



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARINDA TABAN DRENAJ
KAPASİTESİNİN NANO MALZEME KULLANILARAK
ARTTIRILMASI

Nadire DEMİR

DANIŞMAN

Prof. Dr.Bülent ARMAĞAN

II. DANIŞMAN

Doç. Dr.Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 28.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliğı Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliğı Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


Prof. Dr. Bülent ARMAĞAN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Süleyman ÖVEZ
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi


Prof. Dr. Neşe TÜFEKÇİ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

[Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 24424 numaralı projesi ile desteklenmiştir. |

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdikleri her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocalarım Prof.Dr. Bülent ARMAĞAN ve Prof.Dr.Neşe TÜFEKÇİ'ye en içten dileklerle teşekkür ederim.

Zemin Mekaniği ve Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvar imkanlarından yararlanmamı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen Doç.Dr. M. Şükrü ÖZÇOBAN'a, Dr. Güler TÜRKÖĞLU DEMİRKOL'a ve emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tüm öğrenim hayatım boyunca benden destek ve ilgisini esirgemeyen, her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa ve Yıldız Teknik Üniversitesi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2019

[Nadire DEMİR]

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xii
SİMGE VE KISALTIMA LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. GENEL GİRİŞ	1
1.2. AMAÇ.....	2
1.3. KAPSAM	3
2. DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARININ İNŞASI	4
2.1. GİRİŞ	4
2.2. DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARININ OLUŞUMU	5
2.3. DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSİ BİLEŞENLERİ	6
2.3.1. Taban Kaplaması ve Sızıntı Suyu Drenaj Sistemi	6
2.3.1.1. Katı Atık Düzenli Depolama Sistemleri.....	6
2.3.1.2. Kilden Geçirimsiz Taban Tabakası Oluşturulması	8
2.3.1.3. Geomembran ve Uygulaması	8
2.3.1.4. Geotekstilin İşlevi.....	9
2.3.1.5. Drenaj Tabakası.....	10
2.3.1.6. Sızıntı Suyu.....	10
2.3.1.7. Sızıntı Suyu Drenaj Borularının Yerleştirilmesi.....	11
2.3.1.8. Geçirimsiz Zeminde Depolama	11
2.4. NİHAİ ÖRTÜ TABAKASI (NÖT).....	11
2.5. KOMPAKSİYON VE PERMEABİLİTE	11
2.5.1. Kompaksiyon.....	11
2.5.1.1. Zeminlerin Kompaksiyonuna Etki Eden Faktörler.....	13
2.5.2. Standart Kompaksiyon Deneyi	15
2.6. PERMEABİLİTE (ZEMİNLERİN GEÇİRİMLİLİĞİ).....	17
2.6.1. Permeabiliteye Etkili Olan Faktörler	18
2.6.1.1. Permeabiliteye Zemin Boşluk Oranının Etkisi	20
2.6.1.2. Permeabiliteye Yoğrulmanın Etkisi	20
2.6.1.3. Tortul Tabakalaşma Etkisi	21

2.6.2. Permeabilite Deneyleri	21
2.7. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	26
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	46
3.1. DENEY DÜZENEGİ	46
3.2. ANALİZ YÖNTEMLERİ	46
3.2.1. Sabit Seviyeli Permeabilite (Geçirimsizlik) Deneyi	46
3.2.1.1. Gerekli Cihazlar.....	46
3.2.1.2. Gerekli Ölçümler.....	46
3.2.1.3. Deneyin Yapılışı	47
3.2.1.4. Hesaplamalar.....	47
3.3. KOMPAKSİYON UYGULAMASI VE PERMEABİLİTE DENEY DÜZENEGİ	47
3.4. DENEYDE KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ	51
3.4.1. Süzülmüş Kil (Kaolinin) Özellikleri	51
3.4.1.1. Kimyasal Analiz	51
3.4.1.2. Reojolojik Özellikleri.....	52
3.4.1.3. Pişme Özellikleri	52
3.4.1.4. Minerolojik Analiz.....	53
3.4.1.5. Tane Boyutu Dağılımı	53
3.4.2. Nano Malzemeler.....	53
3.4.2.1. Alüminyum Oksit	53
3.4.2.2. Demir (II,III) Oksit.....	53
4. BULGULAR.....	54
4.1. KOMPAKSİYON DENEY SONUÇLARI	54
4.1.1. Sızıntı Suyu ile Elde Edilen Permeabilite Sonuçları.....	55
4.1.1.1. I. Set Deney Sonuçları	55
4.1.1.2. II.Set Deney Sonuçları.....	59
4.2. SIZINTI SUYU İÇİN ATIK ANALİZLERİ.....	63
4.2.1. I. Set Deney Sonuçları	64
4.2.1.1. KOİ Analiz Sonuçları	64
4.2.1.2. TKN-N Analiz Sonuçları.....	67
4.2.1.3. TP Analiz Sonuçları	71
4.2.2. II.Set Deney Sonuçları.....	74
4.2.2.1. KOİ Analiz Sonuçları	74
4.2.2.2. TKN-N Analiz Sonuçları.....	78
4.2.2.3. TP Analiz Sonuçları	81
4.2.3. XRD ve SEM Analiz Sonuçları (Sızıntı Suyu İçin).....	84
4.2.3.1. I.SetXRD Analiz Sonuçları	84
4.2.3.2. II. Set XRDAnaliz Sonuçları.....	86

4.2.3.3. I.Set SEM Analiz Sonuçları	86
4.2.3.4. II. Set SEM Analiz Sonuçları.....	90
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	94
KAYNAKLAR.....	96
EKLER.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	103





ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Katı atık düzenli depolama kesiti.....	5
Şekil 2.2: Katı atık düzenli depolama alanı sistemi.....	7
Şekil 2.3: Kil geçirimsizlik tabakasının sıkıştırılması işlemi.	8
Şekil 2.4: Geomembran serilmesi.....	9
Şekil 2.5: Geotekstil serilmesi.....	9
Şekil 2.6: Drenaj için filtre çakılı serilmesi.	10
Şekil 2.7: Drenaj boruları.	11
Şekil 2.8: Viskozite katsayısının sıcaklıkla değişimi.	19
Şekil 3.1: Sıkıştırma işleminin şematik şekli.....	48
Şekil 3.2: Permeabilite deney düzeneğinin şekli.	49
Şekil 3.3: Permeabilite deney düzeneğinin şematik fotoğrafı.	50
Şekil 4.1: Kaoline ait su muhtevası- kuru birim hacim ağırlığı grafiği.	55
Şekil 4.2: Zaman – permeabilite ilişkisi.....	56
Şekil 4.3: Zaman – permeabilite ilişkisi.....	56
Şekil 4.4: Zaman – permeabilite ilişkisi.....	57
Şekil 4.5: Zaman – permeabilite ilişkisi.....	57
Şekil 4.6: Zaman – permeabilite ilişkisi.....	58
Şekil 4.7: Farklı nano malzeme karışımları ile kilin permeabilitesi.....	59
Şekil 4.8: Zaman – permeabilite ilişkisi.....	59
Şekil 4.9: Zaman – permeabilite ilişkisi.....	60
Şekil 4.10: Zaman – permeabilite ilişkisi.....	60
Şekil 4.11: Zaman – permeabilite ilişkisi.....	61
Şekil 4.12: Zaman – permeabilite ilişkisi.....	62
Şekil 4.13: Farklı nano malzeme karışımları ile kilin permeabilitesi.....	63
Şekil 4.14: Kaolin ile KOİ giderim verimi.....	64

Şekil 4.15: Kaolin + % 2 demir oksit ile KOİ giderim verimi.	64
Şekil 4.16: Kaolin + % 4 demir oksit ile KOİ giderim verimi.	65
Şekil 4.17: Kaolin + % 2 alüminyum oksit ile KOİ giderim verimi.	65
Şekil 4.18: Kaolin + % 4 alüminyum oksit ile KOİ giderim verimi.	66
Şekil 4.19: KOİ giderim verimlerinin karşılaştırılması.	67
Şekil 4.20: Kaolin -TKN-N giderim verimi.	67
Şekil 4.21: Kaolin + % 2 demir oksit ile TKN-N giderim verimi.	68
Şekil 4.22: Kaolin + % 4 demir oksit ile TKN-N giderim verimi.	68
Şekil 4.23: Kaolin + % 2 alüminyum oksit ile TKN-N giderim verimi.	69
Şekil 4.24: Kaolin + % 4 alüminyum oksit ile TKN-N giderim verimi.	69
Şekil 4.25: TKN-N giderim verimlerinin karşılaştırılması.	70
Şekil 4.26: Kaolin ile TP giderim verimi.	71
Şekil 4.27: Kaolin + % 2 demir oksit ile TP giderim verimi.	71
Şekil 4.28: Kaolin + % 4 demir oksit ile TP giderim verimi.	72
Şekil 4.29: Kaolin + % 2 alüminyum oksit ile TP giderim verimi.	72
Şekil 4.30: Kaolin + % 4 alüminyum oksit ile TP giderim verimi.	73
Şekil 4.31: TP giderim verimlerinin karşılaştırılması.	74
Şekil 4.32: Kaolin ile KOİ giderim verimi.	74
Şekil 4.33: Kaolin + %1 demir oksit ile KOİ giderim verimi.	75
Şekil 4.34: Kaolin + %3 demir oksit ile KOİ giderim verimi.	75
Şekil 4.35: Kaolin + %1 alüminyum oksit ile KOİ giderim verimi.	76
Şekil 4.36: Kaolin + %3 alüminyum oksit ile KOİ giderim verimi.	76
Şekil 4.37: KOİ giderim veriminin karşılaştırılması.	77
Şekil 4.38: Kaolin ile TKN-N giderim verimi.	78
Şekil 4.39: Kaolin + % 1 demir oksit ile TKN-N giderim verimi.	78
Şekil 4.40: Kaolin + % 3 demir oksit ile TKN-N giderim verimi.	79
Şekil 4.41: Kaolin + % 1 alüminyum oksit ile TKN-N giderim verimi.	79
Şekil 4.42: Kaolin + % 3 alüminyum oksit ile TKN-N giderim verimi.	80

Şekil 4.43: TKN-N giderim veriminin karşılaştırılması.....	81
Şekil 4.44: Kaolin ile TP giderim verimi.	81
Şekil 4.45: Kaolin + %1 demir oksit ile TP giderim verimi.....	82
Şekil 4.46: Kaolin + %3 demir oksit ile TP giderim verimi.....	82
Şekil 4.47: Kaolin + %1 alüminyum oksit ile TP giderim verimi.	83
Şekil 4.48: Kaolin + % 3 alüminyum oksit ile TP giderim verimi.....	83
Şekil 4.49: TP giderim veriminin karşılaştırılması.....	84
Şekil 4.50: I. Set XRD analiz sonuçları.....	85
Şekil 4.51: II. Set XRD analiz sonuçları.	86
Şekil 4.52: Temiz kilin SEM görüntüleri.	87
Şekil 4.53: Kirli kilin SEM görüntüleri.....	87
Şekil 4.54: I. Set sızıntı suyu ile kirlenmiş kilin(kaolin) SEM görüntüleri.....	89
Şekil 4.55: Temiz kilin SEM görüntüleri.....	90
Şekil 4.56: Kirli kilin SEM görüntüleri.....	90
Şekil 4.57: II.Set sızıntı suyu ile kirlenmiş kilin(kaolin) SEM görüntüleri.....	91

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1: İnce malzemenin etkisi.	14
Tablo 2.2: Standart ve Modifiye Proktor Deneylerinin Karşılaştırılması.	16
Tablo 2.3: Geçirimsizlik Değerlerinin Tipik Değerleri.	25
Tablo 3.1: Sızıntı suyunun özellikleri.	50
Tablo 3.2: X-ışını floresans, akredite analiz ve karbon-kükürt analizi ile sonuçları elde edilmiş, süzölmüş kil kimyasal analiz raporu.	51
Tablo 3.3: Süzölmüş kile ait reolojik özellikleri.	52
Tablo 3.4: Süzölmüş kilin pişme özellikleri.	52
Tablo 3.5: Lazer difraktometre ile belirlenmiş süzölmüş kilin tane boyut dağılımı.	53
Tablo 4.1: Kompaksiyon deneyine ait veriler.	54

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Pb	: Kurşun
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
Cr	: Krom
Cd	: Kadmiyum
Ni	: Nikel
Fe	: Demir
Co(II)	: Kobalt
Mn(II)	: Manganez

Kısaltmalar

NÖT	: Nihai örtü tabakası
GCL	: Geosentetik kil kaplamalar
AKM	: Askıda katı madde
TKN-N	: Toplam kjeldahl azotu
TP	: Toplam fosfor
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
UAKM	: Uçucu askıda katı madde

ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARINDA TABAN DRENAJ KAPASİTESİNİN NANO MALZEME KULLANILARAK ARTTIRILMASI]

[Nadire DEMİR]

**İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman : Prof. Dr. Bülent ARMAĞAN

II. Danışman : Doç. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN

[Özet

Çevre kirliliği son yıllarda önem kazanmıştır. Katı atık kontrolü ile ilgili olarak yapılan çalışmalar artık önemli bir seviyeye gelmiş bulunmaktadır. Katı atıkların boyutları her geçen gün artmakta, hatta dünyanın geleceğini tehdit etmektedir. Kontrol mekanizmaları önemli ölçüde belirlenmiş, yasalarla da çevre kirliliği kontrolü ve kirliliğin engellenmesi kapsamlı olarak ele alınmıştır. Günümüzde geliştirilen teknolojilere rağmen birçok katı atık türünün yeniden üretime kazandırılması, öncelikle ekonomik olarak mümkün olmamaktadır. Katı atıkların bertarafında da yakma, kompostlaştırma gibi yöntemler uygulanmakla birlikte sonuçta yine de bir miktar katı atığın son uzaklaştırma işlemi için depolanması gerekmektedir. Bu nedenle, çevreyi katı ve sıvı atıklardan ortaya çıkan kirleticilerden korumak için, düzenli depolama sahaları düzenlenmektedir.

Düzenli depolama alanlarında kullanılan doğal ve örselenmiş kil genellikle taban ve tavan örtü teşkilinde ve yan seddelerin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Kil zemin tabakaları sızıntı suları, organik sıvılar gibi kirleticilerin tutulmasında etkin olarak kullanılmaktadırlar. Daha önce yapılan araştırmalarda zeminin yapısının; içinden sızıntı suyunun geçmesi sonucunda zamanla bozulmaya başladığı ve zeminin permeabilitesinde değişimler olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle killi zeminin geçirimsizliği sağlamak için tek başına yeterli olmadığı anlaşılmıştır.

Kil zemin tabakaları sızıntı suları, organik sıvılar gibi kirleticilerin gideriminde çok etkili olduğu belirlenmiş, geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu nedenle bu çalışmada sızıntı suyu geçirilen zeminin hem permeabilitesinin artmasını engellemek hem de

giderim verimini arttırmak amacıyla farklı ve değişen miktarda nano malzeme ile zeminin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla İstanbul Avrupa yakasında bulunan Kemerburgaz – Odayeri Düzenli Depolama Alanı'ndan teminedilen çöp sızıntı suyu numunesi, Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San. ve Tic. A.Ş' den alınan kil (kaolin) ve nanomalzeme olarak demir (II,III) oksit nanomalzeme ve alimünyum oksit nanomalzeme kullanılmıştır. Kaolin öğütölmüş ve toz haline getirilmiş olarak firmadan alındığı için herhangi bir işlem uygulanmamıştır. Demir (II, III) oksit ve alimünyum oksit nano malzemeler Sigma-Aldrich firmadan temin edilmiştir. Kil numunesinin içine farklı ve değişen miktarda nano malzeme ilave edilerek standart yöntemlerle kompaksiyona tabi tutularak hazırlanmış ve bu örneklerin yerleştirildiği reaktörlerden sızıntı suyu geçirilerek zemin numunesinin permeabilitesi ve arıtım verimi deneysel olarak incelenmiştir.

Mayıs 2019, 120 sayfa.

Anahtar kelimeler: Nano malzeme, Standart kompaksiyon, Permeabilite, Arıtım verimi, Sızıntı suyu

SUMMARY

INCREASE OF GROUND DRAINAGE CAPACITY IN LANDFILL BY USING NANO MATERIAL

M.Sc. THESIS

Nadire DEMİR

Istanbul University-Cerrahpasa
Institute of Graduate Studies
Department of Environmental Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Bülent ARMAĞAN

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mehmet Şükrü ÖZÇOBAN

Summary

Environmental pollution has gained importance in recent years. Work on solid waste control is now at a significant level. The size of solid waste increases day by day, even threatening the future of the world. Control mechanisms have been determined to a considerable extent and, in accordance with legislation, environmental pollution control and pollution prevention have been extensively addressed. Despite the technologies developed today, it is not economically feasible to regenerate many solid waste streams. In the disposal of solid wastes, incineration, composting and other methods are applied, but still some solid wastes must be stored for final disposal. For this reason, there are regular storage sites to protect the environment from pollutants from solid and liquid wastes.

Natural and consolidated clay soil used in landfills are generally used for forming floor and ceiling coverings and for the formation of side sidewalls. Clay soil floor layers are effectively used to contain pollutants such as leachate, organic liquids. In the previous researches, the structure of the floor; It is stated that the leakage water starts to deteriorate with time as a result of passing through and changes in the permeability of the ground. For this reason, it is understood that the clay soil ground is not enough to provide impermeability. Clay soil layers have been determined to be very effective in removing pollutants such as leachate and organic liquids, and are widely used throughout the day. For this reason, it is aimed to improve the clay soil with different and varying amounts of nano material in order to prevent the increase of permeability and to increase the removal efficiency.

For this purpose, the waste water sample collected from Kemerburgaz – Odayeri Regular Storage Area in Istanbul, Europeanside and the clay (kaolin) from the company Esan Eczacıbaşı Industrial Hammaddeler San. and Tic. and -Iron (II,III) oxide nanopowder, and Aluminum oxide nanopowder) was used. Since kaolin was ground and pulverized, it was taken from the company and no treatment was applied. Iron (II, III) oxide and aluminum oxide nanomaterials were obtained from the company, Sigma-Aldrich.

The permeability and the yield of the soil sample were examined experimentally by passing the leach water through these factors by adding different nanomaterials with varying amounts to the clay sample. |

|May 2019|,120|pages.

Keywords: | Nano materials, Standard compaction, Permeability, Treatment Efficiency, Leachate |



1. GİRİŞ

1.1. GENEL GİRİŞ

Tüm dünyada artan nüfus ve değişen yaşam tarzına bağlı olarak insanların ürettiği katı atıklar artmaktadır. Dünyada yıllık olarak 450 - 500 milyon ton evsel katı atık meydana geldiği tahmin edilmektedir. Bu miktarın 320 ila 350 milyon tonu ise katı atık depo sahalarına gömülmektedir. Ülkemizde ise Türkiye İstatistik Kurumunun (2017 tarihli) verilerine göre Türkiye nüfusunun 81 milyon kişi olduğu ifade edilmiştir. Günde kişi başına 1–2 kg katı atık üretildiği düşünüldüğünde, ortalama 81 ile 162 bin ton arasında atık üretimi olduğu görülmektedir. Son yıllarda çöplerin bertarafı konusunda teknolojideki gelişmelere rağmen birçok atık türünün yeniden üretime kazandırılması ekonomik olarak mümkün olamamaktadır. Çöplerin bertarafında düzenli depolamadan farklı olarak yakma, kompostlaştırma gibi yöntemler bile kullanılsa sonuçta yine de bir miktar çöpün son uzaklaştırma işlemi için düzenli depolama alanlarına ihtiyaç duyacağı açıktır. Evsel katı atıkların düzenli depolama yöntemiyle bertarafında seçilen alanların çevre kalitesinin bozulmaması gereklidir. Ancak bu yöntemin bazı özellikleri atık kaynaklı hava, su ve toprak kirliliğinin yayılmasını önlerken bazı özellikleri de kirliliğin yayılmasını kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, bu alanların seçiminde alanın jeomorfolojik, jeolojik, hidrojeolojik ve tektonik özelliklerinin yanı sıra atık tabanında yer alan doğal zeminin mineralojik bileşimi ve indeks özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir. Katı atıkların düzenli depolandığı alanlarda, depolanan katı atıkların içinden sızarak tabana ulaşan sızıntı suları çok önemli bir problemdir. Yüksek kirlilik derecesine sahip bu sızıntı sularının çöpün içinde bulunan su muhtevsından kaynaklanabileceği gibi düzenli depolama alanına yağın yağmurdan, saha civarından gelebilecek taşkın sularından veya depoya sızabilecek yeraltı sularından da kaynaklanabilir. Sızıntı suyunun karakteri ise sahaya göre, hatta saha içindeki alanlara göre büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Ülkemizde düzenli depolama dışında evsel (bazı durumlarda sanayi atıklarını da içeren) katı atıklar, vahşi depolama olarak bilinen ve hiçbir mühendislik işleminin uygulanmadığı yöntemlerle uzaklaştırılmaktadır. Özellikle sanayi bölgelerinde kullanılan bu tür depolama yöntemleri sınırlı sayıda bulunan su kaynaklarını tehdit etmektedir [1]. Sızıntı suyu, katı atıkların muhtevsından kaynaklanan çok sayıdaki element ve bileşiği içerir. Sızıntı suları, yüksek organik kirlilik ve yüksek ağır metal içeriğine sahip kompleks,

koyu renkli, kokulu ve hemen hemen her türlü kirletici parametrenin içeriğinde bulunması nedeniyle artırılması güç bir kirletici kaynağıdır [2].

1.2. AMAÇ

Dünya nüfusunun hızla artması, teknolojinin gelişmesi, insanların daha fazla tüketime yönelmesi, katı atıkların önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. Katı atıkların bertaraf edilme yöntemleri arasında en konvansiyonel yöntem olan düzenli depolama birçok probleme neden olmaktadır. Dünyada tahmini hesaplarla yıllık olarak $450 - 500 \times 10^6$ ton evsel katı atık meydana gelmektedir. Bu miktarın 320 ile 350×10^6 tonu ise katı atık depo sahalarına gömülmektedir.

Düzenli depolama alanlarında genellikle taban ve tavan örtü teşkilinde ve yan seddelerin oluşturulmasında doğal ve örselenmiş kil kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalarda sızıntı suyunun killi zeminin yapısını bozarak permeabilitesini arttırdığı ve killi zeminin geçirimsizliği sağlamak için tek başına yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca killi zemin tabakalarının sızıntı sularında bulunan kirleticilerin gideriminde etkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle bu çalışmada sızıntı suyu geçirilen zeminin hem permeabilitesinin artmasını engellemek hem de giderim verimini arttırmak amacıyla farklı ve değişen miktarlarda nano malzeme ile zeminin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla İstanbul Avrupa yakasında bulunan Kemerburgaz – Odayeri Düzenli Depolama Alanı'ndan temin edilen çöp sızıntı suyu numunesi, Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San. ve Tic. A.Ş. 'den alınan kil (kaolin) kullanılmıştır. Kaolin öğütülmüş ve toz haline getirilmiş olarak firmadan alındığı için herhangi bir işlem uygulanmamıştır. Kil numunesinin içine farklı ve değişen miktarda farklı nano malzemeler (alüminyum oksit, demir oksit (II, III)) ilave edilerek standart yöntemlerle kompaksiyona tabii tutularak hazırlanmış ve bu örneklerin yerleştirildiği reaktörlerden sızıntı suyu geçirilerek zemin numunesinin permeabilitesi ve arıtım verimi deneysel olarak incelenmiştir.

1.3. KAPSAM

Kemerburgaz – Odayeri Düzenli depolama alanından alınan çöp sızıntı sularını, içine nano malzeme ilave edilerek standart yöntemle sıkıştırılmış killi zeminlerden (kaolin, demir oksit (II, III) nano malzeme ve alimünyum oksit nanomalzeme) geçirilerek zeminin permeabilitesi ve giderim veriminin değişiminin incelendiği bu çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşama:

Kemerburgaz – Odayeri düzenli depolama alanından temin edilen çöp sızıntı suyu numunesi, Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San.veTic.A.Ş'den alınan kil numunesinin (kaolin) içine farklı ve değişen miktarda nanomalzemeler demir (II, III) oksit nano malzeme (Iron (II, III) oxidenanopowder, 50-100 nm particlesize-Sigma-Aldrich), alimünyum oksit nanomalzeme (Aluminum oxidenanopowder, 13 nm primary particle size Sigma Aldrich)ilave edilerek standart yöntemle kompaksiyona tabi tutularak hazırlanan numunelerin bulunduğu reaktörlerden geçirilerek numunenin permeabiliteleri deneysel olarak bulunmuştur.

İkinci aşama:

Farklı ve değişen miktarda nano malzeme ilave edilen killi zeminin arıtım kapasitesini saptamak amacıyla sürekli sistemde KOİ, TKN-N, NH₃-N,TP, AKM, iletkenlik ve pH analizleri yapılmıştır. Ancak arıtım kapasitesi KOİ, TKN-Nve TP parametreleri esas alınarak değerlendirilmiştir.

Üçüncü aşama:

Temiz ve sızıntı suyu geçirilecek kirlenmiş zemin örneklerinde XRD ve SEM analizleri yapılmıştır. |

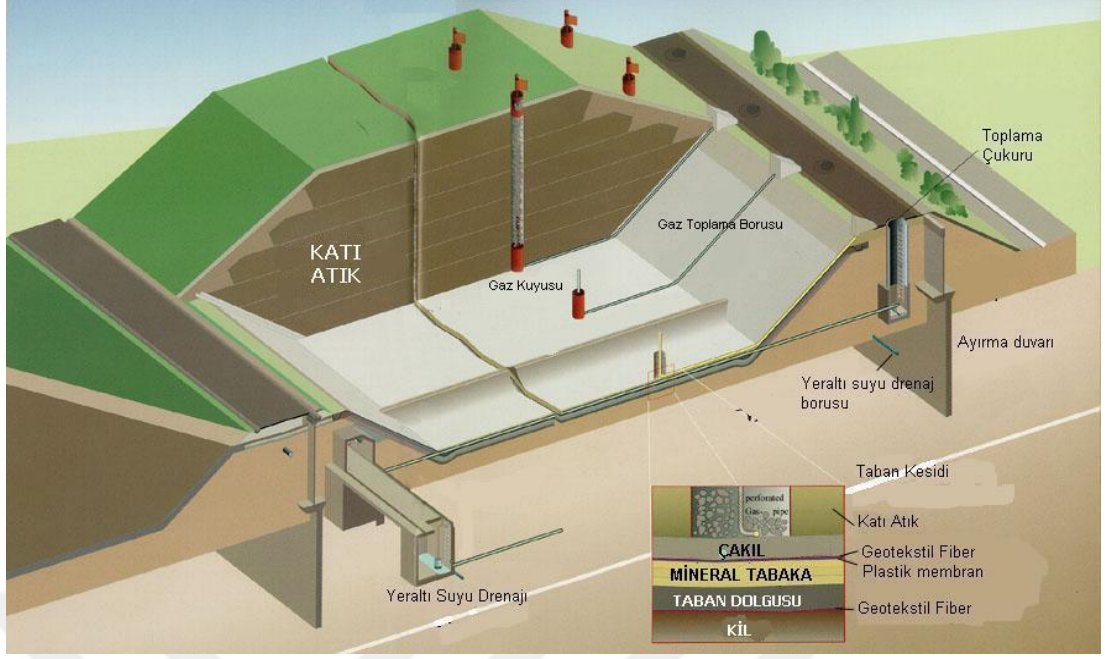
2. DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARININ İNŞASI

2.1. GİRİŞ

Katı ve zararlı atıkların etrafa zarar vermeden sahada bertarafı için geliştirilen mühendislik çözüm metodudur. Düzenli depolama, her katı atık yönetim sisteminin bir bütünüdür. Atık tekrar dönüşüm ve kazanımı sayesinde yapılan azaltım miktarı ne kadar olursa olsun bir kısmı atık depolamaya gönderilmektedir. Gelişen katı atık yönetiminin kolay, ekonomik olarak uygun ve bilinen bertaraf yöntemi olması sebebiyle özelliğini sürdürmektedir [3].

Yapılan arkeolojik çalışmalarda, depolama metodunun 5000 yıldan beri kullanıldığı sonucu elde edilmiştir. Düzenli ve vahşi depolama olarak arazide uygulanabilmektedir. Türkiye’de genel olarak vahşi depolama yöntemi, az sayıda belediyelerde ise katı atık bertaraf yöntemi olarak düzenli depolama kullanılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde yapılan bir araştırmada %73’ünün düzenli depolama ile bertaraf yapıldığı sonuçları bulunmuştur [4, 5].

Hidrolik iletkenlik, sulama yönetimi, sızıntı analizi ve stabilite hesaplamaları için gerekli olan önemli bir mühendislik özelliğidir. Toprakta kirletici göç ve çevreleme düzeltilmesi gibi coğrafi çevresel uygulamalarda sorunlara uygun çözümler bulmada hayati rolü nedeniyle önemi daha da artmaktadır. Düşük hidrolik iletkenliğe sahip sıkıştırılmış topraklar genellikle yağmur suyunun sızmasını en aza indirmek ve kaçak metan emisyonunu azaltmak için düzenli depolama alanları kullanılır [6]. Tipik katı atık düzenli depolama kesiti şekil 2.1 de görünmektedir [7].



Şekil 2.1: Katı atık düzenli depolama kesiti.

Düzenli depo sahalarında oluşan başlıca durumlar;

- Biyobozunur maddelerin ayrışması,
- Organik ve inorganik bileşiklerin oksidasyonu,
- Gaz oluşumu,
- Suyla atıkların çözünmesi ve taşınımı
- Atık yüzeyinde tutunma,
- Suyun hidrolik hareketi,
- Depo sahasında oluşan çökmeler olarak sıralanabilir [5,8].

2.2. DÜZENLİ DEPOLAMA ALANLARININ OLUŞUMU

Önce alanın nebati toprağı temizlenip yeraltı suyu drenajı sağlanmaktadır. Sonrasında depolama alanına getirilen doğal zeminde sıkıştırma işlemi yapılmaktadır. Sıkıştırma sonra iki ayrı kademede herbiri 30 cm kalınlığında iki kil tabakası serilerek tekrar sıkıştırılır. Bunun üzerine 2 mm kalınlığında yüksek yoğunluklu polietilen folyo kaplanmaktadır (Geomembran-HDPE). Geomembran üzerine koruyucu tabaka olarak geotekstil (800 gr/m²) serilmektedir. Bundan sonra tatbikat projesinde hesap edilen çöp sızıntı suyu toplama boruları yerleştirilmektedir. Daha sonra sahanın tamamında filtre tabakası olarak granülometresi ve kalker oranı uygun ortalama 30 cm kalınlığında çakıl tabakası serilmektedir. Bu düzenleme sonrası sahaya etkili yarıçapı 50 m olan gaz toplama bacaları yerleştirilmektedir. Bu şekilde

geçirimsizlik tabakası ve alt yapısı hazırlanan sahaya atıklar sıkıştırılarak depolanmaktadır [9].

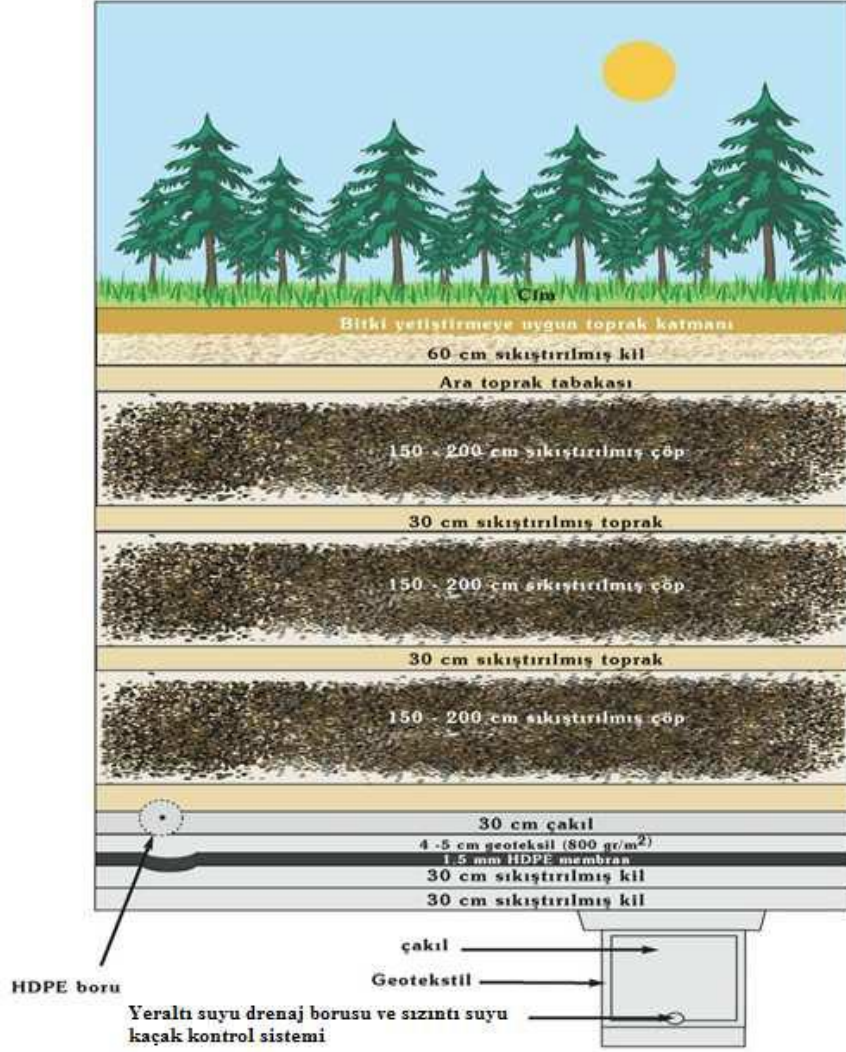
2.3. DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSİ BİLEŞENLERİ

2.3.1. Taban Kaplaması ve Sızıntı Suyu Drenaj Sistemi

2.3.1.1. Katı Atık Düzenli Depolama Sistemleri

Düzenli depolama alanları düşük hidrolik iletkenliğe sahip sıkıştırılmış topraklar olarak genellikle yağmur suyunun sızmasını en aza indirmek ve kaçak metan emisyonunu hafifletmek için kullanılır. Hidrolik iletkenlik, sulama yönetimi, sızıntı analizi ve stabilite hesaplamaları için gerekli olan önemli bir mühendislik özelliğidir.

Toprakta kirletici göç ve çevreleme düzeltmesi gibi coğrafi çevresel uygulamalarda sorunlara uygun çözümler bulmada hayati rolü nedeniyle önemi daha da artmaktadır [10-12]. Gelişmiş ülkelerde tüm şehirlerde, kasaba ve köylerde katı atık düzenli depolama sistemleri bulunmaktadır. Çevre bilincinin önemini kavrayan bu ülkeler; katı atıkların gerek zararlarından korunmak, gerekse bu atıkların bazı yönlerinden faydalanmak için hiçbir yatırımdan kaçmamıştır. En gelişmiş teknolojik sistemleri ve makineleri kullanarak gerekli olan tesisleri kurmuşlardır. Örneğin; tüm şehirlerde, kentlerde, kasabalarda ve hatta bazı köylerde katı atık düzenli depolama alanlarının yanı sıra; geri dönüşüm tesisleri, kompost tesisleri, gaz toplama tesisleri, katı atığı yakıtla dönüştürme tesisleri, katı atığı elektrik enerjisine dönüştürme tesisleri vb. kurulmuştur [5,10]. Gelişmiş dünya ülkelerinin kullandığı bu tekniklere rağmen, Türkiye katı atık sistemleri konusunda çok gerilerde kalmıştır. İstanbul-Ümraniye’de (1994) yılında, vahşi depolama alanında gerçekleşen gaz patlaması sonucunda, onlarca insan hayatını kaybetmiştir. Yaşanan bu feci olayın ardından, (1995) yılında, ilk olarak İstanbul ilinde katı atık depolama alanı inşaa edilmiştir [11]. Tipik katı atık düzenli depolama alanlarında taban geçirimsizliğinin sağlanması amacıyla ile kurulan düzenli depolama alanı şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2: Katı atık düzenli depolama alanı sistemi.

Bu depolama sahasının tabanında 30'ar cm'lik iki tabakadan oluşan sıkıştırılmış kilin üzerinde, 1.5mm. HDPE mebran ve onun üstünde de, 4.5 cm kalınlığında geotekstil malzeme yerleştirilmiştir. Bu tabakaların en üstüne de sızıntı suyunu toplayan bir drenaj boru sistemi yapılmış, filtre malzemesi olarak 30 cm çakıl örtü kullanılmıştır. Ayrıca sahanın en alt seviyesinde, yer altı sularının toplanması için döşenen drenaj boru sistemi kurulmuştur. Bu düzenek ile katmanlardan sızan katı atıksızıntı suyunun toplanması için kaçak kontrol sistemi oluşturulmuştur.

2.3.1.2. Kilden Geçirimsiz Taban Tabakası Oluşturulması

Depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı sularının sistemli bir şekilde kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu önlemler için depolama tabanının sızdırmazlığı geoteknik yönden toprak kullanılarak taban geçirimsizliğinin sağlanmasında, sıkıştırma metodu, sıkıştırma enerjisi, kilin nem içeriği, kilin toprak büyüklüğü, içerdiği materyaller ve toprak katmaları arasında bir bağ oluşturulmalıdır [10]. Olası çatlakların kendi kendine kapatmasında killi toprakların önemi büyüktür. Çünkü killi toprağın oluşan çatlakları kendi kendine kapatma gibi bir özelliği vardır. Taban örtüsünün tüm kalınlığı, delinmenin de zor olmasına fayda sağlar. Kil taban örtüsünün avantajı bu yönde kullanılmaktadır. Geçirimsizliğin tabakası 30 cm kalınlığında aşamalı olarak iki kademeli şekilde sıkılaştırılmalıdır. Serilen ilk 30cm'lik kil tabakası ardından gelen 30 cm'lik kil tabakası ile birleştirilmelidir. Ezicive çığneyiciler kullanılarak sızıntı suyu yolları oluşumu bu şekilde engellenmelidir. Taban zemini vibratörlü silindirler yardımıyla sıkıştırılarak, olası oturmalar minimize edilmelidir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Kil geçirimsizlik tabakasının sıkıştırılması işlemi.

2.3.1.3. Geomembran ve Uygulaması

Geomembran; kimyasal maddelere karşı yüksek direnç gösterdiği için çekme mukavemeti yüksek, geçirgenliği düşük, delinme ve çatlamalara karşı son derece dayanıklı bir yapı malzemesidir. Sızmalara karşı üstün bir koruma oluşturur. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) yaklaşık 2.10 m genişliğinde rulolar halinde, 140 – 190m uzunluğunda üretilmektedir. Kalınlıkları 2 ile 8 mm arasında değişmektedir [12].

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre içme ve kullanma havzalarının uzun mesafeli koruma alanında inşa edilecek düzenli depolama sahası tabanında sıkıştırılmış kalınlığı 60 cm kil tabakasının üzerine, kalınlığı 2mm olan yüksek yoğunluklu folye (HDPE) serilir. Serilecek folyenin yoğunluğu 941.965 kg/m^3 olmak zorundadır (Şekil 2.4) [13].



Şekil 2.4: Geomembran serilmesi.

2.3.1.4. Geotekstilin İşlevi

Mükemmel uzama özelliği sayesinde geotekstil; yüksek bölgesel yüklere dayanıklıdır. Gözenek yapıları suyun geçişine müsaade ederken, silt veya kum gibi ince daneli malzemeleri de tutar. Geotekstillerin özel yapısı, filtrelerin tıkanmasını önler ve geomembranın zarar görmesini engeller (Şekil 2.5) [14].



Şekil 2.5: Geotekstil serilmesi.

2.3.1.5. Drenaj Tabakası

Alan Drenaj Sistemi: Alan drenaj sistemleri kum, çakıl, 16/32 kum veya kırmataş malzemelerden oluşur. Bu sistemlerde kullanılan kalker oranı % 30' dan küçük olmalıdır (Şekil 2.6) [15].



Şekil 2.6: Drenaj için filtre çakılı serilmesi.

