

**İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İZMİR KÖRFEZİ ORGANİK ZEMİNLERİNİN GEOTEKNİK  
KARAKTERİZASYONU, SIKIŞABİLİRLİK DAVRANIŞLARI VE  
STABİLİZASYON İÇİN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnci DEVELİOĞLU**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Geoteknik Bilim Dalı**

**AĞUSTOS 2017**



**İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İZMİR KÖRFEZİ ORGANİK ZEMİNLERİNİN GEOTEKNİK  
KARAKTERİZASYONU, SIKIŞABİLİRLİK DAVRANIŞLARI VE  
STABİLİZASYON İÇİN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnci DEVELİOĞLU  
Y140104010**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Geoteknik Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hasan Fırat PULAT**

**AĞUSTOS 2017**



İKÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Y140104010 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi İnci DEVELİOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “İZMİR KÖRFEZİ ORGANİK ZEMİNLERİNİN GEOTEKNİK KARAKTERİZASYONU, SIKIŞABİLİRLİK DAVRANIŞLARI VE STABİLİZASYON İÇİN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Yrd. Doç. Dr. Hasan Fırat PULAT**  
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Doç. Dr. Yeliz YÜKSELEN AKSOY** .....  
Dokuz Eylül Üniversitesi

**Doç. Dr. Ali Hakan ÖREN** .....  
Dokuz Eylül Üniversitesi

**Teslim Tarihi**      : **Temmuz 2017**  
**Savunma Tarihi**    : **Ağustos 2017**



*Aileme ve arkadaşlarıma,*





## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimin başından sonuna kadar her daim engin bilgi ve birikimleriyle yanımda olan, tez konumu seçmemde yardımcı olan ve geoteknik mühendisliği konusunda beni aydınlatan tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hasan Fırat PULAT'a,

Yardım ve destekleri için Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Doç. Dr. Yeliz YÜKSELEN AKSOY'a ve Doç. Dr. Ali Hakan ÖREN'e,

Hayatta her daim yanımda olup bana destek olan sevgili babam Caner DEVELİOĞLU'na, annem Fatma DEVELİOĞLU'na ve kardeşim İrem DEVELİOĞLU'na ve desteğini esirgemeyen tüm arkadaşlarıma,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2017

İnci DEVELOĞLU  
İnşaat Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER .....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xx
SUMMARY .....	xxi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	1
1.2 Kapsam.....	1
<b>2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI .....</b>	<b>3</b>
2.1 Tarama Malzemesinin Geoteknik İndeks Özellikleri.....	3
2.2 Tarama Malzemesinin Sıkışma Davranışları .....	4
2.3 Tarama Malzemesi ve Organik Zeminlerin İyileştirilmesi .....	5
2.4 Organik Madde İçeriğinin Zeminlerin Geoteknik Özellikleri Üzerine Etkisi....	7
<b>3. MALZEME.....</b>	<b>9</b>
3.1 İzmir Körfezi Tarama Malzemesi .....	9
3.2 Katkı Malzemeleri.....	11
3.2.1 Kireç.....	12
3.2.2 Termik santral uçucu külü.....	13
3.2.3 Silis dumanı.....	13
3.2.4 Volkan cürufu .....	14
<b>4. METOD.....</b>	<b>15</b>
4.1 Tarama Malzemesinin İndeks Özellikleri Deneyleri .....	15
4.1.1 Organik madde tayini.....	15
4.1.2 Elek analizi.....	16
4.1.3 Özgül ağırlık deneyi.....	17
4.1.4 Kıvam limitleri deneyi .....	19
4.1.5 pH deneyi .....	20
4.1.6 Taramalı elektron mikroskopu (SEM) analizi .....	21
4.1.7 Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi .....	22
4.1.8 X – ışını kırınımı (XRD) analizi .....	23
4.2 Tarama Malzemelerinin Konsolidasyon Deneyleri.....	24
4.2.1 Doğal tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri .....	24
4.2.2 Katkılı tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri.....	25
<b>5. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>28</b>
5.1 Tarama Malzemesi İndeks Özellikleri .....	28
5.1.1 Organik madde tayini sonuçları .....	28
5.1.2 Elek analizi sonuçları .....	28

5.1.3 Özgül ağırlık deneyi sonuçları .....	29
5.1.4 Kıvam limitleri deney sonuçları .....	29
5.1.5 pH deneyleri sonuçları .....	31
5.1.6 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analiz sonuçları .....	32
5.1.6.1 Doğal numunelerin SEM analiz sonuçları .....	32
5.1.6.2 Katkılı numunelerin SEM analiz sonuçları .....	33
5.1.7 Doğal ve katkılı numunelerin fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi sonuçları.....	35
5.1.8 Doğal numunenin X – ışını kırınımı (XRD) analizi sonucu .....	36
5.2 Tarama Malzemesinin Sıkışma Özellikleri .....	37
5.2.1 Doğal tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri sonuçları.....	37
5.2.2 Katkılı tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri sonuçları .....	43
5.2.2.1 Kireç katkılı tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri sonuçları .....	43
5.2.2.2 Termik santral uçucu külü katkılı tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri sonuçları.....	51
5.2.2.3 Silis dumanı katkılı tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri sonuçları.....	59
5.2.2.4 Volkan cürufu katkılı tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri sonuçları.....	67
5.2.3 Doğal ve katkılı tarama malzemelerinin karşılaştırılması.....	74
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>84</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>87</b>

## KISALTMALAR

<b>µm</b>	: Mikronmetre
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>ASTM</b>	: American Society for Testing and Material
<b>cm</b>	: Santimetre
<b>CSH</b>	: Kalsiyum silikat hidrat
<b>dk</b>	: Dakika
<b>gr</b>	: Gram
<b>İZSU</b>	: İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
<b>K</b>	: Kireç
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>kN</b>	: Kilonewton
<b>kPa</b>	: Kilopascal
<b>m</b>	: Metre
<b>ml</b>	: Mililitre
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>pH</b>	: Hidrojenin gücü
<b>PoB</b>	: Brisbane Limanı tarama malzemesi
<b>s</b>	: Saat
<b>SD</b>	: Silis dumanı
<b>SEM</b>	: Taramalı elektron mikroskopu
<b>sn</b>	: Saniye
<b>TCDD</b>	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demir Yolları
<b>TSK</b>	: Termik santral uçucu külü
<b>TSV</b>	: Townsville tarama malzemesi
<b>USCS</b>	: Birleştirilmiş Zemin sınıflandırma sistemi
<b>VC</b>	: Volkan cürufu
<b>XRD</b>	: X – ışını kırınımı
<b>y</b>	: Yıl

## SEMBOLLER

$\sigma'$	: Efektif gerilme
$^{\circ}$	: Derece
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
$c$	: Kohezyon
$C_c$	: Sıkışma indisi
<b>CH</b>	: Yüksek plastisiteli inorganik killer ve siltli killer
<b>CL</b>	: Düşük plastisiteli inorganik killer ve siltli killer
$C_r$	: Yeniden sıkışma indisi
$C_s$	: Şişme indisi
$c_v$	: Konsolidasyon katsayısı
$C_u$	: İkincil konsolidasyon katsayısı
$e$	: Boşluk oranı
$e_0$	: Başlangıç boşluk oranı
$G_s$	: Dane özgül ağırlığı
$k$	: Permeabilite katsayısı
<b>LL</b>	: Likit limit
<b>MH</b>	: Yüksek plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler
<b>ML</b>	: Düşük plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler
$m_v$	: Hacimsel sıkışabilirlik katsayısı
<b>OH</b>	: Yüksek plastisiteli organik killer ve siltler
<b>OL</b>	: Düşük plastisiteli organik killer ve siltler
<b>PI</b>	: Plastisite indisi
<b>PL</b>	: Plastik limit
<b>SP</b>	: Kötü derecelenmiş temiz kumlar, çakıllı kumlar
$w_n$	: Doğal su içeriği
$w_{opt}$	: Optimum su içeriği
$\gamma_{maks}$	: Maksimum birim hacim ağırlık
$\varepsilon$	: Birim şekil değiştirme
$\phi$	: İçsel sürtünme açısı



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 3.1 : İzmir Körfezi tarama malzemesinin geoteknik özellikleri. ....	11
Çizelge 3.2 : Sönmüş toz kireç kimyasal bileşimi .....	12
Çizelge 3.3 : Termik santral uçucu külü kimyasal bileşimi.....	13
Çizelge 3.4 : Silis dumanı kimyasal bileşimi.....	13
Çizelge 3.5 : Volkan cürufu kimyasal bileşimi.....	14
Çizelge 4.1 : Deneylerde kullanılan elek boyutları.....	17
Çizelge 4.2 : Numunelere uygulanan yük kademeleri ve oluşturduğu gerilmeler.....	25
Çizelge 4.3 : Katkılı numunelerin sembol ile gösterimi. ....	26
Çizelge 5.1 : Numunelere ait element oranları. ....	34
Çizelge 5.2 : Mevcut çalışmadaki spektrum değerleri ve literatürdeki sınır değerler.	35
Çizelge 5.3: Farklı yükleme kademeleri için konsolidasyon katsayıları ( $c_v$ ). ....	38
Çizelge 5.4 : Doğal tarama malzemelerinin $C_c$ , $C_s$ ve $\varepsilon$ değerleri. ....	43
Çizelge 5.5 : Kireç katkılı numunelerin $c_v$ ( $\text{cm}^2/\text{sn}$ ) değerleri. ....	44
Çizelge 5.6 : Kireç katkılı tarama malzemelerinin $C_c$ , $C_s$ ve $\varepsilon$ değerleri. ....	50
Çizelge 5.7 : TSK katkılı numunelerin $c_v$ ( $\text{cm}^2/\text{sn}$ ) değerleri. ....	52
Çizelge 5.8 : TSK katkılı tarama malzemelerinin $C_c$ , $C_s$ ve $\varepsilon$ değerleri. ....	58
Çizelge 5.9 : SD katkılı numunelerin $c_v$ ( $\text{cm}^2/\text{sn}$ ) değerleri.....	60
Çizelge 5.10 : SD katkılı tarama malzemelerinin $C_c$ , $C_s$ ve birim $\varepsilon$ değerleri. ....	66
Çizelge 5.11 : VC katkılı numunelerin $c_v$ ( $\text{cm}^2/\text{sn}$ ) değerleri. ....	68
Çizelge 5.12 : VC katkılı tarama malzemelerinin $C_c$ , $C_s$ ve $\varepsilon$ değerleri. ....	74
Çizelge 5.13: Numunelerin konsolidasyon deneyi sonrası su içerikleri.....	75
Çizelge 5.14: Numunelerin deney başı ve sonundaki boşluk oranları.....	75





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1 : Tarama malzemelerinin aktarım ve kullanım güzergâhları (İzmir Körfezi ve Limanı Rehabilitasyon Projesi ÇED Raporu, 2016). .....	10
Şekil 3.2 : İzmir Körfezi tarama malzemesi. ....	10
Şekil 3.3 : Proje işlem alanlarını gösteren topografik harita (İzmir Körfezi ve Limanı Rehabilitasyon Projesi ÇED Raporu, 2016). ....	11
Şekil 3.4 : Katkı malzemeleri a) Kireç b) Termik santral uçucu külü c) Silis dumanı d) Volkan cürufu. ....	12
Şekil 4.1 : Organik madde tayini deney numuneleri. ....	15
Şekil 4.2 : Farklı organik madde içeriğindeki tarama malzemeleri a) 0OM b) 4OM c) 7OM d) 11OM. ....	16
Şekil 4.3 : a) Yıkamalı elek analizi b) kuru elek analizi. ....	17
Şekil 4.4 : Özgül ağırlık deneyi ilk aşaması. ....	18
Şekil 4.5 : Özgül ağırlık deneyi ikinci aşaması. ....	18
Şekil 4.6 : Düşen koni likit limit deneyi cihazı. ....	19
Şekil 4.7 : Plastik limit deneyi. ....	20
Şekil 4.8 : pH metre cihazı ve ölçümü. ....	20
Şekil 4.9 : pH deneyi numuneleri. ....	21
Şekil 4.10 : a) Karbon bant üzerine yerleştirilmiş numuneler b) 5 nanometre altın ile kaplanmış numuneler. ....	21
Şekil 4.11 : a) Numune tutucuya yerleştirilmiş örnekler b) Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı. ....	22
Şekil 4.12 : a) Numune plakasına yerleştirilen örnek b) Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) cihazı. ....	23
Şekil 4.13: a) Numune plakasına yerleştirilen örnek b) X – ışını kırınımı (XRD) cihazı. ....	23
Şekil 4.14: Konsolidasyon cihazlarının genel görüntüsü. ....	24
Şekil 4.15 : İyileştirilmiş tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri. ....	25
Şekil 4.16 : Katkı malzemeleri ile hazırlanmış konsolidasyon deneyi numuneleri a) kireç b) termik santral uçucu külü c) silis dumanı d) volkan cürufu. ...	27
Şekil 5.1 : Numunelerin dane boyu dağılım eğrileri. ....	28
Şekil 5.2 : Organik madde – özgül ağırlık ilişkisi. ....	29
Şekil 5.3 : Organik madde – likit limit ve organik madde – plastik limit ilişkisi. ....	30
Şekil 5.4 : Plastisite kartı. ....	31
Şekil 5.5 : Organik madde – pH ilişkisi. ....	31
Şekil 5.6 : 0OM numunesine ait SEM görüntüleri. ....	32
Şekil 5.7 : 11OM numunesine ait SEM görüntüleri. ....	32
Şekil 5.8 : 0OM10TSK numunesine ait SEM görüntüleri. ....	33
Şekil 5.9 : 4OM20SD numunesine ait SEM görüntüleri. ....	33
Şekil 5.10 : 7OM10VC numunesine ait SEM görüntüleri. ....	33
Şekil 5.11 : 11OM20K numunesine ait SEM görüntüleri. ....	34
Şekil 5.12 : Numunelerin FTIR spektrumları. ....	35
Şekil 5.13: XRD analizi sonucu elde edilen pikler. ....	36
Şekil 5.14: XRD analizi sonucu elde edilen mineral ve bileşiklerin yüzdece dağılımı. ....	36
Şekil 5.15 : Doğal tarama malzemelerinin zamana bağlı düşey deformasyonları (1 kg/cm <sup>2</sup> ). ....	37

Şekil 5.16 : $C_v$ – OM ilişkisi (1 kg/cm <sup>2</sup> ve 8 kg/cm <sup>2</sup> ). .....	38
Şekil 5.17 : k – OM ilişkisi. ....	39
Şekil 5.18 : Doğal tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	40
Şekil 5.19 : Doğal tarama malzemelerinin $C_c$ – OM ilişkisi. ....	41
Şekil 5.20 : Doğal tarama malzemelerinin $C_s$ – OM ilişkisi.....	41
Şekil 5.21 : Doğal tarama malzemelerinin $\varepsilon$ – OM ilişkisi.....	42
Şekil 5.22 : Kireç katkılı numunelerin zamana bağlı düşey deformasyonları (1 kg/cm <sup>2</sup> ). .....	44
Şekil 5.23 : %5 kireç katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	45
Şekil 5.24 : %10 kireç katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	46
Şekil 5.25 : %15 kireç katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	47
Şekil 5.26 : %20 kireç katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	48
Şekil 5.27 : Kireç katkılı tarama malzemelerinin $C_c$ – OM ilişkisi. ....	49
Şekil 5.28 : Kireç katkılı tarama malzemelerinin $C_s$ – OM ilişkisi. ....	49
Şekil 5.29 : Kireç katkılı tarama malzemelerinin $\varepsilon$ – OM ilişkisi. ....	50
Şekil 5.30 : TSK katkılı numunelerin zamana bağlı düşey deformasyonları (1 kg/cm <sup>2</sup> ). .....	51
Şekil 5.31 : %5 TSK katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	53
Şekil 5.32 : %10 TSK katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	54
Şekil 5.33 : %15 TSK katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	55
Şekil 5.34 : %20 TSK katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	56
Şekil 5.35 : TSK katkılı tarama malzemelerinin $C_c$ – OM ilişkisi. ....	57
Şekil 5.36 : TSK katkılı tarama malzemelerinin $C_s$ – OM ilişkisi.....	57
Şekil 5.37 : TSK katkılı tarama malzemelerinin $\varepsilon$ – OM ilişkisi.....	58
Şekil 5.38 : SD katkılı numunelerin zamana bağlı düşey deformasyonları (1 kg/cm <sup>2</sup> ). .....	59
Şekil 5.39 : %5 SD katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	61
Şekil 5.40 : %10 SD katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	62
Şekil 5.41 : %15 SD katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	63
Şekil 5.42 : %20 SD katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	64
Şekil 5.43 : SD katkılı tarama malzemelerinin $C_c$ – OM ilişkisi. ....	65
Şekil 5.44 : SD katkılı tarama malzemelerinin $C_s$ – OM ilişkisi. ....	65
Şekil 5.45 : SD katkılı tarama malzemelerinin $\varepsilon$ – OM ilişkisi. ....	66
Şekil 5.46 : VC katkılı numunelerin zamana bağlı düşey deformasyonları (1 kg/cm <sup>2</sup> ). .....	67
Şekil 5.47 : %5 VC katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri.....	69
Şekil 5.48 : %10 VC katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	70
Şekil 5.49 : %15 VC katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	71
Şekil 5.50 : %20 VC katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$ grafikleri. ....	72
Şekil 5.51 : VC katkılı tarama malzemelerinin $C_c$ – OM ilişkisi. ....	73
Şekil 5.52 : VC katkılı tarama malzemelerinin $C_s$ – OM ilişkisi.....	73
Şekil 5.53 : VC katkılı tarama malzemelerinin $\varepsilon$ – OM ilişkisi.....	74
Şekil 5.54 : Doğal ve katkı oranı %5 olan numunelerin $C_c$ değerlerinin karşılaştırılması. ....	76
Şekil 5.55 : Doğal ve katkı oranı %5 olan numunelerin $C_s$ değerlerinin karşılaştırılması. ....	77
Şekil 5.56 : Doğal ve katkı oranı %5 olan numunelerin $\varepsilon$ değerlerinin karşılaştırılması. ....	77
Şekil 5.57 : Doğal ve katkı oranı %10 olan numunelerin $C_c$ değerlerinin karşılaştırılması. ....	78

<b>Şekil 5.58</b> : Doğal ve katkı oranı %10 olan numunelerin $C_s$ değerlerinin karşılaştırılması.....	<b>79</b>
<b>Şekil 5.59</b> : Doğal ve katkı oranı %10 olan numunelerin $\varepsilon$ değerlerinin karşılaştırılması.....	<b>79</b>
<b>Şekil 5.60</b> : Doğal ve katkı oranı %15 olan numunelerin $C_c$ değerlerinin karşılaştırılması.....	<b>80</b>
<b>Şekil 5.61</b> : Doğal ve katkı oranı %15 olan numunelerin $C_s$ değerlerinin karşılaştırılması.....	<b>80</b>
<b>Şekil 5.62</b> : Doğal ve katkı oranı %15 olan numunelerin $\varepsilon$ değerlerinin karşılaştırılması.....	<b>81</b>
<b>Şekil 5.63</b> : Doğal ve katkı oranı %20 olan numunelerin $C_c$ değerlerinin karşılaştırılması.....	<b>82</b>
<b>Şekil 5.64</b> : Doğal ve katkı oranı %20 olan numunelerin $C_s$ değerlerinin karşılaştırılması.....	<b>82</b>
<b>Şekil 5.65</b> : Doğal ve katkı oranı %20 olan numunelerin $\varepsilon$ değerlerinin karşılaştırılması.....	<b>83</b>



# İZMİR KÖRFEZİ ORGANİK ZEMİNLERİNİN GEOTEKNİK KARAKTERİZASYONU, SIKIŞABİLİRLİK DAVRANIŞLARI VE STABİLİZASYON İÇİN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

## ÖZET

Dip tarama genel olarak, açık denizlerde, iç sularda veya kanallarda sığlaşmış, kirliliğe maruz kalmış bölgelerin derinliğinin artırılması ve dip temizliği için yapılan kazı işlemlerini ifade eder. Bunların yanı sıra iç su ve deniz yollarının korunması, liman havzalarının yapımı/derinleştirilmesi, kanalların açılması/derinleştirilmesi ve kıyıların düzenlenmesi gibi çalışmaların yürütülmesi işlemidir. Dip tarama işlemi sonucunda çok büyük miktarlarda dip tarama malzemesi çıkarılmaktadır. Bu yüzden bu malzemenin bertarafı veya yeniden kullanılması ekonomi ve çevre sağlığı bakımından çok önemlidir. Tarama malzemeleri inşaat sektöründe, yapı malzemesi, yol ve temel dolgusu olarak kullanılabilir. Ancak tarama malzemeleri organik madde içeriğine sahip olduğu için, inorganik zeminlere kıyasla oldukça farklı sıkışma ve dayanım davranışlarına sahiptir. Düşük taşıma kapasiteleri ve zamana bağlı büyük düşey deformasyonlar yapabilmeleri nedeniyle geoteknik açıdan potansiyel tehlike oluşturmaktadırlar. Bu çalışma kapsamında İzmir Körfezi tarama malzemesinin geoteknik özellikleri ve sıkışma davranışları laboratuvar şartlarında incelenmiştir. İlk olarak organik madde tayini yapılmış ve malzemenin doğal organik madde miktarı %11 olarak bulunmuştur. Daha sonra malzeme 440°C'de 24 saat, 70 dakika ve 20 dakika yakılarak sırasıyla, %0, %4 ve %7 organik madde miktarına sahip numuneler elde edilmiştir. Bu işlem organik madde miktarının zeminlerin indeks ve sıkışma özellikleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır. Elek analizi, özgül ağırlık, Atterberg limitleri ve pH deneyleri ile her bir numunenin indeks özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi analizleri ile malzemenin içyapısı ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra tek eksenli konsolidasyon deneyi ile numunelerin sıkışma parametreleri elde edilmiştir. Son olarak zemine çeşitli katkı malzemeleri (kireç, termik santral uçucu külü, silis dumanı, volkan cürufu) ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında numunelere karıştırılarak malzemenin sıkışma davranışlarında meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Deneyler sonucunda, doğal numunelerde organik madde miktarı arttıkça özgül ağırlık değerinin azaldığı, likit limit, plastik limit, boşluk oranı değişimi ve sıkışma indisinin ise organik madde miktarı arttıkça arttığı görülmüştür. Katkılı numunelerde kireç, düşük katkı içeriklerinde kireç sıkışma davranışlarını daha çok iyileştirirken, yüksek katkı içeriklerinde termik santral uçucu külünün daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Kirecin endüstriyel malzeme, termik santral uçucu külünün ise atık malzeme olduğu göz önüne alındığında hem çevresel hem de ekonomik açıdan termik santral uçucu külünün daha uygun bir seçenek olduğu düşünülmektedir. Ayrıca silis dumanının ve volkan cürufunun sıkışma davranışını olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

# **GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION, COMPRESSIBILITY BEHAVIOR AND SOLUTION RECOMMENDATIONS FOR STABILIZATION OF İZMİR BAY ORGANIC SOILS**

## **SUMMARY**

Dredging process expresses to increase depth of inland waters and channels exposed shoaled polluted region and excavation works for deep cleaning. Beside these, it is conducted to prevent inland waters and sea, construction/deepening of port basins, opening/deepening of channels and regulation of coasts. Dredging material in very large quantities is extracted after the dredging process. So the disposal or reuse of this material is very important in terms of economical and enviromental health. Dredging material can be use as a construction material, road and foundation embankments in civil engineering industry. Because dredged materials have organic matter content, they have different compressibility and strength behavior in comparison with inorganic soils. They present potential hazards in terms of geotechnics because of their low bearing capacity and huge vertical deformation with time. In this study, geotechnical properties and compressibility behavior of İzmir Bay dredged material were examined in laboratory conditions. The natural organic matter content was found as %11. Afterwards, materials which have %0, %4 and %7 organic matter were obtained by burning at 440°C for 24 hour, 70 minute and 20 minute, respectively. These process was carried out to determine effect of organic matter content on index and compressibility properties of soils. Index properties of samples were determined with sieve analysis, specific gravity, Atteberg limits and pH tests. Also internal structure and chemical composition of material were designated with scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analyses. Thereafter, compressibility parameters of samples were obtained from one dimensional consolidation test. Finally, various additive materials (lime, thermal power plant fly ash, silica fume, volcanic slag) were mixed by 5%, 10%, 15% and 20% by weight and changes in compression behavior of the samples were investigated. For natural samples, the test results show that the specific gravity decrease, liquid limit, plastic limit, void ratio differences and compression index values increase with the organic matter amount increasing. Lime more improved compression behavior in low additive amount. Thermal power plant fly ash was more improved compression behavior in high additive amount. Considering that lime is industrial material and thermal power plant ash is waste material, it is thought that thermal power plant ash is more feasible in terms of economical and enviroment. Also, it was determined that silica fume effected negatively compression behavior.





## **1. GİRİŞ**

Sürdürülebilir kalkınma ile birlikte inşaat mühendisliği alanında alternatif yapı malzemelerinin kullanımına olan ilgi artış göstermiştir (Ekincioglu ve diğ. (2013); Martin ve diğ. (2009); Zhang (2013)). Okyanus, deniz, nehir ve dere tabanından taranan zeminler de bu alternatif yapı malzemelerinden birisidir. Dip tarama işlemi nehir ve liman kanallarını genişletmek, taşkın kontrolü ve limanlardaki gemi hareketini geliştirmek için yapılır. Bu amaç doğrultusunda tüm dünyada her sene milyonlarca metre küp sediment taranarak yüzeye çıkartılmaktadır (Rekik ve Boutouil (2009); Shahri ve Chan (2015)). Çeşitli çalışmalarda tarama malzemesinin temel ve yol dolgusu, hazır beton imalatı ve yapı malzemesi gibi farklı inşaat mühendisliği fonksiyonlarında kullanıldığı rapor edilmiştir (Ganesalingam ve diğ. (2011); Limeir ve diğ. (2012)). Ancak sahip oldukları organik madde içeriğinden ötürü tarama malzemeleri düşük dayanıma ve yüksek sıkışabilirliğe sahiplerdir bu yüzden geoteknik indeks özellikleri ve sıkışabilirlik davranışları detaylı bir şekilde incelenmelidir.

### **1.1 Tezin Amacı**

Bu çalışmanın amacı tarama malzemesinin temel indeks ve sıkışma özelliklerini belirleyerek, inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılabilirliğini belirlemektir. Ayrıca tarama malzemesinin sıkışabilirlik özelliklerini iyileştirmek amacıyla çeşitli katkı maddeleri (kireç, termik santral uçucu külü, silis dumanı, volkan cürufu) kullanılarak iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

### **1.2 Kapsam**

Çalışmanın ilk bölümünde, İzmir Körfezi tarama malzemesinin doğal organik madde içeriği belirlenmiştir. Daha sonra malzeme farklı sürelerde fırında yakılarak dört farklı organik madde içeriğine sahip malzeme elde edilmiştir (%0 - %4 - %7 ve %11). Bu malzemelerin her birinin özgül ağırlık değeri, dane boyu dağılımı, kıvam limitleri ve pH değeri gibi temel mühendislik özellikleri laboratuvar deneyleriyle belirlenmiştir. Ayrıca numunelerin mineralojik ve içyapısını belirlemek amacıyla taramalı elektron

mikroskobu (SEM), Fourier dönüştümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve X-ışını kırınımı (XRD) analizleri gerçekleştirilmiştir

İkinci bölümde tek eksenli konsolidasyon deneyi için farklı organik madde miktarına sahip numuneler likit limit değerlerinde hazırlanmıştır. Tüm numunelerin özdeş numuneler olmasına özen gösterilerek konsolidasyon kalıplarına yerleştirilmiş ve tek boyutlu konsolidasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü bölümde ise tarama malzemeleri farklı oranlarda kireç, termik santral uçucu külü, silis dumanı ve volkan cürufu ile karıştırılmış ve yine tek eksenli konsolidasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

### 2.1 Tarama Malzemesinin Geoteknik İndeks Özellikleri

Tarama malzemeleri genel olarak bünyelerinde bulunan organik madde sebebiyle yüksek sıkıştırılabilirlik ve düşük kayma mukavemeti özelliklerine sahiptir. Bu nedenle öncelikle geoteknik indeks özellikleri belirlenmelidir (Malasavage ve diğ., (2012); Thiyyakandi ve Annex, (2011)). Tarama malzemelerin geoteknik indeks özelliklerinin incelendiği çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Shahri ve Chan (2015) tarafından Malezya'nın dört farklı bölgesinden (Lumut, Marina Melaka, Toki Bali, Pasir Gudang) elde edilen tarama malzemelerinin geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Dane boyu dağılımını belirlemek için ıslak elek analizi ve hidrometre deneyi yapılmıştır. Likit limit ve plastik limit değerleri belirlenmiş, likit limit için düşen koni deney metodu kullanılmış, özgül ağırlık değerleri piknometre yöntemi ile belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, özgül ağırlık değerleri; Lumut, Melaka, Tok Bali ve Pasir Gudang için sırasıyla, 2.60, 2.63, 2.68 ve 2.41 bulunmuştur. İnce dane oranı sırası ile %78, %68, %60 ve %26 elde edilmiştir. Likit limit değerleri %95, %58, %37 ve %46, plastik limit değerleri %34.5, %30.7, %25.8 ve %35.6 bulunmuştur.

Ganesalingam ve diğ. (2011) tarafından Avusturalya'nın Queensland bölgesindeki Brisbane Liman'ından çıkarılan tarama malzemesinin (PoB) mühendislik parametreleri araştırılmış ve yine Queensland bölgesindeki başka bir liman olan Townsville tarama malzemesi (TSV) ile karşılaştırılmıştır. Kıvam limitleri, özgül ağırlık ve dane dağılımı özellikleri belirlenmiştir. Deneyler sonucunda PoB tarama malzemesi yüksek plastisiteli killi zemin olarak sınıflandırılırken, TSV yüksek plastisiteli siltli zemin olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca PoB tarama malzemesinin özgül ağırlık değeri 2.65 olarak bulunmuştur. Likit limit ve plastik limit değeri ise sırasıyla %80 ve %34 elde edilmiştir.

Anisuzzaman ve Arifuzzaman (2013) tarafından Bangladesh'in Dhaka bölgesinde bulunan yumuşak organik kil zemin üzerine tarama malzemesi kullanılarak yapılmış dolgunun kayma mukavemeti parametreleri ve geoteknik özellikleri incelenmiştir.

Özgül ağırlık deneyi sonucunda, numunelerin özgül ağırlık değerlerinin 2.25 ile 2.55 aralığında değiştiği görülmüştür. Likit limit ve plastik limit değerleri, sırasıyla, %45 ile %192 ve %20 ile %129 arasında değer almıştır. Elek analizi ve kıvam limitleri deneyleri sonucunda, birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre numuneler yüksek plastisiteli organik kil (OH) ve düşük plastisiteli organik silt (OL) olarak sınıflandırılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı testi sonucunda, göçme anındaki birim boy değişimi ve serbest basınç dayanımı, %9 ile %15 ve 6 kPa ile 58 kPa arasında bulunmuştur.

Schlue ve diğ. (2011) tarafından Doğu Almanya'daki East Harbor limanı projesi sırasında çıkarılan tarama malzemesinin kayma dayanımı parametreleri araştırılmıştır. Kayma dayanımı parametreleri büyük ölçekli odeometre cihazına bağlı Vane kesme cihazı ile belirlenmiştir. Yapılan deney sonucunda maksimum içsel sürtünme açısı  $14^\circ$ , rezidüel içsel sürtünme açısı  $3^\circ$  bulunmuştur. Kohezyon değeri ise neredeyse sıfıra yakın olarak ( $c' = 0.22$  kPa) elde edilmiştir. Sonuçta hem maksimum hem de rezidüel drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin efektif gerilme arttıkça arttığı rapor edilmiştir.

## **2.2 Tarama Malzemesinin Sıkışma Davranışları**

Tarama malzemelerinin mühendislik davranışını anlayabilmek için yalnızca geoteknik indeks özelliklerini bilmek yeterli olmayacaktır, aynı zamanda sıkışma davranışlarının da incelenmesi gerekmektedir. Dünya üzerindeki çeşitli tarama malzemelerinin konsolidasyon davranışlarını incelendiği birçok çalışma mevcuttur, bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Ganesalingam ve diğ. (2011) tarafından Avusturalya'nın Queensland bölgesindeki Brisbane Liman'ından çıkarılan tarama malzemesinin (PoB) konsolidasyon davranışı incelenmiştir. Konsolidasyon parametrelerini belirlemek için laboratuvarda tek eksenli odeometre deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda konsolidasyon katsayısının ( $c_v$ ) ilk yükleme aşamasında önce büyük oranda azaldığı daha sonra yavaş yavaş arttığı görülmüştür. Sonrasında ise  $c_v$  değerinin önce pik değere ulaştığı ve sonra yine aniden düştüğü gözlenmiştir. Tekrar yükleme aşamasında ise yine çok büyük miktarda arttığı ve sonra maksimum düşey efektif strese ulaşıldığında düşmeye başladığı izlenmiştir. Hacimsel sıkışabilirlik katsayısının ( $m_v$ ) maksimum değeri  $1.95 \times 10^{-2}$  1/kPa,

minimum değeri  $4 \times 10^{-4}$  1/kPa elde edilmiştir. 12 kPa ile 150 kPa yükleme aralığında, permeabilite katsayısının  $3 \times 10^{-10}$  ile  $0.5 \times 10^{-10}$  m/s arasında değiştiği gözlenmiştir. Anisuzzaman ve Arifuzzaman (2013) tarafından Bangladesh'in Dhaka bölgesinde bulunan yumuşak organik kil zemin üzerine tarama malzemesi kullanılarak yapılmış dolgunun konsolidasyon parametreleri belirlenmiştir. Yapılan tek eksenli konsolidasyon deneyi sonucunda başlangıç boşluk oranı ( $e_0$ ) ve konsolidasyon katsayısı ( $c_v$ ) değerleri, sırasıyla, 1.5 ile 3.88 ve 0.20 ile 10.89  $m^2/y$  arasında değişmiştir. Sıkışma indisi ( $C_c$ ) ve yeniden sıkışma indisi ( $C_r$ ) değerlerinin ise 0.44 ile 1.25 ve 0.05 ile 0.44 arasında değiştiği gözlenmiştir.

### 2.3 Tarama Malzemesi ve Organik Zeminlerin İyileştirilmesi

Tarama malzemeleri ve organik zeminler bünyelerinde organik maddeler barındırırlar. Sahip oldukları bu organik maddeden dolayı inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılmak için uygun olmayabilir. Bu yüzden çeşitli iyileştirme yöntemleri kullanılarak geoteknik indeks özellikleri, yük altında oturma davranışları ve taşıma kapasiteleri geliştirilebilir. Birçok araştırmacı tarama malzemelerini ve organik zeminleri çeşitli yöntemlerle iyileştirmişlerdir. Bu konuda yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Rekik ve Boutouil (2009) tarafından Fransa'da bulunan Ouistreham Liman'ından taranan ve doğal su içeriği ( $w_n$ ) %120 olan sediment farklı oranlarda (%2, %5, %8 ve %10) çimento ile karıştırarak iyileştirilmiştir. Deneyler tek eksenli konsolidasyon, kıvam limitleri, dane boyu dağılımı, taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) deneylerini kapsamaktadır. Deneyler hem katkılı hem doğal numuneler ile farklı sürelerde küre maruz bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda likit limit ve plastik limit değerleri %104 ve %38 bulunmuştur. Organik madde içeriği ve kil oranı ise %7 ve %25 olarak elde edilmiştir. İyileştirilmiş numuneler için çimento oranı arttıkça likit limit ve plastik limit değerlerinin arttığı, plastisite indisinin ise azaldığı görülmüştür. Kür süreleri kıyaslandığında, 7 ve 14 günlük kür sürelerine göre 28 gün kür süresinin daha iyi sonuçlar verdiği ancak 58 gün kür süresinin 28 gün kür süresi ile aynı sonuçları verdiği gözlenmiştir. Ayrıca 28 gün kür sonunda, başlangıç boşluk oranının ( $e_0$ ) 2.30 ile 2.89 arasında değiştiği görülmüştür. Sıkışma indisi ( $C_c$ ) ve birincil konsolidasyon katsayısı ( $c_v$ ) ise 0.79 ile 0.99 ve 0.8 ile 19.6  $m^2/y$  aralıklarında değişmiştir. Çimento oranı arttıkça sıkışma

indisi ( $C_c$ ) ve birincil konsolidasyon katsayısı ( $c_v$ ) değerleri artmış, başlangıç boşluk oranı ( $e_0$ ) değeri azalmıştır. SEM analizleri sonucunda 28 gün kür edilmiş %2 çimento içeriğine sahip numunenin mikroskopik resimlerinde, muhtemelen organik kil içeriğinden ötürü farklı agregalar varlığını göstermiştir. Çimento oranı arttıkça mikro yapısı iyileşmiş ve boşluk oranı azalmıştır. X-ışını kırınımı deneyi sonucunda ise, %2 çimento ile hazırlanan numunede birçok kalsiyum silikat hidratlara (CSH) rastlanmıştır. Ancak çimento içeriği arttıkça CSH miktarının azaldığı görülmüştür.

