



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SIZINTI SULARINDAKİ MİKROBİYAL AKTİVİTENİN VE
METAL İYONLARININ KİLLİ ZEMİNLERDE
ADSORPSİYON YÖNTEMİYLE ARITIMI**

Vildan CANSIZ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

Doç.Dr. Neşe TÜFEKÇİ

Haziran, 2011

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SIZINTI SULARINDAKİ MİKROBİYAL AKTİVİTENİN VE
METAL İYONLARININ KİLLİ ZEMİNLERDE
ADSORPSİYON YÖNTEMİYLE ARITIMI**

Vildan CANSIZ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

Doç.Dr. Neşe TÜFEKÇİ

Haziran, 2011

İSTANBUL

Bu çalışma 28/06/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç.Dr. Neşe TÜFEKÇİ (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Çevre Müh. Bölümü

Prof.Dr. Ş.İsmail KIRBAŞLAR
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Kimya Müh. Bölümü

Doç.Dr. Hüseyin SELÇUK
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Çevre Müh. Bölümü

Doç.Dr. Semih NEMLİOĞLU
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Çevre Müh. Bölümü

Yard.Doç.Dr. F.İlter TÜRKDOĞAN AYDINOL
Y.T.Ü.
İnşaat Fakültesi
Çevre Müh. Bölümü

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 7009 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç.Dr.Neşe TÜFEKÇİ'ye en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Zemin Mekaniği ve Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvar imkanlarından yararlanmamı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen Yr.Doç.Dr. Şükrü ÖZÇOBAN'a, Doç.Dr. Süleyman ÖVEZ'e, Yük. Müh. Ayşegül ÜNAL'a, Arş. Gör. Güler TÜRKOĞLU'na 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, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2011

Vildan CANSIZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	xii
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. GENEL GİRİŞ	1
1.2. AMAÇ	2
1.3. KAPSAM	3
2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. SIZINTI SUYU	4
2.1.1. Düzenli Depolama Alanları	4
2.1.1.1. Düzenli Depolama Alanlarının Hazırlanması	4
2.1.1.2. Depo Tabanının Teşkili ve Sızıntı Suyunun Toplanması	5
2.1.1.3. Depolama Sahalarında Sızdırmaz Kil Tabakalarının Uygulanması	6
2.1.1.3.1. Doğal Kilden Taban Örtüleri	6
2.1.1.3.2. Geomembranlar.....	7
2.1.1.3.3. Geosentetik Killi Taban Örtüleri.....	7
2.1.1.3.4. Kompozit Taban Örtüleri	8
2.1.1.3.5. Sedde ve Depo Tavanı (Nihai Örtü) Teşkili	8

2.1.2. Sızıntı Suyu Oluşumu	10
2.1.2.1. Sızıntı Suyu Kontrol Stratejileri.....	12
2.1.2.1.1. Katı Atık Girişi Kontrolü	12
2.1.2.1.2. Su Girişi Kontrolü	12
2.1.2.1.3. Depolama Sahasının Kontrolü	12
2.1.2.1.4. Sızıntı Suyu Drenajının Kontrolü	12
2.1.3. Sızıntı Suyu Karakteristiği.....	13
2.1.4. Şile Kömürcüoda Düzenli Depolama Alanı ve Sızıntı Suyu.....	16
2.2. ADSORPSİYON	19
2.2.1. Fiziksel Adsorpsiyon	20
2.2.2. Kimyasal Adsorpsiyon.....	21
2.2.3. Biyolojik Adsorpsiyon.....	21
2.2.4. Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler	21
2.2.4.1. Adsorbanın Yüzey Alanı.....	22
2.2.4.2. Adsorbanın Gözenek Büyüklüğü	22
2.2.4.3. Adsorbatın Çözünürlüğü	22
2.2.4.4. Adsorbatın Molekül Büyüklüğü.....	22
2.2.4.5. Adsorbatın İyon Yüğü.....	22
2.2.4.6. Çözeltilinin pH Değeri	22
2.2.4.7. Sıcaklık.....	22
2.2.4.8. Yüzey Gerilimi.....	23
2.2.4.9. Basınç	23
2.2.4.10. Adsorbatın Diğer Özellikleri.....	23
2.2.5. Adsorbentlerin Özellikleri.....	23
2.2.6. Adsorbent Çeşitleri	23
2.2.6.1. Doğal Adsorbentler	23
2.2.6.2. Yapay Adsorbentler	25
2.3. KOMPAKSİYON, PERMEABİLİTE VE KONSOLİDASYON	25
2.3.1. Kompaksiyon	25
2.3.1.1. Zeminlerin Kompaksiyonuna Etki Eden Faktörler	27
2.3.1.2. Standart Kompaksiyon Deneyi	28
2.3.2. Permeabilite (Zeminlerin Geçirimliliği).....	31
2.3.2.1. Permeabiliteye Etkili Olan Faktörler	31

2.3.2.1.1. Permeabiliteye zemin boşluk oranının etkisi	34
2.3.2.1.2. Permeabiliteye yoğrulmanın etkisi.....	34
2.3.2.1.3. Tortul tabakalaşma etkisi	34
2.3.2.2. Permeabilite Deneyleri.....	34
2.3.3. Konsolidasyon.....	40
2.3.3.1. Konsolidasyon Oturmaları	40
2.3.3.2. Oturmanın Bileşenleri	40
2.3.3.3. Jeolojik Geçmişin Sıkışabilirliğe Etkisi.....	41
2.3.3.3.1. Normal Konsolide Killer.....	42
2.3.3.3.2. Aşırı Konsolide Killer.....	42
2.3.3.3.3. Aşırı Konsolidasyonun Nedenleri	43
2.3.3.3.4. Yaşlanmanın Aşırı Konsolidasyona Etkisi	44
2.3.3.3.5. Konsolide Olmamış Killer	44
2.3.3.4. Konsolidasyon Deneyi	44
2.3.3.4.1. Sıkışabilirliğin Ödometre'de Ölçümü.....	44
2.3.3.4.2. Ödometre Deneyinde Karşılaşılan Sorunlar	46
2.4. AĞIR METALLER	47
2.4.1. Demir	48
2.4.1.1. Asit ve Baz İle Reaksiyonları.....	49
2.4.1.2. Kullanım Alanları	49
2.4.1.3. İnsanlara ve Çevreye Etkileri	49
2.4.2. Mangan	50
2.4.2.1. Asit İle Reaksiyonları.....	50
2.4.2.2. Kullanım Alanları	51
2.4.2.3. İnsanlara ve Çevreye Etkileri	51
2.4.3. Çinko	51
2.4.3.1. Asit ve Baz İle Reaksiyonları.....	52
2.4.3.2. Kullanım Alanları	53
2.4.3.3. İnsanlara ve Çevreye Etkileri	53
2.4.4. Bakır	53
2.4.4.1. Asit İle Reaksiyonları.....	54
2.4.4.2. Kullanım Alanları	54
2.4.4.3. İnsanlara ve Çevreye Etkileri.....	55

2.4.5. Kurşun.....	55
2.4.5.1. Asit ve Baz İle Reaksiyonları.....	56
2.4.5.2. Kullanım Alanları	56
2.4.5.3. İnsanlara ve Çevreye Etkileri	57
2.4.6. Kadmiyum	57
2.4.6.1. Asit ve Baz İle Reaksiyonları.....	58
2.4.6.2. Kullanım Alanları	58
2.4.6.3. İnsanlara ve Çevreye Etkileri	59
2.5. MİKROORGANİZMALAR	59
2.5.1. Ökaryotik Mikroorganizmalar	60
2.5.1.1. Mantarlar	61
2.5.2. Prokaryotik Mikroorganizmalar	63
2.5.2.1. Bakteriler.....	64
2.5.2.2. Bakterilerin Sınıflandırılması.....	65
2.5.2.3. Koliform Bakteriler.....	68
2.5.2.4. E.Coli	69
2.5.2.5. Streptococcus.....	70
2.6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	71
3. MALZEME VE YÖNTEM	84
3.1. DENEY DÜZENİĞİ	84
3.2. ANALİZ YÖNTEMLERİ	86
3.2.1. Sabit Seviyeli Geçirimsizlik (Permeabilite) Deneyi.....	86
3.2.1.1. Gerekli Aletler.....	86
3.2.1.2. Gerekli Ölçümler.....	86
3.2.1.3. Deneyin Yapılışı	86
3.2.1.4. Hesaplamalar.....	86
3.2.2. Kompaksiyon Deneyinin Yapılışı	87
3.2.3. Konsolidasyon Deneyinin Yapılışı	89
3.2.4. Kesikli Sistem	89
3.2.5. Atık Analizleri	90

4. BULGULAR	91
4.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN SIZINTI SUYUNUN VE KİLLİ ZEMİNİN ÖZELLİKLERİ	92
4.1.1. Sızıntı Suyunun Özellikleri	92
4.1.2. Killi Zeminin Özellikleri.....	92
4.2. KOMPAKSİYON, PERMEABİLİTE VE KONSOLİDASYON DENEY SONUÇLARI.....	94
4.2.1. Kompaksiyon Deney Sonuçları.....	94
4.2.2. Konsolidasyon ve Permeabilite Deney Sonuçları.....	95
4.3. SIZINTI SULARININ KİLLİ ZEMİNLERDE ARITIM DENEY SONUÇLARI.....	97
4.3.1. Metal Analiz Sonuçları	97
4.3.1.1. Sürekli Sistem	97
4.3.1.1.1. Demir Analiz Sonuçları	97
4.3.1.1.2. Mangan Analiz Sonuçları.....	101
4.3.1.1.3. Çinko Analiz Sonuçları.....	104
4.3.1.1.4. Bakır Analiz Sonuçları.....	108
4.3.1.1.5. Kurşun Analiz Sonuçları.....	111
4.3.1.1.6. Kadmiyum Analiz Sonuçları.....	114
4.3.1.1.7. Farklı Nem Oranlarına Göre Reaktör Çıkış Sonuçlarının Değişimi	115
4.3.1.2. Kesikli Sistem	120
4.3.1.2.1. Demir Analiz Sonuçları	120
4.3.1.2.2. Mangan Analiz Sonuçları.....	121
4.3.1.2.3. Çinko Analiz Sonuçları.....	123
4.3.1.2.4. Bakır Analiz Sonuçları.....	124
4.3.1.2.5. Kurşun Analiz Sonuçları.....	125
4.3.1.2.6. Kadmiyum Analiz Sonuçları.....	125
4.3.1. Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları	126
4.3.2.1. Toplam Heterotrofik Bakteri Analiz Sonuçları.....	127
4.3.2.2. Toplam Koliform Analiz Sonuçları	130
4.3.2.3. Fekal Koliform Analiz Sonuçları.....	134
4.3.2.4. Fekal Streptokok Analiz Sonuçları	137

4.3.2.5. Fungi (Mantar) Analiz Sonuçları	141
4.3.2.6. Mikroorganizmaların Reaktörlere Göre Değişimi	144
4.3. SEM ANALİZ SONUÇLARI.....	146
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	150
KAYNAKLAR	153
ÖZGEÇMİŞ	159

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Tipik Düzenli Depolama Sahası Dikey Profili.....	10
Şekil 2.2	: Katı Atık Bileşenleri ve Sızıntı Suyu Oluşum Basamakları.....	11
Şekil 2.3	: Katı faz üzerinde adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemleri.....	20
Şekil 2.4	: Viskozite katsayısının sıcaklıkla değişimi	33
Şekil 2.5	: Aşırı konsolide bir kilin sıkışma eğrisi	43
Şekil 2.6	: Ödometre tipleri a) yüzen halkalı b) sabit halkalı	46
Şekil 2.7	: Ökaryotik hücre yapısı	61
Şekil 2.8	: Mantarlarda spor, hif, rhizoid görünümü	62
Şekil 2.9	: Prokaryot hücre yapısı.....	64
Şekil 2.10	: Bir bakteri hücresinin yapısı.....	65
Şekil 3.1	: (a) Standart kompaksiyon uygulanan reaktörler, (b) Standart kompaksiyon ve konsolidasyon uygulanan reaktörler	85
Şekil 3.2	: Deney düzeneği	85
Şekil 4.1	: Elek analizi	93
Şekil 4.2	: Kompaksiyon deneyi sonuçları	95
Şekil 4.3	: Ödometre gerilme - deformasyon eğrisi.....	96
Şekil 4.4	: Standart kompaksiyon ve standart kompaksiyonla konsolidasyon uygulanan zemin örneklerinin permeabilite deney sonuçları.....	96
Şekil 4.5	: Fe(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))	97
Şekil 4.6	: Fe(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))	98
Şekil 4.7	: Fe(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))	98
Şekil 4.8	: Fe(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))	99
Şekil 4.9	: Fe(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))	99
Şekil 4.10	: Fe(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))	100
Şekil 4.11	: Mn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))	101
Şekil 4.12	: Mn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))	101
Şekil 4.13	: Mn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))	101
Şekil 4.14	: Mn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))	102

Şekil 4.15	: Mn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.)) 103
Şekil 4.16	: Mn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3)) 103
Şekil 4.17	: Zn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3)) 104
Şekil 4.18	: Zn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.)) 105
Şekil 4.19	: Zn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3)) 105
Şekil 4.20	: Zn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3)) 106
Şekil 4.21	: Zn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.)) 106
Şekil 4.22	: Zn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3)) 107
Şekil 4.23	: Cu(II)'nun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3)) 108
Şekil 4.24	: Cu(II)'nun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.)) 108
Şekil 4.25	: Cu(II)'nun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3)) 108
Şekil 4.26	: Cu(II)'nun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3)) 109
Şekil 4.27	: Cu(II)'nun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.)) 110
Şekil 4.28	: Cu(II)'nun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3)) 110
Şekil 4.29	: Pb(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3)) 111
Şekil 4.30	: Pb(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.)) 111
Şekil 4.31	: Pb(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3)) 112
Şekil 4.32	: Pb(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3)) 113
Şekil 4.33	: Pb(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.)) 113
Şekil 4.34	: Pb(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3)) 113
Şekil 4.35	: Fe(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon) 115
Şekil 4.36	: Fe(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon) 115
Şekil 4.37	: Mn(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon) 116
Şekil 4.38	: Mn(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon) ... 116
Şekil 4.39	: Zn(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon) 117
Şekil 4.40	: Zn(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon) 117
Şekil 4.41	: Cu(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon) 118
Şekil 4.42	: Cu(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon) 118
Şekil 4.43	: Pb(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon) 119

Şekil 4.44	: Pb(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon)	119
Şekil 4.45	: Fe(II)'nin adsorban miktarına göre değişimi ve giderim verimi.....	120
Şekil 4.46	: Fe(II)'nin zamana göre değişimi ve giderim verimi	120
Şekil 4.47	: Fe(II)'nin sıcaklığa göre değişimi ve giderim verimi	121
Şekil 4.48	: Mn(II)'nin adsorban miktarına göre değişimi ve giderim verimi	121
Şekil 4.49	: Mn(II)'nin zamana göre değişimi ve giderim verimi	122
Şekil 4.50	: Mn(II)'nin sıcaklığa göre değişimi ve giderim verimi	122
Şekil 4.51	: Zn(II)'nin adsorban miktarına göre değişimi ve giderim verimi	123
Şekil 4.52	: Zn(II)'nin zamana göre değişimi ve giderim verimi	123
Şekil 4.53	: Zn(II)'nin sıcaklığa göre değişimi ve giderim verimi	123
Şekil 4.54	: Cu(II)'nin zamana göre değişimi ve giderim verimi.....	124
Şekil 4.55	: Cu(II)'nin sıcaklığa göre değişimi ve giderim verimi.....	124
Şekil 4.56	: Pb(II)'nin zamana bağlı değişimi ve giderim verimi	125
Şekil 4.57	: Pb(II)'nin sıcaklığa bağlı değişimi ve giderim verimi	125
Şekil 4.58	: Toplam heterotrofik bakterinin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))	127
Şekil 4.59	: Toplam heterotrofik bakterinin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))	127
Şekil 4.60	: Toplam heterotrofik bakterinin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))	128
Şekil 4.61	: Toplam heterotrofik bakterinin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))	129
Şekil 4.62	: Toplam heterotrofik bakterinin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))	129
Şekil 4.63	: Toplam heterotrofik bakterinin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))	129
Şekil 4.64	: Toplam koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))	130
Şekil 4.65	: Toplam koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))	131
Şekil 4.66	: Toplam koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))	131
Şekil 4.67	: Toplam koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))	132
Şekil 4.68	: Toplam koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))	132
Şekil 4.69	: Toplam koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))	133
Şekil 4.70	: Fekal koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))	134
Şekil 4.71	: Fekal koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))	134
Şekil 4.72	: Fekal koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))	135
Şekil 4.73	: Fekal koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))	136
Şekil 4.74	: Fekal koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))	136

Şekil 4.75	: Fekal koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))	136
Şekil 4.76	: Fekal streptokokun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))	137
Şekil 4.77	: Fekal streptokokun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))	138
Şekil 4.78	: Fekal streptokokun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))	138
Şekil 4.79	: Fekal streptokokun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))	139
Şekil 4.80	: Fekal streptokokun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))	139
Şekil 4.81	: Fekal streptokokun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))	140
Şekil 4.82	: Funginin(mantar) değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))	141
Şekil 4.83	: Funginin(mantar) değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))	141
Şekil 4.84	: Funginin(mantar) değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))	142
Şekil 4.85	: Funginin(mantar) değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))	143
Şekil 4.86	: Funginin(mantar) değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))	143
Şekil 4.87	: Funginin(mantar) değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))	143
Şekil 4.88	: Mikroorganizmaların değişimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))	144
Şekil 4.89	: Mikroorganizmaların değişimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))	145
Şekil 4.90	: Mikroorganizmaların değişimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))	145
Şekil 4.91	: Mikroorganizmaların değişimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))	145
Şekil 4.92	: Mikroorganizmaların değişimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))	146
Şekil 4.93	: Mikroorganizmaların değişimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))	146
Şekil 4.94	: Temiz kil.....	147
Şekil 4.95	: Kirli kil	147

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: Sızıntı suyunun bileşimine etki eden atık sınıf ve türleri	14
Tablo 2.2	: Sızıntı suyu özelliklerinin depo yaşı ile değişimi.....	15
Tablo 2.3	: Yıllara göre katı atık miktarları	16
Tablo 2.4	: Kömürcüoda Depolama Tesisi sızıntı suyuna ait atıksuların kirlilik değerleri	19
Tablo 2.5	: İnce malzemenin etkisi	28
Tablo 2.6	: Standart ve Modifiye Proktor Deneylerinin Karşılaştırılması.....	29
Tablo 2.7	: Geçirimsizlik Değerlerinin Tipik Değerleri	39
Tablo 2.8	: Demirin Özellikleri.....	48
Tablo 2.9	: Manganın Özellikleri.....	50
Tablo 2.10	: Çinkonun Özellikleri	52
Tablo 2.11	: Bakırın Özellikleri.....	54
Tablo 2.12	: Kurşunun Özellikleri	56
Tablo 2.13	: Kadmiyumun Özellikleri	58
Tablo 2.14	: Sıcaklık isteklerine göre mantarlar.....	63
Tablo 2.15	: F. coli – F. streptokok oranı	71
Tablo 4.1	: Kimyasal parametreler	92
Tablo 4.2	: Mikrobiyolojik parametreler	92
Tablo 4.3	: Kömürcüoda depolama alanında kullanılan kilin özellikleri	93
Tablo 4.4	: Kompaksiyon deney sonuçları	94

SEMBOL LİSTESİ

Fe(II)	: demir iyonu
Mn(II)	: mangan iyonu
Zn(II)	: çinko iyonu
Cu(II)	: bakır iyonu
Pb(II)	: kurşun iyonu
Cd(II)	: kadmiyum iyonu
AAS	: atomik adsorpsiyon spektrofotometresi
kob	: koloni oluşturan birim (colony forming unit)

ÖZET

SIZINTI SULARINDAKİ MİKROBİYAL AKTİVİTENİN VE METAL İYONLARININ KİLLİ ZEMİNLERDE ADSORPSİYON YÖNTEMİYLE ARITIMI

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 araştırmalar esnasında zeminin yapısının; içinden sızıntı suyu geçmesi sonucunda zamanla bozulmaya başladığı anlaşılmıştır. Bu amaçla bu çalışmada, killi zeminin permeabilitesini ve yapısını etkileyen parametreleri belirlemek ve adsorpsiyon mekanizması vasıtasıyla sızıntı suyunda mevcut bazı mikroorganizmaların ve metal iyonlarının giderim veriminin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Bu nedenle bu çalışmada, İstanbul Asya yakasında bulunan Şile - Kömürcüoda Düzenli Depolama Alanı'ndan temin edilen çöp sızıntı suyu numunesi, aynı tesiste kullanılan örselenmiş kil numunesinin standart yöntemlerle kompaksiyona tabi tutularak hazırlanan ve konsolidasyon uygulanan reaktörlerden geçirilerek numunenin permeabiliteleri deneysel olarak bulunmuştur. Killi zeminin arıtım kapasitesini saptamak amacıyla sürekli ve kesikli sistemde adsorpsiyon çalışılarak giriş ve çıkış suyunda mikrobiyal aktivite (Toplam Bakteri, Toplam Koliform, Fekal Koliform, Fekal Streptokok, Fungi (Mantar)) ve bazı metal iyonlarının(Cd, Mn, Cu, Fe, Pb, Zn) değişimi incelenmiştir.

Bu amaçla çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşama: Şile-Kömürcüoda düzenli depolama alanından alınan örselenmiş kil numunesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla kilin elek analizi, XRD ve SEM (temiz ve kirli numune) analizleri yapılmıştır.

İkinci aşama: İstanbul Asya yakasında bulunan Şile - Kömürcüoda Düzenli Depolama Alanı'ndan temin edilen çöp sızıntı suyu numunesi, aynı tesiste kullanılan örselenmiş kil numunesinin standart yöntemlerle kompaksiyona tabi tutularak hazırlanan ve konsolidasyon uygulanan reaktörlerden geçirilerek numunenin permeabiliteleri deneysel olarak bulunmuştur.

Üçüncü aşama: Killi zeminin arıtım kapasitesini saptamak amacıyla sürekli ve kesikli sistemde adsorpsiyon çalışılarak giriş ve çıkış suyunda mikrobiyal aktivite (Toplam Bakteri, Toplam Koliform, Fekal Koliform, Fekal Streptokok, Fungi (Mantar)) ve bazı metal iyonlarının(Cd, Mn, Cu, Fe, Pb, Zn) değişimi incelenmiştir.

SUMMARY

THE REMOVAL OF MICROBIAL ACTIVITIES AND METAL IONS IN THE CLAYEY SOIL WITH ADSORPTION TECHNIQUE

Natural and under a strain clay that is used in the land filling areas was taken as a cover for the top and bottom and it is also used for composing the side levees. Clay soil coats are used for absorption of pollutants such as leachate and organic liquids. According to previous studies it was mentioned that structure of the ground spoiled by the reason of leachate. Another purpose of the study was; to determine the permeability of clay soil and parameters affecting the structure.

The leachate was taken from Şile- Kömürcüoda Landfill area in Asia apart of Istanbul, from the same plant, sample of stained clay is disposed into the reactor with using standard and modified compaction, the permeability values were recorded from, the sample which had applied into consolidated reactors. For determining, the strained clay's refining capacity studied on continues and discontinues systems. The parameters for input and outflow waters such as ; variation of microbial activities (total bacterias, coliform, fecal coliform, funguses) and some of the metal ions (Cd, Mn, Cu, Fe, Pb, Zn) were examined.

This study was performed in three steps:

First step; The chemical and physical parameters specifications were determined from sample of stained clay which had taken from Şile – Kömürcüoda landfill. In this case clay's XRD and SEM (clean and waste sample) were analyzed.

Second step: The leachate which was taken from Şile- Kömürcüoda area, from the same plant, sample of stained clay was disposed into the reactor with using standard and modified compaction, while its consolidation permeability values were recorded.

Third step: For determining, the strained clay's refining capacity was studied on continues and discontinues systems. The parameters for input and outflow waters such as ; variation of microbial activities (total bacterias, coliform, fecal coliform, funguses) and some of the metal ions (Cd, Mn, Cu, Fe, Pb, Zn) were examined.

1. GİRİŞ

1.1. GENEL GİRİŞ

Çevre kirliliği son yıllarda daha fazla önem kazanmaya başlamıştır. Su, toprak ve hava kirliliğinin 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. Geç kalınmış olsa da, katı atık kontrolü ve kirliliğinin önlenmesi adına yapılan çalışmalar artık önemli bir seviyeye gelmiş bulunmaktadır [1].

Günümüzde nüfus artışı ve kentleşme neticesinde karşı karşıya kaldığımız kontrolsüz tüketim miktarı hızlı bir artış gösteren katı ve sıvı atıkların uzaklaştırılması ve bertarafı hususunda bilhassa şehirlerimizde büyük bir problem oluşturmaya başlamıştır. Günümüzde geliştirilen teknolojilere rağmen birçok atık türünün yeniden üretime kazandırılması, öncelikle ekonomik olarak mümkün olmamaktadır. Çöplerin bertarafında da yakma, kompostlaştırma gibi yöntemler uygulanmakta fakat sonuçta yine de bir miktar çöpün son uzaklaştırma işlemi için depolanması gerekmektedir. Bu nedenle, çevreyi katı ve sıvı atıklardan ortaya çıkan kirleticilerden korumak için, düzenli depolama sahaları düzenlenmektedir [2].

Katı atıkları sınıflandırırken atıklardan oluşan geri dönüşüm ve enerji üretimi de sağlanmaktadır. 30-40 yılı aşkın bir süredir düzenli depolama sahaları, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin evsel ve endüstriyel katı atıklarını bertaraf etmek için tercih ettikleri ekonomik bir yöntemdir. Her gün oluşan bu atıkların düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi ve çevresel etkilerinin azaltılması gelecek için büyük önem arz etmektedir. Yedi milyara yaklaşan dünya nüfusuna bağlı olarak, her yıl yaklaşık 450-500 milyon ton evsel atık oluşmakta ve bu miktarın ortalama %70'i katı atık depo sahalarına gömülmektedir. Çöp sahası planlama ve dizaynı oldukça karmaşık teknolojiyle geliştirilmiştir. Katı atık kontrolünün en tercih edilen yöntemi sıhhi çöp depolama sahalarıdır ve en önemlisi olmaya da devam etmektedir [1,2].

Çöp sahalarının dizaynındaki en önemli amaçlardan biri de, çevre ve sağlık yönünden gelebilecek riskleri ülke ve bölge çapında en aza indirmektir. Uygun bir şekilde inşa edilmiş çöp depolama sahası, havayı, yer altı ve yer üstü su kaynaklarının kirlenmesini önlemeli, çevresel ve toplumsal endişeleri gidermelidir [1].

Sızıntı suyu katı atık depo sahalarında çevre kirliliği açısından en önemli problemdir. Katı atıkların muhtevassından kaynaklanan çok sayıda kirletici parametreyi ihtiva eden sızıntı suyu; katı atıkların içinden süzülerek birtakım fiziksel, kimyasal, biyolojik olaylara maruz kalmak suretiyle oluşmaktadır. Önlem alınmadığı takdirde yeraltı ve yerüstü su kaynaklarını kirletmekte olan sızıntı suyunun bu olumsuz etkisini önlemek için, depo sahasının taban ve tavanı depolama bitirildikten sonra geçirimsiz hale getirilmektedir [2]. Bununla birlikte bir çok jeolojik, hidrojeolojik ve mühendislik yönünden oluşacak problemleri, etkili katı atık depolama dizaynıyla en aza indirilebilir [1].

Depolama sahasını dizayn ederken göz önünde bulundurulması gereken bazı etkenler vardır. En önemlisi depolama sahasının tabanına koyulacak olan tabaka; normalde bu tabaka kalınlığı 1m ile 2m arasında geomembranla birlikte serilmiş kil tabakasıdır [1].

Bazı araştırmacılar organik kimyasalların sıkıştırılmış kile zarar vereceğini ve malzemenin geçirimsizlik özelliğini bozduğunu göstermişlerdir. Bu konunun daha tesis tasarlanırken düşünülmesi gerekmektedir [1].

1.2. AMAÇ

Dünya nüfusunun hızla artmasıyla birlikte hızlı bir artış gösteren katı ve sıvı atıkların uzaklaştırılması ve bertarafı özellikle büyük şehirlerimizde önemli bir problem oluşturmaya başlamıştır. Katı atıkların bertarafında 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 ila 350×10^6 tonu ise katı atık depo sahalarına gömülmektedir [2].

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.

Bu nedenle bu çalışmada, İstanbul Asya yakasında bulunan Şile - Kömürcüoda Düzenli Depolama Alanı'ndan temin edilen çöp sızıntı suyu numunesi, aynı tesiste kullanılan örselenmiş kil numunesinin standart yöntemlerle kompaksiyona ve konsolidasyona tabi tutularak hazırlanan örneklerin bulunduğu reaktörlerden geçirilerek numunenin permeabiliteleri deneysel olarak bulunmuştur.

Killi zeminin arıtım kapasitesini saptamak amacıyla sürekli sistemde adsorpsiyon çalışılarak giriş ve çıkış suyunda mikrobiyal aktivite(Toplam Bakteri, Toplam Koliform, Fekal Koliform, Fekal Streptokok, Fungi (Mantar)) ve bazı metal iyonlarının(Cd, Mn, Cu,Fe,Pb,Zn) değişimi incelenmiştir. Ayrıca kesikli sistemde belirtilen metal iyonlarının adsorpsiyonu incelenmiştir.

1.3. KAPSAM

Sızıntı sularındaki mikrobiyal aktivitenin ve metal iyonlarının killi zeminlerde giderim veriminin incelendiği bu çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşama: İstanbul Asya yakasında bulunan Şile-Kömürcüoda düzenli depolama alanından alınan örselenmiş kil numunesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla kilin elek analizi, XRD analizi ile temiz ve kirli zemin örneğinde SEM analizleri yapılmıştır.

İkinci aşama: Şile - Kömürcüoda Düzenli Depolama Alanı'ndan temin edilen çöp sızıntı suyu numunesi, aynı tesiste kullanılan örselenmiş kil numunesinin hem standart yöntemle kompaksiyona tabi tutularak hem de standart yöntemle kompaksiyona ilave olarak konsolidasyon uygulanarak hazırlanan numunelerin bulunduğu reaktörlerden geçirilerek numunenin permeabiliteleri deneysel olarak bulunmuştur.

Üçüncü aşama: Killi zeminin arıtım kapasitesini saptamak amacıyla sürekli ve kesikli sistemde giderim verimi araştırılmıştır. Bu amaçla giriş ve çıkış suyunda mikrobiyal aktivite (Toplam Bakteri, Toplam Koliform, Fekal Koliform, Fekal Streptokok, Fungi (Mantar)) ve bazı metal iyonlarının(Cd, Mn, Cu, Fe, Pb, Zn) değişimi incelenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. SIZINTI SUYU

Yağmurların yağması, karların erimesiyle oluşan ve atığın kendi bünyesindeki nemin deponi tabanına doğru sızmasıyla oluşan, atıklardaki kirleticileri bünyesine alarak kirletici özellik kazanan sular **sızıntı suyu** olarak tanımlanır [3]. Sızıntı suyu; erimiş, parçalanmış katı maddelerden ve çöpsel mikrobiyolojik ürünlerden oluşur. Yağmur yağdığında su damlacıkları çöplerin arasından geçer, kimyasal ve fiziksel olarak reaksiyona girerek taban kısmına gelir. Böylece su çöplerden kaynaklanan kirlilikleri de bünyesine alır [1].

2.1.1. Düzenli Depolama Alanları

Düzenli depolama, katı atıkların çevre sağlığına zarar vermeyecek bir şekilde araziye boşaltıldığı, kullanılmayan arazilerin ıslahına ve yeni peyzaj alanlarının oluşturulmasına imkan sağlayan bir metod olarak görülmektedir [4]. Düzenli depolama yöntemi, yeraltı ve yüzeysel su kaynaklarının atıklardan oluşacak sızıntı suyuna karşı yeterince korunması durumunda ve atıkların stabilizasyonu sırasında oluşacak gazlar için gerekli tedbirlerin alınması halinde bertaraf yöntemleri arasında maliyetine göre daha çok fayda sağlayan bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Bundan ötürü, dünyada en fazla kullanılan yöntem olmuştur [5].

2.1.1.1. Düzenli Depolama Alanlarının Hazırlanması

Önce alanın nebati toprağı temizlenip yeraltı suyu drenajı sağlanmaktadır. Çevre sularının girmemesi için gerekli tedbirler alınarak uygun alana getirilen doğal zemin sıkıştırılmaktadır. Bu işlemten 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 [2].

2.1.1.2. Depo Tabanının Teşkili ve Sızıntı Suyunun Toplanması

Düzenli depo tesisinden, depo tabanına sızan sızıntı sularının yeraltı sularına karışmasını önlemek için depo tabanı geçirimsiz hale getirilir. Depo tabanında oluşturulan bir drenaj sistemi ile sızıntı suları toplanır. Bu amaçla;

- Depo tabanı, tabii yeraltı suyunun maksimum seviyesinden en az 1 metre yüksekte olur.
- Depo tabanına; sıkıştırılmış kalınlığı en az 60 cm. olan kil veya aynı geçirimsizliği sağlayan doğal ya da yapay malzeme serilir. Bu malzemelerin geçirimsizlik katsayısı (permeabilite) 1.10^{-8} m/sn'den büyük olamaz. Az çatlaklı kaya zeminlerde bu değer 1.10^{-7} m/sn olarak alınır.

Depo tabanının, en az 3 metre kalınlığında doğal kil ve benzeri 1.10^{-8} m/sn geçirimsizlik katsayısını sağlayan bir malzeme olması durumunda, depo tabanı tekrar geçirimsizlikmalzemesi ile kaplanmaz. Bu durumda geçirimsizlik katsayısının sahanın her yerinde 1.10^{-8} m/sn olması sağlanır.

İçme ve kullanma suyu havzalarının uzun mesafeli koruma alanında inşa edilecek düzenli depo sahası tabanında, sıkıştırılmış kalınlığı 60 cm. olan kil tabakasının üzerine, kalınlığı 2 mm. olan yüksek yoğunluklu polietilen folye (HDPE) serilir. Serilecek folyenin yoğunluğu 941-965 kg/m³ arasında olmak zorundadır.

Geçirimsiz hale getirilen taban üzerine dren boruları döşenerek sızıntı suları bir noktada toplanır. Hidrolik ve statik olarak hesaplanması gereken drenaj borularının çapı minimum 100 mm. ve minimum eğimi %1 olur. Dren boruları, münferit borular şeklinde, yatayda ve düşeyde kıvrım yapmadan doğrusal olarak depo sahası dışına çıkar. Depo tesisi çıkışında kontrol bacaları bulunur. Ayrıca dren boruları çevresine kum, çakıl filtre yerleştirilir. Bu filtrenin boru sırtından itibaren yüksekliği minimum 30 cm. olur.

Toplanan sızıntı suları, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen deşarj limitlerini sağlayacak şekilde artırılır [6].

2.1.1.3. Depolama Sahalarında Sızdırmaz Kil Tabakalarının Uygulanması

Düzenli depolama alanının altındaki toprak tabakanın içerisine olabilecek sızıntıları önlemek amacıyla, alanın tabanına az geçirgen bir malzemedan oluşan ve birkaç malzemenin kombinasyonu ile elde edilen bir tabaka yerleştirilir. Bu sızdırmazlık tabaka sızıntı suyunu tutan ve toplama sistemine yönlendirilen bir bariyer görevi görür. Ayrıca perkolasyonu azaltmak amacıyla örtü tabakasının veya gaz kontrol sisteminin bir parçası olarak da işlev görür. Sızdırmazlık tabakaları ile ilgili en önemli sorun geçirgenliğinin uzun vadede artmasıdır [7]. Sızdırmaz tabakalar depolama sahalarında depo tabanı, sedde ve depo tavanında uygulanmaktadır. Bunlar genel olarak incelenirse;

2.1.1.3.1. Doğal Kilden Taban Örtüleri

Bu örtü tabakalarının kalınlığı genelde 20–25 cm, geçirgenliği ise 1.10^{-5} ile 1.10^{-9} m/s arasında değişir. Killi toprakların geçirgenliğini etkileyen belli başlı faktörler nem içeriği, sıkıştırma yöntemi ve sıkıştırma enerjisi, kilin toprak büyüklüğü ve toprak tabakaları arasındaki bağın derecesidir. Kile su eklendiğinde malzemenin yoğunluğu artar ve geçirgenliği genel olarak azalır. Bu işlem nem içeriği optimum düzeye erişene, yani toprak yoğunluğu maksimum düzeyde olana kadar devam eder. En düşük killi toprak geçirgenliği, toprağın nem içeriği optimum su içeriğinin %0–5 fazlasına ulaştığında elde edilir [2].

Yoğun ve homojen bir kil tabakası elde etmek için, toprak toprakları parçalanarak veya ezilerek minimum inceliğe indirilmelidir. Bu sağlanmazsa toprakların arasından sızıntı yollarının oluşması olanağı vardır [8].

Her kil tabakası peşinden gelen tabaka ile birleştirilmelidir. Bu tabakalar fiziksel olarak birleşip bütünleşmezlerse, tabakanın ara yüzeyinde sızıntı yolları oluşabilir. Yoğuruculu sıkıştırıcılar kullanıldığında bu olasılık azalır.

Doğal killi taban örtülerinin avantajları aşağıdaki gibidir:

- Killi toprak genelde kolayca bulunur.
- Killi toprak sıkıştırıcılarının temini kolaydır.

- Genelde özel yapım ekipmanlar gerekmez.
- Killi taban örtülerinin çatlaklarını kendi kendilerine kapatma özelliği vardır.
- Tipik bir taban örtüsünün tüm kalınlığı boyunca delinmesi zordur.

Doğal killi taban örtülerinin olası dezavantajları aşağıdaki gibidir:

- Yoğun, düşük geçirgenlikli ve kil örtüsü elde etmek için, yapım sırasında sürekli kalite kontrolü ve kalite garanti prosedürlerinin uygulanmasını gerektirir.
- Kil genelde ocaklardan veya açık kazılarla elde edildiği için killi malzemenin kalitesi değişiklik gösterebilir.
- Nem içeriğinin ve sıkışma enerjisinin sürekli izlenmesi gerekir.
- Kil taban örtüleri donma/çözülme koşullarından etkilenir ve korunmazlarsa kuruyarak hasar görebilirler [9].

2.1.1.3.2. Geomembranlar

Katı atık dolgu alanlarında zemin taban örtüsü olarak bazı geomembranlar da kullanılmaktadır. Son yıllarda özellikle belediyelerin topladığı katı atıkların ve tehlikeli atıkların depolandığı katı atık dolgu alanlarında yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) gittikçe daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bunun nedeni geomembranların bu tür tesislerde depolanan çok çeşitli kimyasal maddelere karşı dayanıklı olmasıdır. Belediyelerin topladığı katı atıkların ve tehlikeli atıkların depolandığı katı atık dolgu alanlarında kullanılan yüksek yoğunluklu polietilenlerin kalınlığı genelde 2 ile 8 mm arasında değişmekle birlikte daha ince veya daha kalın ürünler de kullanılmaktadır [7].

2.1.1.3.3. Geosentetik Killi Taban Örtüleri

Geosentetik Killi Örtüler (GCL) katı atık dolgu alanlarının tabanlarında ve son örtü yapımında yeni kullanılmaya başlanan bir üründür. GCL` ler iki geotekstil arasında sıkıştırılan veya bir geomembrana yapıştırılan ince bir bentonit tabakasından oluşan prefabrik, killi taban örtüleridir. Bu ürünlerin kuru (hidratlaşmamış) kalınlığı yaklaşık 1–1.5 mm` dir. Geçirgenlikleri ise 1.10^{-9} ile 1.10^{-10} m/s arasında değişir[10,11]. Geosentetik maddelerin beş ana işlevi vardır; ayrıştırma, güçlendirme, filtreleme, drenaj ve nem bariyeri. Geosentetik kullanımı kısıtlı alanlarda ya da zor toprak koşullarında çok avantajlıdır ve üzerinde çalışılmış kil yapısının uzun ömürlü olmasını, aynı zamanda uzun dönemde kullanım masraflarının daha aza inmesini, tamir masrafını minimize etmesini sağlar [1].

2.1.1.3.4.Kompozit Taban Örtüleri

Kompozit taban örtüleri yukarıda açıklanan elemanların olası kombinasyonlarından oluşturulur. Tipik bir katı atık dolgu alanı taban örtüsü, kil ve geomembrandan oluşur. GCL'ler de kullanılmaktadır, ancak bunlar genelde iki ya da üç kat taban örtüsü serilen hücrelerde uygulanır. Kompozit taban örtüleri oluşturuldukları iki malzemenin de avantajlarına sahiptir ve bu malzemelerin bazı dezavantajlarının kompozit örtülerde ortadan kalktığı görülmektedir. Dikkat edilmesi gereken konulardan biri, geomembranı sıkıştırılmış killi taban örtüsü üzerine düz olarak sermektir. Bu, sızıntı suyu toplama randımanını artırır. Yukarıda belirtildiği gibi, geomembran delinirse bu deliğin kendi kendine kapanması mümkün değildir. Alta kil tabakası, üstte düz olarak serilmiş geomembran olduğunda tali debiler büyük ölçüde azalır. Geomembranların yüksek gerilmelere dayanabilme özelliği, killi taban örtüsünde gözlenebilecek bazı yerleşmeler karşısında faydalı olur [10,12].

Ayrıca depolama işleminden sonra sahada meydana gelebilecek oturmalarından sonra söz konusu eğimin (emniyetli tarafta kalabilmesi için) en az %3 alınması uygun olacaktır. İnşaat tekniği açısından, tabii malzemeden oluşan sızdırmazlık tabakasının serilmesi ve sıkıştırılması için tabanda teşkil edilecek şevlerin belirli bir değerden daha dik olmaması gerekmektedir. Bu eğim ise 1/3–1/4 oranında değişmektedir. İnşaata başlamadan önce sahadaki tüm ağaçlar, tekrar büyümemesi için kök ve çilleri ile birlikte sökülmalıdır.

Arazideki bitkisel toprak sıyırılmalı, tarım toprağı ile birlikte çok yoğun çillerin bulunduğu tabaka da kaldırılmalıdır. Ayrıca, arazide daha önceki faaliyetlerden kalan dolgu malzemeleri bulunmamalıdır. Böylece mekanik tesirlerle, tabanın geçirimliliği artmamalıdır [13].