Boru Drenaj Sistemi: Boru drenaj sistemlerinde sızıntı suyu, borularda toplanır. Borudrenaj sistemlerinde tıkanma durumu söz konusudur ve temizlenmeleri zordur (Şekil 2.6) [15].

Birleşik Drenaj: Birleşik drenaj sistemlerinde ise alan drenajı ve boru drenajı birlikte uygulanır. Birleşik drenaj sistemleri yaygın uygulama alanı bulmaktadır (Şekil 2.6) [15].

2.3.1.6. Sızıntı Suyu

Katı atıkta bulunan kirleticilerin yağış ve erime sonrasında atığın bünyesinde bulunan nem ile birlikte deponi tabanına süzülmesiyle kirletici özelliğine sahip olan sular **sızıntı suyu** olarak ifade edilir [16].

Sızıntı suyu; erimiş, parçalanmış katı maddelerden ve mikrobiyolojik ürünlerden oluşur. Yağmur yağdığında su damlacıkları atıkların arasından geçerek kimyasal ve fiziksel reaksiyon sonrası tabanda yoğunlaşır. Böylece yağmur suyu katı atıklardan kaynaklanan kirlilikleri de bünyesine alıp, depolama alanı tabanında birikir [17].

2.3.1.7. Sızıntı Suyu Drenaj Borularının Yerleştirilmesi

Sızıntı suyu drenaj borularının yerleştirilmesi sırasında, geçirimsiz hale getirilen taban üzerine drenaj boruları döşenerek, sızıntı suları bir noktada toplanmalıdır. Hidrolik ve statik olarak hesaplanması gereken drenaj borularının çapı minimum 100 mm ve minimum eğimi % 1 olmalıdır. Drenaj boruları, münferit borular şeklinde yatayda ve düşeyde kıvrım yapmadan doğrusal olarak depo sahası dışına çıkarılmalıdır (Şekil 2.7) [18].



Şekil 2.7: Drenaj boruları.

2.3.1.8. Geçirimsiz Zeminde Depolama

Depolama sahasında yapılan geoteknik etüdler sonucunda, temel zemininin tamamen veya belli bir derinlikten sonra geçirimsiz olduğu durumlar olmakta ve genel olarak, permeabilite katsayısı 10^{-8} - 10^{-10} cm/sn olan zemin veya kayalar pratikolarak geçirimsiz olarak kabul edilir [18].

2.4. NİHAİ ÖRTÜ TABAKASI (NÖT)

Düzenli depolama alanlarının üzeri, öncelikle yağmur suyu girişini önlemek üzere yönetmeliklere uygun şekilde teşkil edilecek bir nihai örtü tabakası (Nöt) ile kapatılmalıdır. NÖT'ün öncelikli görevi, yağmur suyu girişi sonucu hızlanacak sızıntı suyu oluşumu ile yer altı suyu kirlenmesini önlemektir [19].

2.5. KOMPAKSİYON VE PERMEABİLİTE

2.5.1. Kompaksiyon

Kompaksiyon (sıkıştırma) zemin danelerinin birbirlerine yaklaştırılması ve aralarındaki hava boşluklarının azaltılması sonucu daha sıkı bir yerleşime sahip olmalarını sağlayan mekanik

işlemlere verilen isim olarak tanımlanabilir. Zeminin sıkıştırılması sonucu birim hacim ağırlığı artmakta ve buna bağlı olarak mühendislik özellikleri iyileştirilmiş olmaktadır.

Danelerin birbirine yaklaşabilmesi ve sıkışmanın sağlanabilmesi ancak uygulanan statik veya dinamik yükler altında birbirlerine göre hareket edebilmeleri ile sağlanabilir.

Danelerin birbirine göre hareket edebilme yetenekleri ise, uygulanan yüklerin şiddeti (kompaksiyon enerjisi) yanında zemin içindeki su miktarına bağlı olarak değişiklik gösterir.

Zemin içindeki su miktarının (su muhtevası) kompaksiyon üzerinde iki değişik etkisi söz konusudur. Zemin içindeki su miktarı zeminin suya doygunluk derecesinin danelerin birbirine yaklaşmasına engel olacak derecede yüksek olmasına yol açacak mertebede ise kompaksiyonun sağlanması güçleşecektir. Zeminin su muhtevası yükseldikçe, boşluklardaki havanın bir kısmı hapsedilmekte ve dışarı çıkma imkanı bulamamaktadır. Bunun sonucu olarak sıkışan bu hava hacimlerinde basınç artışları meydana gelmekte ve kompaksiyon zorlaşmaktadır. Zeminin tamamen suya doygun olması, yani bütün boşlukların suyla dolu olması durumunda ise kompaksiyon mümkün değildir. Çünkü bu durumda uygulanan yükler altında boşluk suyunda basınç artışları meydana gelecek ve bu hidrostatik basınç danelerin birbirine yaklaşmasına karşı koyacaktır.

Diğer taraftan zemin içindeki su miktarı aynı zamanda danelerin birbirine göre hareket edebilmelerini de etkilemektedir. Zemin içinde yeterli su bulunduğu zaman (yüksek su muhtevalarında) daneler arasındaki sürtünme azalmakta (yağlama etkisi) aynı zamanda kapiler gerilmelerde azalmakta ve daneler arası elektriksel etki kuvvetleri ortaya çıkmaktadır [20].

Zemin içinde yeterli su bulunmadığı zaman ise (düşük su muhtevalarında) daneler arası sürtünme ve kapiler gerilmeler artmakta, elektriksel kuvvetlerin net etkisi ise çekim kuvvetlerine dönüşmektedir. Görüldüğü üzere, zemin içindeki su miktarının kompaksiyon üzerindeki iki etkisi birbiri ile çelişkilidir. Şöyle ki; su miktarı arttıkça danelerin birbirine göre hareketi kolaylaşmakta, buna karşılık birbirine yaklaşması zorlaşmaktadır. Buna göre her iki etkinin bir arada düşünülmesi ile, en iyi sıkışmanın ancak zemin içinde yeterli miktarda su bulunması (ne çok az ne de çok fazla) durumunda sağlanabileceği sonucuna varılmaktadır. Zeminin en iyi ve en kolay sıkışabileceği bu su muhtevasına optimum su muhtevası adı verilmektedir.

Optimum su muhtevası değişik zeminler için birbirinden farklı olduğu gibi, aynı zemin için de kompaksiyon yöntemine ve uygulanan kompaksiyon enerjisine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Sıkışmanın sağlanabilmesi için gerekli olan danelerin birbirine göre hareket edebilmesi ve birbirine yaklaşabilmesi, zemin içindeki su miktarı yanında elbette uygulanan statik veya dinamik yüklerin türüne ve şiddetine bağlıdır. Sadece, belli bir kompaksiyon yöntemi ve belli bir kompaksiyon enerjisi altında zeminin sıkışmasının en iyi ve en kolay sağlanabileceği su muhtevasını göstermektedir ve belirli şartlar altında deneysel olarak bulunması gerekir [20].

Yukarıdaki paragraflarda açıklanan, su muhtevasının sıkıştırma (kompaksiyon) üzerindeki etkisi, kohezyolu (siltli ve killi) zeminlerde çok açık olarak görülmektedir.

Kohezyonsuz zeminlerin (temiz kumlar ve çakıllar) sıkıştırılması ise su muhtevısından daha az etkilenmektedir. Çünkü iri daneli zeminlerde hem zemin içindeki su ve havanın dışarı çıkması daha kolaydır (boşluklarda basınç artışları meydana gelmeyecektir) hem de daneler arası sürtünme su muhtevısından çok az etkilenmektedir. Ayrıca, iri daneli zeminlerde daneler arası elektriksel kuvvetlerde, yerçekimi kuvvetlerine göre, ihmal edilebilir mertebededir. Kumlu zeminlerde su muhtevası sadece daneler arasındaki kapiler gerilmeleri etkilemektedir. Özellikle ince kumlarda, zemin nemli ise sıkıştırma, tamamen kuru veya tamamen suya doygun zemine göre (kuru ve suya doygun durumda kapiler gerilmeler olması nedeni ile) daha zor olmaktadır [20].

2.5.1.1. Zeminlerin Kompaksiyonuna Etki Eden Faktörler

Kompaksiyona etki eden başlıca faktörler; zeminin su içeriği, zeminin özellikleri ve tipi, sıkıştırma enerjisi tipi, miktarı ve metodu olarak ele alınmalıdır.

Zeminlerin kompaksiyon derecesi, belirli bir sıkıştırma derecesi altında laboratuarda sahip olabileceği maksimum yoğunluğun arazide sıkıştırma sonunda elde edilen yoğunluğuna oranı olarak tanımlanır. Kompaksiyon testi ile elde edilen maksimum kuru birim ağırlıktaki su içeriğine optimum su içeriği denilir. Eğer zemin arazide deney yoluyla bulunan optimum su

içeriği ile maksimum kuru birim ağırlığına kadar sıkıştırılacak olursa stabilitesi maksimum olacaktır.

Su içeriği optimumdan daha fazla arttıkça kuru birim ağırlıkta azalır. Çünkü kuru birim ağırlıktaki zemin boşlukları teorik olarak tamamen suya doygun halde iken artan su miktarı zemin danelerini iterek doygun su hacmini de arttırmakta ve dolayısıyla zeminin yoğunluğuda azaltmaktadır. Zira su hem sıkışmayan bir malzeme olup hem de özgül ağırlığı zemine nazaran çok daha azdır.

Zeminin ihtiva ettiği ince malzeme miktarı arttıkça yoğunluğu, sıkışabilirliği, boşluk oranı permeabilitesi, vb. özelliklerinde önemli değişiklikler olur. Bu değişiklikler Tablo 2.1.' de özetlenmiştir. Kohezyonlu zeminler optimum su muhtevasından ne kadar fazla uzak ise o kadar fazla plastik ve yapışkan bir hal alarak ama ne kadar kuru ise sıkışmaya karşı o kadar fazla direnç göstererek kompaksiyon zorlaşır ve hatta maksimum γ_d nin elde edilmesi imkansızlaşır [20].

Tablo 2.1:İnce malzemenin etkisi.

Mevcut İnce Malzeme	A. Yok yada çok az	B. Boşlukları dolduracak kadar	C. Aşırı fazla
Etkisi	- Daneler arası temas yok	-Deformasyona karşı direnç artar	- Daneler ince malzeme içinde yüzdüğünden iyi ile vasat arası
	- Değişken yoğunluk	- Yoğunluk artar	- Yoğunluk düşer
	- Geçirgen	-Pratik olarak geçirgen değil	- Geçirgen değil
	- Yüksek stabilite	-Kohezyonla artan stabilite	- Düşük stabilite
	- Çok zor sıkışır	- Orta derecede sıkışır	- Kolay sıkışır
	- Dona duyarsız	- Dona duyarlı	- Dona çok duyarlı
	- Sudan etkilenmez	- Dona duyarsız	- Sudan fazla etkilenir

2.5.2. Standart Kompaksiyon Deneyi

Kompaksiyon deneyinin amacı; zeminin sıkıştırılması ile maksimum kuru birim ağırlığının elde edildiği su muhtevasının elde edilmesidir. Zeminlerin birim hacim ağırlıklarının artırılması ile genellikle kayma dirençleri artırılırken geçirimsizlikleri (permabiliteleri) ve oturmaları azaltılmış olur. Kompaksiyon deneyi ile zeminin kuru birim hacim ağırlığı ve su muhtevası arasında zemin birim hacim ağırlığı arttırıldıkça kayma direncinin de artacağı bilinmektedir. Öte yandan zemine ait geçirimsizlik ve oturmalarında birim ağırlığın artmasıyla azaldığı görülür. Bunun için zeminin hangi su muhtevası ile sıkıştırılması halinde maksimum kuru birim hacim ağırlığının elde edileceğinin bilinmesi çok önemli olmaktadır.

Kuru halde bulunan zemine bir miktar su ilave edildiği zaman zemin daneleri bu suyu emerler. Daha fazla su ilave edilmesi durumunda zemin çevresinde bulunan su filminin kalınlığı artar ve zemin daneleri birbirlerine göre kolaylıkla rölatif hareketler (birbirleri üzerinden kayma hareketleri) yapabilirler. Bir miktar daha su ilave edilmesi halinde zemin içerisinde bulunan boşluklar su ile dolmaya başlar ve zeminin birim hacim ağırlığını arttırmırlar.

Ancak zemin içerisindeki boşlukların tamamen suyla doldurulması ve suyun sıkışmaması nedeniyle bir noktadan sonra yapılan su ilaveleri zeminin birim hacim ağırlığını arttırmayacağı gibi azalmasına sebep olacaktır.

Sonuç olarak zemine ilave edilecek suyun miktarı iyi ayarlanmalıdır ki zemine ait maksimum birim hacim ağırlık elde edilebilsin. Şöyle ki; ilave edilen suyun çok az ya da çok fazla olması halinde zeminde maksimum kuru birim hacim ağırlıklardan daha küçük değerlere ulaşabilmektedir. Maksimum kuru birim hacim ağırlığının elde edilmesini sağlayan su muhtevasına optimum su muhtevası (içeriği) adı verilmektedir [21].

Maksimum kuru birim hacim ağırlığını veren su muhtevasının (optimum su muhtevası) laboratuarda belirlenmesi ile arazide yapılacak olan bir kompaksiyonda zemine karıştırılacak su miktarının belirlenmesi ile mümkün olmaktadır. Laboratuarda elde edilen kuru birim hacim ağırlıklar genellikle arazide elde edilen kuru birim hacim ağırlıklardan yüksek olmaktadır. Bundan dolayı arazide elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlığının laboratuarda elde

edilen maksimum kuru birim hacim ağırlığına oranı bilinmek istenir. Standartlar genellikle bu oranın en az %95 olmasını istemektedir.

Yaygın olarak kullanılan iki tür proktor deneyi vardır. Standart Proktor ve Modifiye Proktor diye adlandırılırlar. Bunlardan birincisinde zemin 3 tabaka halinde üzerine 2,5 kg ağırlığında bir kütlenin her tabakaya 30 cm yükseklikten 25 kere düşürülmesi ile, Modifiyeli Proktor deneyinde ise zemin 5 tabaka halinde üzerine 4,5 kg ağırlığında bir kütlenin her tabakaya 46 cm yükseklikten 25'er kere düşürülmesi ile sıkıştırılmaktadır [21].

Tablo 2.2:Standart ve Modifiye Proktor deneylerinin karşılaştırılması.

Kullanılan Alet ve Yöntem	Standart Deney	Modifiye Deney
Sıkıştırma Kabinin hacmi (cm ³)	956	956
Tokmak Ağırlığı (kg)	2,5	4,5
Düşüş Yüksekliği (cm)	30,5	45,7
Her Bir Tabakaya Vuruş Sayısı	25	25
Sıkıştırılan Tabaka Sayısı	3	5
Uygulana Enerji Miktarı (kJ/m ³)	560	2700

Kalıp sıkıştırılmış zemin ile tamamen doldurulduktan sonra kütlesi belirlenip bundan sıkıştırılmış zeminin yoğunluğu (veya birim hacim ağırlığı) hesaplanabilir. Deney 5 veya 6 kere tekrarlanarak zeminin su muhtevası ile sıkıştırılmış kuru yoğunluğu arasındaki ilişki deneysel olarak saptanmış olur ve sonuçlar grafik şeklinde gösterilir.

Eğrilerin tepe noktalarının koordinatları bu zemin için uygulanan kompaksiyon enerjisine bağlı olarak elde edilebilecek maksimum kuru yoğunluğu (ρ_{dmax}) ve optimum su muhtevasını (w_{opt}) göstermektedir. Laboratuvar kompaksiyon deneyinde saptanması amaçlanan esas iki parametre bu değerler olmaktadır. Optimum su muhtevası bize zeminin arazide en iyi sıkışabileceği su muhtevasını, maksimum kuru yoğunluk ise elde edilebilecek sıkışma derecesini göstermektedir. Eğrilerin biçimi ise, belirli su muhtevası aralıklarında sıkıştırılmış zeminin kuru yoğunluğunda gözlenecek değişiklikleri göstermektedir.

Suya doygunluk eğrilerinin denklemi;

$$\rho_k = \frac{\rho_w S}{\omega + \frac{\rho_w S}{\rho_s}}$$

(2.1)

şeklinde ifade edilebilir.

Bu eğrilerin konumu sadece danelerin yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Kompaksiyon eğrisinin suya doygunluk eğrilerine göre konumu ise, bize farklı su muhtevalarında sıkıştırılmış zeminin doygunluk eğrilerine göre, farklı su muhtevalarında sıkıştırılmış zeminin doygunluk derecesi hakkında fikir vermektedir ki bu husus arazideki kompaksiyon çalışmalarında elde edilecek randıman ve sıkıştırılmış zemine uygulanabilecek yükler altında beklenebilecek davranış yönünden önemli ipuçları vermektedir. Kompaksiyon enerjisini arttırmakla aynı su muhtevsındaki zemini daha yüksek bir kuru yoğunluğa getirmek mümkündür. Dolayısıyla, uygulanan kompaksiyon enerjisinin artmasına bağlı olarak maksimum kuru yoğunluk artmakta, ayrıca optimum su muhtevası azalmaktadır. Kompaksiyon eğrilerinin tepe noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen eğriye ise optimumlar çizgisi adı verilir.

Laboratuar kompaksiyon deneyinden elde olunan sıkışma eğrisi (kuru yoğunluk-su muhtevası ilişkisi) uygulanan kompaksiyon enerjisine ve kompaksiyon yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Bunun yanında, arazide kullanılan enerjilerin hem kendi aralarında hem de laboratuar deneyine göre büyük farklılıklar gösterdiği bilinmektedir. Yapılan araştırmalar, eğrinin biçimi ve konumu biraz değişse de, farklı kompaksiyon yöntemleri ve enerjiler altında, zeminin genel davranışında büyük benzerlikler bulunduğunu göstermektedir.

Kompaksiyon zemin ıslah yöntemleri içerisinde en kolay, en ucuz ve özellikle en etkin olanıdır. Çünkü kompaksiyon ile yukarıda sayılan özelliklerin iyileştirilmesi mümkündür. Kompaksiyon neticesinde zemin yoğunluğu artacağından dolayı daneler arasındaki sürtünme kuvveti ve kenetlenme (kilitlenme) artarak kayma mukavemeti ve taşıma gücü artacak fakat boşlukların azalmasından dolayı permabiliteside azalacaktır [21].

2.6. PERMEABİLİTE (ZEMİNLERİN GEÇİRİMLİLİĞİ)

Zemin kütleleri içinde meydana gelen su akımlarının bilinmesi zemin mekaniğinin önemli konularından bir tanesidir. Suyun zemin kütlesi içindeki boşluklarda hareket etmesi (akması) olayının ölçülmesi geçirimsizlik (permeabilite) olarak adlandırılır. Yeraltı suyu akımı miktarı bilinmesi, yapılan çeşitli kazılarda kazı çukurunda toplanacak suyun pompayla

uzaklaştırılması, herhangi bir malzemenin zemin üstünde stoklamasında zeminin malzeme geçirimsizliği, toprak dolgularda stabilite analizlerinin yapılması ve dayanma duvarlarına gelen akım kuvvetlerinin belirlenmesi gibi durumlarda zemine ait geçirimsizliğin binmesi gerekmektedir [2].

2.6.1. Permeabiliteye Etkili Olan Faktörler

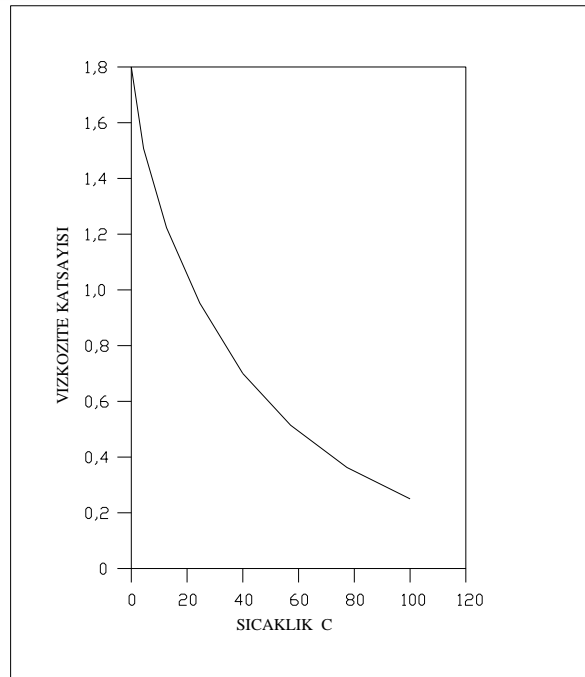
Permeabilitenin ölçülmesinde kullanılan çeşitli metodların incelenmesinden evvel, permeabiliteye etkili olan faktörlerin kısaca gözden geçirilmesi, deneylerde dikkat edilecek bazı noktaların belirtilmesi bakımından faydalı olacaktır.

Zemin içerisinde suyun geçme hızına etkili olan faktörlerin başında zemin gözeneklerinin şekilleri, hacimleri ve zemin danelerinin şekilleri gelmektedir. Zemin içerisindeki suyun, boru içinden akan suya nazaran farklı oluşu; zemin danelerinin suyun akışına direnmeleri yüzünden veya diğer bir deyimle danelerin suyu bir süzgeçten geçiş haline getirişlerindedir. Bu bakımdan zemin gözeneklerinin zemin kesiti içerisindeki dizilişleri ve alanlarının toplamı suyun geçiş hızına ve miktarına doğrudan doğruya etkili olmaktadır. Zeminlerin izotropik oluşlarına veya izotropik olmayışlarına göre aynı zeminde düşey yöndeki su hareketiyle, yatay yöndeki su hareketi birbirinin aynı veya birbirinden farklı olabilmektedir. Bu husus deneyde kullanılan metodun esas prensibine göre elde edilen neticelerin düşey veya yatay geçirgenlik olup olmadığı tayin eder ve uygulamada da elde edilen değerler bu düşüncelerin ışığı altında değerlendirilir. Çeşitli metodlarla elde edilen sonuçların bu bakımdan da değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Permeabiliteye etkili olan ikinci faktör zemin içerisinde hareket eden sıvının özel ağırlığı, viskozitesidir. Bilhassa viskozite gözenekler arasından geçen suyun hızına ve miktarına daha fazla etki etmektedir. Bu bakımdan hidrolik iletkenlik değerlerinin tayini çalışmalarında laboratuvar ve arazi şartlarında kullanılan suyun zemin suyu ile aynı kalitede bulunması; diğer bir deyimle deneylerin arazi ıslanmasında ve getirilmesinde kullanılacak olan suyun viskozite ile aynı değerde olan sularla yapılmasına dikkat edilmelidir. Bu amaçla bilhassa laboratuvar deneylerinde mümkün olduğunca araziden alınmış olan sular kullanılmalıdır.

Permeabiliteye etkili olan bir diğer önemli faktör zemin suyunun sıcaklığıdır. Değişik sıcaklık derecesindeki sularla yapılan deneylerde farklı sonuçlar alınacağı için, deney sonuçlarının

sabit bir sıcaklığa göre ayarlanmalıdır, bunun için düzeltmeler yapılması gerekir bu düzeltmeye 20 °C ta göre yapılan bir ayarlama ile veya deneyde kullanılan su sıcaklığından, hidrolik iletkenlik değerlerinin kullanılacağı uygulama sahasındaki suyun sıcaklığı ona göre bir ayarlama şeklinde yapılır. Mesela; laboratuvar deneyinde kullanılan suyun sıcaklığı 26 °C ve arazide suyun sıcaklığı 10°C ise laboratuvarda kullanılan suyun viskozitesi daha azalacağından, laboratuvarda elde edilen hidrolik iletkenlik değeri gerçek değere nazaran daha yüksek olacaktır. Bu bakımdan elde edilen değerlerin 10°C deki zemin suyuna göre düzeltilmeleri gereklidir. Düzeltme faktörü olan kullanılan değerler, sıcaklık derecesi ile suyun viskozitesi arasındaki ilişki esas alınmak üzere tayin edilir. Metrik sistemde viskozite katsayısının birimi dyne/saniye/cm² dir, ve değer poise olarak adlandırılır. 20,20 °C derecesindeki suyun viskozite katsayısı 100 poise dur, alttaki Şekil 2.8' de bu değerler ordinat ekseninde centipoise olarak gösterilmiştir. Aşağıda sıcaklık derecelerine göre yapılabilecek olan düzeltmelerde kullanılan bir grafik verilmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8: Viskozite katsayısının sıcaklıkla değişimi.

Ordinat ekseninde centipoise olarak viskozite değerleri, absis ekseninde ise sıcaklık dereceleri verilmiştir. Permeabilite katsayısı deneylerde kullanılan suyun viskozitesi ile doğru orantılı olduğu için, viskozite katsayısı düzeltme faktörü olarak kullanılmak suretiyle herhangi bir sıcaklık derecesinde bulunmuş olan permeabilite katsayısının 20,20 °C normal sıcaklık derecesine göre düzeltmek mümkün olur.

Deneyleerde ve dolayısıyla elde edilen sonuçlara etkili olan faktörlerden bir diğeri de permeabilite deneyleri esnasında gözenekler içerisinde sıkışıp kalmış olan hava kabarcıklarıdır. Bunun için deneye başlamadan önce, zemin numunesi içerisinde kalarak deneye etkili olmaması için muhtemel bulunan hava kabarcıklarının çıkarılması için zemin numunesinden bir müddet su geçirilmelidir. Deney esnasında su içerisinde bulunan havanın zemin daneleri arasında sıkışıp kalması söz konusudur. Bu olayı önlemek için deneyleerde mümkün olduğunca havasız su veya damıtık su kullanılmalıdır. Zemin içerisinde havanın etkilerini ortadan kaldırmak için alınabilecek bir diğeri tedbirde , suyun, ısıtılınca içindeki havanın bir kısmını kaybetmesi, soğutulunca da içinde bulunduğu ortamdan hava alması prensibine dayanarak deneyleerde zemin ısısından biraz daha farklı sıcaklıkta olan ılık bir suyun kullanılması suretiyle zemin içindeki bir kısım havanın zeminden geçerken soğuyan su ile karışarak ortamdan uzaklaştırılması yoludur.

Burada değinilen çeşitli faktörlerle permeabilite az da olsa etkili olan diğeri faktörlerin teker teker etüd edilmelerine imkan olmadığı için, permeabilite değeri doğa şartlarına en uygun bir ortamda doğrudan doğruya bulunan ölçmelerle bulunmalıdır [21].

2.6.1.1. Permeabiliteye Zemin Boşluk Oranının Etkisi

Permeabilite zeminin boşluk oranına bağılıdır. Boşluk oranı küçüldükçe permeabilite azalır. Cassagrande bu bağıntıyı;

$$K = 1,40 * K_{0,85} \quad \text{formülü ile ampirik olarak vermiştir.} \quad (2.2)$$

$K_{0,85}$ = Zeminin % 85 boşluk oranı için permeabilite katsayısıdır.

2.6.1.2. Permeabiliteye Yoğrulmanın Etkisi

Yoğrulma sonucu zeminin permeabilitesi değışir, bir zeminin yoğrulmamış ve yoğrulmuş durumlardaki permeabilite oranı genel olarak 1 ve 2 arasındadır.

$$1 < K/K_y < 2$$

K_y = Yoğrulmuş halde permeabilite katsayısıdır.

2.6.1.3. Tortul Tabakalaşma Etkisi

Tortul zeminlerde permeabilite doğrultuya bağlıdır. Yatay olarak tabakalaşmış bu çeşit zeminlerle yataya doğrultudaki permeabilite düşey doğrultudaki permeabiliteye nazaran farklıdır. Tabakaların dane çaplarına göre yatay ve düşey yöndeki permeabilite oranı 2 ila 3 den birkaç yüze kadar değişir. Bu ölçmeler esnasında yukarıda belirtilen faktörlere dikkat edilmesi suretiyle hakiki duruma yakın değerler elde etmek mümkün olmaktadır.

2.6.2. Permeabilite Deneyleri

H.Darcy (1856), Dijon (Fransa) kasabesindeki içme suyunun akım hızının suyun alındığı seviye ile dağıtıldığı seviye arasındaki kot farkı ve uzaklığın bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir (Darcy, 1856). Bu ilişkinin formüle edilebilmesi için geçirimsizlik (permeabilite) katsayısı (k) tanımlanmıştır. Bu tanıma göre; geçirimsizlik (permeabilite) katsayısı zemin içerisinde su akımının durumunu ifade etmektedir. Suyun zemine giriş noktası ile çıkış noktası arasındaki kot farkı su yükü veya piyezometrik basınç olarak bilinmektedir. Su yükünün iki nokta arasındaki mesafeye oranı da hidrolik eğim adı verilmektedir. Hidrolik eğim ile su yükünü ilişkilendiren bağıntı ise Darcy yasası olarak bilinir.

Darcy yasası;

$$v = k \times i \quad (2.3)$$

burada,

v = akım hızı

k = geçirimsizlik (permeabilite) katsayısı (m/sn, cm/sn vb)

i = hidrolik eğim (H/L)

H = iki nokta arasındaki su yükü

L = iki nokta arası mesafe (m.sn.vb.)

Suyun aktığı zeminin en kesiti A ise su debisi (q) şöyle belirlenir;

$$v \times A = k \times i \times A$$

$$q = k \times i \times A \quad (2.4)$$

Suyun akım süresi (t) biliniyorsa A kesitinden akan suyun miktarı (Q) hesaplanabilir;

$$q \times t = k \times i \times A \times t \quad (2.5)$$

$$Q = k \times i \times A \times t \quad (2.6)$$

Genel olarak geçirimsizlik (permeabilite) problemlerinde su miktarı veya debisi bilinmek istenen değerlerdir. Denklemler geçirimsizlik (permeabilite) katsayısı (k) dışındaki terimler kolaylıkla belirlenebilir. Bunun için herhangi bir zeminden akacak su debisinin (q) öğrenilebilmesi için o zemine ait geçirimsizlik (permeabilite) katsayısının ölçülmesi gerekmektedir. k katsayısı arazide zemine su pompalayarak veya zeminden su çekilerek ölçülebilmesine rağmen zeminin iri olması durumunda başarılı sonuçlar alınamamaktadır.

Zeminlerin geçirimsizliğini (permeabilitesini) laboratuarda ölçmek için kullanılan ağıt permeametre olarak adlandırılmaktadır. Laboratuarda geçirimsizlik (permeabilite) katsayısının belirlenebilmesi için iri daneli kohezyonsuz zeminlerde sabit seviyeli geçirimsizlik (permeabilite) deneyi, ince daneli kohezyonlu zeminlerde ise düşen seviyeli geçirimsizlik (permeabilite) deneyi uygun olmaktadır.

Deney düzeneğinde, numunenin belli bir seviye üzerinde bulunan sabit su seviyeli bir hazne, akımın meydana geldiği L boyunda, A en kesit alanında ve üzerinde H kadar su yükü bulunan bir zemin numunesinden oluşmaktadır. Deney süresince, (t) belli bir miktar suyun (Q) toplanması sağlanır. Geçirimsizlik (permeabilite) katsayısı (k) yukarıdaki (2.6) nolu bağıntının düzenlenmesiyle hesaplanır.

$$k = \frac{Q \times L}{H \times A \times T} \quad (2.7)$$

Sabit seviyeli geçirimsizlik (permeabilite) deneyi geçirimsizliği yüksek olan (kum, çakıl ve iri silt) zeminlerde kullanılır. Bu deney ince daneli (kil) zeminlerde kullanılmamalıdır. İnce daneli zeminlerde düşen seviyeli permeabilite deneyi kullanılmalıdır.

Düşen seviyeli geçirimsizlik deney düzeneği içerisinde su bulunan cam bir boru ve sabit seviyeli deneyde kullanılan numuneye benzer bir numuneden ibarettir. Her iki deneyde de suyun zemin içerisinden akması için belli bir süre (t) gereklidir. Bu iki deney arasındaki en önemli fark; sabit seviyeli deneyde hidrolik eğim (i) deney süresince sabit olmasına karşın,

düşen seviyeli deneyde zaman bağı olarak azalmaktadır. Zemin içerisinde akan suyun debisi (q) yukardaki (2.5) nolu eşitliklerden hesaplanabilir ;

$$q = k \times i \times A$$

Zemin içindeki akımın hızı şu şekilde hesaplanır;

$$v = -\frac{dH}{dt}$$

Burada (-) işareti H su yükünün (hidrolik yükün) zamanla azaldığını göstermektedir. Numunenin en kesit alanı A ve permeametreten akan suyun debisi q_p ise;

$$q_p = k \times i \times A = k \times H \times A/L \quad (2.9)$$

olur.

En kesit alanı a olan cam borudan zemine sızan su debisi q_s ise;

$$q_s = k \times i \times A = v \times A \quad (2.10)$$

veya

$$q_s = -\frac{dH}{dt} \times a$$

olur.

Sonra;

$$q_s = q_p \quad (2.11)$$

olacağından;

$$-\frac{dH}{dt} \times a = k \times A \times H/L \quad (2.12)$$

yazılabilir. (2.12) no'lu eşitliğin düzenlenmesiyle,

$$-dH/H = k \times A \times dt/(a \times L) \quad (2.13)$$

elde edilir. Deneye başlama zamanı (t_0) ve su yükü (H_0), deney sonundaki zaman (t_1) ve yükü (H_1) ise, bu limitler entegre edilerek;

$$\int_{H_2}^{H_1} \frac{dH}{H} = \frac{k \times A}{a \times L} = \int_{t_0}^{t_1} dt \quad (2.14)$$

Buradan;

$$-(\ln H_1 - \ln H_0) = \frac{k \times A}{a \times L} \times (t_1 - t_0) \quad (2.15)$$

bulunur.

$$\ln(H_0/H_1) = \frac{k \times A}{a \times L} \times (t_1 - t_0) \quad (2.16)$$

olarak yazılabilir. (2.16) nolu bağıntı geçirimsizlik (permeabilite) katsayısı olarak düzenlenirse ;

$$k = \frac{a \times L \times \ln(H_0/H_1)}{A \times (t_1 - t_0)} \quad (2.17)$$

elde edilir.

Laboratuarda yapılan deneyler çok dikkatli yapılsa bile elde edilen geçirimsizlik katsayıları ile arazideki geçirimsizlik katsayıları arasında büyük farklar olabilmektedir. Bunun birçok sebepleri vardır. Bu sebeplerden bazıları aşağıda görülmektedir;

- Deneye tabi tutulan numune arazideki zemini tam olarak temsil etmeyebilir. Laboratuvar koşullarında denenen az da olsa örselenmiş haldedir.
- Zeminlerin oluşumlarına bağlı olarak çoğunlukla yatay doğrultudaki geçirimsizlikleri düşey yöndenkinden büyüktür. Doğal haldeki zemindeki tabakalaşmalar deneyde dikkate alınmamışsa ölçülen geçirimsizlik katsayısı doğru olmayacaktır.

- Numune ile permeametre arasındaki düzgün yüzey ve numunenin yeterli büyüklükte olmaması, kısacası laboratuardaki sınır şartlarının arazidekilere uygun olmaması da sakıncalıdır.
- Arazideki hidrolik eğim ile (i) laboratuardaki eğim genellikle çok farklı olmaktadır.
- Numunedeki süreksizlikler ve boyutların küçük olması arazideki geçirimsizlik katsayısı (k_f) ile laboratuardaki geçirimsizlik katsayısının (k_l) farklı olmasına neden olmaktadır.
- Numune içinde çözülmüş tuzlar ve özellikle hava kabarcıkları özellikle laboratuvar koşullarında suyun bazı boşluklardan akmasını engellemektedir.
- Şişme ve büzülme ile oluşan çatlaklar numune üzerinde mevcutsa geçirimsizlik katsayısının değerini büyük ölçüde etkilemektedir.
- Zemin numunesi içinden akıtılan suyun sıcaklığı da geçirimsizlik katsayısını etkilemektedir.

Tablo 2.3: Geçirimsizlik değerlerinin tipik değerleri.

Zemin Cinsi	Geçirimsizlik Katsayısı k (cm/sn)
İri çakıl	10^{-1} - 10^{-1}
İri dere kumu	10^{-1} - 10^{-2}
İnce kum	10^{-1} - 10^{-3}
Silt	10^{-1} - 10^{-3}
Kil	10^{-5} - 10^{-8}

Geçirimsizlik deneylerinde zemin numunesinin içerisinden akıtılan suyun sıcaklığı da geçirimsizlik katsayısının etkilemektedir. Bunun için deneysel olarak elde edilen geçirimsizlik katsayısı (k) değerinde suyun sıcaklığı ile ilgili bir düzeltme yapılmalıdır. Geçirimsizlik katsayısının tanımlanmasında kullanılan suyun sıcaklığının 20 °C olarak tanımlanmaktadır. Raporlarda verilen geçirimsizlik katsayısı 20 °C de elde edilen değerlerdir. Geçirimsizlik deneyi

20 °C den farklı bir sıcaklıkta yapılarak geçirimsizlik katsayısını (k) elde edilmişse bu değer (2.17) eşitliğini kullanarak 20 °C sıcaklıkta elde edilen k değerine dönüştürülür;

$$k_{20} = kt \times \mu T / \mu_{20} \quad (2.18)$$

burada;

kt =su sıcaklığı T °C deki deneyden elde edilen geçirimsizlik katsayısı

μ_T = T °C sıcaklığındaki suyun vizkozitesi

μ_{20} =20 °C sıcaklığındaki suyun vizkozitesi (10,09 milipoise)

Geçirimsizlik katsayısı (k), boşluk oranında bir fonksiyondur. Herhangi bir (e_1) boşluk oranında geçirimsizlik katsayısını (k_1) biliniyorsa, kompaksiyon veya vibrasyon gibi işlemler sonucunda boşluk oranının (e_2) olması durumunda yeni permeabilite katsayısı hesaplanabilmektedir.

$$k_2/k_1 = (e_2/e_1)^2 \quad (2.19)$$

veya

$$k_2/k_1 = (e_2/e_1)^3 \cdot [(1+e_1)/(1+e_2)] \quad (2.20)$$

Yukarıda görülen (2.19) ve (2.20) nolu eşitlikler temiz kumlar için çok iyi sonuçlar vermektedir.

2.7. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Taşpolatyaptığı çalışmada [22] geçirimsiz kil tabakalarında, Afyon atık mermer tozu ve Şırnak Asfaltit tozlarının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Geçirimsiz kil tabakası olarak kaolin (%90) ve bentonit (%10) kullanılmıştır. Bu kil karışımına %5, %10, %15 oranında mermer tozu ve asfaltit tozu ilave edilmiştir. Hazırlanan her bir karışım üzerinde Geoteknik ve kimyasal deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak her iki malzemenin de geçirimsiz tabakalarda kullanılabilirliğine karar verilmiştir.

Tuncan ve diğ. [23] yaptığı çalışmada tabii zeolitlerin çöp deponi alanlarında kullanılabilceğini; zeolit, bentonit ve kumlar üzerinde yaptıkları uygulamalar ile kanıtlamışlardır. Geçirimsiz tabaka olarak bentonit - kum, bentonit - kaolin karışımları ve sadece kaolin ve illitkillerinin de kullanılabilceği belirtilmektedir. Çalışmada zeolit kullanılmasının amacı, sadece geçirimsiz tabaka oluşturmak değil, yüksek katyon değişim kapasitesinden dolayı sızıntı suyundaki ağır metal ve tehlikeli organikler gibi kirleticilerin yer altı zeminini ve yer altı suyunu kirletmesinin önlenmesi amaç edinilmiştir.

Yıldız'a göre [24] katı atık depo sahalarında çevre kirliliği açısından en önemli problem, sızıntı suyudur. Katı atıkların muhtevasından kaynaklanan; çok sayıdaki kirletici parametreyi ihtiva eden sızıntı suyu, katı atıkların içinden süzülerek bir takım fiziksel, kimyasal ve biyolojik olaylar sonucu oluşmaktadır. Önlem alınmadığı takdirde yer altı ve yer üstü su kaynakları kirletilmektedir. Sızıntı suyunun buolumsuz etkisini önlemek için, depo sahasının taban ve tavanı depolama bitirildikten sonra geçirimsiz hale getirilmelidir.

