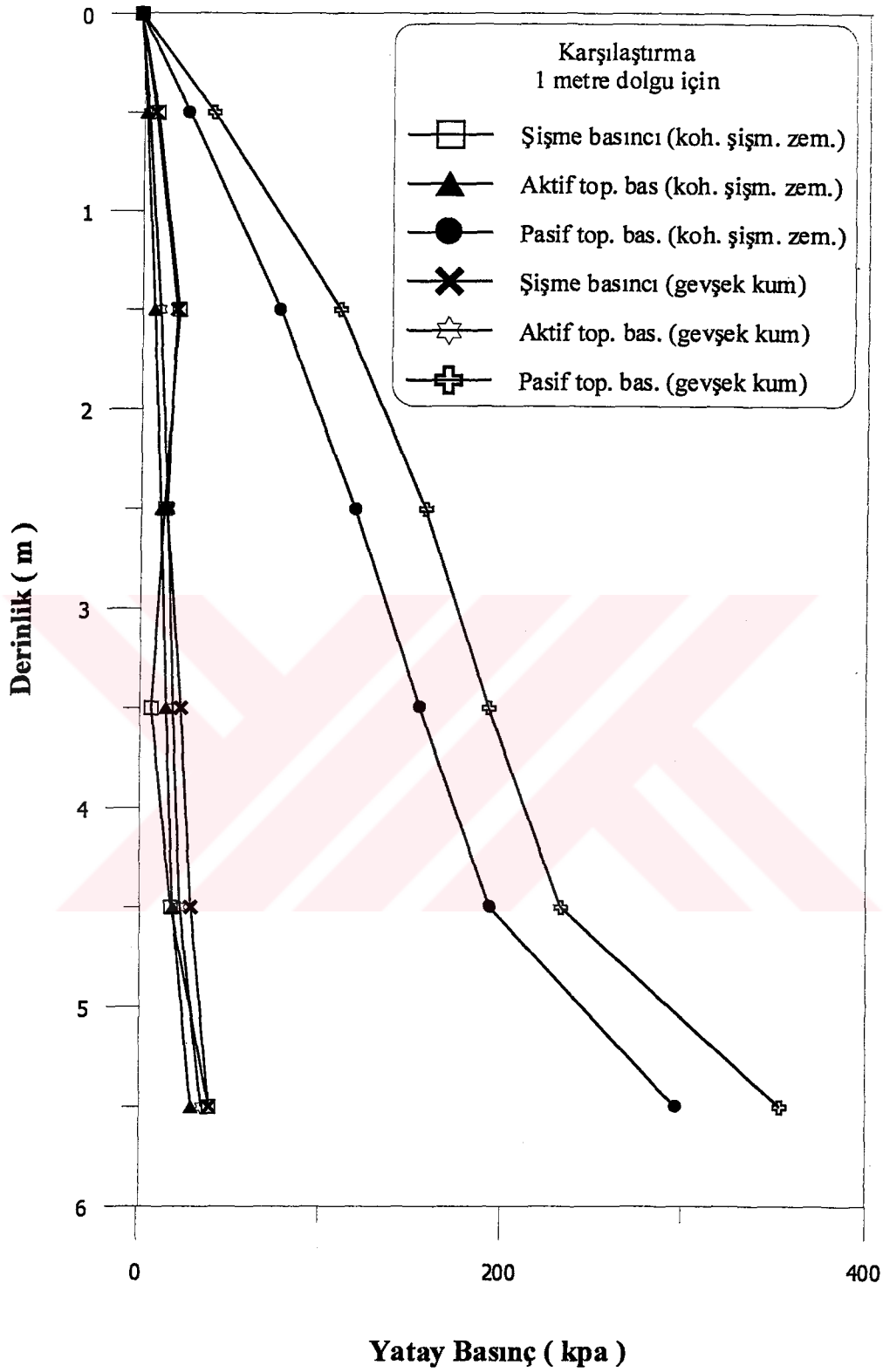
yapılmıştır. Beton malzeme ile çok iyi bir aderans sağlayarak bütün yük kademelerinde sürtünme gözlenmemiştir. Sürekli olarak yük almış ve yükün uygulandığı tarafta deformasyonlar olmuştur. Beton üzerinde kaymadan kendi içinde sıkışmış, yük kaldırıldığında ise hemen hemen eski haline geri dönmüştür. Dolayısı ile dolgu malzemesi olarak kullanılması halinde istinat duvarı ile arasında, sayısal modelimizde süreksizliği tanımlamak için kullandığımız arakesit elemanın kullanılmasını gerektirmemektedir. İstinat duvarı ile arasındaki süreksizlik yüzeyinde çok iyi aderans sağladığı için LATEXP2D ile çözülmesi daha uygundur. Direkt kesme deneyinden elde edilen durum Şekil 54. de gösterilmektedir.



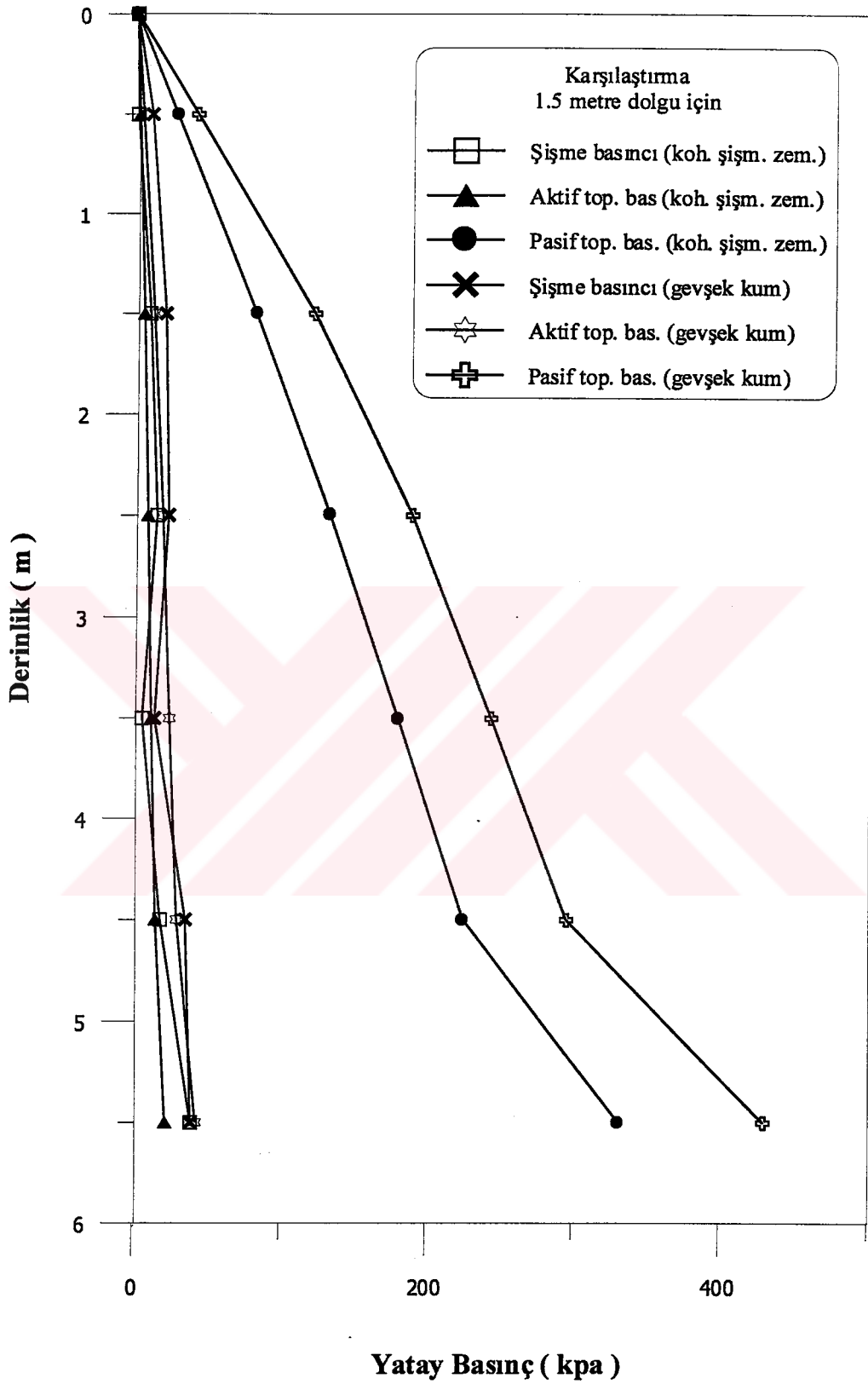
Şekil 54. EPS için direkt kesme deneyi (a) deneyden önce (b) deneyden sonra



Şekil 55. İstinat duvarı arkasında 0.5 metre kohezyonlu şişmeyen zemin ile gevşek kum dolgusu arasındaki basınç dağılımı farkları



Şekil 56. İstinat duvarı arkasında 1 metre kohezyonlu şişmeyen zemin ile gevşek kum dolgusu arasındaki basınç dağılımı farkları



Şekil 57. İstinat duvarı arkasında 1.5 metre kohezyonlu şişmeyen zemin ile gevşek kum dolgusu arasındaki basınç dağılımı farkları



#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, arakesit elemanlı sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, şişen zeminlerdeki yatay şişme basınçlarını belirlemek için yeni bir sayısal model oluşturulmuştur. Sayısal modele SWELPRES adı verilmiştir. Programın akış diyagramı ve Fortran kodu EKLER kısmında verilmiştir. Bulgular ve tartışmalar kısmında ayrıntılı olarak açıklanan bilgilerin ışığında, bu çalışmanın sonunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Sayısal modelden bulunan sonuçlarla, başka araştırmacılar tarafından laboratuvar şartlarında yapılan deneylerden bulunmuş sonuçlar ile arasında yeterince uyum vardır.

- Genelde sürekli yüzeylemiş gibi dikkate alınan zemin ve duvar arasındaki yüzey, sayısal modelde arakesit eleman kullanarak deneysel sonuçlara arakesit elemansız diğer sayısal modellere göre daha uygun sonuçlar vermiştir.

- Şişen zeminlerde dayanma yapılarına aktarılan yatay basıncın hesaplanmasında, zeminin elastisite modülü ile zemin emme gerilmelerinin önemi büyüktür.

- Geliştirilen program SWELPRES, zeminin elastisite modülü ve emme gerilmelerine karşı hassastır. Dolayısı ile bu değerler iyi belirlenmelidir.

- İncelenen dolgu modellerinde, istinat duvarları arkasında kohezyonlu şişmeyen zemine oranla gevşek kum zemin kullanılması istinat yapısına aktarılan basınçları azalttığı için kumlu zeminlerin dolgu olarak kullanılması tavsiye edilir.

- İstinat duvarı arkasında dolgu kalınlığı arttıkça istinat duvarına aktarılan yatay şişme basınçlarında azalmalar olmakta ve  $0.5 H$  (H: istinat duvarı yüksekliği) dolgu kalınlığından sonra yatay şişme basınçları önemini kaybetmektedir.

- İstinat duvarı arkasına yerleştirilen dolgu, doğal zemin üzerine serilen dolguya oranla daha uygun sonuçlar vermiştir. Doğal zemin üzerine serilen dolgu derinliği boyunca

yatay şişme basınçlarında azalma olmaktadır. Dolgu kalınlığı emme gerilmesi aktif derinliğinden az ise dolgu kalınlığının altında aktif derinliğe kadar yatay şişme basıncı olacaktır. İstinat duvarı arkasına yerleştirilen dolgularda ise emme gerilmesi aktif derinliğine kadar yatay şişme basınçlarında azalma devam etmektedir. Ancak emme gerilmesi aktif derinliği yüzeye yakın ise yüzeye serilen dolgular daha ekonomik olabilir.

- Maksimum yatay şişme basınçlarının bilinmesi durumunda, istinat duvarı arkasında ne kadarlık bir dolgu yapılmasının uygun olabileceği Şekil 43.'de elde edilen eğriye benzer eğriler kullanılarak dolgu malzemesi özelliklerine bağlı olarak elde edildikten sonra belirlenebilir.

- İstinat duvarı arkasında doğal zemindeki yatay şişme basınçları derinlik boyunca pasif toprak basıncına kohezyonlu şişmeyen zemin ve gevşek zemine oranla daha yakındır.

- Dolgu malzemesi olarak kullanılmak üzere incelenen genişletilmiş polyster (EPS) sert köpük styropor ayrı bir inceleme konusu olabilir. Sürtünmeye karşı gösterdiği direnç farklıdır. Beton üzerinde rölatif hareket etmeyen EPS kendi içinde sıkışmakta ve elastik bir davranış göstermektedir. Normal yük ve kesme yükü kaldırıldığında eski haline hemen hemen geri dönmektedir.

- Bu çalışmanın devamı olarak, dayanma yapılarına gelen şişme basınçlarının EPS veya Geofam türü malzemeler kullanılarak azaltılması incelenebilir.

- Üçgen eleman tipinin dışında dörtgen veya prizmatik elemanlar da kullanılarak yine sonlu elemanlar metodu ile sayısal model oluşturularak karşılaştırılabilir.

- Diğer sayısal metotlar denenerek, sınır değer elemanlar metodu ve yapay sınır ağları gibi, karşılaştırmalar yapılabilir

## 5. KAYNAKLAR

Aitchison, G. D., and Richards, B. G., 1969, The Fundamental Mechanisms Involved in Heave and soil Moisture Movement and The Engineering Properties of Soils Which are Important in Such Movement, Proceedings, 2<sup>nd</sup> International Conference on Expansive Soils.

Aitchison, G. D., and Woodburn, J. A., 1969, Soil Suction in Foundation Design, Proceedings, 7<sup>th</sup> International Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, pp. 1-9.

Andy, B.F., 1989, Laboratory Evaluation of Lateral Swelling Pressure, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.115, No.10, pp.1481-1486.

Aytekin, M., 1992, Finite Element Modeling of Lateral Swelling Pressures Behind Retaining Structures, PhD Thesis, Texas Tech University, Lubbock.

Aytekin, M., 1995, Zemin Emme Basıncı Zarflarının Belirlenmesi, Teknik Dergi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Cilt6, Sayı 2, sayfa.937-945.

Aytekin, M., Şenol, A., 1998, Zeminlerde Su Muhtevası-Emme Gerilmesi İlişkisi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 7. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, sayfa.210-215.

Aytekin, M., Şenol, A., 2000, Finite Element Modeling of Swelling Behaviour of Soils, Advances in Civil Engineering 4<sup>th</sup> International Conf., Turkish Republic of Northern Cyprus, Gazimağusa, Vol.3, pp.1353-1362.

Beer, G., 1985, Isoparametric Joint/Interface Element for Finite Element Analysis, Int. Journal, for Numerical Methods in Engineering, Vol.21, pp.585-600.

Blight, G. E., 1967, Horizontal Stresses in Stiff and Fissured Lacustrine Clays, Proceedings, 5<sup>th</sup> European Conference of soil Mechanics and Foundation Engineering, Cape Town, South Africa, December, pp. 95-99.

Bolt, G.H., 1956, Physico-Chemical Analysis of The Compressibility of Pure Clays, Geotechnique, Vol.6, No.1, pp.86-93.

Bowles, J.E., 1997, Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill Companies, Inc., New York.

Bowles, J.E., 1997, Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill Companies, Inc., New York.

Brackely, I.J.A., 1980, Prediction of Soil Heave From Suction Measurements, 7<sup>th</sup> Regional Conf. for African SMFE, pp.159-166.

Brackley, I. J. A., 1973, Swell Pressure and Free Swelling a Compacted Clay, Proceedings, 3<sup>rd</sup> International Conference on Expansive Soils, Vol. 1, Haifa, Israel, pp. 169-176

Brackley, I.J.A., 1983, An Empirical Equation for The Prediction of Clay Heave, Proc. 7<sup>th</sup> Asian Reg. Conf. on SMFE, Vol.107, No.1, pp.8-14.

Bratton, W.L., 1991, Slab-on-Ground Foundations Constructed Over Expansive Clay; Parameters to Predict Volume Change Potential, PhD. Dissertation, Texas Tech University, Lubbock.

Brooker E.W., Ireland, H.O.,1965, Earth Pressure at Rest Related to Stress History, Canadian Geotechnical Journal, Vol.2, No.1, pp.1-15.

Chen, F.H., 1975, Foundation on Expansive Soil, Elsevier, New York.

Chen, F.H., 1988, Foundation on Expansive Soils, Elsevier Scientific Publishing CO., Amsterdam.

Chen, F.N., 1983, Behaviour Soils Under Influence of Temperature Gradient, Research Report, Science of Architecture.

Clayton, C.R.I., Symons, I.F., Hiedra-Cobo, J.C., 1991, The Pressure of Clay Backfill Against Retaining Structure, Canadian Geotechnical Journal, Vol.28, pp.282-297.

Coduto, D.P., 1998, Geotechnical Engineering Principles and Practices, Prentice Hall, USA.

Cooling, L. F., and Skempton, A.W., 1942, A Laboratory Study of London Clay, Journal of Institution of Civil Engineers, Vol.17, pp. 251-276.

Croney, D., and Coleman, J. D.,1954, Soil Structure in Relation to Soil Suction (pF), Journal of Soil Science, Vol. 5, No. 1, pp. 75-84

Crossley, R. W., and Beckwith, G. H., 1978, Subgrade Elastic Modulus for Arizona Pavements, Executive summary submitted to Arizona Department of Transportation, highways Division.

Day, R.A., Potts, D.M., 1994, Zero Thickness Interface Elements-Numerical Stability and Application, Int. Journal For Numerical and Analytical Methods in geomechanics, Vol.18, pp.689-708.

Day, R.W., 1991, Expansion of Compacted Gravelly Clay, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.117, No.6, pp.968-972.

Day, R.W., 1994, Swell-Shring Behaviour of Compacted Clay, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vo.120, No.3.

Dhowian, A.W., 1990, Simplified Heave Prediction Model for Expansive Shales, Geotechnical Testing Journal, Vol.13, No.4, pp.323-333.

Dhowian, A.W., Ruwaih, I.E., Youssef, A., Erol, A.O., 1984, Evaluation of Expansive Soils and Foundation Methodology in Kingdom of Saudi Arabia, Research Report SANCST, AT-5-88.

Dorn, W.S., and McCracken, D.D., 1972, Numerical Methods With Fortran IV Case Studies, John Wiley and Sons, New York

Duncan, J.M., Seed, R.B., 1986, Compaction-induced Earth Pressures under  $K_0$ -Conditions, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.112, No.1, pp.1-21.

Edil, T.B., Motan, S.E., 1984, Laboratory Evaluation of Soil Suction Components, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol.7, No.4, pp.173-181.

Erol, O., Ergun, U., 1994, Lateral swell pressures in expansive soils, XIII ICSMFE, New Delhi, India, pp. 1511-1514

Fredlund, D.G., Rahardjo, H., 1991, Stress State Variable Approach to the Prediction of Heave, International Workshop on Cornell University, Ithaca, New York.

Gibson, R.E., 1967, Some Results Concerning Displacements and Stress in a Non Homogeneous Elastic Half-Space, Geotechnique, Vol.17, No.1, pp.58-67.

Gillot, J.E., 1963, Clay in Engineering Geology, Elsevier, Amsterdam.

Goodman, R.E., 1976, Methods of Geological Engineering, West Publishing Company, New York, 1976.

Goodman, R.E., Taylor, R.L., Brekke, T., 1968, A Model for The Mechanics of Jointed Rock, J.SMFD, ASCE, NO.SM3, pp.94.

Grim, R.E., 1962, Applied Clay Minerology, McGraw Hill, New York.

Gudehus, G., 1977, Finite Elements in Geomechanics, John Wiley and Sons, New York.

Gunalan, K. N., 1986, Analysis of Industrial Floor Slabs-on-ground for Design Purposes, Ph.D. Dissertation, Department of Civil engineering, Texas Tech University, Lubbock, TX.

Hekimoğlu, S., 1996, Kil Zeminlerin Şişme Davranışının İncelenmesi, Osmangazi Üniversitesi Yüksek lisans Tezi.

Holtz, W.G., Gibbs, H.J., 1956, Engineering Properties of Expansive Clays, Transactions ASCE121, pp.641-663.

Jones, D.E., Holtz, W.G., 1973, Expansive Soils-The Hidden Disaster, Civil Engineering, ASCE, pp.87-89.

Joshi, R. P., and Katti, R. K., 1980, Lateral Pressure Development Under Surcharges, Proceedings, 4<sup>th</sup> International Conference on Expansive Soils, Denver, CO, pp. 227-241

Joshi, R.P., Katti, R.K., 1980, Lateral Pressure Development Under Surcharges, Proc. 4<sup>th</sup>. Int. Conf. on Expansive Soils, Denver, CO, pp.227-241.

K.L.A.Ng., Small, C., 1997, Behaviour of Joints and Interfaces Subjected to Water Pressure, Elsevier, Computer and Geotechnics, Vol.20, No.1, pp.71-93.

Kandemir, A.Ö., Erol, O., 1996, Emme Basıncı-Şişme Parametreleri İlişkileri, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, sayfa.98-100.

Katti, R. D., and Katti, R. K., 1987, Studies on Passive Resistance Development in Saturated Expansive Soil, Proceedins, 6<sup>th</sup> International Conference on Expansive Soils, New Delhi, India, Vol. 1, pp. 61-66.

Katti, R. K., Bhangle, E. S., and Moza, K. K., 1983, Lateral Pressure of Expansive Soil With and Without a Cohesive Non-swelling Soil Layer- Applications to Earth Pressures of Cross Drainage Structures of Canals and Key Walls of Dams, Central Board of Irrigation and Power, Technical Report No.32, New Delhi, India.

Keskin, S.N., 1993, İstanbul Neojen Kilinin Şişme Davranışlarına Önkonsolidasyonun , Minerolojik Özelliklerinin ve Çevresel Faktörlerin Etkisi, İTÜ Doktora Tezi.