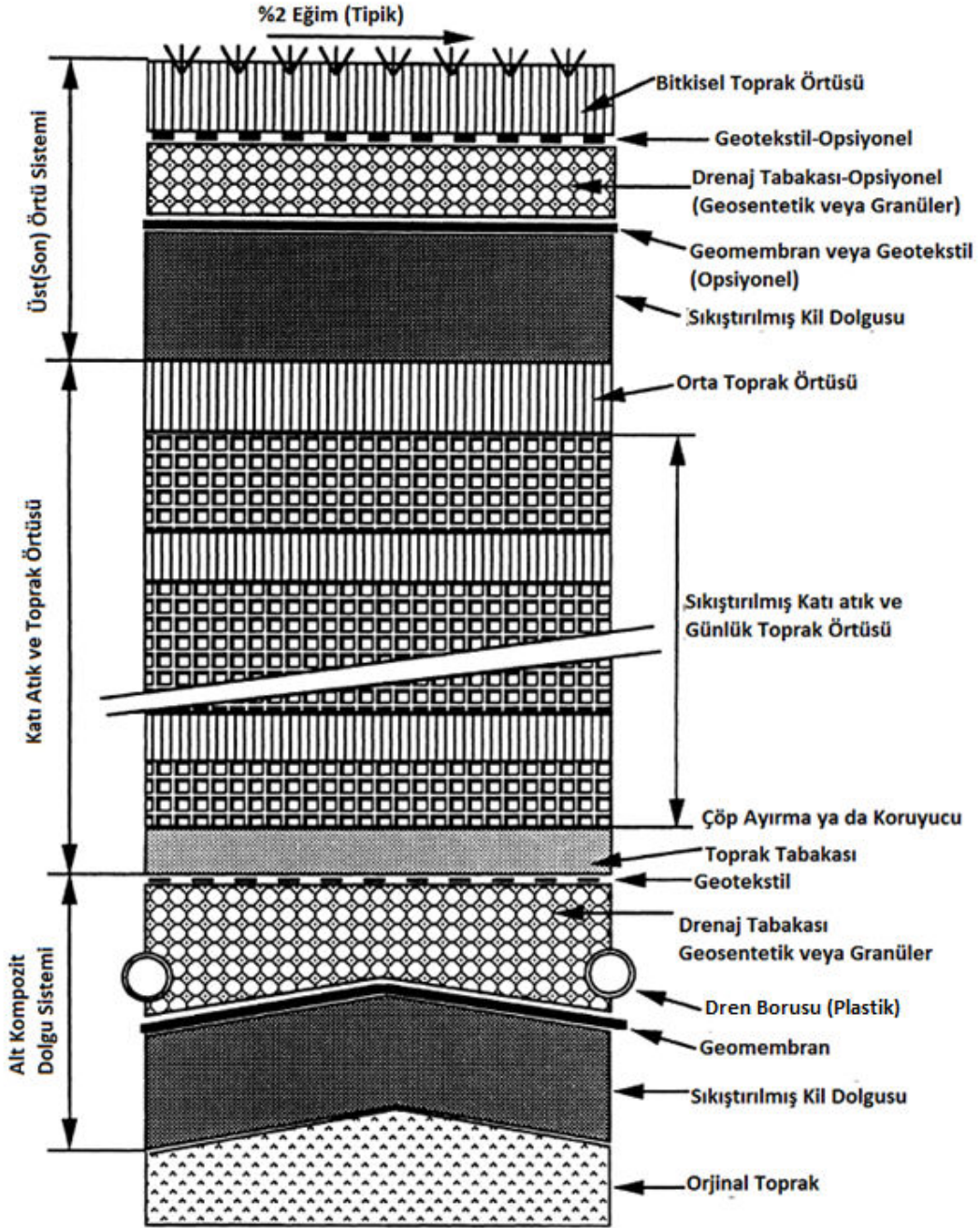
2.1.1.3.5.Sedde ve Depo Tavanı (Nihai Örtü) Teşkili

Katı atık düzenli depolama sahalarında atıkların hücreleme metoduyla depolanabilmesi için ara ve son seddeler kullanılır. Kullanılan ara seddeler genelde geçici olup, sıkıştırılmış 30 cm`lik kil tabakalarından teşkil edilir.

Ara seddeler depolama sahasının işletilmesi esnasında sızıntı sularının saha dışına çıkmasını ve çevre sularının saha içerisine girmesini engellemek ve bunun gibi sebeplerle inşa edilir. Depo son seddeleri ise düzenli depolama alanının sınırları boyunca nihai örtüye kadar

yükseltilir. Bu seddeler depo sahasında şev stabilitesini sağlamak, işletme yollarının inşasına yardımcı olmak ve nihai şevlerde uygun eğimi vermek vb amaçlarla inşa edilmektedir.

Depo tavanı (nihai örtü) tasarımı birçok bileşeni içerir. Her bileşenin tek başına üstlendiği görev farklıdır ancak, depo örtüsünde amaç tüm bu elemanları bir arada kullanarak belirlenen hedeflere ulaşmaktır. Ayrıca bu bileşenler için tek bir kombinasyon mevcut değildir. Farklı sahalar için farklı örtü kombinasyonları kullanılabilir. Genellikle örtü tabakalarında iki veya üç farklı malzeme bir arada kullanılarak her birinin avantajlarından faydalanmaya çalışılır. Birkaç tabakadan oluşan örtü sistemlerindeki ana bileşen hidrolik bariyerdir. Bu amaçla genelde kil kullanılır. Toprak tabakalar yüzeyde kullanıldıklarında çatladıkları için killi toprağı korumak amacıyla bir tampon tabaka kullanılır [14,15].



Şekil2.1. Tipik Düzenli Depolama Sahası Dikey Profili [1]

2.1.2. Sızıntı Suyu Oluşumu

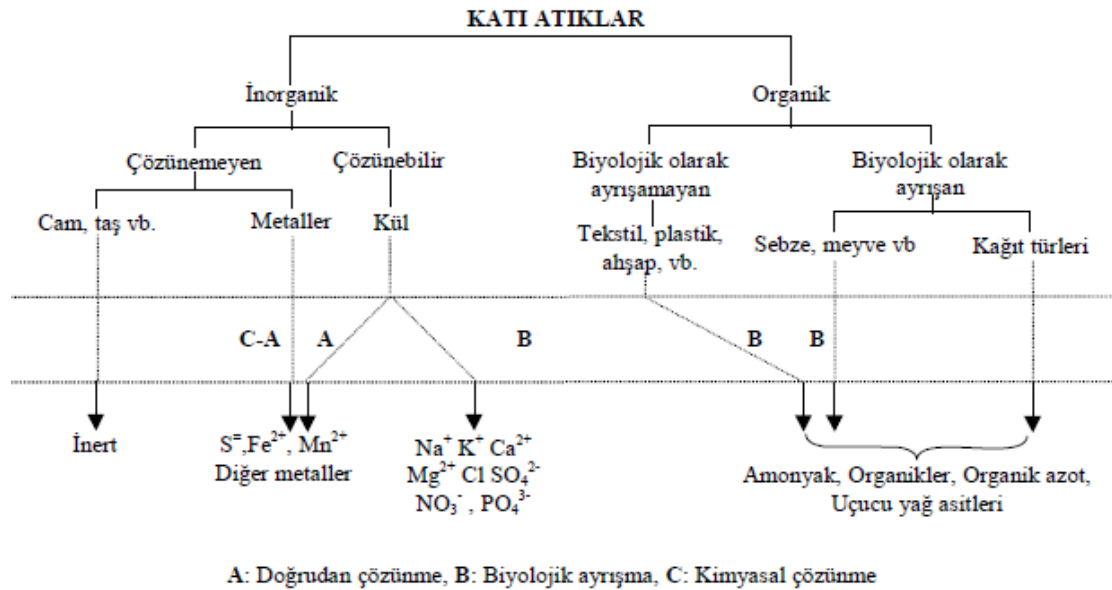
Sızıntı suyu, su ya da herhangi bir sıvı maddenin çöp yığınlarının arasından süzülerek tabana kadar gelmesiyle oluşur. Yağmur yağdığında su damlacıkları çöplerin arasından geçer kimyasal ve fiziksel olarak reaksiyona girer ve taban kısmına öyle gelir. Sızıntı suyu, katı atığın nem doyma kapasitesinin (katı atığın, fazla nemi dışarı salmadan önce emdiği maksimum nem miktarı) üzerindeki su miktarı beraberinde katı atık içerisinde mevcut olan

organik maddeleri, çözülmüş tuzları, ağır metaller gibi kirletici maddeleri taşıyarak dışarı sızar. Sızıntı suyu muhteviyatındaki kirleticilerin kompleks, toksik ve yüksek konsantrasyona sahip olmasından dolayı klasik yöntemlerle arıtılmaları oldukça zordur [1,16].

Sızıntı suyu bileşenlerini temel anlamda üç grupta toplamak mümkündür:

- depo sahalarında aerobik ve anaerobik ayrışmalar sırasında oluşan sızıntı suyu,
- depo sahasına dökülen ve sıkıştırılan katı atığın su içeren kısımlarının sıkıştırılmasından oluşan sızıntı suyu ve
- depo sahası yüzeyine düşen yağışların, kontrol altına alınmamışsa, depo sahası kütlelerinden geçerek oluşturduğu sızıntı suyudur [16].

Bunlara ilave olarak, deponi sahasındaki rüzgar durumu, bitki örtüsü, deponi sahasının büyüklüğü ve yaşı da sızıntı suyunun oluşumunda etkili olan diğer faktörlerdir [5]. Katı atık bileşenleri ve sızıntı suyu oluşum basamakları Şekil 2.2’de sunulmuştur.



Şekil2.2. Katı Atık Bileşenleri ve Sızıntı Suyu Oluşum Basamakları [18]

Sızıntı suyu oluşumunu etkileyen faktörlerin başında mevsimlik değişim gelir. Aynı derecede önemli olan diğer bir faktör de yağış sonucu oluşan ve depo alanı bünyesinde bulunan nem miktarıdır. Meteorolojik faktörler arasında sızıntı suyu oluşumuna en fazla etki yapan

yağmurdur. Yağmurun frekansı, şiddeti ve süresinin bilinmesi oluşan sızıntı suyu miktarını belirlemede önemli rol oynar [16].

2.1.2.1. Sızıntı Suyu Kontrol Stratejileri

Katı atık düzenli depolama sahalarında en önemli konulardan birisi çöp sızıntı suyu kontrolü yöntemidir. Çöp sızıntı suları yüksek miktarda organik kirliliğe sahip sulardır. Bu nedenle çöp sızıntı suyu kontrolünde, depo sahasına toplam girdilerin (çöp, su), depolama sahasının kendisi ve sahadaki çıktılarının (çöp sızıntı suyu ve gaz) kontrolü önemli parametredir [17].

2.1.2.1.1. Katı Atık Girişi Kontrolü

Depolama sahasında sızıntı suyunu azaltmak için öncelikle katı atık girişinin minimize edilmesi gerekir. Bu ise çöplerin ayrı toplanması, geri kazanım, yakma, kompost yapma vb. yöntemlerle temin edilir.

2.1.2.1.2. Su Girişi Kontrolü

Sızıntı suyu miktarı depolama sahasına giren su (yağmur suyu vb.) miktarıyla orantılıdır. Bu sebeple sahaya su girişi sınırlandırılmalıdır.

Bunun için;

- Mümkünse düşük yağış alan bölgeler seçilmelidir,
- Üst örtü yapılmalı ve çimlendirilmelidir,
- Yeterli yüzeysel drenaj yapılmalıdır,
- Çamur vb. malzeme bertarafı sınırlandırılmalıdır,
- Çöp yeterli sıkışmaya tabi tutulmalıdır.

2.1.2.1.3. Depolama Sahasının Kontrolü

Depolanan çöp niteliği ve nem muhtevasının, çöp suyu miktarı ve özelliğine etkisi çok büyüktür. Bu sebeple sahada kullanılacak ara örtünün türünün ve miktarının, sızıntı suyu geri devir oranının seçimi iyi yapılmalıdır.

2.1.2.1.4. Sızıntı Suyu Drenajının Kontrolü

Sızıntı suyu drenajının kontrolü için aşağıdaki parametrelere uyulması gerekmektedir.

- a. Depolama sahası alt ve üst yapısında membran kullanılmalıdır,

- b. Uygun bir drenaj ve toplama sistemi seçilmelidir,
- c. Uygun bir arıtma yöntemi seçilmelidir,
- d. Çevresel etkiler devamlı olarak takip edilmelidir [8].

2.1.3.Sızıntı Suyu Karakteristiği

Katı atık depolama tesislerinde üretilen ve sızıntı suyu olarak adlandırılan sıvı atıkların karakteristiği ve miktarı çürüme safhasına, mevsimlere ve depolama şartlarına göre önemli farklılıklar gösterir [19]. Sızıntı suyunun kalitesi ve miktarı;atığın kompozisyonuna, depolanan atıkların yaşına, depo sahasının hidrojeolojik yapısına ve topoğrafyasına, sıkıştırma oranına, atıkların içerisine süzülebilen yağmur suyu oranına, deponun derinliğine, yüzey örtüsünün yapısına, depo ortamındaki çevresel faktörlere (kimyasal ve biyolojik aktivite, nem, sıcaklık, pH) bağlıdır.

Sızıntı suyu muhteviyatındaki kirletici konsantrasyonunun yüksek olması, ayrışmanın, kompleks organiklerin suda iyi çözünen organik asitlere dönüştüğü anaerobik ayrışmanın birinci safhasında olduğunu gösterir. Düşük organik asit konsantrasyonu biyolojik ayrışma hızının yavaş olduğu ya da sızıntı suyu ve atıkların etkili bir şekilde stabilize olduğu ikinci anaerobik ayrışma safhasını karakterize eder [16].

Organik atıkların biyolojik aktiviteye bağlı olarak hızlı bir şekilde ayrıştığı dönemde ortaya çıkan sızıntı suları; yüksek BOİ/KOİ oranı (biyolojik olarak kolay parçalanabilme), düşük pH ve yüksek ağır metal konsantrasyonu ile karakterize edilir. Sızıntı suları düşük konsantrasyonlarda fosfor içerirken özellikle amonyum konsantrasyonu yüksektir. Sızıntı sularının içerdiği toplam azotun %60-90'ı amonyum azotundan ileri gelir. Ağır metaller açısından değerlendirildiğinde sızıntı sularında özellikle demir konsantrasyonu oldukça yüksektir. Krom, nikel, bakır, kadmiyum, kurşun ve diğer ağır metaller daha düşük konsantrasyonlarda bulunur. Sızıntı suyunun civa, kurşun, nikel, kadmiyum gibi toksik bileşen muhtevası atıklara geri kazanma proseslerinin uygulanması durumunda azalır [16].

Benzer atıkların depolandığı sahalarda sızıntı sularının karakteri birbirinden farklı olabilmektedir. Bunda şu faktörler etkili olmaktadır [2];

- Bir depo sahası diğer bir depodan sadece bir-iki yıl önce açılmış olsa bile atıklar kısmen ayrışmaya başlayacağından sızıntı suyu karakteri farklı olmaktadır,

- Kilin yapısı ile ilgili özellikler sızıntı suyunun karakterini değiştirmektedir.
- Herhangi bir şekilde depoya sızan temiz sular önemli seyrelmelere sebep olabilmektedir,
- Sızıntı suyu yolu üzerindeki katı atık çeşitleri yada toprak yapısı da sızıntı suyunun karakterini değiştirmektedir.

Depolanan atığın türü sızıntı suyuna geçecek olan organik ve inorganik kirleticiler bakımından önemlidir. Kanada ve A.B.D.'de yapılan araştırmalar sonucundasızıntı suyunun kimyasal bileşimine etki eden atıklarparçalanabilme ve çözünabilme özelliğine göre sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflandırma Tablo2.1.'de verilmiştir [5].

Tablo 2.1 : Sızıntı suyunun bileşimine etki eden atık sınıf ve türleri

Atık Sınıfı	Atık Türü
A	Yiyecek ve Bahçe Atıkları
B	Kağıt, Plastik, Tahta, Diğer organikler
C	Demir ve Diğer Metaller
D	Cam ve Diğer İnorganikler

A sınıfında bulunan yiyecekler ve bahçe atıkları mikroorganizmalar tarafından kolayca parçalanarak, BOİ, TOK ile ifade edilen organik maddelerin sızıntı suyunda yüksek konsantrasyonlarda bulunmasına sebep olmaktadır.

B sınıfındaki kağıt,plastik ve tahta gibi maddeler A sınıfındaki maddelerle karşılaştırıldığında biyolojik olarak daha zor parçalanırlar. Bundan dolayı kısa vadede düşünüldüğünde A sınıfındaki maddelere göre sızıntı suyuna daha az organik madde vermektedirler.

C sınıfındaki maddeler çoğunlukla demir, alüminyum, çinkodan oluşan metallerdir. Sızıntı suyunda metal iyonlarının bulunması, pH ve atığın redoks potansiyeline bağlıdır. Cam ve toprak gibi inorganik maddeler D sınıfındaki atıkları oluşturmaktadır. Çözünürlükleri yüksek olan inorganik maddeler depolanmalarından kısa bir süre sonra sızıntı suyunda yüksek konsantrasyonlarda bulunurken, çözünürlükleri düşük olanlar daha uzun sürede düşük konsantrasyonlarda sızıntı suyuna geçmektedir.

Tablo 2.2 : Sızıntı suyu özelliklerinin depo yaşı ile değişimi [20]

Parametre	Depo Yaşı		
	1 yıl	5 yıl	16 Yıl
pH	5,2-6,4	5,0-6,6	5,6-6,1
KOİ	10000-40000	8000	400
BOİ ₅	7500-28000	4000	80
TOK	7300-16350	83-9150	108-3080
NH ₄ -N	56-482	36	10
Top- P	25-35	12	8
Toplam Katılar	10000-33000	718-18400	1920-5350
Toplam Uçucu Katılar	5350-20330	124-10300	770-3300
Alkalinite	600-800	1330	70
Klorür	620-1880	5,3-730	115-193
Cd	---	<0,05	<0,05
Mn	75-125	0,06	0,06
Cu	---	<0,5	<0,5
Fe	210-325	6,3	0,6
Pb	---	0,5	1,0
SO ₄	400-650	2	2
Zn	10-30	0,4	0,1

pH hariç tüm birimler mg/L' dir.

Sızıntı suyu karakteri çöp depo sahasındaki stabilizasyonun derecesine bağlıdır. Depodaki stabilizasyonun belirlenmesi için belirli indikatör parametreler kullanılır. Fiziksel, kimyasal ya da biyolojik olan bu parametreler çöp sahası içindeki reaksiyonların derecelerini belirler. Mesela, pH ve ORP (oksidasyon-redüksiyon potansiyeli) parametreleri, asit-baz ve yükseltgenme indirgenme dengesiyle ilgili belirleyici ölçimlerdir. Bunlar da asit oluşumu ve metan oluşumu derecelerini belirler. BOİ ve KOİ, biyolojik ayrışabilirlik; azot ve fosfor ise belirli fazlardaki aerobik/anaerobik durumu ve nütrient yeterliliğini gösterir. Benzer şekilde alkalinite, tampon kapasitesini; ağır metal, potansiyel inhibisyonu; iletkenlik, iyonik kuvveti ve aktiviteyi; mikroorganizmalar, sağlığa zararlılık derecesini ve organik yükün giderim verimini; nitrat ve sülfatlar, oksidasyon derecesini belirler. Sızıntı sularının çeşitli stabilizasyon (ayrışma) fazlarındaki karakteri tabloda verilmiştir.

2.1.4.Şile Kömürcüoda Düzenli Depolama Alanı ve Sızıntı Suyu

İstanbul’da Büyükşehir Belediye sınırları içinde 30 civarı belediye bulunmaktadır. Göçler sebebi ile nüfus çok hızlı bir şekilde artmaktadır. En iyimser tahminlerle her yıl sabit bir nüfus artışı olacağı kabulü halinde dahi 2020 yılındaki nüfus 20 milyona yaklaşmaktadır.

Hem artan gelir düzeyi ve hem de çoğalan nüfusla birlikte İstanbul’da atılan katı atık miktarları da artmaktadır. Yıllar itibari ile İstanbul’un Asya ve Avrupa yakasında atılacağı tahmin edilen atık miktarları Tablo 2.3’de verilmiştir [21].

Tablo 2.3 : Yıllara göre katı atık miktarları [21]

Yıllar	Tahmin edilen katı atık miktarları (milyon ton)
1995	1.5
1997	3.1
2005	11.3
2000	5.9
2010	11.3
2015	24.5

Tablo 2.3’ de verilen bu değerler göz önüne alınırsa katı atık miktarlarında yıllara bağlı olarak ciddi bir artış söz konusudur. Ve bu artış sonucu oluşan katı atıklar çevreye zarar vermeden bertaraf edilmelidir.

Bu konuda geliştirilen bertaraf tekniklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

1. Geri Kazanma
2. Düzenli Depolama
3. Yakma
4. Kompost üretme
5. Isıl parçalama (piroliz)
6. Diğer metodlar

Katı atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi için uygulanan çeşitli yöntemlerden en ekonomik olan “Düzenli Depolama”dır.

Katı atıklar bu yöntemle düzensiz ve gelişigüzel yapılan vahşi depolama uygulanmasından farklı bir şekilde özel bir işleme tabi tutularak çevreye zarar vermeden düzenli bir şekilde bertaraf edilmektedir. Vahşi dökümden vazgeçilerek düzenli depo uygulamasına 1955 yılında başlanmıştır. Bu tarihten sonra vahşi döküm alanlar birer birer kapatılarak 1998 yılından itibaren katı atıkların tamamen hijyenik bir şekilde düzenli depolama yoluyla bertarafı uygulamasına geçilmiştir. İstanbul'da 1995 yılında düzenli depolama alanlarının işletmeye açılmasından sonra aşamalı olarak vahşi döküm uygulaması terkedilmiştir. Bugün İstanbul'da vahşi döküm yapılmamaktadır. İstanbul'daki düzenli depolama alanları Anadolu ve Avrupa yakasında ayrı oluşturulmuştur. Avrupa yakasındaki düzenli depolama alanı Odayeri / Göktürkte bulunmaktadır ki, 59 hektarlık bu alanın halen 25 hektarlık bölümü kullanılmaktadır. Günlük depolama miktarı 6000 tondur. Anadolu yakasındaki düzenli depolama alanı ise Kömürcüoda-Karakiraz köyü mevkiinde bulunmaktadır. 61 hektarlık alanın halen 20 hektarlık kısmı kullanılmaktadır ve günlük yaklaşık 3000 ton çöp depolanmaktadır [20].

Şile Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası İstanbul Anadolu yakasında 1995 Ocak ayından itibaren işletmeye açılmış ve çöpler buralarda hücreleme metoduyla sıhhi bir şekilde depolanmaya başlamıştır. İstanbul'da bulunan vahşi çöp sahaları ise rehabilite edilerek yeşil alan ve spor sahalarına çevrilmiştir.

Kömürcüoda'da bulunan depolama sahası yerinin yüzey yapısı tahrip edilmiş, kısmen veya tamamen terkedilmiş eski maden ocağı alanlarından seçilmiştir. Saha hafif eğimli bir vadide kurulmuş olup yer yer kil, kum, çakıl ve kömür içeren neogen tabakalarıyla kaplıdır.

Şile'deki düzenli depolama sahası, ilgili yönetmeliklerde belirtilen kriterler dikkate alınarak kademe kademe inşa edilmektedir. İnşa sahasının öncelikle nebati toğrağı temizlenip yer altı suyu (varsa) drenajı sağlanmaktadır. Bu drenaj kanalları aynı zamanda kontrol amaçlı kullanılmaktadır.

Çevre sularının girmemesi için gerekli tedbirler alınıp (hendek, dren vb.) uygun eğime (taban $\geq \%2$, kenarlar $\leq 1/3$) getirilen tabii zemin üzerine, iki ayrı kademe sıkıştırılmış permeabilitesi $k_f \geq 1.10^{-8}$ m/s olan 60 cm kil tabakası serilmektedir [9].

Kil tabakasından sonra saha, 2 mm kalınlığında HDPE folye ile kaplanmaktadır. Folye üzerine koruyucu bir tabaka (geotekstil, kum vb.) serildikten sonra sızıntı suyu drenaj tabakası oluşturulmaktadır. Drenaj tabakası, kalker oranı ve çapı uygun çakıl ile dren borularından oluşmaktadır. Hazır sahaya serilen ilk çöp tabakası takriben 1.5–2 m kalınlığında ve içerisinde geçirimsizlik tabakasına hasar verecek malzeme bulunmayan çöpten teşkil edilmektedir. Depolama sahalarında çöpler hücreleme metoduyla depolanmaktadır. Evsel katı atık dolgu alanı toplam 227 dönümlük geniş bir alan oluşturan 14 bitişik uzaklaştırma hücresinden oluşmaktadır. Bu 14 atık uzaklaştırma hücresinin her biri 10 dönümlük veya daha az aşamalar halinde atıkla doldurulmaktadır. Bu tabakalar yaklaşık 3.6 m kalınlığındadır ve dolgu çalışmalarının sürdüğü yüzeyin eğimi 3:1' dir. Sahaya getirilen çöpler dozerlerle 1/3 eğimde teşkil edilen hücre yüzeyine 50–60 cm kalınlıkta serildikten sonra kompaktörlerle sıkıştırılmaktadır. Oluşturulan hücrenin tabaka kalınlığı ise ortalama 5 m' dir. Dolgu yüzeyin genişliği 45 m' yi geçmemektedir.

Her günün sonunda hücre alanının dolgu yapılan bölümünün yüzeyi 20 cm kalınlığında toprakla örtülmektedir. Ayrıca 30 gün boyunca ilave atık boşaltılmayacak olanlarda atığın üstü en az 30 cm sıkıştırılmış toprakla örtülmelidir. Dolgu alanının birbirini takip eden bölümleri tamamlandıkça son örtü 10-20 dönümlük bölümler halinde serilmektedir.

Son örtünün yan eğimleri en fazla 4:1' dir ve düşey olarak her 6 m' de bir drenaj banketleri bulunmaktadır. Üst eğimle ise örtünün stabilitesini ve drenajını sağlamak için %5' ten büyük seçilmektedir.

Üst örtüde yukarıdan aşağıya doğru aşağıdaki tabakalar bulunmaktadır;

1. Bitkilerin yetişmesine uygun 15 cm kalınlığında üst toprak örtüsü.
2. 45 cm bitki yetişmesine destek tabakası.
3. Üst tabakalardaki ince malzemelerin aşağıya inmesini önleyen geotekstil.
4. Geçirgenliği 1.10^{-3} m/s' den büyük 15 cm kalınlığında drenaj tabakası.
5. Sızmalara karşı 60 cm kalınlığında kil tabakası.

Çöp doldurma ömrünü tamamlamış kademelerin (yan eğimler $\leq \frac{1}{4}$ ve üst eğimler % 5–15) üzeri tavan örtüsü ile kapatılıp gaz tahliyesi yapılmakta ve yeşil alana çevrilmektedir[9].

Oluşan sızıntı suyu toplanmakta ve arıtılarak tekrar kullanımı sağlanmaktadır. Kömürcüoda Depolama Tesisi sızıntı suyuna ait atıksuların kirlilik değerleri Tablo 2.4.'de verilmiştir [22].

Tablo 2.4 : Kömürcüoda Depolama Tesisi sızıntı suyuna ait atıksuların kirlilik değerleri [22]

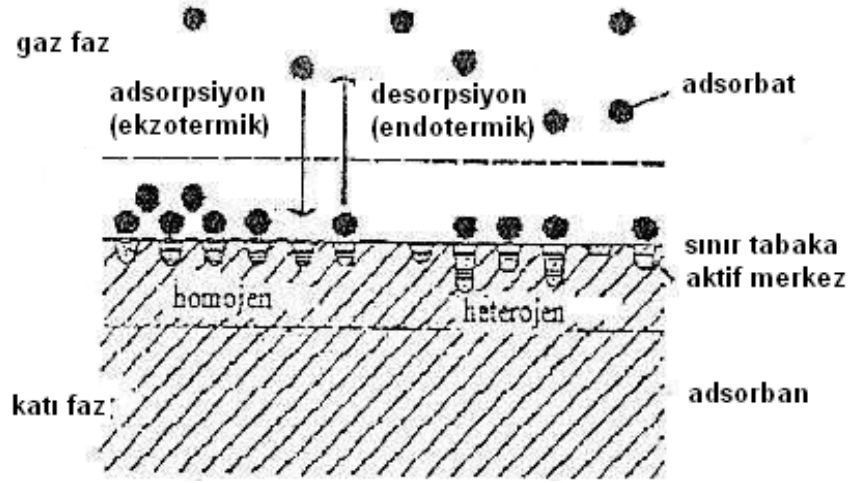
Parametre	Birim	Değer
Debi	m ³ /gün	1000
pH		5.6 - 6.5
KOI (max)	mg/L	25000
KOI Yüğü (max)	kg/gün	25000
BOİ ₅ (max)	mg/L	15000
BOİ ₅ Yüğü (max)	kg/gün	15000
Sıcaklık	°C	15 – 20
Toplam – P	mg/L	< 5
TKN (max)	mg/L	3500
AKM (max)	mg/L	600
Toplam Sertlik	mg CaCO ₃ /L	2000 – 2500
SO ₄ ⁻²	mg/L	200

Sonuç olarak ; kil, kimyasal olarak dolgu alanı ile uyumludur. Tipik kil taban örtüleri düşük geçirgenliğe sahip doğal haldeki topraklardan yapılır. Bu taban örtüleri daha sonra ağır toprak sıkıştırıcıları ile veya silindirlerle sıkıştırılarak yoğun, homojen bir toprak tabakası haline getirilir. Kömürcüoda katı atık depolama sahasındaki uygulamalarda, kil tabakasının kalınlığı genelde 60 cm, permeabilitesi evsel katı atıklar için $1.10^{-5} - 1.10^{-7}$ m/s arasında olmaktadır [9].

2.2. ADSORPSİYON

Adsorpsiyon, bir fazdaki bir tür (iyonlar, atomlar) derişiminin diğeri bir fazda veya iki faz arasındaki ara yüzeyde (sıvı-sıvı, gaz-sıvı, sıvı-katı gibi heterojen ve homojen fazlar) artması ya da yoğunlaşması olarak tanımlanabilir. Adsorpsiyon olayında ara yüzeyde tutulan maddeye adsorbat (adsorplanan), bu yüzeye sahip faza adsorban (adsorplayıcı) denir. Adsorbatın adsorpsiyon gerçekleştirmiş bu yüzeyden başka bir faza alınması/geçmesi adsorpsiyonun tersi bir süreç olan desorpsiyon olarak adlandırılır. Desorpsiyon olayı, kimyasal olarak adsorplanan

maddelerden daha çok fiziksel olarak adsorplanan maddeler için daha uygundur. Adsorpsiyon/desorpsiyon süreçleri Şekil 2.3’de şematik olarak özetlenmiştir.



Şekil2.3. Katı faz üzerinde adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemleri [23]

Sıvı–katı adsorpsiyonu içme suyu ve atık su arıtımında önemli rol oynar. Adsorpsiyon işlemi su ve atık su arıtımında aşağıdaki amaçlarla kullanılmaktadır[24]:

- İstenmeyen tat ve kokunun uzaklaştırılması,
- İnsektisit, bakterisit ve bunun gibi pestisitler biyolojik arıtma sistemlerinde girişim meydana getirebilirler ve arıtılmadan tesisten çıkarlar. Bu gibi maddelerin alıcı sulara gitmemesi için üçüncü arıtma olarak kullanılması,
- Küçük miktarda toksik bileşiklerin (fenol vb.) sudan uzaklaştırılması,
- Deterjan kalıntılarının sudan uzaklaştırılması,
- Endüstriyel atıklarda bulunan kalıcı organik maddelerin ve rengin giderilmesi,
- Nitro ve kloro bileşikleri gibi özel organik maddelerin uzaklaştırılması,
- TOK ve klor ihtiyacının azaltılması,
- Deklorizasyon amacıyla kullanılır.

2.2.1. Fiziksel Adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyon, yeni kimyasal bağların oluşumundan daha çok Van Der Waals bağları veya ikincil Valens kuvvetlerini içermektedir. Bu nedenle fiziksel adsorpsiyona, Van Der Waals Adsorpsiyonu da denmektedir.

Fiziksel adsorpsiyon tersinirdir, ancak fiziksel adsorpsiyonda, adsorplanan moleküllerin adsorban yüzeyinde hareket etmesi için belirli bir potansiyel engelini aşması gerekmektedir[25].

2.2.2. Kimyasal Adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyon, adsorban ile adsorbat arasındaki elektron aktarımıyla oluşan, aralarında kimyasal bağların olduğu adsorpsiyondur[26]. Kimyasal adsorpsiyon spesifiktir ve fiziksel adsorpsiyondakinden daha güçlü kuvvetler tarafından gerçekleşmektedir. Kimyasal adsorpsiyon işlemleri belirli bir aktivasyon enerjisi ile karakterize edilmekte; bu yüzden ancak belirli bir minimum sıcaklık üzerindeki sıcaklıklarda reaksiyon hızlı gerçekleşmektedir[27].

2.2.3. Biyolojik Adsorpsiyon

Bir taşıyıcı üzerindeki mikroorganizmalar tarafından çözeltideki anyon ve katyonların alıkonulması ve biyolojik degradasyonunun gerçekleşmesi biyolojik adsorpsiyon olarak tanımlanmaktadır. Biyolojik adsorpsiyonda, bir inert madde üzerinde mikroorganizmaların taşınmasına bağlı olarak fiziksel adsorpsiyon ve biyolojik degradasyon birlikte gerçekleşmektedir. Sıcaklık sınırı ve adsorpsiyon ısısı biyolojik adsorpsiyonu etkilemektedir. Bu yöntem de mikroorganizma türüne göre değişmektedir[25].

2.2.4. Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler

Adsorpsiyona etki eden faktörler şunlardır[28].

- Adsorbanın yüzey alanı
- Adsorbanın gözenek büyüklüğü
- Adsorbatın çözünürlüğü
- Adsorbatın molekül büyüklüğü
- Adsorbatın iyon yükü
- Çözeltinin pH değeri
- Sıcaklık
- Çözelti karışımları
- Yüzey gerilimi
- Basınç
- Adsorbatın diğer özellikleri

2.2.4.1. Adsorbanın Yüzey Alanı

Kimyasal bir reaksiyonda yüzey alanı büyüklüğünün reaksiyonu olumlu yönde artırdığı söylenebilir. Burada da adsorbanın yüzey alanının büyük olması demek, onun adsorbat ile temasının daha fazla olması demektir. Dolayısıyla adsorbanın yüzey alanı büyüdükçe adsorpsiyon da artar.

2.2.4.2. Adsorbanın Gözenek Büyüklüğü

Adsorpsiyondaki temel mantık adsorbatı, adsorban üzerine almaktır. Adsorbanın gözenek büyüklüğünün artması demek adsorbat moleküllerinin bu gözeneklere tutunabilme şanslarının artması yani adsorpsiyonun artması demektir.

2.2.4.3. Adsorbatın Çözünürlüğü

Bir çözeltideki maddenin adsorpsiyonu, çözünürlüğü ile ters orantılıdır. Çözücü-çözünen bağı ne kadar güçlü olursa, adsorbatı çözeltiden ayırmak zorlaşacağından (Lundelius kuralı) adsorpsiyon o kadar düşük olur.

2.2.4.4. Adsorbatın Molekül Büyüklüğü

Adsorpsiyon oranı parça içine difüzyon aşaması ile kontrollü bir süreçte, adsorpsiyon adsorbatın molekül kütlesi küçüldüğü oranda artan hızda gerçekleşir.

2.2.4.5. Adsorbatın İyon Yükü

Yükü adsorpsiyon yüzey yükü ile aynı olan iyonların adsorplanma miktarı elektrostatik etkileşim nedeniyle iyon yükü artıkça azalır.

2.2.4.6. Çözeltinin pH Değeri

Hidronyum ve hidroksil iyonları kuvvetle adsorbe olduklarından dolayı diğer iyonların adsorpsiyonu çözelti pH'ından etkilenir. Ayrıca asidik veya bazik bileşiklerin iyonizasyon derecesi de adsorpsiyonu etkilemektedir.

2.2.4.7. Sıcaklık

Adsorpsiyon işlemi genellikle ısı veren bir tepkime biçiminde gerçekleşmektedir. Bu nedenle azalan sıcaklık ile adsorpsiyon büyüklüğü artar. Açığa çıkan ısıнын genellikle fiziksel

adsorpsiyonda yoğuşma veya kristalizasyon ısıları mertebesinde, kimyasal adsorpsiyonda ise kimyasal reaksiyon ısısı mertebesinde olduğu bilinmektedir.

2.2.4.8. Yüzey Gerilimi

Adsorpsiyon, yüzey tepkimeleri ve bunlarla ilgili kuvvetlerle (faz sınırları ya da yüzey sınırları gibi) bağlantılıdır. Yüzey gerilimi azaltılabileceği ölçüde bu tip kuvvetlerin etkileri azaltılarak adsorpsiyonun daha kolay gerçekleşmesi sağlanabilir. Yüzey geriliminin azaltılmasıyla adsorpsiyon genişletmiş olacaktır. Gerilimi azaltmak için sıvı fazı oluşturan moleküller arası bağların koparılması ve bu moleküllerde diğer faz arasındaki bağların oluşması sağlanmalıdır.

2.2.4.9. Basınç

Gazların adsorpsiyonunda, adsorpsiyon miktarı artan basınçla doğru orantılı olarak artar. Çözeltilerden adsorpsiyonda da gazlardaki kadar etkin olmamasına karşın aynı kural geçerlidir.

2.2.4.10. Adsorbatın Diğer Özellikleri

Adsorbatın hidrofilik ya da hidrofobik olması da adsorpsiyonu etkiler. Suda çözünebilen (hidrofilik) bir madde, suda daha az çözünen (hidrofobik) diğer bir maddeye göre daha az adsorbe olacaktır. Buna ek olarak, çözeltideki moleküllerin lifobik (çözelti sevmeme) karakteri veya katıya olan yüksek ilgileri de adsorpsiyonu olumlu yönde etkiler.

2.2.5. Adsorbentlerin Özellikleri

İyi bir adsorbentin temel özelliği birim kütle başına geniş yüzey alanına sahip olmasıdır. Adsorbentler, zehirsiz, çevre için zararsız olmasının yanında ucuz ve kolay elde edilebilir olmalıdır. Suda çözünmeyen, kolayca geri kazanılan ve bilimsel olarak kullanılması kabul edilmiş maddeler adsorbent olarak seçilmelidir.

2.2.6. Adsorbent Çeşitleri

2.2.6.1. Doğal Adsorbentler

Doğal adsorbentler, kolay elde edilebilen, önlem gerektirmeyen ve üretimi kolay olan maddelerdir. Bu nedenle maliyeti az olduğundan çok tercih edilmektedir. Ancak her

materyale uygulanmaması doğal adsorbentlerin dezavantajıdır. Doğal adsorbentler aşağıdaki gibidir[29]:

- Perlit
- Kitosan
- Zeolit
- Selüloz
- Kil

Perlit mineralinin adsorbent olarak kullanımına yönelik bir kısım çalışmalar; sulu ortamdan ağır metallerin gideriminde perlit mineralinin potansiyel bir adsorbent olabileceği rapor edilmektedir. Bu çalışmaların dışında, yüzeyi çeşitli organosilikon bileşikleri ile modifiye edilmiş perlitin, petrol temelli kirleticiler, çeşitli organik maddeler ve yağları sudan uzaklaştırmak için etkili bir adsorbent olarak kullanılabileceği rapor.

Ağır metaller için etkin bir tutucu olması nedeniyle, kitosan araştırmalarda giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Ucuz adsorbentlere duyulan ihtiyaç, atık bertarafının fazlalaşan sorunları, sentetik reçinelerin artan fiyatları, kitosanı atıksu arıtımı için en etkili malzemelerden biri haline getirmiştir.

Doğal zeolitler, stronsiyum (Sr) ve sezyum (Cs) gibi istenmeyen ağır metallerin uzaklaştırılmasında iyon değiştirme özellikleri ile dikkat çekmişlerdir. Bu özellik zeolitleri atıksu arıtımında tercih edilir duruma getirmektedir. Ayrıca zeolitlerin piyasa değeri oldukça düşüktür. Yüksek sıcaklık, zeolitlerin koordinasyon alanlarında, metal iyonlarının daha verimli tutulmasını aktive eder.

Kil doğada bol miktarda bulunan minerallerdendir. Ancak saf kil bulmak oldukça zordur. Kilin içerisinde en çok kalker, silis, mika, demir oksit bulunur. Genellikle 0,002mm'den daha küçük taneli malzemeye kil adı verilmektedir. Kil sarımtırak, kırmızımtırak, koyu kahverengi gibi renklerde bulunur. Kilin yapısı itibarıyla su çekme özelliği vardır. Bu nedenle kil daima nemlidir. Kili meydana getiren maddeler sulu alüminyum silikatlardır. $m \text{ Al}_2\text{O}_3$, $n \text{ SiO}_2$, $p \text{ H}_2\text{O}$ genel kimyasal bileşim formülü ile ifade edilen kil, çok saf olduğu zaman hidrate Alümin Silikat (kaolinit) adını alır. Kaolinit'in kimyasal formülü, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dur. Killerin ağır

metal giderimindeki etkinliğine rağmen zeolitler daha kolay bulunabilir ve daha ucuzdurlar[30].

2.2.6.2. Yapay Adsorbentler

Yapay adsorbentler, fabrikalarda özel olarak üretilmektedir ve üretimleri zor olan maddelerdir. Bu nedenle maliyeti yüksektir. Zehirli ve sağlığa zararlı olabilmektedir ve bu nedenle dikkat edilmesi gerekmektedir. Yapay adsorbentler aşağıdaki gibidir[29]:

- Endüstriyel atıklar
- Tarımsal atıklar
- Aktif karbon
- Aktif Alumina
- Reçine

2.3. KOMPAKSİYON, PERMEABİLİTE VE KONSOLİDASYON

2.3.1.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 sıkılaşmanın 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 itki kuvvetleri ortaya çıkmaktadır [31].

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 [31].

