

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Barış MAHMUTLUOĞLU

HİDRODİNAMİK DİSPERSİYON’UN KONSOLİDASYONA OLAN ETKİSİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2014

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HİDRODİNAMİK DİSPERSİYON'UN KONSOLİDASYONA OLAN ETKİSİ

Barış MAHMUTLUOĞLU

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 13/01/2014 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. M. Arslan TEKİNSOY
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Hasan ÇETİN
ÜYE

.....
Doç. Dr. Abdülazim YILDIZ
ÜYE

.....
Doç. Dr. Cafer KAYADELEN
ÜYE

.....
Yrd. Doç. Dr. Murat ÖRNEK
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların
kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere
tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

HİDRODİNAMİK DİSPERSİYON'UN KONSOLİDASYONA OLAN ETKİSİ

Barış MAHMUTLUOĞLU

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Mehmet Arslan TEKİNSOY

Yıl: 2014, Sayfa : 268

Jüri : Prof. Dr. Mehmet Arslan TEKİNSOY

: Prof. Dr. Hasan ÇETİN

: Doç. Dr. Abdülazim YILDIZ

: Doç. Dr. Cafer KAYADELEN

: Yrd. Doç. Dr. Murat ÖRNEK

Bu çalışmada, konsolidasyondaki hidrodinamik dispersiyon ve dane difüzyonu olayı ele alınmış ve oturma hızlarının konsolidasyona olan etkileri incelenmiştir. Bugüne kadar, konsolidasyon ile ilgili bilinen kuramlar, oturmalar hakkında bilgi verebilmesine rağmen, oturma hızları hakkında bilgi verememektedir. Bu çalışmada, kuru birim hacim ağırlığının, dispersiyonda temel gösterge olduğu tespit edilmiş ve bu olgu ilk defa tanımlanmaya çalışılmıştır. Verilen kuram, deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve çok yakın sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Deneylerden elde edilen bulgular, regresyon analizlerinde kullanılarak yeni denklemler türetilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada, birincil (primer) konsolidasyon içinde, danelere ait viskoz özelliklerin de saptanabildiği gösterilmiştir. Bu konu, özellikle şev stabilitesi problemlerinde önemli bir yere sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Dispersiyon, Dane Difüzyonu, Zemin İskeleti, Oturma Hızları, Kuru Birim Hacim Ağırlık

ABSTRACT

PhD. THESIS

THE EFFECT OF HYDRODYNAMIC DISPERSION TO CONSOLIDATION

Barış MAHMUTLUOĞLU

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

Supervisor : Prof. Dr. Mehmet Arslan TEKİNSOY

Year: 2014, Pages: 268

Jury : Prof. Dr. Mehmet Arslan TEKİNSOY
: Prof. Dr. Hasan ÇETİN
: Assoc. Prof. Dr. Abdülazim YILDIZ
: Assoc. Prof. Dr. Cafer KAYADELEN
: Asst. Prof. Dr. Murat ÖRNEK

In this study, the phenomena of hydrodynamic dispersion and grain diffusion were considered and the effects of settlement velocities to consolidation were discussed. Although the theories about consolidation to this day give results to settlements in a consolidation phenomenon, they have been unable to completely define the settlement velocities. It was shown in this study that dry unit weight is the primary parameter in dispersion and this phenomenon was explained for the first time. By means of comparing the theoretical results with the results of performed experiments, the reliability of the theory was proven by reaching very close values to each other. The data obtained by the experiments were used to construct new equations by running regression analyses between parameters. On the other hand, it was shown in this study that viscous properties of soil grains can also be determined in primary consolidation. This aspect carries a great importance in slope stability problems of soils.

Keywords: Dispersion, Grain Diffusion, Soil Skeleton, Settlement Velocities, Dry Unit Weight.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarında beni yönlendiren, yardımlarıyla bana destek olan, bana çok değerli bilgiler öğreten ve ilgisini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet Arslan TEKİNSOY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca doktora çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Mustafa LAMAN'a, Sayın Prof. Dr. Hasan ÇETİN'e, Sayın Doç. Dr. Abdülazim YILDIZ'a, Sayın Doç. Dr. Cafer KAYADELEN'e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat ÖRNEK'e çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması sırasında bana defalarca yardımcı olan araştırma görevlisi arkadaşlarım Firdevs UYSAL ve Baki BAĞRIAÇIK'a da teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalarımı gerçekleştirebilmek adına bana tezim süresince yardımcı olan Çukurova Üniversitesi ve Mersin Üniversitesi Zemin Etüt Laboratuvarı personeline ve laboratuvarlarını kullanmama izin veren Mersin Zemka Zemin Etüt Laboratuvarı sahipleri ve tüm çalışanlarına teşekkürlerimi borç bilirim.

Bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan, özellikle çok kıymetli annem Ülkü MAHMUTLUOĞLU'na ve babam Salim MAHMUTLUOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Tanıştığımız andan bugüne kadar sürekli bana destek olan sevgili eşim Aylin'e ve aramıza yakın zamanda katılıp hayatımıza anlam katan dünya tatlısı kızım Nehir'e defalarca teşekkür ederim.

ve son olarak, burada bahsetmeyi unutmuş olabileceğim, yardımları dokunmuş olan diğer herkese de sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XXIV
1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	13
2.1. Giriş.....	13
2.2. Konsolidasyonun Zemin Viskozitesi İle İlişkisi	15
2.3. Lineer Olmayan Konsolidasyon Çalışmaları	24
2.4. Dispersiyon Ve İlgili Yaklaşımlar	43
2.5. Dispersiyon Ve Konsolidasyon İlişkileri	49
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	55
3.1. Materyal	55
3.2. Kuramsal Yöntemler	60
3.2.1. Konsolidasyondaki Dispersif Yapı	60
3.2.1.1. Dispersif-Konsolidasyon Denklemi'nin Tam Çözümleri	62
3.2.1.2. Dispersif-Konsolidasyon Denklemi'nin Yaklaşık Çözümleri ...	66
3.2.2. Konsolidasyonda Dane Difüzyonu ve Dispersiyon	69
3.2.3. Araştırmada Kullanılan Deneysel Yöntemler	80
3.2.4. Araştırmada Kullanılan Regresyon Analizleri.....	81
3.2.4.1. Regresyon Analizlerine Giriş.....	81
3.2.4.2. Korelasyon ve Determinasyon Katsayıları ve Yorumlanması ...	83
4. BULGULAR VE TARTIŞMASI.....	85
4.1. Deneylerden Elde Edilen Bulgular.....	85
4.2. Regresyon Analiz Sonuçları Ve Önerilen Denklemler	204

4.2.1. Bulunan Korelasyon ve Determinasyon Katsayılarının	
Yorumlanması	204
4.2.2. Önerilen Denklemler ve Yorumlanması.....	226
4.2.3. Önerilen Denklemlerle Bulunan Sonuçların Değerlendirilmesi	229
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	239
KAYNAKLAR.....	243
ÖZGEÇMİŞ	249
EKLER	250

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1.	Konsolidasyon Oranlarına Göre Değişkenler.....	68
Çizelge 3.2.	Korelasyon Katsayısının Yorumlanması.....	84
Çizelge 4.1.	Zemin Örneklerine Ait İndeks Özellikleri.....	85
Çizelge 4.2.	Kayışlı Köyü 1.6 m Sondaj'dan Alınan Zemin Numunesine Ait Konsolidasyon Okumaları	86
Çizelge 4.3.	Kayışlı Köyü 1.6 m lik Sondaj Numunesi'nin Deney Başı ve Deney Sonu Değerleri.....	87
Çizelge 4.4.	Kayışlı Köyü 1.6 m Sondaj Numunesi için Konsolidasyon Değer ve Parametreleri.....	88
Çizelge 4.5.	Kayışlı Köyü 8.4 m Sondaj'dan Alınan Zemin Numunesine Ait Konsolidasyon Okumaları	90
Çizelge 4.6.	Kayışlı Köyü 8.4 m lik Sondaj Numunesi'nin Deney Başı ve Deney Sonu Değerleri.....	91
Çizelge 4.7.	Kayışlı Köyü 8.4 m Sondaj Numunesi için Konsolidasyon Değer ve Parametreleri.....	92
Çizelge 4.8.	Kayışlı Köyü CL Grubu Killi Numunenin Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri.....	94
Çizelge 4.9.	Kayışlı Köyü CL Grubu Killi Numunenin Dispersiyon Değerleri.....	95
Çizelge 4.10.	Kayışlı Köyü CH Grubu Killi Numunenin Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri.....	96
Çizelge 4.11.	Kayışlı Köyü CH Grubu Killi Numunenin Dispersiyon Değerleri	97
Çizelge 4.12.	CL Grubu Zeminde, 0.51 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi	106
Çizelge 4.13.	CL Grubu Zeminde, 0.51 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Deneysel Oturma Hızları, Boşluk Suyu Hızları ve Zemin İskeletinin Sıkışma Hızları İlişkisi	107
Çizelge 4.14.	CL Grubu Zeminde 0.51 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyunun Boşalma Hızı ve Zemin İçindeki Hızının, Oturma Hızlarıyla İlişkisi	108

Çizelge 4.15. CH Grubu Zeminde, 0.51 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi	110
Çizelge 4.16. CH Grubu Zeminde, 0.51 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Deneysel Oturma Hızları, Boşluk Suyu Hızları ve Zemin İskeletinin Sıkışma Hızları İlişkisi	111
Çizelge 4.17. CH Grubu Zeminde 0.51 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyunun Boşalma Hızı ve Zemin İçindeki Hızının, Oturma Hızlarıyla İlişkisi	112
Çizelge 4.18. Mersin Akdeniz Karaduvar'dan Alınan Numune için Konsolidasyon Okumaları	115
Çizelge 4.19. Mersin Akdeniz Karaduvar'dan Alınan Numune için Deney Başı ve Deney Sonu Değerleri.....	116
Çizelge 4.20. Mersin Akdeniz Karaduvar'dan Alınan Numune için Konsolidasyon Değer ve Parametreleri	117
Çizelge 4.21. Mersin Akdeniz Karaduvar'dan Alınan Numuneye ait Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri	118
Çizelge 4.22. Mersin Karaduvar'dan Alınan Killi Numunenin Dispersiyon Değerleri	119
Çizelge 4.23. Mersin Karaduvar'dan Alınan Killi Numunenin, 1.02 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi.....	120
Çizelge 4.24. Mersin Karaduvar'dan Alınan Killi Numunenin, 1.02 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Deneysel Oturma Hızları, Boşluk Suyu Hızları ve Zemin İskeletinin Sıkışma Hızları İlişkisi	121
Çizelge 4.25. Mersin Karaduvar'dan Alınan Killi Numunenin, 1.02 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyunun Boşalma Hızı ve Zemin İçindeki Hızının, Oturma Hızlarıyla İlişkisi	122
Çizelge 4.26. Mersin Akdeniz Tırmıl'dan Alınan Numune için Konsolidasyon Okumaları	124
Çizelge 4.27. Mersin Akdeniz Tırmıl dan Alınan Numune için Deney Başı ve Deney Sonu Değerleri	125

Çizelge 4.28. Mersin Akdeniz Tırmıl'dan Alınan Numune için Konsolidasyon Değer ve Parametreleri	126
Çizelge 4.29. Mersin Akdeniz Tırmıl'dan Alınan Numuneye ait Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri	127
Çizelge 4.30. Mersin Tırmıl'dan Alınan Killi Numunenin Dispersiyon Değerleri	129
Çizelge 4.31. Mersin Tırmıl'dan Alınan Killi Numunenin, 1.02 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi.....	135
Çizelge 4.32. Mersin Tırmıl'dan Alınan Killi Numunenin, 1.02 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Deneysel Oturma Hızları, Boşluk Suyu Hızları ve Zemin İskeletinin Sıkışma Hızları İlişkisi	136
Çizelge 4.33. Mersin Tırmıl'dan Alınan Killi Numunenin, 1.02 kg/cm ² lik Gerilme için Boşluk Suyunun Boşalma Hızı ve Zemin İçindeki Hızının, Oturma Hızlarıyla İlişkisi	137
Çizelge 4.34. Mersin Karaduvar'dan Alınan Killi Numunenin, 8.15 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi.....	141
Çizelge 4.35. Mersin Karaduvar'dan Alınan Killi Numunenin, 8.15 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Deneysel Oturma Hızları, Boşluk Suyu Hızları ve Zemin İskeletinin Sıkışma Hızları İlişkisi	142
Çizelge 4.36. Mersin Karaduvar'dan Alınan Killi Numunenin, 8.15 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyunun Boşalma Hızı ve Zemin İçindeki Hızının, Oturma Hızlarıyla İlişkisi	143
Çizelge 4.37. Mersin Tırmıl'dan Alınan Killi Numunenin, 8.15 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi.....	145
Çizelge 4.38. Mersin Tırmıl'dan Alınan Killi Numunenin, 8.15 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Deneysel Oturma Hızları, Boşluk Suyu Hızları ve Zemin İskeletinin Sıkışma Hızları İlişkisi	146
Çizelge 4.39. Mersin Tırmıl'dan Alınan Killi Numunenin, 8.15 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyunun Boşalma Hızı ve Zemin İçindeki Hızının, Oturma Hızlarıyla İlişkisi.....	147
Çizelge 4.40. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL Grubu Numune için Konsolidasyon Değer ve Parametreleri	154

Çizelge 4.41. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL Grubu Numunenin Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri	155
Çizelge 4.42. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL Grubu Numunenin Dispersiyon Değerleri	156
Çizelge 4.43. Antalya Boğaçay'dan Alınan CH Grubu Numunenin Konsolidasyon Değer ve Parametreleri	157
Çizelge 4.44. Antalya Boğaçay'dan Alınan CH Grubu Numuneye ait Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri	158
Çizelge 4.45. Antalya Boğaçay'dan Alınan CH Grubu Numunenin Dispersiyon Değerleri	159
Çizelge 4.46. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL Grubu Numune için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi	163
Çizelge 4.47. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL Grubu Numune için Boşluk Suyu, Boşalma (Deşarj) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları İlişkisi	164
Çizelge 4.48. Antalya Boğaçay'dan Alınan CH Grubu Numune için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi	167
Çizelge 4.49. Antalya Boğaçay'dan Alınan CH Grubu Numune için Boşluk Suyu, Boşalma (Deşarj) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları İlişkisi .	167
Çizelge 4.50. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-1 Numunesinin Konsolidasyon Değer ve Parametreleri	172
Çizelge 4.51. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-1 Numunesine ait Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri	173
Çizelge 4.52. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-1 Numunesinin Dispersiyon Değerleri	174
Çizelge 4.53. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-2 Numunesinin Konsolidasyon Değer ve Parametreleri	175
Çizelge 4.54. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-2 Numunesine ait Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri	176
Çizelge 4.55. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-2 Numunesinin Dispersiyon Değerleri	177

Çizelge 4.56. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-1 Numunesi için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi	179
Çizelge 4.57. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-1 Numunesi için Boşluk Suyu, Boşalma (Deşarj) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları İlişkisi	180
Çizelge 4.58. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-2 Numunesi için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi	181
Çizelge 4.59. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-2 Numunesi için Boşluk Suyu, Boşalma (Deşarj) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları İlişkisi	182
Çizelge 4.60. Mersin Yenişehir Menteş'ten Alınan CL Grubu Numunenin Konsolidasyon Değer ve Parametreleri	191
Çizelge 4.61. Mersin Yenişehir Menteş'ten Alınan CL Grubu Numuneye ait Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri	192
Çizelge 4.62. Mersin Yenişehir Menteş'ten Alınan CL Grubu Numunenin Dispersiyon Değerleri.....	193
Çizelge 4.63. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numunenin Konsolidasyon Değer ve Parametreleri	193
Çizelge 4.64. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numuneye ait Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri	194
Çizelge 4.65. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numunenin Dispersiyon Değerleri.....	195
Çizelge 4.66. Mersin Yenişehir Menteş'ten Alınan CL Grubu Numune için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi.....	197
Çizelge 4.67. Mersin Yenişehir Menteş'ten Alınan CL Grubu Numune için Boşluk Suyu, Boşalma (Deşarj) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları İlişkisi	198
Çizelge 4.68. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numune için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi.....	199

Çizelge 4.69. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numune için Boşluk Suyu, Boşalma (Deşarj) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları İlişkisi	200
Çizelge 4.70. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimine ($\Delta\gamma_k$) Bağlı Kuramsal ve Tahmini Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t)	205
Çizelge 4.71. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi ($\Delta\gamma_k$) ile Toplam Sıkışan Zemin Miktarı Değişimi (ΔW_t) İlişkisine ait Korelasyon ve Determinasyon Katsayıları	209
Çizelge 4.72. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimine ($\Delta\gamma_k$) Bağlı Kuramsal ve Tahmini Boşluk Suyu Hızları (v_z)	210
Çizelge 4.73. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi ($\Delta\gamma_k$) ile Boşluk Suyu Hızı Değişimi (Δv_z) İlişkisine ait Korelasyon ve Determinasyon Katsayıları.....	212
Çizelge 4.74. Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranına (γ_{kn}/γ_{k0}) Bağlı Kuramsal ve Tahmini Efektif Gerilme Farkları ($\Delta\sigma'$).....	215
Çizelge 4.75. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi (γ_{kn}/γ_{k0}) ile Efektif Gerilme Farkı ($\Delta\sigma'$) İlişkisine ait Korelasyon ve Determinasyon Katsayıları.....	217
Çizelge 4.76. Hacimsel Sıkışma Katsayısı ($1/m_v$) ile Efektif Gerilme Farkı ($\Delta\sigma'$) İlişkisine ait Korelasyon ve Determinasyon Katsayıları	217
Çizelge 4.77. Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranı Doğal Logaritmasına ($\ln \gamma_{k2}/\gamma_{k1}$) Bağlı Kuramsal ve Tahmini Difüzivite Katsayısı Değerleri (ΔD_s ve D_s)	220
Çizelge 4.78. Difüzivite Katsayısı Değişimi (ΔD_s) ile Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranının Doğal Logaritması ($\ln(\gamma_{k2}/\gamma_{k1})$) İlişkisine ait Korelasyon ve Determinasyon Katsayıları	225
Çizelge 4.79. Difüzivite Katsayısı (D_s) ile Orantı Katsayısı (K_s) İlişkisine ait Korelasyon ve Determinasyon Katsayıları.....	226
Çizelge 4.80. Konsolidasyon Deney Sonuçları	230
Çizelge 4.81. Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunmuş Olan Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) İlişkisi	230

Çizelge 4.82. Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunmuş Olan Boşluk Suyu Hızları (v_z) İlişkisi	232
Çizelge 4.83. Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunmuş Olan Efektif Gerilme Farkları ($\Delta\sigma'$) İlişkisi	234
Çizelge 4.84. Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunmuş Olan Difüzivite Katsayıları (D_s) İlişkisi	237

Şekil 3.1.	Uz(t)=%50 için Konsolidasyon Oranı'nın Değişimi (Tekinsoy, 2013).....	69
Şekil 3.2.	Konsolidasyonda Dane Difüzyonu ve Dispersiyon	70
Şekil 4.1.	CL Grubu Zemin için Boşluk Oranı (e) ve Efektif Gerilme (log σ) Değişimi Grafiği	89
Şekil 4.2.	CH Grubu Zemin için Boşluk Oranı (e) ve Efektif Gerilme (log σ) Değişimi Grafiği	92
Şekil 4.3.	CL ve CH Grubu Zeminlerin Basınç Kademesine (p) göre Kuru Birim Hacim Ağırlıkları (γ_k) İlişkisi.....	98
Şekil 4.4.	CL ve CH Grubu Zeminlerin Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayıları (m_v) İlişkisi.....	99
Şekil 4.5.	CL Grubu Zemin için Deneysel (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi.....	100
Şekil 4.6.	CH Grubu Zemin için Deneysel (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi.....	100
Şekil 4.7.	CL ve CH Grubu Zeminlerin Basınç Kademesine (p) göre Difüzivite Katsayıları ($D_s \times 10^{-4}$) İlişkisi.....	101
Şekil 4.8.	CL Grubu Zemin için Basınç Kademesine (p) göre m_v ve $D_s (\times 10^{-3})$ İlişkisi.....	102
Şekil 4.9.	CH Grubu Zemin için Basınç Kademesine (p) göre m_v ve $D_s (\times 10^{-3})$ İlişkisi.....	102
Şekil 4.10.	CL Grubu Zemin için Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayıları (m_v) ile Toplam Sıkışan Zemin Miktarları ($\Delta W_t \times 10^{-1}$) İlişkisi	103
Şekil 4.11.	CH Grubu Zemin için Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayıları (m_v) ile Toplam Sıkışan Zemin Miktarları ($\Delta W_t \times 10^{-1}$) İlişkisi	103
Şekil 4.12.	CL ve CH Grubu Zeminlerde Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) İlişkisi	105
Şekil 4.13.	CL Grubu Zeminde Oturma ve Boşluk Suyu Hızları İlişkisi	109

Şekil 4.14.	CH Grubu Zeminde Oturma ve Boşluk Suyu Hızları İlişkisi.....	113
Şekil 4.15.	CL ve CH Grubu Zeminlerde Oturma ve Boşluk Suyu Hızları İlişkisi.....	113
Şekil 4.16.	CL ve CH Grubu Zeminlerde Deşarj (Boşalma) Hızları İlişkisi	114
Şekil 4.17.	Karaduvar'dan Alınan Zemin için Boşluk Oranı (e) ve Efektif Gerilme ($\log \sigma$) Değişimi Grafiği	117
Şekil 4.18.	Mersin Karaduvar Numunesi için Deneysel (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi.....	118
Şekil 4.19.	Mersin Karaduvar Numunesi için Deneysel ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları İlişkisi	123
Şekil 4.20.	Tırmıl'dan Alınan Zemin için Boşluk Oranı (e) ve Efektif Gerilme ($\log \sigma$) Değişimi Grafiği	126
Şekil 4.21.	Mersin Tırmıl Numunesi için Deneysel (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi.....	127
Şekil 4.22.	Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Kuru Birim Hacim Ağırlıkları (γ_k) İlişkisi.....	128
Şekil 4.23.	Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayıları (m_v) İlişkisi	129
Şekil 4.24.	Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde Basınç Kademesine (p) göre Difüzivite Katsayıları ($D_s \times 10^{-5}$) İlişkisi.....	130
Şekil 4.25.	Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) İlişkisi	131
Şekil 4.26.	Karaduvar Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayısı (m_v) ve Difüzivite Katsayısı ($D_s \times 10^{-3}$) İlişkisi.....	132
Şekil 4.27.	Tırmıl Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayısı (m_v) ve Difüzivite Katsayısı ($D_s \times 10^{-3}$) İlişkisi.....	132
Şekil 4.28.	Karaduvar Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayısı (m_v) ve Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t $\times 10^{-1}$) İlişkisi	133

Şekil 4.29.	Tırmıl Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayısı (m_v) ve Toplam Sıkışan Zemin Miktarları ($\Delta W_t \times 10^{-1}$) İlişkisi.....	133
Şekil 4.30.	Karaduvar ve Tırmıl Numuneleri için Basınç Kademesine (p) göre Dispersif Zemin Miktarları (ΔW_s) İlişkisi	134
Şekil 4.31.	Mersin Tırmıl Numunesinde 1.02 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Deneyisel ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları İlişkisi.....	138
Şekil 4.32.	Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 1.02 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Deneyisel Oturma Hızları İlişkisi	138
Şekil 4.33.	Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 1.02 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Kuramsal Oturma Hızları İlişkisi.....	139
Şekil 4.34.	Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 1.02 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyu Hızları İlişkisi.....	140
Şekil 4.35.	Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 1.02 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için $v_s=v/n$ ile Bulunan Kuramsal Boşluk Suyu Hızları İlişkisi	140
Şekil 4.36.	Mersin Karaduvar Numunesinde 8.15 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Deneyisel ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları İlişkisi.....	144
Şekil 4.37.	Mersin Tırmıl Numunesinde 8.15 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Deneyisel ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları İlişkisi.....	148
Şekil 4.38.	Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 8.15 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Deneyisel Oturma Hızları İlişkisi	148
Şekil 4.39.	Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 8.15 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Kuramsal Oturma Hızları İlişkisi.....	149
Şekil 4.40.	Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 8.15 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyu Hızları İlişkisi.....	149
Şekil 4.41.	Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 8.15 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için $v_s=v/n$ ile Bulunan Kuramsal Boşluk Suyu Hızları İlişkisi	150

Şekil 4.42.	Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 8.15 kg/cm ² lik Gerilme Değeri için Zemin İskeleti Sıkışma Hızları İlişkisi	150
Şekil 4.43.	Adana'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numuneleri ile Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) İlişkisi	151
Şekil 4.44.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL Grubu Zemin Numunelerinin Deneysel (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Efektif Gerilme Farkları İlişkisi.....	160
Şekil 4.45.	Antalya Boğaçay'dan alınan CH Grubu Zemin Numunelerinin Deneysel (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Efektif Gerilme Farkları İlişkisi.....	160
Şekil 4.46.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayıları (m_v) İlişkisi.....	161
Şekil 4.47.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Difüzivite Katsayıları ($D_s \times 10^{-5}$) İlişkisi	162
Şekil 4.48.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) İlişkisi	162
Şekil 4.49.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL Grubu Zemin Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Deneysel ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi	165
Şekil 4.50.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL Grubu Zemin Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Deşarj Hızı ($v \times 10^{-4}$) ile Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-5}$) İlişkisi.....	165
Şekil 4.51.	Antalya Boğaçay'dan alınan CH Grubu Zemin Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Deneysel ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi	168
Şekil 4.52.	Antalya Boğaçay'dan alınan CH Grubu Zemin Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Deşarj Hızı ($v \times 10^{-4}$) ile Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-5}$) İlişkisi.....	168

Şekil 4.53.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numuneleri için Basınç Kademesine (p) göre Deneysel ve Kuramsal Oturma Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi.....	169
Şekil 4.54.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numuneleri için Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi.....	169
Şekil 4.55.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numuneleri için Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyunun Boşalma (Deşarj) Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi	170
Şekil 4.56.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numuneleri için Basınç Kademesine (p) göre Zemin İskeletinin Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-5}$) İlişkisi.....	170
Şekil 4.57.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 Numunesi için Deneysel (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi	173
Şekil 4.58.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL-2 Numunesi için Deneysel (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi	176
Şekil 4.59.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Difüzivite Katsayıları ($D_s \times 10^{-5}$) İlişkisi	178
Şekil 4.60.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 ve CL-2 Numuneleri için Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) İlişkisi.....	178
Şekil 4.61.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Deneysel ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi	180
Şekil 4.62.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL-2 Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Deneysel ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi	182
Şekil 4.63.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Deşarj ($v \times 10^{-4}$) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-6}$) İlişkisi	183

Şekil 4.64.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL-2 Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Deşarj ($v \times 10^{-4}$) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-6}$) İlişkisi	183
Şekil 4.65.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Deneysel ve Kuramsal Oturma Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi	184
Şekil 4.66.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi	184
Şekil 4.67.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyu Deşarj Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi....	185
Şekil 4.68.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-6}$) İlişkisi.....	185
Şekil 4.69.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Difüzivite Katsayıları ($D_s \times 10^{-5}$) İlişkisi	186
Şekil 4.70.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) İlişkisi	187
Şekil 4.71.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Deneysel Oturma Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi	187
Şekil 4.72.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Kuramsal Oturma Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi	188
Şekil 4.73.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi	188
Şekil 4.74.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre $v_s = v/n$ ile Bulunan Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi.....	189

Şekil 4.75.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyu Deşarj (Boşalma) Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi.....	189
Şekil 4.76.	Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-5}$) İlişkisi	190
Şekil 4.77.	Mersin Yenişehir Mentesh'ten Alınan CL Grubu Numune için DeneySEL (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi.....	192
Şekil 4.78.	Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numune için DeneySEL (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi.....	194
Şekil 4.79.	CL ve CH Grubu Numunelerin Basınç Kademesine (p) göre Difüzivite Katsayıları ($D_s \times 10^{-4}$) İlişkisi.....	195
Şekil 4.80.	CL ve CH Grubu Numunelerin Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) İlişkisi	196
Şekil 4.81.	Mersin Yenişehir Mentesh'ten Alınan CL Grubu Numune için Basınç Kademesine (p) göre DeneySEL ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi.....	198
Şekil 4.82.	Mersin Yenişehir Mentesh'ten Alınan CL Grubu Numune için Basınç Kademesine (p) göre Deşarj ($v \times 10^{-4}$) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-6}$) İlişkisi	199
Şekil 4.83.	Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numune için Basınç Kademesine (p) göre DeneySEL ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi.....	200
Şekil 4.84.	Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numune için Basınç Kademesine (p) göre Deşarj ($v \times 10^{-4}$) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-6}$) İlişkisi	201
Şekil 4.85.	CL ve CH Grubu Numuneler için Basınç Kademesine (p) göre DeneySEL Oturma Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi	201
Şekil 4.86.	CL ve CH Grubu Numuneler için Basınç Kademesine (p) göre Kuramsal Oturma Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi.....	202

Şekil 4.87.	CL ve CH Grubu Numuneler için Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi.....	202
Şekil 4.88.	CL ve CH Grubu Numuneler için Basınç Kademesine (p) göre $v_s = v/n$ ile Bulunan Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi.....	203
Şekil 4.89.	CL ve CH Grubu Numuneler için Basınç Kademesine (p) göre Deşarj Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi.....	203
Şekil 4.90.	CL ve CH Grubu Numuneler için Basınç Kademesine (p) göre Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-5}$) İlişkisi	204
Şekil 4.91.	Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi ($\Delta\gamma_k$) ile Toplam Sıkışan Zemin Miktarı Değişimi (ΔW_t) Arasındaki Doğrusal İlişki Grafiği...	207
Şekil 4.92.	Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi ($\Delta\gamma_k$) ile Toplam Sıkışan Zemin Miktarı Değişimi (ΔW_t) Arasındaki Polinomsal İlişki Grafiği	208
Şekil 4.93.	Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi ($\Delta\gamma_k$) ile Toplam Sıkışan Zemin Miktarı Değişimi (ΔW_t) Arasındaki Üssel İlişki Grafiği	209
Şekil 4.94.	Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi ($\Delta\gamma_k$) ile Zemin İçinde Akan Boşluk Suyu Hızının Değişimi (Δv_z) Arasındaki Doğrusal İlişki Grafiği.....	213
Şekil 4.95.	Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi ($\Delta\gamma_k$) ile Zemin İçinde Akan Boşluk Suyu Hızının Değişimi (Δv_z) Arasındaki Üssel İlişki Grafiği.....	213
Şekil 4.96.	Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranı Değişimleri (γ_{kn}/γ_{k0}) ile Efektif Gerilme Değişimleri ($\Delta\sigma'$) arasındaki Doğrusal İlişki	218
Şekil 4.97.	Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranı Değişimleri (γ_{kn}/γ_{k0}) ile Efektif Gerilme Değişimleri ($\Delta\sigma'$) arasındaki Polinomsal İlişki.....	219
Şekil 4.98.	Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranı Değişimleri (γ_{kn}/γ_{k0}) - Efektif Gerilme Değişimleri ($\Delta\sigma'$) - Regresyon Değerleri Arasındaki İlişki ..	219
Şekil 4.99.	Difüzivite Katsayısı Değişimi (ΔD_s) ile Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranı Doğal Logaritması ($\ln(\gamma_{k2}/\gamma_{k1})$) Arasındaki İlişki ile Bulunan Kuramsal ve Tahmini Değerlerin Karşılaştırılması	224

Şekil 4.100. Difüzivite Katsayısı (D_s) ile Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranı Doğal Logaritması ($\ln(\gamma_{k2}/\gamma_{k1})$) Arasındaki İlişki ile Bulunan Kuramsal ve Tahmini Değerlerin Karşılaştırılması	225
Şekil 4.101. Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarı (ΔW_t) için Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunan Sonuçların Karşılaştırılması.....	231
Şekil 4.102. Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarı (ΔW_t) için Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunan Sonuçlardaki Hata ve Sapmalar	231
Şekil 4.103. Basınç Kademesine (p) göre Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunan Boşluk Suyu Hızları (v_z) İlişkisi.....	233
Şekil 4.104. Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyu Hızları (v_z) için Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunan Sonuçlardaki Hata ve Sapmalar.....	233
Şekil 4.105. Basınç Kademesine (p) göre Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunan Efektif Gerilme Farkları ($\Delta\sigma'$) İlişkisi	235
Şekil 4.106. Basınç Kademesine (p) göre Efektif Gerilme Farkları ($\Delta\sigma'$) için Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunan Sonuçlardaki Hata ve Sapmalar.....	236
Şekil 4.107. Basınç Kademesine (p) göre Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunan Difüzivite Katsayıları (D_s) İlişkisi.....	237

SİMGELER VE KISALTMALAR

a	: Deney sonuçlarına göre bulunan pozitif bir katsayı
a_L	: Poroz bir ortamın boyuna dispersivite katsayısı
b	: Ampirik bir sabit
g_A	: Su altındaki birim hacim ağırlık
g_k	: Zeminin kuru birim hacim ağırlığı
g_n	: Zeminin doğal birim hacim ağırlığı
g_s	: Zeminin dane birim hacim ağırlığı
g_w	: Suyun birim hacim ağırlığı
g^p	: Plastik kayma deformasyonu
$\dot{g}^p$	: Plastik kayma deformasyonu değişim hızı
Dg_k	: Zeminin kuru birim hacim ağırlık değişimi
Ds, Ds_v	: Toplam gerilme farkı
$Ds \text{ } \& Ds \text{ } \&$	: Efektif gerilme farkı
DH	: Zemin numunesi boy değişimi
Dp	: Basınç farkı
DW_s	: Dispersif zemin miktarı farkı
e	: Hacimsel deformasyon, toplam deformasyon, düşey hacimsel deformasyon
e_0	: Başlangıç deformasyonu
e_1, e_2, e_3	: Asal hacimsel deformasyonlar
$\dot{e}$	: Deformasyon değişim hızı
e^c	: Zamana bağlı deformasyon
$\dot{e}^c$	: Zamana bağlı deformasyon değişim hızı
e^e	: Elastik kısmın deformasyonu
$\dot{e}^e$	: Elastik kısmın deformasyon değişim hızı

e_v^p	: Plastik hacimsel deformasyon, plastik asal hacimsel deformasyon
$\dot{e}_v^p$	: Plastik hacimsel deformasyon değişim hızı
e_1^p, e_2^p, e_3^p	: Plastik asal hacimsel deformasyonlar
q	: Hacimsel su içeriği
q_0	: Doygun durumdaki hacimsel su içeriği
q_i	: Başlangıç hacimsel su içeriği
l	: Deneysel malzeme sabiti; aşırı boşluk suyu için verilen boyutsuz bir parametre
m, h	: Aşırı boşluk suyu için verilen boyutsuz parametreler
h_m	: Aşırı konsolide rejim için verilen boyutsuz bir parametre
h_M	: Normal konsolide rejim için verilen boyutsuz bir parametre
r_s	: Dane yoğunluğu
r_l	: Sıvı yoğunluğu
r_m	: Karışım yoğunluğu
s, s_v	: Toplam gerilme
s_0, s_{v0}, s_{vi}	: Başlangıç toplam gerilme değeri
s_f, s_{vf}	: Nihai toplam gerilme değeri
s_c	: Toplam dış yük (gerilme)
s_p	: Ön konsolidasyon basıncı
s_{p0}	: Konsolidasyon başı ön-konsolidasyon basıncı
s_{pc}	: Konsolidasyon sonu ön-konsolidasyon basıncı
$\dot{s}$	: Toplam gerilme değişim hızı
s_e, s_{ve}	: Efektif gerilme
s_{e0}, s_{ev0}, s_{evi}	: Başlangıç efektif gerilme değeri
s_{ef}, s_{vfe}	: Nihai efektif gerilme değeri
$\dot{s}_e$	: Efektif gerilme değişim hızı

y	: Dilatasyon açısı
y_m	: Mobilize dilatasyon açısı
$\tilde{N}$	: Gradyan operatörü
t	: Torsiyosite
a_v	: Kompresibilite katsayısı
A	: Zeminin aktivite değeri; zemin numunesi kesit alanı; ödometre deneyi sonucunda bulunan ampirik bir katsayı
AKO	: Aşırı konsolidasyon oranı
b	: Zeminlerin fiziksel özelliği ile ilgili bir katsayı
B, C	: Ödometre deney sonuçlarından bulunan ampirik katsayılar
c	: Lineer bölge permeabilitesi
c_a	: İkincil (sekonder) konsolidasyona ait sıkışma indisi
c_c, I_c	: Sıkışma indisi, kompresibilite indeksi
c_k, C_k	: Permeabilite indeksi (indisi)
c_v, C_v	: Konsolidasyon katsayısı
C	: Konsantrasyon
C_f	: Sıvı konsantrasyonu
C_g	: Yerçekimi sabit terimi
C_m	: Poroz bir ortamın birim hacmine yayılan madde miktarı
C_r	: Rölatif konsistans
C_v^w	: Su fazına ait konsolidasyon katsayısı
C_w	: Su fazı ile birleşik bir sabit
CH	: Yüksek plastisiteli kil
CL	: Düşük plastisiteli kil
CR	: Konsolidasyon oranı
D	: Deney numunesinin ölçülen çap değeri
D^*	: Difüzyon katsayısı
D_h	: Hidrodinamik dispersiyon katsayısı

D_m	: Mekanik dispersiyon katsayısı
D_s	: Dane difüzivite (yayınım) katsayısı
e	: Boşluk oranı, toplam boşluk oranı
$\frac{de}{dt}$	: Boşluk oranı değişim hızı
e_0	: Başlangıç boşluk oranı
e_m	: Mikro boşluk oranı
e_M	: Makro boşluk oranı
E_{ur}	: Boşaltma-yeniden yükleme durumundaki rijitlik
E_{50}	: İlk yükleme değeri için, çevre basıncına bağlı katılık modülü
f	: Sızıntı kuvveti
f_{12}, f_{13}	: Akma fonksiyonları
G_s	: Dane özgül ağırlığı
h	: Zemin numunesinin alındığı derinlik
h_i	: Yükseklik olarak boşluk suyu basıncının başlangıç değeri
H_d	: Zeminin drenaj boyu
i	: Hidrolik eğim
i_0	: Hesaplanan eşik hidrolik eğimi
i_1	: Eşik hidrolik eğimi
i_c	: Kritik hidrolik eğim
I_c	: Sıkışabilirlik indeksi
I_L	: Likitlik indeksi
I_p	: Plastisite indisi
J_A	: Advektif akı
J_D	: Difüze olan kütle akısı
J_M	: Mekanik dispersif akı
J_s	: Dane akısı
K	: Permeabilite katsayısı; hidrolik iletkenlik

K_0, K_{v0}	: Başlangıç permeabilite katsayısı
K_s	: Orantı katsayısı
K_v	: Düşey permeabilite
l	: Sıvı fazı; maddenin difüze olduğu yatay uzunluk
l_e	: Maddenin difüze olduğu gerçek (etkin) uzunluk
L	: Zemin tabaka kalınlığı
m	: Deney sonuçlarından elde edilen ve zemin özelliğı ile ilgili ampirik bir katsayı
m_v	: Hacimsel kompressibilite (sıkışma) katsayısı, hacim değıştirme katsayısı
M	: Zemin numunesinin ölçülen ağırlığı
n	: Porozite
p	: Toplam yükleme basıncı; dış yükleme; boşluk suyu parametresi
p_0	: Başlangıç basınç değeri
p_{av}	: Ortalama boşluk suyu parametresi
p_i	: Başlangıç boşluk suyu parametresi
q	: Dış yükleme basıncı
q_a	: Gerilme-deformasyon bağıntısının asimptotik olduğu gerilme değeri
q_u	: Killi zeminin serbest basınç mukavemeti
Q	: Suyun akım hızı
s	: Sorptivite; dane fazı
S, S_r	: Zeminin doygunluk oranı
S_t	: Killi zeminin hassaslık derecesi
t	: Zaman (süre), transit zamanı
t_0	: Başlangıç zamanı
t_c	: %100 lük konsolidasyona karşı gelen süre

t_p	: Birincil (primer) konsolidasyonun süresi
t_s	: İkincil (sekonder) konsolidasyonun süresi
T_c	: Modifiye zaman faktörü
T_s	: Yapısal viskozite
T_v, T	: Zaman faktörü
T^*	: Zaman parametresi
u	: Boşluk suyu basıncı
u_a	: Boşluk hava basıncı
u_w	: Aşırı boşluk suyu basıncı
U_z	: Konsolidasyon derecesi (oranı)
x	: Dispersif değişken; taşınma doğrultusu
x_f	: Difüzyon boyu
x_m	: Ortam uzunluğu
v	: Suyun boşalma (drenaj) hızı, akım hızı, deşarj hızı, boşluk suyu hızı
v_c	: Kompozit hızı
v_f	: Boşluk suyu hızı
v_m	: Ortalama hız
v_s	: Zemin iskeletinin sıkışma hızı, sızma hızı
v_z	: Oturma hızı, dispersiyon hızı
v_{z1}	: Drenaj boyunun değişim hızı
V, V_m	: Hacim, toplam hacim, ortam hacmi
V_f	: Sıvı hacmi
V_w	: Su hacmi
w	: Zeminin ağırlıkça su içeriği
w_n	: Zeminin doğal su içeriği

w_L	: Likit limit
w_P	: Plastik limit
W	: Boşluk suyu basıncı ve efektif gerilme değişimi oranı; ağırlık
W_k, W_s	: Zeminin kuru ağırlığı, zeminin dane ağırlığı
z	: Zemin numunesinin boyu; düşey koordinat; zayıf bağlı birim şekil değiştirme
z_c	: Düzgün sünme doğrusunun zaman eksenini kestiği nokta
z_i, z_0	: Başlangıç numune yüksekliği
z_f	: Nihai numune yüksekliği
Z	: Derinlik oranı

1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Zemin mekaniğinde gerilme-deformasyon bağıntıları kadar, deformasyon-zaman ilişkileri de önemlidir. Deformasyon-zaman bağıntıları ve oturmaların zamanla değişimi konsolidasyon kuramı ile açıklanmaya çalışılmaktadır.

Konsolidasyon tanım olarak, yük altındaki bir zeminden, zemin boşluk suyunun dışarı akarak zeminin oturmasını ifade eder. Uygulanan yük nedeni ile boşluk suyu basınçları ve hidrolik eğim doğar. Doğan hidrolik eğim nedeni ile de zemin içinde izokorik ve barotropik bir su akımı başlar. Bu akım bir geçiş akımı niteliğine sahiptir (Şuhubi, 1967). Zemin boşluklarından dışarı akan su, zemin hacminde azalmaya ve zemin oturmalarına neden olur. Bu olayın sonucunda zemine ait porozite ve boşluk oranı değişir. Aynı zamanda konsolidasyon olayı, boşluk suyunun zemin içindeki yayılımını (difüzyonunu) ve buna bağlı oturmayı da ifade eder. Başka bir deyişle konsolidasyon, zemin suyunun boşalımı (drenajı) sonucunda meydana gelen fiziksel bir olaydır. Buraya kadar söylenen özellikleri içeren ilk kuram, Terzaghi tarafından verilmiş ve doğan hidrolik eğim nedeni ile oluşan boşluk suyu basınç değişimleri, aşağıdaki diferansiyel denklemle ifade edilmiştir (Capper ve Cassie, 1984).

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

Bu diferansiyel denklemin bağımsız değişkenleri z koordinatı ve t zamanıdır. c_v konsolidasyon katsayısını ve u da boşluk suyu basıncını gösterir.

Verilen denklem, lineer, kısmi türevli ve difüzyon tipi bir denklemdir. Denklemden konsolidasyon katsayısı c_v , parametre durumundadır. Bu katsayı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$c_v = \frac{K}{m_v g_w}$$

Konsolidasyon katsayısının yukarıdaki denklemde bir parametre olarak gözükmesi, zeminin fiziksel bir özelliğini belirten bağımsız bir katsayı olduğunu ifade eder.

Konsolidasyon katsayısının yukarıda verilmiş olan eşitlikteki tanımı gereğince bu parametre, zeminin K su geçirgenliğine (permeabilitesine), zemin iskeletinin m_v sıkışabilirliğine ve suyun birim hacim ağırlığına (g_w) bağlıdır. Zemine ait boşluk geometrisi, yükleme durumunun geometrik şekli, zeminin depozit (çökelme) özellikleri, zemin tarihçesi ve ilgili problemin sınır koşulları, zemin oturmalarını ve konsolidasyon katsayısını etkiler.

Terzaghi'ye ait konsolidasyon kuramı, lineer bir kuram olup doygun ve homojen zeminlere ait sıkışmayı göz önüne almaktadır. Bu kuramda şekil değiştirmelerin (deformasyonların) küçük, zemin su geçirgenliği ve sıkışabilirliğin uyumlu olması ve oranlarının fazla değişmemesi nedeni ile, konsolidasyon katsayısının bir parametre olduğu varsayılmıştır (Geng ve ark., 2006). Aynı zamanda, zemine ait sıkışabilirlik ile su geçirimsizliğinin (permeabilitenin), bir zemin tabakası kalınlığınca değişmediği de varsayılmıştır. Oysa, sözü edilen zemin parametreleri, zeminin tip ve tarihçesine bağlı olarak değişiklik gösterirler (Battaglio ve ark., 2005). Sonuçta, Terzaghi konsolidasyon kuramı, bir zemine ait hem hidrolik hem de mekanik özellikleri bir arada içeren lineer bir teoridir.

Konsolidasyon kuramı, kohezif bir zemin üzerine uygulanan bir basınç yükünün, boşluk suyu tarafından zemin iskeletine aktarılmasını (transferini) açıklamaktadır. Bu durumda, zeminin doygun olduğu varsayımı altında, boşluk suyu ve zemin iskeletinin taşıdığı efektif gerilmeler arasında aşağıdaki ilişki mevcuttur:

$$s = s' + u \quad (1.1.a)$$

$$ds' = - du \quad (1.1.b)$$

Bu ifadede s toplam gerilme olarak yükleme basıncını, s' efektif gerilmeleri ve u da boşluk suyu basıncını göstermektedir. Toplam basınç sabit olduğu için diferansiyeli sıfıra eşittir. Buna göre efektif gerilme artarken, boşluk suyu basıncı

azalır ve belli bir süre sonra sönümlenir. Efektif gerilmelerin artması zeminlerin mukavemet kazanmasına yol açar.

Boşluk suyunun dışarı akması nedeni ile zemin oturmalarını ifade eden konsolidasyonda, birincil (primer) ve ikincil (sekonder) konsolidasyon olmak üzere iki kısım mevcuttur. Yukarıda sözü edilen lineer konsolidasyon kuramı, birincil konsolidasyon ile ilgili bir kuramdır. Bu kuram yalnızca oturmalar hakkında bilgi verir. Oturma hızları ve zemine ait viskoz etkiler için pek açıklayıcı olamamaktadır.

Genel konsolidasyon kuramı, su tarafından tutulan hava kabarcıklarını içeren doymamış zeminler için, Biot (1941) tarafından sunulmuştur. Bu kuramda ($S - u_w$) efektif gerilmeleri ve boşluk suyu basıncı u_w türünden tanımlanan, gerilme ve şekil değişimine göre, iki bünye denklemi verilmiştir. Bu çalışma sonunda, gerilmeler ile boşluk suyu basınçlarının konsolidasyona olan etkilerinin ayrılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlardan biri boşluk oranlarının gerilme durumlarına olan etkisi, diğeri de zeminin su içeriğidir. Biot'un ileri sürdüğü konsolidasyon kuramındaki kabuller, Terzaghi kuramındaki kabuller ile aynıdır. Bu kabuller altında, Terzaghi diferansiyel denklemi yeniden elde edilmiştir. Ancak bu kuramda konsolidasyon katsayısı c_v , lineer kuramdakinden farklıdır (modifiye). Bu farklılık, zemin boşluklarındaki akışkanın sıkışabilirliğinin hesaba katılmasından kaynaklanmıştır.

Yine, modifiye edilen konsolidasyon katsayısına göre, Terzaghi diferansiyel denkleminin doymamış zeminler için de kullanılabileceği Larmour (1966), Hill (1967) ve Olson (1986) tarafından yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir. Bunlara ek olarak, Fredlund ve Hasan (1979) tarafından, boşluk hava basınçları ve boşluk suyu basınçları için aynı anda çözülmesi gerekli olan, kısmi türevli iki adet diferansiyel denklem teklif edilmiştir. Bu denklemler yine, lineer kuram için çıkarılan Terzaghi denklemine benzemektedir. Bu yaklaşımda, hacim değiştirme katsayıları, matrik emme ($u_a - u_w$) ve net normal gerilme ($S - u_a$) ye göre sabit kalmasına rağmen, geçirgenlik (permeabilite) değişkendir.

Buraya kadar ifade edilenlerden anlaşılabileceği gibi, konsolidasyon katsayısı parametre durumunda olup, elde edilen diferansiyel denklem lineer bir denklemdir.

Permeabilitenin değişken olması sonucu, denklem açılınca, lineer olmayan bir görünüm kazanmaktadır. Örneğin, su fazı için verilen diferansiyel denklem aşağıdaki gibidir (Fredlund ve Rahardjo, 1993).

$$\frac{\partial u_w}{\partial t} = -C_w \frac{\partial u_a}{\partial t} + c_v^w \frac{\partial^2 u_w}{\partial z^2} + \frac{c_v^w}{k_w} \frac{\partial k_w}{\partial z} \frac{\partial u_w}{\partial z} + c_g \frac{\partial k_w}{\partial z} \quad (1.2)$$

Bu denklemde C_w , su fazı ile birleşik ve $1 - (m_2^w / m_{1k}^w) / (m_2^w / m_{1k})$ ile tanımlanmış bir sabit, c_v^w su fazına ait konsolidasyon katsayısı, c_g yerçekimi sabit terimi, k_w permeabilite katsayısıdır. Yine bu ifadede permeabilite, matris emmenin değişmesi ile anlamlı şekilde değişir. Konsolidasyon süresince, m_v hacim değiştirme katsayısının sabit kaldığı varsayılmıştır (Fredlund ve Rahardjo, 1993).

Yukarıdaki gibi verilen genel kuramlarda da konsolidasyon katsayısının parametre olarak alınması ve aynı zamanda sıkışabilirliği temsil eden m_v hacim değiştirme katsayısının sabit olduğunun varsayımı, lineer olmayan konsolidasyon olayını tam olarak ifade edememektedir. Yine, teklif edilen bu yaklaşımlar, ancak oturmalar ve boşluk basınç değişimleri hakkında fikir verebilmektedir. Oysa oturma hızı, hem zeminin viskoz doğası hem de hidrolik ve mekanik özelliklerine etki eden ayrı bir parametredir. Yapılan deneysel çalışmalar, toplam oturma içinde, akışkanların zemini terk etmesi ve zemin matrisinin viskoz etkilerinin bir arada bulunduğunu göstermiştir. Toplam oturma, bu iki etkinin toplamı sonucunda ortaya çıkmaktadır (Vermeer ve Neher, 1999). Sonuçta, oturma hızları ve drenaj boyundaki değişimler, zeminlerin konsolidasyonuna etki eden önemli parametrelerdir. Zemine ait yığın özellikleri ve gerilmeler karşısında zemin matrisinde meydana gelen değişimleri de içeren, lineer olmayan ve genel bir kuramın verilebilmesi hala gündemdedir.

Konsolidasyon katsayısını parametre olarak alan lineer konsolidasyon kuramı, lineer elastisite ile açıklanabilen, hacimsel birim şekil değiştirme ve efektif gerilme kavramına dayanmaktadır. Oysa kohezif zeminlere ait gerilme-deformasyon bağıntıları oturma hızlarına da bağlıdır. Bu bağıntının kaynağı suyun zeminden

çıkması için gereken zamandır. Zaman ise zeminlerin viskoz özelliği ile ilgili bir değişkendir. Bu nedenle viskoz etki, konsolidasyon kuramı içinde göz önüne alınması gerekli olan bir parametredir. Ancak lineer kuram, zemine ait viskoz etkileri ve deformasyon hızlarını göz önüne almamaktadır. Bu eksikliği gidermek amacı ile visko-elastik modeller kullanılmaya başlanmıştır. Böyle bir modelde boşluk oranına ait değişimler aşağıdaki gibi verilmektedir (Das, 1985):

$$\frac{e_1 - e_2}{a_v} = \frac{e_1 - e}{a_v} + u + z \quad (1.3.a)$$

Bu eşitlikte, $(e_1 - e_2)/a_v = Ds$ herhangi bir basınç artımı sonunda, zeminin taşıyabileceği efektif gerilme artımını, $(e_1 - e)/a_v$ ise konsolidasyonun herhangi bir anında zemin danelerinin taşıdığı gerilmeyi ifade eder. Zayıf bağlı birim şekil değiştirme z ile gösterilmiş ve aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$z = b \left(\frac{e_1 - e}{e_1 - e_2} \right)^{1/n} \quad (1.3.b)$$

Eşitlikte görülen b katsayısı, bir ödometre deneyindeki herhangi bir basınç kademesi için sabit kaldığı varsayılan, zeminlerin fiziksel özelliği ile ilgili bir katsayıdır.

Böyle bir yaklaşımda, konsolidasyon dereceleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$U_z = \frac{e_1 - e}{e_1 - e_2} \quad ; \quad 1 - U_z = \frac{e - e_2}{e_1 - e_2} = \frac{e}{a_v Ds} \quad (1.3.c)$$

Bu tanımlamalar kullanılarak, beraber çözümleri (simultane çözüm) gereken iki adet konsolidasyon denklemi verilmiştir.

$$\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} = \frac{\partial}{\partial T_v} \quad \text{ve} \quad - \frac{1}{R} (1 - \bar{u})^n = \frac{\partial}{\partial T_v} \quad (1.3.d)$$

Diferansiyel denklemlerde görülen R , T_s ve $\bar{u}$ büyüklükleri aşağıdaki gibidir:

$$R = \frac{T_v}{T_s} = \frac{c_v a_v}{H^2} \times \frac{b^n}{(Ds \Phi)^{n-1}} ; \bar{u} = \frac{a_v}{c_v} \frac{\partial}{\partial T_s} \frac{\partial}{\partial \Phi} \frac{1}{\Phi} ; T_s = \frac{t (Ds \Phi)^{n-1}}{a_v b^n} \quad (1.3.e)$$

Eşitliklerde t zamanı, c_v konsolidasyon katsayısını, $s \Phi$ efektif gerilmeyi, T_s de yapısal viskoziteyi ifade etmektedir.

Eşitliklerden görülebileceği gibi, konsolidasyonun tanımlanabilmesi için iki denklemin aynı anda çözülmesi gerekmektedir. Zamanın etkileri, eşitliklere, yapısal viskozite ve T_v zaman faktörü vasıtası ile sokulmuştur. Yine, zemin örneğine ait oturma hızları, buna bağlı olarak yapısal (strüktürel) değişimler ifade edilememektedir. Aynı zamanda, (1.3.e) numaralı ifadelerden görülebileceği gibi, c_v konsolidasyon katsayısı ve a_v kompressibilitesi parametre durumundadır. c_v nin parametre olması, zemine ait fiziksel bir özelliği gösterir. Oysa tanım olarak, c_v hem permeabiliteye hem de m_v hacim değiştirme katsayısına bağlı olarak değişir. Bu nedenle, konsolidasyonu ifade eden diferansiyel denklemin, özellikle zeminlerin viskoz doğası nedeniyle, lineer olmayan bir denklemle ifade edilmesi gerekir.

Öte yandan, zeminlerin yüklenmesi sonucu boşlukları terk eden su, zemin boşluk hacminin azalmasına ve zeminlerin oturmasına neden olmaktadır. Boşluk hacminin azalması ise, ince danelerin kaba daneler üzerinden kayarak yerleşmesine, sonuçta zeminin yapı (strüktür) ve matriksinin değişmesine yol açar. Oysa boşluk suyunun zemin kütleini terk etmesi, efektif gerilmelerin değişmesi ve boşluk suyu basıncının sönmelenmesi hep belli zaman aralığında gerçekleşir. Kısaca, oturma hızlarının da konsolidasyon üzerine etkileri mevcuttur. Hızlar ise zeminin viskoz doğası ile ilgilidir.

Kohezif zeminlere ait oturmalarda görülen viskoz etkilerin, boşluk oranı ve gerilmelerin bir fonksiyonu olduğu gözlenmiştir. Bu ilişki aşağıdaki şekilde verilmiştir (Bonzani ve Lancellotta, 2005).

$$e = e_0 - I_c \log \frac{e_0}{e} \quad (1.4.a)$$

Yine, hidrolik geçirgenlik (permeabilite) ve boşluk oranı arasındaki değişim de aşağıda olduğu gibi tespit edilmiştir:

$$e = e_0 + c_k \log \frac{K}{K_0} \quad (1.4.b)$$

Bu ifadelerde I_c sıkışabilirlik (kompresibilite) indeksini, ve c_k da permeabilite indeksini göstermektedir. e_0 ve K_0 değerleri, efektif gerilmelerin başlangıç değeri olan s_0 gerilmesine karşı gelen büyüklüklerdir.

Konsolidasyon ilerledikçe, viskoz etkinin oturmaya olan katkısı artmaktadır. Birincil (primer) konsolidasyon sonunda, aşırı boşluk suyu basıncı sönmelenmesine rağmen viskoz etki şekil değişiminin (deformasyonun) oluşumuna yardımcı olur (Vermeer ve Neher, 1999). Buna göre, konsolidasyon işleminde zamana bağımlılık, zemin iskeletine ait viskoz özelliğin bir sonucudur. Birincil (primer) konsolidasyonda sızma olayı yanında viskoz direnç aynı anda bulunur. Yine deney sonuçlarına göre, zemin örneğinin kalınlığı veya zemin tabaka kalınlığı arttıkça, birincil konsolidasyon hızı azalmakta, buna karşılık konsolidasyon katsayısının değeri büyümektedir. Sonuç olarak, farklı drenaj boyları farklı konsolidasyon davranışına neden olmaktadır. Bu olayın nedeni olarak, drenaj yüzeyinden olan uzaklık ve efektif gerilmelerin şiddetine bağlı şekilde boşluk oranlarındaki değişim hızlarının farklılık göstermesi varsayılmaktadır. Bu nedenle, drenaj yüzeyi yakınındaki zemin tabakalarında, boşlukların yüksek hızla değişmesi nedeni ile efektif gerilmeler hızla artar. Sonuçta, zemin tabakaları arasında görülen sıkışma hızlarındaki farklılık, boşluk suyu basıncı ve viskoz etkilerin birleşik katkısından kaynaklanmaktadır (Hawlder ve ark., 2003). Buna göre, konsolidasyon oturmaları, gerilme ve zamana bağlı etkilerin deformasyonlar üzerindeki bileşkesidir. Her iki

etki de yük uygulandıktan sonra eşzamanlı olarak başlamaktadır. Bu nedenle, konsolidasyon olayı sonucunda meydana gelen efektif gerilme artımları ve viskoz etkiler birlikte görülür. Boşluk oranında görülen değişimler, hem efektif gerilmelerin hem de zamanın bir fonksiyonudur. Buna bağlı olarak, konsolidasyon olayı içindeki boşluk oranlarının azalmasına yapısal viskozitenin neden olduğu ifade edilmiştir (Vermeer ve Neher, 1999).

Öte yandan, ön konsolidasyon basıncına kadar zeminin elastik özellikler gösterdiği varsayılmaktadır. Bu durumda, boşluk oranlarında fazla bir azalma görülmez. Oysa, ön konsolidasyon basıncı aşıldıktan sonra boşluk oranları hızla azalır. Boşluk oranlarında görülen hızlı azalış, boşluk suyu hızının hızla düşerek boşluk suyu basıncının sönümlenmesi nedeniyledir. Söz konusu bu azalmalar oldukça düzgündür. Oysa, ön konsolidasyon basıncının aldığı değer, önceki basınç kademesine ait ikincil (sekonder) konsolidasyon süresine ve boşluk suyunun drenaj boyuna bağlıdır. Bu gözlemlerden de anlaşılabileceği gibi, ön konsolidasyon basıncı üzerinde de boşluk suyu basıncı değişimleri ve oturma hızlarının, başka bir ifade ile boşluk suyu hızlarının ve zemine ait viskoz doğanın önemli etkisi bulunmaktadır. Zeminin sahip olduğu viskozite nedeniyle, kohezif zeminlerin oturması veya konsolidasyonunda lineer olmayan bir davranış gözlenir. Bu nedenle, konsolidasyon oranlarının farklı şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir (Niemunis ve Krieg, 1996).

Konsolidasyondaki lineer olmamayı belirtmek amacıyla, denge denklemleri, kütle korunum ifadeleri ve süreklilik denklemleri kullanılarak aşağıdaki genel tek boyutlu konsolidasyon diferansiyel denklemi verilmiştir.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + m_v \frac{g_w}{K} \frac{\partial q}{\partial t} - \frac{1}{K} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{K} \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad (1.5.a)$$

Bu denklemde u boşluk suyu basıncını, m_v hacim değiştirme katsayısını, q dış yükleme basıncını, K ise permeabilite katsayısını gösterir. Permeabilite katsayısı, dış yükleme basıncı ve hacim değiştirme katsayısı sabit olarak alınırsa, Terzaghi'nin

bilinen lineer konsolidasyon diferansiyel denklemi elde edilir (Conte ve Troncone, 2006).

Permeabilitenin sıkışabilirlikteki azalma ile uyumlu olması nedeni ile, Davis ve Raymond (1965) tarafından, konsolidasyon katsayısı sabit alınarak aşağıdaki diferansiyel denklem verilmiştir:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1}{K} \frac{\partial K}{\partial z} \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{c_v} \frac{\partial u}{\partial t} \quad (1.5.b)$$

Daha önce Terzaghi tarafından verilmiş olan eşitlikler kullanılarak, efektif gerilme değişimlerine bağlı, yeni bir konsolidasyon diferansiyel denklemi önerilmiştir (Conte ve Troncone, 2006).

$$-c_v \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\sigma'_{\text{eff}}} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{\sigma'_{\text{eff}}} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{s} \frac{\partial u}{\partial t} \quad (1.5.c)$$

Önerilen bu denklem, lineer olmayan kısmi türevli bir diferansiyel denklemdir. Denklemin verdiği çözümler ile bulunan boşluk suyu basınçları, lineer kuramın verdiklerine yakındır.

Konsolidasyonun lineer olmayan doğasını yansıtabilmek amacıyla ileri sürülen son konsolidasyon kuramları, aşağıdaki üç temel hipotezi esas almaktadırlar (Battaglio ve ark., 2003):

a) Konsolidasyon olayının bağımsız değişkenleri zaman ve koordinatlardır. Bağımlı değişken boşluk suyu basıncıdır.

b) Sabit efektif gerilmeler altında zemin iskeleti sünme yapmaz. Bu nedenle küçük şekil değiştirmelerin (deformasyonların) meydana geldiği varsayılabilir. Sonuç olarak dane hacmi sabit kalır.

c) Daha önce 1.4 eşitlikleri ile verilen fenomenolojik ilişkiler, bünye denklemi olarak kabul edilebilir.

Bu hipotezler altında, permeabilite ve efektif gerilmeler arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi elde edilir (Lekha ve ark., 2003; Geng ve ark., 2006).

$$\frac{K}{K_0} = \frac{1}{1 + \frac{e}{c_v} \frac{I_c}{c_k}} \quad (1.6.a)$$

Bu eşitlikte K_0 başlangıç permeabilitesini ve s_0 de başlangıç permeabilitesine karşı gelen efektif gerilmeyi gösterir.

İleri sürülen hipotez ve elde edilen sonuçlara göre, birim şekil değiştirmelerin küçük olduğu konsolidasyonlar için aşağıdaki diferansiyel denklem elde edilmiştir (Lekha ve ark., 2003).

$$\frac{du}{dt} = \frac{(1+e)}{m_v} \frac{1}{1 + \frac{e}{c_v} \frac{I_c}{c_k}} \frac{dK(u)}{dz} \frac{du}{dz} \quad (1.6.b)$$

Önerilen bu denklem, lineer olmayan kısmi türevli bir diferansiyel denklem olup, değişik sınır koşulları altında çözülmüştür.

Lineer olmayan bu son kurama göre, boşluk suyu basıncındaki değişimler, boşluk oranındaki değişimlere bağlıdır. Yine aynı kuram ile aşırı ve normal konsolide rejimler tanımlanabilmektedir. Bu nedenle, konsolidasyon ile ilgili pek çok büyüklük, aşırı konsolide rejimden normal konsolide rejime geçilebildiği için tanımlanabilmektedir. Hacim değiştirme katsayısı, zemin boy ve oturmasına bağlı olarak değişmesine rağmen, bu kuramda da parametre durumundadır. Herhangi bir basınç kademesi için m_v sabit değer alır. Oysa bilinen tanımlı gereğince, c_v parametre durumunda olup türev altında bulunması gerekir (Battaglio ve ark., 2005; Bonzani ve Loncellotta, 2005).

Konsolidasyondaki lineer olmamayı, drenaj boyundaki değişimlerin boşluk suyu basıncındaki değişimlere olan etkisini, sıkışabilirlikteki değişimlerin zemin matriksi ve su içeriği değişimleri ile olan ilgisini açıklayabilmek için aşağıdaki lineer

olmayan konsolidasyon diferansiyel denklemi verilmiştir (Tekinsoy ve Haktanır, 1990).

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{c_v}{e} \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{c_v}{e}$$

Bu diferansiyel denklem, iç ve dış kuvvetlerin yaptıkları işlerin birbirlerine eşit olma prensibinden elde edilmiştir. Denklemden görülebileceği gibi, konsolidasyon katsayısı türev altında olup değişken bir niteliğe sahiptir. Bu durumda, konsolidasyon zamanının bir fonksiyonu olarak, boşluk oranının azalmasına bağlı plastik şekil değişimi olarak da tanımlanabilme olanağını sağlamaktadır.

Denklem, infiltrasyon kavramı ve Leibnitz kuralı kullanılarak lineerleştirilmiş ve iki farklı çözüm bulunmuştur. Denklem, konsolidasyon katsayısının bulunmasına ve oturma hızlarının boşluk suyu basınçları ve konsolidasyon katsayısı ile ilişkisinin kurulmasına olanak vermektedir. Sözü edilen ilişki, yukarıda verilen denklemden de görülebilmektedir. Denklemin çözümlerinden, drenaj boyu değişimlerinin boşluk basıncına olan etkileri elde edilebilmektedir. Aynı zamanda, matrik emme değişimleri de saptanabilmektedir. Tekinsoy ve Haktanır tarafından verilen bu denklemler, lineer olmamaları nedeniyle, doymamış zeminlere olduğu kadar doymamış zeminlere de uygulanabilme olanağını vermektedirler. Permeabilite katsayısı ve hacim değiştirme katsayısının, dolayısı ile konsolidasyon katsayısının su içeriğine bağlılığı saptanabilmektedir. Sonuçta, konsolidasyon olayı için sağlanması gerekli olan tüm koşullar, verilen diferansiyel denklem tarafından yerine getirilmektedir (Tekinsoy ve ark., 2009).

Yine söz konusu diferansiyel denklemlerde hız kavramının bulunması, zeminlere ait viskoz doğanın açıklanabilmesini ve madde taşınması konularının gündeme gelmesini sağlar. Konsolidasyona bağlı boşluk suyu hızı veya oturma

hızları, birim şekil değiştirmelerin zamanla değişmesi hakkında bilgi edinme olanağını verir.

Bugüne kadar elde edilen tüm konsolidasyon denklemlerinde, laminar ve geçiş akımlarının mevcudiyeti ve Darcy yasasının geçerliliği kabul edilmiştir. Konsolidasyonun neden olduğu oturma ve drenaj hızlarının azaldığı da bilinmektedir. Böyle koşullar altında meydana gelen düşük hızlar, ince daneli zeminlerin viskoz doğası yanında, hidrodinamik dispersiyon olgusunu da gündeme taşır.

Dispersiyon olayı, genel anlamıyla, hıza bağlı olarak maddelerin yönlendirilmesi ve madde taşınmasını ifade eder. Yine, yapılan araştırmalara göre dispersiyon, hızların düşük olması nedeniyle katı-sıvı arasında meydana gelen fiziksel bir olaydır. Hızlardaki değişim, boşluk suyu basıncındaki değişim ile orantılı olmaktadır (Nielsen ve ark., 1972; Tekinsoy, 2002).

Zeminlerin konsolidasyon ile sıkışarak daha sıkı (kompakt) bir yapı kazanması, kuru birim hacim ağırlığının zamanla kesitten kesite artması ve sıkışma sonunda, özellikle ince daneli zeminlerin dispersif bir yapı kazanması, dane difüzyonunu da gündeme getirmektedir. Oysa bugüne değin, konsolidasyonun neden olduğu hidrodinamik dispersiyon ve dane difüzyonu kavramlarını göz önüne alan ve zemin mekaniği çerçevesinde inceleyen bir yaklaşım da bulunmamaktadır. Ancak homojen zeminlerin içindeki eriyiklerin, konsantrasyon gradyanı vasıtası ile taşınması incelenmiş bulunmaktadır (Nielsen ve ark., 1972).

Bu çalışmada, konsolidasyondaki dispersiyon ve dane difüzyonu olayı ele alınacak ve oturma hızlarının konsolidasyona olan etkileri incelenecektir. Elde edilen bulgular, dispersiyon yaklaşımı içinde verilecek ve sağlanan katkılar sunulacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Sabit bir yük altında, boşluklardaki suyun zeminden dışarı akması ile meydana gelen hacimsel şekil değiştirmelere konsolidasyon adı verilmektedir (Özaydın, 1995). Bu konu hakkındaki ilk kuram, Terzaghi tarafından sunulmuştur. Kuramdaki temel varsayım, zeminin tümüyle suya doymun olduğudur. Sunulan yaklaşımda zeminin homojen olduğu, zemin danelerinin sıkışmadığı, boşluk suyunun sıkıştırılmaz bir akışkan olduğu ve birim şekil değiştirmelerin (deformasyonların) küçük olduğu varsayımları da yapılmıştır. Sonuçta, tek boyutlu konsolidasyon için, aşağıdaki kısmi türevli diferansiyel denklem verilmiştir (Önalp, 1997):

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2.1)$$

$$c_v = \frac{K}{m_v g_w} \quad (2.2)$$

Verilen diferansiyel denklemden de görülebileceği gibi, problemin bağımsız değişkenleri düşey koordinat ve zamandır. Bağımlı değişken ise aşırı boşluk suyu basıncıdır. Zeminin hem mekanik hem de hidrolik özelliklerini bir arada gösteren parametre, c_v konsolidasyon katsayısı ile ifade edilmiştir (L^2 / T).

Diferansiyel denklemde u aşırı boşluk suyu basıncının bulunması, zeminin doymun olduğu varsayımı altında, efektif gerilmelerin aşağıda verildiği gibi değişmesi sonucudur.

$$s = s - u \quad (2.3)$$

Burada s efektif gerilmeyi, S toplam gerilmeyi ve u da aşırı boşluk suyu basıncını göstermektedir. Toplam S gerilmesi yükleme basıncına eşit olup, herhangi

bir basınç kademesi için sabit bir değere sahiptir ve bu nedenle türevi sıfıra eşit olur. Değişim, efektif gerilmeler ve aşırı boşluk suyu basıncı arasındadır. Boşluk suyu basıncı azalırken, efektif gerilmeler artar.

Öte yandan, parametre durumunda olan c_v konsolidasyon katsayısı, zeminin K permeabilitesi (L/T), m_v hacim değiştirme katsayısı (F/L^2) ve suyun birim hacim ağırlığı g_w 'ya bağlı olarak tanımlanmıştır. Boyutu (L^2/T) şeklindedir. Konsolidasyon katsayısı, aynı zamanda, zeminin H_d drenaj boyunun karesi ile de ilişkilidir. Drenaj boyu değiştikçe, c_v 'nin değeri de değişir. Bunlara ek olarak, permeabilite katsayısı ve hacimsel sıkışma katsayısının değişimleri birbirleriyle uyumludur. Bu iki büyüklük arasında lineer bir ilişki söz konusudur. Bu nedenle, c_v 'nin sabit bir parametre olduğu ve herhangi bir zemin tabakası için değişmediği varsayılmıştır. Sonuçta, denklemde türev dışına çıkarılmıştır.

Yine, hacimsel sıkışma katsayısı m_v 'nin, herhangi bir basınç kademesi için aşağıda verildiği gibi bir değişime sahip olmasına rağmen, sabit olduğu varsayılmıştır.

$$m_v = \frac{DV}{VDu} \quad (2.4.a)$$

Bu katsayı, limit durumda ve diferansiyel anlamda

$$m_v = \frac{dV}{Vdu} \quad (2.4.b)$$

ile de verilebilmektedir (Özaydın, 1995; Önalp, 1997). Eşitliklerdeki V simgesi hacmi ifade eder.

Konsolidasyon deneyleri, ince daneli zeminlere uygulanan deneylerdir. Oysa ince daneli zeminlerin geçirgenlikleri (permeabilite veya hidrolik geçirgenlikleri) çok küçüktür. Bu nedenle, yüklenen doygun bir zeminde, boşluk suyunun dışarı akması yavaş gerçekleşir. Sonuçta, zemin sıkışmaları zamanla gelişen bir olaydır. Başka bir

değişle, efektif gerilmelerdeki zamanla olan değişme, hem permeabilitede hem de hacimsel sıkışma katsayısında değişmelere neden olur. Bu nedenle, zeminle ilgili her iki parametreyi de içeren c_v konsolidasyon katsayısının türev altında bulunması gerekir. Sonuçta, konsolidasyon katsayısı hem bağımsız değişkenlerin hem de aşırı boşluk suyu basıncının bir fonksiyonudur. Kısaca, konsolidasyon olayı lineer olmayan fiziksel bir olaydır.

Öte yandan, Terzaghi'nin lineer kuramı, aşırı boşluk suyu basınçları üzerinde oturma hızlarının da katkısı olmasına rağmen bu konuda bir bilgi verememektedir. Ancak oturmalar ile (konsolidasyon derecesi) boşluk suyu basınçları arasındaki ilişkiyi sunmaktadır. Oysa, konsolidasyon olayındaki lineer olmama durumu, zeminlerin viskoz doğası ile de ilgilidir. Bu nedenle son yıllarda, zemin viskozitesi üzerinde araştırmalar hızlanmış bulunmaktadır.

2.2. Konsolidasyonun Zemin Viskozitesi İle İlişkisi

Killerin konsolidasyon oturmaları, gerilme ve zamana bağlı birim şekil değiştirmelerin (deformasyonların) bileşimi olarak meydana gelmektedir. Her iki etki de, yükün uygulanmasından hemen sonra, eşzamanlı olarak başlar (Hawlder ve ark., 2003). Özellikle yumuşak killerin konsolidasyonundaki gerilme-deformasyon bağıntıları zamana bağlı kalmaktadır (Yiğit ve Çinicioğlu, 2010). Sonuç olarak, konsolidasyondaki zamana bağlılığın, zemin iskeletine ait viskoz etkilerden kaynaklandığı varsayılmıştır. Bu nedenle, hem hidrodinamik boşluk suyu basıncının sönümlenmesi hem de zemine ait viskoz etki, birincil (primer) konsolidasyon içinde birlikte mevcuttur (Hawlder ve ark., 2003). Bunlara ek olarak, bir zemin numunesinin ara kesitlerinde, $e - \log S$ ilişkileri birbirlerinden farklıdır. Bu farklılıklar, drenaj yüzeyinden olan uzaklığa bağlı kalmaktadır. Bu nedenle, ara kesitlere ait efektif gerilmelerin artımı sonucu boşluk oranlarındaki değişim küçük olmaktadır. Belli gerilme seviyesinden sonra, boşluk oranlarında hızlı bir azalma gözlenir. Ayrıca, birincil konsolidasyon boyunca, hem drenaj hem de zeminin viskoz direnci nedeni ile, gerilme altındaki zemin danelerinin yeni denge durumuna gelmeleri gecikir (Hawlder ve ark., 2003).

Öte yandan, konsolidasyondaki lineer olmama durumu ve zeminlerin viskoz doğası, zemin üst tabakalarında sünme (creep) oluşturmaktadır. Bu nedenle viskoz etki, dış yükleme altındaki zeminin sürekli ve yavaş deformasyonları ile de ilgilidir (Asch ve ark., 1989). Sözü edilen sünme olayı, zemin içindeki yayılım (difüzyon) hareketi olarak ele alınmaktadır (Culling, 1963, 1983; Flavell, 1987). Özellikle normal yüklenmiş (konsolide) zeminlere ait gerilme-deformasyon bağıntıları hıza bağlı olarak gelişir. Hızın zamanla değişmesi sonucu konsolidasyonda lineer olmama durumu doğar (Niemunis ve Krieg, 1996). Oysa zemine ait doygunluk ve birincil konsolidasyon süreleri bağımsız büyüklüklerdir. Birincil konsolidasyon süresi, zemin drenaj boyunun karesi ile orantılı olup zemine ait viskoz etkiler nedeni ile farklı zemin tabakaları için farklı $e - \log s$ eğrileri verir (Niemunis ve Krieg, 1996).

Yukarıda ifade edildiği gibi, zemin tabakalarına ait sıkışma hızlarının farklılığı ve zemin viskozitesinin birleşik etkisi, boşluk suyu basıncının sönümlenmesine ve drenaj boyuna bağlı kalmaktadır. Sonuçta, drenaj yüzeyine yakın kesitlere ait efektif gerilmeler hızla artar ve bu nedenle, bu kesitlerin sıkışma eğrileri yüksek seviyede boşluk oranı hızı verir. Sonuç olarak, drenaj sınırından uzak olan kesitlerdeki aşırı boşluk suyu basıncı daha yavaş sönümlenir. Bu durumda, zeminlerde meydana gelen hacim azalması hem zeminin kendinden hem de dışarı akan (drene olan) sudan kaynaklanan bir etkidir. Sonuçta, zeminlere ait süreklilik koşulu aşağıdaki gibi verilebilmektedir.

$$\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial e}{\partial t} = 0 \quad (2.5.a)$$

Burada v boşalma (deşarj) hızını temsil eder ve v_f boşluk suyu hızı ile v_s zemin iskeletinin sıkışma hızlarına bağlı olarak, aşağıdaki gibi tanımlanmış bulunmaktadır.

$$v = \frac{e(v_f - v_s)}{1 + e} \quad (2.5.b)$$

Ayrıca, boşalma hızı Darcy yasası ile de aşağıdaki gibi verilebilen bir büyüklüktür.

$$v = K_v i \quad (2.6.a)$$

Bu eşitlikte, K_v permeabilite katsayısını ve i de hidrolik eğimi gösterir. Bu durumda, hidrolik eğim için aşağıdaki eşitlik verilmektedir.

$$i = \frac{1}{g_w} \frac{1}{1+e} \frac{\partial s}{\partial z} + \frac{g_s - g_w}{1+e} \quad (2.6.b)$$

Eşitlikte görülen g_s ve g_w , sırasıyla zeminin ve suyun birim hacim ağırlıklarını ifade eder.

Sonuç olarak, konsolidasyon diferansiyel denklemi, aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$- \frac{\partial e}{\partial t} = a \frac{\partial^2 s}{\partial z^2} + b \frac{\partial s}{\partial z} + g \quad (2.7)$$

Eşitlikte görülen a , b , g ve K_v permeabilitesi,

$$a = \frac{1}{1+e} \frac{K_v}{g_w} \quad (2.8.a)$$

$$b = \frac{1}{0.434 C_k} - \frac{1}{1+e} \frac{\partial e}{\partial z} \quad (2.8.b)$$

$$g = \frac{g_s - g_w}{1+e} \quad (2.8.c)$$

$$\log K_v = \log K_{v0} - \frac{e_0 - e}{C_k} \quad (2.8.d)$$

olarak tanımlanmışlardır. Son eşitlikte görülen K_{v0} değeri, e_0 başlangıç boşluk oranına karşı gelen başlangıç permeabilitesidir. C_k ise permeabilite indisi olup yaklaşık $C_k @ 0.5e_0$ değerine sahiptir (Hawlder ve ark., 2003).

Öte yandan, boşluk oranının değişim hızı, konsolidasyon süresince aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$k = \frac{De}{Dt} = - \frac{e_i - e_f}{Dt} = \frac{de}{dt} \quad (2.9)$$

Bu hız, daha önce de bahsedildiği gibi, zeminin efektif gerilme durumuna ve göz önüne alınan kesitin drenaj yüzeyinden olan uzaklığına bağlı olmaktadır. Ancak, yük artım oranlarına göre birbirlerine paraleldir. Elde edilen bu eğrilerin eğimi, c_c sıkışma indisine eşittir. Bu durumda, konsolidasyon süresince boşluk oranlarındaki değişim hızı, hem efektif gerilmelerin hem de zamanın bir fonksiyonudur.

$$\frac{de}{dt} = \frac{\partial e}{\partial s} \frac{ds}{dt} + \frac{\partial e}{\partial t} \quad (2.10.a)$$

Burada $(\partial e / \partial s)_t$ değeri, efektif gerilmelere göre boşluk oranı değişmesini, $(\partial e / \partial t)_{s_c}$ ise sabit efektif gerilme durumunda, boşluk oranındaki azalmayı ifade eder. Boşluk oranındaki toplam değişme, integral alınarak bulunur (Hawlder ve ark., 2003).

$$De = \int_0^t \left(\frac{\partial e}{\partial s} \frac{ds}{dt} + \frac{\partial e}{\partial t} \right) dt \quad (2.10.b)$$

Öte yandan, zemine uygulanan gerilme akma gerilmesinden büyük ise, lineer olmayan elastik deformasyon meydana gelmektedir. Bunun sonucu olarak, boşluk oranındaki değişim de lineer olmayan bir davranış göstermektedir. Bu değişim aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir (Hawlder ve ark., 2003).

$$D_f = [e + c_c \log S] - [c_a \log (-\sigma) + b] \quad (2.11)$$

Burada c_a değeri, ikincil (sekonder) konsolidasyona ait sıkışma indisidir.

Bunlara ek olarak, ince daneli zeminlerin çok partiküllü topraklardan oluştuğu söylenebilir. Zamana bağlı şekil değişimleri (deformasyonlar) mini ve mikro doku tarafından kontrol edilir. Sonuçta, zeminin zamana bağlı davranışları ve deformasyon hızlarındaki farklılıklar, konsolidasyon sürelerinin değişmesine de neden olur. Deformasyon hızları değiştikçe, zeminin dokusu da değişir. Basıncın artması sonucunda, dane gruplarındaki büyüklük azalır. Bu durum, daneler arası bağların yenilmesi ve kopmasından kaynaklanmaktadır. Kısaca, konsolidasyondaki zaman ve deformasyon hızlarının etkisiyle, zeminlerde doku değişimleri meydana gelmektedir (Yiğit ve Çinicioğlu, 2010). Sözü edilen bu etkinin gösterilebilmesi için, deformasyonların küçük olduğu varsayımı altında, düşey deformasyonlar aşağıdaki gibi boşluk oranları cinsinden verilebilir.

$$e = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} \quad (2.12)$$

Bu eşitlikte, e düşey hacimsel deformasyonu, e herhangi bir andaki boşluk oranını ve e_0 da başlangıç boşluk oranını göstermektedir (Niemunis ve Krieg, 1996).

Yüklenme sonucu birincil konsolidasyondaki t_p zamanına ait deformasyonlar aşağıdaki gibi verilebilmektedir.

$$e - e_0 = \frac{1}{1 + e_0} \ln \frac{\sigma}{\sigma_0} \quad (2.13.a)$$

Elastik boşaltma veya yeniden yükleme için ise deformasyon eşitliği,

$$e - e_0 = \frac{K}{1 + e_0} \ln \frac{\sigma}{\sigma_0} \quad (2.13.b)$$

şeklinde sunulabilmektedir. Verilen bu iki denklem, ince daneli zeminlere ait bünye denklemi (Constitutive Equation) olarak da alınabilmektedir. Bunlara ek olarak, sabit bir s gerilmesi altındaki sünme için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$e - e_0 = \frac{y}{1 + e_0} \ln \frac{t + t_0}{t_0} \quad (2.13.c)$$

Verilen deformasyonlara ait hızlar, zamana göre türev alınarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\dot{e} = \frac{I}{1 + e_0} \frac{\dot{s}}{s} \quad (2.14.a)$$

$$\dot{e} = \frac{K}{1 + e_0} \frac{\dot{s}}{s} \quad (2.14.b)$$

$$\dot{e} = \frac{y}{1 + e_0} \frac{1}{t + t_0} \quad (2.14.c)$$

Bu eşitliklerde görülen e_0 , e_0 , s_0 ve t_0 büyüklükleri referans değerleridir (Niemunis ve Krieg, 1996). I , K ve y , sıkışma eğrisinin değişik kısımlarındaki eğimlerdir. Bunlardan I ya sıkışma indisi, K ya şişme indisi ve y ye sekonder sıkışma indisi adı verilmektedir.

Yukarıdakilerden anlaşılacağı üzere, birincil sıkışmalardaki sünme, konsolidasyonu etkileyen önemli bir etmendir. Başka bir deyişle sünme, birincil konsolidasyonun büyük bir kısmını içeren önemli bir problemdir (Vermeer ve Neher, 1999). Bu durumda toplam deformasyon, e , aşağıdaki gibi verilebilmektedir.

$$e = A \ln \frac{s}{s_0} + B \ln \frac{s_{pc}}{s_{p0}} + C \ln \frac{z_c + t}{z_c} \quad (2.15)$$

Bu eşitlikte, s_c ve s_p , sırasıyla, başlangıç ve nihai efektif gerilme değerlerini, s_{p0} ve s_{pc} ise, yine sırasıyla, konsolidasyon başı ve sonu ön-konsolidasyon basınçlarını ifade eder. Toplam deformasyon, elastik kısım olan e^e ve zamana bağlı e^c deformasyonlarının toplamı olarak alınmaktadır. s_{p0} ön-konsolidasyon basıncı ise yükleme süresine bağlı olarak değişen bir büyüklüktür. Yükleme zamanı arttıkça, ön konsolidasyon basıncı da artar. Deformasyon hızları için, toplam deformasyonun zamana göre türevleri alınması gerekir. Buna göre,

$$\dot{e} = \dot{e}^e + \dot{e}^c = A \frac{s_p}{s_c} + \frac{C}{z_c + t} \quad (2.16)$$

elde edilir. A , B ve C değerleri, ödometre deney sonuçlarından bulunan ampirik katsayılardır. z_c zamanı ise, düzgün sünme doğrusunun zaman eksenini kestiği yere karşı gelen değerdir. Sonuçta, bir konsolidasyona ait sıkışma eğrisinden, sünme için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$\dot{e} = \frac{C}{z_c + t} \quad (2.17.a)$$

Bunun tersi ise, z_c ve C parametrelerinin grafikler yoluyla yorumlanabilmesi için,

$$\frac{1}{\dot{e}} = \frac{z_c + t}{C} \quad (2.17.b)$$

şeklinde yazılabilir. (Vermeer ve Neher, 1999).