Malasavage ve diğ. (2012) tarafından Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nin Baltimore kentinde bulunun limandan taranan malzeme çelik cürufu ile iyileştirilmiştir. Tarama malzemesi ve çelik cürufu 80/20, 60/40, 50/50, 40/60 ve 20/80 oranlarında karıştırılmışlardır. Özgül ağırlık, organik madde içeriği, dane dağılımı, kıvam limitleri, üç eksenli basınç dayanımı, hidrolik iletkenlik ve tek eksenli konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Tarama malzemesinin özgül ağırlığı 2.58 bulunurken, katkılı numunelerin özgül ağırlıkları 2.87 ile 3.28 aralığında değişmiştir. Tarama malzemesinin organik madde içeriği %11.76 iken, katkılı numunelerin organik madde içeriği %10.1 ile %5.9 aralığında değişmiştir. Likit limit ve plastik limit değerlerinin %74 ile %140 ve %37 ile %49 aralıklarında değiştii görülmüştür. Tarama malzemesi, 80/20 ve 60/40 karışımları birleştirilmiş Zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre yüksek plastisiteli organik silt olarak (OH), 50/50, 40/60 ve 20/80 karışımları silti kum (SM) olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca çelik cürufu oranı arttıkça özgül ağırlık değerinin arttığı, organik madde içeriği, likit ve plastik limit değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Tarama malzemesinin kohezyon ( $c'$ ) ve içsel sürtünme açısı ( $\phi'$ ) 41 kPa ve  $27.3^\circ$  elde edilirken, katkılı numunelerin 48 ile 104 kPa ve  $32.4$  ile  $45^\circ$  aralıklarında değiştii görülmüştür. Numunelerin hidrolik iletkenlik ( $k$ ) değerleri  $1.06 \times 10^{-8}$  ile  $1.23 \times 10^{-5}$  cm/sn aralığında değişmiştir. Sıkışma indisi ( $C_c$ ) ve yeniden sıkışma indisi ( $C_r$ ) değerleri ise 0.18 ile 0.28 ve 0.01 ile 0.04 aralıklarında elde edilmiştir. Ayrıca çelik cürufu oranı arttıkça hidrolik iletkenlik değerinin arttığı, sıkışma indisi ( $C_c$ ) ve yeniden sıkışma indisi ( $C_r$ ) değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Çelik cürufu ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı arasında bir korelasyon bulunmamıştır.

## 2.4 Organik Madde İçeriğinin Zeminlerin Geoteknik Özellikleri Üzerine Etkisi

Tarama malzemeleri ve organik zeminlerin sahip oldukları organik maddeden ne derecede ve nasıl etkilendiğini belirlemek için, çok sayıda araştırmacı çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Thiyyakkandi ve Annex (2011) tarafından Hindistan'ın Kerala kentinde bulunan koyu kahverengi orta hassaslıkta alüvyonel kil olan Kuttand kilinin geoteknik özelliklerinin organik madde etkisi ile ne şekilde değiştiği araştırılmıştır. Bu kapsamda kilin plastisite davranışı, sıkışma özellikleri, kayma dayanımı parametreleri ve konsolidasyon karakteristiği incelenmiştir. Kuttand kilinin doğal organik madde içeriği %7 ile %11 arasında bulunmuştur, ayrıca daha yüksek organik madde içeriğinin etkisini de incelemek amacıyla numunelere yapay organik madde karıştırılmıştır. Yapay organik madde ilavesiyle organik madde içeriği %25'e kadar çıkmıştır. Likit ve plastik limit değerleri %83 ile %90 ve %54 ile %58 arasında değişmiştir. Organik madde miktarı arttıkça likit ve plastik limit değerleri artmıştır. Optimum su içeriği ( $w_{opt}$ ) ve maksimum kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_{maks}$ ) değerleri %26.7 ile %30 ve 1.36 gr/cm<sup>3</sup> ile 1.41 gr/cm<sup>3</sup> aralıklarında değişmiştir. Organik madde oranı arttıkça optimum su içeriği artmıştır ancak organik madde ile maksimum kuru birim hacim ağırlık arasında bir korelasyon kurulamamıştır. Drenajsız kayma mukavemeti ve içsel sürtünme açısı 31 ile 117 kPa ve 14° ile 22° bulunmuştur. Hem içsel sürtünme açısı hem de drenajsız kayma mukavemeti organik madde içeriği arttıkça azalmıştır. Sıkışma indisi ( $C_c$ ) ve birincil konsolidasyon katsayısı ( $c_v$ ) değerleri 0.2 ile 0.44 ve  $2.35 \times 10^{-8}$  ile  $4 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/sn aralıklarında bulunmuştur. Ayrıca organik madde içeriği arttıkça başlangıç boşluk oranı ( $e_0$ ), sıkışma indisi ( $C_c$ ) ve ikincil sıkışma hızı artmış ( $C_a$ ), birincil konsolidasyon katsayısı ( $c_v$ ) azalmıştır.

Gunaratne ve diğ. (1998) tarafından Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nin Florida eyaletinden elde edilen zeminler organik madde içeriğine göre sınıflandırılmış ve organik madde miktarı ile geoteknik indeks özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Numunelerin organik madde içeriğinin %8.6 ile %92.1 arasında olduğu belirlenmiştir. Islak birim hacim ağırlık değerleri 9.8 ile 14.9 kN/m<sup>3</sup> arasında değişmiştir. Özgül ağırlık ve başlangıç boşluk oranları ise 1.34 ile 2.63 ve 1.5 ile 11.3 aralıklarında değişmiştir. Genel olarak bakıldığında organik madde miktarı arttıkça başlangıç boşluk oranının arttığı, ıslak birim hacim ağırlık ve özgül ağırlığın azaldığı görülmüştür. Numunelerin sınıflandırılması için Kearns ve Davison (Kearns ve

Davison, 1983) sınıflandırma sistemini kullanmışlardır. Buna göre organik madde miktarı %5 ile %10 arasında olan numuneler kirli kum (mucky sand), %10 ile %40 arasında olan numuneler gübre (muck), %40 ile %60 arasında olan numuneler killi gübre (clayey muck), %60 ve daha büyük değerlere sahip olan numuneler turba olarak sınıflandırılmıştır.

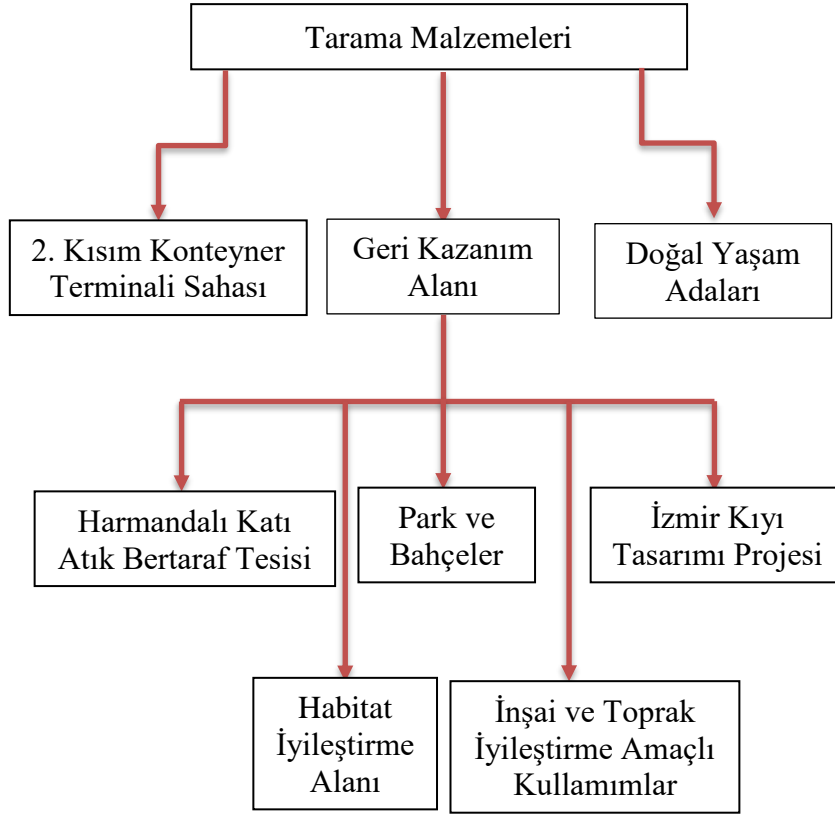


### **3. MALZEME**

Bu bölümde, tarama malzemesinin ve katkı olarak kullanılan kireç, volkan cürufu, termik santral uçucu külü ve silis dumanının fiziksel ve kimyasal mühendislik özellikleri verilmiştir.

#### **3.1 İzmir Körfezi Tarama Malzemesi**

İzmir İli, Konak İlçesi'nde İzmir Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İZSU) ile Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü (TCDD) İzmir Körfezi ve Limanı Rehabilitasyon Projesi'ni gerçekleştirmektedir. Proje ile birlikte İzmir Limanı'nın (TCDD İzmir Liman İşletmesi) kapasitesi ve verimliliği artırılmış ve körfez içi su sirkülasyonu ve kalitesi iyileştirilmiş olacaktır. Proje kapsamında çok büyük miktarda çökelti malzemesi taranmaktadır; 14 m derinliğe kadar taranan toplam malzeme miktarı yaklaşık 9.400.000 m<sup>3</sup>, 14 m'den 16 m'ye kadar taranan malzeme yaklaşık 7.050.000 m<sup>3</sup> ve 16 m'den 17 m'ye kadar taranan malzeme miktarı ise yaklaşık 4.680.000 m<sup>3</sup>'tür. Bu yüzden bu malzemenin geri dönüştürülmesinin ve inşaat işleri uygulamalarında kullanılmasının hem çevre açısından hem de ekonomik açıdan çok faydalı olacağı düşünülmüştür. Proje kapsamında tarama işlemlerinden elde edilecek malzemenin Şekil 3.1'de gösterilen bir akış şeması ile kullanım alanına aktarılması planlanmıştır (İzmir Körfezi ve Limanı Rehabilitasyon Projesi ÇED Raporu, 2016).



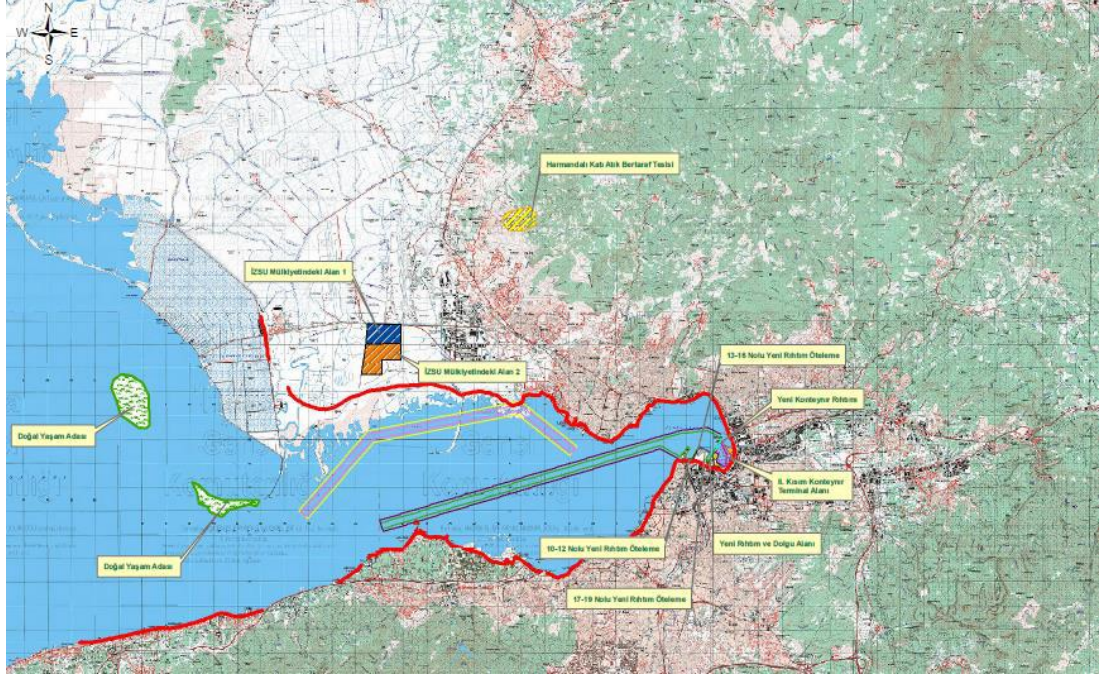
**Şekil 3.1 :** Tarama malzemelerinin aktarım ve kullanım güzergâhları (İzmir Körfezi ve Limanı Rehabilitasyon Projesi ÇED Raporu, 2016).

İzmir Körfezi'nden çıkarılan tarama malzemesi Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.2 :** İzmir Körfezi tarama malzemesi.

Proje kapsamında taranmış ve taranacak alanlar kırmızı çizgi ile Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.3 :** Proje işlem alanlarını gösteren topografik harita (İzmir Körfezi ve Limanı Rehabilitasyon Projesi ÇED Raporu, 2016).

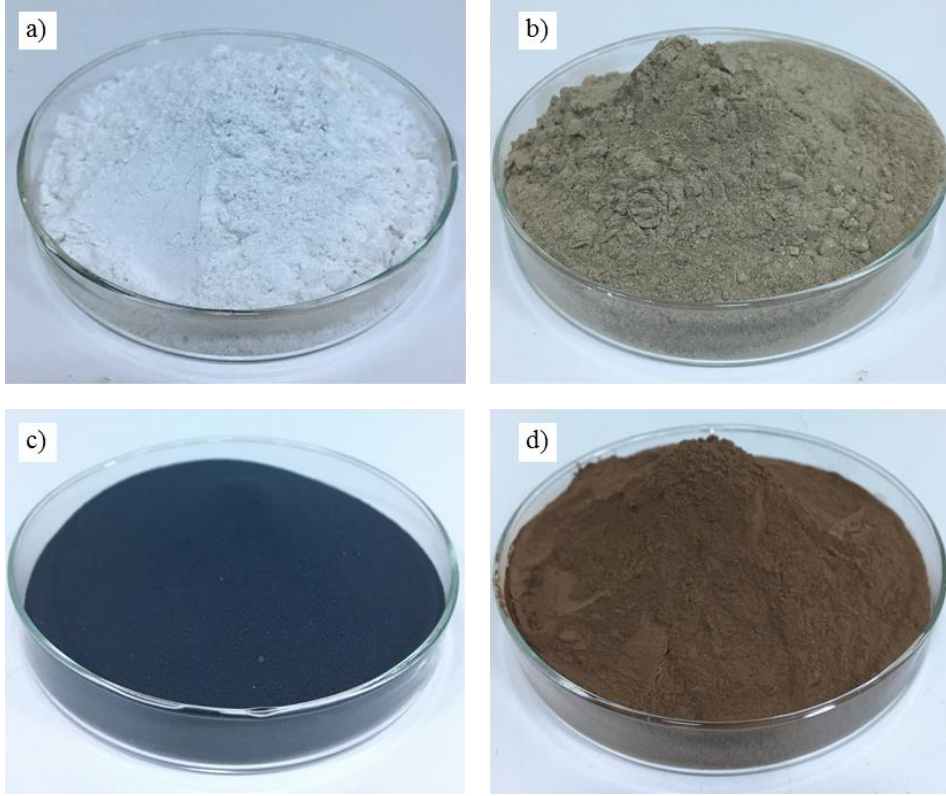
Daha önceki çalışmalardan elde edilmiş İzmir Körfezi tarama malzemesi geoteknik özellikleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir (Kalıpcılar ve diğ. (2014); Filibeli ve diğ. (1995)).

**Çizelge 3.1 :** İzmir Körfezi tarama malzemesinin geoteknik özellikleri.

Parametre	Birim	Kalıpcılar ve diğ. (2014)	Filibeli ve diğ. (1995)
Özgül ağırlık	-	-	2.10
Likit limit	%	40	67
Plastik limit	%	27	34
Optimum su içeriği	%	19	-
Zemin sınıfı	-	SM – SP – ML – CL	OL – OH

### 3.2 Katkı Malzemeleri

Bu bölümde çalışmada kullanılan katkı malzemelerinin özellikleri açıklanmıştır. Katkı malzemeleri Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



**Şekil 3.4 :** Katkı malzemeleri a) Kireç b) Termik santral uçucu külü c) Silis dumanı d) Volkan cürufu.

### 3.2.1 Kireç

Kireç taşının (kalsiyum karbonat) çeşitli derecelerde (850-1450°C) ısıtılması sonucu içindeki karbon dioksitin uçurulmasıyla elde edilen inorganik esaslı bağlayıcı bir maddedir. Bu çalışmada kullanılan sönmüş kireç İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Laboratuvar'ından temin edilmiştir. Kirecin maksimum dane boyu 0.425 mm'dir. Kullanılan kirecin kimyasal özellikleri ise Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2 :** Sönmüş toz kireç kimyasal bileşimi

Ana bileşik	Miktar (%)
SiO <sub>2</sub>	< 1.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4 – 0.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 0.3
CaO	70.8
Na <sub>2</sub> O	< 0.2
K <sub>2</sub> O	< 0.2
MgO	< 0.8

### 3.2.2 Termik santral uçucu külü

Elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kullanılan linyit kömürünün %20-50'si taşkömürünün ise %10-15'i, kül olarak ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu külün %75-85'i baca gazlarıyla kazandan çıkarılır ve bu kül "termik santral uçucu külü" olarak tanımlanırlar (Güler ve diğ. (2005)). Bu çalışmada kullanılan termik santral uçucu külü İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Laboratuvar'ından temin edilmiştir. Termik santral uçucu külünün maksimum dane boyu 0.425 mm'dir. Kullanılan termik santral uçucu külünün kimyasal özellikleri ise Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3 :** Termik santral uçucu külü kimyasal bileşimi.

Ana bileşik	Miktar (%)
SiO <sub>2</sub>	43.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2
CaO	14.9
Na <sub>2</sub> O	0.3
SO <sub>3</sub>	4.1
TiO <sub>2</sub>	0.9
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02
K <sub>2</sub> O	2.6
MgO	3.1

### 3.2.3 Silis dumanı

Silis dumanı ferrosilikon veya silikon metal alaşım endüstrisinin bir yan ürünüdür. Silis dumanı, çok ince daneli ve amorf bir yapıda olduğundan ve yüksek miktarda SiO<sub>2</sub> içermesi nedeniyle puzolonik malzeme olarak kullanılır. Bu çalışmada kullanılan silis dumanı İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Laboratuvar'ından temin edilmiştir. Silis dumanının maksimum dane boyu 0.425 mm'dir. Kullanılan silis dumanının kimyasal özellikleri ise Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.4 :** Silis dumanı kimyasal bileşimi.

Ana bileşik	Miktar (%)
SiO <sub>2</sub>	94.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4
CaO	0.6
MgO	1.0
S	0.15
C	0.8

### 3.2.4 Volkan cürufu

Volkan cürufu volkanik patlamalara bağlı olarak oluşan bazaltik yapıdaki lavların, volkanın çatlakları boyunca sızması ile oluşan bazaltik-andezitik yapıya sahip volkanik bir kayaa türüdür. Gözenekli ve camsı bir yapıya sahip, düzensiz şekilli ve farklı dane boyutunda olup yüksek demir içeriğinden ötürü griden siyaha kadar değişen renk skalasına sahiptir (Demirdağ ve Gündüz (2003)). Bu çalışmada kullanılan volkan cürufu İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Laboratuvar'ından temin edilmiştir. Volkan cürufunun maksimum dane boyu 0.150 mm'dir Kullanılan volkan cürufunun kimyasal özellikleri ise Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.5 :** Volkan cürufu kimyasal bileşimi.

Ana bileşik	Miktar (%)
SiO <sub>2</sub>	45.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.7
CaO	8.8
SO <sub>3</sub>	0.04
MgO	5.9

## 4. METOD

Bu bölümde, tarama malzemesinin indeks özelliklerini ve sıkışma davranışları belirlemek için yapılan laboratuvar deneyleri açıklanmıştır. Ayrıca katkıli numunelerin hazırlanması ile ilgili bilgi verilmiştir.

### 4.1 Tarama Malzemesinin İndeks Özellikleri Deneyleri

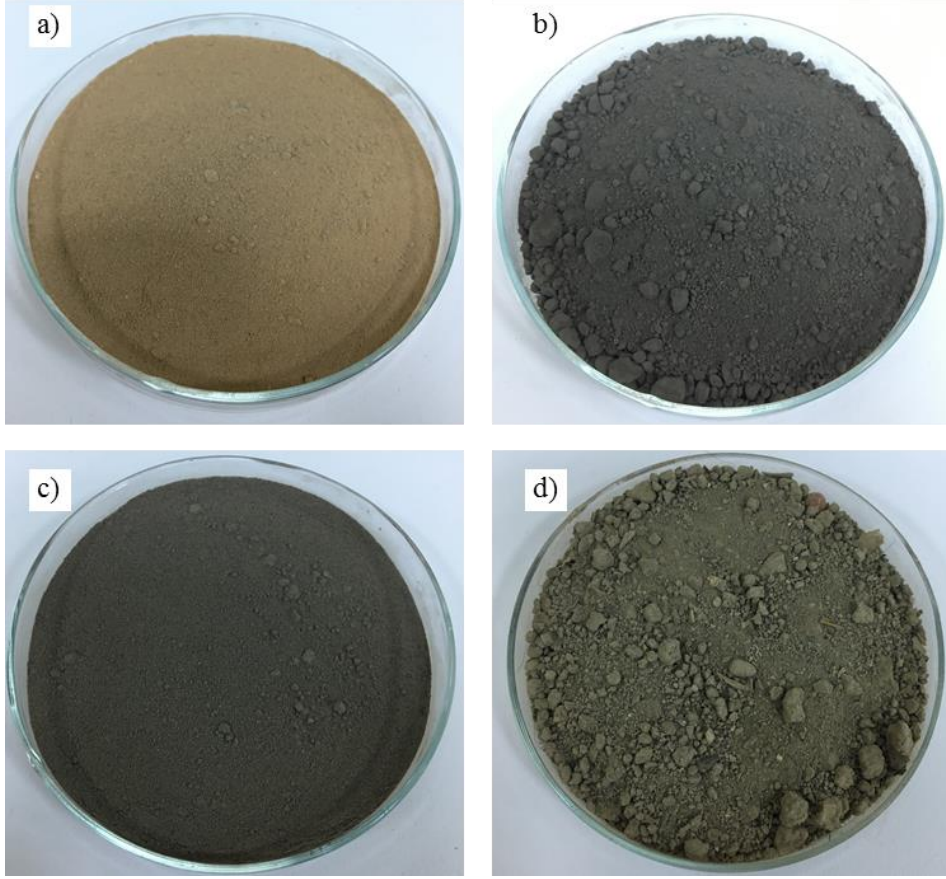
#### 4.1.1 Organik madde tayini

İzmir Körfezi'nden temin edilip laboratuvara getirilen tarama malzemesinin ilk olarak doğal organik madde miktarı ASTM D2974 standardına göre belirlenmiştir. Isıya dayanıklı seramik kaplara konulan numuneler fırında 440°C'de 24 saat bekletilmiştir (Şekil 4.1).



**Şekil 4.1** : Organik madde tayini deney numuneleri.

Numunede oluşan kayıp organik madde miktarı olarak alınmış ve organik madde içeriği hesaplanmıştır. Daha sonra organik madde içeriğinin zeminlerin geoteknik indeks özellikleri ve sıkışma parametreleri üzerinde etkilerini incelemek amacıyla farklı organik madde içeriğine sahip numuneler elde edilmiştir. Bunun için numuneler deneme yanılma metodu ile 440°C fırında 24 saat, 70 dakika ve 20 dakika yakılarak doğal hali dâhil dört farklı organik madde içeriğine sahip numune elde edilmiştir. Her bir numune kesin sonuca varılması için 5'er kez test edilmiştir. Bu organik madde miktarı içerikleri %0, %4, %7 ve %11'dir. Elde edilen numuneler Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



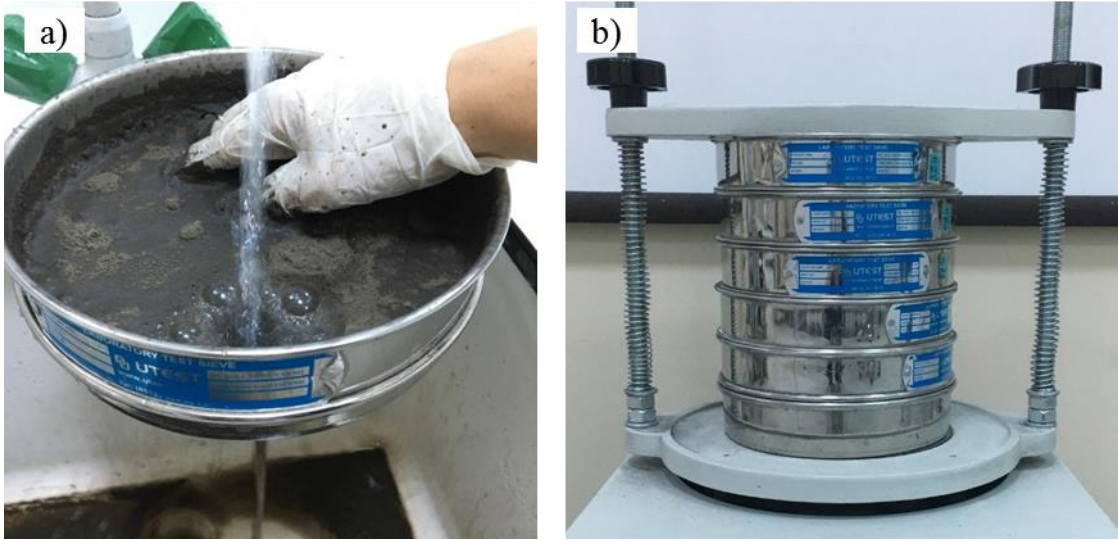
**Şekil 4.2** : Farklı organik madde içeriğindeki tarama malzemeleri a) 0OM b) 4OM c) 7OM d) 11OM.

#### 4.1.2 Elek analizi

Elek analizi; zeminlerin dane boyu dağılımlarını belirlemek için değişik göz açıklıklarına sahip elekler ile yapılan deneydir. Elek altında kalan zemin miktarının toplam zemin miktarına oranlanması esasına dayanır.

Bu çalışmada tarama malzemesinin dane boyu dağılımını belirlemek için yıkamalı elek analizi ASTM D422 – 07 standartına göre gerçekleştirilmiştir. 1 kg numune önce No.200 (0.074 mm) elekten yıkanarak elenmiş ve elek üstünde kalan numune etüve atılarak 105°C’de 24 saat bekletilerek tamamen kurutulmuştur (Şekil 4.3a). Başlangıçtaki ağırlıktan yıkandıktan sonra kurutulan numune ağırlığı çıkarılarak silt ve kil yüzdesi elde edilmiştir. Daha sonra No.200 elek üstünde kalan malzeme ile kuru elek analizi yapılarak dane boyu dağılımı grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.3b). Deneyler dört farklı numune için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.





**Şekil 4.3 :** a) Yıkamalı elek analizi b) kuru elek analizi.

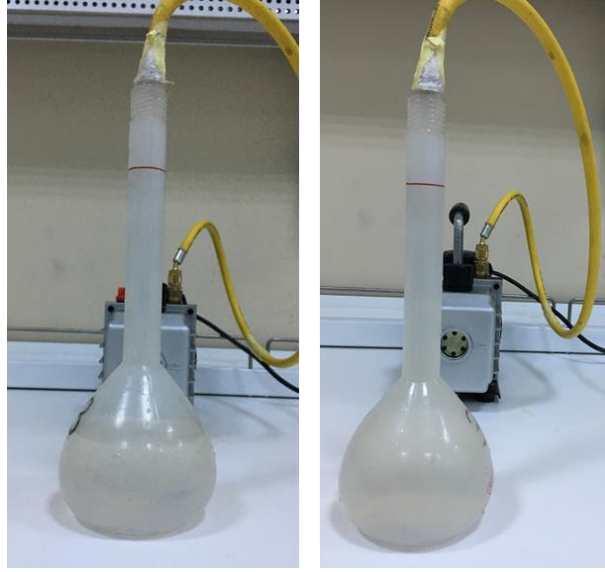
Deneyleerde kullanılan elek boyutları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1 :** Deneyleerde kullanılan elek boyutları.

Elek no	Elek açıklığı (mm)
3/8"	9.5
No. 4	4.75
No. 10	2.0
No. 18	1.0
No. 40	0.425
No. 200	0.074

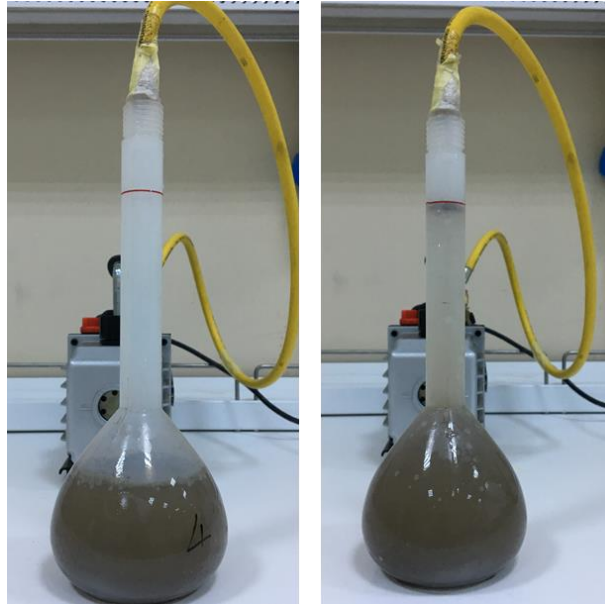
#### 4.1.3 Özgül ağırlık deneyi

Özgül ağırlık zeminlerin katı danelerinin ağırlığının, katı danelerin hacmi kadar su ağırlığına oranı olarak tanımlanır. Bu çalışmada özgül ağırlık değeri ASTM D854 – 14 standartına göre belirlenmiştir. İlk olarak 500 ml hacmindeki piknometre yarısına kadar saf su ile doldurulup 15 dakika, sonra menisküs çizgisine kadar doldurulup yine 15 dakika vakum pompası ile vakum uygulanmıştır. Böylelikle piknometre + su ağırlığı elde edilmiştir ( $W_1$ ) (Şekil 4.4).



**Şekil 4.4 :** Özgül ağırlık deneyi ilk aşaması.

Daha sonra boş piknometre içine 30 g numune ( $W_2$ ) konulmuş ve üzerine su eklenerek yine iki aşamada olacak şekilde vakum uygulanmıştır. Böylece piknometre + su + numune ağırlığı bulunmuştur ( $W_3$ ) (Şekil 4.5).



**Şekil 4.5 :** Özgül ağırlık deneyi ikinci aşaması.

Bu değerler Denklem 4.1'de yerine koyularak özgül ağırlık değeri elde edilmiştir.

$$G_s = \frac{W_2}{W_2 + W_1 - W_3} \quad (4.1)$$

#### 4.1.4 Kıvam limitleri deneyi

Bu çalışmada likit limit BS 1377 – 1: 2016 standartına göre düşen koni test metodu ile belirlenmiştir. Deney için önce zemin No. 40 (0.425 mm) elekten elenmiştir. Numuneler belirli su içeriklerinde hazırlanarak deney kalıbına yerleştirilmiştir. Daha sonra 80 gram ağırlığında konik uç 5 saniye süre ile bir kap içine doldurulmuş ıslak zemine serbest düşü yaptırılmış ve penetrasyon miktarı kaydedilmiştir. Her seferinde su eklenerek bu işlem 5 kez tekrarlanmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Düşen koni likit limit deneyi cihazı.

Deney sonucunda elde edilen batma miktarları ve bu değerlere karşılık gelen su içerikleri grafiği çizilerek, noktalardan geçebilecek en uygun doğru çizilmiş ve bu doğru üzerinde 20 mm batma miktarına karşılık gelen su içeriği likit limit değeri olarak bulunmuştur.

Plastik limit deneyi ASTM D4318 – 10 standartına göre belirlenmiştir. Deney için No. 40 (0.425 mm) elekten elenmiş zemine bir miktar su eklenerek karıştırılmıştır. Bu karışımdan bir miktar alınıp numune, pürüzsüz cam bir yüzey üzerinde avuç ayası ile yuvarlanmıştır. Numune 3 mm çapına ulaştığında kılcal çatlaklar gözlenmeye

başlandığında deney sonlandırılmıştır ve su içeriği hesaplanarak plastik limit değeri belirlenmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : Plastik limit deneyi.

Bu işlem 2 kez daha tekrarlanmış ve numunelerin su içeriği belirlenmiştir. Elde edilen su içeriği değeri zeminin plastik limit değerini temsil etmektedir.

#### 4.1.5 pH deneyi

Tarama malzemesinin asidite ve alkalinitesini belirlemek amacıyla pH ölçümü yapılmıştır. pH ölçümü İnoLab – IDS Multi 9310 marka dijital pH metre ile yapılmıştır. pH metre üç parçadan oluşmaktadır; pH ölçüm elektrodu, referans elektrodu ve yüksek empedans girişli bir cihazdır.

Deney gerçekleştirmek için öncelikle 125 ml saf su ile 50 g numune karıştırılmış ve numunenin dengeye gelmesi için kabın ağzı parafilm ile kapatılarak 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra pH probu çözeltiliye daldırılarak değerler okunmuştur (Kocasoy, 1996) (Şekil 4.8). pH deneyi ASTM standartına göre yapılamamıştır çünkü standartta belirtilen miktarda suya probun batırılması mümkün olmamıştır, bu yüzden standarta çok yakın bir yöntem tercih edilmiştir.



Şekil 4.8 : pH metre cihazı ve ölçümü.

Farklı organik madde içeriğine sahip numuneler ile hazırlanan çözeltiler Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

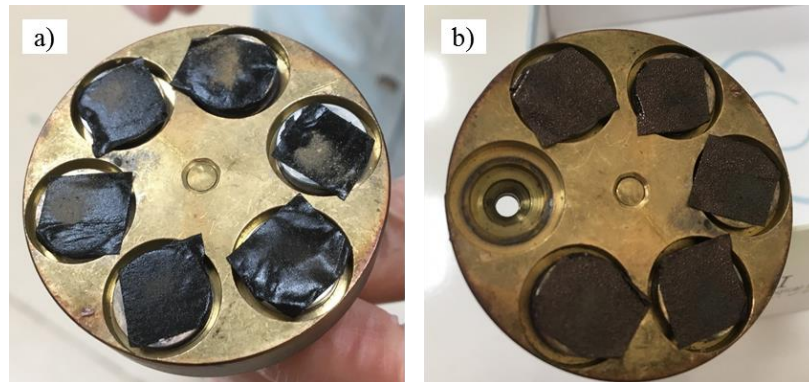


Şekil 4.9 : pH deneyi numuneleri.

#### 4.1.6 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

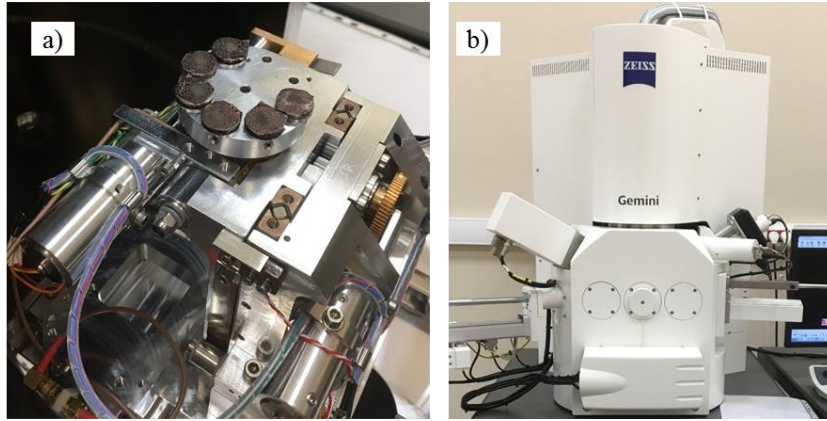
Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir mikroskoptur. Elektronlar numunelerin sahip olduğu atomlar ile etkileşime girerek numune yüzeyindeki kompozisyon ve topografi hakkında bilgiler içeren sinyaller üretir.

Bu çalışma kapsamında numuneler önce 105°C'de 24 saat etüvde tamamen kurutulmuştur. Kuruyan numuneler No. 40 elekten (0.425 mm) elenerek analiz için hazır hale getirilmiştir. SEM analizi İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında yapılmıştır. Deney sırasında numuneler karbon bant yapıştırılan numune plakasına konulmuştur (Şekil 4.10a). Vakum işlemi esnasında cihaza zarar vermemek için numunelerin karbon bant üzerinde ince bir film şeklinde yer alması gerekmektedir, bu nedenle tezgâh üzerine ufak darbeler ile vurularak fazlalıklar bertaraf edilmiştir. Numune iletken bir malzeme olmadığından taranırken sarj olmaya eğilimlidir bu yüzden iletken bir malzeme olan altın ile 5 nanometre kalınlığında kaplanmıştır (Şekil 4.10b).



Şekil 4.10 : a) Karbon bant üzerine yerleştirilmiş numuneler b) 5 nanometre altın ile kaplanmış numuneler.

Kaplama işleminden sonra 3 dakika boyunca vakum işlemi yapılmıştır. Normal şartlar altında yalıtkan malzemelere vakum yapılmaması önerilmektedir. Ancak vakum yapmama düşük çözünürlüğe neden olduğundan ve kaplama yapılan numunelerde vakum önerildiği için vakum işlemi yapılmıştır. Daha sonra numune tutucuya yerleştirilerek analiz yapılmıştır (Şekil 4.11a). Analiz Zeiss marka Sigma 300 VP model cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.11b). Bu analizde hem mikroskobik görüntü taraması hem de elementer analiz yapılmıştır.