Koyuncu ve Güney [25], çalışmalarında katı atık depolama tabanında kaolin ve zeolit karışımının kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu çalışmada kullanılan zeolit ve kaolin karışımı, yüksek katyon değişim kapasitesine ve düşük permabiliteye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle kirliliğin azaltılması ve geçirimsizlik için iyi bir karışım olduğu düşünülmüştür. Bu karışımın atık depolama tabanlarında geosentetik malzemelere alternatif bir malzeme olarak kullanılabilceği belirlenmiştir.

Güney ve diğ. [25] yaptığı çalışmada, farklı pH seviyelerinde, değişik ağır metal içerikli sularda kullanılarak, çöp depolama alanında, bentonit/zeolit karışımının kullanılıp kullanılmayacağı araştırmıştır. Bu amaçla yapılan deneyler sonucunda, bu karışımın ağır metal tutma kapasitesinin yüksek olduğunu ve çöp depolama alanı alt tabakası olarak kullanılabilceği belirlenmiştir. Çalışmada karışımların permeabilite katsayısı 10^{-8} cm/sn mertebesinde bulunmuş olup, yazında verilen standartlara uygunluğu kanıtlanmıştır.

Yılmaz ve Eskişar'e göre [26] geosentetik kil kaplamalar (GCL) geotekstil veya geomembran kullanılarak oluşturulan bir hidrolik bariyer olup; "Na Bentonit Kili" veya "Ca Bentonit Kili" nin iki geotekstil veya geomembran tabakası arasına çok ince malzeme halinde yerleştirilip, kimyasal yapıştırıcılar ile yapıştırma, iğneleme veya dikme yöntemleri ile oluşturulacağı belirtilmektedir. GCL'nin ana avantajları arasında; sınırlı kalınlığı, altındaki zemin veya atık

malzeme üzerindeki farklılıklarını azaltması, kolay yerleştirilmesi ve düşük maliyeti gibi hususlar yer almaktadır. Geosentetik kil kaplamalar 10^{-8} - 10^{-10} cm/sn hidrolik iletkenliğe sahiptir.

Sarıkavaklı [27] tarafından yapılan çalışmada; bor işletmelerinde cevher zenginleştirilmesi sonucunda oluşan, atık sularının depolanmasına uygun malzeme seçimi için tabii toprak, doğal bentonit ve bentonit içerikli geotekstil kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, tabii toprağın son derecesiz olduğu gözlemlenmiş, ancak doğal bentonit ve bentonit içerikli geotekstil tabakalarında 9 ay boyunca herhangi bir sızıntı olmadığı belirlenmiştir.

Mollamahmutoğlu [28] yaptığı çalışmada; termik santral taban külünün, bentonit ve zeolit ile birlikte, katı atık depolama sahası taban malzemesi olarak kullanılabileceğini kanıtlamıştır. Yazında özellikle taban külüne ait en düşük permabilite değerinin 1×10^{-5} cm/sn olduğunu tesbit etmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında permabilite değeri daha da düşürülerek aynı zamanda taban külü, %30 oranla bentonitle karıştırıldığında $8,1 \times 10^{-8}$ cm/sn'lik bir geçirimsizlik değerine ulaşılmıştır. Yine %30 bentonit katkılı zeolit karışımında $1,2 \times 10^{-7}$ cm/sn'lik permeabilite değerine ulaşılmıştır.

Varank, ve diğ. [29] tarafından yapılan çalışmada, farklı alternatif kompozit taban sistemleri kullanılarak sızıntı suyundaki fenol bileşiklerinin (fenol, 2-CP, 2-MP, 3-MP, 4-MP, 2-NP, 4-NP, 2,4-DNP, 2,4-DCP, 2,6-DCP, 2,4,5-TCP, 2,4,6-TCP, 2,3,4,6-TeCP ve PCP) ve ağır metallerin (Pb, Cu, Zn, Cr, Cd ve Ni) yeraltı suyuna geçişi incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan alternatif tabaka sistemleri; R1: sıkıştırılmış kil tabakası (10 cm + 10 cm, $k=10^{-8}$ m/sn), R2: Geomembran (2mm HDPE) + sıkıştırılmış kil tabakası (10 cm, $k=10^{-8}$ m/sn), R3: Geomembran (2mm HDPE) + sıkıştırılmış kil tabakası (10cm, $k=10^{-8}$ m/sn) + bentonit tabakası (2 cm) + sıkıştırılmış kil tabakası (10 cm, $k=10^{-8}$ m/sn) ve R4: Geomembran (2mm HDPE)+ sıkıştırılmış kil tabakası (10 cm, $k=10^{-8}$ m/sn) + zeolit tabakası (2 cm) + sıkıştırılmış kil tabakasıdır (10 cm, $k=10^{-8}$ m/sn). Reaktörlere İstanbul evsel katı atıklarını temsil eden katı atıklar doldurulmuştur ve sızıntı suyu geri devretirilerek çalıştırılmıştır. Çalışma sonucunda düzenli depolama tesislerinde tabaka sistemlerinde bentonit ve zeolitin kullanımıyla organik bileşiklerin (fenol bileşikleri) %35-50' sinin ve inorganik kirleticilerin (ağır metaller) %55-100'nün etkili bir şekilde yeraltı suyuna geçişinin azaltılabilirliği gözlenmiştir. Sızıntı suyu

kirleticilerinin iz konsantrasyonlarda yeraltı suyuna geçmesine rağmen, bu çalışma sonucunda geçen kirleticilerin önemli bir çevre sorunu olabileceği kanısına varmışlardır.

Varank, ve diğ. [30] tarafından yapılan çalışmada, dört farklı alternatif taban sistemi kullanılarak organik ve inorganik kirleticilerin advectif ve difüzyon taşınımı yaklaşık 540 gün boyunca araştırılmıştır. 14 farklı fenol bileşikleri ve 3 farklı inorganik kirleticilerin (Cu, Zn, Fe) taşınımının değerlendirilmesi için bir boyutlu (1D) adveksiyon – dispersiyon taşınım modellemesini kullanmışlardır. 1D taşınım model sonucunda $4,77 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{sn}$ ile $10,67 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{sn}$ aralığında değişen en yüksek moleküler difüzyon katsayıları fenol (R4), 2-MP (R1), 2,4 –DNP(R2), 2,4-DCP(R1), 2,6-DCP(R2), 2,4,5-TCP(R2) ve 2,3,4,6-TeCP(R1) için tespit edilmiştir. Tüm reaktörler için $3,47 \times 10^{-6}$ ila $5,37 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sn}$ aralığında değişen Cu'nun dispersiyon katsayıları Zn ve Fe için elde edilen katsayılardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. R1, R2, R3 ve R4 reaktörleri için fenolik bileşiklerin ortalama moleküler difüzyon katsayıları sırasıyla $5,64 \times 10^{-10}$, $5,37 \times 10^{-10}$, $2,69 \times 10^{-10}$ ve $3,29 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{sn}$ olarak elde edilmiştir. Bu çalışmanın diğer bir bulgusu ise tabaka sistemi olarak bentonit ve zeolitin kullanımıyla fenolik bileşiklerin yeraltısuyuna geçişinin %35-50 oranında azaltılabildiğidir.

Smith ve Jaffe [31] tarafından yapılan çalışmada, Ottawa kumu, işlem görmemiş bentonit ve organobentonit karışımının organik kirletici geçişi üzerine etkileri araştırılmış, organik olarak modifiye edilen bentonitlerin atık bertaraf sahalarında taban malzemesi olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Ağırlık olarak %88 Ottawa kumu, %8 işlem görmemiş bentonit ve %4 organobentonit karışımının hidrolik iletkenliği $10^{-8} \text{ cm}/\text{sn}$ 'dir. Sulu çözülden Ottawa kumu, bentonit ve iki farklı organobentonit üzerine benzen sorpsiyonu çalışmaları yapılmış, çalışma sonucunda, organobentonitlerin benzeni kum ve bentonite oranla daha yüksek adsorplama kapasitesi olduğu belirlenmiş, tek boyutlu kirletici geçiş modeli elde edilen deneysel verilere uygulandığında taban örtüsü olarak organobentonit kullanımının klasik taban malzemelerine oranla benzen geçişini önemli oranda azalttığı tesbit edilmiştir.

Sıkıştırılmış kil tabakaları düzenli depolama alanlarının verimi açısından son derece önemlidir. Katı atıkların çevreye verdiği zararı azaltmak amacıyla uygulanan düzenli depolama yönteminde depolama alanlarında kullanılan sıkıştırılmış kil tabakalarının geçirgenliği üzerinde hem laboratuarda hem de arazide kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır. Bir

kil tabakasının performansını laboratuarda tahmin edebilmenin yollarından biri sıkıştırılmış zemin numuneleri üzerinde permeabilite deneyleri yapmaktır.

Gordon ve diğ. [32] yaptığı çalışmada, Wisconsin'de 10 yıldan uzun bir süre boyunca düzenli depolama sahalarında sızıntı suyunun yeraltı sularına geçişini engellemek amacıyla kil tabakaları kullanılmıştır. Bu tabakaların çoğu 1.22-1.52 m kalınlığındadır. Wisconsin Doğal Kaynaklar Bölümü, 1980 yılından beri, kil tabakanın ayrı bir bölümünden sızıntının niteliğini ve miktarını ölçmek için çoğu kille kaplı alana "toplama havuzu lizimetreleri" yerleştirmişlerdir. Bu cihazların başlangıçta, kil tabakaların altındaki doymamış bölgede toprak neminin izlenmesi için bir yöntem ihtiyacı duymuştur, çünkü çoğu durumda emme lizimetreleri düzgün çalışmamıştır. Daha yakın zamanlarda, kil tabakaların zeminin hidrolik iletkenliğini hesaplamak için düzenli olarak örneklenmiş lizimetrelerden hacim ölçümleri yapılmıştır. İşletilmekte olan üç depolama sahasında sekiz ayrı lizimetreye ölçülen sızma oranından hesaplanan zeminin hidrolik iletkenlik değerleri her zaman 1×10^{-7} cm/s' den daha düşüktür.

Daniel [33,34,35] yaptığı bu çalışmada, seyreltilerek sıkıştırılmış kil miktarını incelemiş; dünyadaki kimyasal atık çöplerinde çıkan organik sıvı atıkların, sıkıştırılmış kilin geçirgenliğinde önemli etkilere sebep olduğu sonucuna varmıştır. Brown ve Anderson, Green ve diğerlerinin yaptıkları çalışmalarında ayrıca bu saf, reaktif-dereceli organik kimyasalların sıkıştırılmış kilin geçirgenliğinde geniş artışlara neden olabileceğini belirtmektedirler. Ancak, geniş bir artışa neden olacak kimyasalların toplama sınırları tanımlanmamıştır.

Wang, Asce ve Huang [36] yaptığı çalışmada permeabilitenin çok güçlü bir şekilde tane büyüklüğü dağılımına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu suretle araştırmacılar değişik miktarlardaki dört ana bileşen, çakıl, kum, kireçtaşı tozu ve bentonit, karıştırarak test zeminini elde etmişlerdir. Araştırmacılar test örneklerini, % 80-100 arasında değişen Standart Proctor kompaksiyonuna tabi tutmuşlardır. Daha sonra bu testlerin sonuçları, %95 kompaksiyona uygun permeabilite değerlerini belirlemek için kullanılmıştır. Farklı kuru yoğunluklar için kompaksiyon nem içeriği Standart Proktor'un optimum nem içeriğinde sabit tutulmuştur. İki farklı örnek büyüklüğü kullanılmıştır. Çakılsız örnekler için, 76 mm yüksekliğe 102 mm çaplı, çakıl içeren örnekler için 172 mm yüksekliğe 152 mm çaplı tanecikler kullanılmıştır. Küçük örnekler CBR test makinası kullanılarak iki eşit tabaka halinde kompaksiyona tabi tutulurken, iri örnekler universal test makinesi kullanılarak üç eşit tabaka halinde

kompaksiyona tabi tutulmuştur. Kompaksiyondan sonra örneklerin ağırlık ve hacmi ölçülmüştür. Örnekler kompaksiyon kalıbında bekletilmiş ve iki poroz disk arasında sıkıştırılmıştır. Bu arada, sert bir yay, test sırasında oluşabilecek şişme miktarını azaltmak için, üstteki poroz disk ile kompaksiyon kalıbının kapağı arasına yerleştirilmiştir. Test için, kompaksiyon kalıbının üst ve alt kısmı, permeabilite test cihazına bağlanır. Bu çalışma da, daha az miktarda ince küçük taneciklere sahip olan zemin örnekleri için, değişken bas test metodu kullanılmıştır. Daha iri ince taneciklere sahip olan test örnekleri için sabit bas metodu kullanılmıştır. Her bir testten önce, zemin örneği üst kısmından, doyma noktasına ulaşmak için belli bir zaman süresinde havalandırılmış musluk suyu verilerek ıslatılmıştır. ıslatma zamanı, zemin örneğinin yapısına göre bir günden iki haftaya kadar uzayabilmektedir. Test 23-26 °C lik oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Testten sonra örneğin ortalama su içeriği, bir tanesi üstten, bir tanesi alttan, bir tanesi de zemin örneğinin alt tarafından olmak üzere üç parça örnek alınarak ölçülmüştür. Ayrıca, zemin örneğinin en son hacmi de ölçülmüştür. Örnek hacmi ve ortalama su içeriği, son doyma derecesini hesaplamak için kullanılmıştır. En son doyma derecesi % 90 ile 100 arasında değişmiştir. Bu doyma derecesi dataları, tam doyma şartı için, permeabilite datasını ayarlamakta kullanılmıştır. Sonuç olarak; muhtemel yer altı suyu kirliliğinden ve atıklardan oluşan sızıntı suyu ve bu sızıntı suyu tarafından oluşturulan çevre kirliliğini engellemek için, sınırların alt ve yan tarafları kaplanmalıdır. Bu amaç için, sıkıştırılmış zemin kaplamaları çok yaygın olarak kullanılmaktadır, bunun dışında kaplama inşası için, bir çok farklı metod ve teknikler vardır. Sıkıştırılmış zemin tabakalarının dizaynında gerekli unsur, permeabilite zemin kompozisyonu ve kompaksiyon davranışı arasındaki ilişkidir.

Kingsleyve diğ [37] yaptıkları bu çalışmada tehlikeli atık alanlarının, tehlikeli atık depolamaya uygunluğunu belirlemede kullanılan ana kriterin permeabilite olduğunu gözlemlemişler ve birçok düzenleme ajanları ise tehlikeli atık alanlarında sabit bir permeabilite katsayısı olduğunu belirlemişlerdir. Diğer bir önemli ölçüt ise kil kaplamasının permeabilitesidir. Bu iki problemin çözümleri bu çalışmada geliştirilmiştir. İlk olarak, permeabilite ve kolayca belirlenebilen toprağın kuru birim ağırlığı ve nem içeriği arasında bir ilişki geliştirilmiştir. Bu olay, kil tabakalarının inşası sırasında onları izlemeyi kolaylaştırmıştır. İkinci olarak, permeabilitenin tek değerli bir miktar olması geleneksel yaklaşımına bir alternatif sağlamıştır. Zeminin heterojenliğinin önemi kil zeminlerin permeabilitesinin belirlenmesi olasılığını geliştirmiştir. Bu permeabilitenin olası oranlarıyla

ilişkili tespit edilen güvenli seviyeleri tarafı bunun yanında kilin arazideki permeabilitesini ölçmek, zaman alan ve zor bir işlem olduğunu görmüşlerdir. Pek çok düzenleyici ajanlar, sabit bir değeri aşmayan permeabilite katsayısına sahip tehlikeli atık dolgu kil tabakalarına ihtiyaç duyan düzenlemeler için geliştirilmiştir.

Quigley ve Fernandez [38] yaptığı bu çalışmada, 15 yıllık bir katı atık depolama tesisinde, 1.5 m'lik kirlilik bölgesinde, doğal kilin hidrolik geçirgenliği araştırılmıştır. Klorit, sodyum ve çözünmüş organik karbon gibi suda çözünebilir kirleticiler, sadece 15 cm kadar taşınan çinko, demir, kurşun ve manganla kıyaslandığında, toprakta 1 m kadar taşınmışlardır. Temel sebep olarak yayılma nedeniyle olan bu taşınma, kilin permeabilitesine göre atıkların uyuşabilirliğini değerlendirmek açısından önemli olduğu görülmüştür. Ara birimde k'nın azalması direkt olarak çözünebilir kirleticilerin kirlilik konsantrasyonlarındaki, toplam ağır metal konsantrasyonu ve boşluk oranındaki artışla bağlantılı olmaktadır. k'daki değişimler oldukça küçük çıkmıştır (bu sonuçlar testlerde kullanılan atıklar ve bu atık sahasındaki örselenmemiş killi test zemini içindir). Kontaminasyon sonucunda hidrolik geçirgenliğin belirgin bir şekilde değişmediği görülmüştür.

Williem, ve ASCE [39] yaptığı çalışmada belirli solventlerin deniz kilinin hidrolik geçirgenliği üzerindeki etkisini belirlemek ve bu sayede de yeraltı suyunu kirleticilerden koruma da bu killerin etkisini belirlemek olmuştur. Çalışmada kullanılan killer montmorillonit, illit, kaolin ve bentonittir. Kullanılan deniz kili, 44% kil ve 53% silt içermektedir ve siltli kil olarak adlandırılmaktadır. Rengi mavimsi griden kahverengimsi griye değişim göstermektedir. Xray diffraction analizleri, illit (mika), klorit, feldspar, quartz ve muhtemel kaolin ve montmorillonit izlerinin azalan bollukta olduğunu göstermiştir. Sadece son iki madde gerçek kil minerali olarak kabul edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan killerin fiziko kimyasal karakteristikleri diğer killerden farklı olmaktadır. Kil içeriği çok düşüktür (CEC 10.7 Meq/100 gr kil için oldukça düşüktür daha çok kumlu zemine benzer). Şişme çok düşüktür (2.43%). Fazla şişme ve yüksek CEC montmorillonit varlığına bağlıdır. Plastik limit çok düşüktür (21% nem). Diğer özelliklerden ortalama nem içeriği (17.5%), specific gravity (2.78%) ve porozite (0.33%) olarak ölçülmüştür. 6 permeametre optimum nem içeriğinde kil ile doldurulmuştur ve permeant olarak su kullanılmıştır. 3 ve 4 haftalık periyotlarda hidrolik geçirgenlik belirlenmiştir. Bu deneyler hemen hemen sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Davis'in (1969) yaptığı çalışmada, deniz kilinin hidrolik geçirgenliği 10^{-7} ile 10^{-10} cm/sn arasında değişmektedir. Bu çalışmadaki değerler de buna uygun olmuştur. 36- 40 gün sonra

permeant (su) organik kimyasallarla değiştirilmiştir. Hidrolik geçirgenlikte ve permeabilite değerlerinde bir inip çıkma hareketi meydana gelmiştir. Bunun yanında değerler ne çok fazla yükselmiş ne de çok fazla düşmüştür ve kesinlikle doğal denge değerine ulaşmamıştır.

Janardanan ve diğ. [40] yaptığı bir çalışmada magnezyum montmorilonit ve kaolin kili, killer ve permeantlar arasındaki kimyasal reaksiyondan kaynaklanan geçirgenlik değişikliklerini incelemek için organik ve inorganik permeantlara maruz bırakılmıştır. Permeant maddeler asetik asit, anilin, metanol ve ksilen'dir. Testler, basınçların ve akışların hassas ölçümlerini sağlayan özel olarak tasarlanmış ve yapılandırılmış esnek duvar permeametrelerinde yapılmıştır. Kil-permeant kimyasal tepkimelerden dolayı kil geçirgenliğindeki artışların başkaları tarafından bildirilen 100 ila 1000 kat artışların aksine orijinal geçirgenliğin iki- üç katı olduğu ölçülmüştür. Yazarlar diğer araştırmacılar tarafından bildirilen büyük artışların muhtemelen sabit duvarlı permeametrelerin kullanılmasından kaynaklandığına inanmaktadırlar. Yazarların sonuçları, metanolün montmorilonitin geçirgenliğini iki katına çıkardığını göstermiştir. Asetik asit, montmorilonitte karbonatlar ile reaksiyona girerek serbest karbon dioksit oluşturur. Ortaya çıkan kütle kaybı, kilin geçirgenliğini üç katına çıkarmaktadır. Anilin ve ksilen doymuş montmorilonit içinden akmayacak, ancak doymuş kaolinten düşük akış hızlarında akacaktır. Montmorilonitin hidrolik kırılması, metanol yüksek gradyan ve düşük sınırlandırma basıncı altında geçirildiğinde meydana gelmiştir.

Raymond ve diğ. [41] yaptığı bu çalışmada dört tip kil kullanılmıştır. Kaolin kili, illit kili, montmorillant ve aktif bir arazi doldurma alanından atıkla kirlenmediğinden emin olunarak 2-3 m derinlikten çıkarılan doğal kildir. Zeminler hava ile kurutulup 2 mm'lik elekten geçecek şekilde ezilmişlerdir ve bir çok kimyasal ve fiziksel teste tabi tutulmuşlardır. Bunlar, pH ölçümü katyon değişim kapasitesinin belirlenmesi, yüzey alanı ölçümü, organik içerik ölçümü, tanecik büyüklüğü analizi, şekilsiz taneciklerin belirlenmesi, X-ray difraksiyonu ile mineralojik analizlerdir. Araştırmacılar dört ağır metal solüsyonları, ayrı ayrı hazırlandı ve her bir kil toprağına asit miktarı arttırılarak uygulanmıştır. Pb, Cu, Zn ve Cd'nin tek tek solüsyonları, bunların nitrat tuzlarından ($Pb(NO_3)_2$, $Cu(NO_3)_2$, $Zn(NO_3)_2$, $Cd(NO_3)_2$) 1.0×10^{-3} mol/L konsantrasyonunda hazırlanmıştır. Çalışma nitrit asit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra solüsyonlar 4 g kuru toprak ve 40 ml solüsyondan olmak üzere 1:10 toprak : solüsyon süspansiyonu halinde killi topraklara eklenmiştir. Bu, her zemine uygulanan ağır metal miktarını 1.0 cmol/kg'ye eşit ve asit giriş miktarını da 0'dan 200 c mol H^+ /kg toprağına eşit yapmıştır. Solüsyonlar toprağına eklendikten sonra, toprak süspansiyon örnekleri, 25 °C'de

24 saat boyunca çalkalanarak dengelenmiştir. Örnekler, 5000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Zemin çözeltilerinin pH'ı ölçülmüştür. Supernatant içinde kalan ağır metal miktarı, GBC 902 double-beam atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Zemin içinde tutulan ağır metal miktarı, uygulanan ağır metal ve solüsyonda kalan ağır metal arasındaki farktan hesaplanmıştır. Daha sonra, her zemin örneğinde tutulan ağır metal miktarı, başlangıçtaki asit miktarı girişi ve toprak solüsyonu pH değerleri ile kıyaslanarak aralarında ilişki kurulmuştur. Sonuç olarak zemine uygulanan ağır metal miktarı, her durumda 1.0 cmol/kg'e eşit olmaktadır. Özellikle illit ve doğal kil zeminlerinde tutulan Pb, Zn, Cd, ve Cu miktarları asit giriş miktarı arttıkça, ağır metal tutulması azalmıştır. Zeminde tutulan Zn ve Cd miktarları, tutulan Pb ve Cu miktarlarından daha az olmaktadır. Zemin solüsyonunun pH'ına göre tutulan bütün ağır metallerin miktarının zemin solüsyonunun pH'ının artması ile arttığı görülmüştür. Sonuçların çok çarpıcı iki özelliği gözlemlenmiştir; (1) Pb konsantrasyonu yükseldikçe, pH seviyesi Pb'nin hidroksit çökmesinin altı için (pH 4.5 civarında), tutulma özellikleri görünür bir şekilde etkilenmiştir. (2) Hidroksit-karbonat çökmesimekanizmasının hakim olduğu pH değerlerinde, konsantrasyon seviyesinin etkisinin önemsiz olduğu görülmüştür.

Owen ve Manning [42] yaptığı bu çalışmada, İngiltere'nin Cheshire bölgesindeki 3 atık depolama sahasında gerçekleşen sızıntılardaki SiO₂ içeriği, 21 örnekleme konumuna kadar 2 yıl boyunca 6 aylık aralıklarla izlenmiştir. Gözlenen SiO₂ değerleri ortalama 26.9 mg/l SiO₂ (s.d. 12.1 mg/l) olmuş ve asetattan metan oluşumuna geçişe bağlanabilecek herhangi bir değişiklik göstermemişlerdir. En genç sızıntı sularında (< 2 a) en yüksek SiO₂ değerleri olduğu görülmüştür (27-47 mg/l). Jeo-kimyasal modelleme, numunelerin çoğunun hem kuartz ve kalsedon, hem de kalsit bakımından çok fazla doygun olduğunu göstermiştir. İyon aktivite diyagramları, alkali ve SiO₂ aktivitelerinin; muhtemelen saha kapsamındansa atık bileşenleri olarak kil mineralleri, özellikle de smektitler içeren reaksiyonlarca kontrol edildiğini göstermektedir. Ayrıca amonyum da, killer içerisindeki k değişimine kontrol ediliyor gibi görünmektedir. Bu çalışmada elde edilen bilgi, kompozisyonlarını etkileyen süreç ve tepkilerin daha detaylı bir şekilde yorumlanabilmeleri adına, SiO₂'nin sızıntılar için düzenli olarak belirlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Mojone ve diğ. [43] yaptığı bu çalışmada, bir atık depolama sahasından Pb, Cd, Ni ve Cu kaolinine emilim, sıvı fazda metal türlemlenmesiyle ilişkili olarak incelenmiştir. Metal türlemlenme; katyon kısaçlayıcı reçinedeki değişebilirliğe (Chelex 100) ve farklı moleküler

ağırlığı (MW) kesimindeki membranlarla diyaliz ile yapılan ayırmaya dayalı olan iki farklı deneysel yöntemle ele alınmıştır. Farklı fraksiyonların toplam emilime katkısını belirleyebilmek adına, türleştirme prosedürleri kil ile dengelemeden önce ve sonra sızıntıya uygulanmıştır. MW-bazlı prosedürde belirlendiği üzere, geniş fraksiyonlu çözülmüş metaller, yüksek MW'li (> 1000 ve > 12000 dalton) maddelerle ilişkilendirildiler; bu maddeler toplam organik içeriğin yalnızca %18'ini temsil ediyor olsalar da (kimyasal oksijen talebi, COD'un belirlediği üzere) bu yüksek MW fraksiyonları, COD ve fenollü maddelerin çıkartılmasıyla da doğrulandığı gibi, kaolinte metal emilimine katkıda bulunur. Değişim bazlı prosedürde belirlendiği üzere, metal emilimine yapılan esas katkı serbest/kararsız (hızla değişebilen) ya da yavaşça değişen fraksiyonlardan kaynaklanmıştır. Ancak; Pb ve Cd de sabit/inert (değişmeyen) fraksiyondan çıkartılmıştır. Metal emilim kısmen Chelex 100'de değişir olmayan türlere, kısmen de MW'Sİ 1000 daltondan fazla olan türlere bağlı olduğundan; bu deneyler, serbest metallerin, kaoline emilime katkıda bulunan tek tür olmadığını ve bazı metal türlerinin önceden çözülmeyen adsorplandığını güçlü bir şekilde desteklemektedirler.

Yuen ve diğ. [44] yüksek plastisiteye sahip doğal kil numunelerinin hava şartlarına nasıl tepkiler verdiğini üç eksenli permeabilite deneyi ile laboratuvar ortamında incelemişler. Üç eksenli hidrolik iletkenlik testleri 71,1 m çapında ve 76,2 mm uzunluğundaki numunelerle yürütülmüştür. Numunelerin hidrolik iletkenliklerinin (K_i) belirlenmesi için ilk testler havasız ortamda gerçekleştirilmiştir. Aynı numuneler hem donup eritmelerine hem de kurutulup ıslatılmalarına bağlı olarak yeni hidrolik iletkenlikleri (sırasıyla K_{fi} , K_{dwi}) ölçülmüştür. 207 kPa'lık sabit bir hücre basıncı altında ve büretlerin üstünde ve altında 172 kPa'lık bir uniform geri basınç altında konsolidasyon yapılmıştır. Numuneler efektif basınç 35 kPa değerinde ve hidrolik eğimi ise 25 değerindedir. Bu değerler sıkılaştırılmış killerde kullanılan değerlerden oldukça yüksektir. Genelde sıkılaştırılmış killerde kullanılan basınç 10 ile 20 kPa arasında değişmektedir. Sonuç olarak araştırmacılar, örselenmemiş plastik killerin hidrolik iletkenlikleri donup eridikten ve kuruyup ıslatıldıktan sonra oldukça artmıştır. Yüksek artışların düşük plastik materyallerden kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Düşük artışların ise bu çalışmada 35 kPa'lık bir basınç ile sınırlandırılmış olmasında kaynaklandığı düşünülmüştür. Doğal kil numunesinden kirletici sıvı geçirmeden suya doyurduklarında kilin hidrolik iletkenliğinde küçük düşüşler gözlemlenmiştir. Bunun nedeni doğal kilin genişletici

özelliğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu genleşici özelliğin zeminin şişmesine yol açtığını gözlemlemişlerdir.

Fogedve Baumann [45] araştırmacıların incelemiş oldukları doğal kilin, baskın olarak sodyum tipinde olmak üzere %60-75 oranında smektik kil içermektedir. Kil malzemesi üzerinde mineroloji, sınıflandırma, kompaksiyon ve permeabilite ile ilişkili olarak standart metodlar kullanılmıştır. Ayrıca bir test alanında 0,15-0,30 m kalınlığında bir kil tabakası oluşturmak için inşa metodları başarı ile test edilmiştir. %40-45 oranındaki bir doğal su içeriğinde adveksiyon ile oldukça düşük bir akış veren, $k < 5 \times 10^{-12}$ m/sn hidrolik iletkenliğe sahip homojen bir zar yaratılmıştır. Şişme ve deformasyon özelliklerini belirlemek için kullanılan ve oedometer testleri ile ölçülmüş olan hidrolik iletkenliğin stres seviyesi ile oldukça bağlantılı olduğunu gözlemlemişlerdir. 5-4800 kPa dikey stres altında $k = 10^{-11}$ 'den 2×10^{-13} m/sn arasında değişiklik göstermiş ve stres ile azaltılmış efektif porozite ile oldukça ilgili olduğunu görmüşlerdir. Bu özellikler zamanla çöplerin geri kazanımı için kil tabakalarının gelecekte kullanımı açısından oldukça önem teşkil etmiştir. Bu doğal kil malzemesinin doğal nemli halinde membran oluşturmak için ham madde olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Kalbeve diğ. [46] çalışmada, kompozit dolgu (lineer) materyallerindeki konsantr edilmiş organik kirletici karışımın etkisi 12 yıl gerçekleştirilmiş bir geçirgenlik testinden sonra test hücrelerinden alınmıştır. Organik hidrokarbonlar HDPE- geomembran içine işlemiştir ve sonra içeriklerine bağlı olarak mineral dolgular içinde absorbe edilmiş ya da geçirilmiştir. Kirletici karışım içeriklerinin konsantrasyon profili birçok mineral katman materyalinin, mineral katman kadar organik karışımların değişik parametlerini içeren selektif tutma kapasitesi olduğunu belirtir. Bundan başka, kirleticilerin taşınım modellerinin sonuçları ölçülmüş verilerle karşılaştırılmıştır. Örneğin, aseton hesaplanmış mekansal ve geçici kirletici konsantrasyon gösterir. Kompozit lineereler kullanılan konsantr organik kirletici maddelere karşı çok iyi bir sızdırmazlık kapasitesi sergiler.

Yavuz ve diğ. [47] yaptıkları bu çalışmada, Mn(II), Co(II), Ni(II) ve Cu(II) gibi bazı ağır metallerin sulu solüsyondan kaldırılmaları "raw kaoline" kullanılarak çalışılmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki kaoline aşağıdaki metal iyonlar için adsorpsiyon eğilimi göstermektedir. Cu(II), Ni(II), Co(II), Mn(II) ve bakır, nikel, kobalt ve manganez iyonları (Langmuir emme

denkleminin doğrusal formu) sonuç olarak, kaoline sulu solisyondan ağır metalların kalıntılarını gidermek için kullanılabilir.

Islam ve Singhal [48] yaptıkları bu çalışma, paketlenmiş kum kolonları kullanılarak yürütülen deneylerde sızıntı suyunun biyolojik bakteriyel büyüme, metal çökmesi ve anaerobik gaz oluşumunun zeminin yumaklaşması üzerine etkisini incelemek için gerçekleştirildi. Asetik asit ile kimyasal tepkimeye maruz bırakılmış olan yerel bir belediye çöplüğünden alınan doğal sızıntı suyu, yukarı akışlı modda işletilmiştir. Sızıntı suyunun geçişinde zeminin geçirgenliğini azaltan birçok fiziksel, geokimyasal ve biyolojik etkileşimler gözlemlenmiştir. Girişteki asetik asitin indirgenmesi/bozunması metan ve karbondioksitin üretimi ve aynı anda mangan, demir ve sülfatın indirgenmesi ile sonuçlanır. Girişteki asetik asit konsantrasyonundaki artış çözülmüş inorganik karbonun, çözeltinin pH'ın ve kolon ağzındaki biokütlelenin artmasına, Fe(II) sülfid, Mn(II) ve Ca(II) karbonat şeklinde çökmesini geliştirmektedir. Bu değişiklikler zeminin geçirgenliğini 8.8×10^{-3} 'den 3.6×10^{-5} cm/s' e azalmasına sebep olmuştur.

Kalkana ve Akbulut [49] yaptıkları bu çalışmanın amacı; silis dumanının, hidrolik bir bariyer olarak sıkıştırılmış kil zeminin geçirgenliği, şişme basıncı ve basınç mukavemeti üzerindeki etkilerini incelemektir. Killer, atık depolama sahalarındaki doğal kil zeminin hidrolik iletkenliğini azaltmak için gerekli maddelerdir. Atık depo sahasının tasarlanmasında, geçirimsiz ve sıkıştırılmış kil zeminlere ihtiyaç duyulur. Plastisitesi yüksek killerin, ağırlıklarından çok daha fazla miktarda suyu emebildikleri bilinmektedir. Atık depolama sahalarında su basıncına maruz kalan kil zeminler, genişleyen kapasitelerine bağlı olarak, zamanla yüksek geçirgenlik ve yapılarında kararsızlık problemleri ortaya çıkarırlar. Sıkıştırılmış kil zeminlerin, düşük geçirgenlik ve geniş incelleme kapasitesi gibi pek çok avantajı olsa da, kararsızlık problemlerine yol açan yüksek çekme ve genişleme potansiyeli de vardır. Test sonuçları, silis dumanlı sıkıştırılmış kil zeminlerin, ham kil örneklerine nazaran çok daha düşük seviyede geçirgenlik ve şişme basıncı ve çok daha yüksek basınç mukavemeti gösterdiklerini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle; silis dumanı, katı atık muhafaza sistemlerindeki sızıntılara maruz kalan zeminlerin yapım malzemesi için umut verici görünmektedir.

Özçoban ve diğ. [50] yaptıkları bu çalışmada, sıkıştırılmış kilin geçirgenliği üzerine sızıntı suyunun etkisi incelenmiştir. İstanbul'un Avrupa yakasındaki Kemerburgaz düzenli depolama

alanından kil ve sızıntı suyu örnekleri alınmıştır. Buradan alınan temiz kil zeminin geçirgenliği $k=1 \times 10^{-8} \text{ cm s}^{-1}$ ve yoğunluğu 1950 kg m^{-3} olarak belirlenmiştir. Sızıntı suyunun bir permeant olarak kullanıldığındığı bu çalışmada kirlili zeminin geçirgenliği $k=8.62 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ ve $k=6.82 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ olarak belirlenmiştir. Sıkıştırılmış zeminin arıtma kapasitesinin oldukça yüksek olduğu bulunmuştur.

Özçoban [51] yaptığı bu çalışmada, sıkıştırılmış killi zeminin giderim verimi ve geçirgenliği incelenmiştir. Permeant olarak bazı organik ve inorganik maddeler (glikoz ve amonyum klorit) kullanılmıştır. Çalışmada İstanbul'un Şile-Kömürcüoda düzenli depolama alanından alınan killi zemin kullanılmıştır. Deneyler süresince glikoz ve amonyum chloride'in killi zeminin geçirgenliği üzerinde hiçbir kayda değer etkisi olmamıştır. SEM görüntüleri incelendiğinde organik maddeler ile kontamine edilen kilin yapısı hexagonal bir yapıdan kristalimsi bir yapıya değişmiştir. Ancak, kilin yapısının değişmesinin kilin geçirgenliğine önemli bir etkisi olmamıştır. Standart ve Modifiye Proktor enerjilerini kullanan sıkıştırılmış kilin arıtma oranı KOİ için % 85-95 and TKN-N için % 82 - 92 olduğunu ifade etmiştir.

Tüfekçi ve diğ. [52] tarafından yapılan bu çalışmada, inorganik permeantların sıkıştırılmış kilin geçirgenliliği üzerindeki etkileri ele alınmaktadır. Deneysel çalışmalarda killi zeminin, kimyasal analizi, fiziko-kimyasal karakterizasyonu, elek analizi ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizi yapılmıştır. Şile - Kömürcüoda düzenli depolama sahasından alınan killi zemin için standart ve modifiye proktor sıkışma testleri uygulanmıştır. İnorganik permeantların (demir ve mangan) sıkıştırılmış killi zeminin geçirgenliliği üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Ayrıca, sıkıştırılmış kilin arıtma kapasitesinin belirlenmesi için giriş ve çıkış suundaki demir ve mangan değerleri ölçülmüştür. Sıkıştırılmış killi zeminin adsorpsiyonu için kesikli ve sürekli reaktörler kullanılmıştır. Demir ve manganın killi zeminlerin geçirgenliliği üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı ifade edilmiştir. Sürekli reaktörde, demirin sıkıştırılmış killi zeminde giderim oranı standart sıkışma için % 80, modifiye edilmiş sıkışma içinse % 96 iken, mangan giderim oranı standart sıkışma için %79, modifiye edilmiş sıkışma için %90' dır. Kesikli reaktörde, demirin ve manganın optimum adsorpsiyon süresi 2 saat olarak ölçülmüştür.

Francisca ve Glatstein [53] tarafından yapılan bu çalışmada, sıkıştırılmış zemin katmanları ile sızıntı sularının sızma üzerinde biyolojik, fiziksel ve kimyasal etkileşimlerinin göreceli etkisi

değerlendirilmiştir. Sıkıştırılmış silt-bentonit karışımlarının uzun vadeli hidrolik iletkenliği distile su, sızıntı suyu ve besin çözeltileri kullanılarak ölçülmüştür.

Zeminin hidrolik iletkenliği, eğer sızan sıvı mikroorganizma içeriyorsa kesin olarak azalmaktadır. Gözeneklerin tıkanması etkili porozitenin azalmasına bu da hidrolik iletkenliğin azalmasına sebep olmuştur. Gözenek tıkanmaları fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler göz önüne alınarak analiz edilmiştir. Zemin katmanlarındaki hidrolik geçirgenliği etkileyen sızıntı suyunda bulunan mikroplar fiziksel ve kimyasal etkileşimler yoluyla ortaya çıkarlar. Mikrobiyal aktivitenin varlığı, sızan sıvıdaki mikrobiyal yoğunluk, zemindeki gözeneklerde bulunan mikrobiyal ekzopolisakkarit ve gözeneklerdeki biyolojik tıkanmanın modellenmesiyle teyit edilmiştir. Sızan sıvılardaki mikropların miktarının önemi hidrolik geçirgenlik için iki kat daha artmıştır. Biyofilmlerin zemin parçalarının etrafında oluşmaları da sonuçların beklenen derecede etkili olduğunu göstermiştir.