Bunlar dışında, sünmenin konsolidasyona olan etkilerini saptamak için, Shanz ve Ark. (1999) tarafından, Hook yasalarına ait tek rijitliğe sahip lineer elastisite ile ideal plastisitenin bir kombinasyonu olan yeni bir model ileri sürülmüştür. Bu modelde, çift rijitlikli Mohr-Coulomb formülasyonu ile izotropik şekil değiştirme pekleşmesi birlikte kullanılmaktadır. Sonuç olarak bu çalışmada, plastisite kuramı

kullanılarak yeni bir bünye denklemi verilmektedir. Söz konusu yeni model, zeminlere ait lineer olmayan gerilme ve şekil değiştirme davranışını tanımlamak amacı ile geliştirilmiş hipo-elastik bir modeldir. Çünkü, geoteknikteki sınır değer problemleri için başka gerilme-deformasyon modelleri kullanılmaktadır. Schanz ve Ark. (1999) tarafından geliştirilen hipo-elastik modelde, f_{12} ve f_{13} gibi iki farklı akma fonksiyonu kullanılmaktadır.

$$f_{12} = \frac{q_a}{E_{50}} \frac{(s_1 - s_2)}{q_a - (s_1 - s_2)} - \frac{2(s_1 - s_2)}{E_{ur}} - g^p \quad (2.18.a)$$

$$f_{13} = \frac{q_a}{E_{50}} \frac{(s_1 - s_3)}{q_a - (s_1 - s_3)} - \frac{2(s_1 - s_3)}{E_{ur}} - g^p \quad (2.18.b)$$

Burada g^p plastik kayma deformasyonunu, q_a gerilme-deformasyon bağıntısının asimptotik olduğu gerilme değerini, E_{ur} boşaltma-yeniden yükleme durumundaki rijitliği, E_{50} ise ilk yükleme değeri için, çevre basıncına bağlı katılık modülünü ifade eder.

Plastik g^p deformasyonu, e_v^p plastik hacimsel deformasyonu göz önüne alınarak, aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$g^p = e_1^p - e_2^p - e_3^p = 2e_1^p - e_v^p \quad (2.19)$$

Burada e_i ler asal hacimsel deformasyonlar olup e_v^p plastik hacimsel deformasyonlarının asla sıfıra eşit olmayacağı varsayılmıştır.

Geliştirilen pekleşen zemin modeli, plastik deformasyon hızları arasındaki ilişkileri içermektedir. Ancak bu modelde akma kuralı, lineer bir eşitliğe sahiptir (Schanz ve ark., 1999).

$$\dot{e}_v^p = \sin \gamma_m \dot{g}^p \quad (2.20)$$

Bu eşitlikte y_m , mobilize dilatasyon açısını göstermektedir.

Öte yandan, konsolidasyon olayı zeminlerin bünyesel değişimine de neden olmaktadır. Bir ödometre deneyinin erken evrelerinde, boşluk oranlarında azalma görülmektedir. Bu azalma, makro boşluklardaki boşluk suyunun drenajı sonucu ortaya çıkmaktadır. Makro boşluklardaki azalmaya uyumlu olarak, zemin içindeki mevcut topraklar birbirlerine yanaşarak kayma gerilmesi iletmeye başlar. Bu süreç içinde, zemin içindeki kümelerde zamanla ayrışma meydana gelir. Bu ayrışma sonunda, mikro boşluklar makro boşluklara eklenir ve mikro boşluklar azalır. Bu durumda, makro boşluklardaki suyun drenajı sonunda, makro boşluklarda da azalma görülür.

Bir konsolidasyon olayında, düşük gerilme evrelerinde topaklanma, uzun süreli yüklemelerde ise toprakların ayrışması söz konusudur. Aynı zamanda, konsolidasyonda zemin içinde kümelerin oluşumu ve ayrışması tekrarlı bir süreçtir. Bu süreçte, boşluk oranındaki değişim aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$e = e_M + e_m \quad (2.21)$$

Bu eşitlikte e değeri, ödometre deneyi sonucunda bulunan toplam boşluk oranını, e_M makro boşluk oranını ve e_m mikro boşluk oranını gösterir.

Sonuç olarak, düşük konsolidasyon basınçlarının erken evrelerinde topraklar arası boşluklarda (e_M 'de) azalma görülür. Bu durumda yeni topraklar oluşur. Yüksek konsolidasyon basınçlarında ise, erken yükleme evrelerinde, yukarıdakilerin tersi bir sonuçla karşılaşılır. Sonuçta büyük e_M değerleri küme oluşumunu, küçük e_m değerleri ise ayrışmayı ifade eder. Ayrışma ve topaklanma süreci birbirlerini izleyen olaylardır. Birbirlerini izleyen ve zemin içindeki zamana bağlı olan bu olaylar, konsolidasyondaki lineer olmama durumunu doğurur (Yiğit ve Çinicioğlu, 2010). Sözü edilen bu olaylar ve konsolidasyondaki lineer olmama durumu, konsolidasyona tabi tutulan zemin numunelerine ait mikrograflar ile de saptanmış bulunmaktadır (Yiğit ve Çinicioğlu, 2010).

Buraya kadar anlatılanlardan anlaşılacağı üzere, konsolidasyondaki lineer olmama durumunu açıklayabilmek için yeni bünye denklemleri ve plastisite kuramına dayanan gerilme-deformasyon modelleri kullanılmıştır. Ayrıca, zeminin viskoz özelliğinin de lineer olmayan konsolidasyonda etkili olduğu ve bunda da konsolidasyondaki oturma hızlarının rol oynadığı varsayılmıştır. Zamana bağlı lineer olmayan zemin davranışının, bünyesel yapı değişimlerinden kaynaklandığı vurgulanmıştır. Ancak hiçbir yaklaşımda, boşluk suyu hızlarının öneminden bahsedilmesine rağmen, zeminlerin konsolidasyonuna olan etkisi belirtilememiştir. Geliştirilen tüm kuram ve yaklaşımlar, sadece konsolidasyon oturmaları ile ilgilidir. Oturma hızları hakkında, konsolidasyonu da göz önüne alan bir yaklaşım bulunmamaktadır.

Konsolidasyonun lineer olmayan bir olay olduğu ve bu fiziksel olgunun lineer olmayan bir diferansiyel denklemle ifade edilmesi gerektiği, son kırk beş yıldır ifade edilmeye çalışılmaktadır.

2.3. Lineer Olmayan Konsolidasyon Çalışmaları

Lineer olmayan kuramlar, Terzaghi'nin gereksinme duyduğu basit kabullerin yanında, farklı bünye denklemleri tarafından ortaya çıkarılan, lineer olmayan etkileri hesaba almaktadır. Zeminlerdeki lineer olmayan davranışların basit modeller ile tanımlanamaması sonucu, parametre değişimlerine duyarlı modellere yönelme olmuştur. Sonuçta, konsolidasyon parametreleri ile ilgili hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Teklif edilen tüm lineer olmayan modellerdeki ortak özellik, modelleri simgeleyen (karakterize eden) parametrelerin konsolidasyon süresince sabit kaldığının kabul edilmesidir. Bu yaklaşımlarda, ilgili olaylar, aşırı konsolide durumdan normal konsolide duruma geçilebiliyorsa tanımlanabilmektedir. Söz konusu bu geçiş, aşırı boşluk basıncına ait kritik değerler ile ilgilidir. Böyle bir tarz konsolidasyon davranışına, tip değişimi ile konsolidasyon adı verilmektedir (Battaglio ve ark., 2003).

Geliştirilen bu modeller, başlangıç sınır değer problemleri yaratmaktadır. Matematik açısından lineer olmayan modeller, kapalı bir şekilde analitik çözümlere

izin vermemektedir. Ancak nümerik olarak yaklaşık çözümler elde edilmektedir. Bu yaklaşımlarda önce, konsolidasyon parametrelerinin analitik ifadeleri deneysel verilere dayanarak tanımlanmış ve sonra kütle denge denkleminin malzeme davranışına uyan fenomenolojik modelleri vasıtasıyla denklemleri çıkarılmıştır (Battaglio ve ark., 2003).

Lineer olmayan konsolidasyon yaklaşımları, aşağıda verilen temel üç varsayıma dayanmaktadır:

Varsayım 1. Zemindeki bağımsız değişkenler, zaman (t) ve düşey koordinattır (z). Bağımlı değişken ise aşırı boşluk suyu basıncıdır (u). Bu nedenle, analizler tek boyutlu durum için göz önüne alınır ve yanal yönde zemin sınırlandırılmıştır. Drenaj yalnızca düşey yönde meydana gelir.

Varsayım 2. Toplam s_c dış yükü zamanla değişmez ve sabit kalır. Zemin tümüyle doygundur ve boşluk suyu ile zemin daneleri sıkıştırılamayan ortam oluştururlar. Zemin danelerinin ve suyun ağırlıkları ihmal edilir. Sabit efektif gerilme altında zemin iskeleti sünme yapmaz ve uygulanan yük artımları yalnızca küçük şekil değiştirmeler meydana getirir. Bu nedenle, dane toplam hacminin sabit olduğu kabul edilebilir.

Varsayım 3. Zemin içindeki su hareketlerine Darcy yasası uygulanabilir. Boşluk oranlarının, s efektif gerilmeleri ve k permeabilite katsayısı ile olan bünye ilişkileri aşağıdaki gibidir.

$$e = e_0 - I_c \log_{10} \frac{s}{s_0} = e_0 + c_k \log_{10} \frac{k}{k_0} \quad (2.22)$$

Burada I_c sıkışma indisini, c_k da permeabilite indisini gösterir. e_0 ve k_0 değerleri, $s = s_0$ başlangıç değerine karşı gelen boşluk oranı ve permeabilite katsayısıdır.

İkinci varsayım göz önüne alınarak, aşırı boşluk suyu basıncı için, efektif gerilme cinsinden, aşağıdaki eşitlik verilebilmektedir.

$$u = \frac{s_{\phi} - s_{\phi}}{s_{\phi} - s_{\phi}} = \frac{1}{m} \frac{s_{\phi}}{s_{\phi}} - e \quad (2.23.a)$$

Burada $e = s_{\phi}/s_{\phi}$ oranına eşit olup s_{ϕ} değeri s_{ϕ} efektif gerilmesinin son değerini gösterir. h , l ve m değerleri ise, aşağıda verildiği gibi boyutsuz parametrelerdir.

$$h = \frac{I_c}{1 + e_0} \quad ; \quad l = 1 - \frac{I_c}{c_k} \quad ; \quad m = \frac{s_{\phi} - s_{\phi}}{s_{\phi}} \quad (2.23.b)$$

Eşitlikte verilen e oranının, m ve u ile aşağıdaki ilişkisi mevcuttur.

$$e = 1 + m(1 - u) \quad ; \quad 1 \leq e \leq 1 + m \quad (2.23.c)$$

Buna göre, e nin minimum değeri $e = 1$ ve maksimum değeri $e = 1 + m$ dür (Battaglio ve ark., 2003).

Lekha ve Ark. (2003) tarafından, yine yukarıdaki varsayımlara dayanarak, süreklilik denklemi vasıtası ile, konsolidasyon için aşağıdaki lineer olmayan diferansiyel denklem verilmiştir.

$$\frac{\partial P}{\partial T_c} = P \frac{\partial^2 P}{\partial Z^2} \quad (2.24.a)$$

Bu denklemde görülen P ve T_c aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$P = (1 - b W)^{(1 - I_c / c_k)} \quad (2.24.b)$$

$$T_c = \frac{1}{e} + \frac{Ds}{s_i} \frac{\partial}{\partial t} \quad \times T \quad (2.24.c)$$

Burada P boşluk suyu basıncı parametresini, T_c de modifiye zaman faktörünü gösterir. T ise bilinen zaman faktörüdür. S lar efektif gerilmeleri gösterirken $W = u/Ds$ ve $Z = z/H$ olarak tanımlanmıştır.

Problemin başlangıç ve sınır koşulları aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$u(0,t) = 0 \quad ; \quad P(0,T_c) = 1$$

$$u(z,0) = Ds \quad ; \quad P(Z,0) = P_i = \frac{1}{c_k} + \frac{Ds}{s_i} \frac{1}{\frac{1}{c_k} + \frac{Ds}{s_i}}$$

$$\frac{\partial u}{\partial z}(H,t) = 0 \quad ; \quad \frac{\partial P}{\partial Z}(1,T_c) = 0$$

Yukarıdaki 2.24.a numaralı lineer olmayan kısmi türevli diferansiyel denklem, verilen sınır koşullarını içeren genel bir çözüme sahip değildir. Özel çözüm bulmak için, P nin aşağıdaki ortalama değere sahip olduğu varsayılmıştır (Lekha ve ark., 2003).

$$P = P_{av} = \frac{1}{2} \frac{1}{c_k} + \frac{1}{c_k} + \frac{Ds}{s_i} \frac{1}{\frac{1}{c_k} + \frac{Ds}{s_i}} \quad (2.25)$$

Bu yaklaşımda, (I_c/c_k) oranındaki parametreler, permeabilite ve hacimsel sıkışma davranışındaki lineer olmama durumunu temsil eder. Bu parametreler, aynı zamanda, konsolidasyon hızı hakkında karar vermeyi kolaylaştıran parametrelerdir.

Ayrıca, T bilinen zaman faktörü ile $T^* = P_{av} T_c$ ile tanımlanan zaman parametresi arasındaki ilişki, konsolidasyon hızının I_c/c_k ve Ds/s_i oranlarından etkilendiğini gösterir. Eğer $I_c/c_k = 1$ ise, bilinen Terzaghi çözümü elde edilir. Şayet $I_c/c_k < 1$ ise, T gerçek zamanı, Terzaghi'nin konsolidasyon süresinden küçük olup

konsolidasyon hızlı gerçekleşir. Yükün artma oranı ile konsolidasyon hızı artar. $I_c / c_k > 1$ durumunda ise konsolidasyonun gerçek zamanı, Terzaghi'nin konsolidasyon süresinden büyük olur. Bu durumda konsolidasyon daha yavaş meydana gelir (Lekha ve ark., 2003).

Zeminle ilgili parametreler, zemin tipine ve tarihçesine bağlı olarak değişim göstermektedir. Zeminlerin homojen olmaması ve konsolidasyon süresince lineer olmayan davranış göstermesi, uzaysal değişkenlerin uygun değişimi ile çözülmeye çalışılmaktadır. Ayrıca, kabul edilen karakteristik parametrelerin konsolidasyon süresince sabit kaldığı varsayılmaktadır. Yine, konsolidasyondaki pek çok olay, aşırı konsolide rejimden normal konsolide rejime geçişi içeriyor ise tanımlanabilmektedir (Battaglio ve ark., 2005). Araştırmacılar, yukarıda verilen varsayımlar altında, 2.23.b numaralı eşitlikte verilen h parametresi içine, $h = h(u - u_c)$ şeklinde ampirik bir fonksiyon sokarak konsolidasyon olayını incelemişlerdir.

$$h = h(u - u_c) = h_m \frac{S_1(u - u_c; a)}{S_2(u - u_c; a)} \quad (2.26.a)$$

Buradaki S_1 ve S_2 fonksiyonları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$S_1(u - u_c) = \exp\left\{a \frac{(u - u_c)}{u}\right\} + h_m \exp\left\{a \frac{(u - u_c)}{1 - u}\right\} \quad (2.26.b)$$

$$S_2(u - u_c) = \exp\left\{a \frac{(u - u_c)}{u}\right\} + h_m \exp\left\{a \frac{(u - u_c)}{1 - u}\right\} \quad (2.26.c)$$

Eşitliklerde görülen a değeri, deney sonuçlarına göre tayin edilen pozitif bir parametredir. h 'nin u 'ya göre eğimi ise, 2.26.a eşitliğinin türevinden bulunan değerdir.

Verilen bu sınır koşulları altında kütle denge denklemi aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$\frac{\partial e}{\partial t} = \frac{\partial e}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.27)$$

Burada,

$$\frac{e - e_0}{1 + e_0} = -h \log_{10} e$$

$$\frac{k}{k_0} = e^{l-1}$$

$$e = 1 + m(1 - u)$$

değerlerine sahiptir. Kütle-denge denkleminde görülen $\tilde{k}$ büyüklüğü, $\tilde{k} = k_0 \ln 10 / m h_M$ değerine eşittir. Sonuçta, aşağıdaki lineer olmayan konsolidasyon denklemi elde edilmiştir (Battaglio ve ark., 2005).

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{m h_M}{m h(u) - h(u) e(u; m) \ln[e(u; m)]} \frac{\partial}{\partial x} \left(h(u) \frac{\partial u}{\partial x} \right) + p(u) \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.28)$$

Burada, $h(u)$ değeri 2.26.a numaralı eşitlik ile, $h(u)$ ve $p(u)$ nun değerleri ise aşağıdaki eşitlikler ile bulunabilir.

$$h(u) = (1 + e_0) [1 - h(u) \log_{10} e]^2 e^l \quad (2.29.a)$$

$$p(u) = (1 - l) \frac{m}{e} h(u) \quad (2.29.b)$$

Özel bir durum olarak, $h = h_M$ sabit ise, 2.28 numaralı diferansiyel denklemden normal konsolide bir zemine ait konsolidasyon modeli elde edilir.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(h(u) \frac{\partial u}{\partial x} \right) + p(u) \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.29)$$

Bu eşitlikte de 2.29 numaralı ifadeler geçerliliğini korur (Battaglio ve ark., 2005).

Buraya kadar sözü edilen tüm çözümler, dış yükün sabit olduğu ve ani yüklendiği esasına dayanmaktadır. Matematiksel karmaşıklık nedeniyle başka karmaşık yüklemeleri içeren çözümler bulunamamaktadır. Silo, tank, karayolu ve okyanus seddelerinde olduğu gibi devinimli yüklemeler durumunda zemin reaksiyonu, bir difüzyon problemi olarak araştırılmaktadır. Yine lineer olmayan konsolidasyon için, yukarıdaki varsayımlar altında, permeabilite ve hacim değiştirme katsayılarının efektif gerilmelere bağlı değişimleri göz önüne alınarak, devinimli yükler için, Geng ve Ark. (2006) tarafından aşağıdaki konsolidasyon diferansiyel denklemi teklif edilmiş ve nümerik olarak çözülmüştür.

$$\frac{k_{v0}}{g_w} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial s}{\partial z} \right) = \frac{c_c}{\ln 10 (1 + e_0)} \frac{1}{s} \frac{\partial s}{\partial t} \quad (2.30.a)$$

Burada s 'nin değeri $s = p(t) + s_0 - u$ olup, türevi aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \frac{\partial p}{\partial t} - \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.30.b)$$

Eşitlikte görülen p dış yükleme ve u da bağımsız değişken olan aşırı boşluk suyu basıncıdır (Geng ve ark., 2006).

Öte yandan, Abbasi ve Ark. (2007) tarafından, kütle denge denklemine, üçüncü varsayımda bünye denklemi olarak kabul edilen 2.22 numaralı eşitliğin diferansiyeli konularak, aşağıdaki konsolidasyon diferansiyel denklemi elde edilmiştir.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_n (s_t - u)^a \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2.31.a)$$

Burada da $C_v = C_n (s_t - u)^a$ dönüşümü ile

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2.31.b)$$

diferansiyel denklemine ulaşılmış ve bu denklem sonlu farklar yöntemi ile çözülmüştür.

Görüldüğü gibi, C_v parametre durumunda ve çözüm ise analitik olmayıp yaklaşık bir çözümdür. Geliştirilen modeller, sınır koşullarına ve zeminin tipine göre değişiklik göstermektedir. Konsolidasyon deneyleri homojen olmayan zeminlere uygulanmalarına rağmen, ileri sürülen denklemlerle, ortaya çıkan lineer olmama durumu çözümlenmeye çalışılmaktadır. Bu durumda, aşırı konsolide rejimden normal konsolide rejime geçiş oluyorsa, bazı olaylar ileri sürülen modellerle tanımlanabilmektedir. Örneğin, plastisite kuramı kullanılarak, elastik büyüklüklerden bir elasto-plastik yüzeye geçiş sağlanabilmektedir. İleri sürülen tüm lineer olmayan modeller, aşırı boşluk suyu basıncına ait değişimi belirleyen modellerdir. Lineer olmayan modellerle lineer modelin verdiği sonuçlar birbirlerinden farklı olmaktadır. Bunlara ek olarak, bünye denklemi olarak kabul edilen ilişkiler ampirik ilişkilerdir. Ayrıca ileri sürülen yöntemler, oturma hızının aşırı boşluk suyu basıncına olan etkilerini de göz önüne alamamaktadır (Bonzani ve Lancellotta, 2005).

Geliştirilen lineer olmayan modellerin eksikliğini gidermek, hem zemin viskozitesi hem de sıvı hızını birlikte hesaba katmak amacı ile son yıllarda karışım kuramı (mixture theory) kullanılmaya başlanmıştır. Karışım kuramının esası, denge yasaları ve korunum prensiplerine dayanmasıdır. Bu kuram, yukarıdaki lineer olmayan yaklaşıma uygulanarak ilgili ifadeler çıkarılmaktadır. İzotermal ve kimyasal reaksiyonların olmadığı veya faz değişimlerinin bulunmadığı durumlar için aşağıdaki denklemlerin geçerli olduğu varsayılmaktadır (Lancellotta ve Preziosi, 1997).

$$\frac{df_s}{dt} + \tilde{N}(f_s v_s) = 0 \quad (2.32.a)$$

$$\frac{df_l}{dt} + \tilde{N}(f_l v_l) = 0 \quad (2.32.b)$$

Bu eşitliklerde s dane fazını, l de sıvı fazını ifade eder.

Verilen 2.32.a ve 2.32.b denklemlerinin toplanması sonucu, aşağıdaki ilişkiler yazılabilir.

$$\tilde{N} v_c = 0 \quad (2.33.a)$$

$$v_c = f_s v_s + f_l v_l \quad (2.33.b)$$

Burada, v_c kompozit hızını ifade eder. Bu durumda, 2.32 denklemleri sırasıyla r_s ve r_l yoğunlukları ile çarpılıp toplanırsa, karışım yoğunluğu ve ortalama hız için aşağıdakiler bulunur:

$$r_m = r_s f_s + r_l f_l \quad (2.34.a)$$

$$v_m = \frac{r_s f_s v_s + r_l f_l v_l}{r_m} \quad (2.34.b)$$

Burada, v_m ortalama kütle hızıdır. Bu tanımlamalara dayanarak, yukarıdaki varsayımlar altında, Davis ve Raymond (1965) tarafından verilen konsolidasyon denklemi bulunmuş olur.

$$\frac{ds}{dt} = c_v \frac{e}{z} \frac{ds}{dz} - \frac{1}{s} \frac{ds}{dz} \frac{v_m}{z} \quad (2.35)$$

Burada, c_v konsolidasyon katsayısı olup,

$$c_v = - \frac{k(e)(1+e^*)}{r_l g} \frac{ds}{de} = \frac{k^* s^* (1+e^*)}{r_l g I_c} \quad (2.36.a)$$

$$k = k^* \frac{s^*}{s} \quad \text{ve} \quad e = e^* - I_c \log \frac{s^*}{s} \quad (2.36.b)$$

değerlerine sahiptir. Eğer c_v nin değeri 2.35 denkleminde yerine konulursa, aşağıdaki boşluk oranı değişimi elde edilir.

$$\frac{de}{dt} = c_v \frac{d^2 e}{dz^2} \quad (2.37)$$

Verilen 2.35 ve 2.36 eşitlikleri, geoteknik problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır ve malzemelerin sıkışma yasasına da uygun görülmektedir.

$$\frac{dV}{V} = -l \frac{ds}{s} \quad (2.38)$$

Burada $V = 1+e$ değerine sahiptir ve l da deneysel malzeme sabitini gösterir. $a = 1/l$ ile ifade edilmesi, konsolidasyonun adyabatik bir işlem olduğunu vermektedir (Lancellotta ve Preziosi, 1997).

Bütün bunlara rağmen, genel konsolidasyon diferansiyel denklemi, süreklilik denklemi kullanılarak aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\frac{d^2 u}{dz^2} + m_v \frac{g_w}{K} \frac{dq}{dt} - \frac{u}{t} + \frac{1}{K} \frac{du}{dz} = 0 \quad (2.39.a)$$

Ödometre deneylerinde q dış yüklemesi sabit olduğuna göre, bu denklem, daha toplu şekilde olan aşağıdaki denkleme indirgenir.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1}{K} \frac{\partial K}{\partial z} \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{c_v} \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.39.b)$$

Hacim değişirme katsayısı m_v , s efektif gerilmesi ile ters orantılı olup,

$$m_v = \frac{0.434 CR}{s} \quad \text{ve} \quad CR = \frac{de_v}{d \log s}$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Burada CR , konsolidasyon oranını gösterir.

Yine, permeabilitenin hacim değişirme katsayısı ile ilgisi aşağıdaki gibidir.

$$K = m_v c_v g_w$$

Verilen m_v ve K değerleri, 2.39.b denklemine yerine konularak, Davis ve Raymond (1965) 'ın lineer olmayan denkleminde ulaşılır.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{1}{s} \frac{\partial s}{\partial z} \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{c_v} \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.40)$$

Toplam düşey gerilme için

$$\frac{\partial s_v}{\partial z} = \frac{\partial s}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad \text{ve} \quad \frac{\partial s_v}{\partial t} = \frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial t} = 0$$

türevleri yazılabilir. Bu türevler, 2.40 numaralı eşitliğe konulur ve denklemin her iki yanı da $s \frac{d}{dt}$ ye bölünürse, aşağıdaki, konsolidasyona ait efektif gerilme cinsinden diferansiyel denklem elde edilir.

$$-c_v \frac{1}{s} \frac{d^2 u}{dz^2} + \frac{1}{s} \frac{d}{dt} \left(\frac{du}{dz} \right) = \frac{1}{s} \frac{ds}{dt} \quad (2.41)$$

Burada, $w = \log \frac{s - u}{s}$ dönüşümü yapılarak denklem lineerleştirilirse,

$$w(t) = w_i B \quad (2.42.a)$$

$$-u = s \frac{dw}{dz} - 1 \quad (2.42.b)$$

çözümleri bulunur. Eşitliklerde görülen B 'nin değeri, Terzaghi'nin çözümüne eşittir (Lancellotta, 1995).

Şimdiye kadar verilen tüm modeller, Darcy yasasının geçerliliğine dayanmaktadır. Oysa, pek çok ince daneli zeminde Darcy dışı akımlar mevcuttur. Darcy dışı akımların pre-lineer (ön-lineer) ve post-lineer (son-lineer) olmak üzere iki türü bulunmaktadır. Bunlara ek olarak, deneyler, doymun killerde akımın, düşük hidrolik eğim için üstel bir ilişkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, aşağıdaki Hanbo eşitlikleri kullanılmaktadır:

$$i \leq i_1 \quad \text{için} \quad v = c i^m \quad (2.43.a)$$

$$i > i_1 \quad \text{için} \quad v = K(i - i_0) \quad (2.43.b)$$

Burada, v akım hızını, i hidrolik eğimi, i_1 eşik hidrolik eğimini, c ve K sırasıyla lineer ve üstel bölgelerde uygulanan permeabiliteleri ve i_0 hesaplanan eşik hidrolik eğimini gösterir. Yine, eşitliklerde görülen m değeri, deney sonuçlarından elde edilen ve zemin özelliği ile ilgili ampirik bir sayıdır.

Tanımlanan akım parametreleri arasında,

$$i_0 = i_1 \frac{c^{m-1}}{m} \quad \text{ve} \quad c = \frac{K}{(mc_1^{m-1})} \quad (2.44)$$

ilişkileri bulunur. Özel bir hal olarak $m=1$ ve $i_0=0$ için Darcy akımı elde edilir (Liu ve Zeng, 2010).

Liu ve Zeng (2010), zamana bağlı yüklerin Darcy dışı akımlardaki etkisini incelemişlerdir. Bu özel duruma ait konsolidasyon diferansiyel denklemi aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{c_v}{g_w} \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.45)$$

Burada, c_v , g_w , u , z ve t büyüklükleri lineer kuramdaki anlamlarını korurlar. Eğer $i < i_1$ ise $M = m$, $i > i_1$ ise $M = 1$ değerlerine sahiptir.

Denklem, boyutsuzlaştırılmak amacı ile yeni değişkenler tanımlanarak lineer duruma getirilmiş ve aşağıdaki başlangıç ve sınır koşulları altında çözülmüştür.

$$u(z,0) = u_0 = p_0 \quad ; \quad 0 \leq z \leq H \quad (2.46.a)$$

$$u(0,t) = 0 \quad ; \quad \frac{\partial u}{\partial z}(H,t) = 0 \quad , \quad t > 0 \quad (2.46.b)$$

Verilen diferansiyel denklemin çözümü sonucunda bulunan aşırı boşluk suyu basınçları, Darcy akımlarına dayanan boşluk suyu basınçlarından büyük çıkmaktadır. Bunun nedeni olarak, boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesinin Darcy dışı akımlarda daha yavaş olması gösterilmektedir. Yine, konsolidasyon hızları karşılaştırılırsa, hız farklarının arttığı ve bunun da ortalama konsolidasyon derecesinin gecikmesine neden olduğu görülür (Liu ve ark., 2010).

Zhang (2011) tarafından, kompakte edilen zeminlere ait konsolidasyon incelenmiştir. Kompakte edilen zeminler doymamış zemin özelliklerini taşımaktadır. Doymamış bir zemin, boşluk oranı ve su içeriği olmak üzere iki büyüklükle tanımlanır. Yine, doymamış zeminlerin mevcut konsolidasyon kuramlarında, zeminlerin elastik birer cisim oldukları varsayılmasına rağmen, elastik-plastik bir malzeme gibi davrandığı da bilinmektedir. Ayrıca, kompakte edilen bir zemin, ıslandığı zaman göçebilen bir zeminin davranış biçimine sahiptir.

Öte yandan, drenajsız deneylerle, hem elastik hem de elasto-plastik analizlerde aynı sonuçlar elde edilmektedir. Bunun nedeni, yüklemelerin monoton artan tarzda yapılması ve sonuçların gerilme izinden bağımsız olmasıdır. Oysa konsolidasyon deneylerinde, aşırı boşluk suyu basıncının sönümü nedeniyle sonuçlar gerilme izine bağlı kalır. Bu nedenle, elasto-plastik analizler daha makul sonuçlar vermektedir (Zhang, 2011).

Konsolidasyonun, sıkıştırılan bir poroz ortamdaki kirleticilerin taşınmasında da önemli etkisi bulunmaktadır. Yine, konsolidasyonda çözeltilerin zemin içinde difüzyon yolu ile taşınmasında, boşluk suyuna ait drenajın oldukça etkili olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak, bir konsolidasyonda, başlangıç konsantrasyon koşulları ve sınır yüzeylerinden olan drenaj, kirletici taşınmasında etkili olmaktadır (Fox ve ark., 2010). Bunlara göre, boşluk geometrisinin rastgele olması ve kirleticilerin zemin içinde yayılma ve taşınma olayı, konsolidasyondaki difüzyon problemini gündeme getirmektedir. Ek olarak, boşluk geometrisi nedeniyle, yüklenme sırasında boşluk suyu hızının yön ve doğrultularının farklı olması, dispersiyon olgusunun da sorgulanmasını gerektirmektedir.

Ayrıca, zeminin doygun ve doymamış durumlardaki konsolidasyon olayını ifade etmek için verilen diferansiyel denklemlerde, yine 2.39.b ile verilen genel

konsolidasyon diferansiyel denkleminde, konsolidasyon katsayısı veya hacimsel sıkışma katsayısı parametre durumundadır (Fredlund ve Rahardjo, 1993). Geliştirilen kuramlar, boşluk suyu basıncının değişimi ve buna bağlı olarak konsolidasyon derecesi hakkında bilgi verebilmektedir. Dolayısıyla, aşırı boşluk suyu basınçları ve oturmalar arasındaki ilişki kurulabilmektedir. Oysa boşluk suyu hızının özellikle doygun zeminlerde, zeminin oturma hızının da boşluk suyu basıncı ve zemine ait viskoz özellikler üzerinde etkileri bulunacağı açıktır. Söz konusu hızların konsolidasyon katsayısı ile de ilişkili olduğu söylenebilir. Ayrıca, parametre durumunda olan büyüklükler de değişken bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, bu parametrelerin makul bir çerçevede türev altına alınıp boşluk suyu basınçlarına olan etkileri ve değişme şekilleri incelenmelidir.

Bunlar dışında, 2.39.b numaralı eşitlikle verilen genel konsolidasyon diferansiyel denklemi, mikro yapıya dayanarak süreklilik ve denge kurallarından elde edilmesine rağmen, geliştirilen lineer olmayan konsolidasyonu temsil eden diferansiyel denklemlerde, 2.22 numaralı eşitliklerdeki fenomenolojik ilişkiler kullanılmıştır. Lineer olmayan modellerde fenomenoloji daha hakim unsur olarak görülmektedir. Sonuç olarak, hem hızların konsolidasyona olan etkilerini göz önüne alan hem de parametrelerin değişkenlik arz ettiği yeni bir konsolidasyon modeline ihtiyaç duyulmaktadır.

Konsolidasyon katsayısı, zeminin hidrolik ve mekanik özelliklerini birlikte içeren önemli bir katsayıdır. Bu katsayı, aynı zamanda, drenaj boyuna da bağlıdır. Bu nedenle boşluk oranları ve efektif gerilme değişimleri ile de ilgilidir. Konsolidasyon katsayısının zemine ait hidrolik özelliklere ve drenaj boyuna bağlı olması, boşluk suyu ve oturma hızlarını da temsil eden bir zemin parametresi olma durumunu arz eder. Sonuçta, konsolidasyonu temsil eden bir diferansiyel denklemin hız kavramını içermesi, olayın daha iyi tanımlanması açısından önem taşır.

Hem tüm bu söylenenleri içermesi hem de suya doygun olmayan zeminlere de uygulanabilmesi amacı ile Tekinsoy ve Haktanır (1990) tarafından, aşağıdaki konsolidasyon diferansiyel denklemi verilmiştir.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(c_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2.47.a)$$

$$v_z = \frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\partial c_v}{\partial z} \quad (2.47.b)$$

Denklemden görülebileceği gibi, konsolidasyon katsayısı c_v türev altında olup denklem lineer olmayan bir denklemdir. Bu durumda, c_v bağımsız koordinatların bir fonksiyonu durumundadır. Aynı zamanda denklemde hızın $v_z = \partial c_v / \partial z$ olarak tanımlanması, boşluk suyu hızının da konsolidasyon üzerinde etkisini gösterir. Bu nedenle, özellikle doygun zeminlerde, oturma hızlarının da konsolidasyon üzerindeki etkileri hesaba katılabilir. Bu etki daha çok zeminin viskoz özelliği ile ilgilidir.

Yazarlar, verilen 2.47 denklemlerini, bir konsolidasyonda sızma olayının mevcudiyeti nedeniyle, infiltrasyon kuramı ile çözmüşlerdir. Ancak bu çözümde bazı belirsizlikler söz konusudur. Denklem çıkarılırken, dış kuvvetlerin yapmış olduğu işin iç kuvvetlerin işine eşit olması prensibinden hareket edilmiştir. Bu nedenle, denklemin elde edilmesinde, deformasyonların küçük olması koşulu gibi sınırlayıcı bir etmen de bulunmamaktadır. Yine, Darcy yasasının geçerli olduğu da kabul edilmiştir. Aynı zamanda, bu denklem, konsolidasyonun lineer olmama durumunu da yansıtabilmektedir. Bu çözümde hacimsel su içeriği ($q = V_w / V$) tanımına dayanarak, sorptivite kavramları kullanılmıştır. Sorptivitenin tanımı aşağıdaki gibi yapılmıştır:

$$s = \int_{q_0}^{q_i} dq \quad \text{ve} \quad l = \frac{z}{\sqrt{t}} = \frac{s}{q_0 - q} \quad (2.48)$$

Burada, q_0 doygun durumdaki, q_i de başlangıç su içeriğidir.

Ayrıca, T_v zaman faktörünün değişimi sorptivite cinsinden,

$$l \frac{dT_v}{dl} + 2T_v = \frac{2s}{l} \quad (2.49)$$

diferansiyel denklemi ile verilmiştir. Bu durumda, hacimsel sıkışma katsayısı $m_v (L^2 / F)$ ve konsolidasyon derecesi, aşağıdaki ilişkiler ile verilmiş durumdadır (Tekinsoy ve Haktanır, 1990).

$$m_v = \frac{1}{p} \frac{e}{e_0} - \exp \left[-\frac{s}{\sigma_v} \right] \quad (2.50.a)$$

$$\frac{z_0 - z}{z_0 - z_i} = 1 - \exp \left[-\frac{s}{\sigma_v} \right] \quad (2.50.b)$$

Bu eşitliklerden görülebileceği gibi, m_v hacimsel sıkışma katsayısının hem p toplam yükleme basıncı hem de konsolidasyon derecesi ile yakın ilişkisi bulunmaktadır.

İnfiltrasyon kuramının kullanılması ile elde edilen boşluk suyu basınçları,

$$u = \frac{g_k}{g_w} z + q - \frac{p}{g_w} - z \quad (2.51)$$

eşitliği ile verilmiştir. Bu ifadeden görülebileceği gibi, boşluk suyu basıncı üzerinde g_k kuru birim hacim ağırlığının, p toplam yükleme basıncının, q hacimsel su içeriğinin ve z zemin numunesi boyunun etkileri bulunmaktadır. Hacimsel su içeriği ise $q = S_r n$ olup, zemin porozitesi ile ilişkilidir. Dolayısıyla, doymun durumda zeminin n porozitesi de boşluk suyu basınçları üzerinde etkili olmaktadır. Buna ek olarak, ağırlıkça su içeriği ile hacimsel su içeriği arasında $g_w q = g_k w$ ilişkisi de bulunmaktadır. Yine verilen boşluk suyu basıncında, zamanla değişim hakkında bir fikir elde edilememektedir. Bu nedenle belirsiz bir durum söz konusu olmaktadır (Tekinsoy ve Haktanır, 1990).

Yukarıda sözü edilen belirsizliği kaldırmak ve geoteknik için daha uygun bir yaklaşım verebilmek amacıyla, 2.47 numaralı diferansiyel denklemde, hem değişken dönüşümü hem de Leibnitz kuralı kullanılarak, boşluk suyu basıncının yükseklik cinsinden değişimleri verilmiştir. Elde edilen çözümler aşağıdaki gibidir (Tekinsoy ve ark., 2009, Tekinsoy, 2013).

$$\frac{Dh_t}{DH} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\rho}} \int_0^{x=z/2\sqrt{c_v t}} e^{-x^2} dx = \operatorname{erfc} \frac{z}{2\sqrt{c_v t}} \quad (2.52.a)$$

$$h = h_i - \sqrt{\frac{t}{t_c}} \frac{z}{z_f} \quad (2.52.b)$$

Bu ifadelerde, h_i yükseklik olarak boşluk suyu basıncının başlangıç değerini, t_c değeri %100 lük konsolidasyona karşı gelen süreyi ve z_f de nihai numune yüksekliğini gösterirken $DH = DP / g_w$ değerine eşittir.

Bu durumda c_{v1} konsolidasyon katsayısı, drenaj boyunun değişim hızı v_{z1} ile ilgili olup,

$$c_{v1} = \frac{z^2}{4t} - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{t}{t_c}} \frac{z}{z_f} \quad (2.53.a)$$

$$v_{z1} = \frac{z}{2t} - \sqrt{\frac{t}{t_c}} \frac{z}{z_f} \quad (2.53.b)$$

eşitlikleri ile verilmiştir (Tekinsoy, 2013).

Bir ödometre deneyi için sınır koşulları, su yüksekliği cinsinden,

$$h(z, t) = h(z_i, 0) = h_i \quad (2.54.a)$$

$$h(z, t) = h(z_f, t_c) = 0 \quad (2.54.b)$$

şeklinde verilebilir.

Problem, bu sınır koşulları altında çözülmüştür. Yine, zemin örneğinin herhangi bir basınç kademesi için, oturma hızları da göz önüne alınarak problem çözüldüğü zaman aşağıdaki eşitlikler elde edilmiştir. Bu çözüm de, 2.54 numaralı sınır koşullarını sağlar.

$$h = h_i \frac{e}{e_0} - \sqrt{\frac{t}{t_c}} \frac{a z_i}{e z_0} \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2.55.a)$$

$$c_{v2} = \frac{z^2}{4t} \frac{e}{e_0} - \frac{2}{3} \frac{a z}{e z_i} \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2.55.b)$$

$$v_{z2} = \frac{z}{2t} \frac{e}{e_0} - \frac{a z}{e z_i} \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2.55.c)$$

Eşitliklerde görülen z_i , başlangıç numune yüksekliğini ifade etmektedir (Tekinsoy, 2013).

Elde edilen eşitliklerden görülebileceği gibi, çözümlerden biri Terzaghi'nin boşluk suyu basıncına benzemektedir. Diğer çözümler ise parabolik bir değişim gösterir. Ancak konsolidasyon katsayıları ve drenaj boyu değişim hızı ile boşluk suyu hızı değişimleri, oturmalar ve numune yüksekliğine bağlı olarak elde edilebilmektedir. Bu nedenle boşluk suyu basınçları ve konsolidasyon katsayısı üzerindeki hızların etkisi hakkında, eksik de olsa, fikir elde etmek mümkün hale gelmiştir (Tekinsoy ve ark., 2009).

Öte yandan, boşluk geometrisinin zeminlerde rastgele olması, boşluk suyu hızının yön ve doğrultusunun boşluk geometrisine bağlı bir dağılım göstermesi ve uygulanan yükleme sonucu bir hidrolik potansiyelin doğması sonucunda zemin

suyuna ait birim hacim için ig_w 'ya eşit sürüklenme kuvvetinin bulunması, akla dispersiyon fikrini getirmektedir. Dispersiyonun anlamı ve bununla ilgili ilişkiler aşağıda incelenmiştir.

2.4. Dispersiyon Ve İlgili Yaklaşımlar

Dispersiyon ve difüzyon olayları, poroz bir ortamdan akan sıvının taşınmasıdır. Difüzyon, sıvı moleküllerinin bireysel termal hareketinden kaynaklanmaktadır. Dispersiyon ise poroz ortam içindeki mikroskobik hareket yolu boyunca, düzensiz şekilli boşluklar arasından, sıvı partiküllerinin (parçacıklarının) değişen hızlarından oluşan taşınma işlemidir. Sonuçta konsantrasyon değişimi söz konusudur. Yine dispersiyon için, konsantrasyon gradyanına bağlı olmadan meydana gelen, mikroskobik ölçekteki taşınma olayı olduğu söylenebilir. Ancak, poroz ortamlardaki akımlar için, sınır koşullarının mikroskobik ölçekte tanımlanması zordur. Bu nedenle makroskobik modeller kullanılmaktadır. Bu koşullar altında, konsantrasyon gradyanının dispersiyon ile orantılı olduğu varsayılmaktadır (Reddell ve Sunada, 1970).

Gerçekte difüzyon, kimyasal maddelerin konsantrasyona bağlı olarak taşınmasını ifade eden kimyasal bir işlemdir. Difüzyon için kullanılan temel denklem Fick yasasıdır (Sienko ve Plane, 1961).

$$J_D = - D^* n \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2.56)$$

Burada J_D difüze olan kütle akısını, x taşınma doğrultusunu, D^* difüzyon katsayısını gösterir. Kimyasal difüzyonda, poroz bir malzemeye gereksinme duyulmamasına rağmen, poroz ortam için yukarıdaki ifade verilmiştir.

Çevre geotekniğinde önemli olan kirleticilerin taşınma kuramında, J_M mekanik dispersif akı oldukça önemlidir. J_M akısı, poroz ortamda taşınma meydana getiren v_s sızma hızındaki değişmelere bağlıdır. Boşluk geometrisine bağlı olarak

akımın yön ve şiddeti değişir. Bu nedenle dispersiyonun heterojenite nedeni ile akım hızlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Buna uygun şekilde mekanik dispersif akı, Fick yasasına benzer olarak aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$J_M = - D_m n \frac{dC}{dx} \quad (2.57.a)$$

Burada J_M mekanik dispersif akıyı, D_m mekanik dispersiyon katsayısını, n ise poroziteyi göstermektedir.

Mekanik dispersiyonun sızma hızlarının değişmesinden kaynaklanması nedeniyle, D_m katsayısının aşağıdaki gibi bir fonksiyon olduğu varsayılmaktadır.

$$D_m = a_L v_s^b \quad (2.57.b)$$

Bu eşitlikte a_L poroz ortamın boyuna dispersivite katsayısı, v_s sızma hızı ve b ise $1 \leq b \leq 2$ aralığında değişen ampirik bir sabittir. Pek çok çalışmada, D_m nin v_s ile lineer bir ilişkisi bulunduğu ve $b = 1$ değerine sahip olduğu saptanmıştır. a_L nin, uzun taşınma uzaklıkları için ölçek etkisini taşıdığı belirlenmiştir.

Adveksiyon (advection) ise, hidrolik yüke bağlı olarak maddelerin taşınma işlemidir. Reaktif olmayan çözeltiler (tuzlar gibi), akışkan hızına eşit bir hızla taşınırlar. Bu durumda v_s suyun sızma hızı olup

$$v_s = \frac{v}{n} \quad (2.58.a)$$

eşitliği ile verilir. Burada v deşarj hızını ve n de poroziteyi gösterir.

Advektif bir akımda, malzemeye ait boşlukların (pores) eşit role sahip olduğu ön kabulü yapılmaktadır. Bu durumda, Darcy yasası kullanılarak aşağıdaki ilişki verilmektedir:

$$v = \frac{Q}{A} = -K \frac{\partial h}{\partial x} = Ki \quad (2.58.b)$$

Bu eşitlikte, suyun akım hızı Q , zeminin toplam kesit alanı A , hidrolik iletkenlik K ile ifade edilmiştir.

Ayrıca, L kalınlığında bir zemin içinde v_s sızıntı hızı ile akan bir akışkan vasıtasıyla reaktif olmayan çözeltinin taşınması için geçen zaman t ise, bu zaman

$$t = \frac{L}{v_s} = \frac{nL}{Ki} \quad (2.58.c)$$

eşitliği ile verilmektedir. Bu durumda taşınan kütle, aşağıdaki gibi olur:

$$J_A = vC = KiC = nv_s C \quad (2.58.d)$$

Burada, t transit zamanını, C de konsantrasyonu gösterir.

Toplam akı, advectif, difüsif ve dispersif akıların toplamı olup yukarıdaki değerler yerlerine konularak aşağıdaki eşitlikler bulunur.

$$J = J_A + J_D + J_M \quad (2.59.a)$$

$$J = nv_s C - D^* n \frac{\partial C}{\partial x} - D_m n \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2.59.b)$$

$$J = nv_s C - D_h n \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2.59.c)$$

Son eşitlikte görülen D_h katsayısına hidrodinamik dispersiyon katsayısı adı verilmektedir. Bu katsayı,

$$D_h = D^* + D_m = D^* + av_s \quad (2.60)$$

değerine eşittir. Görüldüğü gibi, hidrodinamik dispersiyon katsayısı hem difüzyon hem de mekanik dispersiyon katsayısını birden içerir (Shackelford, 1993).

Yeniden zeminlerdeki difüzyon olayı göz önüne alınırsa, difüzyonun ölçümü problemi ile de karşılaşılır. Difüzyon miktarının sayısal ölçümü, difüzyon katsayısı cinsinden yapılmaktadır. Difüzyon katsayısının tanımı, herhangi bir kesit için, birim alandan geçen madde miktarının konsantrasyon gradyanına bölümü şeklinde verilmektedir. Bunlara göre akı, t zamanı içinde A alanından yayılım yolu ile geçen madde miktarı ise, aşağıdaki eşitlik ile de verilebilmektedir.

$$J_D = - D^* A \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2.61)$$

Ancak poroz bir ortamın birim hacmine yayılan madde miktarı C_m ise, bilinen konsantrasyon tanımından uzaklaşılır. Bu nedenle sistemleri, poroz ortam ve diğerleri şeklinde ikiye ayırmak yararlı olur. Poroz ortamlardaki difüzyon için, ortamın porozitesi önemli role sahiptir. Pek çok sistemde sıvı faz, karşılaştırma ögesi olarak alınarak konsantrasyon ölçümü yapılmaktadır. Eğer hacimsel su içeriği $q = V_f / V_m$ olarak tanımlanırsa, sıvının işgal ettiği hacim

$$C_m = q C_f \quad (2.62.a)$$

olur. Bu eşitliklerde f simgesi sıvıyı, m de ortamı ifade ederken C konsantrasyonu gösterir. Bu durumda boşlukların tek bir sıvı tarafından işgal edilmesi durumunda, zemin doygun ise, q nın değeri n porozitesine eşit olur. Akı için,

$$J = - D_p A_m \frac{\partial C_f}{\partial x_m} \quad (2.62.b)$$

eşitliği yazılabilir. Burada $D_p = D_m n$ değerine eşittir (Nielsen ve ark., 1972).

Torsiyosite'nin bilinen tanımı, ortam uzunluğunun difüzyon boyuna oranıdır. Bu durumda x_m ortam uzunluğu için aşağıdaki eşitlik verilebilir.

$$x_m = x_f \frac{A_f}{A_m} \frac{l}{l_e} \quad (2.62.c)$$

Burada, x_f difüzyon boyu, l difüze olan parçacığın kat ettiği yatay uzunluk, l_e ise efektif uzunluktur. Bu durumda, sabit bir kesit alanı için, difüzyon boyu ile q su içeriği arasında,

$$q = \frac{V_f}{V_m} = \frac{A_f x_f}{A_m x_m} \quad (2.63.a)$$

ilişkisi yazılabilir. Verilen 2.62.c eşitliği göz önüne alınarak, kesit alanları için,

$$A_m = A_f \frac{A_f}{A_m} \frac{l}{l_e} \quad (2.63.b)$$

ifadesi elde edilir. Bütün bu yaklaşımlar 2.61 numaralı eşitlikte tek bir D^* katsayısı ile gösterilmiştir.

Yukarıda da ifade edildiği gibi, nedeni ne olursa olsun, zeminin su içeriği değiştikçe su ve zemin içindeki çözeltiler birlikte hareket eder. Bu hareket doğrudan doğruya zeminin boşluk suyu hızı ile ilgilidir. Doygun durumda boşluk suyuna ait boşalma (deşarj) hızı veya drenaj hızı, zeminin konsolidasyondaki oturma hızına eşittir. Şarjlı zemin daneleri ve çözeltiler arasındaki etkileşim, zeminin boşluk suyu hareketleri tarafından etkilenmektedir (Nielsen ve ark., 1972).

Dispersiyon ve difüzyon için süreklilik denklemi, ikinci Fick yasası ile verilmektedir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \frac{\partial J}{\partial x} \quad (2.64.a)$$

Yukarıda (2.59.c) ile verilen akı ifadesi, genel olarak,

$$J = vC - D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2.64.b)$$

ile gösterilir ve (2.64.a) denkleminde yerine konulursa, çözeltilerin taşınması ile ilgili diferansiyel denklem elde edilir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} (vC) \quad (2.64.c)$$

Eğer v ve D değerleri zeminin bağımsız birer özelliği ise, uzay ve zamandan bağımsız olup zemine ait parametreler olarak türev dışına çıkarlar.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2.65)$$

Bu diferansiyel denklem, hidrodinamik dispersiyonu ifade eden kısmi türevli bir diferansiyel denklemdir (Reddell ve Sunada, 1970; Kumar ve ark., 2011).

Zemin kirliliği ve çevre geotekniğinde, son yıllarda yapılan pek çok araştırma bulunmaktadır. Örneğin Erdoğan ve Chatwin (1967), dispersiyon diferansiyel denklemini difüzyon tipi bir denkleme indirgeyerek çözmüşlerdir. Fries ve Taghon (2010) tarafından, geçirgen sedimentlerde (birikintilerde) dane akıları ele alınıp incelenmiş ve birikme şekilleri (mekanizmaları) karşılaştırılmıştır. Kumar ve ark. (2011), sonlu akiferlerdeki iki boyutlu çözelti taşınması için analitik bir çözüm vermişlerdir. Pannone (2009), yatak şeklinin hidrodinamik dispersiyona olan etkisini kuramsal olarak araştırmıştır. Chao Li ve Cleall (2010) tarafından, çift tabakalı poroz bir ortamdaki kirlenici yayılımı analitik olarak çözülmüştür. Cavalcante ve Farias

(2013), kil tabakaları arasından advectif ve dispersif akımlar için alternatif bir çözüm vermişlerdir. Gomez ve Choi (2011), su dağıtım sistemlerindeki eksenel dispersiyon katsayısında olan değişimleri araştırmışlardır.

2.5. Dispersiyon Ve Konsolidasyon İlişkileri

Yukarıdakilerden anlaşılacağı üzere, çevre geotekniğinde dispersiyon olayı oldukça güncel bir konu gibi gözükmemektedir. Dispersiyon daha çok konsantrasyon değişimi ve kirletici yayılımı açısından ele alınmıştır. Advectif akım ile konsolidasyon arasında bir oranda benzerlik kurulabileceği söylenebilir. Oysa kompakte edilen ince daneli zeminlerde dispersif bir yapının mevcut olduğu da bilinmektedir (Özaydın, 1995; Önalp, 1997).

Zeminlerde, zemin danelerinin reaksiyona girmediği, yalnızca boşluk suyu hızına bağlı dispersiyon söz konusudur. Bu bağlamda, kirletici konsantrasyon değişimi, zemin-sıvı ara yüzeyinden hemen sonra başlamaktadır. Sonuçta küçük boşluklarda, düşük akışkan hızı nedeniyle hidrodinamik dispersiyon ortaya çıkar. Eğer zemin içinde kaynak veya kuyu gibi etmenler yoksa, dispersivite katsayısı D ve boşluk suyu hızı v zaman ve mekana bağlı değilse, başka bir ifade ile zeminin boşluk dağılımı rastgele ve üniform bir zemin söz konusu ise, 2.65 numaralı diferansiyel denklem geçerli olur (Nielsen ve ark., 1972).

Öte yandan, bir konsolidasyon deneyinde zeminin doymun olduğu varsayıldığına göre, zemin içindeki akım kanallarının kesit alanları ve yönü sabit değildir. Bu nedenle hareket halindeki bir su damlasının doğrultusu ve hızı sürekli değişir. Fakat mühendislik problemlerinde, akımın toplam akıma dik doğrultuda ve sabit hızla gerçekleştiği varsayımı yapılmaktadır. Boşluk suyu, daneler arasından geçerken, sürtünme kuvvetleri nedeni ile hidrolik yük kaybı meydana gelir. Sonuçta, zemine sızıntı kuvvetleri uygulanmaktadır. Bunlara ek olarak, suyun danelere uyguladığı kaldırma kuvveti de mevcuttur (Özaydın, 1995).

Sızıntı kuvveti, zemin iskeleti içinde hareket eden suyun sürtünme nedeni ile zemine uyguladığı kuvvettir. Birim zemin kütlesi üzerine etki eden sızıntı kuvveti f aşağıdaki gibidir.

$$f = i g_w \quad (2.66)$$

Bu eşitlikten görülebileceği gibi, f sızıntı kuvveti hidrolik eğimle doğru orantılıdır. Sızıntı kuvvetinin doğrultusu ise akım doğrultusuna paraleldir. Yine, zemine etkiyen bu kuvvet yerçekimi kuvvetine ters ve eşit şiddette ise, özellikle kumlu zeminlerde, zemin içindeki danelerin dengesi bozulur. Bu durumda da dane taşınımı söz konusudur. Danelerin denge yitirmesi, bilindiği gibi kritik hidrolik eğimle açıklanmaktadır.

$$i_c = \frac{g_A}{g_w} \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (2.67)$$

Burada, i_c kritik hidrolik eğimi, g_A su altındaki birim hacim ağırlık değerini, G_s dane özgül ağırlığını, e boşluk oranını ve g_w da suyun birim hacim ağırlığını göstermektedir (Özaydın, 1995).

Öte yandan, bir ödometre deneyinde, drenaj yüzeyine yakın kesitlerde aşırı boşluk suyu basınçları ve boşalmanın fazla olduğu, bu nedenle bu kesitlerdeki efektif gerilme değişimlerinin de fazla olacağından yukarıda bahsedilmişti. Sözü edilen bu durum, özellikle konsolidasyonun başlangıç evrelerinde sızıntı kuvvetlerinin büyük değer almalarına neden olur. Boşluk geometrisinin rastgele olmasından dolayı akımın yön ve doğrultusunun değişmesi sonucu konsolidasyondaki dispersif özellikler gündeme gelir. Sonuçta ince danelerin makro boşluklara dolması ve daha sıkı bir zemin yapısının oluşması söz konusudur. Bu durum, daha ince danelerin sızıntı kuvvetleri ile taşınması ve katı içinde katının yayınımlarını anımsatmaktadır. Bunlara ek olarak, bir zemin elemanının konsolidasyon süresince hacim azalması, zemin içinde akan ve aynı zamanda dışarı boşalan (discharge) boşluk suyunun etkileri sonucudur. Bu durum süreklilik denklemi ile ifade edilmektedir.

$$\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial e}{\partial t} = 0 \quad (2.68.a)$$

Bu eşitlikte, v boşalma (discharge) hızını ve e de boşluk oranını göstermektedir. Boşalma hızı ise aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilmektedir:

$$v = \frac{e(v_f - v_s)}{1 + e} \quad (2.68.b)$$

Burada v_f ve v_s sırasıyla boşluk suyu ve zemin iskeleti hızlarını gösterir.

Boşalma hızı v , aynı zamanda Darcy yasasına da bağlı olarak, hidrolik eğim ile de ilişkilidir.

$$v = k_v i \quad (2.68.c)$$

Bu eşitlikte de k_v düşey permeabiliteyi temsil etmektedir.

Yukarıdaki eşitliklerden görülebileceği gibi, boşluk suyu hızlarının, boşluk oranı değişimleri ve zeminin yapısal değişimi üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Aynı zamanda, 2.68.b numaralı eşitlikten de görülebileceği gibi, v hızı zemine ait viskoz özellikler ile de ilgilidir.

Boşalma hızı v nin hidrolik eğim ile olan ilgisi, efektif gerilme değişimleri ve suyun kaldırma kuvveti cinsinden aşağıdaki şekilde verilebilmektedir.

$$i = \frac{1}{g_w} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{1+e} \frac{\partial s}{\partial z} \right) + \frac{g_s - g_w}{1+e} \quad (2.69)$$

Burada, g_s zeminin dane birim hacim ağırlığını gösterir (Hawlder ve ark., 2003).

Bir zemin elemanı üzerine etki eden kuvvetlerin dengesi kullanılarak, boşluk oranlarının değişimine ait lineer olmayan diferansiyel denkleme gelinebilmektedir.

$$-\frac{\partial e}{\partial t} = a \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial^2 s}{\partial z^2} \right) + b \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial s}{\partial z} \right) + g \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial s}{\partial z} \right) \quad (2.70.a)$$

Eşitlikte görülen a , b ve g_c değerleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$a = \frac{1}{1 + e} \frac{\partial k_v}{\partial g_w} ; \quad b = \frac{1}{0,434 C_k} - \frac{1}{1 + e} \frac{\partial e}{\partial z} \quad (2.70.b)$$

$$g_c = \frac{g_s - g_w}{1 + e} \quad (2.70.c)$$

Diferansiyel denklemin elde edilmesinde ve tanımlamalarda, k_v düşey permeabilitesinin, 2.22 numaralı eşitlikteki gibi bir değişime sahip olduğu varsayılmıştır (Hawlder ve ark., 2003).

Buraya kadar anlatılanlardan anlaşılabileceği gibi, boşluk suyu ve zemine ait viskoz etkiler konsolidasyonda lineer olmama durumu doğurmakta ve hidrolik eğim vasıtası ile sızıntı kuvvetleri oluşturarak dispersif bir davranışa yol açmakta, zeminin sıkışması sonucunda da yapısal değişmelere neden olmaktadır. Deformasyon hızı değiştikçe zemin dokusu değişmekte ve basınç artımı ile de dane gruplarının büyüklüğü artmaktadır. Yapısal değişime, daneler arası bağların kopması ve yenilmesi neden olarak gösterilmektedir. Buna göre, boşluk oranındaki değişim aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$e = e_M + e_m$$

Burada e değeri, ödometre deneyi ile elde edilen toplam boşluk oranını, e_M makro boşluk oranını ve e_m ise mikro boşluk oranını göstermektedir (Yiğit ve Çinicioğlu, 2010).

Son yıllarda yapılan mikroskop altındaki incelemelere göre, sıkıştırılan zeminlerin yapıları su içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Yine su içeriği nedeni ile zemin yapısı yumaklı (flok yapı) dan dağınık (dispersif) yapıya doğru geçmektedir. Düşük su içeriklerinde yumaklı yapı söz konusu olup zemine makro boşluklar egemen olmaktadır. Belirli su içeriğine ulaşıncaya makro boşluklar ortadan

kalkmaktadır. Ayrıca, artan su içeriği ve boşluk suyu hızı nedeniyle, dane konumları rastgele yüz-kenar konumundan düzenli ve paralel konuma gelmektedir. Danelerin yönlenmesinde, boşluk suyu hızının önemli etkisi olduğu ifade edilmektedir (Önalp, 1997).

Terzaghi'nin konsolidasyon kuramında, zemindeki sıkışmanın sadece yükleme sonucu oluşan fazla boşluk suyu basınçlarının zaman içindeki sönümlenmesinin sonucu olduğu kabulü yapılmıştır. Boşluk suyu hızına bağlı bir değişim göz önüne alınmamıştır. Buna ek olarak, zemin sıkışabilirliğinin sıkışma katsayıları ile ifade edilebilmesi için, sıkışma eğrisinin doğruya yakın olması gerekir. Oysa, lineer olmama durumu nedeni ile hiçbir kilde sıkışma eğrisi doğrusal değildir. Gerilme artışı nedeni ile kil yumaklarının (flokların) konumu değişir. Boşaltma ve yeniden yükleme durumları, yumakların ilk biçimlerini vermezler. Sonuçta, içyapı değişiklikleri konsolidasyon olayının ayrılmaz öğeleridir (Önalp, 1997).

Dispersiyon, kelime anlamı olarak dağılmayı ifade eder. Bir kilin dispersif yapısında daneler arasında yüz yüze dokunma yoktur. Doğal sistemlerde kil daneleri dispersif (dağınık) ve yumaklanmış (floklu) durumda, mikroskobik gruplar halinde bulunurlar. Bu gruplar birleşerek demetleri ve demetlerin birleşmesi ile de görülebilen topakları oluştururlar. Topaklardan arda kalan hacim makro boşluklardır. Mikro boşluklar, demetler arasında beliren ikincil boşlukları ifade eder (Önalp, 1997).

Öte yandan katının sıvı içinde, katının gaz içinde, bir sıvının bir gaz içinde, bir gazın bir sıvı içinde, bir sıvının diğer bir sıvı içinde veya bir katının başka bir katı içinde oldukça ince dağıldığı sistemler mevcuttur. Bu sistemler, homojen dağıtma ortamında bir maddeyi, belli bir dağılma derecesinde içeren değişik sistemlerdir. Yine bu sistemler, en az biri homojen dağılma ortamı, diğeri de parçacıklar şeklinde dağılmış faz olmak üzere genellikle iki fazlı sistemlerdir (Üneri, 1968). Konsolidasyona tabi tutulan doygun killi bir zemin de iki fazlı bir sistem olarak kabul edilebilir. Böyle bir sistemde suyun, uygulanan yük nedeniyle katı içinde yayılımı veya zemin dokusunun yükleme sonucu bozulan yapısı nedeniyle, boşluk suyu hızına bağlı olarak katı içinde katı yayılımı gündeme gelir. Boşluk suyu akımının, boşluk geometrisinin rastgele olması sonucunda yön ve doğrultusunun

değişmesinden dispersif (dağınık) bir hız sistemi oluşur. Boşluk suyu hızının doğrudan görüldüğü bir konsolidasyon kuramı da bulunmamaktadır. Hız kavramı ancak karışım (mixture) kuramı ile konsolidasyon kavramına sokulmaya çalışılmıştır. Geliştirilen tüm konsolidasyon kuramları, bugünkü haliyle, ancak oturmaların boşluk suyu basınçlarına olan etkilerini içermektedir. Oturma hızlarının konsolidasyona olan etkileri hakkında detaylı yoldan bilgi edinilebilmektedir. Oturma veya boşluk suyu hızlarını doğrudan içeren bir kuram veya ifade de bulunmamaktadır. Sonuçta, konsolidasyondaki dispersiyonu tanımlayan bir denklem veya eşitlik verilememiş durumdadır.

Konsolidasyon ile ilgili dispersiyonu tanımlayan ifadenin, konsolidasyon, lineer olmama durumu ve aynı zamanda kimyasal bir etkileşme içermeyen hidrodinamik dispersiyonun her üçünü birden içermesi gerekir. Bu ise ancak dispersif tipte bir konsolidasyon denklemi ile mümkündür. Oysa böyle bir denklem literatürde mevcut değildir. Ayrıca, konsolidasyondaki hidrodinamik dispersiyonu açıklayan bir kaynak da bulunmamaktadır. Ancak mikrograflar yolu ile yapısal değişimler incelenerek olaya işaret edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Konsolidasyon deneyleri daha çok ince daneli ve plastisiteye sahip zeminlere uygulanan deneylerdir. Bu nedenle, araştırma amacı doğrultusunda, Adana, Mersin, Tarsus ve Antalya'dan alınan farklı plastisite ve deney başı ile deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimi değerlerine sahip olan onbir adet zemin örneği kullanılmıştır. Bu numuneler üzerinde yapılan deneylerin sonuçları, kuramın doğruluğunu ve güvenilirliğini göstermek adına kuramsal sonuçlar ile karşılaştırılmış ve dördüncü bölüm olan Bulgular ve Tartışması Bölümü'nde ilgili yorumlar ve grafiklerle değerlendirilmiştir.

Deneylerde kullanılan zemin örneklerinden bir grup, Adana'nın güneyinde bulunan Kayışlı Köyü civarından alınmıştır. Numune tüplerinin, numuneler alındıktan sonra ağızları parafinlenip laboratuvara getirilmiştir. Kullanılan deney örnekleri, zeminin $h = 1.6 \text{ m}$ ve $h = 8.4 \text{ m}$ derinliklerinden alınmıştır. Bu örneklerden, $h = 1.6 \text{ m}$ derinliğinden alınanlar $I_p = \%26$ gibi düşük bir plastisiteye, $h = 8.4 \text{ m}$ derinlikten alınanlar ise $I_p = \%58$ gibi yüksek bir plastisite değerine sahiptir. Bu durumda, deneylerde sırasıyla CL ve CH tipi zeminler kullanılmıştır. Granülometrik analiz için 200 No.lu elekten elendiği zaman, elekten zeminin tamamına yakını geçmiş bulunmaktadır. Bu durumda deney örnekleri olarak kullanılan zemin örnekleri tümüyle kilden oluşmaktadır. Laboratuvara getirilen bozulmamış örnekler, $D = 50 \text{ mm}$ lik ringlere aktararak konsolidasyon deneyleri için numuneler hazırlanmıştır (Özüdoğru ve ark., 1988).

İkinci grup deney numuneleri ise, Mersin Akdeniz Tırmıl'da yapılan sondajlardan 3.5 m derinlikten alınan CH grubu ve Mersin Akdeniz Karaduvar'da yapılan sondajlardan 4.5 m derinlikten alınan CI grubu zemin örnekleridir. Tırmıl'dan alınan numune, plastisite indisi $I_p = \%41$ gibi yüksek bir plastisite değerine sahip ve Karaduvar'dan alınan numune ise $I_p = \%28$ gibi düşük plastisiteli killi zeminlerdir.

Araziden bozulmamış örnekler, numune alma tüpleri vasıtasıyla alınmıştır. Zeminlerin numune tüplerine yapışmaması için, numune tüplerinin içi yanık yağ ile yağlanmıştır. Laboratuvara taşınan ve ödometre ringlerine aktarılan numunelerin de ringlere yapışmaması için yine ringlerin içi yağ ile kaygan hale getirilmiştir.

Laboratuvara taşınan bozulmamış zemin örneklerinden ringlere taşınanlar hassas terazi ile tartılmış ve ring hacmine bölünerek yağ birim ağırlıkları saptanmıştır. Yine, bu numunelerden örnekler alınmış ve hassas terazi ile tartıldıktan sonra etüve konularak doğal su içerikleri bulunmuştur. Bu zemin özelliklerinin saptanmasında hata meydana gelmemesi için hep aynı hassas terazinin kullanılmasına dikkat edilmiştir (T.S. 1900-1; Özaydın, 1995).

Deney örneklerinin dane birim hacim ağırlıkları, piknometre deneyleri ile bulunmuştur. Her iki örneğin de dane birim hacim ağırlığı $g_s = 2.52 \text{ t/m}^3$ olarak bulunmuştur. Dane birim hacim ağırlığının bulunmasında, su içindeki havanın alınması için emme pompası kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan piknometre kabı standart olup hacmi 50 ml dir. Piknometreye konulan, etüvde kurutulmuş zemin miktarı 25 gr kadardır (T.S. 1900-1; Özüdoğru ve ark., 1988; Önalp, 1997).

Deney numunelerinin kıvam limitlerinden likit limit değerlerinin tespiti için hem Casagrande hem de düşen koni aletleri kullanılarak bir hatanın oluşmamasına dikkat edilmiştir. Plastik limit deneyi, bilinen ve alışlagelen yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Bunlara göre, $h = 1.6 \text{ m}$ derinlik için likit limit $w_L = \%45$, plastik limit $w_p = \%19$; $h = 8.4 \text{ m}$ derinlik için ise likit limit $w_L = \%82$, plastik limit $w_p = \%24$ olarak saptanmıştır. Bulunan değerlere göre birinci zemin düşük plastisiteli CL grubu, ikinci zemin ise yüksek plastisiteli CH grubu killi zeminlerdir (T.S. 1900-1; Özüdoğru, 1988).

Deneylerde kullanılan zeminlerin aktif olup olmadıklarını anlamak için, 200 No.lu elekten geçen, ağırlıkça % 96 lık kısım göz önüne alınmıştır. Plastisite indisleri, bu % 96 lık kısma bölünerek sırasıyla, birinci zemin için $A_1 = 0.271$ ve ikinci zemin için $A_2 = 0.604$ değerleri bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, materyal olarak kullanılan zeminlerin aktiviteleri 0.75 değerinden küçük olup aktif olmayan kil grubunda gibi görünseler de yüksek bir kil fraksiyonunda bu plastisite ve aktivite

değerlerine sahip olmaları sebebiyle şişme eğilimli zeminlerdir. Aktivite ve şişme abaklarına danışılacak olursa da, CL grubu kil düşük şişme potansiyeline, CH grubu kil ise yüksek şişme potansiyeline sahip olarak gözükmektedir. Bu sebeple, ikinci grup CH grubu kil gibi killere suya düşkün oldukları gibi, aktif killere kadar olmasa da ciddi şekil değişimleri, şişme ve büzülme yapabilen zemin çeşitlerindendir (Taylor ve Smith, 1986; Önalp, 1997).

Yapılan serbest basınç deneyleri, bozulmamış numuneler için $q_u = 73 \text{ kPa}$, bozulmuş ve yoğrulmuş, sonra kalıplanmış örneklerde $q_u = 27 \text{ kPa}$ dolaylarında değerler vermiştir. Bu sonuçlara göre, killerin hassaslık derecesi $S_t = 2.70$ dolaylarında olup, 2 ve 4 arasında bir değere sahiptir. Hassaslık derecesinin bu sınırlar arasında olması nedeniyle numuneler orta hassaslıkta kil zeminlerdir. Yine, hassaslık derecesinin 16 dan küçük olması sonucu, bu zeminler tiksotropi özelliğine sahiptir. Bu durumdaki zeminler örselendiklerinde, belli bir zaman sonra tekrar eski mukavemetlerini kazanırlar (T.S. 1900-2; Özüdoğru ve ark., 1988; Özaydın, 1995).

Bulunan kıvam limitlerine göre, $h = 1.6 \text{ m}$ derinlik için zeminin kıvamı orta plastik veya katı plastiktir. Hesaplamalar aşağıda verilmiştir. Zeminin doğal su içeriği $w_n = \%26$ olup,

$$\text{Rölatif Konsistans : } C_r = \frac{w_L - w_n}{I_p} = \frac{0.45 - 0.26}{0.26} = 0.7308 = \%73.08$$

$$\text{Likitlik İndeksi : } I_L = \frac{w_n - w_p}{I_p} = \frac{0.26 - 0.19}{0.26} = 0.2692 = \%26.92$$

kıvam parametre değerlerine sahiptir. Bu değerlerden rölatif konsistans değeri, 2/3 ile 1 arasında bulunması nedeniyle zemin katı plastik bir zemindir. Yine, likitlik indeksi 0.25 ile 0.50 değerleri arasında olduğu için, katı plastik bir kildir (Tsytoich, 1976).

Bu sefer de, $h = 8.4 \text{ m}$ derinlikten alınan zemin örnekleri için aynı değerler hesaplanırsa, aşağıdakiler bulunur:

$$\text{Rölatif Konsistans : } C_r = \frac{w_L - w_n}{I_p} = \frac{0.82 - 0.28}{0.58} = 0.9310 = \%93.10$$

$$\text{Likitlik İndeksi : } I_L = \frac{w_n - w_p}{I_p} = \frac{0.28 - 0.24}{0.58} = 0.0690 = \%6.90$$

Rölatif konsistans değerinin 2/3 ile 1 arasında bulunması nedeniyle, zemin katı plastik bir zemindir. Likitlik indeksinin de 0 ile 0.25 arasında olması, zeminin yarı sert bir zemin olduğunu gösterir. Sonuç olarak, araştırmada kullanılan zeminler katı plastik kıvamda, kahverengi ve sarı renklerin hakim olduğu, CL ve CH gruplarında bulunan killi zeminlerdir (T.S. 1900-1; Özaydın, 1995; Tekinsoy, 2002).

Zeminlerin kahve ve sarı renkleri içermesi, demir ve alüminyum içeren minerallere sahip olduklarını ifade eder. Ayrıca, CH grubu kahverengi kile ait plastisite indisinin $I_p = 0.58$ gibi yüksek bir değere sahip olması ve doğal su içeriğinin plastik limite yakın çıkması, şişme potansiyelinin yüksek olduğunu ifade eder. Böyle bir kil, herhangi bir inşai amaçla kullanılırken dikkatli olunmasını gerektirir (Özaydın, 1995; Tekinsoy, 2002).

Bulunan doğal birim hacim ağırlıkları ve su içeriklerine göre, zeminlerin ödometre deneyleri sonucundaki kuru birim hacim ağırlıklarındaki değişim, $h = 1.6 \text{ m}$ derinliğinden alınan zemin örneklerinde yaklaşık %10.92, $h = 8.4 \text{ m}$ derinliğinden alınanlarda ise %13.08 mertebelerindedir. Yapılan fiziksel deney sonuçlarına göre, kuru birim hacim ağırlık değerleri aşağıdaki gibidir.

$$h = 1.6 \text{ m için: } g_k = \frac{g_n}{1 + w_n} = \frac{1.662}{1 + 0.26} = 1.319 \text{ t/m}^3 \quad \text{deney başı}$$

$$g_k = \frac{g_n}{1 + w_n} = \frac{1.887}{1 + 0.29} = 1.463 \text{ t/m}^3 \quad \text{deney sonu}$$

$$h = 8.4 \text{ m için: } g_k = \frac{g_n}{1 + w_n} = \frac{1.644}{1 + 0.28} = 1.284 \text{ t/m}^3 \quad \text{deney başı}$$

$$g_k = \frac{g_n}{1 + w_n} = \frac{1.859}{1 + 0.28} = 1.452 \text{ t/m}^3 \quad \text{deney sonu}$$

Elde edilen kuru birim hacim ağırlıklar, plastisite indisindeki yüksek seviye ve doğal su içeriğinin plastik limite yakınlığı göz önüne alınırsa, şişme potansiyeline sahip görünse bile, doğal su içeriğinin plastik limite yakınlığı nedeni ile temel zemini olarak uygun bir zemin görünümü arz etmektedir (Kumbasar ve Kip, 1992).

Materyal olarak kullanılan 3. grup deney sonuçları, literatüre geçmiş kaynaklardan alınarak kuramın güvenilirliği ve uygulamada kullanılabilirliği test edilmiştir. Kullanılan bu referansta, Antalya Boğaçay'da bir grup zemin sondajı yapılmış, sonrasında alınan bozulmamış deney numuneleri ile standart zemin mekaniği deneyleri yapılmış ve birçok farklı plastisiteye ve deney başı ile deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimine sahip zemin numunelerinin özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada ise, bu deney sonuçlarının difüzyif ve dispersif özellikleri araştırılmıştır. Farklı plastisite ile deney başı-deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimlerinin dane difüzyonuna, dispersiyona, zeminlerin oturma, boşluk suyu ve boşluk suyunun deşarj hızlarına, zemin iskeleti sıkışma hızları gibi hız parametrelerinin değişimlerine etkileri sunulmuş ve birbirleriyle kıyaslamaları yapılmıştır.

Son olarak, yine literatüre geçmiş olan başka bir grup zemin deney sonucu üzerinde kuramın doğruluğu denenmiştir. Bu sonuçlar birbirleriyle kıyaslanarak dane difüzyonu ve dispersiyon çerçevesinde incelenmiş ve ilgili kıyaslamalar verilmiştir. Literatürden alınmış olan bu zemin numuneleri Mersin Tarsus Mithatpaşa ve Mersin Yenişehir Menteş'ten alınmış olup deney föyleri ve deneylerin sonuçları ekler bölümünde verilmiştir.

3.2. Kuramsal Yöntemler

Konsolidasyon olayının lineer olmayan karakterini vurgulamak amacıyla elde edilen 2.47.a ve 2.47.b diferansiyel denklemlerinde, c_v konsolidasyon katsayısı türev altındadır. Bu halde c_v , bağımsız z ve t değişkenlerinin bir fonksiyonu olma durumunda olup arzu edilen lineer olmama durumunu sağlayan bir denklemdir. Denklemin elde edilişi, iç ve dış kuvvetlerin yaptıkları işlerin birbirlerine eşit olma prensibine göre olmuştur. Yine, Darcy yasasının geçerli olduğu varsayılmıştır. Denklemin elde edilişinde hiçbir fenomenolojik unsur bulunmamaktadır (Tekinsoy ve Haktanır, 1990).

Verilen 2.47.a numaralı lineer olmayan konsolidasyon diferansiyel denklemine, Tekinsoy ve Haktanır (1990) tarafından, infiltrasyon kuramı kullanılarak verilen çözümde ve yine Tekinsoy ve ark. (2009) tarafından Leibnitz kuralı uygulanarak elde edilen çözümlerde, hem boşluk suyunun boşalma (deşarj) hızı v_z hem de konsolidasyon katsayısı c_v , aşırı boşluk suyu basıncı u 'dan bağımsız fonksiyonlar olarak bulunmuştur. Bu nedenle, lineer olmayan denkleme iki ayrı parabolik çözüm verilmiş bulunmaktadır. Bunlardan biri oturma hızlarının değişimini, diğeri de drenaj boyunun değişimini ifade etmektedir. Ancak, hızın da doğrudan içinde bulunduğu bir çözüm verilememiştir. Bu araştırmada, hız ve konsolidasyon katsayısının parametre durumunda olduğu, aşırı boşluk basıncının değişmesine etki eden değişkenlerin de yer aldığı yeni çözümler önerilecektir.

3.2.1. Konsolidasyondaki Dispersif Yapı

Önceki çalışmalar ayırıtında verilen 2.47.a numaralı lineer olmayan denklem göz önüne alınır ve c_v 'nin de değiştiği düşünülerek türevlenirse, aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial c_v}{\partial z} \frac{\partial u}{\partial z} + c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

Bulunan bu denklemde, 2.47.b ile verilen hız ifadesinin $v_z = \frac{\partial c_v}{\partial z}$ potansiyeline dayandığı göz önüne alınmakla,

$$\frac{\partial u}{\partial t} = v_z \frac{\partial u}{\partial z} + c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (3.1)$$

diferansiyel denkleme varılır. Bu denkleme göre, boşluk suyu hızının u aşırı boşluk suyu basıncına olan etkisi açıkça görülmektedir. Alışlagelen ödometre deneylerinde zeminin doygun olduğu varsayılarak hesaplar yapılmaktadır. Zemin doygun olduğu durumda ise boşluk suyunun deşarj hızı, 2.68.b numaralı eşitlikle verilmektedir. Bu hız, zeminin iskelet yapısına bağlı olduğu kadar, sıvı hızına da bağlı bir hızdır. Sonuçta bulunan denklem, hem permeabilite ve sıkışabilirliği hem de oturma hızını içeren kısmi türevli bir diferansiyel denklemdir. Birim hacim başına olan ig_w 'luk sızıntı kuvveti göz önüne alınırsa, özellikle yerçekimine karşı olan akım ve suyun kaldırma kuvveti nedeniyle, zemin kütesinin kendi içinde bir taşınma olayının mevcudiyetinden söz edilebilir. Çünkü sızıntı kuvvetinin doğrultusu, akım doğrultusundadır. Bu da zemin daneleri arasındaki, özellikle depozif (birikinti) şeklinde oluşmuş zeminlerde, bağların zayıflamasına neden olur. Ayrıca zemine ait boşluk geometrisinin rastgele olması, boşluk suyu hızının yön ve doğrultusunun değişmesine ve dağınık (dispersif) bir durum arz etmesine yol açar. Bütün bu olaylar, v_z hızı ile temsil edilmiştir. Uygulanan dış yük nedeniyle oluşan aşırı boşluk suyu basıncından doğan iç kuvvetler ve zemin numunesinden boşalan su nedeniyle, zemin içyapısında değişme meydana geldiği gibi oturmalar da ortaya çıkar. Sonuçta, dispersif yapı ve dispersiyon tanımı göz önüne alınırsa, zemin içinde kütle taşınımı, katı içinde sıvı difüzyonu ve advectif akımın mevcut olduğu söylenebilir. Böylece, konsolidasyon olayının viskoziteye bağlı dispersif bir özelliğinden söz edilebilir. Nitekim, verilen 3.1 numaralı diferansiyel denklem, daha önce verilen 2.65 numaralı hidrodinamik dispersiyonu ifade eden diferansiyel denkleme benzetilmektedir. Konsolidasyon olayında kimyasal etkileşim göz önüne alınmadığına göre, boşluk suyu hızına bağlı, hem dane taşınmasını ve oturmaya hem de sıkışabilirlik ve hidrolik

özellikleri bir arada ifade eden hidrodinamik dispersiyon söz konusu olur. Sonuçta, 3.1 numaralı diferansiyel denkleme, konsolidasyonu temsil eden kısmi türevli bir diferansiyel denklem gözü ile bakılabilir. Bu denklem, dispersiyon tipi bir diferansiyel denklemdir.

3.2.1.1. Dispersif-Konsolidasyon Denklemi'nin Tam Çözümleri

Verilen 3.1 numaralı diferansiyel denklemde, v_z hızı ve c_v konsolidasyon katsayısı parametre durumundadır. Bunun anlamı, z ve t koordinatlarından bağımsız, zemin özelliklerine bağlı büyüklükler olduğudur. Konsolidasyon katsayısı c_v , denklemde bağımsız parametre gibi görünmesine rağmen, c_v 'nin tanımı gereğince v_z hızına bağlı bir katsayıdır. Konsolidasyon katsayısı, 2.2 numaralı eşitlik ile

$$c_v = \frac{K}{m_v g_w}$$

şeklinde verilmiştir. Burada m_v hacimsel sıkışma katsayısı, 2.4.b numaralı eşitlikle aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$m_v = \frac{dV}{V du} = \frac{A dz}{A z du} \quad (3.2.a)$$

Burada, A zemin numunesinin kesit alanı olup ödometre için sabittir. Bu durumda aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$m_v = \frac{dz}{z du} = \frac{1}{z \frac{du}{dz}} \quad (3.2.b)$$

Bulunan bu değer, yukarıdaki c_v 'de yerine konulur ve hızın Darcy yasasına uyduğu kabul edilirse, aşağıdaki ilişki elde edilir:

$$c_v = \frac{zK}{g_w} \frac{\nabla u}{\nabla z} = z \nabla_z \quad (3.2.c)$$

Bu eşitlikten anlaşılabileceği gibi, 3.1 diferansiyel denkleminde c_v bağımsız bir parametre olarak görünmesine rağmen, v_z hızına bağlı bir büyüklüktür. Ancak, diferansiyel denklemin çözümünde parametre olarak alınması, denklemin çözümünü kolaylaştırır (Nielsen ve ark., 1972; Tekinsoy, 2002).

Yukarıdaki 3.1 numaralı diferansiyel denklemin çözümü için, değişimin önce sadece uzaysal olduğu ve zamanla değişimin mevcut olmadığı varsayılırsa, homojen bir diferansiyel denklem bulunur ($\nabla u / \nabla t = 0$ için).

$$c_v \frac{\nabla^2 u}{\nabla z^2} + v_z \frac{\nabla u}{\nabla z} = 0 \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte c_v ve v_z nin bağımsız katsayılar olması nedeniyle, elde edilen denklem sabit katsayılı ikinci dereceden lineer ve homojen bir diferansiyel denklemdir. Bu denkleme ait karakteristik denklem ve kökleri için aşağıdaki ilişkiler yazılabilir.

$$c_v a^2 + v_z a = 0 \quad \text{ve} \quad a_1 = 0 \quad ; \quad a_2 = -\frac{v_z}{c_v} \quad (3.4.a)$$

Bulunan bu değerlere göre u boşluk suyu basıncına ait homojen denklemin çözümü,

$$u_h = f_1 + f_2 e^{-\frac{v_z z}{c_v}} \quad (3.4.b)$$

olarak elde edilir. Denklemden integrasyon katsayısı olarak görülen f_1 ve f_2 değerleri, 3.3 numaralı denklemin kısmi türevli bir denklem olması nedeniyle, birer fonksiyondurlar. Bulunan 3.4.b numaralı çözümün, aynı zamanda, 3.1 numaralı diferansiyel denklemi de sağlaması gerekir. 3.4.b nin türevleri alınıp, 3.1 numaralı denklemden yerlerine konulursa, f_1 ve f_2 fonksiyonları için aşağıdaki diferansiyel denklemler elde edilir:

$$\frac{\partial f_1}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 f_1}{\partial z^2} + v_z \frac{\partial f_1}{\partial z} \quad (3.5.a)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 f_2}{\partial z^2} - v_z \frac{\partial f_2}{\partial z} \quad (3.5.b)$$

Bu diferansiyel denklemlerde, aşağıdaki değişken dönüşümleri yapılabilir:

$$f_1 = f(l_1) \quad \text{ve} \quad l_1 = \frac{z + v_z t}{\sqrt{t}} \quad (3.6.a)$$

$$f_2 = f(l_2) \quad \text{ve} \quad l_2 = \frac{z - v_z t}{\sqrt{t}} \quad (3.6.b)$$

Böyle bir dönüşümün kabulü (Boltzman dönüşümü), zincir kuralının kullanılması durumunda f_1 ve f_2 'nin l_1 ve l_2 'ye göre türevlerini adi türevli duruma getirir. Böylelikle, aşağıdaki adi türevli diferansiyel denklemler bulunur.

$$-\frac{l_1}{2} \frac{df_1}{dl_1} = c_v \frac{d^2 f_1}{dl_1^2} \quad (3.7.a)$$

$$-\frac{l_2}{2} \frac{df_2}{dl_2} = c_v \frac{d^2 f_2}{dl_2^2} \quad (3.7.b)$$

Bu iki diferansiyel denklemin çözümleri, integral şeklinde, aşağıdaki gibi elde edilir:

$$f_1 = A \int_0^{b=l_1/2\sqrt{c_v}} e^{-b^2} db \quad (3.8.a)$$

$$f_2 = B \int_0^{e=l_2/2\sqrt{c_v}} e^{-e^2} de \quad (3.8.b)$$

Eşitliklerde görülen A ve B katsayıları integrasyon katsayıları olup değerlerinin sınır koşulları kullanılarak belirlenmesi gerekir.