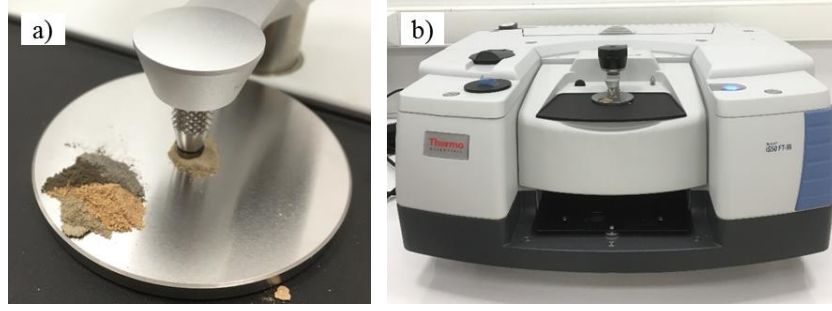


**Şekil 4.11 :** a) Numune tutucuya yerleştirilmiş örnekler b) Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı.

#### **4.1.7 Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi**

Kızılötesi (IR) absorpsiyon spektroskopisi bir tür titreşimdir. Kızılötesi ışınlar moleküllerin titreşim hareketleri tarafından soğurulmaktadır. Matematiksel Fourier dönüşümü spektroskopisinde ışın şiddeti zamanın bir fonksiyonu olarak kabul edilir. Bu yöntem ile moleküler bağ karakterizasyonu yapılır; katı, sıvı, gaz veya çözelti halindeki organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel gruplar, yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri, yapının aromatik ya da alifatik olup olmadığı ve iki bileşiğin aynı olup olmadığı belirlenebilir.

FTIR analizi İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında yapılmıştır. Deney önceden etüvde kurutulmuş No.40 (0.425 mm) elekten elenmiş numune ile gerçekleştirilmiştir. Bir miktar örnek numune plakasına konmuş ve başlığın numuneye temas etmesi sağlanmıştır (Şekil 4.12a). Daha sonra analiz başlatılmıştır. Deney Thermo iS50 FT-IR model cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.12b).

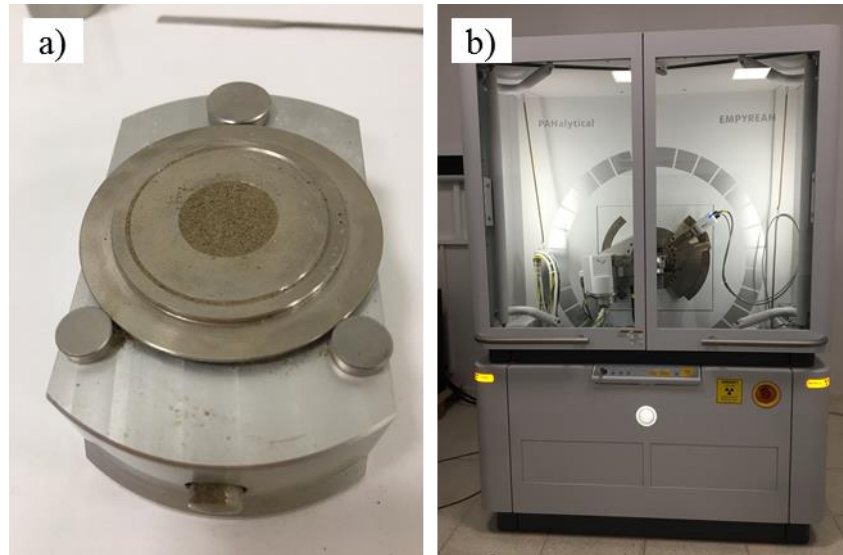


**Şekil 4.12 :** a) Numune plakasına yerleştirilen örnek b) Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) cihazı.

#### 4.1.8 X – ışını kırınımı (XRD) analizi

X – ışını kırınım yöntemi (XRD), her bir kristal fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak, X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayalı bir analiz yöntemidir. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar.

XRD analizi İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında yapılmıştır. Ham malzeme hakkında bilgi sahip olmak amacı ile analiz yalnızca 110M numunesi ile gerçekleştirilmiştir. Deney önceden etüvde kurutulmuş No.40 (0.425 mm) elekten elenmiş numune ile gerçekleştirilmiştir. Numune önce numune plakasına ufak darbeler ile yerleştirilmiştir (Şekil 4.13a). Daha sonra PANalytical marka Empyrean model XRD cihazı ile analiz gerçekleştirilmiştir (4.13b).



**Şekil 4.13:** a) Numune plakasına yerleştirilen örnek b) X – ışını kırınımı (XRD) cihazı.

## 4.2 Tarama Malzemelerinin Konsolidasyon Deneyleri

### 4.2.1 Doğal tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri

Bu çalışmada İzmir Körfezi tarama malzemesinin konsolidasyon özelliklerini belirlemek amacıyla tek eksenli konsolidasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Organik madde içeriğinin sıkışma davranışı üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi amacıyla, fırında yakılarak elde edilmiş %0, %4, %7 organik madde içeriğine sahip numuneler ve doğal numune (11OM) ile tek eksenli konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Deneyler ASTM D2435/D2435M – 11 standartına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. 49.8 mm çapında ve 20 mm yüksekliğinde (1 Nolu halka), 50 mm çapında ve 20 mm yüksekliğinde (2 Nolu halka) ve 60 mm çapında ve 23.7 mm yüksekliğinde (2 Nolu halka) üç farklı halkanın kullanıldığı deney düzenekleri ile çalışılmıştır (Şekil 4.14). Deformasyonlar 1/500 ve 1/100 mm hassasiyetlikteki deformasyon saatleri vasıtasıyla okunmuştur.



Şekil 4.14: Konsolidasyon cihazlarının genel görüntüsü.

Bu çalışma kapsamında konsolidasyon numunelerinin tamamı likit limit su içeriğinde hazırlanmıştır. Halkanın içine üç katman halinde her katman 25'er kez şişlenerek yerleştirilmiştir. Elde edilecek sonuçların doğruluğu ve güvenilirliği açısından gerçekleştirilen tüm konsolidasyon deneylerinde özdeş numuneler elde edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla her numune 2 kez aynı deneye tabii tutulmuş, eğer numuneler arasında uyumsuz sonuçlar gözlenirse deney 3. kez tekrarlanmıştır. Konsolidasyon hücresinin içine sırasıyla, poroz taş, filtre kâğıdı, halka, filtre kâğıdı, poroz taş ve en son yükleme başlığı koyulmuştur. Dengelenmiş yükleme kolu yatay duruma getirilip, yükü numuneye aktaracak parça yükleme başlığına temas ettirildikten sonra deformasyon saati ayarlanmıştır. Deney boyunca numunelere uygulanan yük

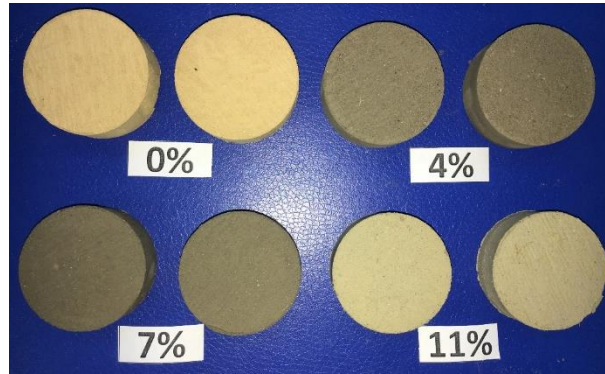


kademeleri ve oluşturduğu gerilmeler Çizelge 4.3’de gösterilmiştir. Numune hazırlanıp hücreye yerleştirdikten sonra suya doymun hale gelebilmesi için yükleme yapmadan önce 24 saat süreyle bekletilmiştir. Bu esnada numunelere 0.01 kg/cm<sup>2</sup>’lik oturma basıncı uygulanmıştır. Her yükleme kademesi için 10 sn, 15 sn, 30 sn, 1 dk, 2 dk, 4 dk, 8 dk, 15 dk, 30 dk, 1 s, 2 s, 4 s, 8 s ve 24 s sürelerinde okuma alınmıştır.

**Çizelge 4.2 :** Numunelere uygulanan yük kademeleri ve oluşturduğu gerilmeler.

Yük kademesi	Etkili gerilme (kg/cm <sup>2</sup> )	1 Nolu halka	2 Nolu halka	3 Nolu halka
		Etki yükü (kg)	Etki yükü (kg)	Etki yükü (kg)
1.	0.25	4.87	4.91	7.07
2.	0.50	9.74	9.82	14.14
3.	1.00	19.48	19.63	28.27
4.	2.00	38.96	39.27	56.54
5.	4.00	77.92	78.54	113.08
6.	8.00	155.84	157.08	226.16
7.	2.00	38.96	39.27	56.54
8.	0.50	9.74	9.82	14.14

Deneyler sonrasında numuneler halka içerisinde dikkatli bir şekilde çıkarılmış ve su içeriğinin belirlenebilmesi için etüve konulmuştur. Deneyler sonrası halka içerisinde çıkarılan numuneler Şekil 4.15’te gösterilmiştir.



**Şekil 4.15 :** İyileştirilmiş tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri.

#### 4.2.2 Katkılı tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri

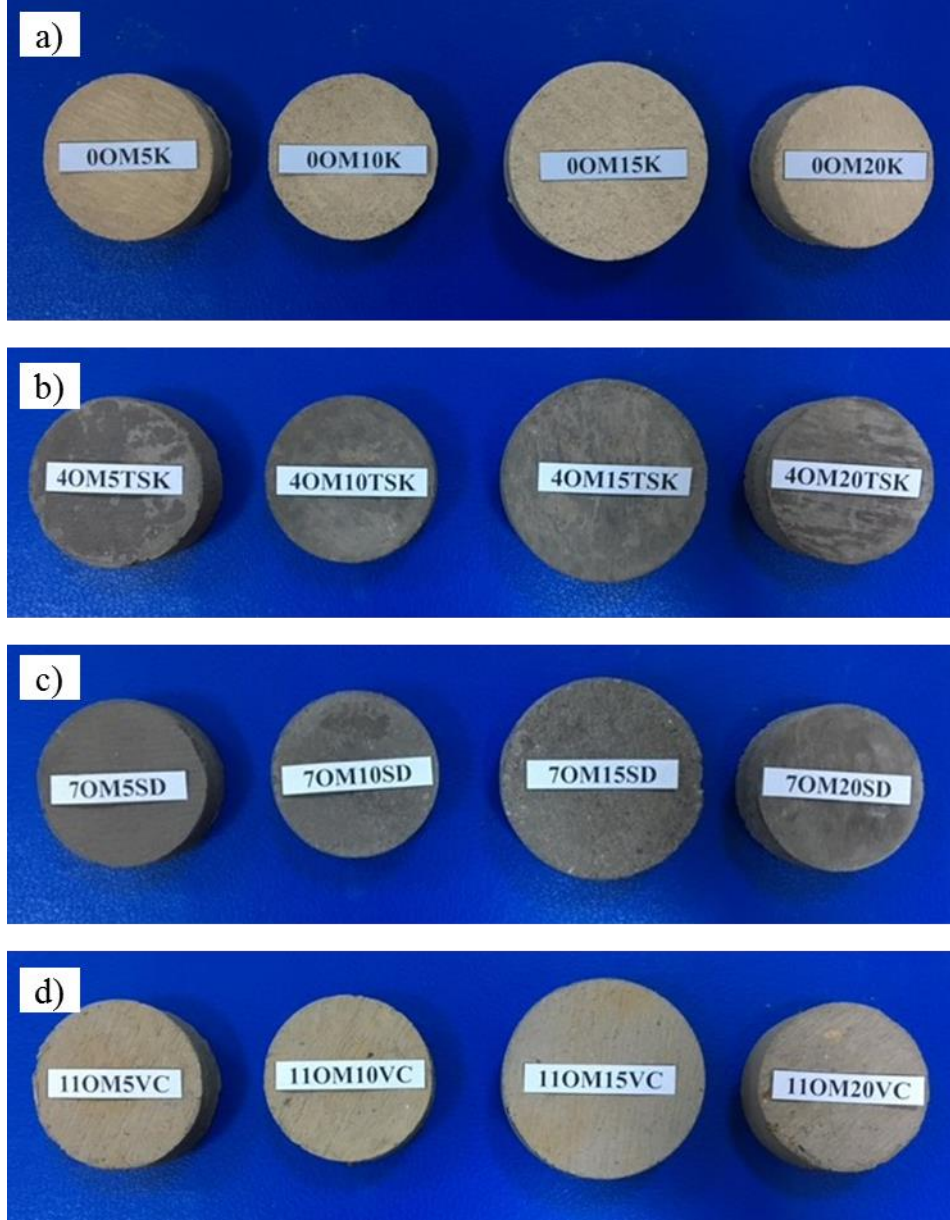
Farklı organik madde içeriğine sahip numunelerin konsolidasyon deneyleri yapıldıktan sonra her bir numune kireç, termik santral uçucu külü, silis dumanı ve volkan cürufu ile karıştırılmış ve tek eksenli konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Deneyler her numune için 2 kez tekrarlanmıştır. Katkı malzemeleri numunelere kuru ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında karıştırılmıştır. Kuru halde karıştırılan numunelere yine likit limit değerinde su eklenmiş ve belirlenmiş numune hazırlama

adımları uygulanmıştır. Numunelerin karışım oranları ve sembolleri Çizelge 4.4’de listelenmiştir.

**Çizelge 4.3 : Katkılı numunelerin sembol ile gösterimi.**

Katkı oranı (%)	%0 OM	%4 OM	%7 OM	%11 OM
Sembol				
Kireç				
5	0OM5K	4OM5K	7OM5K	11OM5K
10	0OM10K	4OM10K	7OM10K	11OM10K
15	0OM15K	4OM15K	7OM15K	11OM15K
20	0OM20K	4OM20K	7OM20K	11OM20K
Termik santral uçucu külü				
5	0OM5TSK	4OM5TSK	7OM5TSK	11OM5TSK
10	0OM10TSK	4OM10TSK	7OM10TSK	11OM10TSK
15	0OM15TSK	4OM15TSK	7OM15TSK	11OM15TSK
20	0OM20TSK	4OM20TSK	7OM20TSK	11OM20TSK
Silis dumanı				
5	0OM5SD	4OM5SD	7OM5SD	11OM5SD
10	0OM10SD	4OM10SD	7OM10SD	11OM10SD
15	0OM15SD	4OM15SD	7OM15SD	11OM15SD
20	0OM20SD	4OM20SD	7OM20SD	11OM20SD
Volkan cürufu				
5	0OM5VC	4OM5VC	7OM5VC	11OM5VC
10	0OM10VC	4OM10VC	7OM10VC	11OM10VC
15	0OM15VC	4OM15VC	7OM15VC	11OM15VC
20	0OM20VC	4OM20VC	7OM20VC	11OM20VC

Deneyler sonrasında numuneler halka içerisinde dikkatli bir şekilde çıkarılmış ve su içeriğinin belirlenmesi için etüve konulmuştur. Deneyler sonrası numune halkası içerisinde çıkarılan numuneler Şekil 16’da gösterilmiştir.



**Şekil 4.16 :**Katkı malzemeleri ile hazırlanmış konsolidasyon deneyi numuneleri a) kireç b) termik santral uçucu külü c) silis dumanı d) volkan cürufu.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 5.1 Tarama Malzemesi İndeks Özellikleri

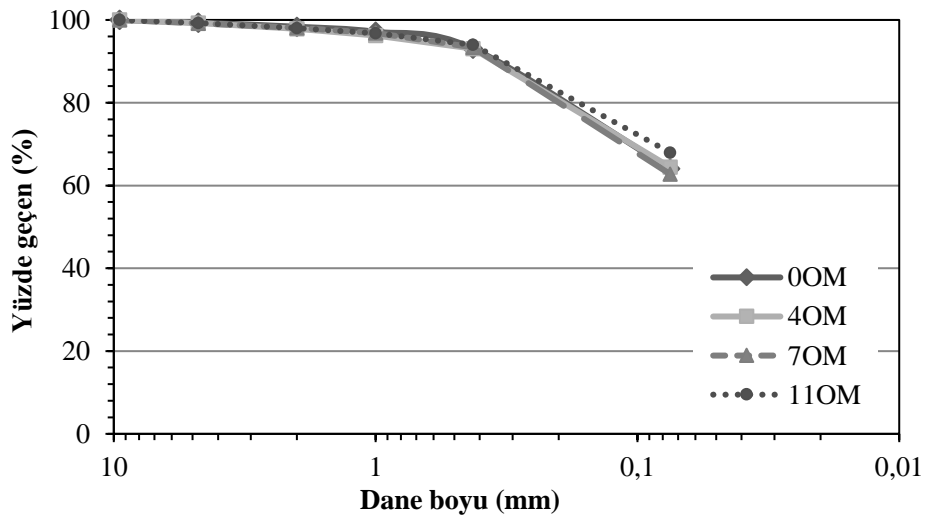
Bu bölümde farklı organik madde içeriğinde hazırlanmış zemin numunelerinin laboratuvar deneyleriyle belirlenmiş geoteknik indeks özellikleri alt başlıklar halinde verilmiştir.

#### 5.1.1 Organik madde tayini sonuçları

Organik madde içeriği analizleri sonucunda tarama malzemesinin doğal organik madde içeriği %11 olarak elde edilmiştir. Doğal haliyle %11 organik madde içeriğine sahip malzeme (11OM), 440°C fırında 20 dakika bekletildiğinde %7, organik madde içeriğine sahip numune (7OM), 70 dakika bekletildiğinde %4 organik madde içeriğine sahip numune (4OM) ve 24 saat bekletildiğinde %0 organik madde içeriğine sahip numuneler (0OM) elde edilmiştir.

#### 5.1.2 Elek analizi sonuçları

Tüm numuneler için yapılan yıkamalı ve kuru elek analizleri sonucunda elde edilen dane dağılım eğrileri Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

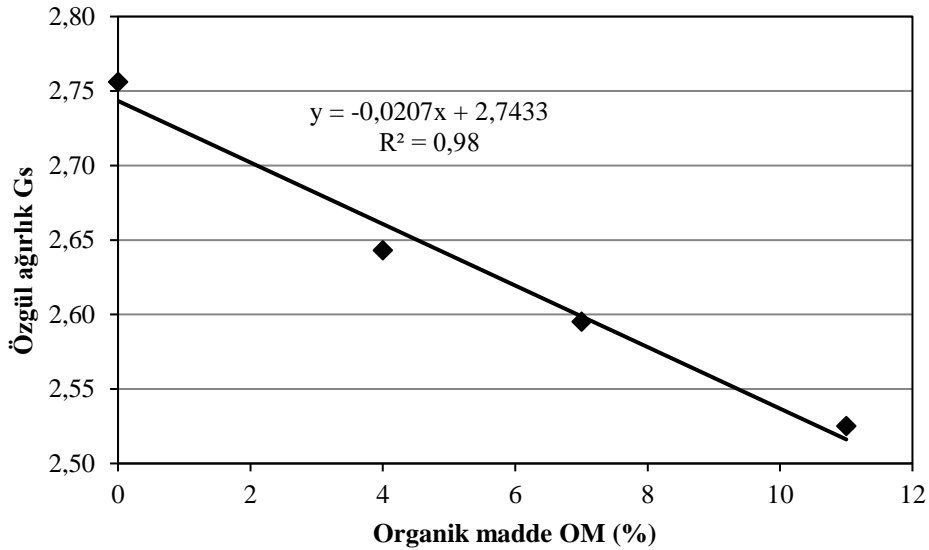


Şekil 5.1 : Numunelerin dane boyu dağılım eğrileri.

Şekil 5.1’de görüldüğü üzere farklı organik madde içeriğinde hazırlanmış numunelerin dane dağılım eğrileri birbirine oldukça yakın karakteristiktir. Maksimum dane boyutunun yaklaşık olarak 4.75 mm olduğu görülmüştür. Ayrıca numunelerin ortalama %65’inin 0.074 mm’den daha küçük dane boyutuna sahip olduğu belirlenmiştir.

### 5.1.3 Özgül ağırlık deneyi sonuçları

Yapılan özgül ağırlık deneyleri sonucu doğal haldeki yani %11 organik madde içeriğine sahip numunenin özgül ağırlığı 2.53 bulunmuştur. %7, %4 ve %0 organik madde içeriğine sahip numunelerin özgül ağırlıkları ise sırasıyla 2.60, 2.64 ve 2.76 olarak elde edilmiştir. Organik madde içeriği ile özgül ağırlık arasındaki ilişki Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Organik madde – özgül ağırlık ilişkisi.

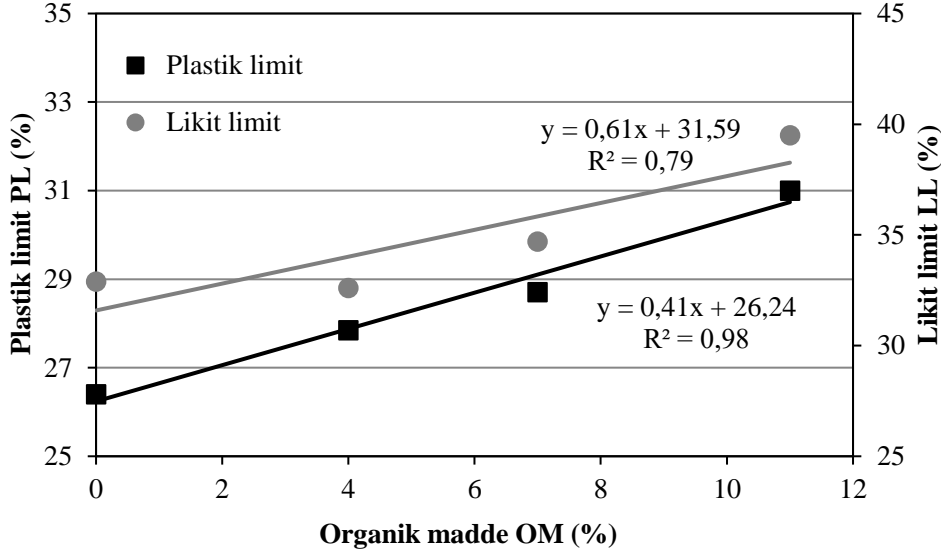
Şekil 5.2’den görüldüğü üzere organik madde içeriği arttıkça numunelerin özgül ağırlık değerinde düşüş gözlenmiştir. Organik madde ile özgül ağırlık arasındaki ilişkiyi veren korelasyon Denklem 5.1’de gösterilmiştir. Korelasyonun regresyon katsayısının ( $R^2 = 0.98$ ) ise 1’e oldukça yakın olduğu görülmüştür.

$$G_s = -0.0207 \times OM + 2.7433 \quad (5.1)$$

### 5.1.4 Kıvam limitleri deney sonuçları

Yapılan kıvam limitleri deneyleri sonucu %11 organik madde içeriğine sahip numunenin likit limit değeri %39.5 bulunmuştur. %7, %4 ve %0 organik madde

içeriğine sahip numunelerin likit limit değerleri ise sırasıyla %34.7, %32.6 ve %32.9 olarak elde edilmiştir. %11 organik madde içeriğine sahip numunenin plastik limit değeri %31.0 bulunmuştur. %7, %4 ve %0 organik madde içeriğine sahip numunelerin plastik limit değerleri ise sırasıyla %28.7, %27.9 ve %26.4 olarak elde edilmiştir. Organik madde içeriği ile kıvam limitleri arasındaki ilişki Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : Organik madde – likit limit ve organik madde – plastik limit ilişkisi.

Şekil 5.3'te görüldüğü üzere organik madde içeriği arttıkça hem likit limit hem plastik limit değeri artmıştır. Organik madde ile likit limit arasındaki ilişkiyi veren korelasyon Denklem 5.2'de gösterilmiştir. Korelasyonun regresyon katsayısının ( $R^2$ ) 0.79 olduğu görülmüştür.

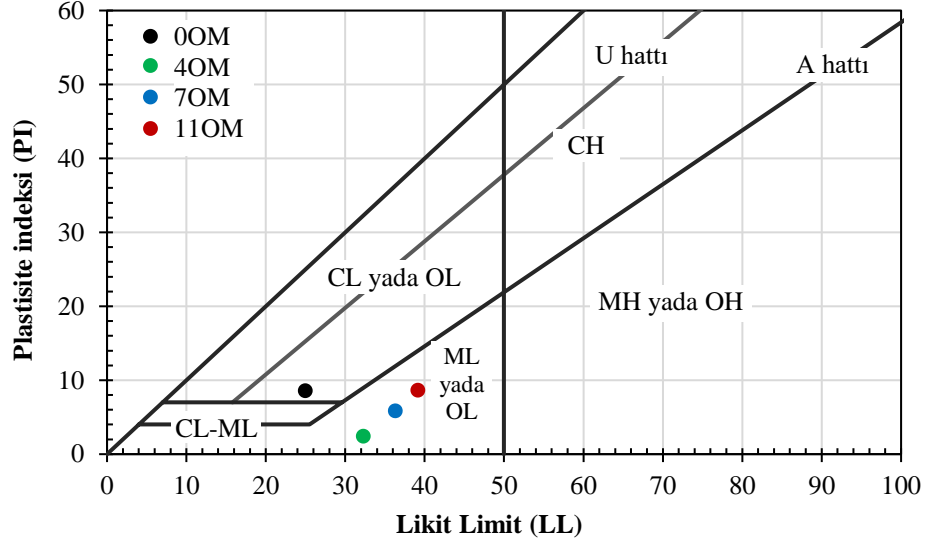
$$LL = 0.6069 \times OM + 31.587 \quad (5.2)$$

Organik madde ile plastik limit arasındaki ilişkiyi veren korelasyon Denklem 5.3'te gösterilmiştir. Korelasyonun regresyon katsayısının ( $R^2 = 0.98$ ) ise 1'e oldukça yakın olduğu görülmüştür.

$$PL = 0.4091 \times OM + 26.24 \quad (5.3)$$

Numunelerin dane dağılımları ve kıvam limitleri belirlendikten sonra Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre sınıflandırma yapılmıştır (ASTM D2487 – 11). Yapılan sınıflandırma sonucunda plastisite indeksi (PI), plastisite kartında (Şekil 5.4) A hattının altında, likit limit değerleri %32.6 ile %39.5 arasında olduğu için tüm numuneler düşük plastisiteli organik zemin (OL) olarak

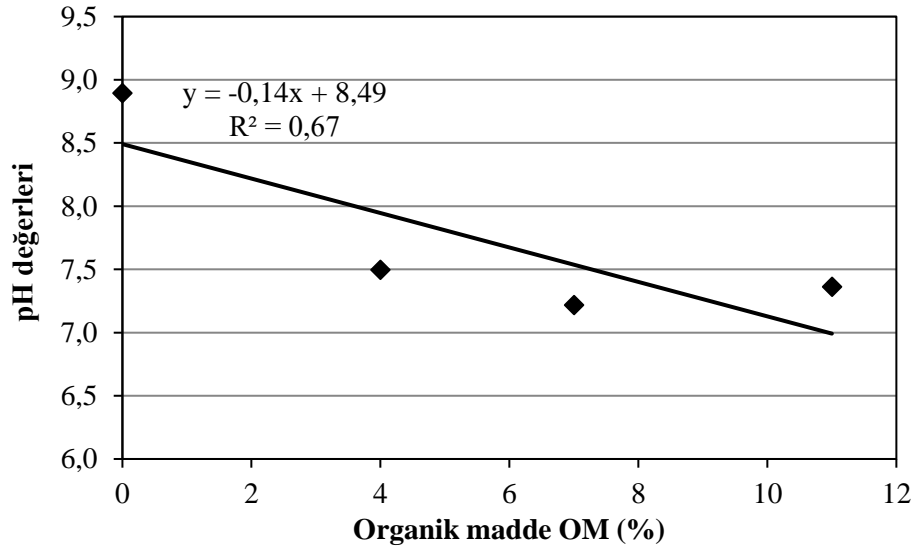
sınıflandırılmıştır. Elde edilen değerler Şekil 5.4'deki plastisite kartının üzerine işaretlenmiştir.



Şekil 5.4 : Plastisite kartı.

### 5.1.5 pH deneyleri sonuçları

Dijital pH metre ile yapılan ölçümler sonrasında %11 organik madde içeriğine sahip numunenin pH değeri 7.4 bulunmuştur. %7, %4 ve %0 organik madde içeriğine sahip numunelerin pH değerleri ise sırasıyla 7.2, 7.5 ve 8.9 olarak elde edilmiştir. Organik madde içeriği ile pH değerleri arasındaki ilişki Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5 : Organik madde – pH ilişkisi.

Şekil 5.5'te görüldüğü üzere organik madde içeriği arttıkça pH değerleri azalmıştır. Bunun nedeni organik madde miktarının asiditeyi arttırmasıdır. Organik madde ile pH değerleri arasındaki ilişkiyi veren korelasyon Denklem 5.4'te gösterilmiştir. Korelasyonun regresyon katsayısının ( $R^2$ ) 0.67 olduğu görülmüştür.

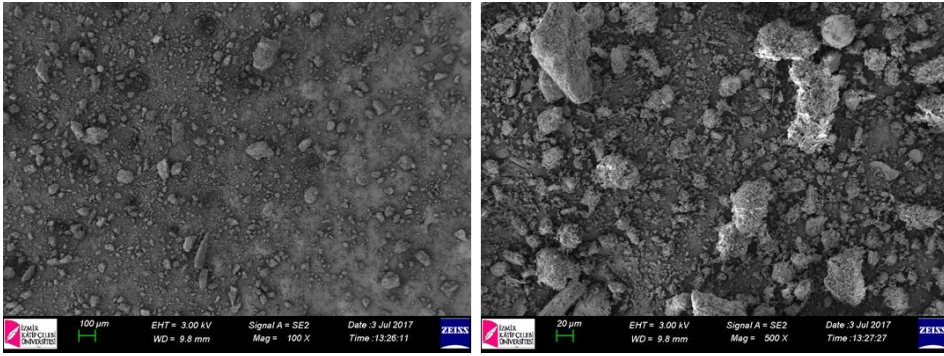
$$PH = -0.1363 \times OM + 8.491 \quad (5.4)$$

### 5.1.6 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analiz sonuçları

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizinde 100, 500 ve 1000 kat büyütülmüş görüntüler elde edilmiştir. Ayrıca elemanter analiz sonucunda numunelerin bünyesinde bulundurduğu elementler ağırlıkça yüzde olarak belirlenmiştir.

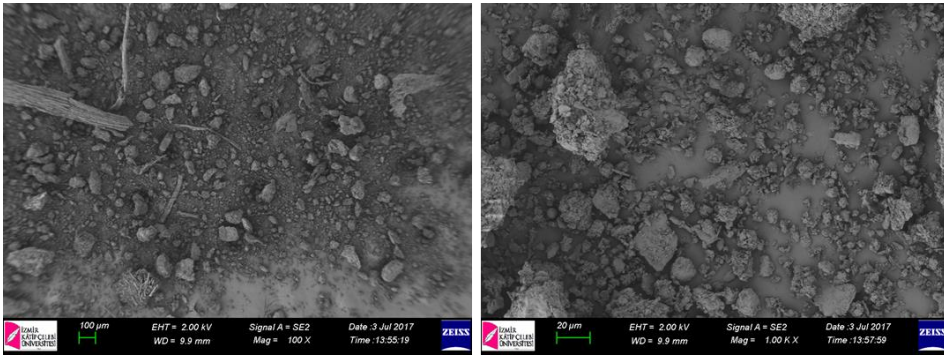
#### 5.1.6.1 Doğal numunelerin SEM analiz sonuçları

00M numunesine ait 100 ve 500 kat büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : 00M numunesine ait SEM görüntüleri.

Şekil 5.6'da görüldüğü üzere her iki resimde de herhangi bir organik maddeye rastlanmamıştır. 11OM numunesine ait 100 ve 1000 kat büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



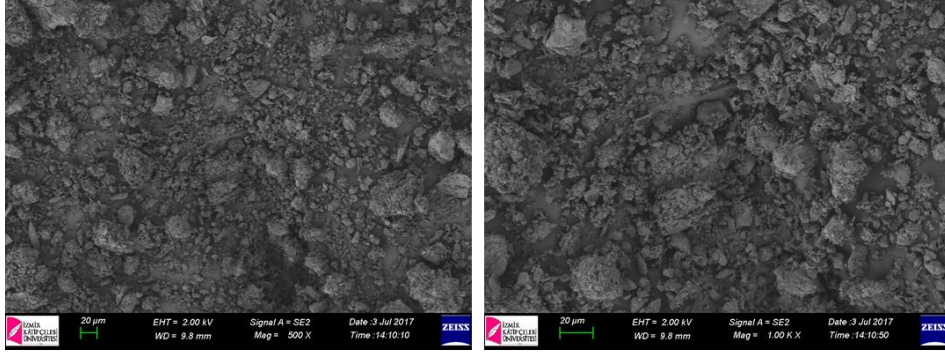
Şekil 5.7 : 11OM numunesine ait SEM görüntüleri.



Şekil 5.7 incelendiğinde deneylerde var olduğu ortaya çıkan organik maddelerin SEM görüntüleri ile de varlığı kanıtlanmıştır.

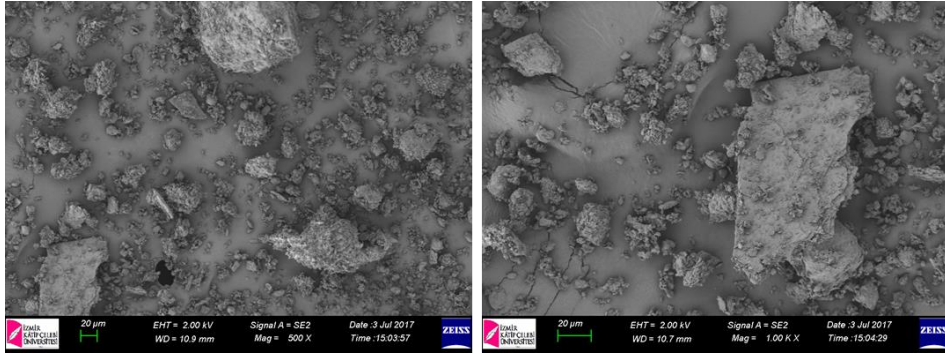
#### 5.1.6.2 Katkılı numunelerin SEM analiz sonuçları

00M10TSK numunesine ait 500 ve 1000 kat büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



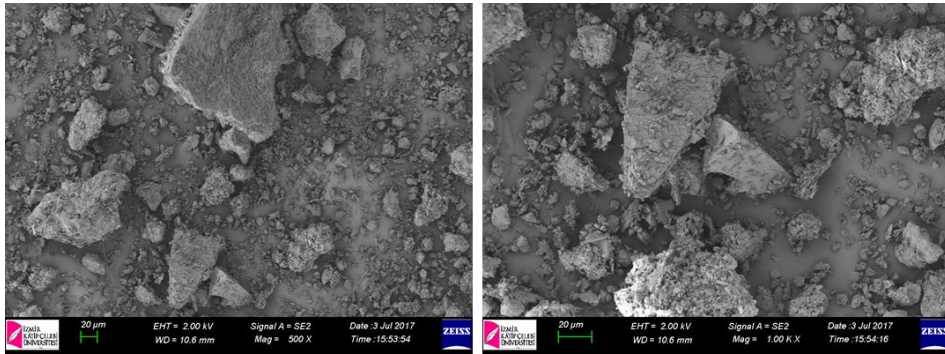
Şekil 5.8 : 00M10TSK numunesine ait SEM görüntüleri.

40M20SD numunesine ait 500 ve 1000 kat büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



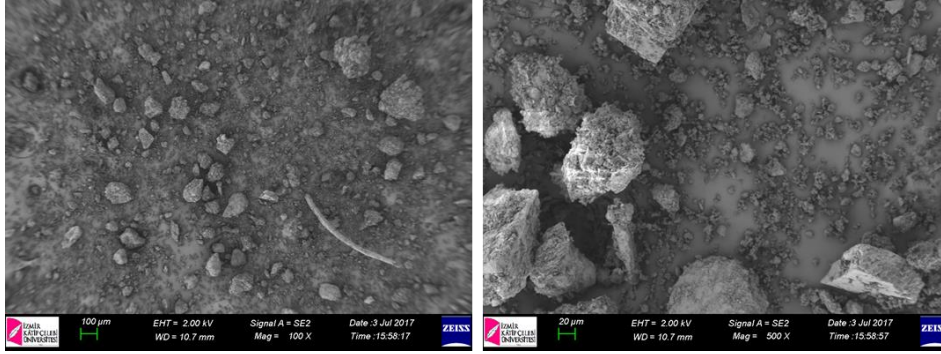
Şekil 5.9 : 40M20SD numunesine ait SEM görüntüleri.

70M10VC numunesine ait 500 ve 1000 kat büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10 : 70M10VC numunesine ait SEM görüntüleri.

11OM20K numunesine ait 100 ve 500 kat büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 : 11OM20K numunesine ait SEM görüntüleri.

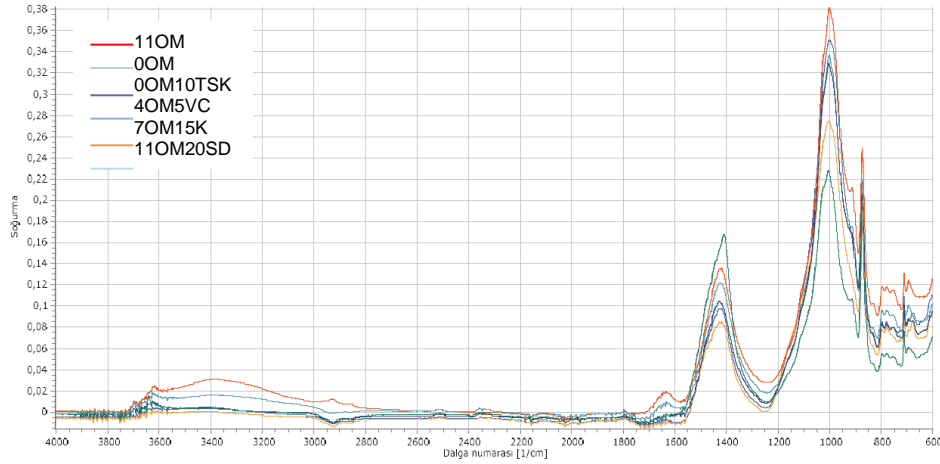
Elemater analiz sonucunda elde edilen numunelerin sahip olduğu ağırlıkça elementler yüzdesel olarak Çizelge 5.1’de listelenmiştir. Çizelge 5.1’ de incelendiğinde numunelerin sahip olduğu elementlerin neredeyse hepsinde aynı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca numunelerin ağırlıklı olarak Oksijen, Silisyum, Alüminyum ve Demir elementlerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.1 : Numunelere ait element oranları.