Komornik, A., David, D., 1969, Prediction of Swelling Potential of Clays, Proc. ASCE, JSMFD, Vol.95, SM.1, pp.209-225.

Komornik, A., David, D., 1969, Prediction of Swelling Pressure of Clays, Journal of the Soil mechanics and Foundation Engineering Div. ASCE, Vol.95, No.SM1, pp.209-225.

Komornik, A., and Livneh, M., 1968, The Effect of Anisotropy on Swelling of a Compacted Clay, Proceedings, 3<sup>rd</sup> Asian Regional Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, pp. 181-185.

Komornik, A., and Zeithlen, J. G., 1970, Laboratory Determination of Lateral and Vertical Stresses of Compacted Swelling Clay, Journal of Materials, vol. 5, No. 1, March, pp. 108-128.

Krahn, J., Fredlund, D.G., 1972, Total Matric and Osmotic Suction, J. Soil SCI, Vol.114, No.5, pp.339-348.

Krumbein, W.C., Sloss, L.L., 1963, Stratigraphy and Sedimentation, Department of Geology, North Western University.

Kumbasar V., Kip, F., 1984, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, Çağlayan Kitapevi, İstanbul

Lambe, T.W., Whitman, R.V., 1969, Soil Mechnics, John Wiley and Sons, New York.

- Lee, H.C., Wray, W.K. 1995, Techniques to Evaluate Soil Suction-a Vital Unsaturated Soil Water Variable, Proc. of the First Cong. On Unsaturated Soils, Paris, pp.615-622.
- Lucas, R. G., and Bussey, B. L., 1976, Pressuremeter and Laboratory test correlations for Clays, proceeding of ASCE, Journal of the Geotechnical Engineering Division, No. GT9, Vol. 102, pp. 945-962.
- McKeen, R. G., and Hamberg, D. J., 1981, Characterization of Expansive Soils, Transportation Research Record No. 790, Transportation Research Board, Washington D. C., pp. 73-78.
- Millot, G., 1970, Geology of Clays, Masson et Cie, Paris.
- Moore, D.M., Reynolds, R.C.Jr., 1989, X-Ray Diffraction and The Identification and Analysis of Clay Minerals, Oxford University Press.
- Nagaraj, T.S., Srinivasamurthy, B.R., 1983, An Approach for Prediction of Swelling Soil Behaviour, Proc. 7<sup>th</sup> Asian Reg. Conf. on Smfe, Haifa, Isreal, Vol.1, pp.52-55.
- Nayak, V., Christensen, R.W., 1971, Swelling Charecteristics of Compacted Expansive Soils, Clays and Clay Minerals, Vol.19, No.19, pp.251-261.
- Önalp, A., 1997, Geoteknik Bilgisi I Zeminler ve Mekanığı, Sakarya Üniversitesi, Yayın No: 27.
- Packshow, S., 1946, Earth Pressure and Earth Resistance, Journal. I.C.E., pp.233.
- Paige-Green, P., 1980, The Clay Minerology of Dwyka Tillite in Sothern Africa and Its Effect on The Geotechnical Properties, Nat. Inst. For Transport and Road Res. CSIR, Pretoria and Trans. Geol. Soc. S.A, Vol.83, pp.291-296.
- Park, S-wan., Lytton, R.L., Button, J.W., 1998, Identifying The Cause of Swelling Soils Using Soil Suctions, The 77<sup>th</sup> Annual Meeting transportation Research Board, Washington, D.C., No.980579.
- Pufahl, D.E., Fredlund, D.G., Rahardjo, H., 1983, Lateral Earth Pressure in Expansive Clay Soils, Canadian Geotechnical Journal, Vol.20, No.2, pp.228-241.
- Russam, K., and Coleman, J. D., 1961, The Effect of Climatic Factors on Subgrade Moisture Conditions, Geotechnique, Vol. 2, No. 1, pp. 22-28.
- Saito, T., and Yanai, k., 1969, some Swelling Characteristics of Compacted Soils, Transactions, Japanese Society of Civil Engineers, Vol. 1, Part 2, pp. 397-404.
- Satyanarayana, B., 1969, Behavior of Expansive Soil Treated or Cushioned With Sand, Proceedings, 2<sup>nd</sup> International Conference on Expansive Clay Soils, Texas A&M University, College Station, TX, pp. 308-316.

- Schmertmann, J. H., 1970, Static Cone to Compute Static Settlement Over Sand, Proceedings, Journal of Soil Mechanics and Foundations, ASCE, Vol. 96, pp. 1011.
- Schofield, R.K., 1935, The pF of The Water in Soil, Transaction 3<sup>rd</sup> Int. Cong. Of Soil Science, pp.37-48.
- Schreiner, H.D., 1987, State of The Art Review on Expansive Soils, Transported and Road Research Laboratory Report, Ministry of Transport Crowthorne Berkshire, England.
- Seed, H.B., Woodward, R.J., Lungren, R., 1962, Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays, Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.88, pp.35-41
- Sherif, M.A., Ishibashi, I., 1982, Swell of Wyoming Montmorillonite and Sand Mixtures, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.108, No.GT1, pp.33-45.
- Simons, N., 1957, Settlement Studies on Two Structures in Norway, Proceedings, 4<sup>th</sup> international conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, pp.431.
- Skempton, A.W., 1961, Horizontal Stresses in an Over Consolidated Eocene Clay, Proc. 5<sup>th</sup> Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, France, Vol.1, pp.351-357.
- Skempton, A.W., Henkel, D.J., 1957, Tests on London Clay from Deep Borings at Paddington, Victoria and South Bank, Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London.
- Skempton, A.W., Henkel, D.J., 1957, Tests on London Clay from Deep Borings at Paddington, Victoria and South Bank, Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London.
- Sneath, D.R., 1979, Technical Guidelines for Expansive Soils in Highway Subgrades, FWA-RD-79-51, Federal Highway Administration, Washington D.C.
- Sneath, D.R., 1980, Characterization of Expansive Soils Using Soil Suction Data, Proceedings of the 4<sup>th</sup> Int. Conf. on Expansive Soils, Denver, Vol.1, pp.54-75.
- Sneath, D.R., 1984, Evaluation of Expedient Methods for Identification on Classification of Potentially Expansive Soils, Proc. 5<sup>th</sup> Int. Conf. on Expansive Soils, Adelaide, pp.2226.
- Sowers, G.B., Sowers, G.F., 1970, Introductory Soil Mechanics and Foundations, Macmillan Publishing CO., New York.
- Sudhindra, C., Moza, K.K., 1987, An Approach for Lateral Pressure Assesment in Expansive Soils, Proc. 6<sup>th</sup> Int. Conf. of Expansive Soils, New Delhi, India, Vol.1, pp.67-70
- Sullivan, R.A., McClelland, B., 1969, Predicting Heave of Buildings on Unsaturated Clay, Colage Station, Texas, pp.404-420.



Tuncan, A., 1995, Bazı Kil Minerallerinin Fizikokimyasal Özelliklerinin Laboratuvarında Tayini, VII.Ulusal Kil Sempozyumu, Ankara, pp.187-200.

Van Der Merwe, D.H., 1964, The Prediction of Heave from The Plasticity Index and Percentage Clay Friction, Trans SAICE, Vol6, No.5, pp.103-107.

Vijayvergiya, U.N., Ghazzaly, O.I., 1973, Prediction of Swelling Potential for Natural Clays, Proc. 3<sup>rd</sup> Conf. on Expansive Soils, Haifa,Israel, Vol.1, pp.227-236.

Wayne, A.C., Osman, M.A., Elfatih, M.A., 1984, Construction on Expansive Soils in Sudan, Journal of Construction Engineering and Manegement, ASCE, Vol.110, No.3, pp.359-379.

White, R.E., 1979, Introduction to The Principles and Practice of Soil Science, John Wiley and Sons, New York.

Wray, W. K., 1987a, A study of lateral pressure on basement walls due to swelling soils, Department of the Army US Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

Wray, W. K., 1989, Mitigation of damage to structures supported on expansive soils, Final Report, NSF Critical Engineering systems Natural and Man-Made Hazard Mitigation, Washington, D.C., Vol.1, pp.249-271

Wray, W. K., 1992, Comparison of predicted heave to field measurements, pceedings, 6<sup>th</sup> international conference of expansive soils, New Delhi, India, December, pp.235-240

Wray, W. K., 1995, So Your Home Is Built on Expansive Soils: A Discussion of How Expansive Soils Affect Buildings. New York, NY: American Society of Civil Engineers.

Xin, J.Z., Ling, Q.X., 1997, A New Method for Calculating Lateral Swelling Pressure in Expansive Soils, Proc. 7<sup>th</sup> Int. Conf. on Expansive Soils, Dallas, Vol.1, pp.233-238.

Yıldırım, H., Keskin, S.N., Çimen, Ö., Kara, H.B., 1999, Zeminlerde Farklı Başlangıç Kuru Birim Hacim Ağırlık-Emme Kapasitesi- Şişme Basıncı ilişkisi, X. Mühendislik Sempozyumu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Zienkiewicz, O.C., 1971, The Finite Element Method in Engineering Science, McGraw-Hill , Inc., New York.



**6. EKLER**

**EK - 1**

**SWELPRES PROGRAMININ LİSTESİ**



```

C      *      (ARAKESİT ELEMAN ÖZELLİKLERİNİ HESAPLARKEN DE      *
C      *      KULLANILMIŞTIR)      *
C      *      RO      = FARKLI MALZEME TIPLERİNİN KÜTLE YOĞUNLUK VEKTÖRÜ *
C      *      G      = YERÇEKİMİ AKTİF DEĞİL İSE SIFIR (0)      *
C      *      = YERÇEKİMİ AKTİF İSE BİR (1)      *
C      *      KJS      = ARAKESİT ELE. KESME DOĞRUL. RİJİTLİK VEKTÖRÜ      *
C      *      KJN      = ARAKESİT ELE. NORMAL DOĞRUL. RİJİTLİK VEKTÖRÜ      *
C      *      KJSNU      = YENİ ARAKESİT ELEMAN KESME DOĞRUL. RİJİTLİĞİ      *
C      *      KJNNU      = YENİ ARAKESİT ELEMAN NORMAL DOĞRUL. RİJİTLİĞİ      *
C      *      ITER1      = İLK İTERASYON NUMARASI      *
C      *      ITERS      = SON İTERASYON NUMARASI      *
C      *      DNSAY      = DÜĞÜM NOKTALARI SAYISI      *
C      *      ELSAY      = ELEMAN SAYISI      *
C      *      SDSAY      = DÜĞÜM NOKTASI SINIR DEĞERİ SAYISI      *
C      *      RETS      = RİJİT KATI) ELEMAN TİPİ SAYISI      *
C      *      ARETS      = ARAKESİT ELEMAN TİPİ SAYISI      *
C      *      ITER      = İTERASYON SAYISI      *
C      *      YIVM      = YERÇEKİMİNDEN DOĞAN İVME      *
C      *      ACCEL      = YERÇEKİMİNDEN OLMAYAN İVME --- G      *
C      *      NUM      = SINIR ŞARLARINDAKİ DÜĞÜM NOKTALARI VEKTÖRÜ      *
C      *      HEAD      = 1.0 KATI ELEMAN YASS'NİN ÜSTÜNDE      *
C      *      = 0.0 KATI ELEMAN YASS'NİN ALTINDA      *

```

```

C*****

```

```

C
C

```

```

COMMON /ELMOZ/ ES(900), EN(900), GSN(900), PRSN(900), PRST(900),
*SCI(900)

```

```

COMMON /EMMEGER/ SUCI(900), SUCF(900)

```

```

COMMON /MESH/ X(900), Y(900), R(900), U(900), KS(1800, 1800),
1 EDNM(1500, 4), ARGEM(1500, 3), BAGEM(1500, 3), MTIPI(900),
2 DNSAY, ELSAY, RETS, NFREE

```

```

REAL*8 KS

```

```

DIMENSION B(900), SCRTCH(3000)

```

```

COMMON/KJRV/KJS(900), KJN(900), KJSNU(900), KJNNU(900), ITER1, ITERS, IT

```

```

REAL KJS, KJN, KJSNU, KJNNU

```

```

COMMON /SINIR/ NUM(900), SINIR(900), SDSAY

```

```

COMMON /EE/ E(3, 3)

```

```

COMMON /ACXY/ RO(1500), ACELX, ACELY, NRES, INTER, C(3, 3, 1500)

```

```

DIMENSION IDAT(13), ICARD(9), T(3, 3), H(3, 6),
1 RXY(2, 1500), UXY(2, 1500), CJ(9, 1500)

```

```

EQUIVALENCE (R(1), RXY(1, 1)), (U(1), UXY(1, 1)), (CJ(1, 1), C(1, 1, 1))
CHARACTER*20 INPUT, OUTPUT

```

```

COO-----OOO-----O-----OO-----OOO

```

```

WRITE(*, *) '*****'
WRITE(*, *) '*
WRITE(*, *) '* SWELPRES
WRITE(*, *) '*
WRITE(*, *) '* PROGRAMINA HOS GELDİNİZ
WRITE(*, *) '*

```



```

C
  NFREE =DNSAY+DNSAY
  DO 1 I=1,200
  R(I)=0.0
  U(I)=0.0
1 CONTINUE
  DO 2 I=1,ELSA
  KJS(I )=0.0
  KJN(I )=0.0
  KJNNU(I)=0.0
  KJSNU(I) =0.0
  DO 2 J=1,3
  ARGEM(I,J)=0.0
  BAGEM(I,J)=0.0
2 CONTINUE
  DIR=DIR*PI/180.
  ACELX=ACCEL*COS(DIR) *YIVM

C
C YERÇEKİMİ VAR İSE G=1.0 YERÇEKİMİ YOK İSE G=0.0 OLMALIDIR
C
  ACELY= (-G+ACCEL*SIN(DIR))*YIVM

C
C VERİ KARTINI OKU
C
100 READ(5,1000) ICARD
C
C VERİLERİN BELİRLENMESİ
C
  DO 130 I=1,13
  IF(ICARD(1).EQ.IDAT(I)) GO TO 150
130 CONTINUE
  WRITE(6,2002) ICARD
  LBAD=LBAD+1
  GO TO 100
150 GO TO (10,20,30,40,50,60,70,80,700,95,5,600,650),I

C
C
  5 INTER=1
  GO TO 100

C
C DÜĞÜM NOKTALARI BİLGİLERİNİ OKU
C
10 L=0
11 READ(5,1007) N,X(N),Y(N),RXY(1,N),RXY(2,N),SUCI(N),SUCF(N)

C
C BASİT DÜĞÜM NOKTASI OLUŞTURMA VE HATA ARAŞTIRMASI
C
  IF (L.EQ.0 ) GO TO 12
  ZX=N-L
  DY=(Y(N)-Y(L))/ZX
  DX=(X(N)-X(L))/ZX
12 L=L+1
  IF(N-L)15,14,13
13 X(L)=X(L-1)+DX
  Y(L)=Y(L-1)+DY
  GOTO 12
14 IF(DNSAY-N)15,16,11
C

```

```

C      DÜĞÜM NOKTALARI BİLGİLERİNDE HATA VAR İSE --- HATA MESAJINI YAZ
C
15  WRITE (6,2004)N
    LBAD=LBAD+1
    IF (N.LT.DNSAY) GO TO 11
C
C      ÇIKTIYA DÜĞÜM NOKTASI BİLGİLERİNİ YAZ
C
16  WRITE (6,2003)
    WRITE (6,2222) (K,X(K),Y(K),RXY(1,K),RXY(2,K),
&SUCI(K),SUCF(K),K=1,DNSAY)
    WRITE (6,*)
    GO TO 100
C
C      ELEMAN BİLGİLERİ - MALZEME TİPİ VE DÜĞÜM NOKTALARI
C
20  N=0
21  READ(5,1005) K,MAT,(EDNM(K,I),I=1,4)
C
C      BASİT DÜĞÜM NOKTASI OLUŞTURMA VE HATA ARAŞTIRMASI
C
    MTIPI(K)=MAT
    IF (MAT.GT.NTOT) GO TO 27
22  N=N+1
    IF (K-N)27,26,23
23  N1=N-1
    MAT=MTIPI(N1)
    MTIPI(N)=MAT
    EDNM(N,1)=EDNM(N1,1)+1
    EDNM(N,2)=EDNM(N1,2)+1
    EDNM(N,3)=EDNM(N1,3)+1
    IF(MAT.GT.RETS) GO TO 24
    EDNM(N,4)=0
    GO TO 25
24  EDNM(N,4)=EDNM(N1,4) +1
25  IF(K-N)27,26,22
26  IF(ELSAY-N)27,29,21
C
C      ELEMAN BİLGİLERİNDE HATA VAR İSE --HATA MESAJI YAZ
C
27  WRITE( 6,2007) K
    LBAD=LBAD+ 1
    IF(K.LT.ELSAY) GO TO 21
C
C      ÇIKTIYA ELEMAN BİLGİLERİNİ YAZ
C
29  WRITE(6,2006)
    WRITE (6,2223) (K,MTIPI(K),(EDNM(K,I),I=1,4),K=1,ELSAY)
    WRITE (6,*)
    GO TO 100
C
C      HİDROLİK BİLGİLERİ OKU
C
30  L=0
31  READ(5,1004)N,HEAD,DHDX,DHDY

    GW=YIVM*HEAD*RW
    UXY(1,N)=DHDX*GW
    UXY(2,N)=(DHDY-1.0)*GW

```



```

C
C   VERİ BİLGİLERİNİ KONTROL ET, EKSİK VARSA -- HATA MESAJI YAZ
C
32   L=L+1
      IF(N-L) 35, 34, 33
33   L1=L-1
      UXY(1,L) =UXY( 1,L1 )
      UXY(2,L) =UXY( 2,L1 )
      GOTO 32
34   IF(ELSAY-N) 35,36,31
C
C   HIDROLİK EĞİM BİLGİLERİNDE HATA VARSA ---HATA MESAJI YAZ
C
35   WRITE(6,2010 ) N
      LBAD=LBAD+ 1
      IF(N.LT.ELSAY) GO TO 31
36   WRITE(6,2009) (K,UXY(1,K),UXY(2,K),K=1,ELSAY)
      GO TO 100
C
C   ARTIK GERİLMELERİ OKU
C
40   NRES=1
      L=0
41   READ(5,1004) N,ARGEM(N,1),ARGEM(N,2),ARGEM(N,3)
C
C   KAYBOLMUŞ VERİLERİ OLUŞTUR VE SONRA HATALARI KONTROL ET
C
42   L=L+1
      IF(N-L) 45,44,43
43   L1=L-1
      ARGEM(L,1)=ARGEM(L1,1)
      ARGEM(L,2)=ARGEM(L1,2)
      ARGEM(L,3)=ARGEM(L1,3)
      GOTO 42
44   IF(ELSAY -N) 45,46,41
C
C   ARTIK GERİLMELER LİSTESİ HATALI İSE - HATA MESAJI YAZ
C
45   WRITE(6,2013) N
      LBAD=LBAD+ 1
      IF(N.LT.ELSAY) GO TO 41
C
C   ÇIKTIYA ARTIK GERİLME VERİLERİNİ YAZ
C
46   WRITE(6,2012)
      WRITE(6,2224) (K,ARGEM(K,1),ARGEM(K,2),ARGEM(K,3),K=1,ELSAY)
      WRITE(6,*)
      GO TO 100
C
C   SINIRLANDIRILMIŞ DÜĞÜM NOKTALARI LİSTESİNİ OKU VE YAZ
C
50   READ(5,*) (NUM(K),SINIR(K),K=1,SDSAY)
      WRITE(6,2015)
      WRITE(6,2225) (NUM(K),SINIR(K),K=1,SDSAY)
      GO TO 100
C
C   KATI (ZEMİN) ELEMAN ÖZELLİKLERİNİ OKU VE YAZ
C
60   WRITE(6,2017)

```

```

DO 69 K=1,RETS
  READ(5,1006) mot, MAT, RO(MAT), ES(K), EN(K), GSN(K),
1PRSN(K), PRST(K), ALPHA, SCI(k)
  WRITE(6,1066) mot, MAT, RO(MAT), ES(K), EN(K), GSN(K),
1PRSN(K), PRST(K), ALPHA, SCI(k)

```

```

C
C LOKAL KOORDİNATLARDA GERİLME--ŞEKİL DEĞİŞTİRME MATRİSİ
C

```

```

RAT=EN(K)/ES(K)
CONST=1.0/((1.0+PRST(K))*(1.0-PRST(K)-2.0*RAT*PRSN(K)*PRSN(K)))
E(1,1)=(ES(K)-EN(K)*PRSN(K)*PRSN(K))*CONST
E(2,1)=EN(K)*PRSN(K)*(1.0+PRST(K))*CONST
E(3,1)=0.0
E(1,2)=E(2,1)
E(2,2)=EN(K)*(1.0-PRST(K)*PRST(K))*CONST
E(3,2)=0.0
E(1,3)=0.0
E(2,3)=0.0
E(3,3)=GSN(K)

```

```

IF (INTER.EQ.0) WRITE(6,999) ((E(J,L),L=1,3),J=1,3)
999 FORMAT(55H LOKAL KOORDİNATLARDA GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME MATRİSİ/
1 (5X,3E15.5) )

```

```

C
C TRANSFORMASYON MATRİSİ
C

```

```

ALPHA= ALPHA*PI/180.0
COSA=COS(ALPHA)
SINA=SIN(ALPHA)
T(1,1)=COSA*COSA
T(2,1)=SINA*SINA
T(3,1)=-2.0*SINA*COSA
T(1,2)=T(2,1)
T(2,2)=T(1,1)
T(3,2)=-T(3,1)
T(1,3)=SINA*COSA
T(2,3)=-T(1,3)
T(3,3)=T(1,1)-T(2,1)

```

```

C
IF( INTER .EQ. 0) WRITE (6,998) ((T(J,L),L=1,3),J=1,3)
998 FORMAT(24H TRANSFORMASYON MATRİSİ/(5X,3E15.5))