Kireç, zemin özelliklerini iyileştirmek için yaygın bir şekilde kullanılan katkı maddesidir. Güler ve diğ. [54] yaptığı çalışmada, kirecin sıkıştırılmış kaolin kilinin üzerindeki etkileri incelenmiştir. Değişik kür ortamlarında değişik kireç muhtevalı numuneler üzerinde testler yapılmıştır. Çalışmalarda rijit-duvarlı sıkıştırma - kalıbı permabilite aletleri kullanılmıştır. Sıkıştırma nem muhtevaları optimumun kuru ve yaş tarafında tutulmuştur. Uygun miktarda kirecin eklenmesi sıkıştırılmış kaolin kilinin permeabilitesini düşürmüştür. Kür sürecinin artması permeabilite değerini azaltmıştır.

Bentonitin; tek başına kullanımının yanında su tutma, atık depolama tesisleri inşasında şiltelerin doğal zeminin düzenlenmesinde kullanımı oldukça yaygındır. Bentonit içeriğinin tabakanın hidrolik iletkenliğini azaltmada önemi bilinmektedir. Sivapullaiah ve diğ. [55] yaptığı çalışmada, kil zeminin hidrolik iletkenliğinin kontrolünde kaba danelerin boyutunun rolünü göstermektedir. Düşük bentonit içeriklerinde, zeminin hidrolik iletkenliğinin, kil içeriği haricindeki kaba daneleri boyutuna bağlı olarak değiştiği gösterilmiştir. Belirli bir kil içeriğinde hidrolik iletkenlik, iri danelerin boyutunda bir artış ile birlikte artar. Fakat iri danelerin arasındaki boşluklara yerleşecek olan kil içeriği miktarı artırılarak hidrolik iletkenlik kontrol edilebilir. Zeminlerin hidrolik iletkenliğini tahmin etmenin dört farklı yöntemi sunulmaktadır. Likit limite bağlı iki sabit kullanarak, herhangi bir boşluk oranında hidrolik iletkenlik öngörülebilir.

Hidrolik iletkenlik (HI), sızıntı suyunun kil tabakasındaki hareketini öngörmek için laboratuvarında belirlenen belki de en önemli parametredir. Tipik olarak, tehlikeli atık, endüstriyel atık ve evsel katı atık içeren zemin kaplamaları ve dolguları için hidrolik iletkenlik değeri 1×10^{-9} m/s'den küçük yada eşit olmalıdır. Ozcoba ve diğ. [56] yapmış olduğu bu çalışmada, kullanılan kil örnekleri İstanbul'daki Kemerburgaz çöp sahasından elde edilmiştir. Çalışma, kil ile bir permeant arasındaki kimyasal reaksiyonlarla ortaya çıkan kilin hidrolik iletkenliğinin değişimini göstermektedir. Kilin mikro yapısında böylesi bir reaksiyonun neden olduğu herhangi bir değişiklik taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Doğal kilin giderim kapasitesini belirlemek için KOİ, AKM, UAKM ve Toplam P, TKN-N, Cu, Mn, Fe konsantrasyonları laboratuvar ölçekli reaktörün giriş ve çıkışında ölçülmüştür.

Kananizadehl ve diğ. [57] yaptığı bu çalışmada, sıkıştırılmış bir Kahrizak atık depolama sahası kil tabakasını; geçirgenlik, şişme, basınç dayanımı ve kation değişim kapasitesi üzerindeki nano-kil etkisi değerlendirilmiştir. Sonuçlar, % 4 nanokilin ham kil numuneleri ile karşılaştırıldığında geçirgenliği önemli ölçüde azalttığını göstermektedir (nötr halde 3×10^{-9} 'dan 7.74×10^{-11} cm/s, asidik durumda 3.66×10^{-9} dan 7.9×10^{-10} cm/s ve alkali halde 3.25×10^{-9} dan 5.24×10^{-10} cm/s) ve basınç dayanımı artırır (% 36.28) ve şişme yüzdesi (pH 7, 4.8 ve 9'da sırasıyla; 16.67'den 41.82'ye, 23.33'den 45.45'e ve 15'den 38.18'e). buna ek olarak, kation değişim kapasitesi testlerinin sonuçları, Kahrizak kile, % 4 nanokil ilavesi, çöp sızıntı suyu sızdığında, katmanlar arasında dağınık kalarak numunenin tek değerli iyonlarını muhafaza etmesine yardımcı olur. SEM ve XRD analizlerinin sonuçları gösteriyor ki, nanokil eklenerek numunede nanokil kümeleri oluşturulur; Sonuç olarak, ara katman aralığı azalır ve bu da dağınık kalmasını sağlar. Aynı zamanda XRF'nin analizlerine göre karışıma nanokil ilave ederek geçirgenliği ve dolayısıyla, içine nüfuz edebilecek ağır metallerin miktarı azalır. Sonuçlar nanokil ile kil bariyerlerin yapılması sızıntı suyunun penetrasyonunu, önlemede büyük ölçüde yarar sağladığını ve işletme maliyetlerini düşürdüğü kanıtlar.

Indu ve Bhumi [58] bu çalışmalarında nanoparçacıkların çevreye ait çeşitli bileşenlerle etkileşimini incelemişlerdir. Nanopartiküller, 1 -100 nm arasındaki en az iki boyuta sahip malzemelerdir. Çoğunlukla nano parçacıklar doğal ürünlerdir, ancak muazzam ticari kullanımları bu parçacıkların yapay sentezini arttırmıştır (tasarlanmış nanoparçacıklar). Tasarlanmış nanoparçacıklarının hızlandırılmış üretimi ve kullanımı, çevrede salınmalarına ve ekosistemlerin biyotik ve abiyotik bileşenleri ile sık etkileşimlerini kolaylaştırmaya sebep olabilir. Dikkate değer ticari faydalarına karşın, doğada bulunan canlı ve cansız varlıklar

üzerinde tehlikeli biyolojik etkilere neden olabilir. Bu sebeple, kaynaklarının detaylı bir şekilde anlaşılması, çevreyle etkileşimi bırakması ve muhtemel risk değerlendirmesi, tasarlanmış nanoparçacıklarının ortam üzerinde çok az veya hiç zararlı etkisi olmaksızın daha güvenli kullanılması için bir temel oluşturacaktır. Tüm bu noktaları göz önünde bulundurarak mevcut inceleme, çeşitli yönleri, örneğin kaynakları, farklı türleri, sentezi, çevreyle etkileşim, mühendislik nanoparçacıklarının risk yönetiminde olası stratejileri oluşturmaktır.

Ng, ve Coo [59] bu çalışmalarının odak noktası, nano malzemeler içeren kilin hidrolik iletkenlik davranışını incelemektir. Gamma-alüminyum oksit tozu ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) ve nano-bakır oksit (CuO) olmak üzere iki farklı nano malzeme seçilmiş ve kil ile farklı yüzdelerde (% 2, % 4 ve % 6 oranlarında) karıştırılmıştır. Hidrolik iletkenlik deneyleri, ASTM D5084 standardına göre esnek duvarlı bir permeametre içinde gerçekleştirilmiştir. Gözenek boyutu dağılımını belirlemek için civa püskürtmeli porozimetre (MIP) testleri de yapılmıştır. $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ ve nano-CuO'nun % 2'sinde kilin hidrolik iletkenliği sırasıyla % 30 ve % 45 oranında azalmıştır. Nano materyalin oranı arttıkça, nano malzemelerden yoksun olan akış yolları olası olmadığından, hidrolik iletkenliğin azalması daha az belirgin hale gelir. Hidrolik iletkenliğin azaltılması, kilin gözeneklerinin nano materyalle tıkanmasından kaynaklanmaktadır. Gözenek boyutu dağılım eğrileri; kil % 4 nano-CuO ile karıştırıldığında en büyük gözenek boyutunun % 20 oranında azaldığını göstermektedir.

Ören ve Demirkıran [60] çalışması geosentetik kil örtülerin hidrolik iletkenlik deneylerinin nasıl yapılacağını ve sonuçların nasıl değerlendirileceğini göstermek üzere hazırlanmıştır. Bu çalışma kapsamında dört farklı geosentetik kil örtülerin deiyonize su ve çeşme suyu ile süzdürülerek hidrolik iletkenlik deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler altı ay sürdürülmüş ve geosentetik kil örtülerin nihai hidrolik iletkenlikleri 7.1×10^{-10} - 1.4×10^{-9} cm/s arasında ölçülmüştür. Deneylerin sonlandırılması için deney süresi boyunca hidrolik iletkenliklerin dengeye (stabiliteye) ulaşp ulaşmadığı kontrol edilmiştir. Bunun için hidrolik iletkenlik oranı tanımlanmış ve bu oranın 1.5'un altına düştüğü noktada hidrolik dengenin sağlandığı kabul edilmiştir. Ayrıca, süzüntü suyu ile geosentetik kil örtülerin tipinin hidrolik iletkenlik üzerine etkisinin sınırlı olduğu bulgulanmıştır. Bu çalışma sonuçları daha sonra literatürde yayımlanan hidrolik iletkenliklerle efektif gerilmenin fonksiyonu olarak karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen hidrolik iletkenliklerin literatürle uyumlu olduğu sonucu çıkmıştır.

Taha ve Taha [61] çalışmalarında, farklı yüzdelere sahip nano-materyal çeşidi ile karıştırılmış dört çeşit kile uygulanan deneysel bir çalışma sunulmaktadır. Genleşme ve büzülme testleri, farklı oranlarda bentonit ile karıştırılmış sıkıştırılmış kalıntı kildeki üç tip nano-materyalin (nano-kil, nano-alüminyum ve nano-bakır) katkı maddesinin gerilime etkisini araştırmak için yürütülmüştür (S1 = 0 % Bentonit, S2 =% 5 bentonit, S3 =% 10 bentonit ve S4 =% 20 bentonit). Kil numuneleri, standart sıkıştırma testi kullanılarak maksimum kuru birim ağırlığı ve optimum su muhtevası (w_{opt}) koşullarında sıkıştırılmıştır. İşlenmiş numunelerin fiziksel ve mekanik sonuçları belirlenmiştir. İşlem görmemiş kil değerleri karşılaştırmak için kontrol noktaları olarak kullanılmıştır. Nano materyalin optimum yüzdesinin eklenmesiyle, yüzeydeki çatlaklar hem şişme hem de çekme deformasyonunu azaltıldığı bulunmuştur. Sonuçlar, nano malzemenin sıkıştırılmış numunelerin yüzeyindeki kuruma çatlaklarının gelişimini hidrolik iletkenlikte kayıp yaşamadan azalttığını göstermektedir.

Rajesh ve diğ. [62] bu çalışmada, basit bir gaz geçirimsizlik- bükme test düzeneği geliştirilip kil bariyeri malzemesinin deformasyon davranışının gaz geçirimsizliği ölçümleriyle ilişkisini değerlendirmek için kullanıldı. Biyogazın atmosfere taşınmasını engellemede ve deformasyona dayanım için gerekli olan kil bariyer, yaygın olarak kullanılan geçirimsiz tabakalardan biridir. Serbest basınç deneyi, kiriş bükme deneyi ve gaz geçirimsizliği-bükme testinden oluşan bir dizi geleneksel deney yapılarak yükleme çeşidi, sıkıştırma karakteristikleri ve fiber takviyesinin kil bariyeri malzemesinin deformasyon davranışına etkileri değerlendirilmiştir. Deney sonuçları yükleme tipinin, zeminin eğilmede çekme dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin bulunmadığını; fakat çatlak biçimindeki değişikliklerden yer değiştirmenin gaz kaçıışı ile ilgili olarak üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Kil nem oranının artışıyla, çekme dayanımında biraz azalma olmasıyla birlikte, çatlak ve gaz kaçıışı belirtilerinin geciktiği görülmektedir. Optimum nemde sıkıştırılmış zemin kirişinin eğilme direncinde % 2 ve % 4 artış, liflerin eklenmesiyle sırasıyla% 33 ve % 92 olduğu bulunmuştur. Benzer şekilde, nemli sıkıştırılmış kilin sınırlandırıcı yer değiştirmesindeki % 2 ve % 4 artış, elyafların eklenmesiyle, sırasıyla % 30 ve % 25 güçlendirilmiş kilin, sağlamlaştırılmamış kil bariyeri malzemesine kıyasla nispeten daha büyük bozulma olana kadar gaz sağlamlık bakımından bütünlüğünü sağlamaktadır. Kil bariyer malzemesinin deformasyon davranışının performansı zemin içine ayrıık elyaf dahil

edildiğinde eğilmede çekme mukavemeti ve gazda bozulma bakımından önemli ölçüde geliştirilmiştir.

Nowack ve Bucheli [63] 'nin bu çalışmaları çevre ile ilgili Nano partikül sınıflarına genel bir bakış sunulur ve oluşumlarını, emisyonlarını ve çevredeki oluşum ve akıbetini özetler. Mühendislik nanopartiküllerin endüstriyel ve evsel alanlarda kullanımının, artmasıyla bu tür malzemelerin çevreye yayılmasına yol açmaktadır. Nano partikülün çevredeki risklerinin değerlendirebilmek için öncelikle nano partikül davranışlarını, tepkileri, ekotoksitesitesi ve kalıcılığını anlamayı gerektirir. Mühendislik nano partikülleri, iş ve organik kolloidler gibi doğal ürünlerle karşılaştırılır. Bugüne kadar, doğal sistemlerde Nano partikülü ölçmek için yalnızca birkaç niceliksel analitik teknik mevcuttur, bu tekniklerle yapılan analizlerde nano partiküllerin çevrede oluşmaları hakkında ciddi bilgi eksikliği vardır. Ekotoksikolojik araştırmalardan elde edilen sonuçlar, bazı nano partiküllerin, çoğunlukla yüksek konsantrasyonlarda olsa da, çevresel koşullar altında organizmalar üzerinde etkileri olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, çevredeki nano partiküllerin risklerinin değerlendirilmesine yönelik bir sonraki adım, farklı nano partiküllerin etkilerini incelemek olmalıdır. Teknik uygulamalardaki nanopartiküllerin çoğunlukla işlevselleştirildiğini ve bu nedenle bozulmamış (saf) nano partikül kullanan çalışmaların, fiilen kullanılan nano partiküllerin davranışını değerlendirmek için uygun olmayabileceği görmek bir diğer önemli noktadır.

Akbulut ve diğ. [64] yaptığı bu çalışmada, yüzey aktif madde-kil kompleksleri (organokil), dört farklı yüzey aktif madde ile ham kil modifikasyonu kullanılarak geliştirilmiş ve laboratuvar koşullarında geoteknik özellikleri belirlemişlerdir. Yüzeyaktif maddelerin ikisi katyoniktir (CTAC olarak ifade edilen Setil trimetil amonyum klorür ve QEFA olarak ifade edilen Kuaternize etoksile yağ esaslı amin) ve diğerleri anyoniktir (Lineer alkilbenzen sülfonik asit, LABSA ve sodyum loril eter sülfat, SLES olarak adlandırılır). Elde ettikleri deneysel sonuçlar, organik killerin geoteknik özelliklerinin, doğal kil ile kıyaslandığında önemli değişiklik gösterdiğini ortaya koymuştur. Tüm organokillerin özgül ağırlıkları, serbest basınç dayanımları ve maksimum kuru yoğunlukları azalmıştır. Katyonik yüzey aktif modifiye killerde ise optimum nem içeriği ve şişme basınç değerleri düşmüştür. Bununla birlikte, anyonik yüzeyaktif killerin optimum nem içeriği ve şişme basıncı değerleri artmıştır. Organokillerin kayma direncini belirlemek için basit kesme deneyi yapıldı. Deney sonuçları ayrıca organokillerin iç sürtünme açılarında artış olduğunu gösterdi. Buna ek olarak, hidrolik iletkenlikteki değişim ihmal edilebilir boyutlarda olduğu kaydedilmiştir.

Kurt ve Akbulut [65] yaptığı bu çalışmada; killi zeminlerin şişme özelliklerini daha iyi anlamak için, hidrofobik kil, polimerler (keçiyoynuzu sakızı, lateks, gliserin ve vinil akrilik kopolimer) ve kauçuk tozu kullanılarak sol jel yöntemi ile kil nanokompozitleri üretildi. Çalışmada, şişme ve dinamik özellikler (sekant kayma modülü ve sönümlenme oranı) deneysel olarak laboratuvar koşullarında araştırılmıştır. Dinamik testler, iki farklı sıkıştırma enerji seviyesi kullanılarak sıkıştırılmış örnekler üzerinde yürütülmüştür. Deney sonuçları, doğal kil ve hidrofobik organokil ile karşılaştırılmıştır. Test sonuçlarında, kauçuksuz CNC (kristal nanokompozit kil) ve kauçuklu CNCr - kil nanokompozitlerin E1 ve E2 enerji seviyeleri ile sıkıştırılmış sönüm oranlarının ve sekant kayma modülünün sırasıyla arttığını ve azaltıldığını ortaya koymuşlardır. Buna ek olarak, nanokil kompozitlerindeki vinil akrilik oranının artmasıyla, sekant kayma modülü değerlerinin azaldığı ve sönüm oranı değerlerinin arttığı görülmüştür. Çalışma sırasında yapılan test sonuçları, kil nanokompozitlerinin şişme ve dinamik özelliklerinin, kil tabakaların üzerindeki dinamik yüklerin olumsuz etkilerini hafifletmek için optimize edilebileceğini göstermektedir.

Sıkıştırılmış kil toprakları, çevreye sızıntı suyunun sızmasını engellemek için bir bariyer olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Dolgu malzemesi olarak kil toprağın kullanılması, hidrolik iletkenlik ve kirletici taşımadaki artışa karşı dirençliliğine bağlıdır. M.Şükrü Özçoban ve diğ. [66] çalışmasında, sıkıştırma enerjisinin ve süzülen sızıntı suyunun özelliklerinin hidrolik iletkenlik üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Standart ve modifiye sıkıştırma yöntemleriyle sıkıştırılan killerin doğal sönümlenme kapasiteleri de değerlendirilmiştir. Bu amaçla, Şile-Kömürcüoda Organize Depolama Sahasında elde edilen toprak ve gerçek sızıntı suyu numuneleri ile bir dizi laboratuvar testi gerçekleştirildi. DI ve gerçek sızıntı suyu numuneleri, Standart ve Modifiye Proctor metoduna göre hazırlanan sıkıştırılmış kil numuneleri ile doldurulmuş olan laboratuvar ölçekli kolon reaktörü vasıtasıyla süzölmüştür. Süzme esnasında, kil tabakasının hidrolik iletkenliği ve doğal sönümlenme kapasitesi sırasıyla hidrolik iletkenlik hesaplaması ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde (AKM), toplam Kjeldahl azotu (TKN-N), toplam fosfor (TP) tayini ile belirlenmiştir. Sızıntı suyu kullanarak yapılan hidrolik iletkenlik ölçümlerine göre, biyolojik ve kimyasal tıkanma mekanizmaları ile ilişkili olarak Standard ve Modifiye Proktor yöntemleriyle hazırlanan sıkıştırılmış kilde hidrolik iletkenliğin azaldığı gösterilmiştir. Kilin tıkanmasının, kil toprağı parçacıkları arasında biyofilm büyümesi ve / veya askıdaki katılar birikimi nedeniyle oluştuğı düşünölmektedir. KOİ, AKM, TKN-N ve TP varyasyonları incelendiğinde, Modifiye

sıkıştırma yöntemi ile sıkıştırılan kilin giderim verimi, özellikle AKM için standart sıkıştırma yöntemi ile sıkıştırılmış kilden daha büyük olduğu izlenmiştir.

Maritsa ve diğ. [67] yaptığı araştırmada bir madencilik atığının, sıkıştırılmış depolama alanlarının bir malzemesi olarak split durumunu incelenmiştir. Bu amaçla ağırlıkça % 3' e kadar bentonit içeriği ile farklı karışım türleri test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre karışımın ağırlıkça %3 bentonit katkılı hidrolik iletkenlik katsayısı 10^{-9} m/sn den az olup düzenli depolama malzeme gereksinimini karşılamıştır. |



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. DENEY DÜZENEGİ

Çalışmada 6 adet reaktör kullanılmıştır. Kullanılan reaktörler; iç çapı 10 cm ve yüksekliği 11 cm, 940 cm³ hacimli standart proktor kalıbı boyutlarında yapılmıştır. Reaktörlerdeki kil yüksekliği 11 cm' dir. Reaktörler alt ve üst tarafta geotekstil ve poroz malzeme ile teçhiz edilmiştir. Kullanılan 6 reaktörde de kil tabakasının üzeri çakıl taşlar ile sıkıştırılmıştır. Üzeri çakıl taşları ile sıkıştırılan reaktörler standart kompaksiyonla sıkıştırılmış zemini içermektedir. Reaktörlerin üstünden 0,3 bar'lık basınç yardımıyla reaktörler sızıntı suyu ile beslenmiştir. Sızıntı suyu standart kompaksiyon uygulanmış reaktörlere üstten verilmiştir. Zeminden sızıntı suyu geçmeye başladığı andan itibaren numune alınarak KOİ, TKN-N, NH₃-N, TP, AKM, iletkenlik ve pH analizleri yapılmıştır. Arıtım verimi KOİ, TKN-N ve TP parametrelerine göre değerlendirilmiştir.

3.2. ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.2.1. Sabit Seviyeli Permeabilite (Geçirimsizlik) Deneyi

3.2.1.1. Gerekli Cihazlar

- Sabit seviyeli Permeabilite Aygıtı
- Su seviyesinin daima sabit kalacağı su haznesi
- Kronometre
- Ölçülü kap

3.2.1.2. Gerekli Ölçümler

- Numunenin çapı (D)
- Numunenin boyu (L)
- Sabit seviyeli su haznesindeki suyun yüksekliği (H₁)
- Suyun numuneden drene olduğu yükseklik (H₂)
- Deney süresi (t)
- Toplanan su miktarı (W_{bw})

3.2.1.3. Deneyin Yapılışı

Geçirimsizliği belirlenecek zemin, istenilen sıcaklıkta ve arazideki sıklığına benzer olarak hazırlanır. Saydam bir silindire yerleştirilir. Zemin danelerinin yılanıp gitmesini önlemek üzere, zemin örneğinin alt ve üst kısmında birer filtre oluşturulur. Bu filtreler üstünde genellikle, deneye tabi tutulan zeminden biraz daha iri daneli zemin serilir. Sabit su düzeyli bir haznedan gelen su, zeminden ve filtreden geçerek hacim bölümlü bir kaptan toplanır. Kararlı bir akış elde edildikten sonra belli bir sürede, kaptan toplanan su miktarları belirlenir. Darcy yasasından k hesaplanır[68].

3.2.1.4. Hesaplamalar

Numune üzerindeki su yükü hesaplanır.

$$H = H_1 - H_2$$

Numunenin en kesit alanı hesaplanır.

$$A = \pi \times D^2 / 4$$

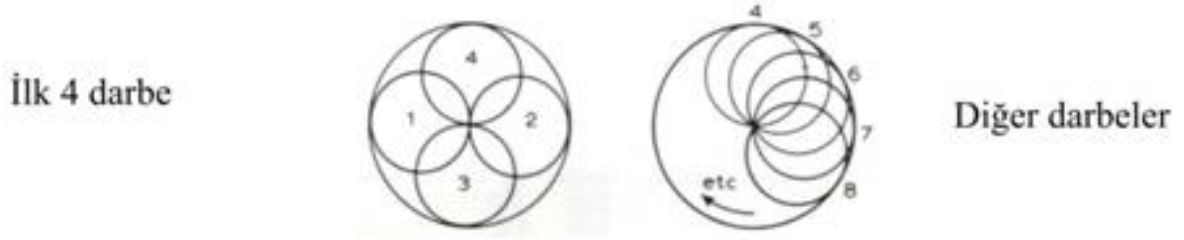
Geçirimsizlik katsayısı hesaplanır.

$$K_t = Q \times L / (H \times A \times t)$$

3.3. KOMPAKSİYON UYGULAMASI VE PERMEABİLİTE DENEY DÜZENEGİ

Başlangıçta 3 kg kil karıştırma kabının içine konuldu. İlk olarak ağırlıkça %30 su ilave edildi. İlave edilen bu suyun malzemeye homojen olarak dağılması için, su yağmurlama metoduyla numunenin içine katıldı. Bu sırada zeminin her yerine eşit olarak suyun yayılmasına ve topaklar oluşmamasına dikkat edilerek mala yardımıyla karıştırıldı. Su ilave edilerek malzeme homojen bir karışım haline getirildikten sonra sıkıştırılmak üzere proktor kabına yerleştirilmeye başlandı. Sıkıştırma üç tabaka olarak yapıldı. Her aşamada tokmak yardımı ile 30 cm den düşürülerek 25 vuruş yapıldı.

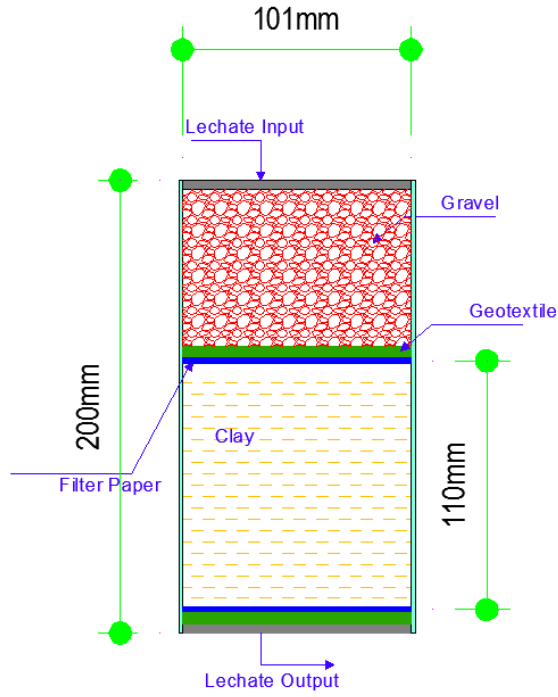
Bu vuruşların ilk 4 tanesi kalıbın kenarları boyunca kilin yüzeyine vurmak suretiyle, 25 vuruşa tamamlayarak sıkıştırma işlemi yapıldı (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Sıkıştırma işleminin şematik şekli.

Sıkıştırma işlemi sırasında kalıbın içinde üçüncü tabakanın sıkıştırma işlemi için yaka olarak tanımlanan üst başlık eklenerek üçüncü tabakayı oluşturacak malzeme serildi ve sıkıştırma işlemi tekrarlandı. Bu işlem sonunda yaka kısmı sökülerek numunenin düzgün olmayan üst kısmı traşlandı. Bundan sonra darası bilinen kalıpla birlikte numune tartıldı. Sonuç deney föyüne işlendi. Bir sonraki su muhtevası için deney tekrar yapılacağından kalıbın içindeki malzeme numune çıkarıcı aygıt ile çıkarıldı. Ağırlığı bilinen kabın ağırlığı çıkarılarak net zemin ağırlığı kaydedilmiştir. Nano malzeme eklenerek yapılacak numunelerin hazırlanması için 1500 şer gramlık kaolin numunelerine % 1, % 2, % 3 ve % 4'ü nanomalzeme (alüminyum oksit, demir (II, III) oksit) olacak şekilde tartımlar yapılarak bir kabın içinde uçmamasına dikkat ederek homojen bir karışım elde edene kadar karıştırıldı. Daha sonra yağmurlama metodu ile zemin %30 su muhtevasına getirildi. Numune proktor kabına alınarak 3 aşamada standart kompaksiyon metoduyla sıkıştırılıp üzeri traşla işlemi yapıldı. Net zemin ağırlığı kaydedildi. Hazırlanan tüm zeminlere standart kompaksiyon işlemi uygulandı.

Numunelerin deney setine koyulmaları için hazırlıklara başlandı. Öncelikle her bir numune için 2 adet kalıba uygun boyutlarda poroz kağıt kesildi. Kalıbın alt ve üst kısımlarına yerleştirildi. Numunenin üst yüzeyinin şişmesini önlemek için granüler malzeme ile dolduruldu. Daha sonra deney setinin alt ve üst kapakları monte edilerek şekil 3.2'de şematik hali yer alan deney seti kurulmaya hazır hale getirildi.



Şekil3.2: Permeabilite deney düzeneğinin şekli.

Son olarak standart kompaksiyon deneyi yapılarak deney setlerine yerleştirilen numunelere su verilmesine hazır hale geldi. Sisteme doğrudan sızıntı suyu verildi. Yaptığımız deney sabit seviyeli permeabilite deneyi olduğu için su haznesinde belirli bir su sütunu değerinde basınç bulunmaktadır, haznedeki su seviyesi azalsa bile verdiğimiz basınçla bunu sabit bir seviyede tutabiliriz. Şekil 3.3'de deney düzeneğine ait görselde de görüldüğü gibi numunelerin altından su çıktıktan sonra çıkan suyu ince hortumlar yardımıyla ölçülü kaplara aktarılmaya başlandı ve belli periyotlarla okumalar alınmaya başlandı. Reaktörden su çıkışı 100 ml' ye ulaştığında, numunelerde KOİ, TKN-N, NH₃-N, TP, AKM, iletkenlik ve pH analizleri İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 3.3: Permeabilite deney düzeneğinin şematik fotoğrafı.

Sızıntı Suyu

Çalışmada kullanılan sızıntı suyu Kemerburgaz – Odayeri Düzenli Depolama alanından temin edilmiştir. Sızıntı suyunun özellikleri Tablo 3.1de verilmiştir.

Tablo 3.1: Sızıntı suyunun özellikleri.

KOİ	TKN-N	NH ₃ -N	Toplam fosfor	AKM	PH	İletkenlik
5020 mg/L	3360 mg/L	2380 mg/L	7.2 mg/L	840 mg/L	8.6	37.9 mS/cm

Atık Analizi

Tüm analizler standart metodlara göre yapılmıştır [69].

3.4. DENEYDE KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

3.4.1. Süzölmüş Kil (Kaolinin) Özellikleri

3.4.1.1. Kimyasal Analiz

Tablo 3.2: X-ışını Floresans, Akredite analiz ve Karbon-Kükört analizi ile sonuçları elde edilmiş, süzölmüş kil kimyasal analiz raporu.

A.Z.(Lol)	%	10,00 ± 1,00
SiO ₂	%	57,50 ± 1,00
Al ₂ O ₃	%	27,00 ± 1,00
Fe ₂ O ₃	%	1,50 ± 0,30
TiO ₂	%	1,20 ± 0,10
CaO	%	0,20 ± 0,10
MgO	%	0,45± 0,10
Na ₂ O	%	0,20 ± 0,10
K ₂ O	%	1,70 ± 0,20
Suda Çöz.Tuz(Soluble Salt)	%	0,40 ± 0,10
Suda Çöz. SO ₄ (Soluble SO ₄)	%	0,20 ± 0,10
C-Karbon İçeriği(Carbon Content)	%	1,50 ± 0,10
SO ₃ -Sülfat İçeriği	%	0,15 ± 0,10

3.4.1.2. Reojolojik Özellikleri

Tablo 3.3: Süzölmüş kile ait reolojik özellikleri.

Döküm Konsantrasyonu Casting Concentration	(%)	65,50 ± 1,00
Elektrolit Miktarı (5P) Electrolyte Content	(mL/100 gr)	0,50 ± 1,00
Döküm Hızı Casting Rate	(mm ² /dk)	0,15 ± 0,05
Kuru Bağlama Dayanımı* Modulus of Rupture	(kgf/cm ²)	95,00 ± 5,00
Kuru Küçölme Dry Shrinkage	(%)	4,00 ± 1,00

3.4.1.3. Pişme Özellikleri

Tablo 3.4: Süzölmüş kilin pişme özellikleri.

Pişirme Sıcaklığı ve Süresi	(%)	1210(13)
Toplu Küçölme	(%)	10,00 ± 1,50
Su Emme	(%)	2,00 ± 1,00
L(Açıklık-Koyuluk)*	-	81,00 ± 2,00
a(+Kırmızı,-Yeşil)*		0,00 ± 0,50
b(+Sarı,-Mavi)		18,00 ± 2,00

3.4.1.4. Minerolojik Analiz

Kaolin + İllit +Kuars

X- ışını Difraktometresi ile minerolojik sonuçlar elde edilmiştir.

3.4.1.5. Tane Boyutu Dağılımı

Tablo 3.5: Lazer difraktometre ile belirlenmiş süzölmüş kilin tane boyut dağılımı.

>63	(μm)	max 1,50
<10	(μm)	max 80,00
<2	(μm)	max 65,00

3.4.2. Nano Malzemeler

3.4.2.1. Alüminyum Oksit

Alüminyum oksit nanomalzeme, 13 nm partikül boyutu-Sigma-Aldrich marka malzeme kullanılmıştır.

3.4.2.2. Demir (II,III) Oksit

Demir (II,III) oksit nanomalzeme 50-100 nm partikül boyutu ve Sigma-Aldrich marka malzeme kullanılmıştır.

4. BULGULAR

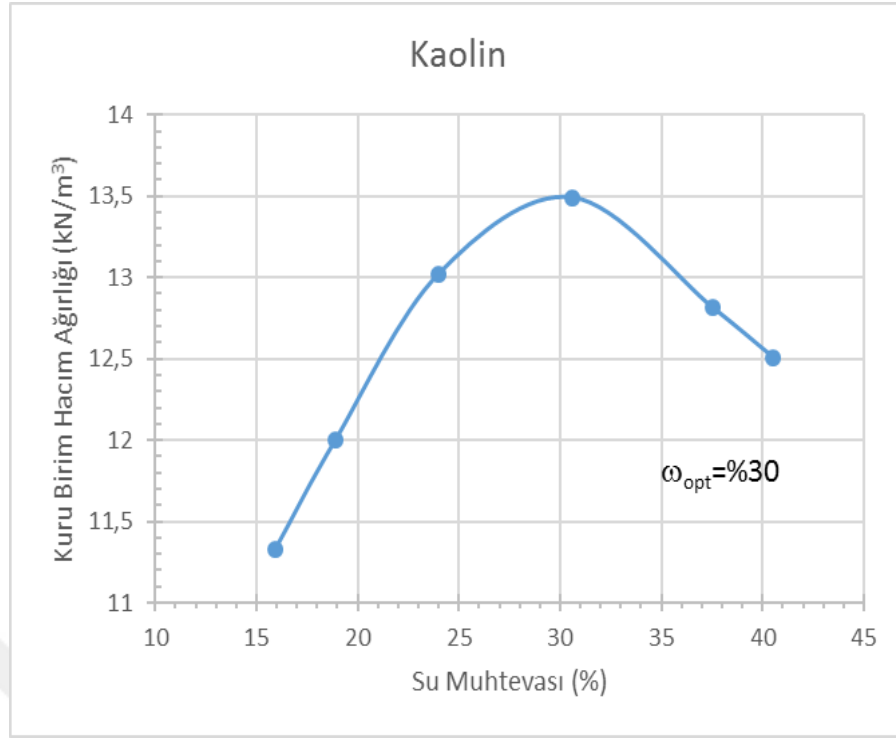
Bu çalışmada İstanbul Avrupa yakasında bulunan Kemerburgaz – Odayeri Düzenli Depolama Alanı'ndan temin edilen çöp sızıntısuyu numunesi ve Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San. Ve Tic. A.Ş. 'den alınan kil (kaolin) kullanılarak içine farklı ve değişen miktarda farklı nano malzemeler (alüminyum oksit, demir oksit (II, III)) ilave edilmiştir. Numuneler standart yöntemlerle kompaksiyona tabii tutularak hazırlanmış ve bu örneklerin yerleştirildiği reaktörlerden sızıntı suyu geçirilerek zemin numunesinin permeabilitesi ve arıtım verimi deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.1. KOMPAKSİYON DENEY SONUÇLARI

Kompaksiyon deney sonuçları uygulanan belli bir kompaksiyon enerjisi ile elde edilebilecek sıklık derecesinin su muhtevasına bağlı olarak değişimi, dolguda kullanılacak zemin için deneysel olarak saptanmıştır. Yaygın olarak kullanılan iki tür Proktor deneyi vardır. Bunlar standart proktor ve modifiye proktor deneyleridir. Bu çalışmada standart kompaksiyon deneyi yapılarak zeminin su muhtevası ile sıkıştırılmış kuru yoğunluğu arasındaki ilişki deneysel olarak saptanmış ve sonuçlar Tablo 4.1 ve Şekil 4.1' de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Kompaksiyon deneyine ait veriler.

Numunenin adı	Kaolin
Kabın Hacmi	944 cm ³
Çap	10.4 cm
Yükseklik	11.11 cm
Tabaka Sayısı	3
Tokmak Ağırlığı	2.5
Düşüş Yüksekliği	30.5
Vuruş Adedi	Her bir tabaka için 25 'er vuruş.

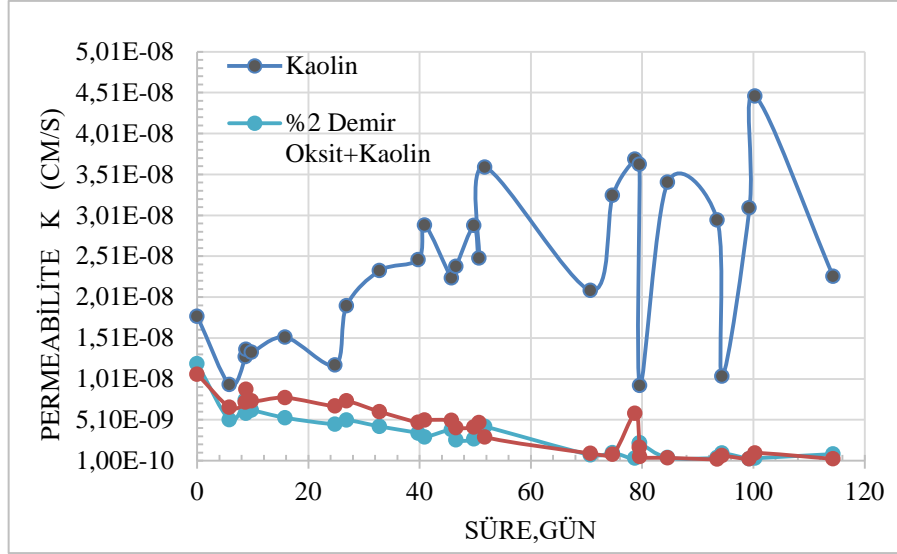


Şekil 4.1: Kaoline ait su muhtevası- kuru birim hacim ağırlığı grafiği.

4.1.1. Sızıntı Suyu ile Elde Edilen Permeabilite Sonuçları

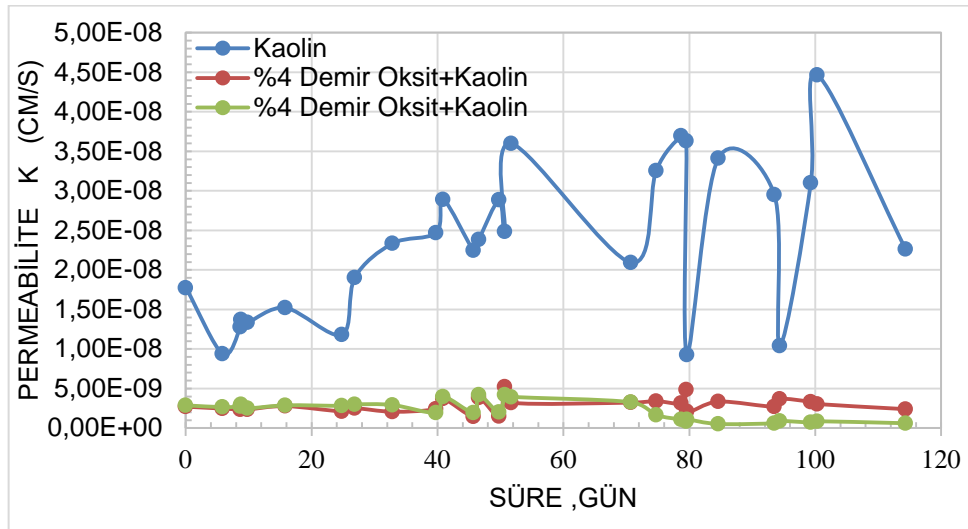
4.1.1.1. I. Set Deney Sonuçları

Altı adet reaktörün kullanıldığı çalışmada zemin standart kompaksiyonla sıkıştırılmıştır. Reaktörlerin üstünden 0,3 bar'lık basınç yardımıyla reaktörler doğrudan sızıntı suyu ile beslenmiştir. Sızıntı suyu standart kompaksiyon uygulanmış reaktörlere üstten verilmiştir. Numunenin doğrudan sızıntı suyu ile beslenmesi nedeniyle suyun ilk çıkışı, numunenin reaktörlere verilişinden üç ay sonra başlamıştır. Reaktörlerden çıkan su ölçekli mezürlerde toplanarak permeabilite değerleri belirlenmiştir. Kaolin ve nano malzeme ilave edilen zemin örneklerinin bulunduğu reaktörlerden elde edilen permeabilite deney sonuçları aşağıda Şekil 4.2 ve 4.6 arasında verilmiştir.