Bir ödometre deneyine tabi tutulan killi bir zeminin, D_p basınç artımı ile yüklenmesi durumunda, konsolidasyon başlangıcındaki basınç boşluk suyu tarafından alınacağı için, başlangıç boşluk suyu basıncı u_i , D_p basıncına eşit olacaktır. Konsolidasyon sonunda ise, D_p yüklemesinin meydana getirdiği aşırı boşluk suyu basıncı sönmüleneceğinden, nihai basınç sıfıra eşit olacaktır. Bu durumda efektif gerilmenin artımı ve $s = D_p$ olması söz konusudur. Sonuçta, aşırı boşluk suyu basınçları için, aşağıdaki sınır koşulları yazılabilir:

$$u(z, t) = u(z, 0) = u_i = D_p \quad \text{ve} \quad l_1 = l_2 = \infty \quad (3.9.a)$$

$$u(z, t) = u(z, \infty) = u_f = 0 \quad \text{ve} \quad l_1 = l_2 = 0 \quad (3.9.b)$$

Bu sınır koşulları altındaki dispersif konsolidasyon denkleminin özel çözümü aşağıdaki gibidir (Tekinsoy, 2002):

$$u_w = \frac{D_p}{2} \left[1 - \frac{2}{\sqrt{\rho}} \int_0^{x=(z+v_z t)/2\sqrt{c_v t}} e^{-x^2} dx \right] + e^{-\frac{v_z z}{c_v}} \left[1 - \frac{2}{\sqrt{\rho}} \int_0^{y=(z-v_z t)/2\sqrt{c_v t}} e^{-y^2} dy \right] \quad (3.10.a)$$

$$u_w = \frac{D_p}{2} \left[\operatorname{erfc} \frac{z + v_z t}{2\sqrt{c_v t}} + e^{-\frac{v_z z}{c_v}} \operatorname{erfc} \frac{z - v_z t}{2\sqrt{c_v t}} \right] \quad (3.10.b)$$

Bulunan çözümde birinci terim, zemin numunesinin ara katmanlarındaki aşırı boşluk suyu basıncındaki değişimleri, ikinci terim ise drenaj yüzlerine yakın zemin kesitlerindeki boşluk suyu basıncı değişimlerini gösterir. Drenaj yüzlerine yakın kesitlerde, $(z - v_z t)$ değeri ve üstel terim nedeniyle hızlı bir boşluk suyu basıncı sönümlenmesi görülürken, ara katmanlarda bu sönümlenme $(z + v_z t)$ gereğince daha yavaştır. Sonuçta, drenaj yüzeylerine yakın katmanlardaki efektif gerilme artımı daha hızlı ve fazladır. Bulunan bu sonuç, önceki çalışmalar kısmında sözü edilen deneysel çalışmalar ile çelişki oluşturmaz. Verilen 3.10 numaralı çözümde, v_z hızının u_w aşırı boşluk suyu basıncına olan etkisi doğrudan ifade içinde görülebilmektedir.

3.2.1.2. Dispersif-Konsolidasyon Denklemi'nin Yaklaşık Çözümleri

Verilen 3.1 numaralı konsolidasyon diferansiyel denkleminde bu kez, aşırı boşluk suyu basıncının doğrudan $(z + v_z t)$ 'ye bağlı olduğu varsayılırsa, aşağıdaki dönüşüm yapılabilir.

$$u_w = f(l) \quad \text{ve} \quad l = \frac{z + v_z t}{\sqrt{t}} \quad (3.11)$$

Bu dönüşüm, zincir kuralı ile birlikte kullanılırsa,

$$\frac{du}{dl} \frac{dl}{dt} = v_z \frac{du}{dl} \frac{dl}{dz} + c_v \frac{d}{dl} \left(\frac{du}{dz} \right) \frac{dl}{dz}$$

$$- \frac{l}{2} \frac{du}{dl} = c_v \frac{d^2 u}{dl^2}$$

adi türevli diferansiyel denklemi elde edilir. Bu diferansiyel denklemin, 3.9 numaralı sınır koşulları altındaki çözümü aşağıdaki gibi çıkar:

$$u = u_i \left[1 - \frac{2}{\sqrt{\rho}} \int_0^{x=(z+v_z t)/2\sqrt{c_v t}} e^{-x^2} dx \right] = u_i \operatorname{erfc} \left(\frac{z + v_z t}{2\sqrt{c_v t}} \right) \quad (3.12)$$

Bu ifadede görülen u_i değeri, ödometre deneyinin herhangi bir basınç kademesindeki $u_i = Dp$ basınç artımı değerine eşittir.

Bulunan çözümün integral şeklinde hesabının zor olması nedeniyle, seriye açılarak kullanımı yeterli doğrulukla sonuçlar vermektedir. Bu işlem yapılacak olursa, 3.12 numaralı çözüm için serisel yaklaşım

$$u = u_i \left[1 - \frac{2}{\sqrt{\rho}} \left(x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{10} - \frac{x^7}{42} + \dots \right) \right] \quad (3.13)$$

şeklinde elde edilir.

Öte yandan, konsolidasyon derecesi aşağıdaki gibi tanımlanmış bulunmaktadır (Özaydın, 1995).

$$U_z(t) = 1 - \frac{u(z,t)}{u_i(z,t)} = \frac{s_c(t)}{s_c} \quad (3.14.a)$$

Burada, $U_z(t)$ konsolidasyon derecesini, $u(z,t)$ herhangi bir t anındaki aşırı boşluk suyu basıncını ve $u_i(z,t)$ ise herhangi bir basınç kademesi sonunda zeminin kazanacağı efektif gerilmeyi gösterir. Sonuçta, $u_i(z,t) = Dp$ basınç artımına eşittir.

Aşırı boşluk basıncı için bulunan 3.13 ifadesi, 3.14.a'da yerine konulursa, konsolidasyon derecesinin (konsolidasyon yüzdesi) değişimi için,

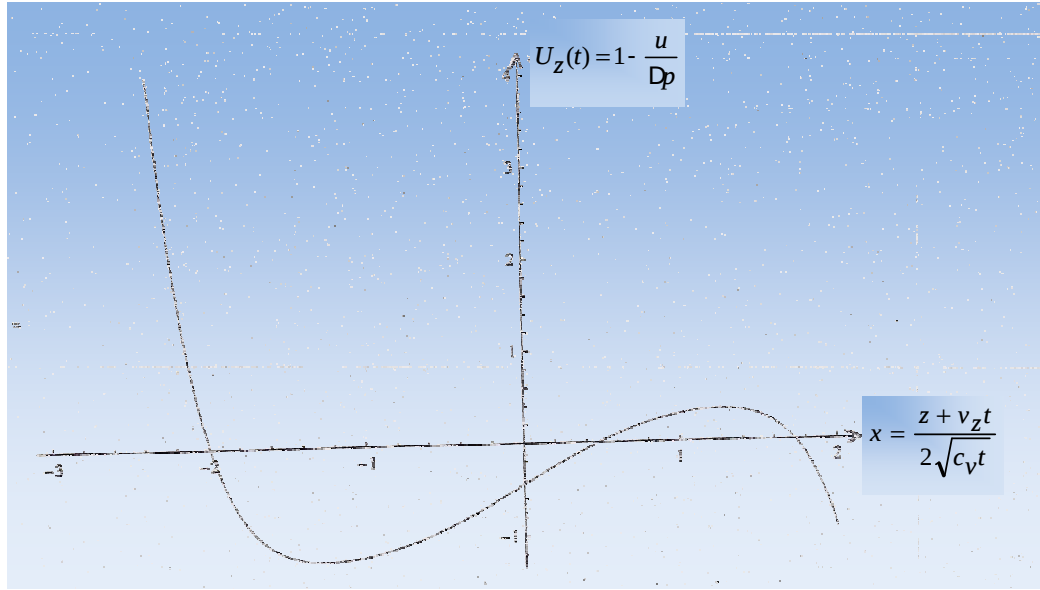
$$U_z(t) = \frac{2}{\sqrt{p}} \frac{ae}{c} x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{10} - \frac{x^7}{42} + L \frac{\ddot{\theta}}{\theta} \quad (3.14.b)$$

denklemini elde edilir. Hesaplarda kullanmak amacı ile, değişik konsolidasyon oranları için denklemin çözümleri yapılarak, Çizelge 3.1'deki değerler bulunur.

Çizelge 3.1. Konsolidasyon Oranlarına Göre Değişkenler

Kon. Or. $U_z(t)$ (%)	Değişkenler (x)		Kon. Or. $U_z(t)$ (%)	Değişkenler (x)	
	x_1	x_2		x_1	x_2
0.1	1.8655	0.0888	0.6	1.6842	0.5952
0.2	1.8385	0.1791	0.7	1.6209	0.7333
0.3	1.8082	0.2725	0.8	1.5276	0.9102
0.4	1.7736	0.3708	0.9	—	—
0.5	1.7332	0.4769	1.0	—	—

Çizelgedeki değerler incelenecek olursa, $U_z(t) = \%90$ ve yukarı değerler için 3.14.b numaralı denklemin kökleri bulunmamaktadır. Konsolidasyon oranı $U_z(t) = \%89.23$ olduğu zaman konsolidasyon sonlanmaktadır. $U_z(t)$ 'nin bu konsolidasyon oranına karşı gelen x değeri $x = 1.2634$ dır. Eğrinin $U_z(t) = \%50$ 'lik konsolidasyon oranı için değişimi Şekil 3.1 de gösterildiği gibidir. Konsolidasyon oranını temsil eden eğrinin x eksenine teğet olan noktaları, 3.14.b numaralı ifadenin türevi alınarak bulunur. Verilen $x = 1.2634$ değerine karşı gelen $U_z(t)$ değeri 0.8923 'e eşittir. Sonuçta, aşırı boşluk suyu basıncı, konsolidasyon oranı $U_z(t) = \%89.23$ değerine eriştiğinde sönmelenmekte ve zemine ait viskoz özellikler baskın duruma gelmektedir.



Şekil 3.1. $U_z(t)=\%50$ için Konsolidasyon Oranı'nın Değişimi (Tekinsoy, 2013)

Öte yandan, bulunan 3.12 çözümü, daha önce verilen 3.10 numaralı tam çözümün birinci teriminin iki katına eşittir. Bu nedenle yaklaşık çözüm olup, drenaj yüzeyine yakın boşluk suyu basınçlarının sönümlenmesini ifade eden ikinci terimi içermemektedir. Ayrıca, verilen her iki çözümde de görülen $x = z + v_z t$ değeri, ödometredeki zemin numunesine ait herhangi bir basınç kademesi için, ilk numune yüksekliğine eşittir. Buna göre, her iki çözümün de belirtmek istediği, $z_i = z + v_z t$ numune yüksekliğinin konsolidasyonda önemli rol üstlendiğidir. Oysa, zeminin z_i ilk yüksekliği ön-konsolidasyon basıncına bağlı olup zeminin aşırı konsolide bir zemin olup olmadığı ile ilgilidir. Sonuç olarak, aşırı konsolide zeminler daha az oturma yaparlar ve konsolidasyonları tabaka kalınlıklarına ve drenaj boylarına da bağlıdır.

3.2.2. Konsolidasyonda Dane Difüzyonu ve Dispersiyon

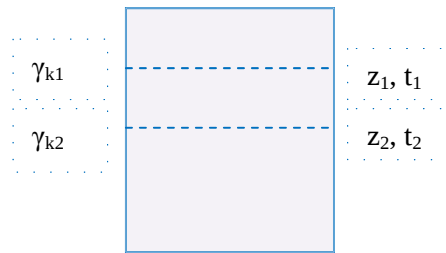
Bir konsolidasyon olayında toplam oturma, zeminin viskoz özelliğinden kaynaklanan ve drenaj sonunda zeminden çıkan suyun neden olduğu iki ayrı oturmanın toplamıdır. Ayrıca, konsolidasyonda bir sıvının katı içinde yayılımı ile birlikte, boşluk geometrisinin değişmesi nedeni ile katı içinde katı yayılımı da söz

konusudur. İnce danelerin makro boşluklara dolarak yayılımı yanında, daha iri daneler birbirlerine yanaşarak kuru birim ağırlığın artmasına neden olurlar. Çünkü dane ağırlığı deney sonuna kadar sabit kalır. Bu durum kendini boşluk hacminin, dolayısıyla boşluk oranının azalması olarak yansıtır. Sonuç olarak, dane difüzyonunun (yayılımının) ve dispersiyonun ölçüsü olarak da g_k kuru birim hacim ağırlık alınabilir.

Bir ödometre deneyinin herhangi bir basınç kademesi için, zemin numunesinin t_1 anındaki yüksekliği z_1 ve kuru birim hacim ağırlığı g_{k1} olsun. Zemin örneğinin t_2 anındaki yüksekliği z_2 ve kuru birim hacim ağırlığı ise g_{k2} olsun (Şekil 3.2). Bu durumda, z_1 ve z_2 kesitleri için kuru birim hacim ağırlık ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$g_{k1} = \frac{W_s}{V_1} = \frac{W_s}{Az_1} \quad (3.15.a)$$

$$g_{k2} = \frac{W_s}{V_2} = \frac{W_s}{Az_2} \quad (3.15.b)$$



Şekil 3.2. Konsolidasyonda Dane Difüzyonu ve Dispersiyon

Bu eşitliklerde V hacmi, A zemin örneğinin kesit alanını ve W_s de dane ağırlığını göstermektedir. Dane ağırlığı, zemin numunesinin W_k kuru ağırlığına eşittir. Ödometre deneyi için, A kesit alanı deney sonuna kadar sabit kalır. Toplam dane ağırlığı $W_s = W_k$ değişmediğine göre, dane ağırlığı,

$$W_s = (Az_1)g_{k1} = (Az_2)g_{k2} \quad (3.16.a)$$

$$V_1g_{k1} - V_2g_{k2} = 0 \quad (3.16.b)$$

olarak ifade edilebilir. Genel olarak da kuru birim hacim ağırlık,

$$g_k = \frac{W_s}{V}$$

$$W_s = Vg_k \quad (3.17)$$

şeklinde verilebilir. Yazılan son ifadeye göre, W_s ağırlığı sabit kalmasına rağmen, V hacmi ve g_k kuru birim hacim ağırlığı değişir. Bunun anlamı, belli bir zemin hacmine daha fazla dane girmesi demektir. Zemin numunesinin yüksekliği z_1 değerinden z_2 değerine azalıyor ise, $V_2 = Az_2$ hacmine giren dane ağırlığı DW_s kadar artar. Bu durumda zemin numunesinin hacmi de $DV = A(z_1 - z_2) = ADz$ kadar azalır. Kuru birim hacim ağırlık artışı için ise $Dg_k = g_{k1} - g_{k2} = -(g_{k2} - g_{k1})$ yazılabilir. Sonuçta DW_s dane ağırlığının artımı için, aşağıdaki eşitlik verilebilir.

$$DW_s = -ADzDg_k \quad (3.18.a)$$

Şimdi de, birim alandan birim zamanda geçen dane miktarını ya da başka bir deyişle dane akısındaki değişmeyi bilmek amacıyla, aşağıdaki eşitlik verilebilir.

$$DJ_s = \frac{DW_s}{ADt} = -Dz \frac{Dg_k}{Dt} \quad (3.18.b)$$

Bu eşitlikten,

$$\frac{Dg_k}{Dt} = - \frac{DJ_s}{Dz} \quad (3.18.c)$$

ilişkisi bulunur. Bulunan bu eşitliğin diferansiyel anlamdaki ifadesi, limit alınarak, aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\frac{\nabla g_k}{\nabla t} = - \frac{\nabla J_s}{\nabla z} \quad (3.19.a)$$

Elde edilen bu ifade, ödometre için tek boyutlu süreklilik denklemidir. Eşitliğin sağ yanı, J_s dane akısının diverjansını işaret etmektedir. Üç boyutlu durumda süreklilik denklemi,

$$\frac{\nabla g_k}{\nabla t} = - \tilde{N} \times \mathbf{J}_s = - \text{div } J_s \quad (3.19.b)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu eşitlikte $\tilde{N}$ gradyan operatörünü gösterir. Eşitliğe göre $\mathbf{J}_s$ dane akısı, bir vektör özelliğe sahiptir.

Öte yandan, hacimsel sıkışma katsayısının tanımı göz önüne alınırsa,

$$m_v = - \frac{DV}{V \Delta s} \quad \text{ve} \quad m_v = \frac{dV}{V \Delta s} \quad (3.20)$$

eşitlikleri yazılabilir. Eşitliklerde s efektif gerilmeyi göstermektedir. Ödometrede, zemin numunesinin kesit alanı sabit olduğuna göre, efektif gerilmelerin kesitle değişmesini de ifade eder.

Yeniden 3.17 numaralı eşitliğe dönülür ve bu eşitliğin diferansiyeli alınırsa, W_s dane ağırlığının sabit olması nedeni ile

$$dW_s = g_k dV + V dg_k = 0$$

$$g_k dV = -V dg_k \quad (3.21)$$

yazılabilir. Bu kez 3.20 numaralı eşitliğin pay ve paydası g_k ile çarpılınca değer değişmeyeceği için,

$$m_v = \frac{g_k dV}{V g_k ds}$$

yazılabilir. Bu kez de 3.21 numaralı ifade göz önünde tutularak, efektif gerilme için aşağıdaki eşitlik verilebilir.

$$ds = \frac{1}{m_v g_k} dg_k$$

Bu eşitliğin her iki yanı da dz ile bölünerek

$$\frac{ds}{dz} = \frac{1}{m_v g_k} \frac{dg_k}{dz} \quad (3.22)$$

eşitliğine varılır.

Ayrıca, zemin numunesinin herhangi bir kesiti, hidrolik eğimden kaynaklanan

$f = i g_w$ ya eşit bir sızıntı kuvvetine maruzdur. Bu sızıntı kuvveti $\frac{1}{g_w} \frac{du}{dz}$ hidrolik eğimi ile orantılıdır. Yine, efektif gerilmelerdeki değişim, $ds = - du$ olduğuna göre, $f = - \frac{ds}{dz}$ efektif gerilmesindeki değişime eşit olur. Herhangi bir kesitteki f sızıntı kuvveti ile J_s dane yayılım akısı orantılıdır. Zira efektif gerilme arttıkça dane akısı da artacaktır. Bu nedenle, K_s orantı katsayısını göstermek üzere,

$$J_s = - K_s f \quad (3.23.a)$$

$$J_s = -K_s \frac{\nabla s}{\nabla z} \quad (3.23.b)$$

yazılabilir. Burada, K_s orantı katsayısı (L/T) boyutunda, zemin iskeletinin daneleri geçirme özelliğini tanımlayan bir parametre durumundadır. Çünkü, s Φ nün boyutu (F/L^2) ve J_s in boyutu ise (F/L^2T) olup, z nin boyutunun (L) olduğu göz önüne alınarak, K_s için yukarıdaki boyut elde edilir.

Verilen 3.23.b eşitliğinde 3.22 numaralı eşitlik yerine konulacak olursa, dane akısını veren

$$J_s = - \frac{K_s}{m_v g_k} \frac{\nabla g_k}{\nabla z} \quad (3.24.a)$$

$$D_s = \frac{K_s}{m_v g_k} \quad (3.24.b)$$

$$J_s = -D_s \frac{\nabla g_k}{\nabla z} \quad (3.24.c)$$

akı ifadesi bulunur. Eşitlikte görülen D_s katsayısı, dane difüzivite (yayınım) katsayısı olup (L^2/T) boyutundadır.

Yukarıda verilen 3.22 numaralı eşitlik gereğince, herhangi bir basınç kademesi için efektif gerilmeler $s \Phi = f(g_k)$ şeklinde kuru birim hacim ağırlığın tek değerli (unique) bir fonksiyonu olarak alınabilir. Zira kuru birim hacim ağırlık arttıkça, zemin numunesinin efektif gerilme kazanımı artar. Buna göre, 3.23.b numaralı eşitlikten

$$J_s = -K_s \frac{ds}{dg_k} \frac{dg_k}{dz}$$

$$D_s = K_s \frac{ds}{dg_k} \quad (3.25)$$

ilişkisi yazılabilir. Yukarıda 3.24.c numaralı akı ifadesi, 3.19.a numaralı süreklilik denkleminde yerine konulursa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{dg_k}{dt} = \frac{ds}{dz} D_s \frac{dg_k}{dz} \quad (3.26)$$

Böylece, dane difüzyonunu ifade eden kısmi türevli diferansiyel denklem bulunmuş olur.

Bulunan diferansiyel denkleme göre, bir zemin numunesine ait kuru birim hacim ağırlıklara ait difüzivite katsayısı, sıkışmanın mertebesine bağlı olarak, zamanla değişen fiziksel bir büyüklüktür. Efektif gerilmelerin kuru birim hacim ağırlığa bağlılığı, 3.24.b ve 3.25 numaralı eşitlikler göz önüne alınarak aşağıdaki gibi verilebilmektedir.

$$s = \frac{1}{m_v} \ln \frac{g_{k2}}{g_{k1}} \quad (3.27)$$

Yukarıda, 3.26 numaralı ifadede difüzivite katsayısının türev altında bulunması, zaman ve mekana bağlı bir katsayı olduğunu gösterir. Yine bu kez, kuru birim hacim ağırlık için, $g_k = f(l)$ ve $l = z/\sqrt{t}$ dönüşümleri yapılır ve 3.26 numaralı ifade dönüştürülürse,

$$\begin{aligned}
\frac{dg_k}{dt} \frac{1}{z} &= \frac{d}{dt} \frac{1}{z} D_s \frac{dg_k}{dz} \\
- \frac{1}{2\sqrt{t}} \frac{1}{z} &= \frac{d}{dt} \frac{1}{z} D_s \frac{dg_k}{dz} \\
D_s \frac{dg_k}{dz} &= - \frac{1}{2t} \frac{dg_k}{dz}
\end{aligned} \tag{3.28}$$

eşitlikleri bulunur.

Öte yandan kuru birim hacim ağırlığının, $g_k = W_s / Az$ olduğu göz önüne alınırsa, sabit herhangi bir t anı için,

$$\frac{dg_k}{dz} = - \frac{W_s}{Az^2} \quad \text{ve} \quad dg_k = - \frac{W_s}{Az^2} dz$$

türev ve diferansiyeli yazılabilir. Bu değerler 3.28 numaralı eşitlikte yerlerine konulur ve integrali alınırsa, D_s difüzivite katsayısı elde edilmiş olur.

$$D_s = \frac{z^2}{4t} \ln \frac{z_i}{z} \tag{3.29.a}$$

Burada, $z^2 / 4 = (z / 2)^2$ şeklinde drenaj boyunu, $-e = \ln \frac{z_i}{z}$ nin de deformasyonları gösterdiği hatırlanırsa,

$$D_s = - \frac{H_d^2}{t} e \tag{3.29.b}$$

elde edilir ki, difüzivite katsayısının hem drenaj boyuna hem de deformasyonlara bağlı olduğu görülebilir. Sonuç olarak, zeminlerin dane difüzyonu drenaj boyuna bağlı olduğu kadar deformasyon büyüklüklerine de bağlıdır. Zemin örneğinin

ortasındaki bir su damlasının kat ettiği ortalama uzunluk drenaj boyu kadar olacağından, difüzyon, aşırı boşluk suyu basıncı nedeniyle oluşan su hızına ve dolayısıyla hidrodinamik özelliklere de bağlıdır. Difüzivite katsayısı içinde deformasyon ögesinin bulunması nedeniyle, dane difüzyonu, yapısal bozulma sonucunda ortaya çıkan, zemin viskoz özelliklerine de bağlı bir olaydır. Sonuç olarak, katı içinde katının yayılımı oldukça yavaş olup yapısal bozulma ile mümkündür.

Öte yandan, konsolidasyon başlangıcındaki viskoz özelliğin bulunuşu o denli azdır ki, difüzivite katsayısı D_s türev dışına alınabilir. Bu durumda, 3.26 numaralı denklem aşağıdaki şekle sahip olur.

$$\frac{\partial g_k}{\partial t} = D_s \frac{\partial^2 g_k}{\partial z^2} \quad (3.30)$$

Difüzivite katsayısının türev dışına alınması ve denklemde bir parametre olarak gözükmesi, herhangi bir basınç kademesi için, zemin iskeletine ait difüzyon özelliğinin sabit kaldığı varsayımını ifade eder. Bu durumda denklemin çözümü, herhangi bir basınç kademesi için,

$$\frac{g_k - g_{ki}}{g_{kf} - g_{ki}} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\rho}} \int_{x=0}^{x=z/2\sqrt{D_s t}} e^{-x^2} dx \quad (3.31)$$

şeklinde elde edilir (Tekinsoy, 2013).

Eğer difüzyon hızı, 2.47.a ve 2.47.b numaralı denklemlerde olduğu gibi $v_z = \partial D_s / \partial z$ ile ifade edilirse, aşağıdaki kuru birim hacim ağırlığa ait dispersiyon diferansiyel denklemi bulunur.

$$\frac{\partial g_k}{\partial t} = \frac{\partial D_s}{\partial z} \frac{\partial g_k}{\partial z} + D_s \frac{\partial^2 g_k}{\partial z^2}$$

$$\frac{\partial g_k}{\partial t} = v_z \frac{\partial g_k}{\partial z} + D_s \frac{\partial^2 g_k}{\partial z^2} \quad (3.32)$$

Hız değerini elde etmek için 3.29.a numaralı ifadenin z 'ye göre türevini almak gerekir. Bu şekilde aşağıdaki denkleme varılır.

$$v_z = \frac{\partial D_s}{\partial z} = - \frac{z}{2t} \frac{\partial \ln \frac{z}{z_i}}{\partial z} + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial z} \quad (3.33)$$

Burada $(z/2)$ drenaj boyunu göstermekte olup, (H_d/t) değeri de drenaj boyunun değişim hızıdır. Bu ifadede, logaritmali terimin yanında $1/2$ değeri daima küçük kalmaktadır. Bu nedenle, $1/2$ terimi ihmal edildiğinde, v_z zemin örneklerinin oturma hızlarına eşit olur. Sonuçta v_z dispersiyon hızı, hem zemin oturmalarını hem de dispersiyon özelliğini içeren daha yüksek bir hızdır. Başka ifadeyle, v_z dispersiyon hızı, tüm oturmaları bünyesinde barındıran bir hız niteliğindedir.

Difüzyon ile değişen kuru birim hacim ağırlık miktarlarının çok küçük olması nedeniyle, 3.31 numaralı çözüm yeterli sonuçlar vermektedir. Ancak, kuru birim hacim ağırlık değişiminde de dispersif etkilerin mevcudiyeti 3.32 numaralı diferansiyel denklemlerle ifade edilmiştir. Bu durumda kuru birim hacim ağırlıkla ilgili dispersif genel çözüm, 3.32 numaralı diferansiyel denklemden, aşağıdaki gibi bulunur.

$$\frac{g_k - g_{ki}}{g_{kf} - g_{ki}} = \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial z} \left[1 - \frac{2}{\sqrt{p}} \int_0^{x=\frac{z+v_z t}{2\sqrt{D_s t}}} e^{-x^2} dx \right] + e^{-\frac{v_z z}{D_s}} \times \frac{\partial}{\partial z} \left[1 - \frac{2}{\sqrt{p}} \int_0^{y=\frac{z-v_z t}{2\sqrt{D_s t}}} e^{-y^2} dy \right] \quad (3.34.a)$$

$$\frac{g_k - g_{ki}}{g_{kf} - g_{ki}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{z + v_z t}{2\sqrt{D_s t}} + e^{-\frac{v_z z}{D_s}} \operatorname{erfc} \frac{z - v_z t}{2\sqrt{D_s t}} \quad (3.34.b)$$

Bulunan bu çözümden görülebileceği gibi, bir ödometre deneyindeki herhangi bir basınç kademesi için, drenaj yüzeyine yakın kesitler daha hızlı sıkışırken, orta kesitler daha yavaş sıkışır. Bulunan çözümler, 3.10 ve 3.12 numaralı aşırı boşluk suyu basıncı değişimi ile karşılaştırılır ise, büyük bir benzeşim içinde olduğu görülebilir. Aradaki fark, D_s difüzyon katsayısı ile c_v konsolidasyon katsayısından kaynaklanır. Yine, her iki çözümde de hızlar birinde drenaj boyunun değişme hızını gösterirken diğerinde oturma hızını ifade eder. Bu nedenle, her iki çözüm de zemine ait viskoz özelliklerin etkilerini yansıtır.

Akı ifadesi, deneysel değerlere çok yakın sonuçlar veren 3.31 numaralı ifadenin $\nabla g_k / \nabla z$ türevi alınıp 3.24.c numaralı eşitlikte yerine konulmasıyla bulunur.

$$J_s = \sqrt{\frac{D_s}{p t}} (g_{kf} - g_{ki}) e^{-x^2} \quad (3.35.a)$$

$$x = \frac{z + v_z t}{2\sqrt{D_s t}} \quad (3.35.b)$$

Elde edilen bu sonuç, porozite ve akının bir normal dağılıma sahip olduğunu ifade eder. Varılan bu kuramsal yargı, deney sonuçlarıyla çelişki oluşturmamaktadır (Tekinsoy, 2002). Makro boşluklar içine giren ve zemin bünyesi içinde yayılım yapan dane miktarını bulmak için, J_s akısının, A kesit alanının ve Dt zamanının çarpılması gerekir.

$$DW_s = J_s A D t \quad (3.36)$$

3.2.3. Araştırmada Kullanılan Deneysel Yöntemler

Araştırmada kullanılan deneyler, zemin mekaniğinin standart deneyleridir. Çünkü araştırmadaki temel amaç, bilinen ve klasik hale gelmiş olan konsolidasyon olayındaki bazı fiziksel ve hidrodinamik olayları açığa çıkarmaktır.

Araştırmada malzeme olarak kullanılan zeminlerin indeks özellikleri için yine, T.S. Norm'larında ön görülen standart deney yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Zemin numunesi almak amacıyla, önce 75 mm'lik numune alma tüpleri kullanılmıştır. Tüp uzunluğu 30 cm kadar olup, zemine giren kısmının ağzı keskinleştirilmiştir. Yine, zeminin tüpe yapışmaması amacıyla tüpün içi yanık yağla yağlanmıştır. Zeminden koparılan bozulmamış numunenin doğal su içeriğini yitirmemesi için tüpün her iki ağzı da parafinlenmiş ve numuneler laboratuara taşınmıştır. Bunlara ek olarak, zeminden bozulmuş örnekler de alınmıştır. Bozulmuş örnekler daha çok fiziksel özelliklerin saptanmasında kullanılmıştır (Capper ve Cassie, 1969; Bowles, 1984).

Zemin numunelerine ait dane özgül ağırlığı, standart piknometre deneyi ile saptanmıştır. Kullanılan piknometre standart hacimde olup, 50 ml lik cam kaplardır. Her bir deney için yaklaşık 25 gr lık etüvde kurutulmuş zemin numunesi kullanılmıştır. Bu deneyde, zemin hacminin tayini için arıtma cihazından alınan arı sudan yararlanılmıştır. Su ve zemin içindeki havanın alınması emme pompası ile sağlanmıştır. Her bir deney için altı ila sekiz saat arası zaman harcanmış bulunmaktadır. Özellikle plastisitesi yüksek olan numunelerde, havanın su ve zemini terk etmesi daha zor olmuştur. Deneyde, piknometre boynundaki su seviyesi düşmesinin en fazla 3 mm olması durumunda havanın çıktığı varsayılmıştır. Yine, bulunan dane özgül ağırlıklarının birbirlerinden farklarının %2 den fazla olmamasına dikkat edilmiştir. Uymayan değerler kabul edilmemiştir. Hata olmaması için, aynı tartı aleti kullanılmıştır. Kullanılan tartı aleti elektronik terazidir (Özüdoğru, 1988; Önalp, 1997; T.S. 1900-1).

Örnek zeminlerin kıvam limitleri, Türk Standartları'nda anlatıldığı gibi elde edilmiştir. Likit limit için iki ayrı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan biri Casagrande Yöntemi, diğeri düşen koni yöntemidir. Çukurova Üniversitesi Zemin Mekaniği

Laboratuvarı'nda, her ikisi de, standartlarda belirtildiği gibi mevcut bulunmaktadır. Her iki yöntemin ortalamaları birbirlerine yakın olup, ortalamaları alınarak nihai değerler bulunmuştur (Özüdoğru, 1988; T.S. 1900-1).

Su içerikleri için hassas terazi ve etüv kullanılmış, hem doğal hem de konsolidasyon deneyi başlangıcında ve sonunda su içerikleri saptanmıştır. Etüvden, kuru ağırlıkların bulunması veya zeminden buharlaşan su miktarının bulunmasında yararlanılmıştır. Kuru ağırlıkların elde edilmesi için, etüv 110 °C ye kadar ısıtılmıştır. Bunun nedeni, zemin içinde bulunan organik maddelerin yanmasını önlemek, aynı zamanda mikro boşluklardaki suyun da buharlaşmasını sağlamaktır. Zemin numune ağırlığı sabit kalıncaya kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Bu süre yaklaşık 24 saat kadardır (Özaydın, 1995; T.S. 1900-1).

Zemin numune çap ve yükseklikleri, konsolidasyon ringi iç çapı ve yüksekliği verniyerli kumpas ile, milimetrenin 1/20 hassasiyetinde ölçülmüştür. Zemin oturmaları ise 1/100 hassaslık derecesine sahip ekstansometreler ile ölçülmüştür (Özaydın, 1995).

Bozulmamış zemin numuneleri, 50 mm lik ringlerin içi yağlandıktan sonra, getirilen 75 mm lik çapa sahip örneklerle batırılarak çıkarılmıştır. Ringin zemin içine itilmesi, ring üzerine kalın bir tahta konulup kuvvet uygulanması ile sağlanmıştır. Çıkarılan bozulmamış zemin numuneleri, standart ödometreye yerleştirilmiş ve suya doyurulmuşlardır. Konsolidasyon deneylerinde de zemin oturmaları ekstansometreler ile saptanmıştır. Konsolidasyon deneylerinin yürütülmesi, standartlarda tanımlandığı şekliyle gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, alışlagelen, doymuş zeminlerin konsolidasyon deneyleri yapılmıştır (T.S. 1900-2; Özaydın, 1995; Önalp, 1997).

3.2.4. Araştırmada Kullanılan Regresyon Analizleri

3.2.4.1. Regresyon Analizlerine Giriş

Buraya kadar, kuru birim hacim ağırlığın, dane difüzyonu ve dispersiyon üzerinde en önemli parametre olduğu vurgulanmaya çalışılmıştır. Bu iddianın istatistiksel olarak ispatı için, eğri uydurma (curve fitting) yöntemi ile lineer,

polinomsal, üssel ve logaritmik regresyon analizleri yapılmış ve kuru birim hacim ağırlık değişiminin konsolidasyondaki ve dane difüzyonu ile dispersiyondaki parametreleri nasıl etkilediği ve aralarındaki ilişkilerin yakınlığı incelenmiştir. Bu analizlerde, deneysel ve teorik olarak bulunan değerler ile, regresyon analizleri ile bulunan tahmini değerler kıyaslanmış ve birbirlerine çok yakın değerler çıktığı tespit edilmiştir.

Bilindiği gibi, iki değişken arasındaki en yakın ilişki, bir doğru ile temsil edilebilen yani doğrusal bir ilişkidir. Böyle bir ilişkinin tanımı, $y=a+bx$ şeklinde bir doğrunun denklemi ile ifade edilebilir. Eğer bu ilişki polinomsal bir fonksiyonla tanımlanmak istenirse, bu sefer de polinomsal ilişkiyi ifade eden $y=ax^2+bx+c$ şeklinde bir denklem elde edilir. Burada, regresyon analizlerinde x bağımlı değişken, y ise bağımsız değişkendir. Kuru birim hacim ağırlık değişimi bağımlı değişken olarak alınarak diğer parametrelerin kuru birim hacim ağırlığa bağlılığı ve aralarındaki ilişkinin yakınlığı, geçerliliği ve tutarlılığı kontrol edilmiştir. Bu ilişkiler sonucunda, Bulgular ve Tartışması Bölümü'nde verilen grafiklerden de gözlemlenebileceği gibi, çok yakın ilişkiler elde edilmiştir. Bu çalışmada, tüm deneyler için, kuru birim hacim ağırlıkta zamanla, bir basınç kademesinden başka bir basınç kademesine geçerken meydana gelen değişmelerin belli parametreleri nasıl etkilediği ve bu parametrelerle arasındaki ilişkilerin yakınlığı vurgulanacaktır. Bu ilişkileri saptayabilmek için toplamda 98'er adet veri birbirleriyle regresyon ve korelasyon analizleri ile karşılaştırılmış ve diğer deney sonuçlarına da uygulanabilirliği test edilmiştir.

Bulgular ve Tartışması Bölümü'nde verilecek olan grafiklerde görülen R^2 değeri, istatistiksel olarak, ilişkisi gösterilmek istenen biri bağımlı diğeri bağımsız olan iki değişkenin birbirleriyle uyumunu göstermektedir. Bu uyum ne kadar yakınsa, bağımsız değişken, bağımlı değişkende meydana gelen değişimlere o derece yakın bir değişim göstermektedir. Burada bahsedilen R^2 değeri “sıfır” ile “bir” arasında bir değerler kümesine sahiptir ve bu değer “sıfır”a yaklaştıkça değişkenler arası ilişkinin uyumsuzluğunu, “bir”e yaklaştıkça da değişkenlerin birbirleriyle uyumluluğunu işaret eder. Bu değer tam olarak bir e eşit olursa yani $R^2=1$ durumunda bütün gerçek ve tahmini değerler aynı eğilim çizgisi üzerinde yer alır ve uyumları

mükemmeldir denilebilir. Yine bu değer, 0.85 değerinin üstünde yer aldığı zaman değişkenler arasında son derece ciddi bir uyumun olduğu söylenebilir.

3.2.4.2. Korelasyon ve Determinasyon Katsayıları ve Yorumlanması

Burada, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin birbirleriyle uyumunu daha iyi belirleyebilmek için, R^2 değerinin yanında korelasyon katsayısı ve determinasyon katsayısı değerleri ve ilişkileri de kullanılmıştır. Bu katsayılar, formüller ile hesaplanabildiği gibi, istatistiksel regresyon analizleri ile de saptanabilmektedir. Bu çalışmada sözü geçen katsayılar regresyon analizleri ile belirlenmiş ve yorumlanmıştır.

Regresyon analizi sonucunda oluşturulmuş olan model bize bir değişkendeki değişimlerin, diğer bir değişkende ne kadar etkili olduğu hakkında fikir vermektedir. Bu değişimin uyumu, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında ne kadar güçlü bir korelasyon olduğuna bağlıdır. İki data seti ve bu data setleri içinde yer alan bağımlı ve bağımsız değişkenlerin birbirleriyle ne kadar güçlü bir korelasyona sahip olduğu, istatistikte korelasyon katsayısı ile gösterilir ve bu katsayı genellikle r ile tanımlanır (Bass, 2007). Korelasyon katsayısı, -1 ile +1 arasında değişen bir değer aralığına sahiptir. Bu katsayı sıfıra eşit olduğu zaman çıkarılması gereken sonuç iki değişken seti arasında kesinlikle hiçbir ilişkinin bulunmadığıdır. Bu katsayı +1 e eşit olursa iki değişken seti arasında çok güçlü pozitif bir uyum olduğu, -1 e eşit olması durumunda da çok güçlü negatif bir uyumun olduğu söylenebilir. Pozitif uyum durumunda bir değişkendeki artış diğer değişkende de artışa, negatif uyum durumunda ise bunun tersi olarak bir değişkendeki artış diğer değişkende azalışa sebep olur. Bu söylenilenlere göre Çizelge 3.2 verilebilir.

Çizelge 3.2. Korelasyon Katsayısının Yorumlanması

Korelasyon Katsayısı	Yorum
-1.00	Güçlü negatif korelasyon
-0.50	Orta negatif korelasyon
0.00	Data setleri arasında kesinlikle hiçbir ilişki yok
+0.50	Orta pozitif korelasyon
+1.00	Güçlü pozitif korelasyon

Korelasyon katsayısı iki değişken arasında ne kadar güçlü bir uyum olduğunu gösterirken, bir değişkendeki değişimin yüzde kaçının, diğer değişkendeki değişimin sebebi olduğunu anlamak için kullanılan ikinci bir katsayı determinasyon katsayısıdır. Determinasyon katsayısı, korelasyon katsayısının karesi alınarak bulunan bir değerdir ve r^2 ile ifade edilir. Bu anlatılanlara göre, kuru birim hacim ağırlık değişimi ile toplam sıkışan zemin miktarları, boşluk suyu hızları, efektif gerilme değişimleri ve difüzivite katsayıları arasındaki ilişkilerin durumunu ve uyumunu anlamak için, regresyon analizleri ile, Bulgular ve Tartışması Bölümü'nde verilen ilişkiler için korelasyon ve determinasyon katsayısı değerleri bulunmuş ve parametreler arası ilişkilerin birbirleriyle uyumları ve birbirlerinden ne derece etkilendikleri vurgulanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMASI

4.1. Deneylerden Elde Edilen Bulgular

Materyal ve Yöntem Bölümü'nde indeks özellikleri verilen ve araştırmada kullanılan killi zemin örnekleri, bilinen konsolidasyon deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler doymuş koşullarda yapılmıştır. Her basınç kademesi için, zemin örneklerinin oturmaları ve oturma zamanları ölçülmüştür. Bu numunelerden ilk dört tanesi olan Adana ve Mersin'den alınan zeminlere ait indeks özellikleri, aşağıdaki çizelgede toplu olarak görülebilmektedir.

Çizelge 4.1. Zemin Örneklerine Ait İndeks Özellikleri

Numune No.	Num.1	Num.2	Num.3	Num.4
Sondaj Derinliği (m)	1.6	8.4	3.5	4.5
Likit Limit (w_L) (%)	45	82	55	40
Plastik Limit (w_p) (%)	19	24	14	12
No.200 den Geçen (%)	96	96	81.5	85.6
Aktivite	0.271	0.604	0.503	0.327
Doğal Su İçeriği (w_n) (%)	26	28	18.85	14.22
Kuru Bir. Hac. Ağ. (γ_k) (gr/cm³)	1.319	1.284	1.484	1.694
Dane Bir. Hac. Ağ. (γ_s) (gr/cm³)	2.520	2.520	2.474	2.560
Doğal Bir. Hac. Ağ. (γ_n) (gr/cm³)	1.662	1.644	1.764	1.935
Plast. İndisi (I_p) (%)	26	58	41	28

Not: Num.1 ve Num.2 Adana Kayışlı Köyü'nden sırasıyla 1.6 m ve 8.4 m derinliklerden alınan, Num.3 Mersin Akdeniz Tırmıl'dan ve Num.4 Mersin Akdeniz Karaduvar Bölgesi'nden alınan zemin numunelerini göstermektedir.

Kayışlı Köyü civarından alınan zemin numunelerinden 1.6 m derinlikten alınan numunelere ait konsolidasyon deneyi okuma sonuçları, Çizelge 4.2 de aşağıdaki gibi verilmiştir:

Çizelge 4.2. Kayışlı Köyü 1.6 m Sondaj'dan Alınan Zemin Numunesine Ait Konsolidasyon Okumaları

Süre (dk)	0.25 kg	0.50 kg	1 kg	2 kg	4 kg	8 kg	16 kg	8 kg	4 kg	2 kg
0		10.2	14.2	24.4	49.0	95.3	160.8	243.2	231.2	215.0
0.1	5.0	11.1	15.5	29.5	60.0	109.5	175.0	241.5	229.8	213.8
0.3	5.5		17.0	30.4	61.1	111.0	177.0	240.0	229.5	213.2
0.5	5.6	11.2	17.1	20.9	62.1	112.7	177.8	239.5	229.3	213.1
1	6.0	11.5	17.5	31.9	63.9	115.0	179.7	239.1	228.9	212.9
2	7.0	11.8	17.8	32.8	66.1	117.2	181.2	238.8	228.6	212.6
5	7.3	12.0	18.4	34.6	69.0	121.1	186.2	238.0	227.7	212.1
10	8.0	12.1	19.0	37.8	71.9	125.1	190.9	236.8	226.7	211.2
20	8.5	12.4	19.8	38.9	75.1	130.0	196.9		225.1	210.2
30	8.9	12.6	20.0	39.1	77.1	133.1	201.2		224.1	209.5
40	9.0	13.0	20.5	39.8	78.9	135.8	205.0		223.2	208.9
60	9.3		21.0	41.1	81.1	139.2	211.0		221.9	207.7
80	9.8		21.2	42.0	82.9	142.2	215.2		221.0	206.5
100	9.9	13.1	21.5	42.9	84.3	144.2	218.9	233.7	220.4	205.9
150		13.5	22.1	44.0	86.9	148.1	225.0		219.1	204.2
200		13.7	22.4	44.9	88.5	150.9	228.9		218.7	203.0
300		14.0	23.0	46.0	90.3	154.2	233.8		217.3	201.9
500			23.1	47.1	92.9	157.9	239.1		216.5	200.0
1440	10.2	14.2	24.4	49.0	95.3	160.8	243.2	231.2	215.0	197.1
Yük (kg)	2.5	5.0	10.0	20.0	40.0	80.0	160.0	80.0	40.0	20.0
Ger. (kg/cm ²)	0.127	0.255	0.509	1.018	2.036	4.073	8.145	4.073	2.036	1.018

Kayıslı Köyü civarından alınan bu numunelerin, deney başı ve deney sonu ile ilgili değerleri ise Çizelge 4.3’de sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Kayışlı Köyü 1.6 m lik Sondaj Numunesi'nin Deney Başı ve Deney Sonu Değerleri

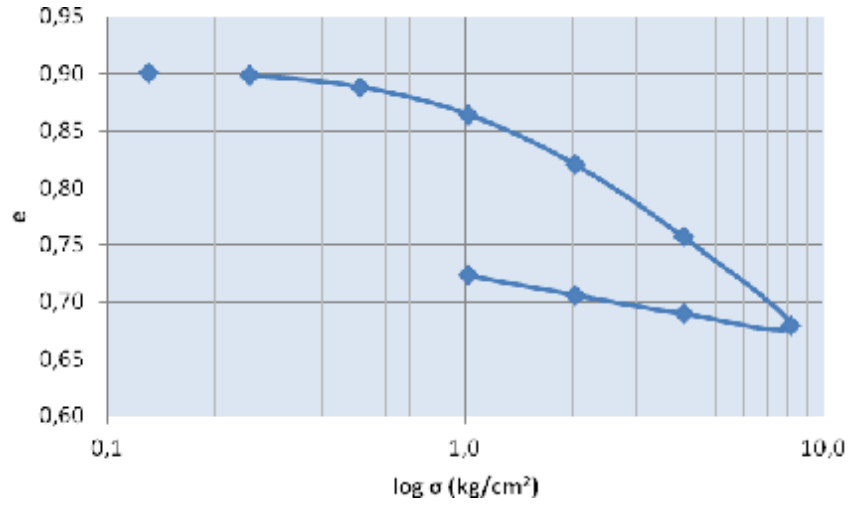
Deney Başı		Deney Sonu	
H_o (mm)	20.000	H (mm)	18.029
D_o (mm)	50	D (mm)	50
M_{ko} (gr)	51.80	M_k (gr)	51.80
A_o (cm ²)	19.64	A (cm ²)	19.64
V_o (cm ³)	39.28	V (cm ³)	35.41
γ_s (gr/cm ³)	2.520	γ_s (gr/cm ³)	2.520
γ_n (gr/cm ³)	1.662	γ_n (gr/cm ³)	1.887
e_o	0.911	e_n	0.723
n_o	0.477	n	0.420
S_o (%)	71.90	S (%)	100.00
w_o (%)	26.0	w_n (%)	28.7
γ_k (gr/cm ³)	1.319	γ_k (gr/cm ³)	1.463

Bu iki çizelgeye dayanarak, numunenin konsolidasyonu ile ilgili oturmalar, boşluk oranları ve mekanik parametreleri, aşağıda Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kayışlı Köyü 1.6 m Sondaj Numunesi için Konsolidasyon Değer ve Parametreleri

σ (kg/cm ²)	$\Delta\sigma$ (kg/cm ²)	ΔH (mm)	H (mm)	Δe	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0.00		0	20	0	0.911		0
0.13	0.13	0.102	19.898	0.010	0.901	0.077	0.041
0.25	0.13	0.142	19.858	0.004	0.898	0.031	0.016
0.51	0.25	0.244	19.756	0.010	0.888	0.039	0.021
1.02	0.51	0.490	19.510	0.024	0.864	0.047	0.025
2.04	1.02	0.953	19.047	0.044	0.820	0.043	0.024
4.07	2.04	1.608	18.392	0.063	0.757	0.031	0.018
8.15	4.07	2.432	17.568	0.079	0.679	0.019	0.011
4.07	-4.07	2.312	17.688	-0.011	0.690	0.003	0.002
2.04	-2.04	2.150	17.850	-0.015	0.706	0.007	0.004
1.02	-1.02	1.971	18.029	-0.017	0.723	0.017	0.010

Bu çizelgeler incelendiğinde ve materyal metotta verilen değerler değerlendirildiğinde, bu numunenin düşük plastisiteli CL grubu orta plastik bir kil olduğu görülebilir. Bu tür kilde, doğal su içeriğinin plastik limitten oldukça uzak olması, şişme göstermeyen bir zemin durumunu, sarı renk içermesi de alüminyum minerallerinin ağırlıkta olduğunu ifade etmektedir. Zeminin boşluk oranı değişimi göz önüne alındığında ise, aşağıda verilmiş olan Şekil 4.1’de görülen eğri elde edilmektedir. Bu eğriye göre zeminin ön-konsolidasyon basıncı 1.46 kg/cm² dir. AKO=5.49 olup zemin aşırı konsolide bir kildir. Deney başı doygunluk oranı da 0.719 dur.



Şekil 4.1. CL Grubu Zemin için Boşluk Oranı (e) ve Efektif Gerilme (log σ) Değişimi Grafiği

Kayıslı Köyü civarında yapılan sondaj çalışmasında, 8.4 m lik sondaj derinliğinden alınan zemin numunesinin konsolidasyon deney sonuçları ve boşluk oranı-efektif gerilme değişimi ise Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kayışlı Köyü 8,4 m Sondaj'dan Alınan Zemin Numunesine Ait Konsolidasyon Okumaları

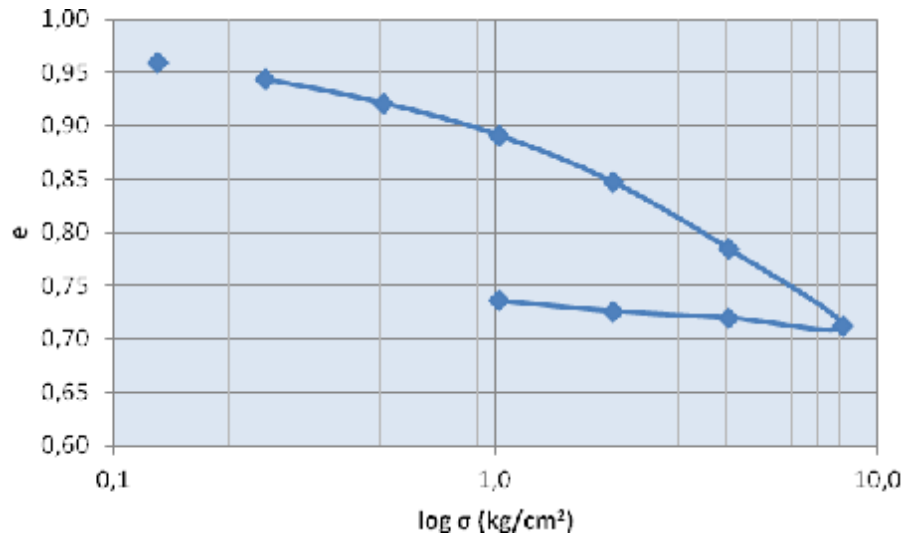
Süre (dk)	0.25 kg	0.50 kg	1 kg	2 kg	4 kg	8 kg	16 kg	8 kg	4 kg	2 kg
0		3.0	19.9	42.2	72.2	117.5	180.3	255.2	246.4	240.8
0.1	0.2	7.0	26.0	52.0	86.9	133.0	197.0	253.0	245.7	237.9
0.3	0.5	8.5	28.5	53.5	89.4	136.5	201.5	252.5	245.0	237.3
0.5	0.6	9.1	29.9	55.0	91.5	140.0	206.5	250.5	244.6	236.8
1	0.8	10.8	31.5	57.5	95.5	146.2	216.4	250.1	243.8	235.8
2	1.0	12.0	33.3	60.0	99.1	153.0	222.4	249.9	243.0	234.8
5	1.1	13.6	35.5	63.1	103.7	161.0	231.1	249.8	242.5	233.6
10	1.5	14.8	36.8	64.9	106.4	164.1	236.0	249.7	242.2	232.9
20	1.6	15.7	37.9	66.0	108.5	167.3	239.8		241.9	232.3
30	1.7	16.0	38.2	66.9	109.7	169.0	241.8		241.8	232.1
40	1.9	16.5	38.8	67.2	110.2	170.0	243.0		241.7	231.9
60	2.0	17.0	39.1	68.0	111.2	171.5	244.8		241.6	231.8
80	2.1	17.4	39.6	68.5	112.0	172.5	245.9		241.5	231.6
100		17.9	39.9	68.9	112.4	173.1	246.8	249.7	241.4	231.4
150		18.1	40.1	69.3	113.4	174.5	248.2		241.3	231.2
200		18.5	40.7	70.0	114.1	175.3	249.3		241.2	231.1
300		19.0	41.1	70.6	115.0	176.8	250.9		241.1	230.8
500		19.3	41.6	71.2	116.0	178.5	253.1		240.9	230.7
1440	3.0	19.9	42.2	72.2	117.5	180.3	255.2	246.4	240.8	230.0
Yük (kg)	2.5	5.0	10.0	20.0	40.0	80.0	160.0	80.0	40.0	20.0
Ger. (kg/cm²)	0.127	0.255	0.509	1.018	2.036	4.073	8.145	4.073	2.036	1.018

Çizelge 4.6. Kayışlı Köyü 8.4 m lik Sondaj Numunesi'nin Deney Başı ve Deney Sonu Değerleri

Deney başı		Deney sonu	
H_o (mm)	20.000	H (mm)	17.700
D_o (mm)	50	D (mm)	50
M_{ko} (gr)	50.45	M_k (gr)	50.45
A_o (cm²)	19.64	A (cm²)	19.64
V_o (cm³)	39.28	V (cm³)	34.76
γ_s (gr/cm³)	2.520	γ_s (gr/cm³)	2.520
γ_n (gr/cm³)	1.644	γ_n (gr/cm³)	1.859
e_o	0.962	e_n	0.736
n_o	0.490	n	0.424
S_o (%)	73.30	S (%)	96.90
w_o (%)	28.0	w_n (%)	28.3
γ_k (gr/cm³)	1.284	γ_k (gr/cm³)	1.452

Çizelge 4.7. Kayışlı Köyü 8.4 m Sondaj Numunesi için Konsolidasyon Değer ve Parametreleri

σ (kg/cm ²)	$\Delta\sigma$ (kg/cm ²)	ΔH (mm)	H (mm)	Δe	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0.00		0.000	20.000	0.000	0.962		0.000
0.13	0.13	0.030	19.970	0.003	0.959	0.023	0.012
0.25	0.13	0.199	19.801	0.017	0.943	0.131	0.067
0.51	0.25	0.422	19.578	0.022	0.921	0.088	0.046
1.02	0.51	0.722	19.278	0.029	0.891	0.057	0.030
2.04	1.02	1.175	18.825	0.044	0.847	0.043	0.023
4.07	2.04	1.803	18.197	0.062	0.785	0.030	0.017
8.15	4.07	2.552	17.448	0.073	0.712	0.018	0.010
4.07	-4.07	2.464	17.536	-0.009	0.720	0.002	0.001
2.04	-2.04	2.408	17.592	-0.005	0.726	0.003	0.002
1.02	1.02	2.300	17.700	-0.011	0.736	0.011	0.006

Şekil 4.2. CH Grubu Zemin için Boşluk Oranı (e) ve Efektif Gerilme (log σ) Değişimi Grafiği

Yukarıdaki eğriye göre bu zeminin ön-konsolidasyon basınç değeri 1.32 kg/cm² olup AKO=1.52 değerine sahip aşırı konsolide bir kildir.

Yine, Materyal ve Yöntem'deki değerler ve yukarıdaki çizelgeler değerlendirildiğinde, zeminin katı plastik bir kil durumunda olduğu görülebilir. Yüksek plastisite indisi ve doğal su içeriğinin plastik limite yakın olması, bu tür zeminde şişme potansiyelinin de olabileceğini gösterir. Kırmızı renkli oluşu, demir minerallerinin hâkim olduğunu ifade eder.

Kompaksiyonda olduğu gibi dispersiyonda da kuru birim hacim ağırlık temel gösterge olduğuna göre, zeminlerin deney başı ve deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimi değerleri bulunmak istenirse, yukarıda verilen birinci numunenin deney başı ve deney sonu kuru birim ağırlığındaki değişme % 10.92 ve ikinci numunenin % 13.08 dir. Bu nedenle, birinci numunede kompakte olan ve dolayısıyla dispersiyona uğrayan zemin miktarının, ikinci numuneden daha az olacağı söylenebilir.

Bir konsolidasyon olayında, toplam oturma, zeminin viskoz özelliği yanında drenaj koşullarına bağlı olarak suyun zeminden çıkması ile oluşur. Bu arada, zeminin cinsine bağlı bir şekilde, zemin daneleri, ön-konsolidasyon basıncına ve zeminin plastisite durumuna göre dispersif bir özellik kazanırlar. Zemin plastisitesi arttıkça zeminin dispersif bir yapı göstermesi, kıvamına da bağlı bir şekilde daha kolay bir duruma gelmektedir. Zemin danelerinin bir kısmı düzgün sıralar halinde sıkışırken, bir kısmı da zeminin porozitesine ve boşluk yapısına bağlı olarak zemin içinde dağılıma uğramaktadır. Bunu göstermek için aşağıdaki Çizelge 4.8, Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11 hazırlanmıştır. Bu çizelgelerden, zeminlerin dispersif özellikleri ve efektif gerilme farklarındaki değişmeler kolaylıkla görülebilmektedir.

Çizelge 4.8. Kayışlı Köyü CL Grubu Killi Numunenin Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri

Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Basınç Farkı	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Hac. Sık. Kat.	Efektif Ger. Farkı
p (kg/cm ²)	H (mm)	e (%)	Δp (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	m_v (cm ² /kg)	σ' (kg/cm ²)
0.00	20.000	91.10	-	1.319	-	-
0.13	19.898	90.10	0.13	1.326	0.041	0.129
0.25	19.858	89.80	0.13	1.328	0.016	0.094
0.51	19.756	88.80	0.25	1.335	0.021	0.250
1.02	19.510	86.40	0.51	1.352	0.025	0.506
2.04	19.047	82.00	1.02	1.385	0.024	1.005
4.07	18.392	75.70	2.04	1.434	0.018	1.932
8.15	17.568	67.90	4.07	1.501	0.011	4.151
4.07	17.688	69.00	-4.07	1.491	0.002	-3.342
2.04	17.850	70.60	-2.04	1.477	0.004	-2.359
1.02	18.029	72.30	-1.02	1.463	0.010	-0.952

Çizelge 4.9. Kayışlı Köyü CL Grubu Killi Numunenin Dispersiyon Değerleri

Toplam Basınç	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Dif. Kats.	Disp. Değ.	Disp. Akısı	Dispersif Zem. Mik.	Top. Sık. Zemin
p (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	$D_s \times 10^{-4}$ (cm ² /dk)	x -	J_s (gr/cm ² dk)	ΔW_s (gr)	ΔW_t (gr)
0.00	1.319	-	-	-	-	-
0.13	1.326	0.03515	13.984	2.307×10^{-92}	6.525×10^{-88}	0.0014
0.25	1.328	0.04878	11.847	3.287×10^{-68}	9.296×10^{-64}	0.0025
0.51	1.335	0.08318	9.026	2.851×10^{-42}	8.063×10^{-38}	0.0077
1.02	1.352	0.16392	6.349	6.191×10^{-24}	1.751×10^{-19}	0.0318
2.04	1.385	0.30751	4.526	6.908×10^{-15}	1.954×10^{-10}	0.1235
4.07	1.434	0.49223	3.454	7.904×10^{-11}	2.235×10^{-6}	0.3632
8.15	1.501	0.69471	2.777	1.009×10^{-8}	2.854×10^{-4}	0.8693
4.07	1.491	0.66726	2.853	0.609×10^{-8}	1.722×10^{-4}	0.7810
2.04	1.477	0.62911	2.965	0.283×10^{-8}	8.004×10^{-5}	0.6672
1.02	1.463	0.58548	3.105	0.107×10^{-8}	3.026×10^{-5}	0.5574

NOT: Her basınç kademesi sonunda konsolidasyon sonlandığı için v_z hızı, $v_z=0$ alınmıştır.

Çizelge 4.10. Kayışlı Köyü CH Grubu Killi Numunenin Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri

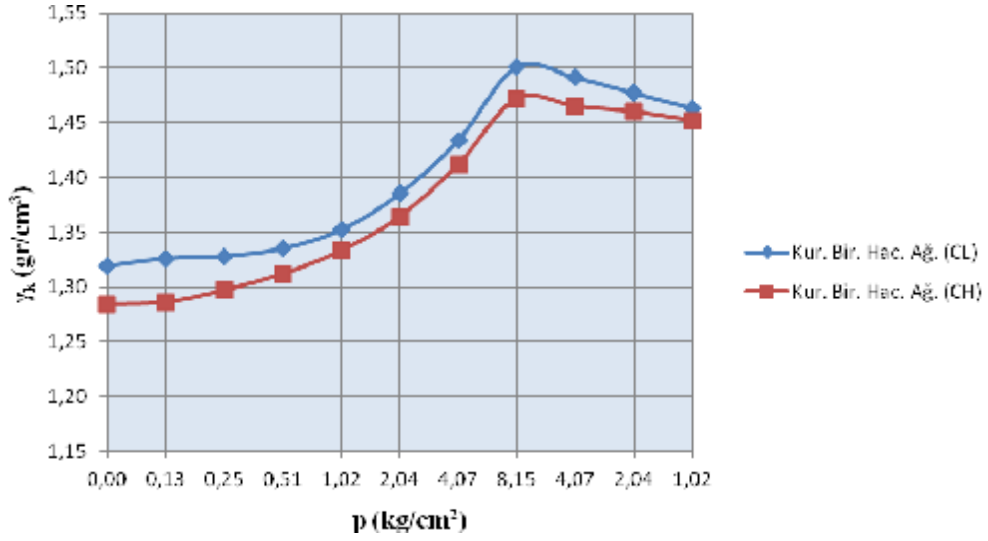
Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Basınç Farkı	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Hac. Sık. Kat.	Efektif Ger. Farkı
p (kg/cm ²)	H (mm)	e (%)	Δp (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	m_v (cm ² /kg)	σ' (kg/cm ²)
0.00	20.000	96.2	-	1.284	-	-
0.13	19.970	95.9	0.13	1.286	0.012	0.130
0.25	19.801	94.3	0.13	1.297	0.067	0.127
0.51	19.578	92.1	0.25	1.312	0.046	0.250
1.02	19.278	89.1	0.51	1.333	0.030	0.529
2.04	18.825	84.7	1.02	1.364	0.023	1.000
4.07	18.197	78.5	2.04	1.412	0.017	2.034
8.15	17.448	71.2	4.07	1.472	0.010	4.162
4.07	17.536	72.0	-4.07	1.465	0.001	-4.767
2.04	17.592	72.6	-2.04	1.460	0.002	-1.709
1.02	17.700	73.6	-1.02	1.452	0.006	-0.916

Çizelge 4.11. Kayışlı Köyü CH Grubu Killi Numunenin Dispersiyon Değerleri

Toplam Basınç	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Dif. Kats.	Disp. Değ.	Disp. Akısı	Disp. Zem. Mik.	Top. Sık. Zemin
p (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	$D_s \times 10^{-5}$ (cm ² /dk)	x -	J_s (gr/cm ² dk)	ΔW_s (gr)	ΔW_t (gr)
0.00	1.284	-	-	-	-	-
0.13	1.286	0.1039	25.814	0.000	-	0.0001
0.25	1.297	0.6807	10.000	1.88×10^{-50}	5.32×10^{-46}	0.0051
0.51	1.312	1.4191	6.848	6.75×10^{-27}	1.91×10^{-22}	0.0232
1.02	1.333	2.3723	5.215	5.48×10^{-18}	1.55×10^{-13}	0.0695
2.04	1.364	3.7251	4.064	4.88×10^{-13}	1.38×10^{-8}	0.1846
4.07	1.412	5.4312	3.253	3.56×10^{-10}	1.01×10^{-5}	0.4533
8.15	1.472	7.2148	2.707	1.56×10^{-8}	4.41×10^{-4}	0.9423
4.07	1.465	7.0192	2.758	1.12×10^{-8}	3.17×10^{-4}	0.8759
2.04	1.460	6.8928	2.792	0.89×10^{-8}	2.52×10^{-4}	0.8324
1.02	1.452	6.6448	2.861	0.57×10^{-8}	1.61×10^{-4}	0.7589

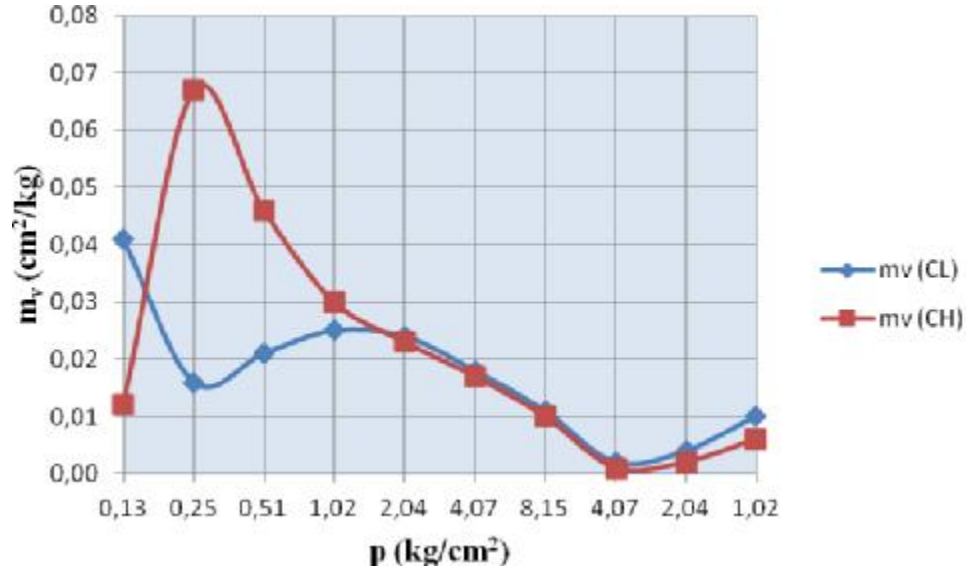
NOT: Her basınç kademesi sonunda konsolidasyon sonlandığı için v_z hızı, $v_z=0$ alınmıştır

CL ve CH grubundaki zeminlerin kuru birim hacim ağırlıkları ve sıkışabilirlikleri arasındaki ilişkileri gösterebilmek için, sırasıyla, aşağıdaki Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'deki grafikler verilmiştir.



Şekil 4.3. CL ve CH Grubu Zeminlerin Basınç Kademesine (p) göre Kuru Birim Hacim Ağırlıkları (γ_k) İlişkisi

Yukarıdaki şekilden açıkça görülebilmektedir ki CL grubuna ait zemin CH grubu zemine göre daha yüksek kuru birim hacim ağırlık değerlerine sahiptir. Ayrıca, CL grubu zeminin deney başı ve deney sonu kuru birim hacim ağırlıkları arasındaki değişimin, CH grubu zeminden daha az olduğu da yine grafikten gözlemlenebilir. Bu sebeplerden dolayı, CL grubu zeminde difüzyif ve dispersif katsayı ve akı değerleri ile dispersiyona uğrayacak ve sıkışacak zemin miktarlarının CH grubu zemine göre daha az olacağı söylenebilir. Buna ilave olarak, aşağıdaki hacimsel sıkışma katsayıları arasındaki ilişkiyi inceleyecek olursak, yine burada anlatılan özelliğin doğruluğunu görebiliriz.



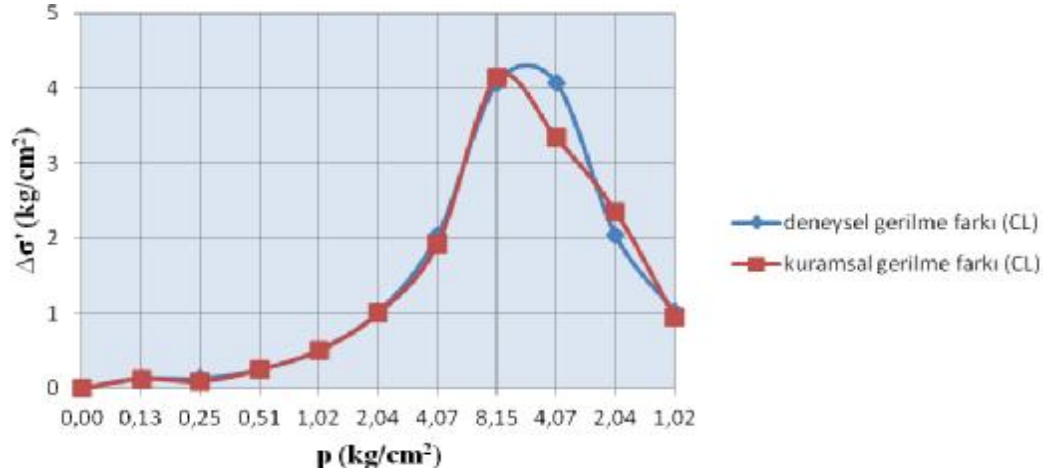
Şekil 4.4. CL ve CH Grubu Zeminlerin Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayıları (m_v) İlişkisi

CL ve CH grubu zeminlerin hacimsel sıkışma katsayıları arasındaki, yukarıda görülen grafiksel ilişki incelendiği zaman açıkça görülebilir ki, belli bir değerden sonra CH grubu zemine ait sıkışabilirlik nispeten ciddi bir şekilde artmakta ve bu değerden sonra CL grubu zeminin sıkışabilirliğine yakın değerler alarak ilerlemektedir.

Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.10'da efektif gerilme dağılımları ele alınmış, önce deneysel olarak, daha sonra da kuramsal olarak, 3.27 numaralı, aşağıda yeniden verilen eşitlik kullanılarak bulunmuştur.

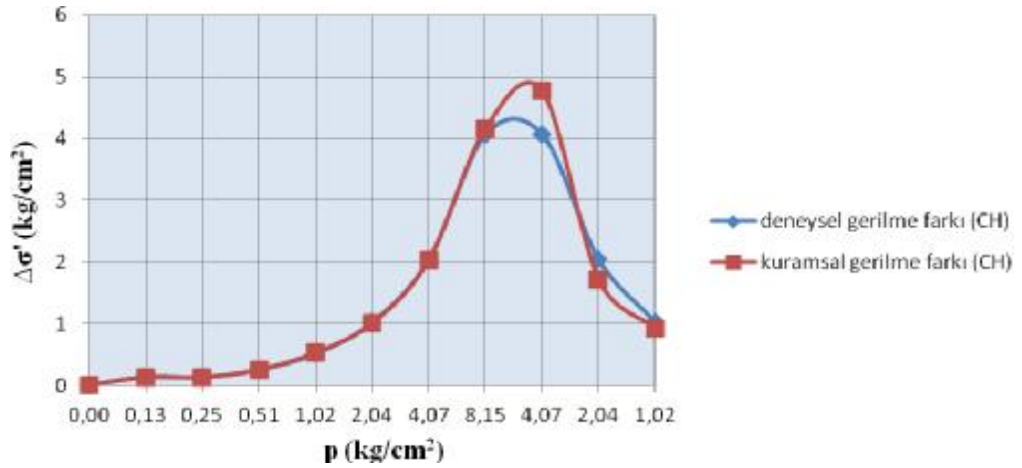
$$s = \frac{1}{m_v} \ln \frac{g_{k2}}{g_{k1}}$$

Çizelgelerden de görülebileceği gibi, kuramsal olarak bulunan efektif gerilme farkları deneysel değerlere çok yakındır. Bu nedenle, 3.27 numaralı ifade, kuru birim hacim ağırlıkların efektif gerilme değişimleri üzerinde ne denli etkili olduğunu göstermektedir. Bu değerler çizelgenin son sütununda verilmiştir. Deneysel ve kuramsal olarak bulunmuş olan gerilme farkları, aşağıda Şekil 4.5'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.5. CL Grubu Zemin için DeneySEL (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi

Aşağıda Şekil 4.6'da verilen grafikte ise, CH grubu zemine ait deneySEL ve kuramsal gerilme farkları arasındaki ilişki görülebilir. Bu ilişkide, değerlerin birbirlerine ne kadar yakın çıktığı grafikte açıkça gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.6. CH Grubu Zemin için DeneySEL (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi

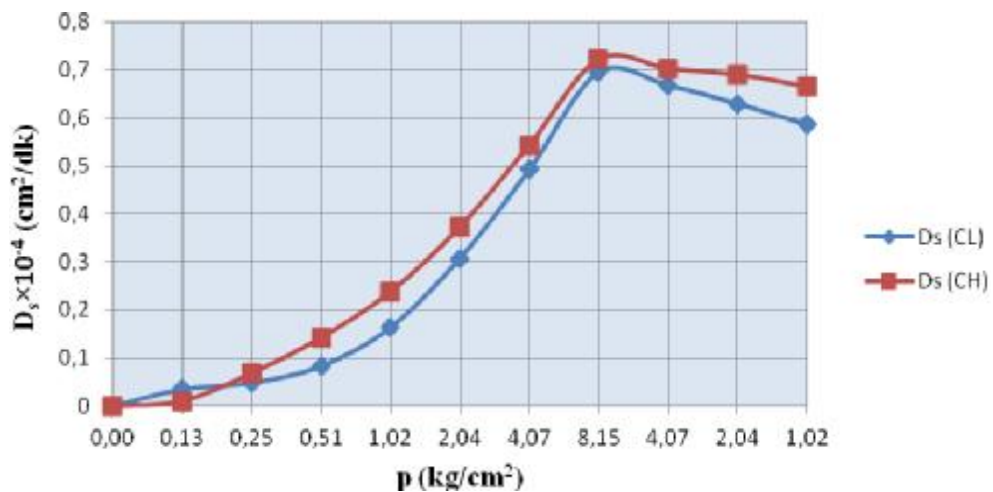
Gerek CL grubu, gerekse CH grubu zemin için bulunan değerler zeminlerin plastisite indisi ve kıvamından etkilenmemektedir. Kuramsal değerlerdeki farklılıklar, deneylerde yapılan hatalardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, yakın olmalarına rağmen, kuramsal değerler deneySEL değerlerden farklıdır.

Dispersif özellikler için, 4.9 ve 4.11 numaralı çizelgelerde, 3.29.a numaralı, aşağıda yeniden verilen eşitlik kullanılarak difüzivite katsayısı değerleri hesaplanmıştır.

$$D_s = \frac{z^2}{4t} \ln \frac{z_i}{z}$$

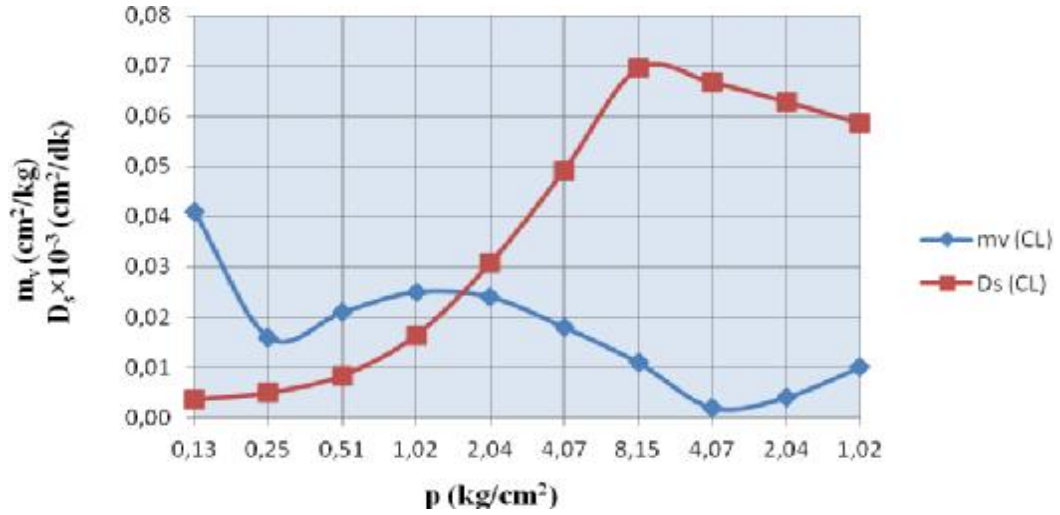
Tüm hesaplamalarda, her bir basınç kademesinin son değeri olan $t=1440$ dak. nın konsolidasyonun sonlandığı süre olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca, 3.29.a eşitliği kullanılırken, numune boyunun $z=z_f$ olduğu, yani her bir basınç kademesinin nihai yüksekliği olduğu varsayılmıştır. Difüzivite katsayısı D_s , her bir basınç kademesi içinde bir parametre durumundadır. Oysa eşitliğin kendisi, zaman ve yükseklik değişkenlerini içermesi nedeniyle her bir basınç kademesindeki ara zamanlar için de hesaplama yapılabilme imkanını verir.

Yine, 4.9 ve 4.11 çizelgeleri incelenecek olursa, CL grubu plastisitesi düşük olan kile ait difüzivite katsayılarının CH grubu killi zemindekilerden daha küçük olduğu görülür. Bu ilişki, aşağıda Şekil 4.7’de verilmiş olan grafikte de açıkça görülebilmektedir.

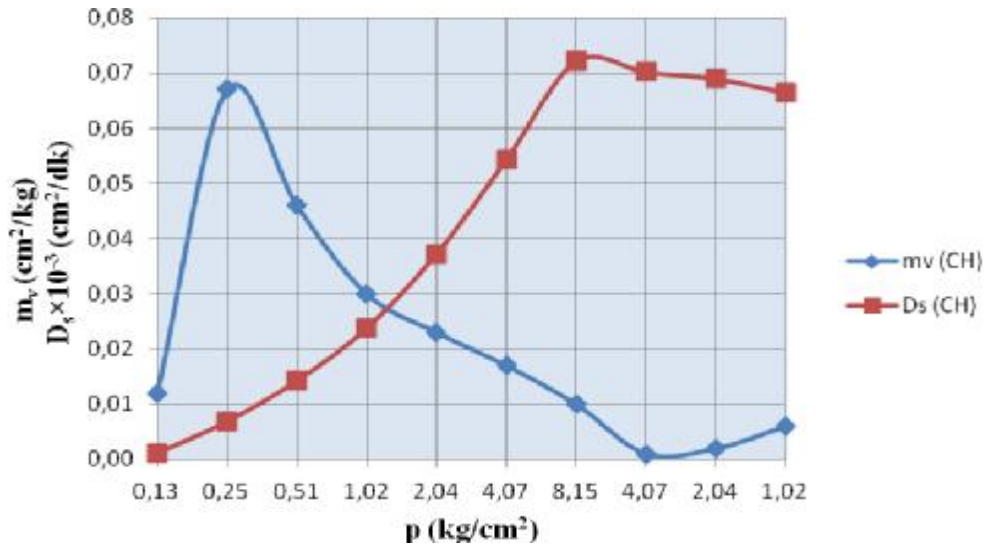


Şekil 4.7. CL ve CH Grubu Zeminlerin Basınç Kademesine (p) göre Difüzivite Katsayıları ($D_s \times 10^{-4}$) İlişkisi

Buna ek olarak, CL ve CH grubu zeminlerin, basınç kademesine göre hacimsel sıkışma katsayıları (m_v) ve difüzivite katsayıları (D_s) arasındaki ilişkiler, aşağıda Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiş olan grafiklerde görülebilir.

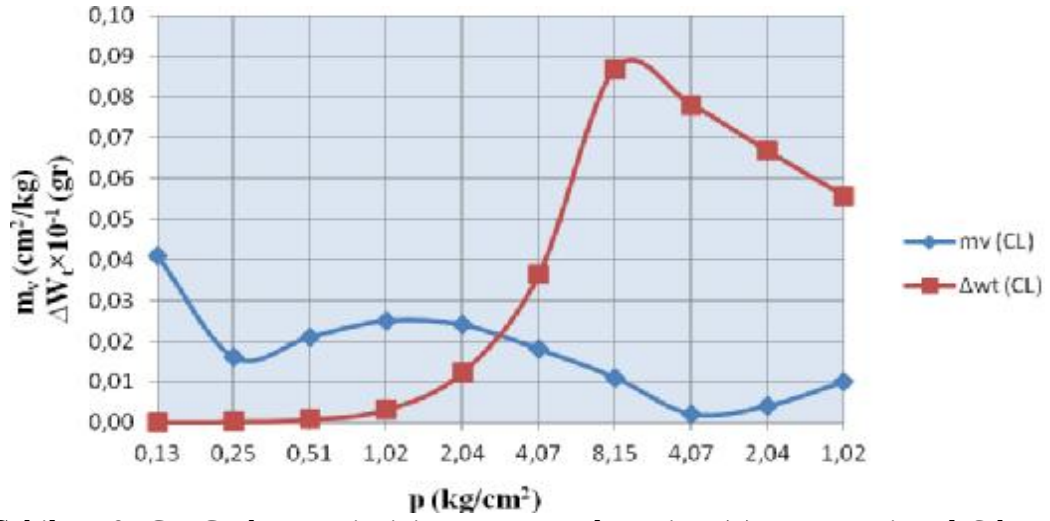


Şekil 4.8. CL Grubu Zemin için Basınç Kademesine (p) göre m_v ve D_s ($\times 10^{-3}$) ilişkisi

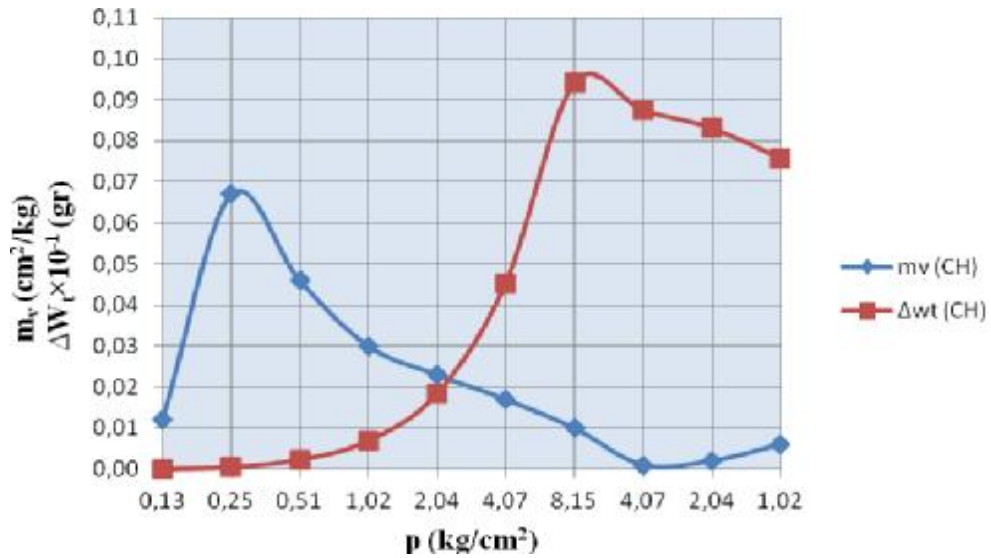


Şekil 4.9. CH Grubu Zemin için Basınç Kademesine (p) göre m_v ve D_s ($\times 10^{-3}$) ilişkisi

Aşağıda, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiş olan grafiklerde ise, CL ve CH grubu zeminler için basınç kademelerine göre hacimsel sıkışma katsayıları (m_v) ile toplam sıkışan zemin miktarları (ΔW_t) arasındaki ilişkiler incelenebilir.



Şekil 4.10. CL Grubu Zemin için Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayıları (m_v) ile Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t × 10⁻¹) ilişkisi



Şekil 4.11. CH Grubu Zemin için Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayıları (m_v) ile Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t × 10⁻¹) ilişkisi

CL ve CH zeminlerine ait yukarıdaki m_v ile D_s ilişkileri ve m_v ile ΔW_t ilişkileri incelenecek olursa, yine CH grubu zemindeki sıkışma ve dispersif özelliklerin CL grubu zemine göre daha yüksek olacağı söylenebilir. Zaman içinde zeminin sıkışabilirliği azalırken dispersif ve difüzif özellikleri ve dolayısıyla sıkışan zemin miktarları artmaktadır. Dispersif akılar ve dispersiyona uğrayan zemin

miktarları, CL grubu zeminde daha küçüktür. Başka ifadeyle, plastisitesi yüksek killi zeminlerde, ΔW_t toplam sıkışan zemin miktarı daha fazla olmaktadır. Yalnızca 0.13 kg/cm^2 lik ilk gerilme değeri için CL grubu zeminin difüzivite katsayısı CH grubu zemininkine göre bir miktar daha fazla çıkmıştır. Bunun sebebi ise yükleme basıncının çok düşük olması ve ön-konsolidasyon basıncının etkisinden dolayıdır.

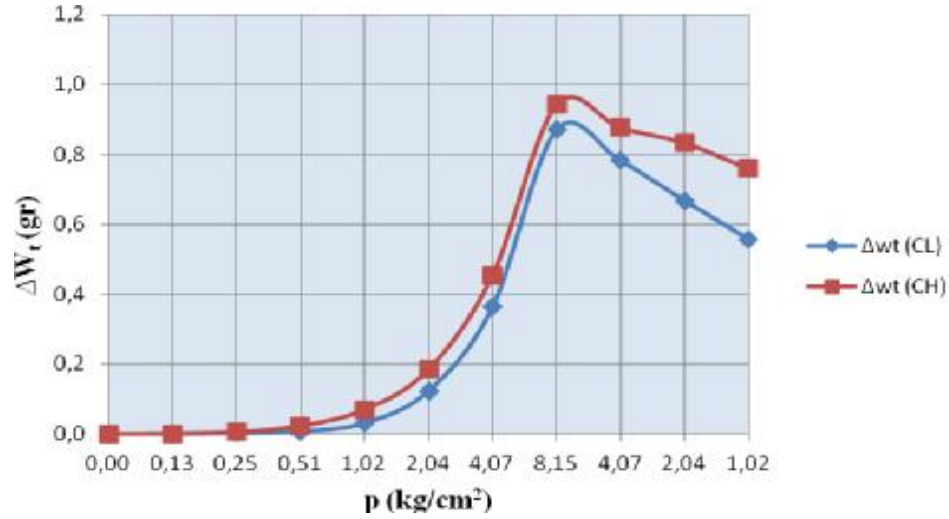
Çizelgelerde görülen akılar, 3.35.a numaralı ifadeyle, her bir basınç kademesi sonu için hesaplanmıştır. Bu ifadede zamanın olması ve 3.35.b eşitliği ile verilen x dispersif değişkeninin hem z hem de t değişkenlerini içermesi, zaman ve mekanın dispersif akı üzerindeki etkilerini gösterir. Bu eşitlikler, aşağıda yeniden sırasıyla verilmiştir:

$$J_s = \sqrt{\frac{D_s}{p t}} (g_{kf} - g_{ki}) e^{-x^2}$$

$$x = \frac{z + v_z t}{2\sqrt{D_s t}}$$

Eşitliklerde aynı zamanda v_z oturma hızlarının mevcudiyeti, dispersif akı üzerinde kıvamın da etkili olabileceğini ifade etmektedir. Çizelgelerin beşinci sütununda akı değerleri verilmiş bulunmaktadır. CL ve CH grubu zeminlere ait akılar karşılaştırıldığında, CH grubu zemine ait dispersif akı değerlerinin daha büyük olduğu, bunun da yüksek plastisite ve kıvamla doğrudan ilişkili olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.11'in son sütunlarında, toplam sıkışan zemin miktarları verilmiştir. Bu değerler, $\Delta W_t = A \Delta z \Delta \gamma_k$ eşitliği ile hesaplanmış olup toplam sıkışmayı göstermektedir. CL ve CH grubu zeminlerin toplam sıkışan zemin miktarları karşılaştırılırsa, yine ön-konsolidasyon basıncının etkili olduğu ilk yükleme değeri dışındaki tüm toplam sıkışma değerlerinin, CH türü zeminde daha fazla olduğu görülebilir. Bu ilişki aşağıda, Şekil 4.12'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 4.12. CL ve CH Grubu Zeminlerde Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) İlişkisi

Bu grafiksel ilişkiden yine açıkça görülebileceği gibi, CH grubu zemine ait toplam sıkışan zemin miktarları, CL grubu zemindekilerden yüksektir. Bu nedenle, CH grubu zemin daha fazla sıkışmaya uğrayacak, dane difüzyonu ve dispersiyon ile daha fazla zemin danesi taşınacak ve yönlendirilerek sıkışacaktır.