```

```

DO 66 N=1,3
DO 66 J=1,3
  H(J,N)=0.0
  DO 66 L=1,3
    H(J,N)=H(J,N)+E(J,L)*T(L,N)
66 CONTINUE
DO 67 N=1,3
DO 67 J=1,3
  C(J,N,MAT)=0.0
  DO 67 L=1,3
    C(J,N,MAT)=C(J,N,MAT)+T(L,J)*H(L,N)
67 CONTINUE

```

```

C
IF(INTER.EQ.0) WRITE (6,997) ((C(J,N,MAT),N=1,3),J=1,3)
997 FORMAT(55H GLOBAL KOORDİNATLARDA GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME MATRİSİ/
1 (5X,3E15.5) )
C

```

```

C HATALARI KONTROL ET
C
  IF( RETS.GE.MAT ) GO TO 69
  WRITE(6,2019)
    LBAD=LBAD+1
69  CONTINUE
    GO TO 100

C
C   ARAKESİT ÖZELLİKLERİNİ OKU VE C'YE DEPOLA
C
70  WRITE (6,2020 )
    NTOT=RETS+ ARETS
    DO 75 J=1,ARETS
      READ(5,1004)MAT, (CJ(K,MAT),K=1,8)
      CJ(1,MAT)=-ABS(CJ(1,MAT))
      CJ(2,MAT)= ABS(CJ(2,MAT))
      CJ(5,MAT)= ABS(CJ(5,MAT))
      CJ(6,MAT)=-ABS(CJ(6,MAT))
      WRITE(6,2021)MAT, (CJ(K,MAT),K=1,8)

C
C   HATALARI KONTROL ET
C
  IF(NTOT.GE.MAT)GO TO 75
  WRITE(6,2022 )
  LBAD=LBAD+1
75  CONTINUE

  IF(ITER1.GT.1)READ(7)KJS,KJN
  GO TO 100

C
C   VERİ GİRİŞİ TAMAM - İŞLEM HATASIZ
C
80  IF(LBAD.EQ.0)GO TO 300

C
C   HATA BULUNDU - HATA YAZ
C
  WRITE (6,2023)
  STOP

C
C   BANT7' DEN İTİBAREN VERİLERİN OKUNMASINA TEKRAR BAŞLAR
C
95  READ(7)C,X,Y,R,U,KS,NUM,EDNM,ARGEM,BAGEM,MTIPI,SINIR,KJS,KJN
    GO TO 375

C
C   KATILIK MATRİSİNİN TOPLANMASI İÇİN ALT PROGRAM "SKT" İ ÇAĞIR
C   SKT = SİSTEM KATILIK MATRİSİ
C
300  CALL SKT

C
C   KATILIK MATRİSİNİN TERSİNİ ALMAK İÇİN FORTRAN ALT PROGRAM KÜTÜPHANESİNİ
C   KULLAN
C   NFREE : KATILIK MATRİSİNİN BOYUTU
C   ÇOK GENİŞ PROGRAMLARDA,KATILIK MATRİSİ "NARROW BANDED" OLMALIDIR
C
  IF(INTER.NE.0 ) GO TO 350
  WRITE (6,996)
996  FORMAT (34H YÜK VEKTÖRÜ VE KATILIK MATRİSİ )
    DO 995 I=1,NFREE
      WRITE(6,994) (KS(I,J),J=1,NFREE)

```

```

994          FORMAT (2X,14E12.4)
995          CONTINUE
          WRITE (6,994) (R(I),I=1,NFREE)

C
350          CALL INVERS(KS,8,1,NFREE,1800,-1.0,D2,SCRATCH,IER)
C
C           KS : KATILIK MATRİSİNİN TERSİ
C
C
          IF(INTER.NE.0)GO TO 359

          WRITE (6,993)
993          FORMAT(29H KATILIK MATRİSİNİN TERSİ )
          DO 992 I=1,NFREE
992          WRITE(6,994) ( ks(I,J) ,J=1,NFREE )

          WRITE(6,*)
          WRITE(6,*)
          WRITE(6,*)

C           BAŞLAMADAN ÖNCE ARTIK GERİLMELERİ BAŞLANGIÇ GERİLMESİ OLARAK
YERLEŞTİR
C
359          DO 360 M=1,ELSA
          BAGEM(M,1)=ARGEM(M,1)
          BAGEM(M,2)=ARGEM(M,2)
          BAGEM(M,3)=ARGEM(M,3)
360          CONTINUE
C           BAŞLANGIÇ ŞEKİLDEĞİŞTİRMELERİNİ SIFIR (0) OLARAK YERLEŞTİR
C
          DO 370 J=1,NFREE
          U(J) =0.0

370          CONTINUE
C           İLK İTERASYONU YAP
C
          WRITE(*,*) '"-----hesaplama başlamıştır :-) ....."'

375          DO 500 IT=ITER1, ITERS
          WRITE (*,*)"İterasyon No. ",IT
          WRITE (6,2026 )IT

C
C           YER DEĞİŞTİRMELER HESAPLANIR - HERBİR İTERASYON YENİ BİR ARTIŞ
VERİR
C           YERDEĞİŞTİRME VEKTÖRÜ (U) = U + KS*LOAD VEKTOR
C

          DO 400 J=1,NFREE
          DO 400 K=1,NFREE
          U(J)=U(J)+KS(J,K)*R(K)
400          CONTINUE

C
C           DÜĞÜM NOKTASI YER DEĞİŞTİRMELERİNİ ÇIKTIYA YAZ
C
          WRITE(6,2024)

```

```

WRITE (6,2226) (J, UXY(1,J), UXY(2,J), J=1, DNSAY)

C   ARTAN YÜKLER İÇİN YÜK VEKTÖRÜNÜ SIFIRLA
C
DO 450 J=1, NFREE
R(J)=0.0
450 CONTINUE
C   KATI (ZEMİN) ELEMAN GERİLMELERİNİ HESAPLAMAK İÇİN ALT PROGRAM
"GERİLMELER" İ ÇAĞIR
C
CALL GERİLMELER
C
IF (ARETS.GT.0) CALL DONGU
C
500 CONTINUE
C
GO TO 100
C
600 WRITE (7) KJSNU, KJNNU
GO TO 700

650 WRITE (7) C, X, Y, R, U, KS, NUM, EDNM, ARGEM, BAGEM, MTIPI, SINIR, KJS, KJN
C
700 STOP
C
C   GİRİŞ FORMAT BİLGİLERİ
C   51 FORMAT (A20)
1000 FORMAT (9A8)
1001 FORMAT (7I5/2F10.0)
1004 FORMAT (I5, 7F10.3, F5.1)
1005 FORMAT (6I5)
1006 FORMAT (2I5, 8F10.3)
1007 FORMAT (I5, 6F10.3)
1066 FORMAT (2X, I5, 5X, I5, 3X, 3F12.3, 1X, 5F12.3)
C
C   ÇIKTI FORMAT BİLGİLERİ
C
2000 FORMAT ( 1H , 10X, 9A8)
2001 FORMAT ( 40H DÜĞÜM NOKTALARI SAYISI.....=, I3 /
1 40H ELEMAN SAYISI.....=, I3 /
2 40H SINIRLAN.DÜĞÜM. NOK. SAYISI.....=, I3 /
3 40H KATI MATERYAL SAYISI.....=, I3 /
4 40H ARAKESİT TİPİ SAYISI.....=, I3 /
+ 40H İLK İTERASYON SAYISI.....=, I3 /
5 40H İTERASYONLARIN SAYISI.....=, I3 /
6 40H YERCEKİMİ - VAR/YOK.... . . . . . =, F4.0/
7 40H YERCEKİMİ İVMESİ.....=, E12.4/
8 40H STATİK İVME.....=, E12.4/
9 40H YERCEKİMİ DOGRULTUSU.....=, E12.4/
A 40H SUYUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI.....=, F12.4)
2002 FORMAT ( 30H VERİ LİSTESİNDE HATA VAR 9A8 )
2003 FORMAT (
1// ' -DÜĞÜM NOKTALARI KOORDİNATI, YÜKLER VE EMME BASINÇLARI'//,
2 ' ELEMAN X- Y- X- Y-
3BAŞ.EMME SON EMME.'//,
4 ' NUM. KOORD. KOORD. (YÜKÜ) (YÜKÜ)
5 GERİLMESİ GERİLMESİ '/
6 ' -- (M) (M) (Kg) (Kg)
7 (pF) (pF) '/')

```

2222 FORMAT ((I7,2F12.2,2E12.4,2X,2F12.2))  
2004 FORMAT (19H HATALI VERI - EDNMEI5 )  
2006 FORMAT(  
1/' -ELEMEN TİPİ VE DÜĞÜM NUMARALARI'/  
2 '/' ELEMEN MATER. 1.DÜĞÜM 2.DÜĞÜM 3.DÜĞÜM  
34.DÜĞÜM'  
4 '/' NUM. TİPİ NOK. NOK. NOK.  
5 NOK.'/)

2223 FORMAT ((I7,I10,1X,4I11))  
2007 FORMAT (22H HATALI VERI - ELEMEN I5 )  
2009 FORMAT (1H 2(2X,7HELEMEN 7X,5HDP/DX6X,10HDP/DY DR P)/  
1 (2(I9,2E14.4)))  
2010 FORMAT (47H HATALI VERI - HİDROLİK EĞİM LİSTESİ,ELEMEN I5)  
2012 FORMAT(  
1//' -ARTIK GERİLMELER'//,  
2 ' ELEMEN XX- YY- XY-'//,  
4 ' NUM. (Kg/M^2) (Kg/M^2) (Kg/M^2)'/)

2224 FORMAT ((I7,4X,3E15.4))  
2013 FORMAT (44H HATALI VERI - ARTIK GERİLME LİSTESİ,ELEMEN I5)  
2015 FORMAT(  
1//' -DÜĞÜM NOKYASI YER DEĞİŞTİRME KODU'//,  
2 ' DÜĞÜM KOD'//,  
4 ' NOKTASI.'/)

2225 FORMAT (I7,I15)  
2017 FORMAT(  
1//' -KATI ELEMEN ÖZELLİKLERİ'//,  
2 ' ELEMEN ELEMEN YOĞUNLUK ELAS.(S) ELAS.(N)  
3KESME POISSON POISSON AÇI. SCI'//,  
4 ' NUM. TİPİ. (Kg/M^3) MODÜLÜ MODÜLÜ  
5MODÜLÜ ORANI ORANI'/  
6 ' -- (Kg/M^2) (Kg/M^2)  
7(--)(ST)(SN)'/)

2018 FORMAT (2X,40HMALZEME TİPİ =,I3/  
1 2X,40HBİRİM HACİM AĞIRLIK =,E12.4/  
2 2X,40HELASTİSİTE MODÜLÜ - KESME DOĞRULTUSUNDA =,E12.4/  
3 2X,40HELASTİSİTE MODÜLÜ - NORMAL DOĞRULTUSUNDA =,E12.4/  
+ 2X,40HKESME MODÜLÜ - GSN =,E12.4/  
4 2X,40HPOISSON ORANI - SN =,F8.4/  
5 2X,40HPOISSON ORANI - ST =,F8.4/  
7 2X,40HORIENTATION OF LAYERS (ANGLE S-X) =,F8.4)

2019 FORMAT (37H DATA HATALI - MALZEME ÖZELLİK LİSTESİ)  
2020 FORMAT (/1H ,23HARAKESİT ÖZELLİKLERİ )  
2021 FORMAT (1X,41HARAKESİT TİPİ NO.....=,I3 /  
1 1X,41HMAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ.....=,E12.4/  
2 1X,41HÇEKME-BASINÇ GERİLMESİ ORANI.....=,F8.4 /  
3 1X,41HKESME RİJİTLİĞİ.....=,E12.4/  
4 1X,41HARTIK-MAKSİMUM KESME GERİLMESİ ORANI....=,E12.4/  
5 1X,41HMAKSİMUM NORMAL YAKINSAKLIK.....=,E12.4/  
V 1X,41HOTURMA YÜKÜ.....=,E12.4/  
6 1X,41HARAKESİT YÜZEYİNİN SÜRTÜNME AÇISI.....=,E12.4/  
7 1X,41HDİLATASYON AÇISI.....=E12.4)

2022 FORMAT ( 42H HATALI VERİ - ARAKESİT ÖZELLİKLERİ )  
2023 FORMAT ( 44H HATALI VERİLER BULUNDU - PROGRAM SONA ERDİ)  
2024 FORMAT(  
1/' -DÜĞÜM NOKTASI -X- VE -Y- YER DEĞİŞTİRMELERİ'/  
2 '/' DÜĞÜM X-YER DEĞİŞTİRMESİ Y-YER DEĞİŞTİRMESİ'  
4 '/' NOKTASI. (METRE) (METRE)'/)

```

2226 FORMAT (I7,2F21.6)
2026  FORMAT ( 18H ITERASYON NUMARASI I5// )
      STOP 'LOL,NORMAL END,ÇAY İÇMEYE GİDEBİLİRSİNİZ!'
C
      END

CC-----OO-----O-----OO-----OOOO
C          ALT PROGRAM "SKM"
C          SKT = SİSTEM KATILIK MATRİSİ
C
          SUBROUTINE SKT
COMMON /ELMOZ/ ES(900),EN(900),GSN(900),PRSN(900),PRST(900),
*SCI(900)
COMMON /EMMEGER/ SUCI(900),SUCF(900)
COMMON /MESH/ X(900),Y(900),R(900),U(900),KS(1800,1800),
1          EDNM(1500,4),ARGEM(1500,3),BAGEM(1500,3),MTIPI(900),
2          DNSAY,ELSA,RETS,NFREE
REAL*8 KS,DSUC
COMMON /SINIR/NUM(900),SINIR(900),SDSAY
COMMON /FORC/ KSUB(8,8),F(8),LBAD,M,H(3,6)
REAL*8 KSUB
DIMENSION RES(3),XT(4),YT(4),LAB(4),DSUC(900),E(3,3)
LBAD=0
DO 100 J=1,NFREE
DO 100 I=1,NFREE
KS(I,J)=0.0
100 CONTINUE
C
C HERBİR ELEMANNIN GLOBAL RİJİTLİK VE YÜK DAĞILIMINI HESAPLA
C
      DO 450 M=1,ELSA
      MAT=MTIPI(M)
      DSUC(M)=0
C
C ARAKESİT YADA ÜÇGEN ELEMANNMI?
C
      NUMB=3
      IF(MAT.GT.RETS) NUMB=4
C
C DÜĞÜM KOORDİNAT VEKTÖRLERİNDEN DÜĞÜM KOORDİNATLARINI AÇ
C
      DO 250 I=1,NUMB
      N=EDNM(M,I)
      XT(I)=X(N)
      YT(I)=Y(N)
250 CONTINUE
C
C ARAKESİT YADA ÜÇGEN ELEMANN KATILIK MATRİSİ ALTPROGRAMINI SEÇ
C
      M2 =M+M
      RES(1)=ARGEM(M,1)
      RES(2)=ARGEM(M,2)
      RES(3)=ARGEM(M,3)
      IF(MAT.GT.RETS)GO TO 270
      RAT=EN(M)/ES(M)
      CONST=1.0/((1.0+PRST(M))*(1.0-PRST(M)-2.0*RAT*PRSN(M)*PRSN(M)))
      E(1,1)=(ES(M)-EN(M)*PRSN(M)*PRSN(M))*CONST
      E(2,1)=EN(M)*PRSN(M)*(1.0+PRST(M))*CONST
      E(3,1)=0.0

```

```

E(1,2)=E(2,1)
E(2,2)=EN(M)*(1.0-PRST(M)*PRST(M))*CONST
E(3,2)=0.0
E(1,3)=0.0
E(2,3)=0.0
E(3,3)=GSN(M)

DO 8 N=1,3
MM=EDNM(M,N)
DSUC(M)=DSUC(M)+(SUCI(MM)-SUCF(MM))
8 CONTINUE

CALL UEKM(ELSA,0,MAT,XT,YT,RES,DPDX,DPDY,DSUC(m),SISME,E)

IF(LBAD.NE.0) THEN
GO TO 450
ELSE
GO TO 280
END IF

C
CC ELSE STOP "Katı eleman rijitlik matrisi hesaplandıktan sonra hata
oluştı
C
270 CALL AEKM(MAT,XT,YT,RES)
IF(LBAD.GT.0)GO TO 450
ARGEM(M,1)=RES(1)
ARGEM(M,2)=RES(2)
ARGEM(M,3)=RES(3)

280 DO 300 I=1,NUMB
J=EDNM(M,I)
LAB(I)=J+J-1
300 CONTINUE

C
DO 400 I=1,NUMB
II=LAB(I)
IK=I+I-1
I2=II+1

C
C YÜK DAĞILIMI
C
R(II)=R(II)+F(IK)
R(I2)=R(I2)+F(IK+1)
DO 400 J=1,NUMB
JJ=LAB(J)
JK=J+J-1
J2=JJ+1

C
C GLOBAL KATILIK MATRİSİ
C
KS(II,JJ)=KS(II,JJ)+KSUB(IK,JK)
KS(II,J2)=KS(II,J2)+KSUB(IK,JK+1)
KS(I2,JJ)=KS(I2,JJ)+KSUB(IK+1,JK)
KS(I2,J2)=KS(I2,J2)+KSUB(IK+1,JK+1)
400 CONTINUE
450 CONTINUE
IF(LBAD.GT.0)GO TO 600

C
C DÜĞÜM NOKTASI SINIR ŞARTLARI

```



```

C
C SINIR = 1 - X DOĞRULTUSUNDA YER DEĞİŞTİRME SIFIR (0)
C SINIR = 2 - Y DOĞRULTUSUNDA YER DEĞİŞTİRME SIFIR (0)
C SINIR = 3 - X VE Y DOĞRULTUSUNDA YER DEĞİŞTİRME SIFIR (0)
C

```

```

      DO 500 I=1,SDSAY
      L=SINIR(I)
      IF(L.EQ.0)GO TO 500
      J=NUM(I)
      JJ=J+J
      IF(L.EQ.2)GO TO 470
      KS(JJ-1, JJ-1)=KS(JJ-1, JJ-1)+1.0E20
      IF(L.EQ.1)GO TO 500
470 KS(JJ, JJ)=KS(JJ, JJ) + 1.0E20
500 CONTINUE
      RETURN

```

```

C
C HATA KONROLÜ
C
      600 WRITE(6,2000)
      2000 FORMAT (46H HATA OLUŞTUĞU İÇİN PROGRAM DURDU )
C
      STOP
      END

```

```

CC-----OO-----O-----OO-----OOOO

```

```

C
C          ALT PROGRAM
C          ÜÇGEN ELEMANIN KATILIK MATRİSİ
C
      SUBROUTINE UEKM(ELSAY, KUT, MAT, X, Y, ARGEM, DPDX,
*DPDY, DSUC, SISME, E)
      COMMON /ELMOZ/ ES(900), EN(900), GSN(900), PRSN(900), PRST(900),
*SCI(900)
      COMMON /ACXY/RO(1500), ACELX, ACELY, NRES, INTER, C(3, 3, 1500)
      COMMON /FORC/ KSUB(8, 8), F(8), LBAD, M, H(3, 6)
      REAL*8      KSUB, EV, DSUC
      REAL*8      KACT, KPAS, KNOT
      COMMON /pp/knot(900), kpas(900), kact(900), ex(900), epx(900), epy(900)
      COMMON /pr/ST(900), SA(900), SR(900), SP(900), SV(900), SSIEME(900)
      DIMENSION X(4), Y(4), ARGEM(3), F1(900), E(3, 3), EV1(900)
      REAL LNORT(3, 7)
      REAL LT(6, 3)
      REAL LTD(6, 3)
      PI=ATAN(1.0)*4.0

      XJ=X(2)-X(1)
      YJ=Y(2)-Y(1)
      XK=X(3)-X(1)
      YK=Y(3)-Y(1)
C
C ÜÇGEN ELEMANIN ALANINI HESAPLA
C.
      ALAN= XJ*YK-XK*YJ
C
C ALAN SIFIR VEYA NEGATİF İSE VERİLERDE HATA VAR
C HATA VAR İSE GERİ DÖN
C

```

```

IF(ALAN.GT.0.0)GO TO 10
LBAD=LBAD+ 1
WRITE(6,2000)LBAD,M
2000 FORMAT(7H HATA I3,9H,ELEMAN I5,22H NEGATIF ALANDADIR)
RETURN
C
C GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME MATRİSİ -LNORT
C
C
10 XK=-XK/ALAN
YK= YK/ALAN
XJ= XJ/ALAN
YJ=-YJ/ALAN
XKJ=-XK-XJ
YJK=-YJ-YK
C

LNORT(1,1)= YJK
LNORT(2,1)= 0.0
LNORT(3,1)= XKJ
LNORT(1,2)= 0.0
LNORT(2,2)= XKJ
LNORT(3,2)= YJK
LNORT(1,3)= YK
LNORT(2,3)= 0.0
LNORT(3,3)= XK
LNORT(1,4)= 0.0
LNORT(2,4)= XK
LNORT(3,4)= YK
LNORT(1,5)= YJ
LNORT(2,5)= 0.0
LNORT(3,5)= XJ
LNORT(1,6)= 0.0
LNORT(2,6)= XJ
LNORT(3,6)= YJ
LNORT(1,7)= EV/2
LNORT(2,7)= EV/2
LNORT(3,7)= 0
C
IF(INTER.EQ.0)WRITE(6,999)((LNORT(I,J),J=1,6),I=1,3)
999 FORMAT(28H GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME MATRİSİ/(5X,6E12.4))
C
SISME GERİLMELERİ

IF(SISME.EQ.1)THEN
DSUC=DSUC/3
EV=SCI(M)*DSUC

LT(1,1)=LNORT(1,1)
LT(1,2)=LNORT(2,1)
LT(1,3)=LNORT(3,1)
LT(2,1)=LNORT(1,2)
LT(2,2)=LNORT(2,2)
LT(2,3)=LNORT(3,2)
LT(3,1)=LNORT(1,3)
LT(3,2)=LNORT(2,3)
LT(3,3)=LNORT(3,3)
LT(4,1)=LNORT(1,4)
LT(4,2)=LNORT(2,4)
LT(4,3)=LNORT(3,4)