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 muhtevassından 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 muhtevassından 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 doymuş zemine göre (kuru ve suya doymuş durumda kapiler gerilmeler olması nedeni ile) daha zor olmaktadır [31].

2.3.1.1. Zeminlerin Kompaksiyonuna Etki Eden Faktörler

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

Zeminlerin kompaksiyon derecesi, belirli bir sıkıştırma derecesi altında laboratuvarında 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 doymuş halde iken artan su miktarı zemin danelerini itererek doymuş su hacmini de arttırmakta ve dolayısıyla zeminin yoğunluğuna 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 2.4.' de özetlenmiştir. Kohezyonlu zeminler optimum su muhtevası den 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 [31].

Tablo 2.5 : İnce malzemenin etkisi [32]

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
	- Değişken yoğunluk	- Yoğunluk artar	- Yoğunluk düşer
	- Geçirgen	- Pratik olarak geçirgen	- Geçirgen değil
	- Yüksek stabilite	- Kohezyonla artan	- Düşük stabilite
	- Çok zor sıkışır	- Orta derecede sıkışır	- Kolay sıkışır
	- Dona duyarsız	- Dona duyarlı	- Dona çok duyarlı
	- Sudan etkilenmez	- Dona duyarsız	- Sudan fazla etkilenir

2.3.1.2. 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 arttırılırken 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 arttırırlar.

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.

Buradan da anlaşılacağı gibi 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 [32].

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 [32].

Tablo 2.6 : Standart ve Modifiye Proktor Deneylerinin Karşılaştırılması [32]

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;

$$\rho_k = \frac{\rho_w S}{\omega + \frac{\rho_w S}{\rho_s}} \quad (2.1)$$

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 muhtevasındaki 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.

Laboratuvar 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 laboratuvar 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 [32].

2.3.2. Permeabilite (Zeminlerin Geçirirliiği)

Zemin kütleleri içinde meydana gelen su akımlarının bilinmesi zemin mekaniğinin önemli konularından bir tanesidir. Suyun zemin kütlesi içindeki boşluklarda hareket etmesi (akması) olayının ölçülmesi geçirirlilik (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 geçirirliliği, toprak dolgularda stabilite analizlerinin yapılması ve dayanma duvarlarına gelen akım kuvvetlerinin belirlenmesi gibi durumlarda zemine ait geçirirliliğin binmesi gerekmektedir.

2.3.2.1. 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 getirişlerindendir. 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.

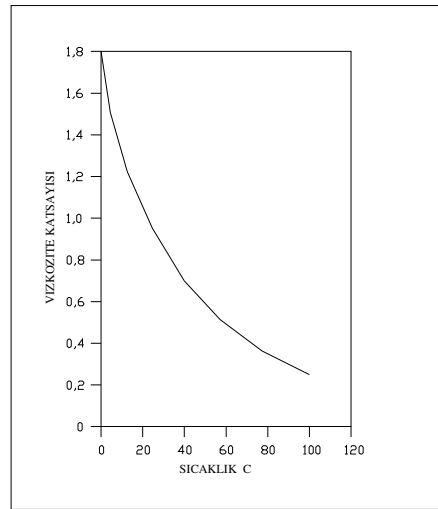
Permeabiliteye etkili olan ikinci faktör zemin içerisinde hareket eden sıvının özel ağırlığı, viskozitesidir. Bilhassa viskozite gözenekler arasından geçen suyun hızına ve miktarına daha fazla etki etmektedir. Bu bakımdan hidrolik iletkenlik değerlerinin tayini çalışmalarında laboratuvar ve arazi şartlarında 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 icap eder 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 2.4.' de bu değerler ordinat ekseninde centipoise olarak gösterilmiştir. Aşağıda sıcaklık derecelerine göre yapılabilecek olan düzeltmelerde kullanılan bir grafik verilmiştir (Şekil 2.4.).

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.

Deneylerde 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 deneylerde mümkün olduğunca havasız su veya damıtık su kullanılmalıdır. Zemin içerisinde havanın etkilerini ortadan kaldırmak için alınabilecek bir diğer tedbirde , suyun, ısıtılınca içindeki havanın bir kısmını kaybetmesi, soğutulunca da içinde bulunduğu ortamdan hava alması prensibine dayanarak deneylerde 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 diğer faktörlerin teker teker etüd edilmelerine imkan olmadığı için, permeabilite değerleri doğal şartlarına en uygun bir ortamda doğrudan doğruya bulunan ölçmelerle bulunmalıdır[32].



Şekil2.4. Viskozite katsayısının sıcaklıkla değişimi

2.3.2.1.1. Permeabiliteye zemin boşluk oranının etkisi

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

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

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

2.3.2.1.2. Permeabiliteye yoğrulmanın etkisi

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

$$1 < K/K_y < 2$$

K_y = yoğrulmuş halde permeabilite katsayısıdır.

2.3.2.1.3. 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.

2.3.2.2. Permeabilite Deneyleri

H.Darcy (1856), Dijon (Fransa) kasabasındaki 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 geçirimlilik (permeabilite) katsayısı (k) tanımlamıştır. Bu tanıma göre; geçirimlilik (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;

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

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 = i ki nokta arası mesafe (m.sn.vb.)

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

$$\begin{aligned} v \cdot A &= k \cdot i \cdot A \\ q &= k \cdot i \cdot A \end{aligned} \quad (2.4)$$

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

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

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

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 katsayı arazide zemine su pompalayarak veya zeminden su çekilerek ölçülebilmesine rağmen zeminin iri olması durumunda başarılı sonuçlar alınamamaktadır.

Zeminlerin geçirimsizliğini (permeabilitesini) laboratuarda ölçmek için kullanılan aygıt 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.

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

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 bağlı olarak azalmaktadır. Zemin içerisinden akan suyun debisi (q) yukardaki (2.5) nolu eşitliklerden hesaplanabilir ;

$$q = k \cdot i \cdot A$$

Zemin içindeki akımın hızı şu şekilde hesaplanır;

$$v = \frac{-dH}{dt} \quad (2.8)$$

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

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

olur.

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

$$q_s = k \cdot i \cdot A = v \cdot A \quad \text{veya} \quad (2.10)$$

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

olur.

Sonra;

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

olacağından;

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

yazılabilir. (2.12) no'lu eşitliğin düzenlenmesiyle,

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

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;

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

Buradan;

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

bulunur.

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

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

$$k = \frac{a \cdot L}{A} \ln(H_0/H_1) \quad (2.17)$$

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 yöndekinden 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 2.7 : Geçirimsizlik Değerlerinin Tipik Değerleri

Zemin Cinsi	Geçirimsizlik Katsayısı k (cm/sn)
İri çakıl	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 içerisinde 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;

$$k_{20} = k_T \cdot \mu_T / \mu_{20} \quad (2.18)$$

burada;

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

μ_T = T °C sıcaklığındaki suyun viskozitesi

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

Geçirimsizlik katsayısı (k), boşluk oranında bir fonksiyonudur. 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.

2.3.3. Konsolidasyon

2.3.3.1. Konsolidasyon Oturmaları

Yükleme veya gerilmeye maruz kalan zeminler şekil değiştirirler. Bazı zeminlerde bu deformasyonların meydana gelmesi kısa sürerken bazı zeminlerde ise bu süreç çok daha uzun zaman almaktadır. Killer bu tür zeminlere örnek olarak gösterilebilirler.

Gerilme-birim deformasyon ilişkisinin en basit türü elastik malzemelerdeki şeklidir. Gerilme-birim deformasyon ilişkisinde zamanı bir faktör olarak içeren malzemeler viskoelastik malzemelerdir. Zeminler mekanik davranış açısından viskoz özellik göstermekle birlikte zeminde elastik davranış çok dar bir deformasyon aralığında oluşur. Zeminlerin doğrusal olmayan malzemeler olması sebebiyle visko-elastite teorisi değil elastik viskoplastik davranış özellikleri zemin için uygun tanımlamayı içerir. Zeminler gerilmeye maruz kaldığında şekil değişikliğine uğrar ve elastik davranış bölgesi geçildikten sonra gerilmenin kalkması durumunda deformasyonların önemli bir kısmı geri dönmeyecektir ve kalıcı deformasyon olarak zemin dokusunda değişime sebep olacaktır. Deformasyonlar şekil değişikliği veya hacim değişikliği ya da her ikisinin birleşmesiyle meydana gelir [33].

2.3.3.2. Oturmanın Bileşenleri

Bir zemin ortamı bir yapı veya dolgu ile yüklemeye maruz kaldığı zaman deformasyonlar oluşur. Yüzeyde yüklemekten kaynaklanan hacim azalmasının yapı üzerinde düşey yöndeki etkisi oturma şeklindedir. Artan yükleme durumunda hareketin yönü aşağı veya yük azalması halinde yukarı (şişme) olabilir.

Mühendislik yapılarının temel tasarımında oturmanın hızı da oturma miktarı kadar önemlidir. Özellikle aşırı oturmalar, oturmanın hızlı olduğu durumlarda ve oturma hızlı olmasa bile farklı oturmalar yapısal ve/veya yapısal olmayan hasarlara yol açabilir. Yüklemeye maruz kalan bir zemindeki toplam oturmanın üç bileşeni vardır. Bu bileşenler:

$$S_t = S_i + S_c + S_s \quad (2.21)$$

şeklindedir.

Zeminlerde toplam oturma iki şekilde gerçekleşir:

- Ani oturma
- Konsolidasyon oturması

Ani oturma; hızlıca gerçekleşen oturma şeklidir. Yükleme yapıldıktan saatler veya günler sonra oturma gerçekleşir. Konsolidasyon oturması ise; zamana bağlı oturmadır ve doymuş veya yarı doymuş silt veya killerde gerçekleşir. Bu tür zeminlerin permeabilitesi düşük olduğundan oturma yavaş gerçekleşir. Konsolidasyon oturmasının tamamlanması yıllarca sürebilir.

Konsolidasyon oturması birincil ve ikincil konsolidasyon olmak üzere ikiye ayrılır. Birincil konsolidasyon ikincil konsolidasyona göre daha büyüktür ve daha hızlı gerçekleşir. İkincil konsolidasyon sonucunda ise zeminde plastik şekil değiştirme ve karmaşık kimyasal yapılar oluşur.

Uygulamada karşılaşılan pek çok durumda kumlardaki sıkışma henüz inşaat devam ederken meydana gelir ve oturmaların çoğu inşaat bitene kadar gerçekleşmiş olur. Ancak, bu hızlı işleminden dolayı, iri taneli malzemede çok küçük toplam oturmalar bile özellikle çabuk oturmaya duyarlı yapılarda zararlı olabilmektedir. İri taneli zeminlerdeki oturma aslında elastik olmamakla birlikte zaman etkisini hesaba katmamak için 2.21 eşitliğindeki S_c ve S_s ihmal edilerek hesaplanabilmektedir. Ancak kil gibi ince daneli malzemelerde bu durum söz konusu değildir. Zeminin oturması, zamana bağlıdır ve zeminin permeabilite katsayısına bağlı olarak çok uzun zaman alabilir.

İlave boşluk suyu basıncı değeri zemin dokusunun tanelerin birbirine değmesinden kaynaklanan mukavemetini (gerilmesini) aşarsa kısmi göçme oluşur ve ilerleyerek genel göçmeye yol açabilir. Göçme olmasa bile ilave boşluk suyu basınçları zemin içindeki efektif gerilmeyi azaltacak yönde etki eder [34].

2.3.3.3. Jeolojik Geçmişin Sıkışabilirliğe Etkisi

Zeminler jeolojik oluşumlardır. Bu nedenle özelliklerinin jeolojik olaylardan etkilenmesi beklenir. Buna en canlı örnek fiziksel ve mineralojik yapıları farksız olan iki kilin çok farklı

sıkışabilirlik gösterebilmeleridir. Öte yandan, killer de diğer malzemeler gibi zaman içinde özelliklerini değiştirirler. Bu olaya 'yaşlanma' denmektedir.

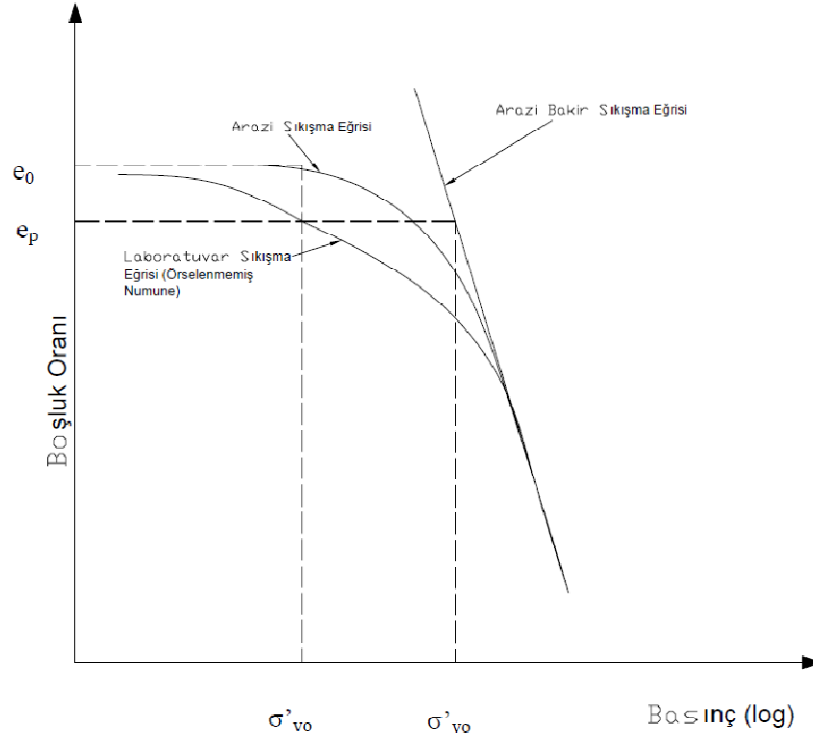
2.3.3.3.1. Normal Konsolide Killer

Oluşumundan bu yana bugün almakta olduğu efektif gerilmeden (σ_0) fazla gerilme almamış killere "normal konsolide kil" denir. Eğer beklendiği gibi çökme sonrası özkütlesinin etkisi altında beliren ilave boşluk suyu basınçları tamamen sönümlenmişse bu tür killer için “tamamen konsolide olmuş” terimi de eşanlamlı olarak kullanılmaktadır. Normal konsolide killerin doğal su muhtevası çoğunlukla likit limit dolayında bulunur. Bir başka ifade ile Likitlik indisi $I_L \sim 1$ dolayındadır.

Normal konsolide killer, günlük dilde 'balçık' olarak anılan çökellerdir. Su muhtevasının yüksekliğinin doğal sonucu yüksek boşluk oranı gösteren killere “yumuşak kil” de denmektedir. Yumuşak killerin yapıları ve davranışları çökeldikleri ortamın özelliklerine, yaşlanma çimentolanma ve aldıkları yıkanma etkilerine bağlıdır [33].

2.3.3.3.2. Aşırı Konsolide Killer

'Aşırı Konsolide Olmuş' veya 'Önceden Yüklenmiş' killer oluşumu sırasında veya daha sonra, bugün almakta olduğu gerilmeden daha yüksek gerilmeler almış killerdir. Bunun sonucu katı veya sert kıvam kazanmışlardır. Türkiye’de karşılaşılan killerin önemli bölümü aşağıda sıralanan nedenlerden biri veya birkaçı sonucu aşırı konsolide olmuşlardır. Önceden konsolide kil, ön konsolidasyon basıncına ulaşılan kadar alacağı yükler altında normal konsolide kile göre çok daha düşük sıkışmalar gösterecektir. Ancak aşırı konsolide kil üzerine uygulana yük kilin geçmişte karşılaştığı en büyük basıncı tanımlayan ön konsolidasyon basıncı değerine ulaşıncı zemin artık normal konsolide hale gelir ve gerilme sıkışma ilişkisi değişir. Bunun sonucu olarak bu gerilme değerinden itibaren uygulanan ilave gerilme artışları daha büyük sıkışma artışlarına sebep olacaktır.



Şekil2.5. Aşırı konsolide bir kilin sıkışma eğrisi [35]

2.3.3.3.3. Aşırı Konsolidasyonun Nedenleri

Aşırı konsolidasyonu oluşturan birkaç önemli neden vardır. Bunlar ortamda toplam basınç veya boşluk suyu basınçlarında meydana gelen değişimler sonucu efektif gerilmenin düşmesini sağlayan doğal ve yapay olaylardır. Bu olaylar şöyle sıralanabilir:

- Üstteki katmanların aşınma, faylanma ile ortadan kalkması; eskiden mevcut olup şimdi bulunmayan yapıların etkisi veya şimdi kalkmış buzul yükleri etkisiyle toplam gerilme değişimleri ($\Delta\sigma$)
- Yeraltı su seviyesindeki değişimler, artezyen basınçları; yüzeyden kuruma; bitki kökleri etkisi ile su kaybı; kılcallık nedeniyle boşluk suyu basıncında değişimler (Δu_w)
- Yaşlanma sonucu kil yapısında değişme;
- Ortam sıcaklığı, pH'sı, tuzluluk gibi çevresel koşullarında değişim;
- Ayrışma-yıpranma, çökelme, çimentolama, iyon değişimi gibi kimyasal değişiklikler.

Tüm bu nedenlerle killeri, hatta kumların, ön yükleme gerilmesi ya da aşırı konsolidasyon basıncının gerçek değerinin bulunması önem taşımaktadır [33].

2.3.3.3.4. Yaşlanmanın Aşırı Konsolidasyona Etkisi

Araştırmalar, yaşlanmanın ikincil konsolidasyon olayı sonucu etkin olduğunu göstermektedir. Kil oluşumundan sonra dengeye gelip bir başka aşamada, örneğin aşınma (erozyon) etkisi ile denge gerilmesi 10000 yıl boyunca σ_i iken bugünkü σ_0 'a düşmüşse bu kil aşırı konsolide olmuş sayılmaktadır. Buradan çıkarılacak sonuç kilin ön konsolidasyon basıncının sadece basit katman kaybı değil, yaşlanmadan da önemli ölçüde etkilendiğidir. Daha da anlamlısı, yumuşak killerde de sıkışmaların bakır eğri boyunca hesaplanması sırasında yaşlanmadan kaynaklanan ön konsolidasyon etkisinin ihmal edilemeyecek düzeylere çıkmış olabileceğidir. Bu nedenle kilin jeolojik yaşı ihmal edilemez [33].

2.3.3.3.5. Konsolide Olmamış Killer

Uygulamada karşılaşılabilecek en problemlili zeminler, oluşumundan bu yana dengeye gelmemiş, bir başka deyişle özkütlesi altında dahi konsolidasyonunu tamamlamamış olan killerdir. Bu yeni çökelmiş (yaşı 100 -103 yıl) veya yapay depolanmış ortamlarda boşluk suyu basınçları henüz sönmemiş olduğundan ek gerilme aldıklarında göçme riski veya oluşan ilave boşluk suyu basıncı Δu , hidrostatik değerlerin çok üstüne çıkacağından ciddi oturma problemleri belirlemektedir. Bu grupta yer alan insan yapısı hidrolik dolgular ve hafriyat atıkları da temel ortama tehlikeli özellikler taşırlar. Türkiye'de bu killere en canlı örnek Haliç'in kıyılarıdır.

Konsolide olmamış kilin sıkışması gerilme artışının getirdiği ve kilin sürmekte olan konsolidasyondan gelen bileşenlerin toplamı olarak hesaplanmalıdır [33].

2.3.3.4. Konsolidasyon Deneyi

2.3.3.4.1. Sıkışabilirliğin Ödometre'de Ölçümü

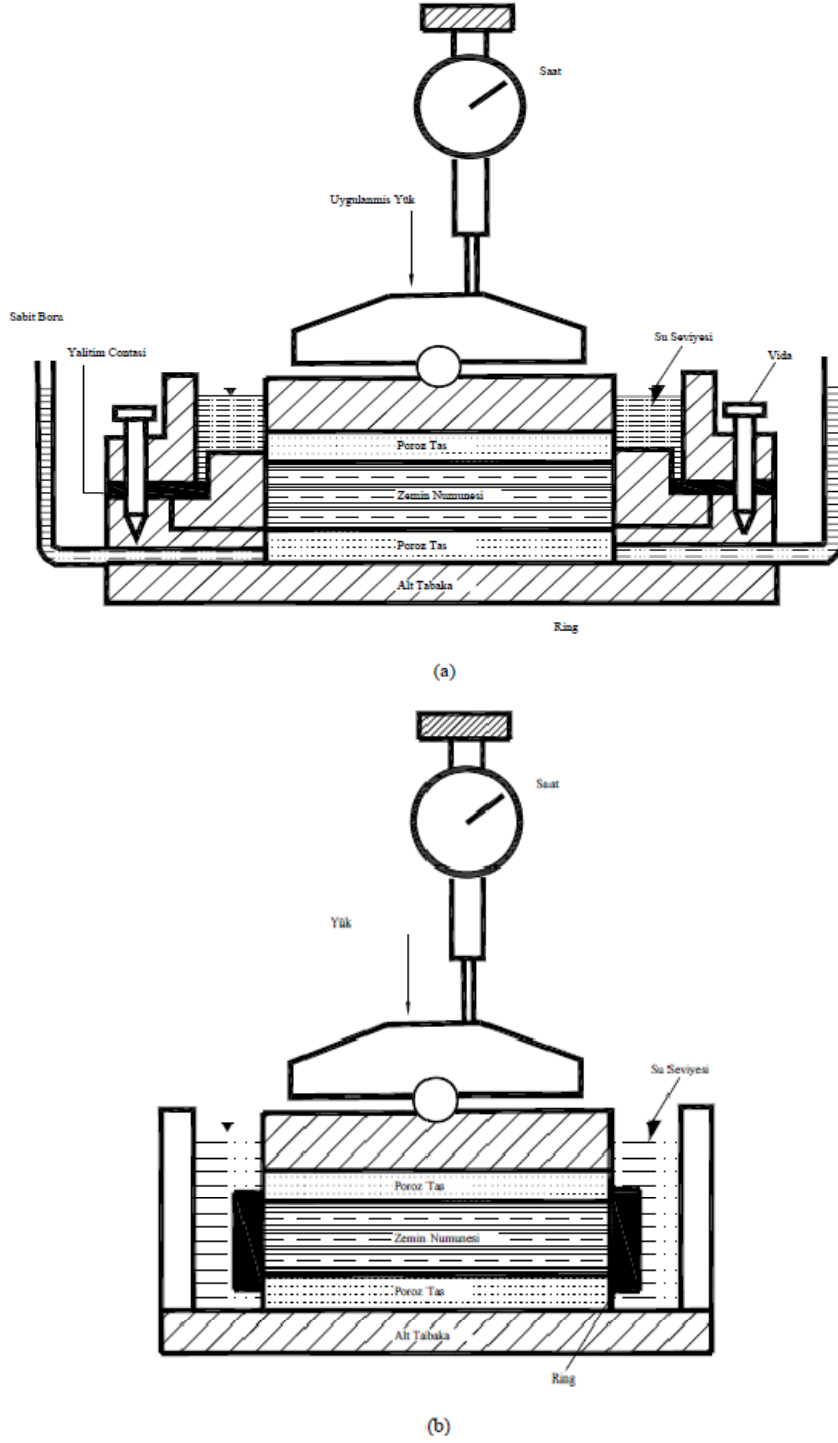
Ödometre zeminin sıkışma miktarı ve hızını bulan bir ölçüm aletidir. İlk kez 1920'lerde Terzaghi tarafından tasarlanmış olup günümüzde çok az bir değişikliklerle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alette sıkışabilirliği ölçülecek zeminden sondajla olabildiğince örselenmeden alınmış numuneye; yapılmış kabullere uygun koşullar sağlanmaktadır. Sondaj tipinden çıkartılan numune şişme veya göçmesine meydan verilmeden çelik konsolidasyon halkasına yerleştirilir ve deney sonuna kadar su altında tutulur. Yükleme standart sıra ve

sürelerde yapılırken numunenin gösterdiği sıkışmalar zamana bağlı olarak en az 0.002mm duyarlılıkta mikrometre saati veya transdüserle otomatik olarak izlenir. Şekil2.6.'da kullanılan iki tip ödometre gösterilmektedir "yüzen halkalı ödometre" de geçirimli tabakayı temsil eden gözenekli taşlar numune yüklendikçe üst ve alttan halkanın içine girebilmektedirler. "Sabit halkalı ödometre" de ise sıkışma sadece üstteki gözenekli taşın hareketi ile sağlanmaktadır.

Ödometrede çelik halka yanal deformasyonu önlediğinden sıkışmanın arazideki durumu yansıtan K_0 koşullarında gerçekleştiği kabul edilmektedir. Ancak burada belirtilen en önemli sorun çap/yükseklik oranı 4 dolayında tutulan numunenin halkayla olan yanal sürtünmesidir. Bunu önlemek amacıyla halka teflonla kaplanabilirse de sürtünme etkisi tümüyle giderilememektedir. Yüzen halkalı ödometrenin bu etkiyi minimuma indirdiği kanısı yaygındır.

Numune ödometreye yerleştirildikten sonra şişmesi varsa, yükleme plakasına uygulanan mekanik veya hidrolik yüklerle önlenir ve su içinde dengeye ulaşmasına izin verilir. Sonra 25 kPa'dan başlayarak 24 saat aralıklı ve 2 katlık gerilme artışlarıyla 3200 kPa' a kadar yüklenir Bu sırada zamana karşı boy kısaltmaları kaydedilmektedir. Yüklemenin aşamalı olarak yapılması nedeniyle ödometre deneyi "basamaklı yükleme" tip olarak da (linear incremental loading = LIR) nitelendirilmektedir.

Yükleme sırasında genellikle bir veya fazla boşaltma-yeniden yükleme işlemi yapılarak C_r 'nin de bulunması sağlanır. Boşaltma, erişilen son basınç kademesinin 1/8' i veya daha azına yapılmalıdır. Sonuçta her gerilme aralığı $\Delta\sigma$ için zaman (t)-sıkışma (δ) okumaları elde edilerek $\delta - \log t$ veya $\delta - \sqrt{t}$ grafikleri çizilir ve hesaplamaya geçilir.



Şekil2.6. Ödometre tipleri a) yüzen halkalı b) sabit halkalı

2.3.3.4.2. Ödometre Deneyinde Karşılaşılan Sorunlar

Yukarıda da ele alındığı gibi deneyin en olumsuz yanı numunenin konsolidasyon halkası ile beliren kenar sürtünmesi sonucu burada oluşan kesme gerilmesinin bir boyutlu olması istenen

uniform birim boy kışalmasını önlemesi böylece üst yüzeye uygulanan gerilmenin tümünün numunenin altına ulaşmamasıdır. Bunun yanında deneyde şu güçlükler de belirmektedir:

- Araziden numune alınması sırasında oluşan örselenmeler sonucu sıkışabilirliğin gerçek değerinden yüksek belirlenmesi
- Yükleme aralığının 24 saat süreyle kısıtlanması
- Deney başlamadan önce her zaman %100 doygunluğa getirilememesi bunun sonucu ölçülen ancak gerçekte olmayan sıkışmalar
- Çelik başlığın numuneye tam değmemesi sonucu başlangıçta ölçülen aşırı sıkışmalar [33].

2.4. AĞIR METALLER

Ağır metaller fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak tanımlanabilirler. Atom numaraları demir elementinden büyük olan ve spesifik yoğunlukları 5g/cm^3 'ün üzerinde olan kimyasal elementler ağır metaller olarak isimlendirilirler [36,37]. Bu metaller periyodik tabloda IIA, IIIB, IVB, VB, VIB grup metalleri oluşturmaktadırlar [37]. Bir elementin metal olarak tanımlanabilmesi için;

- elektriği iletmesi,
- termal iletkenliğinin yüksek olması,
- yoğunluğunun yüksek olması,
- genleşebilme ve uzama karakteristiğine sahip olması, gerekmektedir [36].

Metaller tür ve konsantrasyona bağlı olarak tehlikeli toksik etkiye sahiptirler. Eser miktarda bile zararlı olabilen bu maddeler arasında Pb, Sb, Ag, As, Be, Cd, Cr, Cu, Mn, Hg, Ni, Fe, Se, U, V ve Zn gibi elementler vardır. Metaller tamamen dolmamış “d” yörüngelerinden ötürü çok kolay reaksiyona girerler.

Metal kirliliği toksik etkileri ve dolaylı da olsa besin zincirine katılmalarıyla oluşan etkileri açısından önemli bir çevre ve sağlık sorunudur [6,10]. “Özellikle Cd, Hg, Cr, ve Pb gibi metaller besin zinciriyle girdikleri canlı bünyesinden doğal fizyolojik yollarla atılamadıklarından bünyede birikir ve belirli sınır konsantrasyonlarının geçilmesi halinde toksik etki yaparlar. Bu birikim sonucunda canlı ölebilir hatta bu canlıyla beslenen bir insanın sağlığı ve hayatı tehlikeye girebilir” [38].

Bu nedenle bu çalışmada giderim verimi incelenen Fe, Mn, Pb, Cu, Zn ve Cd elementleri daha ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

2.4.1. Demir

Gümüşümsü beyaz renkli demir, parlak, genleşebilen ve uzayabilen, pirit (FeS_2), hematit (Fe_2O_3), limonit ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), magnetit (Fe_3O_4) gibi bileşikler halinde doğada bulunan bir elementtir. Periyodik tabloda VIII. grup elementidir. Kimyasal olarak oldukça aktif bir element olan demir ve en önemli demir bileşikleri Demir (II) ve Demir (III) formlarının bileşikleridir. Çözünmüş demir, asidik, nötral ve oksijenli ortamlarda genelde $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ (sulu çözeltide) formunda bulunur. Oksijence fakir ortamlarda ise Fe^{+2} oluşmaktadır [39]. Demirin özellikleri Tablo 2.7’de verilmiştir.

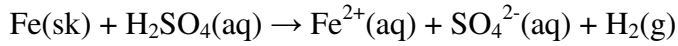
Tablo 2.8 : Demirin Özellikleri [39]

İsim	Demir
Sembol	Fe
Atom Numarası	26
Atom Ağırlığı	55.845 (2) g
Yoğunluğu	7.86 g.cm ⁻³ (20°C)
Grup Numarası	8
Periyot Numarası	4
Bulunduğu Blok	d
Standart Koşullardaki Durumu	298 K’da katı
Kaynama Noktası	2885 °C
Ergime Noktası	1536 °C
Renk	Parlak, hafif yeşilimsi, metalik
Sınıflandırma	Metal

2.4.1.1. Asit ve Baz İle Reaksiyonları

- **Asit ile Reaksiyonu**

“Seyreltik sülfürik asit çözeltisi ile reaksiyonu sonucunda Fe^{+2} katyonu çözeltiye geçer. Pratikte bu Fe(II) katyonu $[\text{Fe}(\text{OH}_2)_6]^{2+}$ kompleksidir. Eğer ortamda oksijen varsa Fe(II), Fe(II)’ e yükseltgenir” [40].



- **Baz ile Reaksiyonu**

Kuvvetli bazik çözeltelerde kararlı $(\text{FeO}_4)^{2-}$ kompleksleri oluşturur. Bu kompleks nötral ve asidik ortamda bozunur [40].

2.4.1.2. Kullanım Alanları

Demir çok çeşitli ve yaygın kullanım alanına sahiptir. Bunlar genellenecek olursa 5 ana başlık altında toplanabilir. Demir;

- Çelik sanayinin ana hammaddesi olarak,
- İnsan ve hayvan yaşamının en önemli parçası olan hemoglobinin yapısında,
- Demir oksitleri boya endüstrisinde pigment olarak,
- Saf halde demir karbon ve diğer metallerle alaşımları halinde,
- İnşaatlarda beton, kiriş ve yüzeylerin güçlendirilmesinde,

kullanılır [40].

2.4.1.3. İnsanlara ve Çevreye Etkileri

Demir eksikliği anemiye yol açar [38]. “Fakat demirin fazlası insanlar için zehirleyicidir, çünkü aşırı miktarda alınan iki değerli demir (ferros demir) vücuttaki peroksitlerle reaksiyona girerek serbest radikaller yapar. İnsan vücudu demirin emilimini çok sıkı kontrol eden bir mekanizmaya sahipse de vücuttan atılmasına ilişkin fizyolojik bir yetisi yoktur. Dolayısıyla, alınan aşırı miktardaki demir, sindirim sisteminin tüm bölgelerindeki hücrelere zarar verebilir ve kan dolaşım sistemine girebilir. Kan dolaşımına giren demir, kalp, karaciğer (haemochromatosis) ve diğer organların hücrelerine de zarar vermeye baslar ve bu da, uzun süreli organ hasarları veya aşırı dozdan ölümlere kadar gidebilir. İnsanlarda demir

zehirlenmesinin başlangıç değeri; vücut ağırlığının kilogramı başına alınacak 20 miligram demirdir. Kilogram başına 60 miligram demir, öldürücü dozdur” [41].

Demir (III)-O-arsenit çevresel açıdan tehlike oluşturmaktadır ve Demir (III)-O-arsenit’in kalıcılık özelliği nedeniyle doğaya serbestçe bırakılmaması gerekmektedir [39].

2.4.2. Mangan

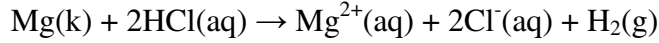
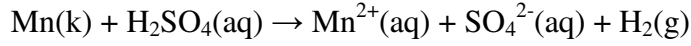
Manganez, çeşitli tipte kayalarda doğal olarak meydana gelen elementlerden biridir. Saf mangan kırılkan ve gümüş renklidir. Doğada saf olarak bulunmayan mangan; sülfürler, oksitler, karbonatlar, silikatlar, fosfatlar, boratlar gibi yüzden fazla mineralin bileşeninden biridir. En önemli mangan bileşikler mangan klorür ($MnCl_2$), mangan sülfat ($MnSO_4$), mangan tetraoksit (Mn_3O_4), mangan dioksit (MnO_2) ve potasyum permanganattır ($KMnO_4$) [42]. Manganın özellikleri Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.9 : Manganın Özellikleri [42]

İsim	Mangan
Sembol	Mn
Atom Numarası	25
Atom Ağırlığı	54.938 (2) g
Yoğunluğu	7.43 g.cm ⁻³
Grup Numarası	7
Periyot Numarası	4
Bulunduğu Blok	d
Standart Koşullardaki Durumu	298 K’da katı
Kaynama Noktası	2097 °C
Ergime Noktası	1245 °C
Renk	Gümüş renkli
Sınıflandırma	Metal

2.4.2.1. Asit İle Reaksiyonları

Mangan metalinin seyreltik sülfürik asit çözeltisi sonucunda sulu Mn(II) çözeltisi elde edilir. Aynı zamanda açığa hidrojen gazı çıkar. Mn(II) iyonu çözeltide $[Mn(OH_2)_6]^{+2}$ halindedir [42].



2.4.2.2. Kullanım Alanları

Mangan yoğun bir şekilde; metalurjide, kuru hücre pillerinde, fungusit olarak (MANEB), camlarda, seramiklerde, boyalarda, pigmentlerde, toprak ve gıda katkı maddelerinde ve tıpta yüzyıllardır veya daha fazla bir süredir yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Manganın % 90'ından daha fazlası demir ve çelik yapımında ve demirsiliko mangan alaşımlarında kullanılır. Diğer kullanım alanları ise korozyonu azaltmak için bakır veya alüminyum alaşımı şeklinde, permanganat ile olan alaşımlarında ise kimyasal endüstrilerde oksidasyon reaksiyonlarında kullanılır [43].

2.4.2.3. İnsanlara ve Çevreye Etkileri

Mangan insanlar ve hayvanlar için oldukça gerekli bir eser elementtir. Doku ve kemiklerin oluşumunda, karbonhidrat ve lipid metabolizmasında, iç kulak gelişiminde, üreme fonksiyonlarında gerekli bir eser elementtir. İnsan vücudu toplam 15-20 mg mangan içerir, bunun çoğu kemiklerde, geriye kalan ise böbrekler, akciğer, pankreas, hipofiz bezlerinde toplamıştır [44].

Bakterilerde yüksek dozdaki mangan, DNA replikasyonunu ve onarımını etkilemektedir. AMES testinde özellikle manganın sorumlu olmadığı görülmesine rağmen mikroorganizma ve memeli hücrelerinde mangan DNA zararlarına ve kromozom kırılmalarına neden olur. Yüksek oranda mangan memelilerde verimliliği etkiler ve embriyo ve fetüs üzerinde toksik etkiye sahiptir [45]. Mangandan kaynaklanan kanser üzerine olan bilgiler azdır. Fakat mevcut sonuçlar inorganik manganın karsinojenik olduğuna işaret etmemiştir [43].

2.4.3. Çinko

Zn atom numarası 30 ve atom ağırlığı 65.38 g olan kimyasal bir elementtir. Çinko genleşebilme, uzayabilme özelliğine sahip ve gri renkli bir metaldir. Çinko, kadmiyum ve civaya benzer özellikleriyle birlikte periyodik tabloda geçiş elementleri grubunda yer almaktadır. Çinkonun bilinen 15 adet izotopundan 64, 66, 67,68 ve 70 atom ağırlıklı 5 izotopu

kararlı halde bulunmaktadır. Radyoaktif izotoplarından ^{61}Zn ve ^{65}Zn için yarılanma ömürleri sırasıyla 88 saniye ve 244 gündür [46]. Çinkonun özellikleri Tablo 2.9'da verilmiştir.

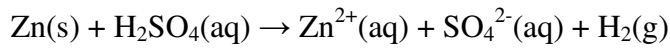
Tablo 2.10 : Çinkonun Özellikleri [46]

İsim	Çinko
Sembol	Zn
Atom Numarası	30
Atom Ağırlığı	65.409 (4) g
Yoğunluğu	7.11 g.cm ⁻³ (20 °C)
Grup Numarası	12
Periyot Numarası	4
Bulunduğu Blok	d
Standart Koşullardaki Durumu	298 K'da katı
Kaynama Noktası	907 °C
Ergime Noktası	420 °C
Renk	Mavimsi gri
Sınıflandırma	Metal

2.4.3.1. Asit ve Baz İle Reaksiyonları

- **Asit ile Reaksiyonu**

Çinko metali seyreltik sülfürik asit içerisinde çözünerek çözeltide Zn(II) iyonu ve hidrojen gazı üretir. Çözeltide çinko iyonu $[\text{Zn(OH}_2)_6]^{2+}$ kompleksi halinde bulunur.



Çinkonun nitrik asit gibi yükseltgen asitlerle verdiği reaksiyon sonucunda kompleks oluşturması özel şartlar altında gerçekleşmektedir.

- **Baz ile Reaksiyonu**

Çinko metali sulu alkali çözeltiler (KOH) içerisinde çözünerek $[\text{Zn(OH)}_4]^{2-}$ kompleksi oluşturmaktadır [39].

2.4.3.2. Kullanım Alanları

Çinko, dünyada yıllık kullanım miktarı açısından demir, alüminyum ve bakırdan sonra gelir. Çinko;

- Metalleri korozyona karşı korumak amacı ile galvanizlenmesinde
- ZnO bileşiği boya, kauçuk, kozmetik, plastik, sabun, printer mürekkebi, ilaç üretiminde
- ZnS bileşiği floresans özelliğe sahip olduğu için kol saatlerinde parlak kadranların yapımında, floresans ışıklarda, X-ışıkları ve televizyon ekranlarının yapımında
- Çinko metali kuru pillerde, bozuk para yapımında
- Otomobil endüstrisinde
- Pirinç, nikelli gümüş, değişik lehimler, alman gümüşü gibi alaşımların yapımında
- Çinko klorür, deodorantlarda ve ahşap koruyucu olarak
- Çinko metil, $(\text{Zn}(\text{CH}_3)_2)$ pek çok organik maddenin sentezinde

kullanılmaktadır [38].

2.4.3.3. İnsanlara ve Çevreye Etkileri

Çinko insan sağlığı açısından gerekli bir iz elementtir. Çok az konsantrasyonlarda çinkoya maruz kalma sonucu tad ve koku alma duyularında azalma, iştahsızlık, ciltte yaralara neden olabilmektedir. Ancak yüksek konsantrasyonlarla karşılaşıldığında pankreasa zarar vermektedir, damar sertliğine ve solunum rahatsızlıklarına neden olmaktadır [39].

2.4.4. Bakır

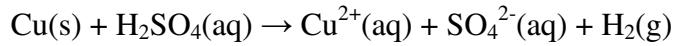
Bakır doğada yaygın olarak bulunmaktadır. Kızıl renkli kübik kristal yapıdadır. Kırmızı ve turuncu ışığı yansıtırken görünür bölgedeki diğer frekansları soğurmaktadır. Uzayabilir ve genleşebilir özelliktedir, aynı zamanda ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Periyodik tabloda IB grubunda yer almaktadır [39]. Bakırın özellikleri Tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.11 : Bakırın Özellikleri [46]

İsim	Bakır
Sembol	Cu
Atom Numarası	29
Atom Ağırlığı	63.546 (3) g
Yoğunluğu	8.9 g.cm ⁻³ (20 °C)
Grup Numarası	11
Periyot Numarası	4
Bulunduğu Blok	d
Standart Koşullardaki Durumu	298 K'da katı
Kaynama Noktası	2595 °C
Ergime Noktası	1083 °C
Renk	Bakır rengi, metalik
Sınıflandırma	Metal

2.4.4.1. Asit İle Reaksiyonları

Bakır metali sıcak derişik sülfürik asit ile reaksiyonu sonucunda Cu(II) çözeltisi oluşturur. Bu iyon aslında $[\text{Cu}(\text{OH}_2)_6]^{2+}$ kompleksidir. Aynı zamanda açığa hidrojen gazı çıkar. Bakır metali seyreltik ve derişik nitrik asit de çözünür [47].



2.4.4.2. Kullanım Alanları

Bakır;

- Bakır tel yapımında
- Yüksek frekans hattı yapımında
- Bileşikleri şeker analizinde Fehling's çözeltisini hazırlanmasında
- Müzik enstrümanlarının yapımında
- Renkli cam yapımında
- Vakum tüpleri, katot ışık tüpleri , mikrodalga fırınlarda
- Kabartma metal olarak
- Elektrik endüstrisinde
- Bakır sülfat tarım zehri olarak ve suların saflaştırılmasında

Kullanılmaktadır [48].