Her iki zeminde de, yükleme anında toplam sıkışma sürekli artmakta ve boşaltma anından itibaren zeminde şişme meydana geldiği ve bir kısım zemin sıkışırken bir kısım zeminin de yönlendirilmesi sonucu toplam sıkışmanın düştüğü görülmektedir. Bu da zemin davranışı olarak oldukça doğal bir durumdur. Toplam sıkışma, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.11'in altıncı sütunlarındaki dispersif zemin miktarları ile karşılaştırılırsa, bu zemin miktarının sıkışan ve dispersiyona uğrayan iki kısımdan ibaret olduğu görülebilir. Dispersiyona uğrayan zemin, toplam sıkışan zemin miktarı içinde yer almaktadır. Bunların arasındaki fark, yağlama etkisiyle birbirlerine yaklaşan tabakaları ifade eder. Dispersif zemin miktarı ΔW_s , zemin boşluklarını doldurması ve yönlendirilmeye uğraması nedeniyle daha sıkı bir zeminin oluşmasına ve ön-konsolidasyon basıncının artmasına neden olur. Yine, 3.36 numaralı eşitlikle verilen ifadede zaman ve mekan değişkenlerinin bulunması, ΔW_s dispersif madde miktarını her basınç kademesinde ve her aşamada hesaplama imkanını vermektedir.

Konsolidasyondaki su hızlarına gelince, her bir basınç kademesi içerisinde, dispersif hız 3.33 denklemi ile verilmiş ve logaritmali terimin yanındaki 0.5 lik miktar ihmal edilmişti. Bu durumda, oturma hızları için, aşağıdaki ifade verilebilir:

$$v_z = \frac{z}{2t} \ln \frac{z}{z_i} \quad (3.37)$$

Bu durumu kıyaslamak için, CL grubu zemine ait 0.51 kg/cm² lik gerilme değeri için Çizelge 4.12 verilmiştir. Bu değerler, deneylerde 1/100 duyarlılığında okunmuştur.

Çizelge 4.12. CL Grubu Zeminde 0.51 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi

Süre	Sıkışma	Numune	Sıkışma	Deneysel	Kuramsal
		Boy	Farkı	Oturma Hızı	Hız
t (dk)	D_z (mm)	H (mm)	DH (mm)	$v_z = \frac{DH}{2t}$ (mm/dk)	$v_z = \frac{z}{2t} \ln \frac{z}{z_i}$ (mm/dk)
0	0.142	19.858	0.000	0.0000	-
0.1	0.155	19.845	0.013	0.0650	0.0650
0.3	0.170	19.830	0.028	0.0467	0.0466
0.5	0.171	19.829	0.029	0.0290	0.0290
1.0	0.175	19.825	0.033	0.0165	0.0165
2.0	0.178	19.822	0.134	0.0335	0.0090
5.0	0.184	19.816	0.036	0.0036	0.0042
10.0	0.190	19.810	0.048	0.0024	0.0024
20.0	0.198	19.802	0.056	0.0014	0.0014
30.0	0.200	19.800	0.058	0.0010	0.0010
40.0	0.205	19.795	0.063	0.0008	0.0008
60.0	0.210	19.790	0.068	0.0006	0.0006

Verilen bu çizelgeden görülebileceği gibi, deneysel oturma hızlarıyla kuramdan bulunan oturma hızları birbirlerine oldukça yakındır. Bu da kuramın doğruluğunu ve uygulamada kullanılabileceğini gösterir.

Zeminlerin hızları ve dispersiyon katsayıları arasındaki ilişkiler ise ileride verilmiş olan grafiklerde gösterilmiştir.

Yine, 2.55.c ile verilen hız ifadesi, 3.1 numaralı diferansiyel denklemin çözümlerinden elde edilmiştir ve bu değer zemin içerisindeki boşluk suyu hızını göstermektedir. Bunu belirtmek için Çizelge 4.13 hazırlanmış bulunmaktadır. Oturma hızı ve boşluk suyu hızları tayin edilebildiğine göre zemin iskeletinin sıkışma hızları da bulunabilmektedir. Bu durumu göstermek ve mukayese yapabilmek için yine aynı çizelgeye müracaat edilebilir.

Çizelge 4.13. CL Grubu Zeminde 0.51 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Deneysel Oturma Hızları, Boşluk Suyu Hızları ve Zemin İskeletinin Sıkışma Hızları İlişkisi

Süre	Sıkışma	Numune	Boşluk	Deneysel	Boşluk Suyu	Zemin İsk.
		Boy	Oranı	Oturma	Hızı	Sıkışma
				Hızı		Hızı
t	D_z	H	e	$v_z = \frac{DH}{2t}$	$v_{z2} = \frac{z}{2t} \frac{e}{e_i} - \frac{e}{e_i} \frac{e}{e_i}$	$v_s = v_z - v_{z2}$
(dk)	(mm)	(mm)	(%)	(mm/dk)	(mm/dk)	(mm/dk)
0	0.142	19.858	89.80	0.0000	-	0.000
0.1	0.155	19.845	89.68	0.0650	0.0650	0.000
0.3	0.170	19.830	89.53	0.0467	0.0467	0.000
0.5	0.171	19.829	89.52	0.0290	0.0290	0.000
1.0	0.175	19.825	89.48	0.0165	0.0165	0.000
2.0	0.178	19.822	89.46	0.0335	0.0090	2.45×10^{-2}
5.0	0.184	19.816	89.40	0.0036	0.0042	-6.0×10^{-4}
10.0	0.190	19.810	89.34	0.0024	0.0024	0.000
20.0	0.198	19.802	89.26	0.0014	0.0014	0.000
30.0	0.200	19.800	89.25	0.0010	0.0010	0.000
40.0	0.205	19.795	89.20	0.0008	0.0008	0.000
60.0	0.210	19.790	89.15	0.0006	0.0006	0.000

Bu çizelge incelendiğinde, oturma hızlarıyla boşluk suyu hızlarının birbirlerine çok yakın değerler aldıkları görülebilir. Sadece birinci ve beşinci dakikalar arasında, zemin ani bir sıkışma ve arkasından şişme gösterdiği için değerlerde bir miktar sapma olmuş, diğer değerler birbirlerine eşit çıkmıştır. Kuramın sağlamış olduğu olanak ile zemin iskeletindeki v_s sıkışma hızları hesaplanabilmektedir. Bu durum, zeminlerin viskoz etkilerinin de hesaplanabilme imkanını doğurabilir. Bu durum göz önüne alınarak, 2.5.b numaralı ifade gereğince, boşluk suyunun boşalma hızları hesaplanabilme olanağına sahiptir.

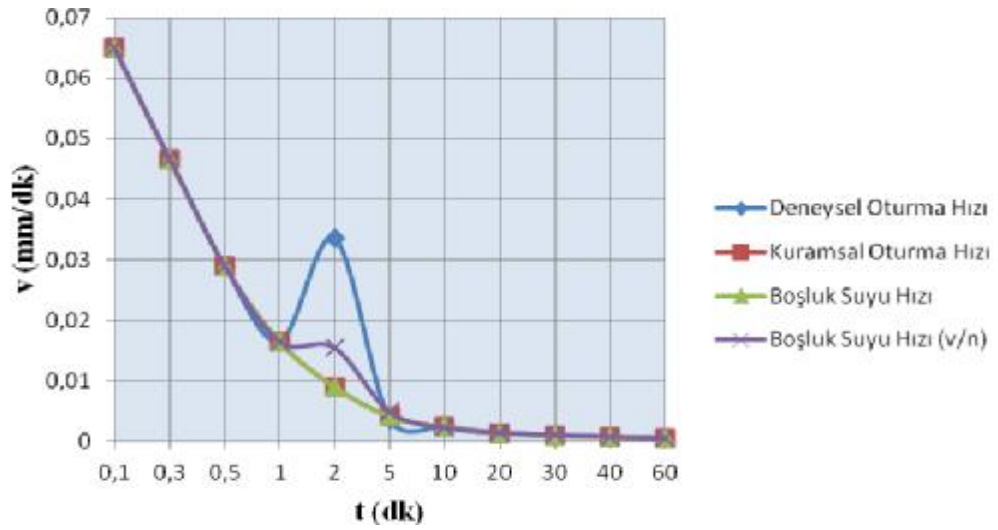
Boşluk suyunun boşalma hızı ve zemin içindeki hızını, oturma hızlarıyla mukayese etmek amacıyla Çizelge 4.14 verilmiştir.

Çizelge 4.14. CL Grubu Zeminde 0.51 kg/cm^2 lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyunun Boşalma Hızı ve Zemin İçindeki Hızının, Oturma Hızlarıyla İlişkisi

Süre	Boşluk Oranı	Porozite	Boşalma Hızı	Boşluk Su Hızı	Oturma Hızı
t (dk)	e (%)	n (%)	$v = \frac{e(v_f - v_s)}{1 + e}$ (mm/dk)	$v_z = \frac{v}{n}$ (mm/dk)	v_z (mm/dk)
0	89.80	47.31	-	-	0.0000
0.1	89.68	47.28	0.0307	0.0650	0.0650
0.3	89.53	47.24	0.0221	0.0468	0.0467
0.5	89.52	47.23	0.0137	0.0290	0.0290
1.0	89.48	47.22	0.0078	0.0165	0.0165
2.0	89.46	47.22	-0.0073	0.0155	0.0335
5.0	89.40	47.20	0.0023	0.0049	0.0036
10.0	89.34	47.18	0.0011	0.0023	0.0024
20.0	89.26	47.16	0.0007	0.0015	0.0014
30.0	89.25	47.16	0.0005	0.0011	0.0010
40.0	89.20	47.15	0.0004	0.0008	0.0008
60.0	89.15	47.13	0.0003	0.0006	0.0006

Bu çizelge incelendiğinde görülebilir ki boşalma hızları çok küçük olmasına rağmen, zemin içerisindeki boşluk suyu hızları deneysel değerlere oldukça yakındır. Oturma hızları da, dikkat edilirse, boşluk suyu hızlarına yakındır.

Boşluk suyu hızları ve oturma hızlarını karşılaştırmak amacı ile Şekil 4.13'deki grafik verilmiştir.



Şekil 4.13. CL Grubu Zeminde Oturma ve Boşluk Suyu Hızları İlişkisi

Bu grafiksel ilişkiden görülebileceği gibi, birinci ve beşinci dakikalar arasında meydana gelen ani sıkışma ve şişme davranışı hızların uyumunu belli bir aralıkta bozmasına rağmen, bu aralık dışındaki tüm deneysel ve teorik hızların birbirleriyle uyumlu olduğunu görebiliriz.

Bu sefer de, CH grubu kilde 0.51 kg/cm^2 lik gerilme değeri için aşağıdaki Çizelge 4.15 verilmiştir. Bu değerler, deneylerde 1/100 duyarlılığında okunmuştur.

Çizelge 4.15. CH Grubu Zeminde 0.51 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi

Süre	Sıkışma	Numune	Sıkışma	Deneysel	Kuramsal
		Boy	Farkı	Oturma Hızı	Hız
t (dk)	D_z (mm)	H (mm)	DH (mm)	$v_z = \frac{DH}{2t}$ (mm/dk)	$v_z = \frac{z}{2t} \ln \frac{e_z}{e_{zi}}$ (mm/dk)
0	0.199	19.801	0.000	0.0000	-
0.1	0.260	19.740	0.061	0.3050	0.3045
0.3	0.285	19.715	0.086	0.1433	0.1430
0.5	0.299	19.701	0.100	0.1000	0.0998
1.0	0.315	19.685	0.116	0.0580	0.0578
2.0	0.333	19.667	0.134	0.0335	0.0334
5.0	0.355	19.645	0.156	0.0156	0.0155
10.0	0.368	19.632	0.169	0.0085	0.0084
20.0	0.379	19.621	0.180	0.0045	0.0045
30.0	0.382	19.618	0.183	0.0031	0.0030
40.0	0.388	19.612	0.189	0.0024	0.0024
60.0	0.391	19.609	0.192	0.0016	0.0016

Verilen bu çizelgeden görülebileceği gibi, CL grubu zemindekine benzer şekilde, deneysel oturma hızlarıyla kuramdan bulunan oturma hızları birbirlerine oldukça yakındır.

Yine, oturma hızı, boşluk suyu hızları ve zemin iskeletinin sıkışma hızlarını göstermek ve mukayese yapabilmek için, aşağıdaki Çizelge 4.16 verilmiştir.

Çizelge 4.16. CH Grubu Zeminde 0.51 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Deneysel Oturma Hızları, Boşluk Suyu Hızları ve Zemin İskeletinin Sıkışma Hızları İlişkisi

Süre	Sıkışma	Numune Boyu	Boşluk Oranı	Deneysel Oturma Hızı	Boşluk Suyu Hızı	Zemin İsk. Sıkışma Hızı
t (dk)	D_z (mm)	H (mm)	e (%)	$v_z = \frac{DH}{2t}$ (mm/dk)	$v_{z2} = \frac{z}{2t} \frac{e}{e_i} - \frac{\partial z}{\partial t}$ (mm/dk)	$v_s = v_z - v_{z2}$ (mm/dk)
0	0.199	19.801	94.25	0.0000	-	0.000
0.1	0.260	19.740	93.65	0.3050	0.3041	9.0×10^{-4}
0.3	0.285	19.715	93.40	0.1433	0.1427	6.0×10^{-4}
0.5	0.299	19.701	93.27	0.1000	0.0995	5.0×10^{-4}
1.0	0.315	19.685	93.11	0.0580	0.0577	3.0×10^{-4}
2.0	0.333	19.667	92.93	0.0335	0.0333	2.0×10^{-4}
5.0	0.355	19.645	92.72	0.0156	0.0155	1.0×10^{-4}
10.0	0.368	19.632	92.59	0.0085	0.0084	1.0×10^{-4}
20.0	0.379	19.621	92.48	0.0045	0.0045	0.0
30.0	0.382	19.618	92.45	0.0031	0.0030	1.0×10^{-4}
40.0	0.388	19.612	92.39	0.0024	0.0023	1.0×10^{-4}
60.0	0.391	19.609	92.36	0.0016	0.0016	0.0

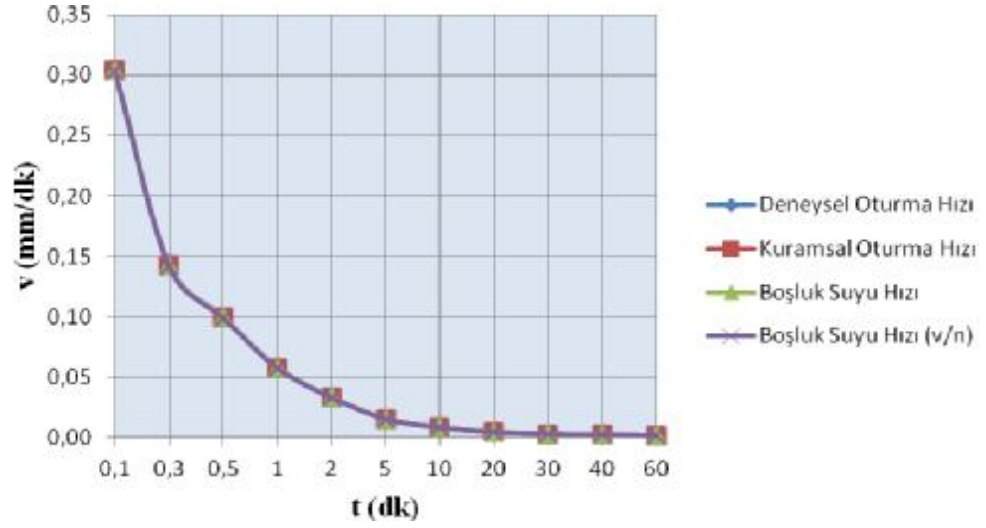
Bu çizelge incelendiğinde görülebilir ki, yine belli bir süre sonra oturma hızlarıyla boşluk suyu hızları aynı değeri almaktadır. Bu durumda, zemin iskeletindeki sıkışmalar, toplam oturmalar ile aynı değere sahip olmaktadır. Viskoz etkiler, özellikle şev stabilitesi problemlerinde önemlidir. Bu nedenle, ileri sürülen kuram şev stabilitesi problemlerine uygulanabilir.

Boşluk suyunun boşalma hızı ve zemin içindeki hızını, oturma hızlarıyla mukayese etmek amacıyla Çizelge 4.17 verilmiştir.

Çizelge 4.17. CH Grubu Zeminde 0.51 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyunun Boşalma Hızı ve Zemin İçindeki Hızının, Oturma Hızlarıyla İlişkisi

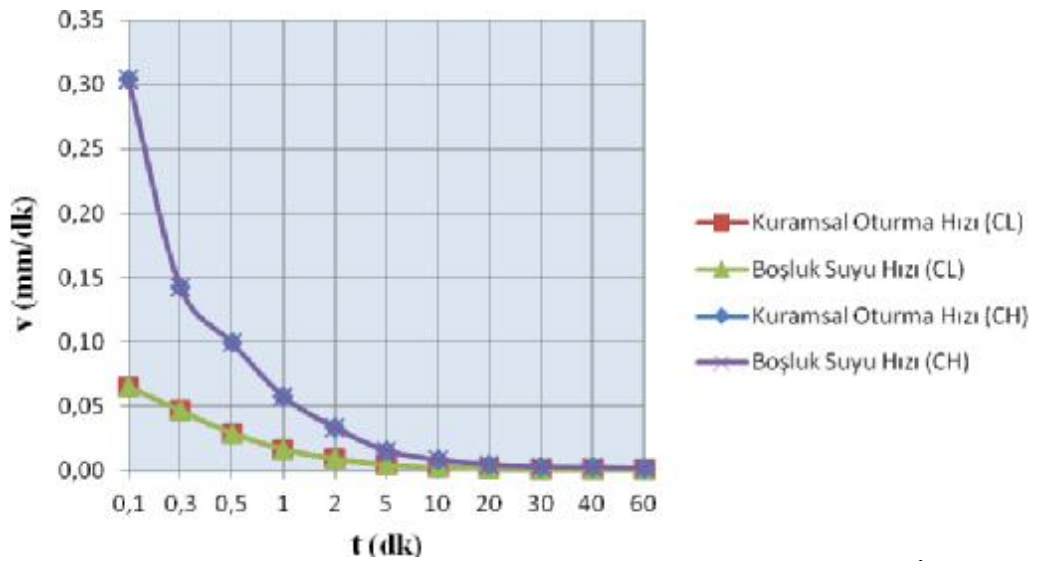
Süre	Boşluk Oranı	Porozite	Boşalma Hızı	Boşluk Su Hızı	Oturma Hızı
t (dk)	e (%)	n (%)	$v = \frac{e(v_f - v_s)}{1 + e}$ (mm/dk)	$v_z = \frac{v}{n}$ (mm/dk)	v_z (mm/dk)
0	94.25	48.52	-	-	0.0000
0.1	93.65	48.36	0.1466	0.3031	0.3050
0.3	93.40	48.29	0.0686	0.1421	0.1433
0.5	93.27	48.26	0.0478	0.0991	0.1000
1.0	93.11	48.22	0.0277	0.0575	0.0580
2.0	92.93	48.17	0.0159	0.0330	0.0335
5.0	92.72	48.11	0.0074	0.0154	0.0156
10.0	92.59	48.08	0.0040	0.0083	0.0085
20.0	92.48	48.05	0.0022	0.0046	0.0045
30.0	92.45	48.04	0.0014	0.0029	0.0031
40.0	92.39	48.02	0.0011	0.0023	0.0024
60.0	92.36	48.01	0.0008	0.0017	0.0016

Çizelge 4.17’de gözlemlenebildiği gibi, boşalma hızları çok küçük olmasına rağmen, zemin içerisindeki boşluk suyu hızları deneysel değerlere oldukça yakındır. Oturma hızları da, dikkat edilirse, boşluk suyu hızlarına yakındır. Oturma hızları, süre ilerledikçe boşluk suyu hızlarına yaklaşır ve zemin hızı, oturma hızı ve boşluk suyu hızı birbirlerine eşit olur. Bunun anlamı, herhangi bir basınç kademesinde, oturma hızları daha yüksek iken gittikçe bu hız boşluk suyu hızına yaklaşmakta ve aynı değeri almaktadır. Bu ilişki, aşağıda Şekil 4.14’de verilmiş olan grafikte görülebilmektedir.

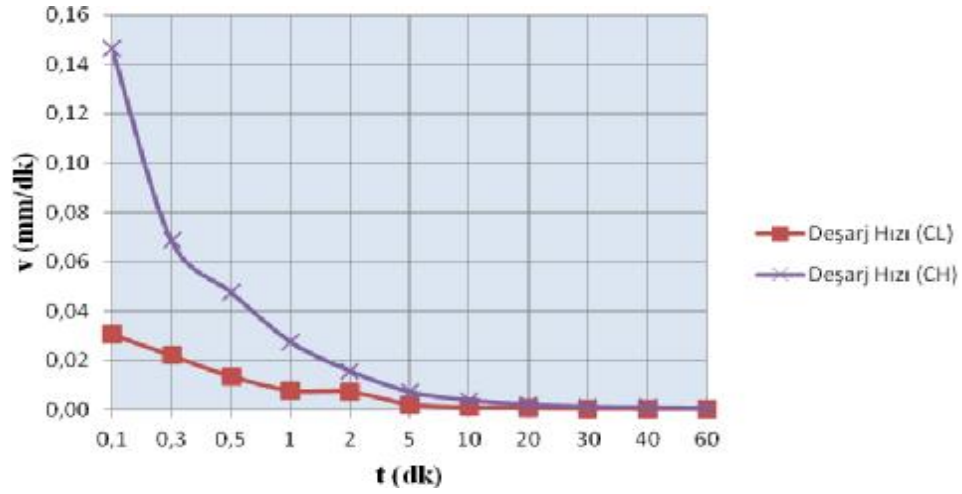


Şekil 4.14. CH Grubu Zeminde Oturma ve Boşluk Suyu Hızları İlişkisi

Bunlara ek olarak, plastisite ve dane boyutuna bağlı oturma ve boşluk suyu hızlarını mukayese edebilmek amacıyla, CL ve CH grubu zeminlerin hızlarını karşılaştıran Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerde, CH grubu zemine ait oturma hızları ve boşluk suyu hızlarının, CL grubu zemine ait hızlardan dikkat çekici şekilde daha fazla olduğunu görebilmekteyiz. Bu olay ise, zeminin plastisitesi arttıkça, kuru birim hacim ağırlık değerlerine de bağlı olarak, oturma ve boşluk suyu hızlarının arttığını göstermektedir.



Şekil 4.15. CL ve CH Grubu Zeminlerde Oturma ve Boşluk Suyu Hızları İlişkisi



Şekil 4.16. CL ve CH Grubu Zeminlerde Deşarj (Boşalma) Hızları İlişkisi

Bu hızlardaki dikkat çekici fark ise, daha önce bahsedildiği gibi, yüksek plastisiteli zeminlerin düşük plastisiteli zeminlere göre daha yüksek difüzivite ve dispersif özellikler gösterdiğini ve yüksek plastisiteli bir zeminde sıkışan ve taşınan madde miktarının, düşük plastisiteli bir zemine göre daha fazla olacağını göstermektedir. Deşarj hızlarına ait Şekil 4.16'da verilen grafikten de açıkça görülebilmektedir ki CH grubu killi zeminde daha hızlı bir drenaj ve buna bağlı olarak ta daha fazla madde taşınması ve sıkışması meydana gelmektedir.

Mersin Akdeniz Karaduvar'da yapılan deneylere ait sonuçlar için Çizelge 4.18, Çizelge 4.19, Çizelge 4.20 ve Şekil 4.17, Mersin Akdeniz Tırmıl için ise Çizelge 4.26, Çizelge 4.27, Çizelge 4.28 ve Şekil 4.20 verilmiştir. Dispersif özellikler ve efektif gerilme farklarındaki değişmelere ait olarak ise Karaduvar için Çizelge 4.21, Çizelge 4.22 ve Şekil 4.18, Tırmıl için ise Çizelge 4.29, Çizelge 4.30 ve Şekil 4.21 verilmiştir.

Çizelge 4.18. Mersin Akdeniz Karaduvar'dan Alınan Numune için Konsolidasyon Okumaları

Süre (dk)	1 kg	2 kg	4 kg	8 kg	16 kg	8 kg	2 kg
0	0	64.0	81.0	110.0	154.0	207.0	200.0
0.1	56.0	68.0	87.0	120.0	164.0	204.0	194.0
0.3	57.0	69.0	88.0	121.0	167.0	203.5	193.5
0.5	57.2	69.4	89.0	121.5	168.0	203.0	193.0
1	57.8	69.8	90.0	123.0	170.0	202.5	192.5
2.25	58.2	70.7	91.5	126.0	172.5	202.0	191.5
4	59.0	72.0	92.5	128.0	175.5	202.0	190.5
6.25	59.3	72.1	94.0	130.0	178.0	201.5	189.0
9	60.0	73.1	95.0	132.0	181.5	201.4	187.9
16	60.4	74.2	98.0	136.0	185.0	201.2	186.1
25	61.1	75.3	100.0	139.1	188.9	201.0	184.9
36	61.5	76.0	101.5	141.7	192.7		183.4
49	62.0	77.0	103.0	143.2	194.7		182.9
64	62.1	77.8	103.8	146.0	197.0		
81	62.5	78.1	104.5	147.0	198.1		
100	62.5	78.5		148.0	199.2		
121	62.9	78.9		149.6	200.5		
240	63.0	80.0		151.2	202.1		
540			109.0	152.4	205.4		
1440	64	81.0	110.0	154.0	207.0	200.0	178.0
Yük (kg)	10	20	40	80	160	80	20
Ger. (kg/cm ²)	0.51	1.02	2.04	4.08	8.15	4.08	1.02

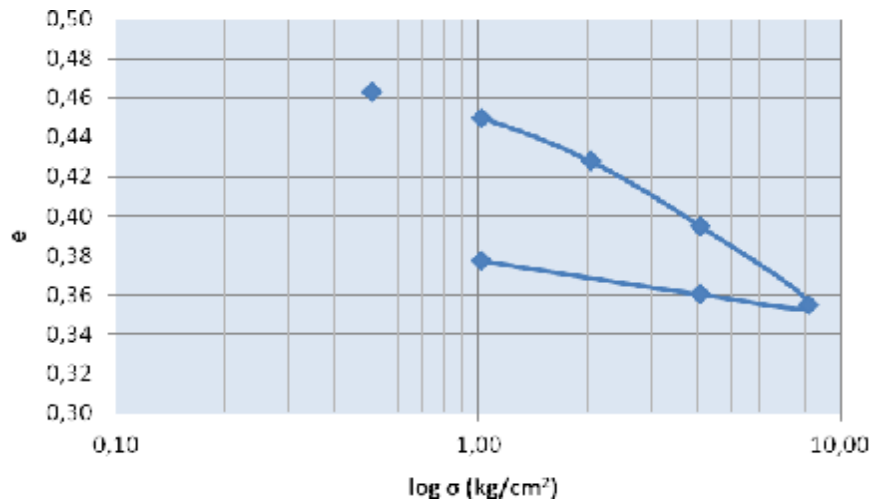
Çizelge 4.19. Mersin Akdeniz Karaduvar'dan Alınan Numune için Deney Başı ve Deney Sonu Değerleri

Deney Başı		Deney Sonu	
H_o (mm)	20.00	H (mm)	18.22
D_o (mm)	50	D (mm)	50
M_{ko} (gr)	66.49	M_k (gr)	66.49
A_o (cm²)	19.63	A (cm²)	19.63
V_o (cm³)	39.26	V (cm³)	35.77
γ_s (gr/cm³)	2.560	γ_s (gr/cm³)	2.560
γ_n (gr/cm³)	1.935	γ_n (gr/cm³)	2.131
e_o	0.511	e_n	0.377
n_o	0.338	n	0.274
S_o (%)	71.20	S (%)	99.50
w_o (%)	14.22	w_n (%)	14.65
γ_k (gr/cm³)	1.694	γ_k (gr/cm³)	1.859

Mersin Karaduvar'dan alınan numunenin deney başı ve deney sonu kuru birim hacim ağırlıkları arasındaki değişim oranı % 9.74 olarak bulunur.

Çizelge 4.20. Mersin Akdeniz Karaduvar'dan Alınan Numune için Konsolidasyon Değer ve Parametreleri

σ (kg/cm ²)	$\Delta\sigma$ (kg/cm ²)	ΔH (mm)	H (mm)	Δe	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0	-	0	20.00	-	0.511		-
0.51	0.51	0.64	19.36	0.048	0.463	0.0941	0.0643
1.02	0.51	0.81	19.19	0.013	0.450	0.0255	0.0176
2.04	1.02	1.10	18.90	0.022	0.428	0.0216	0.0151
4.08	2.04	1.54	18.46	0.033	0.395	0.0162	0.0116
8.15	4.08	2.07	17.93	0.040	0.355	0.0098	0.0072
4.08	4.08	2.00	18.00	0.005	0.360	0.0012	0.0009
1.02	3.06	1.78	18.22	0.017	0.377	0.0056	0.0041

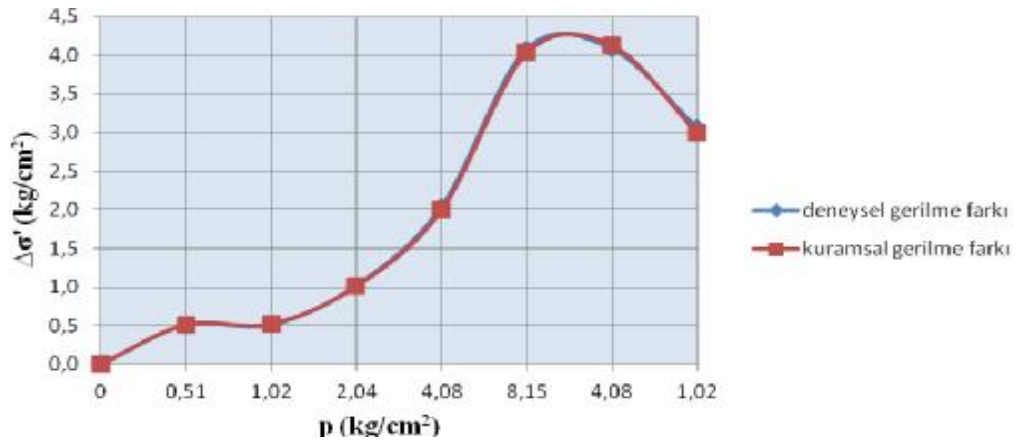
Şekil 4.17. Karaduvar'dan Alınan Zemin için Boşluk Oranı (e) ve Efektif Gerilme ($\log \sigma$) Değişimi Grafiği

Yukarıdaki eğriye göre zeminin ön-konsolidasyon basıncı 1.58 kg/cm² ve AKO=1.814 olup aşırı konsolide bir kildir.

Çizelge 4.21. Mersin Akdeniz Karaduvar'dan Alınan Numuneye ait Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri

Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Basınç Farkı	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Hac. Sık. Kat.	Efektif Ger. Fark
p (kg/cm ²)	H (mm)	e (%)	Δp (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	m_v (cm ² /kg)	σ' (kg/cm ²)
0.00	20.00	51.10	-	1.694	-	-
0.51	19.36	46.30	0.51	1.750	0.0643	0.51
1.02	19.19	45.00	0.51	1.766	0.0176	0.52
2.04	18.90	42.80	1.02	1.793	0.0151	1.01
4.08	18.46	39.50	2.04	1.835	0.0116	2.00
8.15	17.93	35.50	4.08	1.889	0.0072	4.03
4.08	18.00	36.00	-4.08	1.882	0.0009	-4.13
1.02	18.22	37.70	-3.06	1.859	0.0041	-3.00

Yukarıdaki çizelge incelendiğinde, kuramsal yoldan bulunan efektif gerilme farkı değerlerinin yine deneysel gerilme farkı değerlerine çok yakın olduğu görülebilir. Bu durum, Şekil 4.18'deki grafik yardımıyla daha iyi gözlemlenebilir:

Şekil 4.18. Mersin Karaduvar Numunesi için Deneysel (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi

Mersin Karaduvar numunesinin difüzivite katsayısı, dispersiyon akısı, dispersif ve sıkışan zemin miktarları Çizelge 4.22'de sunulmuştur.

Çizelge 4.22. Mersin Karaduvar'dan Alınan Killi Numunenin Dispersiyon Değerleri

Toplam Basınç	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Diff Kats.	Disp Değ.	Disp. Akısı	Dispersif Zem. Mik.	Top. Sık. Zemin
p (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	$D_s \times 10^{-5}$ (cm ² /dk)	x -	J_s (gr/cm ² dk)	ΔW_s (gr)	ΔW_t (gr)
0.00	1.694	-	-	-	-	-
0.51	1.750	2.120	5.54	1.796×10^{-19}	5.08×10^{-15}	0.0704
1.02	1.766	2.640	4.92	1.689×10^{-16}	4.77×10^{-12}	0.1145
2.04	1.793	3.510	4.20	1.904×10^{-13}	5.38×10^{-9}	0.2138
4.08	1.835	4.740	3.53	5.593×10^{-11}	1.58×10^{-6}	0.4262
8.15	1.889	6.100	3.03	2.332×10^{-9}	6.59×10^{-5}	0.7924
4.08	1.882	5.930	3.08	1.633×10^{-9}	4.62×10^{-5}	0.7381
1.02	1.859	5.370	3.28	0.382×10^{-9}	1.08×10^{-5}	0.5765

Aşağıda verilmiş olan Çizelge 4.23, Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25’de ise, 1.02 kg/cm² lik gerilme değeri için, Karaduvar numunesine ait deneysel ve kuramsal oturma ve boşluk suyu hızları görülebilmektedir.

Çizelge 4.23. Mersin Karaduvar'dan Alınan Killi Numunenin, 1.02 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi

Süre	Sıkışma	Numune	Sıkışma	Deneysel	Kuramsal
		Boy	Farkı	Oturma Hızı	Hız
t (dk)	Dz (mm)	H (mm)	DH (mm)	$v_z = \frac{DH}{2t}$ (mm/dk)	$v_z = \frac{z}{2t} \ln \frac{\sigma_z}{\sigma_{zi}}$ (mm/dk)
0.00	0.640	19.360	0.000	0.00000	0.00000
0.10	0.680	19.320	0.040	0.20000	0.19980
0.30	0.690	19.310	0.050	0.08300	0.08320
0.50	0.694	19.306	0.054	0.05400	0.05400
1.00	0.698	19.302	0.058	0.02900	0.02900
2.25	0.707	19.293	0.067	0.01500	0.01490
4.00	0.720	19.280	0.080	0.01000	0.01000
6.25	0.721	19.279	0.081	0.00700	0.00650
9.00	0.731	19.269	0.091	0.00500	0.00500
16.00	0.742	19.258	0.102	0.00300	0.00320
25.00	0.753	19.247	0.113	0.00200	0.00220
36.00	0.760	19.240	0.120	0.00170	0.00170
49.00	0.770	19.230	0.130	0.00130	0.00130
64.00	0.778	19.222	0.138	0.00110	0.00110
81.00	0.781	19.219	0.141	0.00090	0.00090
100.00	0.785	19.215	0.145	0.00070	0.00070
121.00	0.789	19.211	0.149	0.00060	0.00060
240.00	0.800	19.200	0.160	0.00030	0.00030
540.00	0.807	19.193	0.167	0.00020	0.00020
1440.00	0.810	19.190	0.170	0.00006	0.00006

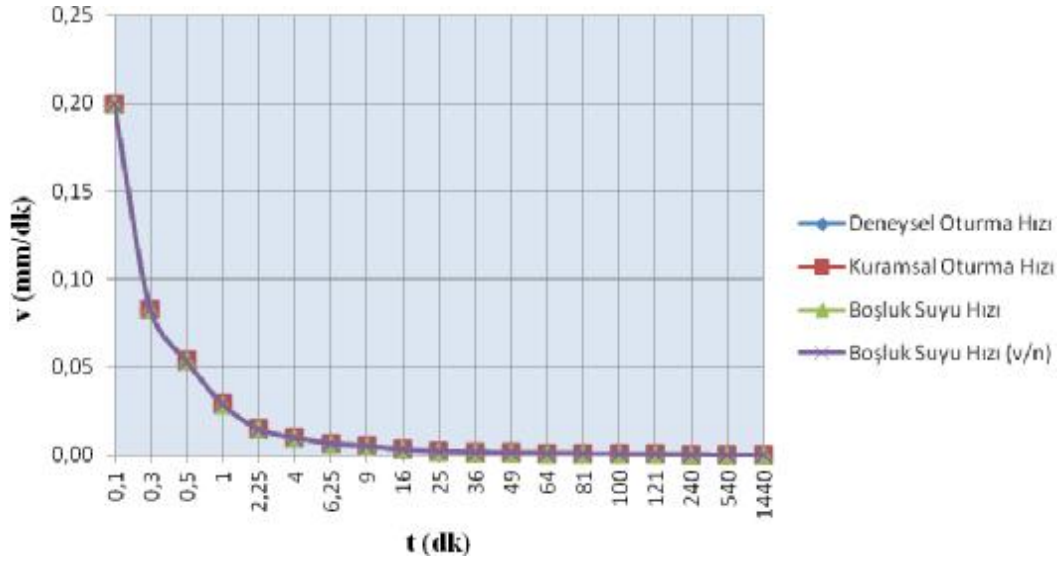
Çizelge 4.24. Mersin Karaduvar'dan Alınan Killi Numunenin, 1.02 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Deneysel Oturma Hızları, Boşluk Suyu Hızları ve Zemin İskeletinin Sıkışma Hızları İlişkisi

Süre	Sıkışma	Numune	Boşluk	Deneysel	Boşluk Suyu	Zemin İsk.
		Boy	Oranı	Oturma	Hızı	Sıkışma
				Hızı		Hızı
t	D_z	H	e	$v_z = \frac{DH}{2t}$	$v_{z2} = \frac{z}{2t} \frac{e}{e_i} - \frac{e_z}{e_i} \frac{v_z}{v_z}$	$v_s = v_z - v_{z2}$
(dk)	(mm)	(mm)	(%)	(mm/dk)	(mm/dk)	(mm/dk)
0.00	0.640	19.360	46.30	0.00000	0.00000	-
0.10	0.680	19.320	45.96	0.20000	0.19960	2.0×10^{-4}
0.30	0.690	19.310	45.89	0.08300	0.08310	1.0×10^{-4}
0.50	0.694	19.306	45.86	0.05400	0.05390	1.0×10^{-4}
1.00	0.698	19.302	45.83	0.02900	0.02890	1.0×10^{-4}
2.25	0.707	19.293	45.76	0.01500	0.01480	1.0×10^{-4}
4.00	0.720	19.280	45.66	0.01000	0.01000	-
6.25	0.721	19.279	45.65	0.00700	0.00650	-
9.00	0.731	19.269	45.58	0.00500	0.00500	-
16.00	0.742	19.258	45.49	0.00300	0.00320	-
25.00	0.753	19.247	45.41	0.00200	0.00220	-
36.00	0.760	19.240	45.36	0.00170	0.00170	-
49.00	0.770	19.230	45.28	0.00130	0.00130	-
64.00	0.778	19.222	45.27	0.00110	0.00110	-
81.00	0.781	19.219	45.20	0.00090	0.00090	-
100	0.785	19.215	45.17	0.00070	0.00070	-
121	0.789	19.211	45.14	0.00060	0.00060	-
240	0.800	19.200	45.06	0.00030	0.00030	-
540	0.807	19.193	45.00	0.00020	0.00020	-
1440	0.810	19.190	44.98	0.00006	0.00006	-

Çizelge 4.25. Mersin Karaduvar'dan Alınan Killi Numunenin, 1.02 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyunun Boşalma Hızı ve Zemin İçindeki Hızının, Oturma Hızlarıyla İlişkisi

Süre	Boşluk Oranı	Porozite	Boşalma Hızı	Boşluk Su Hızı	Oturma Hızı
t (dk)	e (%)	n (%)	$v = \frac{e(v_f - v_s)}{1 + e}$ (mm/dk)	$v_z = \frac{v}{n}$ (mm/dk)	v_z (mm/dk)
0.00	46.30	31.65	-	-	0.00000
0.10	45.96	31.49	0.06280	0.19940	0.20000
0.30	45.89	31.46	0.02610	0.08300	0.08300
0.50	45.86	31.44	0.01690	0.05340	0.05400
1.00	45.83	31.43	0.00910	0.02900	0.02900
2.25	45.76	31.39	0.00460	0.01470	0.01500
4.00	45.66	31.35	0.00310	0.00990	0.01000
6.25	45.65	31.34	0.00200	0.00640	0.00700
9.00	45.58	31.31	0.00160	0.00510	0.00500
16.00	45.49	31.27	0.00100	0.00320	0.00300
25.00	45.41	31.23	0.00070	0.00220	0.00200
36.00	45.36	31.21	0.00050	0.00160	0.00170
49.00	45.28	31.17	0.00040	0.00130	0.00130
64.00	45.27	31.14	0.00030	0.00100	0.00110
81.00	45.20	31.13	0.00028	0.00090	0.00090
100	45.17	31.12	0.00022	0.00070	0.00070
121	45.14	31.10	0.00019	0.00060	0.00060
240	45.06	31.06	0.00009	0.00030	0.00030
540	45.00	31.03	0.00006	0.00020	0.00020
1440	44.98	31.02	0.00002	0.00006	0.00006

Hız ile ilgili yukarıdaki çizelge incelendiği zaman, yine deneysel ve kuramsal oturma hızları ile boşluk suyu hızlarının birbirlerine çok yakın oldukları görülebilir. Bu hız ilişkilerini daha rahat görebilmek için Şekil 4.19 verilmiştir.



Şekil 4.19. Mersin Karaduvar Numunesi için DeneySEL ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları İlişkisi

Aşağıda verilmiş olan çizelge ve şekillerde ise, Tırmıl numunesine ait deneysel ve kuramsal değerler, parametreler ve ilişkiler görülebilir.

Çizelge 4.26. Mersin Akdeniz Tırmıl'dan Alınan Numune için Konsolidasyon Okumaları

Süre (dk)	1 kg	2 kg	4 kg	8 kg	16 kg	8 kg	2 kg
0	0	38.0	67.0	105.1	161.0	232.7	220.2
0.1	14.0	41.5	72.0	112.0	169.0	231.0	217.0
0.3	16.0	43.0	74.0	113.5	170.5	230.0	215.0
0.5	17.0	43.5	75.0	114.5	171.4	229.5	214.5
1	17.5	44.5	75.0	116.0	172.5	229.0	213.5
2.25	19.0	46.0	76.5	118.0	176.0	229.0	213.0
4	20.5	47.0	78.0	120.0	178.0	228.0	211.5
6.25	22.8	48.0	79.0	122.0	180.0	227.5	210.0
9	23.5	49.0	80.5	123.5	182.5		208.2
16	25.0	51.2	82.5	126.5	187.0		206.2
25	27.1	53.1	84.2		191.0		203.8
36	28.8	55.0	87.0		196.4		
49	29.9	56.2			199.8		
64	31.0	57.8					
81	32.0	58.9					
100	33.2	60.0					
121		60.9					
240		64.1					
540							
1440	38.0	67.0	105.1	161.0	232.7	220.2	198.0
Yük (kg)	10	20	40	80	160	80	20
Ger. (kg/cm ²)	0.51	1.02	2.04	4.08	8.15	4.08	1.02

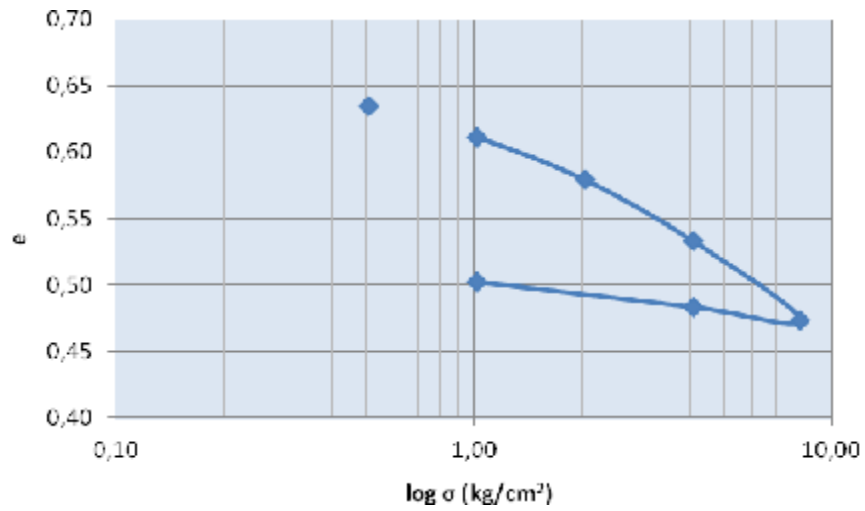
Çizelge 4.27. Mersin Akdeniz Tırmıl'dan Alınan Numune için Deney Başı ve Deney Sonu Değerleri

Deney Başı		Deney Sonu	
H₀ (mm)	20.00	H (mm)	18.02
D₀ (mm)	50	D (mm)	50
M_{k0} (gr)	58.25	M_k (gr)	58.25
A₀ (cm²)	19.63	A (cm²)	19.63
V₀ (cm³)	39.25	V (cm³)	35.37
γ_s (gr/cm³)	2.474	γ_s (gr/cm³)	2.474
γ_n (gr/cm³)	1.764	γ_n (gr/cm³)	1.975
e₀	0.667	e_n	0.502
n₀	0.400	n	0.334
S₀ (%)	69.90	S (%)	98.02
w₀ (%)	18.85	w_n (%)	19.89
γ_k (gr/cm³)	1.484	γ_k (gr/cm³)	1.647

Yukarıdaki çizelgeye göre, bu numunenin deney başı ve deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişim oranı % 10.98 dir. Bu sebeple, Mersin Tırmıl numunesinin, % 9.74 lük kuru birim hacim ağırlık değişim değerine sahip olan Mersin Karaduvar numunesine göre daha yüksek difüzif ve dispersif katsayı ve akı değerlerine sahip olacağı ve Tırmıl numunelerinde daha fazla zeminin sıkışacağı söylenebilir. Bu özellik, numunelerin plastisite indisi değerlerine göre de aynı şekilde yorumlanabilir. Tırmıl numunesi % 41 lik plastisite indisi değeri sebebiyle, % 28 lik plastisite indisine sahip olan Karaduvar numunesinden daha çok sıkışacak ve daha yüksek difüvizite ve dispersivite özellikleri gösterecektir. Bu durum, ileride verilmiş olan çizelgelerde ve grafiklerde görülebilmektedir. Ön-konsolidasyon basıncı etkisiyle belli bir basınç kademesine kadar bu durum gözlenemese de, belli bir basınç kademesinden sonra oldukça belirginleşmektedir.

Çizelge 4.28. Mersin Akdeniz Tırmıl'dan Alınan Numune için Konsolidasyon Değer ve Parametreleri

σ (kg/cm ²)	$\Delta\sigma$ (kg/cm ²)	ΔH (mm)	H (mm)	Δe	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0	-	0	20.00	-	0.667		-
0.51	0.51	0.38	19.62	0.032	0.635	0.0627	0.0383
1.02	0.51	0.67	19.33	0.024	0.611	0.0471	0.0292
2.04	1.02	1.05	18.95	0.032	0.579	0.0314	0.0199
4.08	2.04	1.61	18.39	0.047	0.533	0.0230	0.0150
8.15	4.08	2.33	17.67	0.060	0.473	0.0147	0.0100
4.08	4.08	2.20	17.80	0.010	0.483	0.0025	0.0017
1.02	3.06	1.98	18.02	0.019	0.502	0.0062	0.0041

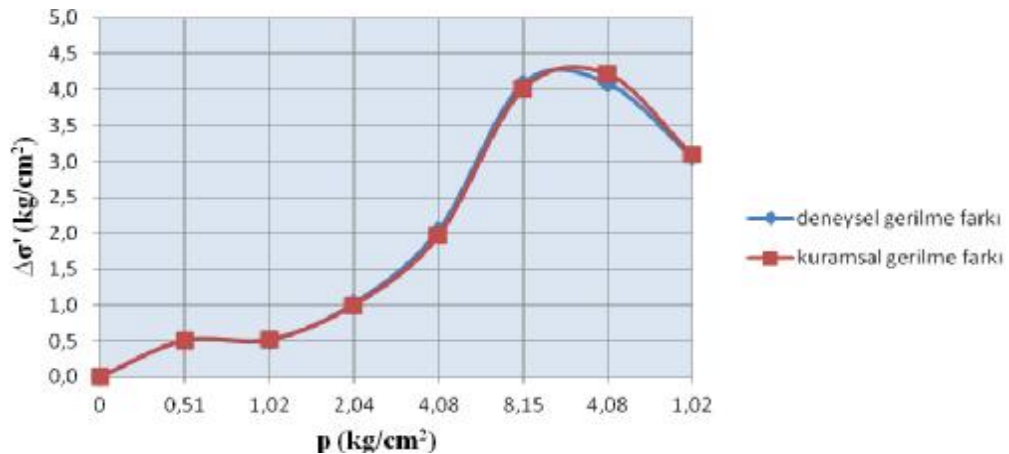
Şekil 4.20. Tırmıl'dan Alınan Zemin için Boşluk Oranı (e) ve Efektif Gerilme (log σ) Değişimi Grafiği

Yukarıdaki eğriye göre zeminin ön-konsolidasyon basıncı 1.80 kg/cm² ve AKO=2.915 olup aşırı konsolide bir kildir.

Çizelge 4.29. Mersin Akdeniz Tırmıl'dan Alınan Numuneye ait Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri

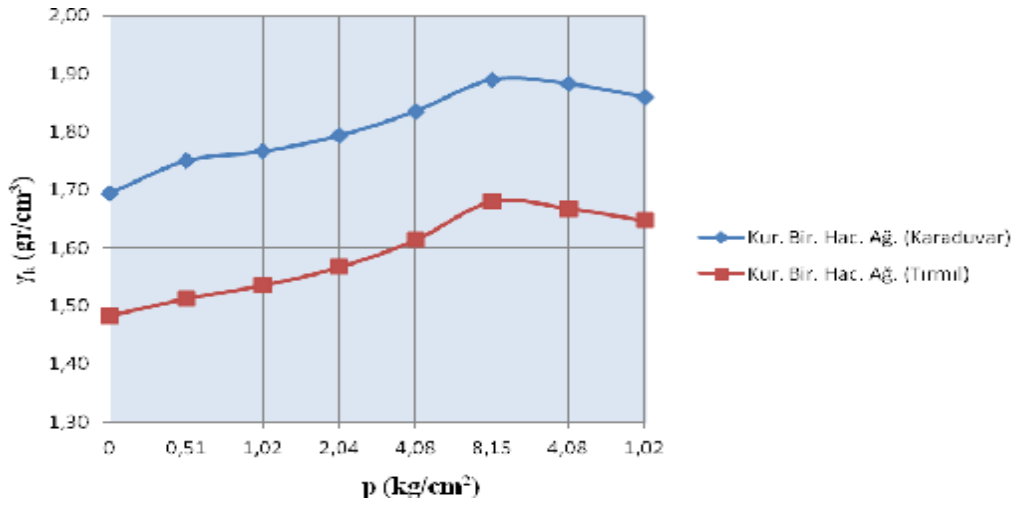
Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Basınç Farkı	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Hac. Sık. Kat.	Efektif Ger. Farkı
p (kg/cm ²)	H (mm)	e (%)	Δp (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	m_v (cm ² /kg)	σ' (kg/cm ²)
0.00	20.00	66.70	-	1.484	-	-
0.51	19.62	63.50	0.51	1.513	0.0383	0.51
1.02	19.33	61.10	0.51	1.536	0.0292	0.52
2.04	18.95	57.90	1.02	1.567	0.0199	1.00
4.08	18.39	53.30	2.04	1.614	0.0150	1.97
8.15	17.67	47.30	4.08	1.680	0.0100	4.01
4.08	17.80	48.30	-4.08	1.668	0.0017	-4.22
1.02	18.02	50.20	-3.06	1.647	0.0041	-3.09

Yukarıdaki Çizelge 4.29 incelendiğinde, aynı diğer numunelerde olduğu gibi, kuramsal efektif gerilme farkı değerleri, deneysel gerilme farkı değerlerine çok yakın sonuçlar vermiştir. Bu durum Şekil 4.21'deki grafikte de gözlemlenebilmektedir.

Şekil 4.21. Mersin Tırmıl Numunesi için Deneysel (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi

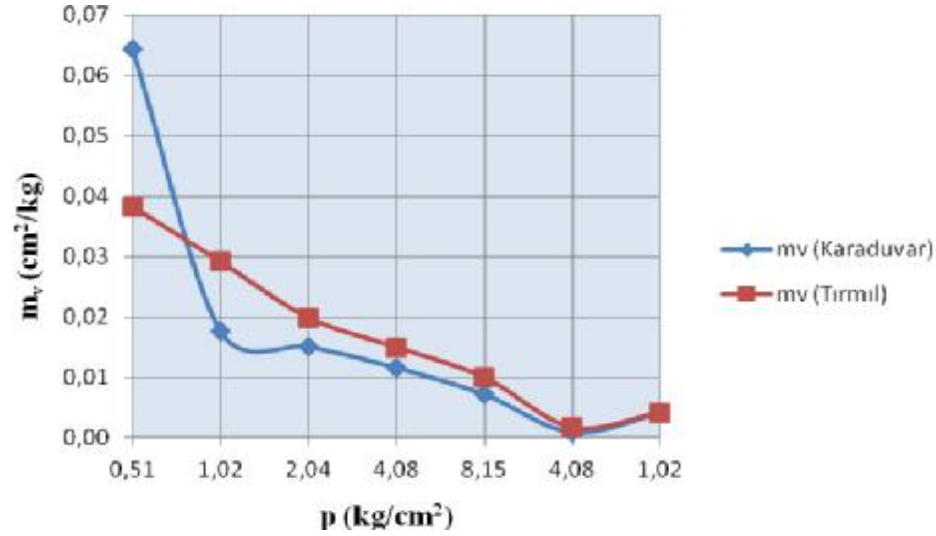
Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinin kuru birim hacim ağırlıkları karşılaştırılacak olursa, Şekil 4.22'deki grafik elde edilir. Bu grafiğe göre Karaduvar

numunesine ait kuru birim hacim ağırlıklar, Tırmıl numunesine ait olanlardan daha yüksek çıkmaktadır. Ayrıca, daha önce de değinilmiş olduğu gibi, Tırmıl numunesinde deney başı ve deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimi, Karaduvar numunesine göre daha fazladır. Bu sebeplerle, Tırmıl numunesinin daha yüksek difüzivite ve dispersiyon değerleri göstermesi ve toplam sıkışan zemin miktarlarının Tırmıl numunesinde daha fazla olması beklenebilir.



Şekil 4.22. Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Kuru Birim Hacim Ağırlıkları (γ_k) İlişkisi

Mersin Karaduvar ve Tırmıl numunelerinin sıkışma özelliklerini karşılaştırmak için, Şekil 4.23'deki hacimsel sıkışma katsayıları (m_v) kıyaslamasını gösteren grafik verilmiştir. Bu grafikten görülebileceği gibi, ilk başta Karaduvar numunesi belli bir basınç kademesine kadar daha fazla sıkışmakta fakat bu basınç kademesi aşıldıktan sonra düzenli olarak Tırmıl numunesi daha fazla sıkışmaya maruz kalmaktadır. Bu da Tırmıl numunesinin daha yüksek plastisiteye sahip olmasının bir sonucudur.



Şekil 4.23. Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayıları (m_v) ilişkisi

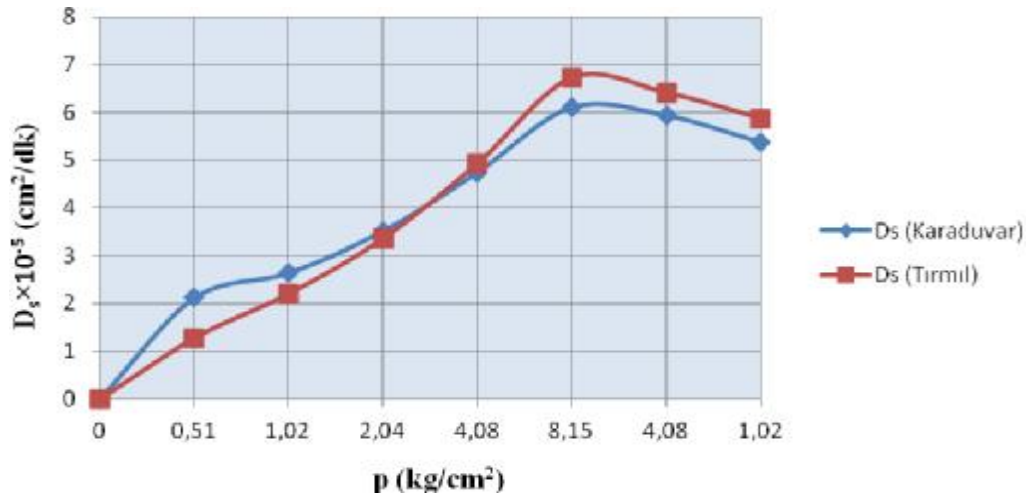
Mersin Tırmıl numunesinin difüzivite katsayısı, dispersiyon akısı, dispersif ve sıkışan zemin miktarları da aşağıdaki Çizelge 4.30'da sunulmuştur.

Çizelge 4.30. Mersin Tırmıl'dan Alınan Killi Numunenin Dispersiyon Değerleri

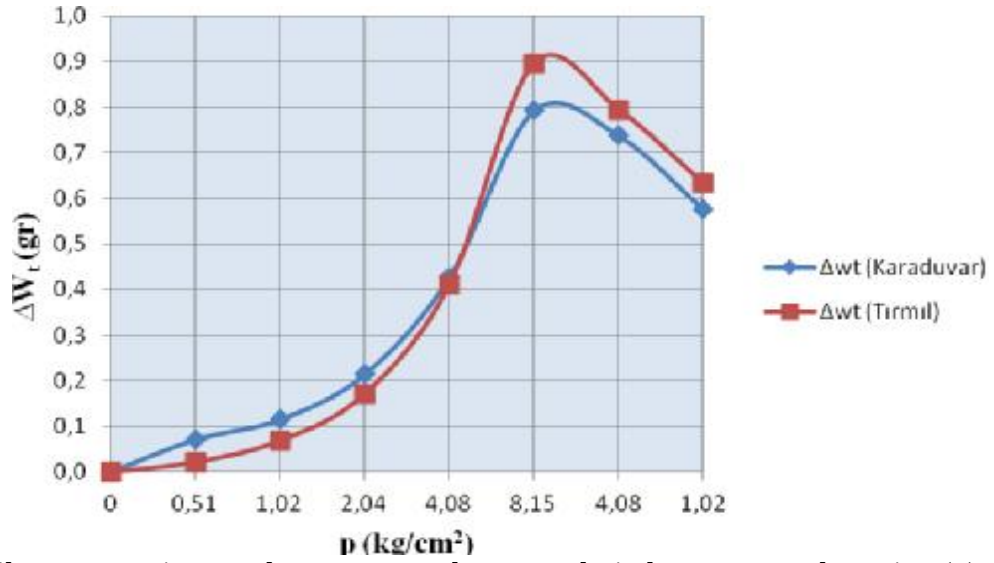
Toplam Basınç	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Dif. Kats.	Disp. Değ.	Dispersiyon Akısı	Dispersif Zem. Mik.	Toplam Sık. Zem.
p (kg/cm²)	γ _k (gr/cm³)	D _s ×10 ⁻⁵ (cm²/dk)	x -	J _s (gr/cm²dk)	ΔW _s (gr)	ΔW _t (gr)
0.00	1.484	-	-	-	-	-
0.51	1.513	1.282	7.22	3.544×10 ⁻²⁹	1.00×10 ⁻²⁴	0.0216
1.02	1.536	2.210	5.42	6.345×10 ⁻¹⁹	1.79×10 ⁻¹⁴	0.0684
2.04	1.567	3.362	4.31	6.125×10 ⁻¹⁴	1.73×10 ⁻⁹	0.1711
4.08	1.614	4.928	3.45	9.190×10 ⁻¹¹	2.60×10 ⁻⁶	0.4109
8.15	1.680	6.714	2.84	7.501×10 ⁻⁹	2.12×10 ⁻⁴	0.8965
4.08	1.668	6.410	2.93	4.094×10 ⁻⁹	1.16×10 ⁻⁴	0.7946
1.02	1.647	5.877	3.10	1.246×10 ⁻⁹	0.35×10 ⁻⁴	0.6335

Görülebildiği gibi, difüzivite katsayıları, dispersiyon akıları, dispersiyona uğrayan ve sıkışan toplam zemin miktarları yükleme aşamasında gittikçe artarken boşaltma aşamasında değerlerde azalma olmaya başlamaktadır.

Yine, Mersin Karaduvar ve Tırmıl numunelerinin difüzivite ve dispersif özelliklerini karşılaştırabilmek adına, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’deki iki grafik verilmiştir. Bu grafiklerden Şekil 4.24’dekinde zeminlerin difüzivite katsayıları (D_s), Şekil 4.25’dekinde ise toplam sıkışan zemin miktarları (ΔW_t) karşılaştırılmıştır.



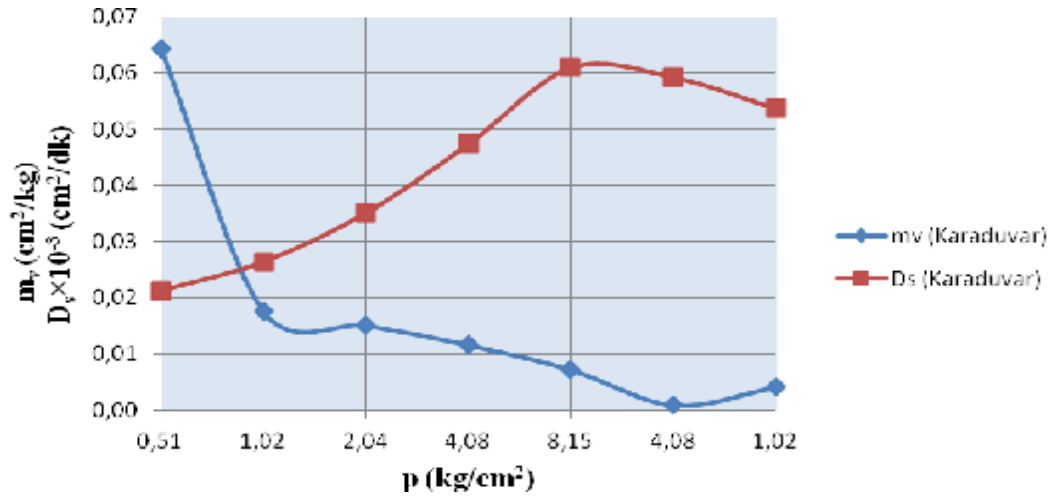
Şekil 4.24. Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde Basınç Kademesine (p) göre Difüzivite Katsayıları ($D_s \times 10^{-5}$) İlişkisi



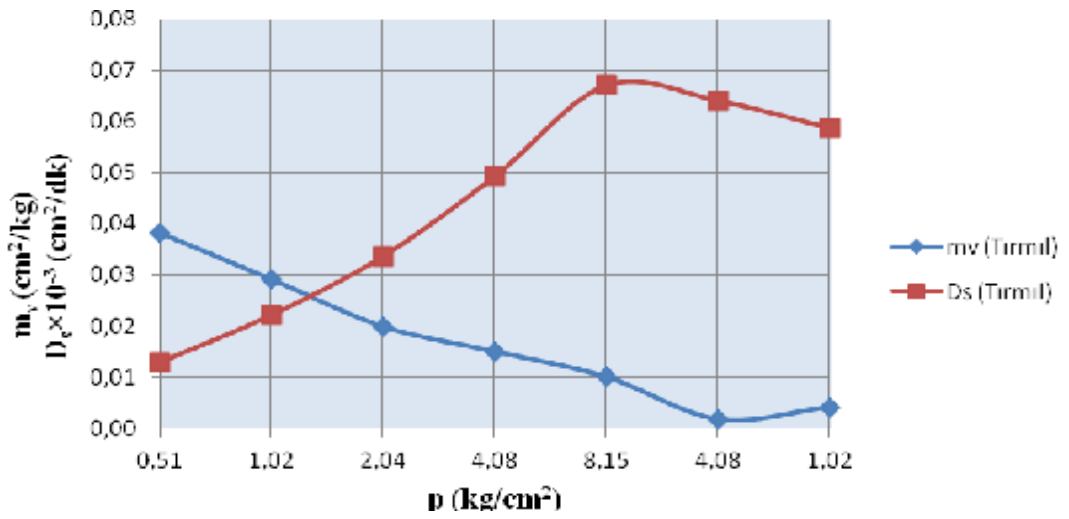
Şekil 4.25. Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) İlişkisi

Burada, yukarıdaki iki grafikten de görülebileceği gibi, belli bir basınç kademesinden sonra plastisitesi daha yüksek olan Tırmıl numunesi daha yüksek difüzyvite katsayısı (D_s) değerleri almakta ve Tırmıl numunesinde toplam sıkışan zemin miktarları (ΔW_t) Karaduvar numunesinden daha fazla olmaktadır.

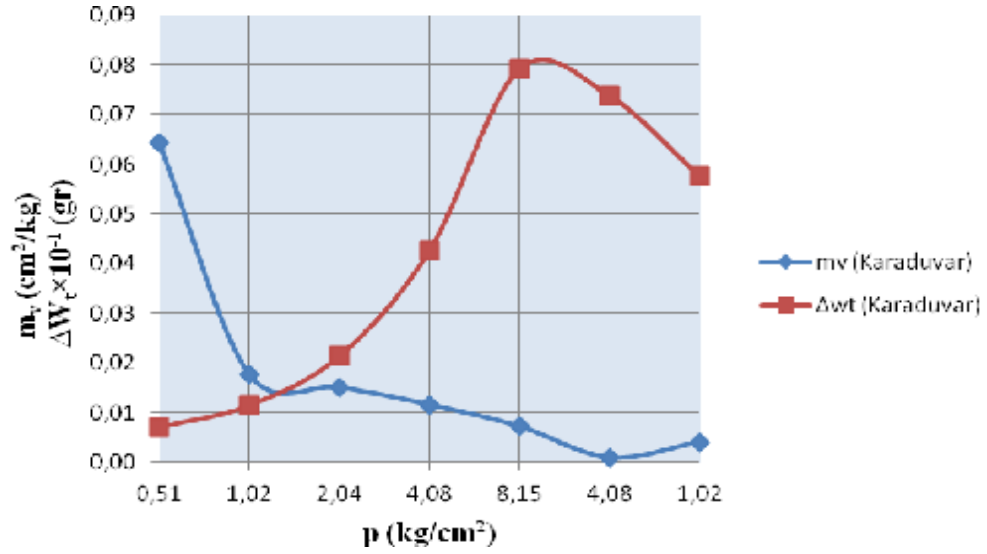
Aşağıda birbirini takip eden Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da önce Karaduvar sonra Tırmıl numunelerine ait hacimsel sıkışma katsayıları (m_v) ile difüzyvite katsayıları (D_s) ve hacimsel sıkışma katsayıları (m_v) ile toplam sıkışan zemin miktarları (ΔW_t) karşılaştırılmıştır. Bu grafiklerden, zeminin sıkışabilirliğinin, difüzyon ve dispersiyon üzerindeki etkileri görülebilmektedir.



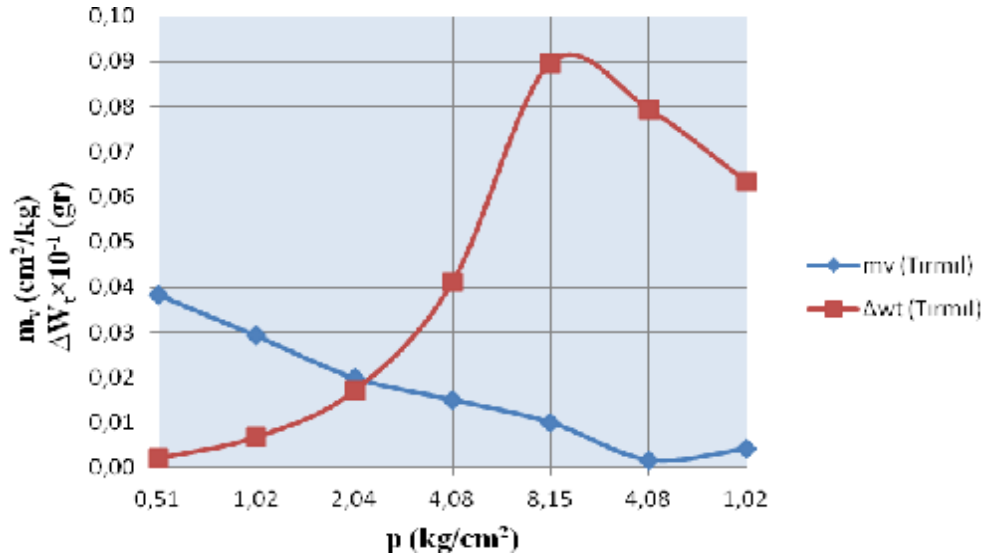
Şekil 4.26. Karaduvar Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayısı (m_v) ve Difüzivite Katsayısı (D_s × 10⁻³) İlişkisi



Şekil 4.27. Tırmıl Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayısı (m_v) ve Difüzivite Katsayısı (D_s × 10⁻³) İlişkisi



Şekil 4.28. Karaduvar Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayısı (m_v) ve Toplam Sıkışan Zemin Miktarları ($\Delta W_t \times 10^{-1}$) İlişkisi

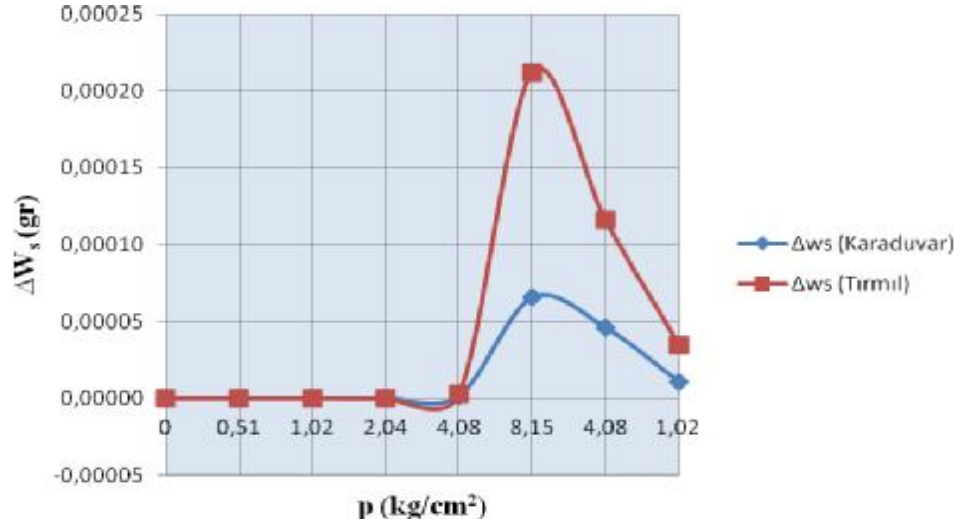


Şekil 4.29. Tırmıl Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayısı (m_v) ve Toplam Sıkışan Zemin Miktarları ($\Delta W_t \times 10^{-1}$) İlişkisi

Bu grafiklerden de anlaşılacağı üzere, zeminlerin sıkışabilirlikleri gittikçe azalırken, difüzif özellikleri ve toplam sıkışan zemin miktarları artmaktadır.

Zemin numunelerinin dispersif zemin miktarları (ΔW_s) birbirleriyle kıyaslanmak istenirse, Şekil 4.30'daki grafik çizilebilir. Bu grafiğe göre, toplam sıkışan zemin miktarları arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 4.25'dekine benzer şekilde,

yüksek plastisiteli Tırmıl numunesinde, plastisite indisi değeri nispeten daha düşük olan Karaduvar numunesinden daha fazla zemin dispersiyona uğramaktadır.



Şekil 4.30. Karaduvar ve Tırmıl Numuneleri için Basınç Kademesine (p) göre Dispersif Zemin Miktarları (ΔW_s) İlişkisi

Tırmıl numunesine ait oturma, boşluk suyu hızı ve deşarj hızlarının deneysel ve kuramsal değerleri Çizelge 4.31, Çizelge 4.32 ve Çizelge 4.33’de verilmiştir.

Çizelge 4.31. Mersin Tırmıl'dan Alınan Killi Numunenin, 1.02 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi

Süre	Sıkışma	Numune	Sıkışma	Deneysel	Kuramsal
		Boy	Farkı	Oturma Hızı	Hız
t (dk)	Dz (mm)	H (mm)	DH (mm)	$v_z = \frac{DH}{2t}$ (mm/dk)	$v_z = \frac{z}{2t} \ln \frac{\sigma_z}{\sigma_i}$ (mm/dk)
0.00	0.380	19.620	0.000	0.00000	0.00000
0.10	0.415	19.585	0.035	0.17500	0.17500
0.30	0.430	19.570	0.050	0.08300	0.08300
0.50	0.435	19.565	0.055	0.05500	0.05500
1.00	0.445	19.555	0.065	0.03300	0.03240
2.25	0.460	19.540	0.080	0.01800	0.01800
4.00	0.470	19.530	0.090	0.01100	0.01100
6.25	0.480	19.520	0.100	0.00800	0.00800
9.00	0.490	19.510	0.110	0.00600	0.00600
16.00	0.512	19.488	0.132	0.00400	0.00400
25.00	0.531	19.469	0.151	0.00300	0.00300
36.00	0.550	19.450	0.170	0.00200	0.00200
49.00	0.562	19.438	0.182	0.00190	0.00190
64.00	0.578	19.422	0.198	0.00150	0.00150
81.00	0.589	19.411	0.209	0.00130	0.00130
100.00	0.600	19.400	0.220	0.00110	0.00110
121.00	0.609	19.391	0.229	0.00090	0.00090
240.00	0.641	19.359	0.261	0.00050	0.00050
540.00	0.658	19.342	0.278	0.00020	0.00026
1440.00	0.670	19.330	0.290	0.00010	0.00010

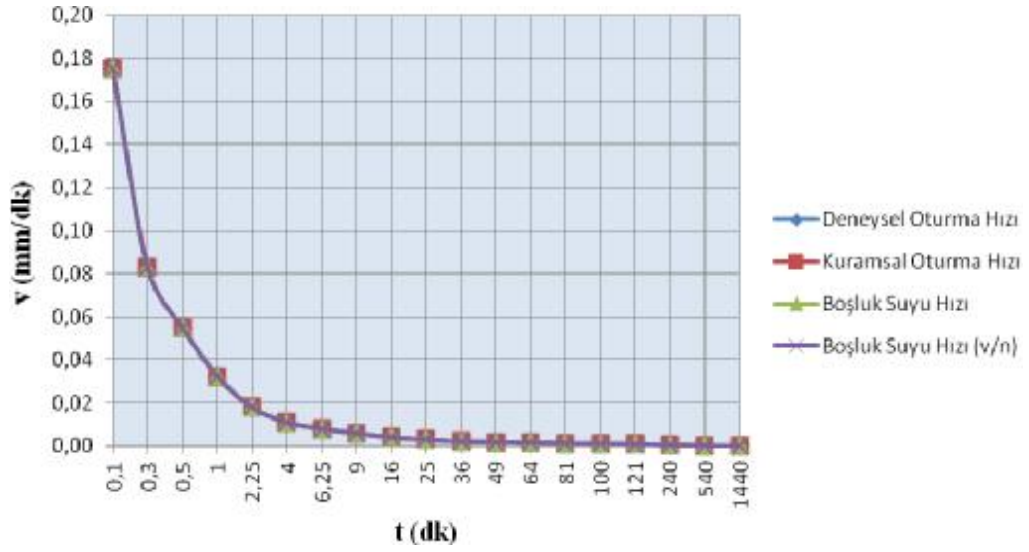
Çizelge 4.32. Mersin Tırmıl'dan Alınan Killi Numunenin, 1.02 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Deneysel Oturma Hızları, Boşluk Suyu Hızları ve Zemin İskeletinin Sıkışma Hızları İlişkisi

Süre	Sıkışma	Numune	Boşluk	Deneysel	Boşluk Suyu Hızı	Zemin İsk.
		Boy	Oranı	Otur.		Sıkışma
		Boy		Hızı		Hızı
t	D_z	H	e	$v_z = \frac{DH}{2t}$	$v_{z2} = \frac{z}{2t} \frac{e}{e_i} - \frac{e_z}{e_i} \frac{\dot{e}}{\dot{e}_i}$	$v_s = v_z - v_{z2}$
(dk)	(mm)	(mm)	(%)	(mm/dk)	(mm/dk)	(mm/dk)
0.00	0.380	19.620	63.50	0.00000	0.00000	-
0.10	0.415	19.585	63.21	0.17500	0.17500	-
0.30	0.430	19.570	63.08	0.08300	0.08300	-
0.50	0.435	19.565	63.04	0.05500	0.05500	-
1.00	0.445	19.555	62.96	0.03300	0.03240	-
2.25	0.460	19.540	62.83	0.01800	0.01800	-
4.00	0.470	19.530	62.75	0.01100	0.01100	-
6.25	0.480	19.520	62.67	0.00800	0.00800	-
9.00	0.490	19.510	62.58	0.00600	0.00600	-
16.00	0.512	19.488	62.40	0.00400	0.00400	-
25.00	0.531	19.469	62.24	0.00300	0.00300	-
36.00	0.550	19.450	62.08	0.00200	0.00200	-
49.00	0.562	19.438	61.98	0.00190	0.00180	1.0×10^{-4}
64.00	0.578	19.422	61.85	0.00150	0.00150	-
81.00	0.589	19.411	61.76	0.00130	0.00130	-
100	0.600	19.400	61.67	0.00110	0.00110	-
121	0.609	19.391	61.59	0.00090	0.00090	-
240	0.641	19.359	61.33	0.00050	0.00050	-
540	0.658	19.342	61.18	0.00020	0.00025	1.0×10^{-4}
1440	0.670	19.330	61.08	0.00010	0.00010	-

Çizelge 4.33. Mersin Tırmıl'dan Alınan Killi Numunenin, 1.02 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyunun Boşalma Hızı ve Zemin İçindeki Hızının, Oturma Hızlarıyla İlişkisi

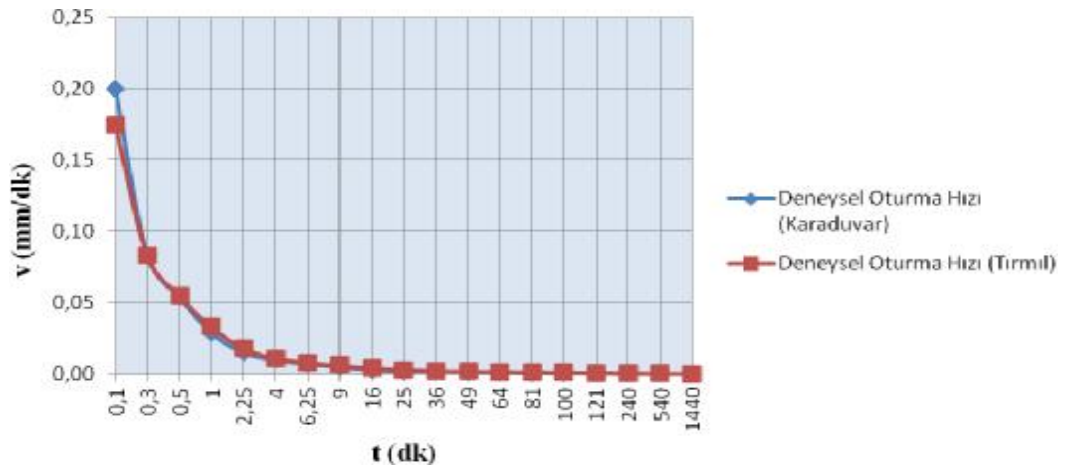
Süre	Boş. Or.	Porozite	Boşalma Hızı	Boş. Su Hızı	Oturma Hızı
t (dk)	e (%)	n (%)	$v = \frac{e(v_f - v_s)}{1 + e}$ (mm/dk)	$v_z = \frac{v}{n}$ (mm/dk)	v_z (mm/dk)
0.00	63.50	38.84	-	0.00000	0.00000
0.10	63.21	38.73	0.06780	0.17500	0.17500
0.30	63.08	38.68	0.03210	0.08300	0.08300
0.50	63.04	38.67	0.02130	0.05500	0.05500
1.00	62.96	38.64	0.01250	0.03230	0.03300
2.25	62.83	38.59	0.00690	0.01800	0.01800
4.00	62.75	38.56	0.00420	0.01100	0.01100
6.25	62.67	38.53	0.00310	0.00800	0.00800
9.00	62.58	38.49	0.00230	0.00600	0.00600
16.00	62.40	38.42	0.00150	0.00400	0.00400
25.00	62.24	38.36	0.00120	0.00300	0.00300
36.00	62.08	38.30	0.00080	0.00200	0.00200
49.00	61.98	38.26	0.00070	0.00180	0.00190
64.00	61.85	38.21	0.00060	0.00160	0.00150
81.00	61.76	38.18	0.00050	0.00130	0.00130
100	61.67	38.15	0.00040	0.00110	0.00110
121	61.59	38.11	0.00030	0.00080	0.00090
240	61.33	38.02	0.00020	0.00050	0.00050
540	61.18	37.96	0.00009	0.00024	0.00020
1440	61.08	37.92	0.00004	0.00010	0.00010

Tırmıl numunesine ait oturma ve boşluk suyu hızları, Şekil 4.31'deki grafikte karşılaştırılmıştır. Grafikten görülebileceği gibi, deneysel ve kuramsal yollardan bulunan hız değerleri birbirlerine çok yakındır.

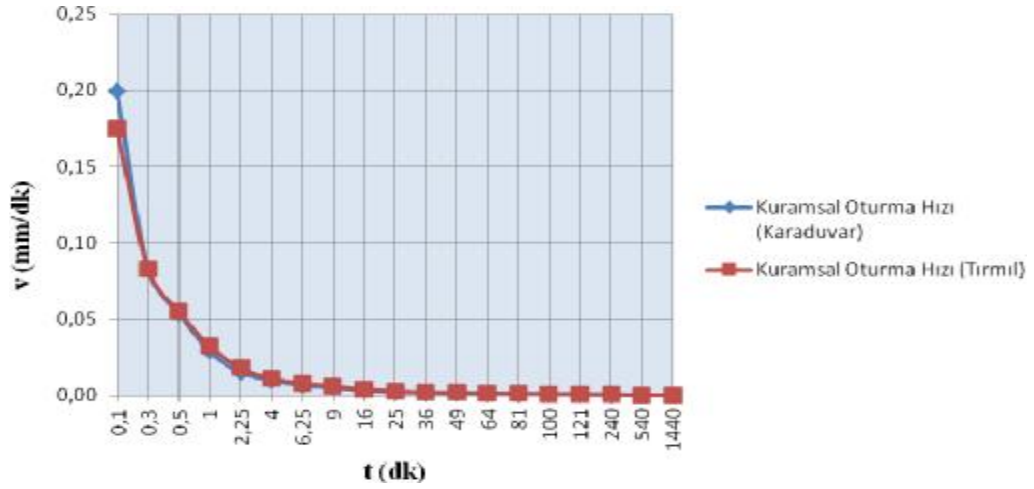


Şekil 4.31. Mersin Tırmıl Numunesinde 1.02 kg/cm² lik Gerilme Değeri için DeneySEL ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları İlişkisi

Karaduvar ve Tırmıl zeminlerinin deneySEL oturma hız değerlerini birbirleriyle kıyaslayabilmek için Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'deki grafikler verilmiştir. Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'deki grafiklerde ise yine Karaduvar ve Tırmıl numunelerinin boşluk suyu hızlarının kıyaslamaları görülebilir.

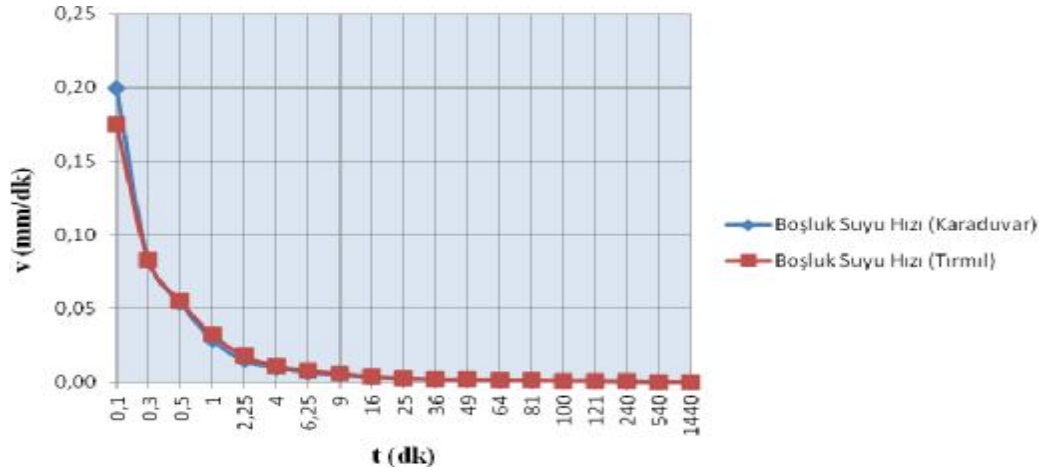


Şekil 4.32. Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 1.02 kg/cm² lik Gerilme Değeri için DeneySEL Oturma Hızları İlişkisi

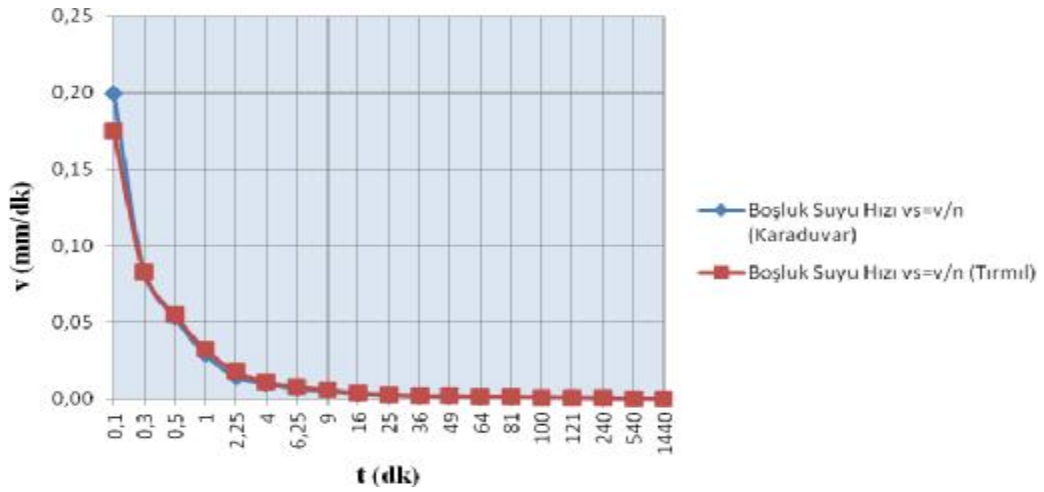


Şekil 4.33. Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 1.02 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Kuramsal Oturma Hızları İlişkisi

Yukarıdaki deneysel ve kuramsal oturma hızları kıyaslamalarından görülebileceği gibi, herhangi bir basınç kademesinin başlarında Karaduvar numunesi bir miktar daha fazla oturma hızı gösterirken, bir süre sonra Tırmıl numunesindeki hız değeri daha yüksek hale gelmekte ve bu şekilde devam etmektedir. Hızlar birbirlerine yakın olmalarına rağmen, ilgili çizelgelerden de takip edilebileceği gibi, plastisitesi ve deney başı-deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimi daha yüksek olan Tırmıl numunesine ait hızlar Karaduvar numunesinden daha yüksektir. Aşağıda verilmiş olan Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'deki grafiklerde ise, Mersin Karaduvar ve Tırmıl numunelerinde, 1.02 kg/cm² lik gerilme değeri için boşluk suyu hızları arasındaki ilişkiler sunulmuştur.