```

```

      LT(5,1)=LNORT(1,5)
      LT(5,2)=LNORT(2,5)
      LT(5,3)=LNORT(3,5)
      LT(6,1)=LNORT(1,6)
      LT(6,2)=LNORT(2,6)
      LT(6,3)=LNORT(3,6)

```

```
CALL GMPRD(LT,E,LTD,6,3,3)
```

```
C   SISME KUVVETLERI HESABI
```

```

      F1=0
      DO 881 NROW=1,6
      DO 882 J=1,3
882  F1(NROW)=F1(NROW)+LTD(NROW,J)*LNORT(J,7)*ALAN/2
881  CONTINUE
      END IF

```

```
C
```

```
C   GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME TRANSFORMASYON MATRİSİNİ HESAPLA (H)
C   C*LNORT, C = GERİLME-ŞEKİLDEĞİŞTİRME MATRİSİ
```

```
C
```

```

      DO 100 J=1,6
      DO 100 I=1,3
      H(I,J)=0.0
      DO 100 K=1,3
      H(I,J)=H(I,J)+C(I,K,MAT)*LNORT(K,J)
100  CONTINUE

```

```
C
```

```

      IF(INTER.EQ.0)WRITE(6,998)((H(I,J),J=1,6),I=1,3)
998  FORMAT(43H GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME TRANSFORMASYON MATRİSİ/
1     (5X,6E12.4))

```

```
C   BU ALT PROGRAM 'GERİLMELER' ALT PROGRAMINDAN ÇAĞRILDI İSE GERİ DÖN
```

```
C
```

```

      IF(KUT.EQ.1)RETURN
C   RİJİTLİK MATRİSİ (KSUB)'UN OLUŞUMUNU TAMAMLA
C   İLK ÖNCE ELEMAN ALANI İLE LNORT 'U ÇARP

```

```
C
```

```

      ALAN=ALAN/2.0
      DO 200 J=1,6
      DO 200 I=1,3
      LNORT(I,J)=LNORT(I,J)*ALAN
200  CONTINUE

```

```
C.   TARANPOZUNU HESAPLA (LNORT) * H
```

```

      DO 300 J=1,6
      DO 300 I=1,6
      KSUB(I,J)=0.0
      DO 300 K=1,3
      KSUB(I,J)=KSUB(I,J)+LNORT(K,I)*H(K,J)
300  CONTINUE

```

```
C   YÜK VEKTÖRLERİNİN DAĞILIMINI HESAPLA
```

```

      CONST=ALAN/3.0
      XCOMP=(RO(MAT)*ACELX-DPDX)*CONST
      YCOMP=(RO(MAT)*ACELY-DPDY)*CONST
      F(1)=XCOMP
      F(2)=YCOMP
      F(3)=XCOMP
      F(4)=YCOMP
      F(5)=XCOMP
      F(6)=YCOMP

```

C ARTIK GERİLMELERİN DAĞILIMINI EKLE

```

      IF(NRES.EQ.0)GO TO 500
      DO 400 J=1,6
      DO 400 I=1,3
      F(J)=F(J)-LNORT(I,J)*ARGEM(I)
400 CONTINUE

```

C ŞİŞME KUVVETLERİNİN DAĞILIMINI EKLE

```

      DO 4000 J=1,6
      F(J)=F(J)+F1(J)
4000 CONTINUE

```

```

      WRITE(6,*) (F(J),J=1,6)

```

C

C 500 CONTINUE

```

500      IF(INTER.EQ.0)WRITE(6,997)M,((KSUB(I,J),J=1,6),F(I),I=1,6)
997      FORMAT(28H RİJİTLİK MATRİSİ - ELEMAN I3,73X,11HYÜK VEKTÖRÜ/
1          1          (2X,6E12.4,28X,E12.6) )

```

C

COo-----oo-----o-----oo-----oooo

C

C ARAKESİT ELEMANIN KATILIK MATRİSİ ALT PROGRAMI

C AEKM =ARAKESİT ELEMANIN KATILIK MATRİSİ

```

      SUBROUTINE AEKM(MATT,X,Y,ARGEM)

```

```

COMMON/KJRV/KJS(900),KJN(900),KJSNU(900),KJNNU(900),ITER1,ITERS,IT
REAL KJS,KJN,KJSNU,KJNNU
COMMON /ACXY/RO(1500),ACELX,ACELY,NRES,INTER,C(3,3,1500)
COMMON /FORC/ KSUB(8,8),F(8),LBAD,M,H(3,6)
REAL*8 KSUB
DIMENSION X(4),Y(4),ARGEM(3)
REAL L,KSO,KNO

```

C

C ARAKESİT ELEMANI KONTROL ET

C

```

      IF (X(1).NE.X(4)) GO TO 10
      IF (X(2).NE.X(3)) GO TO 10
      IF (Y(1).NE.Y(4)) GO TO 10
      IF (Y(2).NE.Y(3)) GO TO 10
      GO TO 50

```

C

C HATA VARSA GERİYE DÖN

C

```

10 WRITE (6,2000) M
2000 FORMAT(32H ARAKESİT ELEMAN VERİLERİ -ELEMAN I5)
      LBAD=LBAD+1
      RETURN
50 MAT=MATT

```

C

C ARAKESİT ELEMAN BOYUTLARINI HESAPLA

C

```

DX=X(2)-X(1)
DY=Y(2)-Y(1)
L=SQRT(DX*DX+DY*DY)

C   BAZI SABİTLER

COSA=DX/L
SINA=DY/L
S2=COSA*SINA
CC=COSA*COSA
SS=SINA*SINA
C2=CC-SS

IF(NRES.GT.0)GO TO 80

TORSN=0.0
SIGMA=0.0
GO TO 90
80 TORSN=-S2*ARGEM(1)+S2*ARGEM(2)+C2*ARGEM(3)
SIGMA= SS*ARGEM(1)+CC*ARGEM(2)-2.0*S2*ARGEM(3)
90 ARGEM(1)=TORSN
ARGEM(2)=SIGMA
ARGEM(3)=0.0

C   IF(INTER.EQ.0)WRITE(6,999)TORSN,SIGMA

IF(ITER1.GT.1) GO TO 95

KJN(M)=-SIGMA*SIGMA/(C(2,2,MAT)*C(3,2,MAT))

SLOMIN=-0.01*C(1,1,MAT)*C(2,2,MAT)
SLOMAX= 10000.*SLOMIN
IF(KJN(M).GT.SLOMAX)KJN(M)=SLOMAX
IF(KJN(M).LT.SLOMIN)KJN(M)=SLOMIN

KJS(M) =C(3,1,MAT)

C
C   LOKAL KOORDİNATLARDA ARAKESİT ELEMANIN RİJİTLİĞİ
C

95 KSO=KJS(M)*L/4.0
KNO=KJN(M)*L/2.0
DO 100 J=1,8
DO 100 I=1,8
KSUB(I,J)=0.0
100 CONTINUE

C
C   ARAKESİT ELEMANIN KATILIK MATRİSİ
C
KSUB(1,1) = KSO
KSUB(3,1) = KSO
KSUB(5,1) = -KSO
KSUB(7,1) = -KSO
KSUB(1,3) = KSO
KSUB(3,3) = KSO
KSUB(5,3) = -KSO
KSUB(7,3) = -KSO
KSUB(1,5) = -KSO
KSUB(3,5) = -KSO

```

```

KSUB(5,5) = KSO
KSUB(7,5) = KSO
KSUB(1,7) = -KSO
KSUB(3,7) = -KSO
KSUB(5,7) = KSO
KSUB(7,7) = KSO
KSUB(2,2) = KNO
KSUB(2,8) = -KNO
KSUB(4,4) = KNO
KSUB(4,6) = -KNO
KSUB(6,4) = -KNO
KSUB(6,6) = KNO
KSUB(8,2) = -KNO
KSUB(8,8) = KNO

```

C

```

IF(INTER.EQ.0)WRITE(6,998)((KSUB(I,J),J=1,8),I=1,8)
998 FORMAT(37H ARAKESİT ELM. - LOKAL KOORDINATLARI/(2X,8E12.4))

```

```

DO 200 I=1,4
IK=I+I
II=IK-1
DO 200 J=1,4
JK= J+J
JJ=JK-1

```

```

T11=KSUB(II,JJ)*COSA-KSUB(II,JK)*SINA
T12=KSUB(II,JJ)*SINA+KSUB(II,JK)*COSA
T21=KSUB(IK,JJ)*COSA-KSUB(IK,JK)*SINA
T22=KSUB(IK,JJ)*SINA+KSUB(IK,JK)*COSA

```

```

KSUB(II,JJ) =COSA*T11-SINA*T21
KSUB(II,JK) =COSA*T12-SINA*T22
KSUB(IK,JJ) =SINA*T11+COSA*T21
KSUB(IK,JK) =SINA*T12+COSA*T22

```

200 CONTINUE

```

SIGMA=ARGEM(2)
L=L/2.0
FXI=-L*TORSN*COSA+L*SIGMA*SINA
FYI=-L*TORSN*SINA-L*SIGMA*COSA
F(1)=-FXI
F(2)=-FYI
F(3)=-FXI
F(4)=-FYI
F(5)= FXI
F(6)= FYI
F(7)= FXI
F(8)= FYI

```

C

```

IF(INTER.EQ.0)WRITE(6,997)M,((KSUB(I,J),J=1,8),F(I),I=1,8)

```

```

RETURN
END

```

COo-----OOo-----O-----OO-----OOOO

```

C      ALT PROGRAM GMPRD
C      MATRİS ÇARPIM ALT PROGRAMI

```

```

SUBROUTINE GMPRD(A,B,R,N,M,L)
DIMENSION A(1500),B(1500),R(1500)
C
IR=0
IK=-M
DO 10 K=1,L
IK=IK+M
DO 10 J=1,N
IR=IR+1
JI=J-N
IB=IK
R(IR)=0
DO 10 I=1,M
JI=JI+N
IB=IB+1
10 R(IR)=R(IR)+A(JI)*B(IB)
RETURN
END

```

COo-----OOo-----O-----OO-----OOOO

```

C
C          ALT PROGRAM GERİLMELER

```

```

SUBROUTINE GERILMELER
COMMON /ELMOZ/ ES(900),EN(900),GSN(900),PRSN(900),PRST(900),
*SCI(900)
COMMON /ACXY/RO(1500),ACELX,ACELY,NRES,INTER,C(3,3,1500)
REAL*8 KACT,KPAS,KNOT
COMMON /pp/knot(900),kpas(900),kact(900),ex(900),epx(900),epy(900)
COMMON /pr/ ST(900),SA(900),SR(900),SP(900),SV(900),SSISME(900)
COMMON /MESH/ X(900),Y(900),R(900),U(900),KS(1800,1800),
1 EDNM(1500,4),ARGEM(1500,3),BAGEM(1500,3),MTIPI(900),
2 DNSAY,ELSA,Y,RETS,NFREE
REAL KS*8
COMMON /FORC/ KSUB(8,8),F(8),LBA,D,M,H(3,6)
REAL KSUB*8
DIMENSION DISP(6),DUMMY(3),XT(4),YT(4),SIG(6)

WRITE(6,2000)
C
C HERBİR ELEMANDAKİ GERİLMELERİ HESAPLA
C
DO 400 M=1,ELSA,Y
C
C KATI ELEMENMI? ARAKESİT ELEMENMI?
C
MAT=MTIPI(M)
IF(MAT.GT.RETS)GO TO 400
C
C XT VE YT DÜĞÜM NOKTALARI VEKTÖRLERİNİ TOPLA
C ELEMEN DÜĞÜM NOKTALARI YER DEĞİŞTİRME VEKTÖRLERİNİ TOPLA
C
DO 250 I=1,3
II=I+I-1
N=EDNM(M,I)
JJ=N+N-1
XT(I)=X(N)
YT(I)=Y(N)
DISP(II)=U(JJ)

```

```

        DISP(II+1)=U(JJ+1)
250 CONTINUE

C
      CALL UEKM(ELSA,1,MAT,XT,YT,DUMMY,DUM1,DUM2,DSUC,SISME,E)
C
      DO 300 I=1,3
        SIG(I)=ARGEM(M,I)
        DO 300 J=1,6
          SIG(I)=SIG(I)+H(I,J)*DISP(J)
300 CONTINUE
C
C BAŞLICA GERİLMELERİ HESAPLAE XX(SIG(1)),YY(SIG(2)),XY(SIG(3))
C
      CC=(SIG(1)+SIG(2))/2.0
      BB=(SIG(1)-SIG(2))/2.0
      CR=SQRT(BB*BB+SIG(3)*SIG(3))
      SIG(4)=CC+CR
      SIG(5)=CC-CR
      SIG(6)=28.698*ATAN2(SIG(3),BB)
C
C ELEMANDAKİ GERİLMELERİ YAZ
C
      WRITE(6,2001)M,SIG
400 CONTINUE
C
      RETURN
C
2000 FORMAT(
1//' -ZEMİN ELEMANINDAKİ GERİLMELER'//,
2 '   ELEMAN      XX-           YY-           XY-
3 '   NUM.        GERİLM.       GERİLM.       GERİLM.
5 '   --          (Kg/M^2)       (Kg/M^2)       (Kg/M^2)

2001 FORMAT (I7,5E16.4,F14.2)
      WRITE(6,1025)
      WRITE(6,899)
        DO 401 M=1,ELSA

      MAT=MTIPI(M)

      IF(MAT.GT.RETS )GO TO 401

      DO 251 I=1,3
        II=I+I-1
        N=EDNM(M,I)
        JJ=N+N-1
        XT(I)=X(N)
        YT(I)=Y(N)
        DISP(II)=U(JJ)
        DISP(II+1)=U(JJ+1)
251 CONTINUE

      CALL UEKM(ELSA,1,MAT,XT,YT,DUMMY,DUM1,DUM2,DSUC,SISME,E)

      DO 301 I=1,3
        SIG(I)=ARGEM(M,I)
      DO 301 J=1,6

```



```

      SIG(I)=SIG(I)+H(I,J)*DISP(J)
301 CONTINUE

      CC=(SIG(1)+SIG(2))/2.0
      BB=(SIG(1)-SIG(2))/2.0
      CR=SQRT(BB*BB+SIG(3)*SIG(3))
      SIG(4)=CC+CR
      SIG(5)=CC-CR
      SIG(6)=28.698*ATAN2(SIG(3),BB)

      KNOT(M)=PRSN(M)/(1-PRSN(M))
      PHI = ASIN(0.95-KNOT(M))
      SA(M)=Sig(2)*KACT(M)
      SR(M)=Sig(2)*KNOT(M)
      SP(M)=Sig(2)*KPAS(M)
      IF(SISME.EQ.0) THEN
      SV(M)=ST(2)
      SSISME(M)=Sig(1)
      ELSE

      SV(M)=ST(2)
      SSISME(M)=ST(1)
      END IF

909 FORMAT(5X,I5,3X,8E13.4)
1025 FORMAT(
1//' - AKTİF, PASİF, SUKUNET HALİNDEKİ TOPRAK BASINÇLARI VE ŞİŞME
*BASINÇLARI '/')

899 FORMAT(/2X,' ELEMENT NO.      EPS.X      EPS.Y      ',
1'SIG.Y      SIG.ACT.      SIG.RST.      ','SIG.PAS  '
2,'SIG.SISME',' MOD.OF ELAS.',
3 /43X,'(Kg/M^2) (Kg/M^2) (Kg/M^2) ',
3'      (Kg/M^2) (Kg/M^2) (Kg/M^2) ',/)

      WRITE(6,909)M,EPX(M),EPY(M),
*SV(M),SA(M),SR(M),SP(M),SSISME(M),ES(M)
401 CONTINUE
      RETURN
C
      END

COo-----OOo-----O-----oOO-----OOOO
C
C      ALT PROGRAM DÖNGÜ
C      ARAKESİT ELEMANINDAKİ DEFORMASYONLARIN HESABI

      SUBROUTINE DONGU
C

      COMMON /MESH/ X(900),Y(900),R(900),U(900),KS(1800,1800),
1      EDNM(1500,4),ARGEM(1500,3),BAGEM(1500,3),MTIPI(900),
2      DNSAY,ELSAY,RETS,NFREE
      REAL KS*8
      COMMON/KJRV/KJS(900),KJN(900),KJSNU(900),KJNNU(900),ITER1,ITERS,IT
      REAL KJS, KJN,KJSNU,KJNNU
      COMMON /ACXY/RO(1500),ACELX,ACELY,NRES,INTER,C(3,3,1500)
      DIMENSION LAB(4),USN(8),CJ(9,900),F(8)
      EQUIVALENCE (CJ(1,1),C(1,1,1))
      REAL L,LHLF, KSO,KNO,MO

```

```

WRITE (6,2000)
CONV= ATAN(1.0)/45.0
MAT=MTIPI(M)
IF(MAT.LE.RETS)GO TO 800

```

```

II=EDNM(M,1)
JJ=EDNM(M,2)
DX=X(JJ)-X(II)
DY=Y(JJ)-Y(II)
L= SQRT(DX*DX+DY*DY)
COSA=DX/L
SINA=DY/L

```

```

DO 200 I=1,4
J=EDNM(M,I)
JJ=J+J-1
LAB(I)=JJ
II=I+I

```

```

C
C YERDEĞİŞTİRMELERİN LOKAL KOORDİNATLARA TRANSFORMU
C

```

```

USN(II-1) = U(JJ)*COSA+U(JJ+1)*SINA
USN(II) = -U(JJ)*SINA+U(JJ+1)*COSA
200 CONTINUE

```

```

C
IF(INTER.EQ.0)WRITE(6,999)USN
999 FORMAT(47H ARAKESİT YERDEĞİŞTİRME VEKTORU - LOKAL KOORDİNATLAR/
1 (2X,8E12.4))

```

```

VM=-CJ(5,MAT)
IF(ARGEM(M,2).LT.0.)VM= -CJ(5,MAT)*CJ(6,MAT)*ARGEM(M,2)

```

```

KNO = KJN(M)
KSO = KJS(M)
QU =CJ(1,MAT)
RAT=1/CJ(2,MAT)
TANTH=TAN(CJ(7,MAT)*CONV)
TANI=TAN(CJ(8,MAT)*CONV)

```

```

UO=(-USN(1)-USN(3)+USN(5)+USN(7))/2.0
VO=(-USN(2)-USN(4)+USN(6)+USN(8))/2.0
W =( USN(2)-USN(4)+USN(6)-USN(8))/L

```

```

TNS =KSO*UO +BAGEM(M,1)
SN =KNO*VO +BAGEM(M,2)
MO =L*L*L*KNO*W/4.0+BAGEM(M,3)

```

```

C
WRITE(6,2001)M,UO,VO,W,TNS,SN,MO
WRITE(6,*)
WRITE(6,*)
WRITE(6,*)

```

```

LHLF =L/2.0
SIGNE =1.0
TORM =0.0

```

```

      FNOM =0.0
      FNIM =0.0
C
      DO 550 I=1,2
      SIGNE =-SIGNE
C
C   İLK İTERASYON İÇİN DÜĞÜM KUVVETLERİNİN HESABI
C   FNIL   =   SON İTERASYON İÇİN NORMAL KUVVET
C   FSO    =   BAŞLANGIÇ KESME KUVVETİ
C   FNO    =   BAŞLANGIÇ NORMAL KUVVETİ
C   FSI    =   MEVCUT KESME KUVVETİ
C   FNI    =   MEVCUT NORMAL KUVVET
C
      FNIL = BAGEM(M,2)*LHLF + SIGNE*BAGEM(M,3)/L
      FNO  = ARGEM(M,2)*LHLF + SIGNE*ARGEM(M,3)/L
      FSO  = ARGEM(M,1)*LHLF
      FSI  = TNS*LHLF
      FNI  = SN*LHLF + SIGNE*MO/L
      SIGMA = FNI/LHLF

      IF(SIGMA.LT.0.0) GO TO 305
      TORP=0.0
      TORR=0.0
      TOR =0.0
      UP  =0.0
      UR  =0.0
      DILAT=0.0
      GO TO 460
305   IF(QU.LT.SIGMA)GO TO 320

      AS=1.0
      VDOT=0.0
      RATIO= 1.0
      GO TO 330

320  RATIO=SIGMA/QU
      AS=1.0-SQRT((1.0-RATIO)**3)
      VDOT=(1.0-RATIO)**4*TANI
330  TERM1 = SIGMA*(1.0-AS)*(VDOT+TANTH)
      TERM2 = AS*QU*(SQRT(RAT+1.0)-1.0)/RAT*SQRT(1.0+RAT*RATIO)
      TERM3 = 1.0-(1.0-AS)*VDOT*TANTH
      TORP=ABS( TERM1+TERM2)/TERM3
      TORR=TORP
      IF(QU.LT.SIGMA)TORR=TORP*(BO+(1.0-BO)*SIGMA/QU)
      AUO=ABS(UO)
      SEL=UO/AUO

      UP = (SEL*TORP-ARGEM( M,1))/KSO
      UR = (SEL*4.0*TORP-ARGEM(M,1))/KSO
      IF(AUO.GT.ABS(UP))GO TO 400
      TOR=KSO*UO + ARGEM(M,1)
      GO TO 450
400  IF ( AUO.GE.ABS(UR)) GO TO 430
      TOR=SEL*(TORP-(UO-UP)/(UR-UP)*(TORP-TORR))
      GO TO 450
430  TOR= SEL*TORR
      AUO=ABS(UR)
450  DILAT =(FNIL/(LHLF*QU)-1.0)**4*TANI*(AUO+ABS(FSO)/(KSO*LHLF))
460  DELS = TOR*LHLF - FSI