Element Numune	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Fe	S	P
00M	48,39	0,24	2,73	12,35	21,42	0,4	5,48	4,07	4,92	-	-
40M	39,26	0,35	1,03	6,61	38,71	0,25	1,32	-	12,45	-	-
70M	33,04	0,93	8,47	12,15	15,73	0,24	0,73	0,97	27,74	-	-
110M	51,17	2,03	1,46	14,59	23,99	0,47	1,23	0,86	4,21	-	-
00M5K	43,39	0,45	1,43	7,34	17,06	0,33	2,42	18,28	7,26	2,02	-
00M10TSK	49,83	1,06	2,07	7,38	15,72	0,46	1,78	16,86	4,84	-	-
00M15SD	46,88	0,48	1,9	9,17	18,62	0,39	2,41	15	5,14	-	-
00M20VC	44,66	1,2	1,99	9,24	20,73	0,6	2,4	10,14	9,04	-	-
40M10K	37,04	-	1,14	13,4	24,51	-	4,72	6,04	13,14	-	-
40M15TSK	40,18	-	1,29	17,72	25,56	-	7,29	2,66	3,41	0,92	0,97
40M20SD	46,59	0,47	6,28	9,86	16,91	-	4,06	3,92	11,91	-	-
40M5VC	41,46	5,54	1,86	10,55	22,36	-	1,15	9,93	7,14	-	-
70M20TSK	39,97	1,09	1,45	-	1,89	1,54	0,16	33,72	3,67	3,31	13,22
70M5SD	44,87	-	7,1	11,47	18,9	-	4,95	-	12,8	-	-
70M10VC	54,95	-	0,32	1,19	43,54	-	-	-	-	-	-
110M20K	51,47	0,59	2,01	7,88	15,5	0,2	1,67	10,67	5,27	2,42	-
115TSK	56,24	-	13,62	1,19	2,14	-	-	26,82	-	-	-

### 5.1.7 Doğal ve katkıli numunelerin fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi sonuçları

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi sonucu elde edilen tipik FTIR spektrumları analizi yapılan tüm numuneler için Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : Numunelerin FTIR spektrumları.

Şekil 5.12’de görüldüğü gibi tüm numunelerin spektrumları birbirlerine oldukça benzer elde edilmiştir. Oluşan spektrum kimyasal bir bağı ve fonksiyonel bir grubu ifade etmektedir. Bu bağlar ve gruplar için literatürden elde edilen sınır koşulları ve bu çalışmada elde edilen spektrum değerleri Çizelge 5.2’de listelenmiştir.

Çizelge 5.2 : Mevcut çalışmadaki spektrum değerleri ve literatürdeki sınır değerler.

Pik pozisyonu (1/cm)		Önerilen tanım
Mevcut çalışma	Literatür	
711-713	712-715	Kalsit içindeki temel $\text{CO}_3^{2-}$ titreşimleri <sup>a,b,c,d</sup>
777-797	795-800, 775-780	Kuvars içindeki simetrik Si – O gerilmeleri <sup>c,d,e</sup>
	666-800	Amitlerdeki düzlem dışı NH <sup>d</sup>
	675-900	Aromatik halka C – H bağlarının düzlem dışı eğilmeleri <sup>d</sup>
872-874	866-887	Kalsit içindeki temel $\text{CO}_3^{2-}$ titreşimleri ve dolomit ve kalsit grupları mineralleri <sup>a,b,c,d</sup>
999-1005	1000-1100	$\text{PO}_4^{3-}$ grupları ile ilişkili titreşimler <sup>d,f</sup>
1409-1428	1330-1420	Simetrik $\text{COO}^-$ gerilme titreşimleri <sup>d,g</sup>
3391-3641	3400-3600	Su, karboksil ve hidroksil gruplarındaki O – H bağı gerilmeleri <sup>b,c,d,h,j</sup>
	3622-3698	Kaolindeki O – H bağı gerilmeleri <sup>d,j,k,l</sup>

<sup>a</sup> Huang ve Kerr (1960)

<sup>b</sup> Nguyen ve diğ. (1991)

<sup>c</sup> Ravisankar ve diğ. (2011)

<sup>d</sup> Silverstein ve diğ. (2014)

<sup>e</sup> Reig ve diğ. (2002)

<sup>f</sup> He ve diğ. (2007)

<sup>g</sup> Hay ve Myneni (2007)

<sup>j</sup> Simkovic ve diğ. (2008)

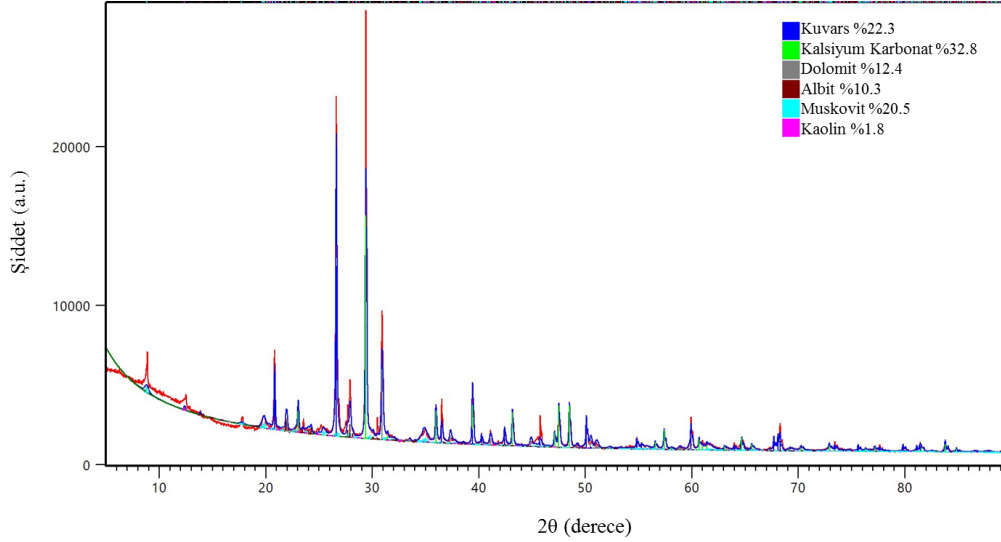
<sup>k</sup> Ellerbrock ve Gerke (2004)

<sup>l</sup> Provenzano ve diğ. (2000)

Çizelge 5.2 incelendiğinde elde edilen spektrum değerlerinin literatürdeki çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca SEM elemanter analizinde elde edilen elementlerin varlığının FTIR analizi ile de kanıtlandığı görülmektedir.

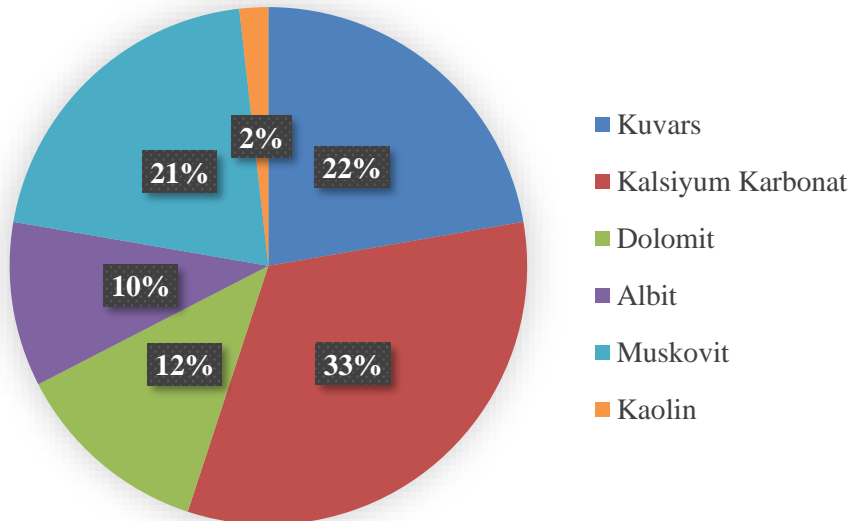
### 5.1.8 Doğal numunenin X – ışını kırınımı (XRD) analizi sonucu

X – ışını kırınımı (XRD) analizi sonucu elde edilen pikler Şekil 5.13’te gösterilmiştir.



Şekil 5.13: XRD analizi sonucu elde edilen pikler.

Bu piklere karşılık gelen mineral ve bileşiklerin radyal dağılımını veren grafik Şekil 5.14’te gösterilmiştir.



Şekil 5.14: XRD analizi sonucu elde edilen mineral ve bileşiklerin yüzde dağılımı.

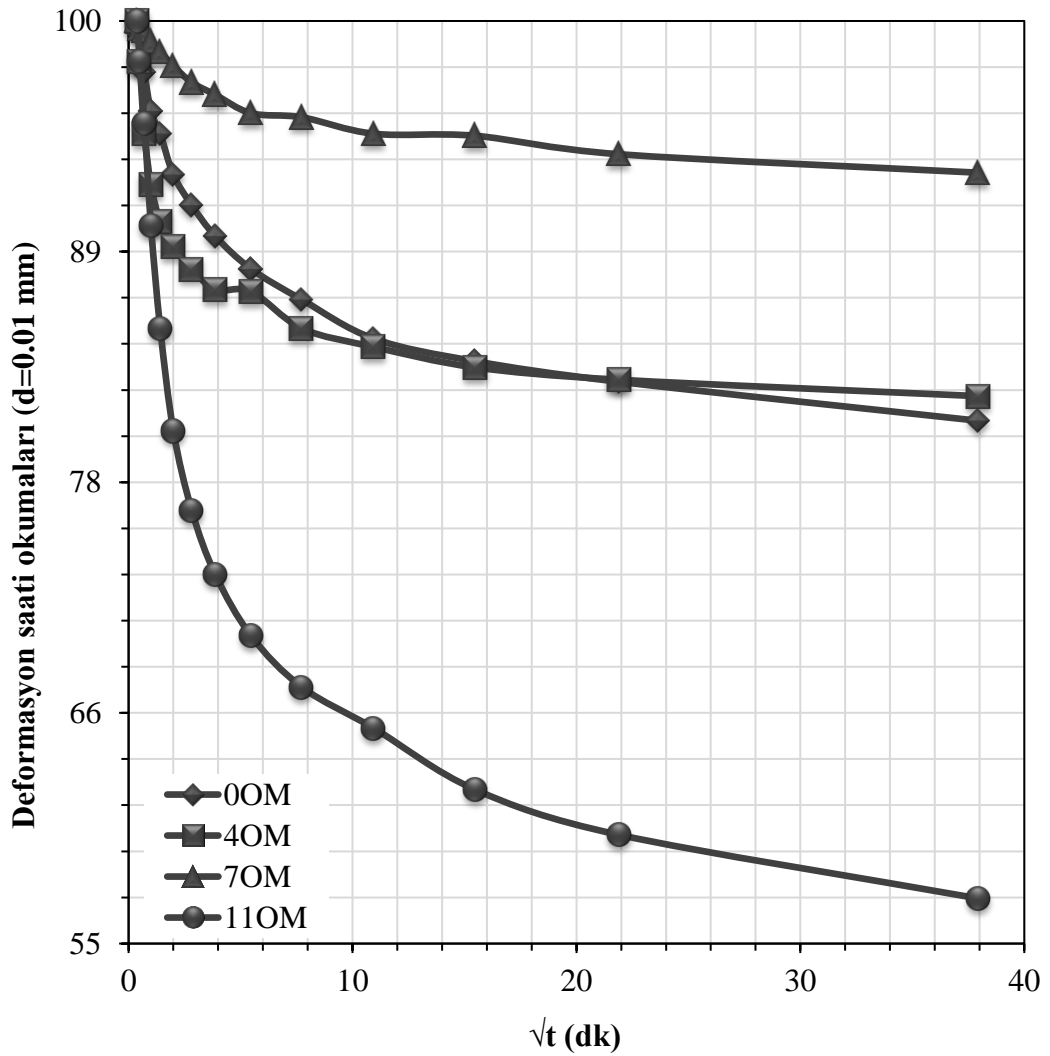
Şekil 5.14 incelendiğinde elde edilen sonuçların FTIR analizinden elde edilen sonuçlar ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

## 5.2 Tarama Malzemesinin Sıkışma Özellikleri

Bu bölümde hem doğal haldeki tarama malzemelerinin hem de katkıli numunelerin tek boyutlu konsolidasyon deneyi sonuçları alt başlıklar halinde verilmiştir.

### 5.2.1 Doğal tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri sonuçları

Doğal tarama malzemelerinin tek eksenli konsolidasyon deneylerinden elde edilen körekök zaman – deformasyon saati okumaları grafikleri  $1 \text{ kg/cm}^2$  yüklemesi için Şekil 5.15'te gösterilmiştir.



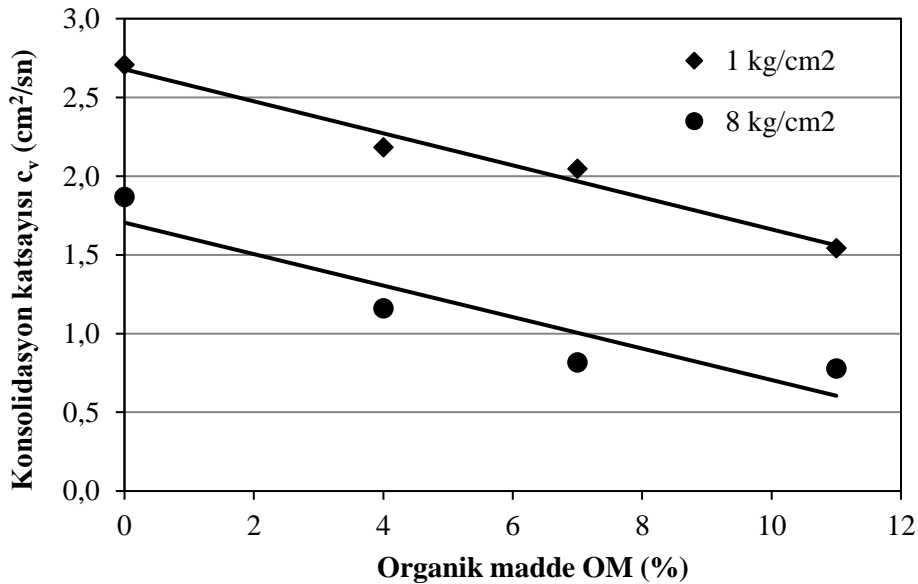
Şekil 5.15 : Doğal tarama malzemelerinin zamana bağlı düşey deformasyonları ( $1 \text{ kg/cm}^2$ ).

Şekil 5.15’de görüldüğü üzere karekök zaman – deformasyon saati okumaları grafikleri Casagrande’nin logaritma zaman yöntemini kullanmak için uygun olmadığından konsolidasyon katsayılarının ( $c_v$ ) hesabında Taylor (1948) tarafından bulunun Karekök Zaman yönteminden elde edilen  $t_{90}$  değerleri kullanılmıştır. Her bir tarama malzemesi için elde edilen konsolidasyon katsayıları ( $c_v$ ) Çizelge 5.3’te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.3:** Farklı yükleme kademeleri için konsolidasyon katsayıları ( $c_v$ ).

Konsolidasyon katsayısı $c_v$ ( $10^{-3}$ ) ( $\text{cm}^2/\text{sn}$ )				
Yükleme ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	0OM	4OM	7OM	11OM
0.25	2,58	2,51	2,54	2,44
0.50	2,63	2,57	1,67	1,84
1.00	2,71	2,18	2,05	1,54
2.00	2,63	2,00	1,45	1,65
4.00	2,90	1,57	1,62	1,18
8.00	1,87	1,16	8,16	7,78
2.00	1,29	1,25	1,22	7,82
0.50	1,26	1,05	8,06	7,75

1  $\text{kg}/\text{cm}^2$  ve 8  $\text{kg}/\text{cm}^2$  yüklemeleri için konsolidasyon katsayısı ile organik madde arasındaki ilişkiyi ifade eden grafik Şekil 5.16’da gösterilmiştir.



**Şekil 5.16 :**  $C_v$ – OM ilişkisi (1  $\text{kg}/\text{cm}^2$  ve 8  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

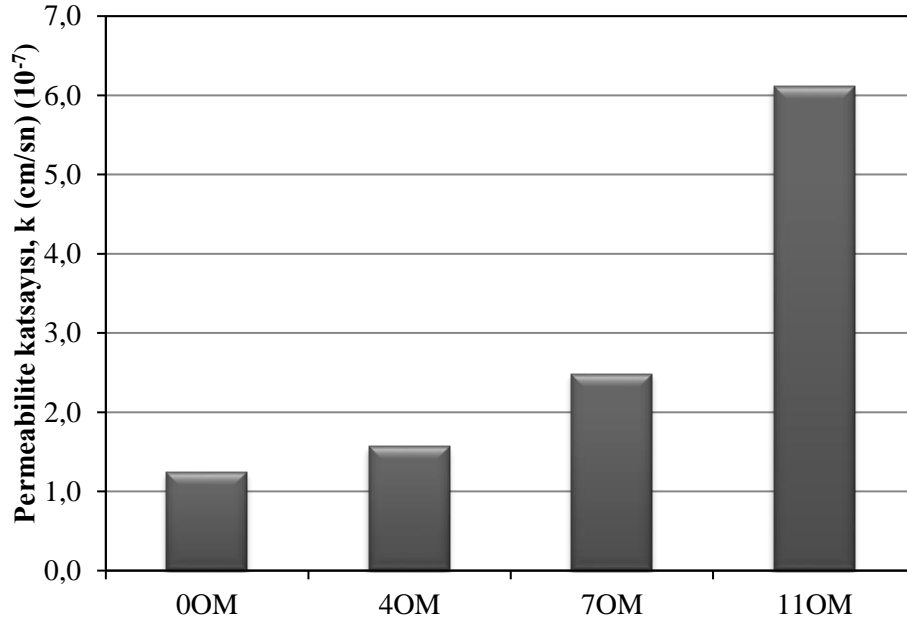
Şekil 5.16’da görüldüğü üzere organik madde miktarı arttıkça konsolidasyon katsayısında ( $c_v$ ) azalma olduğu belirlenmiştir. Organik madde miktarı arttıkça

oturmanın artması nedeniyle drenaj yüksekliği azalmış buna bağlı olarak da  $c_v$  azalmıştır.

Konsolidasyon katsayıları belirlendikten sonra Denklem 5.5'te gösterilen bağıntı kullanılarak permeabilite katsayıları ( $k$ ) elde edilmiştir.

$$k = m_v \times c_v \quad (5.5)$$

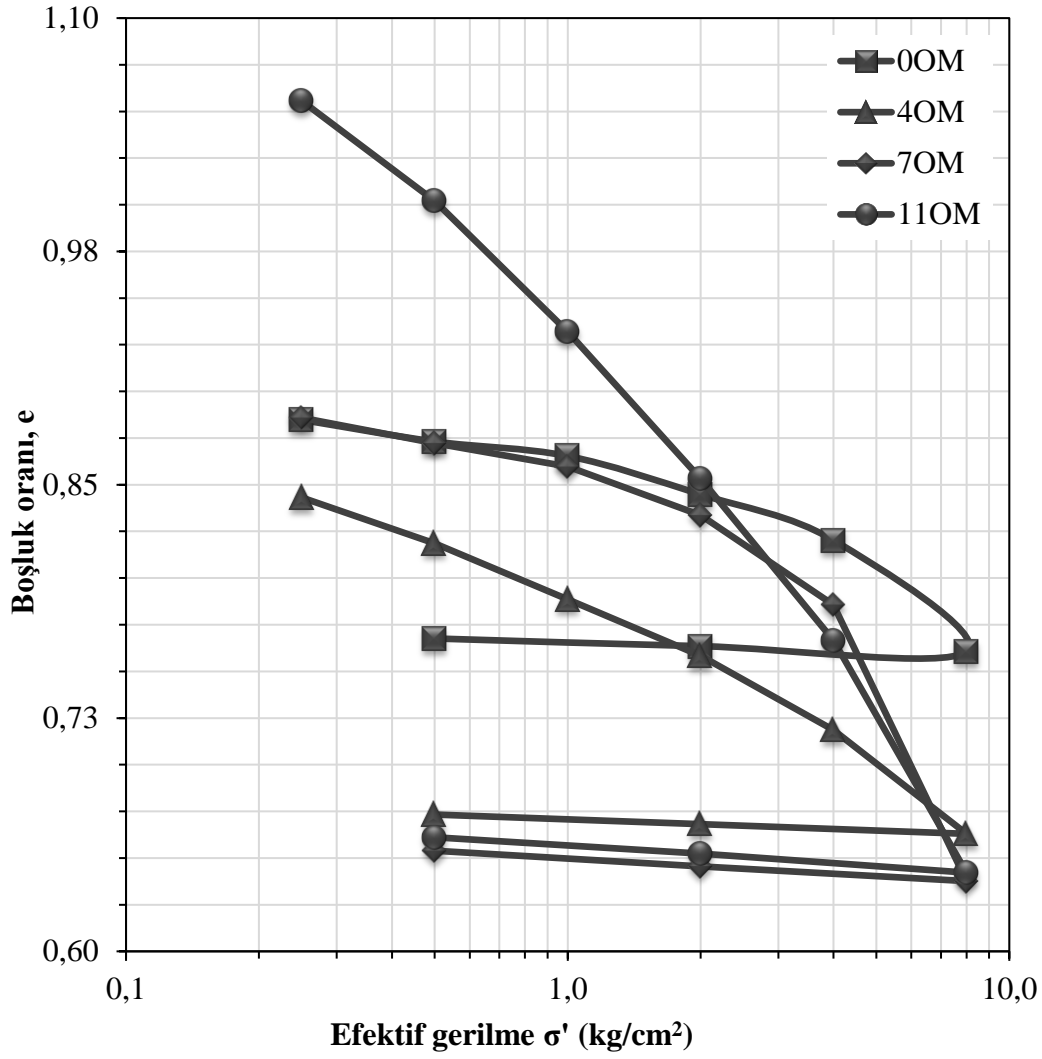
0.25 kg/cm<sup>2</sup> yükleme kademesi için organik madde miktarı ile permeabilite katsayısı arasındaki ilişki Şekil 5.17'de gösterilmiştir.



Şekil 5.17 : k – OM ilişkisi.

Şekil 5.17 incelendiğinde organik madde miktarı arttıkça permeabilite katsayısının da arttığı görülmüştür. Bunun nedeni organik madde miktarı arttıkça boşluk oranı değişiminin artması ve buna bağlı olarak da hacimsel sıkışabilirlik katsayısının ( $m_v$ ) büyük ölçüde artmasıdır.

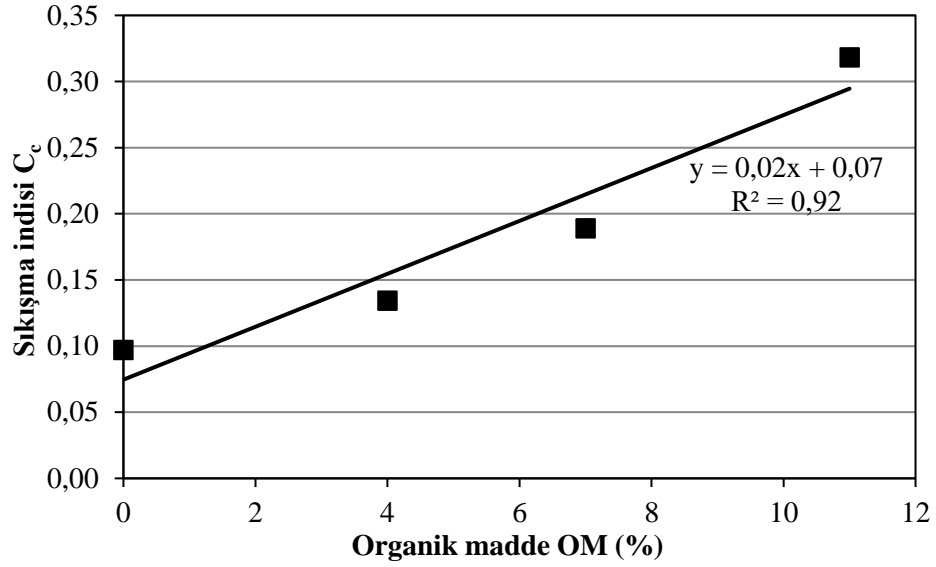
Konsolidasyon deneylerinin bir diğer sonucu olan boşluk oranı ( $e$ ) – logaritmik efektif gerilme ( $\log \sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.18'de verilmiştir.



**Şekil 5.18** : Doğal tarama malzemelerinin  $e - \log \sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.18'de görüldüğü üzere organik madde oranı arttıkça boşluk oranı değişimi de artış göstermiştir. Bu grafiklerin 2 kg/cm<sup>2</sup> ile 4 kg/cm<sup>2</sup> yüklemeleri arasında kalan doğruların eğimlerinden numunelerin sıkışma indisleri ( $C_c$ ) elde edilmiştir. Yüklerin boşaltılması sırasında, 8 kg/cm<sup>2</sup> ile 2 kg/cm<sup>2</sup> yüklemeleri arasında kalan doğruların eğimlerinden ise şişme indisleri ( $C_s$ ) elde edilmiştir. Organik madde içeriği ile sıkışma indisi ilişkisi Şekil 5.19'da gösterilmiştir.



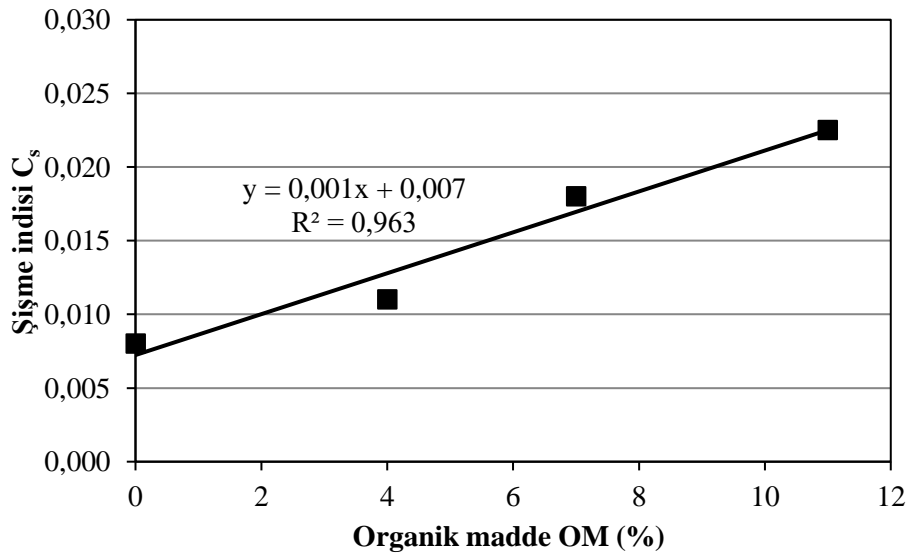


**Şekil 5.19 :** Doğal tarama malzemelerinin C<sub>c</sub>– OM ilişkisi.

Şekil 5.19’da görüldüğü üzere organik madde içeriği arttıkça sıkışma indisi değeri de artmıştır. Bunun nedeni organik madde miktarı arttıkça numunelerin daha fazla oturma yapması buna bağlı olarak boşluk oranı değişimlerinin daha büyük olmasıdır. Organik madde ile sıkışma indisi arasındaki ilişkiyi veren korelasyon Denklem 5.6’da gösterilmiştir. Korelasyonun regresyon katsayısının ( $R^2 = 0.92$ ) ise 1’e oldukça yakın olduğu görülmüştür.

$$C_c = -0.0195 \times OM + 0.072 \quad (5.6)$$

Organik madde içeriği ile şişme indisi arasındaki ilişki Şekil 5.20’de gösterilmiştir.

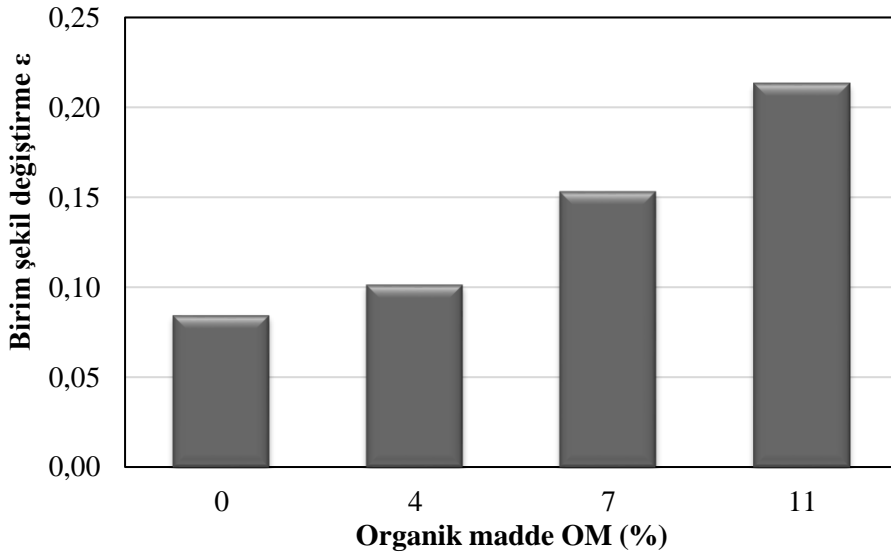


**Şekil 5.20 :** Doğal tarama malzemelerinin C<sub>s</sub> – OM ilişkisi.

Şekil 5.20’de görüldüğü üzere organik madde içeriği arttıkça şişme indisi değeri de artmıştır. Bunun nedeni organik madde miktarı arttıkça numunelerin daha fazla şişme yapması buna bağlı olarak boşluk oranı değişimlerinin daha büyük olmasıdır. Organik madde ile şişme indisi arasındaki ilişkiyi veren korelasyon Denklem 5.7’de gösterilmiştir. Korelasyonun regresyon katsayısının ( $R^2 = 0.96$ ) ise 1.0’a oldukça yakın olduğu görülmüştür.

$$C_s = 0.0012 \times OM + 0.0064 \quad (5.7)$$

Konsolidasyon deneyleri sonrasında numunelerin yaptığı toplam oturma değeri numunelerin ilk boylarına bölünerek birim şekil değiştirme ( $\epsilon$ ) değerleri elde edilmiştir. Birim şekil değiştirmeler ile organik madde içeriği arasındaki ilişkiyi veren grafik Şekil 5.21’de gösterilmiştir. Şekil 5.21’de görüldüğü üzere organik madde içeriği arttıkça birim şekil değiştirme miktarı da artmıştır. Bunun nedeni organik madde miktarı arttıkça numunelerin daha fazla deformasyon yapmasıdır.



Şekil 5.21 : Doğal tarama malzemelerinin  $\epsilon$ – OM ilişkisi.

Organik madde içeriği ile aralarındaki ilişki verilmiş olan sıkışma indisi, şişme indisi ve birim şekil değiştirme değerleri Çizelge 5.4’te listelenmiştir.

**Çizelge 5.4 :** Doğal tarama malzemelerinin  $C_c$ ,  $C_s$  ve  $\epsilon$  değerleri.

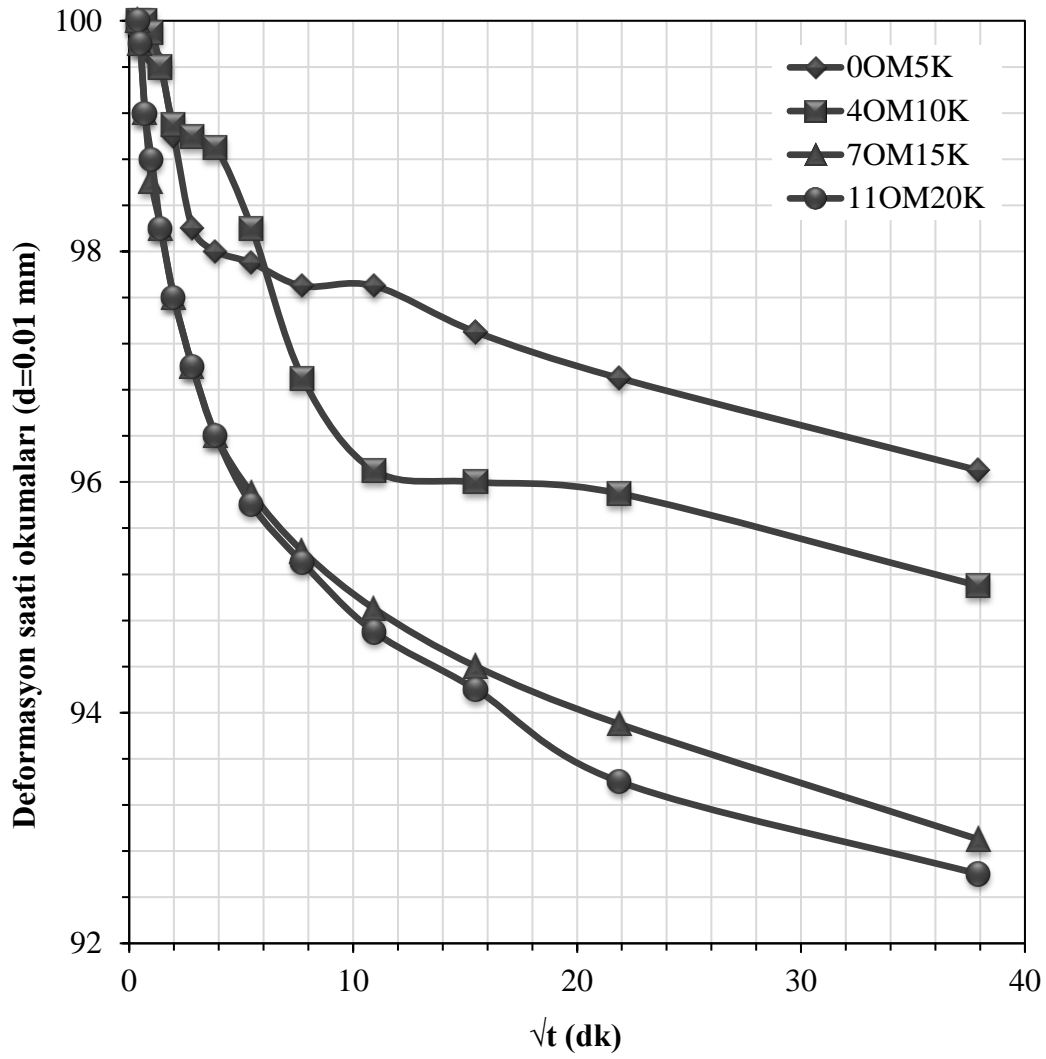
Numune	Sıkışma indisi, $C_c$	Şişme indisi, $C_s$	Birim şekil değiştirme, $\epsilon$
0OM	0.097	0.008	0.085
4OM	0.134	0.011	0.102
7OM	0.189	0.018	0.153
11OM	0.318	0.023	0.213

### **5.2.2 Katkılı tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri sonuçları**

Doğal tarama malzemelerinin konsolidasyon parametreleri belirlendikten sonra her bir tarama malzemesi kireç (K), termik santral uçucu külü (TSK), silis dumanı (SD) ve volkan cürufu (VC) ile karıştırılıp tek eksenli konsolidasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

#### **5.2.2.1 Kireç katkı tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri sonuçları**

Kireç katkı tarama malzemelerinin tek eksenli konsolidasyon deneylerinden elde edilen körekök zaman – deformasyon saati okumaları grafikleri  $1 \text{ kg/cm}^2$  yüklemesi için Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.22 :** Kireç katkılı numunelerin zamana bağlı düşey deformasyonları (1 kg/cm<sup>2</sup>).

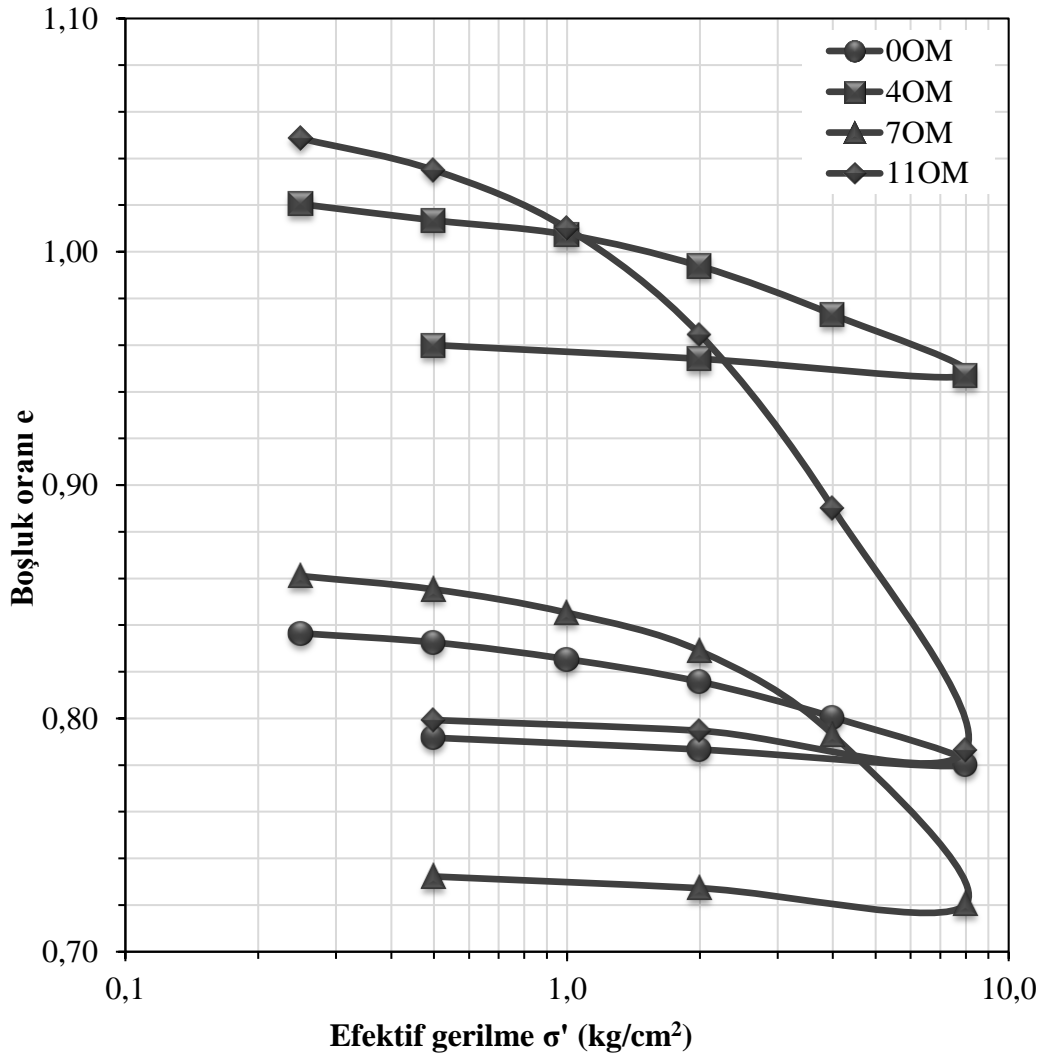
Doğal numunelerde olduğu gibi kireç katkılı numuneler de karekök zaman yöntemine uyduğu için konsolidasyon katsayılarının ( $c_v$ ) hesabında bu grafiklerden elde edilen  $t_{90}$  değerleri kullanılmıştır. Kireç katkılı farklı organik madde içeriğine sahip numunelerin 1 kg/cm<sup>2</sup> ve 4 kg/cm<sup>2</sup> yükleme kademelerindeki konsolidasyon katsayıları ( $c_v$ ) Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.5 :** Kireç katkılı numunelerin  $c_v$  (cm<sup>2</sup>/sn) değerleri.