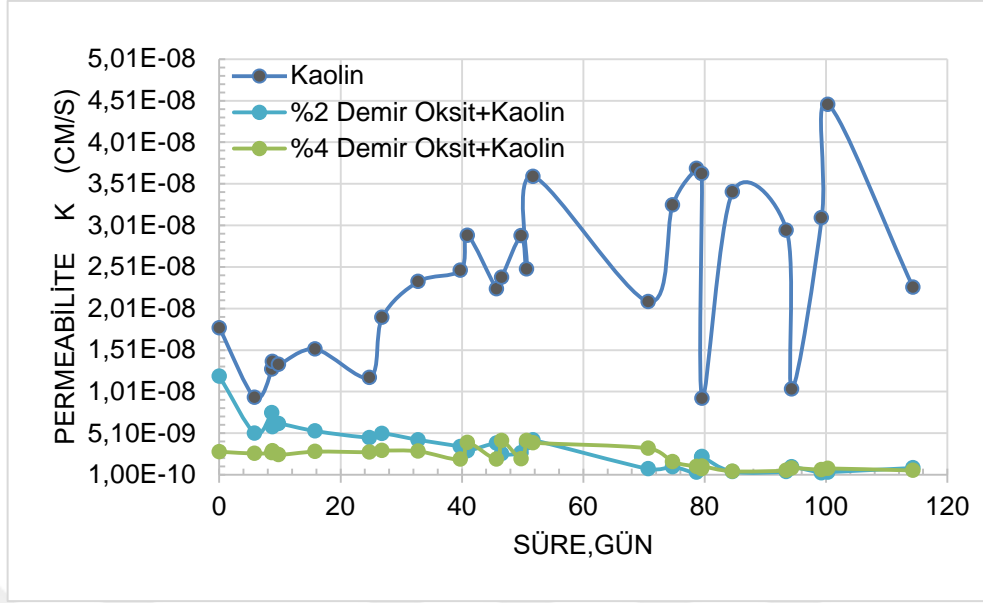
Şekil 4.2: Zaman – permeabilite ilişkisi.

Şekil 4.2’ de kaolin ve kaolin + % 2 demir oksit bulunan reaktörlerde elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde sadece kaolin bulunan reaktördeki k değerleri ortalaması $2,35 \times 10^{-8}$ cm/sn olarak bulunmuştur. Kaolin + % 2 demir oksit içeren diğer reaktörlerde k değerleri ortalaması sırasıyla $3,33 \times 10^{-9}$ cm/sn ve $4,18 \times 10^{-8}$ cm/sn olarak bulunmuştur. Kaolin + % 2 demir oksit içeren her iki reaktörün ortalama k değeri ise $3,75 \times 10^{-9}$ olarak bulunmuştur.



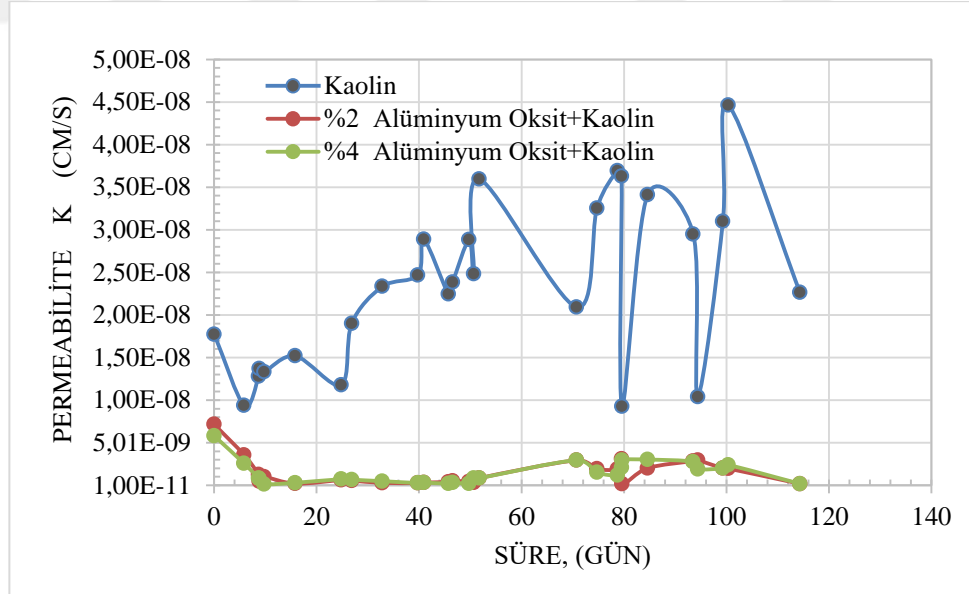
Şekil 4.3: Zaman – permeabilite ilişkisi.

Şekil 4.3’ de kaolin ve kaolin + % 4 demir oksit bulunan reaktörlerde elde edilen sonuçta, kaolin + % 4 demir oksit içeren diğer reaktörde k değerleri ortalaması sırasıyla $2,90 \times 10^{-9}$ cm/sn ve $2,21 \times 10^{-9}$ cm/sn olarak bulunmuştur. Kaolin + % 4 demir oksit içeren her iki reaktörün ortalama k değeri ise $2,55 \times 10^{-9}$ cm/sn değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.4: Zaman – permeabilite ilişkisi.

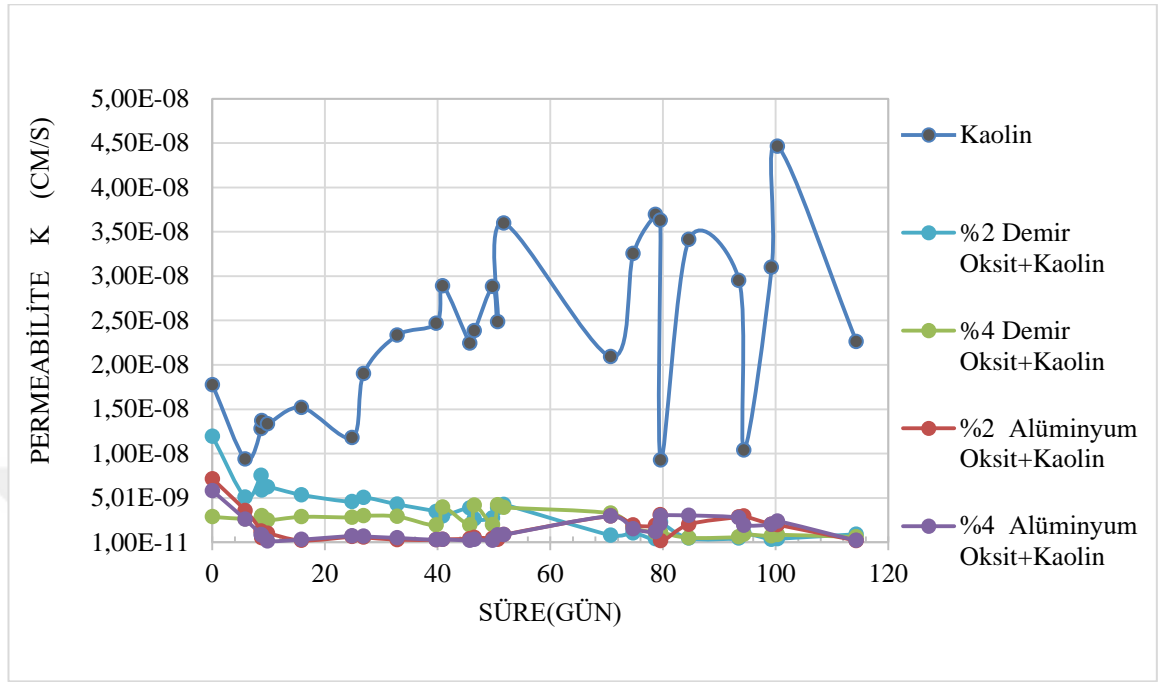
Şekil 4.4' de kaolin ve kaolin + % 2 demir oksit, kaolin + % 4 demir oksit bulunan reaktörlerde elde edilen sonuçlar, kaolin + % 2 demir oksit içeren diğer reaktörde k değerleri ortalaması $3,75 \times 10^{-9}$ cm/sn, kaolin + % 4 demir oksit içeren diğer reaktörde ise k değerleri ortalaması $2,55 \times 10^{-9}$ cm/sn olarak bulunmuştur.



Şekil 4.5: Zaman – permeabilite ilişkisi.

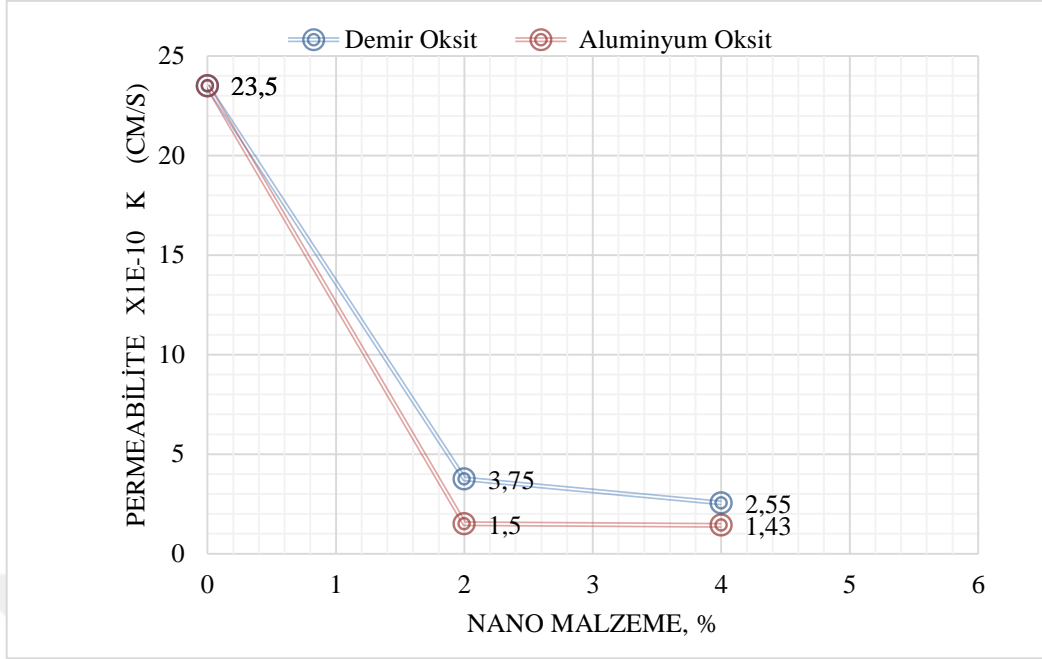
Kaolin ve kaolin + % 2 alüminyum oksit, kaolin + % 4 alüminyum oksit bulunan reaktörlerde elde edilen sonuçlar şekil 4.5' de değerlendirildiğinde, kaolin + % 2 alüminyum oksit içeren diğer reaktörde k değerleri ortalaması $1,5 \times 10^{-9}$ cm/sn ve kaolin + % 4 alüminyum oksit içeren diğer reaktörde ise k değerleri ortalaması $1,43 \times 10^{-9}$ cm/sn olarak bulunmuştur. Kaolin + % 2

ve % 4 alüminyum oksit içeren her iki reaktörün ortalama k değeri ise $1,46 \times 10^{-9}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.6: Zaman – permeabilite ilişkisi.

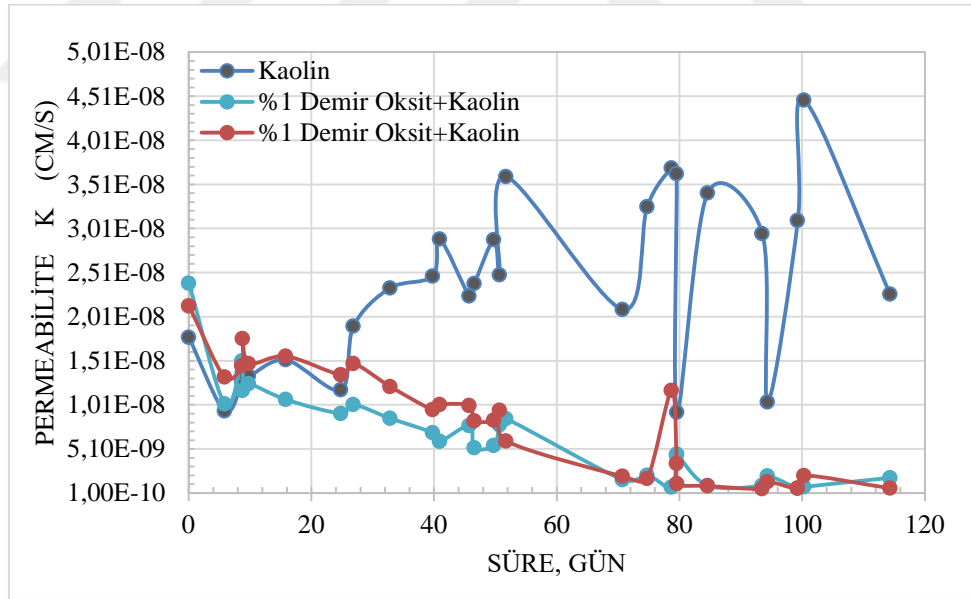
Kaolin ve kaolin + % 2 demir oksit, kaolin + % 4 demir oksit, kaolin + % 2 alüminyum oksit, kaolin + % 4 alüminyum oksit bulunan reaktörlerde elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, kaolin + % 2 ve % 4 demir oksit içeren diğer reaktörde ise k değerleri ortalaması $3,15 \times 10^{-9}$ cm/sn ve kaolin + % 2 ve % 4 alüminyum oksit içeren diğer reaktörde ise k değerleri ortalaması $1,46 \times 10^{-9}$ cm/sn olarak şekil 4.6' da görülmektedir. Kaoline nano malzeme olarak alüminyum oksit ilave edilmesi halinde demir oksite nazaran zeminin permeabilitesinin biraz daha azaldığı sonucu elde edilmiştir.



Şekil 4.7: Farklı nano malzeme karışımları ile kilin permeabilitesi.

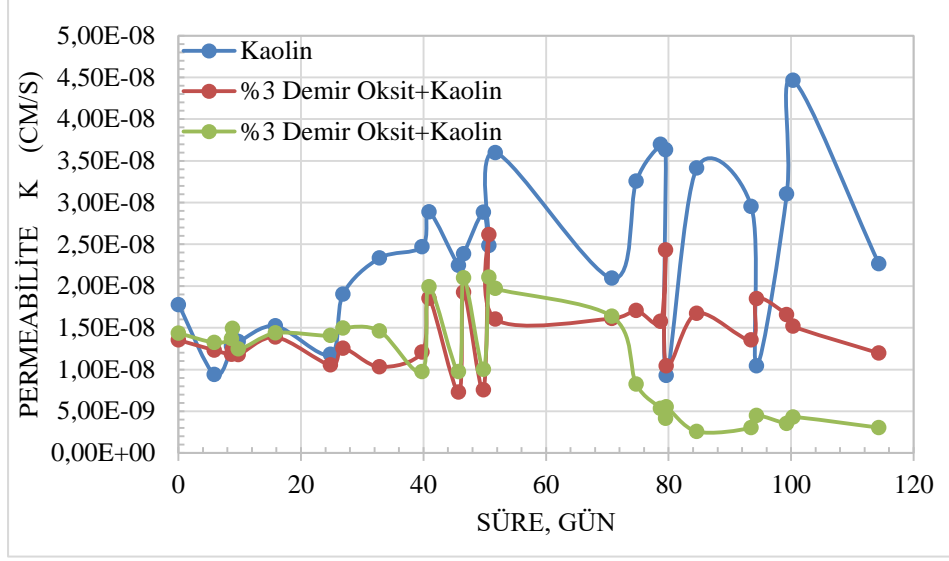
Demir oksit ilavesi ve alüminyum oksit ilavesi arasındaki fark şekil 4.7’ de görülmektedir.

4.1.1.2. II.Set Deney Sonuçları



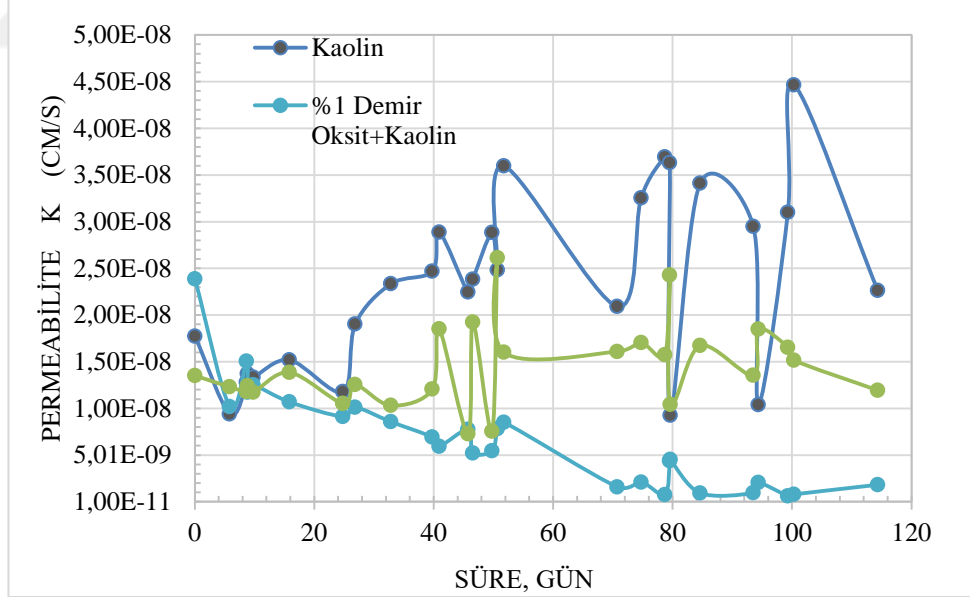
Şekil 4.8: Zaman – permeabilite ilişkisi.

Şekil 4.8’ de kaolin ve kaolin + % 1 demir oksit bulunan reaktörlerde elde edilen sonuçlarda, kaolin + % 1 demir oksit içeren diğer reaktörde k değerleri ortalaması sırasıyla $6,67 \times 10^{-9}$ cm/sn ve $8,36 \times 10^{-9}$ cm/sn olarak bulunmuştur. Kaolin + % 1 demir oksit içeren her iki reaktörün ortalama k değeri ise $7,52 \times 10^{-9}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.9: Zaman – permeabilite ilişkisi.

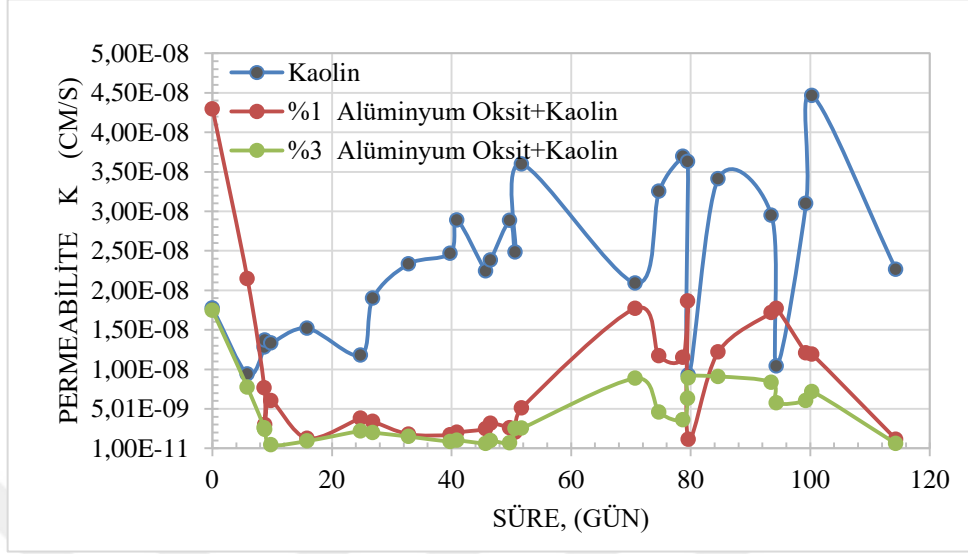
Kaolin ve kaolin + % 3 demir oksit bulunan reaktörlerde, kaolin + % 3 demir oksit içeren diğer reaktörde k değerleri ortalaması sırasıyla $1,45 \times 10^{-8}$ cm/sn ve $1,1 \times 10^{-8}$ cm/sn sonucu şekil 4.9’ da görüldüğü üzere elde edilmiştir. Kaolin + % 3 demir oksit içeren her iki reaktörün ortalama k değeri ise $1,27 \times 10^{-8}$ cm/sn sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.10: Zaman – permeabilite ilişkisi.

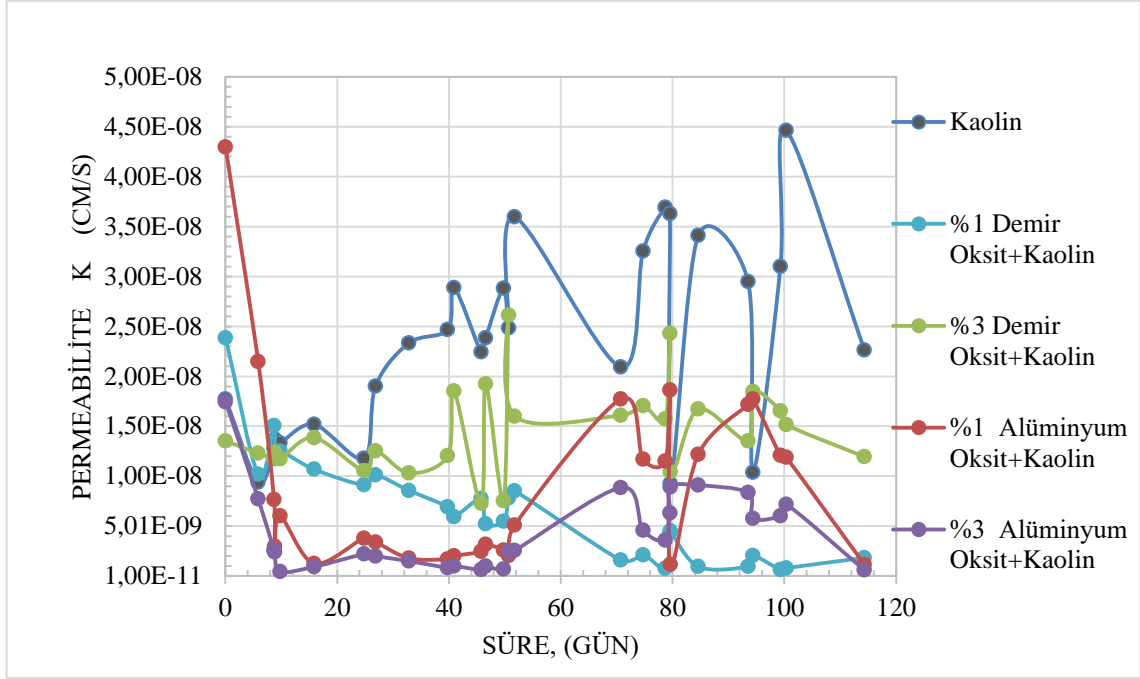
Kaolin, kaolin + % 1 demir oksit ve kaolin + % 3 demir oksit bulunan reaktörlerde elde edilen sonuçlar şekil 4.10’da görülmektedir. Kaolin + % 1 demir oksit içeren her iki reaktörün ortalama k değeri $7,52 \times 10^{-9}$ cm/sn ve Kaolin + % 3 demir oksit içeren her iki reaktörün

ortalama k değeri $1,27 \times 10^{-8}$ olarak bulunmuştur. Kaolin + % 1 ve % 3 demir oksit içeren her iki reaktörün ortalama k değeri ise $1,01 \times 10^{-8}$ cm/sn olarak bulunmuştur.



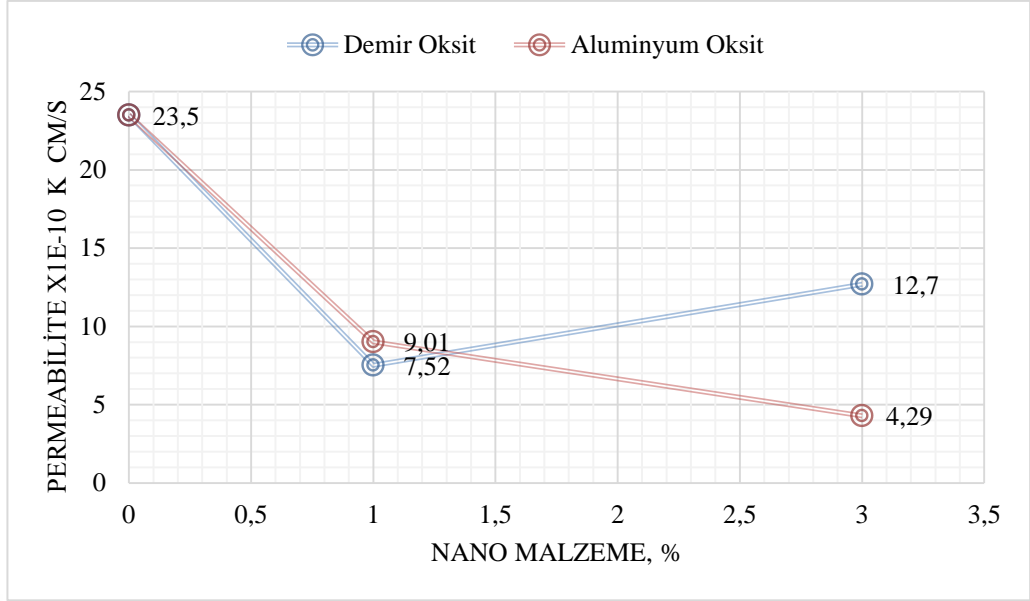
Şekil 4.11: Zaman – permeabilite ilişkisi.

Şekil 4.11’ de kaolin, kaolin + % 1 alüminyum oksit ve kaolin + % 3 alüminyum oksit bulunan reaktörlerde elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, Kaolin + % 1 alüminyum oksit içeren reaktörün ortalama k değeri $9,01 \times 10^{-9}$ cm/sn ve Kaolin + % 3 alüminyum oksit içeren reaktörün ortalama k değeri $4,29 \times 10^{-9}$ cm/sn olarak bulunmuştur. Kaolin + % 1 ve % 3 alüminyum oksit içeren her iki reaktörün ortalama k değeri ise $6,65 \times 10^{-9}$ cm/sn olarak bulunmuştur.



Şekil 4.12: Zaman – permeabilite ilişkisi.

Kaolin ve kaolin +%1 demir oksit, kaolin +%3 demir oksit, kaolin +%1 alüminyum oksit, kaolin +%3 alüminyum oksit bulunan reaktörlerde elde edilen sonuçlar Şekil 4.12’de görüldüğü üzere, sadece kaolin bulunan reaktördeki k değerleri ortalaması $2,35 \times 10^{-8}$ cm/sn olarak bulunmuştur. Kaolin + % 1 ve % 3 demir oksit içeren diğer reaktörde ise k değerleri ortalaması $1,01 \times 10^{-8}$ cm/sn ve kaolin + % 1 ve % 3 alüminyum oksit içeren diğer reaktörde ise k değerleri ortalaması $6,65 \times 10^{-9}$ cm/sn olarak elde edilmiştir. Kaoline nano malzeme olarak alüminyum oksit ilave edilmesi halinde demir oksite nazaran zeminin permeabilitesinin fazlaştığı belirlenmiştir.



Şekil 4.13: Farklı nanomalzeme karışımları ile kilin permeabilitesi.

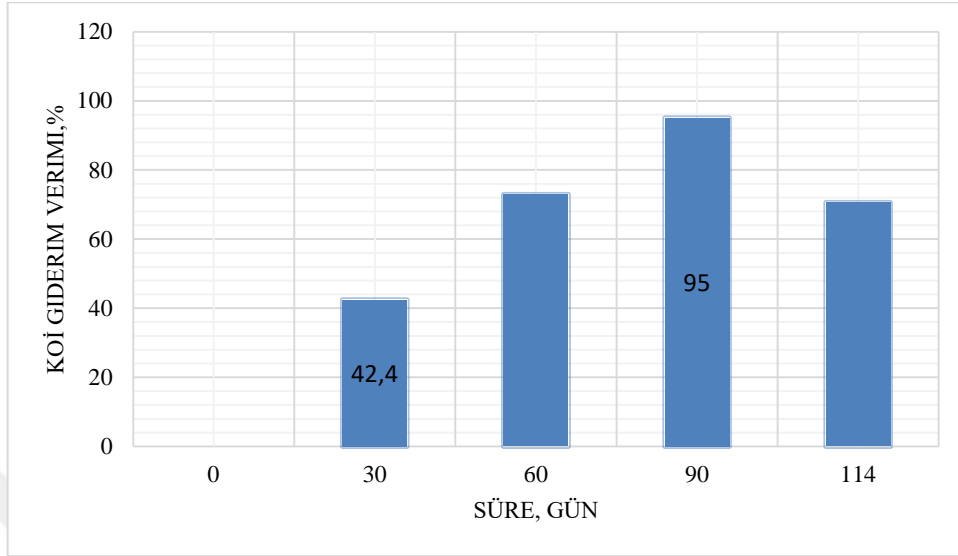
Şekil 4.13'te demir oksit ilavesi ve alüminyum oksit ilavesi arasındaki fark nano malzeme oranının artmasıyla değiştiği görülmektedir.

4.2. SIZINTI SUYU İÇİN ATIK ANALİZLERİ

Çalışmanın bu kısmında farklı ve değişen miktarda nano malzeme ilave edilen killi zeminin arıtım kapasitesini saptamak amacıyla sistemde KOİ, TKN-N ve TPanalizleri yapılmıştır.

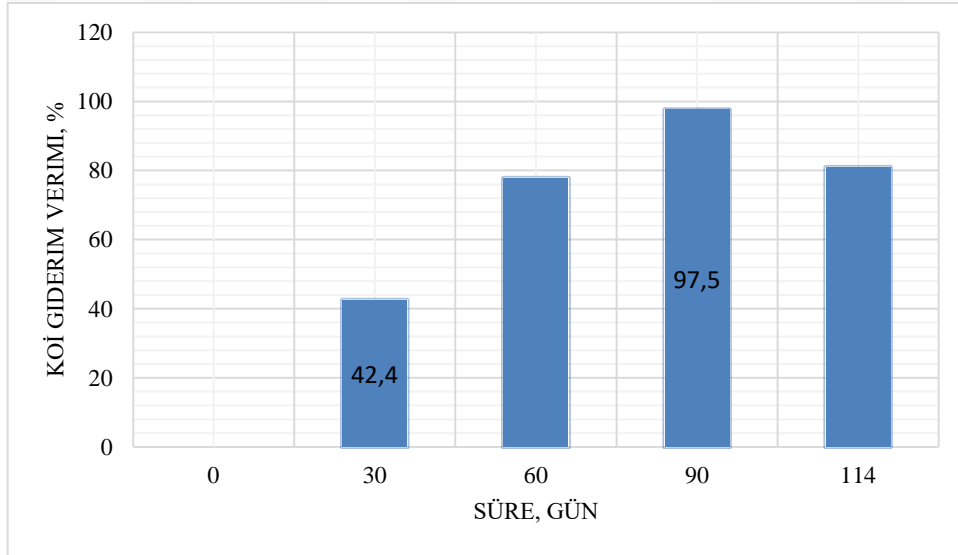
4.2.1.I. Set Deney Sonuçları

4.2.1.1. KOİ Analiz Sonuçları



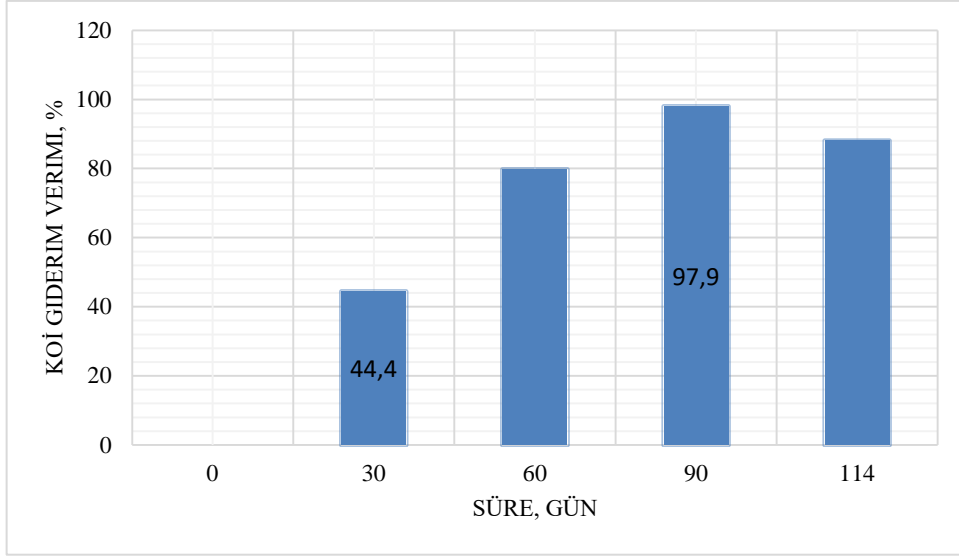
Şekil 4.14: Kaolin ile KOİ giderim verimi.

Şekil 4.14' de görüldüğü gibi 30. günde standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan kaolinin bulunduğu reaktörde KOİ çıkış değeri 2890 mg/L ve giderim verimi % 42,4 90. günde KOİ çıkış değeri 250 mg/L ve giderim verimi % 95 olarak elde edilmiştir.



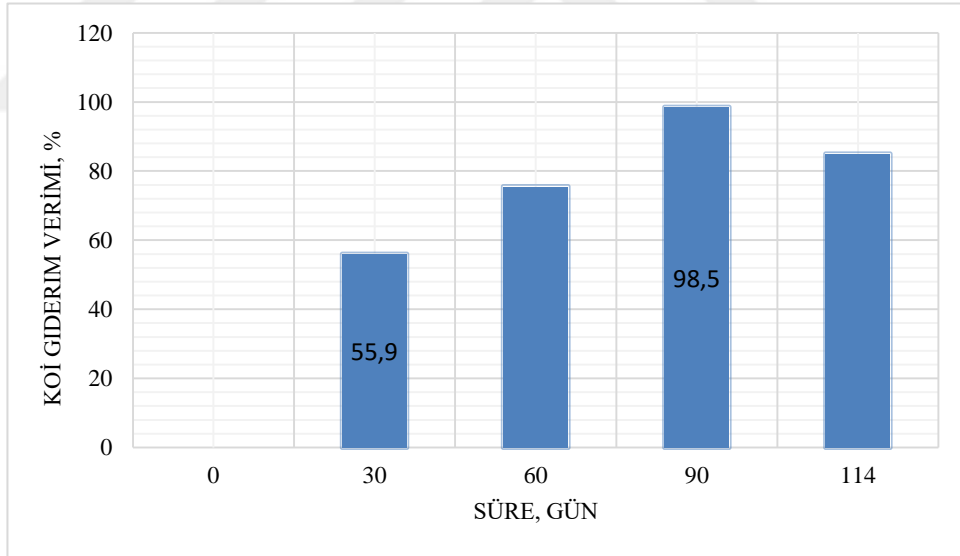
Şekil 4.15: Kaolin + % 2 demir oksit ile KOİ giderim verimi.

Şekil 4.15' de ise 30. günde kaolin + % 2 demir oksit'in bulunduğu reaktörde KOİ çıkış değeri 2890 mg/L ve giderim verimi % 42,4, 90. günde KOİ çıkış değeri 125 mg/L ve giderim verimi % 97,5 olarak elde edilmiştir.



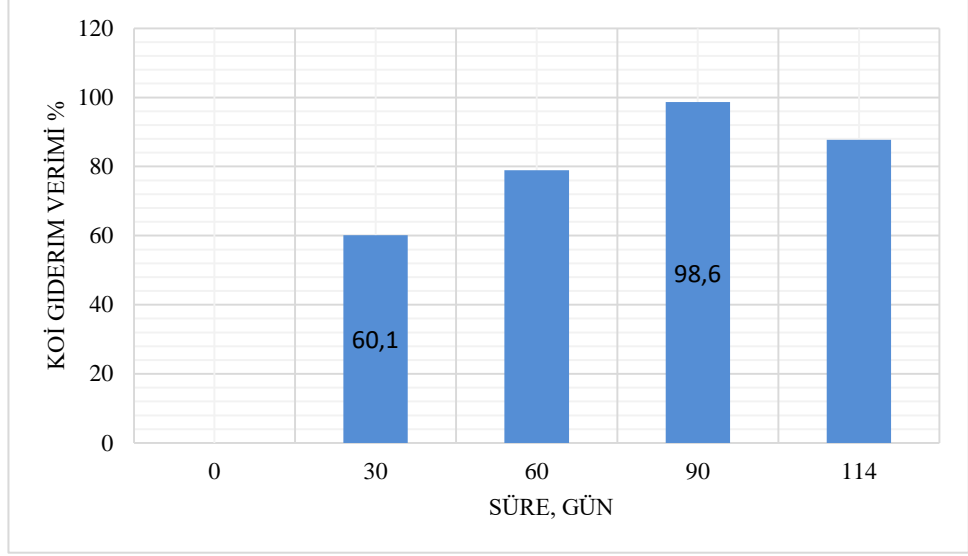
Şekil 4.16: Kaolin + % 4 demir oksit ile KOİgiderim verimi.

30. günde kaolin + % 4 demir oksit'in bulunduğu reaktörde KOİ çıkış değeri 2790 mg/L ve giderim verimi % 44.4, 90. günde KOİ çıkış değeri 105 mg/L ve giderim verimi % 97.9 olarak şekil 4.16' da görünmektedir.



Şekil 4.17: Kaolin + % 2 alüminyum oksit ile KOİgiderim verimi.

Şekil 4.17'de ise 30. günde kaolin + % 2 alüminyum oksit'in bulunduğu reaktörde KOİ çıkış değeri 2210 mg/L ve giderim verimi % 55.9, 90. günde KOİ çıkış değeri 75 mg/L ve giderim verimi % 98.5 olarak elde edilmiştir.

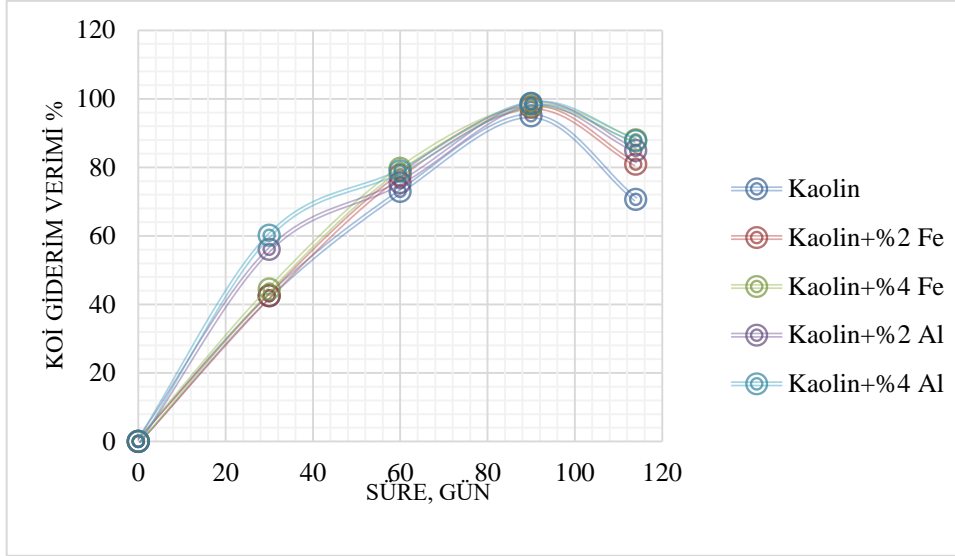


Şekil 4.18: Kaolin + % 4 alüminyum oksit ile KOİgiderim verimi.