Şekil 4.34. Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 1.02 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyu Hızları İlişkisi



Şekil 4.35. Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 1.02 kg/cm² lik Gerilme Değeri için $v_s=v/n$ ile Bulunan Kuramsal Boşluk Suyu Hızları İlişkisi

Yukarıda deneysel ve kuramsal oturma hızları arasında bahsedilen hız ilişkileri, boşluk suyu hızlarında da aynı şekilde görülmektedir. İlk başlarda daha yüksek olan Karaduvar numunesi boşluk suyu hızını bir süre sonra Tırmıl numunesi içindeki boşluk suyu hızı geçmekte ve basınç kademesi sonuna kadar bu şekilde devam etmektedir. Bu ilişkilerin daha iyi ve belirgin görülebilmesi için, daha yüksek bir basınç kademesindeki hız değerleri hesaplanıp altta çizelgeler ve grafiklerle gösterilecektir. Bu amaçla, 8.15 kg/cm² lik gerilme değerinde, Karaduvar numunesi için deneysel ve kuramsal oturma ve boşluk suyu hızlarını gösteren aşağıdaki Çizelge

4.34, Çizelge 4.35, Çizelge 4.36 ve Şekil 4.36 verilmiştir. Bu yüksek gerilme değerinde hızların verilmesinin amacı, zemin iskeleti sıkışma hızlarının daha belirgin bir şekilde takip edilebilmesidir. Kısıtlı bir zaman aralığı alındığı için, Karaduvar numunesinin hızları Tırmıl numunesinden daha yüksek olarak görülmektedir fakat zaman ilerledikçe plastisite ve deney başı-deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişim değerleri daha yüksek olan Tırmıl numunesine ait hız değerleri, Karaduvar numunesine ait değerleri geçmektedir. Bu olay, basınç kademesi değişimine göre verilmiş olan hız, difüzivite katsayısı ve toplam sıkışan zemin miktarı değişimi grafiklerinden açıkça gözlemlenebilir.

Çizelge 4.34. Mersin Karaduvar'dan Alınan Killi Numunenin, 8.15 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi

Süre	Sıkışma	Numune	Sıkışma	Deneysel	Kuramsal
		Boy	Farkı	Oturma Hızı	Hız
t (dk)	D_z (mm)	H (mm)	DH (mm)	$v_z = \frac{DH}{2t}$ (mm/dk)	$v_z = \frac{z}{2t} \ln \frac{e_z}{e_{z_i}}$ (mm/dk)
0.00	1.540	18.460	0.000	0.00000	0.00000
0.10	1.640	18.360	0.100	0.50000	0.50136
0.30	1.670	18.330	0.130	0.21667	0.21590
0.50	1.680	18.320	0.140	0.14000	0.13947
1.00	1.700	18.300	0.160	0.08000	0.07965
2.25	1.725	18.275	0.185	0.04111	0.04090
4.00	1.755	18.245	0.215	0.02688	0.02672
6.25	1.780	18.220	0.240	0.01920	0.01908
9.00	1.815	18.185	0.275	0.01528	0.01516
16.00	1.850	18.150	0.310	0.00969	0.00961
25.00	1.889	18.111	0.349	0.00698	0.00691
36.00	1.927	18.073	0.387	0.00538	0.00532
49.00	1.947	18.053	0.407	0.00415	0.00411

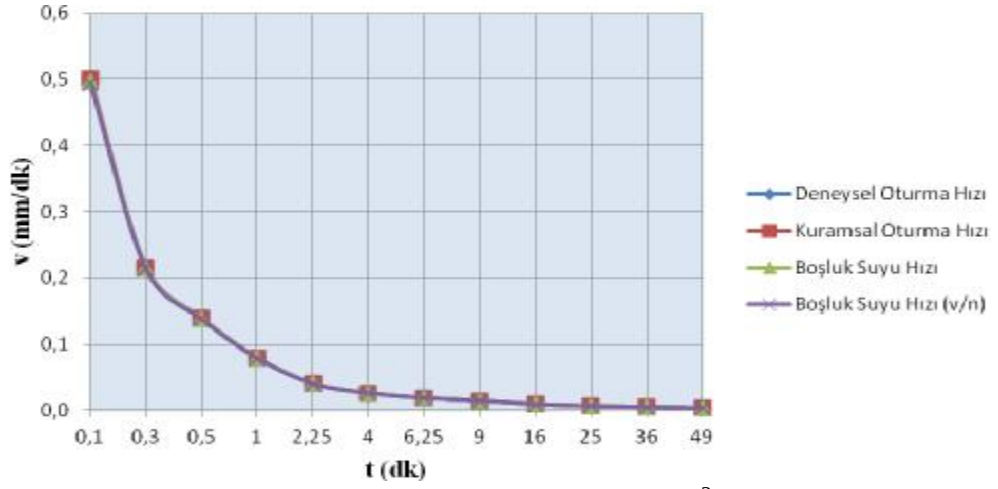
Çizelge 4.35. Mersin Karaduvar'dan Alınan Killi Numunenin, 8.15 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Deneysel Oturma Hızları, Boşluk Suyu Hızları ve Zemin İskeletinin Sıkışma Hızları İlişkisi

Süre	Sıkışma	Numune	Boşluk	Deneysel	Boşluk Suyu Hızı	Zemin İsk.
		Boy	Oranı	Otur.		Sıkışma
				Hızı		Hızı
t	D_z	H	e	$v_z = \frac{DH}{2t}$	$v_{z2} = \frac{z}{2t} \frac{e}{e_i} - \frac{e_z}{e_i} \frac{\dot{e}}{\dot{e}_i}$	$v_s = v_z - v_{z2}$
(dk)	(mm)	(mm)	(%)	(mm/dk)	(mm/dk)	(mm/dk)
0.00	1.540	18.460	39.50	0.00000	0.00000	-
0.10	1.640	18.360	38.74	0.50000	0.49729	2.71×10^{-3}
0.30	1.670	18.330	38.52	0.21667	0.21514	1.53×10^{-3}
0.50	1.680	18.320	38.44	0.14000	0.13894	1.06×10^{-3}
1.00	1.700	18.300	38.29	0.08000	0.07931	0.69×10^{-3}
2.25	1.725	18.275	38.10	0.04111	0.04070	0.41×10^{-3}
4.00	1.755	18.245	37.88	0.02688	0.02656	0.32×10^{-3}
6.25	1.780	18.220	37.69	0.01920	0.01895	0.25×10^{-3}
9.00	1.815	18.185	37.42	0.01528	0.01505	0.23×10^{-3}
16.00	1.850	18.150	37.16	0.00969	0.00952	0.17×10^{-3}
25.00	1.889	18.111	36.86	0.00698	0.00685	0.13×10^{-3}
36.00	1.927	18.073	36.58	0.00538	0.00526	0.12×10^{-3}
49.00	1.947	18.053	36.42	0.00415	0.00406	0.09×10^{-3}

Çizelge 4.36. Mersin Karaduvar'dan Alınan Killi Numunenin, 8.15 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyunun Boşalma Hızı ve Zemin İçindeki Hızının, Oturma Hızlarıyla İlişkisi

Süre	Boş. Or.	Porozite	Boşalma Hızı	Boş. Su Hızı	Oturma Hızı
t (dk)	e (%)	n (%)	$v = \frac{e(v_f - v_s)}{1 + e}$ (mm/dk)	$v_z = \frac{v}{n}$ (mm/dk)	v_z (mm/dk)
0.00	39.50	28.32	-	-	0.00000
0.10	38.74	27.92	0.13810	0.49463	0.50000
0.30	38.52	27.81	0.05940	0.21359	0.21667
0.50	38.44	27.77	0.03828	0.13785	0.14000
1.00	38.29	27.69	0.02177	0.07862	0.08000
2.25	38.10	27.59	0.01112	0.04030	0.04111
4.00	37.88	27.47	0.00721	0.02625	0.02688
6.25	37.69	27.37	0.00512	0.01871	0.01920
9.00	37.42	27.23	0.00404	0.01484	0.01528
16.00	37.16	27.09	0.00253	0.00934	0.00969
25.00	36.86	26.93	0.00181	0.00648	0.00698
36.00	36.58	26.78	0.00138	0.00497	0.00538
49.00	36.42	26.70	0.00106	0.00383	0.00415

Aşağıda Şekil 4.36'da verilmiş olan grafikte, Karaduvar numunesinde 8.15 kg/cm² lik gerilme değeri için deneysel ve kuramsal hızların zamana bağlı karşılaştırılması yapılmıştır. Grafikten görülebileceği gibi deneysel ve kuramsal olarak bulunan bütün hızlar birbirlerine çok yakın çıkmakta ve zaman içinde azalarak basınç kademesi sonunda sıfıra doğru yaklaşmaktadır.



Şekil 4.36. Mersin Karaduvar Numunesinde 8.15 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Deneysel ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları İlişkisi

Şimdi de Mersin Tırmıl'dan alınan zemin numunesinin 8.15 kg/cm² lik gerilme değerinde deneysel ve kuramsal oturma hızları ile boşluk suyu ve deşarj hızlarını göstermek için, Çizelge 4.37, Çizelge 4.38, Çizelge 4.39 ve Şekil 4.37 verilmiştir. Bu grafikler verildikten sonra, 8.15 kg/cm² gerilme için iki numune birbirleriyle oturma ve su hızları bakımından grafiklerle kıyaslanacaktır.

Çizelge 4.37. Mersin Tırmıl'dan Alınan Killi Numunenin, 8.15 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi

Süre	Sıkışma	Numune	Sıkışma	Deneysel	Kuramsal
		Boy	Farkı	Oturma Hızı	Hız
t (dk)	D_z (mm)	H (mm)	DH (mm)	$v_z = \frac{DH}{2t}$ (mm/dk)	$v_z = \frac{z}{2t} \ln \frac{z}{z_i} \frac{\partial z}{\partial t}$ (mm/dk)
0.00	1.610	18.390	0.000	0.00000	0.00000
0.10	1.690	18.310	0.080	0.40000	0.39913
0.30	1.705	18.295	0.095	0.15833	0.15792
0.50	1.714	18.286	0.104	0.10400	0.10371
1.00	1.725	18.275	0.115	0.05750	0.05732
2.25	1.760	18.240	0.150	0.03333	0.03320
4.00	1.780	18.220	0.170	0.02125	0.02115
6.25	1.800	18.200	0.190	0.01520	0.01352
9.00	1.825	18.175	0.215	0.01194	0.01187
16.00	1.870	18.130	0.260	0.00813	0.00807
25.00	1.910	18.090	0.300	0.00600	0.00595
36.00	1.964	18.036	0.354	0.00492	0.00487
49.00	1.998	18.002	0.388	0.00400	0.00392

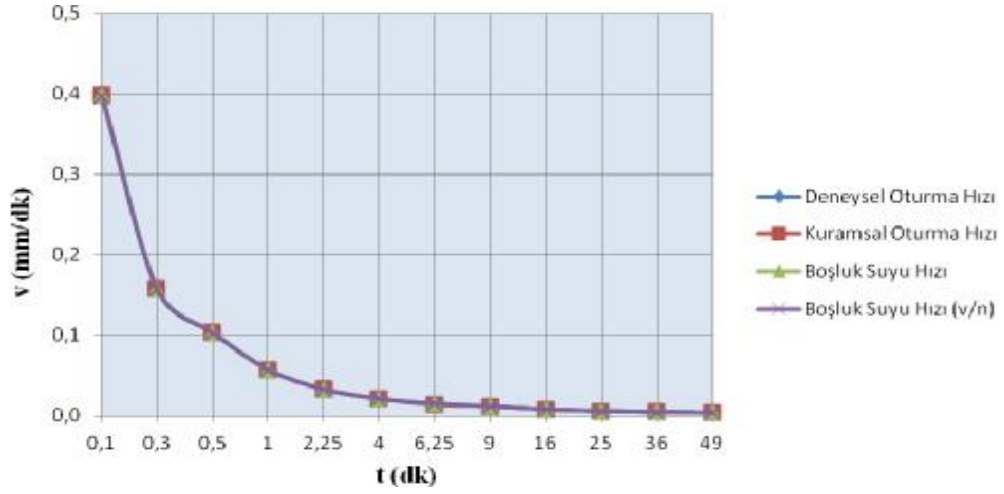
Çizelge 4.38. Mersin Tırmıl'dan Alınan Killi Numunenin, 8.15 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Deneysel Oturma Hızları, Boşluk Suyu Hızları ve Zemin İskeletinin Sıkışma Hızları İlişkisi

Süre	Sıkışma	Numune	Boşluk	Deneysel	Boşluk Suyu Hızı	Zemin İsk.
		Boy	Oranı	Otur.		Sıkışma
				Hızı		Hızı
t	D_z	H	e	$v_z = \frac{DH}{2t}$	$v_{z2} = \frac{z}{2t} \frac{e}{e_i} - \frac{\partial z}{\partial t}$	$v_s = v_z - v_{z2}$
(dk)	(mm)	(mm)	(%)	(mm/dk)	(mm/dk)	(mm/dk)
0.00	1.610	18.390	53.30	0.00000	0.00000	-
0.10	1.690	18.310	52.63	0.40000	0.39826	1.74×10^{-3}
0.30	1.705	18.295	52.51	0.15833	0.15752	0.81×10^{-3}
0.50	1.714	18.286	52.43	0.10400	0.10341	0.59×10^{-3}
1.00	1.725	18.275	52.34	0.05750	0.05714	0.36×10^{-3}
2.25	1.760	18.240	52.05	0.03333	0.03306	0.27×10^{-3}
4.00	1.780	18.220	51.88	0.02125	0.02105	0.20×10^{-3}
6.25	1.800	18.200	51.72	0.01520	0.01504	0.16×10^{-3}
9.00	1.825	18.175	51.51	0.01194	0.01180	0.14×10^{-3}
16.00	1.870	18.130	51.13	0.00813	0.00801	0.12×10^{-3}
25.00	1.910	18.090	50.80	0.00600	0.00590	0.10×10^{-3}
36.00	1.964	18.036	50.35	0.00492	0.00482	0.10×10^{-3}
49.00	1.998	18.002	50.07	0.00400	0.00388	0.12×10^{-3}

Çizelge 4.39. Mersin Tırmıl'dan Alınan Killi Numunenin, 8.15 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyunun Boşalma Hızı ve Zemin İçindeki Hızının, Oturma Hızlarıyla İlişkisi

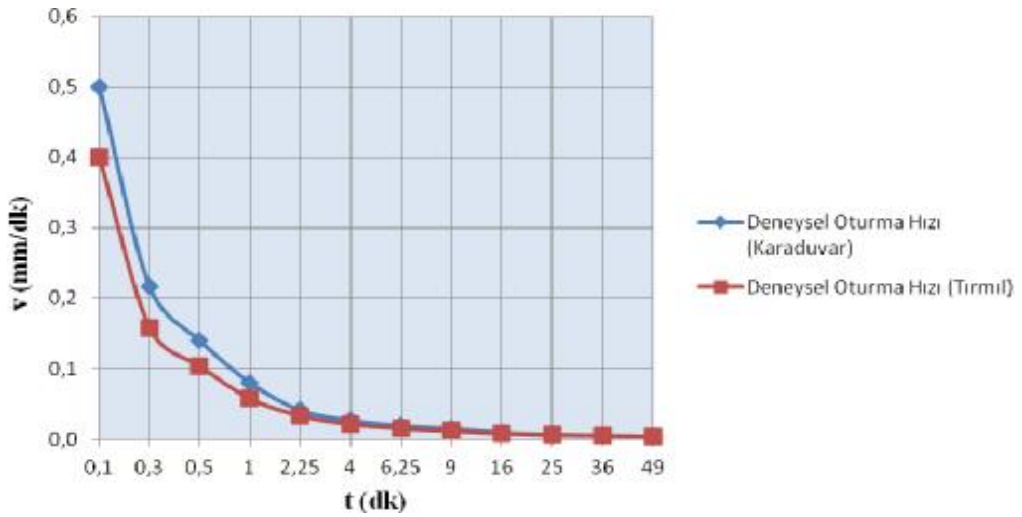
Süre	Boş. Or.	Porozite	Boşalma Hızı	Boş. Su Hızı	Oturma Hızı
t (dk)	e (%)	n (%)	$v = \frac{e(v_f - v_s)}{1 + e}$ (mm/dk)	$v_z = \frac{v}{n}$ (mm/dk)	v_z (mm/dk)
0.00	53.30	34.77	-	0.00000	0.00000
0.10	52.63	34.48	0.13673	0.39655	0.40000
0.30	52.51	34.43	0.05396	0.15672	0.15833
0.50	52.43	34.40	0.03537	0.10282	0.10400
1.00	52.34	34.36	0.01951	0.05675	0.05750
2.25	52.05	34.23	0.01122	0.03249	0.03333
4.00	51.88	34.16	0.00712	0.02084	0.02125
6.25	51.72	34.09	0.00507	0.01487	0.01520
9.00	51.51	34.00	0.00396	0.01165	0.01194
16.00	51.13	33.83	0.00267	0.00767	0.00813
25.00	50.80	33.69	0.00195	0.00562	0.00600
36.00	50.35	33.49	0.00158	0.00458	0.00492
49.00	50.07	33.36	0.00125	0.00364	0.00400

Tırmıl'dan alınan numuneye ait deneysel ve kuramsal oturma ve boşluk suyu hızlarının birbirleriyle kıyaslamasının yapılması için aşağıda Şekil 4.37'deki grafik verilmiştir. Görülebildiği gibi, önceki numunelerdekilere benzer şekilde, bütün deneysel ve kuramsal hızlar birbirlerine çok yakın çıkmakta ve uyum içinde gitmektedirler.

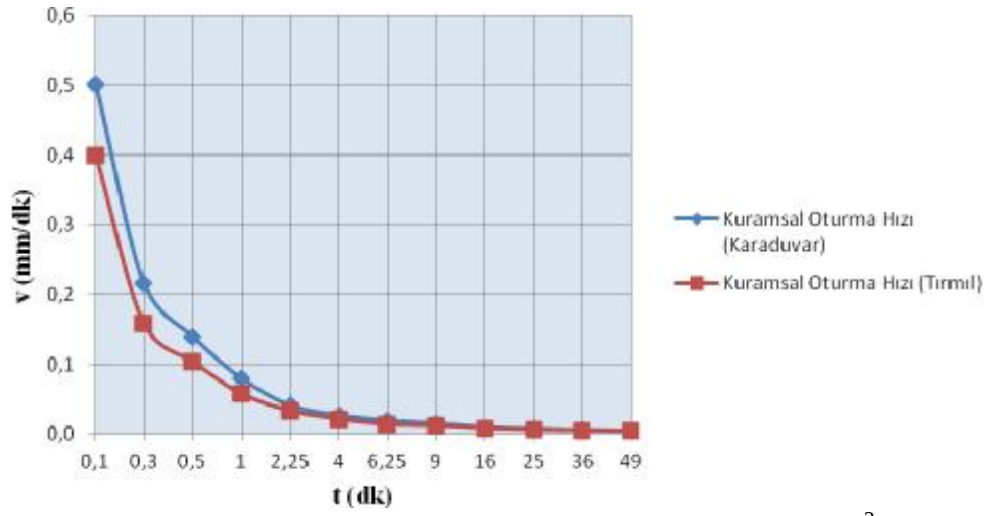


Şekil 4.37. Mersin Tırmıl Numunesinde 8.15 kg/cm² lik Gerilme Değeri için DeneySEL ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları İlişkisi

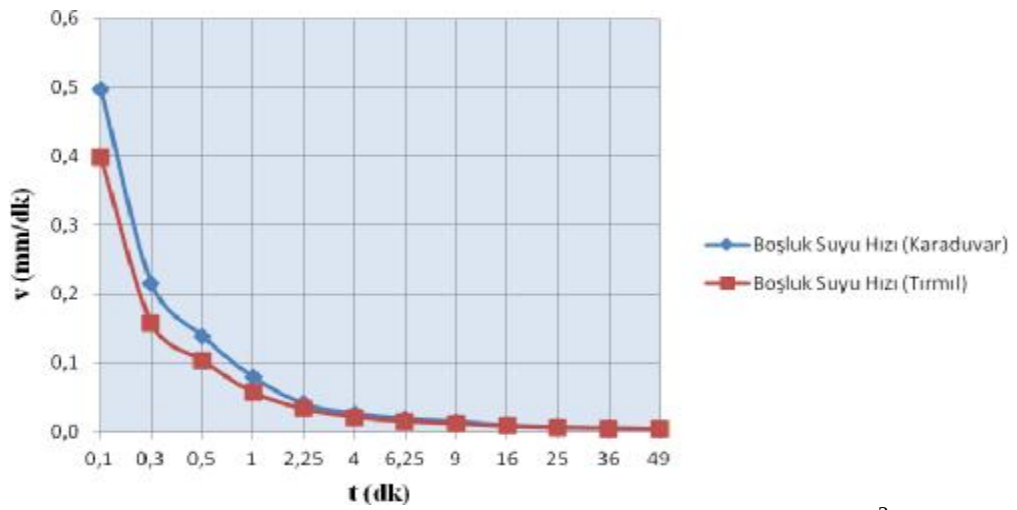
Şimdi de, Karaduvar ve Tırmıl'dan alınan numunelerin deneySEL ve kuramsal hızlarının karşılaştırılması için Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42'deki grafikler incelenebilir.



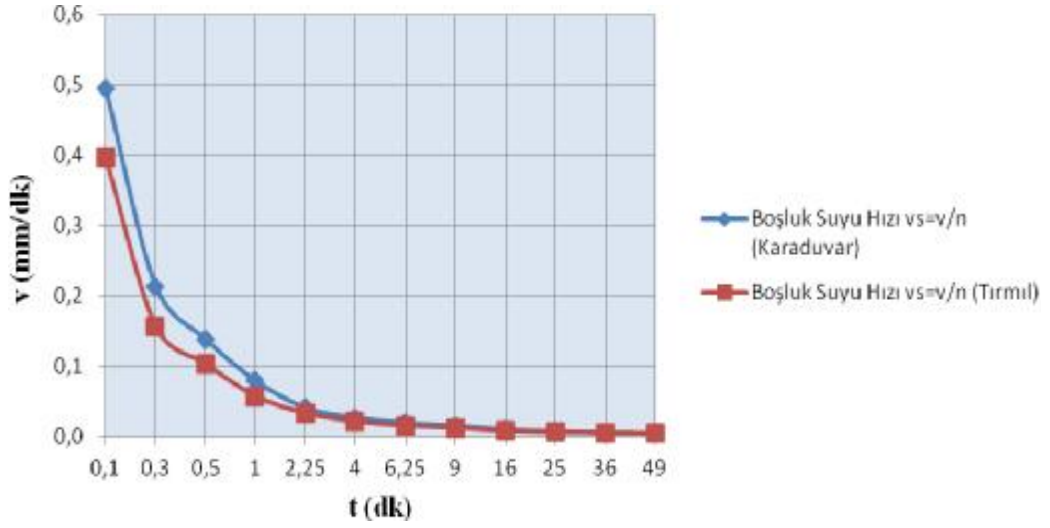
Şekil 4.38. Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 8.15 kg/cm² lik Gerilme Değeri için DeneySEL Oturma Hızları İlişkisi



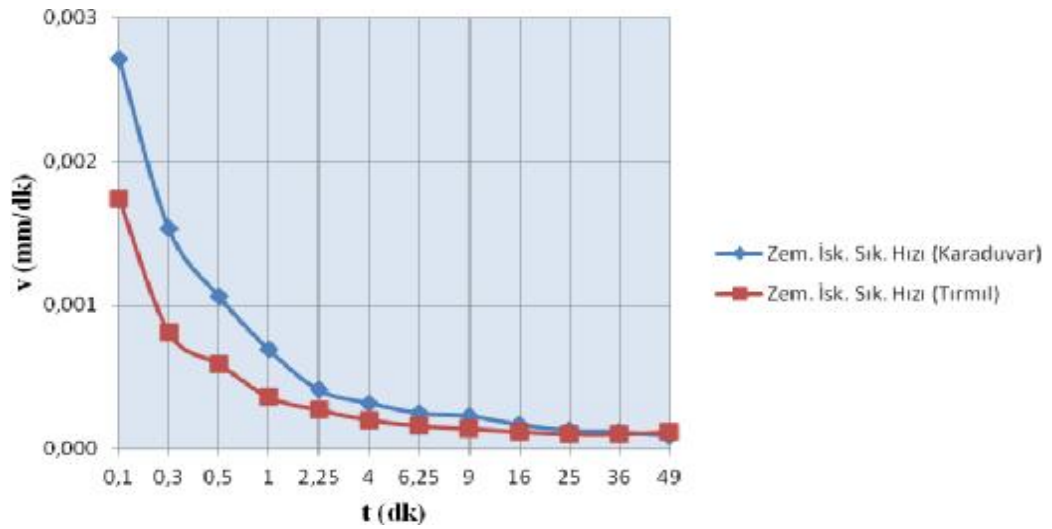
Şekil 4.39. Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 8.15 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Kuramsal Oturma Hızları İlişkisi



Şekil 4.40. Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 8.15 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Boşluk Suyu Hızları İlişkisi



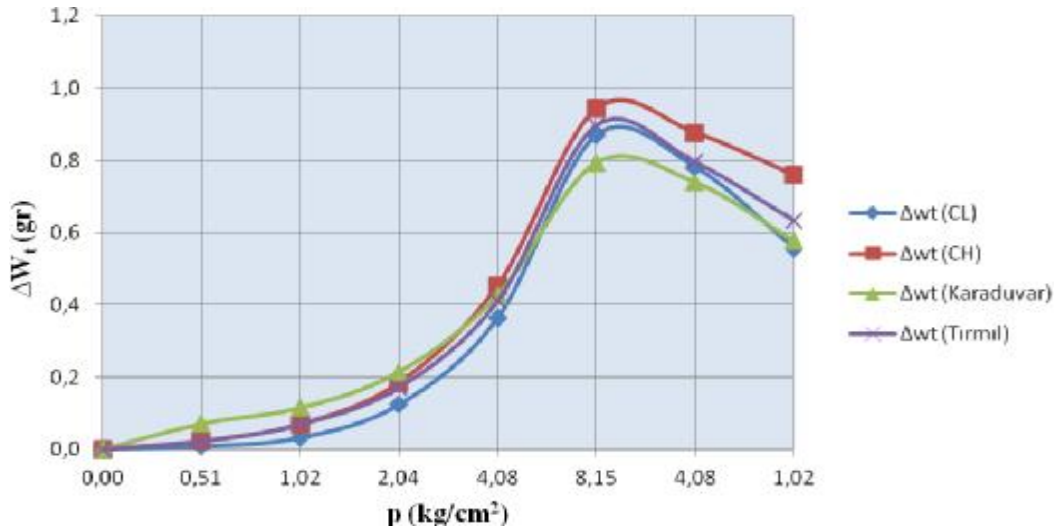
Şekil 4.41. Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 8.15 kg/cm² lik Gerilme Değeri için $v_s=v/n$ ile Bulunan Kuramsal Boşluk Suyu Hızları İlişkisi



Şekil 4.42. Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinde 8.15 kg/cm² lik Gerilme Değeri için Zemin İskeleti Sıkışma Hızları İlişkisi

Bu grafiklerde, sadece 49 dakikalık zaman aralığı alındığı ve gerilme değeri en yüksek değer olan 8.15 kg/cm² değeri olduğu için, Karaduvar numunesine ait hızlar Tırmıl numunesine ait hızlardan daha yüksek çıkmakta, fakat zaman ilerledikçe Tırmıl numunesine ait hızlar Karaduvar numunesine ait hızları geçmektedir. Bu durum, aynı zamanda zeminlerin ön-konsolidasyon basınçları ve aşırı konsolidasyon oranlarının da konsolidasyonda oturmalar ve oturma hızları üzerinde etkisi olduğunu yansıtmaktadır. Basınç kademesi ilerledikçe, plastisite ve

deney başı-deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimi, konsolidasyon hızları üzerindeki etkisini daha uzun süre sonra gösterebilmekte ve viskoz etkiler zaman ilerledikçe daha etkili olmaya başlamaktadır. Düşük basınçlarda bu etkiler daha önce ortaya çıkarken, basınç kademesi ilerledikçe daha ileriki zamanlarda ortaya çıkabilmektedir. Burada, Tırmıl numunesinin ön-konsolidasyon basıncı ($\sigma_p=1.80$ kg/cm²) ve aşırı konsolidasyon oranı (AKO=2.915), Karaduvar numunesinin ön-konsolidasyon basıncı ($\sigma_p=1.58$ kg/cm²) ve aşırı konsolidasyon oranına (AKO=1.814) göre daha yüksek olduğu için, zaman geçtikçe daha uzun süre sonra plastisitenin etkileri kendini göstermeye başlamaktadır. Bu ilişki ise, aşağıda basınç kademesinden basınç kademesine olan değişimi yansıtan, Şekil 4.43' de verilmiş olan toplam sıkışan zemin miktarları (ΔW_t) arasındaki ilişkiyi gösteren grafikte ifade edilmiştir. Bu ilişki, aynı zamanda, kuru birim hacim ağırlık değişimi ve plastisitenin oturma hızları, boşluk suyu hızları ve dolayısıyla dane difüzyonu ve dispersiyon üzerindeki etkisini bir kez daha göstermektedir.



Şekil 4.43. Adana'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numuneleri ile Mersin Karaduvar ve Tırmıl Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) ilişkisi

Buna göre, en az toplam zemin sıkışması Karaduvar numunesine, en fazla toplam zemin sıkışması ise Adana'dan alınan CH türü zemine aittir. Bu olay da plastisite ve kuru birim ağırlığın etkisini açıkça yeniden ifade etmektedir. Bu dört

numunenin kuru birim hacim ağırlık değişimleri ($\Delta\gamma_k$) ve plastisite indisi (I_p) büyüklükleri arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir. Bu ilişkiye bakarak grafik daha anlamlı yorumlanabilir.

$$\Delta\gamma_{k-CH}=\%13.08 > \Delta\gamma_{k-Tırmıl}=\%10.98 > \Delta\gamma_{k-CL}=\%10.92 > \Delta\gamma_{k-Karaduvar}=\%9.74$$

$$I_{p-CH}=\%58 > I_{p-Tırmıl}=\%41 > I_{p-Karaduvar}=\%28 > I_{p-CL}=\%26$$

Burada gözlemlenen kuru birim hacim ağırlık değişim oranları ve plastisite indisi değerlerine göre, daha önce de bahsedildiği gibi, kuru birim hacim ağırlık değişimi fazla olan numune fazla, daha az olan numune ise daha az dispersif özellikler gösterecek ve değişimin az olduğu zeminde daha az zemin sıkışmaya uğrayacaktır. Plastisite indislerine göre kıyaslama yapılmak istendiği durumda ise, plastisite indisi yüksek olan zemin daha yüksek dispersif özellikler ve zemin sıkışması gösterirken, daha düşük plastisite değerine sahip olan zeminlerde de daha az dispersif özellik ve sıkışan zemin miktarı olacaktır. Burada ayrıca, Karaduvar ve CL numuneleri arasındaki ilişkide, bu iki zemin arasındaki kuru birim hacim ağırlık ve plastisite indisi özelliğinden kuru birim hacim ağırlık değişim oranının daha etkili olduğunu ve bu oranı fazla olan CL numunesinde daha fazla miktarda zemin sıkıştığını görmekteyiz. Bu yüzden, yine daha önce diferansiyel denklem çözümleri bölümünde de değinildiği gibi, kuru birim hacim ağırlık dane difüzyonu ve dispersiyonda temel zemin özelliği olarak anlamını korumaktadır.

Şimdi, ekler kısmında sondaj logları ve gerekli tanımlamaları verilmiş olan CL ve CH grubu iki adet zemin türü, dane difüzyonu, dispersiyon ve hızlar bakımından karşılaştırılacaktır. Bu numuneler, kuramın doğruluğunu ve güvenilirliğini göstermek adına, literatüre geçmiş bir kaynaktan alınmıştır (Çamlılar, 2010). Burada, bu iki zemin örneğinin seçilmesinin sebebi, deney başı ve deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimlerinin birbirlerine çok yakın olması ve sadece plastisitelerin farklı olması durumunda değişimin ve birbirleriyle ilişkilerinin nasıl olacağının gösterilmesidir. Birinci grup zemin olan CL grubu zeminin deney başı ve deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimi % 5.73, ikinci grup zemin olan CH grubu zeminin kuru birim hacim ağırlık değişimi ise % 5.37 dir. Bu sebeple, önceki

deney örneklerinden farklı olarak, çok yakın deney başı ve deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimi değerlerine sahip olan bu zemin örneklerinin difüzyon ve dispersiyon özellikleri ile deneysel ve kuramsal oturma ve boşluk suyu hızları arasındaki ilişkileri çoğunlukla plastisite farklarından kaynaklanacaktır. Birinci zemin olan CL grubu zeminin plastisite indisi değeri % 17 iken, CH grubu ikinci zeminde bu değer % 34 dür. Aşağıda, bu iki deney numunesi ile yapılan konsolidasyon deney sonuçları, dane difüzyonu ve dispersiyon özellikleri ile deneysel ve kuramsal oturma ve boşluk suyu hızlarını veren çizelgeler Çizelge 4.40, Çizelge 4.41, Çizelge 4.42, Çizelge 4.43, Çizelge 4.44 ve Çizelge 4.45’de sunulmuştur. Deneysel ve kuramsal hızlar, önceki numunelerde bulunan hızlardan farklı olarak, her basınç kademesindeki en düşük hız olan en son hızlar alınarak karşılaştırılmıştır. Bu farklı ve daha hassas olan gösterim tarzında yine aynı formüllerle hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve tüm ilişkiler grafiklerle yansıtılmaya çalışılmıştır.

Çizelge 4.40. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL Grubu Numune için Konsolidasyon Değer ve Parametreleri

σ (kg/cm ²)	$\Delta\sigma$ (kg/cm ²)	ΔH (mm)	H (mm)	Δe	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0	-	0	20.000	-	0.52446	-	-
0.25	0.25	0.340	19.660	0.02592	0.49854	0.10368	0.0692
0.50	0.25	0.655	19.345	0.02401	0.47453	0.09604	0.0651
1.00	0.50	0.908	19.092	0.01928	0.45524	0.03856	0.0265
2.00	1.00	1.228	18.772	0.02439	0.43085	0.02439	0.0171
4.00	2.00	1.572	18.428	0.02622	0.40463	0.01311	0.0093
2.00	2.00	1.538	18.462	0.00259	0.40722	0.00130	0.0009
1.00	1.00	1.448	18.552	0.00686	0.41408	0.00686	0.0049
0.50	0.50	1.378	18.622	0.00534	0.41942	0.01068	0.0075
0.25	0.25	1.315	18.685	0.00480	0.42422	0.01920	0.0135
0.00	0.25	1.088	18.912	0.01730	0.44152	0.06920	0.0480

Çizelge 4.41. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL Grubu Numunenin Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri

Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Basınç Farkı	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Hac. Sık. Kat.	Efektif Ger. Farkı
p (kg/cm ²)	H (mm)	e (%)	Δp (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	m_v (cm ² /kg)	σ' (kg/cm ²)
0.00	20.000	0.52446	-	1.745	-	-
0.25	19.660	0.49854	0.25	1.775	0.0692	0.25
0.50	19.345	0.47453	0.25	1.804	0.0651	0.25
1.00	19.092	0.45524	0.50	1.828	0.0265	0.50
2.00	18.772	0.43085	1.00	1.859	0.0171	0.98
4.00	18.428	0.40463	2.00	1.894	0.0093	2.01
2.00	18.462	0.40722	2.00	1.890	0.0009	2.30
1.00	18.552	0.41408	1.00	1.881	0.0049	0.97
0.50	18.622	0.41942	0.50	1.874	0.0075	0.50
0.25	18.685	0.42422	0.25	1.868	0.0135	0.24
0.00	18.912	0.44152	0.25	1.845	0.0480	0.26

Çizelge 4.42. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL Grubu Numunenin Dispersiyon Değerleri

Toplam Basınç	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Dif. Kats.	Disp. Değ.	Disp. Akısı	Dispersif Zem. Mik.	Toplam Sık. Zem.
p (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	$D_s \times 10^{-5}$ (cm ² /dk)	x -	J_s (gr/cm ² dk)	ΔW_s (gr)	ΔW_t (gr)
0.00	1.745	-	-	-	-	-
0.25	1.775	1.151	7.635	7.3×10^{-32}	2.1×10^{-27}	0.02003
0.50	1.804	2.163	5.481	3.7×10^{-19}	1.1×10^{-14}	0.07588
1.00	1.828	2.940	4.639	3.0×10^{-15}	8.5×10^{-11}	0.14798
2.00	1.859	3.877	3.972	1.5×10^{-12}	4.2×10^{-8}	0.27487
4.00	1.894	4.826	3.495	7.6×10^{-11}	2.1×10^{-6}	0.45991
2.00	1.890	4.735	3.535	5.5×10^{-11}	1.6×10^{-6}	0.43788
1.00	1.881	4.491	3.648	2.3×10^{-11}	0.7×10^{-6}	0.38667
0.50	1.874	4.298	3.743	1.0×10^{-11}	0.3×10^{-6}	0.34903
0.25	1.868	4.122	3.835	0.5×10^{-11}	0.14×10^{-6}	0.31759
0.00	1.845	3.473	4.228	0.02×10^{-11}	0.06×10^{-7}	0.21363

Çizelge 4.43. Antalya Boğaçay'dan Alınan CH Grubu Numunenin Konsolidasyon Değer ve Parametreleri

σ (kg/cm ²)	$\Delta\sigma$ (kg/cm ²)	ΔH (mm)	H (mm)	Δe	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0	-	0	20.000	-	0.73925	-	-
0.25	0.25	0.222	19.778	0.01931	0.71994	0.07724	0.0449
0.50	0.25	0.498	19.502	0.02400	0.69594	0.09600	0.0566
1.00	0.50	0.812	19.188	0.02731	0.66864	0.05462	0.0327
2.00	1.00	1.246	18.754	0.03774	0.63089	0.03774	0.0231
4.00	2.00	1.778	18.222	0.04626	0.58463	0.02313	0.0146
2.00	2.00	1.678	18.322	0.01070	0.59333	0.00535	0.0034
1.00	1.00	1.508	18.492	0.01478	0.60811	0.01478	0.0092
0.50	0.50	1.328	18.672	0.01565	0.62376	0.03130	0.0193
0.25	0.25	1.258	18.742	0.00609	0.62985	0.02436	0.0150
0.00	0.25	1.012	18.988	0.02139	0.65124	0.08556	0.0518

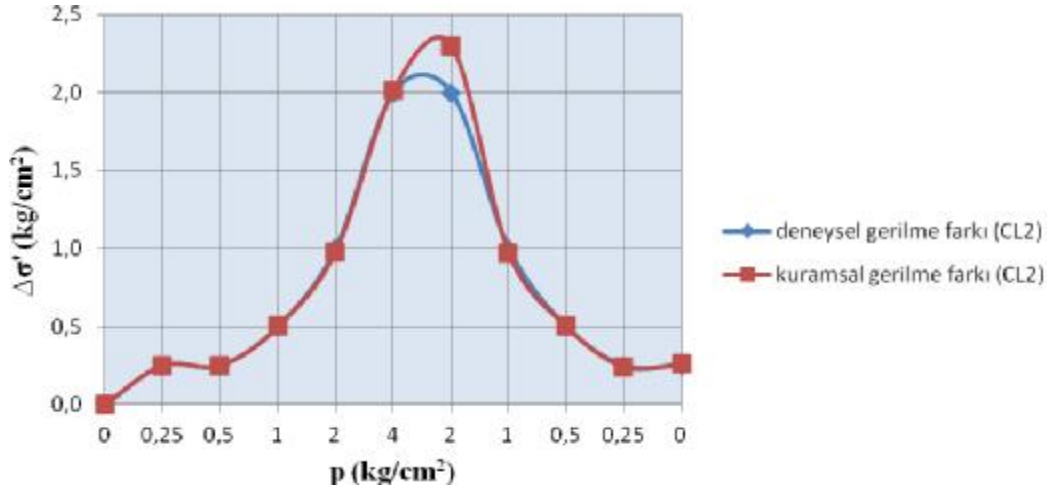
Çizelge 4.44. Antalya Boğaçay'dan Alınan CH Grubu Numuneye ait Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri

Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Basınç Farkı	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Hac. Sık. Kat.	Efektif Ger. Farkı
p (kg/cm^2)	H (mm)	e (%)	Δp (kg/cm^2)	γ_k (gr/cm^3)	m_v (cm^2/kg)	σ' (kg/cm^2)
0.00	20.000	0.73925	-	1.489	-	-
0.25	19.778	0.71994	0.25	1.506	0.0449	0.25
0.50	19.502	0.69594	0.25	1.527	0.0566	0.25
1.00	19.188	0.66864	0.50	1.552	0.0327	0.50
2.00	18.754	0.63089	1.00	1.588	0.0231	1.00
4.00	18.222	0.58463	2.00	1.634	0.0146	1.96
2.00	18.322	0.59333	2.00	1.626	0.0034	1.44
1.00	18.492	0.60811	1.00	1.611	0.0092	1.01
0.50	18.672	0.62376	0.50	1.595	0.0193	0.52
0.25	18.742	0.62985	0.25	1.589	0.0150	0.25
0.00	18.988	0.65124	0.25	1.569	0.0518	0.25

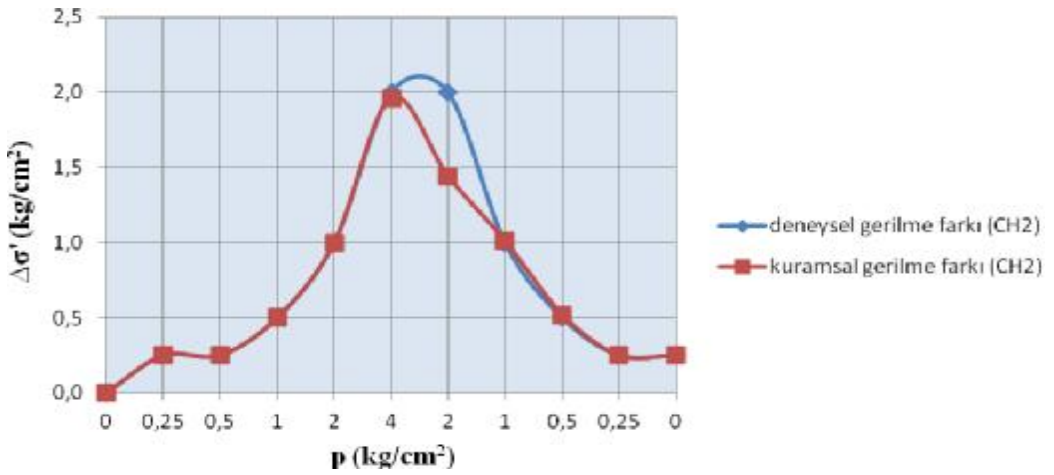
Çizelge 4.45. Antalya Boğaçay'dan Alınan CH Grubu Numunenin Dispersiyon Değerleri

Toplam Basınç	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Dif. Kats.	Disp. Değ.	Dispersiyon Akısı	Dispersif Zem. Mik.	Toplam Sık. Zem.
p (kg/cm^2)	γ_k (gr/cm^3)	$D_s \times 10^{-5}$ (cm^2/dk)	x -	J_s ($\text{gr/cm}^2 \text{dk}$)	ΔW_s (gr)	ΔW_t (gr)
0.00	1.489	-	-	-	-	-
0.25	1.506	0.758	9.465	8.6×10^{-46}	2.4×10^{-41}	0.00741
0.50	1.527	1.665	6.297	1.4×10^{-23}	4.0×10^{-19}	0.03716
1.00	1.552	2.650	4.911	1.6×10^{-16}	4.5×10^{-12}	0.10044
2.00	1.588	3.928	3.943	1.6×10^{-12}	4.5×10^{-8}	0.24221
4.00	1.634	5.367	3.277	34×10^{-11}	9.6×10^{-6}	0.50621
2.00	1.626	5.107	3.378	16×10^{-11}	4.5×10^{-6}	0.45138
1.00	1.611	4.654	3.572	3.6×10^{-11}	1.0×10^{-6}	0.36124
0.50	1.595	4.159	3.815	0.5×10^{-11}	0.14×10^{-6}	0.27640
0.25	1.589	3.962	3.923	0.2×10^{-11}	0.06×10^{-6}	0.24701
0.00	1.569	3.250	4.389	0.3×10^{-13}	0.08×10^{-8}	0.15897

Aşağıda, deneysel ve kuramsal gerilme farkları arasındaki ilişkileri gösteren grafikler, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45’de sunulmuştur. Grafiklerden açıkça görülebileceği gibi, deneysel ve kuramsal değerler birbirlerine oldukça yakındır. Bu grafiklerde, daha önce verilmiş olan CL ve CH türü zemin örnekleriyle karışmaması adına, zeminlere sırasıyla CL2 ve CH2 isimlendirmeleri yapılmıştır.

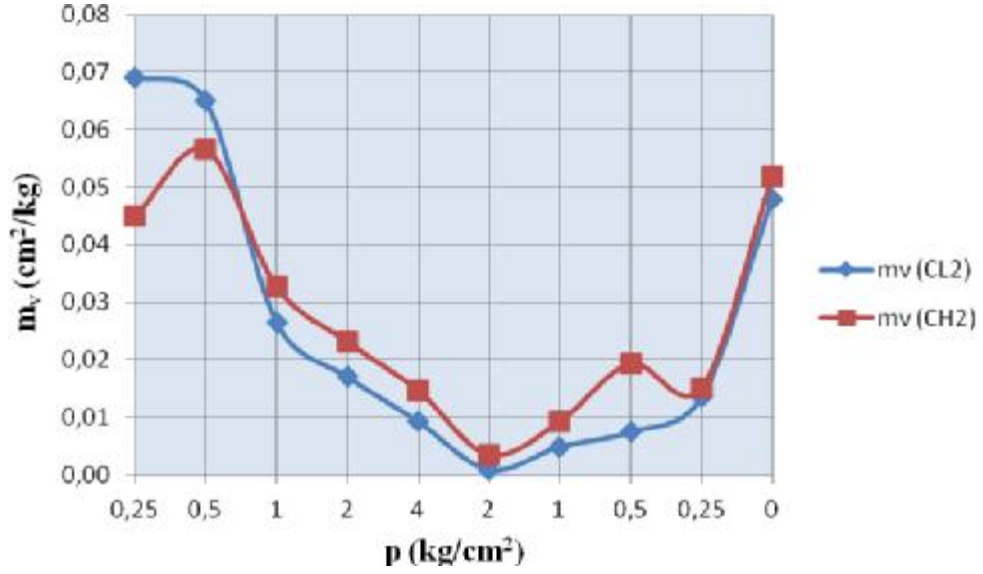


Şekil 4.44. Antalya Boğaçay'dan alınan CL Grubu Zemin Numunelerinin DeneySEL (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Efektif Gerilme Farkları İlişkisi



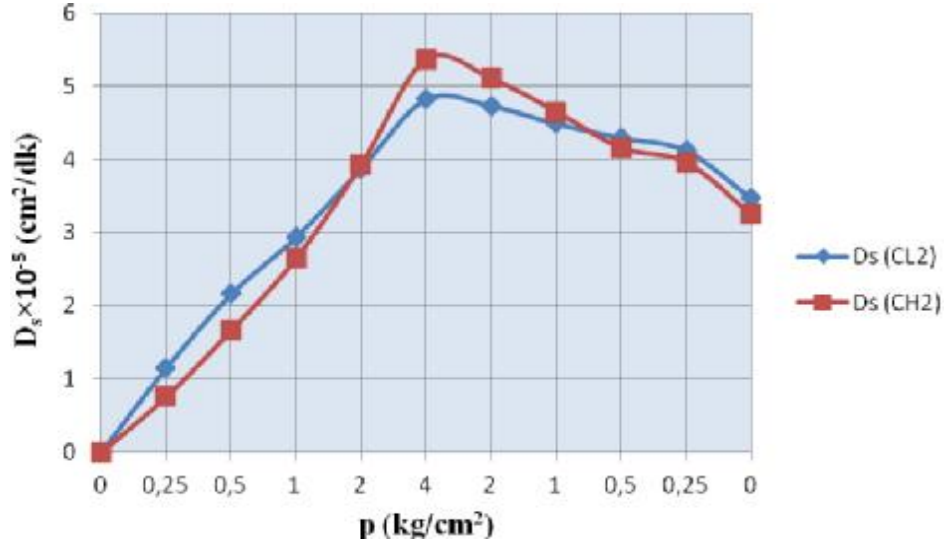
Şekil 4.45. Antalya Boğaçay'dan alınan CH Grubu Zemin Numunelerinin DeneySEL (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Efektif Gerilme Farkları İlişkisi

Aşağıda, Şekil 4.46'daki hacim değiştirme katsayıları (m_v) arasındaki ilişki incelenecek olursa, ilk başta CL grubu zeminin CH grubu zeminden bir miktar daha fazla sıkışmaya uğradığı, fakat sonrasında CH grubu daha yüksek plastisiteye sahip zeminin daha fazla sıkıştığı gözlemlenebilir.

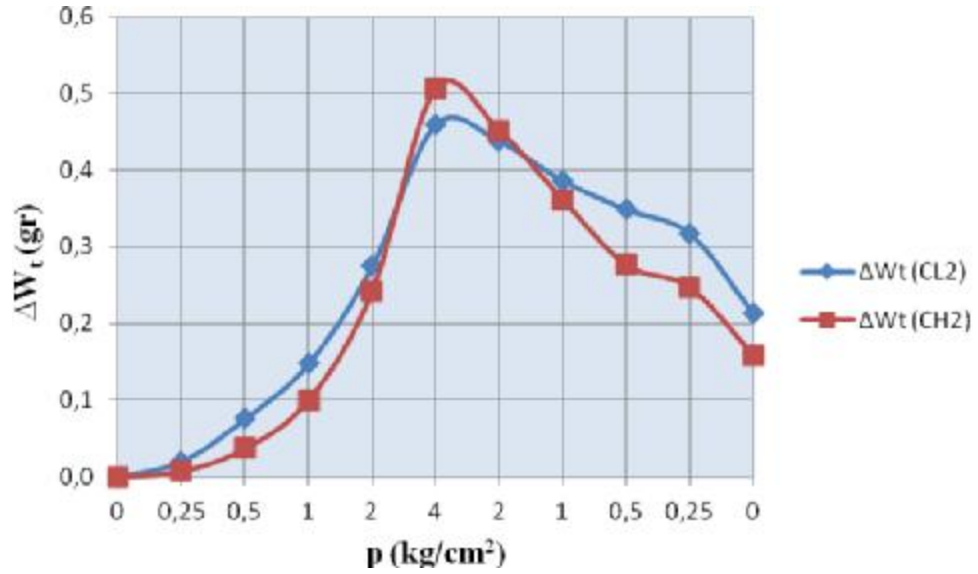


Şekil 4.46. Antalya Boğaçay'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Hacimsel Sıkışma Katsayıları (m_v) İlişkisi

Aşağıdaki Şekil 4.47 ve Şekil 4.48'deki grafiklerde ise, difüzyon katsayıları (D_s) ve toplam sıkışan zemin miktarları (ΔW_t) arasındaki ilişkiler görülmektedir. Bu ilişkiler, önceden de değinildiği gibi, plastisite özelliklerine bağlı kalmaktadır. CH grubu zeminde, yine belli basınç kademeleri arasında, CL grubu zemine göre ani bir yükselme olmaktadır yani daha fazla difüzyon ve dispersiyon olayı gözlemlendiği ve daha fazla maddenin sıkışmaya uğradığı söylenebilir. Bu olay ise yüksek plastisitenin bir sonucudur.



Şekil 4.47. Antalya Boğaçay'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Difüzivite Katsayıları ($D_s \times 10^{-5}$) ilişkisi



Şekil 4.48. Antalya Boğaçay'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) ilişkisi

Bu zeminlere ait hızlar ise aşağıda Çizelge 4.46, Çizelge 4.47, Çizelge 4.48 ve Çizelge 4.49'daki çizelgelerde verilmiştir.

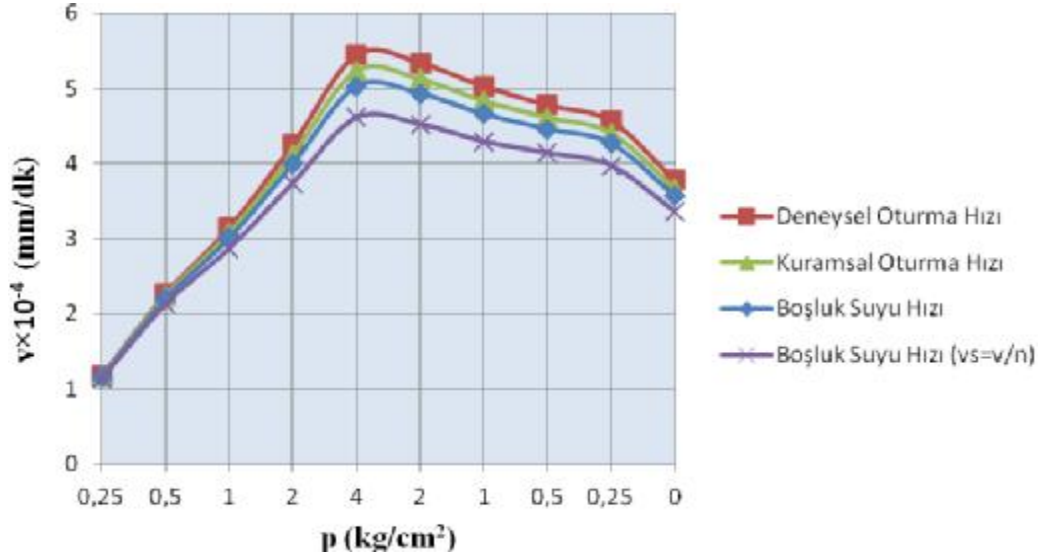
Çizelge 4.46. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL Grubu Numune için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi

Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Por.	Sık. Farkı	Deneysel Oturma Hızı	Kuramsal Hız
p (kg/cm ²)	H (mm)	e (%)	n (%)	ΔH (mm)	$v_z = \frac{DH}{2t}$ ($\times 10^{-4}$) (mm/dk)	$v_z = \frac{z}{2t} \ln \frac{\epsilon_z}{\epsilon_i} \frac{\ddot{\epsilon}_z}{\ddot{\epsilon}_i} \frac{\ddot{\epsilon}_z}{\ddot{\epsilon}_i}$ ($\times 10^{-4}$) (mm/dk)
0.00	20.000	0.52446	-	-	-	-
0.25	19.660	0.49854	0.25	0.340	1.18	1.17
0.50	19.345	0.47453	0.25	0.655	2.27	2.24
1.00	19.092	0.45524	0.50	0.908	3.15	3.08
2.00	18.772	0.43085	1.00	1.228	4.26	4.13
4.00	18.428	0.40463	2.00	1.572	5.45	5.24
2.00	18.462	0.40722	2.00	1.538	5.34	5.13
1.00	18.552	0.41408	1.00	1.448	5.03	4.84
0.50	18.622	0.41942	0.50	1.378	4.78	4.62
0.25	18.685	0.42422	0.25	1.315	4.57	4.41
0.00	18.912	0.44152	0.25	1.088	3.78	3.67

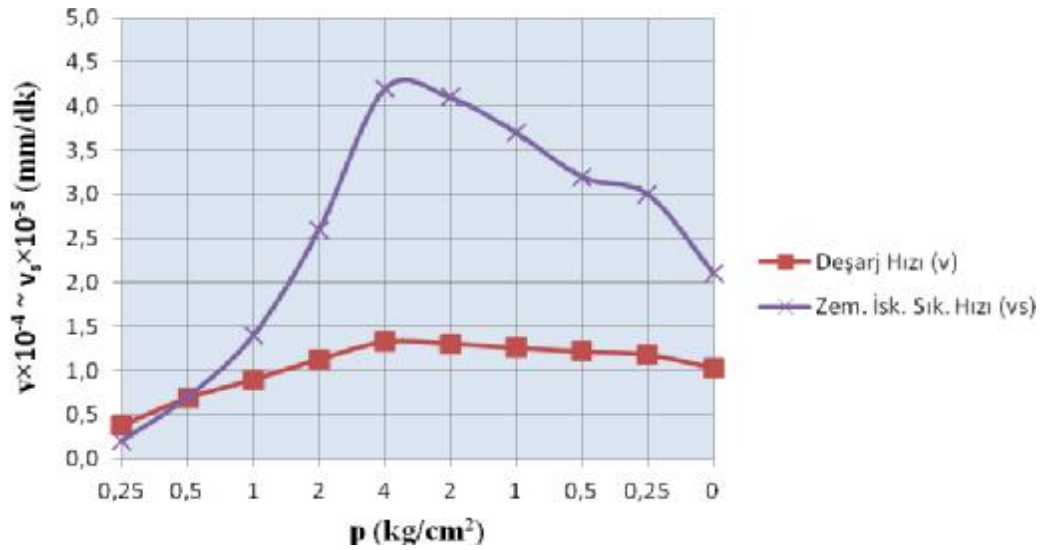
Çizelge 4.47. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL Grubu Numune için Boşluk Suyu, Boşalma (Deşarj) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları İlişkisi

Toplam Basınç	Boşluk Suyu Hızı	Zemin İsk. Sıkışma Hızı	Boşalma Hızı	Boş. Su Hızı
p (kg/cm ²)	$v_{z2} = \frac{z}{2t} \frac{e}{e_0} \frac{e_0 - e}{e_0} \frac{e_0}{e_0} \frac{e_0}{e_0}$ ($\times 10^{-4}$) (mm/dk)	$v_s = v_z - v_{z2}$ ($\times 10^{-5}$) (mm/dk)	$v = \frac{e(v_f - v_s)}{1 + e}$ ($\times 10^{-4}$) (mm/dk)	$v_z = \frac{v}{n}$ ($\times 10^{-4}$) (mm/dk)
0.00	-	-	-	-
0.25	1.16	0.2	0.38	1.14
0.50	2.20	0.7	0.69	2.13
1.00	3.01	1.4	0.90	2.87
2.00	4.00	2.6	1.13	3.74
4.00	5.03	4.2	1.33	4.61
2.00	4.93	4.1	1.31	4.52
1.00	4.66	3.7	1.26	4.29
0.50	4.46	3.2	1.22	4.14
0.25	4.27	3.0	1.18	3.97
0.00	3.57	2.1	1.03	3.36

Aşağıda, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50’de hızların birbirleri ile olan ilişkileri verilmiştir. Birinci grafikte CL grubu zemine ait oturma ve boşluk suyu hızları, ikinci grafikte ise yine CL grubu zemin için deşarj hızı ile zemin iskeleti sıkışma hızı arasındaki ilişkiler görülebilmektedir.



Şekil 4.49. Antalya Boğaçay'dan alınan CL Grubu Zemin Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Deneyisel ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) ilişkisi



Şekil 4.50. Antalya Boğaçay'dan alınan CL Grubu Zemin Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Deşarj Hızı ($v \times 10^{-4}$) ile Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v_s \times 10^{-5}$) ilişkisi

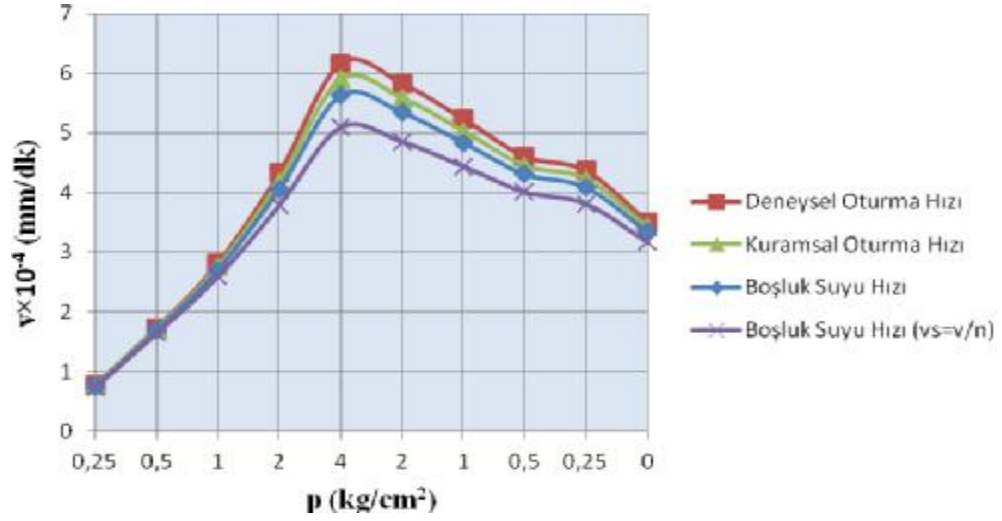
Çizelge 4.48. Antalya Boğaçay'dan Alınan CH Grubu Numune için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi

Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Por.	Sık. Farkı	Deneysel Oturma Hızı	Kuramsal Hız
p (kg/cm ²)	H (mm)	e (%)	n (%)	ΔH (mm)	$v_z = \frac{DH}{2t}$ ($\times 10^{-4}$) (mm/dk)	$v_z = \frac{z}{2t} \ln \frac{\epsilon_z}{\epsilon_i} \frac{\ddot{\epsilon}}{\ddot{\epsilon}_i} \frac{\ddot{\epsilon}}{\ddot{\epsilon}_i}$ ($\times 10^{-4}$) (mm/dk)
0.00	20.000	0.73925	0.42504	-	-	-
0.25	19.778	0.71994	0.41858	0.222	0.77	0.77
0.50	19.502	0.69594	0.41036	0.498	1.73	1.71
1.00	19.188	0.66864	0.40071	0.812	2.82	2.76
2.00	18.754	0.63089	0.38684	1.246	4.33	4.19
4.00	18.222	0.58463	0.36894	1.778	6.17	5.89
2.00	18.322	0.59333	0.37238	1.678	5.83	5.58
1.00	18.492	0.60811	0.37815	1.508	5.24	5.03
0.50	18.672	0.62376	0.38415	1.328	4.61	4.45
0.25	18.742	0.62985	0.38645	1.258	4.37	4.23
0.00	18.988	0.65124	0.39439	1.012	3.51	3.42

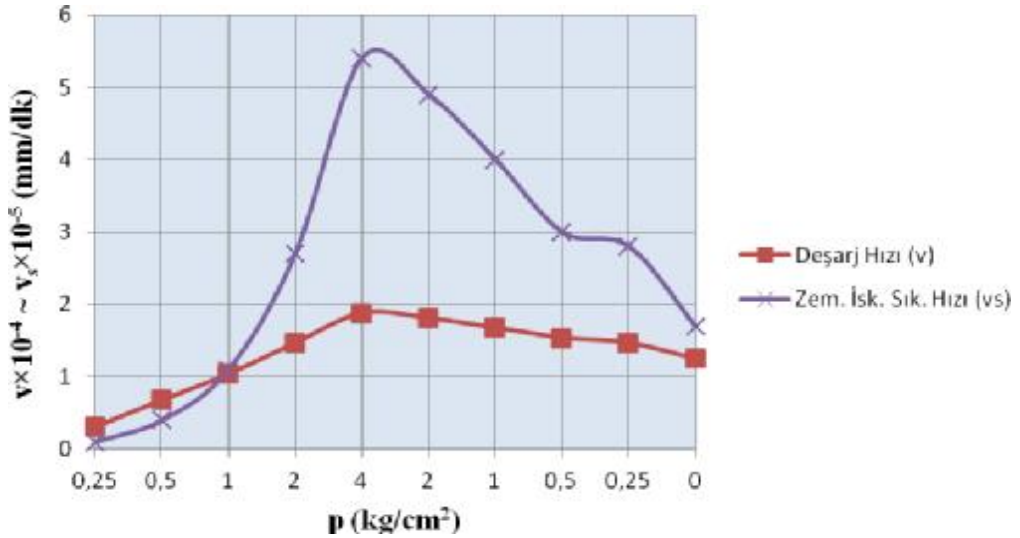
Çizelge 4.49. Antalya Boğaçay'dan Alınan CH Grubu Numune için Boşluk Suyu, Boşalma (Deşarj) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları İlişkisi

Toplam Basınç	Boşluk Suyu Hızı	Zemin İsk. Sıkışma Hızı	Boşalma Hızı	Boş. Su Hızı
	$v_{z2} = \frac{z}{2t} \frac{e}{e_0} - \frac{e}{e_0} \frac{v_z}{v_z}$	$v_s = v_z - v_{z2}$	$v = \frac{e(v_f - v_s)}{1 + e}$	$v_z = \frac{v}{n}$
p (kg/cm ²)	($\times 10^{-4}$) (mm/dk)	($\times 10^{-5}$) (mm/dk)	($\times 10^{-4}$) (mm/dk)	($\times 10^{-4}$) (mm/dk)
0.00	-	-	-	-
0.25	0.76	0.1	0.314	0.75
0.50	1.69	0.4	0.677	1.65
1.00	2.71	1.1	1.042	2.60
2.00	4.06	2.7	1.466	3.79
4.00	5.63	5.4	1.878	5.09
2.00	5.34	4.9	1.806	4.85
1.00	4.84	4.0	1.679	4.44
0.50	4.31	3.0	1.540	4.01
0.25	4.09	2.8	1.472	3.81
0.00	3.34	1.7	1.250	3.17

Aşağıdaki Şekil 4.51 ve Şekil 4.52’de yine hızların birbirleri ile olan ilişkileri verilmiştir. Birinci grafikte CH grubu zemine ait oturma ve boşluk suyu hızları, ikinci grafikte ise yine CH grubu zemin için deşarj hızı ile zemin iskeleti sıkışma hızı arasındaki ilişkiler görülebilmektedir.



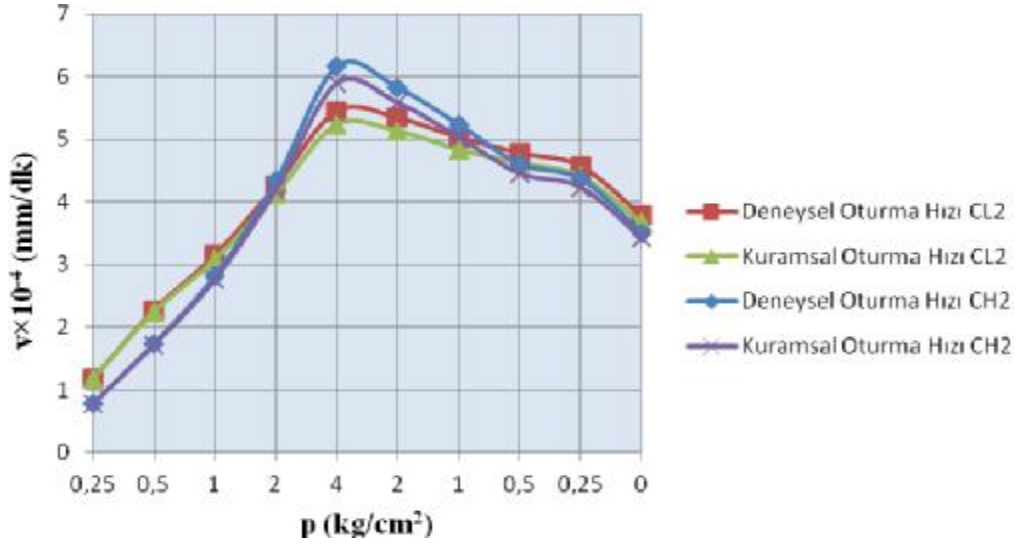
Şekil 4.51. Antalya Boğaçay'dan alınan CH Grubu Zemin Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre DeneySEL ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) ilişkisi



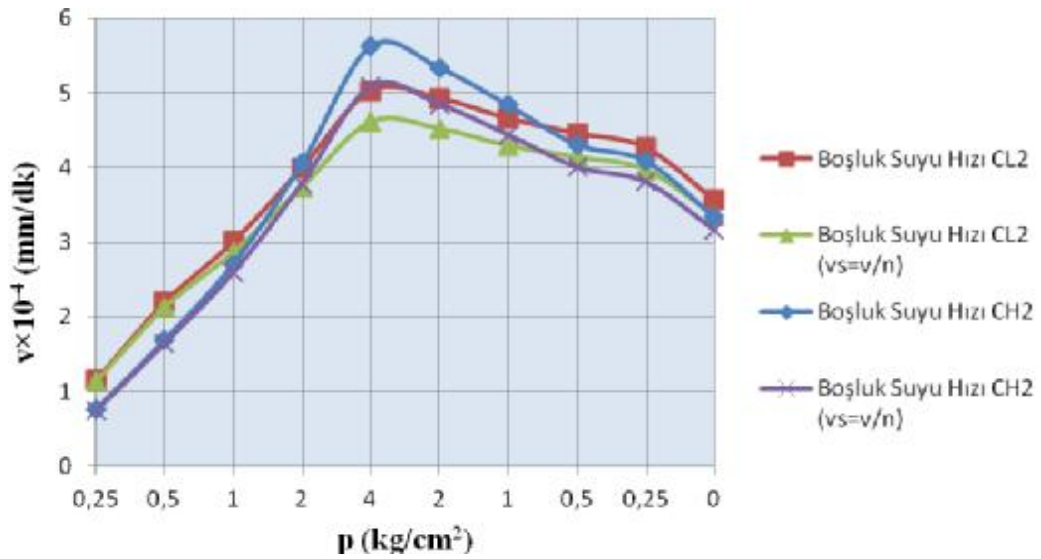
Şekil 4.52. Antalya Boğaçay'dan alınan CH Grubu Zemin Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Deşarj Hızı ($v \times 10^{-4}$) ile Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-5}$) ilişkisi

Görüldüğü gibi, her iki zemin grubunda da deneysel ve kuramsal olarak bulunan tüm hızlar birbirlerine çok yakın çıkmaktadır. Ayrıca, deşarj hızları ve zemin iskeleti sıkışma hızlarının da bir uyum içinde olduğu grafiklerden açıkça anlaşılabilmektedir.

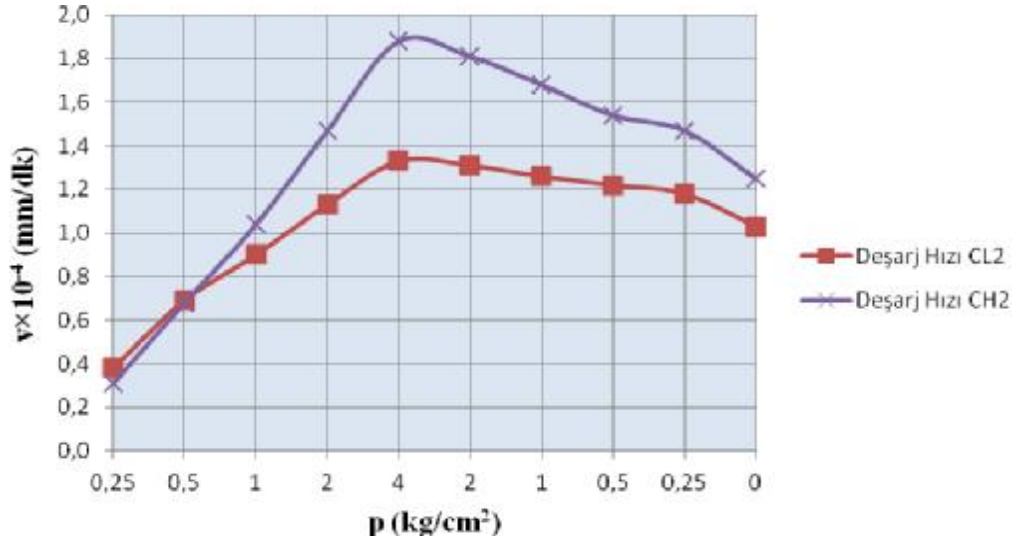
Bunların yanında, farklı plastisitelere ve çok yakın deney başı-deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimi değerlerine sahip olan bu iki zemin grubunun birbirleri ile olan hız ilişkilerini daha açık olarak görebilmek için, aşağıdaki Şekil 4.53, Şekil 4.54, Şekil 4.55 ve Şekil 4.56'daki grafikler verilmiştir.



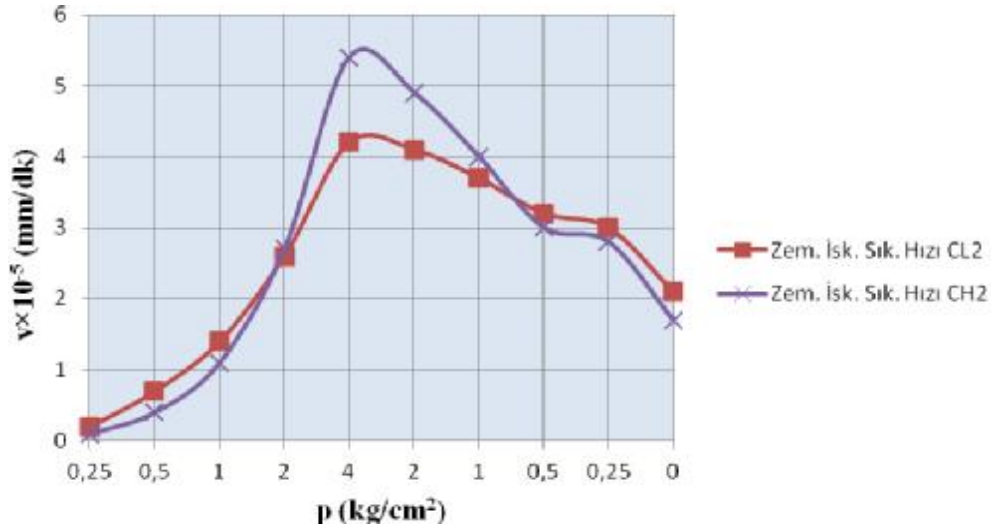
Şekil 4.53. Antalya Boğaçay'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numuneleri için Basınç Kademesine (p) göre DeneySEL ve Kuramsal Oturma Hızları ($v \times 10^{-4}$) ilişkisi



Şekil 4.54. Antalya Boğaçay'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numuneleri için Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) ilişkisi



Şekil 4.55. Antalya Boğaçay'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numuneleri için Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyunun Boşalma (Deşarj) Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi



Şekil 4.56. Antalya Boğaçay'dan alınan CL ve CH Grubu Zemin Numuneleri için Basınç Kademesine (p) göre Zemin İskeletinin Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-5}$) İlişkisi

Grafiklerden görülebileceği gibi, deney başı ve deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimleri çok yakın olmasına rağmen, plastisitesi yüksek olan zeminde daha fazla dane difüzyonu ve dispersiyon olmakta, daha fazla madde sıkışıp birbirlerine yanaşmaktadır. Bu olay ise, zemin oturma hızları ve boşluk suyunun zemin içindeki

hızı ve deşarj hızlarının, plastisitesi yüksek olan zeminlerde daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu sefer de, plastisiteleri aynı olup, farklı deney başı ve deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimlerine sahip iki zemin türü birbirleriyle difüzyif, dispersif özellikler ile oturma ve boşluk suyu hızları açılarından karşılaştırılacaktır. Bunun için, yine Antalya Boğaçay'da yapılmış olan sondajlardan temin edilmiş olan iki adet CL grubu zemin kullanılacaktır. Bu zeminlerin her ikisi de % 14 lük eşit plastisite değerine sahiptir. Kuru birim hacim ağırlık değişimleri ise birinci numunede % 7.38, ikinci numunede ise % 2.14 dır. Bu şekilde, bir önceki kıyaslamanın tam tersi olarak, plastisiteleri eşit olan iki adet CL grubu % 14 plastisite indisi değerine sahip olan zeminin, sadece kuru birim hacim ağırlık değişimine bağlı difüzyivite ve dispersivite ilişkileri ile deneysel ve kuramsal oturma, boşluk suyu, deşarj ve zemin iskeleti sıkışma hızları ilişkilerini gözlemleme şansı olacaktır. Bu zeminler ile ilgili sondaj logları ve deneysel veriler ekler kısmında EK-1'de sunulmuştur.

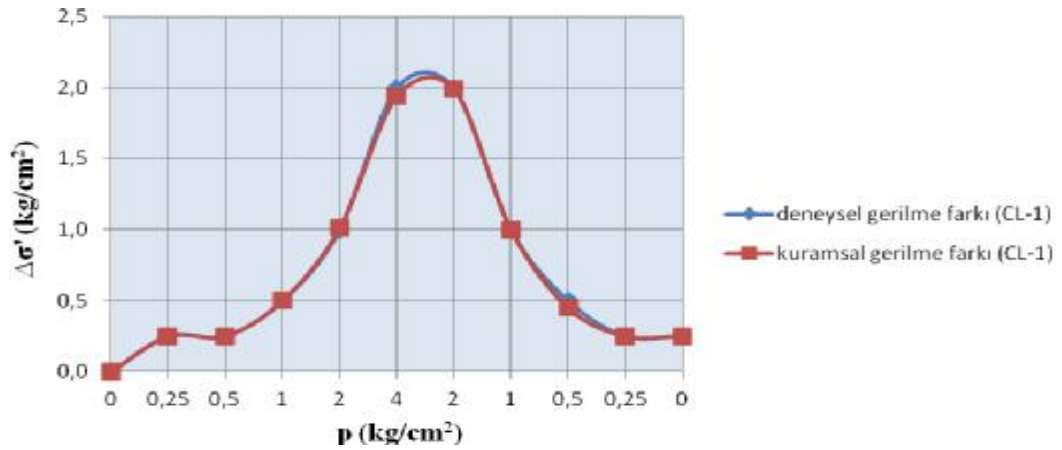
Öncelikle, deney başı ve deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimi %7.38 olan birinci zemin numunesine ait parametreler ve ilişkiler verilecektir. Bu numune CL-1 olarak gösterilecektir. Aşağıda, ilgili çizelgeler sırasıyla Çizelge 4.50, Çizelge 4.51, Çizelge 4.52'de ve grafik Şekil 4.57'de verilmiştir.

Çizelge 4.50. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-1 Numunesinin Konsolidasyon Değer ve Parametreleri

σ (kg/cm ²)	$\Delta\sigma$ (kg/cm ²)	ΔH (mm)	H (mm)	Δe	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0	-	0	20.000	-	0.69344	-	-
0.25	0.25	0.266	19.734	0.02252	0.67092	0.09008	0.05391
0.50	0.25	0.503	19.497	0.02007	0.65085	0.08028	0.04863
1.00	0.50	0.815	19.185	0.02642	0.62443	0.05284	0.03253
2.00	1.00	1.180	18.820	0.03091	0.59353	0.03091	0.01940
4.00	2.00	1.760	18.240	0.04911	0.54442	0.02456	0.01590
2.00	2.00	1.717	18.283	0.00364	0.54806	0.00182	0.00118
1.00	1.00	1.652	18.348	0.00550	0.55356	0.00550	0.00354
0.50	0.50	1.592	18.408	0.00508	0.55864	0.01016	0.00652
0.25	0.25	1.538	18.462	0.00458	0.56322	0.01832	0.01172
0.00	0.25	1.370	18.630	0.01422	0.57744	0.05688	0.03606

Çizelge 4.51. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-1 Numunesine ait Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri

Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Basınç Farkı	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Hac. Sık. Kat.	Efektif Ger. Farkı
p (kg/cm ²)	H (mm)	e (%)	Δp (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	m_v (cm ² /kg)	σ' (kg/cm ²)
0.00	20.000	0.69344	-	1.559	-	-
0.25	19.734	0.67092	0.25	1.580	0.05391	0.25
0.50	19.497	0.65085	0.25	1.599	0.04863	0.25
1.00	19.185	0.62443	0.50	1.625	0.03253	0.50
2.00	18.820	0.59353	1.00	1.657	0.01940	1.01
4.00	18.240	0.54442	2.00	1.709	0.01590	1.94
2.00	18.283	0.54806	2.00	1.705	0.00118	1.99
1.00	18.348	0.55356	1.00	1.699	0.00354	1.00
0.50	18.408	0.55864	0.50	1.694	0.00652	0.45
0.25	18.462	0.56322	0.25	1.689	0.01172	0.25
0.00	18.630	0.57744	0.25	1.674	0.03606	0.25

Şekil 4.57. Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 Numunesi için Deneyel (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi

Çizelge 4.52. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-1 Numunesinin Dispersiyon Değerleri

Toplam Basınç	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Dif. Kats.	Disp. Değ.	Dispersiyon Akısı	Dispersif Zem. Mik.	Toplam Sık. Zem.
p (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	$D_s \times 10^{-5}$ (cm ² /dk)	x -	J_s (gr/cm ² dk)	ΔW_s (gr)	ΔW_t (gr)
0.00	1.559	-	-	-	-	-
0.25	1.580	0.905	8.642	3.45×10^{-39}	9.75×10^{-35}	0.010968
0.50	1.599	1.681	6.266	2.17×10^{-23}	6.14×10^{-19}	0.039506
1.00	1.625	2.658	4.903	1.84×10^{-16}	5.20×10^{-12}	0.105616
2.00	1.657	3.739	4.055	6.44×10^{-13}	1.82×10^{-8}	0.227059
4.00	1.709	5.321	3.295	3.13×10^{-10}	8.85×10^{-6}	0.518363
2.00	1.705	5.209	3.338	2.27×10^{-10}	6.42×10^{-6}	0.492213
1.00	1.699	5.039	3.406	1.35×10^{-10}	3.82×10^{-6}	0.454117
0.50	1.694	4.880	3.472	0.82×10^{-10}	2.32×10^{-6}	0.421994
0.25	1.689	4.735	3.535	0.50×10^{-10}	1.41×10^{-6}	0.392581
0.00	1.674	4.276	3.754	0.09×10^{-10}	0.25×10^{-6}	0.309349

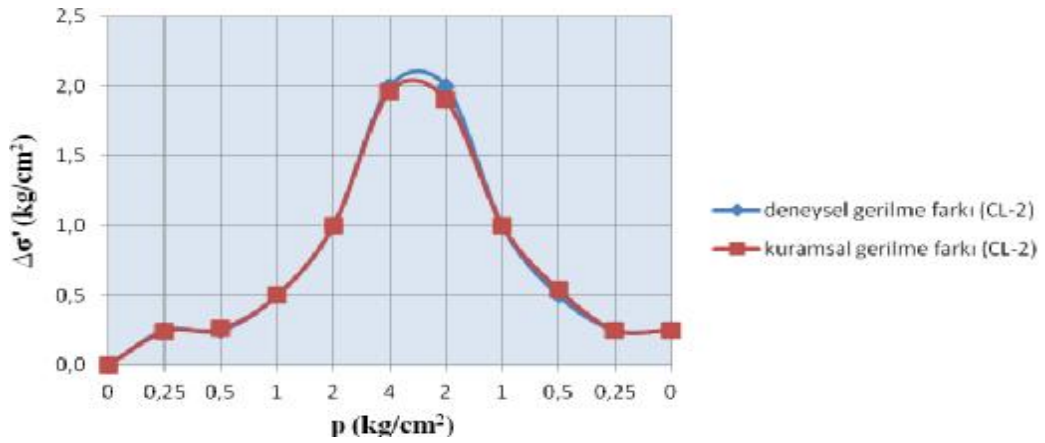
Bu çizelge ve grafiklerden sonra, aşağıda CL-2 diye adlandırılan, yine aynı plastisite değerine sahip olan ve deney başı-deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimi %2.14 olan zemin için Çizelge 4.53, Çizelge 4.54 ve Çizelge 4.55'deki çizelgeler ve Şekil 4.58'deki grafik verilmiştir. En son olarak, CL-1 ve CL-2 zeminlerinin birbirleriyle kıyaslamalarına ve ilgili yorumlamalara yer verilecektir.