Numune	1 kg/cm <sup>2</sup>	4 kg/cm <sup>2</sup>
0OM5K	0.0036	0.0034
0OM10K	0.0043	0.0034
0OM15K	0.0043	0.0030
0OM20K	0.0031	0.0031
4OM5K	0.0025	0.0035
4OM10K	0.0022	0.0026

4OM15K	0.0054	0.0059
4OM20K	0.0022	0.0032
7OM5K	0.0022	0.0019
7OM10K	0.0041	0.0031
7OM15K	0.0017	0.0039
7OM20K	0.0021	0.0020
11OM5K	0.0028	0.0029
11OM10K	0.0018	0.0026
11OM15K	0.0057	0.0063
11OM20K	0.0054	0.0022

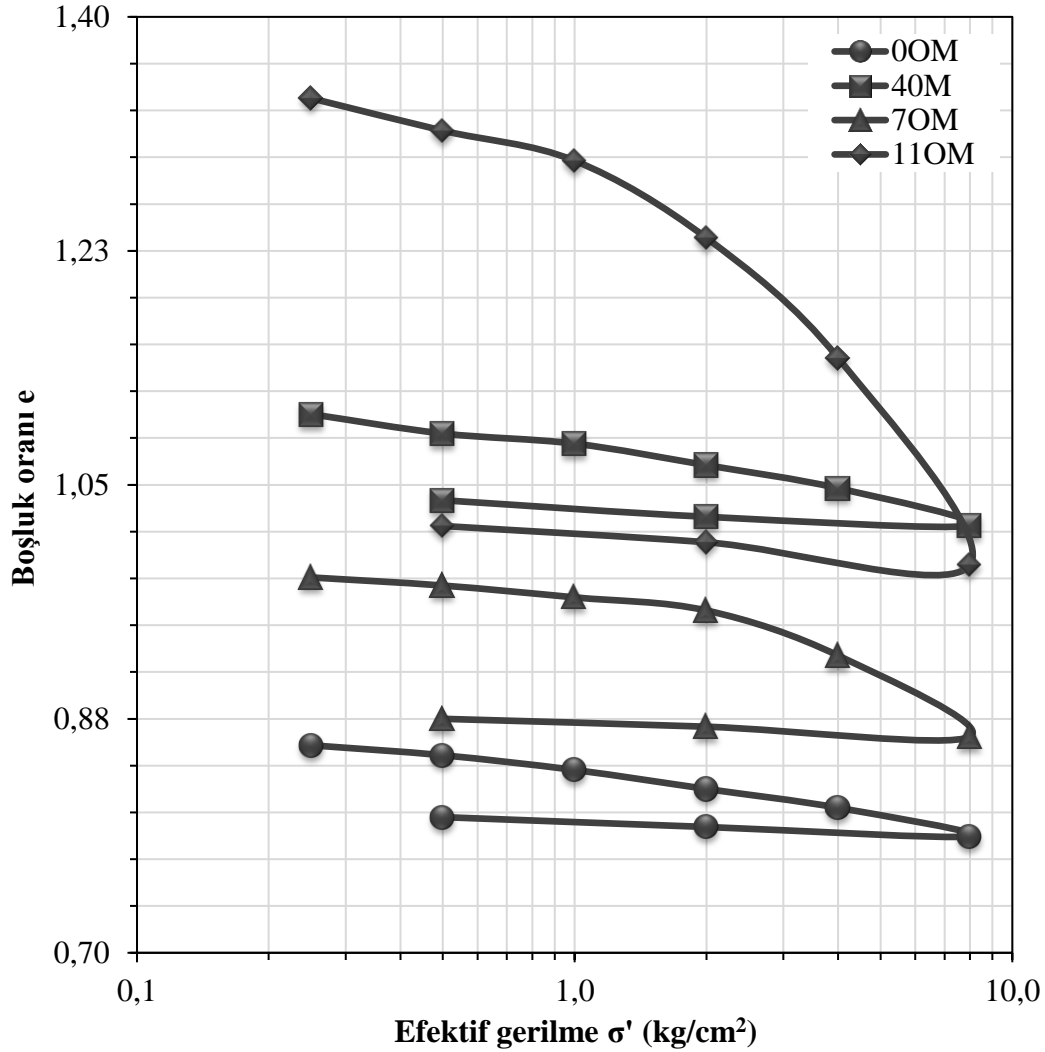
%5 kireç içeren numunelerin boşluk oranı (e) – logaritmik efektif gerilme ( $\log\sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.23'te gösterilmiştir.



Şekil 5.23 : %5 kireç katkılı tarama malzemelerinin e –  $\log\sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.23 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %68 oranında azaldığı, 4OM numunesi için %64 oranında azaldığı, 7OM numunesi için %44 oranında azaldığı ve 11OM numunesi için ise %34 oranında azaldığı görülmüştür.

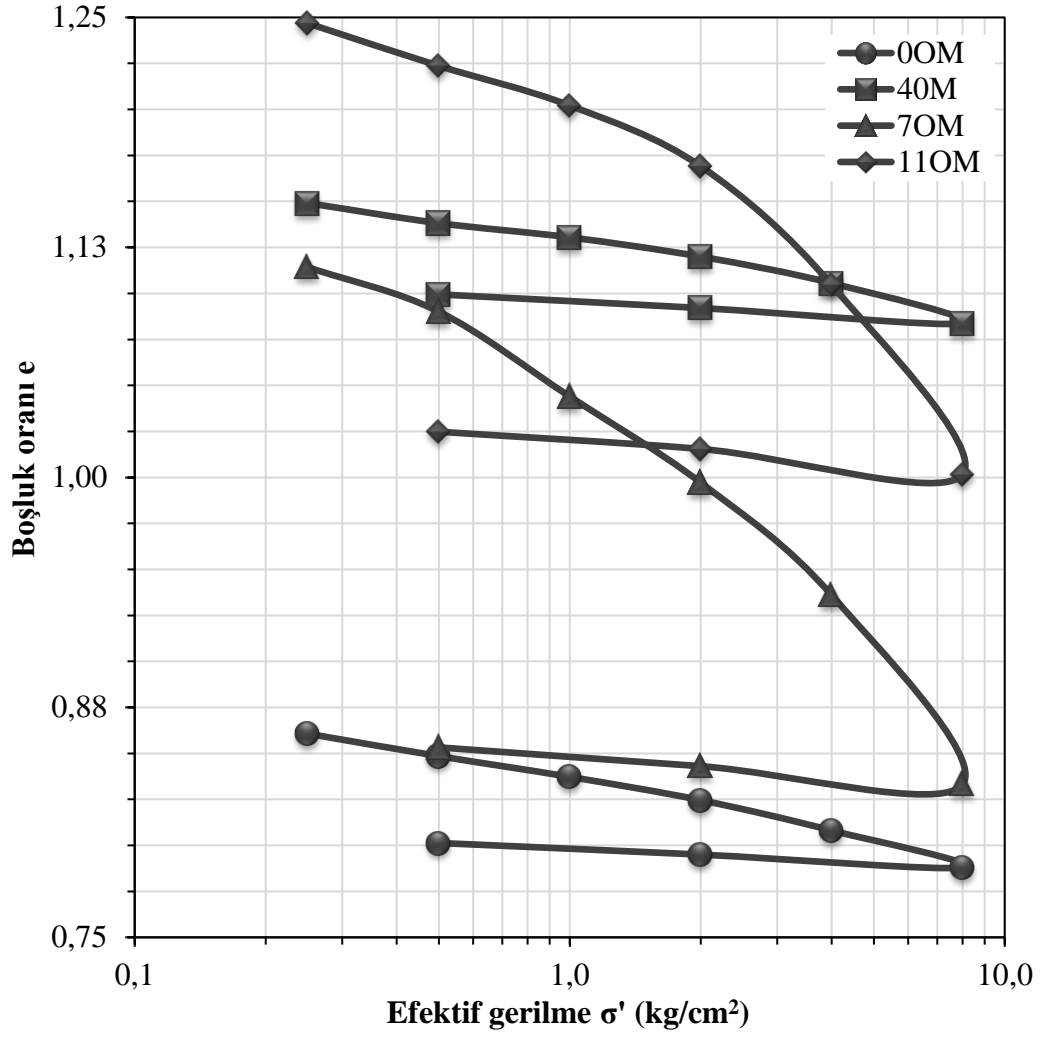
%10 kireç içeren numunelerin boşluk oranı (e) – logaritmik efektif gerilme ( $\log\sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.24'te gösterilmiştir.



Şekil 5.24 : %10 kireç katkılı tarama malzemelerinin e –  $\log\sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.24 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %61 oranında azaldığı, 4OM numunesi için %61 oranında azaldığı, 7OM numunesi için %54 oranında azaldığı ve 11OM numunesi için ise %15 oranında azaldığı görülmüştür.

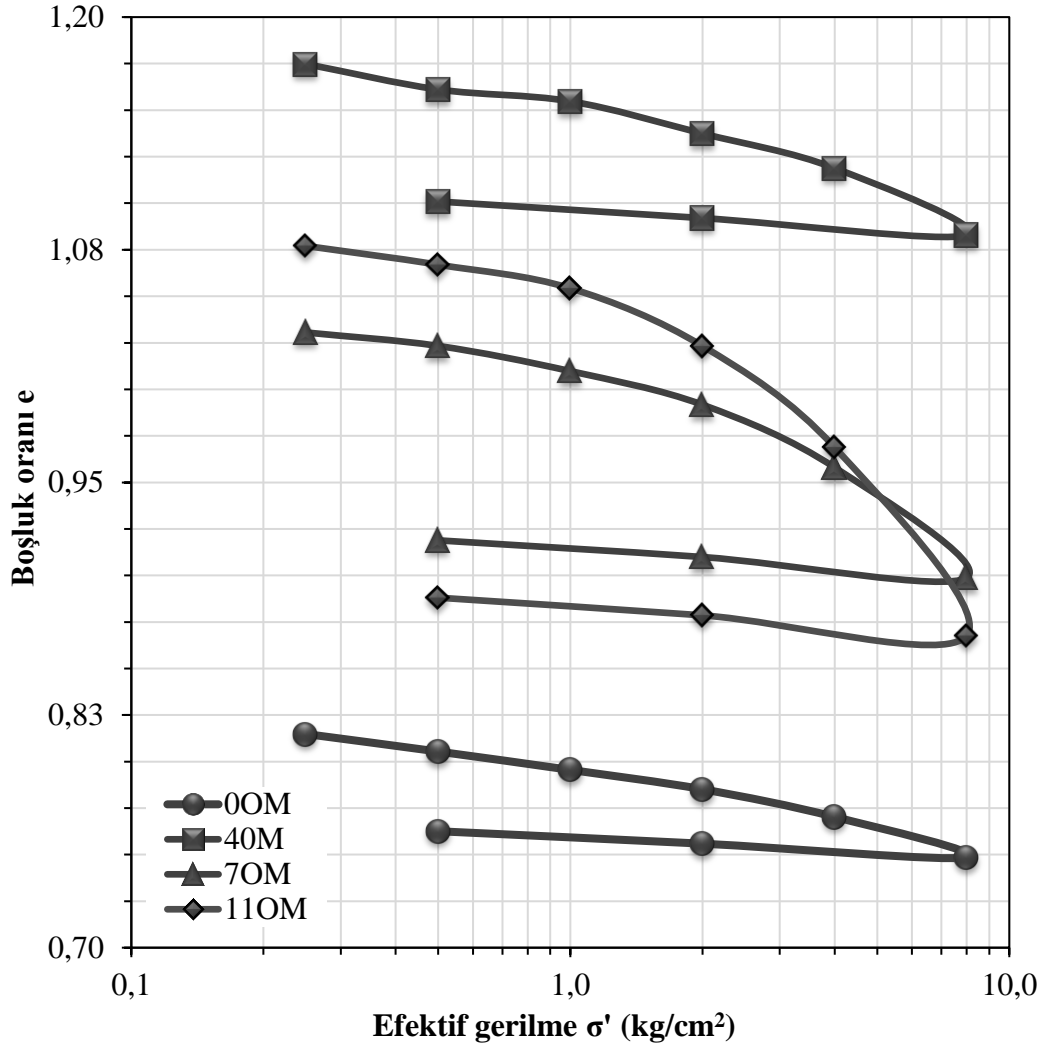
%15 kireç içeren numunelerin boşluk oranı (e) – logaritmik efektif gerilme ( $\log\sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



**Şekil 5.25 :** %15 kireç katkılı tarama malzemelerinin  $e - \log \sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.25 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %58 oranında azaldığı, 4OM numunesi için %70 oranında azaldığı, 7OM numunesi için %42 oranında azaldığı ve 11OM numunesi için ise %41 oranında azaldığı görülmüştür.

%20 kireç içeren numunelerin boşluk oranı ( $e$ ) – logaritmik efektif gerilme ( $\log \sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.26'da gösterilmiştir.

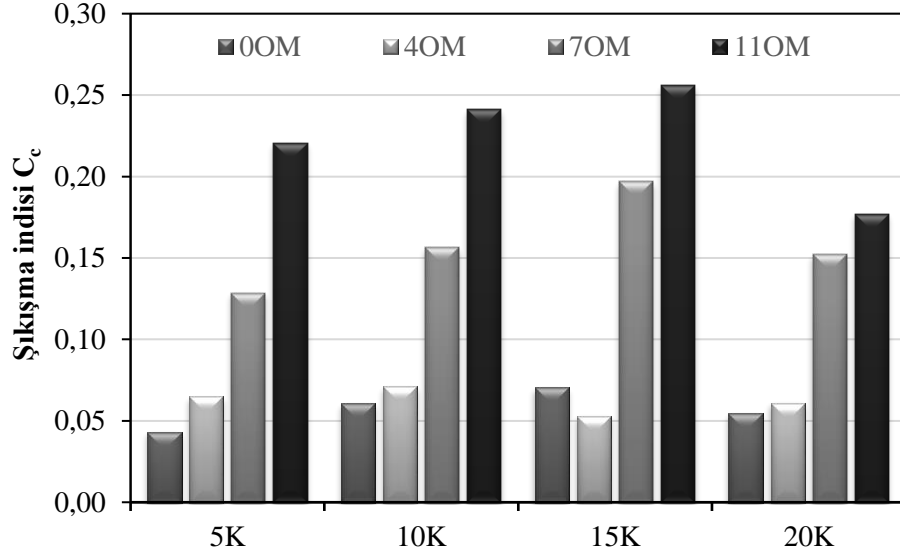


**Şekil 5.26** : %20 kireç katkılı tarama malzemelerinin  $e - \log \sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.26 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %63 oranında azaldığı, 4OM numunesi için %55 oranında azaldığı, 7OM numunesi için %52 oranında azaldığı ve 11OM numunesi için ise %50 oranında azaldığı görülmüştür.

Doğal numunelerde olduğu gibi boşluk oranı – efektif gerilme grafiklerinin 2 kg/cm<sup>2</sup> ile 4 kg/cm<sup>2</sup> yüklemeleri arasında kalan doğrularının eğimlerinden numunelerin sıkışma indisleri ( $C_c$ ) elde edilmiştir. Yüklerin boşaltılması sırasında, 8 kg/cm<sup>2</sup> ile 2 kg/cm<sup>2</sup> yüklemeleri arasında kalan doğruların eğimlerinden ise şişme indisleri ( $C_s$ ) elde edilmiştir. Organik madde içeriği ile sıkışma indisi arasındaki ilişkiyi veren grafik Şekil 5.27’de gösterilmiştir.

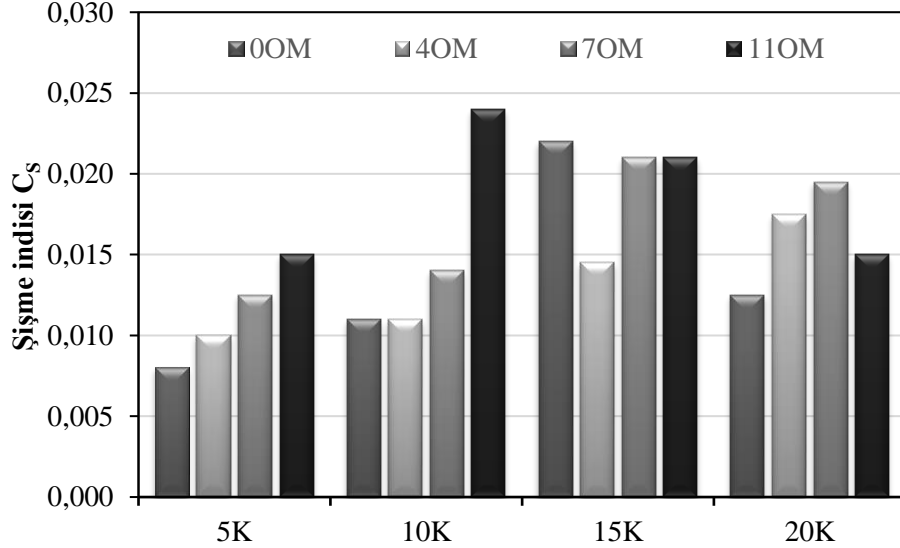




**Şekil 5.27 :** Kireç katkılı tarama malzemelerinin  $C_c$  – OM ilişkisi.

Şekil 5.27 incelendiğinde, genel olarak doğal numunelerde olduğu gibi organik madde miktarı arttıkça sıkışma indisi de artmıştır.

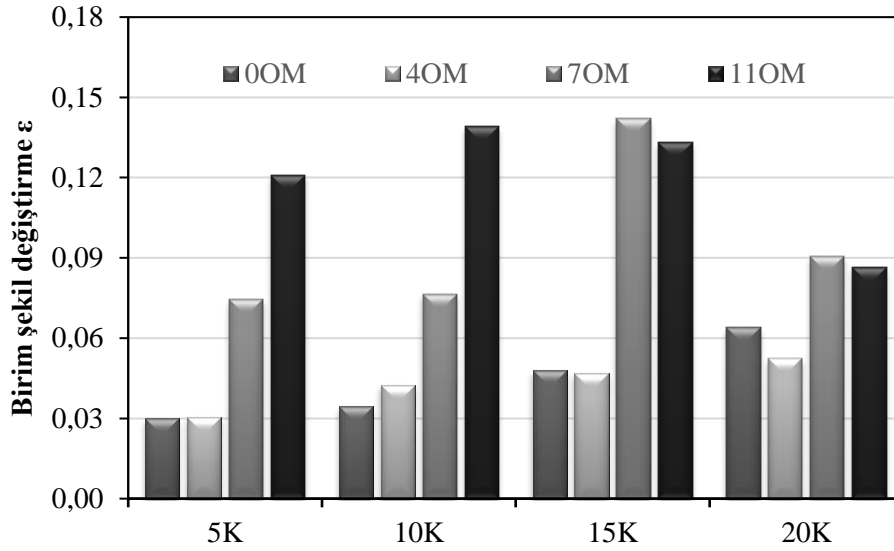
Organik madde içeriği ile şişme indisi arasındaki ilişki Şekil 5.28’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.28 :** Kireç katkılı tarama malzemelerinin  $C_s$  – OM ilişkisi.

Şekil 5.28 incelendiğinde, genel olarak her bir tarama malzemesi için en yüksek şişme indisi değeri %15 katkılı numunelerde, en düşük şişme indisi değeri ise %5 katkılı numunelerde elde edilmiştir. Bu eğilim yalnızca 4OM numunelerinde gözlenmemiştir; en yüksek şişme indisi %20 katkılı numunede görülürken en düşük şişme indisi %5 katkılı numunelerde görülmüştür.

Kireç katkılı numunelerin birim şekil değiştirme değerleri ile organik madde içeriği arasındaki ilişkiyi veren grafik Şekil 5.29’da gösterilmiştir.



**Şekil 5.29 :** Kireç katkılı tarama malzemelerinin  $\epsilon$  – OM ilişkisi.

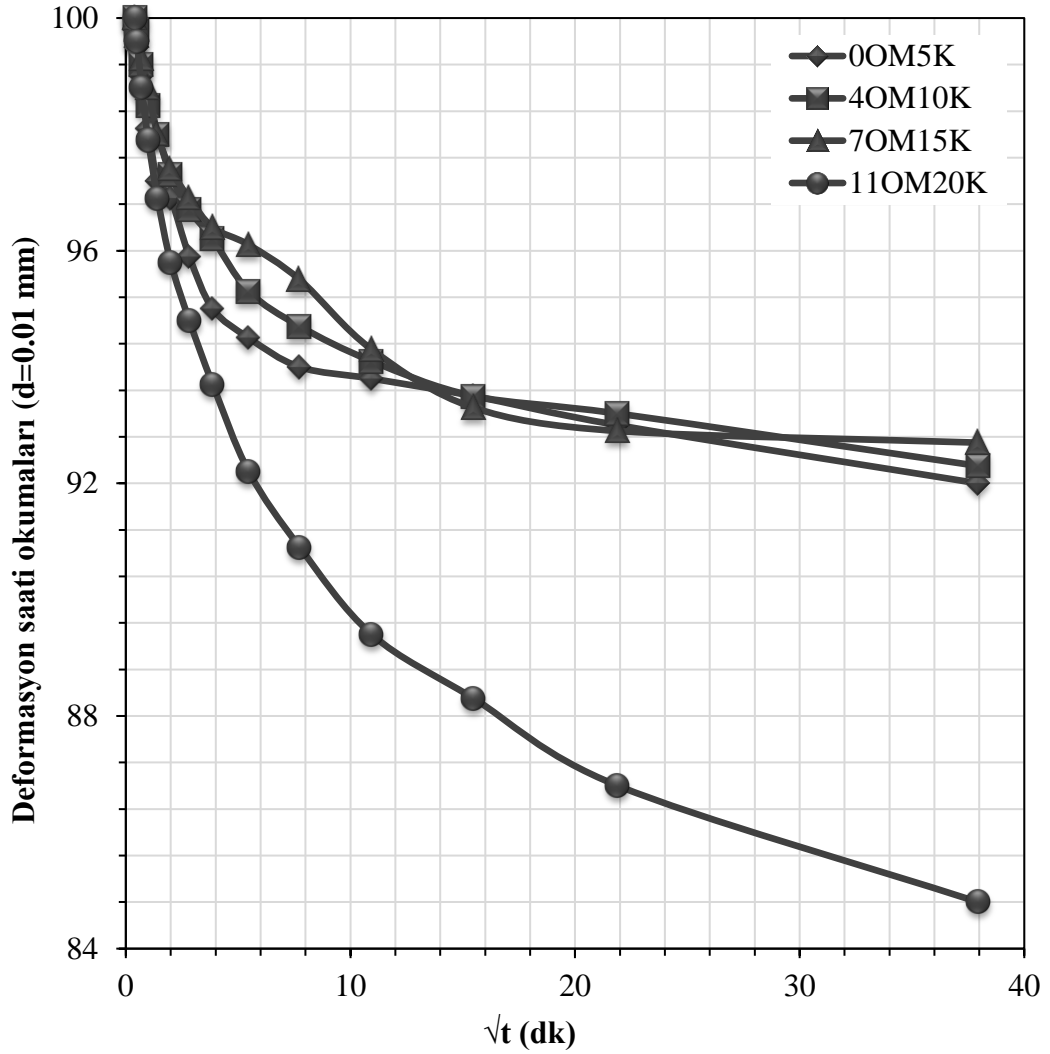
Şekil 5.29 incelendiğinde, en yüksek birim şekil değiştirme değeri 7OM15K numunesinde, en düşük birim şekil değiştirme değeri ise 0OM5K numunesinde görülmüştür. Kireç katkılı numunelerin, organik madde içeriğine bağlı elde edilen sıkışma indisi, şişme indisi ve birim şekil değiştirme değerleri Çizelge 5.6’da listelenmiştir.

**Çizelge 5.6 :** Kireç katkılı tarama malzemelerinin  $C_c$ ,  $C_s$  ve  $\epsilon$  değerleri.

Numune	Sıkışma indisi, $C_c$	Şişme indisi, $C_s$	Birim şekil değiştirme, $\epsilon$ (%)
0OM5K	0.043	0.008	3.0
0OM10K	0.061	0.011	3.5
0OM15K	0.071	0.022	4.8
0OM20K	0.055	0.013	6.4
4OM5K	0.065	0.010	3.1
4OM10K	0.071	0.011	4.3
4OM15K	0.053	0.015	4.7
4OM20K	0.061	0.018	5.3
7OM5K	0.129	0.013	7.5
7OM10K	0.157	0.014	7.7
7OM15K	0.197	0.021	14.2
7OM20K	0.152	0.020	9.1
11OM5K	0.221	0.015	12.1
11OM10K	0.241	0.024	13.9
11OM15K	0.256	0.021	13.3
11OM20K	0.177	0.015	8.7

### 5.2.2.2 Termik santral uçucu külü katkılı tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri sonuçları

Termik santral uçucu külü katkılı tarama malzemelerinin tek eksenli konsolidasyon deneylerinden elde edilen körekök zaman – deformasyon saati okumaları grafikleri 1 kg/cm<sup>2</sup> yüklemesi için Şekil 5.30’da gösterilmiştir.



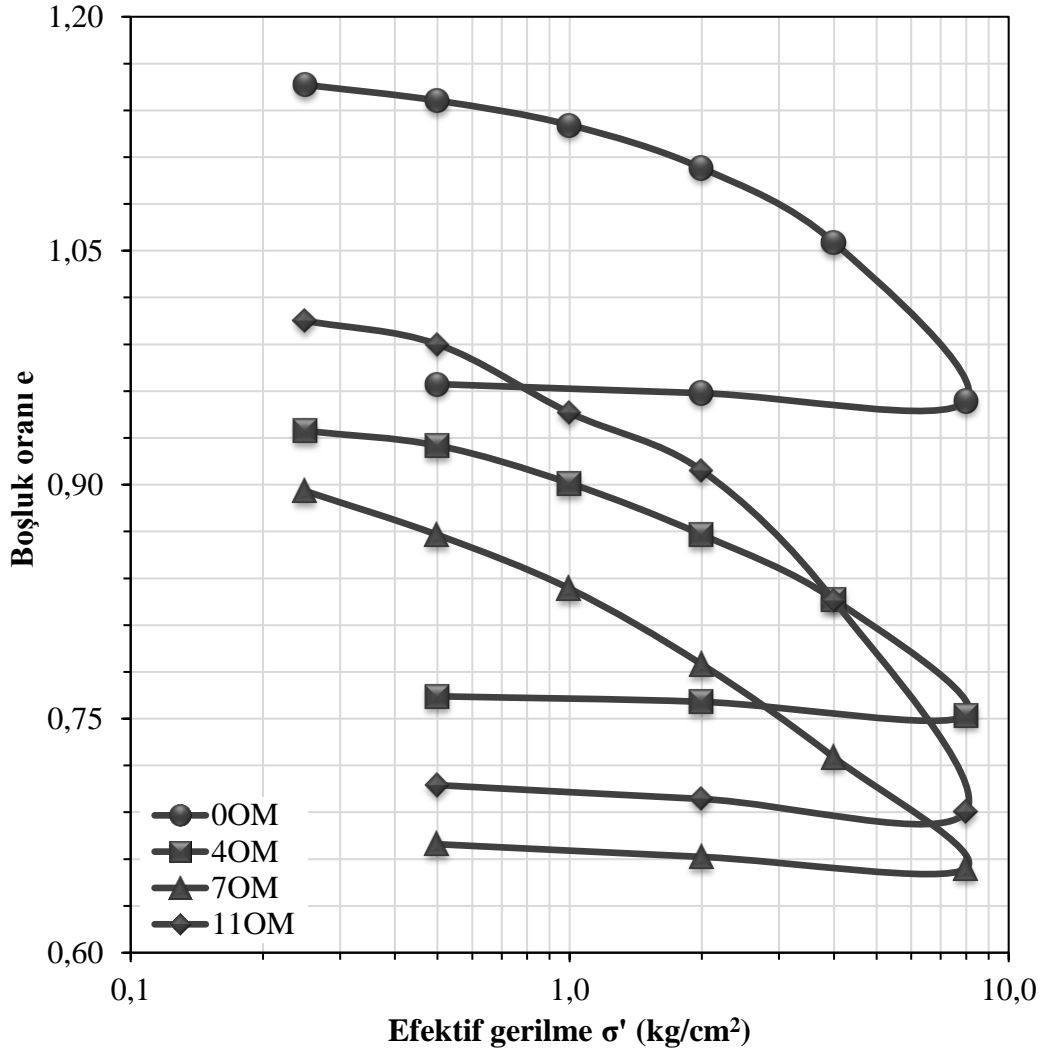
Şekil 5.30 : TSK katkılı numunelerin zamana bağlı düşey deformasyonları (1 kg/cm<sup>2</sup>).

Diğer numunelerde olduğu gibi TSK katkılı numuneler de Karekök Zaman yöntemine uyduğu için konsolidasyon katsayılarının ( $c_v$ ) hesabında bu grafiklerden elde edilen  $t_{90}$  değerleri kullanılmıştır. TSK katkılı farklı organik madde içeriğine sahip numunelerin 1 kg/cm<sup>2</sup> ve 4 kg/cm<sup>2</sup> yükleme kademelerindeki konsolidasyon katsayıları ( $c_v$ ) Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.7** : TSK katkılı numunelerin  $c_v$  ( $\text{cm}^2/\text{sn}$ ) değerleri.

Numune	1 $\text{kg}/\text{cm}^2$	4 $\text{kg}/\text{cm}^2$
0OM5TSK	0,0033	0,0021
0OM10TSK	0,0032	0,0016
0OM15TSK	0,0034	0,0028
0OM20TSK	0,0017	0,0020
4OM5TSK	0,0026	0,0024
4OM10TSK	0,0030	0,0020
4OM15TSK	0,0038	0,0048
4OM20TSK	0,0030	0,0021
7OM5TSK	0,0050	0,0034
7OM10TSK	0,0038	0,0034
7OM15TSK	0,0023	0,0031
7OM20TSK	0,0038	0,0034
11OM5TSK	0,0030	0,0032
11OM10TSK	0,0038	0,0020
11OM15TSK	0,0053	0,0053
11OM20TSK	0,0032	0,0027

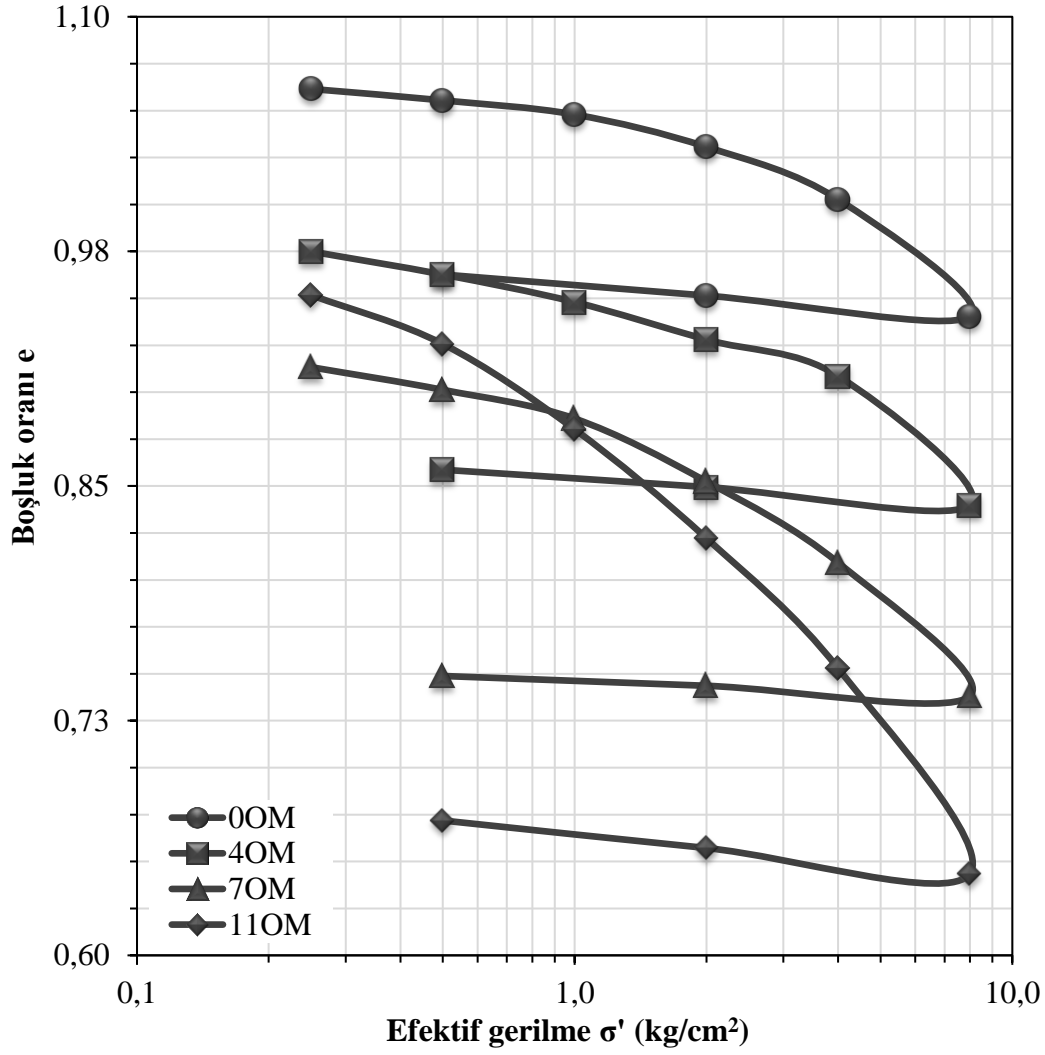
%5 TSK içeren numunelerin boşluk oranı ( $e$ ) – logaritmik efektif gerilme ( $\log\sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.31’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.31 :** %5 TSK katkılı tarama malzemelerinin  $e - \log \sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.31 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %52 oranında arttığı, 4OM numunesi için %2.4 oranında arttığı, 7OM numunesi için %2.6 oranında azaldığı ve 11OM numunesi için ise %21 oranında azaldığı görülmüştür.

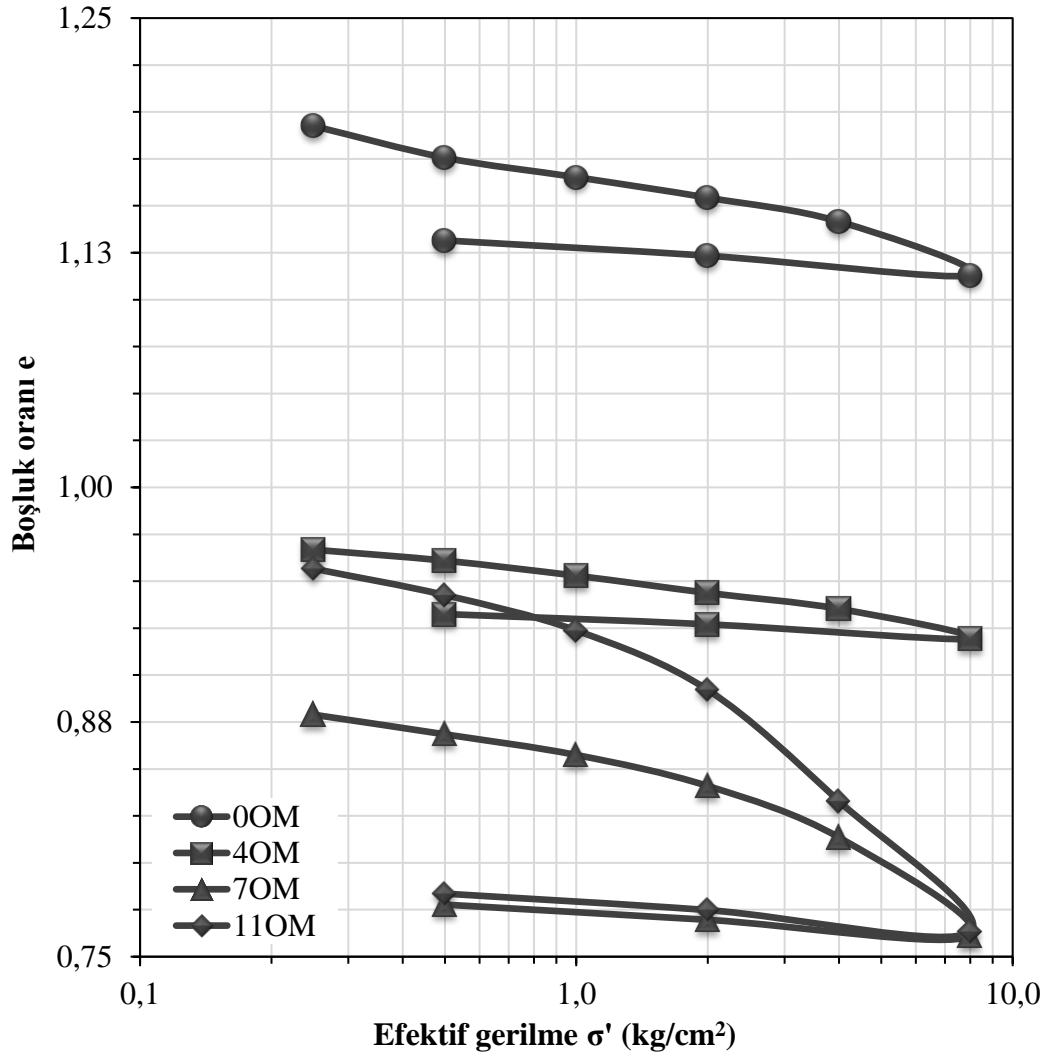
%10 TSK içeren numunelerin boşluk oranı ( $e$ ) – logaritmik efektif gerilme ( $\log \sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.32’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.32 :** %10 TSK katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.32 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %29 oranında azaldığı, 4OM numunesi için %30 oranında azaldığı, 7OM numunesi için %29 oranında azaldığı ve 11OM numunesi için ise %26 oranında azaldığı görülmüştür.