2.4.4.3. İnsanlara ve Çevreye Etkileri

Canlılık için çok önemli olan bakır proteine bağlı olmadığı durumlarda ise toksik etki gösterir. En fazla beyin ve karaciğer olmak üzere tüm dokularda görülen bakır konsantrasyonundaki artış, kalıtsal nitelikte bir hastalık olan Wilson hastalığında görülür. Dihydropil hidrataz enzimini inhibe eder. Bakır zehirlenmesinin semptomları arsenik zehirlenmesiyle aynıdır. Sucul yaşam içinde önemli bir tehlikedir. Yüksek konsantrasyonda bakır balık ve diğer canlıların karaciğer, böbrek gibi organlarını etkiler, sinir sisteminde hasara yol açar [38].

Uzun süreli maruz kalmalarda, burun, ağız ve gözde rahatsızlığa neden olabilmektedir, bas ağrısı, mide ağrısı, bas dönmesi, ishal, kusma gibi rahatsızlıklara yol açabilmektedir. Yüksek oranlarda alınmasıyla böbreklere ve karaciğere zarar verebilmektedir.

Yüzeysel sulara 1mg/l' nin altındaki bakır konsantrasyonlarında dahi su bitkilerine toksik etkide bulunabilmektedir. 1mg/l konsantrasyondaki bakır bazı balık türleri için toksik olabilmektedir [49].

2.4.5. Kurşun

Kurşun yumuşak, gri renkli, 0, 2+ ve 4+ oksidasyon derecelerinde bulunan bir metaldir. Yağın formu ise 2+’ dır. Kurşun (II) bileşikleri genellikle iyonik bağlarla bağlı iken Kurşun (IV) bileşikleri ise kovalent bağlar ile bağlanmaktadır. En yaygın kurşun mineralleri PbS, PbSO₄, PbCO₃’ tür [36]. Kurşunun özellikleri Tablo 2.11’da verilmiştir.

Tablo 2.12 : Kurşunun Özellikleri [39]

İsim	Kurşun
Sembol	Pb
Atom Numarası	82
Atom Ağırlığı	207.2 (1) g
Yoğunluğu	11.34 g.cm ⁻³ (20 °C)
Grup Numarası	14
Periyot Numarası	6
Bulunduğu Blok	p
Standart Koşullardaki Durumu	298 K'da katı
Kaynama Noktası	1755 °C
Ergime Noktası	327 °C
Renk	Mavimsi beyaz
Sınıflandırma	Metal

2.4.5.1. Asit ve Baz İle Reaksiyonları

- **Asit ile Reaksiyonu**

Metalik kurşunun yüzeyi ince bir tabaka halinde kurşun oksit ile kaplanır. Bu nedenle sülfürik asit içerisinde çözünmez. Çok yavaş bir şekilde nitrik asit ve hidroklorik asit içerisinde çözünmektedir.

- **Baz ile Reaksiyonu**

Kurşun soğuk alkali çözeltilerde yavaşça çözünmektedir [39].

2.4.5.2. Kullanım Alanları

Sanayinin vazgeçemediği metallerden birisi olan kurşun piyasada; ham kurşun, rafine kurşun ve antimonlu kurşun olmak üzere üç değişik bazda işlem görmektedir. Kurşun ve ürünlerinin başlıca kullanım alanlar şöyle sıralanabilir:

- Akümülatör ve otomobil, çeşitli makine ve cihaz üretimi,
- Kaplama, kurşun boru, tesisat malzemesi, kurşun yünü yapımında,
- Mermi çekirdeği ve muhtelif silah ve araç gereç imalat için alaşım olarak,
- Paket mühürü kurşunu, muhtelif ambalaj malzemesi imalatında,
- Matbaa harfleri imalat ve kalıp yapımında,

- Kurşun oksit, kurşun kromat, bazik kromat, üstübeç, toz kurşun gresi, kurşun borosilikat üretiminde,
- Aside dayanıklı depo içi kaplamalar, titreşim önleyici bloklar, X- ışınlarından korunma amaçlı araç gereçler, lehim olarak, anot olarak, av saçması yapımında kullanılır [44].

2.4.5.3. İnsanlara ve Çevreye Etkileri

Kurşun, insanlarda kurşun zehirlenmesi sonucu böbrek, üreme organları, karaciger, beyin ve sinir sisteminde zararlara yol açmaktadır [46].

Kurşun, hava, su ve toprak yoluyla, solunumla ve besinlere karışarak biyolojik sistemlere giren son derece zehirleyici özelliklere sahip bir metaldir. Yüz binlerce ton kurşun, kurşunlu petrolden elde edilen ve kurşun tetraetil ((CH₃CH₂)₄Pb) eklenerek oktan sayısı artırılan yakıtlarla çalışan içten yanmalı motorlardan çıkan gazlarla dünya atmosferine boşaltılmaktadır. Atmosferden kurşun (büyük oranda metal oksitleri ve tuzlar ekinde) yağmurla tekrar yeryüzüne inerek çevremize her geçen gün daha fazla yayılmaktadır. Kurşun madenleri ve metal endüstrileri, akü ve pil fabrikalar, petrol rafinerileri, boya endüstrisi ve patlayıcı sanayi atık sularında da istenmeyen derişimlerde kurşun kirliliğine rastlanmaktadır [44].

2.4.6. Kadmiyum

Kadmiyum periyodik tabloda IIB grubu elementleri üyesidir. Siyanür, amin ve halojenlerle bileşikler oluşturur. Saf formu gümüş-beyaz renkte olup yumuşak bir maddedir [36]. Sıklıkla jeokimyasal işlemlere maruz kalan kadmiyum, suda +2 oksidasyon derecesinde bulunmaktadır [46]. Kadmiyumun özellikleri Tablo 2.12’de verilmiştir.

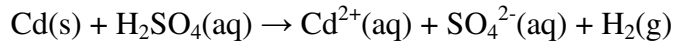
Tablo 2.13 : Kadmiyumun Özellikleri [39]

İsim	Kadmiyum
Sembol	Cd
Atom Numarası	48
Atom Ağırlığı	112.411 (8) g
Yoğunluğu	11.34 g.cm ⁻³ (20 °C)
Grup Numarası	12
Periyot Numarası	5
Bulunduğu Blok	d
Standart Koşullardaki Durumu	298 K'da katı
Kaynama Noktası	767 °C
Ergime Noktası	321 °C
Renk	Metalik gümüş, gri
Sınıflandırma	Metal

2.4.6.1. Asit ve Baz İle Reaksiyonları

- **Asit ile Reaksiyonu**

Kadmiyum metali seyreltik sülfürik asit içerisinde çözünerek çözeltide Cd (II) iyonu ve hidrojen gazı üretmektedir. Çözeltide kadmiyum $[Cd(OH_2)_6]^{2+}$ kompleksi halinde bulunmaktadır.



Kadmiyumun nitrik asit gibi yükseltgen asitlerle verdiği reaksiyon sonucunda kompleks oluşturması özel şartlar altında gerçekleşmektedir.

- **Baz ile Reaksiyonu**

Kadmiyum metali sulu alkali çözeltiler (KOH) içerisinde çözünmemektedirler [39].

2.4.6.2. Kullanım Alanları

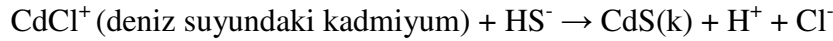
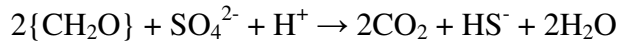
- Düşük erime noktalı alaşımlarda,
- Yarı iletken olarak,
- Televizyon tüplerinde,

- CdS sarı pigment olarak,
- PVC’lerde stabilizatör olarak,
- Ni-Cd pillerinde,

olmak üzere özetlenebilir.

2.4.6.3. İnsanlara ve Çevreye Etkileri

Kadmiyum endüstriyel yüklemelerin yapıldığı limanlarda su ve sediment kirleticilerindendir. Yaz mevsimi boyunca durgun sularda, dipteki anaerobik bölgede mikrobiyal sülfatın sülfüre indirgenmesiyle Cd’ un çözünürlüğü azalmaktadır. Bunun nedeni Cd’ un suda çözünmeyen kadmiyum sülfür formunda çökmesidir.



Kış rüzgarlarının etkisi altında aerobik körfez sularının liman suları ile buluşmasıyla kadmiyum limandaki sedimentten geri salınmaktadır. Çözünmüş kadmiyum bu defa körfeze taşınarak körfezdeki sediment yapı ile birleşmektedir [46].

Kadmiyum oldukça toksik bir metal olup, vücutta birikmekte ve 20-30 yıl sonra ortaya çıkmaktadır [36]. Çok yüksek konsantrasyonlardaki kadmiyum “itai-itai” adı verilen kemiklerde kırılmaya ve acıya neden olan bir hastalığa neden olmaktadır. Daha düşük seviyelerde ancak uzun süre maruz kalması durumunda kan basıncının yükselmesine, böbreklerde hasara ve gribe benzer rahatsızlıklara sebep olmaktadır [49]. Ayrıca bazı önemli enzimleri olumsuz yönde etkilemektedir [46].

2.5. MİKROORGANİZMALAR

Mikrobiyoloji mikroorganizmalardan bahseden bilim dalıdır. Yunancada mikros=küçük, bios=yaşam ve logos=bilim olmak üzere üç sözcüğün birleşiminden oluşmuştur. Mikrop terimi, ilim dünyasına ilk defa 1878’de Fransız cerrahı tarafından getirilmiştir. Sédillot, mikropların kendilerine has apayrı bir dünyası olduğunu savunmuştur. Mikroorganizmalar insanlar, hayvanlar ve bitkilerle birlikte ve bunların dışındaki çevrede çok yaygın olarak her yerde bulunurlar. Mikrobiyoloji bunların özelliklerinden, yüksek canlılarla ve birbirleri ile

olan ilişkilerinden ve mikroorganizmaların laboratuvarlarda incelenmeleri ile ilgili yöntemlerden söz eder.

Yapılarına bakarak mikroorganizmaların üç büyük grupta toplanmaları uygun bulunmaktadır. Bunlar ökaryotlar, prokaryotlar ve virüslerdir.

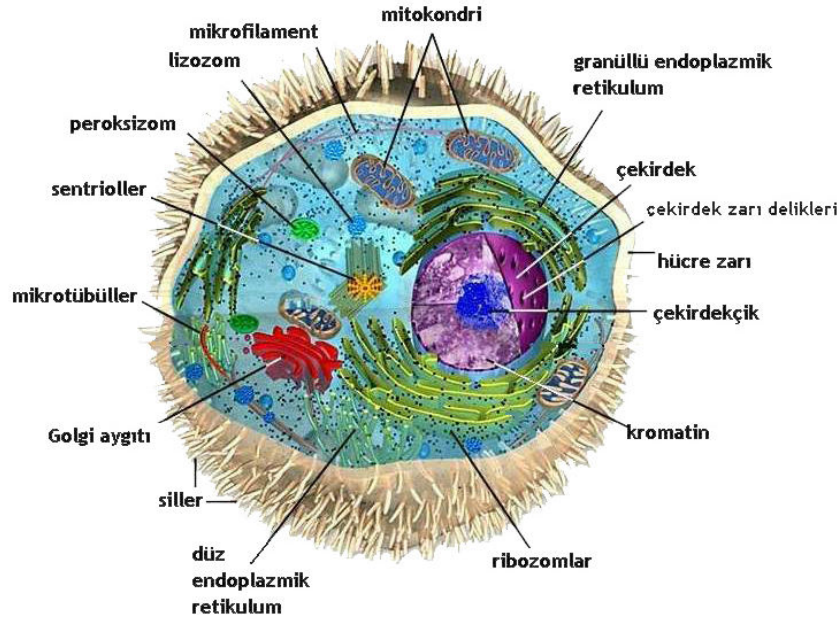
Prokaryot ve Ökaryot hücre arasında aşağıdaki belirgin farklar mevcuttur.

- Ökaryot hücrede gerçek çekirdek var, prokaryot hücrede gerçek çekirdek yoktur.
- Ökaryot hücrede nükleik asitler düz, prokaryot hücrede ise çembersel yapıdadır.
- Ökaryot hücrede nükleik asit sentezi belirli bir dönemde iken prokaryot hücrede devamlıdır.
- Ökaryot hücrede çekirdekçik var, prokaryot hücrede çekirdekçik yoktur.
- Her iki hücrede de ribozom vardır. Ancak ökaryot hücrede çökme hızı 80 S, prokaryot hücrede 70 S'dir.
- Golgi cihazı ökaryot hücrede var, prokaryot hücrede yoktur. Prokaryot hücre duvarında murein tabakası vardır.

2.5.1. Ökaryotik Mikroorganizmalar

Bu grupta hücre yapıları bitki ve hayvan hücrelerinin yapısına benzerlik gösteren mikroorganizmalar yer alır. Bunlara gerçek çekirdekli anlamına gelen ökaryotik mikroorganizmalar, eucaryotae adı verilir. Protozoonlar, algler, mantarlar ve gelişmiş canlıların hücreleri ökaryotik hücrelerdir. Bu hücrelerin yapısında etrafı endoplazmik retikulum ile ilişkide bulunan bir çekirdek zarı ile çevrili bir çekirdek (nukleus) vardır. Nukleusun içinde bir kromozom dizisi bulunur. Ökaryotik hücrenin dış yüzeyinde sitoplazmayı çevreleyen lipoprotein yapısında bir sitoplazmik zar bulunur. Hayvansal hücrelilerin dışındaki bir çok canlıların ökaryotik hücrelerinde bu tabakayı da çevreleyen ve çoğu selüloz kitin ya da inorganik yapıda bir hücre çeperi bulunur.

Ökaryot hücre yapısı



Şekil2.7. Ökaryotik hücre yapısı

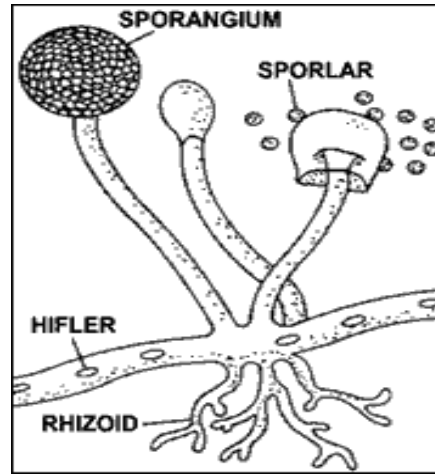
2.5.1.1. Mantarlar

Mantarlar, fotosentetik olmayan ökaryotik mikroorganizmalardır. Doğada yaygın olarak bulunan mantarlar arasında insanlarda hastalandırıcılık özelliği gösterenlerin sayısı sınırlıdır. Mantarların hücre yapısı ökaryotik nitelikte olup bitkisel ve hayvansal hücrelere benzemektedir. Belirgin bir çekirdek zarı ile çevrili çok kromozomlu bir çekirdekleri ve çekirdekçikleri (nukleol) vardır. Sitoplazmik zarlarında sterol bulunur. Sitoplazmanın içinde çeşitli granüller (glikojen, yağ v.b.), mitokondrialar, golgi aygıtı ve endoplazmik retikulum; sitoplazmik zarın dışında hücre çeperleri vardır. Klorofil ihtiva etmezler ve besin maddelerini dışardan hazır olarak alırlar. Hareket özellikleri yoktur. Sporla çoğalmaları en önemli özelliklerindendir. Bakteri sporları birer üreme elementi olmayıp bakterilerin direçli şekilleri oldukları halde mantarlar, sporları aracılığı ile ürerler. Bu amaçla mantarlar çeşitli türde sporlar oluştururlar. Hücre çekirdekleri arasında birleşme söz konusu olmaksızın oluşan sporlara eşeysiz sporlar, aksine hücre çekirdekleri arası birleşmelerden sonra oluşan sporlara eşeyli sporlar adı verilir.

Görünüm bakımından mantarlar iki tür yapı gösterirler. Bir kısmı çok hücreli iplikçikler oluşturarak gelişler. Küfler bu çeşit mantarlardır. Bir kısmı ise tek hücreler şeklinde üremek

sureti ile bir bakıma bakterilerin görünümüne benzerlik gösteriler. Maya diye isimlendirilen mantarlar bu biçimdedirler. Küflerin vejetatif biçimlerinin temel elementi hif adıdır. Hifler yaklaşık 2–10 µm eninde, bakterilerden daha geniş ve dallanan ipçik biçiminde oluşumlardır. Mantarlar türlerine bağlı olarak çeşitli biçimde hifler oluşturabilir. Bunların bazıları şunlardır. Hifin bir ucunun şişkinleşmesi ile oluşan raket hifler, hifin bir yerindeki düğüm biçimi ile oluşan nodüler şekil, bir yerden tarak biçiminde çıkan taraksı cisimler, uçlarının asma filizi gibi bükülmesi ile oluşan spiral şekil ve bazı hiflerden besiyeri içine uzanan kök gibi cisimciklerden oluşmuş köksü cisimler bunlardandır. Maya görünümündeki mantarlar tek hücreli oval yada yuvarlak, yaklaşık 3 – 5 µm çapında oluşumlardan yapıdır. Bazı mantarlar için küf yada maya ayırımı yapmak çok güçtür. Bunlar bulundukları ortam koşullarının etkisi ile zaman zaman bir görünümünden diğerine geçmektedirler. Mantarların çevresel isteklerinde; ortamın ısısı nem durumu ve asiditesi çok önemlidir. Mantarlar genel olarak asidik ortamı severler.

Mantarlar biyolojik arıtım yapabilirler. Kuru ortamda faaliyet gösteremezler aksine suyu ve nemli ortamı severler. Işık ihtiyaçları yoktur.



Şekil2.8. Mantarlarda spor, hif, rhizoid görünümü

Sıcaklık optimum 20-30 °C de yaşarlar. Sıcaklık isteklerine göre mantarlar üç grupta toplanırlar:

Tablo 2.14 : Sıcaklık isteklerine göre mantarlar

Psikrofiller	Soğuk ortamı seven mantarlardır. 10 °C sıcaklığın altında yaşamsal faaliyetlerini sürdürürler.
Mezofiller	Orta derece sıcaklığı severler. (10 – 40 °C)
Termofiller	Yüksek sıcaklığı severler. 40 °C sıcaklığın üstünde yaşayabilirler.

Mantarlar çoğunlukla hareketsiz, çok çekirdekli bir yapıya sahip hücre veya hücreler grubudurlar. Vejetatif yapıları silindir şeklinde tüpsü iplikçiklerden meydana gelmiştir. Bu iplikçiklerden bir tanesine hif (hypha) adı verilir. Hiflerin bir araya gelmesiyle oluşan esas yapıya ise thallus denir. Thallusların bir araya gelerek oluşturdukları yapıya misel (mycelium) adı verilir. Mantarların büyümesi hiflerin ucundan dallanma şeklinde olur. Organik atıklar mantarların temel besin kaynağını oluşturur.

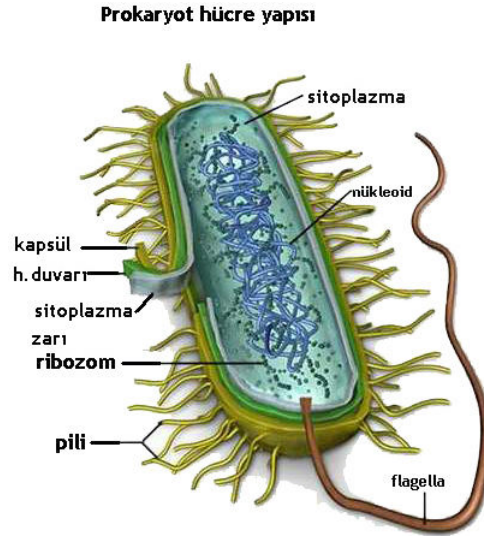
Mantarlar organik maddelerin parçalanmasında bakterilerle birlikte rol oynarlar. Tabiatta bulunan atık organik maddeler biyolojik aktiviteler sonucu ayrışmaya uğrar ve çevreye daha az zararlı olan yapıya dönüşürler. Böylelikle organik atıkların tabiata çok fazla yer işgal etmesinden dolayı yeryüzünde denge sağlanmış olmaktadır. Organik maddelerin parçalanması ile mikroorganizma faaliyeti artmakta ve tabiattaki madde dengesi sağlanmaktadır. Ortamda humus teşkil edilmesini sağlayarak toprağın verimini arttırırlar.

Çevre mühendisliği uygulamalarında kompost yapımında ve katı atık depolarında atıkların parçalanmasında, biyolojik arıtmada mantarların önemli rolleri vardır. Bütün bu faydalı özelliklerin yanı sıra mantarların hastalık etkeni olması, zehirleyici özellik taşıması, eşyaları çürütmesi ve besin maddelerini bozması gibi zararlı özellikleride bulunmaktadır [2].

2.5.2. Prokaryotik Mikroorganizmalar

Mikroorganizmaların bu grubunda daha basit bir hücre yapısına sahip olan mavi yeşil algler (Cyanobacteriae), bakteriler ve yapıları prokaryotlarla ökaryotlar arasında bir geçiş yapısı gösteren archaeobacteria bulunur. Bu gruba prokaryotlar =procaryotae denir. Bakteri hücreleri prokaryotik hücre yapısındadır. Bu çeşit hücreler temelde ökaryotik hücreye benzerlikler göstermekle beraber önemli ayrılıkları da bulunmaktadır. Genellikle daha basit hücre yapısı gösterirler. Prokaryotik mikroorganizmaların gerçek çekirdek ve çekirdekçikleri yoktur. Nükleik asit çembersel yapıdadır ve nükleik asit sentezi devamlıdır. Golgi aygıtı bulunmaz.

Ökaryotik mikroorganizmalardaki gibi ribozumu vardır. Hücre duvarında murein tabakası bulunur [2].



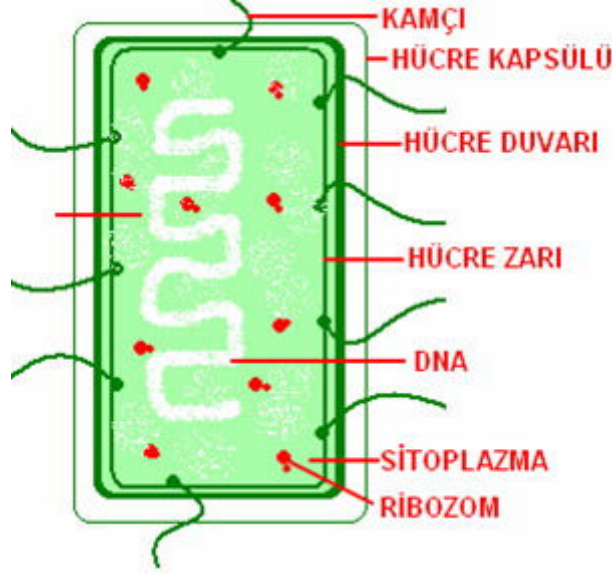
Şekil2.9. Prokaryot hücre yapısı

2.5.2.1. Bakteriler

Bakteri kelimesi Yunanca *bakteria* 'çubuk, kamış' kökünden gelir. Bunun nedeni bulunan ilk bakteri türlerinin çubuk şeklinde olmalarıdır. Monera aleminde yer alan prokaryot (çekirdeksiz) canlılardır. Toprağın derinliklerinde, atmosferin üst katlarında, donmuş topraklar içinde küçük su birikintilerinde ve her türlü çevre şartlarına uygun olarak bakteri ya da sporları bulunur. Bakteri hücre yapısında başlıca çekirdek, sitoplazma, hücre zarı, hücre çeperi, kapsül, kirpikler, piluslar ve sporlar bulunmaktadır.

Bakteri hücresinin etrafını çeviren iki tip örtü vardır. İçte hücre zarı (plazma zarı), dışta ise hücre duvarı bulunur. Yapısı, protein, yağ ve karbonhidratlardan oluşmaktadır. Çok sayıda bakteride hücre duvarına ek olarak polisakkaritlerden oluşan bir kapsül vardır. Oksijenli solunum yapan bakterilerde mezozom denilen mitokondri'ye benzeyen kıvrımlar görülür. Solunum enzimleri, mezozom zarlarında ve sitoplazmada dağınık halde bulunur. Birçok bakteride kamçı mevcuttur. Kamçılarıyla sıvı ortamda rahat hareket ederler. Bakteri hücresinde, DNA, RNA, sitoplazma ve ribozom vardır. Ribozomun dışında hiç bir organelleri bulunmaz. Bacillaceae familyasına giren bakteriler besin yokluğu, kuraklık, aşırı miktarda

metabolik ürün birikmesi vb. şartlarda endospor oluştururlar. Bakteri sporları yıl hatta yüzyıl boyunca canlı kalabilirler. Bu nedenle en dayanıklı canlı formu olarak bilinirler.



Şekil2.10. Bir bakteri hücresinin yapısı

Bakterilerin türlerinin bilimsel isimleri iki kelimeden oluşur. İlk kelime türün ait olduğu cinsin ismidir. İkinci kelime ise, türünü tanımlar [2].

2.5.2.2. Bakterilerin Sınıflandırılması

- a. Bakteriler, şekillerine göre; çubuk, yuvarlak, spiral ve virgül olmak üzere 4 sınıfa ayrılırlar.
- Çubuk biçiminde olan bakteriler (Bacillus), silindirik veya buna yakın bir görünüme sahip olduklarından boyları enlerinden daha uzundur. Ancak, bu formları cins ve türlere göre değişebileceği gibi, aynı tür mikroorganizma kültürünün çeşitli üreme fazlarında da farklılıklar meydana gelebilir. Örneğin, E. coli 'nin logaritmik üreme döneminde, genellikle, morfolojik yönden bir örneklik fazla görülmesine karşın, üremenin durma veya mikroorganizmaların ölme döneminde filamentöz formlara ve/veya değişik bireysel şekillere (involusyon formları) rastlamak mümkündür. Besi yerinin bileşiminin ve diğer çevresel koşulların da bakterilerin morfolojileri üzerine etkileri vardır.
- Yuvarlak biçimli bakteriler, (Coccus) çomak veya spiral formda olanlara oranla, morfolojik olarak, cins veya tür içinde daha fazla homojenite gösterirler. Çapları,

ortalama, 0.8-1.0 mikrometre (μm) arasında değişmesine karşın, daha küçük (0.4-0.8 μm) veya daha büyük (1.2-2.0 μm) olanları da bulunmaktadır. Genel bir kaide olmamakla beraber, hastalık oluşturan türlerin çapları 0.8-1.5 μm . arasında yer almaktadır. Koklar, her ne kadar, yuvarlak biçimlerde olmalarına karşın bazı türlerde morfolojik değişikliklere rastlanılmaktadır.. Coccus bakterileri kendi aralarında 4 gruba ayrılırlar. Monokok Bakteriler (Coccus), grup halinde olmayan coccus bakterilerini içerir. Diplokok Bakteriler (Diplococci), iki coccus bakterisinin oluşturduğu grupları içerir. Stafilokok Bakteriler (Staphylococci), Coccus bakterilerinin *üzüm salkımı* şeklinde dizilmeleri sonucu oluşan grupları içerir. Streptokok Bakteriler (Streptococci), tıpkı bir *zincir* şeklinde dizilen coccus bakteri gruplarını içerir.

- Spiral şekilli bakteriler, (Spirillum) uzun bir eksen etrafında helezoni tarzda sarılmış bir vücuda sahip, bükülebilir (fleksible) ve uzun eksen etrafında dönerek hareket edebilirler. Uzunluk, sarmal sayısı ve sarmal yüksekliği türler arasında farklar gösterir.
 - Virgül şeklinde olan bakteriler (Vibrio), flagella (kamçı) ları ile birlikte virgül şeklini anımsatırlar.
- b. Bakteriler boyanmalarına göre sınıflandırılığında, Gram boyası ile boyandığında mavi-mor renk veren bakterilere gram (+), pembe-kırmızı renk veren bakterilere ise gram (-) bakteriler denir. Farklı renklerin ortaya çıkması, hücre çeperinin özelliklerinden kaynaklanır. Gram (+) bakteriler kalın, peptidoglikandan oluşmuş tek katmanlı bir çepere sahipken, gram (-) bakterilerde iki ince katmanlı (İlk tabaka karbonhidrat ve proteinlerden, ikinci tabaka ise yine peptidoglikandan oluşmak üzere) hücre çeperi bulunmaktadır. Ayrıca gram(+) bakterilerde hücre duvarı yapısına teikoik asit de katılır.
- c. Bakteriler, beslenme şekillerine göre; ototrof, heterotrof olarak ikiye ayrılırlar. Bazı bakteriler ototrof olup, fotosentez veya kemosentez yaparlar. Örnek olarak siyanobakterileri verebiliriz. Çoğunluğu ise heterotrof olup, saprofit veya parazit yaşarlar.
1. Heterotrof Bakteriler; Saprofit Bakteriler, Parazit Bakteriler ve Mutualist Bakteriler olmak üzere üç sınıfa ayrılır.

- Saprofit bakteriler, bakterilerin çoğunluğunu oluşturur. Besinlerini bulundukları ortamlardan hazır sıvılar olarak alırlar. Nemli, ıslak ve çürükler üzerinde yaşarlar. En çok amino asit, glikoz ve vitamin gibi besinleri ortamdaki alırlar. Bu tür bakteriler dış ortama salgıladıkları enzimlerle bitki ve hayvan ölümlerini daha basit organik maddelere parçalayarak onların çürümelerini sağlarlar. Böylece hem toprağın humusunu artırır, hem de kendilerine besin sağlarlar. Çürütme sonucu çeşitli kokular meydana gelir. Bu yüzden bu olaya kokuşma denir. Bazı saprofit bakteriler, sütün yoğurt ve peynir olarak mayalanmasını sağlarlar. Saprofitler, dünyada madde devrinin tamamlanmasında önemli rol oynadıklarından hayat için mutlaka gereklidir.
 - Parazit Bakteriler, besinlerini cansız ortamdan değil de üzerinde yaşadıkları canlılardan temin ederler. Çünkü sindirim enzimleri yoktur. Bunların bazıları konak canlıya fazla zarar vermeden yaşayabilirler. Sadece onun besinlerine ortak olurlar. Kalın bağırsağımızdaki *Escherichia coli* bunun en iyi örneğidir. Bazı parazit bakteriler ise konak canlının ölümüne bile sebep olabilen hastalıklara yol açarlar. Bunlara Patojen Bakteriler denir. Patojenler ya toksin çıkararak ya da konak canlının enzim ve besinlerini kullanarak zarar verirler. Toksinler ya dışarı atılır (*Ekzotoksin*), ya da bakterinin içinde kalır (*Endotoksin*). İçinde kalan toksinler bakteriler ölünce zararlı hale geçerler. Ekzotoksinler kadar zararlı değildir. Canlıların patojen bakterilere ve toksinlerine karşı oluşturdukları savunmaya "Bağışıklık" denir. Parazit bakterilerinin üremeleri oldukça hızlıdır.
 - Mutualist Bakteriler, başka canlılarla karşılıklı yarar sağlayarak birlikte yaşarlar. Örneğin, insan bağırsağında yaşayan B12 vitaminini sentezleyen bakteriler mutualisttir
2. Ototrof bakteriler, Fotosentetik ve Kemosentetik Bakteriler olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar.
- Fotosentetik Bakteriler (Fotoototroflar), sitoplazmalarında serbest klorofil taşırlar. Fotosentezlerinde elektron kaynağı olarak H_2O yerine H_2S ve H_2 kullanırlar. Fotosentez yaparlar fakat açığa oksijen çıkmaz.
 - Kemosentetik Bakteriler, (Kemoototroflar) en önemlileri Nitrifikasyon Bakterileri, Denitrifikasyon Bakterileri (Güherçile Bozanlar) olmak üzere Demir Bakterileri, Kükürt Bakterileri gibi grupları içerir. Bu bakteriler özellikle Azot (=Nitrifikasyon) döngüsünde çok önemlidirler. Amonyak, nitrit, nitrat, demir, kükürt gibi inorganik

maddeleri oksitleyerek zararsız hale getirirler. Oluşan maddeler ise bitkilerce genellikle Azotlu Tuz (Güherçile) (KNO_3 , NaNO_3 vb.) olarak kullanılır. Bu oksitleme sonucunda açığa kimyasal enerji çıkar.(Substrat Düzeyinde Fosforilasyon) Bu enerjiyle de CO_2 indirgemesi yaparak -yıkarak metabolik reaksiyonlarda enerji eldesi için kullanacakları- besinlerini sentezlerler. Bu besinleri sentezleyebilmek için Işık ve klorofil gerekli değildir. Oksijen kullanılır. Kemosentetik bakteriler en çok azotlu, kükürtlü, demirli maddeleri oksitlerler. Kemosentez sonucu; bazı zararlı maddeler ortadan kaldırılmış, bitkilerin alabileceği tuzlar oluşturulmuş, kimyasal enerji kazanılmış ve organik besin sentezlenmiş olmaktadır.

- d. Bakteriler solunum şekillerine göre; aerob ve anaerob olmak üzere ikiye ayrılırlar. Anaerob Bakteriler, organik besinleri parçalayarak enerjilerini elde ederken genellikle oksijen kullanmazlar. Bunlar havasız yerlerde de yaşayarak çoğalırlar. (Konservelerde olduğu gibi) Bunlardan bazıları oksijenin olduğu yerde hiç gelişemezler. Örnek: *Clostridium tetani* (Tetanos bakterisi)
- Aerob Bakteriler, bazı bakteri grupları (*Escherichia coli*, Zatürree ve Yoğurt Bakterisi gibi) ancak oksijenli ortamda yaşayabilir. Bunlarda mitokondri olmadığı için solunum hücre zarının iç kısmındaki kıvrımlarda (mezozom) gerçekleştirilir. Örnek: Azot Bakterileri.
- Geçici Aerob Bakteriler, asıl solunumları oksijensiz olduğu halde kısa süre için aerob olanlardır. Geçici Anaerob Bakterilerin normal solunum şekli aerob olup ise havasız kalınca fermentasyona başvururlar [2].

2.5.2.3. Koliform Bakteriler

Koliform grup bakteriler, Enterobacteriaceae familyası içinde yer alan, fakültatif anaerob, gram negatif, spor oluşturmayan, 35 °C’ de 48 saat içinde laktozdan gaz ve asit oluşturan, çubuk şeklindeki bakterilerdir. Bu tanıma göre koliform grup bakteriler oldukça karışık bir grubu oluşturmaktadırlar ve Enterobacteriaceae familyası içinde bu tanıma giren çok sayıda bakteri bulunur. Başlıca koliform grup bakteriler *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*, *Citrobacter freundii* ve *Klebsiella pneumoniae* anlaşılmaktadır. Bu bakterilerden fekal koliform tanımlanan grubun en bilinen üyesi *E.coli* ‘dir.

Koliform grubu mikroorganizmaların hepsi dışkı kökenli değildir. Bu grupta bulunan bakterilerden normal floları insanların ve sıcak kanlı hayvanların alt sindirim sistemleri olanlar “fekal koliform” olarak tanımlanmakta ve bunlar fekal kontaminasyonun bir göstergesi olarak kabul edilmektedirler. Koliform grup içinde fekal koliform olarak tanımlanan bakterilerin büyük çoğunluğu *E. coli* olduğu bilinmektedir. Grubun diğer üyeleri toprak ve bitki kökenli olabilmektedirler. Herhangi bir örnekte *E. coli* ‘ye ve/veya fekal koliform bakterilere rastlanması ortaya doğrudan yada dolaylı olarak dışkı bulaştığının ve yine bağırsak kökenli *Salmonella* *Shigella* gibi primer patojenlerin de olabileceğinin bir göstergesidir. Bu nedenle içme ve kullanma sularında, denizlerde ve göllerde *E.coli* ve fekal koliform bulunmasına izin verilmemektedir.

Toplam koliform bakteri sayımı genel olarak En Muhtemel Sayı (EMS) yöntemi ile yapılır. Buna paralel olarak membran filtrasyon yöntemi de koliform bakteri analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla beraber katı besi yeri kullanımında söz konusudur [2].

Bu çalışmada membran filtrasyon yöntemi kullanılarak sızıntı suyundaki mikrobiyal aktivite incelenmiştir .

2.5.2.4. E.Coli

Özellikle fekal kirliliğin indikatörü olan *Enterobacteriaceae* familyasına dahil *E.coli* bakterisi Gr (-) tir. Bu familya üyelerinden bir çoğu için bağırsaklar iyi bir üreme ortamı teşkil eder. Bu nedenle genellikle enterik bakteri adını alırlar. Latince bağırsak anlamına gelen “kolit” kelimesinden türeyerek koliform bakteriler yaygın kullanılan isimleridir. Familya üyelerinden doğada en yaygın bulunanları; *E. coli*, *Shigella* sp., *Salmonella* sp., *Enterobacter* sp., *Klebsiella* sp. dir. Familya üyeleri genellikle çomak şeklindedir. Hücre çapları 0,8-1,5µ ve boyları 2-12µ arasında değişir. Oksijenle ilişkileri bakımından aerob organizmalardır. Bazı türler kapsüllü olmasına rağmen bazılarının da kapsül oluşmaz. Hareket kabiliyeti açısından değişik özellikler gösterirler. *Escherichia* türlerine toprakta, sularda, hayvan bağırsaklarında sıkça rastlanmaktadır.

Normalde bağırsak florasında bulunan *Escherichia* üyeleri sayılarının arttığı şartlarda patojen olabilmektedirler [2].

2.5.2.5. Streptococcus

Streptococceae familyasına ait 24 türe sahip Streptococcus genusunda hücreler genellikle küre veya ona yakın formdadır. Bunlar genellikle ikiye ikiye veya zincir şeklinde bulunurlar. Zincir halinde olanlarda zincirler kısa veya uzun olabilir. Hücrelerin çapı hiçbir zaman 1µ'u geçmez.,

Streptococcus türleri genellikle hareketsiz olup bunlarda kapsül yapısına da pek rastlanmaz. Streptococcus türleri Gram(+) dir ve koloni çapı 0,5-1 µm arasında değişir. Ekolojik istekleri bakımından hassas olduklarından bir çok suni ortamda üretilemezler, fakat ortamları kan ve serumla zenginleştirilirse üreyebilirler. Bazı türleri insanda patojendirler. Oksijenle ilişkileri bakımından çoğu mikroaerofiliktir. Diğer taraftan bu patojenler arasında bazı türler vardır ki onlar da obligat aerob özellik gösterirler.

Streptococcus türleri birbirinden farklı üreme ortamı isteklerine sahip olduklarından pek çok yerde rastlamak mümkündür. Hem saprofit hem de parazit türleri mevcuttur. Bağırsaklarda yaşayan Streptokoklar arasında parazit olanlarda vardır. Bunlardan S. fecalis ve S. bovis önemli iki türdür. S. fecalis insanda, S. bovis ise hayvanlarda bağırsak parazitleridir. Streptococcusun bağırsaklarda yaşayan türlerine genellikle verilen isim Enterococci dir. Bunların en önemli özellikleri 45°C gibi yüksek ısıda ve 9,6 gibi yüksek pH ta yaşamlarını devam ettirmeleri ve üreyebilmeleridir.

Fekal streptokok Str. faecalis, Str. faecium, Str. durans, Str. equinus ve Str. bovis türlerinden oluşur. Her türü tanımlamak rutin çalışmalarda gerekli değildir. Fekal streptokoklar fekal orijin oldukları ve kirli olmayan sularda bulunmadıkları için su içindeki varlıkları özellikle E. coli mevcut olmadığı durumlarda fekal kirliliğin bir indikatörü olarak kullanılır.

Gram (+) tirlir. Yaklaşık 1µm çapındadır ve değişik uzunlukta zincirlerden oluşurlar.

Spor oluşturmazlar ve dışkı, lağım ve kirli sularda bulunurlar. Sular içinde sayılar ara sıra koliform sayısını aşabilir, fakat genellikle sayıları daha azdır. Büyüme 45°C de ve diğer gram(-) bakterilerin çoğunu ve koliformları inhibe eden sodyum azid ve potasyum tellur konsantrasyonları varlığında olur. Fekal streptokokların sayımında MPN, membran filtrasyon ve dökme agar petri kabı teknikleri kullanılabilir.

Bir numunenin F. coli/F. strep. oranı kirliliğin insan atıklarından mı evcil hayvan atıklarından mı kaynaklandığını gösterebilir [2].

Tablo 2.15 : F. coli – F. streptokok oranı

$FC/FS \geq 4$	Kirliliğin insan atıklarından meydana geldiğinin güçlü bir kanıtıdır.
$2 < FC/FS < 4$	Kirlilik içinde hakim olan insan atıklarıdır.
$0,7 \leq FC/FS \leq 1$	Kirlilik içinde hayvan atıkları hakimdir
$FC/FS \leq 0,7$	Kirlilik evcil hayvan atıklarından oluşmaktadır

Bu oranların hesabını yaparken aşağıdaki hususlara dikkat etmek gerekmektedir [2]:

- Numunenin pH sı 4-9 arasında olmalıdır. Bu düşük ya da yüksek pH ın kötü etkilerini engeller.
- İki sayım da aynı numune üzerinde yapılmalıdır.
- Numune kirliliğin kaynağının aşağı akıntısından daha uzakta alınmamalıdır.
- Sadece F. koliform sayı oran hesabında kullanılmalıdır.

2.6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

D.E Daniel, bu çalışmada, seyreltilerek sıkıştırılmış çamur miktarını incelemiştir; dünyadaki kimyasal atık çöplerinde çıkan organik sıvı atıkların, sıkıştırılmış çamurun geçirgenliğinde önemli etkilere sebep olduğu sonucuna varmıştır. K. W Brown. ve D.C Anderson - Green ve diğerlerinin çalışmalarında ayrıca bu saf, reaktif-dereceli organik kimyasalların sıkıştırılmış çamurun geçirgenliğinde geniş artışlara neden olabileceğini belirtmektedirler. Ancak, geniş bir artışa neden olacak kimyasalların toplama sınırları tanımlanmamıştır [50, 51, 52].

M. C. Wang, M. Asce ve C. C. Huang, bu çalışmada permeabilitenin çok güçlü bir şekilde tane büyüklüğü dağılımına bağlı olduğunu incelemiştir. 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 Proctor'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. Islatma 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, impoundment ın 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 [53].

By Kingsley Harrop-Williams, M. ASCE, 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 [54].

R. M. Quigley, F. Fernandez, ve diğerlerinin, bu çalışmasında, 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. Arabirimde 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 (bunun yanında bu sonuç testlerde kullanılan atıklar ve bu atık sahasındaki örselenmemiş test zemini içindir). Kontaminasyon sonucunda hidrolik geçirgenliğin belirgin bir şekilde değişmediği görülmüştür [55].