```

```

II=I+I
IJ=10-II
DELV=-USN(II) +USN(IJ)
IF(DELV) 520,510,500
500 DELN = (DELV/(VM-DELV)+1.0)*FNO - FNI
GO TO 530
510 DELN=0.0
GO TO 530
520 DELN = (DELV-VM*(FNI-FNO)/FNI)*KNO*LHLF
530 DILN =-DILAT*FNI/(VM)
F(II) =-DELN-DILN
F(II-1) =-DELS
F(IJ) = DELN+DILN
F(IJ-1) = DELS
IF (INTER .EQ. 0)WRITE (6,998) UP,UR,TORP,TORR,TOR,DILAT,DELV
998 FORMAT(5H UP=E12.4,4H UR=F12.4,6H TORP=E12.4,6H TORR=E12.4,
1 5H TOR=E12.4,8H DILAT=E12.4,6H DELV=E12.4)
TORM =TORM+TOR/2.0
FNIM =FNIM+FNI
FNOM =FNOM+FNO
550 CONTINUE
IF(INTER.EQ.0)WRITE(6,997)F
997 FORMAT(/30H ARAKESİT ICIN KUVVET ARTISI/2X,8E12.4)

BAGEM(M,1)=BAGEM(M,1)+(F(5)+F(7))/L
BAGEM(M,2)=BAGEM(M,2)+(F(6)+F(8))/L
BAGEM(M,3)=BAGEM(M,3)+(F(6)-F(8))*LHLF
DO 600 I=1,4
II=I+I-1
JJ=LAB(I)
R(JJ)=R(JJ)- F(II)*COSA+F(II+1)*SINA
R(JJ+1)=R(JJ+1)-F(II)*SINA- F(II+1)*COSA
600 CONTINUE
C
IF(IT.LT.ITERS) GO TO 800
KJSNU(M) = (TORM-ARGEM(M,1))/UO
IF(DELV) 700,800,750
700 KJNNU(M)=FNIM/(VM*L)
GO TO 800

750 KJNNU(M)=FNOM/((VM-DELV)*L)
800 CONTINUE
C
IF(INTER.NE.0)GO TO 900
WRITE(6,994)(KJS(I),KJN(I),I=1,ELSA)
994 FORMAT(/19H ARAKESİT RİJİTLİĞİ/(2X,10E12.4))
995
C
WRITE(6,996)(BAGEM(I,1),BAGEM(I,2),BAGEM(I,3),I=1,ELSA)
996 FORMAT(/38H ARTIMLARIN SONUNDA BAŞLANGIC GERİLMELERİ/
1 2(6X,5HKESME6X,6HNORMAL6X ,6HMOMENT11X )/
2 (2X,3E12.4,10X,3E12.4))

C
WRITE (6,995)(R(I),I=1,NFREE)
995 FORMAT(/25H ARTIMSAL YUK VEKTORU/(2X,10E12.4))
C
900 RETURN
C
END

```

**EK - 2**

**GİRDİ VERİLERİ LİSTESİ**

| ŞİŞEN ZEMİN |         |          |      |     |     |
|-------------|---------|----------|------|-----|-----|
| 92          | 150     | 20       | 144  | 6   | 1   |
|             | 1       | 1        |      |     |     |
| DÜĞÜM       | NOKTASI | VERİLERİ |      |     |     |
| 1           | 0.0     |          | 0.0  | 6.0 | 3.0 |
| 2           | 0.2     |          | 0.0  | 6.0 | 3.0 |
| 3           | 0.4     |          | 0.0  | 6.0 | 3.0 |
| 4           | 0.6     |          | 0.0  | 6.0 | 3.0 |
| 5           | 0.8     |          | 0.0  | 6.0 | 3.0 |
| 6           | 1.0     |          | 0.0  | 6.0 | 3.0 |
| 7           | 1.22    |          | 0.0  | 6.0 | 3.0 |
| 8           | 0.1     |          | 0.25 | 6.0 | 3.0 |
| 9           | 0.3     |          | 0.25 | 6.0 | 3.0 |
| 10          | 0.5     |          | 0.25 | 6.0 | 3.0 |
| 11          | 0.7     |          | 0.25 | 6.0 | 3.0 |
| 12          | 0.9     |          | 0.25 | 6.0 | 3.0 |
| 13          | 1.11    |          | 0.25 | 6.0 | 3.0 |
| 14          | 0.      |          | 0.51 | 6.0 | 3.0 |
| 15          | 0.2     |          | 0.51 | 6.0 | 3.0 |
| 16          | 0.4     |          | 0.51 | 6.0 | 3.0 |
| 17          | 0.6     |          | 0.51 | 6.0 | 3.0 |
| 18          | 0.8     |          | 0.51 | 6.0 | 3.0 |
| 19          | 1.      |          | 0.51 | 6.0 | 3.0 |
| 20          | 1.22    |          | 0.51 | 6.0 | 3.0 |
| 21          | 0.1     |          | 0.76 | 6.0 | 3.0 |
| 22          | 0.3     |          | 0.76 | 6.0 | 3.0 |
| 23          | 0.5     |          | 0.76 | 6.0 | 3.0 |
| 24          | 0.7     |          | 0.76 | 6.0 | 3.0 |
| 25          | 0.9     |          | 0.76 | 6.0 | 3.0 |
| 26          | 1.11    |          | 0.76 | 6.0 | 3.0 |
| 27          | 0.      |          | 1.02 | 6.0 | 3.0 |
| 28          | 0.2     |          | 1.02 | 6.0 | 3.0 |
| 29          | 0.4     |          | 1.02 | 6.0 | 3.0 |
| 30          | 0.6     |          | 1.02 | 6.0 | 3.0 |
| 31          | 0.8     |          | 1.02 | 6.0 | 3.0 |
| 32          | 1.      |          | 1.02 | 6.0 | 3.0 |
| 33          | 1.22    |          | 1.02 | 6.0 | 3.0 |
| 34          | 0.1     |          | 1.27 | 6.0 | 3.0 |
| 35          | 0.3     |          | 1.27 | 6.0 | 3.0 |
| 36          | 0.5     |          | 1.27 | 6.0 | 3.0 |
| 37          | 0.7     |          | 1.27 | 6.0 | 3.0 |
| 38          | 0.9     |          | 1.27 | 6.0 | 3.0 |
| 39          | 1.11    |          | 1.27 | 6.0 | 3.0 |
| 40          | 0.      |          | 1.53 | 6.0 | 3.0 |
| 41          | 0.2     |          | 1.53 | 6.0 | 3.0 |
| 42          | 0.4     |          | 1.53 | 6.0 | 3.0 |
| 43          | 0.6     |          | 1.53 | 6.0 | 3.0 |
| 44          | 0.8     |          | 1.53 | 6.0 | 3.0 |
| 45          | 1.      |          | 1.53 | 6.0 | 3.0 |
| 46          | 1.22    |          | 1.53 | 6.0 | 3.0 |
| 47          | 0.1     |          | 1.78 | 6.0 | 3.0 |
| 48          | 0.3     |          | 1.78 | 6.0 | 3.0 |
| 49          | 0.5     |          | 1.78 | 6.0 | 3.0 |
| 50          | 0.7     |          | 1.78 | 6.0 | 3.0 |
| 51          | 0.9     |          | 1.78 | 6.0 | 3.0 |
| 52          | 1.11    |          | 1.78 | 6.0 | 3.0 |
| 53          | 0.      |          | 2.04 | 6.0 | 3.0 |
| 54          | 0.2     |          | 2.04 | 6.0 | 3.0 |
| 55          | 0.4     |          | 2.04 | 6.0 | 3.0 |
| 56          | 0.6     |          | 2.04 | 6.0 | 3.0 |

|    |      |      |     |     |
|----|------|------|-----|-----|
| 57 | 0.8  | 2.04 | 6.0 | 3.0 |
| 58 | 1.   | 2.04 | 6.0 | 3.0 |
| 59 | 1.22 | 2.04 | 6.0 | 3.0 |
| 60 | 0.1  | 2.29 | 6.0 | 3.0 |
| 61 | 0.3  | 2.29 | 6.0 | 3.0 |
| 62 | 0.5  | 2.29 | 6.0 | 3.0 |
| 63 | 0.7  | 2.29 | 6.0 | 3.0 |
| 64 | 0.9  | 2.29 | 6.0 | 3.0 |
| 65 | 1.11 | 2.29 | 6.0 | 3.0 |
| 66 | 0.   | 2.55 | 6.0 | 3.0 |
| 67 | 0.2  | 2.55 | 6.0 | 3.0 |
| 68 | 0.4  | 2.55 | 6.0 | 3.0 |
| 69 | 0.6  | 2.55 | 6.0 | 3.0 |
| 70 | 0.8  | 2.55 | 6.0 | 3.0 |
| 71 | 1.   | 2.55 | 6.0 | 3.0 |
| 72 | 1.22 | 2.55 | 6.0 | 3.0 |
| 73 | 0.1  | 2.8  | 6.0 | 3.0 |
| 74 | 0.3  | 2.8  | 6.0 | 3.0 |
| 75 | 0.5  | 2.8  | 6.0 | 3.0 |
| 76 | 0.7  | 2.8  | 6.0 | 3.0 |
| 77 | 0.9  | 2.8  | 6.0 | 3.0 |
| 78 | 1.11 | 2.8  | 6.0 | 3.0 |
| 79 | 0.   | 3.05 | 6.0 | 3.0 |
| 80 | 0.2  | 3.05 | 6.0 | 3.0 |
| 81 | 0.4  | 3.05 | 6.0 | 3.0 |
| 82 | 0.6  | 3.05 | 6.0 | 3.0 |
| 83 | 0.8  | 3.05 | 6.0 | 3.0 |
| 84 | 1.   | 3.05 | 6.0 | 3.0 |
| 85 | 1.22 | 3.05 | 6.0 | 3.0 |
| 86 | 1.22 | 3.05 | 6.0 | 3.0 |
| 87 | 1.22 | 2.55 | 6.0 | 3.0 |
| 88 | 1.22 | 2.04 | 6.0 | 3.0 |
| 89 | 1.22 | 1.53 | 6.0 | 3.0 |
| 90 | 1.22 | 1.02 | 6.0 | 3.0 |
| 91 | 1.22 | 0.51 | 6.0 | 3.0 |
| 92 | 1.22 | 0.   | 6.0 | 3.0 |

## ELEMEN VERİLERİ

|    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|
| 1  | 1  | 1  | 2  | 8  |
| 2  | 2  | 2  | 3  | 9  |
| 3  | 3  | 3  | 4  | 10 |
| 4  | 4  | 4  | 5  | 11 |
| 5  | 5  | 5  | 6  | 12 |
| 6  | 6  | 6  | 7  | 13 |
| 7  | 7  | 7  | 20 | 13 |
| 8  | 8  | 6  | 13 | 19 |
| 9  | 9  | 6  | 19 | 12 |
| 10 | 10 | 5  | 12 | 18 |
| 11 | 11 | 5  | 18 | 11 |
| 12 | 12 | 4  | 11 | 17 |
| 13 | 13 | 4  | 17 | 10 |
| 14 | 14 | 3  | 10 | 16 |
| 15 | 15 | 3  | 16 | 9  |
| 16 | 16 | 2  | 9  | 15 |
| 17 | 17 | 2  | 15 | 8  |
| 18 | 18 | 1  | 8  | 14 |
| 19 | 19 | 14 | 8  | 15 |
| 20 | 20 | 15 | 9  | 16 |
| 21 | 21 | 16 | 10 | 17 |
| 22 | 22 | 17 | 11 | 18 |
| 23 | 23 | 18 | 12 | 19 |

|    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|
| 24 | 24 | 19 | 13 | 20 |
| 25 | 25 | 19 | 20 | 26 |
| 26 | 26 | 18 | 19 | 25 |
| 27 | 27 | 17 | 18 | 24 |
| 28 | 28 | 16 | 17 | 23 |
| 29 | 29 | 15 | 16 | 22 |
| 30 | 30 | 14 | 15 | 21 |
| 31 | 31 | 14 | 21 | 27 |
| 32 | 32 | 15 | 28 | 21 |
| 33 | 33 | 15 | 22 | 28 |
| 34 | 34 | 16 | 29 | 22 |
| 35 | 35 | 16 | 23 | 29 |
| 36 | 36 | 17 | 30 | 23 |
| 37 | 37 | 17 | 24 | 30 |
| 38 | 38 | 18 | 31 | 24 |
| 39 | 39 | 18 | 25 | 31 |
| 40 | 40 | 19 | 32 | 25 |
| 41 | 41 | 19 | 26 | 32 |
| 42 | 42 | 20 | 33 | 26 |
| 43 | 43 | 32 | 26 | 33 |
| 44 | 44 | 31 | 25 | 32 |
| 45 | 45 | 30 | 24 | 31 |
| 46 | 46 | 29 | 23 | 30 |
| 47 | 47 | 28 | 22 | 29 |
| 48 | 48 | 27 | 21 | 28 |
| 49 | 49 | 27 | 28 | 34 |
| 50 | 50 | 28 | 29 | 35 |
| 51 | 51 | 29 | 30 | 36 |
| 52 | 52 | 30 | 31 | 37 |
| 53 | 53 | 31 | 32 | 38 |
| 54 | 54 | 32 | 33 | 39 |
| 55 | 55 | 33 | 46 | 39 |
| 56 | 56 | 32 | 39 | 45 |
| 57 | 57 | 32 | 45 | 38 |
| 58 | 58 | 31 | 38 | 44 |
| 59 | 59 | 31 | 44 | 37 |
| 60 | 60 | 30 | 37 | 43 |
| 61 | 61 | 30 | 43 | 36 |
| 62 | 62 | 29 | 36 | 42 |
| 63 | 63 | 29 | 42 | 35 |
| 64 | 64 | 28 | 35 | 41 |
| 65 | 65 | 28 | 41 | 34 |
| 66 | 66 | 27 | 34 | 40 |
| 67 | 67 | 40 | 34 | 41 |
| 68 | 68 | 41 | 35 | 42 |
| 69 | 69 | 42 | 36 | 43 |
| 70 | 70 | 43 | 37 | 44 |
| 71 | 71 | 44 | 38 | 45 |
| 72 | 72 | 45 | 39 | 46 |
| 73 | 73 | 45 | 46 | 52 |
| 74 | 74 | 44 | 45 | 51 |
| 75 | 75 | 43 | 44 | 50 |
| 76 | 76 | 42 | 43 | 49 |
| 77 | 77 | 41 | 42 | 48 |
| 78 | 78 | 40 | 41 | 47 |
| 79 | 79 | 40 | 47 | 53 |
| 80 | 80 | 41 | 54 | 47 |
| 81 | 81 | 41 | 48 | 54 |
| 82 | 82 | 42 | 55 | 48 |
| 83 | 83 | 42 | 49 | 55 |



|     |     |    |    |    |
|-----|-----|----|----|----|
| 84  | 84  | 43 | 56 | 49 |
| 85  | 85  | 43 | 50 | 56 |
| 86  | 86  | 44 | 57 | 50 |
| 87  | 87  | 44 | 51 | 57 |
| 88  | 88  | 45 | 58 | 51 |
| 89  | 89  | 45 | 52 | 58 |
| 90  | 90  | 46 | 59 | 52 |
| 91  | 91  | 58 | 52 | 59 |
| 92  | 92  | 57 | 51 | 58 |
| 93  | 93  | 56 | 50 | 57 |
| 94  | 94  | 55 | 49 | 56 |
| 95  | 95  | 54 | 48 | 55 |
| 96  | 96  | 53 | 47 | 54 |
| 97  | 97  | 53 | 54 | 60 |
| 98  | 98  | 54 | 55 | 61 |
| 99  | 99  | 55 | 56 | 62 |
| 100 | 100 | 56 | 57 | 63 |
| 101 | 101 | 57 | 58 | 60 |
| 102 | 102 | 58 | 59 | 65 |
| 103 | 103 | 59 | 72 | 65 |
| 104 | 104 | 58 | 65 | 71 |
| 105 | 105 | 58 | 71 | 60 |
| 106 | 106 | 57 | 64 | 70 |
| 107 | 107 | 57 | 70 | 63 |
| 108 | 108 | 56 | 63 | 69 |
| 109 | 109 | 56 | 69 | 62 |
| 110 | 110 | 55 | 62 | 68 |
| 111 | 111 | 55 | 68 | 61 |
| 112 | 112 | 54 | 61 | 67 |
| 113 | 113 | 54 | 67 | 60 |
| 114 | 114 | 53 | 60 | 66 |
| 115 | 115 | 66 | 60 | 67 |
| 116 | 116 | 67 | 61 | 68 |
| 117 | 117 | 68 | 62 | 69 |
| 118 | 118 | 69 | 63 | 70 |
| 119 | 119 | 70 | 60 | 71 |
| 120 | 120 | 71 | 65 | 72 |
| 121 | 121 | 71 | 72 | 78 |
| 122 | 122 | 70 | 71 | 77 |
| 123 | 123 | 69 | 70 | 76 |
| 124 | 124 | 68 | 69 | 75 |
| 125 | 125 | 67 | 68 | 74 |
| 126 | 126 | 66 | 67 | 73 |
| 127 | 127 | 66 | 73 | 79 |
| 128 | 128 | 67 | 80 | 73 |
| 129 | 129 | 67 | 74 | 80 |
| 130 | 130 | 68 | 81 | 74 |
| 131 | 131 | 68 | 75 | 81 |
| 132 | 132 | 69 | 82 | 75 |
| 133 | 133 | 69 | 76 | 82 |
| 134 | 134 | 70 | 83 | 76 |
| 135 | 135 | 70 | 77 | 83 |
| 136 | 136 | 71 | 84 | 77 |
| 137 | 137 | 71 | 78 | 84 |
| 138 | 138 | 72 | 85 | 78 |
| 139 | 139 | 84 | 78 | 85 |
| 140 | 140 | 83 | 77 | 84 |
| 141 | 141 | 82 | 76 | 83 |
| 142 | 142 | 81 | 75 | 82 |
| 143 | 143 | 80 | 74 | 81 |

|     |     |    |    |    |    |
|-----|-----|----|----|----|----|
| 144 | 144 | 79 | 73 | 80 |    |
| 145 | 145 | 87 | 86 | 85 | 72 |
| 146 | 146 | 88 | 87 | 72 | 59 |
| 147 | 147 | 89 | 88 | 59 | 46 |
| 148 | 148 | 90 | 89 | 46 | 33 |
| 149 | 149 | 91 | 90 | 33 | 20 |
| 150 | 150 | 92 | 91 | 20 | 7  |

## SINIR ŞARTLARI

|    |   |
|----|---|
| 1  | 3 |
| 2  | 2 |
| 3  | 2 |
| 4  | 2 |
| 5  | 2 |
| 6  | 2 |
| 7  | 2 |
| 14 | 1 |
| 27 | 1 |
| 40 | 1 |
| 53 | 1 |
| 66 | 1 |
| 79 | 1 |
| 86 | 3 |
| 87 | 3 |
| 88 | 3 |
| 89 | 3 |
| 90 | 3 |
| 91 | 3 |
| 92 | 3 |

## KATI ELEMAN ÖZELLİKLERİ

|    |    |      |         |         |         |     |     |      |
|----|----|------|---------|---------|---------|-----|-----|------|
| 1  | 1  | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 2  | 2  | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 3  | 3  | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 4  | 4  | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 5  | 5  | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 6  | 6  | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 7  | 7  | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 8  | 8  | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 9  | 9  | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 10 | 10 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 11 | 11 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 12 | 12 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 13 | 13 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 14 | 14 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 15 | 15 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 16 | 16 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 17 | 17 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 18 | 18 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 19 | 19 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 20 | 20 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 21 | 21 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 22 | 22 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 23 | 23 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 24 | 24 | 1.76 | 770350. | 770350. | 296289. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 25 | 25 | 1.76 | 735762. | 735762. | 282985. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 26 | 26 | 1.76 | 735762. | 735762. | 282985. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 27 | 27 | 1.76 | 735762. | 735762. | 282985. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 28 | 28 | 1.76 | 735762. | 735762. | 282985. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 29 | 29 | 1.76 | 735762. | 735762. | 282985. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 30 | 30 | 1.76 | 735762. | 735762. | 282985. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 31 | 31 | 1.76 | 735762. | 735762. | 282985. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 32 | 32 | 1.76 | 735762. | 735762. | 282985. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 33 | 33 | 1.76 | 735762. | 735762. | 282985. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 34 | 34 | 1.76 | 735762. | 735762. | 282985. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 35 | 35 | 1.76 | 735762. | 735762. | 282985. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 36 | 36 | 1.76 | 735762. | 735762. | 282985. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 37 | 37 | 1.76 | 735762. | 735762. | 282985. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |
| 38 | 38 | 1.76 | 735762. | 735762. | 282985. | 0.3 | 0.3 | 0.02 |



|                             |       |      |         |         |         |      |      |      |
|-----------------------------|-------|------|---------|---------|---------|------|------|------|
| 114                         | 114   | 1.76 | 510946. | 510946. | 196518. | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 115                         | 115   | 1.76 | 510946. | 510946. | 196518. | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 116                         | 116   | 1.76 | 510946. | 510946. | 196518. | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 117                         | 117   | 1.76 | 510946. | 510946. | 196518. | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 118                         | 118   | 1.76 | 510946. | 510946. | 196518. | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 119                         | 119   | 1.76 | 510946. | 510946. | 196518. | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 120                         | 120   | 1.76 | 510946. | 510946. | 196518. | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 121                         | 121   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 122                         | 122   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 123                         | 123   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 124                         | 124   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 125                         | 125   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 126                         | 126   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 127                         | 127   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 128                         | 128   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 129                         | 129   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 130                         | 130   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 131                         | 131   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 132                         | 132   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 133                         | 133   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 134                         | 134   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 135                         | 135   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 136                         | 136   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 137                         | 137   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 138                         | 138   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 139                         | 139   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 140                         | 140   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 141                         | 141   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 142                         | 142   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 143                         | 143   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| 144                         | 144   | 1.76 | 196518. | 196518. | 75584.  | 0.3  | 0.3  | 0.02 |
| ARAKESİT ELEMAN ÖZELLİKLERİ |       |      |         |         |         |      |      |      |
| 145                         | -100. |      | 0.100   | 100.    | 0.6     | 0.05 | -0.1 | 30.  |
| 146                         | -100. |      | 0.100   | 100.    | 0.6     | 0.05 | -0.1 | 30.  |
| 147                         | -100. |      | 0.100   | 100.    | 0.6     | 0.05 | -0.1 | 30.  |
| 148                         | -100. |      | 0.100   | 100.    | 0.6     | 0.05 | -0.1 | 30.  |
| 149                         | -100. |      | 0.100   | 100.    | 0.6     | 0.05 | -0.1 | 30.  |
| 150                         | -100. |      | 0.100   | 100.    | 0.6     | 0.05 | -0.1 | 30.  |
| START                       |       |      |         |         |         |      |      |      |
| STOP                        |       |      |         |         |         |      |      |      |