Çizelge 4.53. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-2 Numunesinin Konsolidasyon Değer ve Parametreleri

σ (kg/cm ²)	$\Delta\sigma$ (kg/cm ²)	ΔH (mm)	H (mm)	Δe	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0	-	0	20.000	-	0.56043	-	-
0.25	0.25	0.115	19.885	0.00897	0.55146	0.03588	0.02313
0.50	0.25	0.255	19.745	0.01092	0.54054	0.04368	0.02835
1.00	0.50	0.448	19.552	0.01506	0.52548	0.03012	0.01974
2.00	1.00	0.732	19.268	0.02216	0.50332	0.02216	0.01474
4.00	2.00	1.055	18.945	0.02520	0.47812	0.01260	0.00852
2.00	2.00	0.980	19.020	0.00585	0.48397	0.00293	0.00197
1.00	1.00	0.898	19.102	0.00640	0.49037	0.00640	0.00429
0.50	0.50	0.802	19.198	0.00749	0.49786	0.01498	0.01000
0.25	0.25	0.688	19.312	0.00889	0.50675	0.03556	0.02360
0.00	0.25	0.422	19.578	0.02076	0.52751	0.08304	0.05436

Çizelge 4.54. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-2 Numunesine ait Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri

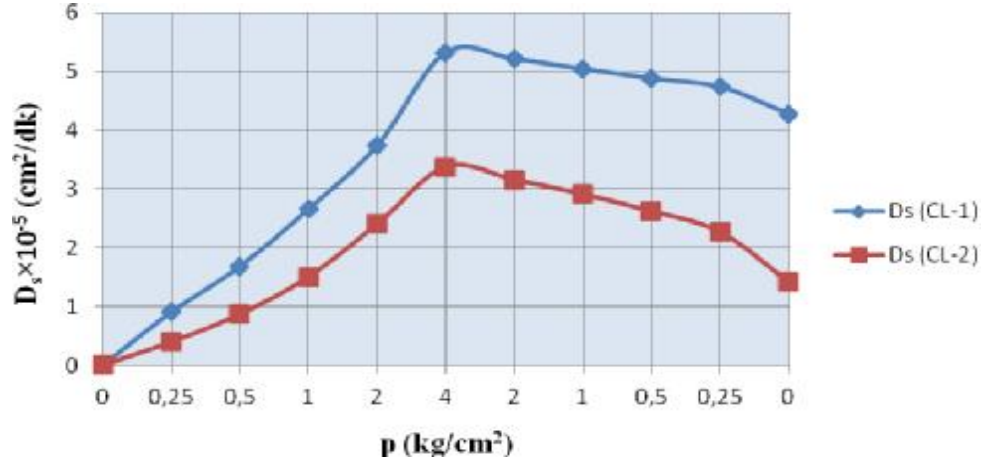
Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Basınç Farkı	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Hac. Sık. Kat.	Kuramsal Ef. Ger. Farkı
p (kg/cm ²)	H (mm)	e (%)	Δp (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	m_v (cm ² /kg)	σ' (kg/cm ²)
0.00	20.000	0.56043	-	1.775	-	-
0.25	19.885	0.55146	0.25	1.785	0.02313	0.24
0.50	19.745	0.54054	0.25	1.798	0.02835	0.26
1.00	19.552	0.52548	0.50	1.816	0.01974	0.50
2.00	19.268	0.50332	1.00	1.843	0.01474	1.00
4.00	18.945	0.47812	2.00	1.874	0.00852	1.96
2.00	19.020	0.48397	2.00	1.867	0.00197	1.90
1.00	19.102	0.49037	1.00	1.859	0.00429	1.00
0.50	19.198	0.49786	0.50	1.849	0.01000	0.54
0.25	19.312	0.50675	0.25	1.838	0.02360	0.25
0.00	19.578	0.52751	0.25	1.813	0.05436	0.25

Şekil 4.58. Antalya Boğaçay'dan alınan CL-2 Numunesi için Deneysel (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi

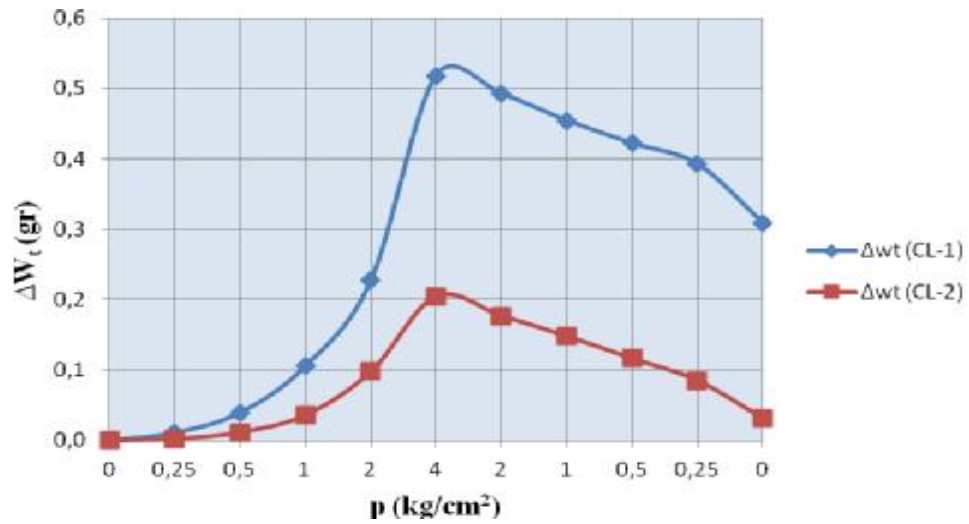
Çizelge 4.55. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-2 Numunesinin Dispersiyon Değerleri

Toplam Basınç	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Dif. Kats.	Disp. Değ.	Dispersiyon Akısı	Dispersif Zem. Mik.	Toplam Sık. Zem.
p (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	$D_s \times 10^{-5}$ (cm ² /dk)	x -	J_s (gr/cm ² dk)	ΔW_s (gr)	ΔW_t (gr)
0.00	1.775	-	-	-	-	-
0.25	1.785	0.396	13.166	1.55×10^{-82}	4.38×10^{-78}	0.002258
0.50	1.798	0.869	8.825	1.51×10^{-40}	4.26×10^{-36}	0.011516
1.00	1.816	1.504	6.643	1.62×10^{-25}	4.58×10^{-21}	0.036065
2.00	1.843	2.403	5.179	1.11×10^{-17}	3.14×10^{-13}	0.097735
4.00	1.874	3.377	4.296	8.26×10^{-14}	2.34×10^{-9}	0.205077
2.00	1.867	3.155	4.462	1.73×10^{-14}	4.89×10^{-10}	0.177029
1.00	1.859	2.910	4.666	0.24×10^{-14}	0.68×10^{-10}	0.148110
0.50	1.849	2.619	4.943	1.38×10^{-16}	0.39×10^{-11}	0.116530
0.25	1.838	2.267	5.344	1.76×10^{-18}	4.98×10^{-14}	0.085106
0.00	1.813	1.419	6.848	9.16×10^{-27}	2.59×10^{-22}	0.031487

Bu numunelerin birbirleriyle kıyaslamalarını yapabilmek için ise aşağıda Şekil 4.59 ve Şekil 4.60'da verilmiş olan grafiklerden yararlanılabilir.



Şekil 4.59. Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Difüzyivite Katsayıları ($D_s \times 10^{-5}$) İlişkisi



Şekil 4.60. Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 ve CL-2 Numuneleri için Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) İlişkisi

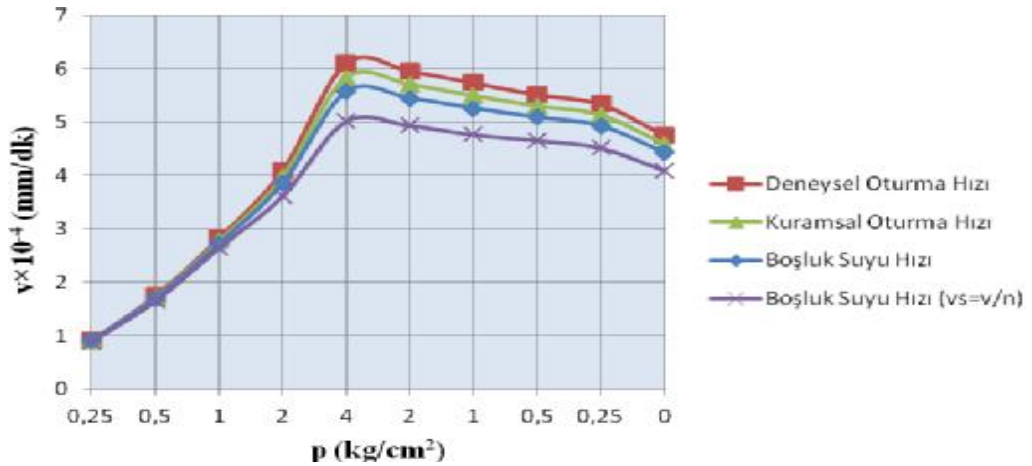
CL-1 ve CL-2 zeminlerine ait, deneysel ve kuramsal yollarla bulunan oturma, boşluk suyu ve deşarj hızları ile bunların arasındaki ilişkiler Çizelge 4.56, Çizelge 4.57, Çizelge 4.58 ve Çizelge 4.59'da verilmiştir. Kıyaslamalar ise Şekil 4.61, Şekil 4.62, Şekil 4.63 ve Şekil 4.64'de verilen grafiklerde görülebilmektedir.

Çizelge 4.56. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-1 Numunesi için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi

Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Por.	Sık. Farkı	Deneysel Oturma Hızı	Kuramsal Hız
p (kg/cm ²)	H (mm)	e (%)	n (%)	ΔH (mm)	$v_z = \frac{DH}{2t}$ ($\times 10^{-4}$) (mm/dk)	$v_z = \frac{z}{2t} \ln \frac{\alpha_z}{\alpha_i} \frac{\dot{\epsilon}_z}{\dot{\epsilon}_i}$ ($\times 10^{-4}$) (mm/dk)
0.00	20.000	0.69344	0.40949	-	-	-
0.25	19.778	0.67092	0.40153	0.266	0.92	0.92
0.50	19.502	0.65085	0.39425	0.503	1.75	1.72
1.00	19.188	0.62443	0.38440	0.815	2.83	2.77
2.00	18.754	0.59353	0.37246	1.180	4.10	3.97
4.00	18.222	0.54442	0.35251	1.760	6.11	5.83
2.00	18.322	0.54806	0.35403	1.717	5.96	5.70
1.00	18.492	0.55356	0.35632	1.652	5.74	5.49
0.50	18.672	0.55864	0.35842	1.592	5.52	5.30
0.25	18.742	0.56322	0.36030	1.538	5.34	5.13
0.00	18.988	0.57744	0.36606	1.370	4.76	4.59

Çizelge 4.57. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-1 Numunesi için Boşluk Suyu, Boşalma (Deşarj) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları İlişkisi

Toplam Basınç	Boşluk Suyu Hızı	Zemin İsk. Sıkışma Hızı	Boşalma Hızı	Boş. Su Hızı
	$v_{z2} = \frac{z}{2t} \frac{e}{e_0} \frac{\partial e}{\partial z} \frac{\partial u}{\partial t}$	$v_s = v_z - v_{z2}$	$v = \frac{e(v_f - v_s)}{1 + e}$	$v_z = \frac{v}{n}$
p (kg/cm ²)	($\times 10^{-4}$) (mm/dk)	($\times 10^{-5}$) (mm/dk)	($\times 10^{-4}$) (mm/dk)	($\times 10^{-4}$) (mm/dk)
0.00	-	-	-	-
0.25	0.91	0.13	0.361	0.90
0.50	1.70	0.50	0.651	1.65
1.00	2.72	0.60	1.020	2.65
2.00	3.86	2.40	1.350	3.62
4.00	5.57	5.40	1.770	5.02
2.00	5.45	5.10	1.750	4.94
1.00	5.26	4.80	1.700	4.77
0.50	5.09	4.30	1.670	4.66
0.25	4.93	4.10	1.630	4.52
0.00	4.43	3.30	1.500	4.10



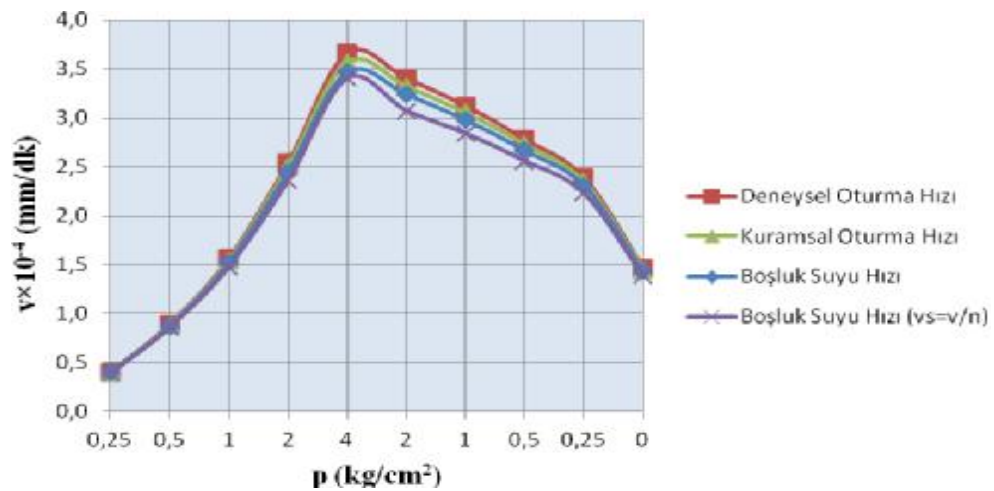
Şekil 4.61. Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre DeneySEL ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) ilişkisi

Çizelge 4.58. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-2 Numunesi için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi

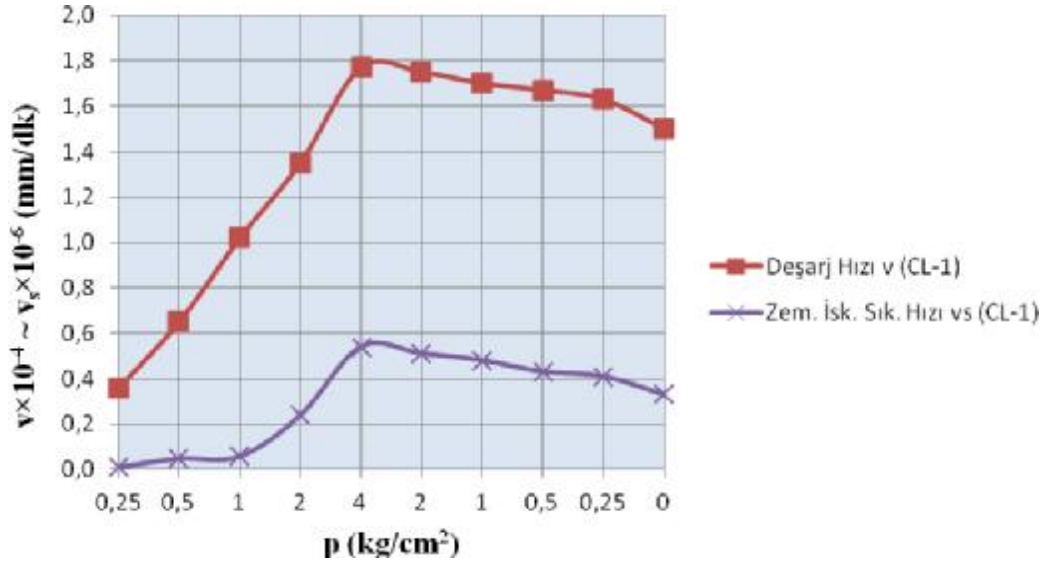
Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Por.	Sık. Farkı	Deneysel Oturma Hızı	Kuramsal Hız
p (kg/cm ²)	H (mm)	e (%)	n (%)	ΔH (mm)	$v_z = \frac{DH}{2t}$ ($\times 10^{-4}$) (mm/dk)	$v_z = \frac{z}{2t} \ln \frac{\alpha_z}{\alpha_i} \frac{\ddot{\alpha}_z}{\ddot{\alpha}_i} \frac{\ddot{\alpha}_z}{\ddot{\alpha}_i}$ ($\times 10^{-4}$) (mm/dk)
0.00	20.000	0.56043	0.35915	-	-	-
0.25	19.885	0.55146	0.35545	0.115	0.40	0.40
0.50	19.745	0.54054	0.35088	0.255	0.89	0.88
1.00	19.552	0.52548	0.34447	0.448	1.56	1.54
2.00	19.268	0.50332	0.33481	0.732	2.54	2.50
4.00	18.945	0.47812	0.32346	1.055	3.66	3.57
2.00	19.020	0.48397	0.32613	0.980	3.40	3.32
1.00	19.102	0.49037	0.32903	0.898	3.12	3.05
0.50	19.198	0.49786	0.33238	0.802	2.78	2.73
0.25	19.312	0.50675	0.33632	0.688	2.39	2.35
0.00	19.578	0.52751	0.34534	0.422	1.47	1.45

Çizelge 4.59. Antalya Boğaçay'dan Alınan CL-2 Numunesi için Boşluk Suyu, Boşalma (Deşarj) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları İlişkisi

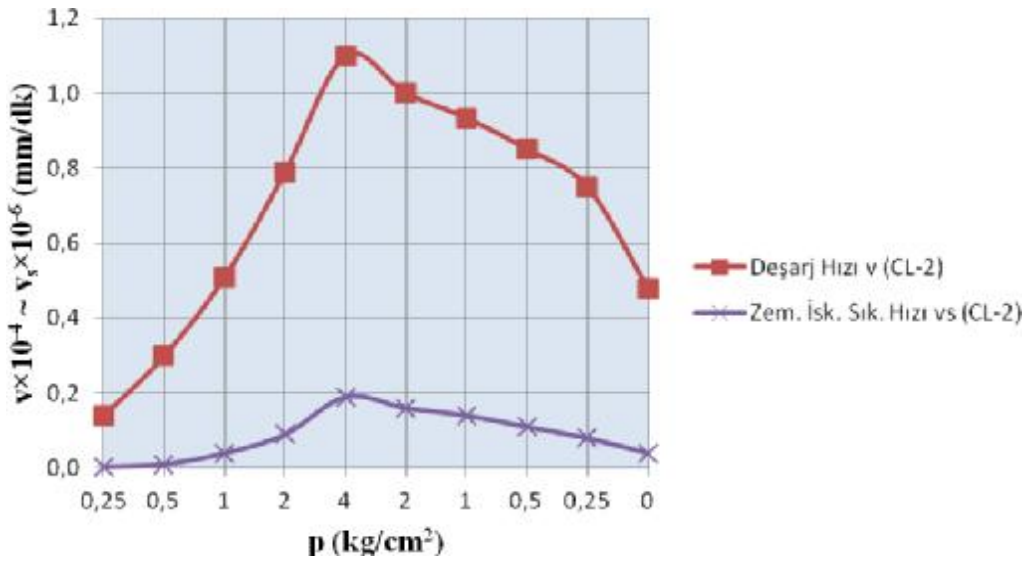
Toplam Basınç	Boşluk Suyu Hızı	Zemin İsk. Sıkışma Hızı	Boşalma Hızı	Boş. Su Hızı
	$v_{z2} = \frac{z}{2t} \frac{e}{e} - \frac{ae}{e} \frac{ö}{z_i} \frac{ü}{ü}$	$v_s = v_z - v_{z2}$	$v = \frac{e(v_f - v_s)}{1 + e}$	$v_z = \frac{v}{n}$
p (kg/cm ²)	(×10 ⁻⁴) (mm/dk)	(×10 ⁻⁵) (mm/dk)	(×10 ⁻⁴) (mm/dk)	(×10 ⁻⁴) (mm/dk)
0.00	-	-	-	-
0.25	0.40	0.03	0.140	0.39
0.50	0.87	0.11	0.300	0.86
1.00	1.52	0.40	0.510	1.48
2.00	2.45	0.90	0.790	2.36
4.00	3.47	1.90	1.100	3.40
2.00	3.24	1.60	1.000	3.07
1.00	2.98	1.40	0.934	2.84
0.50	2.67	1.10	0.851	2.56
0.25	2.31	0.80	0.750	2.23
0.00	1.43	0.40	0.480	1.39



Şekil 4.62. Antalya Boğaçay'dan alınan CL-2 Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Deneyisel ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi



Şekil 4.63. Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Deşarj ($v \times 10^{-4}$) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-6}$) ilişkisi

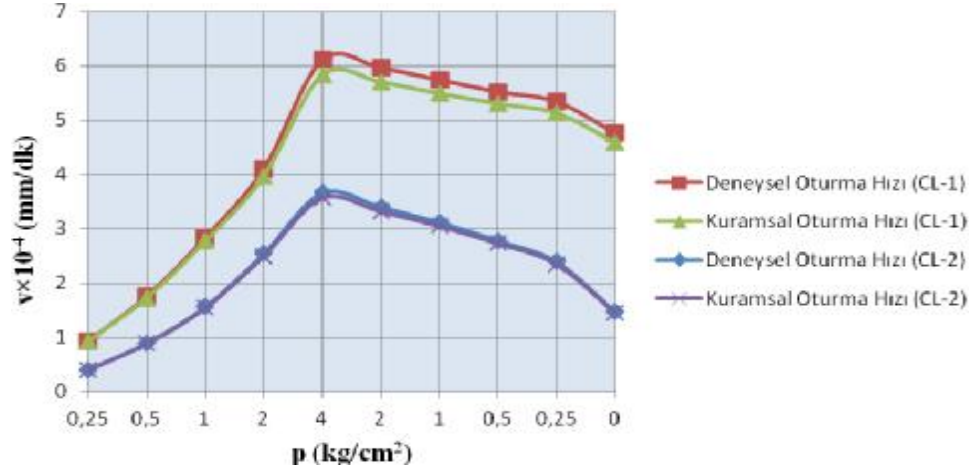


Şekil 4.64. Antalya Boğaçay'dan alınan CL-2 Numunesi için Basınç Kademesine (p) göre Deşarj ($v \times 10^{-4}$) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-6}$) ilişkisi

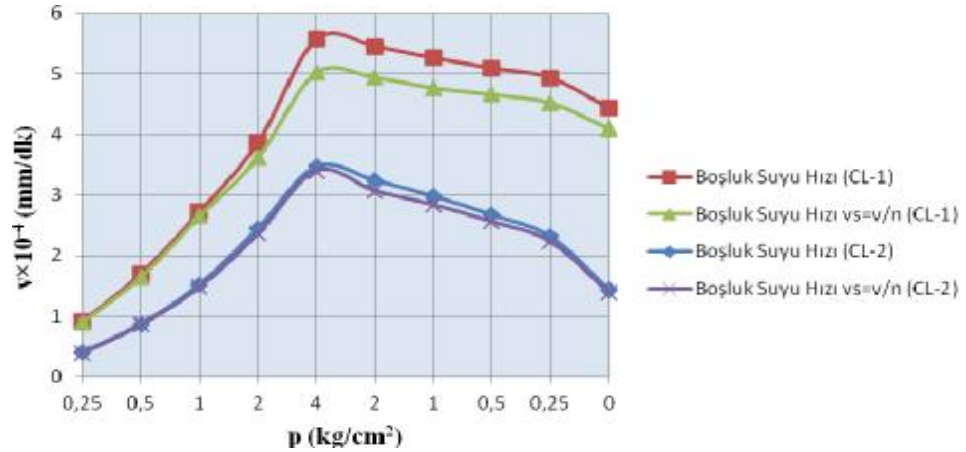
Yukarıda Şekil 4.63 ve Şekil 4.64'de verilmiş olan deşarj hızları ve zemin iskeleti sıkışma hızları ilişkilerini gösteren grafiklerde, zemin iskeletinde meydana gelen sıkışmalar ve bu sıkışma hızlarının, deşarj hızı ile bir uyum içinde ilerlediği görülebilmektedir. Bu olay ise, hızların konsolidasyon olayı sürecindeki etkilerini ve

hızların belirlenmesi ile zeminin konsolidasyon sonuna kadar nasıl bir değişim gösterdiğinin belirlenebileceğini göstermesi açısından önemlidir.

İki numunenin birbirleriyle olan hız ilişkileri ise, aşağıda Şekil 4.65 ve Şekil 4.66'daki grafiklerde görülebilmektedir.



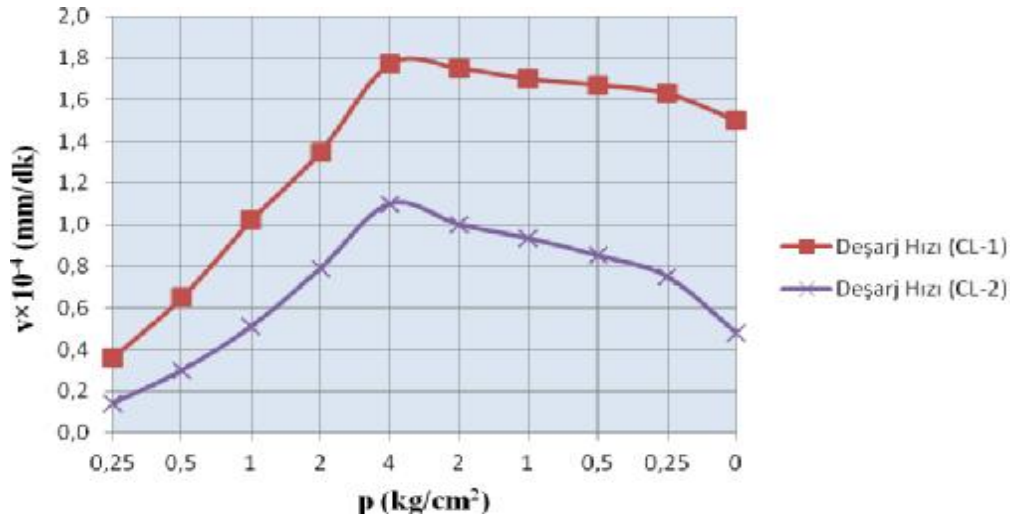
Şekil 4.65. Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre DeneySEL ve Kuramsal Oturma Hızları ($v \times 10^{-4}$) ilişkisi



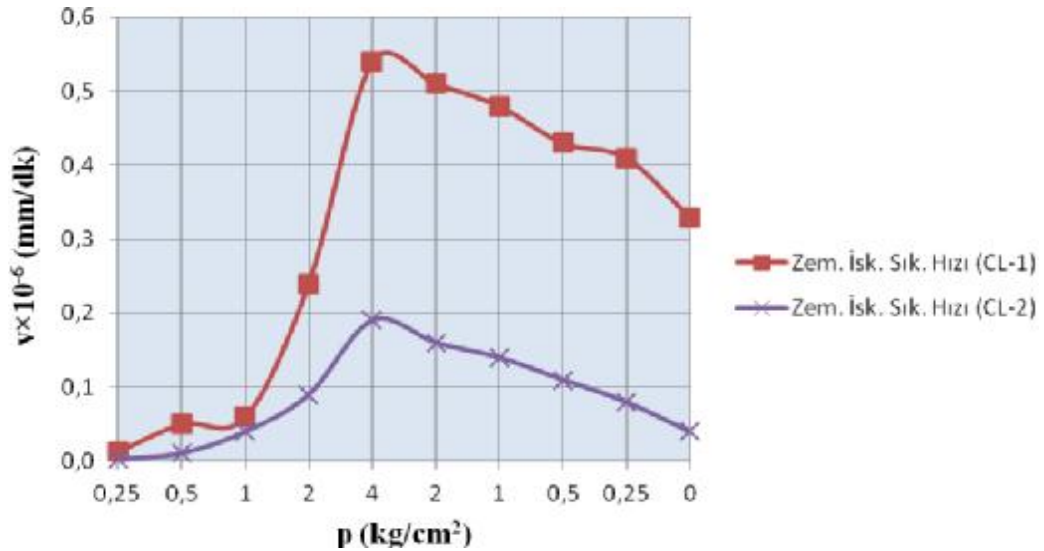
Şekil 4.66. Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) ilişkisi

Bu grafikler de yine, hızların her zemin için kendi içinde çok yakın değerlere sahip olduğunu, plastisitenin ve kuru birim hacim ağırlık değişiminin hızlar üzerinde ne denli etkili olduğunu göstermektedir. Numunelerin deşarj ve zemin iskeleti

sıkışma hızları birbirleriyle kıyaslanırsa, aşağıdaki Şekil 4.67 ve Şekil 4.68'deki ilişkiler elde edilir. Bu grafiklerde gözlemlenebilen ilişkilerden ise açıkça anlaşılabilir ki deney başı ve deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimi yüksek olan CL-1 numunesine ait hızlar, ilgili değeri düşük olan CL-2 numunesindekilerden daha yüksek çıkmaktadır.



Şekil 4.67. Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyu Deşarj Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi



Şekil 4.68. Antalya Boğaçay'dan alınan CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-6}$) İlişkisi

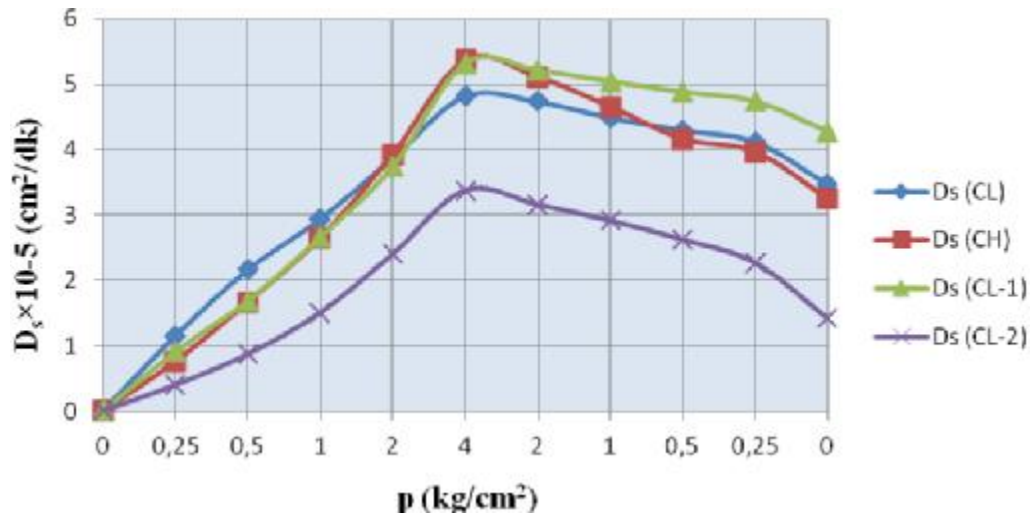
Bu şekilde, Antalya Boğaçay'a ait dört adet zemin türü arasında ikişer ikişer alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu dört zemin örneğinin dördü birden birbirleriyle karşılaştırılırsa, plastisite ve deney başı-deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişiminin dane difüzyonu, dispersiyon, zemin oturma hızı ve su hızları üzerindeki etkisi daha farklı bir açıdan değerlendirilerek kuramın doğruluğu gösterilebilir. Bunun için, öncelikle, bu zemin gruplarının plastisite indisleri, deney başı ve deney sonu kuru birim hacim ağırlıkları ve ön-konsolidasyon basınçları, aşağıda hatırlatma amacı ile verilecek ve sonrasında karşılaştırma grafikleri sunulacaktır (Zeminler grafiklerde, sırasıyla CL, CH, CL-1 ve CL-2 olarak gösterilecektir).

1. Zemin Türü $\triangleright$ CL $\triangleright$ $I_p = \%17$; $Dg_k = \%5.73$; $s_c = 0.275 \text{ kg/cm}^2$

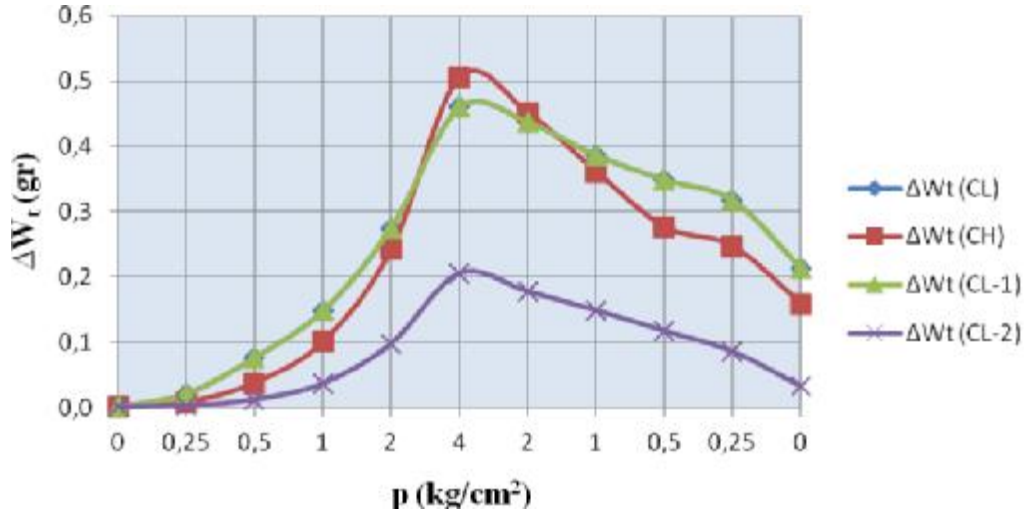
2. Zemin Türü $\triangleright$ CH $\triangleright$ $I_p = \%34$; $Dg_k = \%5.37$; $s_c = 0.367 \text{ kg/cm}^2$

3. Zemin Türü $\triangleright$ CL - 1 $\triangleright$ $I_p = \%14$; $Dg_k = \%7.38$; $s_c = 0.544 \text{ kg/cm}^2$

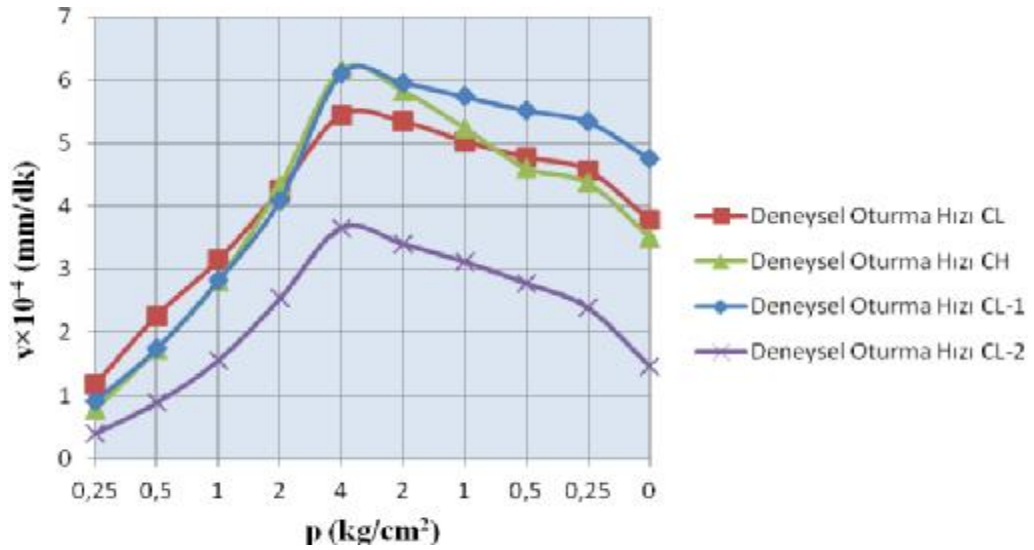
4. Zemin Türü $\triangleright$ CL - 2 $\triangleright$ $I_p = \%14$; $Dg_k = \%2.14$; $s_c = 0.288 \text{ kg/cm}^2$



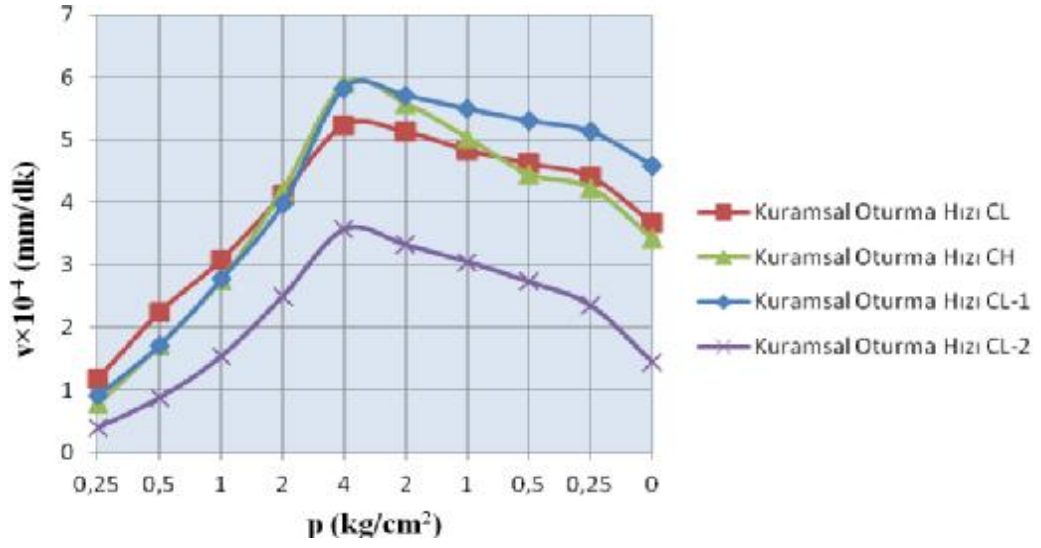
Şekil 4.69. Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Difüzivite Katsayıları ($D_s \times 10^{-5}$) ilişkisi



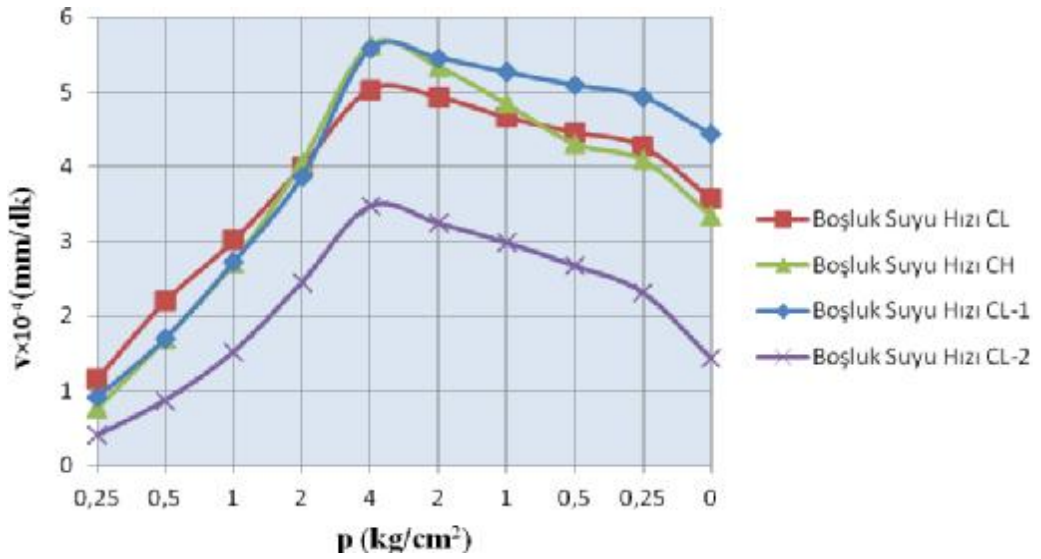
Şekil 4.70. Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) ilişkisi



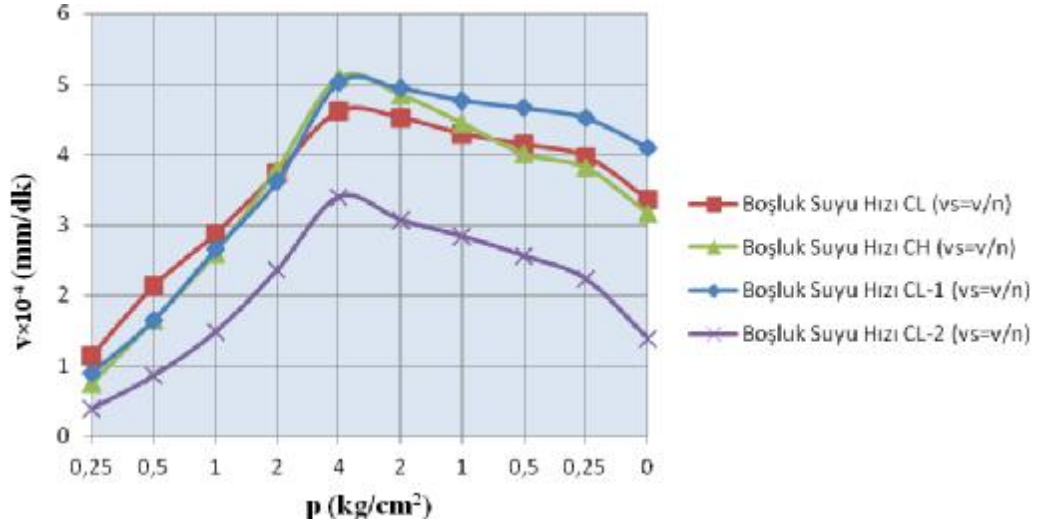
Şekil 4.71. Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Deneysel Oturma Hızları ($v \times 10^{-4}$) ilişkisi



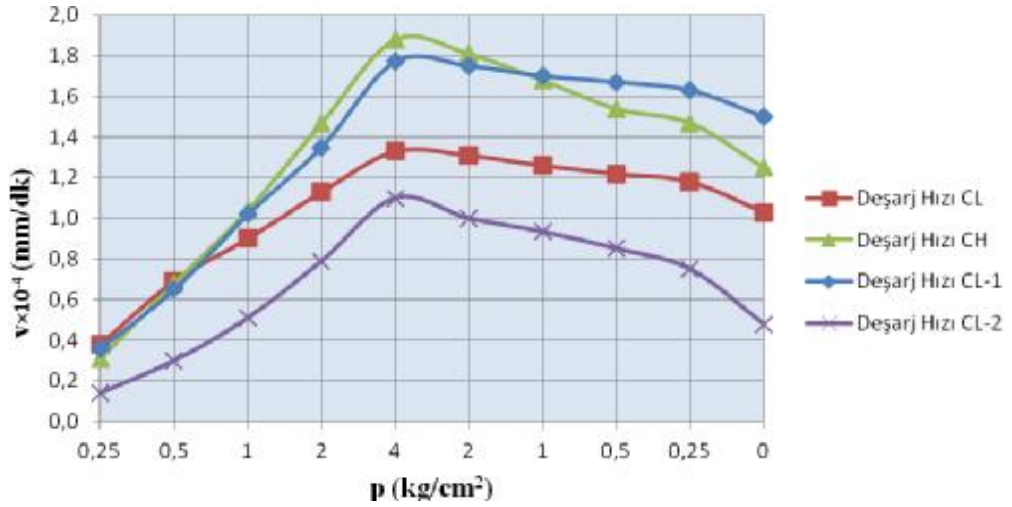
Şekil 4.72. Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Kuramsal Oturma Hızları ($v \times 10^{-4}$) ilişkisi



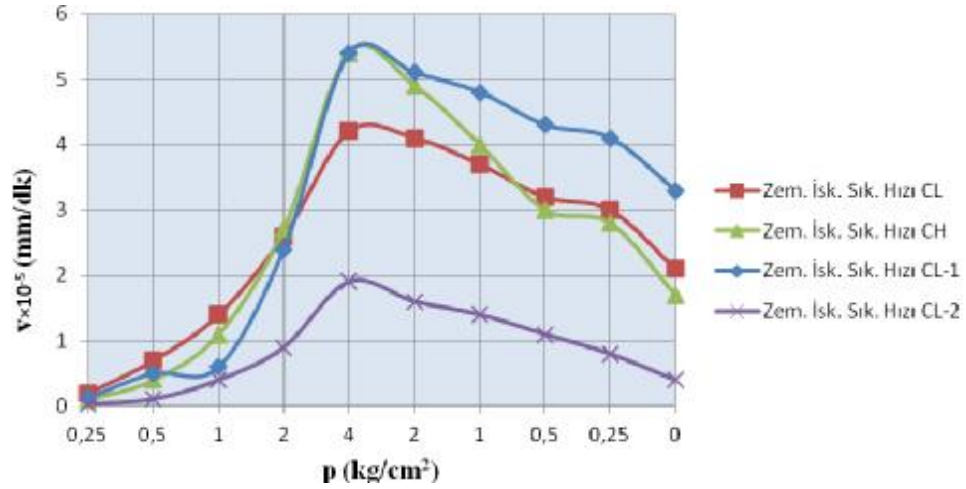
Şekil 4.73. Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) ilişkisi



Şekil 4.74. Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre $v_s=v/n$ ile Bulunan Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi



Şekil 4.75. Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyu Deşarj (Boşalma) Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi



Şekil 4.76. Antalya Boğaçay'dan alınan CL, CH, CL-1 ve CL-2 Numunelerinin Basınç Kademesine (p) göre Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-5}$) ilişkisi

Bu grafiklerden görülebileceği gibi, deney başı ve deney sonu kuru birim hacim ağırlık değişimi, dane difüzyonu ve dispersiyon üzerinde en etkili parametre olmaktadır. Difüzyon, dispersiyona uğrayan, sıkışan, yerleşen ve birbirlerine yanaşan zemin miktarları ile oturma ve boşluk suyu hızları plastisiteye bağlı olmasına rağmen, bu değişimlerde en etkili parametre kuru birim hacim ağırlık değişimidir. Grafiklerde verilen ilişkiler dikkatlice incelenecek olursa, bu ifadeler daha açıkça anlaşılabilir. Grafiklerdeki küçük sapmalar numune alımı, numunelerin laboratuvara taşınma ve deneye hazırlanma aşamaları ile deney hatalarından ve bunların yanında ön-konsolidasyon basıncının etkilerinden dolayı meydana gelmektedir. Grafiklerde ilişkileri verilen zeminlerin, ön-konsolidasyon basıncı değerlerine bağlı olarak, belli bir basınç kademesinden sonra difüzyon ve dispersif özelliklerinin belirginlik kazandığı görülebilir. Bu gözlemi yapabilmek için zeminlerin ön-konsolidasyon basınçları yukarıda verilmiştir.

Son olarak, Mersin ve Tarsus'da yapılmış olan deney sonuçlarından, özellikle iki tanesi seçilerek birbirleriyle kıyaslanmıştır. Bu iki zemine ait deney sonuçlarının özellikle seçilip kullanılmasının amacı, birinde plastisite düşük, kuru birim hacim ağırlık değişim oranı büyükken, diğerinde plastisitenin yüksek, kuru birim hacim ağırlık değişim oranının nispeten küçük olmasıdır. Sözü geçen düşük plastisiteli (CL Grubu) kil numunesi, Mersin Yenışehir Menteş'ten, yüksek plastisiteli (CH Grubu)

ikinci zemin ise Tarsus Mithatpaşa'dan alınmıştır. Daha önce difüzif, dispersif özellik ve hız kıyaslamaları verilmiş olan zeminlerde, ön-konsolidasyon basıncı sebebiyle, belli bir basınç kademesine kadar difüzif ve dispersif özelliklerin etkisini tam olarak gösteremeyebileceği vurgulanmıştı. Bu sebeple, seçilmiş olan bu iki zemin örneğinin başka bir özelliği, ikisinin de aynı derinlikten alınmış olması ve doğal birim hacim ağırlıklarının çok yakın olması sebebiyle aynı jeolojik yük, çok yakın ön-konsolidasyon basınçları ve dolayısıyla da çok yakın aşırı konsolidasyon oranlarına sahip olmasıdır. Bu zemin örneklerine ait deney sonuçları ekler kısmında sunulmuş ve özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

1. Zemin Türü (CL) $\triangleright I_p = \%13$; $Dg_k = \%10.98$; $s_c = 2.3 \text{ kg/cm}^2$; $OCR = 4.8$

2. Zemin Türü (CH) $\triangleright I_p = \%37$; $Dg_k = \%7.78$; $s_c = 2.2 \text{ kg/cm}^2$; $OCR = 4.7$

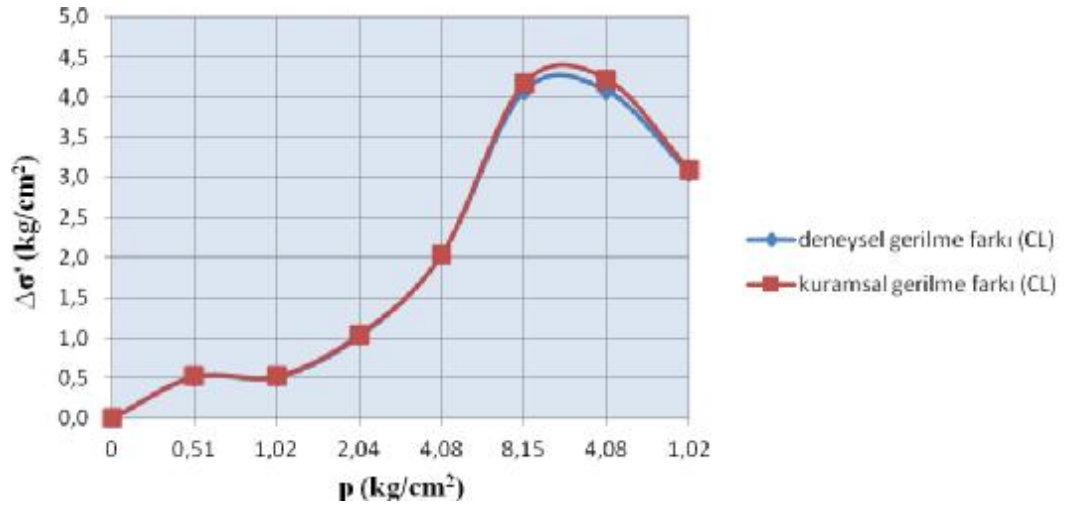
Aşağıda, bu zemin örneklerine ait konsolidasyon, difüzyon ve dispersiyon, oturma ve boşluk suyu hızları Çizelge 4.60, Çizelge 4.61, Çizelge 4.62, Çizelge 4.63, Çizelge 4.64, Çizelge 4.65'de ve bunlarla ilgili kıyaslama grafikleri Şekil 4.77, Şekil 4.78, Şekil 4.79 ve Şekil 4.80'de verilmiştir.

Çizelge 4.60. Mersin Yenişehir Menteş'ten Alınan CL Grubu Numunenin Konsolidasyon Değer ve Parametreleri

σ (kg/cm^2)	$\Delta\sigma$ (kg/cm^2)	ΔH (mm)	H (mm)	Δe	e	a_v (cm^2/kg)	m_v (cm^2/kg)
0.00	-	-	20.00	-	0.667	-	-
0.51	0.51	0.38	19.62	0.032	0.635	0.0622	0.0373
1.02	0.51	0.67	19.33	0.024	0.611	0.0474	0.0290
2.04	1.02	1.05	18.95	0.032	0.579	0.0312	0.0193
4.08	2.04	1.61	18.39	0.047	0.533	0.0229	0.0145
8.15	4.08	2.33	17.67	0.060	0.473	0.0147	0.0096
4.08	4.08	2.20	17.80	0.010	0.483	0.0026	0.0017
1.02	3.06	1.98	18.02	0.019	0.502	0.0061	0.0041

Çizelge 4.61. Mersin Yenişehir Menteş'ten Alınan CL Grubu Numuneye ait Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri

Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Basınç Farkı	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Hac. Sık. Kat.	Kuramsal Ef. Ger. Farkı
p (kg/cm ²)	H (mm)	e (%)	Δp (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	m_v (cm ² /kg)	σ' (kg/cm ²)
0.00	20.00	0.667	-	1.484	-	-
0.51	19.62	0.635	0.51	1.513	0.0373	0.52
1.02	19.33	0.611	0.51	1.536	0.0290	0.52
2.04	18.95	0.579	1.02	1.567	0.0193	1.04
4.08	18.39	0.533	2.04	1.614	0.0145	2.04
8.15	17.67	0.473	4.08	1.680	0.0096	4.17
4.08	17.80	0.483	4.08	1.668	0.0017	4.22
1.02	18.02	0.502	3.06	1.647	0.0041	3.09

Şekil 4.77. Mersin Yenişehir Menteş'ten Alınan CL Grubu Numune için DeneySEL (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi

Çizelge 4.62. Mersin Yenişehir Mentesh'ten Alınan CL Grubu Numunenin Dispersiyon Değerleri

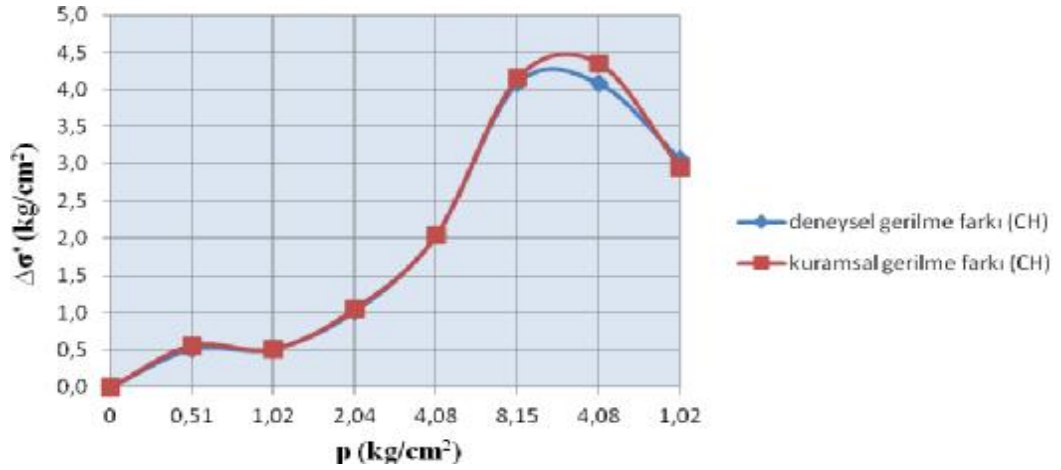
Toplam Basınç	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Dif. Kats.	Disp. Değ.	Dispersiyon Akısı	Dispersif Zem. Mik.	Toplam Sık. Zem.
p (kg/cm ²)	γ_k (gr/cm ³)	$D_s \times 10^{-5}$ (cm ² /dk)	x -	J_s (gr/cm ² dk)	ΔW_s (gr)	ΔW_t (gr)
0.00	1.484	-	-	-	-	-
0.51	1.513	1.282	7.220	3.54×10^{-29}	1.0×10^{-24}	0.0216
1.02	1.536	2.210	5.418	6.48×10^{-19}	1.8×10^{-14}	0.0684
2.04	1.567	3.362	4.306	6.34×10^{-14}	1.8×10^{-9}	0.1711
4.08	1.614	4.928	3.452	9.06×10^{-11}	2.6×10^{-6}	0.4109
8.15	1.680	6.714	2.841	7.46×10^{-9}	2.1×10^{-4}	0.8965
4.08	1.668	6.410	2.929	4.12×10^{-9}	1.2×10^{-4}	0.7946
1.02	1.647	5.877	3.097	1.27×10^{-9}	0.4×10^{-4}	0.6335

Çizelge 4.63. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numunenin Konsolidasyon Değer ve Parametreleri

σ (kg/cm ²)	$\Delta\sigma$ (kg/cm ²)	ΔH (mm)	H (mm)	Δe	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0.00	-	-	20.00	-	0.429	-	-
0.51	0.51	0.15	19.85	0.011	0.418	0.0209	0.0146
1.02	0.51	0.38	19.62	0.016	0.401	0.0324	0.0228
2.04	1.02	0.76	19.24	0.027	0.374	0.0266	0.0190
4.08	2.04	1.29	18.71	0.038	0.336	0.0187	0.0136
8.15	4.08	2.00	18.00	0.050	0.286	0.0124	0.0093
4.08	4.08	1.87	18.13	0.009	0.295	0.0022	0.0017
1.02	3.06	1.43	18.57	0.032	0.326	0.0103	0.0080

Çizelge 4.64. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numuneye ait Kuru Birim Hacim Ağırlıklarına Bağlı Efektif Gerilme Değişimi Değerleri

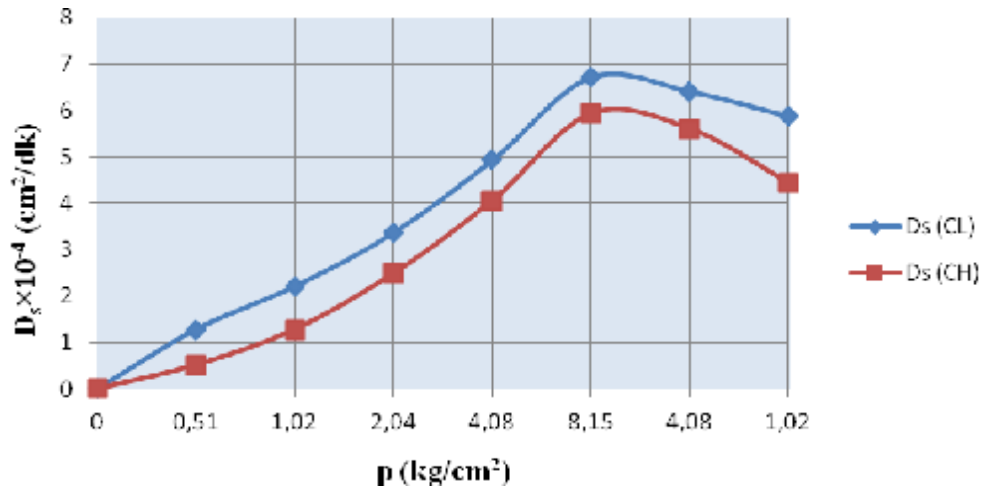
Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Basınç Farkı	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Hac. Sık. Kat.	Kuramsal Ef. Ger. Farkı
p (kg/cm^2)	H (mm)	e (%)	Δp (kg/cm^2)	γ_k (gr/cm^3)	m_v (cm^2/kg)	σ' (kg/cm^2)
0.00	20.00	0.429	-	1.710	-	-
0.51	19.85	0.418	0.51	1.724	0.0146	0.56
1.02	19.62	0.401	0.51	1.744	0.0228	0.51
2.04	19.24	0.374	1.02	1.779	0.0190	1.05
4.08	18.71	0.336	2.04	1.829	0.0136	2.04
8.15	18.00	0.286	4.08	1.901	0.0093	4.15
4.08	18.13	0.295	4.08	1.887	0.0017	4.35
1.02	18.57	0.326	3.06	1.843	0.0080	2.95

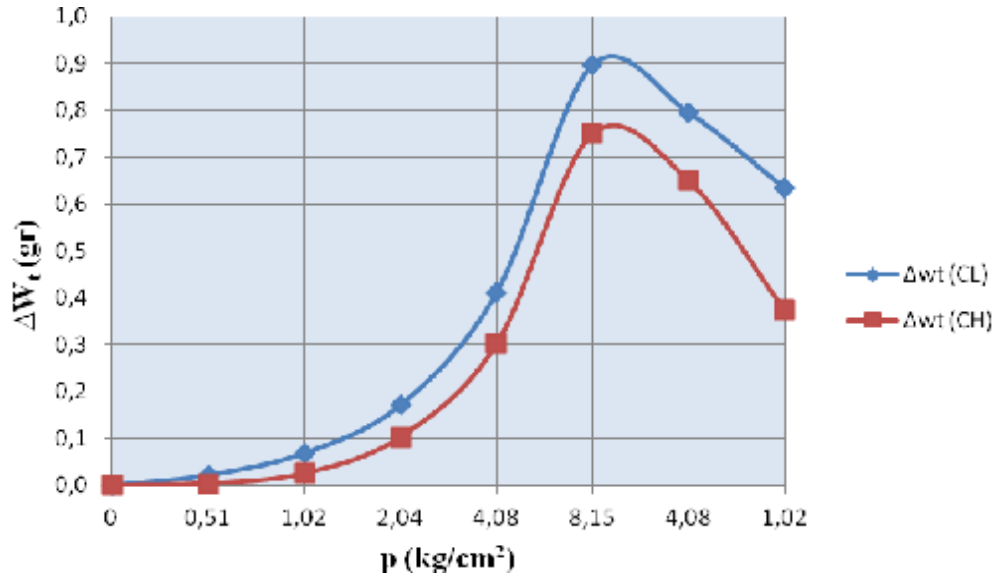
Şekil 4.78. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numune için Deneysel (p) ve Kuramsal ($\Delta\sigma'$) Gerilme Farkları İlişkisi

Çizelge 4.65. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numunenin Dispersiyon Değerleri

Toplam Basınç	Kuru Bir. Hac. Ağ.	Dif. Kats.	Disp. Değ.	Dispersiyon Akısı	Dispersif Zem. Mik.	Toplam Sık. Zem.
p (kg/cm^2)	γ_k (gr/cm^3)	$D_s \times 10^{-5}$ (cm^2/dk)	x -	J_s ($\text{gr/cm}^2 \text{dk}$)	ΔW_s (gr)	ΔW_t (gr)
0.00	1.710	-	-	-	-	-
0.51	1.724	0.515	11.525	9.75×10^{-65}	2.8×10^{-60}	0.0041
1.02	1.744	1.282	7.220	4.16×10^{-29}	1.2×10^{-24}	0.0254
2.04	1.779	2.490	5.080	3.17×10^{-17}	9.0×10^{-13}	0.1029
4.08	1.829	4.052	3.873	3.44×10^{-12}	9.7×10^{-8}	0.3013
8.15	1.901	5.927	3.081	1.65×10^{-9}	4.7×10^{-5}	0.7499
4.08	1.887	5.602	3.192	0.74×10^{-9}	2.1×10^{-5}	0.6497
1.02	1.843	4.441	3.672	0.02×10^{-9}	0.6×10^{-6}	0.3733

Zeminlerin difüzivite katsayıları (D_s) ve toplam sıkışan zemin miktarları (ΔW_t) aşağıda Şekil 4.79 ve Şekil 4.80'de karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.79. CL ve CH Grubu Numunelerin Basınç Kademesine (p) göre Difüzivite Katsayıları ($D_s \times 10^{-4}$) İlişkisi



Şekil 4.80. CL ve CH Grubu Numunelerin Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) İlişkisi

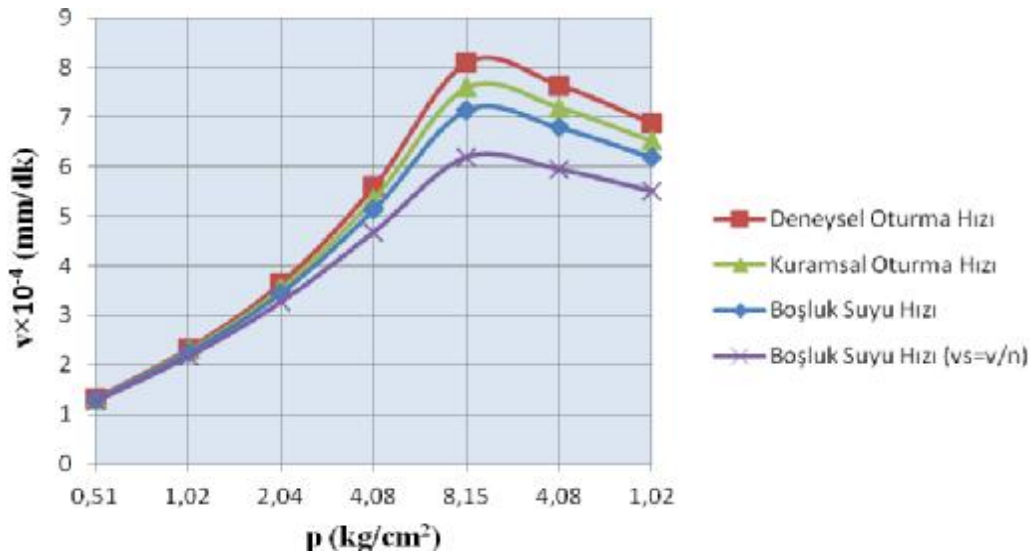
Şimdi de, bu zeminlere ait deneysel ve kuramsal oturma ve boşluk suyu hızları ile ilgili çizelgeler Çizelge 4.66, Çizelge 4.67, Çizelge 4.68, Çizelge 4.69'da ve grafikler Şekil 4.81, Şekil 4.82, Şekil 4.83 ve Şekil 4.84'de sunulmuştur.

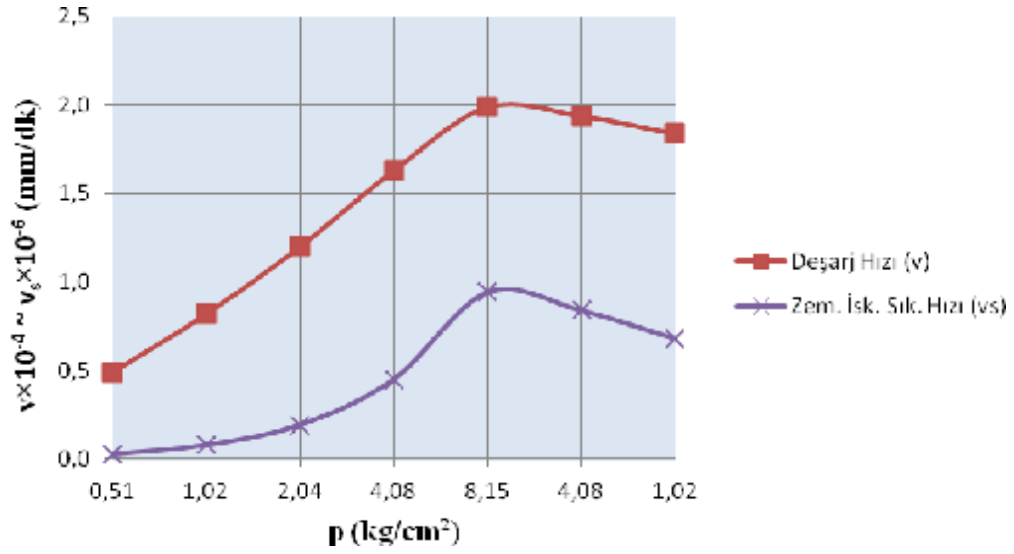
Çizelge 4.66. Mersin Yenişehir Mentеш'ten Alınan CL Grubu Numune için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi

Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Por.	Sık. Farkı	Deneysel Oturma Hızı	Kuramsal Hız
p (kg/cm ²)	H (mm)	e (%)	n (%)	ΔH (mm)	$v_z = \frac{DH}{2t}$ ($\times 10^{-4}$) (mm/dk)	$v_z = \frac{z}{2t} \ln \frac{\epsilon_z}{\epsilon_i} \frac{\ddot{\epsilon}_z}{\ddot{\epsilon}_i} \frac{\ddot{\epsilon}_z}{\ddot{\epsilon}_i}$ ($\times 10^{-4}$) (mm/dk)
0.00	20.00	0.667	0.400	-	-	-
0.51	19.62	0.635	0.388	0.38	1.319	1.307
1.02	19.33	0.611	0.379	0.67	2.326	2.287
2.04	18.95	0.579	0.367	1.05	3.646	3.548
4.08	18.39	0.533	0.348	1.61	5.590	5.359
8.15	17.67	0.473	0.321	2.33	8.090	7.600
4.08	17.80	0.483	0.326	2.20	7.639	7.202
1.02	18.02	0.502	0.334	1.98	6.875	6.523

Çizelge 4.67. Mersin Yenişehir Mentеш'ten Alınan CL Grubu Numune için Boşluk Suyu, Boşalma (Deşarj) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları İlişkisi

Toplam Basınç	Boşluk Suyu Hızı	Zemin İsk. Sıkışma Hızı	Boşalma Hızı	Boş. Su Hızı
	$v_{z2} = \frac{z}{2t} \frac{e}{e} - \frac{ae}{e} \frac{ö}{z_i} \frac{ü}{ü}$	$v_s = v_z - v_{z2}$	$v = \frac{e(v_f - v_s)}{1 + e}$	$v_z = \frac{v}{n}$
p (kg/cm ²)	(×10 ⁻⁴) (mm/dk)	(×10 ⁻⁵) (mm/dk)	(×10 ⁻⁴) (mm/dk)	(×10 ⁻⁴) (mm/dk)
0.00	-	-	-	-
0.51	1.294	0.25	0.49	1.263
1.02	2.248	0.78	0.82	2.164
2.04	3.454	1.92	1.20	3.270
4.08	5.140	4.50	1.63	4.684
8.15	7.148	9.42	1.99	6.199
4.08	6.799	8.40	1.94	5.951
1.02	6.194	6.81	1.84	5.509

Şekil 4.81. Mersin Yenişehir Mentеш'ten Alınan CL Grubu Numune için Basınç Kademesine (p) göre Deneysel ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları (v×10⁻⁴) İlişkisi



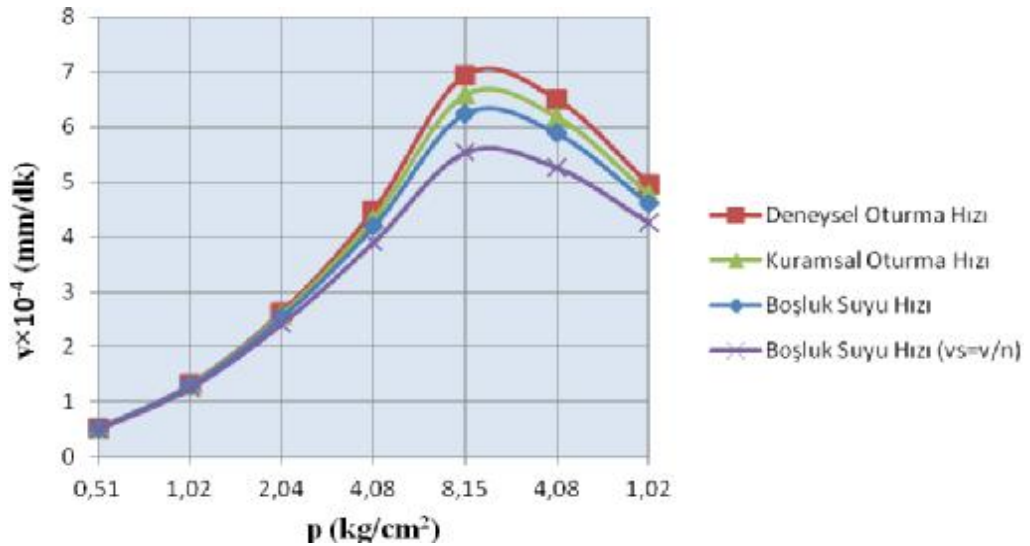
Şekil 4.82. Mersin Yenişehir Mentеш'ten Alınan CL Grubu Numune için Basınç Kademesine (p) göre Deşarj ($v \times 10^{-4}$) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-6}$) İlişkisi

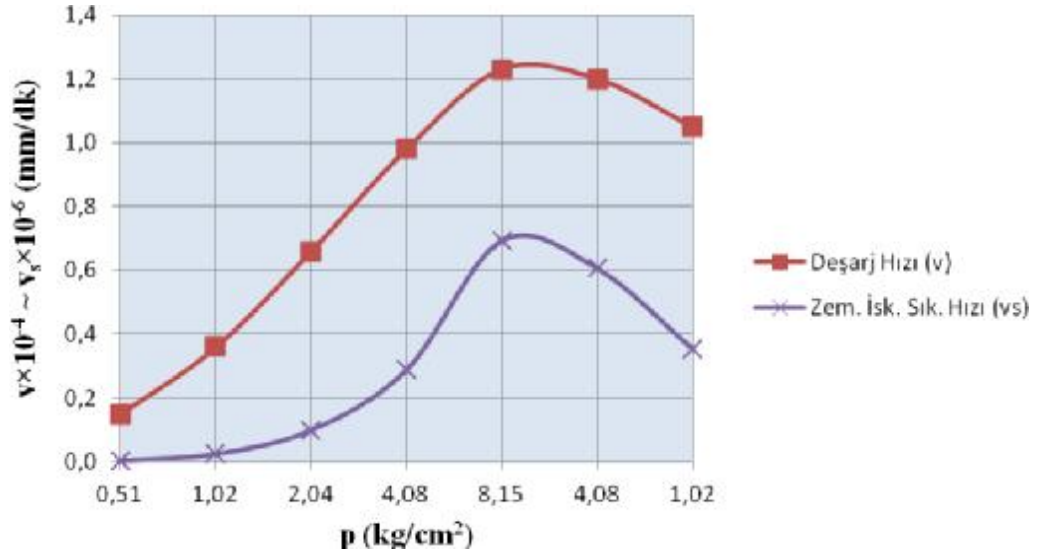
Çizelge 4.68. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numune için Oturma Hızları ve Kuramsal Hız İlişkisi

Toplam Basınç	Num. Yük.	Boşluk Oranı	Por.	Sık. Farkı	Deneysel Oturma Hızı	Kuramsal Hız
p (kg/cm²)	H (mm)	e (%)	n (%)	ΔH (mm)	$v_z = \frac{DH}{2t}$ (×10⁻⁴) (mm/dk)	$v_z = \frac{z}{2t} \ln \frac{e_z}{e_{zi}} \frac{\partial z}{\partial t}$ (×10⁻⁴) (mm/dk)
0.00	20.00	0.429	0.300	-	-	-
0.51	19.85	0.418	0.295	0.15	0.521	0.519
1.02	19.62	0.401	0.286	0.38	1.319	1.307
2.04	19.24	0.374	0.272	0.76	2.639	2.588
4.08	18.71	0.336	0.251	1.29	4.479	4.332
8.15	18.00	0.286	0.222	2.00	6.944	6.585
4.08	18.13	0.295	0.228	1.87	6.493	6.180
1.02	18.57	0.326	0.246	1.43	4.965	4.783

Çizelge 4.69. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numune için Boşluk Suyu, Boşalma (Deşarj) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları İlişkisi

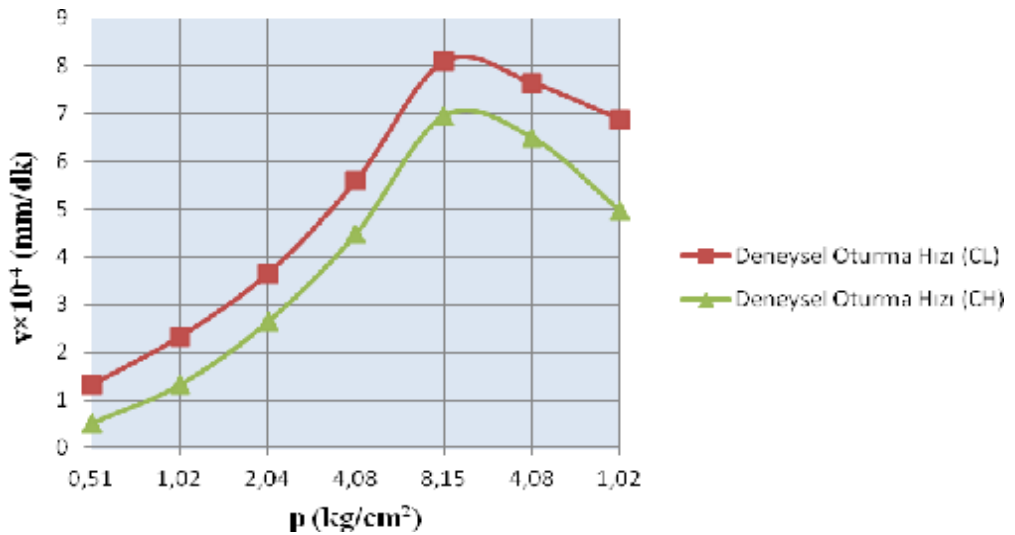
Toplam Basınç	Boşluk Suyu Hızı	Zemin İsk. Sıkışma Hızı	Boşalma Hızı	Boş. Su Hızı
	$v_{z2} = \frac{z}{2t} \frac{e}{e_0} - \frac{e}{e_0} \frac{v_z}{v_z}$	$v_s = v_z - v_{z2}$	$v = \frac{e(v_f - v_s)}{1 + e}$	$v_z = \frac{v}{n}$
p (kg/cm ²)	(×10 ⁻⁴) (mm/dk)	(×10 ⁻⁵) (mm/dk)	(×10 ⁻⁴) (mm/dk)	(×10 ⁻⁴) (mm/dk)
0.00	-	-	-	-
0.51	0.517	0.04	0.15	0.509
1.02	1.294	0.25	0.36	1.259
2.04	2.539	1.00	0.66	2.427
4.08	4.190	2.89	0.98	3.904
8.15	6.250	6.94	1.23	5.541
4.08	5.886	6.07	1.20	5.263
1.02	4.610	3.55	1.05	4.268

Şekil 4.83. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numune için Basınç Kademesine (p) göre Deneyisel ve Kuramsal Oturma ve Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi

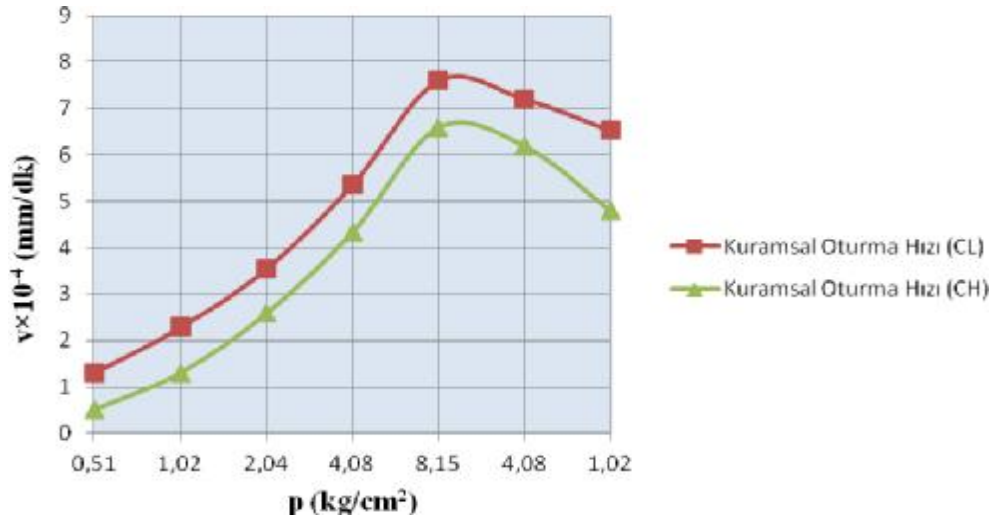


Şekil 4.84. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CH Grubu Numune için Basınç Kademesine (p) göre Deşarj ($v \times 10^{-4}$) ve Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-6}$) İlişkisi

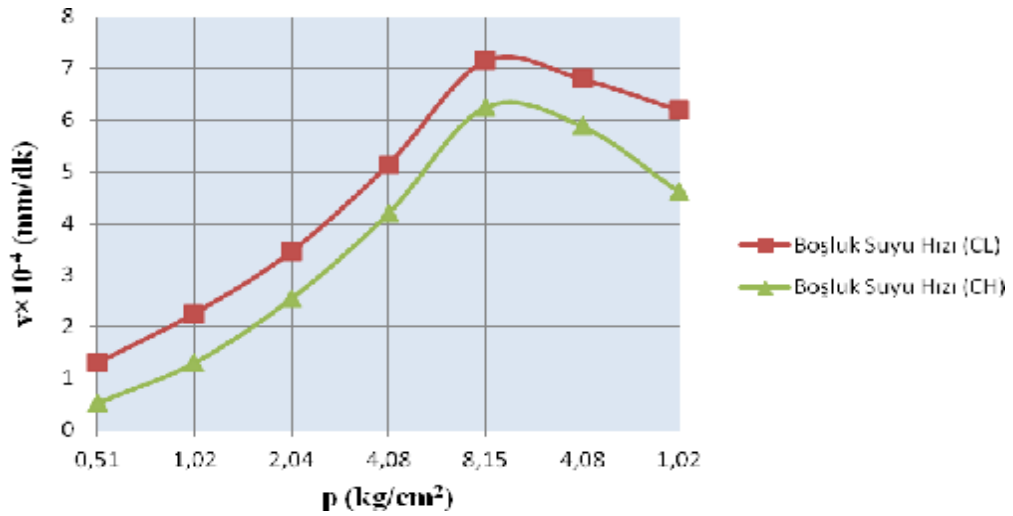
Zeminlerin birbirleriyle deneysel ve kuramsal oturma, boşluk suyu, deşarj ve zemin iskeleti sıkışma hızları kıyaslamaları Şekil 4.85, Şekil 4.86, Şekil 4.87, Şekil 4.88, Şekil 4.89 ve Şekil 4.90'da verilmiştir.



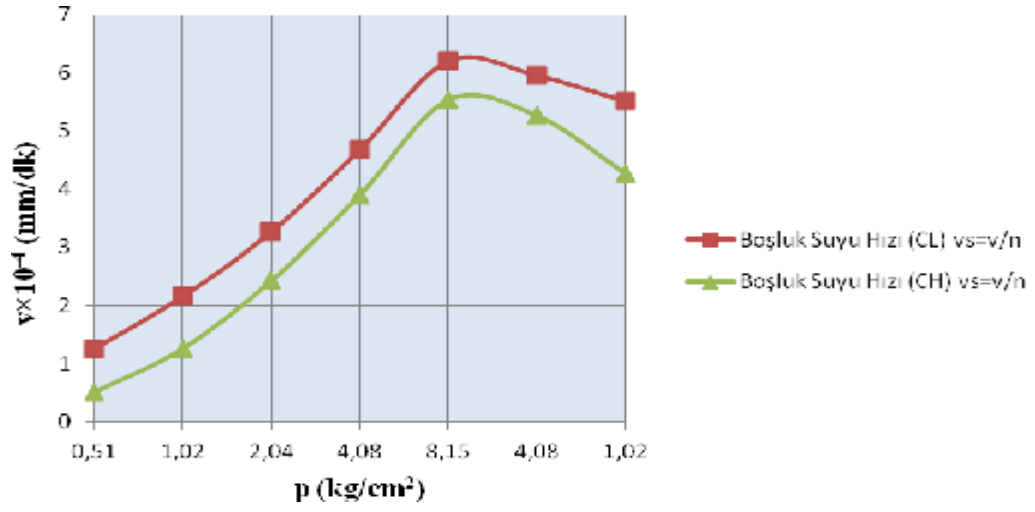
Şekil 4.85. CL ve CH Grubu Numuneler için Basınç Kademesine (p) göre Deneysel Oturma Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi



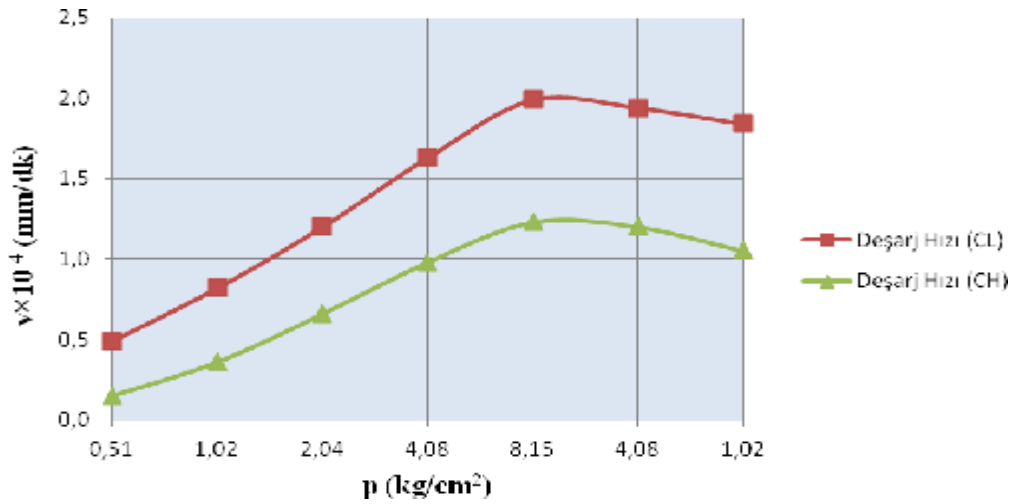
Şekil 4.86. CL ve CH Grubu Numuneler için Basınç Kademesine (p) göre Kuramsal Oturma Hızları ($v \times 10^{-4}$) ilişkisi



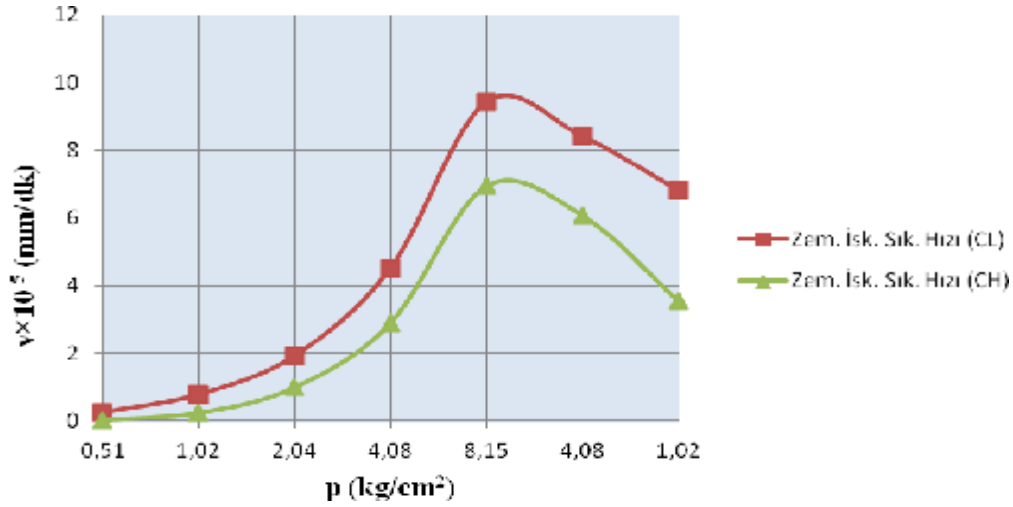
Şekil 4.87. CL ve CH Grubu Numuneler için Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) ilişkisi



Şekil 4.88. CL ve CH Grubu Numuneler için Basınç Kademesine (p) göre $v_s=v/n$ ile Bulunan Boşluk Suyu Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi



Şekil 4.89. CL ve CH Grubu Numuneler için Basınç Kademesine (p) göre Deşarj Hızları ($v \times 10^{-4}$) İlişkisi



Şekil 4.90. CL ve CH Grubu Numuneler için Basınç Kademesine (p) göre Zemin İskeleti Sıkışma Hızları ($v \times 10^{-5}$) İlişkisi

4.2. Regresyon Analiz Sonuçları Ve Önerilen Denklemler

Kuru birim hacim ağırlık değişiminin bağımlı değişken olarak alınarak diğer parametrelerin kuru birim hacim ağırlığa bağılılığı ve aralarındaki ilişkilerin geçerliliği ve tutarlılığı bu bölümde ele alınarak kontrol edilmiştir. Bu ilişkiler sonucunda, takip eden sayfalardaki grafiklerden de gözlemlenebileceği gibi, doğrusala çok yakın ilişkiler elde edilmiştir. Bu bölümde, bahsedilen grafikler sunulacak ve ilgili yorumlamalar yapılacaktır. Bu grafiklerin çiziminde kullanılan kuramsal ve önerilen denklem sonuçları, Çizelge 4.70, Çizelge 4.72, Çizelge 4.74, Çizelge 4.77’de topluca verilmiştir.

4.2.1 Bulunan Korelasyon ve Determinasyon Katsayılarının Yorumlanması

Kuru birim hacim ağırlık değişimi ($\Delta\gamma_k$) ile kuramsal ve tahmini toplam sıkışan zemin miktarları (ΔW_t) arasındaki ilişkileri incelemek ve değerlendirmek için kullanılmış olan deney verileri Çizelge 4.70’de sunulmuştur. Eğer kuru birim hacim ağırlık değişimi ile toplam sıkışan zemin miktarı değişimi arasında lineer bir ilişki olduğu düşünülürse, Şekil 4.91’deki grafik ve veriler elde edilir.