By Williem F. Brutsaert, M. ASCE, bu çalışmanın ana amacı, belirli solventlerin deniz kilinin hidrolik geçirgenliği üzerindeki etkisini belirlemek ve bu sayede de yer altı suyunu kirleticilerden koruma da bu killerin etkisini belirlemek olmuştur. Bu çalışmalarda kullanılan killer montmorillonit, illit, kaolinit ve bentonittir. Bu çalışma da kullanılan deniz kili, 44% kil ve 53% silt içermektedir. Bu siltli kil olarak adlandırılmaktadır. Rengi mavimsi griden kahverengimsi griye değişim göstermektedir. Xray diffraction analizleri, illit (mika), klorit, feldspar, quartz ve muhtemel kaolinit 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 [56].

By Janardanan O. Uppot and R.W. Stephenson, Members ASCE, bu çalışmada, permeantlar ile kil arasında oluşan kimyasal reaksiyonlarla kilin permeabilitesinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Bu tür reaksiyonlar tarafından kil dokusunda meydana gelen değişimler elektron mikroskobu ile görüntülenerek incelenmiştir. Çalışmada üç boyutlu esnek duvar permeametrosu kullanılmıştır. Bu araştırmada, kaolinit ve montmorillonit kil kullanılmıştır. Bu araştırmada kullanılmış standart permeant, distile su içinde 0.004-N (1 g/l) magnezyum sülfat solüsyonudur. Bu permeantın seçilme nedeni, test zemini ile uygun olması ve kil permeant kimyasal karışımı üzerinde önemli bir değişikliğe neden olmamasıdır. Araştırmacılar yaptıkları bu çalışmada test için gereken düzgün bir hidrolik eğim kurmak için, farklı eğimler altında standart permeant kullanmışlar ve bu deneyi magnezyum montmorillonit ve kaolin üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar permeabilitenin 277 ve 831 eğim değerleri arasında bağımsız olduğunu görmüşlerdir. Örneğin bitimindeki girişteki az miktarda genleşme permeabilite üzerinde önemli bir etki yapmamaktadır. Magnezyum montmorillonite üzerinde, 60 eğim değeri ile 4 tane test gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerden ikisinde permeabilite de iki kat artış gözlenirken, diğer ikisinde hiçbir artış görülmemiştir. Düşük eğim değerlerinde daha ileri permeabilite çalışmalarına ihtiyaç vardır. Bu testlerin sonuçlarına dayanarak, kenarlarındaki giriş ve çıkış akımı arasındaki farklı basınçlara sahip 831 eğim değerindeki, 1.27 cm lik uzun örnek seçilmiştir. Bu araştırma sırasında killerin permeabilitesinin, su haricinde diğer sıvıların akışı gerçekleştiğinde değiştiği görülmüştür. Bunun yanında artış literatürde söylendiği gibi 100 kattan 1000 kata kadar değil, iki veya üç kattır. Yazarların görüşüne göre, laboratuvar testlerinde fixed wall permeametrosunun kullanımı, ekipmanın kendisinden doğan limitasyonlar nedeniyle, yüksek permeabilite değerleri ölçümünde önemli bir güce sahip olmaktadır. Zemin örneğinde çok az bir azalmaya sebep

olan herhangi bir fiziksel-kimyasal reaksiyon, kapalı bir yerde hapsedilen toprak örneğindeki bağ durumunda azalmaya neden olmaktadır. Kil permeabilitesinde meydana gelen değişimler kil-permeant kimyasal reaksiyonlarından dolayı olmaktadır. Magnezyum montmorillant ve kaolinit örnekleri için, magnezyum ve sodyum arasındaki katyon değişimine bağlı olarak permeabilite de belirgin bir değişim elde edilmemiştir. Bunun yanında, sodyuma doymuş olan magnezyum montmorillonite örneğinden distile su geçtiği zaman, permeabilite de 15 kat azalma ve örnekte %13 şişme olmuştur. Magnezyum montmorillonite gerçekte anilin ve ksilene karşı su geçirmez bir bariyer gibi davranmıştır. Sıvılar kaolinitten geçmiştir fakat anlamlı bir şekilde permeabiliteyi düşürmüştür. Elektron mikroskobu ile tarama, organik sıvılarla muamele edilen kilin yapısında belirgin bir değişime yol açmamıştır, sadece dokusunda, asetik asit ve metanolun sebep olduğu önemsiz değişimlere yol açtığı görülmüştür [57].

Raymond N. Young, nad Tuwaree Phadungchewit, bu çalışmada dört tip kil kullanılmıştır. Kaolinit 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 2mm'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 solüsyonu, ayrı ayrı hazırlandı ve her bir kil toprağına asit miktarı artırılarak uygulanmıştır. Pb, Cu, Zn ve Cd'nin tek tek solüsyonları, bunların nitrat tuzlarından ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) 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, GBC902 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 çökmesi mekanizmasının hakim olduğu pH değerlerinde, konsantrasyon seviyesinin etkisinin önemsiz olduğu görülmüştür [58].

J. A. Owen and D. A. C. Manning 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 doymuş 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 [59]

Mauro M., Marco P.P. ve Enrico R. bu çalışmada, bir atık depolama sahasından Pb, Cd, Ni ve Cu kaolinitine emilim, sıvı fazda metal türleştirmesiyle ilişkili olarak incelenmiştir. Metal türleştirme; katyon kıskaçlayıcı 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, kaolinitte 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, kaolinite emilime katkıda bulunan tek tür olmadığını ve bazı metal türlerinin önceden çözülmeden soğrulduğunu güçlü bir şekilde desteklemektedirler [60].

K. Yuen, J. Graham ve P. Janzan, 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 eritilmelerine hem de kurutulup ıslatılmalarına bağlı olarak yeni hidrolik iletkenlikleri (sırasıyla K_{ft} , K_{dw}) ölçülmüştür. 207 kPa 'lık sabit bir hücre basıncı altında ve büretlerin üstünde ve altında 172 kPa'lı bir uniform geri basınç altında konsolidasyon yapılmıştır. Numuneler efektif basıncı 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 gözlemlenmişlerdir. Bunun nedeni doğal kilin genişletici özelliğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu genişletici özelliğin zeminin şişmesine yol açtığını gözlemlenmişlerdir [61].

N. Foged, J. Baumann, 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 [62].

I. Snape, C.E. Morris, C.M. Cole yaptıkları bu çalışmada, bütünleşmiş bir kirletilen yer iyileştirme programının parçası gibi kullanıldığı zaman, geçirgen tepkisel engeller, uzak alanlarda mevsimsel olarak donan yerlerdeki kirletilmiş suları çıkarabilen, tutabilen değerli bir teknolojik uygulamadır. Uzak soğuk bölgelerde uygulamak için, geçirgen tepkisel engellerin ana avantajları, çalıştırılması için güç gerektirmeyen hafif- teknolojik sistemler oluşludur. Aşırı hava olaylarından kısa bir süre önce götürülüp alana bırakılabilir ve en önemlisi çalışmaların sonucunda tamamen kaldıracabildiği için çevrede çok az bir etki bırakır. Yine de bu teknoloji, ılımlı bölgelerde kullanılmak için geliştirilmiştir ve mevsimlik olarak donan yerlerde etkili konuşlandırma ve geri alınabilmesini garanti altına almak için geliştirilmiştir. Antartika'daki Casey istasyonunda dolgu malzemeleri ile yapılan testlerde edilen tecrübeler gösteriyor ki, ince taneli reaktif malzemeler iri taneli malzemelere göre drenaj işinde daha uygundur. Karbon Granül aktif malzemeler kullanılarak tarla üzerinde yapılan basit denemeler gösteriyor ki, yüksek konsantrasyon petrol hidrokarbonları ve ağır metaller içeren suların kalitesinde belirgin düzelmeler olabilir. Soğuk bölgelerde verimli olacak olan uygulamalar için gerekli olan ileriki gelişmelerin şu ihtiyaçları olacaktır, umut verici materyaller için atılım eğrileri kurmak ve medya doldurmak için alçak derecelerde reaksiyon ve yüzeye çekme oranlarının ölçülmesi [63].

Kalbe,U., Müller,W.W., Berger,W. Ve Eckardt,J bu çalışmada, kompozit dolgu materyallerindeki konsantre edilmiş organik kirletici karşının 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 parametrelerini içeren selektif gecikme ehliyeti olduğunu belirtir. Bundan başka, kirletici taşıma modellerinin sonuçları ölçülmüş verilerle karşılaştırılmıştır. Örneğin, aseton hesaplanmış uzaysal (mekansal) ve geçici kirletici konsantrasyon gösterir. Birleşik dolgular kullanılan konsantre edilmiş organik kirleticilere göre çok iyi bir mühürleme kapasitesi göstermiştir [64].

Yavuz, Ö., Altunkaynak, Y., Güzel, F. yaptıkları bu çalışmada, Mn(II), Co(II), Ni(II) ve Cu(II) gibi bazı ağır metallerin sulu solüsyondan kaldırılmaları “raw kaolinite” kullanılarak çalışılmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki kaolinite aşağıdaki metal ionlar için emme (soğurma) eğilimi göstermektedir. Cu(II), Ni(II), Co(II), Mn(II) ve bakır, nikel, kobalt ve manganez iyonları (Langmuir emme denkleminin doğrusal formu) sonuç olarak, kaolinite sulu solüsyondan ağır metallerin kalıntılarını çıkarmak için kullanılabilir [65].

T.E Edil ve diğerleri tarafından yapılan geçirgenliğin etkileri konusundaki son araştırmanın bir eleştirisi başka yerde bulunabilir. Modern kompozit dolgular içinden VOC_s’nin madde eritme tahminlerinde gerçekçi modeller geliştirmek için ve VOC_s’un kütle taşıma parametrelerini, sıkıştırılmış çamur sıvıları dönemi, geosentetik çamur dolguları (GCL_s) ve geomembranlar belirleme konusundaki bir sistematik ve kapsamlı yaklaşım gerçekleştirmek mümkün olmuştur [66].

J. Islam ve N. Singhal bu çalışma, devam eden akıntı deneyleri çöplerin biyolojik tıkkama artışında bakteriyel kaynak, metal çökme ve anaerobik gaz formasyonunun nisbi önemini incelemek için paketlenmiş kum kolonları kullanılarak gerçekleştirildi. Asetik asit ile kimyasal tepkimeye maruz bırakılmış olan yerel bir belediye çöplüğünden alınan doğal erişken (leachate), yukarı akıntılı modda opere edilen iki adet paketlenmiş kum kolonu ile beslendi. Çöplükteki erişken (leachate) naklinde onun geçirgenliğini azaltan birçok fiziksel, geokimyasal ve biyolojik etkileşimler gözlemlendi. Deneysel gözlemler manganez ve demirin sülfat bozulması (degradation) ve metan üretimi ile birlikte asetik asit bozulmasından öncelikle sorumlu olduğunu göstermektedir. pH’ın hızlıca artmasının sonucu olarak substrat konsantrasyonundaki artış, inorganik karbon (total dissolved carbonate) ve kolon ağzındaki

eklenmiş biomas, Fe(II), Mn(II) and Ca(II) çökmesini geliştirmektedir. Bu değişiklikler geçirgenliğini evvelki değeri olan 8.8×10^{-3} 'den 3.6×10^{-5} cm/s'e azaltmıştır [67].

E. Kalkana ve S. Akbulut yaptıkları bu çalışmanın amacı; silis dumanının, hidrolik bir bariyer olarak sıkıştırılmış kil astarların geçirgenliği, şişme basıncı ve basınç mukavemeti üzerindeki etkilerini incelemektir. Killer, atık depolama sahalarındaki doğal kil astarların hidrolik iletkenliğini azaltmak için gerekli maddelerdir. Atık depo sahasının tasarlanmasında, geçirimsiz ve sıkıştırılmış kil astarlara ihtiyaç duyulur. Plastisitesi yüksek killerin, ağırlıklarından çok daha fazla miktarda suyu emebildikleri bilinmektedir. Atık depolama sahalarında su basıncına maruz kalan kil astarlar, genişleyen kapasitelerine bağlı olarak, zamanla yüksek geçirgenlik ve yapılarında kararsızlık problemleri ortaya çıkarırlar. Sıkıştırılmış kil astarların, düşük geçirgenlik ve geniş atenuasyon kapasitesi gibi pek çok avantajı olsa da, kararsızlık problemine yol açan yüksek çekme ve genişleme potansiyeli de vardır. Test sonuçları, silis dumanlı sıkıştırılmış kil astarların, 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 astarların yapım malzemesi için umut verici görünmektedir [68].

M.Ş. Özçoban, İ. Erarslan, N. Tüfekçi bu çalışmada, sıkıştırılmış çamurun geçirgenliği konusundaki birçok erimenin (leachate) etkisi sorgulanmıştır. İstanbul'un Avrupa yakasındaki Kemerburgaz çöplüğünden atık örnekleri alınmıştır. Bu atık örneklerinin geçirgenliği $k=1 \times 10^{-8}$ cms⁻¹ idi ve yoğunluğu 1950 kg m⁻³ idi. Deneylere dayanan çalışmalarda, sıkıştırılmış çamur atıkları örneklerinin fizik ve kimyasal özellikler gösteren nitelendirmeleri, geçirgenliklerindeki erimelerin etkisi ve COD (Kimyasak Oksijen İhtiyacı-talebi), SS (Asma atık), VSS (Volatile Suspended Solid), total P, Cu, Mn ve Fe sıkıştırılmış çamurun arıtma kapasitesini iyileştirmek için etkili (influent) ve atıksuda analiz edilmiştir. Çöpün küçük yapıtaşları (microstructure, micro-fabric) elektron mikroskopta görüntülenerek çalışılmıştır. Su ve eriteç (leachate) bir permeant olarak kullanıldığında geçirgenliği $k=8.62 \times 10^{-8}$ cm/sec'dir ve $k=6.82 \times 10^{-8}$ cm/sec'dir. Sıkıştırılmış çamurun arıtma kapasitesi, ortalama kaldırma yüzdesi olarak, oldukça yüksektir: her biri için ayrı ayrı, COD için %50, SS, TKN ve VSS için %55, toplam P ve Mn için % 70 ve Fe için % 100'dür [69].

H. Chunga ve M. Lee bu makalede, elektrokinetik (EK) ve geçirimli aktif bariyer (PRB) konseptlerini beraber inceleyerek, potansiyel su iyileştirme uygulamaları hakkında ön sonuçlara ulaşmayı hedeflemektedir. Püskürtülmüş, organik ve inorganik maddelerden oluşan, çamur PRB aktif ön giriş materyali olarak kullanılmıştır. Laboratuvar deneyleri; kirlilik tipi, toplam zaman, EK işlemi süresindeki PRB sistemi gibi değişken şartları içerecek şekilde yapılmıştır İlk tespitlerde EK ve PRB teknolojisinin beraber kullanımı ile artık suyun geri kazanımı, kirlletici maddelerin alt bileşenlerine bağlı olmadan, başarılı bir şekilde olabilmektedir [70].

P. J. Martin, W. Stephens yaptıkları bu çalışmada, söğüdün boyundaki uzama (*Salix viminalis* L.) ve toprak suyundaki değişimler, farklı ıslah ve su sulama yöntemleri olan kil ve kum içeren topraklarda lisimetre cinsinden ölçüldü. Besin oranı düşük kilde, 0.3 m'nin altında su alımı görülmemiştir; 0.4 m derinliğe kadar organik madde ile yapılan ıslah, 0.5 m'ye kadar su çıkartılmasıyla sonuçlanırken, kumlu toprakta, tüm derinliklerden 0.6 m aşağıya kadar daha fazla çıkartım görülmüştür. Su stresiyle, bitkilerin solması, 0.1 m'deki hacimsel toprak suyu içeriği kilde %31 ve kumlu toprakta %22 civarında olduğunda gerçekleşmiştir. Islah edilmiş kildeki bitkilerde bulunan budaklarla kıyaslandığında, ıslah edilmeyende uzama daha az, kök taban alanı (SBA) artışı daha az ve budak yaprak alanı daha küçük olmuş; ve bu durum, yaprak budağının azalması -1 ve yaprak -1 ortalama alanının küçülmesinden kaynaklanmıştır. Su stresi ayrıca, budak uzamasını, SBA kazanımı ve uzantıdaki yaprak alanını azaltmıştır. Budak uzama oranları, hava sıcaklığı ile önemli ölçüde ilişkili olup 2.0 ile 7.6 °C arasındaki taban sıcaklıkları, farklı yöntemler için belirtilmiştir. Bu çalışmalar, daha önceden tanımlanan, canlı kütle üretimi ve bitki yaprak alanı üzerindeki büyük işlem etkilerinin bazılarını açıklamaya yardımcı olmuşlardır [71].

R. Thiruvengkatachari, S. Vigneswaran, R. Naidu tarafından aratırılmış bu makale sualtı toprağındaki suyun tekrar kullanımı için yeni gelişen geçirimli tepkili engeller teknolojisi hakkında bilgi vermek amacını taşımaktadır. Daha ileri araştırmalar için geniş bir referans bilgileri verilmiştir. Avusturyada yapılmış denemeler kısaca makale içinde bahsedilmiştir. BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylene) ayrıştırımı: Çeşitli alanlarda suya karışan benzin türevleri bu yöntem ile bileşenlerine ayrıştırılabilmektedir. Bakır, alkali akıntıları ayrıştırılabilir. %90 üzeri başarı ile amonyum bileşenleri ayrıştırılabilir. Altın ve Gümüş

madenlerinde bu teknik uygulanarak, yüksek miktarların ayrışımı sağlanabilir, ayrıca PRB pıhtılaşmadığı için karbon türevlerinden iyi sonuçlar vermektedir [72].

M.Ş. Özçoban bu çalışmasında, bazı organik ve inorganik maddelerin geçirgenlik ve kaldırma oranı (removal rate) İstanbul'un Şile-Kömürcüoda çöplüğünden elde edilen sentetik örnekler ve killi atıklar kullanılarak incelenmiştir. Deneyler süresince glikoz ve amonyum chloride'in killi atığın geçirgenliği üzerinde hiçbir kayda değer etkisi olmamıştır. SEM belirtmektedir ki, örnekler organik materyal ile kontamine edildiğinde çamurun (kilin) yapısı hexagonal bir yapı gibi Kristal bir yapıya değişmiştir. Ancak, çamurun yapısının değişmesinin çamurun geçirgenliğine önemli bir etkisi olmamıştır. Standard and Modified Proctor enerjilerini kullanan sıkıştırılmış çamur atığının kaldırma oranı COD için % 85-95 and TKN için % 82-92 olarak belirlenmiştir [73].

N. Tufekçi., M.Ş. Özçoban ve diğerleri tarafından yapılan bu çalışmada, inorganik permeantların sıkıştırılmış kilin geçirimliliği üzerindeki etkileri ele alınmaktadır. Deneysel çalışmalarda killi toprağın, kimyasal analizi, fiziko-kimyasal karakterizasyonu, elek analizi ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizi yapılmıştır. Şile-Kömürcüoda düzenli depolama sahasından alınan killi toprak için standart ve modifiye proctor sıkışma testleri uygulanmıştır. İnorganik permeantların (ferro demir ve mangan) sıkıştırılmış killi toprağın geçirimliliği üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Bununla birlikte, sıkıştırılmış kilin arıtma kapasitesinin belirlenmesi için giriş ve çıkış suyundaki ferro demir ve mangan değerleri ayrıca ölçümlenmiştir. Killi toprağın adsorpsiyonu için kesikli ve sürekli reaktörler kullanılmıştır. Ferro demir ve manganın toprak zeminlerin geçirimliliği üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Sürekli reaktörde, ferro demirin killi topraktan 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, ferro demirin ve manganın optimum adsorpsiyon süresi 2 saat olarak ölçülmüştür [74].

F.M. Francisca ve D.A. Glatstein tarafından yapılan bu çalışmada, sıkıştırılmış toprak 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. Toprağın 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. Toprak katmanlarındaki hidrolik geçirgenliği etkileyen sızıntı suyunda bulunan mikroplar fiziksel ve kimyasal etkileşimler yoluyla ortaya çıkarlar. Mikrobiyal aktivitenin varlığı, sızan sıvıdaki mikrobiyal yoğunluk, topraktaki gözeneklerde bulunan mikrobiyal ekzopolisakkarit ve gözeneklerdeki biyolojik tıkanmanın modellenmesiyle teyit edilmiştir. Sızan sıvılardaki mikropların miktarının önemi hidrolik geçirgenlik için iki kat daha artmıştır. Biyofilmlerin toprak parçalarının etrafında oluşmaları da sonuçların beklenen derecede güzel olduğunu göstermiştir [75].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. DENEY DÜZENEĞİ

Çalışmada 6 adet reaktör kullanılmıştır. Kullanılan reaktörler; dış çapı 10,1 cm, iç çapı 10 cm ve yüksekliği 20 cm ve 30 cm olan 1570 cm³ ve 2356 cm³ hacimli pleksiglas malzemeden yapılmıştır. Reaktörlerdeki kil yüksekliği 11 cm'dir. Reaktörler alt ve üst tarafta geotekstil ve poroz malzeme ile teçhiz edilmiştir. Kullanılan 3 reaktörde kil tabakasının üzeri çakıl taşlar ile sıkıştırılmış, diğer 3 reaktörde ise pistonlu sistem kullanılmıştır. Üzeri çakıl taşlar ile sıkıştırılan 3 reaktör standart kompaksiyonla sıkıştırılmış zemini, pistonlu sistem kullanılan diğer 3 reaktör ise hem standart kompaksiyonla sıkıştırılmış hem de konsolidasyon uygulanmış zemini içermektedir.

Reaktörlerin üstünde 0,2 bar'lık basınç uygulanmıştır. Reaktörlerin üstünden ve altından 0,3 bar'lık basınç yardımıyla; reaktörler önce musluk suyu ile doyurulup, daha sonra sızıntı suyu ile beslenmiştir.

Sızıntı suyu reaktörlerin 3'üne yukarıdan (standart kompaksiyonla sıkıştırılan), diğer 3'üne aşağıdan (standart kompaksiyonla konsolidasyon uygulanan) verilmiştir. Standart kompaksiyonla sıkıştırılmış zeminden sırasıyla 8., 39., 67., 130. ve 194. günlerde aşağıdan, standart kompaksiyonla sıkıştırılmış ve konsolidasyon uygulanmış zeminden sırasıyla 11., 39., 67., 130. ve 194. günlerde yukarıdan çıkan sızıntı suyu alınarak Fe(II), Mn(II), Zn(II), Cu(II), Pb(II) ve Cd(II) parametreleri analiz edilmiştir. Aynı günlerde mikrobiyolojik aktivitenin değişimi de incelenmiştir. Deney düzeneğinin görünümü Şekil3.1. ve Şekil3.2 'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil3.1. (a) Standart kompaksiyon uygulanan reaktörler, (b) Standart kompaksiyon ve konsolidasyon uygulanan reaktörler



Şekil3.2. Deney düzeneği

3.2. ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.2.1. Sabit Seviyeli Geçirimsilik (Permeabilite) Deneyi [57]

3.2.1.1. Gerekli Aletler

- 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 (H_1)
- Suyun numuneden drene olduğu yükseklik (H_2)
- Deney süresi (t)
- Toplanan su miktarı (W_{bw})

3.2.1.3. Deneyin Yapılışı

Geçirimsiliği belirlenecek zemin, istenilen sıcaklıkta ve arazideki sıklığına benzer olarak hazırlanır. Saydam bir silindire yerleştirilir. Zemin danelerinin yıkanıp 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 hazneden gelen su, zeminden ve filtreden geçerek hacim bölümlü bir kapta toplanır. Kararlı bir akış elde edildikten sonra belli bir sürede, kapta toplanan su miktarları belirlenir. Darcy yasasından k hesaplanır [57].

3.2.1.4. Hesaplamalar

Numune üzerindeki su yükü hesaplanır.

$$H = H_1 - H_2$$

Numunenin en kesit alanı hesaplanır.

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

Geçirimlilik katsayısı hesaplanır.

$$K_t = Q * L / (H * A * t)$$

3.2.2. Kompaksiyon Deneyinin Yapılışı

Kömürcüoda'dan büyük parçalar halinde getirilen kil malzeme öncelikle 4 no'lu elekten geçirilecek hale getirildi. Numunenin 4 no'lu elekten geçirilecek olmasından dolayı nemli malzemenin eleğe yapışmasını önlemek için bir gün boyunca etüvde bekletildi. Bu işlem sırasında etüvün sıcaklığı 105 derecedeydi.

Kurutulan malzeme öğütülmeye başlandı. Numune öğütücü yardımı ile 6 kg öğütülmüş malzeme elde edildi. Malzemedan içinde kalması muhtemel suyun tamamen uzaklaştırılması için bir gün daha 105 derecelik etüvde beklemesi gerekiyordu. Bu işlem için malzememiz ağırlığı belli olan bir etüv tepsisine yerleştirildi. Böylece numune kompaksiyon deneyine hazır hale getirilmiş oldu.

Kurutulan 6 kg malzeme leğenin içine konuldu. İlk olarak ağırlıkça %18 su ilave edildi. İlave edilen bu suyun malzemeye homojen olarak dağılması için, su yağmurlama metoduyla numunenin içerisine katıldı. Bu işlem sırasında malzeme, topaklanmaması için mala ile hızlıca karıştırıldı. Su ilave edilerek malzeme homojen bir karışım haline getirildikten sonra sıkıştırılmak üzere kompaksiyon kalıbına yerleştirilmeye başlandı. Sıkıştırma üç aşama da yapıldı. Her aşamada tokmak yardımı ile 30 cm yukarıdan 25 vuruş yapıldı.

Bu vuruşların 24 tanesi kalıbın kenarları boyunca ve son bir tanesi de kalıbın içindeki malzemenin ortasına vurmak suretiyle, tokmaklama işlemi tamamlandı. Kalıbın üst başlığı çıkarılarak 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 ve el ile mümkün olduğunca küçültülerek diğer numunenin arasına karıştırıldı. Farklı su muhtevaları için yukarıda anlatılan işlemler tekrar yapıldı.

Daha sonra kuru birim hacim ağırlığı- su muhtevası grafiğinin net çıkabilmesi için bir noktada daha aynı işlemler tekrarlandı. Deney sonucu elde edilen veriler kompaksiyon deney föyüne işlendi. Çizilen grafikten kuru birim hacim ağırlığının maksimum olduğu nokta ve o noktaya karşılık gelen su muhtevası değeri bulundu. Elde edilen bu değer malzemenin optimum su muhtevası değeridir. Optimum su muhtevası değeri zeminin arazide en iyi şekilde sıkışabileceği su muhtevasını, maksimum kuru yoğunluk ise elde edilebilecek en iyi sıkışma değerini bulmamıza yardımcı olmaktadır.

Elde edilen optimum su muhtevasına göre 6 adet numune hazırlandı. Bu numunelerin su muhtevasına göre herbirinden 2'şer adet olmak üzere değerleri optimum-3 (%18), optimum (%21), optimum+3 (%24) su muhtevaları sırasıyla 3'er kg'lık malzemelere tatbik edildi. Her numuneye 3 tabaka halinde 30 cm'den 2.5 kg'lık tokmakla 15 vuruş yapıldı. 3. tabaka vuruşu yapılırken kalıbın üst kısmına başlık takıldı. Kompaksiyon işlemi tamamlandıktan sonra üst başlık ve alt başlık çıkarıldı ve numunenin düzgün olmayan üst yüzeyi spatula yardımı ile düzgün bir hale getirildi. Hazırlanan numunelerin her biri numune çıkartıcı yardımıyla içi vazelinlenmiş olan kalıpların içerisinden çıkarıldı. Çıkartılan numunelerin su muhtevalarını kaybetmemeleri için çıkartılan numune hemen streç filme sarılarak desikatöre yerleştirildi.

Numunelerin deney setine koyulmaları için hazırlıklara başlandı. Öncelikle her bir numune için 2 adet kalıba uygun boyutlarda poroz kağıt kesildi. Deney kalıplarını içi numunenin rahat girmesi için vazelinlendi. Hazırlanan numuneler vazelinlenmiş olan deney seti kalıplarının içine yerleştirildi. Numunelerin alt ve üst yüzeylerine poroz kağıt ve plastik aparatlar konuldu. Numunelerin 3 tanesinin üzerine koymak için alınan çakıl taşları temizlendi ve numunenin üzerine koyuldu. Diğer 3 tanesinin üzerine pistonlu sistem yerleştirildi. Bu çakıl taşlarının numunenin üzerine koyulmasının nedeni numunenin üst yüzeyinin şişmesini önlemektir. Pistonlu sistemin yerleştirilmesinin nedeni ise hem numunenin şişmesini önlemek hem de konsolidasyon için uygulacak basıncın numunenin üst kısmında eşit olarak dağılmasını sağlamaktır. Bu işlemde tamamlandıktan sonra numunenin üzerine koyulmuş olan çakıl taşlarının arasını dolduracak şekilde su konuldu. Pistonlu sistemde ise reaktör içinde suyu sıkıştırılmış zemine iletmek için ince boru kullanıldı. Bu işlemde tamamlandıktan sonra deney setinin alt ve üst kapakları monte edilerek deney seti kurulmaya hazır hale getirildi.

Son olarak standart kompaksiyon deneyi yapılarak deney setlerine yerleştirilen numunelere su bağlandı. Sisteme önce musluk suyu verildi ve numunelerden geçişi beklendi. Bunun nedeni numunenin suya doymuş olmasını istememizdir. Daha sonra sisteme 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. Numunelerin altından su çıktıktan sonra çıkan suyu ince hortumlar yardımıyla ölçülü kaplara aktarmaya başlandı ve belli periyotlarla okumalar alınmaya başlandı. Reaktörden çöp suyu çıkışı 100 ml' ye ulaştığında, numunenin metal parametrelerinin ölçülmesi için İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarına getirilerek analizler yapılmıştır. Numuneler aynı gün mikrobiyolojik aktivitedeki değişiminin incelenmesi için İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Mikrobiyoloji Laboratuvarında da analiz edilmiştir.

3.2.3. Konsolidasyon Deneyinin Yapılışı

Zeminin sıkışma miktarı ve hızını bulmak için pistonlu sistemin üstüne 0.01 mm duyarlılığa sahip ölçüm saatleri yerleştirildi. Daha sonra $0,25 \text{ kg/cm}^2$, $0,5 \text{ kg/cm}^2$ ve 1 kg/cm^2 basınç ölçülerine karşılık gelecek olan ağırlık miktarları belirlendi (Sırasıyla 19 kg, 38 kg ve 76 kg). Herbir reaktör için konsolidasyon deney föyleri hazırlandı ve sisteme asılan ağırlık, toplam ağırlık, uygulanan basınç, tarih, saat kaydedildi. Ağırlıklar asıldıktan 15 sn, 30 sn, 1 dk, 2 dk, 4 dk, 8 dk, 15 dk, 30 dk, 1 saat, 2 saat ve 4 saat sonrasında ölçüm saatindeki değişimler konsolidasyon deney föylerine işlendi. Bu işlem önce ağırlıkların yüklendiği ve sonrasında aynı şekilde ağırlıkların kaldırıldığı süre boyunca tekrarlandı. Sonrasında kaydedilen zaman-sıkışma sonuçları ile grafikler çizilerek konsolidasyon işlemi tamamlanmış oldu.

3.2.4. Kesikli Sistem

Sürekli sistemde kullanılan sızıntı suyu kullanılarak en verimli adsorban miktarını belirlemek için bir seri deney gerçekleştirilip analizler yapıldı. Öncelikle ayrı ayrı erlenlere 0,1g, 0,25 g, 0,5 g, 0,75 g ve 1 g adsorban (kil) koyuldu. Herbirinin üzerine 25 ml sızıntı suyu ilave edildi ve 4 saat boyunca $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de otomatik çalkalayıcıda çalkalandı. Sonra herbiri $0,45 \text{ }\mu\text{m}$ 'lik filtrelerden geçirilerek analizleri yapıldı ve sonuçlara göre en verimli adsorban miktarı 0,25 g olarak belirlendi. Daha sonra sisteme sürenin etkisini belirlemek için, 0,25 g adsorban ile 25 ml sızıntı suyu ile 2 dk, 5 dk, 10 dk, 15 dk, 30 dk, 45 dk, 60 dk, 90 dk, 120 dk, 150 dk, 180 dk, 240 dk, 300 dk çalkalayıcıda karıştırılmak üzere erlenler hazırlandı. Buradan alınan tüm

numunelerde analizler yapıldı. Aynı işlemler 35 °C, 45 °C ve 60 °C için de tekrarlanarak sıcaklığın etkisi incelendi.

3.2.5. Atık Analizleri

Killi zeminin arıtım kapasitesinin belirlenmesi amacıyla çıkış suyunda yapılan Fe, Mn, Zn, Cu, Pb ve Cd (alevli AAS ile) ve mikrobiyolojik analizler (mebran filtrasyon yöntemi) standart metodlarda belirtildiği şekilde yapılmıştır [76]. Deney esnasında ortamın steril olması sağlanmış ve bunun için aseptik teknikler takip edilmiştir.

4. BULGULAR

Çalışmanın bu bölümünde, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılmış ve standart kompaksiyonla konsolidasyon uygulanmış killi zeminden sızıntı suyu geçirilirken bazı metal iyonları (Fe(II), Mn(II), Zn(II), Pb(II), Cu(II), Cd(II)), mikrobiyolojik aktivitenin (Toplam Heterotrofik Bakteri, Toplam Koliform, Fekal Koliform, Fekal Streptokok, Fungi (mantar)) değişimi ve standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılmış ve standart kompaksiyonla konsolidasyon uygulanmış killi zeminin permeabilitesi (geçirgenliği) incelenmiştir. Bu amaçla çalışma dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşamada; çalışmada kullanılan kilin kimyasal analizi, fiziko kimyasal karakterizasyonu ve elek analizi yapılmıştır. Bu amaçla, XRD analizi İstanbul Üniversitesi İleri Analizler Laboratuvarında, diğer analizler Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Zemin Laboratuvarlarında yürütülmüştür.

İkinci aşamada; killi zeminin kompaksiyon, permeabilite ve konsolidasyon deneyleri Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Zemin Laboratuvarlarında yürütülmüştür. Kesikli sistem deneyleri ise İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü aşama; killi zeminin arıtım kapasitesinin belirlenmesi amacıyla giriş ve çıkış suyunda yapılan Fe(II), Mn(II), Zn(II), Pb(II), Cu(II), Cd(II) analizleri ve mikrobiyolojik analizler İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Mikrobiyoloji Laboratuvarında yapılmıştır. Analizler reaktörün giriş ve çıkışından alınarak yapılmıştır.

Dördüncü aşamada; Temiz ve kirlili zemin örneğinde SEM analizleri de Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölüm Laboratuvarlarında yapılmıştır.

4.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN SIZINTI SUYUNUN VE KİLLİ ZEMİNİN ÖZELLİKLERİ

4.1.1. Sızıntı Suyunun Özellikleri

Şile-Kömürcüoda düzenli depolama alanından alınan numunelerde yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.1.'de, mikrobiyolojik analizler Tablo 4.2'de verilmektedir.

Tablo 4.1 : Kimyasal parametreler

Fe(II) (mg/L)	Mn(II) (mg/L)	Pb(II) (mg/L)	Zn(II) (mg/L)	Cu(II) (mg/L)	Cd(II) (mg/L)
65.3	1.33	0.536	2.376	1.499	<0.1

Tablo 4.2 : Mikrobiyolojik parametreler

Toplam Bakteri (kob/100ml)	Toplam Koliform (kob/100ml)	Fekal Koliform (kob/100ml)	Fekal Streptokok (kob/100ml)	Fungi (Mantar) (kob/100ml)
2.20×10^7	3.00×10^6	1.10×10^6	4.50×10^6	1.00×10^6

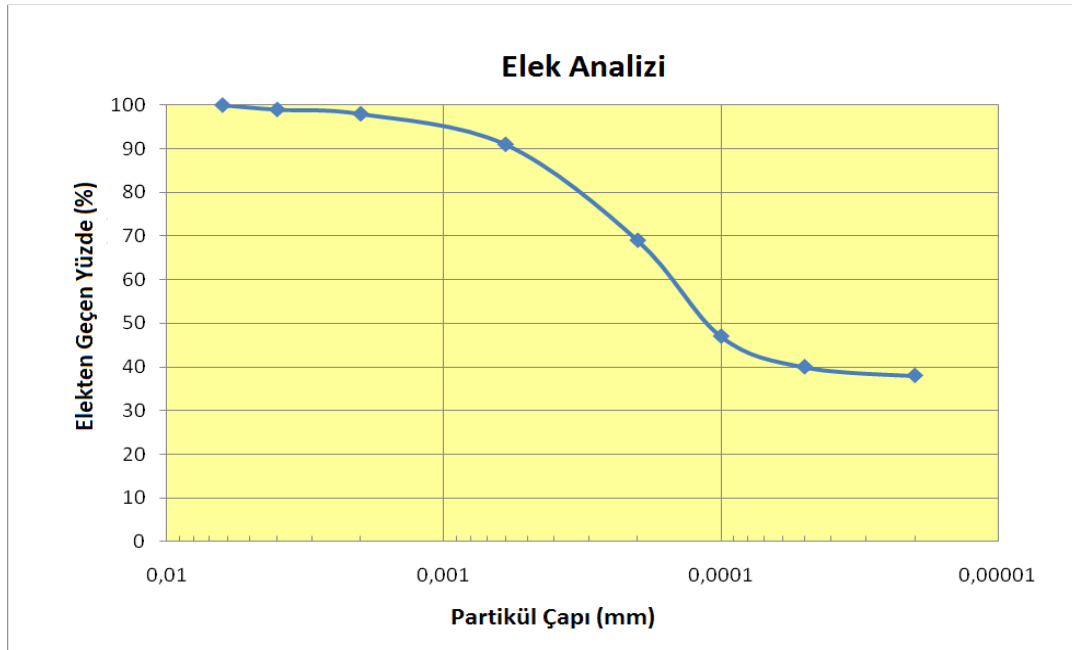
4.1.2. Killi Zeminin Özellikleri

Bu çalışmada siltli kil kullanılmıştır. Rengi sarımsı griden kahverengimsi griye değişim göstermektedir. Şile Kömürcüoda Düzenli Depolama Alanından alınan kil numunesi alttan üste doğru kil (Gürpınar Formasyonu) ve kumdan (Çukurçeşme Formasyonu) oluşmaktadır.

Tablo 4.3 : Kömürcüoda depolama alanında kullanılan kilin özellikleri [2,21].

Kimyasal Analiz (%)		Mineral İçeriği (%)		Elek Analizi (%)	
SiO ₂	51-54	Kaolinit	68-71	63 µm	100
Al ₂ O ₃	27-29			40 µm	99
Fe ₂ O ₃	2.5-2.7	Serbest Kuvars	6-9	20 µm	98
TiO ₂	1.1-1.2			6 µm	91
CaO	0.1-0.2			2 µm	69
MgO	0.7-0.8	İllit	15-18	1 µm	47
Na ₂ O	0.0-0.1				
K ₂ O	2.7-2.9	Diğerleri	2-5		
SO ₃	----				

Sızdırma kaybı %8.5 – 9 Su Emme % 0.2 – 0.4



Şekil 4.1. Elek analizi

Şile Kömürcüoda Düzenli Depolama Alanından alınan kil numunesinin %68-71 kaolinit, %6-9 serbest kuvars, %15-18 illit, %2-5 diğer minerallerden oluşmaktadır. Kilin permeabilitesi $k=1 \times 10^{-8}$ cm/s, sızdırma kaybı %8.5 – 9 ve su emme kapasitesi % 0.2 – 0.4 olarak belirlenmiştir.

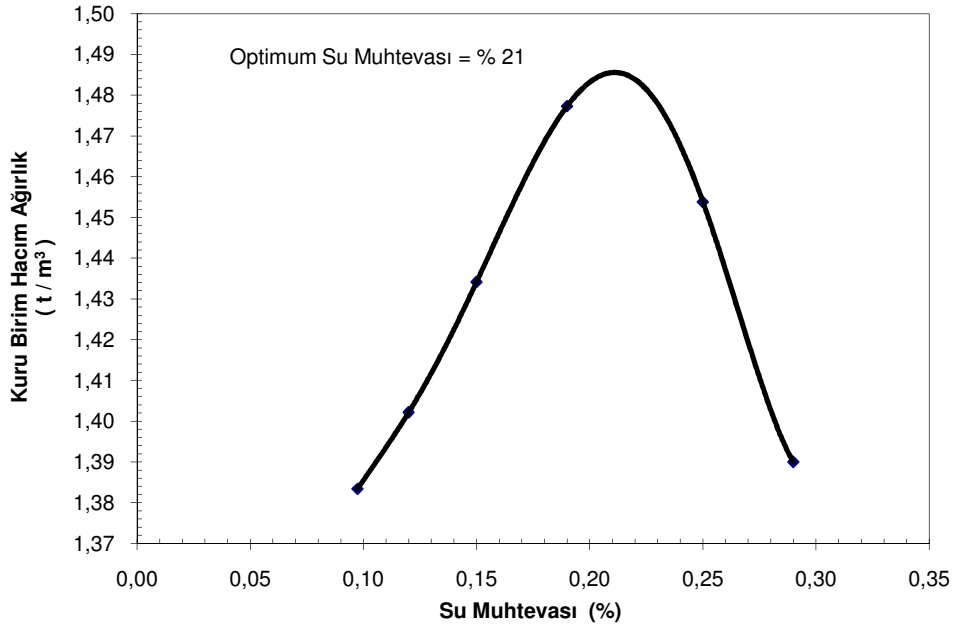
4.2. KOMPAKSİYON, PERMEABİLİTE VE KONSOLİDASYON DENEY SONUÇLARI

4.2.1. Kompaksiyon Deney Sonuçları

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. Zeminin su muhtevası ile sıkıştırılmış kuru yoğunluğu arasındaki ilişki deneysel olarak saptanmış ve sonuçlar şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.4 : Kompaksiyon deney sonuçları

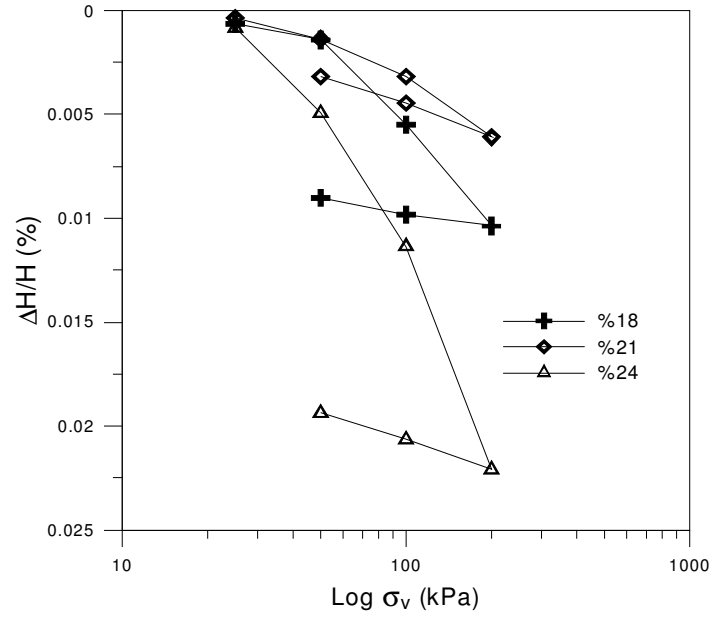
Numunenin geldiği yer	Kömürcüoda
Kabın Hacmi	1000 cm ³
Çap	10.47 cm
Yükseklik	11.56 cm
Tabaka Sayısı	3
Tokmak Ağırlığı	2.5
Düşüş Yüksekliği	30.5
Vuruş Adedi	Her bir tabaka için 25 ‘er vuruş.