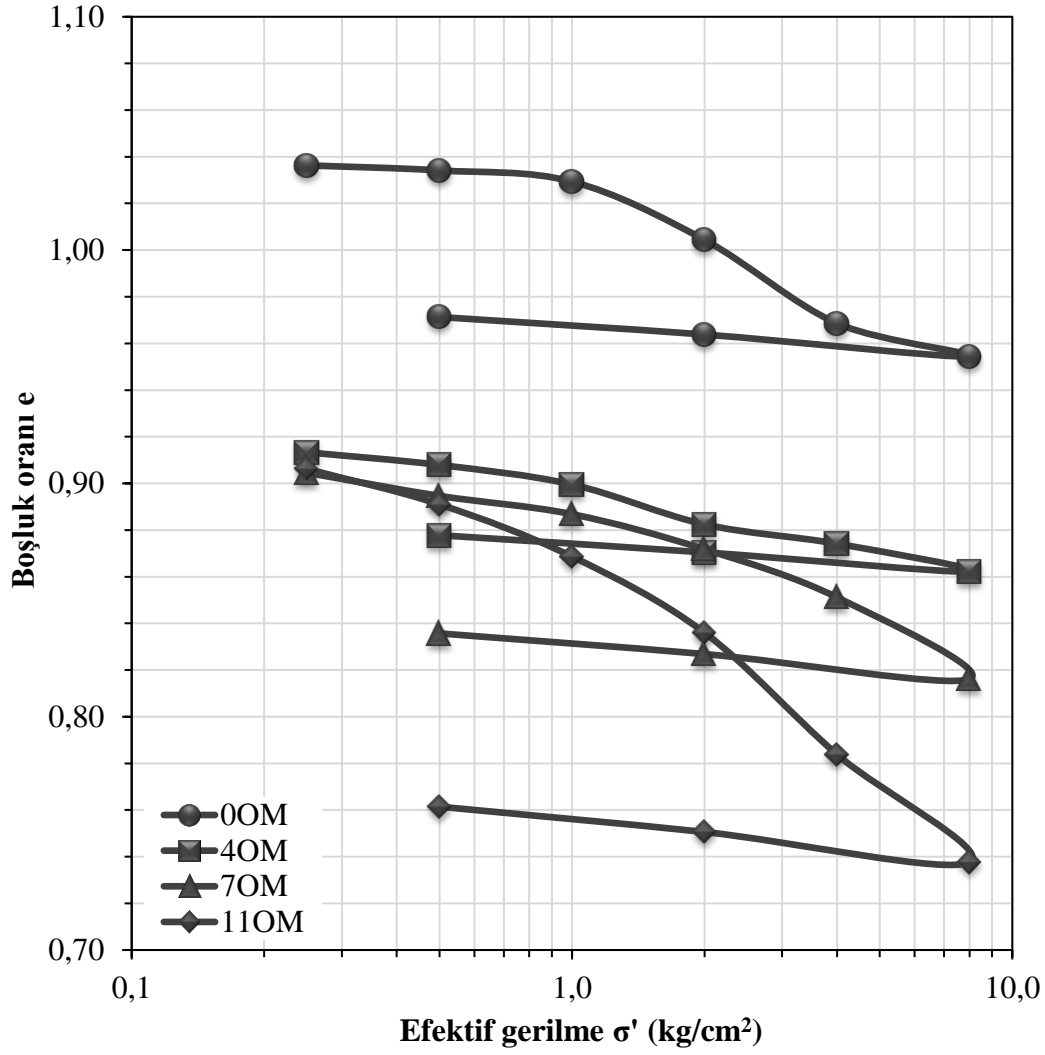
%15 TSK içeren numunelerin boşluk oranı (e) – logaritmik efektif gerilme (log $\sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.33'te gösterilmiştir.



**Şekil 5.33 :** %15 TSK katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.33 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %56 oranında azaldığı, 4OM numunesi için %80 oranında azaldığı, 7OM numunesi için %56 oranında azaldığı ve 11OM numunesi için ise %54 oranında azaldığı görülmüştür.

%20 TSK içeren numunelerin boşluk oranı (e) – logaritmik efektif gerilme (log $\sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.34'te gösterilmiştir.

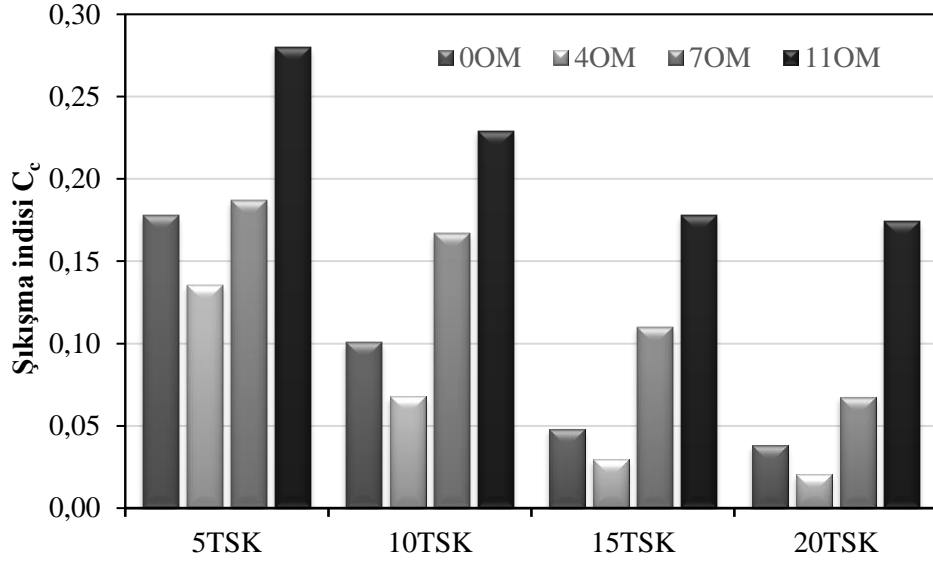


**Şekil 5.34** : %20 TSK katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.34 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %81 oranında azaldığı, 4OM numunesi için %78 oranında azaldığı, 7OM numunesi için %70 oranında azaldığı ve 11OM numunesi için ise %62 oranında azaldığı görülmüştür.

Diğer numunelerde olduğu gibi boşluk oranı – efektif gerilme grafiklerinin 2 kg/cm<sup>2</sup> ile 4 kg/cm<sup>2</sup> yüklemeleri arasında kalan doğrularının eğimlerinden numunelerin sıkışma indisleri ( $C_c$ ) elde edilmiştir. Yüklerin boşaltılması sırasında, 8 kg/cm<sup>2</sup> ile 2 kg/cm<sup>2</sup> yüklemeleri arasında kalan doğruların eğimlerinden ise şişme indisleri ( $C_s$ ) elde edilmiştir. Organik madde içeriği ile sıkışma indisi ilişkisi Şekil 5.35'te gösterilmiştir.

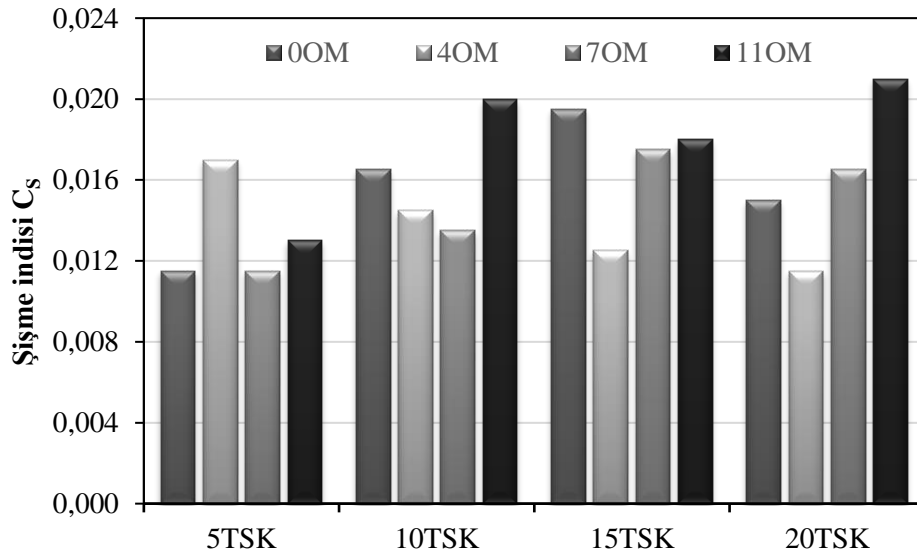




**Şekil 5.35 :** TSK katkılı tarama malzemelerinin  $C_c$  – OM ilişkisi.

Şekil 5.35 incelendiğinde, her bir tarama malzemesi için TSK miktarı arttıkça sıkışma indisinin azaldığı görülmüştür.

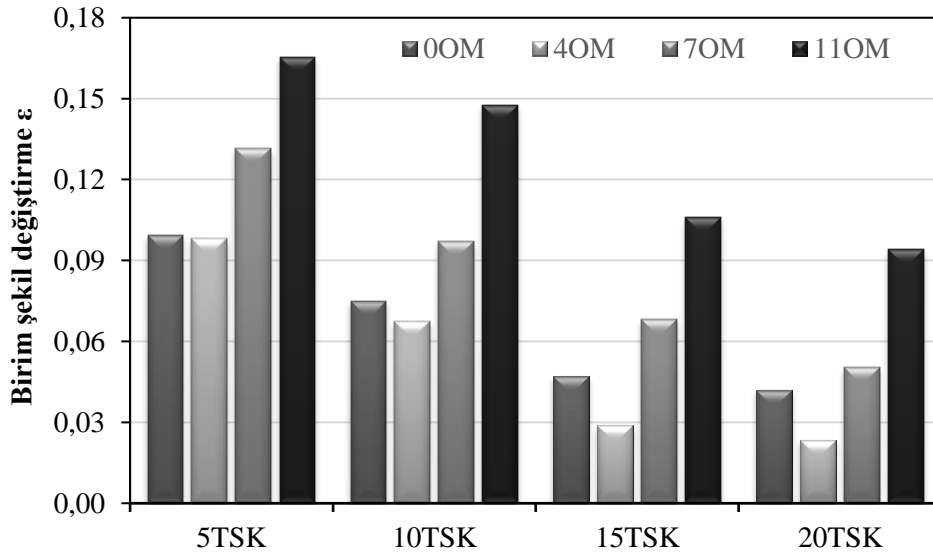
Organik madde içeriği ile şişme indisi arasındaki ilişki Şekil 5.36’da gösterilmiştir.



**Şekil 5.36 :** TSK katkılı tarama malzemelerinin  $C_s$  – OM ilişkisi.

Şekil 5.36 incelendiğinde, en yüksek şişme indisi değeri 11OM20TSK numunesinde, en düşük şişme indisi değeri ise 0OM5TSK ve 7OM5TSK numunelerinde görülmüştür.

TSK katkılı numunelerin birim şekil değiştirme değerleri ile organik madde içeriği arasındaki ilişkiyi veren grafik Şekil 5.37’de gösterilmiştir.



Şekil 5.37 : TSK katkılı tarama malzemelerinin  $\varepsilon$  – OM ilişkisi.

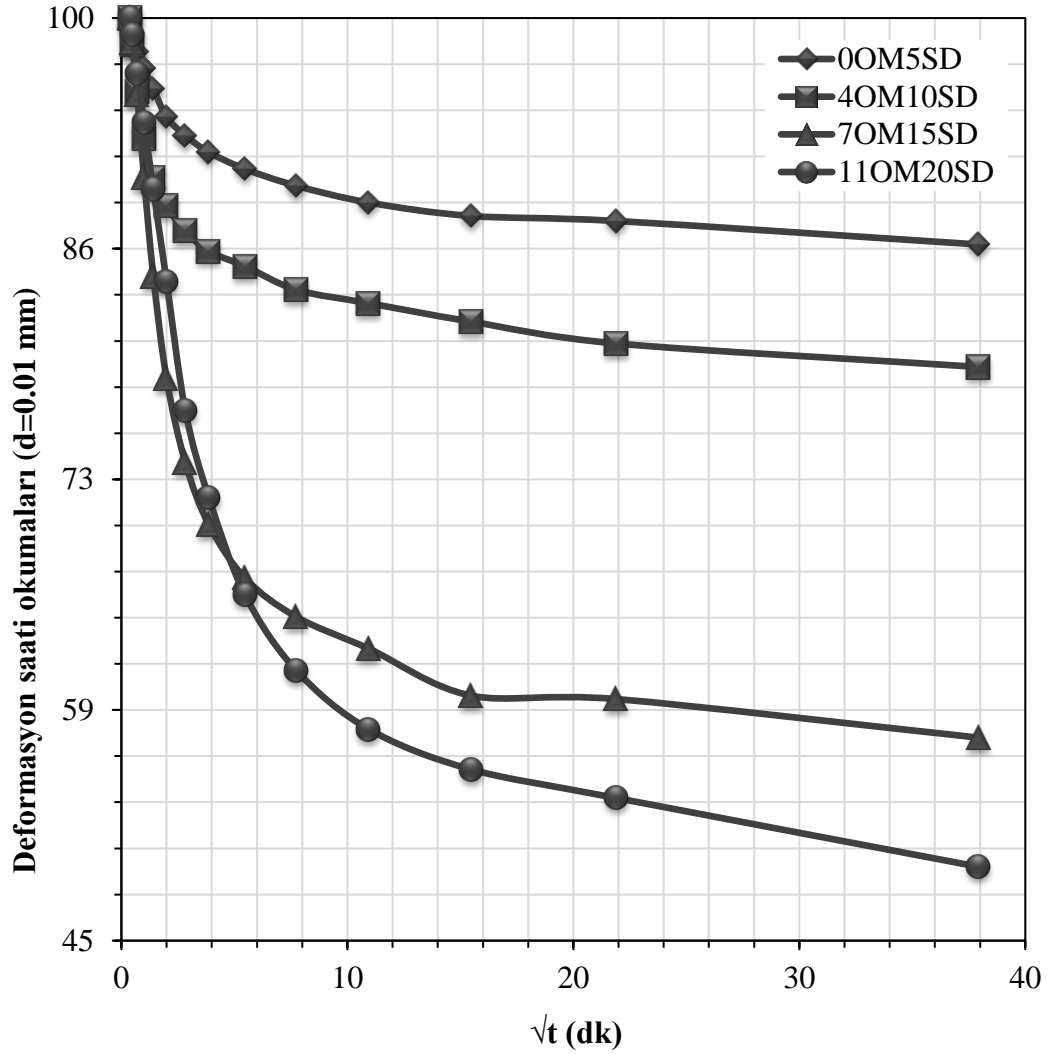
Şekil 5.37 incelendiğinde, her bir tarama malzemesi için TSK miktarı arttıkça birim şekil değiştirme değerinin azaldığı görülmüştür. TSK katkılı numuneler için, organik madde içeriği ile aralarındaki ilişki verilmiş olan sıkışma indisi, şişme indisi ve birim şekil değiştirme değerleri Çizelge 5.8’de listelenmiştir.

Çizelge 5.8 : TSK katkılı tarama malzemelerinin  $C_c$ ,  $C_s$  ve  $\varepsilon$  değerleri.

Numune	Sıkışma indisi, $C_c$	Şişme indisi, $C_s$	Birim şekil değiştirme, $\varepsilon$ (%)
0OM5TSK	0.178	0.012	3.0
0OM10TSK	0.101	0.017	3.5
0OM15TSK	0.048	0.020	4.8
0OM20TSK	0.038	0.015	6.3
4OM5TSK	0.136	0.017	3.1
4OM10TSK	0.068	0.015	4.3
4OM15TSK	0.030	0.013	4.7
4OM20TSK	0.021	0.012	5.3
7OM5TSK	0.187	0.012	7.5
7OM10TSK	0.167	0.014	7.7
7OM15TSK	0.110	0.018	14.2
7OM20TSK	0.068	0.017	9.1
11OM5TSK	0.280	0.013	12.1
11OM10TSK	0.229	0.020	13.9
11OM15TSK	0.178	0.018	13.3
11OM20TSK	0.174	0.021	9.4

### 5.2.2.3 Silis dumanı katkılı tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri sonuçları

Silis dumanı katkılı tarama malzemelerinin tek eksenli konsolidasyon deneylerinden elde edilen körekök zaman – deformasyon saati okumaları grafikleri  $1 \text{ kg/cm}^2$  yüklemesi için Şekil 5.38’de gösterilmiştir.



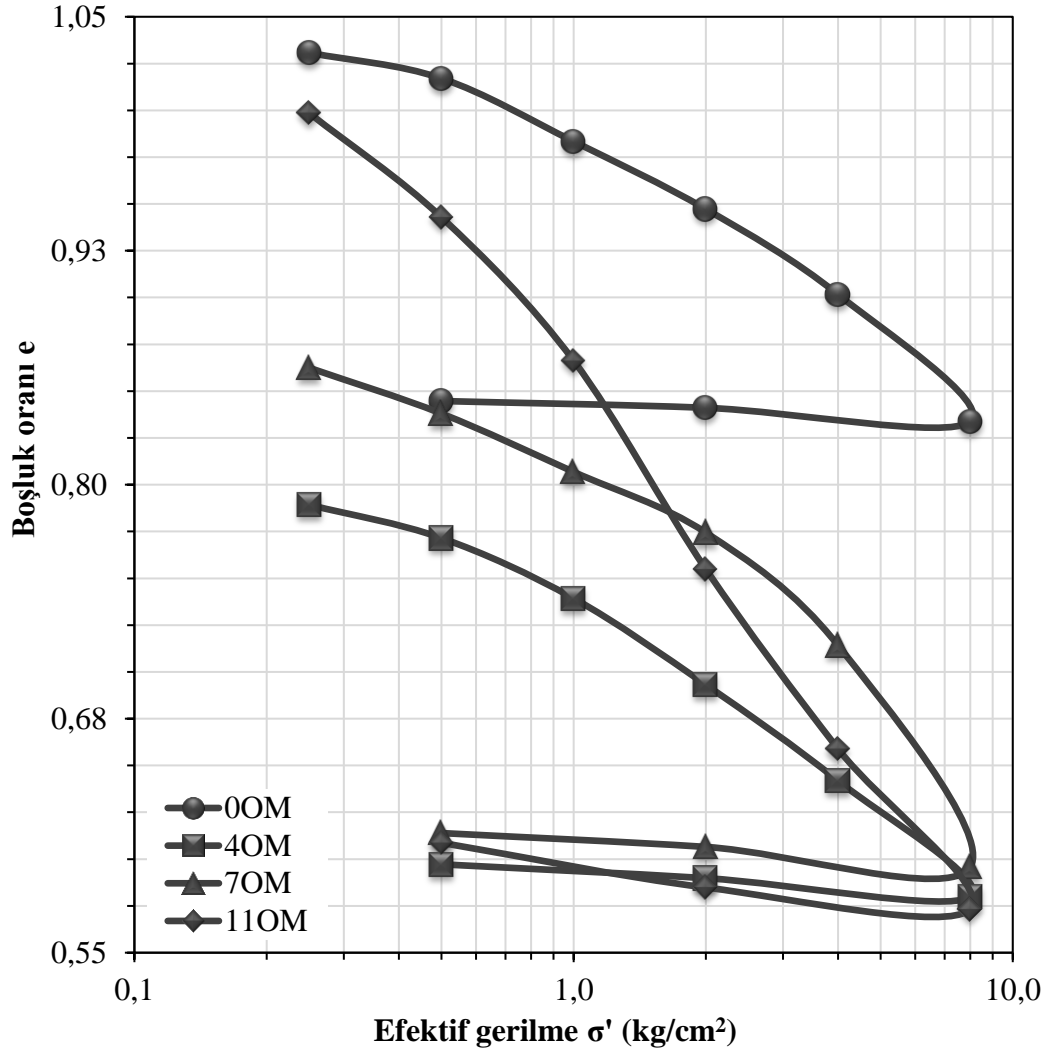
Şekil 5.38 : SD katkılı numunelerin zamana bağlı düşey deformasyonları ( $1 \text{ kg/cm}^2$ ).

Diğer numunelerde olduğu gibi SD katkılı numuneler de Karekök Zaman yöntemine uyduğu için konsolidasyon katsayılarının ( $c_v$ ) hesabında bu grafiklerden elde edilen  $t_{90}$  değerleri kullanılmıştır. SD katkılı farklı organik madde içeriğine sahip numunelerin  $1 \text{ kg/cm}^2$  ve  $4 \text{ kg/cm}^2$  yükleme kademelerindeki konsolidasyon katsayıları ( $c_v$ ) Çizelge 5.9’da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.9** : SD katkılı numunelerin  $c_v$  ( $\text{cm}^2/\text{sn}$ ) değerleri.

Numune	1 $\text{kg}/\text{cm}^2$	4 $\text{kg}/\text{cm}^2$
0OM5SD	0.0037	0.0019
0OM10SD	0.0038	0.0029
0OM15SD	0.0063	0.0059
0OM20SD	0.0025	0.0025
4OM5SD	0.0029	0.0020
4OM10SD	0.0027	0.0018
4OM15SD	0.0043	0.0037
4OM20SD	0.0021	0.0017
7OM5SD	0.0030	0.0026
7OM10SD	0.0036	0.0031
7OM15SD	0.0049	0.0045
7OM20SD	0.0023	0.0021
11OM5SD	0.0035	0.0026
11OM10SD	0.0025	0.0029
11OM15SD	0.0054	0.0031
11OM20SD	0.0021	0.0010

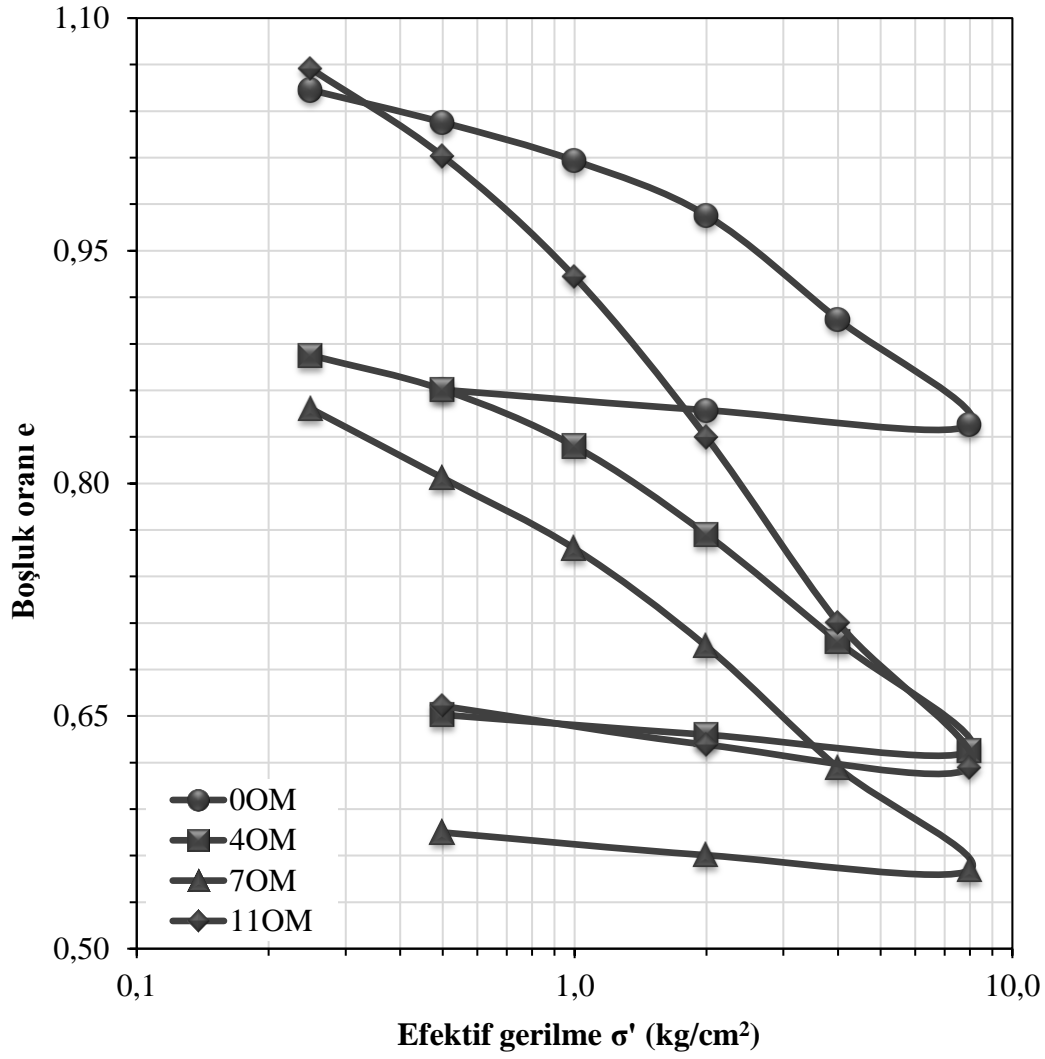
%5 SD içeren numunelerin boşluk oranı ( $e$ ) – logaritmik efektif gerilme ( $\log\sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.39’da gösterilmiştir.



Şekil 5.39 : %5 SD katkılı tarama malzemelerinin e – log $\sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.39 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %33 oranında arttığı, 4OM numunesi için %37 oranında arttığı, 7OM numunesi için %78 oranında arttığı ve 11OM numunesi için ise %179 oranında arttığı görülmüştür.

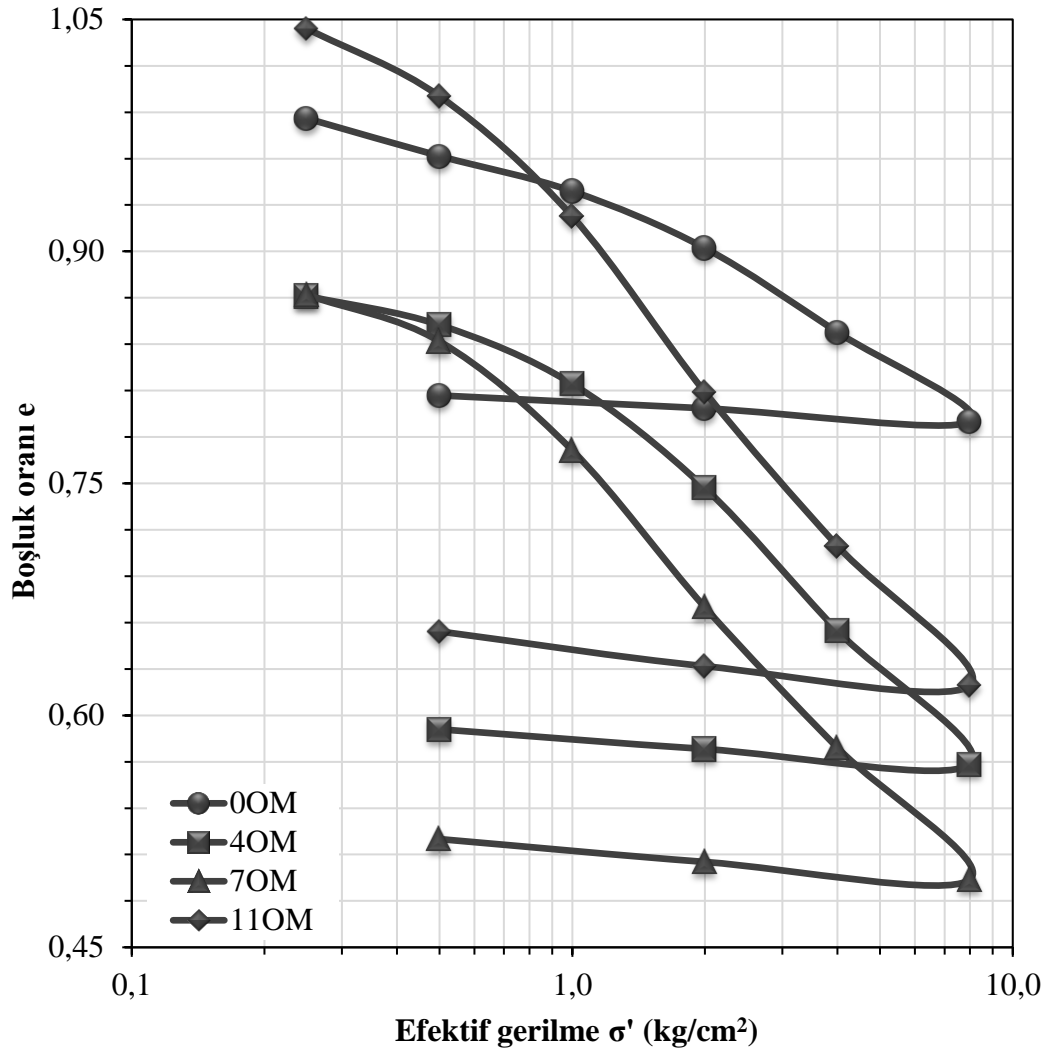
%10 SD içeren numunelerin boşluk oranı (e) – logaritmik efektif gerilme (log $\sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.40'da gösterilmiştir.



Şekil 5.40 : %10 SD katkılı tarama malzemelerinin  $e - \log \sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.40 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %16 oranında arttığı, 4OM numunesi için %40 oranında arttığı, 7OM numunesi için %64 oranında arttığı ve 11OM numunesi için ise %148 oranında arttığı görülmüştür.

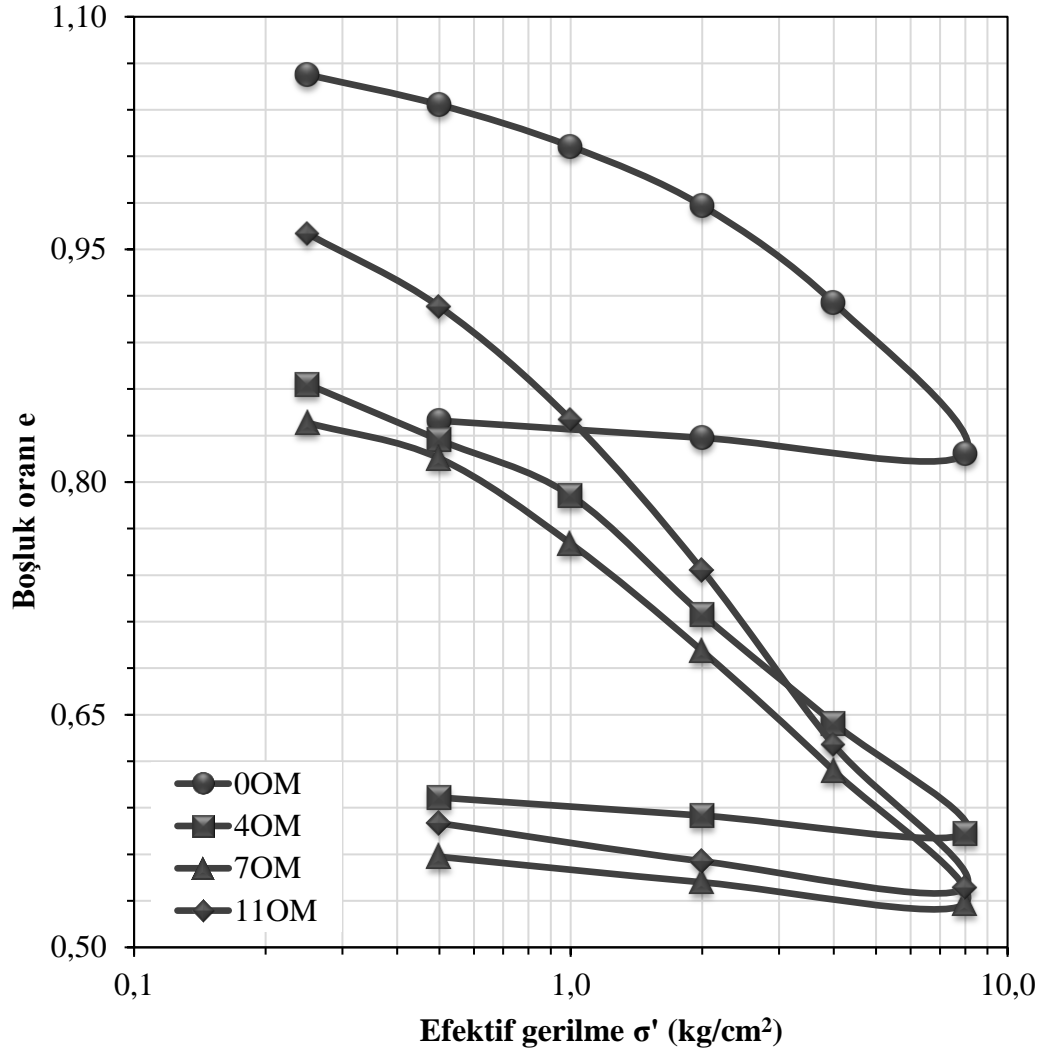
%15 SD içeren numunelerin boşluk oranı ( $e$ ) – logaritmik efektif gerilme ( $\log \sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.41’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.41** : %15 SD katkılı tarama malzemelerinin e –  $\log\sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.41 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %23 oranında azaldığı, 4OM numunesi için %21 oranında arttığı, 7OM numunesi için %52 oranında arttığı ve 11OM numunesi için ise %68 oranında arttığı görülmüştür.

%20 SD içeren numunelerin boşluk oranı (e) – logaritmik efektif gerilme ( $\log\sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.42'de gösterilmiştir.

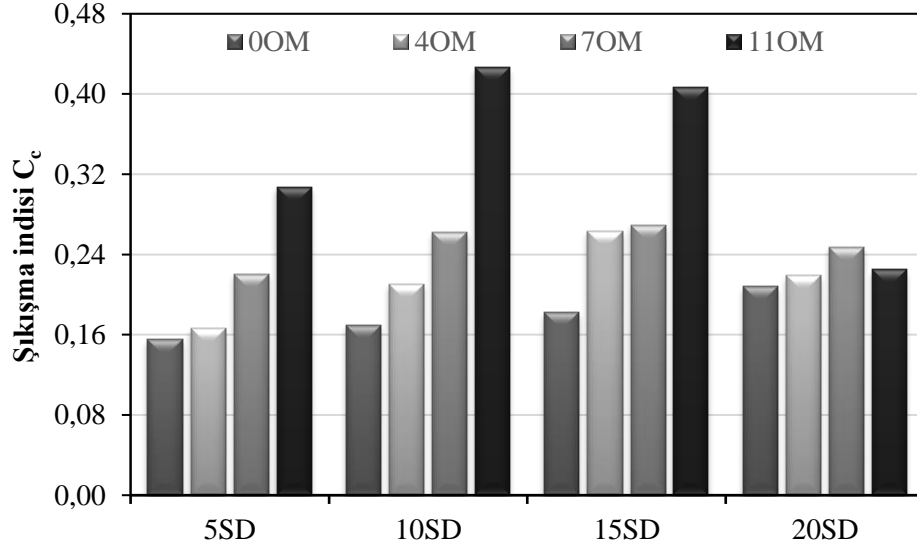


Şekil 5.42 : %20 SD katkılı tarama malzemelerinin  $e - \log \sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.42 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %41 oranında azaldığı, 4OM numunesi için %29 oranında azaldığı, 7OM numunesi için %26 oranında azaldığı ve 11OM numunesi için ise %0.8 oranında arttığı görülmüştür.

Organik madde içeriği ile sıkışma indisi ( $C_c$ ) ilişkisi Şekil 5.43'te gösterilmiştir.

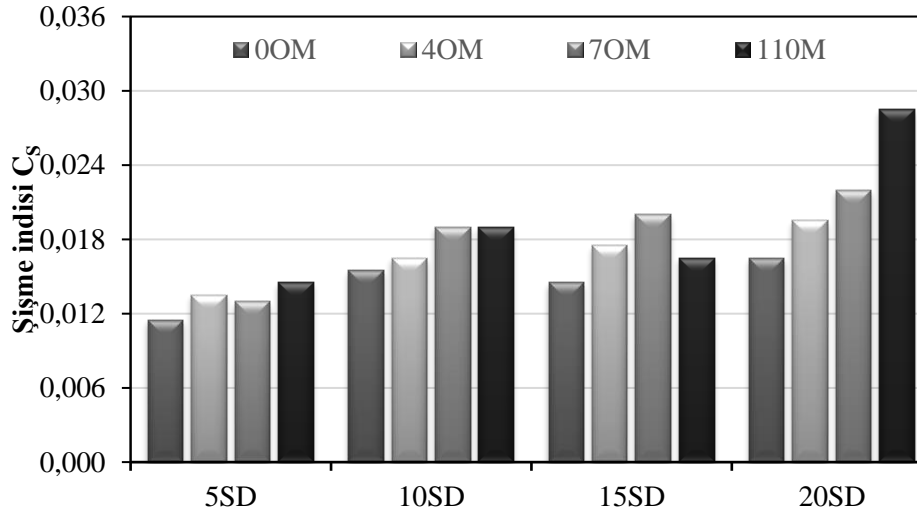




**Şekil 5.43 :** SD katkılı tarama malzemelerinin  $C_c$  – OM ilişkisi.

Şekil 5.43 incelendiğinde, sıkışma indisi değeri 0OM5SD numunesinde en düşük 11OM10SD numunesinde ise en yüksek değeri almıştır.