Çizelge 4.70. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimine ($\Delta\gamma_k$) Bağlı Kuramsal ve Tahmini Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t)

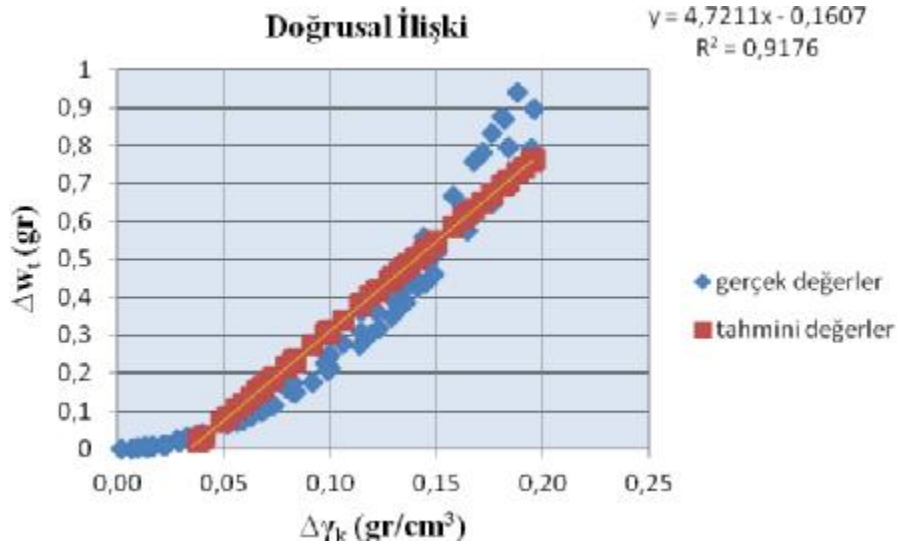
Kuramsal Değerler		Tahmini Değerler		
$\Delta\gamma_k$	ΔW_t	Doğrusal	Polinomsal	Üssel
(gr/cm^3)	(gr)	ΔW_t (gr)	ΔW_t (gr)	ΔW_t (gr)
0.007	0.0014	0.1277	0.0023	0.0013
0.009	0.0025	0.1182	0.0029	0.0021
0.016	0.0077	0.0852	0.0067	0.0065
0.033	0.0318	0.0049	0.0257	0.0268
0.066	0.1235	0.1509	0.1017	0.1044
0.115	0.3632	0.3822	0.3104	0.3103
0.182	0.8693	0.6985	0.7811	0.7639
0.172	0.7810	0.6513	0.6972	0.6837
0.158	0.6672	0.5852	0.5879	0.5788
0.144	0.5574	0.5191	0.4879	0.4825
0.002	0.0001	0.1513	0.0015	0.0001
0.013	0.0051	0.0993	0.0048	0.0043
0.028	0.0232	0.0285	0.0187	0.0194
0.049	0.0695	0.0706	0.0561	0.0582
0.080	0.1846	0.2170	0.1497	0.1523
0.128	0.4533	0.4436	0.3850	0.3829
0.188	0.9423	0.7269	0.8336	0.8141
0.181	0.8759	0.6938	0.7725	0.7557
0.176	0.8324	0.6702	0.7302	0.7153
0.168	0.7589	0.6324	0.6650	0.6529
0.056	0.0704	0.1037	0.0732	0.0756
0.072	0.1145	0.1792	0.1211	0.1238
0.099	0.2138	0.3067	0.2297	0.2313
0.141	0.4262	0.5050	0.4677	0.4629
0.195	0.7924	0.7599	0.8972	0.8747
0.188	0.7381	0.7269	0.8336	0.8141
0.165	0.5765	0.6183	0.6414	0.6302
0.029	0.0216	0.0238	0.0200	0.0208
0.052	0.0684	0.0848	0.0631	0.0654
0.083	0.1711	0.2312	0.1612	0.1637
0.130	0.4109	0.4530	0.3972	0.3947
0.196	0.8965	0.7646	0.9064	0.8835
0.184	0.7946	0.7080	0.7984	0.7805
0.163	0.6335	0.6088	0.6259	0.6153

Çizelge 4.70'in Devamı

0.030	0.0200	0.0191	0.0213	0.0222
0.059	0.0759	0.1178	0.0813	0.0838
0.083	0.1480	0.2312	0.1612	0.1637
0.114	0.2749	0.3775	0.3050	0.3051
0.149	0.4599	0.5427	0.5225	0.5159
0.145	0.4379	0.5239	0.4947	0.4891
0.136	0.3867	0.4814	0.4349	0.4313
0.129	0.3490	0.4483	0.3911	0.3888
0.123	0.3176	0.4200	0.3554	0.3541
0.100	0.2136	0.3114	0.2344	0.2359
0.017	0.0074	0.0804	0.0075	0.0073
0.038	0.0372	0.0187	0.0339	0.0353
0.063	0.1004	0.1367	0.0927	0.0953
0.099	0.2422	0.3067	0.2297	0.2313
0.145	0.5062	0.5239	0.4947	0.4891
0.137	0.4514	0.4861	0.4414	0.4375
0.122	0.3612	0.4153	0.3496	0.3485
0.106	0.2764	0.3397	0.2635	0.2645
0.100	0.2470	0.3114	0.2344	0.2360
0.080	0.1590	0.2170	0.1497	0.1523
0.021	0.0110	0.0616	0.0109	0.0110
0.040	0.0395	0.0281	0.0375	0.0391
0.066	0.1056	0.1509	0.1017	0.1044
0.098	0.2271	0.3020	0.2251	0.2267
0.150	0.5184	0.5475	0.5296	0.5227
0.146	0.4922	0.5286	0.5016	0.4957
0.140	0.4541	0.5003	0.4610	0.4565
0.135	0.4220	0.4766	0.4285	0.4251
0.130	0.3926	0.4530	0.3972	0.3947
0.115	0.3093	0.3822	0.3104	0.3103
0.010	0.0023	0.1135	0.0033	0.0026
0.023	0.0115	0.0521	0.0129	0.0132
0.041	0.0361	0.0329	0.0393	0.0410
0.068	0.0977	0.1603	0.1080	0.1107
0.099	0.2051	0.3067	0.2297	0.2313
0.092	0.1770	0.2736	0.1982	0.2003
0.084	0.1481	0.2359	0.1651	0.1675
0.074	0.1165	0.1887	0.1280	0.1307
0.063	0.0851	0.1367	0.0927	0.0953

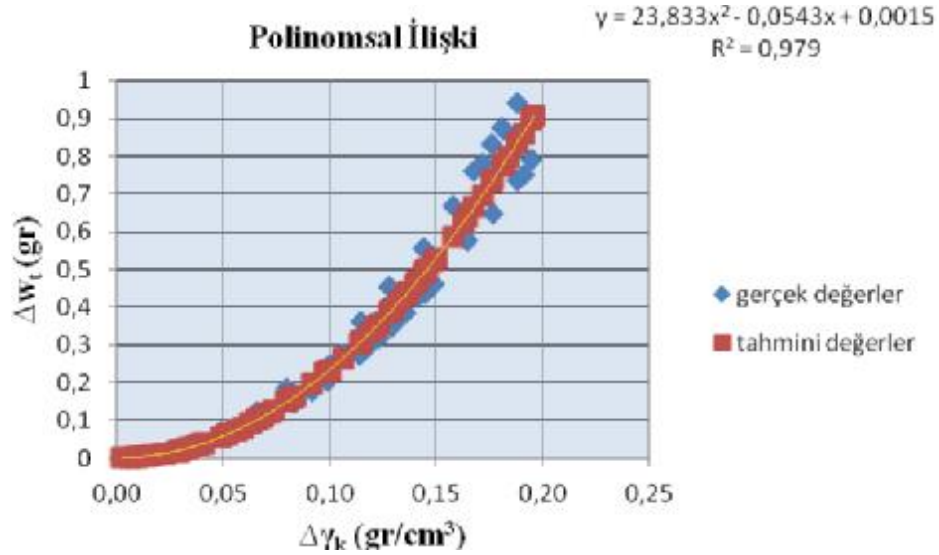
Çizelge 4.70'in Devamı

0.038	0.0315	0.0187	0.0339	0.0353
0.029	0.0216	0.0238	0.0200	0.0208
0.052	0.0684	0.0848	0.0631	0.0654
0.083	0.1711	0.2312	0.1612	0.1637
0.130	0.4109	0.4530	0.3972	0.3947
0.196	0.8965	0.7646	0.9064	0.8835
0.184	0.7946	0.7080	0.7984	0.7805
0.163	0.6335	0.6088	0.6259	0.6153
0.014	0.0041	0.0946	0.0054	0.0050
0.034	0.0254	0.0002	0.0272	0.0284
0.069	0.1029	0.1651	0.1112	0.1139
0.119	0.3013	0.4011	0.3325	0.3319
0.191	0.7499	0.7410	0.8606	0.8398
0.177	0.6497	0.6749	0.7386	0.7233
0.133	0.3733	0.4672	0.4159	0.4128

Şekil 4.91. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi ($\Delta\gamma_k$) ile Toplam Sıkışan Zemin Miktarı Değişimi (ΔW_t) Arasındaki Doğrusal İlişki Grafiği

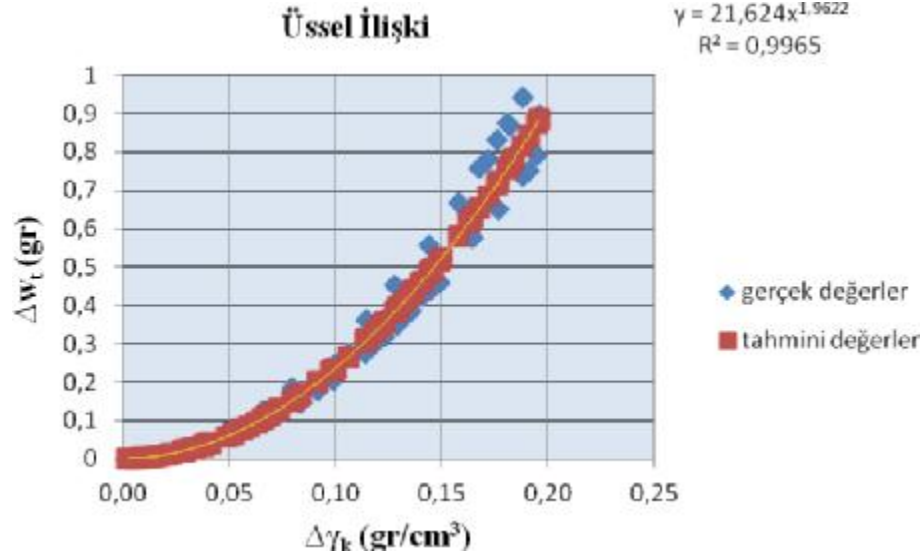
Bu grafikten, eğri uydurma (curve fitting) ve lineer (doğrusal) regresyon analizleri sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değişimi ve toplam sıkışan zemin miktarı değişimi arasındaki denkleme göre bulunan tahmini değerler birbirlerine çok yakın çıkmaktadır. Eğer bu ilişki polinomsal bir fonksiyonu ifade

eden $y=ax^2+bx+c$ şeklinde bir denklemle ifade edilirse, bu sefer de Şekil 4.92’de verilen grafik elde edilir.



Şekil 4.92. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi ($\Delta\gamma_k$) ile Toplam Sıkışan Zemin Miktarı Değişimi (ΔW_t) Arasındaki Polinomsal İlişki Grafiği

Grafiklerde görülen R^2 değeri, daha önce de değinildiği gibi, ilişkisi gösterilmek istenen biri bağımlı diğeri bağımsız olan iki değişkenin birbirleriyle uyumunu göstermektedir. Yukarıdaki doğrusal ilişki grafiğinde bu değer neredeyse 0.92 ye eşit olduğu görülebilir ki kuru birim hacim ağırlık değişimi ve toplam sıkışan zemin miktarındaki değişme arasında son derece ciddi bir uyum olduğu sonucu çıkarılabilir. İkinci grafikte ise elde edilmiş olan 0.98 lik R^2 değeri yine bu değişimin 2. dereceden bir polinomsal grafik ve denklemle ifade edildiği zaman ne kadar gerçekçi ve yakın bir ilişkinin olduğunu açıkça göstermektedir. Polinomsal olan bu ilişkide standart hata değeri regresyon analizi ile %7 olarak çıkmaktadır. Son olarak, üs fonksiyonu olarak gerçekleştirilmiş olan regresyon analizi ile bulunan aşağıdaki grafikte ise R^2 değerinin 1.00 değerine ne kadar yaklaşmış olduğu gözlemlenebilir. Üs fonksiyonu şeklinde olan bu ilişkide ise standart hata yine regresyon analizi ile %6 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.93. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi ($\Delta\gamma_k$) ile Toplam Sıkışan Zemin Miktarı Değişimi (ΔW_t) Arasındaki Üssel İlişki Grafiği

Kuru birim hacim ağırlık değişimi ve toplam sıkışan zemin miktarı değişimi arasındaki ilişkinin durumunu anlamak için, regresyon analizleri ile, Çizelge 4.71'deki korelasyon ve determinasyon katsayısı değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.71. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi ($\Delta\gamma_k$) ile Toplam Sıkışan Zemin Miktarı Değişimi (ΔW_t) İlişkisine ait Korelasyon ve Determinasyon Katsayıları

Katsayılar	Değerler
Korelasyon Katsayısı	0.9579
Determinasyon Katsayısı	0.9175

Bu değerlere göre, yukarıda verilmiş olan bilgiler göz önüne alınarak yorumlama yapılırsa, yaklaşık 0.96 olan korelasyon katsayısı değerine göre, kuru birim hacim ağırlık değişimi ile toplam sıkışan zemin miktarı değişimi arasında oldukça kuvvetli bir ilişki söz konusudur. Determinasyon katsayısının yaklaşık 0.92 lik değerine göre ise toplam sıkışan zemin miktarında meydana gelen değişimlerin %92 sinin sebebi kuru birim hacim ağırlıkta meydana gelen değişimlerdir. Bu sonuç ise, birçok parametre içeren bir olay içinde kuru birim hacim ağırlığının ne kadar ciddi bir role sahip olduğunu göstermektedir.

Bu sefer de, kuru birim hacim ağırlığın, zemin içinde akan suyun hızı ile ilişkisi incelenecektir. Bu ilişkiler için verilen grafiklerin çiziminde kullanılan kuramsal ve önerilen denklem sonuçları, aşağıda Çizelge 4.72’de topluca verilmiştir. Korelasyon ve determinasyon katsayıları ise Çizelge 4.73’deki gibi bulunur:

Çizelge 4.72. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimine ($\Delta\gamma_k$) Bağlı Kuramsal ve Tahmini Boşluk Suyu Hızları (v_z)

Kuramsal Değerler		Tahmini Değerler	
$\Delta\gamma_k$ (gr/cm^3)	v_z (mm/dk)	Doğrusal v_z (mm/dk)	Üssel v_z (mm/dk)
0.007	0.00004	0.00003	0.00003
0.009	0.00005	0.00004	0.00004
0.016	0.00008	0.00007	0.00007
0.033	0.00017	0.00014	0.00014
0.066	0.00033	0.00027	0.00028
0.115	0.00056	0.00048	0.00047
0.182	0.00084	0.00075	0.00073
0.172	0.00080	0.00071	0.00069
0.158	0.00075	0.00065	0.00064
0.144	0.00068	0.00060	0.00058
0.002	0.00001	0.00001	0.00001
0.013	0.00007	0.00006	0.00006
0.028	0.00015	0.00012	0.00012
0.049	0.00025	0.00020	0.00021
0.080	0.00041	0.00033	0.00033
0.128	0.00063	0.00053	0.00052
0.188	0.00089	0.00077	0.00075
0.181	0.00086	0.00075	0.00073
0.176	0.00084	0.00073	0.00071
0.168	0.00080	0.00070	0.00068
0.056	0.00022	0.00023	0.00024
0.072	0.00028	0.00030	0.00030
0.099	0.00038	0.00041	0.00041
0.141	0.00053	0.00058	0.00057
0.195	0.00072	0.00080	0.00078
0.188	0.00069	0.00077	0.00075

Çizelge 4.72'nin Devamı

0.165	0.00062	0.00068	0.00066
0.029	0.00013	0.00012	0.00013
0.052	0.00023	0.00022	0.00022
0.083	0.00037	0.00034	0.00034
0.130	0.00056	0.00053	0.00053
0.196	0.00081	0.00081	0.00078
0.184	0.00076	0.00076	0.00074
0.163	0.00069	0.00067	0.00066
0.030	0.00012	0.00013	0.00013
0.059	0.00023	0.00024	0.00025
0.083	0.00032	0.00034	0.00034
0.114	0.00043	0.00047	0.00047
0.149	0.00055	0.00061	0.00060
0.145	0.00053	0.00060	0.00059
0.136	0.00050	0.00056	0.00055
0.129	0.00048	0.00053	0.00052
0.123	0.00046	0.00051	0.00050
0.100	0.00038	0.00041	0.00041
0.017	0.00008	0.00007	0.00008
0.038	0.00017	0.00016	0.00016
0.063	0.00028	0.00026	0.00027
0.099	0.00043	0.00041	0.00041
0.145	0.00062	0.00060	0.00059
0.137	0.00058	0.00057	0.00056
0.122	0.00052	0.00051	0.00050
0.106	0.00046	0.00044	0.00044
0.100	0.00044	0.00041	0.00041
0.080	0.00035	0.00033	0.00033
0.021	0.00009	0.00009	0.00009
0.040	0.00017	0.00017	0.00017
0.066	0.00028	0.00028	0.00028
0.098	0.00041	0.00041	0.00040
0.150	0.00061	0.00062	0.00061
0.146	0.00060	0.00060	0.00059
0.140	0.00057	0.00058	0.00057
0.135	0.00055	0.00056	0.00055
0.130	0.00053	0.00054	0.00053
0.115	0.00048	0.00048	0.00047
0.010	0.00004	0.00004	0.00005

Çizelge 4.72'nin Devamı

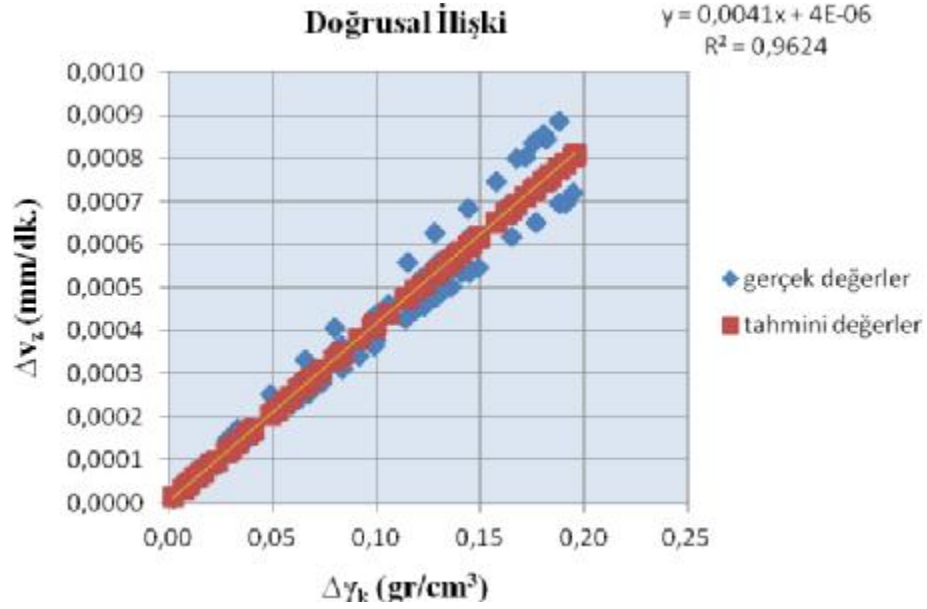
0.023	0.00009	0.00010	0.00010
0.041	0.00016	0.00017	0.00018
0.068	0.00025	0.00028	0.00029
0.099	0.00037	0.00041	0.00041
0.092	0.00034	0.00038	0.00038
0.084	0.00031	0.00035	0.00035
0.074	0.00028	0.00031	0.00031
0.063	0.00024	0.00026	0.00027
0.038	0.00015	0.00016	0.00016
0.029	0.00013	0.00013	0.00013
0.052	0.00023	0.00022	0.00022
0.083	0.00036	0.00034	0.00034
0.130	0.00056	0.00054	0.00053
0.196	0.00081	0.00081	0.00078
0.184	0.00076	0.00076	0.00074
0.163	0.00069	0.00067	0.00066
0.014	0.00005	0.00006	0.00006
0.034	0.00013	0.00014	0.00015
0.069	0.00026	0.00028	0.00029
0.119	0.00045	0.00049	0.00049
0.191	0.00069	0.00079	0.00076
0.177	0.00065	0.00073	0.00071
0.133	0.00049	0.00055	0.00054

Çizelge 4.73. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi ($\Delta\gamma_k$) ile Boşluk Suyu Hızı Değişimi (Δv_z) İlişkisine ait Korelasyon ve Determinasyon Katsayıları

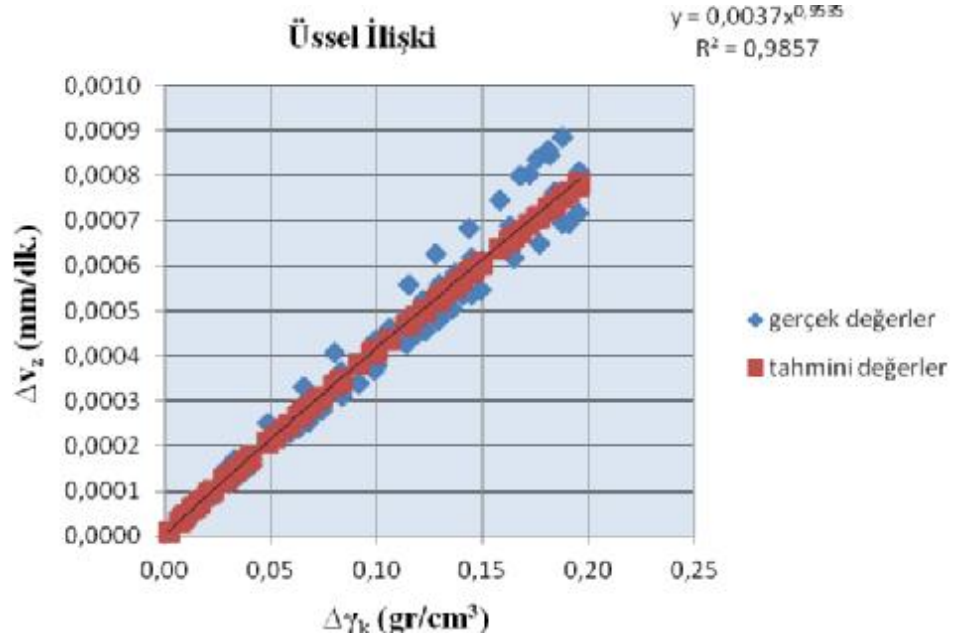
Katsayılar	Değerler
Korelasyon Katsayısı	0.9810
Determinasyon Katsayısı	0.9624

Buna göre, korelasyon katsayısının % 98 olan değeri gereğince, kuru birim hacim ağırlık değişimi ile zemin içinde akan suyun zaman içindeki akış hızı değişimleri birbirleriyle çok güçlü bir ilişki içerisindedir. Bunun yanında, determinasyon katsayısının 0.9624 lük değerine göre, zemin içinde akan suyun hızında meydana gelen değişmelerin %96 sından fazlası kuru birim hacim ağırlıktaki

değişimlerden kaynaklanmaktadır. Bu ilişki, aşağıda Şekil 4.94 ve Şekil 4.95’de verilen grafiklerden de görülebilmektedir.



Şekil 4.94. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi ($\Delta \gamma_k$) ile Zemin İçinde Akan Boşluk Suyu Hızının Değişimi (Δv_z) Arasındaki Doğrusal İlişki Grafiği



Şekil 4.95. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi ($\Delta \gamma_k$) ile Zemin İçinde Akan Boşluk Suyu Hızının Değişimi (Δv_z) Arasındaki Üssel İlişki Grafiği

Yine, korelasyon ve determinasyon katsayılarının gösterdiği güçlü uyum yanında, daha önce de bahsedilmiş olan R^2 uyumu da grafiklerde görülebilmektedir. Bu değerin 0 ile 1 arasında değer aldığı, 0 değerinin herhangi bir ilişki bulunmadığı ve 1 değerinin ise birebir bağlantılı çok güçlü ilişki durumunu işaret ettiği ifade edilmişti. Yukarıda verilmiş olan doğrusal ve üssel grafiklerdeki sırasıyla 0.9624 ve 0.9857 lik, 1 değerine çok yakın olan değerler yine kuru birim hacim ağırlık değişiminin zemin içindeki boşluk suyu hızlarının değişimi ile ve dolayısıyla da zeminin oturma hızı, boşluk suyunun deşarj hızı ve zemin iskeletinin sıkışma hızlarıyla da güçlü bir uyum içinde olacağı yorumunu beraberinde gündeme getirmektedir.

Bu sebeplerle, kuru birim hacim ağırlık değişimi ile hem toplam sıkışan zemin miktarlarında hem de zemin içinde akan boşluk suyu hızının zaman içindeki değişimi ile ilgili ileride verilmiş olan denklemler önerilmiştir. Bu denklemler birçok deney sonucu üzerinde de denenmiş ve deneysel sonuçlara çok yakın değerler verdiği gözlemlenmiştir.

Bu sefer de, efektif gerilme farkları üzerinde yapılmış olan regresyon analiz sonuçlarına dayalı grafikler ve önerilen denklemler sunulacaktır. Efektif gerilme farkı, kuramsal ilişkilerden hatırlanacağı üzere, hacimsel sıkışma katsayısına ve kuru birim hacim ağırlık oranlarının doğal logaritmalarına bağlı olarak değişmekteydi. Öncelikle, efektif gerilme farklarının sadece kuru birim hacim ağırlığa göre değişimi incelenmiş, sonrasında çoklu regresyon analizleri ile kuru birim hacim ağırlık ve hacimsel sıkışma katsayısının ortak etkisi ortaya konulmuş (Çizelge 4.74’de Regresyon olarak isimlendirilmiştir) ve bu ilişkilerin hepsi birbirleriyle kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama sonuçlarına göre kuru birim hacim ağırlık yine önemini korumakta ve efektif gerilmelerde meydana gelen değişmelerin en önemli sebebi olarak yerini korumaktadır. Bulunan kuramsal ve önerilen denklem sonuçları, aşağıda Çizelge 4.74’de topluca verilmiştir. Yapılmış olan regresyon analizlerinde bulunan korelasyon ve determinasyon katsayıları ise Çizelge 4.75 ve Çizelge 4.76’da verilmiştir.

Çizelge 4.74. Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranına (γ_{kn}/γ_{k0}) Bağlı Kuramsal ve Tahmini Efektif Gerilme Farkları ($\Delta\sigma'$)

Kuramsal Değerler		Tahmini Değerler		
γ_{kn}/γ_{k0}	$\Delta\sigma'$	Doğrusal $\Delta\sigma'$	Polinomsal $\Delta\sigma'$	Regresyon $\Delta\sigma'$
(gr/cm ³)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
1.000	0	-0.280	0.100	-0.234
1.005	0.129	-0.142	0.132	-0.085
1.007	0.094	-0.102	0.142	-0.001
1.013	0.250	0.036	0.185	0.096
1.025	0.506	0.372	0.329	0.369
1.050	1.005	1.024	0.761	0.922
1.087	1.932	1.992	1.778	1.759
1.138	4.151	3.315	3.894	2.924
1.130	3.342	3.118	3.525	3.308
1.119	2.359	2.841	3.039	2.738
1.109	0.952	2.564	2.591	2.302
1.000	0.000	-0.280	0.100	-0.234
1.002	0.130	-0.239	0.108	-0.088
1.010	0.127	-0.016	0.168	0.008
1.022	0.250	0.288	0.288	0.274
1.038	0.529	0.714	0.530	0.649
1.062	1.005	1.343	1.047	1.194
1.100	2.034	2.317	2.221	2.038
1.146	4.162	3.535	4.327	3.121
1.141	4.767	3.393	4.044	4.213
1.137	1.709	3.291	3.849	3.454
1.131	0.916	3.129	3.546	2.868
1.000	0	-0.280	0.100	-0.234
1.033	0.510	0.581	0.445	0.513
1.043	0.520	0.827	0.609	0.777
1.058	1.010	1.242	0.952	1.140
1.083	2.000	1.889	1.648	1.712
1.115	4.030	2.719	2.837	2.485
1.111	4.130	2.611	2.664	3.703
1.097	3.000	2.258	2.136	2.237
1.000	0	-0.280	0.100	-0.234
1.020	0.510	0.229	0.261	0.216
1.035	0.520	0.633	0.477	0.612
1.056	1.000	1.177	0.892	1.085

Çizelge 4.74'ün Devamı

1.088	1.970	2.002	1.791	1.809
1.132	4.010	3.161	3.605	2.858
1.124	4.220	2.950	3.227	3.989
1.110	3.090	2.582	2.618	2.511
1.000	0	-0.280	0.100	-0.234
1.017	0.250	0.168	0.235	0.163
1.034	0.250	0.601	0.457	0.530
1.048	0.500	0.959	0.709	0.863
1.065	0.980	1.422	1.125	1.282
1.085	2.010	1.945	1.718	1.789
1.083	2.300	1.885	1.644	3.090
1.078	0.970	1.750	1.483	1.756
1.074	0.500	1.646	1.363	1.572
1.070	0.240	1.556	1.265	1.416
1.057	0.260	1.213	0.925	1.054
1.000	0	-0.280	0.100	-0.235
1.011	0.250	0.017	0.179	0.046
1.026	0.250	0.384	0.335	0.351
1.042	0.500	0.822	0.606	0.737
1.066	1.000	1.452	1.156	1.287
1.097	1.960	2.257	2.135	2.000
1.092	1.440	2.117	1.943	2.186
1.082	1.010	1.854	1.607	1.715
1.071	0.520	1.574	1.285	1.401
1.067	0.250	1.469	1.174	1.333
1.054	0.250	1.119	0.842	0.974
1.000	0	-0.280	0.100	-0.235
1.013	0.250	0.070	0.198	0.087
1.026	0.250	0.388	0.337	0.357
1.042	0.500	0.822	0.606	0.738
1.063	1.010	1.357	1.061	1.218
1.096	1.940	2.226	2.093	1.967
1.094	1.990	2.159	2.001	2.967
1.090	1.000	2.059	1.866	2.122
1.087	0.450	1.976	1.758	1.877
1.083	0.250	1.892	1.653	1.715
1.074	0.250	1.641	1.359	1.426
1.000	0	-0.280	0.100	-0.235
1.006	0.240	-0.133	0.134	-0.053

Çizelge 4.74'ün Devamı

1.013	0.260	0.057	0.193	0.098
1.023	0.500	0.322	0.304	0.342
1.038	1.000	0.718	0.533	0.700
1.056	1.960	1.173	0.889	1.151
1.052	1.900	1.070	0.800	1.589
1.047	1.000	0.952	0.704	1.120
1.042	0.540	0.806	0.594	0.817
1.035	0.250	0.644	0.485	0.603
1.021	0.250	0.277	0.283	0.261
1.000	0	-0.280	0.100	-0.235
1.020	0.520	0.229	0.261	0.231
1.035	0.520	0.632	0.478	0.583
1.056	1.040	1.177	0.892	1.066
1.088	2.040	2.002	1.792	1.786
1.132	4.170	3.161	3.605	2.812
1.124	4.220	2.950	3.228	3.286
1.110	3.090	2.582	2.618	2.511
1.000	0	-0.280	0.100	-0.235
1.008	0.560	-0.066	0.152	0.038
1.020	0.510	0.238	0.265	0.262
1.040	1.050	0.771	0.570	0.724
1.070	2.040	1.533	1.240	1.396
1.112	4.150	2.630	2.695	2.368
1.104	4.350	2.417	2.367	2.835
1.078	2.950	1.746	1.478	1.645

Çizelge 4.75. Kuru Birim Hacim Ağırlık Değişimi (γ_{kn}/γ_{k0}) ile Efektif Gerilme Farkı ($\Delta\sigma'$) İlişkisine ait Korelasyon ve Determinasyon Katsayıları

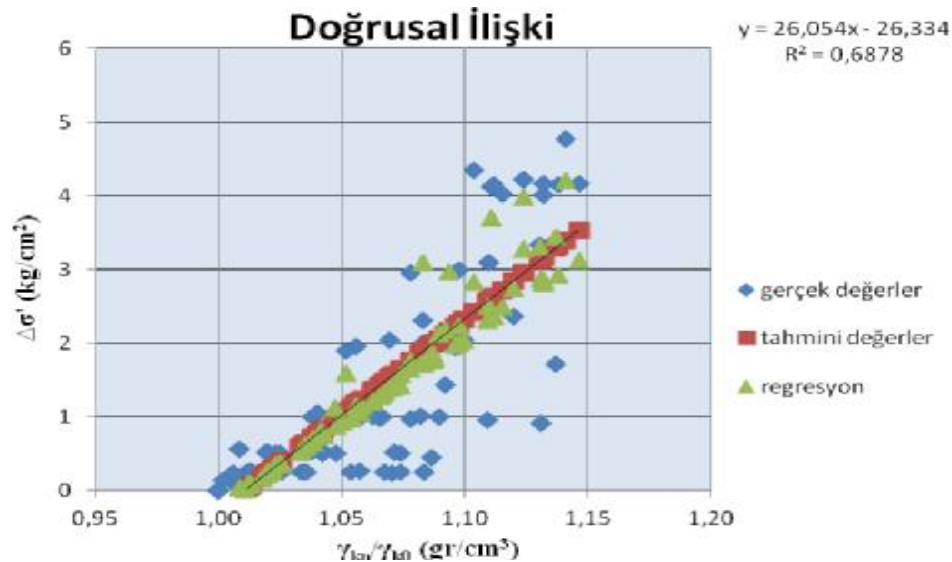
Katsayılar	Değerler
Korelasyon Katsayısı	0.8293
Determinasyon Katsayısı	0.6878

Çizelge 4.76. Hacimsel Sıkışma Katsayısı ($1/m_v$) ile Efektif Gerilme Farkı ($\Delta\sigma'$) İlişkisine ait Korelasyon ve Determinasyon Katsayıları

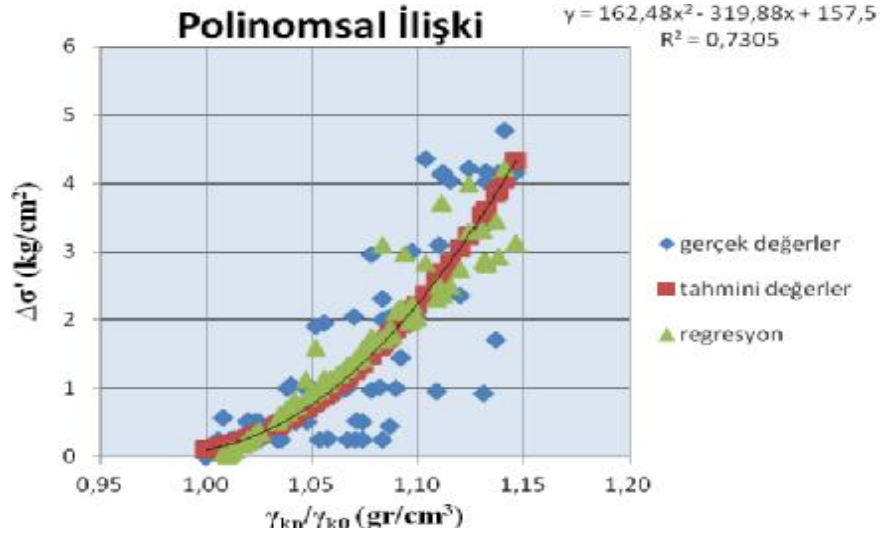
Katsayılar	Değerler
Korelasyon Katsayısı	0.6137
Determinasyon Katsayısı	0.3767

Bu değerlere göre, kuru birim hacim ağırlık oranları ile efektif gerilme değerleri arasında yaklaşık 0.83 lük korelasyon katsayısı gereği güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Determinasyon katsayısının yaklaşık 0.69 luk değerine göre de, efektif gerilmelerde meydana gelen değişimlerin % 69 a yakını, kuru birim hacim ağırlık oranlarındaki değişimlerden kaynaklanmaktadır.

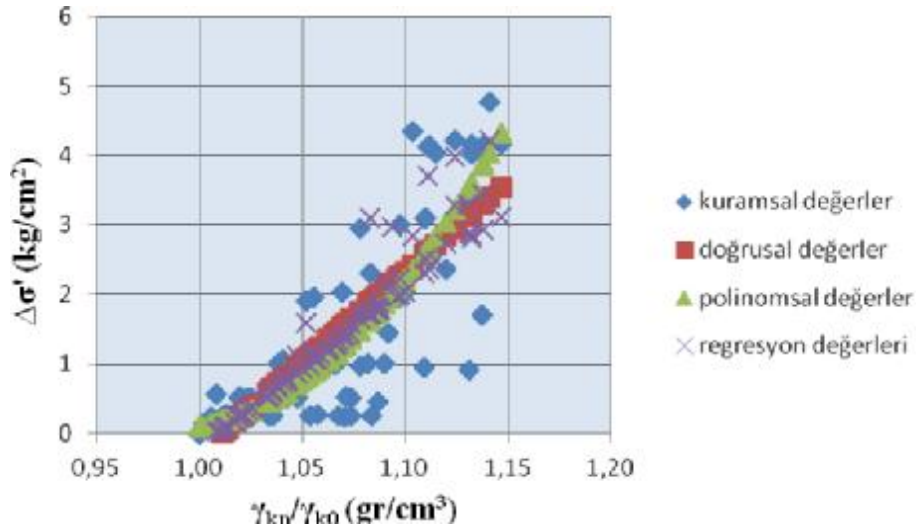
Efektif gerilme farklarının hacimsel sıkışma katsayısı ile de, Çizelge 4.76' da görülebileceği gibi, 0.61 den daha yüksek bir korelasyon katsayısı ile yine orta ile güçlü arasında bir ilişkisi bulunmaktadır. Determinasyon katsayısının yaklaşık 0.38 lik değeri gereğince de, efektif gerilmelerde meydana gelen değişimlerin %38 inin sebebi, hacimsel sıkışma katsayısındaki değişimlerdir. Bu sonuçlara göre, kuru birim hacim ağırlıktaki değişimlerin, efektif gerilmeleri, hacimsel sıkışma katsayısı değişimlerinden daha fazla etkilediği söylenebilir. Kuru birim hacim ağırlık oranı değişimleri (γ_{kn}/γ_{k0}) ile efektif gerilme değişimleri ($\Delta\sigma'$) arasındaki doğrusal, polinomsal ve regresyon analiz değerleri ile olan ilişkiler, aşağıda Şekil 4.96, Şekil 4.97 ve Şekil 4.98'de verilmiştir. Değerlerin birbirlerine ne kadar yakın çıktığı grafiklerden açıkça görülebilmektedir.



Şekil 4.96. Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranı Değişimleri (γ_{kn}/γ_{k0}) ile Efektif Gerilme Değişimleri ($\Delta\sigma'$) arasındaki Doğrusal İlişki



Şekil 4.97. Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranı Değişimleri (γ_{kn}/γ_{k0}) ile Efektif Gerilme Değişimleri ($\Delta\sigma'$) arasındaki Polinomsal İlişki



Şekil 4.98. Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranı Değişimleri (γ_{kn}/γ_{k0}) - Efektif Gerilme Değişimleri ($\Delta\sigma'$) - Regresyon Değerleri Arasındaki İlişki

Yukarıdaki Çizelge 4.74, Şekil 4.96, Şekil 4.97 ve Şekil 4.98’de “regresyon değerleri” olarak geçen değerler, hem kuru birim hacim ağırlık oranı değişiminin hem de hacimsel sıkışma katsayılarının efektif gerilmeler üzerindeki ortak etkisini yansıtan denklem ile bulunmuş sonuçlardır.

Son olarak, difüzyivite katsayısı (D_s) göz önüne alınırsa, bu katsayının birçok değişkene bağlı olduğu söylenebilir. Bunlar zeminin tarihçesi, ön-konsolidasyon

basıncı, mineralojik yapısı, hidrolik geçirgenliği, boşluk oranı ve geometrisi, sıkışabilirlik ve şişme özellikleri, kuru birim hacim ağırlık değişimleri, yüklemenin cinsi gibi birçok parametredir. Bu parametrelerden kuru birim hacim ağırlık değişimi ve hacimsel sıkışma katsayısı sıkışabilirlikte özel bir öneme sahip iken, zeminin iç yapısı ve zeminin daneleri geçirmesi gibi özellikler zeminin karakteristik bir parametresi olan K_s orantı katsayısı ile tanımlanabilir. Aşağıdaki grafiklerde verilmiş olan kuramsal ve tahmini ΔD_s ve D_s değerleri birbirlerine oldukça yakın çıkmaktadır. Bu tahmini değerler, sadece kuru birim hacim ağırlık oranına göre bulunan değerlerdir. Önce regresyon analizleri ile kuru birim hacim ağırlığa bağlı olarak difüzyivite katsayısı farkları bulunup Şekil 4.99’ da gösterilmiş ve sonrasında tahmini difüzyivite katsayısı değerleri hesaplanarak Şekil 4.100’ de grafiğe yansıtılmıştır. Regresyon analizinde kullanılan ΔD_s ve D_s değerleri Çizelge 4.77’de verilmiştir.

Çizelge 4.77. Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranı Doğal Logaritmasına ($\ln \gamma_{k2}/\gamma_{k1}$) Bağlı Kuramsal ve Tahmini Difüzyivite Katsayısı Değerleri (ΔD_s ve D_s)

$\ln \gamma_{k2}/\gamma_{k1}$ (gr/cm ³)	Kuramsal ΔD_s (cm ² /dk)	Tahmini ΔD_s (cm ² /dk)	Kuramsal D_s (cm ² /dk)	Tahmini D_s (cm ² /dk)
0	0	0.0000270	0	0
0.005	0.0000035	0.0000035	0.0000035	0.0000035
0.002	0.0000013	0.0000010	0.0000048	0.0000045
0.005	0.0000034	0.0000035	0.0000084	0.0000084
0.013	0.0000081	0.0000084	0.0000164	0.0000167
0.024	0.0000144	0.0000160	0.0000307	0.0000323
0.035	0.0000185	0.0000230	0.0000492	0.0000537
0.046	0.0000202	0.0000302	0.0000695	0.0000794
-0.007	-0.0000027	-0.0000044	0.0000667	0.0000651
-0.009	-0.0000038	-0.0000062	0.0000629	0.0000605

Çizelge 4.77'nin Devamı

-0.009	-0.0000044	-0.0000063	0.0000585	0.0000566
0	0	0	0	0.0000586
0.002	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010
0.009	0.0000058	0.0000056	0.0000068	0.0000067
0.011	0.0000074	0.0000076	0.0000142	0.0000144
0.016	0.0000095	0.0000105	0.0000237	0.0000247
0.023	0.0000135	0.0000152	0.0000373	0.0000389
0.035	0.0000171	0.0000229	0.0000543	0.0000601
0.042	0.0000178	0.0000275	0.0000721	0.0000818
-0.005	-0.0000020	-0.0000031	0.0000702	0.0000690
-0.003	-0.0000013	-0.0000022	0.0000689	0.0000679
-0.005	-0.0000025	-0.0000036	0.0000664	0.0000653
0	0	0	0	0.0000665
0.033	0.0000212	0.0000215	0.0000212	0.0000215
0.009	0.0000052	0.0000060	0.0000264	0.0000272
0.015	0.0000087	0.0000100	0.0000351	0.0000364
0.023	0.0000123	0.0000153	0.0000474	0.0000504
0.029	0.0000136	0.0000192	0.0000610	0.0000666
-0.004	-0.0000017	-0.0000024	0.0000593	0.0000585
-0.012	-0.0000056	-0.0000081	0.0000537	0.0000512
0	0	0	0	0.0000537
0.019	0.0000128	0.0000128	0.0000128	0.0000128
0.015	0.0000093	0.0000100	0.0000221	0.0000228
0.020	0.0000115	0.0000132	0.0000336	0.0000353
0.030	0.0000157	0.0000195	0.0000493	0.0000532
0.040	0.0000179	0.0000265	0.0000671	0.0000758

Çizelge 4.77'nin Devamı

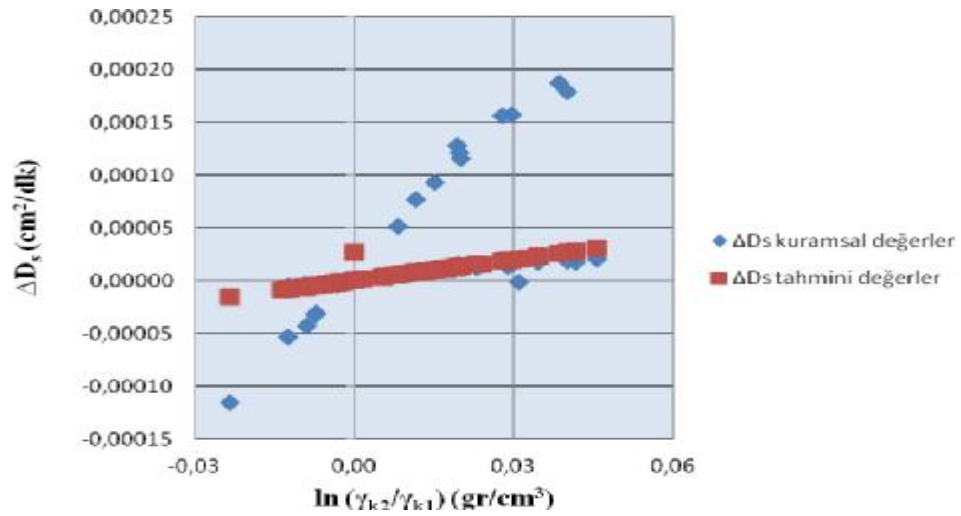
-0.007	-0.0000030	-0.0000047	0.0000641	0.0000624
-0.013	-0.0000053	-0.0000084	0.0000588	0.0000557
0	0	0	0	0.0000588
0.017	0.0000115	0.0000113	0.0000115	0.0000113
0.016	0.0000101	0.0000107	0.0000216	0.0000222
0.013	0.0000078	0.0000088	0.0000294	0.0000304
0.017	0.0000094	0.0000111	0.0000388	0.0000405
0.019	0.0000095	0.0000123	0.0000483	0.0000511
-0.002	-0.0000009	-0.0000014	0.0000474	0.0000469
-0.005	-0.0000024	-0.0000031	0.0000449	0.0000442
-0.004	-0.0000019	-0.0000024	0.0000430	0.0000425
-0.003	-0.0000018	-0.0000021	0.0000412	0.0000409
-0.012	-0.0000065	-0.0000082	0.0000347	0.0000331
0	0	0	0	0.0000347
0.011	0.0000076	0.0000075	0.0000076	0.0000075
0.014	0.0000091	0.0000092	0.0000167	0.0000167
0.016	0.0000099	0.0000107	0.0000265	0.0000274
0.023	0.0000128	0.0000152	0.0000393	0.0000417
0.029	0.0000144	0.0000189	0.0000537	0.0000582
-0.005	-0.0000026	-0.0000032	0.0000511	0.0000504
-0.009	-0.0000045	-0.0000061	0.0000465	0.0000450
-0.010	-0.0000050	-0.0000066	0.0000416	0.0000400
-0.004	-0.0000020	-0.0000025	0.0000396	0.0000391
-0.013	-0.0000071	-0.0000083	0.0000325	0.0000313
0	0	0	0	0.0000325
0.013	0.0000078	0.0000089	0.0000091	0.0000089

Çizelge 4.77'nin Devamı

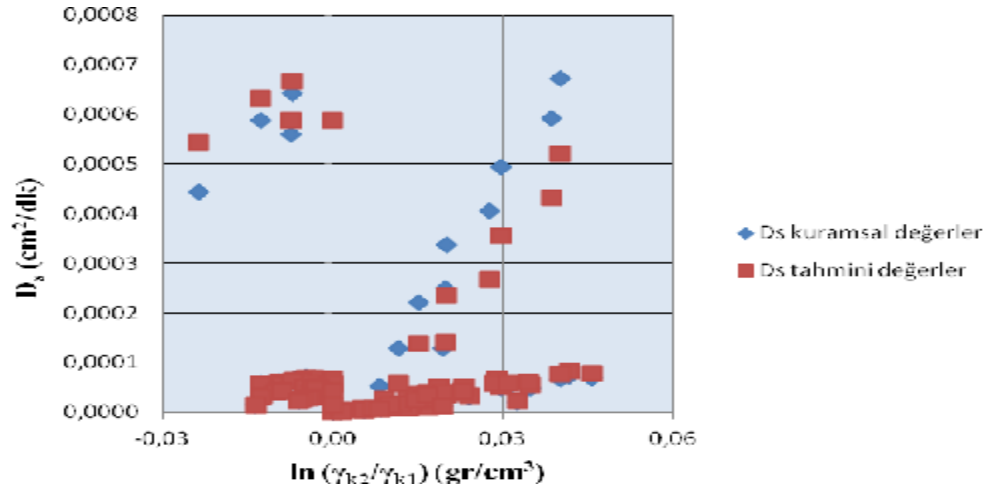
0.012	0.0000098	0.0000079	0.0000168	0.0000170
0.016	0.0000108	0.0000107	0.0000266	0.0000275
0.020	0.0000158	0.0000129	0.0000374	0.0000395
0.031	-0.0000011	0.0000204	0.0000532	0.0000578
-0.002	-0.0000017	-0.0000015	0.0000521	0.0000517
-0.004	-0.0000016	-0.0000023	0.0000504	0.0000498
-0.003	-0.0000015	-0.0000019	0.0000488	0.0000485
-0.003	-0.0000046	-0.0000019	0.0000474	0.0000469
-0.009	-0.0000428	-0.0000059	0.0000428	0.0000415
0	0	0	0	0.0000428
0.006	0.0000040	0.0000037	0.0000040	0.0000037
0.007	0.0000047	0.0000048	0.0000087	0.0000088
0.010	0.0000064	0.0000066	0.0000150	0.0000153
0.015	0.0000090	0.0000098	0.0000240	0.0000248
0.017	0.0000097	0.0000110	0.0000338	0.0000351
-0.004	-0.0000022	-0.0000025	0.0000316	0.0000313
-0.004	-0.0000025	-0.0000028	0.0000291	0.0000287
-0.005	-0.0000029	-0.0000035	0.0000262	0.0000256
-0.006	-0.0000035	-0.0000039	0.0000227	0.0000223
-0.014	-0.0000085	-0.0000090	0.0000142	0.0000136
0	0	0	0	0.0000142
0.019	0.0001282	0.0000128	0.0001282	0.0000128
0.015	0.0000928	0.0000100	0.0002210	0.0001382
0.020	0.0001152	0.0000132	0.0003362	0.0002342
0.030	0.0001566	0.0000195	0.0004928	0.0003557
0.040	0.0001786	0.0000265	0.0006714	0.0005193

Çizelge 4.77'nin Devamı

-0.007	-0.0000304	-0.0000047	0.0006410	0.0006667
-0.013	-0.0000533	-0.0000084	0.0005877	0.0006326
0	0	0	0	0.0005877
0.008	0.0000515	0.0000054	0.0000515	0.0000054
0.011	0.0000767	0.0000076	0.0001282	0.0000591
0.020	0.0001208	0.0000131	0.0002490	0.0001413
0.028	0.0001562	0.0000183	0.0004052	0.0002673
0.039	0.0001875	0.0000255	0.0005927	0.0004307
-0.007	-0.0000325	-0.0000049	0.0005602	0.0005878
-0.024	-0.0001161	-0.0000156	0.0004441	0.0005446



Şekil 4.99. Difüzyon Katsayısı Değişimi (ΔD_s) ile Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranı Doğal Logaritması ($\ln(\gamma_{k2}/\gamma_{k1})$) Arasındaki İlişki ile Bulunan Kuramsal ve Tahmini Değerlerin Karşılaştırılması



Şekil 4.100. Difüzivite Katsayısı (D_s) ile Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranı Doğal Logaritması ($\ln(\gamma_{k2}/\gamma_{k1})$) Arasındaki İlişki ile Bulunan Kuramsal ve Tahmini Değerlerin Karşılaştırılması

Bu grafiksel ilişkilerde kullanılan denklemler, önerilen denklemler bölümünde sunulacak ve sonrasında yeni bir deney üzerinde denenerek doğruluğu sınanacaktır. Bunun yanında, difüzivite katsayısının yukarıda verilmiş olan kuru birim hacim ağırlık oranının doğal logaritması ile ilişkisinden bulunan korelasyon ve determinasyon katsayıları aşağıda Çizelge 4.78’de verilmiştir.

Çizelge 4.78. Difüzivite Katsayısı Değişimi (ΔD_s) ile Kuru Birim Hacim Ağırlık Oranının Doğal Logaritması ($\ln(\gamma_{k2}/\gamma_{k1})$) İlişkisine ait Korelasyon ve Determinasyon Katsayıları

Katsayılar	Değerler
Korelasyon Katsayısı	0.5840
Determinasyon Katsayısı	0.3410

Bu çizelgeden görülebileceği gibi, difüzivite katsayısı değişimi ile kuru birim hacim ağırlık oranının doğal logaritması arasında, korelasyon katsayısının yaklaşık 0.58 lik değerine göre, orta ile güçlü arasında bir ilişki bulunmaktadır. Determinasyon katsayısının yaklaşık 0.34 lük değeri gereğince de difüzivite katsayısında meydana gelen değişimlerin % 34 ünden fazlasının sebebi kuru birim hacim ağırlık oranı değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Kuru birim hacim ağırlıklar dışında, difüzivite katsayısını daha fazla oranda etkileyebilecek parametrenin orantı

katsayısı (K_s) olduğu düşünülmüş ve difüzivite ve orantı katsayıları arasında regresyon analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde, Çizelge 4.79’da verilen korelasyon ve determinasyon katsayıları saptanmıştır.

Çizelge 4.79. Difüzivite Katsayısı (D_s) ile Orantı Katsayısı (K_s) İlişkisine ait Korelasyon ve Determinasyon Katsayıları

Katsayılar	Değerler
Korelasyon Katsayısı	0.7366
Determinasyon Katsayısı	0.5425

Bu çizelgeden anlaşılabileceği gibi, difüzivite ve orantı katsayıları arasında, korelasyon katsayısının yaklaşık 0.74 lük değeri gereğince nispeten güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Determinasyon katsayısının yaklaşık 0.54 lük değerine göre de, difüzivite katsayısında meydana gelen değişimlerin % 54 ünden fazlasının sebebi orantı katsayısındaki değişimlerden kaynaklanmaktadır. Bu duruma göre, difüzivite katsayısının, kuru birim hacim ağırlıktan daha yüksek oranda orantı katsayısı değişimi ile değiştiği söylenebilir. Bunun sebebi ise orantı katsayısı K_s in hem kuru birim hacim ağırlık, hem hacimsel sıkışma katsayısı hem de difüzivite katsayısı ile ilişkili olmasıdır. Orantı katsayısı K_s in belirlenmesinde difüzivite katsayısı D_s in bilinmesi gerektiği için D_s in K_s e göre herhangi bir denklemi önerilmemiştir.

4.2.2. Önerilen Denklemler ve Yorumlanması

Buraya kadar anlatılanlara göre, toplam sıkışan zemin miktarındaki değişimlerin sebebinin % 92’nin üzerinde kalacak kadar büyük bir oran ile kuru birim hacim ağırlık değişimlerinden etkilendiği sonucu çıkarılmış ve aşağıdaki denklemler önerilmiştir.

$$DW_t = 4.7211 (Dg_k) - 0.1607 \quad (4.1.a)$$

$$DW_t = 23.833 (Dg_k)^2 - 0.0543 (Dg_k) + 0.0015 \quad (4.1.b)$$

$$DW_t = 21.624 (Dg_k)^{1.9622} \quad (4.1.c)$$

Yukarıdaki formüllerde gösterilen $\Delta\gamma_k$ kuru birim hacim ağırlık değişimi değerleri, her basınç kademesi için, deney başı kuru birim hacim ağırlık değeri ile her basınç kademesinin sonundaki kuru birim hacim ağırlık değerlerinin arasındaki farklardır. Başka bir deyişle, herhangi bir andaki kuru birim hacim ağırlık değeri ile ilk baştaki kuru birim hacim ağırlık değeri arasındaki farktır. Bulunan toplam sıkışan zemin miktarı değişimi ise, yine ilk toplam sıkışan zemin miktarı değerine eklenecek değeri gösterir. Toplam sıkışan zemin miktarının ilk değeri matematiksel olarak hesaplanamadığı ve sıfır olarak kabul edildiği için, yukarıdaki formüllerle bulunan toplam sıkışan zemin miktarı değerleri asıl değerlere göre bir miktar daha küçük çıkmaktadır. Ayrıca, çok küçük aralıklardaki kuru birim hacim ağırlık değişimleri için, yukarıda verilen lineer formül negatif değer verebilmektedir. Bu durumda polinomsal ve üssel ifadeler kullanılarak daha doğru sonuçlar bulunabilir.

Kuru birim hacim ağırlık değişimi ile zemin içinde akan boşluk suyu hızının zaman içindeki değişimi ile ilgili, yukarıda anlatılan bilgiler ışığında, aşağıdaki denklemler önerilmiştir.

$$Dv_z = 0.0041 (Dg_k) + 4 \cdot 10^{-6} \quad (4.2.a)$$

$$Dv_z = 0.0037 (Dg_k)^{0.9535} \quad (4.2.b)$$

Bu denklemler, yine herhangi bir basınç kademesi için, kuru birim hacim ağırlığının herhangi bir andaki değerinin, deney başındaki ilk kuru birim hacim ağırlık değeri ile arasındaki farka göre herhangi bir andaki hız değerini vermektedir. Verilen bu hız değeri, ilk başta suyun belli bir hızı olduğu için asıl değerden çok az bir miktar daha yüksek çıkmaktadır ama 10^{-4} mertebeleri söz konusu olduğu için ihmal edilebilecek kadar küçük bir değer farkı olmaktadır. Bu hız değeri, oturma ve boşluk

suyu hızını vermektedir. Bu değerin o andaki porozite değeri ile çarpılması ile suyun boşalma (deşarj) hızı bulunabilir.

Aşağıdaki ilk iki denklem olan 4.3.a ve 4.3.b’de, efektif gerilme farkları ve kuru birim hacim ağırlık oran değişimlerinin ilişkisi, üçüncü denklem olan 4.4 numaralı denklemde ise, kuru birim hacim ağırlık oranı değişimleri ve hacimsel sıkışma katsayısı oran değişimlerinin, efektif gerilme değişimlerine olan ortak etkisi yansıtılmıştır. 4.4 numaralı denklemde verilen bu ilişki, lineer çoklu regresyon analizi ile bulunmuş; grafikler ve çizelgelerde “regresyon” olarak isimlendirilmiştir.

$$Ds \text{ } \text{€} = 26.054 \frac{\frac{\sigma_{kn}}{\sigma_{k0}}}{\frac{\sigma_{kn}}{\sigma_{k0}}} - 26.334 \quad (4.3.a)$$

$$Ds \text{ } \text{€} = 162.48 \frac{\frac{\sigma_{kn}}{\sigma_{k0}}}{\frac{\sigma_{kn}}{\sigma_{k0}}} - 319.88 \frac{\frac{\sigma_{kn}}{\sigma_{k0}}}{\frac{\sigma_{kn}}{\sigma_{k0}}} + 157.50 \quad (4.3.b)$$

$$Ds \text{ } \text{€} = 22.0062 \frac{\frac{\sigma_{kn}}{\sigma_{k0}}}{\frac{\sigma_{kn}}{\sigma_{k0}}} + 0.0013 \frac{\frac{\sigma_1}{\sigma_{m_v}}}{\frac{\sigma_1}{\sigma_{m_v}}} - 22.2410 \quad (4.4)$$

Yukarıda verilmiş olan 4.3.a ve 4.3.b denklemlerinde, efektif gerilme değişimleri, sadece kuru birim hacim ağırlık oranı olarak belirlenmiş olan γ_{kn}/γ_{k0} oranına göre hesaplanabilmektedir. Bu oran, herhangi bir andaki kuru birim hacim ağırlığın, deney başlangıcındaki kuru birim ağırlığa oranı olarak tanımlanmıştır. Bu ilişkilerden 4.3.b polinomsal ilişki denkleminde, 4.3.a denklemine göre kuramsal değerlere daha yakın sonuçlar bulunmaktadır. Doğrusal ve polinomsal ilişkileri gösteren yukarıdaki Şekil 4.96 ve Şekil 4.97’ deki grafiklerde, regresyonla bulunan sonuçlar da verilerek toplu kıyaslama yapılmıştır. Regresyonla bulunmuş olan değerler, tekrar belirtmek yerinde olacaktır ki hem kuru birim hacim ağırlık oranlarındaki hem de hacimsel sıkışma katsayısı oranlarındaki değişimlerin, efektif gerilme değişimine ortak etkisini yansıtmaktadır (Denklem 4.4). Bu ortak etkiye rağmen, grafiklerden görülebileceği gibi, sadece kuru birim hacim ağırlık oran

değişiminin etkisi ile efektif gerilme değişimi değerlerine çok yakın sonuçlar bulunmaktadır. Bu olay ise, yine, kuru birim hacim ağırlığının ne derece önemli ve etkili olduğunu vurgulamaktadır. Önerilmiş olan 4.4 denklemi, 98 adet veri üzerinde yapılan çoklu regresyon analizleri ile bulunmuş olup grafiklerde verilen “regresyon” değerlerinin hesaplandığı denklemdir.

Difüzivite katsayılarının tahmininde kullanılmış olan ve lineer regresyon analizleri ile bulunmuş olan denklem de aşağıda verildiği gibidir.

$$DD_s = 6.608 \cdot 10^{-4} \ln \frac{\sigma_{k2}}{\sigma_{k1}} + 1.76 \cdot 10^{-8} \quad (4.5)$$

Yukarıda verilmiş olan 4.5 denklemine göre bulunan değerler birbirini takip eden iki basınç kademesindeki kuru birim hacim ağırlık değerlerinin birbirlerine oranına göre analiz edilmiş ve ilk difüzivite katsayısı değeri, kuramsal eşitliklerde olduğu gibi sıfır alınıp her kademedeki ΔD_s değeri eklenerek basınç kademelerinin her biri için hesaplanmıştır.

4.2.3. Önerilen Denklemlerle Bulunan Sonuçların Değerlendirilmesi

Şimdi, önerilen denklemlerin tespiti için yapılmış olan regresyon analizlerinde kullanılan deney sonuçlarının dışında, yeni bir deney numunesi üzerinde yapılan deneylerin sonuçları üzerinde, önerilmiş olan yeni denklemler denenecek ve kullanılabilirliği kontrol edilerek hata oranları grafiklerle gösterilecektir. Bunun için, CI grubu orta plastisiteli ($I_p = \%31.1$) bir kilin deney sonuçları Çizelge 4.80’de verilmiştir. Bu deneye ait ilgili raporlar ekler bölümünde sunulmuştur. Bu deney, Mersin Yenişehir Menteş’de yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

Çizelge 4.80. Konsolidasyon Deney Sonuçları

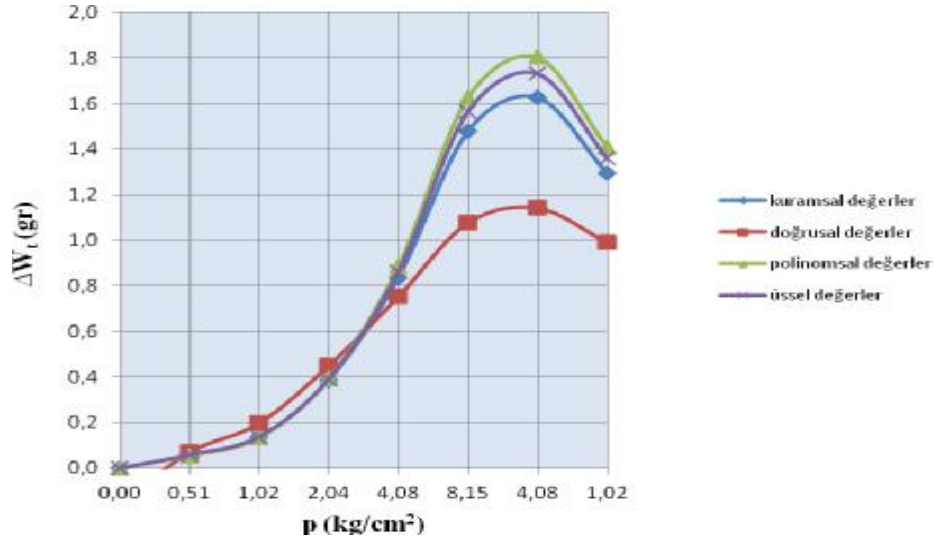
Basınç, σ (kg/cm²)	H (mm)	e -	Δe -	$\Delta \sigma$ (kg/cm²)	a_v (cm²/kg)	$m_v = a_v/(1+e_0)$ (cm²/kg)
0	20.00	0.612	-	-	-	-
0.51	19.40	0.564	0.048	0.51	0.0949	0.0589
1.02	19.08	0.538	0.026	0.51	0.0506	0.0324
2.04	18.48	0.489	0.049	1.02	0.0478	0.0311
4.08	17.80	0.435	0.054	2.04	0.0267	0.0180
8.15	17.13	0.381	0.054	4.08	0.0133	0.0092
4.08	17.00	0.370	0.010	4.08	0.0026	0.0019
1.02	17.30	0.394	0.024	3.06	0.0079	0.0058

Bu değerlere göre, her basınç kademesi için toplam sıkışan zemin miktarları hesaplanmıştır. Sonrasında, kuramla bulunmuş olan toplam sıkışan zemin miktarları bu kez de önerilmiş olan doğrusal, polinomsal ve üssel ifadelerle bulunmuş ve aşağıdaki Çizelge 4.81’de topluca verilmiştir.

Çizelge 4.81. Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunmuş Olan Toplam Sıkışan Zemin Miktarları (ΔW_t) İlişkisi

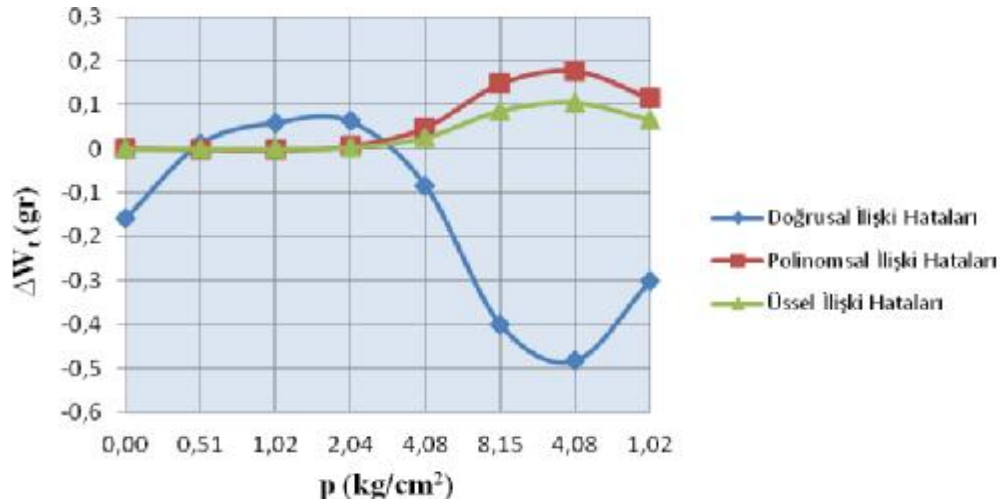
ΔW_t (gr)	Tahmini ΔW_t (gr)		
	doğrusal	polinomsal	üssel
0	-0.1592	0.0015	0
0.0573	0.0690	0.0553	0.0574
0.1367	0.1966	0.1339	0.1366
0.3867	0.4496	0.3927	0.3904
0.8358	0.7530	0.8836	0.8618
1.4774	1.0773	1.6262	1.5642
1.6265	1.1432	1.8040	1.7317
1.2948	0.9927	1.4106	1.3612

Kuramsal ve önerilmiş denklemlerle bulunmuş olan bu değerler arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için aşağıdaki Şekil 4.101’deki grafik verilmiştir. Bu şekilden görülebileceği gibi, gerçek diye tabir edilen kuramsal değerler ve önerilmiş olan denklemlerle bulunan tahmini değerler birbirlerine oldukça yakındır.



Şekil 4.101. Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarı (ΔW_t) için Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunan Sonuçların Karşılaştırılması

Önerilen denklemlerle bulunan sonuçlar ve kuramsal sonuçlar arasındaki hata payları ve sapmaları göstermek için Şekil 4.102 verilmiştir.



Şekil 4.102. Basınç Kademesine (p) göre Toplam Sıkışan Zemin Miktarı (ΔW_t) için Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunan Sonuçlardaki Hata ve Sapmalar

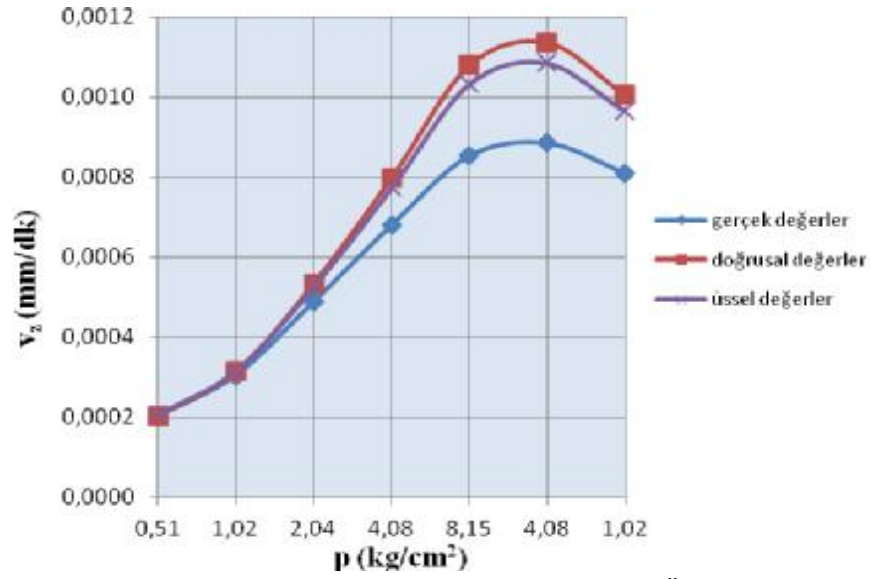
Şekil 4.102’de verilen grafiğe göre, üssel ilişkinin en az hatayı verdiği gözlemlenebilir. Doğrusal ilişkiyi yansıtan denklemle bulunan sonuçlardaki hata

payları, ilk basınç kademesinden itibaren sırasıyla gerçek değerlere göre daha az, sonrasında daha fazla ve ilerleyen aşamalarda ise yine gerçek değerlere göre daha az değerler vererek hatalar ilerleyen aşamalarda artmaktadır. Fakat polinomsal ve üssel ilişkileri yansıtan denklemlerin, ilk basınç kademesinden itibaren ne kadar az hata verdiği ve bu denklemlerle deneysel ve kuramsal değerlere ne kadar yakın sonuçlar bulunduğu grafikten açıkça görülebilmektedir. Yalnız bu değerlerin, grafiğin düşey ekseninden görülebileceği gibi, çok küçük değişimler gösterdiği söylenebilir. Ayrıca, önerilen denklemlerle bulunan toplam sıkışan zemin miktarları (ΔW_t), zemin numunesinde meydana gelen boy değişimlerinden (Δz) ve zeminin kesit alanından (A) bağımsızdır ve sadece kuru birim hacim ağırlık değişimlerinin ($\Delta \gamma_k$) bilinmesi ile hesaplanabilmektedir. Kuramsal yolla bulunan toplam sıkışan zemin miktarlarını hesaplayabilmek için ise zemin örneğinde her aşamada meydana gelen boy değişimlerinin, kuru birim hacim ağırlık değerlerinin ve numunenin kesit alanının bilinmesi zorunludur.

Bu sefer de, boşluk suyu hızı için önerilmiş olan denklemler kullanılarak bulunan boşluk suyu hız değerleri, kuramsal yolla bulunan değerlerle kıyaslanırsa, Çizelge 4.82'deki veriler ve Şekil 4.103'deki grafik elde edilir.

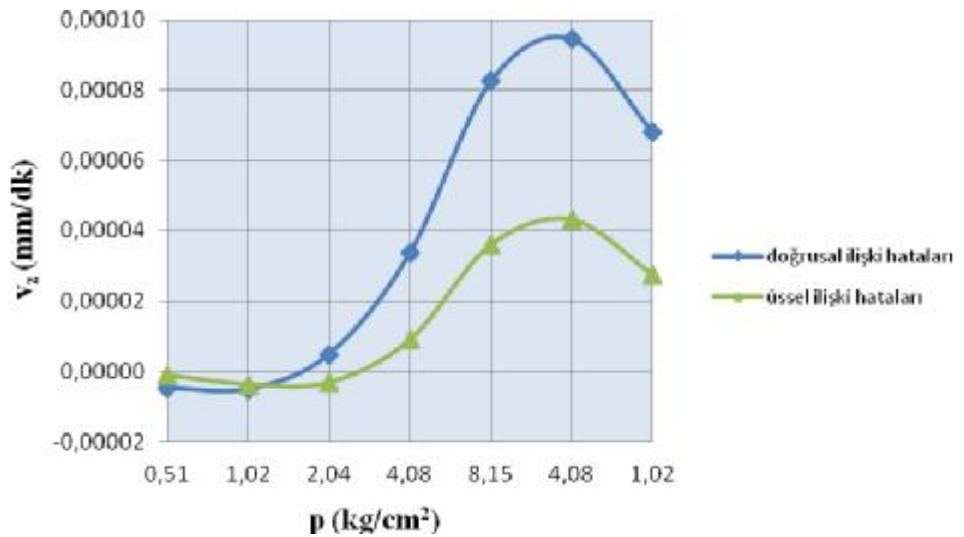
Çizelge 4.82. Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunmuş Olan Boşluk Suyu Hızları (v_z) İlişkisi

v_z (mm/dk)	Tahmini v_z (mm/dk)	
	doğrusal	üssel
0	0.00001	0
0.00020	0.00020	0.00021
0.00030	0.00031	0.00032
0.00049	0.00053	0.00053
0.00068	0.00080	0.00077
0.00085	0.00108	0.00103
0.00089	0.00114	0.00108
0.00081	0.00101	0.00097



Şekil 4.103. Basınç Kademesine (p) göre Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunan Boşluk Suyu Hızları (v_z) İlişkisi

Bunun yanında, boşluk suyu hızlarında, önerilen denklemlerle bulunan sonuçların kuramsal sonuçlara göre hata payları incelenmek istenirse, Şekil 4.104'de verilen grafiğe başvurulabilir.



Şekil 4.104. Basınç Kademesine (p) göre Boşluk Suyu Hızları (v_z) için Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunan Sonuçlardaki Hata ve Sapmalar

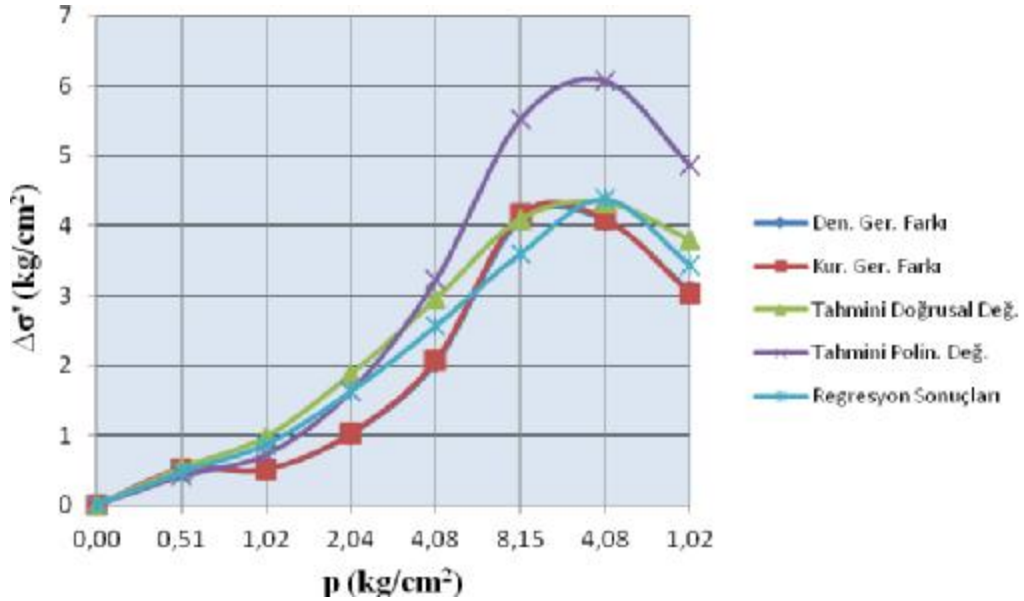
Bu grafikten görülebileceği gibi, üssel ilişki denklemi, doğrusal denkleme göre daha az hata vermektedir. Yine belirtilmelidir ki bu hatalar 10^{-4} - 10^{-5} mertebelerinde hatalar olup, önerilen denklemler, kuramsal değerlere çok yakın sonuçlar vermektedir.

Şimdi de, yukarıda Çizelge 4.80 de verilmiş olan deney sonuçları için bulunan kuramsal efektif gerilme farkları ($\Delta\sigma'$) ile önerilmiş olan 4.3.a, 4.3.b ve 4.4 denklemleri ile bulunan tahmini efektif gerilme farkları kıyaslanarak önerilen denklemlerin doğruluğu ve pratikte kullanılabilirliği test edilecektir. İlgili hesaplamalar yapıldığı zaman Çizelge 4.83 elde edilir.

Çizelge 4.83. Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunmuş Olan Efektif Gerilme Farkları ($\Delta\sigma'$) İlişkisi

Den. $\Delta\sigma'$ (kg/cm ²)	Kur. $\Delta\sigma'$ (kg/cm ²)	Tahmini $\Delta\sigma'$ (kg/cm ²)		
		Doğrusal	Polinomsal	Regresyon
0	0	0	0	0
0.51	0.5172	0.5311	0.4157	0.4732
0.51	0.5137	0.9817	0.7271	0.8725
1.02	1.0353	1.8747	1.6314	1.6285
2.04	2.0759	2.9460	3.2200	2.5650
4.08	4.1541	4.0912	5.5259	3.6031
4.08	4.0909	4.3239	6.0711	4.3768
3.06	3.0299	3.7922	4.8634	3.4379

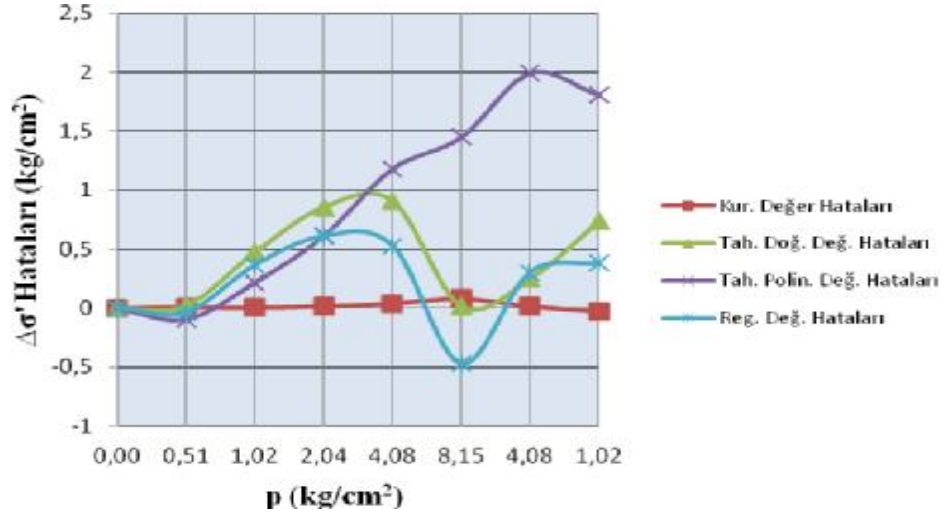
Efektif gerilmelerdeki bu değerlerin birbirleriyle olan ilişkileri Şekil 4.105'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 4.105. Basınç Kademesine (p) göre Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunan Efektif Gerilme Farkları ($\Delta\sigma'$) İlişkisi

Bu grafikten de görülebileceği gibi, deneysel, kuramsal ve önerilen denklemlerle bulunan efektif gerilme farkı ($\Delta\sigma'$) değerleri birbirlerine çok yakındır. Doğrusal ve polinomsal ilişki denklemleri için şunu söylemek gerekir ki düşük basınç kademelerinde ya da düşük yükleme değerlerinde polinomsal değerler, deneysel ve kuramsal değerlere daha yakın sonuç verirken, yüksek basınçlarda polinomsal değerler bir miktar daha yüksek değer vermekte ve yüksek basınçlarda doğrusal denklemle bulunan sonuçlar deneysel ve kuramsal sonuçlara daha yakın çıkmaktadır. Bu sebeple, düşük basınç kademeleri ve yüklemelerde polinomsal ilişki denklemini, yüksek değerlerde ise doğrusal ilişki denklemini kullanmak daha mantıklı olabilir. Fakat yine de, her iki denklem de deneysel ve kuramsal yollarla bulunan sonuçlara oldukça yakın değerler vermekte ve bunu da sadece kuru birim hacim ağırlık ($\Delta\gamma_k$) değerlerine göre gerçekleştirmektedirler. Zeminin boyundaki kısaltmalar (Δz) ya da hacim değiştirme katsayısı (m_v) değerlerine ihtiyaç olmadan bu sonuçları verebilmektedirler. Lineer çoklu regresyonla bulunmuş olan ve hem kuru birim hacim ağırlık değişimlerinin ($\Delta\gamma_k$) hem de hacimsel sıkışma katsayısının (m_v) etkisini yansıtan 4.4 denklemi de, yine deneysel ve kuramsal sonuçlara çok yakın değerler vermektedir. Bu ilişkiler daha birçok deney sonucu üzerinde denenmiş ve

doğruluğu kanıtlanmıştır. Bu ilişkilerdeki sapma ve hatalar ise Şekil 4.106'daki grafikte topluca verilmiştir.



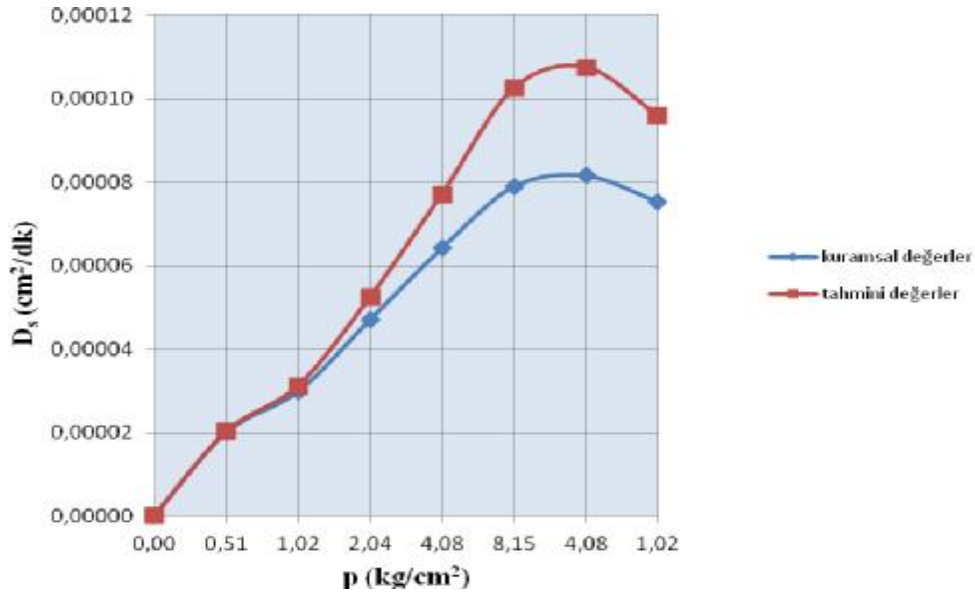
Şekil 4.106. Basınç Kademmesine (p) göre Efektif Gerilme Farkları ($\Delta\sigma'$) için Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunan Sonuçlardaki Hata ve Sapmalar

Şekil 4.106'da verilmiş olan grafik, deneysel sonuçlardan sapmaları yansıtmaktadır. Bu grafiğe göre, yine yukarıda verilen ilişkiler çerçevesinde söylenebilir ki, deneysel ve kuramsal efektif gerilme farkı ($\Delta\sigma'$) değerlerine en yakın sonuçları, hem kuru birim hacim ağırlık değişim oranlarının hem de hacimsel sıkışma katsayısının değişim etkisini beraber yansıtan regresyon denklemi olan 4.4 numaralı eşitlik vermektedir. Yine yukarıda değinilmiş olduğu gibi, küçük basınç kademelerinde polinomsal değerlerin daha az sapma yaptığı ve doğrusal sonuçlardan daha sağlıklı veriler verdiği, yüksek basınç kademelerinde ise bunun tam tersinin geçerli olduğu hatalar grafiğinden açıkça görülebilmektedir.

Şimdi de, yine yukarıda Çizelge 4.80'de verilmiş olan deney sonuçları için, kuramsal yolla ve önerilen denklemle bulunan difüzivite katsayısı (D_s) sonuçları verilecek ve yorumlanacaktır. Bu ilişki için, aşağıda Çizelge 4.84 ve Şekil 4.107 sunulmuştur.

Çizelge 4.84. Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunmuş Olan Difüzivite Katsayıları (D_s) İlişkisi

Kuramsal D_s (cm^2/dk)	Tahmini D_s (cm^2/dk)
0	0
0.000020	0.000020
0.000030	0.000031
0.000047	0.000052
0.000064	0.000077
0.000079	0.000102
0.000082	0.000107
0.000075	0.000096

Şekil 4.107. Basınç Kademesine (p) göre Kuramsal ve Önerilen Denklemlerle Bulunan Difüzivite Katsayıları (D_s) İlişkisi

Çizelgedeki değerler ve grafikteki ilişkiden görülebileceği gibi, bulunan D_s değerleri sadece kuru birim hacim ağırlık oranlarına ($\Delta\gamma_k$) göre hesaplanmış değerlerdir. Bu sebepten dolayı, kuramsal yolla bulunmuş olan değerlere göre çok az da olsa bir miktar sapma gözlemlenmektedir. Düşük basınç kademelerinde, önerilen denklemlerle bulunan sonuçlar kuramsal değerlere çok yakın iken, büyük basınç kademelerinde, zemin özellikleri daha fazla etkilendiği için kuru birim hacim ağırlık değişimi yanında zeminin içyapısı ile ilgili özellikler de etkisini göstermektedir. Bu etki sebebiyle, bulunan sonuçlarda bir miktar fark oluşmaktadır. Ancak, oluşan bu

farkın bile bir uyum içinde gelişmesi ve bu farkların 10^{-4} - 10^{-5} mertebelerinde olması yine kuramsal sonuçlara çok yakın sonuçlar elde edilmesi sebebiyledir.

Sonuç olarak söylenebilir ki, önerilmiş denklemler ile bulunan tahmini değerler, kuramsal ve deneysel değerlere oldukça yakın sonuçlar vermekte ve bu sonuçları, özellikle kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre bulma imkanı sunmaktadırlar. Sadece kuru birim hacim ağırlık değerine göre bile bulunan sonuçlar, birçok parametrenin etkili olduğu bir olayda, deneysel ve kuramsal sonuçlara oldukça yakın çıkmaktadır. Bu sebeple, kuru birim hacim ağırlık değerlerinin ve bu değerlerinin değişim oranlarının, konsolidasyon sürecindeki önemi ve etkisi defalarca karşımıza çıkmış ve kuru birim hacim ağırlığın dane difüzyonu ile dispersiyondaki en etkin parametre olduğunu göstermiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma sonunda, 3.1 numaralı ifadeyle, konsolidasyonun boşluk suyu basınçları yanında boşluk suyu hızlarının da etkili olduğu ve dispersiyona yol açtığı bir yaklaşım sunulmuştur. Bu diferansiyel denklemin 3.9.a ve 3.9.b sınır koşulları altındaki çözümü, boşluk suyu basınçlarının 3.10.b ile verildiği bir eşitliğe getirmiştir. Bu ifade dikkatlice incelenirse, iki terimden oluştuğu görülmektedir. Birinci terim, drenaj yüzeylerinden uzakta olan kesitlerde meydana gelen boşluk suyu basınçlarını, ikinci terim ise drenaj yüzeylerine yakın boşluk suyu basınç değişimini ifade etmektedir.

Eşitlik 3.10.b deki ikinci terimde bulunan üstel ifade, boşluk suyunun hızla boşaldığını ve boşluk suyu basıncının sönümlendiğini göstermektedir. Bu nedenle, boşluk suyu basıncı u_w , lineer olmayan bir değişime sahiptir. Yine, ifadede $(z+v_zt)$ ve $(z-v_zt)$ değişkenlerinin yer alması, zeminin ilk tabaka kalınlığının ve zemin boyundaki olan değişmelerin, boşluk suyu basıncındaki sönümlenme üzerinde doğrudan etkili olduğunu gösterir.

Ayrıca, verilen 3.1 numaralı konsolidasyon diferansiyel denkleminin, 3.12 numaralı ifade ile yaklaşık çözümleri de verilmiştir. Bu yaklaşık çözümlerden giderek konsolidasyon oranlarının hesaplanması ve Çizelge 3.1 ile de birincil konsolidasyonun bulunması mümkün olmaktadır. Bu çizelgeye göre, konsolidasyon oranı %89.23 olduğu zaman sonlanmakta ve klasik konsolidasyona göre daha kısa sürede tamamlanmaktadır. Bununla ilgili grafik %50 konsolidasyon için Şekil 3.1 de verilmiştir.