**EK - 3**

**ÇIKTI VERİLERİ LİSTESİ**

## ŞİŞEN ZEMİN

DÜĞÜM NOKTALARI SAYISI.....= 92  
 TOPLAM ELEMAN SAYISI.....=150  
 SINIRLAN.DÜĞÜM. NOK. SAYISI.....= 20  
 ZEMİN ELEMAN SAYISI.....=144  
 ARAKESİT ELEMAN SAYISI.....= 6  
 BAŞLANGIÇ İTERASYON SAYISI.....= 1  
 İTERASYON SAYISI.....= 15  
 YERÇEKİMİ - VAR(1)/YOK(0).....= 1.  
 YERÇEKİMİ İVMESİ.....= .1000E+02

## -DÜĞÜM NOKTALARI KOORDİNATI, YÜKLER VE EMME GERİLMELERİ

| ELEMAN<br>NUM.<br>-- | X-<br>KOORD.<br>(M) | Y-<br>KOORD.<br>(M) | X-<br>(YÜKÜ)<br>(Kg) | Y-<br>(YÜKÜ)<br>(Kg) | BAŞ.EMME<br>BASINCI<br>(pF) | SON EMME.<br>BASINCI<br>(pF) |
|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1                    | .00                 | .00                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 2                    | .20                 | .00                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 3                    | .40                 | .00                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 4                    | .60                 | .00                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 5                    | .80                 | .00                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 6                    | 1.00                | .00                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 7                    | 1.22                | .00                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 8                    | .10                 | .25                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 9                    | .30                 | .25                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 10                   | .50                 | .25                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 11                   | .70                 | .25                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 12                   | .90                 | .25                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 13                   | 1.11                | .25                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 14                   | .00                 | .51                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 15                   | .20                 | .51                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 16                   | .40                 | .51                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 17                   | .60                 | .51                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 18                   | .80                 | .51                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 19                   | 1.00                | .51                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 20                   | 1.22                | .51                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 21                   | .10                 | .76                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 22                   | .30                 | .76                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 23                   | .50                 | .76                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 24                   | .70                 | .76                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 25                   | .90                 | .76                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 26                   | 1.11                | .76                 | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 27                   | .00                 | 1.02                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 28                   | .20                 | 1.02                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 29                   | .40                 | 1.02                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 30                   | .60                 | 1.02                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 31                   | .80                 | 1.02                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 32                   | 1.00                | 1.02                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 33                   | 1.22                | 1.02                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 34                   | .10                 | 1.27                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 35                   | .30                 | 1.27                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 36                   | .50                 | 1.27                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 37                   | .70                 | 1.27                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 38                   | .90                 | 1.27                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 39                   | 1.11                | 1.27                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 40                   | .00                 | 1.53                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 41                   | .20                 | 1.53                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 42                   | .40                 | 1.53                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 43                   | .60                 | 1.53                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 44                   | .80                 | 1.53                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 45                   | 1.00                | 1.53                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 46                   | 1.22                | 1.53                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 47                   | .10                 | 1.78                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 48                   | .30                 | 1.78                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 49                   | .50                 | 1.78                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |
| 50                   | .70                 | 1.78                | .0000E+00            | .0000E+00            | 6.00                        | 3.00                         |

|    |      |      |           |           |      |      |
|----|------|------|-----------|-----------|------|------|
| 51 | .90  | 1.78 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 52 | 1.11 | 1.78 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 53 | .00  | 2.04 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 54 | .20  | 2.04 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 55 | .40  | 2.04 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 56 | .60  | 2.04 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 57 | .80  | 2.04 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 58 | 1.00 | 2.04 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 59 | 1.22 | 2.04 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 60 | .10  | 2.29 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 61 | .30  | 2.29 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 62 | .50  | 2.29 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 63 | .70  | 2.29 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 64 | .90  | 2.29 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 65 | 1.11 | 2.29 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 66 | .00  | 2.55 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 67 | .20  | 2.55 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 68 | .40  | 2.55 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 69 | .60  | 2.55 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 70 | .80  | 2.55 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 71 | 1.00 | 2.55 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 72 | 1.22 | 2.55 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 73 | .10  | 2.80 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 74 | .30  | 2.80 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 75 | .50  | 2.80 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 76 | .70  | 2.80 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 77 | .90  | 2.80 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 78 | 1.11 | 2.80 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 79 | .00  | 3.05 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 80 | .20  | 3.05 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 81 | .40  | 3.05 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 82 | .60  | 3.05 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 83 | .80  | 3.05 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 84 | 1.00 | 3.05 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 85 | 1.22 | 3.05 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 86 | 1.22 | 3.05 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 87 | 1.22 | 2.55 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 88 | 1.22 | 2.04 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 89 | 1.22 | 1.53 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 90 | 1.22 | 1.02 | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 91 | 1.22 | .51  | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |
| 92 | 1.22 | .00  | .0000E+00 | .0000E+00 | 6.00 | 3.00 |

## -ELEMEN TİPİ VE DÜĞÜM NUMARALARI

| ELEMEN<br>NUM. | 1.DÜĞÜM<br>NOK. | 2.DÜĞÜM<br>NOK. | 3.DÜĞÜM<br>NOK. |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1              | 1               | 2               | 8               |
| 2              | 2               | 3               | 9               |
| 3              | 3               | 4               | 10              |
| 4              | 4               | 5               | 11              |
| 5              | 5               | 6               | 12              |
| 6              | 6               | 7               | 13              |
| 7              | 7               | 20              | 13              |
| 8              | 6               | 13              | 19              |
| 9              | 6               | 19              | 12              |
| 10             | 5               | 12              | 18              |
| 11             | 5               | 18              | 11              |
| 12             | 4               | 11              | 17              |
| 13             | 4               | 17              | 10              |
| 14             | 3               | 10              | 16              |
| 15             | 3               | 16              | 9               |
| 16             | 2               | 9               | 15              |
| 17             | 2               | 15              | 8               |
| 18             | 1               | 8               | 14              |

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 19 | 14 | 8  | 15 |
| 20 | 15 | 9  | 16 |
| 21 | 16 | 10 | 17 |
| 22 | 17 | 11 | 18 |
| 23 | 18 | 12 | 19 |
| 24 | 19 | 13 | 20 |
| 25 | 19 | 20 | 26 |
| 26 | 18 | 19 | 25 |
| 27 | 17 | 18 | 24 |
| 28 | 16 | 17 | 23 |
| 29 | 15 | 16 | 22 |
| 30 | 14 | 15 | 21 |
| 31 | 14 | 21 | 27 |
| 32 | 15 | 28 | 21 |
| 33 | 15 | 22 | 28 |
| 34 | 16 | 29 | 22 |
| 35 | 16 | 23 | 29 |
| 36 | 17 | 30 | 23 |
| 37 | 17 | 24 | 30 |
| 38 | 18 | 31 | 24 |
| 39 | 18 | 25 | 31 |
| 40 | 19 | 32 | 25 |
| 41 | 19 | 26 | 32 |
| 42 | 20 | 33 | 26 |
| 43 | 32 | 26 | 33 |
| 44 | 31 | 25 | 32 |
| 45 | 30 | 24 | 31 |
| 46 | 29 | 23 | 30 |
| 47 | 28 | 22 | 29 |
| 48 | 27 | 21 | 28 |
| 49 | 27 | 28 | 34 |
| 50 | 28 | 29 | 35 |
| 51 | 29 | 30 | 36 |
| 52 | 30 | 31 | 37 |
| 53 | 31 | 32 | 38 |
| 54 | 32 | 33 | 39 |
| 55 | 33 | 46 | 39 |
| 56 | 32 | 39 | 45 |
| 57 | 32 | 45 | 38 |
| 58 | 31 | 38 | 44 |
| 59 | 31 | 44 | 37 |
| 60 | 30 | 37 | 43 |
| 61 | 30 | 43 | 36 |
| 62 | 29 | 36 | 42 |
| 63 | 29 | 42 | 35 |
| 64 | 28 | 35 | 41 |
| 65 | 28 | 41 | 34 |
| 66 | 27 | 34 | 40 |
| 67 | 40 | 34 | 41 |
| 68 | 41 | 35 | 42 |
| 69 | 42 | 36 | 43 |
| 70 | 43 | 37 | 44 |
| 71 | 44 | 38 | 45 |
| 72 | 45 | 39 | 46 |
| 73 | 45 | 46 | 52 |
| 74 | 44 | 45 | 51 |
| 75 | 43 | 44 | 50 |
| 76 | 42 | 43 | 49 |
| 77 | 41 | 42 | 48 |
| 78 | 40 | 41 | 47 |
| 79 | 40 | 47 | 53 |
| 80 | 41 | 54 | 47 |
| 81 | 41 | 48 | 54 |
| 82 | 42 | 55 | 48 |
| 83 | 42 | 49 | 55 |
| 84 | 43 | 56 | 49 |
| 85 | 43 | 50 | 56 |



|     |    |    |    |
|-----|----|----|----|
| 86  | 44 | 57 | 50 |
| 87  | 44 | 51 | 57 |
| 88  | 45 | 58 | 51 |
| 89  | 45 | 52 | 58 |
| 90  | 46 | 59 | 52 |
| 91  | 58 | 52 | 59 |
| 92  | 57 | 51 | 58 |
| 93  | 56 | 50 | 57 |
| 94  | 55 | 49 | 56 |
| 95  | 54 | 48 | 55 |
| 96  | 53 | 47 | 54 |
| 97  | 53 | 54 | 60 |
| 98  | 54 | 55 | 61 |
| 99  | 55 | 56 | 62 |
| 100 | 56 | 57 | 63 |
| 101 | 57 | 58 | 60 |
| 102 | 58 | 59 | 65 |
| 103 | 59 | 72 | 65 |
| 104 | 58 | 65 | 71 |
| 105 | 58 | 71 | 60 |
| 106 | 57 | 64 | 70 |
| 107 | 57 | 70 | 63 |
| 108 | 56 | 63 | 69 |
| 109 | 56 | 69 | 62 |
| 110 | 55 | 62 | 68 |
| 111 | 55 | 68 | 61 |
| 112 | 54 | 61 | 67 |
| 113 | 54 | 67 | 60 |
| 114 | 53 | 60 | 66 |
| 115 | 66 | 60 | 67 |
| 116 | 67 | 61 | 68 |
| 117 | 68 | 62 | 69 |
| 118 | 69 | 63 | 70 |
| 119 | 70 | 60 | 71 |
| 120 | 71 | 65 | 72 |
| 121 | 71 | 72 | 78 |
| 122 | 70 | 71 | 77 |
| 123 | 69 | 70 | 76 |
| 124 | 68 | 69 | 75 |
| 125 | 67 | 68 | 74 |
| 126 | 66 | 67 | 73 |
| 127 | 66 | 73 | 79 |
| 128 | 67 | 80 | 73 |
| 129 | 67 | 74 | 80 |
| 130 | 68 | 81 | 74 |
| 131 | 68 | 75 | 81 |
| 132 | 69 | 82 | 75 |
| 133 | 69 | 76 | 82 |
| 134 | 70 | 83 | 76 |
| 135 | 70 | 77 | 83 |
| 136 | 71 | 84 | 77 |
| 137 | 71 | 78 | 84 |
| 138 | 72 | 85 | 78 |
| 139 | 84 | 78 | 85 |
| 140 | 83 | 77 | 84 |
| 141 | 82 | 76 | 83 |
| 142 | 81 | 75 | 82 |
| 143 | 80 | 74 | 81 |
| 144 | 79 | 73 | 80 |

## --ARAKESİT ELEMEN

|     |    |    |    |    |
|-----|----|----|----|----|
| 145 | 87 | 86 | 85 | 72 |
| 146 | 88 | 87 | 72 | 59 |
| 147 | 89 | 88 | 59 | 46 |
| 148 | 90 | 89 | 46 | 33 |
| 149 | 91 | 90 | 33 | 20 |
| 150 | 92 | 91 | 20 | 7  |

## -DÜĞÜM NOKYASI YER DEĞİŞTİRME KODU

| DÜĞÜM<br>NOKTASI. | KOD |
|-------------------|-----|
| 1                 | 3   |
| 2                 | 2   |
| 3                 | 2   |
| 4                 | 2   |
| 5                 | 2   |
| 6                 | 2   |
| 7                 | 2   |
| 14                | 1   |
| 27                | 1   |
| 40                | 1   |
| 53                | 1   |
| 66                | 1   |
| 79                | 1   |
| 86                | 3   |
| 87                | 3   |
| 88                | 3   |
| 89                | 3   |
| 90                | 3   |
| 91                | 3   |
| 92                | 3   |

## -KATI ELEMAN ÖZELLİKLERİ

| ELEMAN<br>NUM. | ELEMAN<br>TİPİ. | YOĞUNLUK<br>(Kg/m <sup>3</sup> ) | ELAS. (S)<br>MODÜLÜ<br>(Kg/m <sup>2</sup> ) | ELAS. (N)<br>MODÜLÜ<br>(Kg/m <sup>2</sup> ) | KAYMA<br>MODÜLÜ<br>(Kg/m <sup>2</sup> ) | POISSON<br>ORANI<br>(ST) | POISSON<br>ORANI<br>(SN) | SCI  |
|----------------|-----------------|----------------------------------|---|---|---|--------------------------|--------------------------|------|
| 1              | 1               | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 2              | 2               | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 3              | 3               | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 4              | 4               | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 5              | 5               | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 6              | 6               | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 7              | 7               | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 8              | 8               | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 9              | 9               | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 10             | 10              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 11             | 11              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 12             | 12              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 13             | 13              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 14             | 14              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 15             | 15              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 16             | 16              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 17             | 17              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 18             | 18              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 19             | 19              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 20             | 20              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 21             | 21              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 22             | 22              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 23             | 23              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 24             | 24              | 1.760                            | 770350.000                                  | 770350.000                                  | 296289.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 25             | 25              | 1.760                            | 735762.000                                  | 735762.000                                  | 282985.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 26             | 26              | 1.760                            | 735762.000                                  | 735762.000                                  | 282985.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 27             | 27              | 1.760                            | 735762.000                                  | 735762.000                                  | 282985.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 28             | 28              | 1.760                            | 735762.000                                  | 735762.000                                  | 282985.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 29             | 29              | 1.760                            | 735762.000                                  | 735762.000                                  | 282985.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 30             | 30              | 1.760                            | 735762.000                                  | 735762.000                                  | 282985.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 31             | 31              | 1.760                            | 735762.000                                  | 735762.000                                  | 282985.000                              | .300                     | .300                     | .020 |
| 32             | 32              | 1.760                            | 735762.000                                  | 735762.000                                  | 282985.000                              | .300                     | .300                     | .020 |







## ARAKESİT ÖZELLİKLERİ

ARAKESİT ELEMAN TİPİ NO.....=145  
 MAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ.....= -.1000E+03  
 MİNİMUM-MAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ ORAN...= .1000  
 KAYMA RİJİTLİĞİ.....= .1000E+03  
 ARTIK-MAKSİMUM KESME GERİLMESİ ORANI....= .6000E+00  
 NORMAL DOĞ. MAKSİMUM YAKINSAKLIK.....= .5000E-01  
 ARAKESİT YÜZEYİNİN SÜRTÜNME AÇISI.....= .3000E+02  
 DİLATASYON AÇISI.....= .0000E+00  
 ARAKESİT ELEMAN TİPİ NO.....=146  
 MAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ.....= -.1000E+03  
 MİNİMUM-MAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ ORAN...= .1000  
 KAYMA RİJİTLİĞİ.....= .1000E+03  
 ARTIK-MAKSİMUM KESME GERİLMESİ ORANI....= .6000E+00  
 NORMAL DOĞ. MAKSİMUM YAKINSAKLIK.....= .5000E-01  
 ARAKESİT YÜZEYİNİN SÜRTÜNME AÇISI.....= .3000E+02  
 DİLATASYON AÇISI.....= .0000E+00  
 ARAKESİT ELEMAN TİPİ NO.....=147  
 MAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ.....= -.1000E+03  
 MİNİMUM-MAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ ORAN...= .1000  
 KAYMA RİJİTLİĞİ.....= .1000E+03  
 ARTIK-MAKSİMUM KESME GERİLMESİ ORANI....= .6000E+00  
 NORMAL DOĞ. MAKSİMUM YAKINSAKLIK.....= .5000E-01  
 ARAKESİT YÜZEYİNİN SÜRTÜNME AÇISI.....= .3000E+02  
 DİLATASYON AÇISI.....= .0000E+00  
 ARAKESİT ELEMAN TİPİ NO.....=148  
 MAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ.....= -.1000E+03  
 MİNİMUM-MAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ ORAN...= .1000  
 KAYMA RİJİTLİĞİ.....= .1000E+03  
 ARTIK-MAKSİMUM KESME GERİLMESİ ORANI....= .6000E+00  
 NORMAL DOĞ. MAKSİMUM YAKINSAKLIK.....= .5000E-01  
 ARAKESİT YÜZEYİNİN SÜRTÜNME AÇISI.....= .3000E+02  
 DİLATASYON AÇISI.....= .0000E+00  
 ARAKESİT ELEMAN TİPİ NO.....=149  
 MAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ.....= -.1000E+03  
 MİNİMUM-MAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ ORAN...= .1000  
 KAYMA RİJİTLİĞİ.....= .1000E+03  
 ARTIK-MAKSİMUM KESME GERİLMESİ ORANI....= .6000E+00  
 NORMAL DOĞ. MAKSİMUM YAKINSAKLIK.....= .5000E-01  
 ARAKESİT YÜZEYİNİN SÜRTÜNME AÇISI.....= .3000E+02  
 DİLATASYON AÇISI.....= .0000E+00  
 ARAKESİT ELEMAN TİPİ NO.....=150  
 MAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ.....= -.1000E+03  
 MİNİMUM-MAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ ORAN...= .1000  
 KAYMA RİJİTLİĞİ.....= .1000E+03  
 ARTIK-MAKSİMUM KESME GERİLMESİ ORANI....= .6000E+00  
 NORMAL DOĞ. MAKSİMUM YAKINSAKLIK.....= .5000E-01  
 ARAKESİT YÜZEYİNİN SÜRTÜNME AÇISI.....= .3000E+02  
 DİLATASYON AÇISI.....= .0000E+00

## -DÜĞÜM NOKTASI -X- VE -Y- YER DEĞİŞTİRMELERİ

| DÜĞÜM<br>NOKTASI. | X-YER DEĞİŞTİRMESİ<br>(METRE) | Y-YER DEĞİŞTİRMESİ<br>(METRE) |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1                 | .000000                       | .000000                       |
| 2                 | .004377                       | .000000                       |
| 3                 | .008745                       | .000000                       |
| 4                 | .013094                       | .000000                       |
| 5                 | .017420                       | .000000                       |
| 6                 | .021727                       | .000000                       |
| 7                 | .025846                       | .000000                       |
| 8                 | .002187                       | .005132                       |
| 9                 | .006555                       | .005151                       |
| 10                | .010908                       | .005189                       |
| 11                | .015237                       | .005238                       |
| 12                | .019536                       | .005290                       |
| 13                | .023716                       | .005335                       |
| 14                | .000000                       | .010354                       |
| 15                | .004365                       | .010375                       |
| 16                | .008718                       | .010435                       |
| 17                | .013050                       | .010531                       |
| 18                | .017350                       | .010644                       |
| 19                | .021612                       | .010753                       |
| 20                | .025645                       | .010849                       |
| 21                | .002170                       | .015474                       |
| 22                | .006504                       | .015541                       |
| 23                | .010822                       | .015663                       |
| 24                | .015127                       | .015832                       |
| 25                | .019404                       | .016029                       |
| 26                | .023549                       | .016235                       |
| 27                | .000000                       | .020672                       |
| 28                | .004308                       | .020724                       |
| 29                | .008603                       | .020865                       |
| 30                | .012888                       | .021051                       |
| 31                | .017173                       | .021316                       |
| 32                | .021419                       | .021625                       |
| 33                | .025450                       | .021926                       |
| 34                | .002075                       | .025837                       |
| 35                | .006261                       | .025931                       |
| 36                | .010503                       | .026134                       |
| 37                | .014698                       | .026431                       |
| 38                | .018871                       | .026841                       |
| 39                | .022921                       | .027346                       |
| 40                | .000000                       | .031170                       |
| 41                | .003996                       | .031181                       |
| 42                | .008139                       | .031251                       |
| 43                | .012309                       | .031643                       |
| 44                | .016348                       | .032080                       |
| 45                | .020435                       | .032659                       |
| 46                | .024144                       | .033611                       |
| 47                | .001925                       | .036590                       |
| 48                | .005795                       | .036415                       |
| 49                | .009579                       | .036591                       |
| 50                | .013531                       | .037314                       |
| 51                | .017195                       | .038068                       |
| 52                | .020880                       | .038672                       |
| 53                | .000000                       | .042391                       |
| 54                | .003824                       | .041947                       |
| 55                | .007212                       | .041973                       |
| 56                | .010663                       | .042160                       |
| 57                | .014417                       | .043779                       |
| 58                | .017387                       | .044720                       |
| 59                | .022180                       | .043197                       |
| 60                | .002753                       | .047635                       |
| 61                | .005562                       | .047608                       |
| 62                | .008888                       | .047376                       |



|    |         |         |
|----|---------|---------|
| 63 | .012205 | .046825 |
| 64 | .016983 | .046388 |
| 65 | .019906 | .046311 |
| 66 | .000000 | .052919 |
| 67 | .004007 | .053555 |
| 68 | .007299 | .053256 |
| 69 | .010665 | .052381 |
| 70 | .014391 | .049092 |
| 71 | .016862 | .047306 |
| 72 | .022024 | .049744 |
| 73 | .002008 | .058883 |
| 74 | .006095 | .059065 |
| 75 | .010049 | .058357 |
| 76 | .014168 | .056489 |
| 77 | .017656 | .054615 |
| 78 | .021160 | .053134 |
| 79 | .000000 | .064487 |
| 80 | .004215 | .064436 |
| 81 | .008858 | .064148 |
| 82 | .013498 | .062828 |
| 83 | .017606 | .061413 |
| 84 | .021784 | .059553 |
| 85 | .025491 | .056886 |
| 86 | .000000 | .000000 |
| 87 | .000000 | .000000 |
| 88 | .000000 | .000000 |
| 89 | .000000 | .000000 |
| 90 | .000000 | .000000 |
| 91 | .000000 | .000000 |
| 92 | .000000 | .000000 |