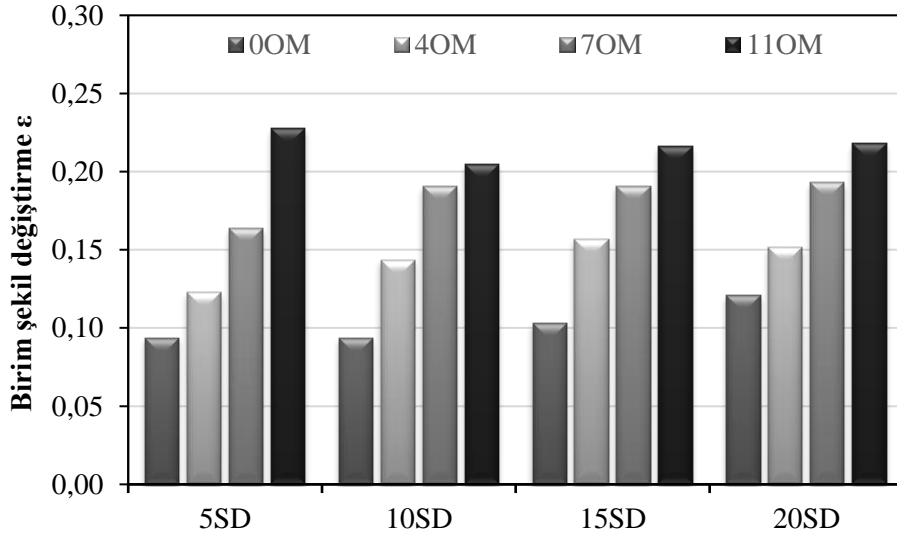
Organik madde içeriği ile şişme indisi arasındaki ilişki Şekil 5.44’te gösterilmiştir.



**Şekil 5.44 :** SD katkılı tarama malzemelerinin  $C_s$  – OM ilişkisi.

Şekil 5.44 incelendiğinde, genel olarak her bir tarama malzemesi için SD miktarı arttıkça şişme indisi de artmıştır.

SD katkılı numunelerin birim şekil değiştirme değerleri ile organik madde içeriği arasındaki ilişkiyi veren grafik Şekil 5.45’te gösterilmiştir.



**Şekil 5.45 :** SD katkılı tarama malzemelerinin  $\epsilon$  – OM ilişkisi.

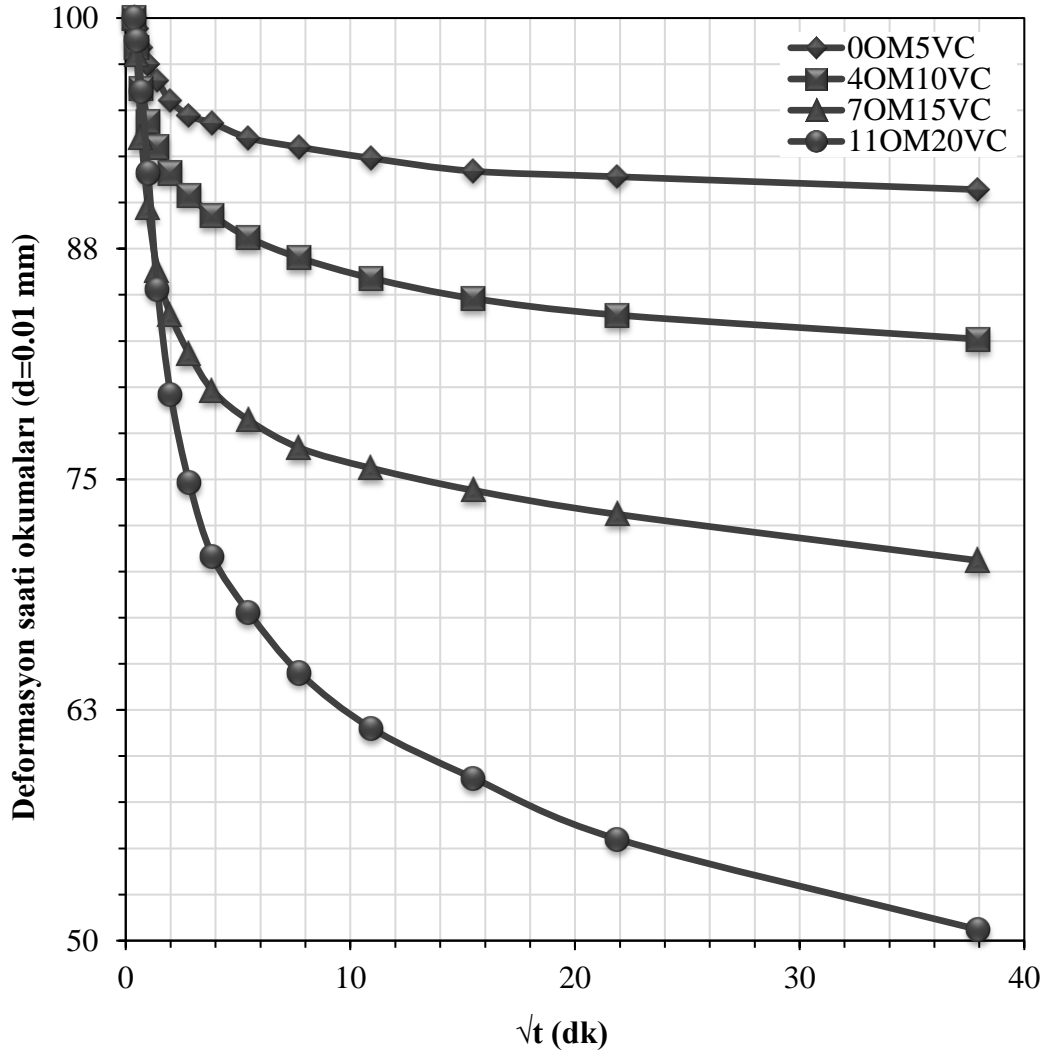
Şekil 5.45 incelendiğinde, genel olarak her bir tarama malzemesi için SD miktarı arttıkça birim şekil değiştirme de artmıştır. Bu eğilim yalnızca 11OM tarama malzemesinde görülmemiştir. SD katkılı numuneler için, organik madde içeriği ile aralarındaki ilişki verilmiş olan sıkışma indisi, şişme indisi ve birim şekil değiştirme değerleri Çizelge 5.10’da listelenmiştir.

**Çizelge 5.10 :** SD katkılı tarama malzemelerinin  $C_c$ ,  $C_s$  ve birim  $\epsilon$  değerleri.

Numune	Sıkışma indisi, $C_c$	Şişme indisi, $C_s$	Birim şekil değiştirme, $\epsilon$ (%)
0OM5SD	0.156	0.012	9.4
0OM10SD	0.170	0.016	9.4
0OM15SD	0.182	0.015	10.3
0OM20SD	0.208	0.017	12.1
4OM5SD	0.166	0.014	12.3
4OM10SD	0.211	0.017	14.4
4OM15SD	0.264	0.018	15.7
4OM20SD	0.219	0.020	15.2
7OM5SD	0.221	0.013	16.4
7OM10SD	0.263	0.019	19.1
7OM15SD	0.270	0.020	19.1
7OM20SD	0.248	0.022	19.3
11OM5SD	0.308	0.015	22.8
11OM10SD	0.426	0.019	20.5
11OM15SD	0.407	0.017	21.6
11OM20SD	0.225	0.029	21.8

#### 5.2.2.4 Volkan cürufu katkılı tarama malzemelerinin konsolidasyon deneyleri sonuçları

Volkan cürufu katkılı tarama malzemelerinin tek eksenli konsolidasyon deneylerinden elde edilen körekök zaman – deformasyon saati okumaları grafikleri  $1 \text{ kg/cm}^2$  yüklemesi için Şekil 5.46’da gösterilmiştir.



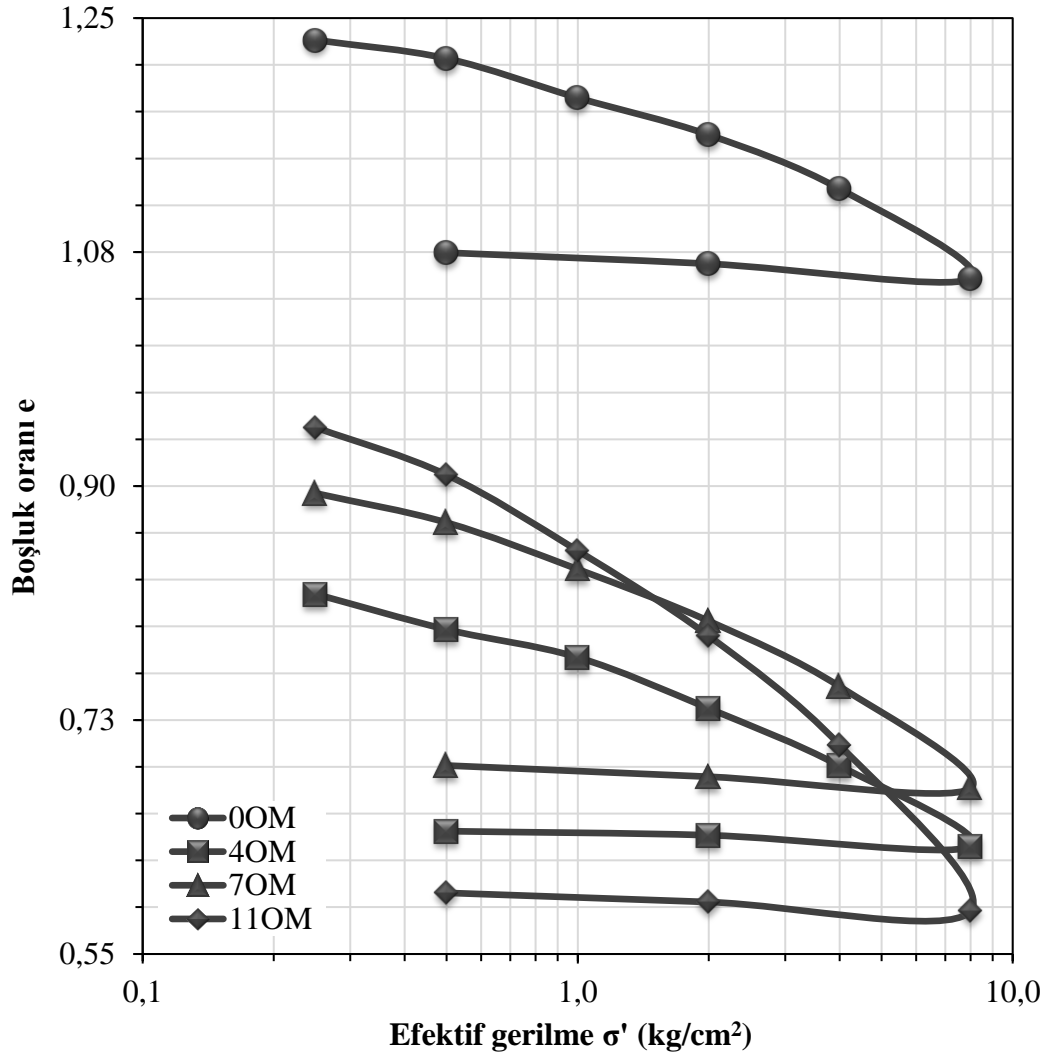
Şekil 5.46 : VC katkılı numunelerin zamana bağlı düşey deformasyonları ( $1 \text{ kg/cm}^2$ ).

Diğer numunelerde olduğu gibi VC katkılı numuneler de Karekök Zaman yöntemine uyduğu için konsolidasyon katsayılarının ( $c_v$ ) hesabında bu grafiklerden elde edilen  $t_{90}$  değerleri kullanılmıştır. VC katkılı farklı organik madde içeriğine sahip numunelerin  $1 \text{ kg/cm}^2$  ve  $4 \text{ kg/cm}^2$  yükleme kademelerindeki konsolidasyon katsayıları ( $c_v$ ) Çizelge 5.11’de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.11 :** VC katkılı numunelerin  $c_v$  ( $\text{cm}^2/\text{sn}$ ) değerleri.

Numune	1 $\text{kg}/\text{cm}^2$	4 $\text{kg}/\text{cm}^2$
0OM5VC	0.0043	0.0048
0OM10VC	0.0041	0.0029
0OM15VC	0.0052	0.0067
0OM20VC	0.0034	0.0033
4OM5VC	0.0033	0.0034
4OM10VC	0.0046	0.0024
4OM15VC	0.0166	0.0050
4OM20VC	0.0044	0.0030
7OM5VC	0.0048	0.0033
7OM10VC	0.0027	0.0022
7OM15VC	0.0052	0.0042
7OM20VC	0.0030	0.0027
11OM5VC	0.0030	0.0027
11OM10VC	0.0030	0.0020
11OM15VC	0.0094	0.0036
11OM20VC	0.0024	0.0018

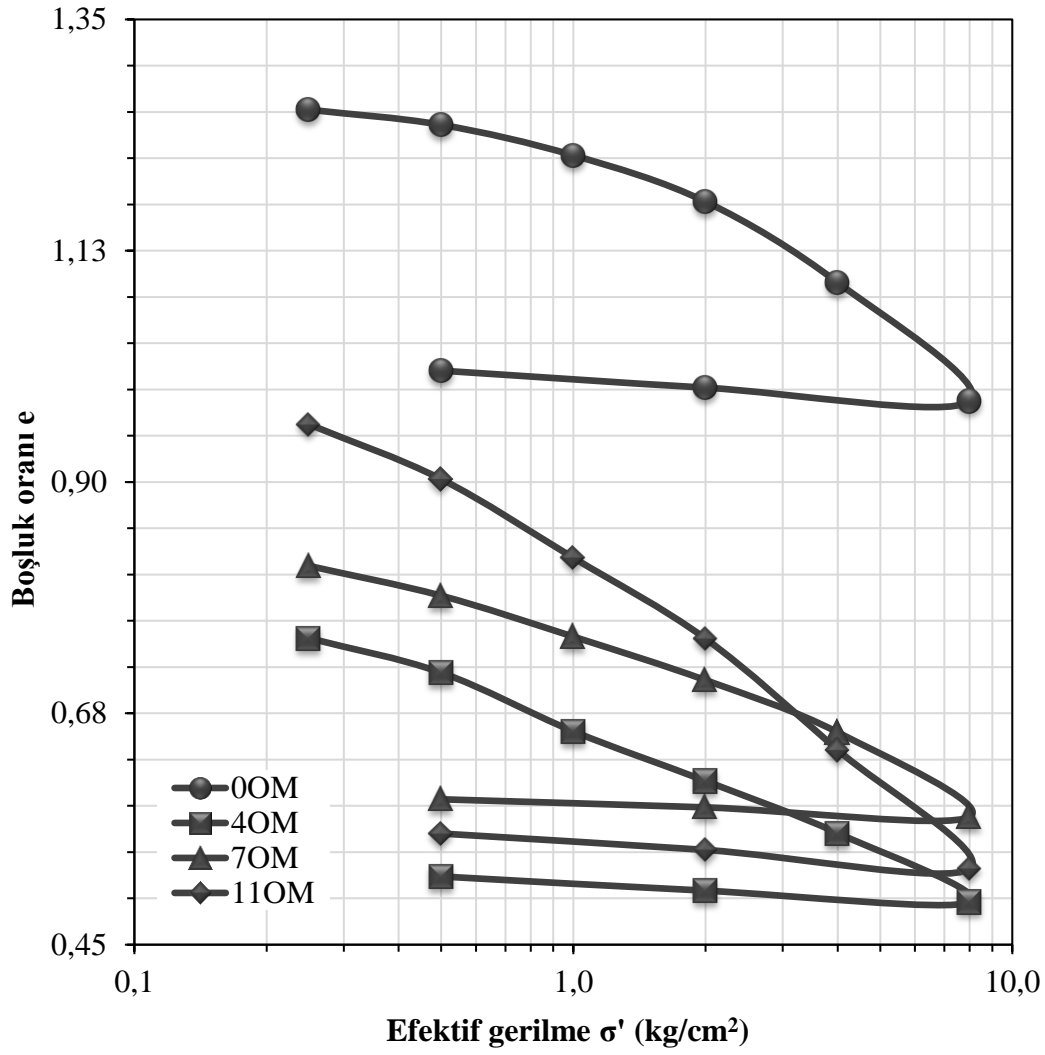
%5 VC içeren numunelerin boşluk oranı ( $e$ ) – logaritmik efektif gerilme ( $\log\sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.47’de gösterilmiştir.



Şekil 5.47 : %5 VC katkılı tarama malzemelerinin  $e - \log \sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.47 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %14 oranında arttığı, 4OM numunesi için %7 oranında arttığı, 7OM numunesi için %12 oranında azaldığı ve 11OM numunesi için ise %8 oranında azaldığı görülmüştür.

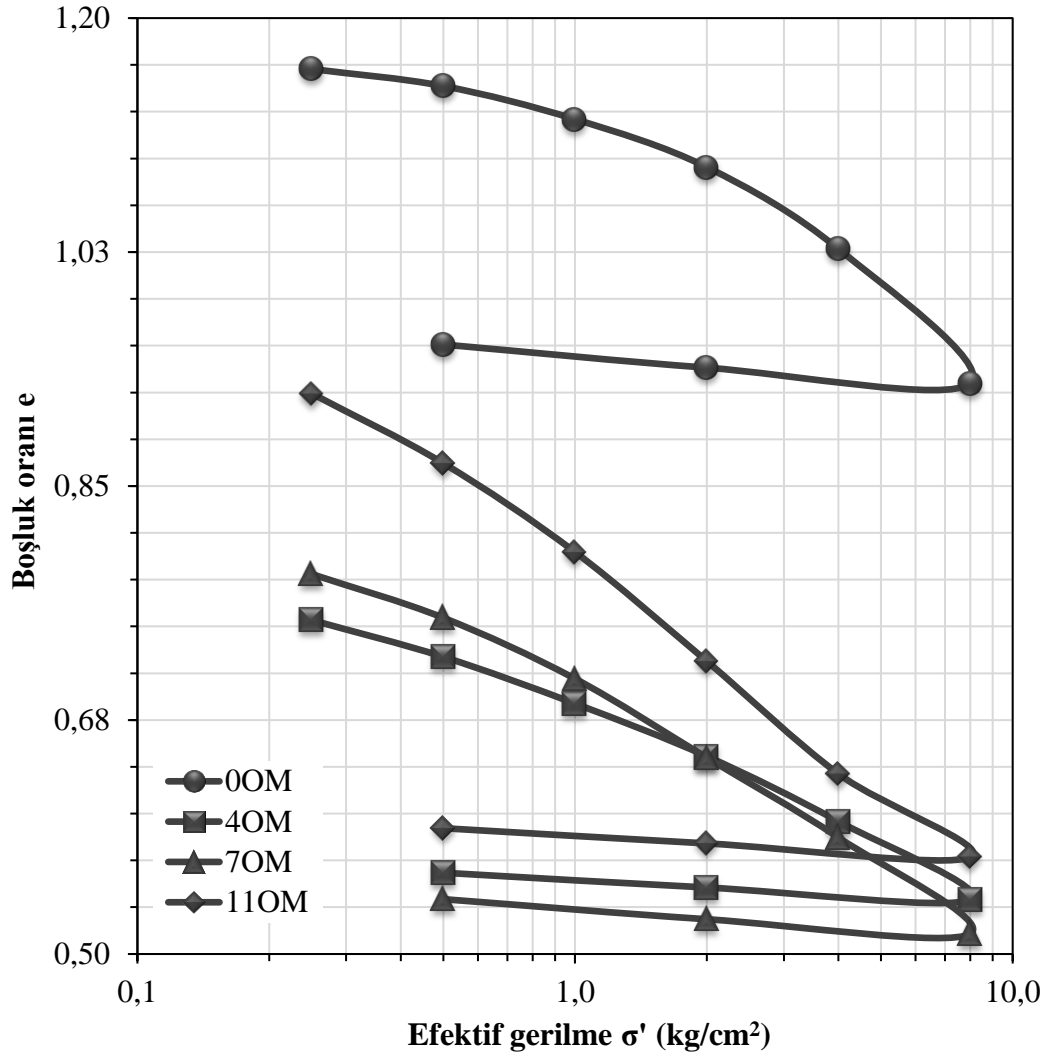
%10 VC içeren numunelerin boşluk oranı ( $e$ ) – logaritmik efektif gerilme ( $\log \sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.48’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.48** : %10 VC katkılı tarama malzemelerinin  $e - \log \sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.48 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %81 oranında arttığı, 4OM numunesi için %40 oranında arttığı, 7OM numunesi için 2 oranında azaldığı ve 11OM numunesi için ise %6 oranında arttığı görülmüştür.

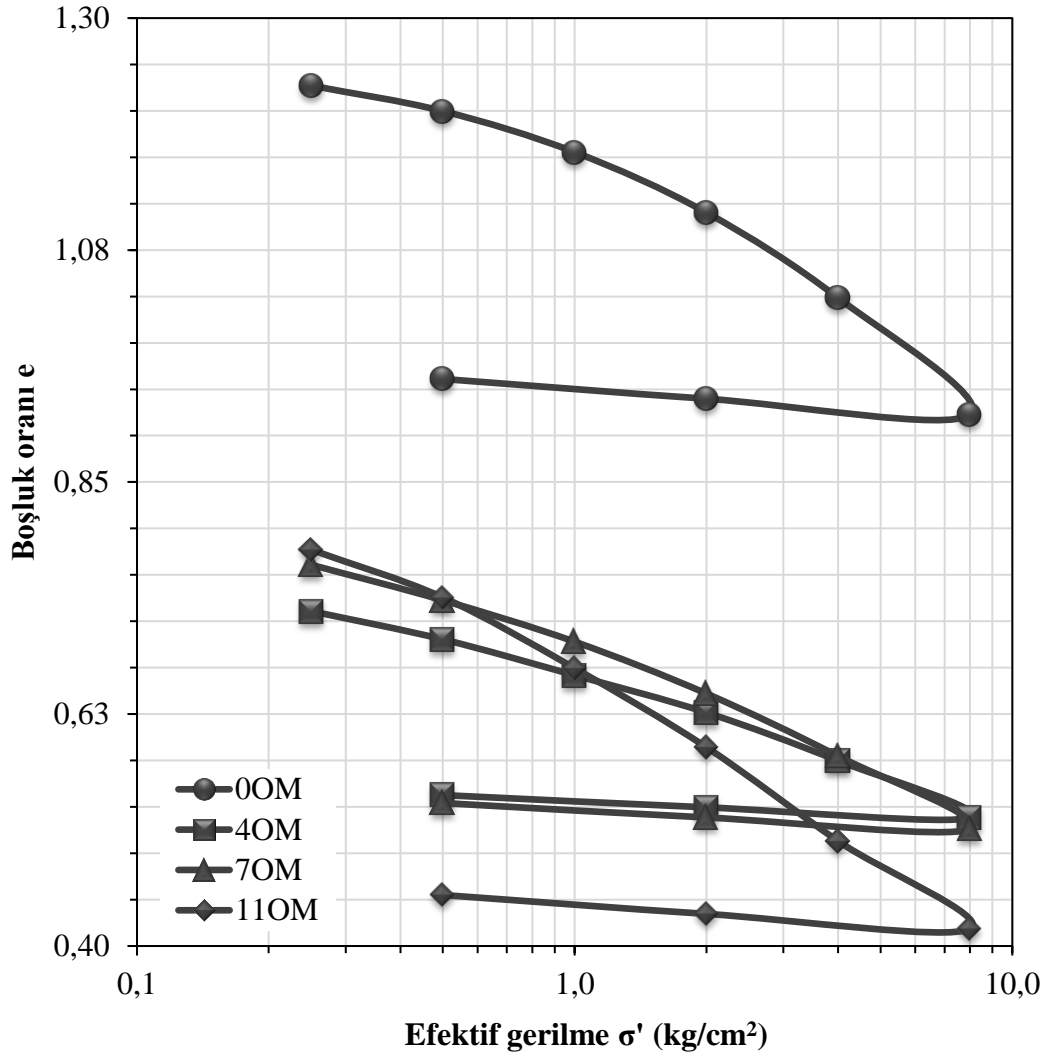
%15 VC içeren numunelerin boşluk oranı ( $e$ ) – logaritmik efektif gerilme ( $\log \sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.49’da gösterilmiştir.



**Şekil 5.49 :** %15 VC katkılı tarama malzemelerinin e –  $\log\sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.49 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %47 oranında arttığı, 4OM numunesi için %14 oranında arttığı, 7OM numunesi için %5 oranında arttığı ve 11OM numunesi için ise %14 oranında azaldığı görülmüştür.

%20 VC içeren numunelerin boşluk oranı (e) – logaritmik efektif gerilme ( $\log\sigma'$ ) grafikleri Şekil 5.50'de gösterilmiştir.

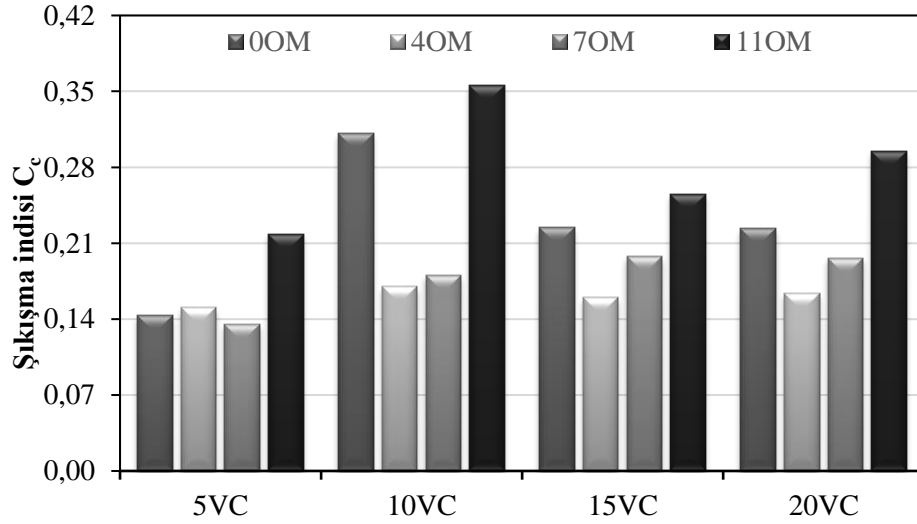


**Şekil 5.50** : %20 VC katkılı tarama malzemelerinin  $e - \log \sigma'$  grafikleri.

Şekil 5.50 incelendiğinde 0OM numunesi için boşluk oranı değişiminin %104 oranında arttığı, 4OM numunesi için %7 oranında arttığı, 7OM numunesi için %0.4 oranında azaldığı ve 11OM numunesi için ise %11 oranında azaldığı görülmüştür.

Organik madde içeriği ile sıkışma indisi ( $C_c$ ) ilişkisi Şekil 5.51'de gösterilmiştir.

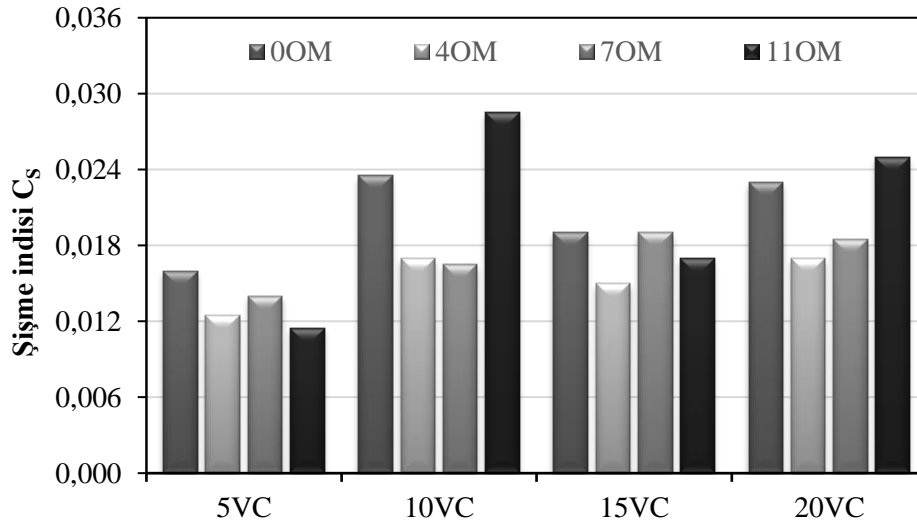




**Şekil 5.51 :** VC katkılı tarama malzemelerinin  $C_c$  – OM ilişkisi.

Şekil 5.51 incelendiğinde, 0OM10VC numunesinin en büyük sıkışma indisine, 7OM5VC numunesinin ise en küçük sıkışma indisine sahip olduğu görülmüştür.

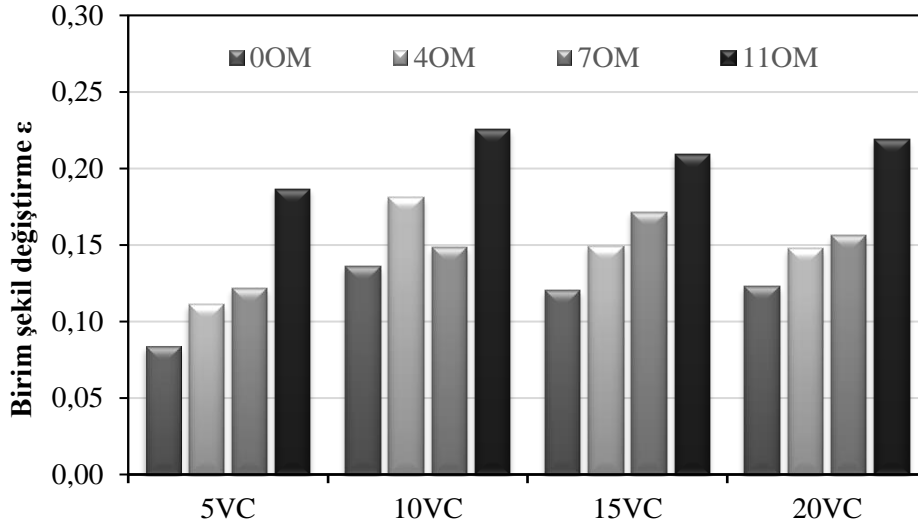
Organik madde içeriği ile şişme indisi arasındaki ilişki Şekil 5.52’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.52 :** VC katkılı tarama malzemelerinin  $C_s$  – OM ilişkisi.

Şekil 5.52 incelendiğinde, 11OM10VC numunesinin en büyük şişme indisine, 11OM5VC numunesinin ise en küçük şişme indisine sahip olduğu görülmüştür.

VC katkılı numunelerin birim şekil değiştirme değerleri ile organik madde içeriği arasındaki ilişkiyi veren grafik Şekil 5.53’te gösterilmiştir.



**Şekil 5.53 :** VC katkılı tarama malzemelerinin  $\epsilon$  – OM ilişkisi.

Şekil 5.53 incelendiğinde, 11OM10VC numunesinin en büyük birim şekil değiştirme değerine, 0OM5VC numunesinin ise en küçük birim şekil değiştirme değerine sahip olduğu görülmüştür. VC katkılı numuneler için, organik madde içeriği ile aralarındaki ilişki verilmiş olan sıkışma indisi, şişme indisi ve birim şekil değiştirme değerleri Çizelge 5.12’de listelenmiştir.

**Çizelge 5.12 :** VC katkılı tarama malzemelerinin  $C_c$ ,  $C_s$  ve  $\epsilon$  değerleri.

Numune	Sıkışma indisi, $C_c$	Şişme indisi, $C_s$	Birim şekil değiştirme, $\epsilon$ (%)
0OM5VC	0.143	0.016	8.4
0OM10VC	0.312	0.024	13.6
0OM15VC	0.225	0.019	12.1
0OM20VC	0.224	0.023	12.3
4OM5VC	0.151	0.013	11.1
4OM10VC	0.171	0.017	18.1
4OM15VC	0.160	0.015	15.0
4OM20VC	0.164	0.017	14.8
7OM5VC	0.135	0.014	12.2
7OM10VC	0.181	0.017	14.9
7OM15VC	0.198	0.019	17.2
7OM20VC	0.197	0.019	15.6
11OM5VC	0.219	0.012	18.7
11OM10VC	0.356	0.029	22.6
11OM15VC	0.256	0.017	20.9
11OM20VC	0.295	0.025	21.9

### 5.2.3 Doğal ve katkılı tarama malzemelerinin karşılaştırılması

Bu bölümde, doğal ve katkılı numunelerin konsolidasyon deneylerinden elde edilmiş parametrelerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Doğal ve katkılı numunelerin konsolidasyon deneyi sonrası su içeriği değerleri Çizelge 5.13'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.13:** Numunelerin konsolidasyon deneyi sonrası su içerikleri.

Katkı oranı (%)	Su içeriği $w_c$ (%)			
	0OM	4OM	7OM	11OM
-	27,4	26,6	29,0	29,5
5 K	29,1	36,3	33,4	34,3
10 K	29,8	38,6	35,3	35,2
15 K	31,1	38,6	36,2	35,3
20 K	31,4	41,8	38,3	37,6
5 TSK	39,3	31,2	29,1	31,2
10 TSK	38,7	35,6	31,3	32,9
15 TSK	42,8	34,7	32,4	36,0
20 TSK	39,0	34,8	34,2	35,4
5 SD	32,0	26,8	27,8	31,3
10 SD	33,0	28,9	27,2	31,9
15 SD	30,7	26,9	25,9	31,6
20 SD	32,3	27,1	26,4	30,3
5 VC	37,4	28,3	29,0	29,0
10 VC	38,5	27,4	27,1	29,3
15 VC	35,6	26,3	25,6	28,8
20 VC	35,5	26,2	26,1	27,1

Numunelerin likit limit su içeriği değerlerinde hazırlandığı göz önünde bulundurulduğunda konsolidasyon sonucunda numunelerin su içeriğinde azalma olduğu görülmüştür. Çizelge 5.13 incelendiğinde, daha çok oturma yapan silis dumanı ve volkan cürufu katkılı numunelerin su içerikleri daha düşükken, daha az oturma yapan kireç ve termik santral uçucu külü katkılı numunelerin su içeriklerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

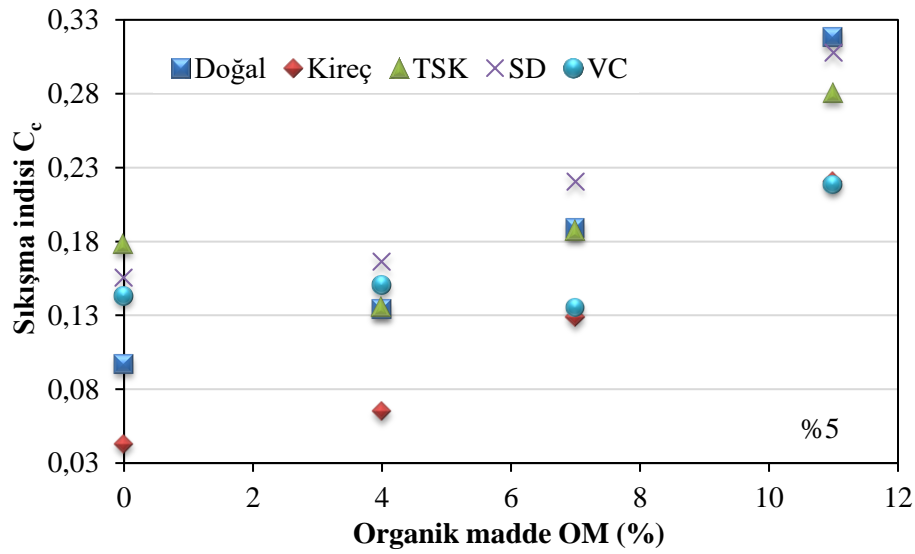
Numunelerin konsolidasyon deneyinin başındaki ve deneyden sonraki boşluk oranı değerleri Çizelge 5.14'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.14:** Numunelerin deney başı ve sonundaki boşluk oranları.