Şekil 4.18’de görüldüğü üzere 30. günde kaolin + % 4 alüminyum oksit’ in bulunduğu reaktörde KOİ çıkış değeri 2000 mg/L ve giderim verimi % 60.1, 90. günde KOİ çıkış değeri 68 mg/L ve giderim verimi % 98.6 olarak elde edilmiştir.

Sızıntı suyu başlangıç KOİ değeri 5020 mg/L olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 30 gün sürmüştür. Şekillerden görüldüğü gibi 30. günde standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan kaolinin bulunduğu reaktörde KOİ çıkış değeri 2890 mg/L ve giderim verimi % 42, 90. günde KOİ çıkış değeri 250 mg/L ve giderim verimi % 95 olarak elde edilmiştir.

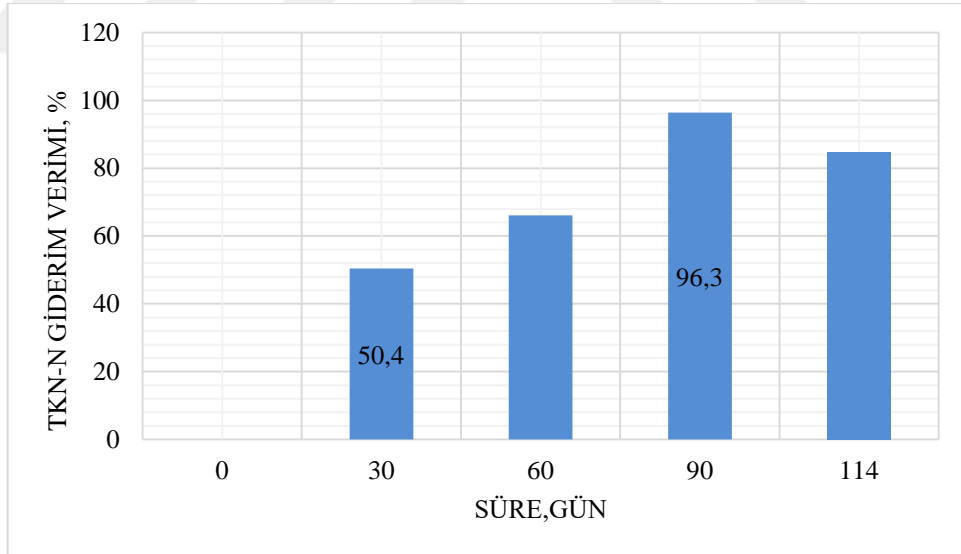
Kaolin, kaolin + % 2 demir oksit, kaolin + % 4 demir oksit, kaolin + % 2 alüminyum oksit, kaolin + % 4 alüminyum oksit olan numunelerde 90. günde elde edilen KOİ çıkış değeri ise sırasıyla 250 mg/L, 125 mg/L, 105mg/L, 75 mg/L, 68 mg/L ve giderim verimi % 95, % 97.5, % 98, % 98.5 ve % 98.6 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.14 - 4.18). Adsorpsiyon 114 gün boyunca izlenmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi genel olarak 90. güne kadar KOİ’ nin giderim veriminin arttığı sonraki günlerde ise azalmaya başladığı görülmüştür. Bu değişim 90. güne kadar adsorpsiyon sonrasında desorpsiyon olarak açıklanabilir. Sıkıştırılmış killi zeminde KOİ giderim verimi oldukça yüksektir. Fakat farklı oranlarda kullanılan nano malzemeler ile KOİ gideriminin daha da arttığı görülmektedir.



Şekil 4.19: KOİ giderim verimlerinin karşılaştırılması.

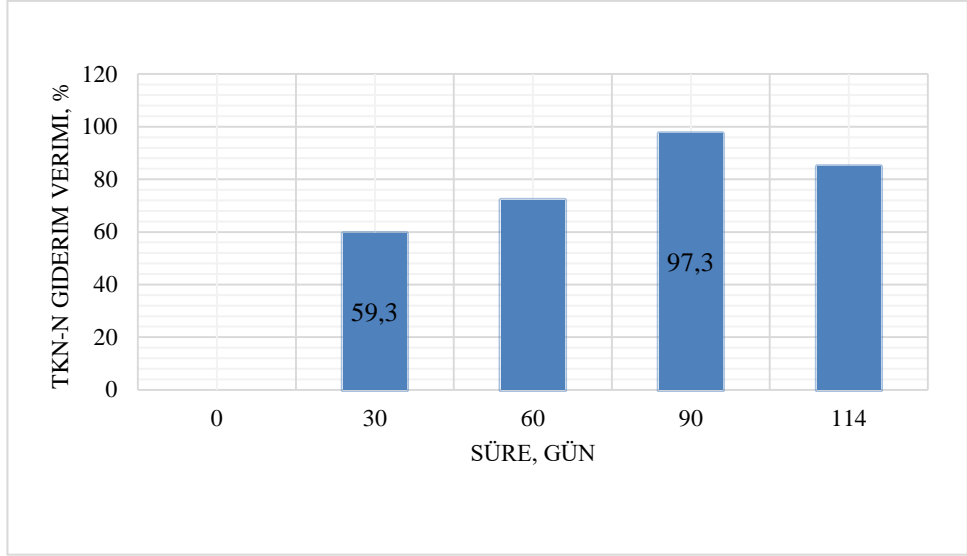
En yüksek KOİ giderim veriminin %98.6 giderim verimiyle Kaolin + % 4 alüminyum oksit ile elde edildiği şekil 4.19’ da görülmektedir. KOİ giderimlerinde % 2 ve % 4 oranında alüminyum oksit kullanıldığında fazla bir değişiklik görünmemektedir.

4.2.1.2. TKN-N Analiz Sonuçları



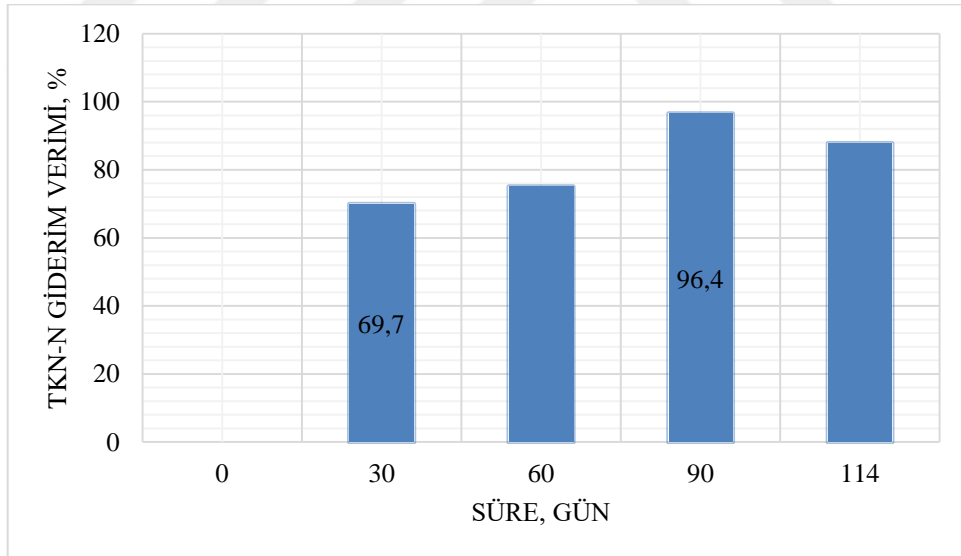
Şekil 4.20: Kaolin -TKN-Ngiderim verimi.

Sızıntı suyu başlangıç TKN-N değeri 3360 mg/L olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 30 gün sürmüştür. Şekilde görüldüğü gibi 30. günde standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan kaolin bulunduğu reaktörde çıkış değeri 1665 mg/L ve giderim verimi % 50,4, 90. günde TKN-N çıkış değeri 123 mg/L ve giderim verimi % 96,3 olarak elde edilmiştir.



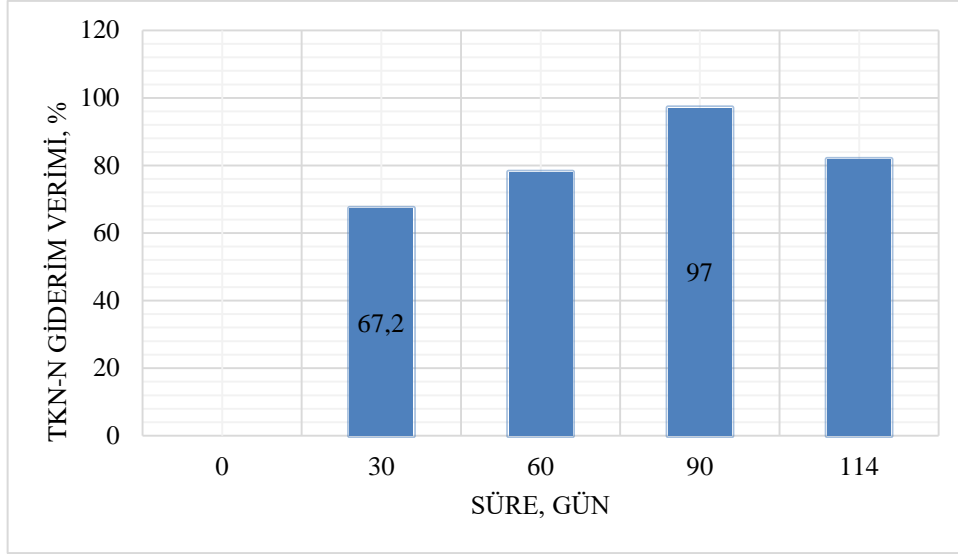
Şekil 4.21: Kaolin + % 2 demir oksit ile TKN-N giderim verimi.

Şekil 4.21 de ise 30. günde kaolin + % 2 demir oksit'in bulunduğu reaktörde çıkış değeri 1365 mg/L ve giderim verimi % 59.3, 90. günde TKN-N çıkış değeri 90 mg/L ve giderim verimi % 97.3 olarak elde edilmiştir.



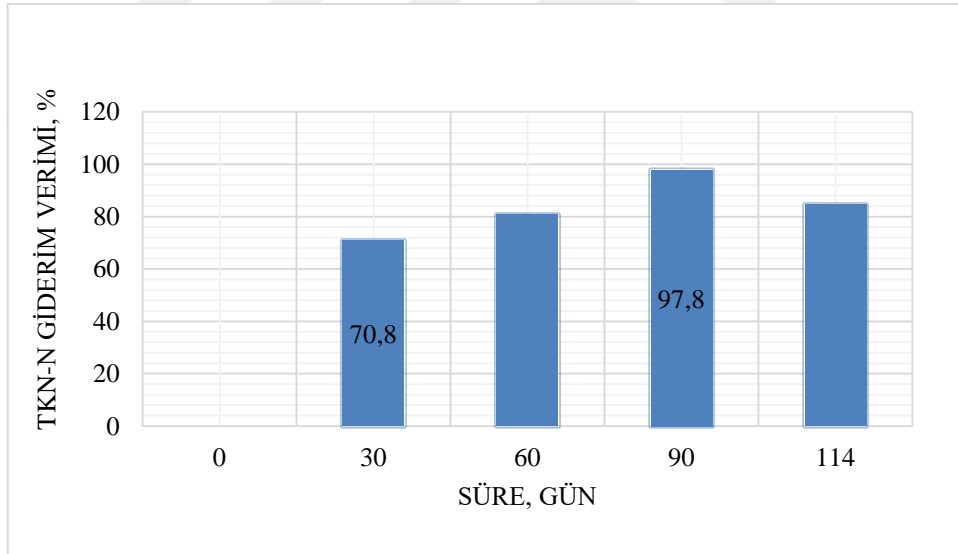
Şekil 4.22: Kaolin + % 4 demir oksit ile TKN-N giderim verimi.

30. günde kaolin + % 4 demir oksit'in bulunduğu reaktörde çıkış değeri 1015 mg/L ve giderim verimi % 69.7, 90. günde TKN-N çıkış değeri 120 mg/L ve giderim verimi % 96.4 olarak şekil 4.22' de görüldüğü üzere elde edilmiştir.



Şekil 4.23: Kaolin + % 2 alüminyum oksit ile TKN-N giderim verimi.

Şekil 4.23' te görüldüğü gibi 30. günde kaolin + % 2 alüminyum oksit'in bulunduğu reaktörde çıkış değeri 1100 mg/L ve giderim verimi % 67.2, 90. günde TKN-N çıkış değeri 98 mg/L ve giderim verimi % 97 olarak elde edilmiştir.



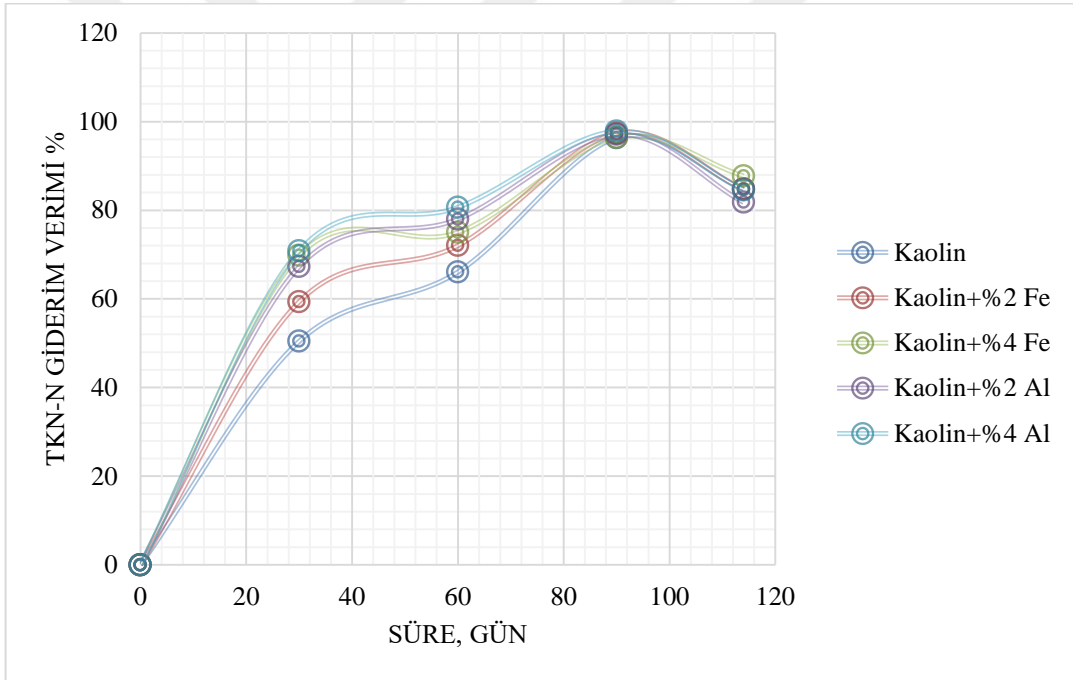
Şekil 4.24: Kaolin + % 4 alüminyum oksit ile TKN-N giderim verimi.

Şekil 4.24' te ise 30. günde kaolin + % 4 alüminyum oksit'in bulunduğu reaktörde çıkış değeri 980 mg/L ve giderim verimi % 70.8, 90. günde TKN-N çıkış değeri 73 mg/L ve giderim verimi % 97.8 olarak elde edilmiştir.

Sızıntı suyu başlangıç TKN-N değeri 3360 mg/L olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 30 gün sürmüştür. Şekillerden görüldüğü gibi 30. günde standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan kaolinin bulunduğu reaktörde çıkış değeri 1665 mg/L ve

giderim verimi % 50, 90. günde TKN-N çıkış değeri 123 mg/L ve giderim verimi % 96.3 olarak elde edilmiştir.

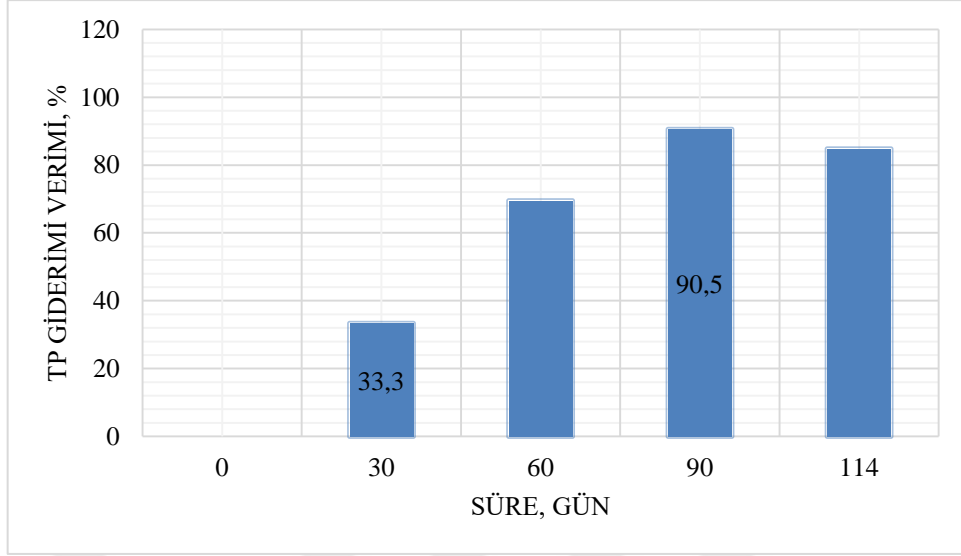
Kaolin, kaolin + % 2 demir oksit, kaolin + % 4 demir oksit, kaolin + % 2 alüminyum oksit, kaolin + % 4 alüminyum oksit olan numunelerde 90. günde elde edilen TKN-N çıkış değeri ise sırasıyla 123 mg/L, 90 mg/L, 120 mg/L, 98 mg/L, 73 mg/L ve giderim verimi % 96.3, % 97.3, % 96.4, % 97 ve % 97.8 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.20 - 4.24). Yapılan çalışmada adsorpsiyon 114 gün boyunca izlenmiştir. Şekillerdende görüldüğü üzere genel olarak 90. güne kadar TKN-N'nin giderim veriminin arttığı sonraki günlerde ise azalmaya başladığı görülmüştür. Bu değişim 90. güne kadar adsorpsiyon sonrasında da desorpsiyon olarak açıklanabilir. Sıkıştırılmış killi zeminde TKN-N giderim verimi oldukça yüksektir. Ancak farklı oranlarda kullanılan nano malzemeler ile TKN-N gideriminin daha da arttığı görülmektedir.



Şekil 4.25: TKN-Ngiderim verimlerinin karşılaştırılması.

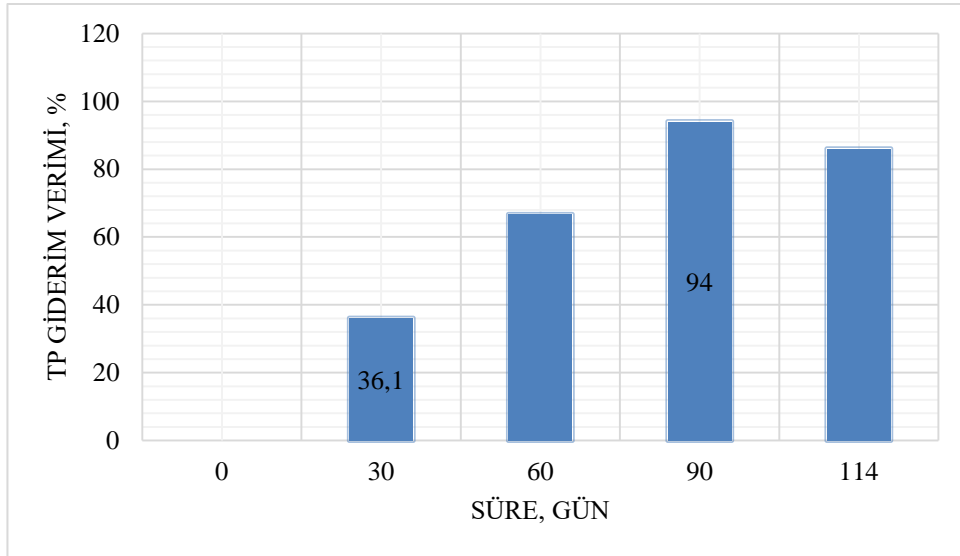
Şekil 4.25' ten de görüldüğü gibi verimlerin birbirine yakın olmasına rağmen en yüksek TKN-N giderim veriminin % 97.8 ile kaolin + % 4 alüminyum oksit olduğu görülmektedir.

4.2.1.3. TP Analiz Sonuçları



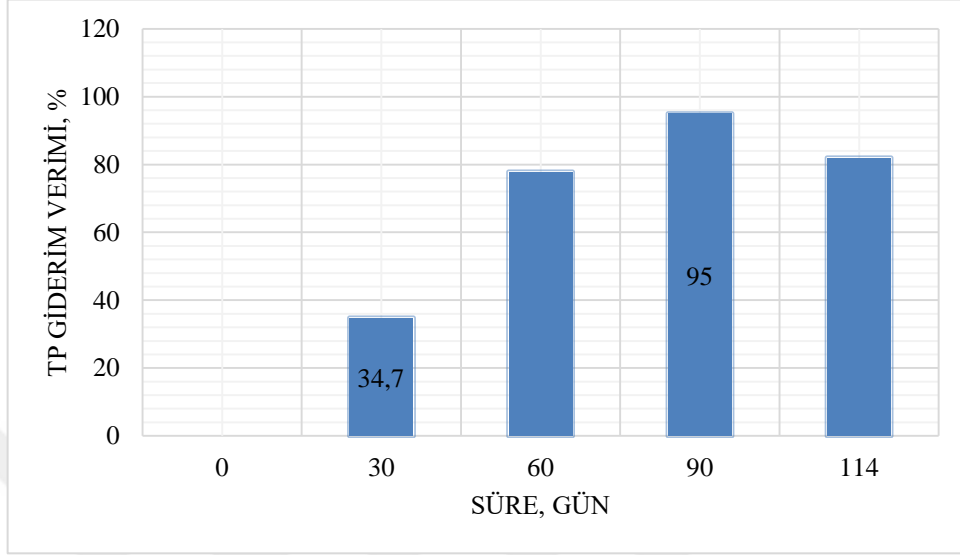
Şekil 4.26: Kaolin ile TP giderim verimi.

Sızıntı suyu başlangıç TP değeri 7,2 mg/L olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 30 gün sürmüştür. Şekil 4.26' da görüldüğü gibi 30. günde standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan kaolinin bulunduğu reaktörde çıkış değeri 4,8 mg/L ve giderim verimi % 33, 90. günde TP çıkış değeri 0,68 mg/L ve giderim verimi % 90.5 olarak elde edilmiştir.



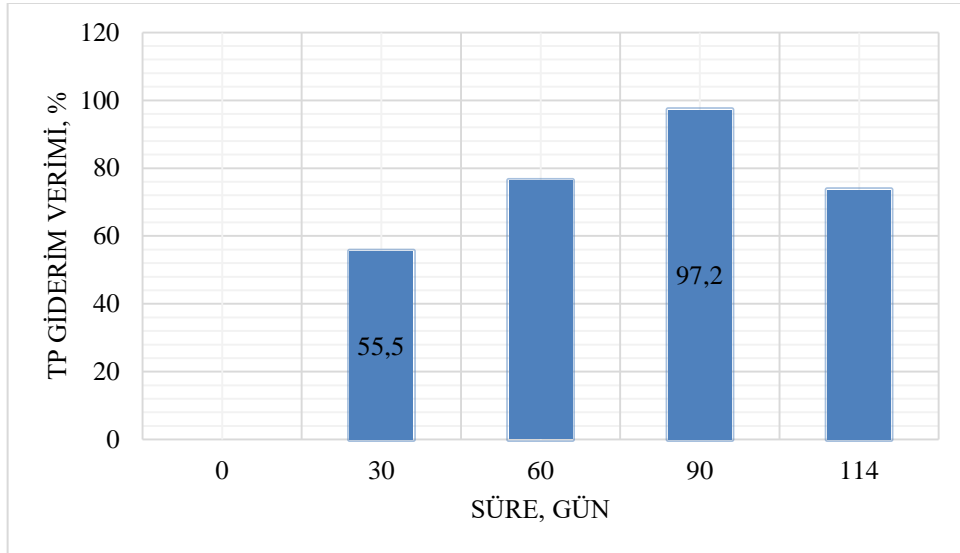
Şekil 4.27: Kaolin + % 2 demir oksit ile TP giderim verimi.

Şekil 4.27' de görüldüğü üzere 30. günde kaolin + % 2 demir oksit bulunduğu reaktörde çıkış değeri 4,8 mg/L ve giderim verimi % 36.1, 90. günde TP çıkış değeri 0,43 mg/L ve giderim verimi % 94 olarak elde edilmiştir.



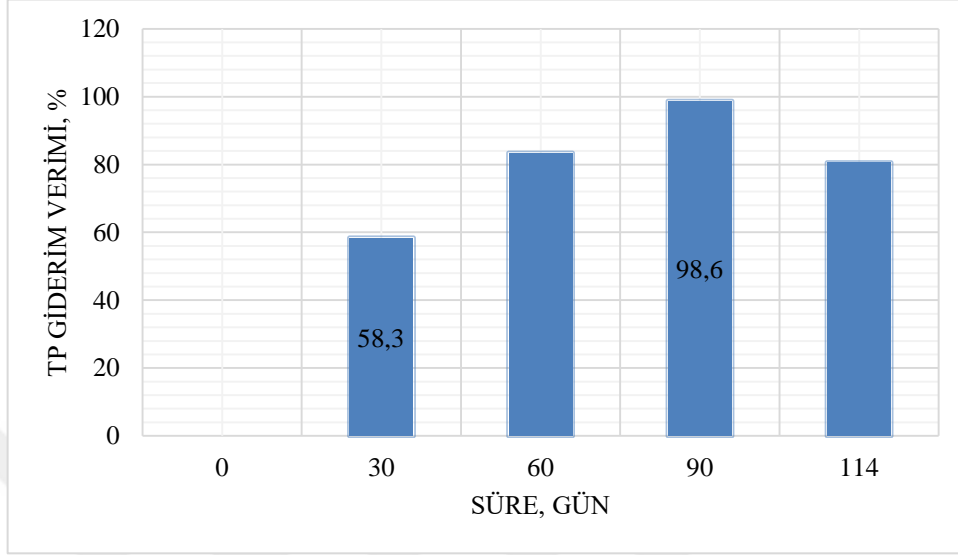
Şekil 4.28: Kaolin + % 4 demir oksit ile TP giderim verimi.

Şekil 4.28' de ise 30. günde kaolin + % 4 demir oksit bulunduğu reaktörde çıkış değeri 4,8 mg/L ve giderim verimi % 34.7, 90. günde TP çıkış değeri 0,36 mg/L ve giderim verimi % 95 bulunmuştur.



Şekil 4.29: Kaolin + % 2 alüminyum oksit ile TP giderim verimi.

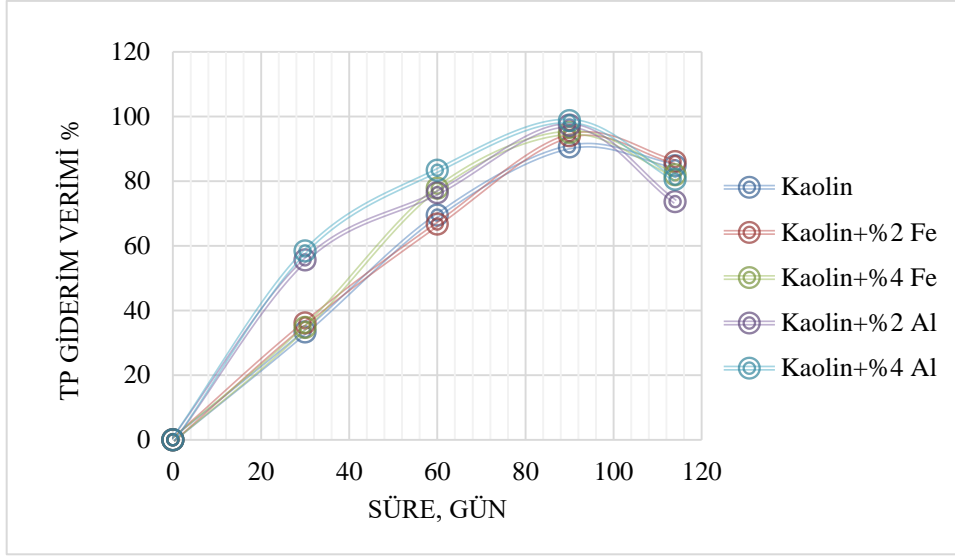
Şekil 4.29' da ise 30. günde kaolin + % 2 alüminyum oksit bulunduğu reaktörde çıkış değeri 3,2 mg/L ve giderim verimi % 55.5, 90. günde TP çıkış değeri 0,2 mg/L ve giderim verimi % 97.2 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.30:Kaolin + % 4 alüminyum oksit ile TP giderim verimi.

Şekil 4.30' da görüldüğü gibi 30. günde kaolin + % 4 alüminyum oksit'in bulunduğu reaktörde çıkış değeri 4,38 mg/L ve giderim verimi % 58.3, 90. günde TP çıkış değeri 0,1 mg/L ve giderim verimi % 98.6 olarak elde edilmiştir.

Kaolin, kaolin + % 2 demir oksit, kaolin + % 4 demir oksit, kaolin + % 4 alüminyum oksit olan numunelerde 90. günde elde edilen TP çıkış değeri ise sırasıyla 0,68 mg/L, 0,43 mg/L, 0,36 mg/L, 0,2 mg/L, 0,1 mg/L ve giderim verimi % 90.5, % 94, % 95, % 97.2 ve % 98.6 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.26 - 4.30). Adsorpsiyon 114 gün boyunca izlenmiştir. Genel olarak 90. Güne kadar TP'nin giderim veriminin arttığı sonraki günlerde ise şekillerde görüldüğü gibi azalmaya başladığı izlenmiştir. Bu değişim 90. güne kadar adsorpsiyon sonrasında da desorpsiyon olarak açıklanabilir. Sıkıştırılmış killi zeminde TP giderim verimi oldukça yüksektir. Farklı oranlarda kullanılan nano malzemeler ile TP gideriminin daha da arttığı görülmektedir.

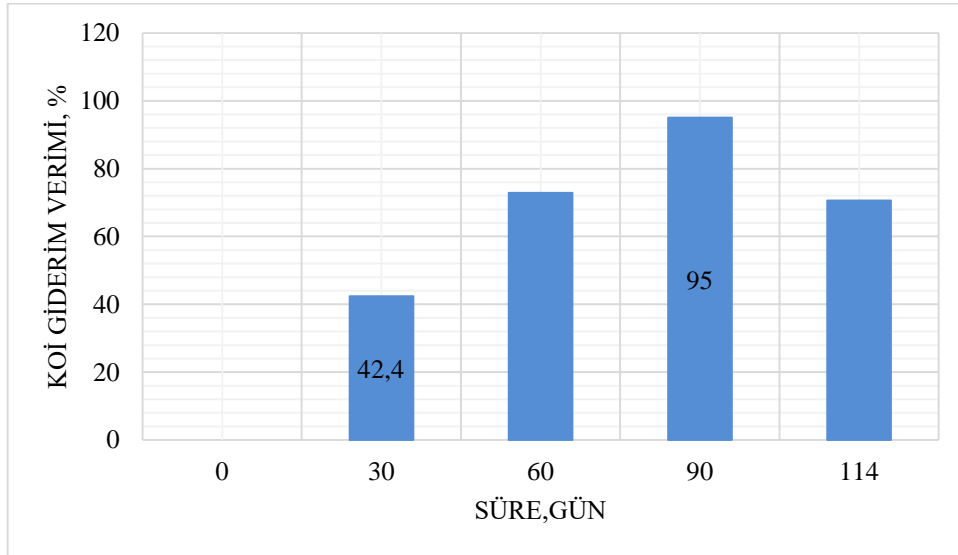


Şekil 4.31: TP giderim verimlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.31’de görüldüğü gibi farklı oranlarda kullanılan nano malzemeler sonucunda en yüksek TP giderim veriminin % 98.6 değeriyle kaolin + % 4 alüminyum oksit ile elde edildiği görülmektedir.

4.2.2. II. Set Deney Sonuçları

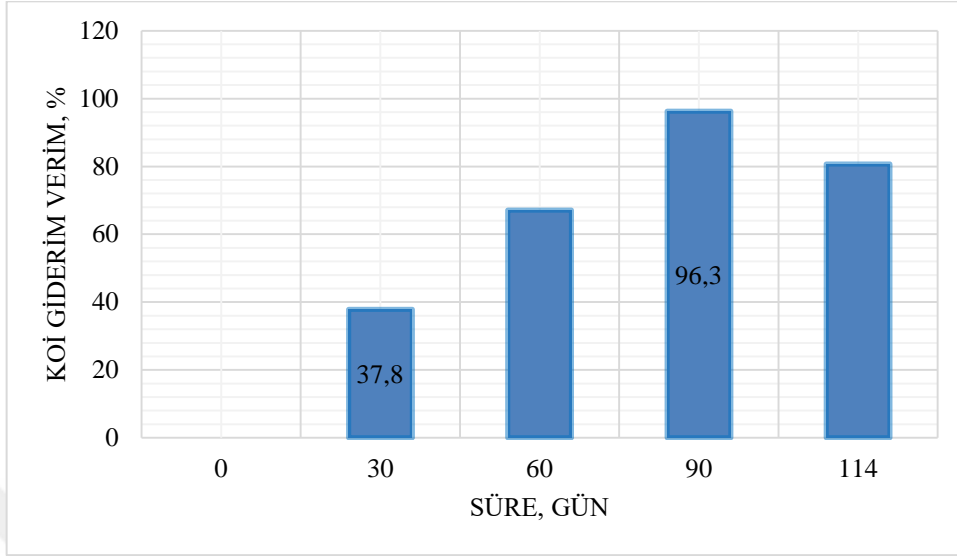
4.2.2.1. KOİ Analiz Sonuçları



Şekil 4.32: Kaolin ile KOİ giderim verimi.

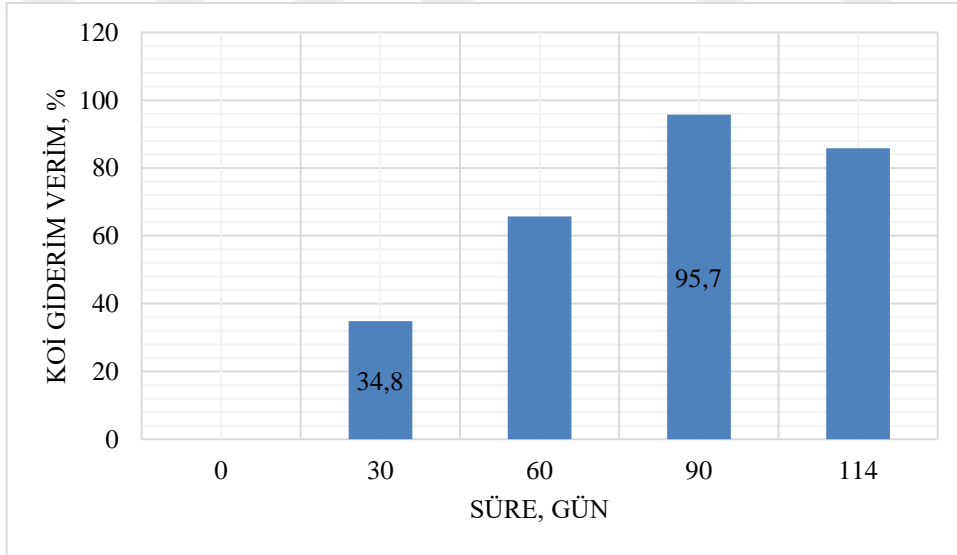
Sızıntı suyu başlangıç KOİ değeri 5020 mg/L olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 30 gün sürmüştür. Şekilde görüldüğü gibi 30. günde standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan kaolinin bulunduğu reaktörde KOİ çıkış değeri 2890

mg/L ve giderim verimi % 42.4, 90. günde KOİ çıkış değeri 250 mg/L ve giderim verimi % 95 olarak elde edilmiştir.



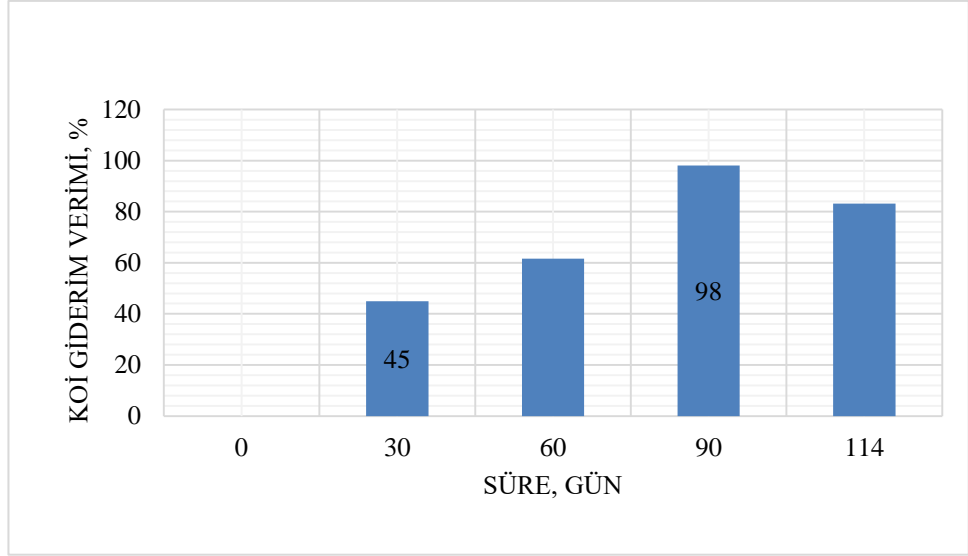
Şekil 4.33: Kaolin + %1 demir oksit ile KOİ giderim verimi.

Şekil 4.33’de ise 30. günde kaolin + % 1 demir oksit’in bulunduğu reaktörde KOİ çıkış değeri 3120 mg/L ve giderim verimi % 37.8, 90. günde KOİ çıkış değeri 185 mg/L ve giderim verimi % 96.3 olarak bulunmuştur.



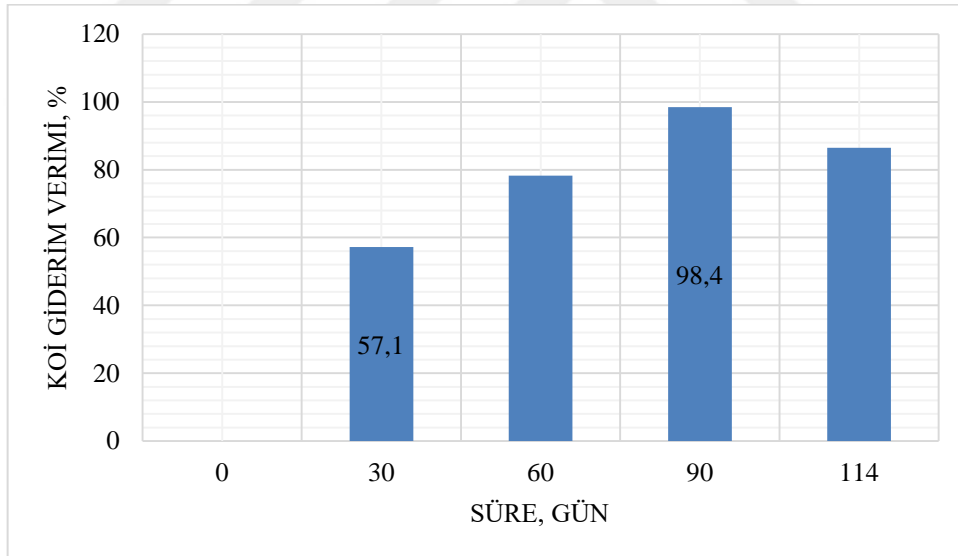
Şekil 4.34: Kaolin + %3 demir oksit ile KOİ giderim verimi.