Öte yandan; bu yaklaşımın bir sonucu, konsolidasyondaki dane difüzyonu ve dispersiyonu hakkında bilgi sahibi olma imkanını sağlamasıdır. Bu çerçevede, kuru birim hacim ağırlığa göre dispersiyona bağlı olarak, 3.27 numaralı ifade ile efektif gerilme değişimleri verilebilmektedir. Kuramsal yönden elde edilen bu eşitlik, deneysel yönden bulunanlara çok yakın değerler vermektedir. Yine bu yaklaşım, her bir basınç kademesindeki kuru birim hacim ağırlık değişimlerini, 3.31 numaralı ifade ile bulma imkanını da vermektedir. Aynı zamanda, verilen 3.32 numaralı dispersiyon diferansiyel denkleminin tam çözümü, 3.34.b numaralı eşitlikle verilmiştir. Bu

çözümüne dikkat edilirse, çözümün boşluk suyu basıncı değişmelerine paralel olarak büyük bir benzeşim içinde olduğu görülebilir. Verilen 3.34.b çözümü, kuru birim hacim ağırlığının üzerinde, yine numune kalınlığının ve zamanla olan boy değişimlerinin nasıl etkili olduğunu göstermesi bakımından önemlidir. Yine çözüm, kuru birim hacim ağırlığının kesitlere göre nasıl değiştiğini de ifade edebilmektedir.

Konsolidasyon yaklaşımının 3.1 numaralı eşitlik çerçevesinde ele alınması, 3.35.a ve 3.36 numaralı ifadeler gereğince dispersiyon akılarının ve dispersiyona uğrayan zemin miktarlarının verilebilme olanağını doğurmuştur. Bu sayede, zeminin daha iyi yorumlanması olanak içine girmiştir. Bugüne kadar bilinen diğer konsolidasyon kuramlarında bu olanak bulunmamaktadır.

Bilinen kuramlar, oturmalar hakkında bilgi verebilmesine rağmen, oturma hızları hakkında bilgi verememektedir. Konunun, dispersiyon denklemi çerçevesinde ele alınması, oturma hızı ve boşluk suyu hızları hakkında bilgi verebilmektedir. Dolayısıyla, zeminin viskoz etkileri de göz önüne alınma olanağına kavuşmuş olmaktadır. Boşluk suyu hızlarının 2.55.c denklemi çerçevesinde verilmesi ve 2.5.b denkleminin kullanılma olanağının sağlanması, Çizelge 4.14’de bir örneği görüldüğü gibi, boşalma hızlarını hesaplama olanağını vermiştir.

Bu çalışmada gerçekleştirilmiş olan regresyon analizlerinde, kuru birim hacim ağırlığının önemi vurgulanmaya çalışılmış ve sadece kuru birim hacim ağırlık değişiminin bile konsolidasyonda dane difüzyonu ve dispersiyon üzerinde çok ciddi bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Birçok parametrenin etkilediği konsolidasyon olayı ve konsolidasyonda dane difüzyonu ve dispersiyon olayları üzerinde, kuru birim hacim ağırlık son derece önemli bir yere sahiptir. Bu etki ise, şu ana kadar verilmiş olan grafiksel ilişkilerden ve önerilmiş olan denklemlerden açıkça görülebilmektedir. Bir konsolidasyon olayında meydana gelen dane difüzyonu ve dispersiyonda toplam sıkışan zemin miktarının (ΔW_t), zemin içinde akan su hızının (v_s), efektif gerilme değişiminin ($\Delta \sigma'$) ve difüzivite katsayısının (D_s) değişimleri üzerinde kuru birim hacim ağırlık değişimlerinin ($\Delta \gamma_k$) etkileri incelenmiştir. Bu etkiler, regresyon analizleri, korelasyon ve determinasyon katsayıları ve sonuç olarak önerilen denklemlerle açık olarak ifade edilmiştir. Bunlara göre, son derece fazla parametrenin etkili olduğu konsolidasyonda dane difüzyonu ve dispersiyon

sürecinde, kuru birim hacim ağırlık değişiminin çok önemli bir yere sahip olduğu, bulunmuş olan analizler ile açıkça ortaya konulmuştur. Korelasyon katsayıları ile bulunan ilişkilerde, kuru birim hacim ağırlık değişimlerinin, toplam sıkışan zemin miktarı değişimi ile %96, boşluk suyu hızı değişimi ile %98, efektif gerilme farkı ile %83, difüzyon katsayısı değişimi ile ise %58 oranında ilişkisi bulunduğu saptanmıştır.

Doğrusal olarak bulunan ilişkiler bile deneysel ve kuramsal değerlere çok yakın sonuçlar verirken, özellikle polinomsal ve üssel ilişkilerle bulunan ve önerilen denklemler, kuramsal sonuçlara çok daha yakın değerler vermektedir. Üstelik, kuramsal denklemlerde sözü geçen değerlerin bulunabilmesi için numune kesit alanı, her aşamadaki kuru birim hacim ağırlık değerleri, her aşamadaki numune boy değişimleri ve hacimsel sıkışma katsayıları gibi değerlerin bilinmesi ve doğru olarak ölçülmüş ve hesaplanmış olması kesinlikle şart iken, önerilmiş denklemlerin birçoğu ile bulunan sonuçlar, sadece kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre saptanabilmektedir. Bu olay ise, önerilmiş denklemleri hem oldukça pratik kılmakta hem de bu denklemlerle bulunan sonuçların, kuramsal ve deneysel değerlere yakınlığı sebebiyle, denklemlerin kullanılabilirliklerini olumsuz etkilememektedir.

Önerilmiş olan denklemlerin daha da geliştirilebilmesi ya da deneysel ve kuramsal sonuçlara daha yakın ilişkilerin bulunabilmesi için ek regresyon analizleri yapılabilir ve daha farklı parametrelerin kuru birim hacim ağırlık ile ortak etkileri denklemlere sokularak daha farklı ve daha hassas hesaplamalar yapılabilmesi ileriki çalışmalar olarak gündeme gelebilir. Önerilen denklemler ışığında geliştirilebilecek olan daha farklı parametrik ilişkiler, oldukça karmaşık olan kuramsal değerlerin daha pratik hale getirilmesi için bir başlangıç noktası olarak ele alınabilir.

Bahsedilen bu ilişkilere ek olarak, bu çalışmada verilmiş olan kuram geliştirilerek, dispersiyon denklemi zemin kirleticileri yönünden, uygun dönüşümlerle konsantrasyon cinsinden ifade edilebilir. Bu da çevre geotekniği açısından oldukça yararlı olup zemin-su akımları içinde kimyasal madde konsantrasyonlarının değişimi hakkında fikir verebilir. Sonuç olarak, ileri sürülen kuram, kirleticilerin tespiti ve zemin içinde yayılması bakımından önemli olabilir.

Konunun, bu yönden de ele alınıp değerlendirilmesi, çevre geotekniğiyle uğraşanlara ışık tutabilir.

İleri sürülen kuram ile, zeminin oturma hızları ve boşluk suyu hızları hakkında fikir edinebilme olanağı olduğuna göre, zeminlerin viskoz özellikleri hakkında bilgi sahibi olunabilir. Zeminlere ait viskoz özellik, özellikle şev stabilitesi problemlerinde önemlidir. Bu nedenle, zeminlerin daha sağlıklı ve ayrıntılı değerlendirilebileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- ABBASI, N., RAHIMI, H., JAVADI, A.A., FAKHER, A., 2007. Finite difference approach for consolidation with variable compressibility and permeability. *Computers and Geotechnics*, 34(1): 41-52.
- ASCH, W. J. V., DEIMEL, M. S., HAAK, W. J. C., 1989. The Viscous Creep Component in Shallow Clayey Soil and the Influence of Tree Load on Creep Rates. Special Issue: Proceedings of the Fourth Benelux Colloquium on Geomorphological Processes IGU-COMTAG Meeting, Vol.14, Issue 6, pages 557-564, Amsterdam/Leuven
- BASS, I., 2007. Six Sigma Statistics with Excel and Minitab. McGraw Hill Company, U.S.A.
- BATTAGLIO, M., BELLOMO, N., BONZANI, I., LANCELLOTTA, R., 2003. Non-Linear Consolidation Models of Clay Which Change Type. *Int. J. of Non-Linear Mechanics*, Vol. 30, pp.493-500, Elsevier Science Ltd., Great Britain.
- BATTAGLIO, M., BONZANI, I., CAMPOLO, D., 2005. Non-Linear Consolidation Models of Clay with Time Dependent Drainage Properties. *Mathematical and Computer Modelling* 42, 613-620.
- BIOT, M. A., 1941. General Theory of Three Dimensional Consolidation. *Journal of Applied Physics*, Vol.12, Issue 2, U.S.A.
- BONZANI, I., LANCELLOTTA, R., 2005. Some Remarks on Nonlinear Consolidation Models. *Applied Mathematics Letters*, Elsevier Ltd., Great Britain.
- BOWLES, J.E., 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. McGraw-Hill Book Company, London, U.K.
- CAPPER, P.L., CASSIE, W.F., 1984. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, (V. Kumbasar ve F. Kip tarafından Türkçe'ye çevrilmiştir), Arı Kitapevi Yayınları, İstanbul, Türkiye.

- CAVALCANTE B., FARIAS, M. M., 2013. Alternative Solution for Advective-Dispersive Flow of Reagent Solutes in Clay Liners. *International Journal of Geomechanics*, 13(1), 49–56.
- CHAO-LI, Y., CLEALL, P. J., 2010. Analytical Solutions for Contaminant Diffusion in Double-Layered Porous Media. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, November 2010, USA
- CONTE, E. AND TRONCONE, A., 2006. One-Dimensional Consolidation Under Time-Dependent Loading. *Canadian Geotechnical Journal*, 43(11): 1107-1116, Canada.
- CULLING, W. E. H., 1963. Soil Creep and the Development of Hillside Slopes. *The Journal of Geology*, Vol.71, No:2, 127-161, March 1963, England.
- CULLING, W. E. H., 1983. Rate Process Theory in Geomorphic Soil Creep. *Catena Suppl.*, 4, 191-204.
- ÇAMLILAR, S., 2010. Antalya Boğaçay Alüvyonlarının Mühendislik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi (Danışman: Doç. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK), Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Süleyman Demirel Üniversitesi, ISPARTA.
- DAS, B.M., 1985. *Advanced Soil Mechanics*. Mc Graw–Hill Book Company, New York, U.S.A.
- DAVIS, E.H., RAYMOND, G.P., 1965. A non-linear Theory of Consolidation. *Geotechnique*, 15: 161-113 U.K.
- ERDOĞAN, M.E., CHATWIN, P. C., 1967. The effects of Curvature and Bouyancy on the Laminar Dispersion of Solute in a Horizontal Tube. *Journal of Fluid Mechanics – J. FLUID MECH.*, vol. 29, no. 03, 465-484.
- FLAVELL, W.S., 1987. Field Investigation of a Stochastic Theory of Soil Creep. Gardiner, V. (Ed.), *International Geomorphology 1986*, Part 1, John Wiley and Sons, 512-526.
- FOX, G.A., HEEREN, D.M., MILLER, R.B., MITTELSTET, A.R., STORM, D.E., 2011. Flow and Transport Experiments for a Streambank Seep Originating from a Preferential Flow Pathway. *Biological Sysytems Engineering: Papers and Publications*, Paper 224.

- FREDLUND, D.G., HASAN, J. U., 1979. One-Dimensional Consolidation Theory: Unsaturated Soils. Canadian Geotechnical Journal, Canada.
- FREDLUND, D.G., RAHARDJO, H., 1993. Soil Mechanics for Unsaturated Soils. John Wiley and Sons, Inc., New York, U.S.A.
- FRIES, J., TAGHON, G., 2010. Particle Fluxes into Permeable Sediments: Comparison of Mechanisms Mediating Deposition. J. Hydraulic Eng., 136(4), 214-221.
- GENG, X., XU, C., CAI, Y., 2006. Non-Linear Consolidation Analysis of Soil with Variable Compressibility and Permeability Under Cyclic Loading. Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech., V.30, pp. 803-821, Elsevier Ltd., G.B.
- GOMEZ, P. R., CHOI, C. Y., 2011. Axial Dispersion Coefficients in Laminar Flows of Water Distribution Systems, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, March 2011, USA.
- HAWLADER, B.C., MUHUNTHAN, B., IMAI, G., 2003. Viscosity Effects on One-Dimensional Consolidation of Clay. International J. of Mechanics, V.3, No.1, ASCE, U.S.A.
- HILL, C. B., 1967. Consolidation of Compacted Clay. University Of Manchester, Manchester, England.
- KUMAR, A., KUMAR, N., JAISWAL, D. K., SINGH, M. K., 2011. Solute Transport Along Temporally and Spatially Dependent Flows through Horizontal Semi-Infinite Media: Dispersion Proportional to Square Root of Velocity. Journal of Hydrological Engineering, ASCE, 2011, USA.
- KUMBASAR, V., KIP., F., 1992. Zemin Mekaniği Problemleri. Çağlayan Yayınevi, İstanbul.
- LANCELLOTTA, R., 1995. Geotechnical Engineering. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
- LANCELLOTTA, R., PREZIOSI, L., 1997. A General Nonlinear Mathematical Model for Soil Consolidation Problems. Int. J. Engng. Sci., Vol. 35, No. 10/11, pp. 1045-1063, Elsevier Science Ltd., G.B.
- LARMOUR, D. Y., 1966. One Dimensional Consolidation of Partially Saturated Clay. M.Sc. Thesis, University of Manchester, Manchester, England.

- LEKHA, K.R., KRISHNASWAMY, N.R., BASAK, P., 2003. Consolidation of Clays for Variable Permeability and Compressibility. *J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 129, No. 11, ASCE, U.S.A.
- LIU, S., ZENG, L., 2010. A Calculation Method of Secondary Compression Index for Natural Sedimentary Clays Using Void Index. *Geotechnical Special Publication No. 200*, GeoShanghai, 2010 International Conference.
- NIELSEN, D.R., JACKSON, R.D., CARY, J.W., EVANS, D.D., 1972. *Soil Water*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 677 South Segoe Road, Madison, Wisconsin, 53711.
- NIEMUNIS, A., KRIEG, S., 1996. Viscous Behavior of Soil Under Oedometric Conditions. *Canadian Geotech. J.*, 33: 159-160, Canada.
- OLSON, R. E., 1986. State of the Art: Consolidation Testing. *Consolidation of Soils: Testing and Evaluation*, ASTM STP 892, R. N. Young and F. C. Townsend, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp 7-70.
- ÖNALP, A., 1997. *Geoteknik Bilgisi 1*. Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- ÖZAYDIN, K., 1995. *Zemin Mekaniği*. Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- ÖZÜDOĞRU, K., TAN, O., AKSOY, İ. H., 1988. *Çözümlü Problemlerle Zemin Mekaniği*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- PANNONE, M., 2009. Transient Hydrodynamic Dispersion in Rough Open Channels: Theoretical Analysis of Bed-Form Effects. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, March 2010, USA.
- REDDELL, D. I., SUNADA, D. K., 1970. Numerical Simulation of Dispersion in Ground Water Aquifers. *Colorado State University, Hydrology Papers*, No:41, p.79
- SHACKELFORD, C. D., 1993. Contaminant Transport. Chapter 3, *Geotechnical Practise for Waste Disposal*, D. E. Daniel (ed.), Chapman and Hall Publ., Ltd., London, pp 33-65.
- SHANZ, T., VERMEER, P. A., BONNIER, P. G., 1999. The Hardening Soil Model: Formulation and Verification. *Beyond 2000 in Computational Geotechnics, 10 Years of Plaxis*, 1999 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 040 X.

- SIENKO, M. J., PLANE, R. A., 1961. Chemistry. Mc Graw Hill Yayınları, New York, U.S.A.
- ŞUHUBİ, E. S., 1967. Akışkanlar Mekaniği. İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul.
- TAYLOR, R.K., SMITH, T.J., 1986. The Engineering Geology of Clay Minerals: Swelling, Shrinking and Mudrock Breakdown. Engineering Group of the Geological Society and the Clay Minerals Group of the Mineralogical Society entitled "Clay Minerals in Engineering Geology". No.21, pp. 235-260.
- TEKINSOY, M.A., 2002. Index and Hydraulic Properties of Unsaturated Soils. S.D.U. Publication, No.22, Isparta, Turkey.
- TEKINSOY, M.A., 2013. Theoretical Soil Mechanics, Soil Behavior in K_0 Condition. DaisyScience International Publishing House, İstanbul, Turkey.
- TEKINSOY, M.A.; HAKTANIR, T., 1990. One Dimensional Consolidation of Unsaturated Fine-Grained Soils. J. of Geotech. Engineering of ASCE, Vol.116, No.5, sayfa 838-850, U.S.A.
- TEKINSOY, M.A.; TAŞKIRAN, T., KAYADELEN, C., 2009. One Dimensional Non-Linear Consolidation of Unsaturated Fine Grained Soils. World Applied Sciences Journal 6(10): 1388-1398, Canada.
- TSE, TS 1900-1, 2006 (revizyon). İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1- Fiziksel Özelliklerin Tayini. Necatibey Cad., No:112, Bakanlıklar, Ankara.
- TSE, TS 1900-2, 2006 (revizyon). İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 2- Mekanik Özelliklerin Tayini. Necatibey Cad., No:112, Bakanlıklar, Ankara.
- TSYTOVICH, N., 1976. Soil Mechanics. Mir Publishers, Moscow, U.S.S.R.
- ÜNERİ, S., 1968. Asıtlar Kimyası, Kolloit Kimya. Ankara Üniv. Fen Fakültesi Yayınları, Ankara.
- VERMEER, P.A., NEHER, H.P., 1999. A soft Soil Model that accounts for Creep. Beyond 2000 in Computational Geotechnics, 10 Years of Plaxis International, Rotterdam, Holland.

- YIĞIT, İ., ÇINICIOĞLU, S. F., 2010. Konsolidasyon Sürecinde Mikro Dokuda Zamana ve Yüke Bağlı Değişim. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, 30 Eylül-1 Ekim.
- ZHANG, X., 2011. One Dimensional Consolidation of Collapsible Soils: Elastic vs. Elasto-Plastic Analyses. Advances in Unsaturated Soil, Geo-Hazard and Geo-Environmental Engineering: pp. 77-84.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında İstanbul’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Diyarbakır ve Mersin’de tamamladı. 1995 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı ve 1999 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2000 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak işe başladı ve sonrasında tezli yüksek lisans çalışmalarına başlayarak 2003 yılında inşaat yüksek mühendisi olarak mezun oldu. 2002-2003 yılları arasında, Gaziantep Üniversitesi Eğitim Fakültesi İngilizce Öğretmenliği sertifika programını tamamlayarak İngilizce öğretmenliği sertifikasını almaya hak kazandı. Özel sektörde çalışmak amacı ile, 2004 yılında, Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ndeki görevinden ayrıldı ve 2006 yılının mart ayına kadar özel sektörde çalışmalarına devam etti. Mersin Üniversitesi’nin açmış olduğu kadroya başvurup, başvurusunun kabul edilmesinin ardından özel sektördeki görevinden ayrılıp Mersin Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu’nda öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı. Doktora çalışmalarına, 2009 yılında, Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde başladı. Yazar halen Mersin Üniversitesi’ndeki görevine devam etmektedir.

EKLER

EK 1

Antalya Boğaçay Bölgesi'nden Alınan CL ve CH Grubu Zeminler

SONDAJ DERİNLİĞİ m	TABAKA DERİNLİĞİ m	ÖRNEK NO	ÖRNEK DERİNLİĞİ m	SPT DENEYİ VE GRAFİĞİ						ZEMİN PROFİLİ	LABORATUVAR DENEYLERİ				USCS SİMGESİ	ZEMİN TANIMLAMASI	
				DARBE SAYISI		SON 30 cm İÇİN DARBE SAYISI					LL FL PI	Y _p Y _c Y _u	w _p	Çakıl Kum Silt-Kil %			
				0-15 cm		15-30 cm											
				ÖRNEK TİPİ													
								10	20	30	40	50					
1			1.50	TD									36			Büyükel Toprak	
2	1.50		1.50	D	4	6	5						19	2.68	18	1 / 29 / 68	CL
3	2.35		3.00	TD									17	2.62	18	8 / 51 / 41	SC
4	2.40		3.85	D	3	5	6						59	2.56	24	9 / 14 / 96	CH
5	3.85		4.50	D	3	5	6						25	2.56	29	9 / 11 / 80	CH
6	4.50		5.35	UD									34				
7	5.35		6.00	D	2	3	5						21	2.58	29	9 / 16 / 94	CL
8	6.00		6.85	D	3	5	8						24	2.52	30	9 / 52 / 47	SC
9	6.85		7.50	D	3	5	8						23	2.68	29	9 / 21 / 79	CL
10	7.50		8.35	D	3	5	8						15	2.62	28	9 / 59 / 70	CL
11	8.35		9.00	D	3	5	8						32	2.68	23	9 / 43 / 57	CL
12	9.00		9.85	D	2	5	9						18	2.68	23	9 / 43 / 57	CL
13	9.85		10.50	D	2	5	9						NP	2.64	26	9 / 67 / 33	SM
14	10.50		11.35	D	2	5	11										
15	11.35		12.00	D	2	5	11										
16	12.00		12.85	D	23	27	18										
17	12.85		13.50	D	23	27	18										
18	13.50		14.35	D	23	27	18										
19	14.35		15.00	D	23	27	18										
20	15.00		15.85	D	23	27	18										
21	15.85		16.50	D	23	27	18										
22	16.50		17.35	D	23	27	18										
23	17.35		18.00	D	23	27	18										
24	18.00		18.85	D	23	27	18										
25	18.85		19.50	D	23	27	18										
26	19.50		20.35	D	23	27	18										
27	20.35		21.00	D	23	27	18										
28	21.00		21.85	D	23	27	18										
29	21.85		22.50	D	23	27	18										
30	22.50		23.35	D	23	27	18										
31	23.35		24.00	D	23	27	18										
32	24.00		24.85	D	23	27	18										
33	24.85		25.50	D	23	27	18										
34	25.50		26.35	D	23	27	18										
35	26.35		27.00	D	23	27	18										
36	27.00		27.85	D	23	27	18										
37	27.85		28.50	D	23	27	18										
38	28.50		29.35	D	23	27	18										
39	29.35		30.00	D	23	27	18										
40	30.00		30.85	D	23	27	18										
41	30.85		31.50	D	23	27	18										
42	31.50		32.35	D	23	27	18										
43	32.35		33.00	D	23	27	18										
44	33.00		33.85	D	23	27	18										
45	33.85		34.50	D	23	27	18										
46	34.50		35.35	D	23	27	18										
47	35.35		36.00	D	23	27	18										
48	36.00		36.85	D	23	27	18										
49	36.85		37.50	D	23	27	18										
50	37.50		38.35	D	23	27	18										
51	38.35		39.00	D	23	27	18										
52	39.00		39.85	D	23	27	18										
53	39.85		40.50	D	23	27	18										
54	40.50		41.35	D	23	27	18										
55	41.35		42.00	D	23	27	18										
56	42.00		42.85	D	23	27	18										
57	42.85		43.50	D	23	27	18										
58	43.50		44.35	D	23	27	18										
59	44.35		45.00	D	23	27	18										
60	45.00		45.85	D	23	27	18										
61	45.85		46.50	D	23	27	18										
62	46.50		47.35	D	23	27	18										
63	47.35		48.00	D	23	27	18										
64	48.00		48.85	D	23	27	18										
65	48.85		49.50	D	23	27	18										
66	49.50		50.35	D	23	27	18										
67	50.35		51.00	D	23	27	18										
68	51.00		51.85	D	23	27	18										
69	51.85		52.50	D	23	27	18										
70	52.50		53.35	D	23	27	18										
71	53.35		54.00	D	23	27	18										
72	54.00		54.85	D	23	27	18										
73	54.85		55.50	D	23	27	18										
74	55.50		56.35	D	23	27	18										
75	56.35		57.00	D	23	27	18										
76	57.00		57.85	D	23	27	18										
77	57.85		58.50	D	23	27	18										
78	58.50		59.35	D	23	27	18										
79	59.35		60.00	D	23	27	18										
80	60.00		60.85	D	23	27	18										
81	60.85		61.50	D	23	27	18										
82	61.50		62.35	D	23	27	18										
83	62.35		63.00	D	23	27	18										
84	63.00		63.85	D	23	27	18										
85	63.85		64.50	D	23	27	18										
86	64.50		65.35	D	23	27	18										
87	65.35		66.00	D	23	27	18										
88	66.00		66.85	D	23	27	18										
89	66.85		67.50	D	23	27	18										
90	67.50		68.35	D	23	27	18										
91	68.35		69.00	D	23	27	18										
92	69.00		69.85	D	23	27	18										
93	69.85		70.50	D	23	27	18										
94	70.50		71.35	D	23	27	18										
95	71.35		72.00	D	23	27	18										
96	72.00		72.85	D	23	27	18										
97	72.85		73.50	D	23	27	18										
98	73.50		74.35	D	23	27	18										
99	74.35		75.00	D	23	27	18										
100	75.00		75.85	D	23	27	18										
101	75.85		76.50	D	23	27	18										
102	76.50		77.35	D	23	27	18										
103	77.35		78.00	D	23	27	18										
104	78.00		78.85	D	23	27	18										
105	78.85		79.50	D	23	27	18										
106	79.50		80.35	D	23	27	18										
107	80.35		81.00	D	23	27	18										
108	81.00		81.85	D	23	27	18										
109	81.85		82.50	D	23	27	18										
110	82.50		83.35	D	23	27	18										
111	83.35		84.00	D	23												

SONDAJ DERİNLİĞİ m	TABAKA DERİNLİĞİ m	ÖRNEK NO	ÖRNEK DERİNLİĞİ m	SPT DENEYİ VE GRAFİĞİ					ZEMİN PROFİLİ	LABORATUVAR DENEYLERİ				USCS İMGE	ZEMİN TANIMLAMASI				
				ÖRNEK TİPİ	DARBE SAYISI		SON 30 cm İÇİN DARBE SAYISI			LL PL PI	Y _s Y _d Y _t	W _L	Çakıl Kum Silt-Kil %						
					0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	10								20	30	40	50
1															Biskünel Toprak				
2	104		1.50	LD															
	ÖPT1	D	2.25	D	3	3	2												
3			3.00																
	ÖPT2	D	3.45	D	3	3	4												
4			4.50																
	ÖPT3	D	4.90	LD															
5			5.35	D	2	3	7												
	ÖPT4	D	6.00	D	4	4	5												
6			6.45	D	4	4	5												
7			7.50																
	ÖPT5	D	7.95	D	4	7	10												
8			9.00																
	ÖPT6	D	9.45	D	2	3	7												
9			10.50																
	ÖPT7	D	11.35	D	4	8	12												
10			12.30																
	ÖPT8	D	12.45	D	5	6	6												
11	105		13.50	LD															
	ÖPT9	D	13.95	D	5	8	9												
12																			
13																			

Şekil Ek 1.2. Antalya Boğaçay SK-3 Sondaj Logu

SONDAJ DERİNLİĞİ m		TABAKA DERİNLİĞİ m		ÖRNEK NO	ÖRNEK DERİNLİĞİ m			SPT DENEYİ VE GRAFİĞİ					ZEMİN PROFİLİ	LABORATUVAR DENEYLERİ				USCS SEMGESİ	ZEMİN TANIMLAMASI		
					ÖRNEK TİPİ	DARBE SAYISI		SON 30 cm İÇİN DARBE SAYISI			LL PL PI	Y _s Y _c Y _L		W _p W _L W _u	Çakıl Kum Silt-Kil %						
						0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	10	20							30			40	50
1			1.50	TD													Baskınl Toprak				
2		108	1.50	D	5	6	8								CL	Griimsi kahverengimsi kumlu KİL					
3		109	2.35	D	9	9	10								CL						
4		110	3.00	D	9	9	10								CL						
5		111	4.50	TD												Griimsi renkte KUM					
6		112	4.90	D	13	18	26								SW-SM						
7		113	5.35	D	9	11	26								SP-SM						
8		114	6.00	D	9	11	26								SP-SM	ÇAKIL					
9		115	6.45	D	4	7	10								GP						
10		116	7.50	D												KUYU SONU 9.15 m.					
11		117	7.95	D																	
12		118	9.00	D																	
13		119	9.15	D																	

Şekil Ek 1.3. Antalya Boğaçay SK-5 Sondaj Logu

KUYU NO	NUMUNE NO	DERİNLİK (m)	w _n %	γ _s g/cm ³	KIVAM LİMİTLERİ				DANE BOYU DAĞILIMI				ZEMİN SINIFI (USCS)	GRUP ADI (USCS)
					LL %	PL %	PI %	ÇAKIL %	KUM %	SİLT %	KİL %			
SK-1	UD1 / S1	1,50-1,90	18	2,6	36	19	17	1	39	39	21	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
SK-1	SPT1 / S2	1,90-2,35	18	2,62	28	17	11	8	51	31	10	SC	KİLLİ KUM	
SK-1	UD2 / S3	3,00-3,40	24	2,56	59	25	34	0	14	41	45	CH	YAĞLI KİL	
SK-1	SPT2 / S4	3,40-3,85	29	2,56	56	21	35	0	11	49	40	CH	YAĞLI KİL	
SK-1	UD3 / S5-A	4,50-4,60	21	2,6	NP	NP	NP	0	87	10	3	SM	SİLTİLİ KUM	
SK-1	UD3 / S5-B	4,60-4,70	17	2,59	NP	NP	NP	1	73	18	8	SM	SİLTİLİ KUM	
SK-1	UD3 / S5-C	4,70-4,90	29	2,58	46	24	22	0	16	44	40	CL	TEMİZ KİL İLE KUM	
SK-1	SPT3 / S6	4,90-5,35	30	2,52	59	22	37	1	52	29	18	SC	KİLLİ KUM	
SK-1	UD4 / S7	6,00-6,40	29	2,6	36	21	15	0	21	52	27	CL	TEMİZ KİL İLE KUM	
SK-1	SPT4 / S8	6,40-6,95	28	2,62	32	18	14	0	30	48	22	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
SK-1	SPT5 / S9	7,50-7,85	23	2,6	34	18	16	0	43	41	16	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
SK-1	SPT6 / S10	9,00-9,45	26	2,64	NP	NP	NP	0	67	25	8	SM	SİLTİLİ KUM	
SK-1	SPT7 / S11	10,50-10,95	27	2,63	-	-	-	10	16	38	36	CL	TEMİZ KİL İLE KUM	
SK-1	SPT8 / S12	12,00-12,45	7	-	-	-	-	63	36	1	1	GW	İYİ DERECELENMİŞ ÇAKIL İLE KUM	
SK-2	UD1 / S13	1,50-1,90	31	2,61	62	26	36	0	6	40	54	CH	YAĞLI KİL	
SK-2	SPT1 / S14	1,90-2,35	29	2,65	39	23	16	0	42	37	21	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
SK-2	SPT2 / S15	3,00-3,45	43	2,62	48	24	24	0	9	55	36	CL	TEMİZ KİL	
SK-2	UD2 / S16	4,50-4,90	36	2,67	42	22	20	0	22	49	29	CL	TEMİZ KİL İLE KUM	
SK-2	SPT3 / S17	4,90-5,35	32	2,65	38	18	20	0	29	49	22	CL	TEMİZ KİL İLE KUM	
SK-2	SPT4 / S18	6,00-6,45	31	2,67	30	20	10	0	39	51	10	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
SK-2	UD3 / S19	7,50-7,90	29	2,72	33	21	12	0	38	45	17	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
SK-2	SPT5 / S20	7,90-8,35	29	2,66	33	20	13	0	37	46	17	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
SK-2	SPT6 / S21	9,00-9,45	31	2,65	55	22	33	0	6	54	40	CH	YAĞLI KİL	
SK-3	UD1 / S22	1,50-1,90	21	2,69	37	19	18	2	40	41	17	CL	KUMLU TEMİZ KİL	

Şekil Ek 1.4. Antalya Boğaçay Sondajlarından Alınan Numunelerin Özellikleri-

KUYU NO	NUMUNE NO	DERİNLİK (m)	w _n %	γ _s g/cm ³	KIVAMLIMİTLERİ				DANE BOYU DAĞILIMI				ZEMİN SINIFI (USCS)	GRUP ADI (USCS)
					LL %	PL %	PI %	ÇAKIL %	KUM %	SILT %	KİL %			
SK-3	SPT1 / S23	1,90-2,35	23	2,71	32	18	14	0	38	44	18	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
SK-3	SPT2 / S24	3,00-3,45	26	2,72	41	19	22	2	28	44	26	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
SK-3	UD-2 / S25	4,50-4,90	27	2,69	38	24	14	0	18	60	22	CL	TEMİZ KİL İLE KUM	
SK-3	SPT3 / S26	4,90-5,35	19	2,69	36	19	17	27	31	30	12	SC	KİLLİ KUM İLE ÇAKIL	
SK-3	SPT4 / S27	6,00-6,45	25	2,69	34	20	14	0	37	46	17	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
SK-3	SPT5 / S28	7,50-7,95	22	2,73	24	18	6	0	57	33	10	SC	KİLLİ KUM	
SK-3	SPT6 / S29	9,00-9,45	26	2,66	34	16	18	6	33	39	22	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
SK-3	UD3 / S30	10,50-10,90	19	2,69	26	19	7	6	62	24	8	SM	SİLT Lİ KUM İLE ÇAKIL	
SK-3	SPT7 / S31	10,90-11,35	N.YOK	N.YOK	N.YOK	N.YOK	N.YOK	N.YOK	N.YOK	N.YOK	N.YOK	N.YOK	N.YOK	
SK-3	SPT8 / S33	12,00-12,45	44	2,69	50	25	25	9	6	43	42	CL	TEMİZ KİL İLE KUM	
SK-3	SPT9 / S34	13,50-13,95	27	2,72	39	22	17	2	36	48	14	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
SK-3	SPT10 / S35	15,00-15,45	26	2,73	27	19	8	4	60	31	5	SC	KİLLİ KUM	
SK-4	UD1 / S36	1,50-1,90	17	2,7	47	22	25	0	18	54	28	CL	TEMİZ KİL İLE KUM	
SK-4	SPT11 / S37	1,90-2,35	9	2,71	34	19	15	18	59	18	5	SC	KİLLİ KUM İLE ÇAKIL	
SK-4	SPT2 / S38	3,00-3,45	8	2,7	22	13	9	48	35	15	2	GC	KİLLİ ÇAKIL İLE KUM	
SK-5	UD1 / S39	1,50-1,90	13	2,6	36	22	14	0	25	61	14	CL	TEMİZ KİL İLE KUM	
SK-5	SPT11 / S40	1,90-2,35	12	2,57	39	24	15	0	9	69	22	CL	TEMİZ KİL	
SK-5	SPT2 / S41	3,00-3,45	9	2,59	32	22	10	1	27	62	10	CL	TEMİZ KİL İLE KUM	
SK-5	UD2 / S42	4,50-4,90	3	2,73	-	-	-	11	83	6	0	SW-SM	İYİ DERECELENMİŞ KUM İLE ÇAKIL	
SK-5	SPT3 / S43	4,90-5,35	2	2,7	-	-	-	29	65	5	1	SP-SM	KÖTÜ DERECELENMİŞ KUM İLE SİLT VE ÇAKIL	
SK-5	SPT4 / S44	6,00-6,45	10	2,73	-	-	-	37	57	5	1	SP-SM	KÖTÜ DERECELENMİŞ KUM İLE SİLT VE ÇAKIL	
SK-5	SPT5 / S45	7,50-7,95	7	2,71	-	-	-	59	36	4	1	GP	KÖTÜ DERECELENMİŞ ÇAKIL İLE KUM	
SK-7	UD1 / S46	1,50-1,90	11	2,62	34	19	15	0	33	52	15	CL	KUMLU TEMİZ KİL	

Şekil Ek 1.5. Antalya Boğaçay Sondajlarından Alınan Numunelerin Özellikleri-2

KUYU NO	NUMUNE NO	DERİNLİK (m)	w _n %	γ _s g/cm ³	KIVAM LİMLERİ			DANE BOYU DAĞILIMI				ZEMİN SINIFI (USCS)	GRUP ADI (USCS)
					LL %	PL %	PI %	ÇAKIL %	KUM %	SİLT %	KİL %		
SK-7	SPT1 / S47	1,90-2,35	14	2,61	38	21	17	1	25	47	27	CL	KUMLU TEMİZ KİL
SK-7	UD2 / S48	3,00-3,40	17	2,63	29	18	11	1	39	46	14	CL	KUMLU TEMİZ KİL
SK-7	SPT2 / S49	3,40-3,95	20	2,64	30	20	10	0	28	54	18	CL	KUMLU TEMİZ KİL
SK-7	UD3 / S50	4,50-4,90	12	2,65	27	20	7	27	49	20	4	SM	SİLTİ KUM İLE ÇAKIL
SK-7	SPT3 / S51	4,90-5,35	21	2,62	31	12	19	1	34	47	18	CL	KUMLU TEMİZ KİL
SK-7	SPT4 / S52-A	6,00-6,30	20	2,64	32	19	13	8	46	37	9	SC	KİLİ KUM
SK-7	SPT4 / S52-B	6,30-6,45	7	2,7	-	-	-	28	56	13	3	SM	SİLTİ KUM İLE ÇAKIL
SK-8	UD1 / S53	1,50-1,90	23	2,67	46	21	25	0	19	63	18	CL	TEMİZ KİL İLE KUM
SK-8	SPT1 / S54	1,90-2,35	19	2,63	30	22	8	0	44	44	12	CL	KUMLU TEMİZ KİL
SK-8	UD2 / S55	3,00-3,40	25	2,63	49	22	27	0	15	51	34	CL	TEMİZ KİL İLE KUM
SK-8	SPT2 / S56	3,40-3,95	24	2,65	45	25	20	0	18	56	26	CL	TEMİZ KİL İLE KUM
SK-8	SPT3 / S57	4,50-4,95	26	2,65	43	23	20	1	19	57	23	CL	TEMİZ KİL İLE KUM
SK-8	SPT4 / S58	6,00-6,45	19	2,7	37	20	17	5	51	34	10	SC	KİLİ KUM
SK-8	UD3 / S59	7,50-7,90	25	2,71	41	20	21	0	22	50	28	CL	TEMİZ KİL İLE KUM
SK-8	SPT5 / S60	7,90-8,35	26	2,7	34	19	15	0	19	54	27	CL	TEMİZ KİL İLE KUM
SK-8	SPT6 / S61	9,00-9,45	25	2,7	37	23	14	0	22	58	20	CL	TEMİZ KİL İLE KUM
SK-8	SPT7 / S62	10,50-10,95	30	2,7	39	21	18	0	20	54	26	CL	TEMİZ KİL İLE KUM
SK-10	UD1 / S63	1,50-1,90	16	2,72	30	19	11	0	44	48	8	CL	KUMLU TEMİZ KİL
SK-10	SPT1 / S64	1,90-2,35	16	2,69	38	21	17	0	23	58	19	CL	TEMİZ KİL İLE KUM
SK-10	SPT2 / S65	3,00-3,45	16	2,72	41	22	19	0	35	41	24	CL	KUMLU TEMİZ KİL
SK-10	SPT3 / S66	4,50-4,95	18	2,72	34	21	13	0	13	68	19	CL	TEMİZ KİL
SK-10	SPT4 / S67	6,00-6,45	20	2,7	33	23	10	0	37	49	14	CL	KUMLU TEMİZ KİL
SK-10	SPT5 / S68-A	7,50-7,80	19	2,67	-	-	-	7	57	29	7	SM	SİLTİ KUM

Şekil Ek 1.6. Antalya Boğaçay Sondajlarından Alınan Numunelerin Özellikleri-3

KUYU NO	NUMUNE NO	DERİNLİK (m)	w _n %	γ _s g/cm ³	KIVAM LİMİTLERİ				DANE BOYU DAĞILIMI				ZEMİN SINIFI (USCS)	GRUP ADI (USCS)
					LL %	PL %	PI %	ÇAKIL %	KUM %	SİLT %	KİL %			
SK-10	SPT5 / S68-B	7,80-7,95	7	2,68	-	-	-	47	43	7	3	GW-GM	İYİ DERECELENMİŞ ÇAKIL İLE SİLT VE KUM	
SK-12	UD1 / S69	1,50-1,90	19	2,71	32	18	14	3	52	32	13	SC	KİLİJ KUM	
SK-12	SPT1 / S70	1,90-2,35	17	2,7	NP	NP	NP	5	67	23	5	SM	SİLTİLİ KUM	
SK-12	SPT2 / S71	3,00-3,45	26	2,7	31	22	9	0	30	60	10	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
SK-12	SPT3 / S72	4,50-4,95	24	2,67	-	-	-	1	35	50	14	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
SK-12	SPT4 / S73	6,00-6,45	12	2,72	-	-	-	26	43	25	6	SM	SİLTİLİ KUM İLE ÇAKIL	
BK-1	SB-1	0,00-0,50	17	2,68	32	21	11	2	43	44	11	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
BK-2	SB-2	0,00-0,50	14	2,65	35	21	14	2	35	40	14	CL	KUMLU TEMİZ KİL	
BK-2	SB-3	0,50-1,00	17	2,67	36	21	15	4	37	47	12	CL	KUMLU TEMİZ KİL	

Şekil Ek 1.7. Antalya Boğaçay Sondajlarından Alınan Numunelerin Özellikleri-4

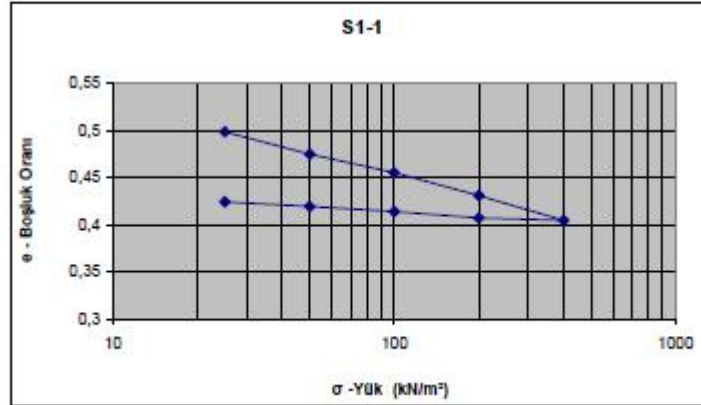
SONDAJ NO	DERİNLİK	NUMUNE	ZEMİN SINIFI	RİNG V (mm ²)	W _k (gr)	γ _s (gr/cm ³)	γ _n (gr/cm ³)	γ _d (gr/cm ³)	n	e ₀	Sr (%)
SK-1	1,50-1,90	S1-1	CL	39,27	68,52	2,66	2,005607	1,744886	0,344028	0,524455	100
SK-1	1,50-1,90	S1-2	CL	39,27	66,93	2,66	2,011209	1,704402	0,359247	0,560665	99
SK-1	3,00-3,40	S3-1	CH	39,27	58,48	2,59	1,853582	1,489148	0,425039	0,73925	100
SK-1	3,00-3,40	S3-2	CH	39,27	59,67	2,63	1,89127	1,519484	0,422249	0,730851	100
SK-1	6,00-6,40	S7	CL	39,27	58,00	2,65	1,905021	1,476713	0,44275	0,794526	90
SK-2	1,50-1,90	S13-1	CH	39,27	55,26	2,7	1,848744	1,407271	0,478789	0,918607	93
SK-2	1,50-1,90	S13-2	CH	39,27	55,79	2,69	1,866315	1,420645	0,471879	0,893506	97
SK-2	4,50-4,90	S16-1	CL	39,27	53,90	2,7	1,864023	1,372468	0,491678	0,967259	78
SK-2	4,50-4,90	S16-2	CL	39,27	54,18	2,66	1,873954	1,3797	0,481316	0,927955	91
SK-2	7,50-7,90	S19-1	CL	39,27	55,69	2,69	1,832701	1,41816	0,472803	0,896824	75
SK-2	7,50-7,90	S19-2	CL	39,27	57,64	2,68	1,893562	1,467811	0,452309	0,825848	80
SK-3	1,50-1,90	S22-1	CL	39,27	66,47	2,66	2,048133	1,692645	0,363667	0,571505	100
SK-3	1,50-1,90	S22-2	CL	39,27	68,52	2,7	2,111286	1,744847	0,35376	0,547413	87
SK-3	4,50-4,90	S25-1	CL	39,27	61,22	2,64	1,979887	1,558954	0,409487	0,693443	91
SK-3	4,50-4,90	S25-2	CL	39,27	61,66	2,67	1,993893	1,570159	0,411925	0,700465	99
SK-4	1,50-1,90	S36-1	CL	39,27	72,81	2,63	2,169091	1,854091	0,295022	0,418485	100
SK-4	1,50-1,90	S36-2	CL	39,27	70,15	2,66	2,09015	1,786355	0,328438	0,489066	100
SK-5	1,50-1,90	S39	CL	39,27	69,71	2,77	2,005607	1,775151	0,359151	0,560431	100
SK-7	1,50-1,90	S46	CL	39,27	65,58	2,77	1,853582	1,669981	0,397119	0,658702	93
SK-7	3,00-3,40	S48	CL	39,27	69,07	2,76	2,05781	1,758853	0,362734	0,569204	97
SK-8	1,50-1,90	S53	CL	39,27	63,54	2,77	1,990073	1,618033	0,415873	0,711955	95
SK-8	3,00-3,40	S55	CL	39,27	64,64	2,77	2,057555	1,646044	0,40576	0,682822	93
SK-8	7,50-7,90	S59	CL	39,27	61,39	2,75	1,954168	1,563284	0,431533	0,759118	95
SK-10	1,50-1,90	S63	CL	39,27	66,93	2,76	1,977086	1,704358	0,382479	0,619378	88

Şekil Ek 1.8. Antalya Boğaçay Sondajlarından Alınan Numunelerin Özellikleri-5

SONDAJ NO	SK-1	γ_s (gr/cm ³)	2,66
DERİNLİK (m)	1,50-1,90	γ_n (gr/cm ³)	2,059338
NUMUNE	S1-1	γ_d (gr/cm ³)	1,744888
RİNG NO	3	n (Porozite)	0,344028
RİNG R (cm)	5	G _s (Özgül Ağ.)	2,66
RİNG H (cm)	2	W _k (kuru ağırlık)(gr)	68,52
RİNG W (cm)	71,21	e ₀ (baş.bos.or)	0,524455
RİNG A (cm ²)	19,63495	h _s (tane yük.) (mm)	13,11944

	DENEY BAŞINDA	DENEY SONUNDA
RİNG+YAŞ N. (g)	152,08	153,21
RİNG+KURU N.(g)	139,7315	139,7315
SU MİKTARI (g)	12,3485	13,4785
SU MUHTEVASI	0,18021351	0,196704684
DOY. DER. (Sr) (%)	91	100

σ (kN/m ²)	Δh (mm)	h (mm)	h _v =h-h _s (mm)	e=h _v /h _s	Δe	$\Delta \sigma$ (kN/m ²)	av (m ² /kN)	mv (m ² /kN)
0	0	20	6,88056	0,52446				
25	0,34	19,66	6,54056	0,49854	0,02592	25	0,00104	0,00068
50	0,315	19,345	6,22556	0,47453	0,02401	25	0,00096	0,00063
100	0,253	19,092	5,97256	0,45524	0,01928	50	0,00039	0,00025
200	0,32	18,772	5,65256	0,43085	0,02439	100	0,00024	0,00016
400	0,344	18,428	5,30856	0,40463	0,02622	200	0,00013	0,00009
200	0,034	18,462	5,34256	0,40722				
100	0,09	18,552	5,43256	0,41408				
50	0,07	18,622	5,50256	0,41942				
25	0,063	18,685	5,56556	0,42422				
0	0,227	18,912	5,79256	0,44152				

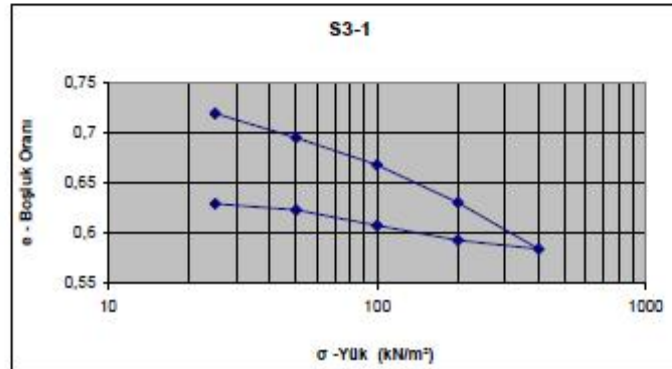


Şekil Ek 1.9. Antalya Boğaçay'dan Alınan Sonuçlar-SK-1 (1.50-1.90 m)

SONDAJ NO	SK-1	γ_s (gr/cm ³)	2,59
DERİNLİK (m)	3,00-3,40	γ_n (gr/cm ³)	1,853582
NUMUNE	S3-1	γ_d (gr/cm ³)	1,489148
RİNG NO	6	n (Porozite)	0,425039
RİNG R (cm)	5	Gs (Özgül Ağ.)	2,59
RİNG H (cm)	2	Wk(kuru ağırlık) (gr)	58,48
RİNG W (cm)	71,2	e0 (baş.boş.or)	0,73925
RİNG A (cm ²)	19,63495	hs (tane yük.) (mm.)	11,49921

	DENEY BAŞINDA	DENEY SONUNDA
RİNG+YAŞ N. (g)	143,99	147,93
RİNG+KURU N.(g)	129,6787	129,6787
SU MİKTARI (g)	14,3113	18,2513
SU MUHTEVASI	0,244726712	0,312101671
DOY.DER. Sr (%)	86	100

σ (kN/m ²)	Δh (mm)	h (mm)	$h_v=h-h_s$ (mm)	$e=h_v/h_s$	Δe	$\Delta \sigma$ (kN/m ²)	av (m ² /kN)	mv (m ² /kN)
0	0	20	8,50079	0,73925				
25	0,222	19,778	8,27879	0,71994	0,01931	25	0,00077	0,00044
50	0,276	19,502	8,00279	0,69594	0,024	25	0,00096	0,00055
100	0,314	19,188	7,68879	0,66864	0,02731	50	0,00055	0,00031
200	0,434	18,754	7,25479	0,63089	0,03774	100	0,00038	0,00022
400	0,532	18,222	6,72279	0,58463	0,04626	200	0,00023	0,00013
200	0,1	18,322	6,82279	0,59333				
100	0,17	18,492	6,99279	0,60811				
50	0,18	18,672	7,17279	0,62376				
25	0,07	18,742	7,24279	0,62985				
0	0,246	18,988	7,48879	0,65124				

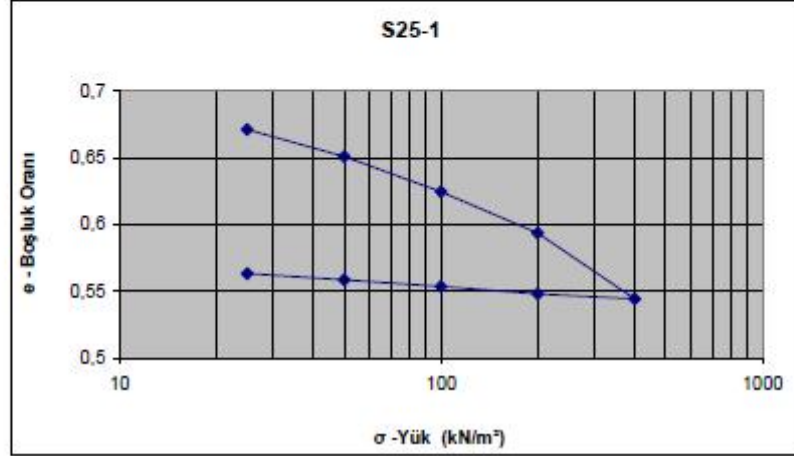


Şekil Ek 1.10. Antalya Boğaçay'dan Alınan Sonuçlar -SK-1 (3.00-3.40 m)

SONDAJ NO	SK-3	γ_s (gr/cm ³)	2,64
DERİNLİK (m)	4,50-4,90	γ_n (gr/cm ³)	1,979887
NUMUNE	S25-1	γ_d (gr/cm ³)	1,558954
RİNG NO	0	n (Porozite)	0,409487
RİNG R (cm)	5	G _s (Özgül Ağ.)	2,64
RİNG H (cm)	2	W _k (kuru ağırlık.)	61,22
RİNG W (cm)	71,21	e ₀ (baş.boş.or)	0,693443
RİNG A (cm ²)	19,63495	h _s (tane yük.) (mm.)	11,81026

	DENEY BAŞINDA	DENEY SONUNDA
RİNG+YAŞ N. (g)	148,96	147,02
RİNG+KURU N.(g)	132,43	132,43
SU MİKTARI (g)	16,53	14,59
SU MUHTEVASI	0,270009801	0,23832081
DOY. DER. (Sr) (%)	100	91

σ (kN/m ²)	Δh (mm)	h (mm)	h _v =h-h _s (mm)	e=h _v /h _s	Δe	$\Delta \sigma$ (kN/m ²)	av (m ² /kN)	mv (m ² /kN)
0	0	20	8,18974	0,69344				
25	0,266	19,734	7,92374	0,67092	0,02252	25	0,0009	0,00053
50	0,237	19,497	7,68674	0,65085	0,02007	25	0,0008	0,00047
100	0,312	19,185	7,37474	0,62443	0,02642	50	0,00053	0,00031
200	0,365	18,82	7,00974	0,59353	0,03091	100	0,00031	0,00018
400	0,58	18,24	6,42974	0,54442	0,04911	200	0,00025	0,00014
200	0,043	18,283	6,47274	0,54806				
100	0,065	18,348	6,53774	0,55356				
50	0,06	18,408	6,59774	0,55864				
25	0,054	18,462	6,65174	0,56322				
0	0,168	18,63	6,81974	0,57744				

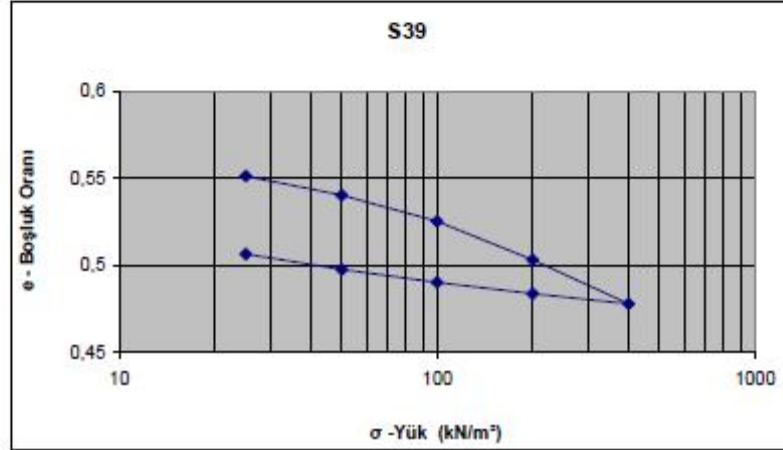


Şekil Ek 1.11. Antalya Boğaçay'dan Alınan Sonuçlar-SK-3 (4.50-4.90 m)

SONDAJ NO	SK-5	γ_s (gr/cm ³)	2,77
DERİNLİK (m)	1,50-1,90	γ_n (gr/cm ³)	2,005607
NUMUNE	S39	γ_d (gr/cm ³)	1,775151
RİNG NO	6	n (Porozite)	0,359151
RİNG R (cm)	5	Gs (Özgül Ağı.)	2,77
RİNG H (cm)	2	Wk (kuru ağırlık.)	69,71
RİNG W (cm)	70,48	e0 (baş.boş.or)	0,560431
RİNG A (cm ²)	19,63495	hs (tane yük.) (mm.)	12,81697

	DENEY BAŞINDA	DENEY SONUNDA
RİNG+YAŞ N. (g)	149,24	156,34
RİNG+KURU N.(g)	140,19	140,19
SU MİKTARI (g)	9,05	16,15
SU MUHTEVASI	0,129823555	0,231674078
DOY. DER. (Sr) (%)	64	100

σ (kN/m ²)	Δh (mm)	h (mm)	h _v =h-h _s (mm)	e=h _v /h _s	Δe	$\Delta \sigma$ (kN/m ²)	a _v (m ² /kN)	m _v (m ² /kN)
0	0	20	7,18303	0,56043				
25	0,115	19,885	7,06803	0,55146	0,00897	25	0,00036	0,00023
50	0,14	19,745	6,92803	0,54054	0,01092	25	0,00044	0,00028
100	0,193	19,552	6,73503	0,52548	0,01506	50	0,0003	0,00019
200	0,284	19,268	6,45103	0,50332	0,02216	100	0,00022	0,00014
400	0,323	18,945	6,12803	0,47812	0,0252	200	0,00013	0,00008
200	0,075	19,02	6,20303	0,48397				
100	0,082	19,102	6,28503	0,49037				
50	0,096	19,198	6,38103	0,49786				
25	0,114	19,312	6,49503	0,50675				
0	0,266	19,578	6,76103	0,52751				



Şekil Ek 1.12. Antalya Boğaçay'dan Alınan Sonuçlar-SK-5 (1.50-1.90 m)

EK 2

Mersin Yenişehir Menteş ve Tarsus Mithatpaşa'dan Alınan CL ve CH Grubu Zeminler

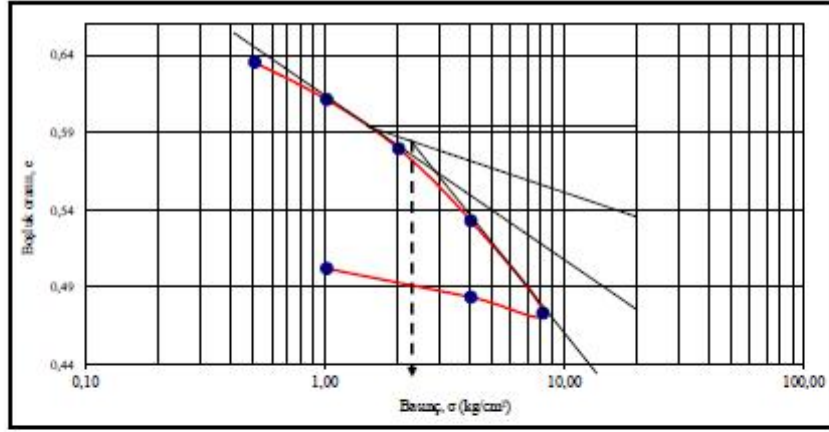
I		II		III				IV			V			VI			VII			VIII																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
NUMUNE		SEKTÖR		ATTERBERG (NIVAQ) LİMİTLERİ				ELEK ANALİZİ			HİDROMETRE			KOMPAKTİYON			KONSOLİDASYON			DAYANIM DENEYLERİ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
ARAŞTIRMA CÜZÜMLÜ / SONDAJ	NUMUNE NO	DERİNLİK (m)	T	D	L	U	G	F ₁₅	F ₂₀	F ₄₀	F ₆₀	F ₈₀	F ₁₀₀	F ₂₀₀	F ₄₀₀	F ₆₀₀	F ₈₄₀	F ₁₀₆₀	F ₁₄₉₀	F ₂₀₀₀	F ₂₅₀₀	F ₃₀₀₀	F ₃₅₀₀	F ₄₀₀₀	F ₄₅₀₀	F ₅₀₀₀	F ₅₅₀₀	F ₆₀₀₀	F ₆₅₀₀	F ₇₀₀₀	F ₇₅₀₀	F ₈₀₀₀	F ₈₅₀₀	F ₉₀₀₀	F ₉₅₀₀	F ₁₀₀₀₀	F ₁₀₅₀₀	F ₁₁₀₀₀	F ₁₁₅₀₀	F ₁₂₀₀₀	F ₁₂₅₀₀	F ₁₃₀₀₀	F ₁₃₅₀₀	F ₁₄₀₀₀	F ₁₄₅₀₀	F ₁₅₀₀₀	F ₁₅₅₀₀	F ₁₆₀₀₀	F ₁₆₅₀₀	F ₁₇₀₀₀	F ₁₇₅₀₀	F ₁₈₀₀₀	F ₁₈₅₀₀	F ₁₉₀₀₀	F ₁₉₅₀₀	F ₂₀₀₀₀	F ₂₀₅₀₀	F ₂₁₀₀₀	F ₂₁₅₀₀	F ₂₂₀₀₀	F ₂₂₅₀₀	F ₂₃₀₀₀	F ₂₃₅₀₀	F ₂₄₀₀₀	F ₂₄₅₀₀	F ₂₅₀₀₀	F ₂₅₅₀₀	F ₂₆₀₀₀	F ₂₆₅₀₀	F ₂₇₀₀₀	F ₂₇₅₀₀	F ₂₈₀₀₀	F ₂₈₅₀₀	F ₂₉₀₀₀	F ₂₉₅₀₀	F ₃₀₀₀₀	F ₃₀₅₀₀	F ₃₁₀₀₀	F ₃₁₅₀₀	F ₃₂₀₀₀	F ₃₂₅₀₀	F ₃₃₀₀₀	F ₃₃₅₀₀	F ₃₄₀₀₀	F ₃₄₅₀₀	F ₃₅₀₀₀	F ₃₅₅₀₀	F ₃₆₀₀₀	F ₃₆₅₀₀	F ₃₇₀₀₀	F ₃₇₅₀₀	F ₃₈₀₀₀	F ₃₈₅₀₀	F ₃₉₀₀₀	F ₃₉₅₀₀	F ₄₀₀₀₀	F ₄₀₅₀₀	F ₄₁₀₀₀	F ₄₁₅₀₀	F ₄₂₀₀₀	F ₄₂₅₀₀	F ₄₃₀₀₀	F ₄₃₅₀₀	F ₄₄₀₀₀	F ₄₄₅₀₀	F ₄₅₀₀₀	F ₄₅₅₀₀	F ₄₆₀₀₀	F ₄₆₅₀₀	F ₄₇₀₀₀	F ₄₇₅₀₀	F ₄₈₀₀₀	F ₄₈₅₀₀	F ₄₉₀₀₀	F ₄₉₅₀₀	F ₅₀₀₀₀	F ₅₀₅₀₀	F ₅₁₀₀₀	F ₅₁₅₀₀	F ₅₂₀₀₀	F ₅₂₅₀₀	F ₅₃₀₀₀	F ₅₃₅₀₀	F ₅₄₀₀₀	F ₅₄₅₀₀	F ₅₅₀₀₀	F ₅₅₅₀₀	F ₅₆₀₀₀	F ₅₆₅₀₀	F ₅₇₀₀₀	F ₅₇₅₀₀	F ₅₈₀₀₀	F ₅₈₅₀₀	F ₅₉₀₀₀	F ₅₉₅₀₀	F ₆₀₀₀₀	F ₆₀₅₀₀	F ₆₁₀₀₀	F ₆₁₅₀₀	F ₆₂₀₀₀	F ₆₂₅₀₀	F ₆₃₀₀₀	F ₆₃₅₀₀	F ₆₄₀₀₀	F ₆₄₅₀₀	F ₆₅₀₀₀	F ₆₅₅₀₀	F ₆₆₀₀₀	F ₆₆₅₀₀	F ₆₇₀₀₀	F ₆₇₅₀₀	F ₆₈₀₀₀	F ₆₈₅₀₀	F ₆₉₀₀₀	F ₆₉₅₀₀	F ₇₀₀₀₀	F ₇₀₅₀₀	F ₇₁₀₀₀	F ₇₁₅₀₀	F ₇₂₀₀₀	F ₇₂₅₀₀	F ₇₃₀₀₀	F ₇₃₅₀₀	F ₇₄₀₀₀	F ₇₄₅₀₀	F ₇₅₀₀₀	F ₇₅₅₀₀	F ₇₆₀₀₀	F ₇₆₅₀₀	F ₇₇₀₀₀	F ₇₇₅₀₀	F ₇₈₀₀₀	F ₇₈₅₀₀	F ₇₉₀₀₀	F ₇₉₅₀₀	F ₈₀₀₀₀	F ₈₀₅₀₀	F ₈₁₀₀₀	F ₈₁₅₀₀	F ₈₂₀₀₀	F ₈₂₅₀₀	F ₈₃₀₀₀	F ₈₃₅₀₀	F ₈₄₀₀₀	F ₈₄₅₀₀	F ₈₅₀₀₀	F ₈₅₅₀₀	F ₈₆₀₀₀	F ₈₆₅₀₀	F ₈₇₀₀₀	F ₈₇₅₀₀	F ₈₈₀₀₀	F ₈₈₅₀₀	F ₈₉₀₀₀	F ₈₉₅₀₀	F ₉₀₀₀₀	F ₉₀₅₀₀	F ₉₁₀₀₀	F ₉₁₅₀₀	F ₉₂₀₀₀	F ₉₂₅₀₀	F ₉₃₀₀₀	F ₉₃₅₀₀	F ₉₄₀₀₀	F ₉₄₅₀₀	F ₉₅₀₀₀	F ₉₅₅₀₀	F ₉₆₀₀₀	F ₉₆₅₀₀	F ₉₇₀₀₀	F ₉₇₅₀₀	F ₉₈₀₀₀	F ₉₈₅₀₀	F ₉₉₀₀₀	F ₉₉₅₀₀	F ₁₀₀₀₀₀	F ₁₀₀₅₀₀	F ₁₀₁₀₀₀	F ₁₀₁₅₀₀	F ₁₀₂₀₀₀	F ₁₀₂₅₀₀	F ₁₀₃₀₀₀	F ₁₀₃₅₀₀	F ₁₀₄₀₀₀	F ₁₀₄₅₀₀	F ₁₀₅₀₀₀	F ₁₀₅₅₀₀	F ₁₀₆₀₀₀	F ₁₀₆₅₀₀	F ₁₀₇₀₀₀	F ₁₀₇₅₀₀	F ₁₀₈₀₀₀	F ₁₀₈₅₀₀	F ₁₀₉₀₀₀	F ₁₀₉₅₀₀	F ₁₁₀₀₀₀	F ₁₁₀₅₀₀	F ₁₁₁₀₀₀	F ₁₁₁₅₀₀	F ₁₁₂₀₀₀	F ₁₁₂₅₀₀	F ₁₁₃₀₀₀	F ₁₁₃₅₀₀	F ₁₁₄₀₀₀	F ₁₁₄₅₀₀	F ₁₁₅₀₀₀	F ₁₁₅₅₀₀	F ₁₁₆₀₀₀	F ₁₁₆₅₀₀	F ₁₁₇₀₀₀	F ₁₁₇₅₀₀	F ₁₁₈₀₀₀	F ₁₁₈₅₀₀	F ₁₁₉₀₀₀	F ₁₁₉₅₀₀	F ₁₂₀₀₀₀	F ₁₂₀₅₀₀	F ₁₂₁₀₀₀	F ₁₂₁₅₀₀	F ₁₂₂₀₀₀	F ₁₂₂₅₀₀	F ₁₂₃₀₀₀	F ₁₂₃₅₀₀	F ₁₂₄₀₀₀	F ₁₂₄₅₀₀	F ₁₂₅₀₀₀	F ₁₂₅₅₀₀	F ₁₂₆₀₀₀	F ₁₂₆₅₀₀	F ₁₂₇₀₀₀	F ₁₂₇₅₀₀	F ₁₂₈₀₀₀	F ₁₂₈₅₀₀	F ₁₂₉₀₀₀	F ₁₂₉₅₀₀	F ₁₃₀₀₀₀	F ₁₃₀₅₀₀	F ₁₃₁₀₀₀	F ₁₃₁₅₀₀	F ₁₃₂₀₀₀	F ₁₃₂₅₀₀	F ₁₃₃₀₀₀	F ₁₃₃₅₀₀	F ₁₃₄₀₀₀	F ₁₃₄₅₀₀	F ₁₃₅₀₀₀	F ₁₃₅₅₀₀	F ₁₃₆₀₀₀	F ₁₃₆₅₀₀	F ₁₃₇₀₀₀	F ₁₃₇₅₀₀	F ₁₃₈₀₀₀	F ₁₃₈₅₀₀	F ₁₃₉₀₀₀	F ₁₃₉₅₀₀	F ₁₄₀₀₀₀	F ₁₄₀₅₀₀	F ₁₄₁₀₀₀	F ₁₄₁₅₀₀	F ₁₄₂₀₀₀	F ₁₄₂₅₀₀	F ₁₄₃₀₀₀	F ₁₄₃₅₀₀	F ₁₄₄₀₀₀	F ₁₄₄₅₀₀	F ₁₄₅₀₀₀	F ₁₄₅₅₀₀	F ₁₄₆₀₀₀	F ₁₄₆₅₀₀	F ₁₄₇₀₀₀	F ₁₄₇₅₀₀	F ₁₄₈₀₀₀	F ₁₄₈₅₀₀	F ₁₄₉₀₀₀	F ₁₄₉₅₀₀	F ₁₅₀₀₀₀	F ₁₅₀₅₀₀	F ₁₅₁₀₀₀	F ₁₅₁₅₀₀	F ₁₅₂₀₀₀	F ₁₅₂₅₀₀	F ₁₅₃₀₀₀	F ₁₅₃₅₀₀	F ₁₅₄₀₀₀	F ₁₅₄₅₀₀	F ₁₅₅₀₀₀	F ₁₅₅₅₀₀	F ₁₅₆₀₀₀	F ₁₅₆₅₀₀	F ₁₅₇₀₀₀	F ₁₅₇₅₀₀	F ₁₅₈₀₀₀	F ₁₅₈₅₀₀	F ₁₅₉₀₀₀	F ₁₅₉₅₀₀	F ₁₆₀₀₀₀	F ₁₆₀₅₀₀	F ₁₆₁₀₀₀	F ₁₆₁₅₀₀	F ₁₆₂₀₀₀	F ₁₆₂₅₀₀	F ₁₆₃₀₀₀	F ₁₆₃₅₀₀	F ₁₆₄₀₀₀	F ₁₆₄₅₀₀	F ₁₆₅₀₀₀	F ₁₆₅₅₀₀	F ₁₆₆₀₀₀	F ₁₆₆₅₀₀	F ₁₆₇₀₀₀	F ₁₆₇₅₀₀	F ₁₆₈₀₀₀	F ₁₆₈₅₀₀	F ₁₆₉₀₀₀	F ₁₆₉₅₀₀	F ₁₇₀₀₀₀	F ₁₇₀₅₀₀	F ₁₇₁₀₀₀	F ₁₇₁₅₀₀	F ₁₇₂₀₀₀	F ₁₇₂₅₀₀	F ₁₇₃₀₀₀	F ₁₇₃₅₀₀	F ₁₇₄₀₀₀	F ₁₇₄₅₀₀	F ₁₇₅₀₀₀	F ₁₇₅₅₀₀	F ₁₇₆₀₀₀	F ₁₇₆₅₀₀	F ₁₇₇₀₀₀	F ₁₇₇₅₀₀	F ₁₇₈₀₀₀	F ₁₇₈₅₀₀	F ₁₇₉₀₀₀	F ₁₇₉₅₀₀	F ₁₈₀₀₀₀	F ₁₈₀₅₀₀	F ₁₈₁₀₀₀	F ₁₈₁₅₀₀	F ₁₈₂₀₀₀	F ₁₈₂₅₀₀	F ₁₈₃₀₀₀	F ₁₈₃₅₀₀	F ₁₈₄₀₀₀	F ₁₈₄₅₀₀	F ₁₈₅₀₀₀	F ₁₈₅₅₀₀	F ₁₈₆₀₀₀	F ₁₈₆₅₀₀	F ₁₈₇₀₀₀	F ₁₈₇₅₀₀	F ₁₈₈₀₀₀	F ₁₈₈₅₀₀	F ₁₈₉₀₀₀	F ₁₈₉₅₀₀	F ₁₉₀₀₀₀	F ₁₉₀₅₀₀	F ₁₉₁₀₀₀	F ₁₉₁₅₀₀	F ₁₉₂₀₀₀	F ₁₉₂₅₀₀	F ₁₉₃₀₀₀	F ₁₉₃₅₀₀	F ₁₉₄₀₀₀	F ₁₉₄₅₀₀	F ₁₉₅₀₀₀	F ₁₉₅₅₀₀	F ₁₉₆₀₀₀	F ₁₉₆₅₀₀	F ₁₉₇₀₀₀	F ₁₉₇₅₀₀	F ₁₉₈₀₀₀	F ₁₉₈₅₀₀	F ₁₉₉₀₀₀	F ₁₉₉₅₀₀	F ₂₀₀₀₀₀	F ₂₀₀₅₀₀	F ₂₀₁₀₀₀	F ₂₀₁₅₀₀	F ₂₀₂₀₀₀	F ₂₀₂₅₀₀	F ₂₀₃₀₀₀	F ₂₀₃₅₀₀	F ₂₀₄₀₀₀	F ₂₀₄₅₀₀	F ₂₀₅₀₀₀	F ₂₀₅₅₀₀	F ₂₀₆₀₀₀	F ₂₀₆₅₀₀	F ₂₀₇₀₀₀	F ₂₀₇₅₀₀	F ₂₀₈₀₀₀	F ₂₀₈₅₀₀	F ₂₀₉₀₀₀	F ₂₀₉₅₀₀	F ₂₁₀₀₀₀	F ₂₁₀₅₀₀	F ₂₁₁₀₀₀	F ₂₁₁₅₀₀	F ₂₁₂₀₀₀	F ₂₁₂₅₀₀	F ₂₁₃₀₀₀	F ₂₁₃₅₀₀	F ₂₁₄₀₀₀	F ₂₁₄₅₀₀	F ₂₁₅₀₀₀	F ₂₁₅₅₀₀	F ₂₁₆₀₀₀	F ₂₁₆₅₀₀	F ₂₁₇₀₀₀	F ₂₁₇₅₀₀	F ₂₁₈₀₀₀	F ₂₁₈₅₀₀	F ₂₁₉₀₀₀	F ₂₁₉₅₀₀	F ₂₂₀₀₀₀	F ₂₂₀₅₀₀	F ₂₂₁₀₀₀	F ₂₂₁₅₀₀	F ₂₂₂₀₀₀	F ₂₂₂₅₀₀	F ₂₂₃₀₀₀	F ₂₂₃₅₀₀	F ₂₂₄₀₀₀	F ₂₂₄₅₀₀	F ₂₂₅₀₀₀	F ₂₂₅₅₀₀	F ₂₂₆₀₀₀	F ₂₂₆₅₀₀	F ₂₂₇₀₀₀	F ₂₂₇₅₀₀	F ₂₂₈₀₀₀	F ₂₂₈₅₀₀	F ₂₂₉₀₀₀	F ₂₂₉₅₀₀	F ₂₃₀₀₀₀	F ₂₃₀₅₀₀	F ₂₃₁₀₀₀	F ₂₃₁₅₀₀	F ₂₃₂₀₀₀	F ₂₃₂₅₀₀	F ₂₃₃₀₀₀	F ₂₃₃₅₀₀	F ₂₃₄₀₀₀	F ₂₃₄₅₀₀	F ₂₃₅₀₀₀	F ₂₃₅₅₀₀	F ₂₃₆₀₀₀	F ₂₃₆₅₀₀	F ₂₃₇₀₀₀	F ₂₃₇₅₀₀	F ₂₃₈₀₀₀	F ₂₃₈₅₀₀	F ₂₃₉₀₀₀	F ₂₃₉₅₀₀	F ₂₄₀₀₀₀	F ₂₄₀₅₀₀	F ₂₄₁₀₀₀	F ₂₄₁₅₀₀	F ₂₄₂₀₀₀	F ₂₄₂₅₀₀	F ₂₄₃₀₀₀	F ₂₄₃₅₀₀	F ₂₄₄₀₀₀	F ₂₄₄₅₀₀	F ₂₄₅₀₀₀	F ₂₄₅₅₀₀	F ₂₄₆₀₀₀	F ₂₄₆₅₀₀	F ₂₄₇₀₀₀	F ₂₄₇₅₀₀	F ₂₄₈₀₀₀	F ₂₄₈₅₀₀	F ₂₄₉₀₀₀	F ₂₄₉₅₀₀	F ₂₅₀₀₀₀	F ₂₅₀₅₀₀	F ₂₅₁₀₀₀	F ₂₅₁₅₀₀	F ₂₅₂₀₀₀	F ₂₅₂₅₀₀	F ₂₅₃₀₀₀	F ₂₅₃₅₀₀	F ₂₅₄₀₀₀	F ₂₅₄₅₀₀	F ₂₅₅₀₀₀	F ₂₅₅₅₀₀	F ₂₅₆₀₀₀	F ₂₅₆₅₀₀	F ₂₅₇₀₀₀	F ₂₅₇₅₀₀	F ₂₅₈₀₀₀	F ₂₅₈₅₀₀	F ₂₅₉₀₀₀	F ₂₅₉₅₀₀	F ₂₆₀₀₀₀	F ₂₆₀₅₀₀	F ₂₆₁₀₀₀	F ₂₆₁₅₀₀	F ₂₆₂₀₀₀	F ₂₆₂₅₀₀	F ₂₆₃₀₀₀	F ₂₆₃₅₀₀	F ₂₆₄₀₀₀	F ₂₆₄₅₀₀	F ₂₆₅₀₀₀	F ₂₆₅₅₀₀	F ₂₆₆₀₀₀	F ₂₆₆₅₀₀	F ₂₆₇₀₀₀	F ₂₆₇₅₀₀	F ₂₆₈₀₀₀	F ₂₆₈₅₀₀	F ₂₆₉₀₀₀	F ₂₆₉₅₀₀	F ₂₇₀₀₀₀	F ₂₇₀₅₀₀	F ₂₇₁₀₀₀	F ₂₇₁₅₀₀	F ₂₇₂₀₀₀	F ₂₇₂₅₀₀	F ₂₇₃₀₀₀	F ₂₇₃₅₀₀	F ₂₇₄₀₀₀	F ₂₇₄₅₀₀	F ₂₇₅₀₀₀	F ₂₇₅₅₀₀	F ₂₇₆₀₀₀	F ₂₇₆₅₀₀	F ₂₇₇₀₀₀	F ₂₇₇₅₀₀	F ₂₇₈₀₀₀	F ₂₇₈₅₀₀	F ₂₇₉₀₀₀	F ₂₇₉₅₀₀	F ₂₈₀₀₀₀	F ₂₈₀₅₀₀	F ₂₈₁₀₀₀	F ₂₈₁₅₀₀	F ₂₈₂₀₀₀	F ₂₈₂₅₀₀	F ₂₈₃₀₀₀	F ₂₈₃₅₀₀	F ₂₈₄₀₀₀	F ₂₈₄₅₀₀	F ₂₈₅₀₀₀	F ₂₈₅₅₀₀	F ₂₈₆₀₀₀	F ₂₈₆₅₀₀	F ₂₈₇₀₀₀	F ₂₈₇₅₀₀	F ₂₈₈₀₀₀	F ₂₈₈₅₀₀	F ₂₈₉₀₀₀	F ₂₈₉₅₀₀	F ₂₉₀₀₀₀	F ₂₉₀₅₀₀	F ₂₉₁₀₀₀	F ₂₉₁₅₀₀	F ₂₉₂₀₀₀	F ₂₉₂₅₀₀	F ₂₉₃₀₀₀	F ₂₉₃₅₀₀	F ₂₉₄₀₀₀	F ₂₉₄₅₀₀	F ₂₉₅₀₀₀	F ₂₉₅₅₀₀	F ₂₉₆₀₀₀	F ₂₉₆₅₀₀	F ₂₉₇₀₀₀	F ₂₉₇₅₀₀	F ₂₉₈₀₀₀	F ₂₉₈₅₀₀	F ₂₉₉₀₀₀	F ₂₉₉₅₀₀	F ₃₀₀₀₀₀	F ₃₀₀₅₀₀	F ₃₀₁₀₀₀	F ₃₀₁₅₀₀	F ₃₀₂₀₀₀	F ₃₀₂₅₀₀	F ₃₀₃₀₀₀	F ₃₀₃₅₀₀	F ₃₀₄₀₀

Şekil Ek 2.1. Mersin Yenişehir Mentesi’ten alınan CL Grubu Zemine ait Deney Sonuç Raporu (SK1-UD1; 2.50-3.00 m)

[illegible]

Şekil Ek 2.2. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan alınan CH Grubu Zemine ait Deney Sonuç Raporu (SK1-UD1; 2.00-3.00 m)

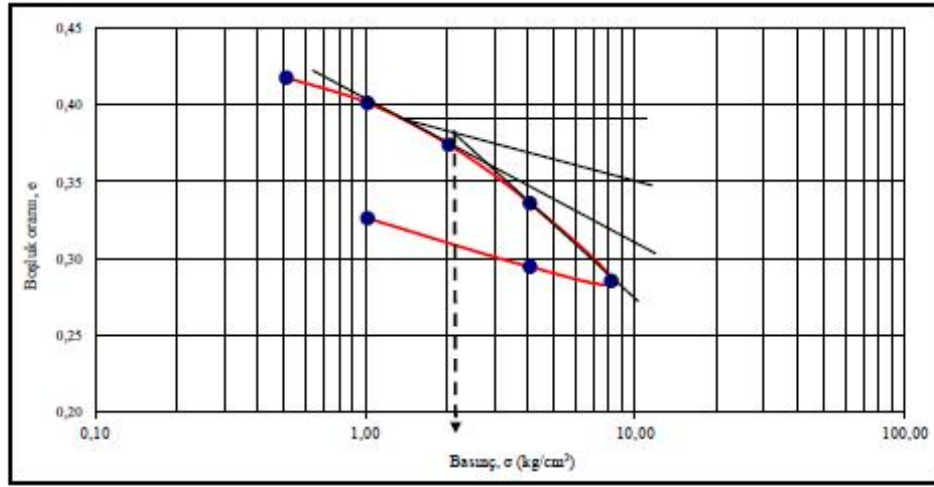
Basınç, σ kg/cm ² kPa	H mm	H ₀ mm	e	Δe	$\Delta \sigma$ kg/cm ²	a_v cm ³ /kg	$w_v = a_v/(1+e_0)$ cm ³ /kg	t_{90} dk	C_v (cm ² /dk)
0	0	20,00	11,997	0,667	-	-	-	-	-
0,51	50	19,62	11,997	0,635	0,032	0,51	0,0622	0,0373	
1,02	100	19,33	11,997	0,611	0,024	0,51	0,0474	0,0290	
2,04	200	18,95	11,997	0,579	0,032	1,02	0,0312	0,0193	
4,08	400	18,39	11,997	0,533	0,047	2,04	0,0229	0,0145	0,16
8,15	800	17,67	11,997	0,473	0,060	4,08	0,0147	0,0096	
4,08	400	17,80	11,997	0,483	0,010	4,08	0,0026	0,0017	
1,02	100	18,02	11,997	0,502	0,019	3,06	0,0061	0,0041	



Ön konsolidasyon basıncı, P_c	2,3	kg/cm ²
Serbest şişme yüzdesi	1,1	(%)

Şekil Ek 2.3. Mersin Yenişehir Menteş'ten alınan CL Grubu Zemine ait Konsolidasyon Deney Föyü (SK1-UD1; 2.50-3.00 m)

Basıncı, σ'	H	H ₀	e	Δe	$\Delta \sigma$	a_v	$m_v = a_v/(1+e_0)$	t_{90}	C_v
kg/cm ²	kPa	mm	mm	-	-	kg/cm ²	cm ³ /kg	dk	(cm ² /dk)
0	0	20,00	14,000	0,429	-	-	-	-	-
0,51	50	19,85	14,000	0,418	0,011	0,51	0,0209	0,0146	
1,02	100	19,62	14,000	0,401	0,016	0,51	0,0324	0,0228	
2,04	200	19,24	14,000	0,374	0,027	1,02	0,0266	0,0190	
4,08	400	18,71	14,000	0,336	0,038	2,04	0,0187	0,0136	0,16
8,15	800	18,00	14,000	0,286	0,050	4,08	0,0124	0,0093	1,55825E-06
4,08	400	18,13	14,000	0,295	0,009	4,08	0,0022	0,0017	
1,02	100	18,57	14,000	0,326	0,032	3,06	0,0103	0,0080	



Ön konsolidasyon basıncı, P_c	2,2	kg/cm ²
Serbest şişme yüzdesi	1,8	(%)

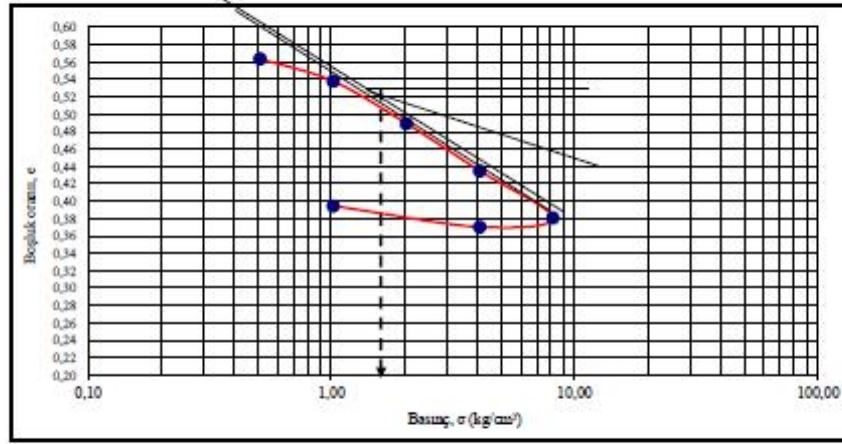
Şekil Ek 2.4. Mersin Tarsus Mithatpaşa'dan alınan CH Grubu Zemine ait Konsolidasyon Deney Föyü (SK1-UD1; 2.00-3.00 m)

EK 3

Önerilen Denklem Sonuçlarının Değerlendirilmesi için Kullanılan Deney Sonuçları

1		2	3	4	5	6			7	8	9	10	11	12		13									
SİMEZİCİ		SİYERİCİ	DOĞAL İRİMLİ HACİM GÖSTERGİ	KURU GÜREMLİ HACİM GÖSTERGİ	GÜREMLİ KURU GÜREMLİ	ATTERBERG (BETİM) LİMLİLERİ			ELİCİ AKALİTE	SİYERİCİ	KOMPAKTEYON	YERİNE KURULAN YERİNE KURULAN	KONTROL KURULAN	DAVANIŞIM DEĞİRLERİ											
ARAŞTIRMA ÇENTİCİSİ	SİYERİCİSİ					LL	PL	PI						YERİNE BAZINÇ DAYANIMI DEĞERİ	KURULAN KURULAN	KURULAN KURULAN									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		%		%		%		%		%		%		%		%									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁		N ₂		N ₃		N ₄		N ₅		N ₆		N ₇		N ₈									
		N ₁																							

Basınç, σ kg/cm ²	H mm	H ₀ mm	e	Δe	$\Delta \sigma$ kg/cm ²	a_v cm ² /kg	$m_v = a_v/(1+e_0)$ cm ² /kg	t_{90} dk	C_v (cm ² /dk)
0	20,00	12,407	0,612	-	-	-	-	-	-
0,51	19,40	12,407	0,564	0,048	0,51	0,0949	0,0589		
1,02	19,08	12,407	0,538	0,026	0,51	0,0506	0,0324		
2,04	18,48	12,407	0,489	0,049	1,02	0,0478	0,0311		
4,08	17,80	12,407	0,435	0,054	2,04	0,0267	0,0180	4,0	$0,13 \times 10^{-2}$
8,15	17,13	12,407	0,381	0,054	4,08	0,0133	0,0092		
4,08	17,00	12,407	0,370	0,010	4,08	0,0026	0,0019		
1,02	17,30	12,407	0,394	0,024	3,06	0,0079	0,0058		



Ön konsolidasyon basıncı, P_c	1,5	kg/cm ²
Serbest şişme yüzdesi	5,8	(%)

Şekil Ek 3.2. Mersin Yenişehir Menteş'ten alınan CI Grubu Zemine ait Konsolidasyon Deney Föyü (SK2-UD1; 4.50-5.00 m)