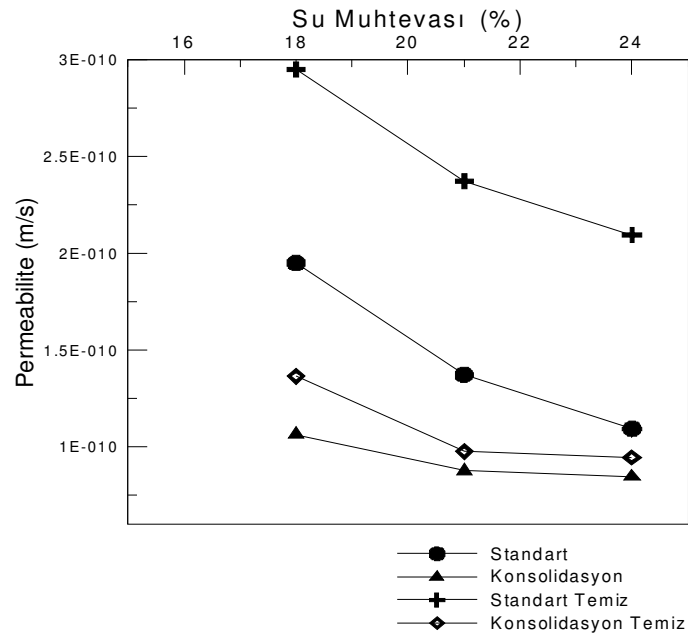
Şekil 4.2. Kompaksiyon deneyi sonuçları

4.2.2. Konsolidasyon ve Permeabilite Deney Sonuçları

Laboratuvarda hazırlanmış farklı enerji uygulaması sonucunda sıkıştırılmış kil numune üzerinde yapılan permeabilite deneyleri sonucunda elde edilen değerler Şekil 4.4’de verilmiştir. Standart kompaksiyon uygulaması sonucunda elde edilen numuneler üzerinde permeabilite deneyi yapılmıştır. Numuneler optimum su muhtevası, optimum su muhtevasının %3 fazlası ve %3 altında hazırlanmıştır. Hazırlanan 3 numune üzerinde permeabilite ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler, numuneler üzerinden çöp suyu geçirilerek permeabilite belirlenmiştir. Aynı işlemler standart kompaksiyonla konsolidasyon uygulanarak hazırlanmış numunelerde de tekrarlanmıştır. Konsolidasyon uygulanan numunelerin gerilme ve deformasyon eğrileri Şekil4.3.’de yer almaktadır. Bu işlemler sonucunda elde edilen permeabilite değerleri de Şekil4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Ödometre gerilme - deformasyon eğrisi



Şekil 4.4. Standart kompaksiyon ve standart kompaksiyonla konsolidasyon uygulanan zemin örneklerinin permeabilite deney sonuçları

Şekilden görüldüğü gibi kirlenme ve konsolidasyon uygulanması ile kil numunenin permeabilitesinde değişimler gözlenmektedir. Sızıntı suyunda bulunan süspansiyon maddelerin killi zeminin partikülleri arasındaki boşlukları doldurarak permeabilitenin düşmesine neden olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, standart kompaksiyon uygulanan

numunelerden suyun daha hızlı geçtiği, standart kompaksiyon uygulanarak konsolidasyon yüklemesi altındaki numunelerden ise suyun daha zor geçtiği gözlenmiştir. Standart kompaksiyon uygulanan numunelerin permeabilitesi 10^{-10} m/s seviyesinde iken standart kompaksiyon ve konsolidasyon uygulanan numunelerin permeabilitesinin 10^{-11} m/s seviyesinde olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin, yükleme altında numune içindeki boşlukların azalarak sızıntı suyunun geçişini zorlaştırmış olduğu düşünülmektedir.

4.3. SIZINTI SULARININ KİLLİ ZEMİNLERDE ARITIM DENEY SONUÇLARI

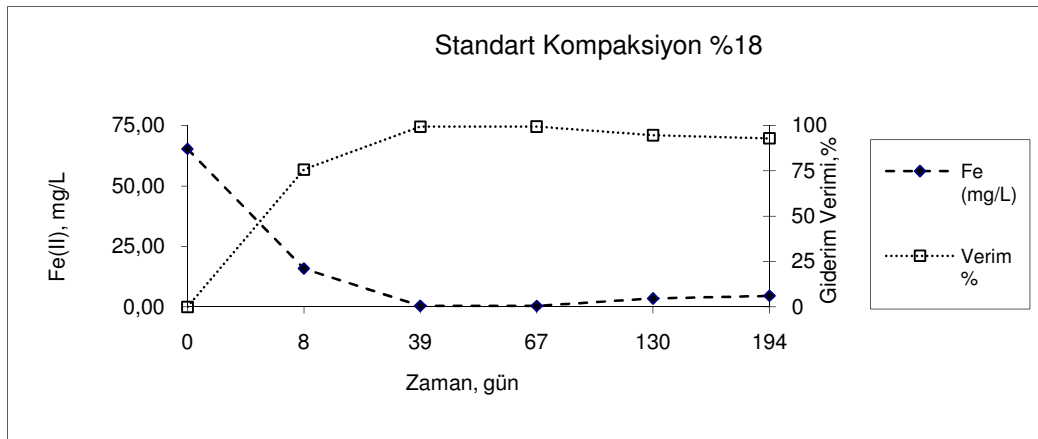
Bu çalışmada Şile Kömürcüoda Düzenli Depolama Alanı'ndan alınan sızıntı sularının, yine aynı yerden alınan örselenmiş killi zeminin standart kompaksiyon ve standart kompaksiyonla konsolidasyon metodları ile sıkıştırılarak hazırlanan numunelerde Fe(II), Mn(II), Zn(II), Cu(II), Pb(II), Cd(II) ve Toplam Heterotrofik Bakteri, Toplam Koliform, Fekal Koliform, Fekal Streptokok ve Fungi(Mantar) için giderim verimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.3.1. Metal Analiz Sonuçları

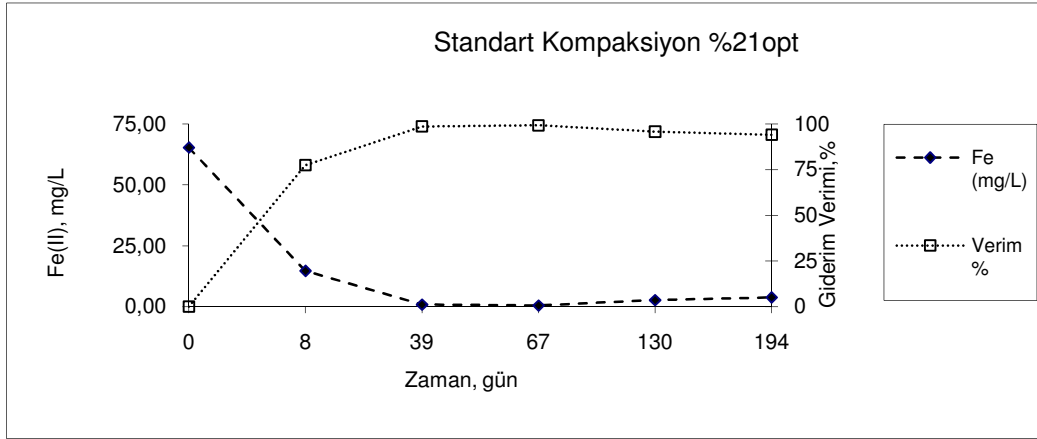
DeneySEL çalışma sürekli ve kesikli olmak üzere iki ayrı kısımda gerçekleştirilmiştir.

4.3.1.1. Sürekli Sistem

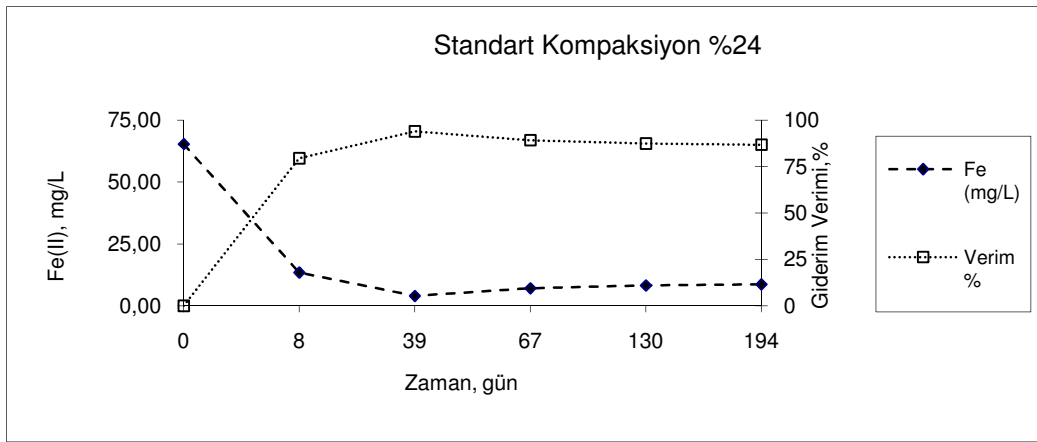
4.3.1.1.1. Demir Analiz Sonuçları



Şekil 4.5. Fe(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))



Şekil 4.6. Fe(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))

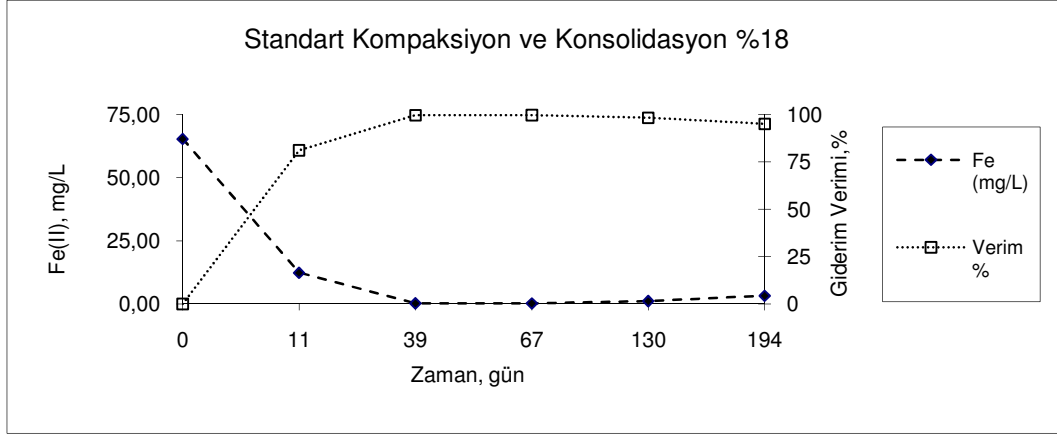


Şekil 4.7. Fe(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))

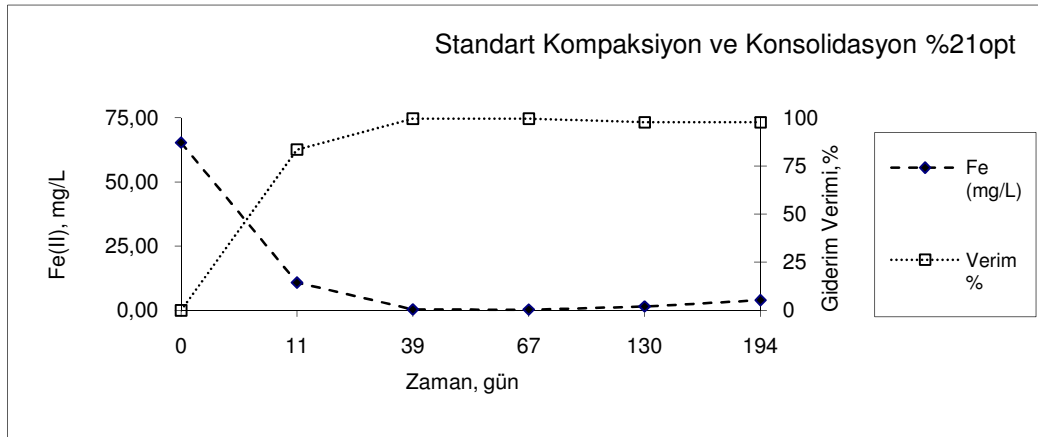
Sızıntı suyunun başlangıç Fe(II) değeri 65.30 mg/L olarak ölçülmüştür ve sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 8 gün sürmüştür. Şekillerden de görüldüğü gibi, 8. günde reaktörlerden çıkan sızıntı suyunun Fe(II) değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir, dolayısıyla verimde de artış gözlemlenmiştir. %21 nem oranı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan numunenin bulunduğu reaktörde Fe(II) çıkış değeri 14.68 mg/L ve giderim verimi %78 olarak elde edilmiştir.

Optimum su içeriği %21, %18 ve %24 olan numunelerde 39. günde elde edilen Fe(II) çıkış değeri ise sırasıyla 0.84 mg/L, 0.41 mg/L, 3.98 mg/L ve verimi %99, %99, %94 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.5-4.7). Standart yöntemle sıkıştırılmış kil numunesinin ortalama giderim verimi %97 olduğu görülmüştür. Adsorpsiyon 194 gün boyunca izlenmiştir. Ancak şekillerden görüldüğü gibi genel olarak 39. güne kadar Fe(II)'nin giderim veriminin arttığı

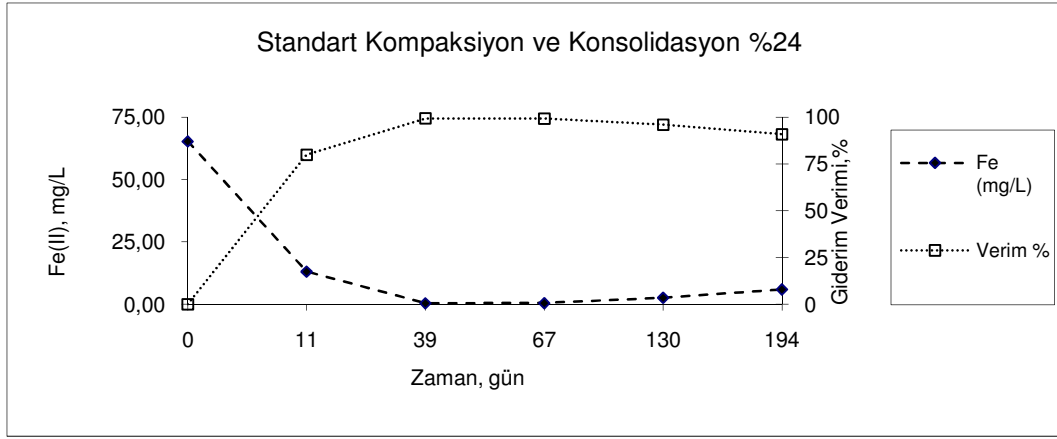
sonraki günlerde azalmaya başladığı görülmüştür. Bu değişim 39. güne kadar adsorpsiyon sonrasında da desorpsiyon olarak açıklanabilir. Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılmış killi zeminde gideriminin incelendiği bu çalışmada Fe(II) giderim veriminin oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.8. Fe(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))



Şekil 4.9. Fe(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))

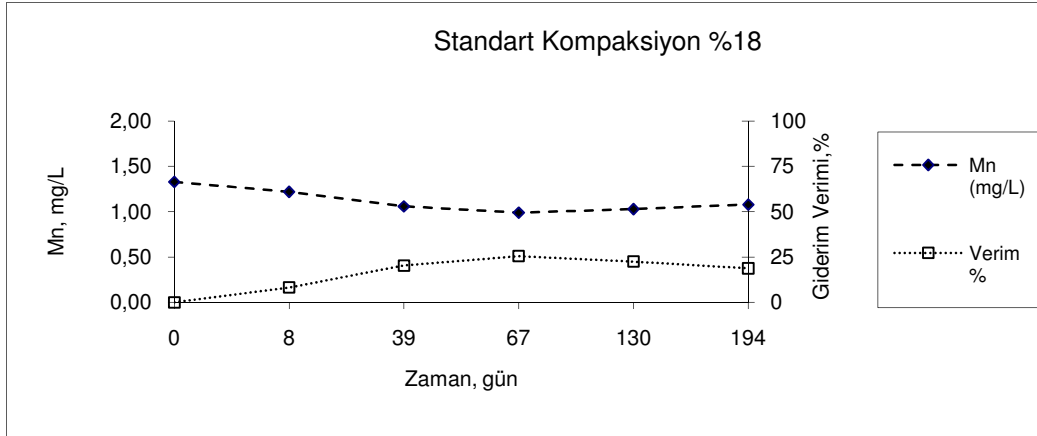


Şekil 4.10. Fe(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))

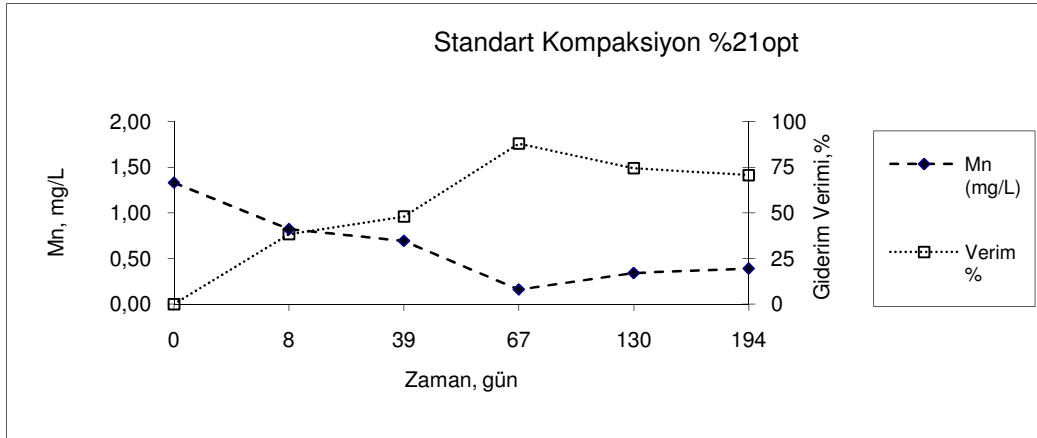
Sızıntı suyunun Fe(II) giriş değeri 65.30 mg/L olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart kompaksiyon ve konsolide killi zeminden ilk geçişi 11 gün sürmüştür ve 11. günde %21 nem oranlı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde Fe(II) çıkış değeri 10.79 mg/L ve giderim verimi %83, 39.günde ise Fe(II) çıkış değeri 0.31 mg/L ve giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir. %18 nem oranlı standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 11. günde Fe(II) çıkış değeri 12.36 mg/L ve giderim verimi %81, 39. gündeki Fe(II) çıkış değeri 0.28 mg/L ve verimi %100 olarak elde edilmiştir. %24 nem oranlı standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 11. günde Fe(II) çıkış değeri 13.12 mg/L ve giderim verimi %80, 39. gündeki Fe(II) çıkış değeri 0.43 mg/L ve giderim verimi %99 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.8-4.10). Sonuçlardan görüldüğü gibi optimum nem oranında ortalama giderim verimi daha yüksek olmuştur.

Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %100, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %99 olduğu görülmektedir.

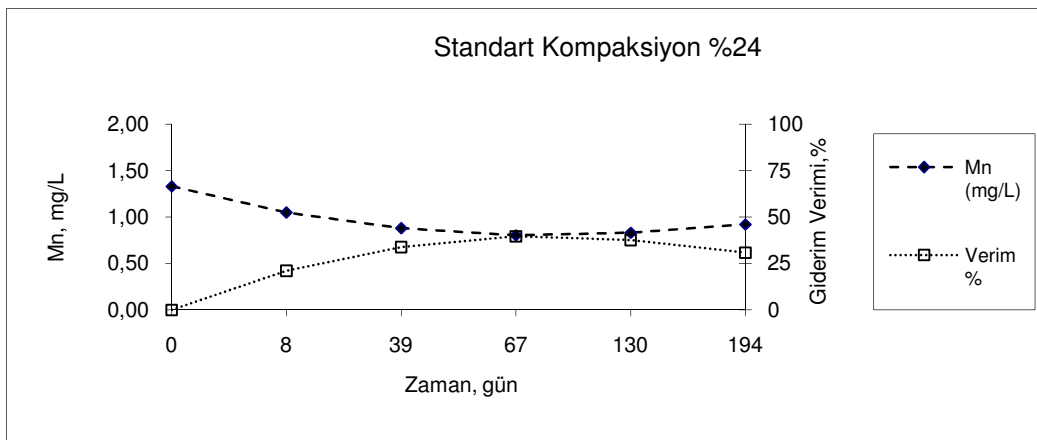
4.3.1.1.2. Mangan Analiz Sonuçları



Şekil 4.11. Mn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))



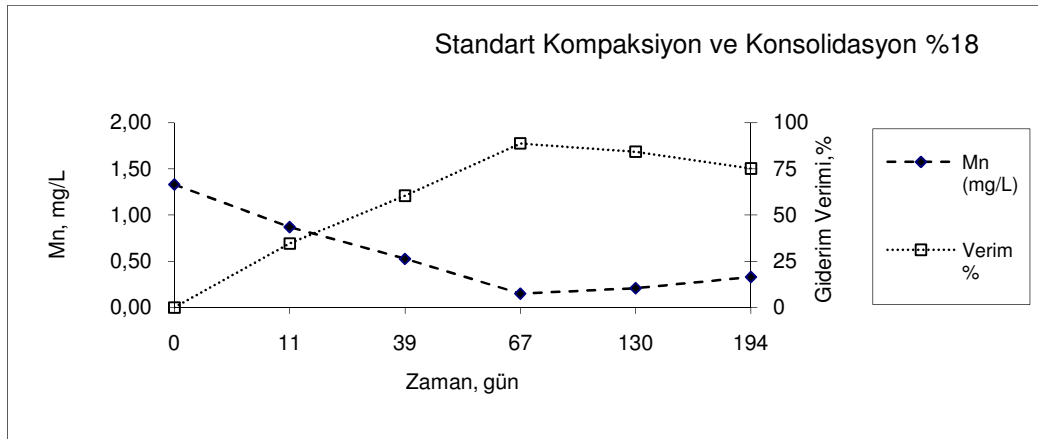
Şekil 4.12. Mn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))



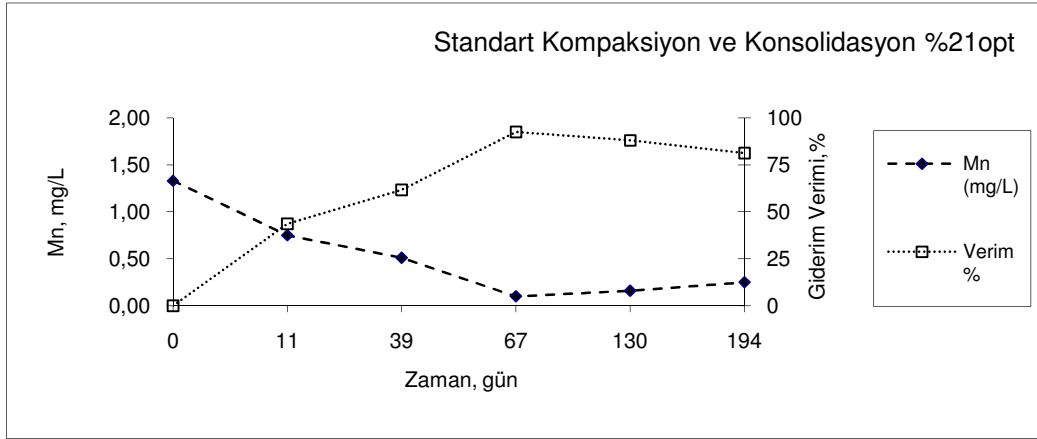
Şekil 4.13. Mn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))

Mn(II) giriş değeri 1.33 mg/L olarak ölçülen sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 8 gün sürmüştür. Şekillerden görüldüğü gibi 8. günde reaktörden çıkan sızıntı suyunun Mn(II) değerinde düşüş gerçekleşmiştir. %21 nem oranı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan numunenin bulunduğu reaktördeki Mn(II) çıkış değeri 0.82 mg/L'ye düşmüştür. Burada Mn(II) giderim verimi %38 olarak elde edilmiştir.

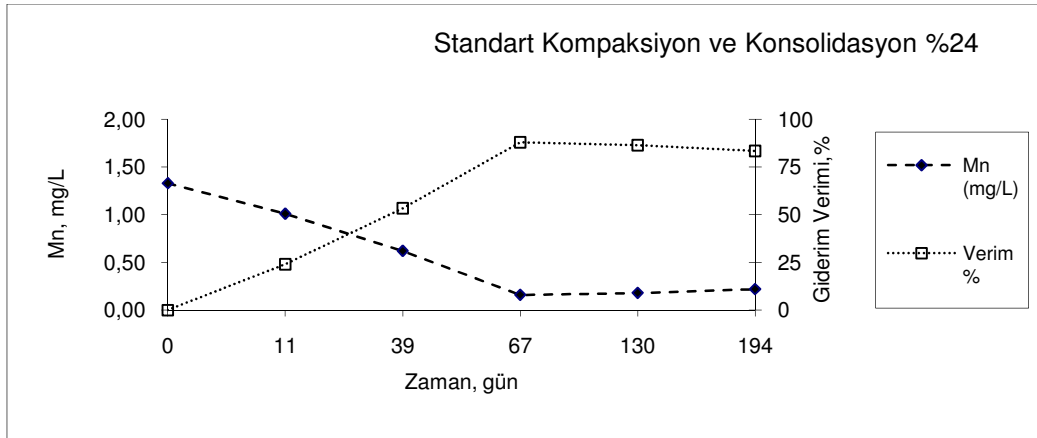
67. günde elde edilen Mn(II) çıkış değeri ise su içeriği %21, %18 ve %24 olan numunelerde sırasıyla 0.16 mg/L, 0.99 mg/L, 0.80 mg/L ve verimi % 88, %26, %40 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.11-4.13). Şekillerden de görüldüğü gibi standart yöntemle sıkıştırılmış kil numunesinin ortalama giderim verimi %51 olduğu saptanmış ve genel olarak 67. güne kadar Mn(II)'nin giderim veriminin arttığı sonraki günlerde azaldığı görülmüştür. Bu değişim 67 ile 130. günler arasında desorpsiyonun başladığını göstermektedir. 194 gün boyunca izlenen adsorpsiyon çalışması sonucunda, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılmış killi zeminde Mn(II) giderim veriminin yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.14. Mn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))



Şekil 4.15. Mn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))



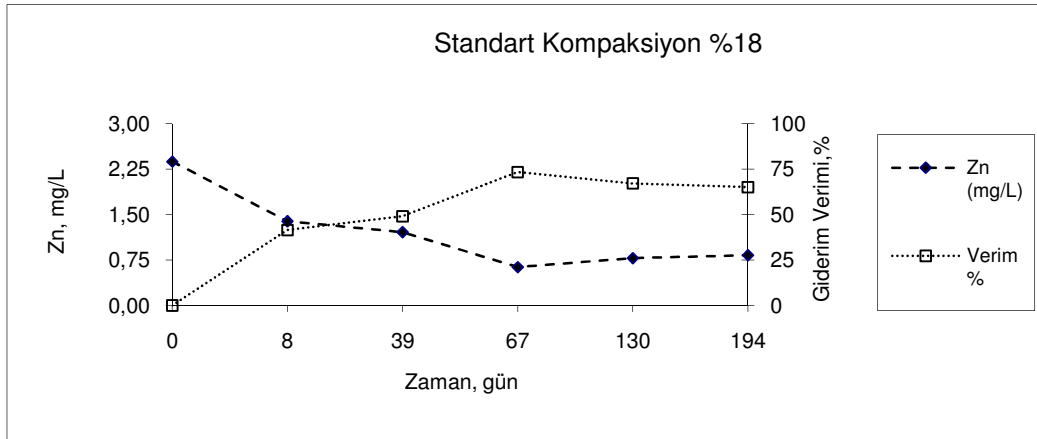
Şekil 4.16. Mn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))

Şekillerden görülebileceği gibi başlangıç Mn(II) değeri 1.33 mg/L olarak ölçülmüştür ve sızıntı suyunun standart ve konsolide killi zeminden ilk geçişi 11 gün sürmüştür. 11. günde reaktörlerden çıkan sızıntı suyunun Mn(II) değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir. %21 nem oranlı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde Mn(II) çıkış değeri 0.75 mg/L ve giderim verimi %44, 39.günde ise Mn(II) çıkış değeri 0.51 mg/L ve giderim verimi %62 olarak elde edilmiştir. %18 nem oranlı standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 11. günde Mn(II) çıkış değeri 0.87 mg/L ve giderim verimi %35, 39. gündeki Mn(II) çıkış değeri 0.53 mg/L ve verimi %60 olarak elde edilmiştir. %24 nem oranlı standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon

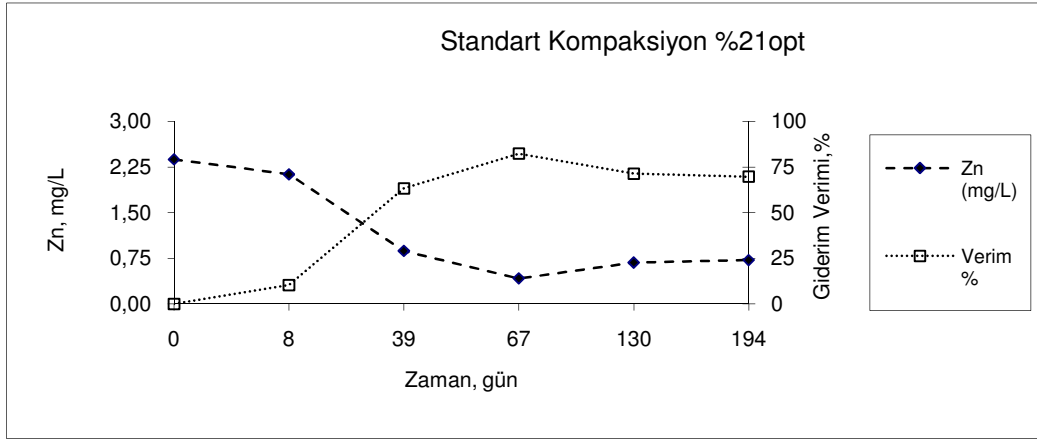
uygulanen numunenin bulunduğu reaktörde 11. günde Mn(II) çıkış değeri 1.01 mg/L ve giderim verimi %24, 39. gündeki Mn(II) çıkış değeri 0.62 mg/L ve giderim verimi %53 olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde 67.günde %21(opt.) nem oranında %92 giderim verimi, %18 nem oranında %89 giderim verimi, %24 nem oranında %88 giderim verimleri elde edilmiştir (Şekil 4.14-4.16). Sonuçlardan görüldüğü gibi optimum nem oranında giderim verimi daha yüksek olmuştur.

Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %92, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %88 olduğu görülmektedir.

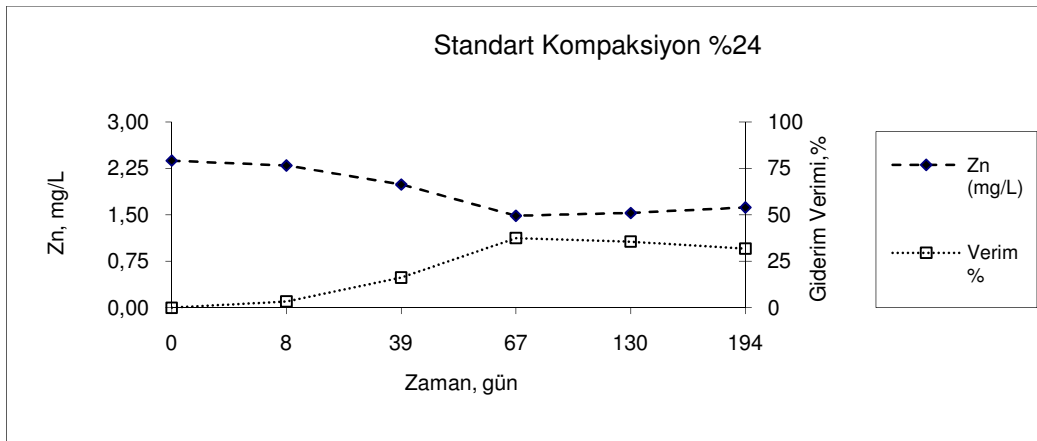
4.3.1.1.3. Çinko Analiz Sonuçları



Şekil 4.17. Zn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))



Şekil 4.18. Zn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))

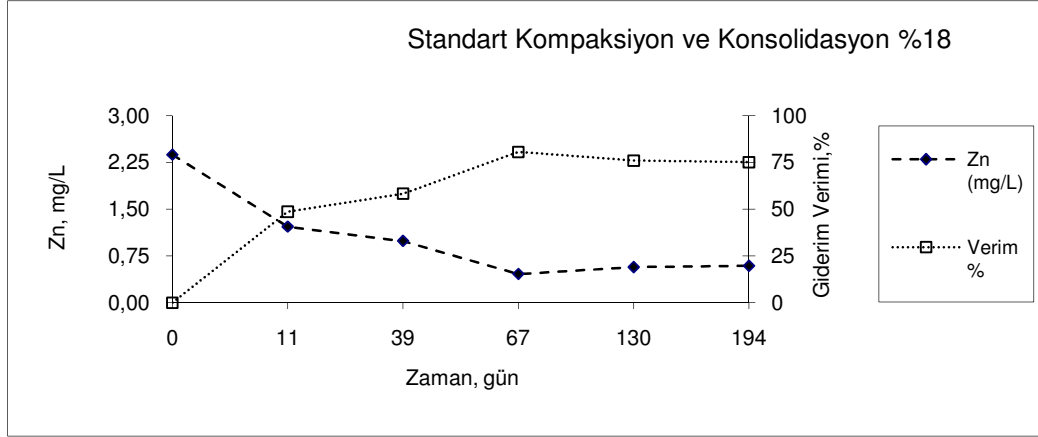


Şekil 4.19. Zn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))

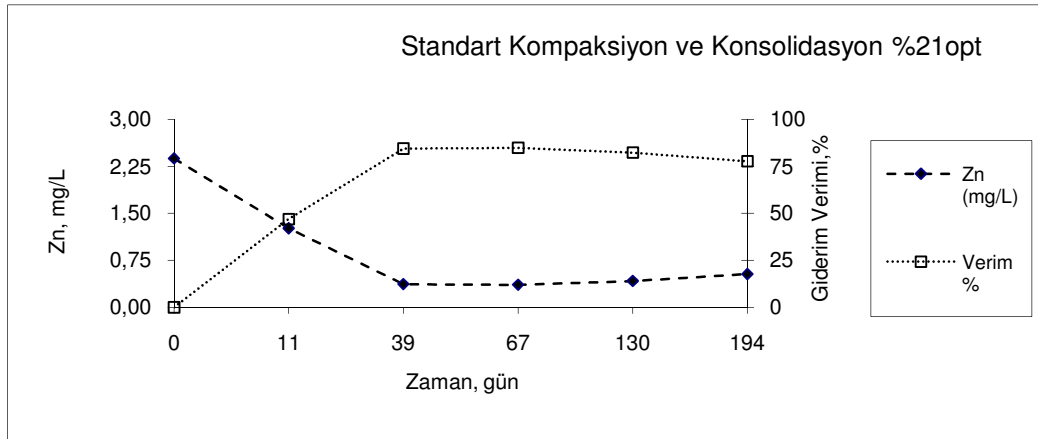
Sızıntı suyunun başlangıç Zn(II) değeri 2.376 mg/L olarak ölçülmüştür ve sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 8 gün sürmüştür. Şekillerden de görüldüğü gibi, 8. günde reaktörlerden çıkan sızıntı suyunun Zn(II) değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir, dolayısıyla verimde de artış gözlemlenmiştir. %21 nem oranı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan numunenin bulunduğu reaktörde Zn(II) çıkış değeri 2.13 mg/L ve giderim verimi %10 olarak elde edilmiştir.

Optimum su içeriği %21, %18 ve %24 olan numunelerde 67. günde elde edilen Zn(II) çıkış değeri ise sırasıyla 0.42 mg/L, 0.63 mg/L, 1.49 mg/L ve verimi % 82, %73, %38 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.17-4.19). Standart yöntemle sıkıştırılmış kil numunesinin ortalama giderim verimi %64 olduğu görülmüştür. Adsorpsiyon 194 gün boyunca izlenmiştir. Ancak şekillerden görüldüğü gibi genel olarak 67. güne kadar Zn(II)'nin giderim veriminin arttığı

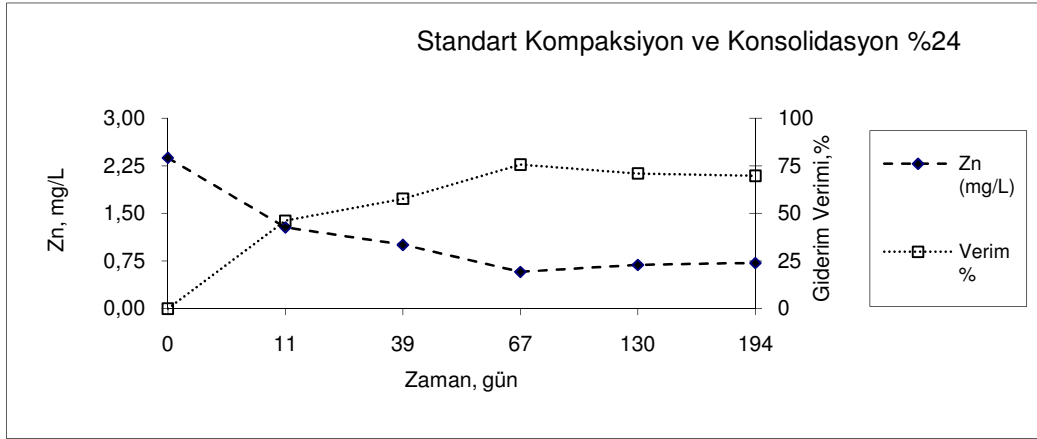
sonraki günlerde azalmaya başladığı görülmüştür. Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılmış killi zeminde Zn(II) giderim veriminin oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.20. Zn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))



Şekil 4.21. Zn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))

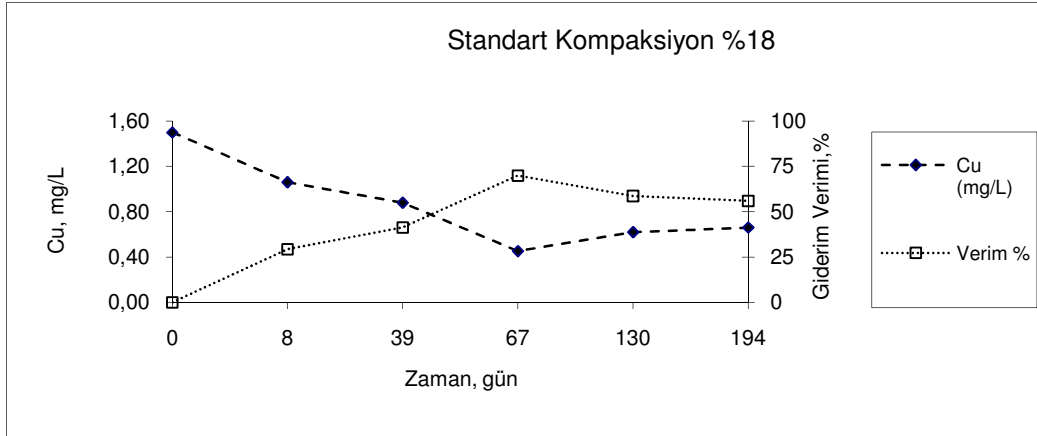


Şekil 4.22. Zn(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))

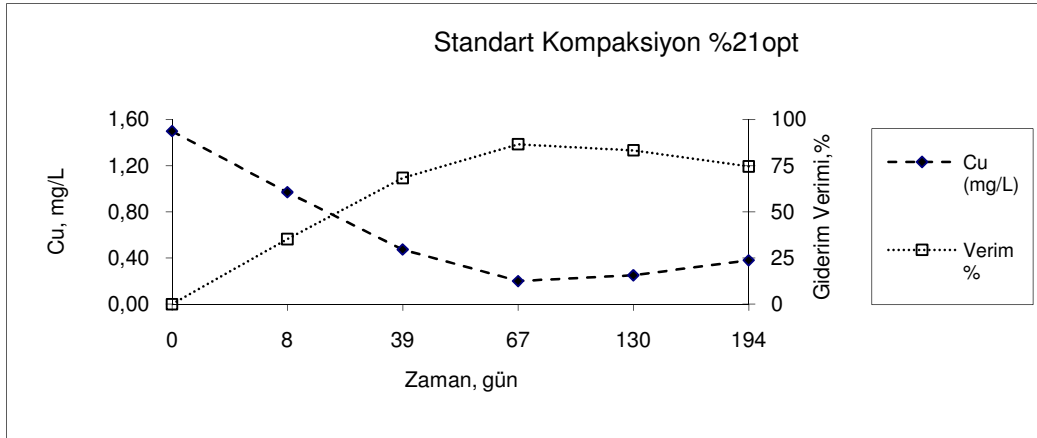
Sızıntı suyunun Zn(II) giriş değeri 2.376 mg/L olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart kompaksiyon ve konsolide killi zeminden ilk geçişi 11 gün sürmüştür ve 11. günde %21 nem oranlı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde Zn(II) çıkış değeri 1.26 mg/L ve giderim verimi %47, 39.günde ise Zn(II) çıkış değeri 0.37 mg/L ve giderim verimi %84 olarak elde edilmiştir. 67.günde %21(opt.)nem oranında %85 giderim verimi, %18 nem oranında %81 giderim verimi, %24 nem oranında %76 giderim verimleri elde edilmiştir (Şekil 4.20-4.22). Sonuçlardan görüldüğü gibi optimum nem oranında ortalama giderim verimi daha yüksek olmuştur.

Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %85, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %82 olduğu görülmektedir.

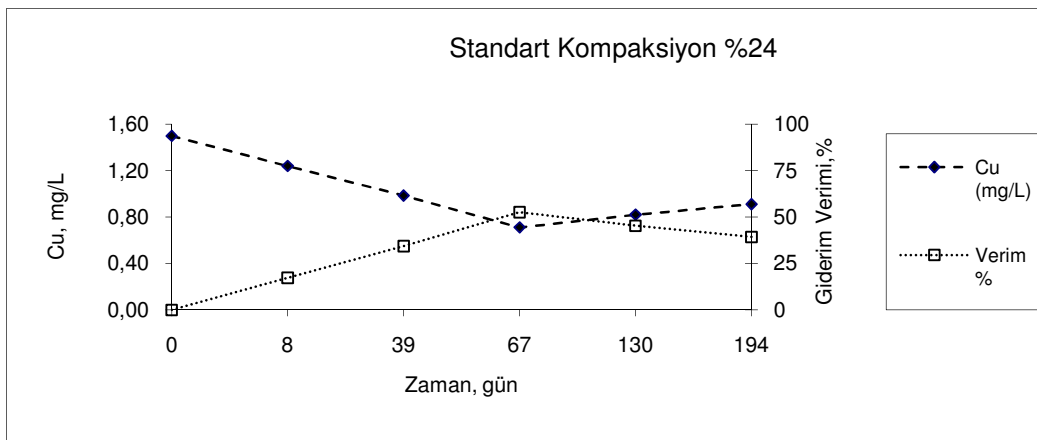
4.3.1.1.4. Bakır Analiz Sonuçları



Şekil 4.23. Cu(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))



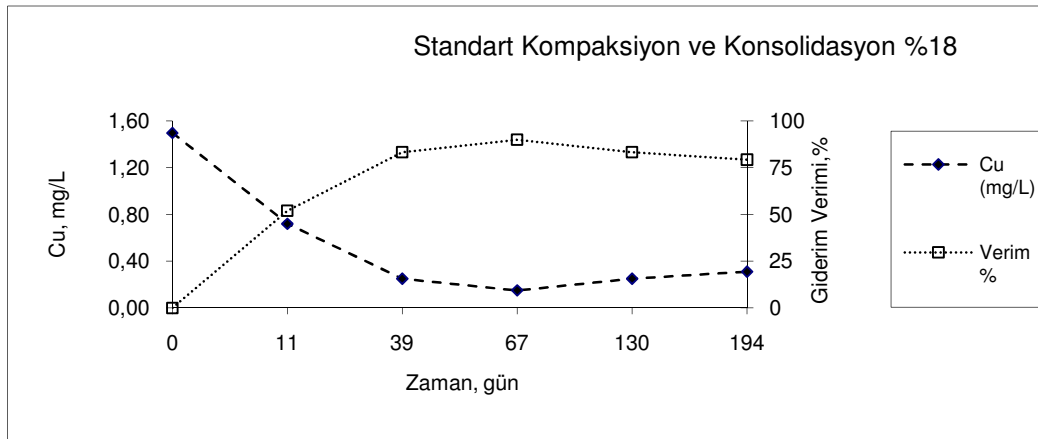
Şekil 4.24. Cu(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))



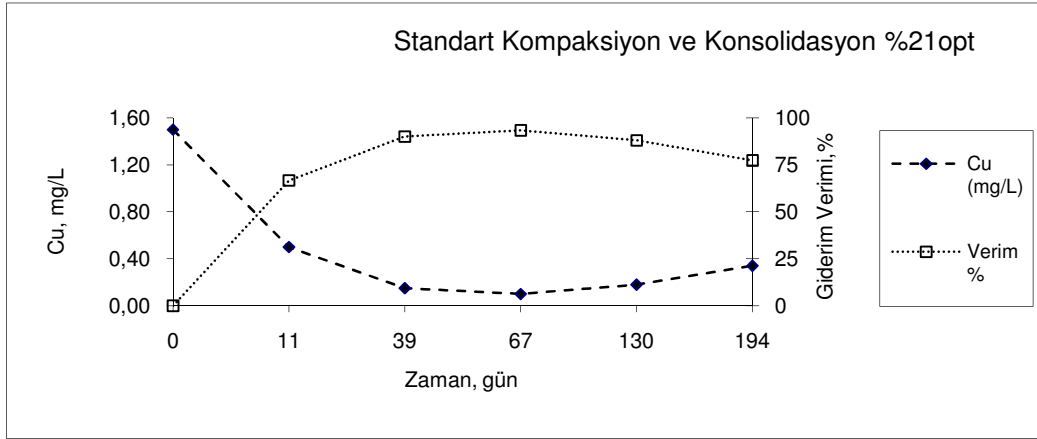
Şekil 4.25. Cu(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))

Cu(II) giriş değeri 1.499 mg/L olarak ölçülen sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 8 gün sürmüştür. Şekillerden görüldüğü gibi 8. günde reaktörden çıkan sızıntı suyunun Cu(II) değerinde düşüş gerçekteşmiştir. %21 nem oranı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan numunenin bulunduğu reaktördeki Cu(II) çıkış değeri 0.97 mg/L'ye düşmüştür. Burada Cu(II) giderim verimi %35 olarak elde edilmiştir.

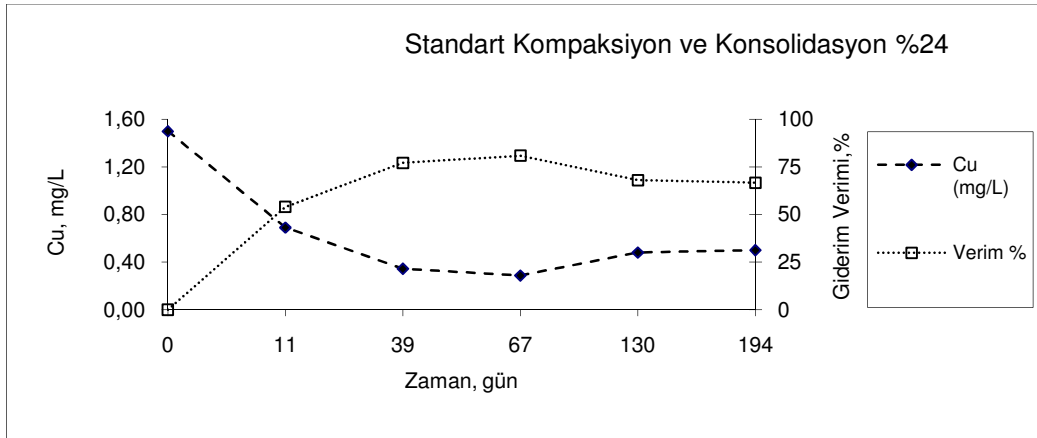
67. günde elde edilen Cu(II) çıkış değeri ise su içeriği %21, %18 ve %24 olan numunelerde sırasıyla 0.20 mg/L, 0.45 mg/L, 0.71 mg/L ve verimi % 87, %70, %53 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.23-4.25). Şekillerden de görüldüğü gibi standart yöntemle sıkıştırılmış kil numunesinin ortalama giderim verimi %70 olduğu saptanmış ve genel olarak 67. güne kadar Cu(II)'nin giderim veriminin arttığı sonraki günlerde azalmaya başladığı görülmüştür. 194 gün boyunca izlenen adsorpsiyon çalışması sonucunda, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılmış killi zeminde Cu(II) giderim veriminin oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.26. Cu(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))



Şekil 4.27. Cu(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))



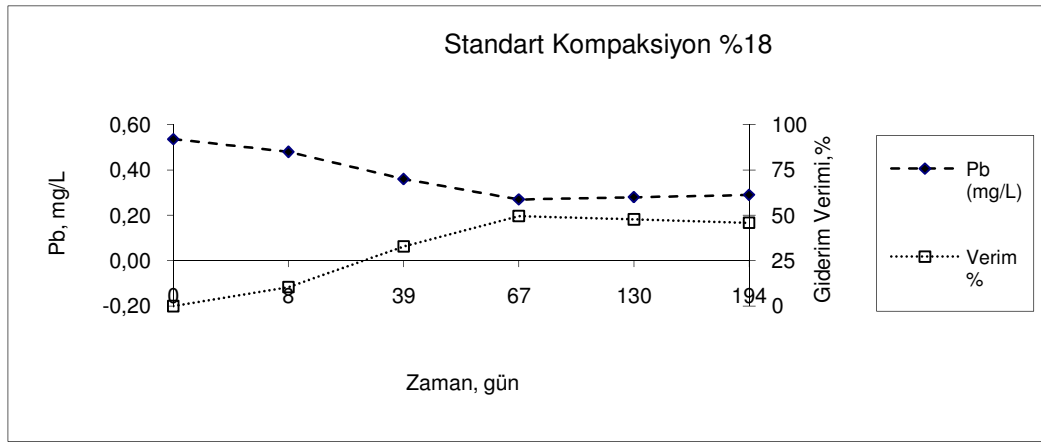
Şekil 4.28. Cu(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))

Şekillerden görülebileceği gibi başlangıç Cu(II) değeri 1.499 mg/L olarak ölçülmüştür ve sızıntı suyunun standart ve konsolide killi zeminden ilk geçişi 11 gün sürmüştür. 11. günde reaktörlerden çıkan sızıntı suyunun Cu(II) değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir. %21 nem oranlı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde Cu(II) çıkış değeri 0.50 mg/L ve giderim verimi %67, 39.günde ise Cu(II) çıkış değeri 0.15 mg/L ve giderim verimi %90 olarak elde edilmiştir. %18 nem oranlı standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 39. gündeki Cu(II) çıkış değeri 0.25 mg/L ve verimi %83 olarak elde edilmiştir. %24 nem oranlı standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 39. gündeki Cu(II)

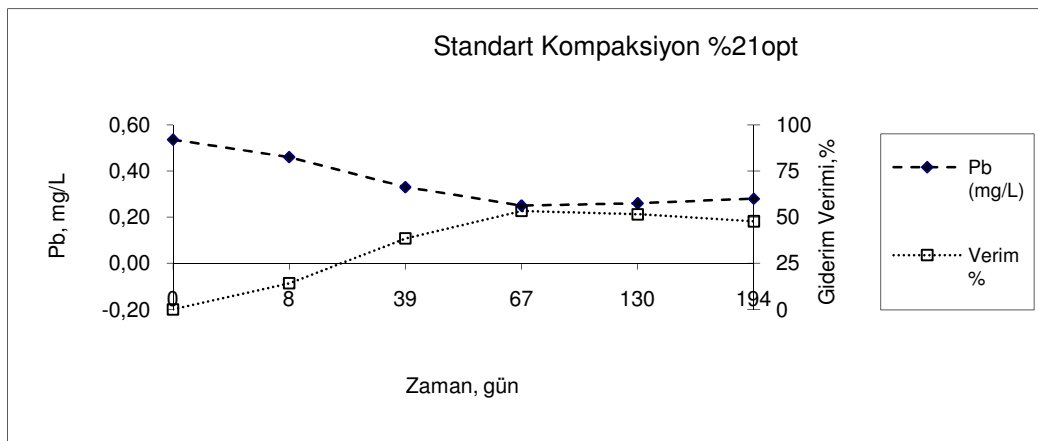
çıkış değeri 0.34 mg/L ve giderim verimi %77 olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde 67.günde %21(opt.)nem oranında %93 giderim verimi, %18 nem oranında %90 giderim verimi, %24 nem oranında %81 giderim verimleri elde edilmiştir (Şekil 4.26-4.28). Sonuçlardan optimum nem oranında giderim veriminin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %93, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %87 olduğu görülmektedir.

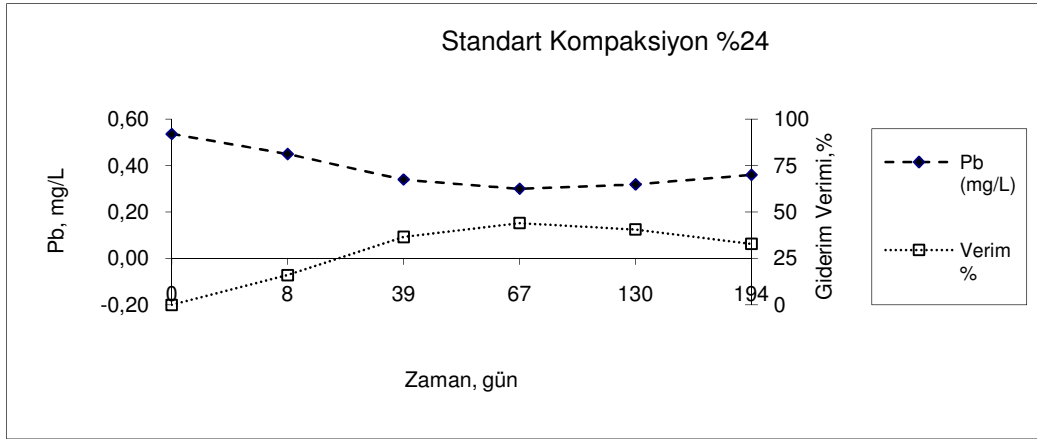
4.3.1.1.5. Kurşun Analiz Sonuçları



Şekil4.29. Pb(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))



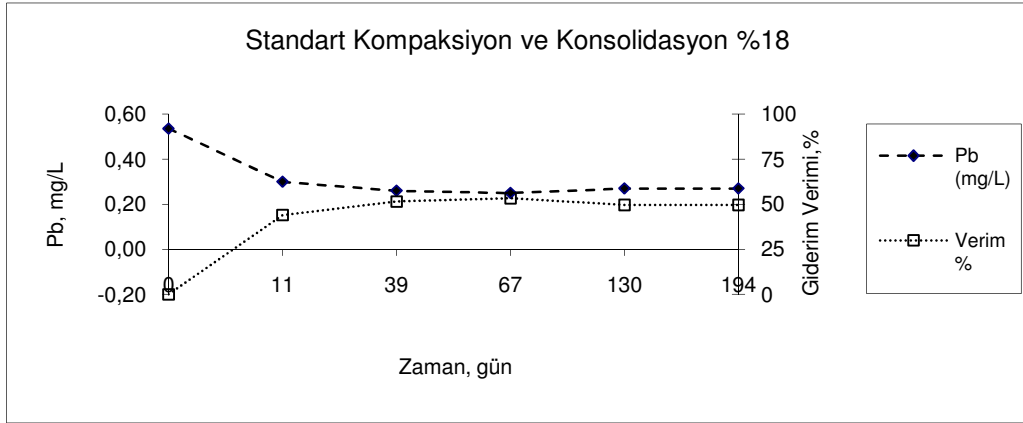
Şekil 4.30. Pb(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))



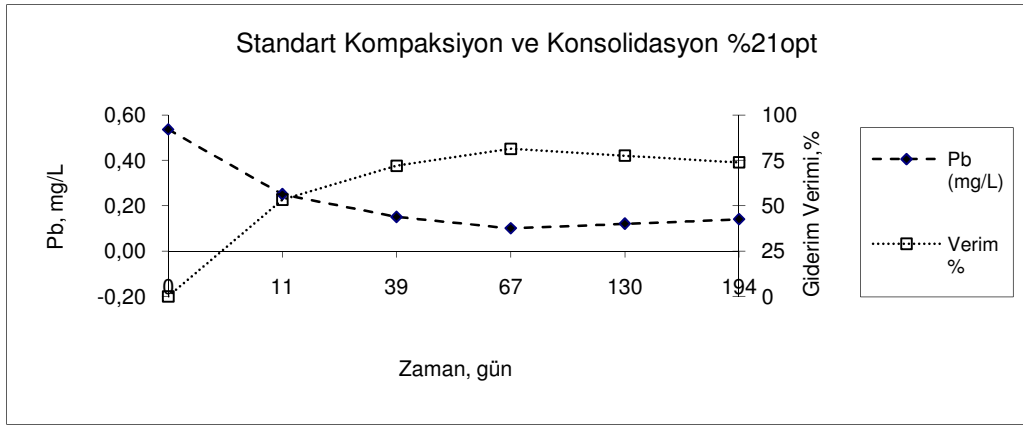
Şekil 4.31. Pb(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))

Sızıntı suyunun başlangıç Pb(II) değeri 0.536 mg/L olarak ölçülmüştür ve sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 8 gün sürmüştür. Şekillerden de görüldüğü gibi, 8. günde reaktörlerden çıkan sızıntı suyunun Pb(II) değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir, dolayısıyla verimde de artış gözlemlenmiştir. %21 nem oranı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan numunenin bulunduğu reaktörde Pb(II) çıkış değeri 0.46 mg/L ve giderim verimi %14 olarak elde edilmiştir.

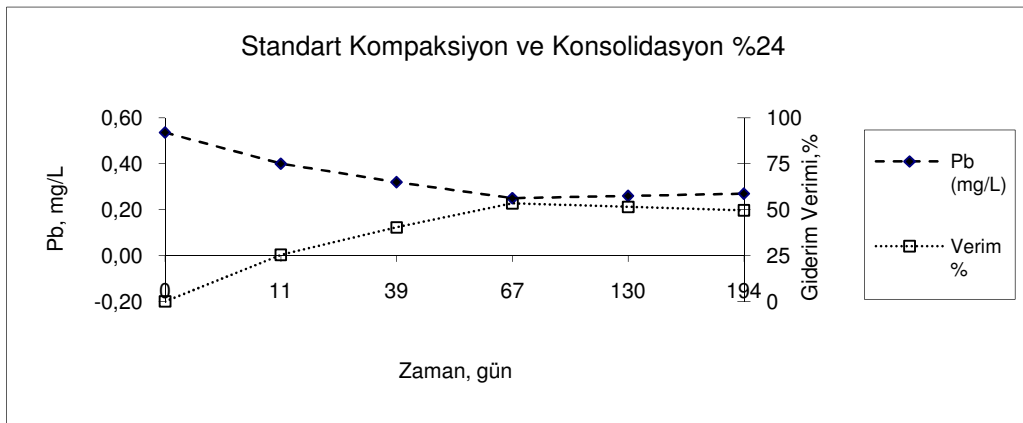
Optimum su içeriği %21, %18 ve %24 olan numunelerde 67. günde elde edilen Pb(II) çıkış değeri ise sırasıyla 0.25 mg/L, 0.27 mg/L, 0.30 mg/L ve verimi % 53, %50, %44 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.29-4.31). Standart yöntemle sıkıştırılmış kil numunesinin ortalama giderim verimi %49 olduğu görülmüştür. Adsorpsiyon 194 gün boyunca izlenmiştir. Ancak şekillerden görüldüğü gibi genel olarak 67. güne kadar Pb(II)'nin giderim veriminin arttığı sonraki günlerde azalmaya başladığı görülmüştür. Bu değişim, 67. günden sonra desorpsiyonun başlaması olarak açıklanabilir.



Şekil 4.32. Pb(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))



Şekil 4.33. Pb(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))



Şekil 4.34. Pb(II)'nin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))

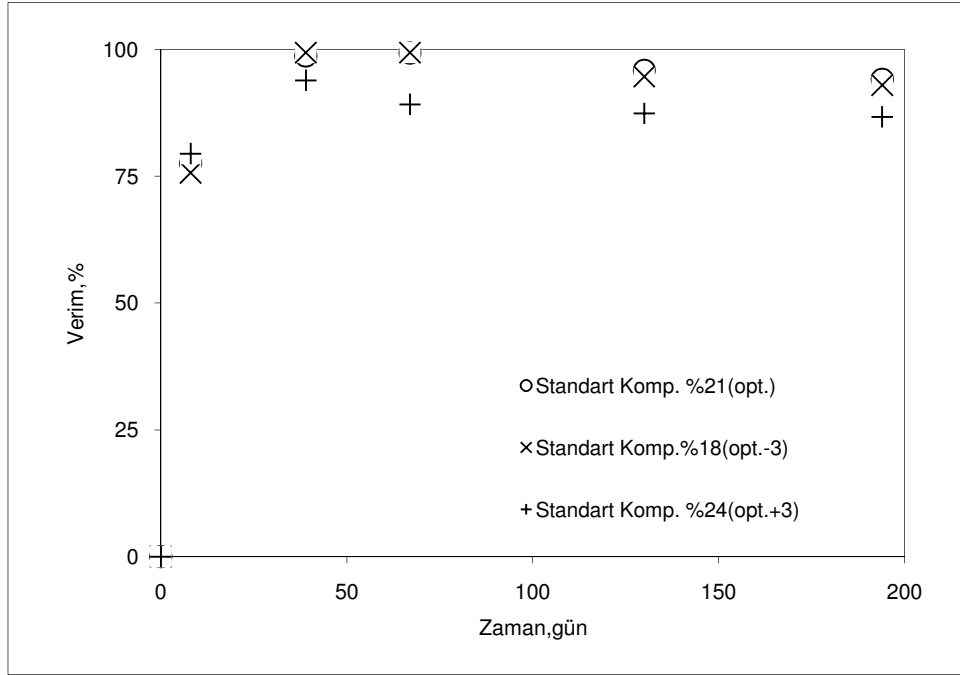
Sızıntı suyu başlangıç Pb(II) değeri 0.536 mg/L olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart ve konsolide killi zeminden ilk geçişi 11 gün sürmüştür ve 11. günde %21 nem oranlı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde Pb(II) çıkış değeri 0.25 mg/L ve giderim verimi %53, 39.günde ise Pb(II) çıkış değeri 0.15 mg/L ve giderim verimi %72 olarak elde edilmiştir. %18 nem oranlı standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 11. günde Pb(II) çıkış değeri 0.30 mg/L ve giderim verimi %44, 39. gündeki Pb(II) çıkış değeri 0.26 mg/L ve verimi %51 olarak elde edilmiştir. %24 nem oranlı standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 11. günde Pb(II) çıkış değeri 0.40 mg/L ve giderim verimi %25, 39. gündeki Pb(II) çıkış değeri 0.32 mg/L ve giderim verimi %40 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.32-4.34). Sonuçlardan görüldüğü gibi optimum nem oranında giderim verimi daha yüksek olmuştur.

Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %81, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %53 olduğu görülmektedir.

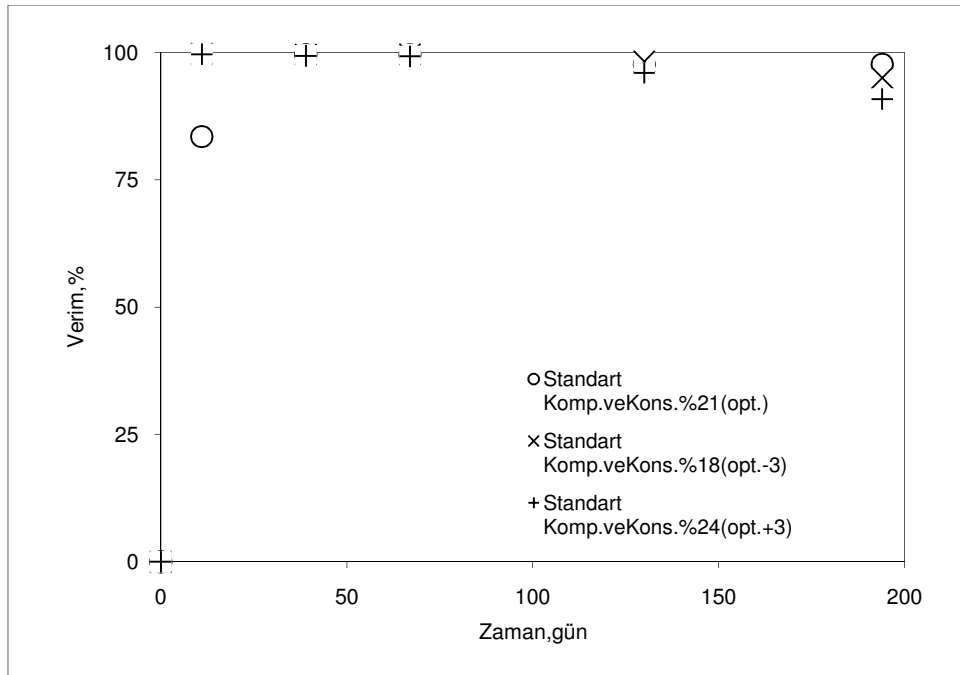
4.3.1.1.6. Kadmiyum Analiz Sonuçları

Alınan sızıntı suyunda Cd(II) konsantrasyonu alevli AAS'nin minimum ölçüm değeri olan 0,1 mg/L nin altında olması nedeniyle herhangi bir değişim gözlenememiştir.

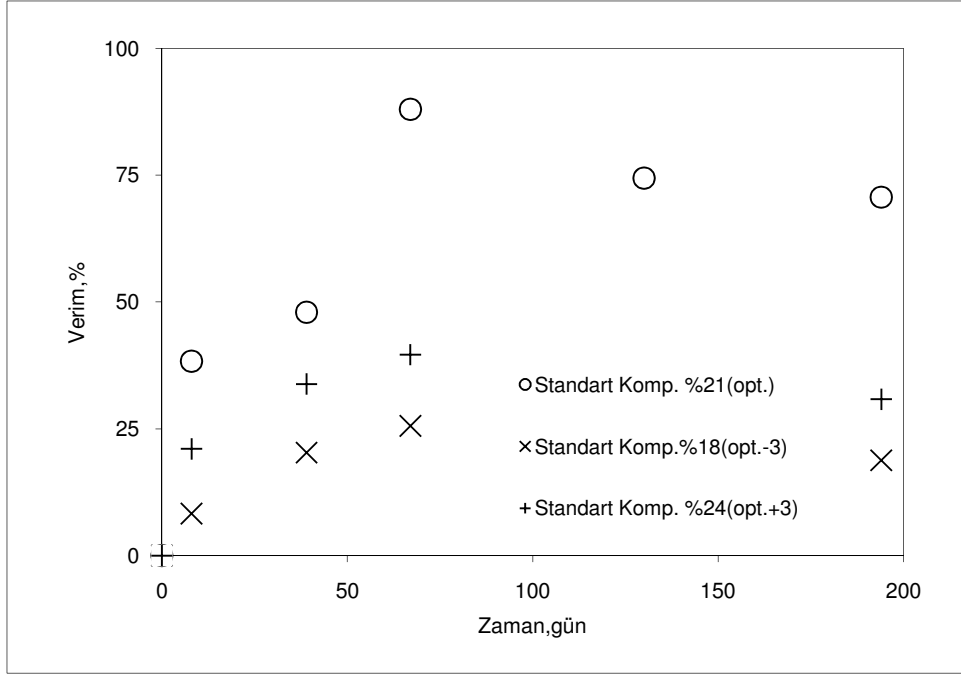
4.3.1.1.7. Farklı Nem Oranlarına Göre Reaktör Çıkış Sonuçlarının Değişimi



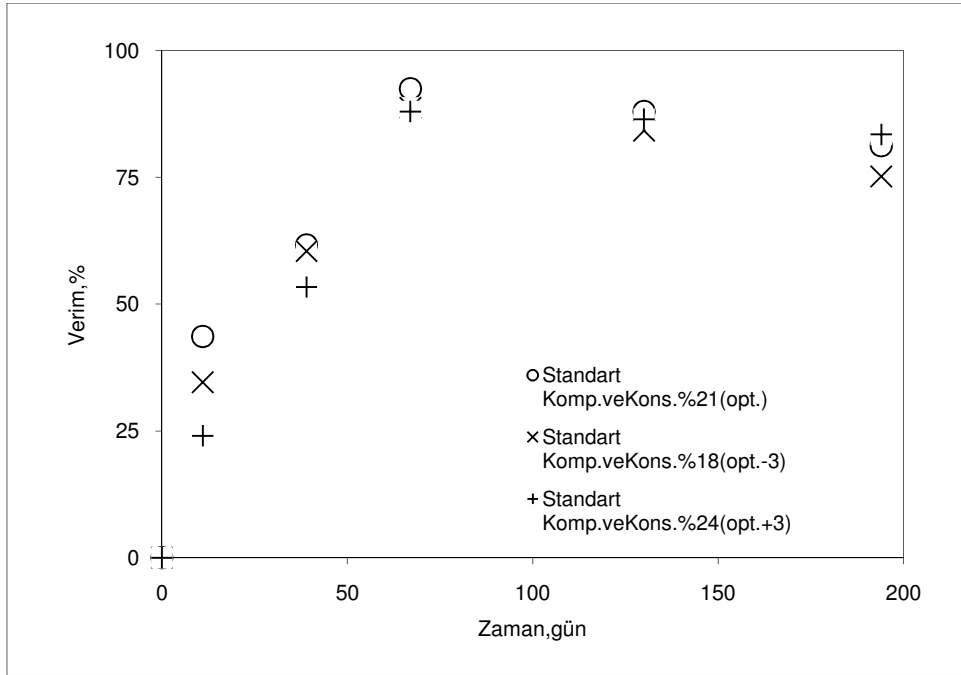
Şekil 4.35. Fe(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon)



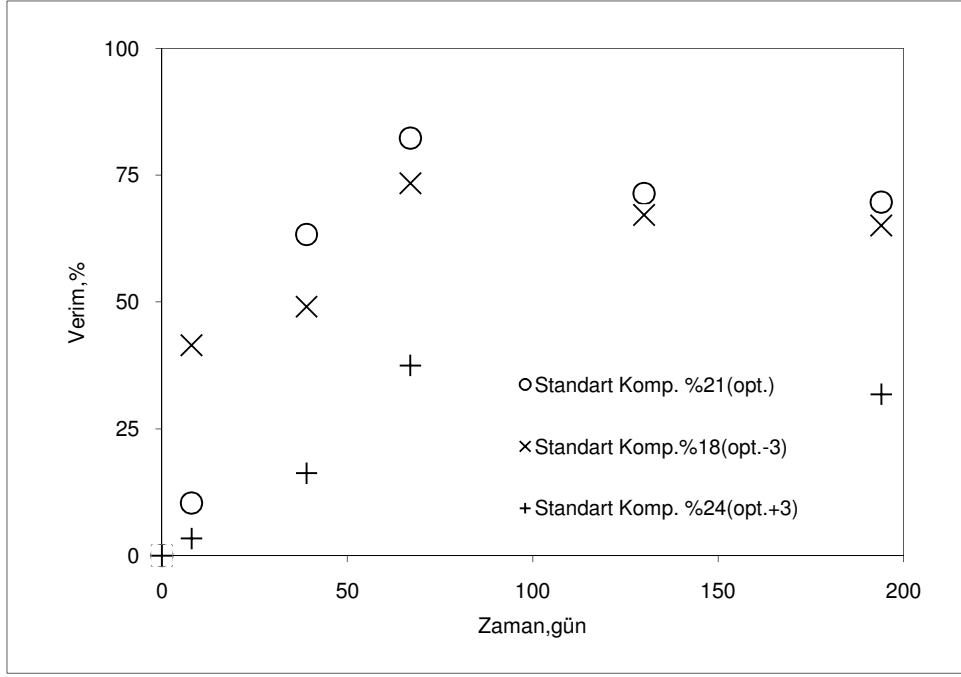
Şekil 4.36. Fe(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon)



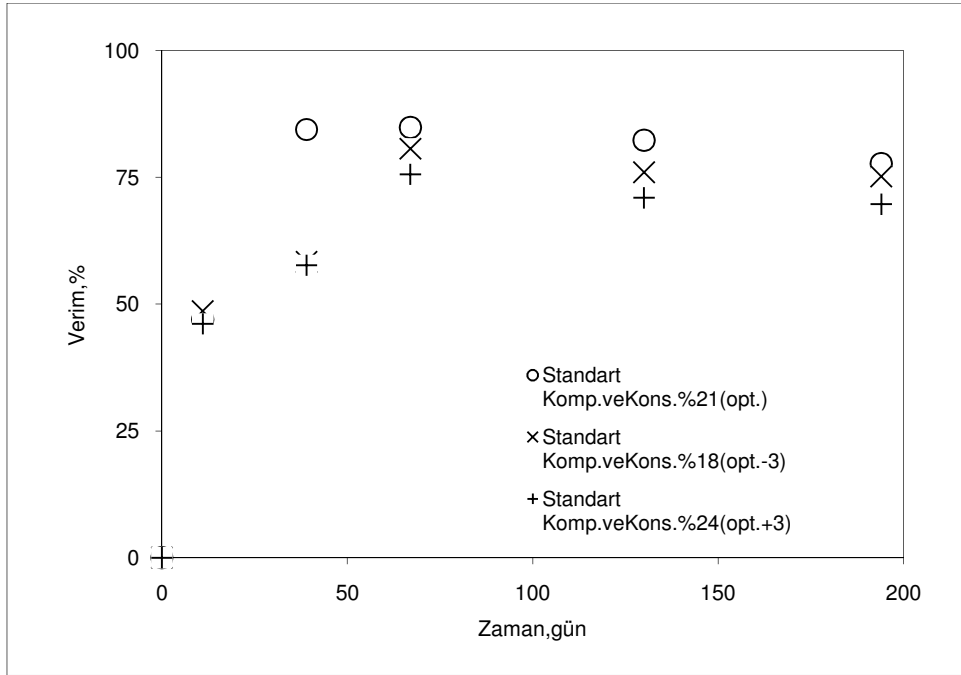
Şekil 4.37. Mn(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon)



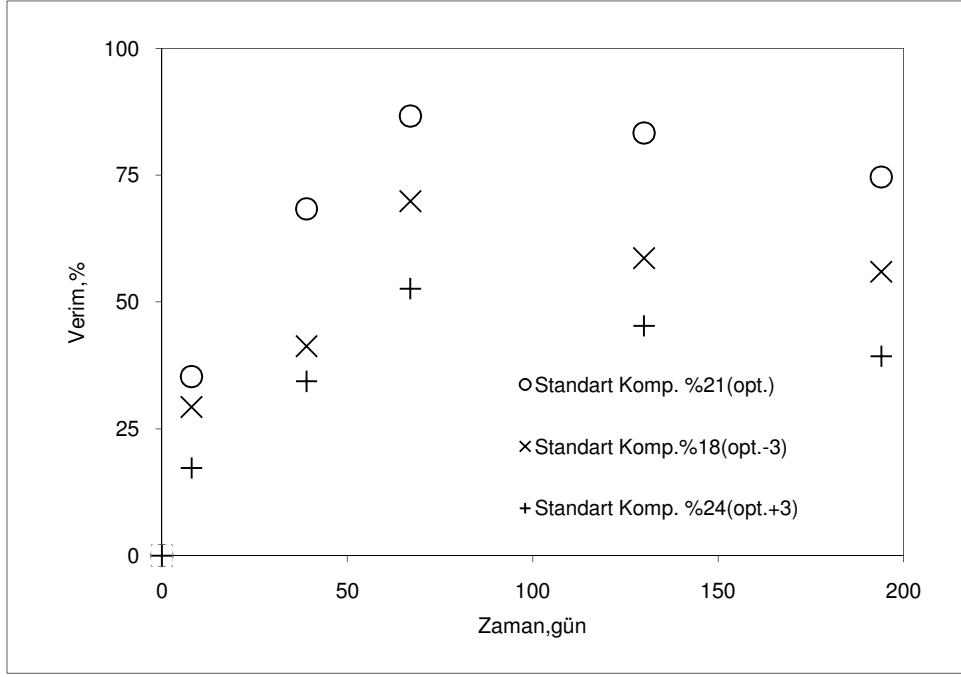
Şekil 4.38. Mn(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon)



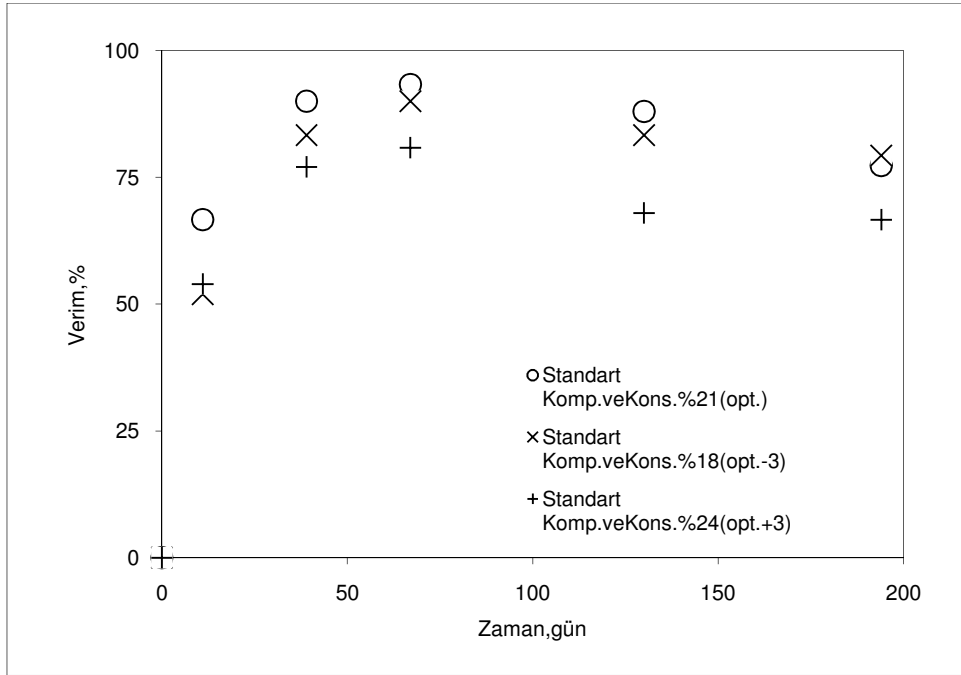
Şekil 4.39. Zn(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon)



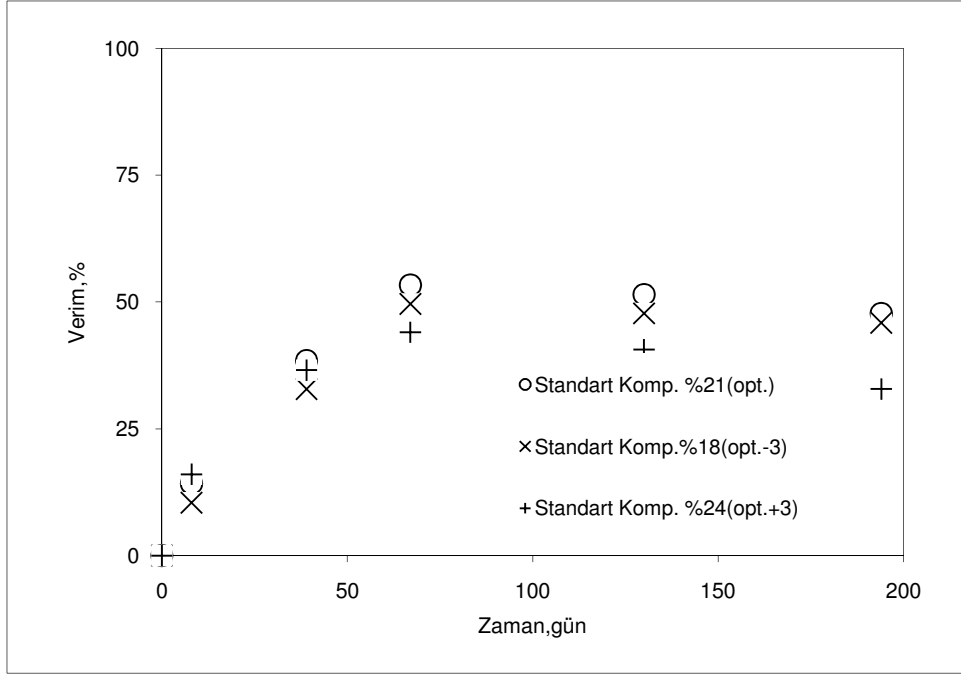
Şekil 4.40. Zn(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon)



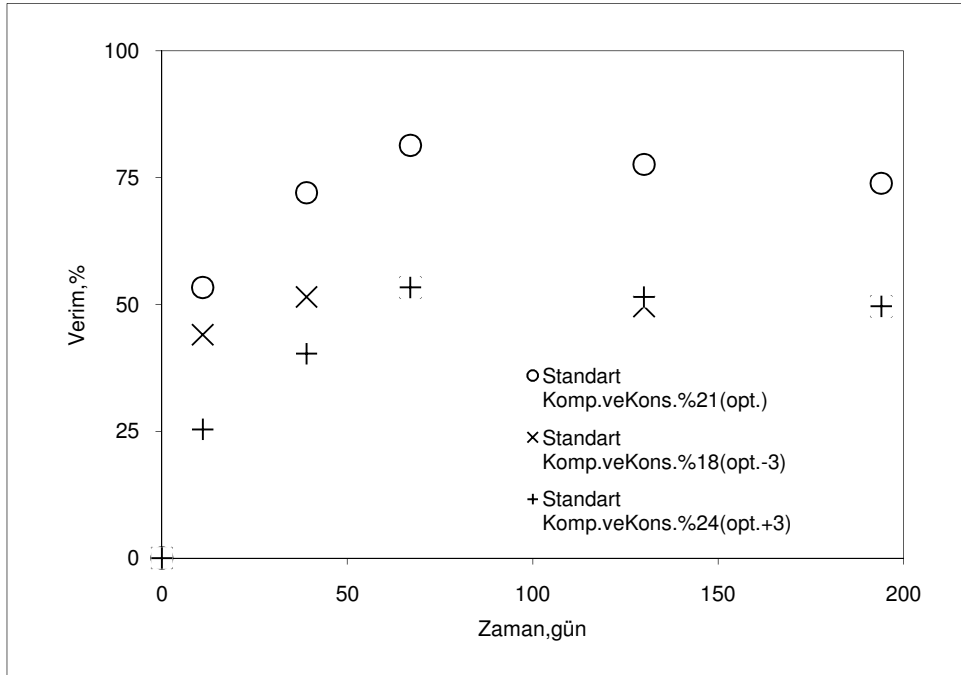
Şekil 4.41. Cu(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon)



Şekil 4.42. Cu(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon)



Şekil 4.43. Pb(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon)



Şekil 4.44. Pb(II) giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon)

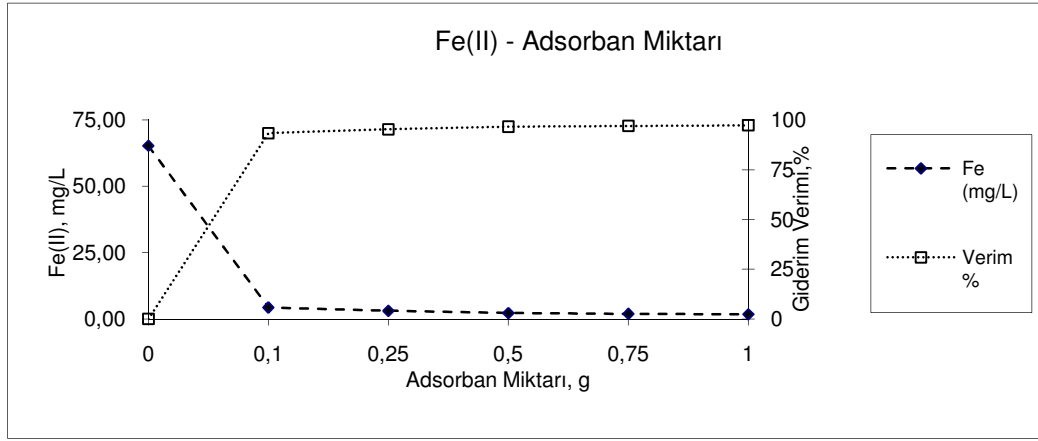
Şekil 4.35.-4.44. arasında her bir parametre, farklı nem oranlarına göre standart kompaksiyon ve standart kompaksiyonla konsolidasyon uygulanan reaktör çıkış sonuçları birleştirilerek çizilmiştir. Şekillere bakıldığında sonuçların genel olarak üst üste düştüğü ancak standart

kompaksiyon(opt.) ve standart kompaksiyonla konsolidasyon(opt.) değerlerinin biraz daha yüksek olduğu yani giderim veriminin diğer nem oranlarına göre nisbeten daha yüksek olduğu görülmektedir.