Katkı oranı (%)	0OM		4OM		7OM		11OM	
	$e_{ilk}$	$e_{son}$	$e_{ilk}$	$e_{son}$	$e_{ilk}$	$e_{son}$	$e_{ilk}$	$e_{son}$
-	0,908	0,768	0,868	0,673	0,933	0,654	1,132	0,661
5 K	0,848	0,792	1,032	0,960	0,882	0,732	1,061	0,799
10 K	0,864	0,801	1,144	1,038	1,003	0,875	1,422	1,019
15 K	0,892	0,801	1,185	1,099	1,156	0,853	1,314	1,025
20 K	0,887	0,763	1,216	1,101	1,139	0,919	1,089	0,888
5 TSK	1,258	0,965	0,949	0,764	0,947	0,670	1,078	0,707
10 TSK	1,199	0,963	1,021	0,859	0,931	0,749	1,018	0,672

15 TSK	1,237	1,132	0,990	0,933	0,921	0,778	1,006	0,784
20 TSK	1,121	0,971	0,927	0,878	0,952	0,836	0,935	0,761
5 SD	1,045	0,845	0,830	0,597	0,924	0,614	1,168	0,609
10 SD	1,107	0,860	0,951	0,651	0,960	0,575	1,171	0,656
15 SD	1,040	0,807	0,914	0,591	0,943	0,520	1,171	0,654
20 SD	1,101	0,840	0,898	0,597	0,952	0,558	1,075	0,580
5 VC	1,248	1,075	0,858	0,642	0,948	0,691	1,029	0,596
10 VC	1,288	1,008	0,878	0,516	0,868	0,591	1,036	0,558
15 VC	1,218	0,956	0,835	0,561	0,874	0,541	1,063	0,594
20 VC	1,295	0,950	0,787	0,546	0,877	0,539	0,912	0,449

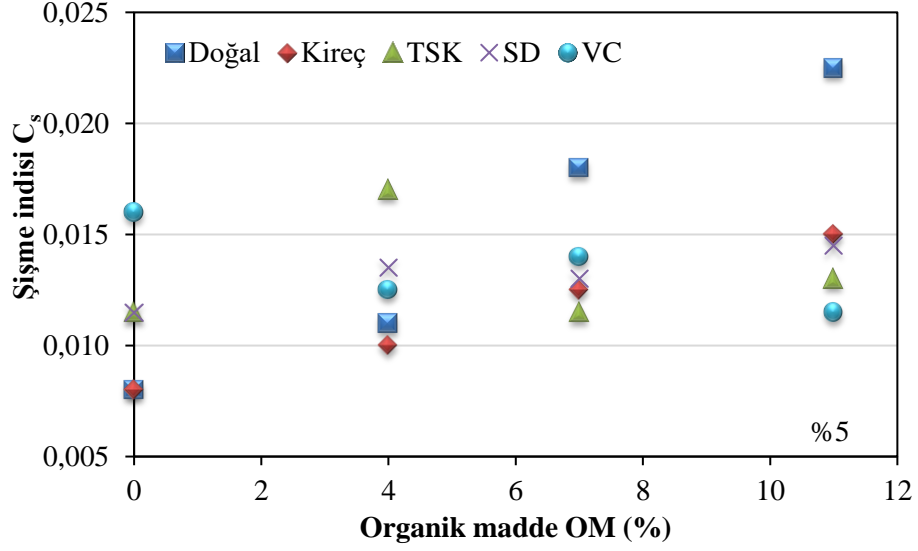
Katkı oranı %5 olan numuneler ile doğal numunelerin sıkışma indislerinin ( $C_c$ ) karşılaştırılması Şekil 5.54'te gösterilmiştir.



Şekil 5.54 : Doğal ve katkı oranı %5 olan numunelerin  $C_c$  değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.54 incelendiğinde, kireç katkılı numuneler daha düşük sıkışma indislerine sahip iken silis dumanı katkılı numunelerin daha yüksek sıkışma indislerine sahip olduğu görülmüştür.

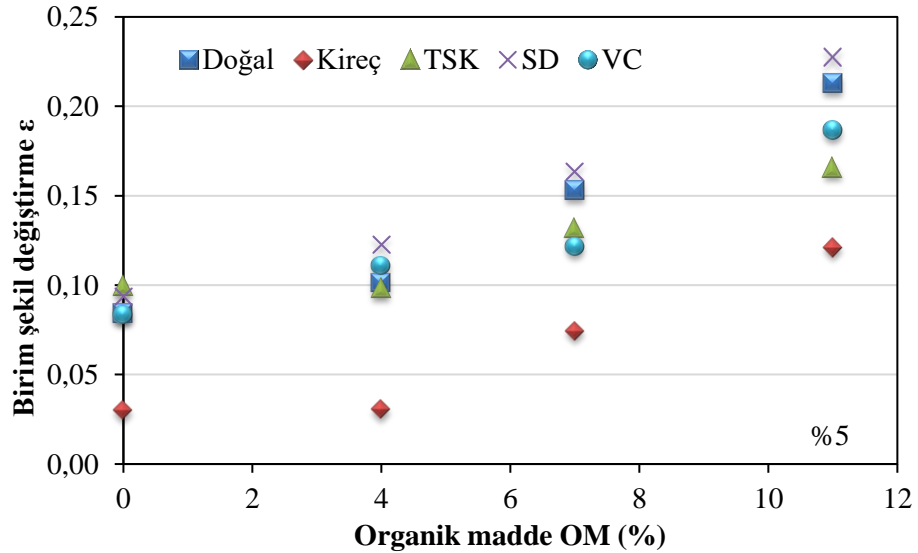
Katkı oranı %5 olan numuneler ile doğal numunelerin şişme indislerinin ( $C_s$ ) karşılaştırılması Şekil 5.55'te gösterilmiştir.



Şekil 5.55 : Doğal ve katkı oranı %5 olan numunelerin  $C_s$  değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.55 incelendiğinde, kireç katkılı numuneler daha düşük şişme indislerine sahip iken silis dumanı katkılı numunelerin daha yüksek şişme indislerine sahip olduğu görülmüştür.

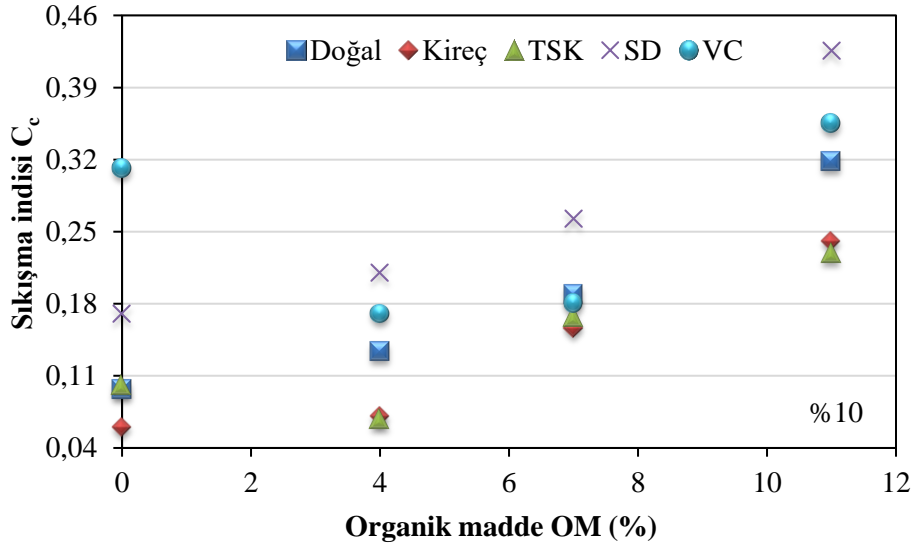
Katkı oranı %5 olan numuneler ile doğal numunelerin birim şekil değiştirme değerlerinin ( $\epsilon$ ) karşılaştırılması Şekil 5.56'da gösterilmiştir.



Şekil 5.56 : Doğal ve katkı oranı %5 olan numunelerin  $\epsilon$  değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.56 incelendiğinde, kireç katkıli numuneler daha düşük birim şekil değiştirme değerlerine sahip iken silis dumanı katkıli numunelerin daha yüksek birim şekil değiştirme değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

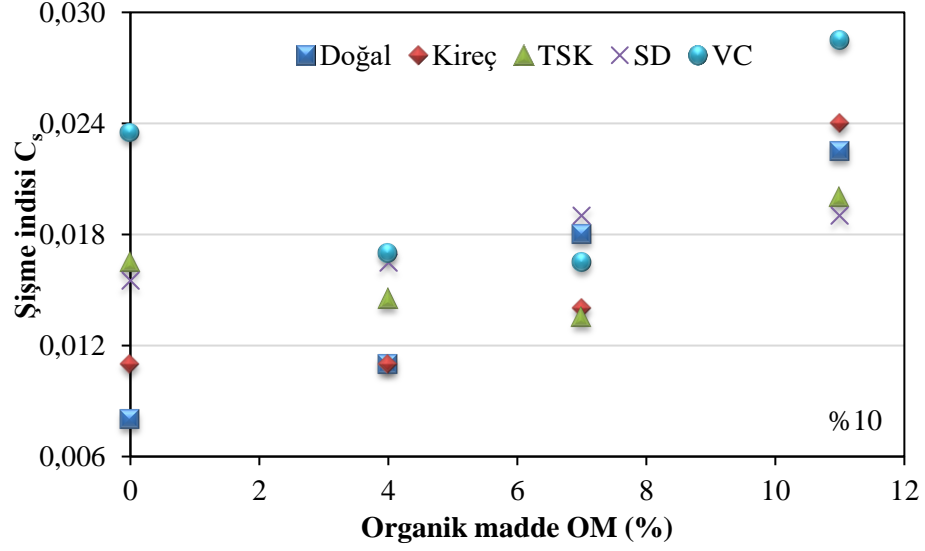
Katkı oranı %10 olan numuneler ile doğal numunelerin sıkışma indislerinin ( $C_c$ ) karşılaştırılması Şekil 5.57’de gösterilmiştir.



Şekil 5.57 : Doğal ve katkı oranı %10 olan numunelerin  $C_c$  değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.57 incelendiğinde, kireç katkıli numuneler daha düşük sıkışma indislerine sahip iken silis dumanı katkıli numunelerin daha yüksek sıkışma indislerine sahip olduğu görülmüştür.

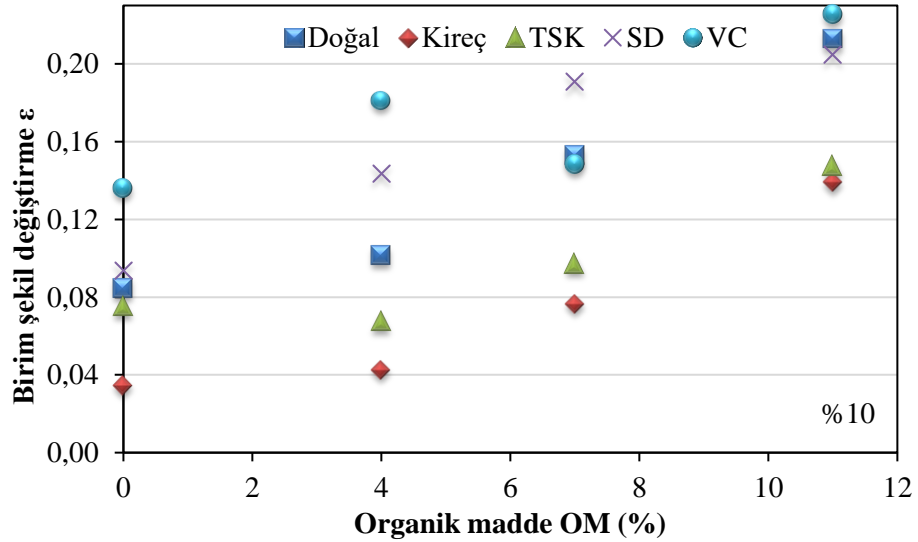
Katkı oranı %10 olan numuneler ile doğal numunelerin şişme indislerinin ( $C_s$ ) karşılaştırılması Şekil 5.58’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.58 :** Doğal ve katkı oranı %10 olan numunelerin  $C_s$  değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.58 incelendiğinde, kireç katkılı numuneler daha düşük şişme indislerine sahip iken volkan cürufu katkılı numunelerin daha yüksek şişme indislerine sahip olduğu görülmüştür.

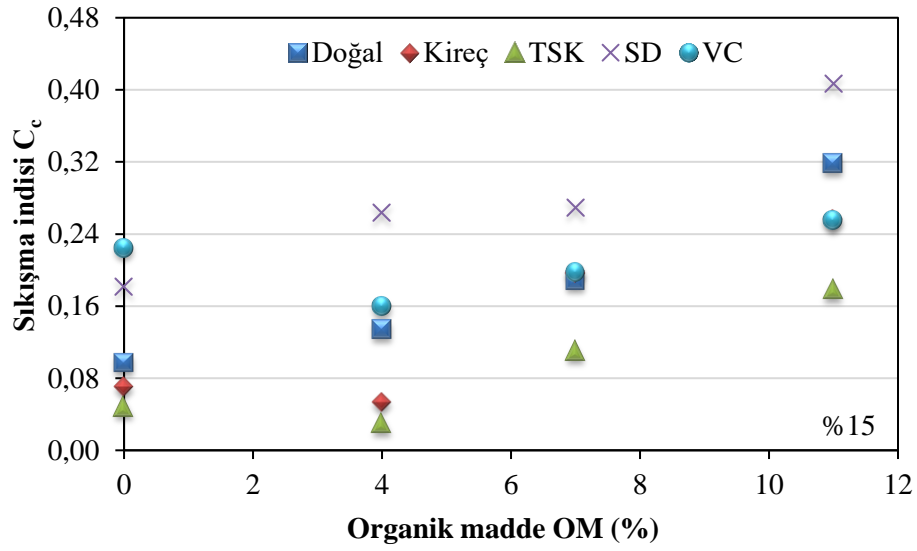
Katkı oranı %10 olan numuneler ile doğal numunelerin birim şekil değiştirme değerlerinin ( $\epsilon$ ) karşılaştırılması Şekil 5.59'da gösterilmiştir.



**Şekil 5.59 :** Doğal ve katkı oranı %10 olan numunelerin  $\epsilon$  değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.59 incelendiğinde, kireç katkılı numuneler daha düşük birim şekil değiştirme değerlerine sahip iken volkan cürufu katkılı numunelerin daha yüksek birim şekil değiştirme değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

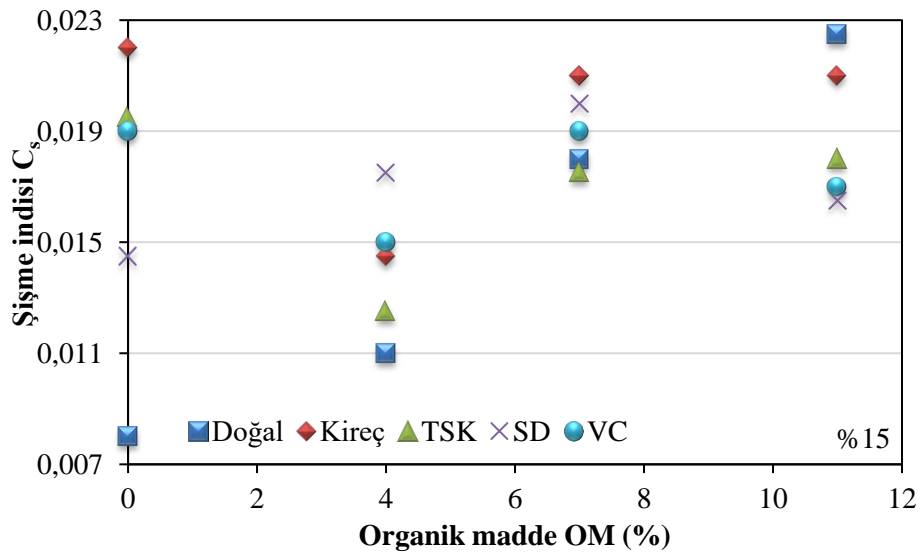
Katkı oranı %15 olan numuneler ile doğal numunelerin sıkışma indislerinin ( $C_c$ ) karşılaştırılması Şekil 5.60'da gösterilmiştir.



**Şekil 5.60 :** Doğal ve katkı oranı %15 olan numunelerin  $C_c$  değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.60 incelendiğinde, termik santral uçucu külü katkılı numuneler daha düşük sıkışma indislerine sahip iken silis dumanı katkılı numunelerin daha yüksek sıkışma indislerine sahip olduğu görülmüştür.

Katkı oranı %15 olan numuneler ile doğal numunelerin şişme indislerinin ( $C_s$ ) karşılaştırılması Şekil 5.61'de gösterilmiştir.

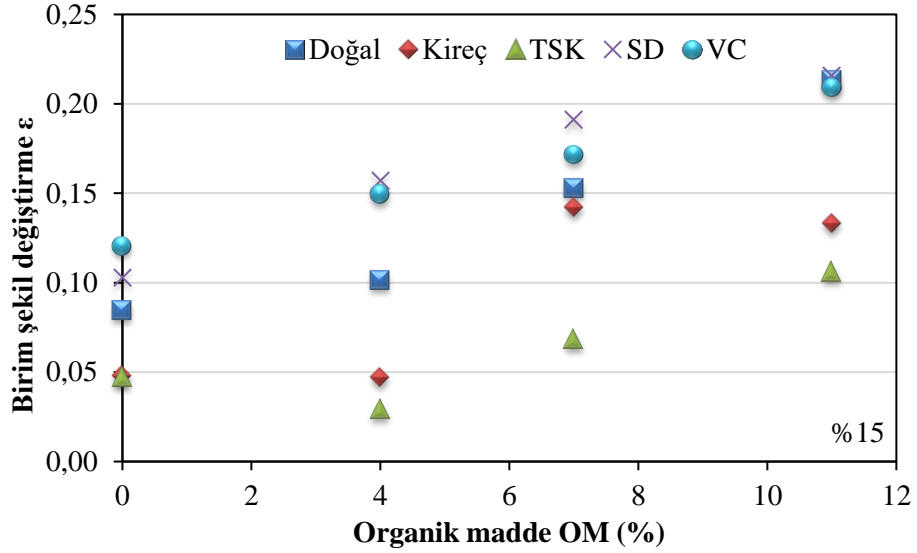


**Şekil 5.61 :** Doğal ve katkı oranı %15 olan numunelerin  $C_s$  değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.61 incelendiğinde, doğal numuneler daha düşük şişme indislerine sahip iken kireç katkılı numunelerin daha yüksek şişme indislerine sahip olduğu görülmüştür.

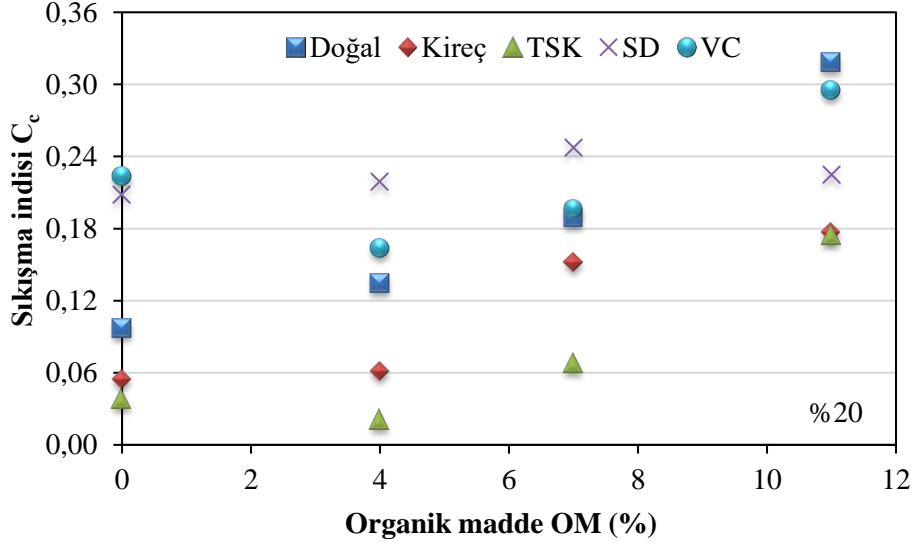
Katkı oranı %15 olan numuneler ile doğal numunelerin birim şekil değiştirme değerlerinin ( $\epsilon$ ) karşılaştırılması Şekil 5.62’de gösterilmiştir.



Şekil 5.62 : Doğal ve katkı oranı %15 olan numunelerin  $\epsilon$  değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.62 incelendiğinde, termik santral külü katkılı numuneler daha düşük birim şekil değiştirme değerlerine sahip iken silis dumanı katkılı numunelerin daha yüksek birim şekil değiştirme değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

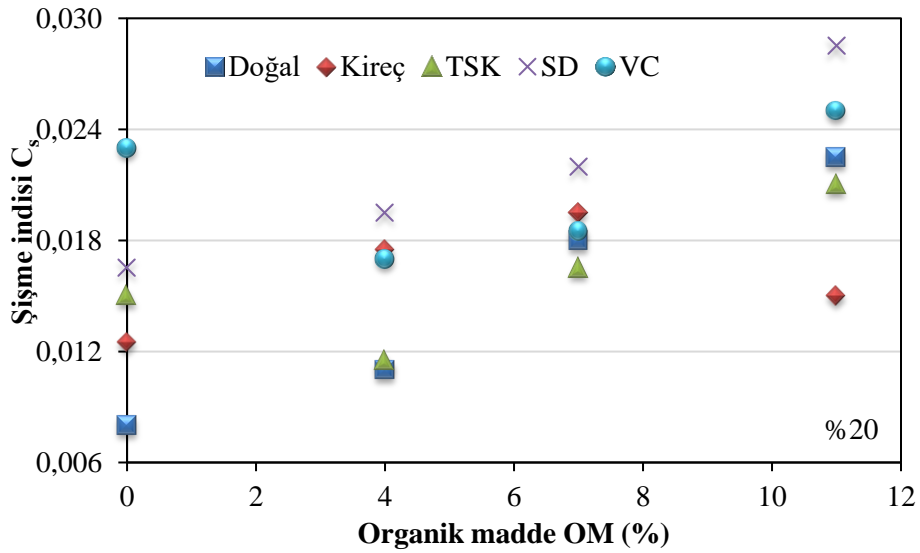
Katkı oranı %20 olan numuneler ile doğal numunelerin sıkışma indislerinin ( $C_c$ ) karşılaştırılması Şekil 5.63’te gösterilmiştir.



**Şekil 5.63 :** Doğal ve katkı oranı %20 olan numunelerin  $C_c$  değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.63 incelendiğinde, termik santral külü katkılı numuneler daha düşük sıkışma indislerine sahip iken silis dumanı katkılı numunelerin daha yüksek sıkışma indislerine sahip olduğu görülmüştür.

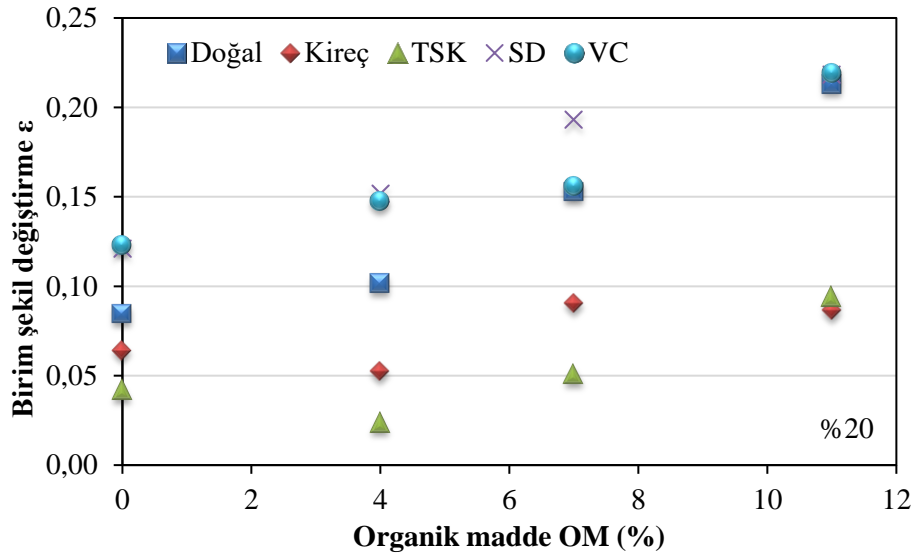
Katkı oranı %20 olan numuneler ile doğal numunelerin şişme indislerinin ( $C_s$ ) karşılaştırılması Şekil 5.64'te gösterilmiştir.



**Şekil 5.64 :** Doğal ve katkı oranı %20 olan numunelerin  $C_s$  değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.64 incelendiğinde, doğal numuneler daha düşük şişme indislerine sahip iken silis dumanı katkılı numunelerin daha yüksek şişme indislerine sahip olduğu görülmüştür.

Katkı oranı %20 olan numuneler ile doğal numunelerin birim şekil değiştirme değerlerinin ( $\epsilon$ ) karşılaştırılması Şekil 5.65'te gösterilmiştir.



Şekil 5.65 : Doğal ve katkı oranı %20 olan numunelerin  $\epsilon$  değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.65 incelendiğinde, termik santral külü katkılı numuneler daha düşük birim şekil değiştirme değerlerine sahip iken silis dumanı katkılı numunelerin daha yüksek birim şekil değiştirme değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma sonucunda İzmir Körfezi tarama malzemesinin geoteknik karakterizasyonu, içyapısı, kimyasal özellikleri ve sıkışma davranışları belirlenmiştir. Ayrıca organik madde miktarının temel mühendislik parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kireç, termik santral uçucu külü, silis dumanı ve volkan cürufu gibi katkı malzemelerinin sıkışma davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Doğal numunelerde;

- Organik madde miktarının dane boyu dağılımı üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı belirlenmiştir.
- Özgül ağırlık değerlerinin organik madde miktarı arttıkça azaldığı belirlenmiştir.
- Likit limit ve plastik limit değerleri organik madde miktarı arttıkça artmıştır.
- pH değerleri organik madde miktarı artışı ile azalmıştır.
- Numunelerin içerdiği elementler ve oranlarına bakıldığında birbirine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tüm numunelerde ağırlıklı elementlerin Si, O, Al ve Fe olduğu görülmüştür.
- Numunelerin sahip olduğu bileşiklerin dalga boyu değerlerinin birbirlerine yakın aralıklarda ve literatürde gerçekleştirilen değerler ile benzer sonuçlar olduğu görülmüştür.
- Genel olarak değerlendirildiğinde, organik madde miktarı arttıkça konsolidasyon katsayısının azaldığı belirlenmiştir.
- Farklı organik madde miktarına sahip her bir numune için 1 kg/cm<sup>2</sup> yüklemede, permeabilite katsayısının organik madde miktarı ile birlikte arttığı görülmüştür.
- Birim şekil değiştirme, sıkışma ve şişme indisi değerleri organik madde miktarı arttıkça artmıştır.

Kireç katkılı numunelerde;

- Farklı organik madde miktarına sahip tüm numunelerde kireç katkısının sıkışma indisi ( $C_c$ ) ve birim şekil değiştirme değeri ( $\epsilon$ ) üzerinde pozitif etki yaptığı görülmüştür.

- Genel olarak incelendiğinde, şişme indisi ( $C_s$ ), %11 organik madde miktarına sahip numunelerde kireç katkısıyla azalırken, diğer numunelerde kireç katkısıyla birlikte artmıştır.

Termik santral uçucu külü katkılı numunelerde;

- Farklı organik madde miktarına sahip tüm numunelerde %5 TSK katkısının sıkışma indisi ( $C_c$ ) ve birim şekil değiştirme değeri ( $\epsilon$ ) üzerinde pozitif ya da negatif etkisinin olmadığı, %5'den daha fazla miktarda katkılarda ise pozitif etkisinin olduğu belirlenmiştir.
- Şişme indisi ( $C_s$ ) ise 0OM ve 4OM numunelerinde TSK katkısından negatif olarak etkilenirken, 7OM ve 11OM numunelerinde pozitif olarak etkilenmiştir.

Silis dumanı katkılı numunelerde;

- Organik madde miktarı %11 olan numunelerde %5 ve %10 SD katkısının sıkışma indisi ( $C_c$ ), şişme indisi ( $C_s$ ) ve birim şekil değiştirme ( $\epsilon$ ) değerleri üzerinde pozitif etki yaptığı, diğer numunelerde ise negatif etkiye neden olduğu tespit edilmiştir.
- Farklı organik madde miktarına sahip tüm numunelerde %15 ve %20 SD katkısı sıkışma indisi ( $C_c$ ), şişme indisi ( $C_s$ ) ve birim şekil değiştirme ( $\epsilon$ ) değerleri üzerinde negatif etki oluşturmuştur.

Volkan cürufu katkılı numunelerde;

- Organik madde miktarı %11 olan numunelerde %15'e kadar olan VC katkılarının sıkışma indisi ( $C_c$ ), şişme indisi ( $C_s$ ) ve birim şekil değiştirme ( $\epsilon$ ) değerleri üzerinde pozitif etki yaptığı, diğer numunelerde ise negatif etkiye neden olduğu tespit edilmiştir.
- Farklı organik madde miktarına sahip tüm numunelerde %20 SD katkısı sıkışma indisi ( $C_c$ ), şişme indisi ( $C_s$ ) ve birim şekil değiştirme ( $\epsilon$ ) değerleri üzerinde negatif etki oluşturmuştur.

Tüm katkı malzemeleri göz önüne alındığında, genel olarak; kireç ve termik santral uçucu külünün tarama malzemesinin sıkışma parametreleri üzerinde pozitif etkisinin olduğu görülmüştür. Düşük katkı oranlarında (%5-10) kireç daha olumlu sonuçlar verirken, yüksek katkı oranlarında (%15-20) termik santral uçucu külü daha olumlu

sonuçlar vermiştir. Kirecin endüstriyel ürün, termik santral uçucu külünün ise atık malzeme olduğu dikkate alındığında; termik santral uçucu külünün iyileştirme malzemesi olarak kullanılması hem çevreci hem ekonomik bir yaklaşım olabilecektir. Silis dumanı ve volkan cürufu katkılı numunelerin deney sonuçları değerlendirildiğinde, bu katkılar sıkışma parametreleri üzerinde olumsuz etki yaratmıştır. Bu yüzden tarama malzemesinin iyileştirilmesi için uygun bir malzeme olmadığı görölmüştür.

Bu çalışmanın devamında, konsolidasyon deneylerinin sayısı arttırılarak sonuçların tekrar edilebilirliği ve güvenilirliği araştırılabilir. Ayrıca organik madde etkisi araştırılırken bu çalışmadaki organik madde aralığının arttırılarak daha yüksek organik madde içeriğine sahip olan numuneler ile de deneyler gerçekleştirilmelidir. Bu amaçla dışarıdan kontrollü bir şekilde zemine organik madde eklenerek daha büyük aralıklarda organik madde miktarı etkisi araştırılmalıdır. Son olarak kullanılan katkı malzemelerine ek olarak, lastik parçaları, cam kırıkları, imento gibi malzemeler ile stabilizasyon deneyleri yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Anisuzzaman, M. ve Arifuzzaman, M.** (2013). Engineering Properties of Soft Organic Soil, Underlying Dredge Fill Areas of Dhaka, Bangladesh. 2. *International Conference on Transport, Enviroment and Civil Engineering, September 25 - 26, Phnom Penh, Cambodia.*
- ASTM** (2014). *Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils.* (ASTM D2974-14).
- ASTM** (2007). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.* (ASTM D422-63(Reapproved 2007)).
- ASTM** (2014). *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.* (ASTM D854-14).
- ASTM** (2010). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.* (ASTM D4318-10).
- ASTM** (2011). *Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading.* (ASTM D2435/D2435M - 11).
- ASTM** (2011). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).* (ASTM D2487 - 11).
- BS 1377-1:2016.** *Methods of Test For Soils for Civil Engineering Purposes. General Requirements and Sample Preparation.*
- Demirdağ, S. ve Gündüz, L.** (2003). Volkanik Cürufların İnşaat Endüstrisinde Hafif Beton Agregası Olarak Değerlendirilme Kriterleri Evaluation of Volcanic Slugs in Civil Industry As A Lightweight Concrete Aggregate. 3. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3 - 4 Aralık, 2003, İstanbul, Türkiye.*
- Ekincioglu, O., Gurgun, A. P., Engin, Y., Tarhan, M. ve Kumbaracibasi, S.** (2013). Approaches for sustainable cement production—A case study from Turkey. *Energy and Buildings*, 66, 136-142.
- Ellerbrock, R. ve Gerke, H.** (2004). Characterizing organic matter of soil aggregate coatings and biopores by Fourier transform infrared spectroscopy. *European Journal of Soil Science*, 55(2), 219-228.
- Filibeli, A., Yilmaz, R. ve Alyanak, I.** (1995). Dredged material of Izmir Harbor: its behavior and pollution potential. *Water Science and Technology*, 32(2), 105-113.
- Ganesalingam, D., Arulrajah, A., Ameratunga, J., Boyle, P. ve Sivakugan, N.** (2011). Geotechnical properties of reconstituted dredged mud. *Proceedings from the Pan-AM CGS Geotechnical Conference (pp. 1-7). Toronto, Canada: Pan-Am CGS 2011 Organizing Committee.*
- Gunaratne, M., Stinnette, P., Mullins, A. G., Kuo, C. L. ve Echelberger, W.** (1998). Compressibility relations for peat and organic soil. *Journal of testing and evaluation*, 26(1), 1-9.

- Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü. ve Mordoğan, H.** (2005). Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları. *Türkiye*, 19, 419-423.
- Hay, M. B. ve Myneni, S. C.** (2007). Structural environments of carboxyl groups in natural organic molecules from terrestrial systems. Part 1: Infrared spectroscopy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71(14), 3518-3532.
- He, Z., Honeycutt, C. W., Xing, B., McDowell, R. W., Pellechia, P. J. ve Zhang, T.** (2007). Solid-state Fourier transform infrared and <sup>31</sup>P nuclear magnetic resonance spectral features of phosphate compounds. *Soil science*, 172(7), 501-515.
- Huang, C. ve Kerr, P. F.** (1960). Infrared study of the carbonate minerals. *Am. Mineral*, 45(3-4), 311-324.
- Kalıpcılar, İ., Eskisar, T., Göktepe, A. B., & Altuna, S.** (2014). İzmir Körfezi Tarama Malzemesinin Geoteknik Özellikleri ile Solidifikasyona Uygunluğunun İncelenmesi, *Zemin mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbeşinci Kongresi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye Ekim 16-17.
- Kearns F. L. ve Davison, A. T.** (1983). Field Classification of Organic Rich Soils. *Proceedings, Mineral Matter in Peat: Its Occurrence, Form and Distribution*, R. Raymond, JR. ve M. J. Andrejko, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, 1983, pp. 147 - 157.
- Kocasoy, G.** (1996). *Atıksu arıtma çamuru ve katı atık ve kompost örneklerinin analiz yöntemleri*: Boğaziçi Üniversitesi.
- Limeir, J., Agulló, L. ve Etxeberria, M.** (2012). Dredged marine sand as construction material. *European journal of environmental and civil engineering*, 16(8), 906-918.
- Malasavage, N. E., Jagupilla, S., Grubb, D. G., Wazne, M. ve Coon, W. P.** (2012). Geotechnical performance of dredged material—steel slag fines blends: laboratory and field evaluation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(8), 981-991.
- Martin, P.-E., Eisenlohr, L., Bobillon, G., Esnault, P. ve Gardet, C.** (2009). Reuse of Solid Waste from the Clearing of Road Basins and Ditches in Civil Engineering: Environmental Characterization, Ways of Treatment and Their Efficiency *Highway and Urban Environment* (pp. 187-195): Springer.
- Nguyen, T., Janik, L. J. ve Raupach, M.** (1991). Diffuse reflectance infrared Fourier transform (DRIFT) spectroscopy in soil studies. *Soil Research*, 29(1), 49-67.
- Provenzano, M., Hafidi, M. ve Senesi, N.** (2000). Compost maturity assessment using calorimetry, spectroscopy and chemical analysis. *Compost Science & Utilization*, 8(2), 124-134.
- Ravisankar, R., Chandrasekaran, A., Kalaiarsi, S., Eswaran, P., Rajashekhar, C., Vanasundari, K. ve Athavale, A.** (2011). Mineral analysis in beach rocks of Andaman Island, India by spectroscopic techniques. *Archives of Applied Science Research*, 3(3), 77-84.
- Reig, F. B., Adelantado, J. G. ve Moreno, M. M.** (2002). FTIR quantitative analysis of calcium carbonate (calcite) and silica (quartz) mixtures using the constant ratio method. Application to geological samples. *Talanta*, 58(4), 811-821.



- Rekik, B. ve Boutouil, M.** (2009). Geotechnical properties of dredged marine sediments treated at high water/cement ratio. *Geo-Marine Letters*, 29(3), 171-179.
- Schlue, B. F., Mörz, T. ve Kreiter, S.** (2011). Undrained shear strength properties of organic harbor mud at low consolidation stress levels. *Canadian Geotechnical Journal*, 48(3), 388-398.
- Shahri, Z. ve Chan, C.-M.** (2015). On the Characterization of Dredged Marine Soils from Malaysian Waters: Physical Properties. *Environment and Pollution*, 4(3), 1.
- Silverstein, R. M., Webster, F. X., Kiemle, D. J. ve Bryce, D. L.** (2014). *Spectrometric identification of organic compounds*: John wiley & sons.
- Simkovic, I., Dlapa, P., Doerr, S. H., Mataix-Solera, J. ve Sasinkova, V.** (2008). Thermal destruction of soil water repellency and associated changes to soil organic matter as observed by FTIR spectroscopy. *Catena*, 74(3), 205-211.
- Taylor, D. W.** (1948). *Fundamentals of soil mechanics* (Vol. 66): LWW.
- Thiyyakkandi, S. ve Annex, S.** (2011). Effect of organic content on geotechnical properties of Kuttanad clay. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 16.
- Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü.** (2016). *İzmir Körfezi ve Limanı Rehabilitasyon Projesi, Çevresel Etki Değerlendirme*
- Zhang, L.** (2013). Production of bricks from waste materials—A review. *Construction and building materials*, 47, 643-655.

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : İnci DEVELİOĞLU  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 03.03.1991 Karşıyaka  
**E-posta** : inci.develioglu@ikc.edu.tr

## ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.

## MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Araştırma Görevlisi, (2015 - ).
- 19th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, February 23-24, Paris, France, En iyi sunum ödülü.

## YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Develioglu I., Pulat H. F.** 2017. Geotechnical Properties and Compressibility Behavior of Organic Dredged Soils, *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, 11(2), 194-198.
- **Develioglu I., Pulat H. F.** 2017. Geotechnical Properties and Compressibility Behavior of Organic Dredged Soils. *19th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, February 23-24, Paris, France.

## DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Develioglu I., Pulat H. F.** 2017. Yüksek fırın çürufunun geoteknik özellikleri ve taşıma kapasitesi performansının incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, DOI: 10.5505/pajes.2017.82574.
- **Develioglu I., Pulat H. F.** 2017. Geotechnical Characterization and Shear Strength Behavior of İzmir Bay's Dredged Material. *2nd International Symposium on Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics*, September 6-7, Leeds, UK.
- **Develioglu I., Pulat H. F.** 2016. Geotechnical factors affecting the bearing capacity of blast furnace slag. *7th Conference of the Croatian Geotechnical Society with international participation*, November 10-12, Varazdin, Croatia.