Şekil 4.34’ te görüldüğü üzere 30. günde kaolin + % 3 demir oksit’ in bulunduğu reaktörde KOİ çıkış değeri 3270 mg/L ve giderim verimi % 34.8, 90. günde KOİ çıkış değeri 215 mg/L ve giderim verimi % 95.7 bulunmuştur.



Şekil 4.35: Kaolin + %1 alüminyum oksit ile KOİ giderim verimi.

30. günde kaolin + % 1 alüminyum oksit' in bulunduğu reaktörde KOİ çıkış değeri 2761 mg/L ve giderim verimi % 45, 90. günde KOİ çıkış değeri 99 mg/L ve giderim verimi % 98 olarak şekil 4.35' te görülmektedir.



Şekil 4.36: Kaolin + %3 alüminyum oksit ile KOİ giderim verimi.

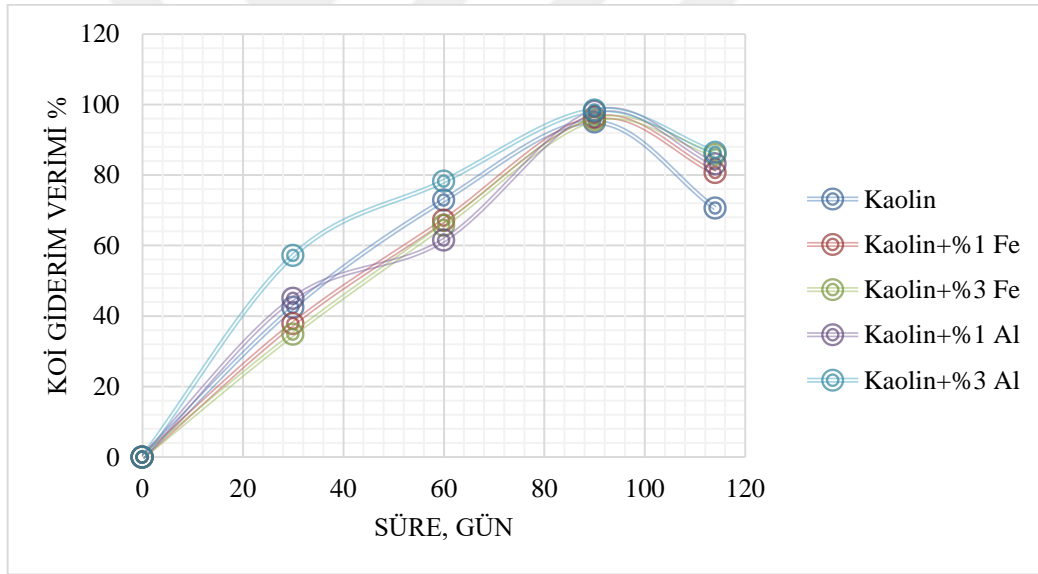
30. günde standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan kaolin + % 3 alüminyum oksit' in bulunduğu reaktörde KOİ çıkış değeri 2150 mg/L ve giderim verimi % 57.1, 90. günde KOİ çıkış değeri 79 mg/L ve giderim verimi % 98.4 olarak şekil 4.36' da görüldüğü gibi elde edilmiştir.

Sızıntı suyu başlangıç KOİ değeri 5020 mg/L olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 30 gün sürmüştür. Şekillerden görüldüğü gibi 30. günde standart

kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan kaolinin bulunduğu reaktörde KOİ çıkış değeri 2890 mg/L ve giderim verimi % 42, 90. günde KOİ çıkış değeri 250 mg/L ve giderim verimi % 95 olarak elde edilmiştir.

Kaolin, kaolin + % 1 demir oksit, kaolin + % 3 demir oksit, kaolin + % 1 alüminyum oksit, kaolin + % 3 alüminyum oksit olan numunelerde 90. günde elde edilen KOİ çıkış değeri ise sırasıyla 250 mg/L, 185 mg/L, 215 mg/L, 99 mg/L, 79 mg/L ve giderim verimi % 95, % 96.3, % 95.7, % 98 ve % 98.4 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.32 - 4.36). Adsorpsiyon 114 gün boyunca izlenmiştir. Genel olarak 90. Güne kadar KOİ'nin giderim veriminin arttığı sonraki günlerde ise azalmaya başladığı şekillerden görülmüştür. Bu değişim 90. güne kadar adsorpsiyon sonrasında desorpsiyon olarak açıklanabilir. Sıkıştırılmış killi zeminde KOİ giderim verimi oldukça yüksektir.

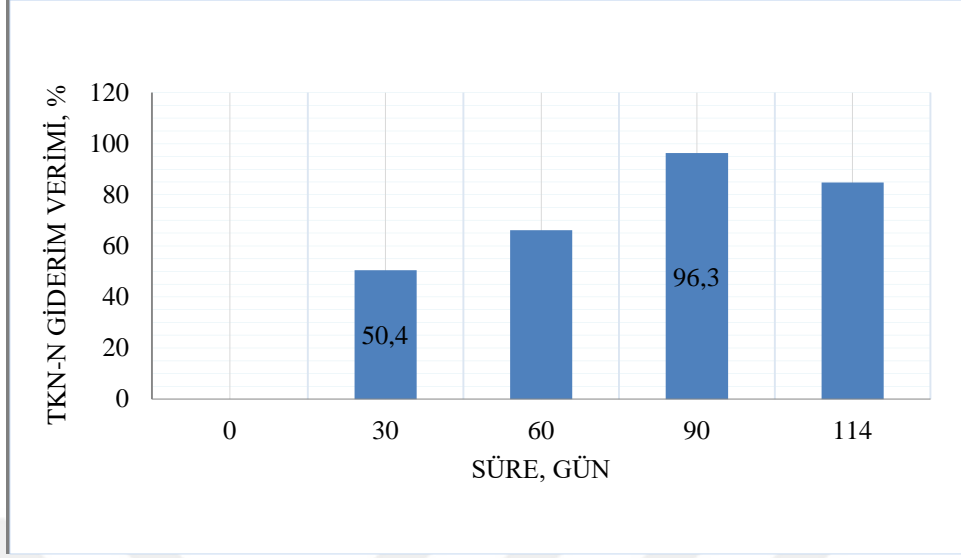
En yüksek KOİ giderim veriminin % 98.4 giderim verimiyle kaolin + % 3 alüminyum oksit ile elde edildiği görülmektedir (Şekil 4.36).



Şekil 4.37: KOİ giderim veriminin karşılaştırılması.

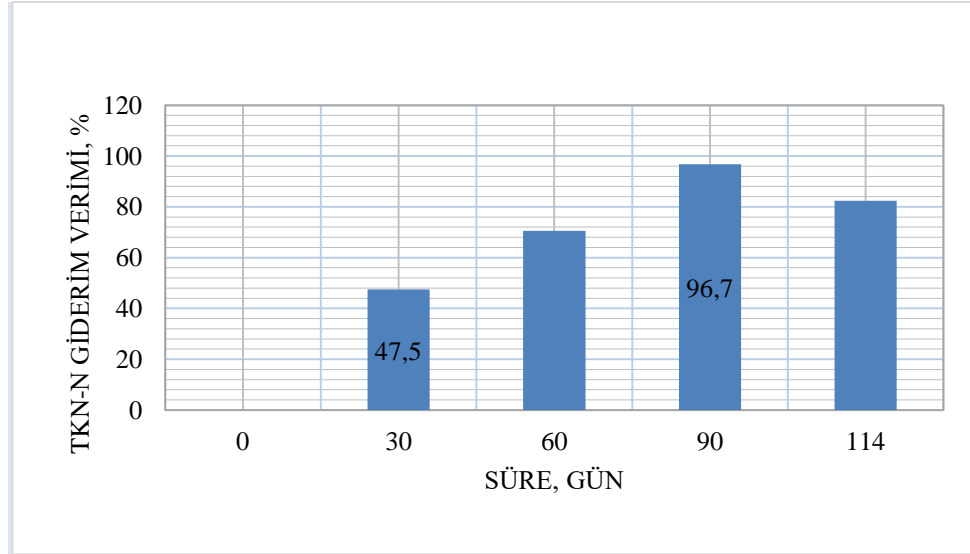
KOİ giderimlerinde % 1 ve % 3 oranında alüminyum oksit kullanıldığında fazla bir değişiklik görünmemektedir (Şekil 4.37).

4.2.2.2. TKN-N Analiz Sonuçları



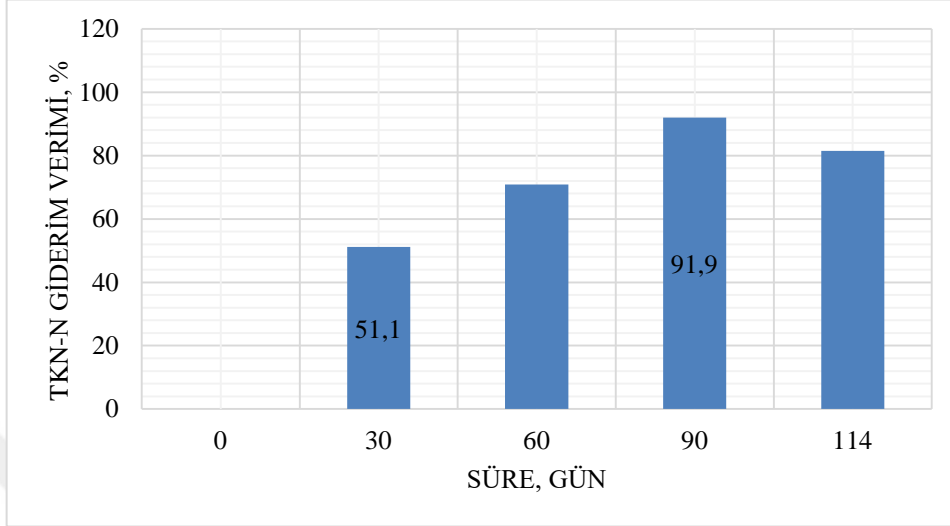
Şekil 4.38: Kaolin ile TKN-N giderim verimi.

Sızıntı suyu başlangıç TKN-N değeri 3360 mg/L olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 30 gün sürmüştür. Şekil 4.38’ de görüldüğü gibi 30. günde standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan kaolinin bulunduğu reaktörde çıkış değeri 1665 mg/L ve giderim verimi % 50,4, 90. günde TKN-N çıkış değeri 123 mg/L ve giderim verimi % 96,3 olarak elde edilmiştir.



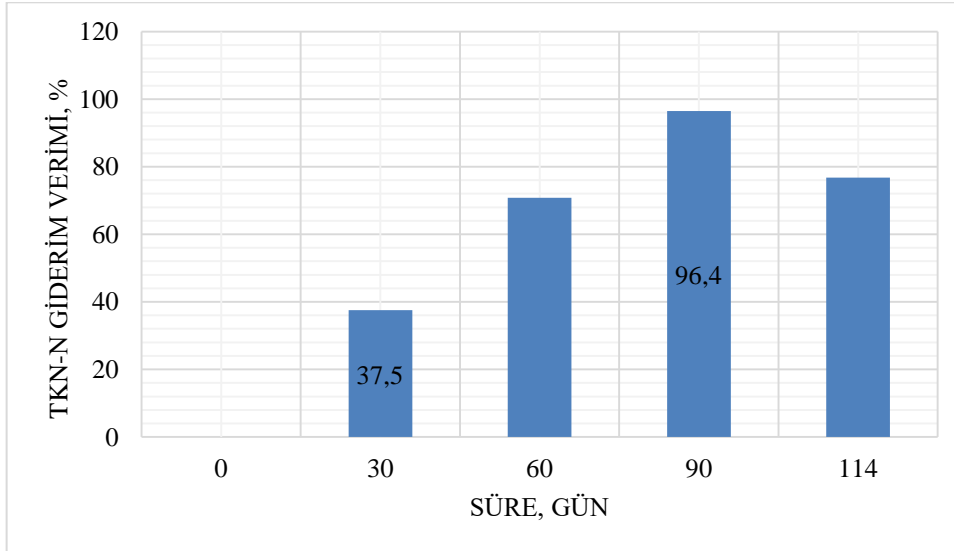
Şekil 4.39: Kaolin + %1 demir oksit ile TKN-N giderim verimi.

Şekil 4.39’ da görünen 30. gündeki kaolin + % 1 demir oksit’in bulunduğu reaktörde çıkış değeri 1763 mg/L ve giderim verimi % 47.5, 90. günde TKN-N çıkış değeri 108 mg/L ve giderim verimi % 96.7 olarak bulunmuştur.



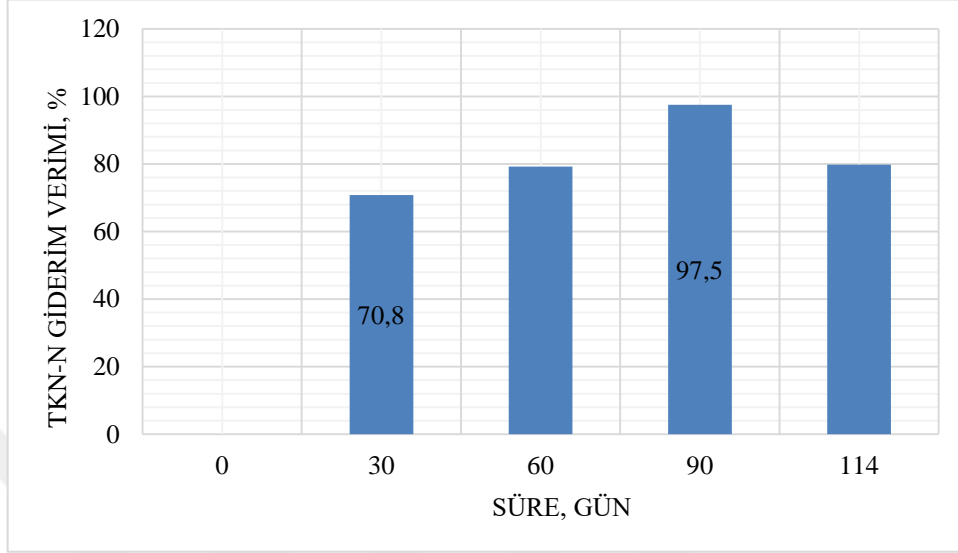
Şekil 4.40: Kaolin + %3 demir oksit ile TKN-N giderim verimi.

Şekil 4.40’ ta ise 30. günde kaolin + % 3 demir oksit’in bulunduğu reaktörde çıkış değeri 1642 mg/L ve giderim verimi % 51.1, 90. günde TKN-N çıkış değeri 270 mg/L ve giderim verimi % 91.9 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.41: Kaolin + %1 alüminyum oksit ile TKN-N giderim verimi.

Şekil 4.41' de 30. gündeki kaolin + % 1 alüminyum oksit' in bulunduğu reaktörde çıkış değeri 2100 mg/L ve giderim verimi % 37.5, 90. günde TKN-N çıkış değeri 120 mg/L ve giderim verimi % 96.4 olarak elde edilmiştir.

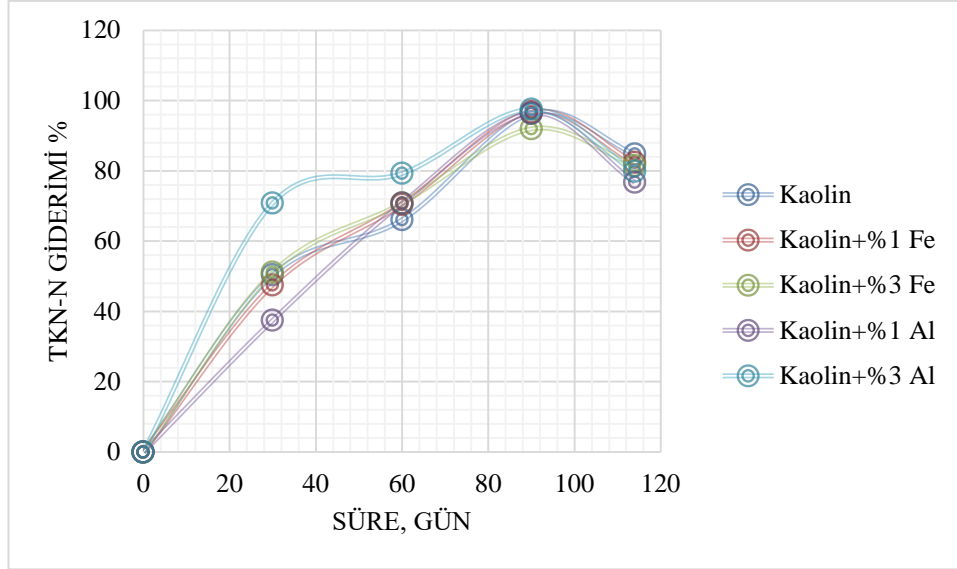


Şekil 4.42: Kaolin + %3 alüminyum oksit ile TKN-N giderim verimi.

30. gündeki kaolin + % 3 alüminyum oksit' in bulunduğu reaktörde çıkış değeri 980 mg/L ve giderim verimi % 70.8, 90. günde TKN-N çıkış değeri 84 mg/L ve giderim verimi % 91.9 şekil 4.42' de görüldüğü gibi elde edilmiştir.

Sızıntı suyu başlangıç TKN-N değeri 3360 mg/L olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 30 gün sürmüştür. Şekillerden görüldüğü gibi 30. günde standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan kaolinin bulunduğu reaktörde çıkış değeri 1665 mg/L ve giderim verimi % 50, 90. günde TKN-N çıkış değeri 123 mg/L ve giderim verimi % 97.5 olarak elde edilmiştir.

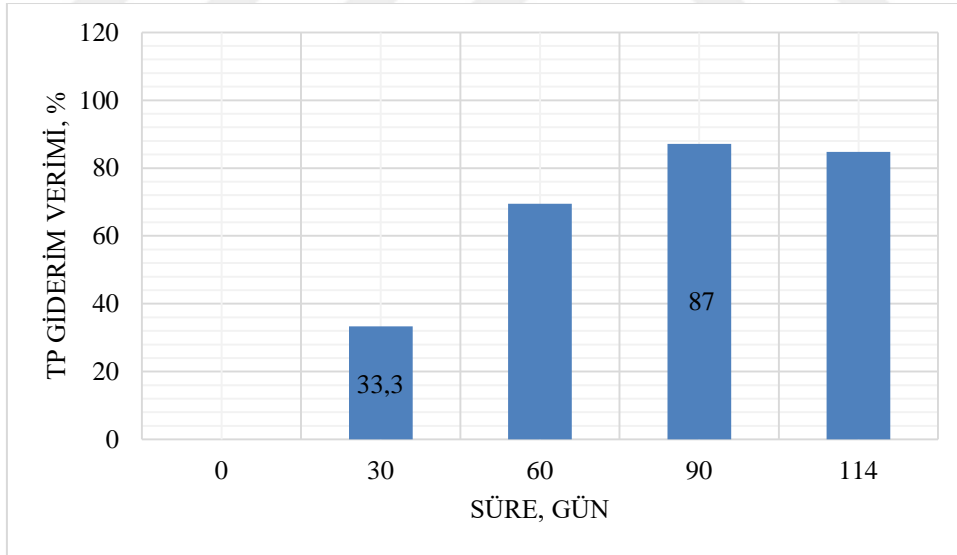
Kaolin, kaolin + % 1 demir oksit, kaolin + % 3 demir oksit, kaolin + % 1 alüminyum oksit, kaolin + % 3 alüminyum oksit olan numunelerde 90. günde elde edilen TKN-N çıkış değeri ise sırasıyla 123 mg/L, 108 mg/L, 270 mg/L, 120 mg/L, 84 mg/L ve giderim verimi % 96.3, % 96.7, % 91,9 +% 96.4 ve % 97.5 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.38 - 4.42). Adsorpsiyon 114 gün boyunca izlenmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi genel olarak 90. güne kadar TKN-N' nin giderim veriminin arttığı sonraki günlerde ise azalmaya başladığı görülmüştür. Bu değişim 90. güne kadar adsorpsiyon sonrasında da desorpsiyon olarak açıklanabilir. Sıkıştırılmış killi zeminde TKN-N giderim verimi oldukça yüksektir.



Şekil 4.43:TKN-N giderim veriminin karşılaştırılması.

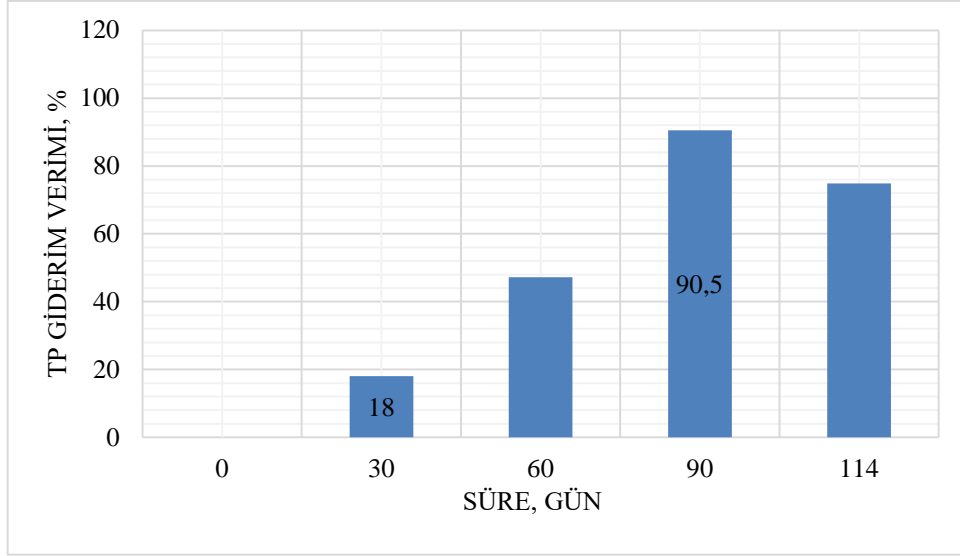
Şekil 4.43' den de görüldüğü gibi en yüksek TKN-N giderim veriminin % 97.5 giderim verimiyle kaolin + % 3 alüminyum oksit ile elde edildiği görülmektedir.

4.2.2.3. TP Analiz Sonuçları



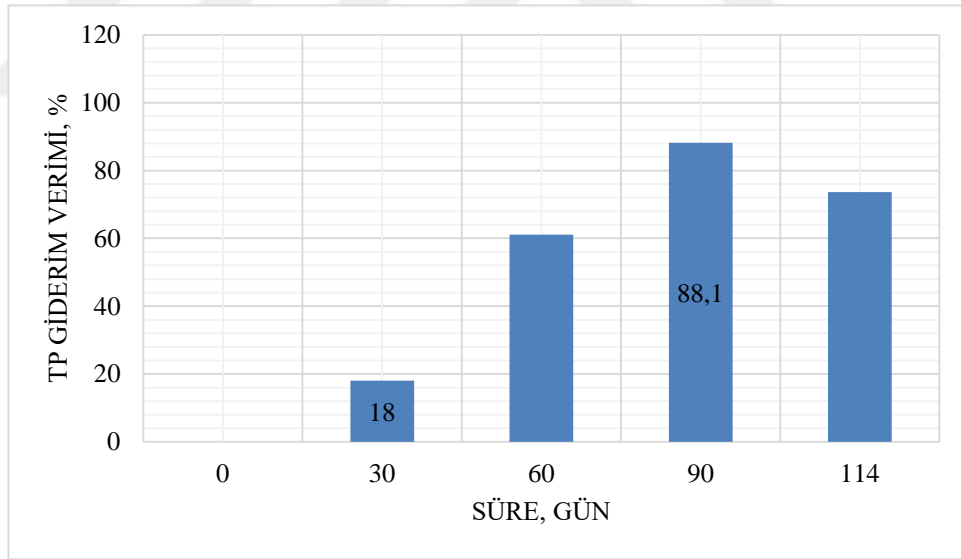
Şekil 4.44: Kaolin ile TP giderim verimi.

Sızıntı suyu başlangıç TP değeri 7,2 mg/L olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 30 gün sürmüştür. Şekil 4.44' de görüldüğü gibi 30. günde standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan kaolinin bulunduğu reaktörde çıkış değeri 5,9 mg/L ve giderim verimi % 33, 90. günde TP çıkış değeri 0,68 mg/L ve giderim verimi % 87 olarak elde edilmiştir.



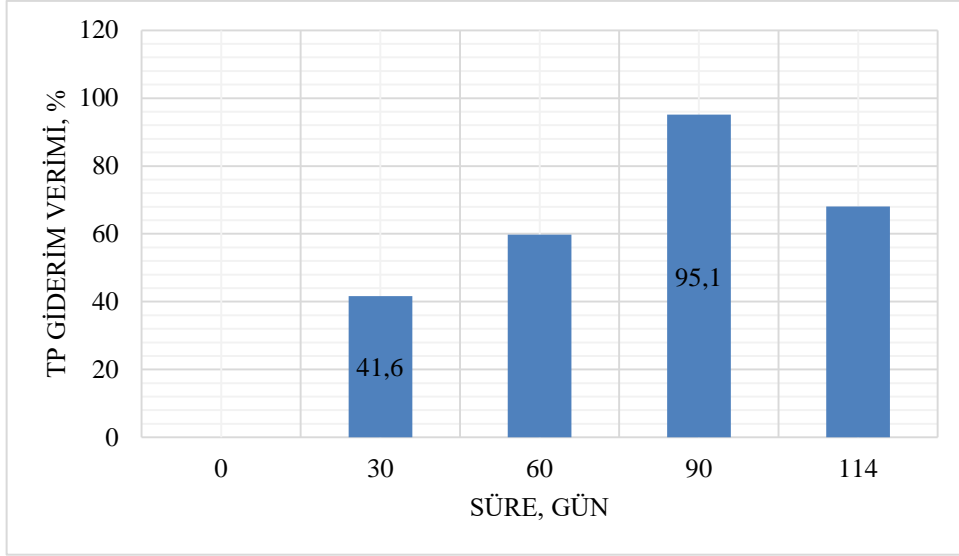
Şekil 4.45: Kaolin + % 1 demir oksit ile TP giderim verimi.

Şekil 4.45’ de görüldüğü gibi 30. günde standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan kaolin + % 1 demir oksit bulunduğu reaktörde çıkış değeri 4,8 mg/L ve giderim verimi % 18, 90. günde TP çıkış değeri 0,93 mg/L ve giderim verimi % 90.5 olarak elde edilmiştir.



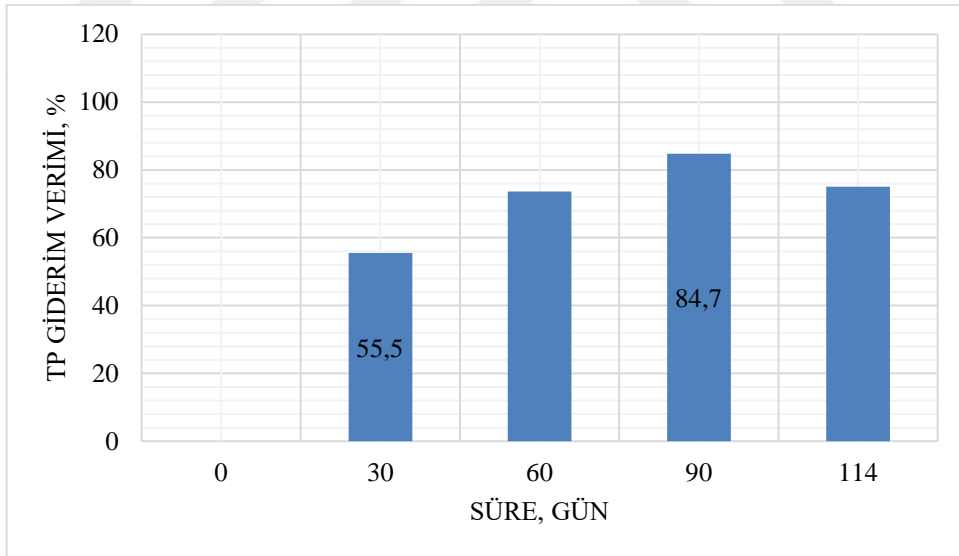
Şekil 4.46: Kaolin + %3 demir oksit ile TP giderim verimi.

Şekil 4.46’ da 30. gündeki kaolin + % 3 demir oksit bulunduğu reaktörde çıkış değeri 5,9 mg/L ve giderim verimi % 18, 90. günde TP çıkış değeri 0,85 mg/L ve giderim verimi % 88.1 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.47: Kaolin + % 1 alüminyum oksit ile TP giderim verimi.

Şekil 4.47’ de ise 30. günde kaolin + % 1 alüminyum oksit ile TP giderim verimi bulunduğu reaktörde çıkış değeri 4,2 mg/L ve giderim verimi % 41,6, 90. günde TP çıkış değeri 0,35 mg/L ve giderim verimi % 95,1 olarak elde edilmiştir.



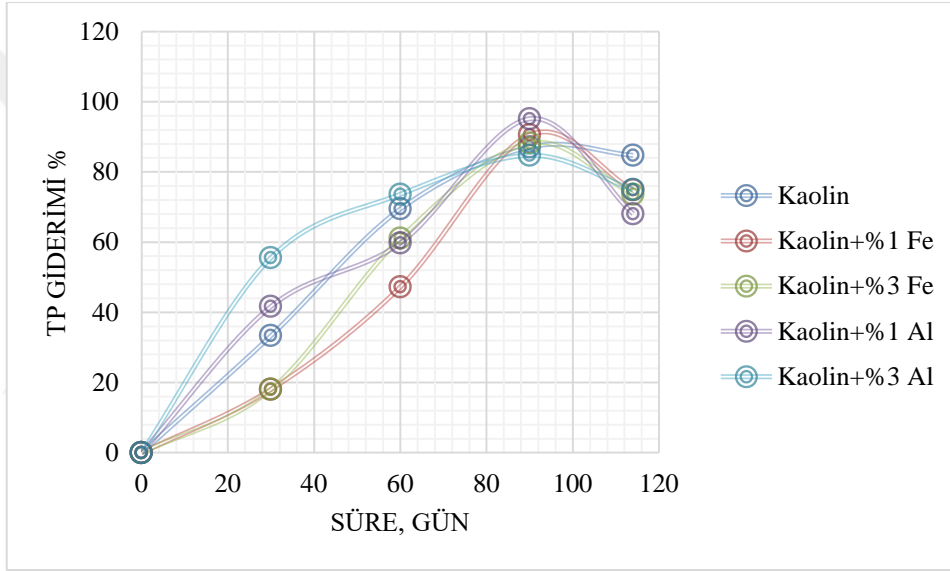
Şekil 4.48: Kaolin + % 3 alüminyum oksit ile TP giderim verimi.

30. gündeki kaolin + % 3 alüminyum oksit ile TP giderim verimi bulunduğu reaktörde çıkış değeri 3,2 mg/L ve giderim verimi % 55,5, 90. günde TP çıkış değeri 1,1 mg/L ve giderim verimi % 84,7 olarak Şekil 4.48’ de görüldüğü gibi bulunmuştur.

Sızıntı suyu başlangıç TP değeri 7,2 mg/L olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 30 gün sürmüştür. 30. günde standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan

kaolinin bulunduğu reaktörde çıkış değeri 5,9 mg/L ve giderim verimi % 33, 90. günde TP çıkış değeri 0,68 mg/L ve giderim verimi % 87 olarak şekillerde görüldüğü üzere elde edilmiştir.

Kaolin, kaolin + % 1 demir oksit, kaolin + % 3 demir oksit, kaolin + % 1 alüminyum oksit, kaolin + % 3 alüminyum oksit olan numunelerde 90. günde elde edilen TKN-N çıkış değeri ise sırasıyla 0,68 mg/L, 0,93 mg/L, 0,85 mg/L, 0,35 mg/L, 1,1 mg/L ve giderim verimi % 87 % 90.5, % 88.1, % 95.1 ve % 84.7 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.44 - 4.48). Adsorpsiyon 114 gün boyunca izlenmiştir. Genel olarak 90. Güne kadar TP 'nin giderim veriminin arttığı sonraki günlerde ise azalmaya başladığı şekillerden görülmüştür. Bu değişim 90. güne kadar adsorpsiyon sonrasında desorpsiyon olarak tanımlanabilir.



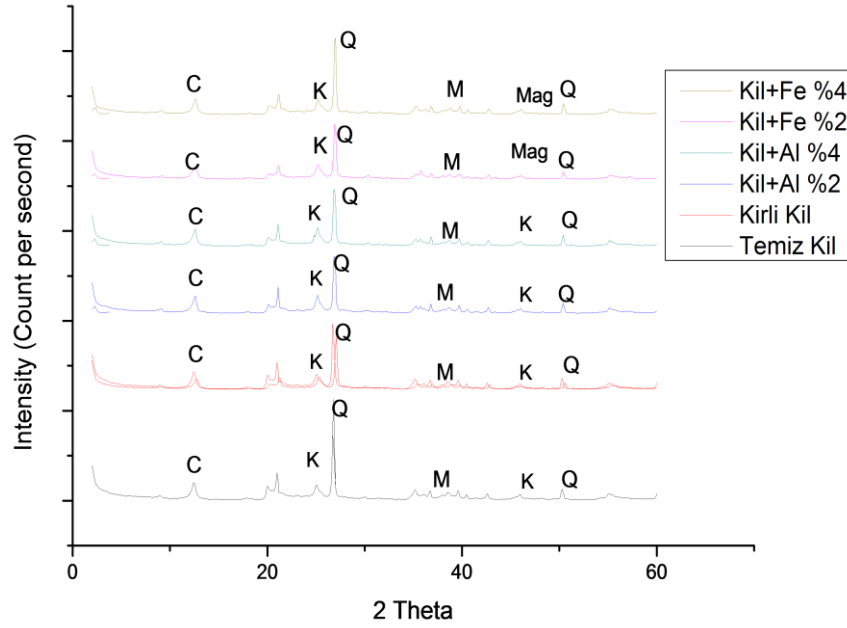
Şekil 4.49: TP giderim veriminin karşılaştırılması.

En yüksek TP giderim veriminin % 95.1 değeriyle kaolin + % 1 Alüminyum oksit ile elde edildiği Şekil 4.49 'da görülmektedir.

4.2.3. XRD ve SEM Analiz Sonuçları (Sızıntı Suyu İçin)

4.2.3.1. I.Set XRD Analiz Sonuçları

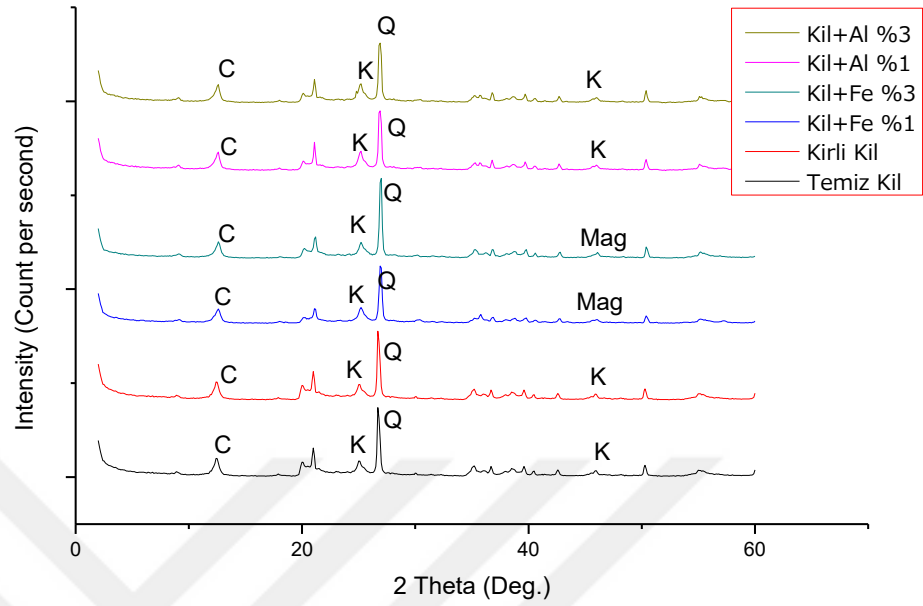
Kilin genel mineralojisi, farklı alanların B-horizonu üzerinde XRD (X-Işını Toz Kristal Cihazı) kullanılarak incelenmiştir. XRD, tüm numuneler için bir başlangıç araştırması sağlamaktadır. XRD'den elde edilen sonuçlar altı farklı örnek için aynı pikleri göstermiştir. Elde edilen sonuçlar (Şekil 4.50)'de görülmektedir.



Şekil 4.50: I. Set XRD analiz sonuçları.

Tüm numunelerde bulunan mineraller illit (9.70 \AA), kuvars ($3.32, 1.81$ ve 1.66 \AA), kaolin (2.33 ve 3.55 \AA), muskovit (2.55 \AA), klorit-serpantin (3.55 ve 2.36 \AA), kalsit magnezyumdur (3.03 \AA).Baskın mineraller kuvars olup onu kaolin takip etmektedir. XRD tarafından yapılan mineralojik analizler, sızıntı suyunun kirliliğinin, incelenen killerin, özellikle de illitin mineral kompozisyonunda bazı değişikliklere neden olduğunu göstermiştir. Şekil 4.50 incelendiğinde 0.22 \AA 'i aşmayan farklılıkları olan beş kil arasında çok benzer tepe değerlerin olduğu görülmektedir.

4.2.3.2. II. Set XRD Analiz Sonuçları

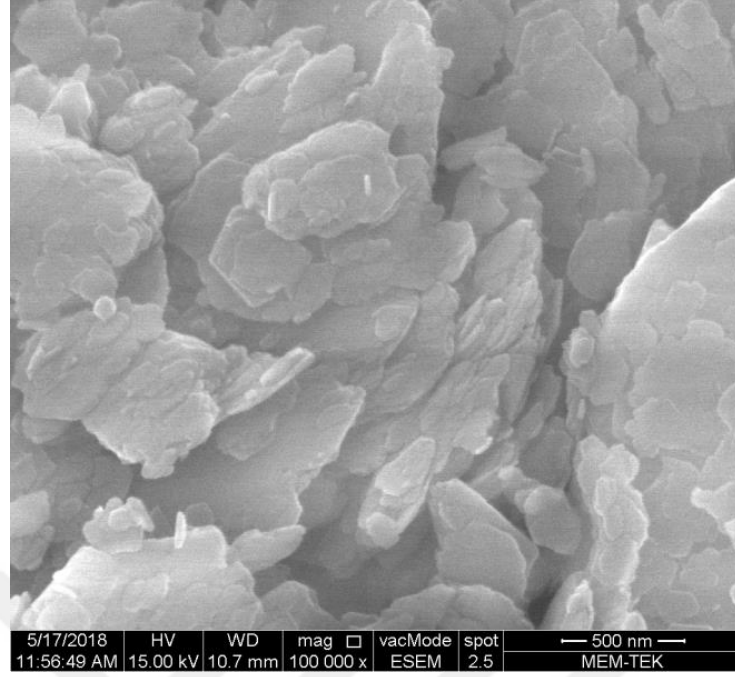


Şekil 4.51: II. Set XRD analiz sonuçları.