## -ZEMİN ELEMANINDAKİ GERİLMELER

| ELEMAN<br>NUM.<br>-- | XX-<br>GERİLM.<br>(Kg/m <sup>2</sup> ) | YY-<br>GERİLM.<br>(Kg/m <sup>2</sup> ) | XY-<br>GERİLM.<br>(Kg/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|--|--|--|
| 1                    | .3182E+05                              | .3101E+05                              | -.2065E+01                             |
| 2                    | .3180E+05                              | .3107E+05                              | -.6882E+01                             |
| 3                    | .3177E+05                              | .3119E+05                              | -.1300E+02                             |
| 4                    | .3175E+05                              | .3134E+05                              | -.2416E+02                             |
| 5                    | .3174E+05                              | .3152E+05                              | -.4519E+02                             |
| 6                    | .2890E+05                              | .3045E+05                              | -.8335E+02                             |
| 7                    | .2860E+05                              | .3027E+05                              | -.1617E+03                             |
| 8                    | .2865E+05                              | .3013E+05                              | .1050E+03                              |
| 9                    | .3151E+05                              | .3136E+05                              | -.1229E+03                             |
| 10                   | .3157E+05                              | .3120E+05                              | .1744E+03                              |
| 11                   | .3156E+05                              | .3119E+05                              | -.1030E+03                             |
| 12                   | .3162E+05                              | .3103E+05                              | .2009E+03                              |
| 13                   | .3162E+05                              | .3103E+05                              | -.1048E+03                             |
| 14                   | .3167E+05                              | .3089E+05                              | .2028E+03                              |
| 15                   | .3166E+05                              | .3089E+05                              | -.1223E+03                             |
| 16                   | .3169E+05                              | .3080E+05                              | .1860E+03                              |
| 17                   | .3169E+05                              | .3080E+05                              | -.1432E+03                             |
| 18                   | .3170E+05                              | .3077E+05                              | .1658E+03                              |
| 19                   | .3158E+05                              | .3057E+05                              | .2533E+02                              |
| 20                   | .3155E+05                              | .3063E+05                              | .7246E+02                              |
| 21                   | .3151E+05                              | .3074E+05                              | .1141E+03                              |
| 22                   | .3144E+05                              | .3089E+05                              | .1256E+03                              |
| 23                   | .3135E+05                              | .3104E+05                              | .1002E+03                              |
| 24                   | .2835E+05                              | .2995E+05                              | .2947E+02                              |
| 25                   | .2738E+05                              | .2931E+05                              | .3271E+02                              |
| 26                   | .3016E+05                              | .3017E+05                              | .6786E+02                              |
| 27                   | .3020E+05                              | .2991E+05                              | .7754E+02                              |
| 28                   | .3025E+05                              | .2972E+05                              | .6560E+02                              |
| 29                   | .3028E+05                              | .2959E+05                              | .4320E+02                              |

|    |           |           |            |
|----|-----------|-----------|------------|
| 30 | .3029E+05 | .2951E+05 | .1583E+02  |
| 31 | .3008E+05 | .2925E+05 | .1747E+03  |
| 32 | .3007E+05 | .2929E+05 | -.1051E+03 |
| 33 | .3008E+05 | .2930E+05 | .2328E+03  |
| 34 | .3004E+05 | .2941E+05 | -.4643E+02 |
| 35 | .3008E+05 | .2943E+05 | .2630E+03  |
| 36 | .3004E+05 | .2955E+05 | -.2012E+02 |
| 37 | .3012E+05 | .2959E+05 | .3189E+03  |
| 38 | .3004E+05 | .2979E+05 | .2441E+02  |
| 39 | .3008E+05 | .2981E+05 | .3376E+03  |
| 40 | .2998E+05 | .3009E+05 | .4386E+02  |
| 41 | .2734E+05 | .2895E+05 | .2842E+03  |
| 42 | .2724E+05 | .2923E+05 | .5755E+01  |
| 43 | .2719E+05 | .2888E+05 | .2630E+03  |
| 44 | .2991E+05 | .2974E+05 | .3197E+03  |
| 45 | .2996E+05 | .2948E+05 | .2705E+03  |
| 46 | .2987E+05 | .2927E+05 | .1801E+03  |
| 47 | .2985E+05 | .2913E+05 | .1457E+03  |
| 48 | .2986E+05 | .2904E+05 | .5471E+02  |
| 49 | .2836E+05 | .2784E+05 | -.1587E+02 |
| 50 | .2830E+05 | .2781E+05 | -.2000E+02 |
| 51 | .2832E+05 | .2793E+05 | -.9645E+01 |
| 52 | .2843E+05 | .2820E+05 | -.1124E+01 |
| 53 | .2844E+05 | .2858E+05 | -.4250E+02 |
| 54 | .2605E+05 | .2816E+05 | -.1837E+03 |
| 55 | .2523E+05 | .2829E+05 | .6478E+02  |
| 56 | .2552E+05 | .2744E+05 | .2415E+03  |
| 57 | .2797E+05 | .2849E+05 | -.4296E+00 |
| 58 | .2810E+05 | .2814E+05 | .2302E+03  |
| 59 | .2781E+05 | .2802E+05 | -.1878E+01 |
| 60 | .2789E+05 | .2780E+05 | .1999E+03  |
| 61 | .2795E+05 | .2782E+05 | -.1232E+02 |
| 62 | .2805E+05 | .2756E+05 | .2326E+03  |
| 63 | .2792E+05 | .2750E+05 | -.1774E+03 |
| 64 | .2789E+05 | .2759E+05 | .5529E+02  |
| 65 | .2765E+05 | .2749E+05 | -.1301E+03 |
| 66 | .2764E+05 | .2755E+05 | .5057E+02  |
| 67 | .2690E+05 | .2719E+05 | -.6488E+02 |
| 68 | .2750E+05 | .2729E+05 | -.1041E+03 |
| 69 | .2767E+05 | .2745E+05 | .2358E+03  |
| 70 | .2724E+05 | .2761E+05 | .2041E+03  |
| 71 | .2762E+05 | .2806E+05 | .2801E+03  |
| 72 | .2468E+05 | .2756E+05 | .5074E+03  |
| 73 | .2287E+05 | .2549E+05 | -.3245E+03 |
| 74 | .2621E+05 | .2738E+05 | -.4686E+03 |
| 75 | .2563E+05 | .2643E+05 | -.2485E+03 |
| 76 | .2574E+05 | .2561E+05 | -.1534E+03 |
| 77 | .2571E+05 | .2575E+05 | -.1830E+03 |
| 78 | .2539E+05 | .2622E+05 | -.5930E+02 |
| 79 | .2489E+05 | .2625E+05 | -.2000E+03 |
| 80 | .2509E+05 | .2570E+05 | -.4099E+03 |
| 81 | .2419E+05 | .2532E+05 | -.1906E+03 |
| 82 | .2421E+05 | .2527E+05 | -.2236E+03 |
| 83 | .2426E+05 | .2529E+05 | -.2422E+03 |
| 84 | .2435E+05 | .2504E+05 | -.2864E+03 |
| 85 | .2527E+05 | .2544E+05 | .4788E+03  |
| 86 | .2476E+05 | .2686E+05 | .3030E+03  |
| 87 | .2410E+05 | .2657E+05 | -.3112E+03 |
| 88 | .2394E+05 | .2701E+05 | -.2339E+03 |
| 89 | .2409E+05 | .2708E+05 | -.1255E+04 |
| 90 | .2514E+05 | .2409E+05 | -.1770E+04 |
| 91 | .2647E+05 | .2575E+05 | -.2762E+04 |
| 92 | .2172E+05 | .2615E+05 | -.6680E+02 |
| 93 | .2437E+05 | .2585E+05 | .1062E+04  |
| 94 | .2281E+05 | .2469E+05 | -.3808E+03 |
| 95 | .2263E+05 | .2480E+05 | -.2324E+03 |
| 96 | .2457E+05 | .2573E+05 | -.5628E+03 |

|     |           |           |            |
|-----|-----------|-----------|------------|
| 97  | .1960E+05 | .2068E+05 | .2254E+03  |
| 98  | .1831E+05 | .2053E+05 | .6025E+02  |
| 99  | .1813E+05 | .1970E+05 | .1446E+03  |
| 100 | .1746E+05 | .1614E+05 | .1327E+04  |
| 101 | .1864E+05 | .2405E+05 | -.7415E+02 |
| 102 | .1776E+05 | .1290E+05 | -.1264E+04 |
| 103 | .1752E+05 | .1472E+05 | .1096E+03  |
| 104 | .1886E+05 | .1093E+05 | .3762E+03  |
| 105 | .1248E+05 | .8197E+04 | -.5617E+03 |
| 106 | .2081E+05 | .1477E+05 | -.3809E-01 |
| 107 | .1820E+05 | .1365E+05 | -.8781E+03 |
| 108 | .1651E+05 | .1833E+05 | -.6768E+03 |
| 109 | .1813E+05 | .1902E+05 | -.4049E+03 |
| 110 | .1776E+05 | .2003E+05 | -.2174E+03 |
| 111 | .1816E+05 | .2021E+05 | -.1713E+03 |
| 112 | .1805E+05 | .2051E+05 | .1363E+02  |
| 113 | .1469E+05 | .1908E+05 | .7436E+02  |
| 114 | .2502E+05 | .2231E+05 | .1644E+03  |
| 115 | .2013E+05 | .2072E+05 | .5829E+02  |
| 116 | .1789E+05 | .2019E+05 | -.2248E+03 |
| 117 | .1775E+05 | .1936E+05 | -.7895E+03 |
| 118 | .1725E+05 | .1584E+05 | -.2987E+04 |
| 119 | .1724E+05 | .2403E+05 | .5055E+03  |
| 120 | .1865E+05 | .1277E+05 | .1828E+04  |
| 121 | .8297E+04 | .7537E+04 | .1357E+04  |
| 122 | .6178E+04 | .8189E+04 | -.6151E+02 |
| 123 | .7538E+04 | .8200E+04 | -.7470E+03 |
| 124 | .6965E+04 | .7769E+04 | -.8190E+01 |
| 125 | .6921E+04 | .7855E+04 | .2102E+02  |
| 126 | .7860E+04 | .8246E+04 | .2420E+03  |
| 127 | .7936E+04 | .8398E+04 | .1357E+03  |
| 128 | .8029E+04 | .8141E+04 | .1169E+03  |
| 129 | .7717E+04 | .8007E+04 | .8414E+02  |
| 130 | .7716E+04 | .8011E+04 | -.3877E+02 |
| 131 | .7684E+04 | .7997E+04 | -.2505E+02 |
| 132 | .7744E+04 | .7831E+04 | -.1409E+03 |
| 133 | .7889E+04 | .7893E+04 | -.4143E+03 |
| 134 | .7637E+04 | .8594E+04 | -.4490E+03 |
| 135 | .7178E+04 | .8398E+04 | .3655E+01  |
| 136 | .7187E+04 | .8370E+04 | -.1517E+03 |
| 137 | .7195E+04 | .8373E+04 | .5406E+03  |
| 138 | .7866E+04 | .6456E+04 | .6486E+03  |
| 139 | .6764E+04 | .7292E+04 | -.1674E+03 |
| 140 | .8187E+04 | .8578E+04 | -.8651E+02 |
| 141 | .7988E+04 | .8287E+04 | -.1163E+03 |
| 142 | .8464E+04 | .8059E+04 | -.1577E+03 |
| 143 | .8512E+04 | .8163E+04 | .2434E+02  |
| 144 | .8105E+04 | .8293E+04 | .1056E+02  |

-AKTİF, PASİF, SÜKUNET HALİNDEKİ TOPRAK BASINÇLARI VE ŞİŞME BASINÇLARI

| ELEMAN NO. | SIG.AKT.<br>(Kg/m <sup>2</sup> ) | SIG.SUK.<br>(Kg/m <sup>2</sup> ) | SIG.PAS<br>(Kg/m <sup>2</sup> ) | SIG.ŞİŞME<br>(Kg/m <sup>2</sup> ) | ELAST.MOD.<br>(Kg/m <sup>2</sup> ) |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1          | .9755E+04                        | .1329E+05                        | .9859E+05                       | .3182E+05                         | .7704E+06                          |
| 2          | .9774E+04                        | .1332E+05                        | .9878E+05                       | .3180E+05                         | .7704E+06                          |
| 3          | .9810E+04                        | .1337E+05                        | .9915E+05                       | .3177E+05                         | .7704E+06                          |
| 4          | .9859E+04                        | .1343E+05                        | .9965E+05                       | .3175E+05                         | .7704E+06                          |
| 5          | .9913E+04                        | .1351E+05                        | .1002E+06                       | .3174E+05                         | .7704E+06                          |
| 6          | .9578E+04                        | .1305E+05                        | .9680E+05                       | .2890E+05                         | .7704E+06                          |
| 7          | .9521E+04                        | .1297E+05                        | .9622E+05                       | .2860E+05                         | .7704E+06                          |
| 8          | .9477E+04                        | .1291E+05                        | .9578E+05                       | .2865E+05                         | .7704E+06                          |
| 9          | .9863E+04                        | .1344E+05                        | .9968E+05                       | .3151E+05                         | .7704E+06                          |
| 10         | .9813E+04                        | .1337E+05                        | .9918E+05                       | .3157E+05                         | .7704E+06                          |
| 11         | .9812E+04                        | .1337E+05                        | .9917E+05                       | .3156E+05                         | .7704E+06                          |
| 12         | .9761E+04                        | .1330E+05                        | .9865E+05                       | .3162E+05                         | .7704E+06                          |

|    |           |           |           |           |           |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 13 | .9761E+04 | .1330E+05 | .9865E+05 | .3162E+05 | .7704E+06 |
| 14 | .9717E+04 | .1324E+05 | .9821E+05 | .3167E+05 | .7704E+06 |
| 15 | .9716E+04 | .1324E+05 | .9820E+05 | .3166E+05 | .7704E+06 |
| 16 | .9689E+04 | .1320E+05 | .9793E+05 | .3169E+05 | .7704E+06 |
| 17 | .9689E+04 | .1320E+05 | .9793E+05 | .3169E+05 | .7704E+06 |
| 18 | .9680E+04 | .1319E+05 | .9783E+05 | .3170E+05 | .7704E+06 |
| 19 | .9616E+04 | .1310E+05 | .9719E+05 | .3158E+05 | .7704E+06 |
| 20 | .9634E+04 | .1313E+05 | .9737E+05 | .3155E+05 | .7704E+06 |
| 21 | .9670E+04 | .1318E+05 | .9773E+05 | .3151E+05 | .7704E+06 |
| 22 | .9716E+04 | .1324E+05 | .9820E+05 | .3144E+05 | .7704E+06 |
| 23 | .9765E+04 | .1330E+05 | .9869E+05 | .3135E+05 | .7704E+06 |
| 24 | .9421E+04 | .1284E+05 | .9521E+05 | .2835E+05 | .7704E+06 |
| 25 | .9219E+04 | .1256E+05 | .9317E+05 | .2738E+05 | .7358E+06 |
| 26 | .9489E+04 | .1293E+05 | .9590E+05 | .3016E+05 | .7358E+06 |
| 27 | .9407E+04 | .1282E+05 | .9507E+05 | .3020E+05 | .7358E+06 |
| 28 | .9348E+04 | .1274E+05 | .9448E+05 | .3025E+05 | .7358E+06 |
| 29 | .9307E+04 | .1268E+05 | .9407E+05 | .3028E+05 | .7358E+06 |
| 30 | .9281E+04 | .1265E+05 | .9380E+05 | .3029E+05 | .7358E+06 |
| 31 | .9201E+04 | .1254E+05 | .9299E+05 | .3008E+05 | .7358E+06 |
| 32 | .9214E+04 | .1255E+05 | .9313E+05 | .3007E+05 | .7358E+06 |
| 33 | .9216E+04 | .1256E+05 | .9315E+05 | .3008E+05 | .7358E+06 |
| 34 | .9251E+04 | .1260E+05 | .9350E+05 | .3004E+05 | .7358E+06 |
| 35 | .9256E+04 | .1261E+05 | .9355E+05 | .3008E+05 | .7358E+06 |
| 36 | .9295E+04 | .1266E+05 | .9395E+05 | .3004E+05 | .7358E+06 |
| 37 | .9306E+04 | .1268E+05 | .9406E+05 | .3012E+05 | .7358E+06 |
| 38 | .9372E+04 | .1277E+05 | .9472E+05 | .3004E+05 | .7358E+06 |
| 39 | .9378E+04 | .1278E+05 | .9478E+05 | .3008E+05 | .7358E+06 |
| 40 | .9464E+04 | .1289E+05 | .9565E+05 | .2998E+05 | .7358E+06 |
| 41 | .9106E+04 | .1241E+05 | .9204E+05 | .2734E+05 | .7358E+06 |
| 42 | .9195E+04 | .1253E+05 | .9293E+05 | .2724E+05 | .7358E+06 |
| 43 | .9086E+04 | .1238E+05 | .9183E+05 | .2719E+05 | .7358E+06 |
| 44 | .9355E+04 | .1275E+05 | .9455E+05 | .2991E+05 | .7358E+06 |
| 45 | .9274E+04 | .1263E+05 | .9373E+05 | .2996E+05 | .7358E+06 |
| 46 | .9205E+04 | .1254E+05 | .9304E+05 | .2987E+05 | .7358E+06 |
| 47 | .9162E+04 | .1248E+05 | .9259E+05 | .2985E+05 | .7358E+06 |
| 48 | .9136E+04 | .1245E+05 | .9233E+05 | .2986E+05 | .7358E+06 |
| 49 | .8757E+04 | .1193E+05 | .8850E+05 | .2836E+05 | .6943E+06 |
| 50 | .8746E+04 | .1192E+05 | .8840E+05 | .2830E+05 | .6943E+06 |
| 51 | .8786E+04 | .1197E+05 | .8880E+05 | .2832E+05 | .6943E+06 |
| 52 | .8871E+04 | .1209E+05 | .8965E+05 | .2843E+05 | .6943E+06 |
| 53 | .8990E+04 | .1225E+05 | .9085E+05 | .2844E+05 | .6943E+06 |
| 54 | .8858E+04 | .1207E+05 | .8953E+05 | .2605E+05 | .6943E+06 |
| 55 | .8899E+04 | .1213E+05 | .8994E+05 | .2523E+05 | .6943E+06 |
| 56 | .8633E+04 | .1176E+05 | .8725E+05 | .2552E+05 | .6943E+06 |
| 57 | .8963E+04 | .1221E+05 | .9059E+05 | .2797E+05 | .6943E+06 |
| 58 | .8853E+04 | .1206E+05 | .8947E+05 | .2810E+05 | .6943E+06 |
| 59 | .8813E+04 | .1201E+05 | .8907E+05 | .2781E+05 | .6943E+06 |
| 60 | .8743E+04 | .1191E+05 | .8837E+05 | .2789E+05 | .6943E+06 |
| 61 | .8752E+04 | .1192E+05 | .8845E+05 | .2795E+05 | .6943E+06 |
| 62 | .8668E+04 | .1181E+05 | .8761E+05 | .2805E+05 | .6943E+06 |
| 63 | .8651E+04 | .1179E+05 | .8744E+05 | .2792E+05 | .6943E+06 |
| 64 | .8680E+04 | .1183E+05 | .8773E+05 | .2789E+05 | .6943E+06 |
| 65 | .8649E+04 | .1178E+05 | .8741E+05 | .2765E+05 | .6943E+06 |
| 66 | .8665E+04 | .1181E+05 | .8758E+05 | .2764E+05 | .6943E+06 |
| 67 | .8553E+04 | .1165E+05 | .8644E+05 | .2690E+05 | .6943E+06 |
| 68 | .8584E+04 | .1170E+05 | .8676E+05 | .2750E+05 | .6943E+06 |
| 69 | .8634E+04 | .1176E+05 | .8726E+05 | .2767E+05 | .6943E+06 |
| 70 | .8684E+04 | .1183E+05 | .8776E+05 | .2724E+05 | .6943E+06 |
| 71 | .8826E+04 | .1202E+05 | .8920E+05 | .2762E+05 | .6943E+06 |
| 72 | .8670E+04 | .1181E+05 | .8763E+05 | .2468E+05 | .6943E+06 |
| 73 | .8017E+04 | .1092E+05 | .8102E+05 | .2287E+05 | .6446E+06 |
| 74 | .8612E+04 | .1173E+05 | .8703E+05 | .2621E+05 | .6446E+06 |
| 75 | .8315E+04 | .1133E+05 | .8404E+05 | .2563E+05 | .6446E+06 |
| 76 | .8055E+04 | .1097E+05 | .8141E+05 | .2574E+05 | .6446E+06 |
| 77 | .8099E+04 | .1103E+05 | .8186E+05 | .2571E+05 | .6446E+06 |
| 78 | .8248E+04 | .1124E+05 | .8337E+05 | .2539E+05 | .6446E+06 |
| 79 | .8257E+04 | .1125E+05 | .8345E+05 | .2489E+05 | .6446E+06 |

|     |           |           |           |           |           |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 80  | .8085E+04 | .1102E+05 | .8172E+05 | .2509E+05 | .6446E+06 |
| 81  | .7965E+04 | .1085E+05 | .8050E+05 | .2419E+05 | .6446E+06 |
| 82  | .7948E+04 | .1083E+05 | .8033E+05 | .2421E+05 | .6446E+06 |
| 83  | .7955E+04 | .1084E+05 | .8040E+05 | .2426E+05 | .6446E+06 |
| 84  | .7877E+04 | .1073E+05 | .7961E+05 | .2435E+05 | .6446E+06 |
| 85  | .8001E+04 | .1090E+05 | .8087E+05 | .2527E+05 | .6446E+06 |
| 86  | .8448E+04 | .1151E+05 | .8539E+05 | .2476E+05 | .6446E+06 |
| 87  | .8359E+04 | .1139E+05 | .8448E+05 | .2410E+05 | .6446E+06 |
| 88  | .8496E+04 | .1158E+05 | .8587E+05 | .2394E+05 | .6446E+06 |
| 89  | .8517E+04 | .1160E+05 | .8608E+05 | .2409E+05 | .6446E+06 |
| 90  | .7577E+04 | .1032E+05 | .7658E+05 | .2514E+05 | .6446E+06 |
| 91  | .8098E+04 | .1103E+05 | .8185E+05 | .2647E+05 | .6446E+06 |
| 92  | .8226E+04 | .1121E+05 | .8314E+05 | .2172E+05 | .6446E+06 |
| 93  | .8132E+04 | .1108E+05 | .8219E+05 | .2437E+05 | .6446E+06 |
| 94  | .7767E+04 | .1058E+05 | .7849E+05 | .2281E+05 | .6446E+06 |
| 95  | .7802E+04 | .1063E+05 | .7885E+05 | .2263E+05 | .6446E+06 |
| 96  | .8093E+04 | .1103E+05 | .8180E+05 | .2457E+05 | .6446E+06 |
| 97  | .6503E+04 | .8861E+04 | .6573E+05 | .1960E+05 | .5109E+06 |
| 98  | .6459E+04 | .8800E+04 | .6528E+05 | .1831E+05 | .5109E+06 |
| 99  | .6196E+04 | .8441E+04 | .6262E+05 | .1813E+05 | .5109E+06 |
| 100 | .5077E+04 | .6918E+04 | .5132E+05 | .1746E+05 | .5109E+06 |
| 101 | .7565E+04 | .1031E+05 | .7645E+05 | .1864E+05 | .5109E+06 |
| 102 | .4057E+04 | .5527E+04 | .4100E+05 | .1776E+05 | .5109E+06 |
| 103 | .4630E+04 | .6308E+04 | .4679E+05 | .1752E+05 | .5109E+06 |
| 104 | .3438E+04 | .4684E+04 | .3475E+05 | .1886E+05 | .5109E+06 |
| 105 | .2579E+04 | .3513E+04 | .2606E+05 | .1248E+05 | .5109E+06 |
| 106 | .4645E+04 | .6329E+04 | .4695E+05 | .2081E+05 | .5109E+06 |
| 107 | .4293E+04 | .5850E+04 | .4339E+05 | .1820E+05 | .5109E+06 |
| 108 | .5765E+04 | .7854E+04 | .5826E+05 | .1651E+05 | .5109E+06 |
| 109 | .5983E+04 | .8152E+04 | .6047E+05 | .1813E+05 | .5109E+06 |
| 110 | .6302E+04 | .8586E+04 | .6369E+05 | .1776E+05 | .5109E+06 |
| 111 | .6356E+04 | .8659E+04 | .6424E+05 | .1816E+05 | .5109E+06 |
| 112 | .6453E+04 | .8792E+04 | .6522E+05 | .1805E+05 | .5109E+06 |
| 113 | .6000E+04 | .8175E+04 | .6064E+05 | .1469E+05 | .5109E+06 |
| 114 | .7019E+04 | .9563E+04 | .7094E+05 | .2502E+05 | .5109E+06 |
| 115 | .6519E+04 | .8882E+04 | .6588E+05 | .2013E+05 | .5109E+06 |
| 116 | .6350E+04 | .8652E+04 | .6418E+05 | .1789E+05 | .5109E+06 |
| 117 | .6089E+04 | .8297E+04 | .6154E+05 | .1775E+05 | .5109E+06 |
| 118 | .4982E+04 | .6788E+04 | .5035E+05 | .1725E+05 | .5109E+06 |
| 119 | .7559E+04 | .1030E+05 | .7640E+05 | .1724E+05 | .5109E+06 |
| 120 | .4018E+04 | .5474E+04 | .4061E+05 | .1865E+05 | .5109E+06 |
| 121 | .2371E+04 | .3230E+04 | .2396E+05 | .8297E+04 | .1965E+06 |
| 122 | .2576E+04 | .3510E+04 | .2603E+05 | .6178E+04 | .1965E+06 |
| 123 | .2579E+04 | .3514E+04 | .2607E+05 | .7538E+04 | .1965E+06 |
| 124 | .2444E+04 | .3330E+04 | .2470E+05 | .6965E+04 | .1965E+06 |
| 125 | .2471E+04 | .3366E+04 | .2497E+05 | .6921E+04 | .1965E+06 |
| 126 | .2594E+04 | .3534E+04 | .2621E+05 | .7860E+04 | .1965E+06 |
| 127 | .2642E+04 | .3599E+04 | .2670E+05 | .7936E+04 | .1965E+06 |
| 128 | .2561E+04 | .3489E+04 | .2588E+05 | .8029E+04 | .1965E+06 |
| 129 | .2519E+04 | .3432E+04 | .2546E+05 | .7717E+04 | .1965E+06 |
| 130 | .2520E+04 | .3433E+04 | .2547E+05 | .7716E+04 | .1965E+06 |
| 131 | .2516E+04 | .3427E+04 | .2542E+05 | .7684E+04 | .1965E+06 |
| 132 | .2463E+04 | .3356E+04 | .2490E+05 | .7744E+04 | .1965E+06 |
| 133 | .2483E+04 | .3383E+04 | .2509E+05 | .7889E+04 | .1965E+06 |
| 134 | .2703E+04 | .3683E+04 | .2732E+05 | .7637E+04 | .1965E+06 |
| 135 | .2641E+04 | .3599E+04 | .2670E+05 | .7178E+04 | .1965E+06 |
| 136 | .2633E+04 | .3587E+04 | .2661E+05 | .7187E+04 | .1965E+06 |
| 137 | .2634E+04 | .3588E+04 | .2662E+05 | .7195E+04 | .1965E+06 |
| 138 | .2031E+04 | .2767E+04 | .2052E+05 | .7866E+04 | .1965E+06 |
| 139 | .2294E+04 | .3125E+04 | .2318E+05 | .6764E+04 | .1965E+06 |
| 140 | .2698E+04 | .3676E+04 | .2727E+05 | .8187E+04 | .1965E+06 |
| 141 | .2607E+04 | .3552E+04 | .2635E+05 | .7988E+04 | .1965E+06 |
| 142 | .2535E+04 | .3454E+04 | .2562E+05 | .8464E+04 | .1965E+06 |
| 143 | .2568E+04 | .3498E+04 | .2595E+05 | .8512E+04 | .1965E+06 |
| 144 | .2609E+04 | .3554E+04 | .2636E+05 | .8105E+04 | .1965E+06 |

**EK - 4**

**SWELPRES PROGRAMININ KULLANIM KLAVUZU**

### EK4.1 Giriş

SWELPRES programını bilgisayarda çalıştırmadan önce veri dosyasının aşağıda sırası ile açıklandığı şekilde hazırlanması gerekmektedir. Veri dosyası hazırlanırken format bilgilerine gerek duyulmaktadır. Formatın dışında bir değer girilmesi programın doğru bir şekilde çalışmasını engeller. SWELPRES programı, fortran derleyici programın yüklü olduğu herhangi bir kişisel bilgisayarda ve VAX terminalinde kullanılabilir. Fortran derleyicileri arasında küçük farklılıklar olabilir bu nedenle derleyici farklılıklarından doğabilecek sorunlar programı çalıştırmadan önce giderilmelidir.

### EK 4.2 Programın Yapısı

Aşağıdaki verilen adımlar doğrultusunda programın yapısı açıklanmıştır.

- Veriler okunur
- Malzeme özelliklerinden gerilme-şekil değiştirme matrisi hazırlanır
- Katılık matrisini düzenle : Alt program SKM (Sistem Katılık Matrisi)' yi çağır
  - Alt program SKM
    - Her eleman için eleman katılık matrisini ve başlangıç yüklerini hesapla:
    - Zemin için Alt program UEKM (Üçgen Eleman Katılık Matrisi)' ni çağır, arakesit eleman için alt program AEKM (Arakesit Eleman Katılık Matrisi)'ni çağır.
    - Yapısal katılık matrisini ve başlangıç yük vektörünü  $\{R\}$ , topla
    - Sınır şartlarını oku
  - Geri dön
- Yer değiştirmeleri hesapla : Katılık matrisinin tersini al ve matrisin tersi (KS) ile geri dön
- Yer değiştirmeleri başlangıç durumuna getir  $\{u\}$
- İterasyon döngüsüne gir
- Artımsal yer değiştirmeleri hesapla ve  $\{u\}$ 'ya ekle  $\{u\} = (KS)\{R\} + \{u\}$

- Bu yer değiştirmelerden gerilmeleri hesapla : Alt program **GERILMELER**'i çağır
  - Alt program **GERILMELER**
    - Herbir eleman için dön
    - Toplam düğüm noktası yer değiştirmelerini hesapla
    - Eleman gerilme-yer değiştirme matrisini oluştur
    - Eleman gerilme değişimlerini hesapla ve eleman başlangıç gerilmelerine ekle
  - Geri dön
- Arakesit gerilmelerini ve başlangıç yük artımlarını hesapla  $\{R\}$ : Alt program **DONGU**'yü çağır
  - Alt program **DONGU**
    - Herbir eleman için dön
    - Toplam düğüm noktası yer değiştirmelerini hesapla
    - Lokal koordinatlarda arakesit deformasyonlarını hesapla
    - Arakesit eleman modeli ile karşılaştır
    - Kuvvet artımlarını hesapla ve bir sonraki iterasyon için depola
    - Kuvvet artımlarını global koordinatlara dönüştür ve  $\{R\}$ 'de depola
  - Geri dön
- Yer değiştirmeleri ve gerilmeleri çıktıya yaz
- Son iterasyonda iteratif döngüsünü bırak
- SON

### **EK 4.3 İteratif Çözüm**

Arakesit elemanlarının gerçek davranışını en yakın bir şekilde gösterebilmek için iteratif çözüm yapılır. İlk önce düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler lineer denklemler yardımıyla belirlenir. Ancak, belirlenen yer değiştirmeler arakesit elemanda gerilmeler oluşmasına sebep olabilir ya da çok büyük kayma gerilmeleri ortaya çıkabilir ve herbir durumda kayma gerilmesi büyüme eğilimi gösterecektir. Bundan dolayı ilk çözüm, arakesit elemanın herbir düğüm noktasında incelenmelidir ve gerçek davranış ile karşılaştırılmalıdır. Bu karşılaştırma tamamen kabul edilebilir bir sonuç elde edilene kadar devam ettirilir. Bu şekilde yapılan iteratif metotlar diferansiyel denklemlerin sayısal



çözümleri için kullanılan “deneme-yanılma” metotları ile benzerlik gösterirler (Dorn, McCracken, 1972).

#### EK 4.3.1 Yük Transfer Metodu ve Değişebilir Rijitlik Metodu

İteratif metotlara değişebilir rijitlik metodu ve yük transfer metodu örnek olarak verilebilir. Bunlardan değişebilir rijitlik metodunda işlem akışı şöyledir. Öncelikle iteratif çözümle malzemenin gerçek davranışını temsil eden yük-deformasyon eğrisi idealleştirilerek doğrulara indirgenir. Arakesit elemanın yük-deformasyon eğrisinin elastik kısmını temsil edecek şekilde bir başlangıç rijitliği, ( $k_1$ ) seçilir. Ek Şekil 1.'de bir arakesit elemana ait yük-deformasyon eğrisi temsili olarak gösterilmektedir. Başlangıçta uygulanan kayma yükünden ( $F_0$ ) dolayı, arakesit eleman ile gerilme,  $R_1$  noktasında dengeye gelirler. Bu durum arakesit elemanın gerçek yük-deformasyon davranışını tam olarak yansıtmaz. Bu durumda yük-deformasyon eğrisine daha yakın bir noktadan ( $R_1^c$ )'den geçen yeni bir ideal doğru için tekrar bir rijitlik ( $k_2$ ) hesaplanır. Bu rijitliğe göre de ( $R_{2,vs}$ ) noktasında yeni bir çözüm elde edilir. Bu çözüm hala kabul edilemez olmakla beraber doğru çözüme ( $R_\infty$ ) biraz daha yakındır.

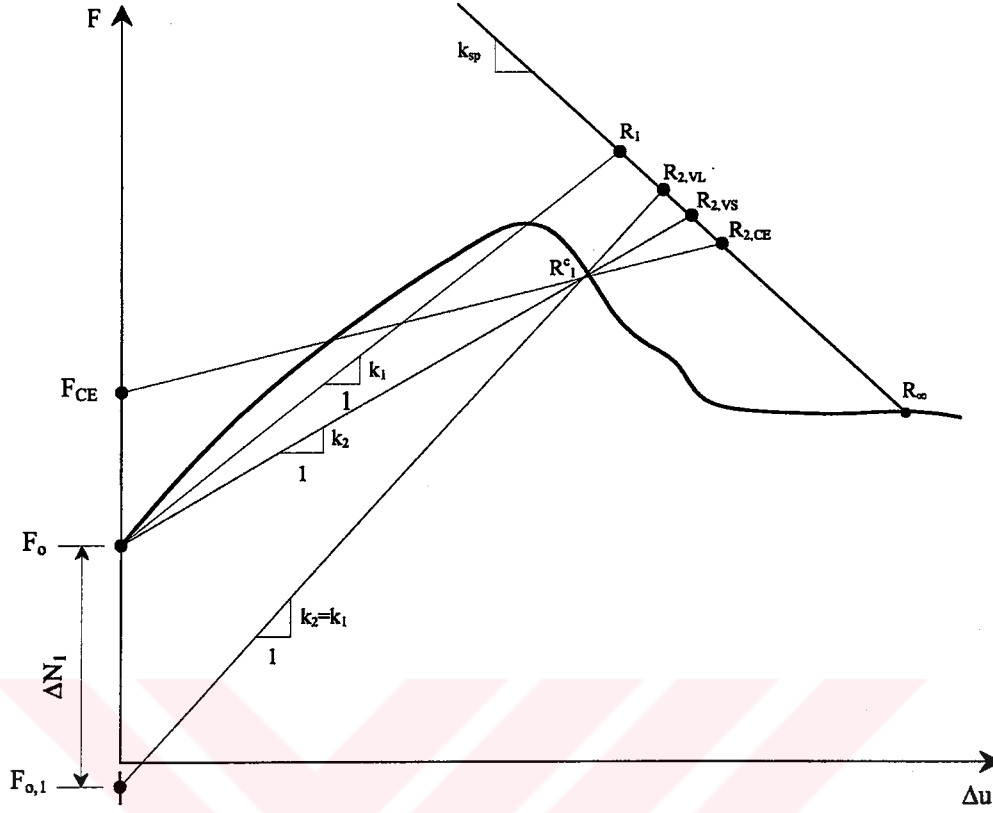
SWELPRES' de kullanılan yük transfer metodu, değişebilir rijitlik metoduna göre daha fazla iterasyonla yakınsamasına rağmen bu metotta her iterasyondaki işlem yükü daha azdır. Her iterasyonda rijitlik matrisini değiştirmek yerine yük vektörünü değiştirmek daha kolay olacağından yük transfer metodunu kullanmak bilgisayara yaptırılacak işlerin yükünü azaltması nedeniyle tercih edilmiştir. Zienkiewicz (1971), rijitlik matrisini yeniden hesaplamak yerine aynı rijitlik ( $k_2 = k_1$ ) fakat yeni bir başlangıç yükü ile, ( $F_{0,1}$ ) yeni iterasyona başlanmasını esas alan yeni bir yük transfer metodunu önermiştir. Bu metotta,

$$F_{0,1} = F_{x,0} + \Delta N_1 \text{ dir.}$$

Burada,

$$\Delta N_1 = R_1^c - R_1$$

Bu şekilde  $R_{2,vL}$  çözüm noktasına ulaşılır. Yük transfer metodunda başlangıç yükü ise şöyle seçilir :  $F_{CE} R_1^c$  doğrusu altında kalan alan, gerçek yük-deformasyon eğrisinin  $R_1^c$  noktasına kadar altında kalan alana eşit olacak şekilde başlangıç yükü ( $F_{CE}$ ), seçilir. Sonuçta ( $R_{2,CE}$ ) çözümü elde edilir. Bu çözüm daha önce bulunan çözümlere göre daha uygundur.



Ek Şekil 1. Arakesit elamanın gerçek davranışını idealize eden alternatif iteratif çözüm şekilleri

#### EK 4.4 Başlangıç Bilgileri

Bir kullanıcı SWELPRES programını çalıştırdığında ilk önce aşağıdaki sorulara cevap vermelidir.

Adım 1 : PROGRAM İÇİN VERİ DOSYANIZIN ADINI GİRİNİZ

Adım 2 : PROGRAM İÇİN CIKTİ DOSYANIZIN ADINI GİRİNİZ

Adım 3 : ŞİSME VARSA ( 1 ) YAZINIZ

Adım 4 : ŞİSME YOKSA ( 0 ) YAZINIZ

.....VERİLER OKUNUYOR.....

Program çalışmaya başlamıştır.

## EK 4.5 Veri Listesi Oluşturma

Veri dosyası oluşturulurken format bilgilerini kullanmak gerekmektedir. Programın doğru bir şekilde çalışması için veri dosyası aşağıdaki şekilde hazırlanmalıdır.

- 1- Başlık ( 9A8 )
- 2- Kontrol listesi (7I5/2F10.0)
  - (1) Dđđm noktası sayısı
  - (2) Eleman sayısı
  - (3) Sınırlandırılmış dđđm noktası sayısı
  - (4) Katı eleman sayısı
  - (5) Arakesit eleman sayısı
  - (6) İlk iterasyon sayısı
  - (7) Son iterasyon sayısı
  - (8) Yerçekimi ivmesi var ise 1- yaz yok ise boşluk bırak
  - (9) Yerçekimi ivmesi
- 3- Dđđm noktası koordinatı, yükler ve emme gerilmeleri (I5,6F10.3)
  - (1) Dđđm noktası numarasi
  - (2) X koordinatı (metre)
  - (3) Y koordinatı (metre)
  - (4) Başlangıç X doğrultusundaki yk
  - (5) Başlangıç Y doğrultusundaki yk
  - (6) Başlangıç emme gerilmesi (pF)
  - (7) Son emme gerilmesi (pF)
- 4- Eleman tipi ve dđđm numaraları (6I5)
  - (1) Eleman numarasi
  - (2) Malzeme tipi
  - (3) 1. Dđđm noktası (i)
  - (4) 2. Dđđm noktası (j)
  - (5) 3. Dđđm noktası (k)
  - (6) 4. Dđđm noktası (l) , katı (zemin) eleman için boşluk bırakınız

Düğüm noktaları saat yönünün tersi yönde sıralanmıştır. Arakesit eleman için Şekil 23. (c)'de görüldüğü gibi uzun kenarlar IJ ve KL şeklinde olmalıdır.

5- Düğüm noktası sınır şartları (serbest format)

(1) Düğüm noktası numarası

(2) Sınır şartı kodu

$$X = 0 \Rightarrow 1$$

$$Y = 0 \Rightarrow 2$$

$$X=Y=0 \Rightarrow 3$$

6- Katı eleman özellikleri (2X,I5,5X,I5,3X,3F12.3,1X,4F12.3)

(1) Eleman numarası

(2) Eleman tipi

(3) Birim hacim ağırlık ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

(4) Elastisite modülü (s) ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

(5) Elastisite modülü (n) ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

(6) Kesme modülü

(7) Poisson oranı (sn)

(8) Poisson oranı (st)

(9) Zemin emme değişimi indeksi SCI

7- Arakesit eleman özellikleri (I5,7F10.3,F5.1)

(1) Arakesit eleman numarası

(2) Eleman tipi

(3) Maksimum kayma gerilmesi ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) (negatif)

(4) Minimum-maksimum kayma gerilmesi oranı

(5) Kayma rijitliği,  $k_s$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

(6) Artık gerilme -maksimum kayma gerilmesi oranı

(7) Normal doğrultusundaki maksimum yakınsaklık

(8) Arakesit yüzeyi sürtünme açısı

(9) Dilatasyon açısı

START

STOP

## ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında Sivas'ın Zara İlçesinde doğdu. 1974-1985 yılları arasında İlk, Orta ve Lise öğrenimini Sivas da tamamladıktan sonra, 1985 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 1990 yılında mezun oldu. 1992 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1992 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans öğrenimini , Aralık 1995 de yüksek mühendis ünvanını alarak tamamladı. 1996 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora çalışmasına başladı ve halen doktora öğrenimine devam etmektedir. 1998 yılında doktora öğrenimi yaparken, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde 35.madde kapsamında Cumhuriyet Üniversitesi adına araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen görevini devam ettirmektedir. İngilizce bilmektedir.

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**