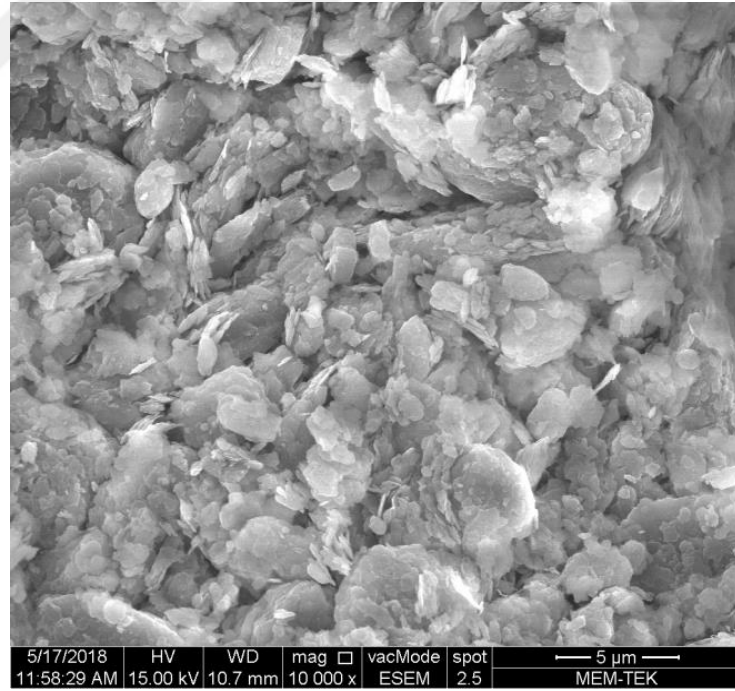
Tüm numunelerde bulunan mineraller illit (9.70 \AA), kuvars (3.32 , 1.81 ve 1.66 \AA), kaolin (2.33 ve 3.55 \AA), muskovit (2.55 \AA), klorit-serpantin (3.55 ve 2.36 \AA), kalsit magnezyumdur (3.03 \AA).Baskın mineraller kuvars olup onu kaolin takip etmektedir. XRD tarafından yapılan mineralojik analizler, sızıntı suyunun kirliliğinin, incelenen killerin, özellikle de illitin mineral kompozisyonunda bazı değişikliklere neden olduğunu göstermiştir.Şekil 4.51 incelendiğinde 0.22 \AA 'yi aşmayan farklılıkları olan beş kil arasında çok benzer tepe değerlerin olduğu görülmektedir.

4.2.3.3. I.Set SEM Analiz Sonuçları

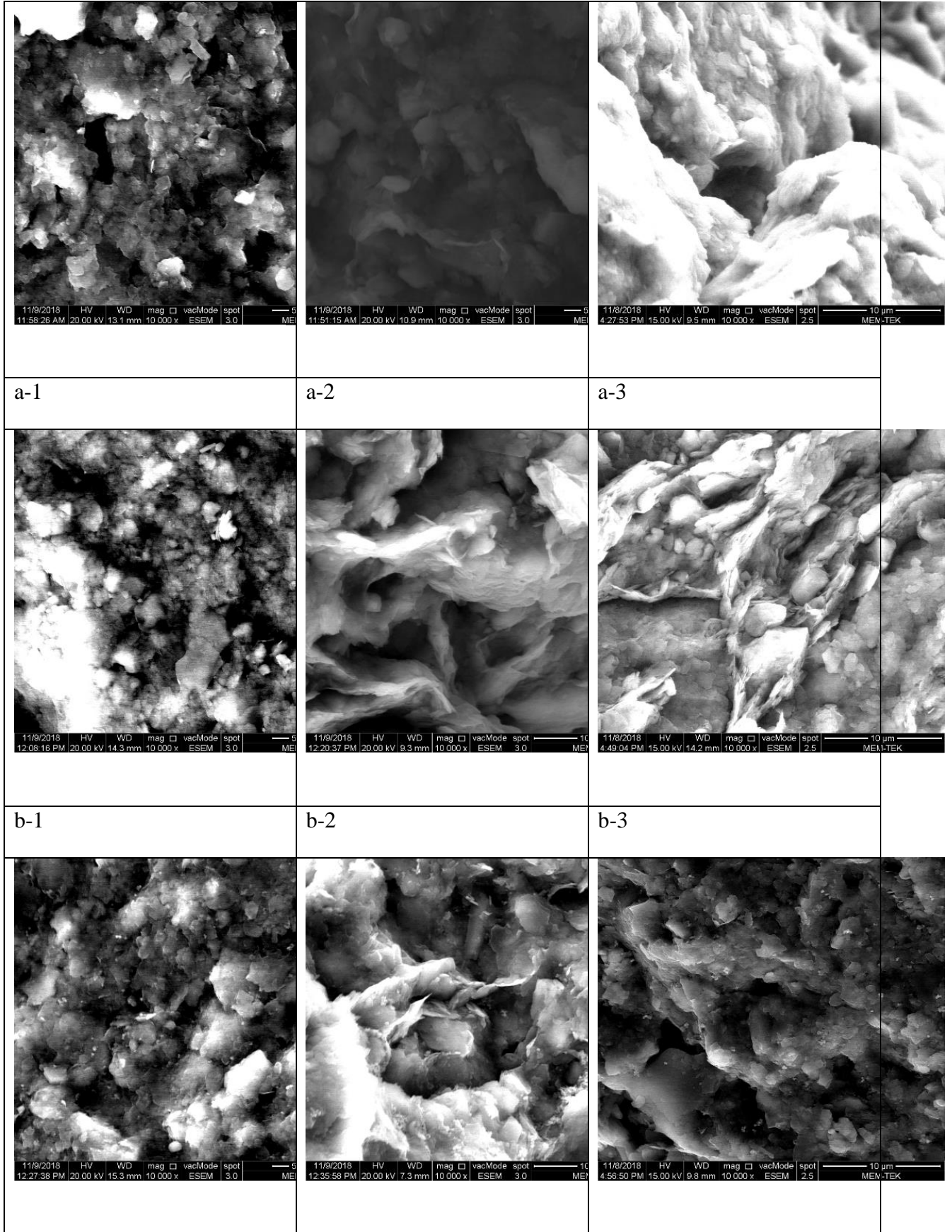
Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San. Ve Tic. A.Ş'den alınan kil (kaolin) temiz ve kirli kil (kaolin) örneklerinin scanning electron mikroskop (SEM) ile 10000-100000 kat büyütülerek alınan örnekler Şekil 4.52 - 4.53' de verilmiştir. SEM görüntülerinden kilin (kaolin) tetrahedral yapıda olduğu görülmektedir.



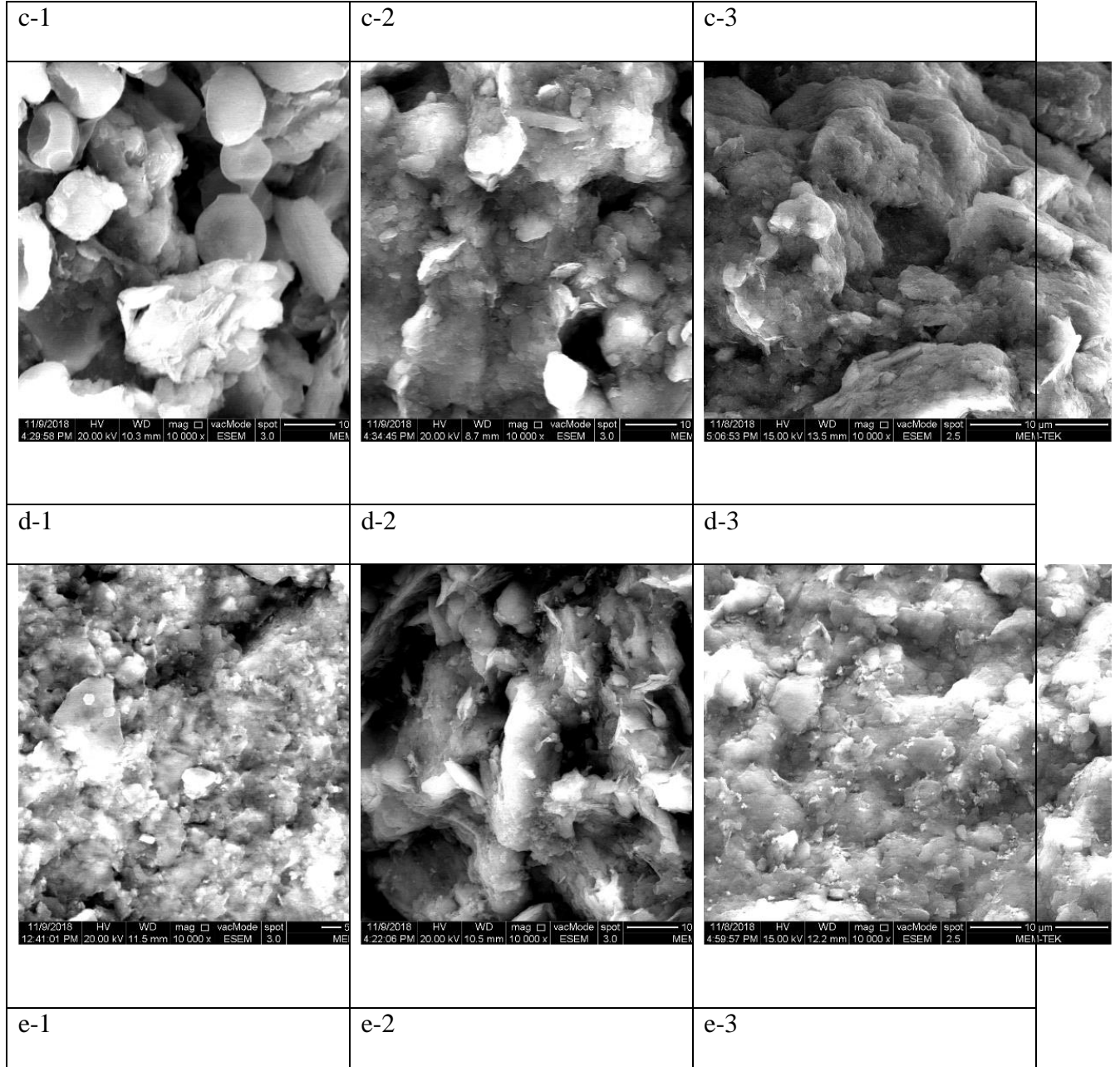
Şekil 4.52: Temiz kilin SEM görüntüleri.



Şekil 4.53: Kirli kilin SEM görüntüleri.



Şekil 4.54:I. Set sızıntı suyu ile kirlenmiş kilin(kaolin) SEM görüntüleri.



Şekil 4.54 (devam)

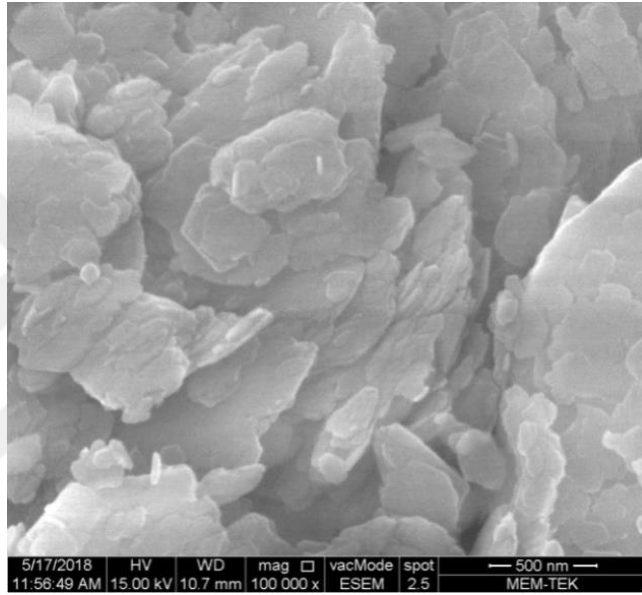
(a. Kil b. Kil + %2 Demiroksit nanomalzeme c. Kil + % 4 Demiroksit nanomalzeme d. Kil + % 2 Alüminyum oksit nanomalzeme, e. Kil + % 4 Alüminyum oksit nanomalzeme, (1-Yüzey görüntüsü, 2- Üst kısım kesit görüntüsü 3- Alt kısım kesit görüntüsü)).

Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'deki SEM fotoğrafları incelendiğinde a-1, b-1, c-1 ve d-1 ile ifade edilen şekil 4.54' teki yüzey görüntülerinden temiz kile göre sızıntı suyu geçirilmiş kil ve nanokilli örneklerin yüzeylerinin daha yoğun olduğu görülmektedir. % 2'lik Alüminyum oksit nano malzemesiyle oluşturulan sıkıştırılmış kil numune yüzeyindeki boşlukların, sadece kil ve % 2, % 4 demir oksit nano malzemeli kile göre daha büyük olduğu görülmektedir. Tüm kirli kil numunelerinde yandan kesit görüntüleri incelendiğinde sıkıştırılmış kil numunelerinde

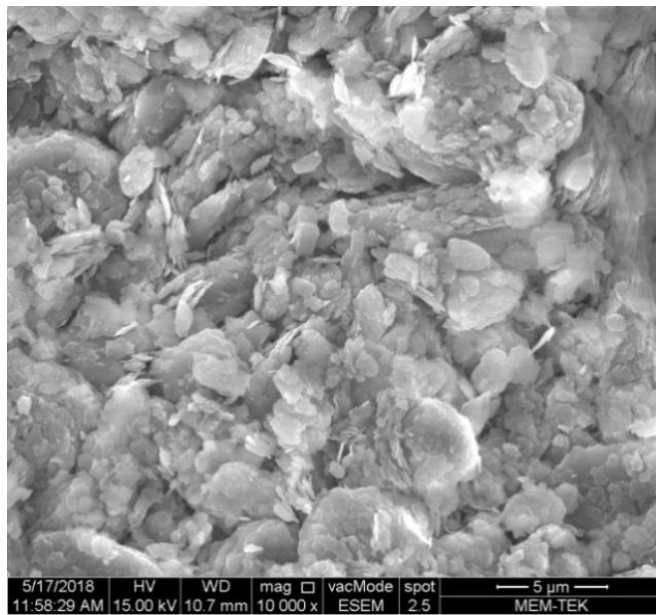
kolonun alt kısmından alınan numunelerin kolonun üst kısmından alınan numunelere göre boşlukların daha küçük olduğu görülmektedir. Buradan kirleticilerin kolonun alt kısmında daha fazla biriktiği sonucu ortaya çıkmaktadır.

4.2.3.4. II. Set SEM Analiz Sonuçları

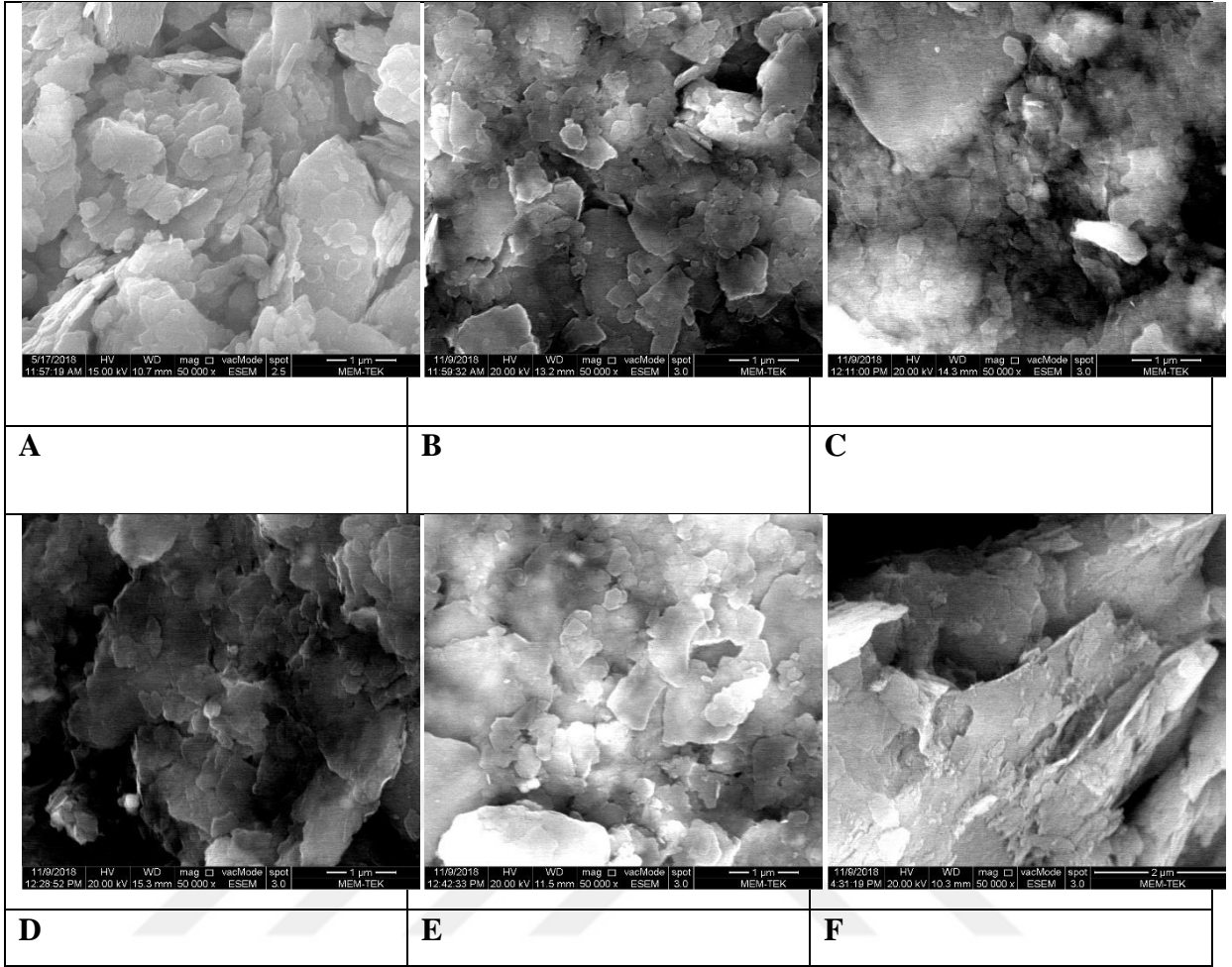
Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San. Ve Tic. A.Ş.'den alınan kil (kaolin) temiz ve kirli kil (kaolin) örneklerinin scanning electron mikroskop (SEM) ile 10000-100000 kat büyütülerek alınan örnekler Şekil 4.55. - 4.56.'de verilmiştir. SEM görüntülerinden kilin (kaolin) tetrahedral yapıda olduğu görülmektedir.



Şekil 4.56: Temiz kilin SEM görüntüleri



Şekil 4.55: Kirli kilin SEM görüntüleri.



Şekil 4.57: II.Set sızıntı suyu ile kirlenmiş kilin(kaolin) SEM görüntüleri.

(a. Temiz Kil b. Kirli kil c.Kil + % 1 Demir oksit nano malzeme d.Kil + % 3 Demir oksit nano malzeme e.Kil + % 1 Alüminyum oksit nano malzeme, f.Kil + % 3 Alüminyum oksit nano malzeme)

Şekil 4.57’daSEM görüntüleri incelendiğinde a, b, c, d, e ve f ile ifade edilen yüzey görüntülerinden temiz kile göre sızıntı suyu geçirilmiş kil ve nanokilli örneklerin yüzeylerinin daha yoğun olduğu görülmektedir. % 1 ve % 3’lük Alüminyum oksit nanomalzemesiyle oluşturulan sıkıştırılmış kil numune yüzeyindeki boşlukların, sadece kil ve %1, %3 demir oksit nanomalzemeli kile göre daha küçük olduğu görülmektedir. Alüminyum oksit nanomalzemesi kil boşluklarını daha fazla doldurmakta ve permeabiliteyi azaltarak daha fazla kirleniciyi tutmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlardeğerlendirildiğinde, sızıntı suyunun killi zeminden geçişi sırasında zeminin permeabilitesini değiştirmesinin yanı sıra sızıntı suyunda mevcut kirliliklerin giderilmesi için birbirinden farklı mekanizmalar etkili olmaktadır. Bu mekanizmalar; mekanik süzme, çökelme, adsorbsiyon (tutunma), kimyasal reaksiyon ve

biyolojik faaliyetlerdir. Sızıntı suyunun hacmi ve kimyasal bileşimi, depolama alanına sızan suya ve çözünme, çökme, iyon değişimi ve biyokimyasal işlemler de dahil olmak üzere katı ve sıvı fazlar arasındaki kimyasal reaksiyonlara bağlıdır[53].

Mekanik olarak süzme işlemi, kullanılmış suların filtre yatağından geçerken bazı kirleticilerin filtre malzemesi tarafından tutulması işlemidir. Süspansiyon halindeki katıların boyutları, yatak malzemesi (kaolin) gözeneklerinden daha büyük olduğundan burada tutulurlar. Ayrıca süzülme sırasında bazı kirletici maddelerin birbiriyle temas etmesi neticesinde büyük yumaklar teşekkül eder, böylece kirletici maddelerin kil tabakadan süzülerek yeraltı sularına karışması engellenir. Süzülme sırasında çökelen malzemeler, kil malzemenin gözeneklerinin arasında birikerek gözeneklerin hacmini azaltır, bu nedenle suyun geçtiği kesit daraldığından su hızı artar. Adsorbsiyon (tutulma), kolloidlerin ve küçük asılı daneciklerin sudan uzaklaştırılmasında en etkili mekanizmadır. Adsorbsiyon kuvvetleri, en fazla 0,01 – 1 µm gibi çok kısa mesafeler için etkili olmaktadır. Halbuki danecikleri saran film tabakasının kalınlığı bu mesafeden çok daha büyüktür. Bu konu dikkate alınırsa adsorbsiyonun, daneciklerin tutulmasında bir rolü olmayacağı anlaşılır. Ancak durum farklıdır. Adsorbsiyon işlemine yardım eden, taşınma mekanizmaları ile suda bulanık partiküller yatak malzemesini teşkil eden kil danesine doğru yaklaştırılır. Böylece mesafe azaldığından partiküller tutulur. Etkili olan mekanizmaları taşınma, kesişme, atalet, yerçekimi, difüzyon ve hidrodinamik tesirler olarak sınıflandırılabilir. Filtrasyon işlemi sırasında bazı reaksiyonlar meydana gelir. Çözünmüş haldeki kirletici maddeler ayrışır, daha az zararlı maddeler hâline dönüşür veya çözünmeyen maddelere dönüşerek çökme ve adsorbsiyon ile sudan uzaklaşır.

Genel olarak, toprağın hidrolik iletkenliğinin ince parçacık içeriği arttıkça düştüğü bilinmektedir[53]. Kaolinin içine nanomalzemelerin ilave edilmesi, kaolinin gözenekleri arasında olan boşlukları doldurması nedeniyle permeabilitenin azalmasına sebep olmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçların literatürde elde edilen sonuçlarla desteklendiği görülmektedir [22,25,48,50,57,59].

Literatürde sızıntı suyunun arıtımı ile ilgili yapılan çalışmalarda sızıntı suyunun koagülasyon ve flokülasyon yöntemi ile arıtımında koagülant olarak alum kullanıldığında KOİ giderim verimi %80-82, bentonit kullanıldığında %84-86, perlite kullanıldığında %90-92elde edilmiştir[70]. Anaerobik arıtma yöntemi (UASB) ile sızıntı suyunun arıtıldığı bir diğer

çalışmada KOİgiderim verimi %85-90 olarak bulunmuştur [71]. Bu çalışmada da KOİ için ortalama giderim verimi %97-98 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu giderim veriminde sadece filtrasyon mekanizmasının etkili olmadığı, adsorbsiyon başta olmak üzere pek çok mekanizmanın etkili olduğu düşünülmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar literatürde elde edilen sonuçlarla desteklenmektedir [25,29,30,43,47,51,52,56].

|



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada İstanbul Avrupa yakasında bulunan Kemerburgaz – Odayeri Düzenli Depolama Alanı'ndan temin edilen çöp sızıntı suyu numunesi, Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San. ve Tic. A.Ş'den alınan kil (kaolin) kullanılmıştır. Kil numunesinin içine farklı ve değişen miktarda nano malzeme ilave edilerek standart yöntemlerle kompaksiyona tabi tutularak hazırlanmış ve bu örneklerin yerleştirildiği reaktörlerden sızıntı suyu geçirilerek zemin numunesinin KOİ, TKN-N, NH₃-N, TP, AKM, iletkenlik ve pH parametreleri için analiz yapılmış ve KOİ, TKN-N, TP için arıtım veriminin değişimi gözlenmiştir.

Çalışmada ilave edilen farklı nano malzemeler (demir (II, III) oksit ve alüminyum oksit) ile yapılan permeabilite ve arıtım analiz sonuçlarında elde edilen verilerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Ancak buna rağmen kullanılan nano malzemeler arasında zeminin permeabilitesini en çok azaltan ve arıtım veriminde en yüksek giderim oranını elde ettiği nano malzemenin alüminyum oksit olduğu saptanmıştır.

Çalışma sonucunda kaoline demir oksit ilave edildiği durumda permeabilite değeri ortalama olarak $k=1,62 \times 10^{-9}$, KOİ giderim verimi ortalama olarak % 96.9, TKN-N giderim verimi % 95.6, TP giderim verimi % 91.9 olarak elde edilmiştir.

Çalışma sonucunda kaoline alüminyum oksit ilave edildiği durumda permeabilite değeri ortalama olarak $k=4,05 \times 10^{-9}$, KOİ giderim verimi genel olarak %98.4, TKN-N giderim verimi %97.2, TP giderim verimi % 93.9 olarak elde edilmiştir. Ayrıca kaoline nano malzeme ilave yüzdesi arttıkça permeabilitenin de azaldığı saptanmıştır.

XRD tarafından yapılan mineralojik analizler, sızıntı suyunun kirliliğinin, incelenen killerin, özellikle de illitin mineral kompozisyonunda bazı değişikliklere neden olduğunu göstermiştir. Ancak 0.22 Å'yi aşmayan farklılıkları olan beş kil arasında çok benzer tepe değerlerinin oluşması nedeniyle XRD analiz sonuçlarına göre bu değişim çok belirgin değildir.

SEM yüzey görüntülerinden temiz kile göre sızıntı suyu geçirilmiş kil ve nanokilli örneklerin yüzeylerinin daha yoğun olduğu görülmektedir. Nano malzeme olarak Alüminyum oksit kullanılarak sıkıştırılmış kil numune yüzeyindeki boşlukların, sadece kil ve demir oksit içeren kile göre daha küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca SEM analizleri neticesinde kirleticilerin kolonun alt kısmında daha fazla biriktiği sonucu ortaya çıkmaktadır.

|



KAYNAKLAR

- [1]. Öztürk, F.,2011, *Katı atık sızıntı suyu miktarını azaltıcı yönetim stratejileri*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2]. Cansız, V., 2011, *Sızıntı sularındaki mikrobiyal aktivitenin ve metal iyonlarının killi zeminlerde adsorpsiyon yöntemiyle arıtımı*, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3]. Öztürk, İ., 2010, *Anaerobik biyoteknoloji ve atık arıtımındaki uygulamaları*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [4]. Leao, S., Bishop, I.ve Evans, D., 2001, *Assessing the demand of solid waste disposal in urban region by urban dinasmic modelling in a gis environment*, Resources, Conservation and Recycling, 33: 289-313.
- [5]. Bilgili, M.S., 2006, *Katı atık düzenli depo sahalarında atıkların aerobik ve anaerobik ayrışması üzerine sızıntı suyu geri devrinin etkileri*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [6]. Rajesh, S., Gourc, J.P., and Viswandham, B.V.S., 2014, *Evaluation of gas permeability and mechanical behaviour of soil barriers of landfill cap covers through laboratory tests*. Applied Clay Science, 97-98: 200-214.
- [7]. Çubukçu E., 2008, *Katı atıkların kontrolü yönetmeliği ve düzenli depolama, atık yönetimi konusundaki mevcut-yeni yönetmelikler ve uygulamaları eğitimi*, Çevre ve orman bakanlığı çevre yönetimi genel müdürlüğü atık yönetimi daire başkanlığı.
- [8]. Cooper, C.D., Reinhart, D.R., Rash, F., Seligman, D. ve Keely, D., 1992, *Landfill gasemissions*. Florida Center for Solid and Hazardous Wastes Management, Report 92-2.
- [9]. Sertdemir, N.B., 2010, *Sıkıştırılmış killi zeminlerde permeabilite-giderim ilişkisinin kimyasal ve biyolojik parametreler açısından incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10]. *Katı atıkların kontrolü yönetmeliği* 14.03.1991 tarih ve 208814 sayılı resmigazetesi.
- [11]. John, N. W. M, *Geotekstiles, blackie and son ltd. Glasgow and london*, 1987.
- [12].Farquar, G.J., 1998, *Leachate: production and characterization*, Department of Civil Engineering, University of Waterloo, Ontario, Canada.
- [13]. Shashıkumar, B.M., 1992, *Effect of leachate on the stability of landfill composite liners*, Master Thesis, Ohio University.
- [14]. Oweis I.S. Khera, R.P., 1990, *Geotechnology of waste management*.

- [15].Parker, R.J., Bateman, S., and Willams. D.,1995,*Design and management of landfills*.
- [16].İstanbul büyükşehir belediyesi iştac a.ş. kaynakları ve eğitim seminer notları.
- [17].Akyıldız M. H. ,2011, *Katı atık düzenli depolama alanlarında taban geçirimsizliğine etki eden parametrelerin araştırılması*, Doktora Tezi.Fen Bilimleri Enstitüsü Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [18]. Wasti, Y., Özdüzgün, Z. B., 2001, *Geomembrane and geotextile interfaceshear propertise as determined by inclined board and shear box tests*, Geotextiles and Geomembrans,Vol. 16, No. 1, pp.45-57.
- [19]. Öztürk,İ.,2010, Katı atık yönetimi ve ab uyumlu uygulamalı, İTÜ, İstanbul.
- [20]. Özaydin K., 1997, Zemin mekaniği kitabı, Birsen Yayınevi, 1. Baskı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [21]. Hacıhamzaoğlu O., 2003, *Kompakte edilmiş zeminlerde permeabilitenin belirlenmesi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı, İstanbul.
- [22]. Taşpolat, L. T., 2006, *Afyon mermer tozlarının ve şırnak asfaltitlerin atık depolama alanları tabakalarında kullanılması*,Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü,Afyon.
- [23]. Güney, Y., Koyuncu H., Tuncan A.,10. Kil sempozyumu,*Değişik ağır metal içerikli atıkların depolanmasında zeolit kullanımı*, 2001,Konya, sf.151-158.
- [24]. Tuncan, A., Tuncan, M., Güney, Y., 9. Kil sempozyumu, *Tabii zeolitlerin çöp deponialarında kullanılabilirliği*,1999, İstanbul, sf.143-148.
- [25].Koyuncu, H., ve Güney, Y.,11. Kil sempozyumu, *Kaolin-Zeolit tabakalarının depolamaalanlarında kullanılabilirliği*, 2003, İzmir, sf.335-343.
- [26].Yılmaz, H.R., ve Eskişar, T., 11. Ulusal kil sempozyumu *Geosentetik kil kaplamalar*, 2003, İzmir, Türkiye, sf. 625-632.
- [27].Sarıkavaklı, A., 2003,‘*Bor işletmesi konsantratörü atık suyu deponialarındaki geçirimsizlik tabakasının oluşturulması*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, sf.4-1.
- [28].Mollamahmutoğlu, A.S., ‘Termik santral taban külünün, bentonit ve zeolit ile birlikte, katı atık depolama sahası taban malzemesi olarak kullanımının araştırılması’, Doktora Tezi, Ytü, İstanbul, sf. 142, 2004.
- [29]. Varank, G., Demir, A., Top, S., Sekman, E., Akkaya, E., Yetilmezsoy, K. ve Bilgili, M.S., 2011a, *Migration behaviour of landfill leachate contaminants through alternative composite liner*,Science of the Total Environment, 409:3183-3196.

- [30]. Varank, G., Demir, A., Yetilmezsoy, K. Ve Bilgili, M.S., Top, S., Sekman, E., 2011b. *Estimation of transport parameters of phenolic compound and inorganic contaminants through composite landfill liner using one- dimensiol mass transport model*, Waste Managment 31:2263-2274.
- [31]. Smith, J.A. ve Jaffe, P.R., 1994, *Benzene transport through landfill liners containing organophilik bentonite*, Journal of environmental engineering, 120(6):1559-1577.
- [32]. Mark E. Gordon, Paul M. Huebner, Thomas J. Miazga., 1989,*Hydraulic conductivity of three landfill clay liners*, Journal of geotechnical engineering, Vol.115, Issue 8.10.1061/(Asce)0733-9410(1989)115:8(1148).
- [33]. Daniel, D.E., 1984, *Predicting hydraulic conductivity of clay liners*, Journal of geotechnical engineering, ASCE, Vol.110, No.GT2, pp. 288-300.
- [34]. Brown, K.W. ve Anderson, D.C., 1983, *Effects of organic solvents on the permeability of clay soils*, Municipal environmental research laboratory, U.S. Environmental protection agency, EPA-600/83-016, Cincinnati, Ohio, pp. 153-154.
- [35]. Green Et AL., 1981, *Clay-Soils permeability and hazardous waste storage*, J. Water pollution control fed., 53(8), 1347-1354.
- [36]. Wang, M.C., Asce, M., Huang, C.C., December 1984, *Soil compaction and permeability prediction models*, Journal of environmental engineering, pp. 19356, Vol.110, No. 6.
- [37]. Kingsley, H.W. ve Asce M., October 1985, *Clay liner permeability: evaluation and variation*, Journal of geotechnical engineering, Vol. 111, No. 10.
- [38]. Quigley, R.M., Fernandez, F., 1987, *Suitability of marine clays as hazardous waste site liners*, Journal of environmental engineering,pp. 21914 Vol.113.
- [39]. Brutsaert Williem, F. ve Asce, M., 1987, *Suitability of marine clays as hazardous waste site liners*, Journal of environmental engineering, pp. 21914, Vol 113, No 5.
- [40]. Janardanan, O., Stephenson. R.W., Asce. M., 1989, *Permeability of clays under organic permeants*, Journal of geotechnical engineering, pp. 23121, Vol 115, No.1.
- [41]. Young, R.N. Ve Phadungchewit, N.T., 1993, *pH influence on selectivity and retention of heavy metals in some clay soils*, Can. Geotech.pp. 821-833, J. Vol.30.
- [42]. Owen, J.A. Ve Manning, D.A.C., 1997, *Silica in landfill leachates: implications for clay mineral stabilities*, Applied Geochemistry,pp. 267-280Vol. 12.
- [43]. Mojone, M., Papını, M.P., Rolle, E., June 1998, *Influence of metal speciation in landfill leachates on kaoline sorption*, pp.882-890, Wat. Res. Vol.32, No.3.

- [44]. Yuen K., Graham J., Janzen P., 1998, *Weathering-induced fissuring and hydraulic in a natural plastic clay*, pp. 1101-1108 , Can. Geotech, Vol.35.
- [45]. Foged, N., Baumann, J., 1999, *Clay membrane made of natural high plasticity clay: leachate migration due to advection and diffusion*, Engineering geology, pp. 129. Vol.54.
- [46]. Kalbe, U., Müller, W.W., Berger, W., Eckardt, J., 2002, *Transport of organic contaminants within composite liner systems*, Applied Clay Science Vol.21, pp.67-76.
- [47]. Yavuz, Ö., Altunkaynak, Y., Güzel, F., 2003, *Removal of copper, nickel, cobalt and manganese from aqueous solution by kaoline*, Water research, Vol.37, pp.948-952.
- [48]. Islam, J., Singhal, N., 2004, *A laboratory study of landfill-leachate transport in soils*, Water Research, Vol.38, pp.2035-2042.
- [49]. Kalkan, E., Akbulut, S., Ocak 2004, *The positive effects of silica fume on the permeability, swelling pressure and compressive strength of natural clay liners*, Engineering geology, 73, pp.145-156.
- [50]. Özçoban, M. Ş., Erarslan, İ., Tüfekci, N., 2006, *Influence of leachates on the permeability and leachate removal rate of compacted clay*, Fresenius environmental bulletin, Vol. 15-No 9b.
- [51]. Özçoban, M.Ş., 2008, *Permeability and removal rate of compacted clays to organic and inorganic matters*, Journal of scientific & industrial research, Vol. 67, pp. 136-140.
- [52]. Tüfekci, N., Özçoban, M.Ş., Yalçın, S., Aşçı, Y., Akgüner, C., Mayıs 2010, *Adsorption and permeability of clays permeated with ferrous iron and manganese*, Journal of scientific & industrial research, Vol. 69, pp. 198-202.
- [53]. Francisca, F.M., and Glatstem, D.A., 2010, *Long term hydraulic conductivity of compacted soils permeated with landfill leachate*, Applied clay science, Vol. 49, Iss. 3, pp. 187-193.
- [54]. Erol Güler, Cem B. Avcı, Fevzi Tavus, 13. Teknik Kongresi, *Sıkıştırılmış kil tabakalarının permeabilitesine kireç ve kür süresinin etkisi*, 1995, Türkiye İnşaat Mühendisliği.
- [55]. P.V.Sivapulliah, A.Sridharan, and V.K. Stalin, 2000, *Hydraulic conductivity bentonite-sand mixtures*, Canadian geotechnical journal, 37: 406-413.
- [56]. M. Ş. Özçoban, N. Tüfekci, S. Tutus, U. Şahin ve S.O. Çelik, 2005, *Leachate removal rate and the effect of leachate on the hydraulic conductivity of natural clay*, Journal of scientific & industrial research Vol.65.
- [57]. N. Kananizadeh, T. Ebadi, S. A. Khoshniat Ve S. E. Mousavirizi, 2011, *The positive effects of nanoclay on the hydraulic conductivity of compacted kahrizak clay permeated with landfill leachate*, Clean – Soil, Air, Water.

- [58].I. Bhatt, B. N. Tripathi, 2010, *Interaction of engineered nanoparticles with various components of the environment and possible strategies for their risk assessment*, Elsevier-chemosphere 8.
- [59]. C.W.W. Ng, J.L. Coe, 2015, *Hydraulic conductivity of clay mixed with nanomaterials*, Canadian geotechnical journal, 52(6).
- [60]. Ören A.H., Demirkiran H., 2015, *Geosentetik kil örtülerin hidrolik iletkenliklerinin laboratuvarında belirlenmesi üzerine bir çalışma*, İMO Teknik 7191-7213, Yazı 440.
- [61].M.R. Taha , O.M.E. Taha, 2012, *Influence of nano-material on the expansive and shrinkage soil behavior*, Journal of nanoparticle research.
- [62]. S. Rajesh, J.P. Gourc, B.V.S., Viswanadham, 2014, Elsevier, Applied Clay Science.
- [63]. B.Nowack ve T. D. Bucheli, 2007, *Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment*, Elsevier, environmental pollution 150 (2007) 5-22.
- [64]. S. Akbulut, Z. N. Kurt, S. Arasan, 2012, ve Y. Pekdemir, *Geotechnical properties of some organoclays*, Indian academy of sciences, Sadhan Vol. 38, Part 2, April 2013, Pp. 317–329. C
- [65]. Z. N. Kurt ve S. Akbulut, 2014, *The dynamic shear modulus and damping ratio of clay nanocomposites clays and clay minerals*, Vol. 62, No. 4, 313–323.
- [66]. M. Ş. Özçoban, N. Çetinkaya, S. O. Çelik, G. Türkoğlu Demirkol, V. Cansız & N.Tüfekçi, 2013, *Hydraulic conductivity and removal rate of compacted clays permeated with landfill leachate*, Desalination and water treatment journal.
- [67]. L. Maritsa, P.E. Tsakiridis, N.S. Katsiotis, H. Tsiavos, D. Velissariou, A. Xenidis, M. Beazi-Katsioti, 2016, *Utilization of spilitic mining wastes in the constuction of landfill bottom liners*. Journal of environmental chemical engineering 4 (2016) 1818–1825.
- [68]. Janardanan, O., Stephenson. R.W., Asce. M., 1989, *Permeability of clays under organic permeants*, Journal of geotechnical engineering, pp. 23121, Vol 115, No.1.
- [69]. APHA, AWWA, WEF. 2012, *Standard methods for examination of water and wastewater*. 22nd ed. Washington: American Public Health Association, 1360 pp.
- [70]. Raghav, S.M., Meguid, A.M.A.E., Hegazi, H.A., *Treatment of leachate from municipal solid waste landfill*, Housing and building national research center journal, pp.187-192 vol 9.
- [71] Kettunen, R.H., Rintala, J.A., 1998, *Performance of an on-site UASB reactor treating leachate at low temperature*, water Res. 32 pp. 537-546.



EKLER |



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Nadire DEMİR
Doğum Yeri	Mardin
Doğum Tarihi	07.04.1990
Uyruğu	X.T.C. <input type="checkbox"/> Diğer: <input type="checkbox"/>
Telefon	05458724124
E-Posta Adresi	ndrrkole@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Fakülte	Mühendislik
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	01.07.2014

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Çevre Mühendisliği Programı

Doktora	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	Anabilim Dalı Adı
Programı	Program Adı

Makale ve Bildiriler	