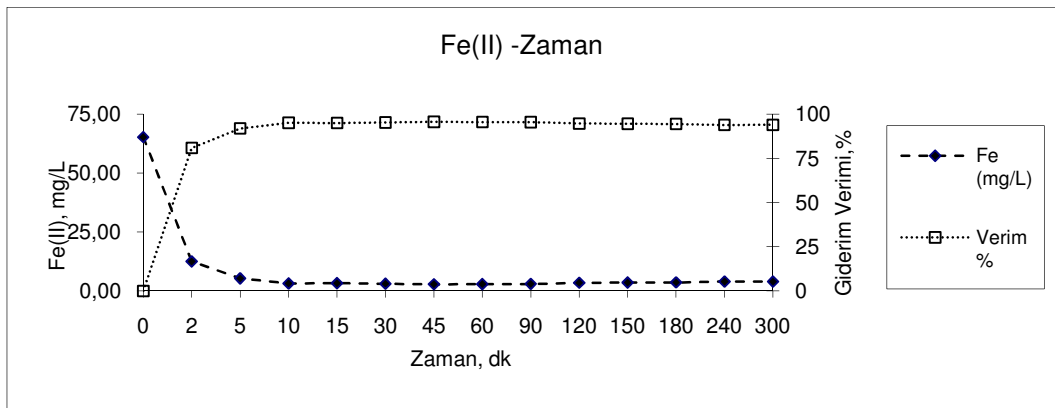
4.3.1.2. Kesikli Sistem

Kesikli sistemde çalışmanın amacı, sürekli sistemde yapılan analizleri doğrulamaktır. Bu amaçla bir dizi deney yapılarak sonuçlar genel olarak karşılaştırılmıştır. Öncelikle adsorban miktarına göre deneyler yapılarak optimum adsorban miktarı 0.25 g olarak tespit edilmiş ve buna bağlı olarak diğer deneyler gerçekleştirilmiştir.

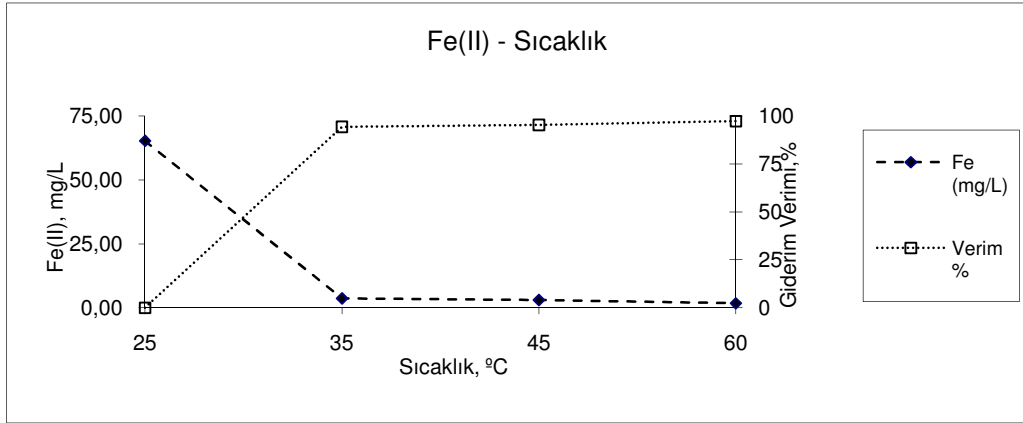
4.3.1.2.1. Demir Analiz Sonuçları



Şekil 4.45. Fe(II)'nin adsorban miktarına göre değişimi ve giderim verimi



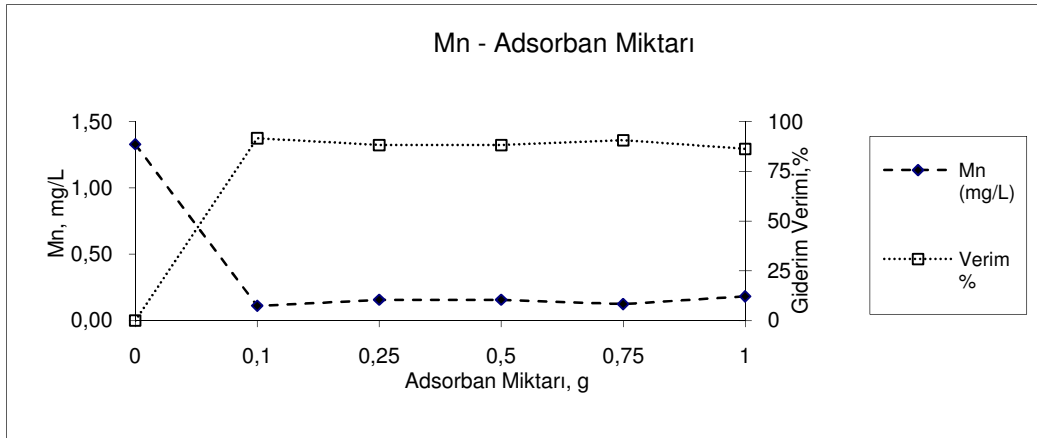
Şekil 4.46. Fe(II)'nin zamana göre değişimi ve giderim verimi



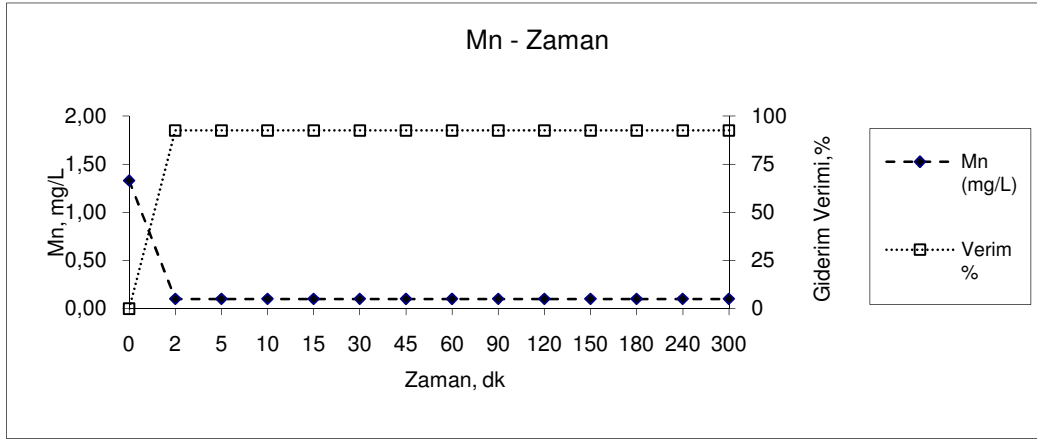
Şekil 4.47. Fe(II)'nin sıcaklığa göre değişimi ve giderim verimi

Şekillerden de görüldüğü gibi kesikli sistemde Fe(II) giderimi sürekli sistemdeki Fe(II) giderimi ile doğru orantılıdır (Şekil4.46). Önce giderim verimi artmış, sonrasında ise az da olsa bir azalma gözlenmiştir. Bunu, önce adsorpsiyonun sonrasında da desorpsiyonun meydana gelmesi olarak açıklayabiliriz. Sıcaklığa bağlı Fe(II) giderim verimi ise sıcaklık arttıkça artmıştır (Şekil4.47).

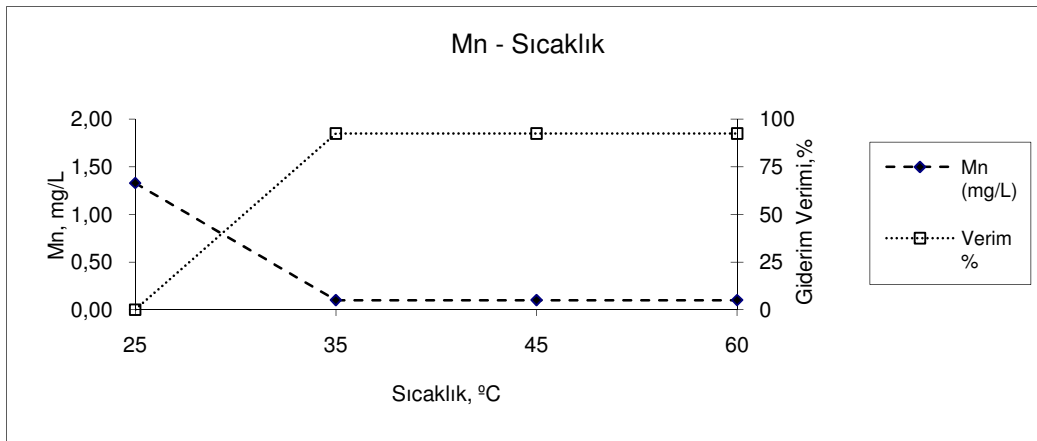
4.3.1.2.2. Mangan Analiz Sonuçları



Şekil 4.48. Mn(II)'nin adsorban miktarına göre değişimi ve giderim verimi



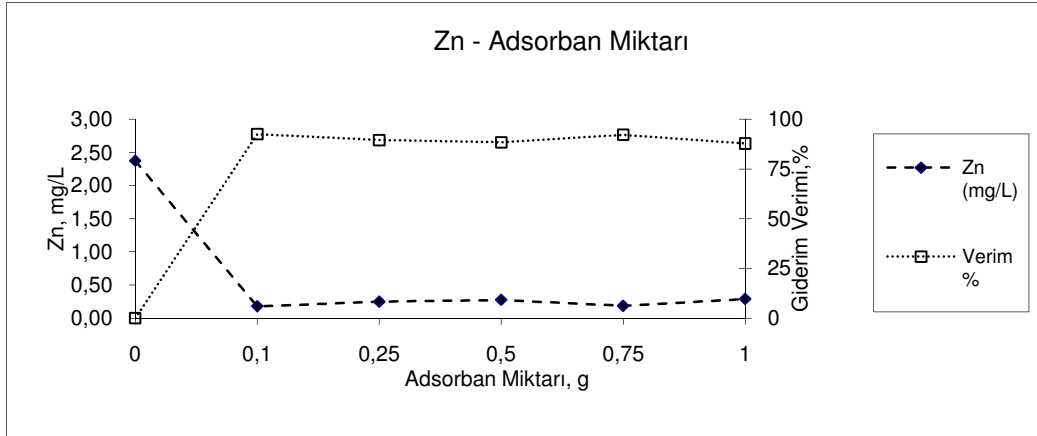
Şekil 4.49. Mn(II)'nin zamana göre değişimi ve giderim verimi



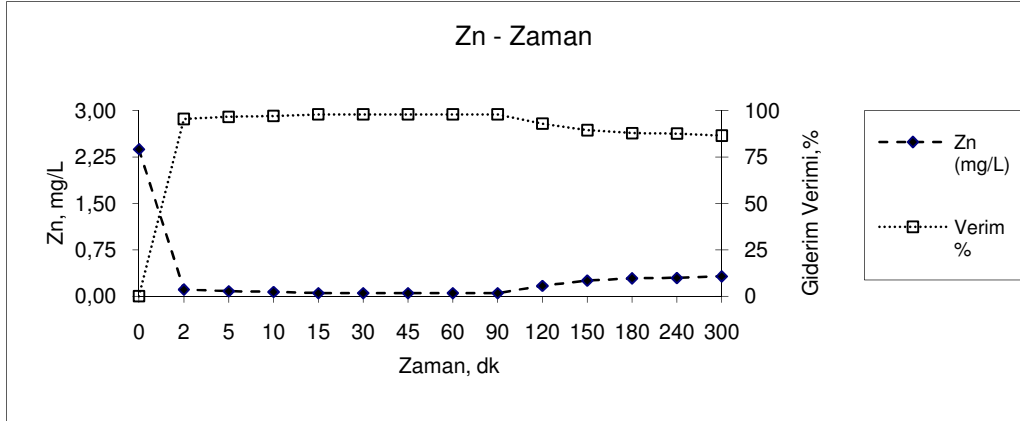
Şekil 4.50. Mn(II)'nin sıcaklığa göre değişimi ve giderim verimi

Sürekli sistemde Mn(II) giderim verimi ile kesikli sistemde Mn(II) giderim verimi arasında net bir ilişki kurulamamıştır. Bunun nedeni, Mn(II) değerinin metal analizleri için kullanılan alevli AAS'nin minimum ölçüm değerinden düşük olmasıdır. Minimum değer ele alındığında ise verim sabit çıkmakta ve karşılaştırma yapılamamaktadır (Şekil4.49). Sıcaklığa bağlı değerlerde de aynı durum söz konusudur (Şekil4.50).

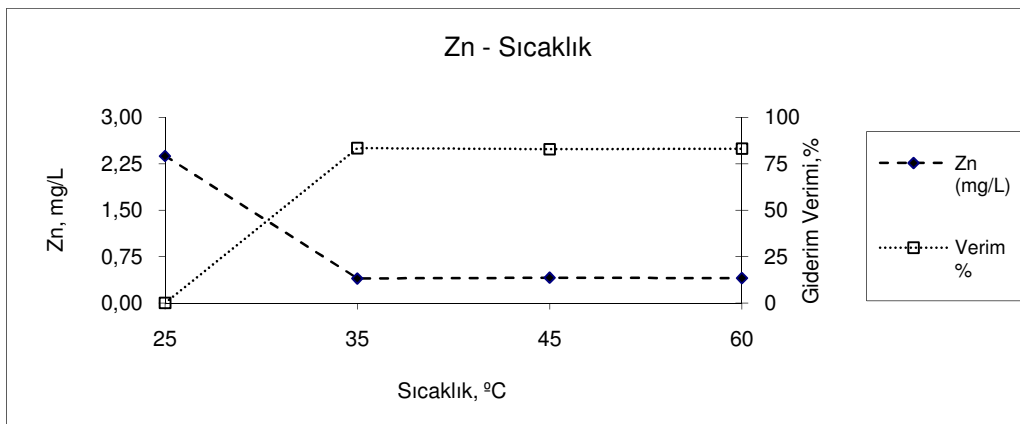
4.3.1.2.3. Çinko Analiz Sonuçları



Şekil 4.51. Zn(II)'nin adsorban miktarına göre değişimi ve giderim verimi



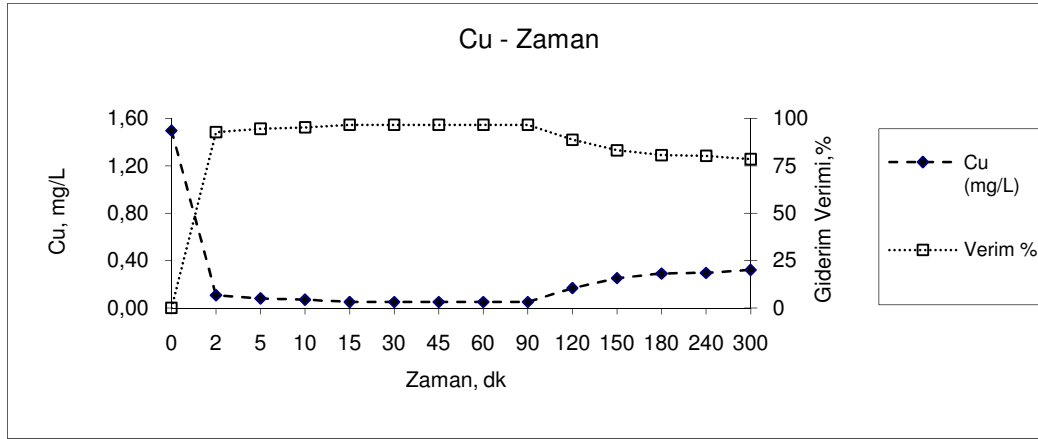
Şekil 4.52. Zn(II)'nin zamana göre değişimi ve giderim verimi



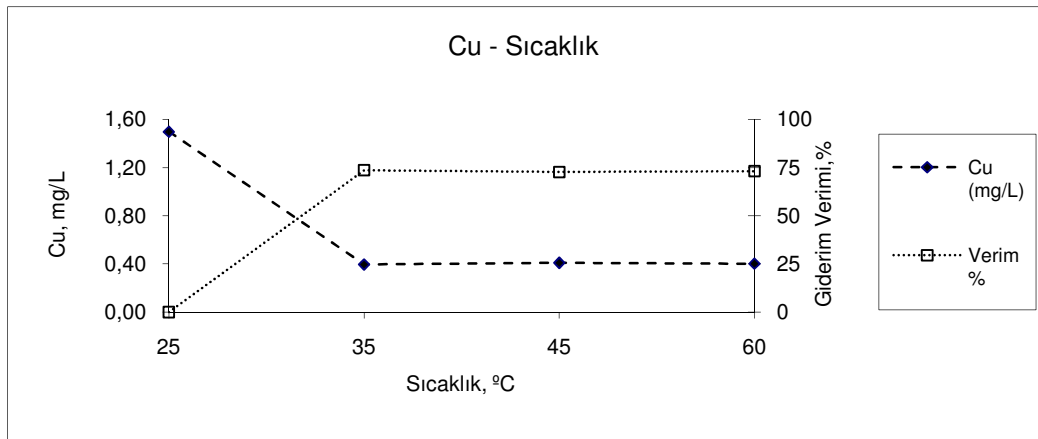
Şekil 4.53. Zn(II)'nin sıcaklığa göre değişimi ve giderim verimi

Şekillerden anlaşıldığı gibi kesikli sistemdeki Zn(II) giderim verimi ve sürekli sistemdeki Zn(II) giderim verimi arasında benzerlik gözlenmiştir. Her iki sistemde de önce giderim verimi artmış sonra azalma gözlenmiştir. Zn(II) giderim verimi sıcaklığın artmasıyla çok düşük de olsa arttığı görülmüştür (Şekil4.53).

4.3.1.2.4. Bakır Analiz Sonuçları



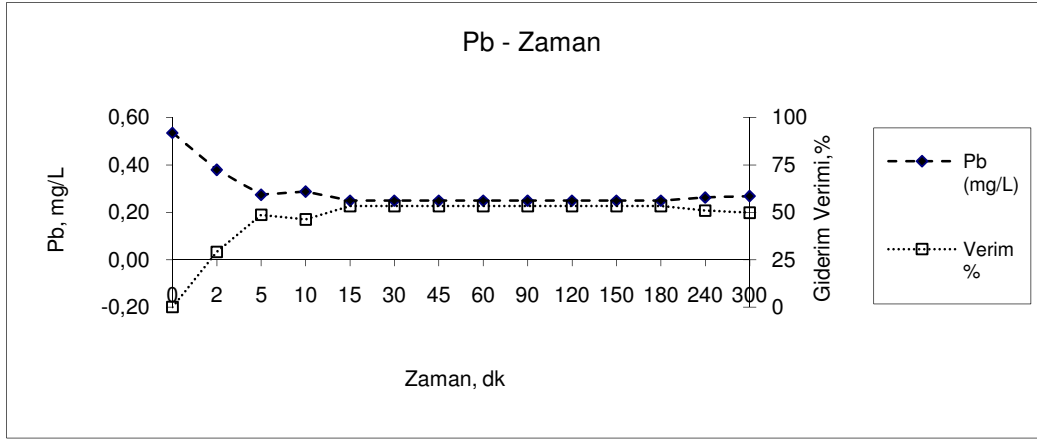
Şekil 4.54. Cu(II)'nin zamana göre değişimi ve giderim verimi



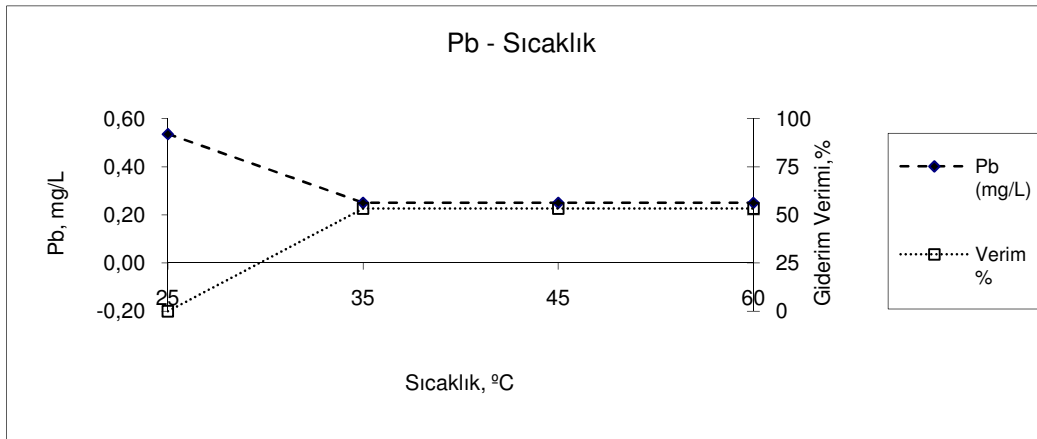
Şekil 4.55. Cu(II)'nin sıcaklığa göre değişimi ve giderim verimi

Şekillere bakıldığında, kesikli sistemdeki Cu(II) giderim veriminin diğer parametrelerde olduğu gibi sürekli sistemdeki giderim verimi ile örtüştüğü ve önce artan giderim verimi söz konusuyken sonrasında azalma meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil4.54).

4.3.1.2.5. Kurşun Analiz Sonuçları



Şekil 4.56. Pb(II)'nin zamana bağlı değişimi ve giderim verimi



Şekil 4.57. Pb(II)'nin sıcaklığa bağlı değişimi ve giderim verimi

Pb(II) değişimine genel olarak bakıldığında ise değişim sürekli sistemle nispeten benzerdir (Şekil 4.56).

4.3.1.2.6. Kadmiyum Analiz Sonuçları

Alınan sızıntı suyunda Cd(II) konsantrasyonu alevli AAS'nin minimum ölçüm değeri olan 0,1 mg/L nin altında olması nedeniyle kesikli sistemde de herhangi bir değişim gözlenememiştir.

4.3.2. Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

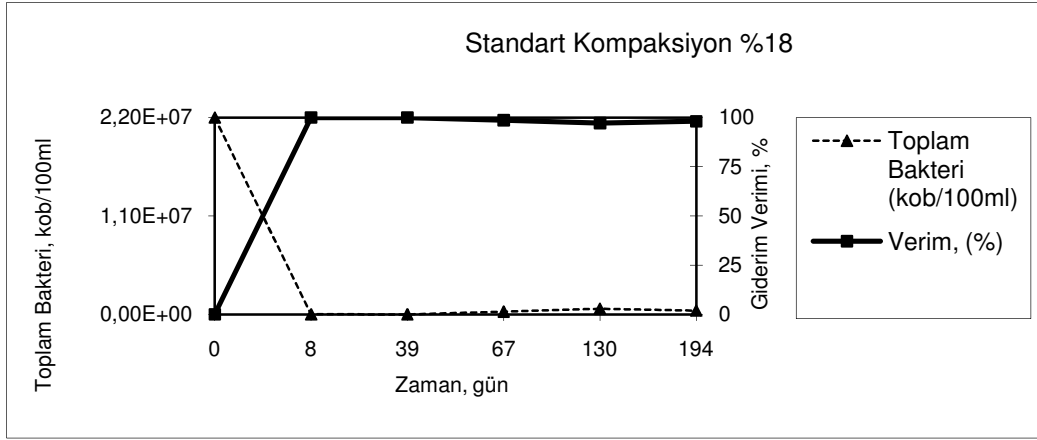
Bu çalışmada ökaryotik organizma olarak mantarlar ile çalışılmıştır. Ökaryotik organizmaların gerçek çekirdek, golgi cihazı, endoplazmik retikulum, çekirdek ve çekirdekçik gibi organelleri zarlarla çevrilidir. Ribozomları 80S birimlidir (Svedburg Birimi). Prokaryotik organizmalar için ise toplam heterotrofik bakteri, toplam koliform, fekal koliform ve fekal streptokok analizleri ile çalışılmıştır. Prokaryotik organizmalar gerçek çekirdekleri bulunmayan ve organelleri zarlarla çevrili olmayan, genetik materyalleri sitoplazma içerisinde dağılı vaziyette bulunan organizmalardır ve ribozomları 70S birimlidir.

Böylece her iki gruptan da önemli mikroorganizma grupları analiz edilmiştir. Bu çalışmada mikroorganizmaların sayımları membran filtrede aseptik teknikler kullanılarak yapılmıştır. Farklı nem oranlarında standart yöntemlerle sıkıştırılan killi zemin örneklerinin bulunduğu üç ayrı reaktörde ve standart yöntemle sıkıştırıldıktan sonra konsolidasyon uygulanan killi zemin örneklerinin bulunduğu üç ayrı reaktörde olmak üzere toplam altı reaktörde bu mikroorganizmaları giderme verimi incelenmiştir.

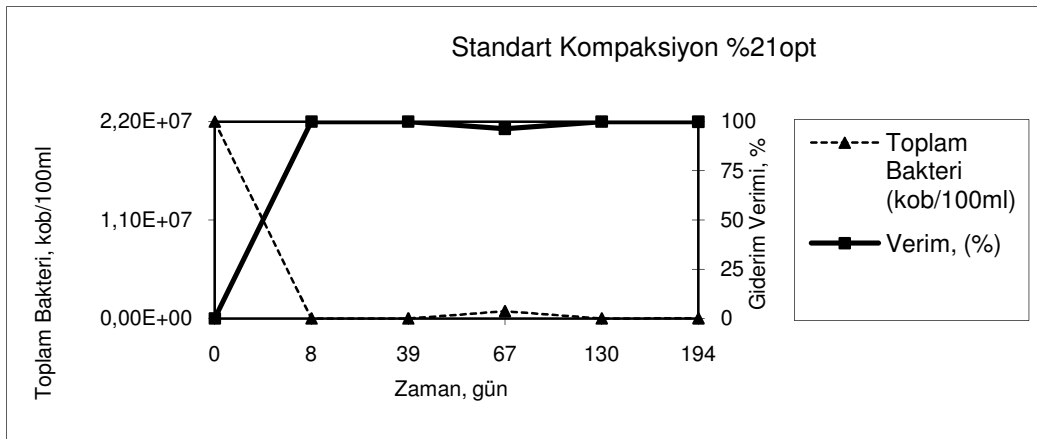
Bunlardan atıksularda, sularda ve katılarda bulunabilecek öncelikle Toplam Heterotrofik Bakteri, Toplam Koliform, Fekal Koliform ve Fekal Streptokok bakterilerine bakılmıştır. Toplam bakteriler her çeşit heterotrofik bakteri türünün miktarını göstermesi açısından önemlidir. Toplam koliformlar ortama su, sebze ve meyve ile gelebileceği gibi toprak ve doğal çevreden de geçmiş olabilirler. Fekal koliformlar insan ve sıcak kanlı hayvanların dışkılarından ve bebek bezleri v.b. gibi kontaminasyonlar ile gelebilirler. Fekal streptokoklar yine aynı şekilde insan ve sıcak kanlı hayvan kaynaklıdır. Fungilerde ökaryotik hücreler olup doğal ortamda her yerde bulunabilirler ve bakteriler gibi doğal ortamda ayrıştırıcılar olarak önemli görevleri vardır. Mantarlar heterotrofiktir, sporları vasıtasıyla her yere gidebilir ve dayanıklıdırlar. Özellikle de pH'sı biraz düşük yerlerde (5.5-6.5) daha iyi çoğalma gösterip yaşayabilirler.

Farklı nem oranlarında standart kompaksiyon ve standart kompaksiyonla konsolidasyon uygulanarak sıkıştırılan zeminin bulunduğu reaktörlerde elde edilen deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

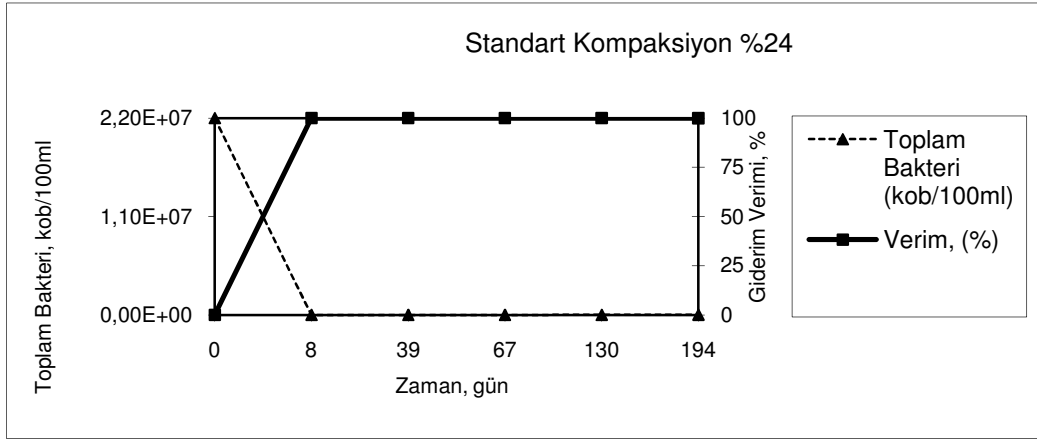
4.3.2.1. Toplam Heterotrofik Bakteri Analiz Sonuçları



Şekil 4.58. Toplam heterotrofik bakterinin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))



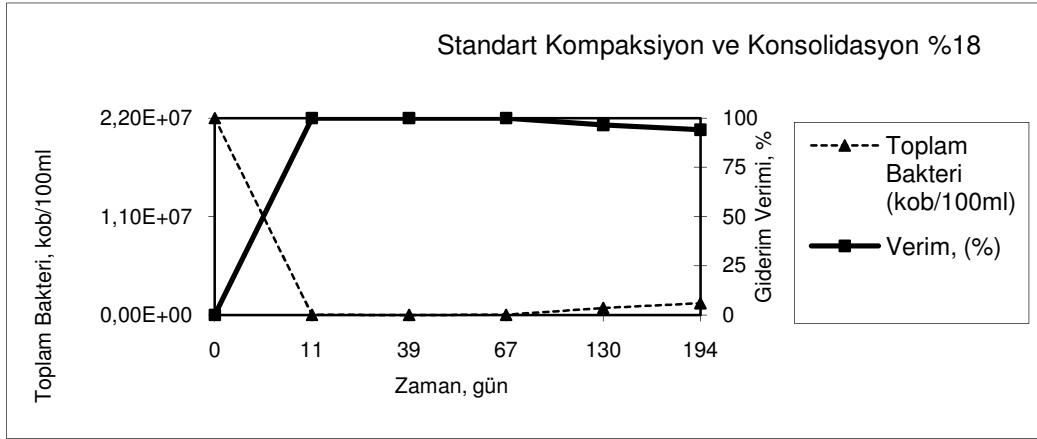
Şekil 4.59. Toplam heterotrofik bakterinin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))



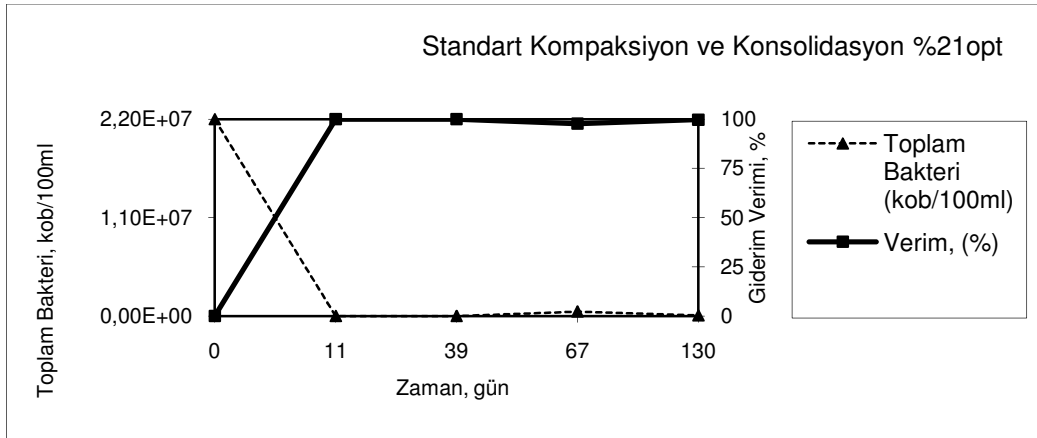
Şekil 4.60. Toplam heterotrofik bakterinin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))

Sızıntı suyunun başlangıç toplam heterotrofik bakteri değeri 22000000 kob/100ml olarak ölçülmüştür ve sızıntı suyunun standart kompaksiyon uygulanan killi zeminden ilk geçişi 8 gün sürmüştür. Şekillerden de görüldüğü gibi, 8. günde reaktörlerden çıkan sızıntı suyunun toplam heterotrofik bakteri değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir, dolayısıyla verimde de artış gözlemlenmiştir. 8. günde, %21 nem oranı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan numunenin bulunduğu reaktörde toplam heterotrofik bakteri çıkış değeri 0 kob/100ml ve giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir.

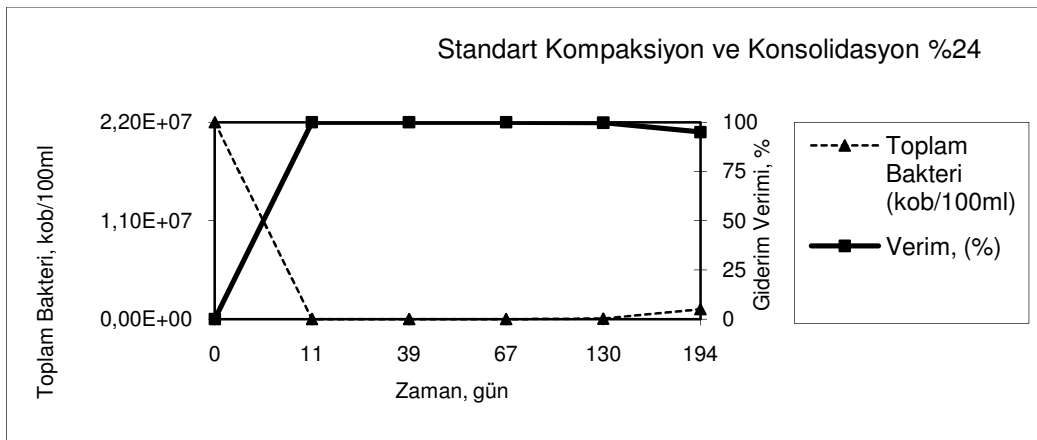
Optimum su içeriği %21, %18 ve %24 olan numunelerde 39. günde elde edilen toplam heterotrofik bakteri çıkış değeri ise sırasıyla 0 kob/100ml, 100 kob/100ml, 0 kob/100ml ve verimi %100, %100, %100 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.58-4.60). Standart yöntemle sıkıştırılmış kil numunesinin ortalama giderim verimi %100 olduğu görülmüştür. Adsorpsiyon 194 gün boyunca izlenmiştir. Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılmış killi zeminde giderimin incelendiği bu çalışmada toplam heterotrofik bakteri giderim veriminin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.61. Toplam heterotrofik bakterinin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))



Şekil 4.62. Toplam heterotrofik bakterinin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))

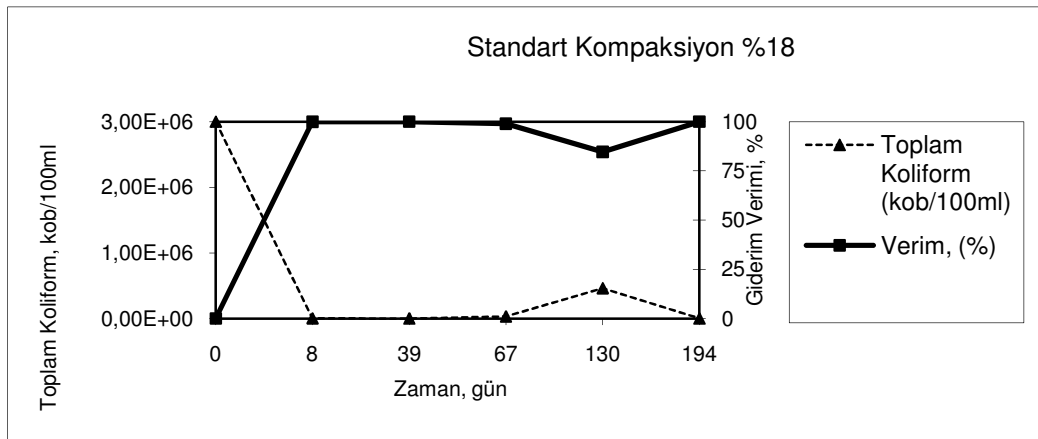


Şekil 4.63. Toplam heterotrofik bakterinin değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))

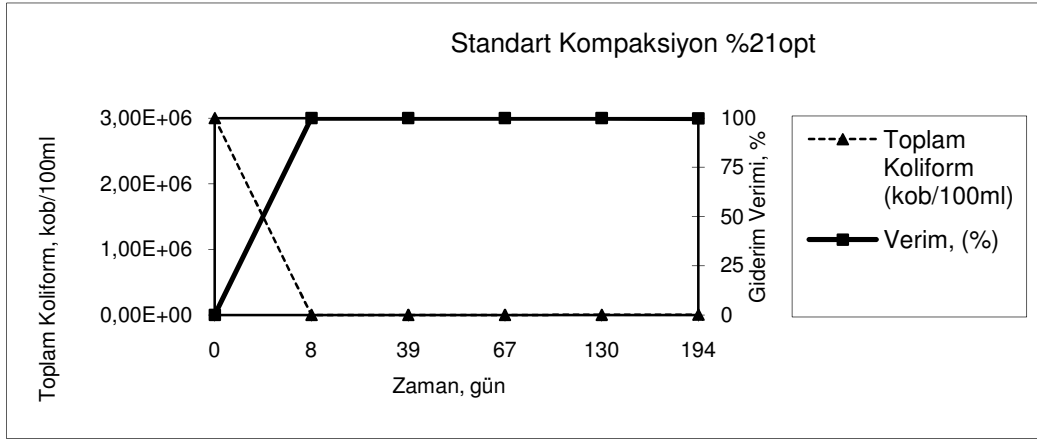
Sızıntı suyunun toplam heterotrofik bakteri giriş değeri 22000000 kob/100ml olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart kompaksiyon ve konsolide killi zeminden ilk geçişi 11 gün sürmüştür ve 11. günde %21 nem oranlı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde toplam heterotrofik bakteri çıkış değeri 0 kob/100ml ve giderim verimi %100, 39.günde ise toplam heterotrofik bakteri çıkış değeri 1000 kob/100ml ve giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir. %18 nem oranlı standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 11. günde toplam heterotrofik bakteri çıkış değeri 1500 kob/100ml ve giderim verimi %100, 39. gündeki toplam heterotrofik bakteri çıkış değeri 400 kob/100ml ve verimi %100 olarak elde edilmiştir. %24 nem oranlı standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 11. günde toplam heterotrofik bakteri çıkış değeri 200 kob/100ml ve giderim verimi %100, 39. gündeki toplam heterotrofik bakteri çıkış değeri 700 kob/100ml ve giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.61-4.63).

Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %100, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %99 olduğu görülmektedir.

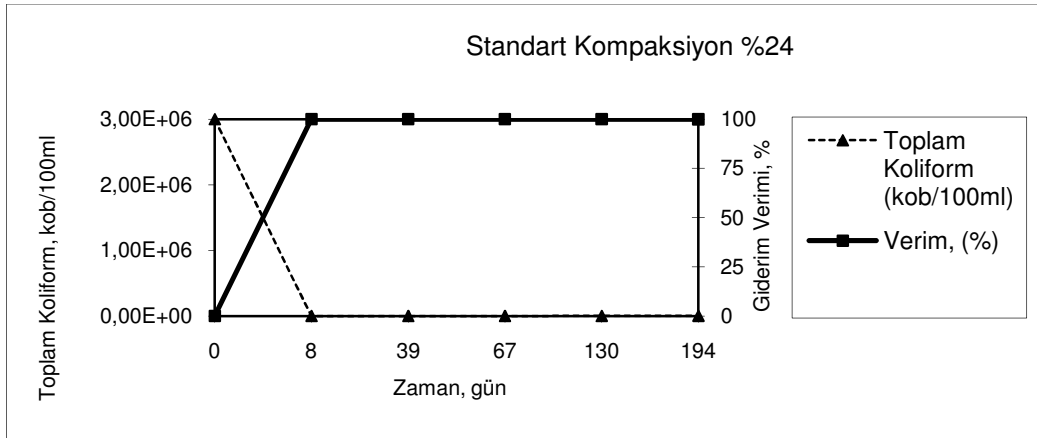
4.3.2.2. Toplam Koliform Analiz Sonuçları



Şekil 4.64. Toplam koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))



Şekil 4.65. Toplam koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))

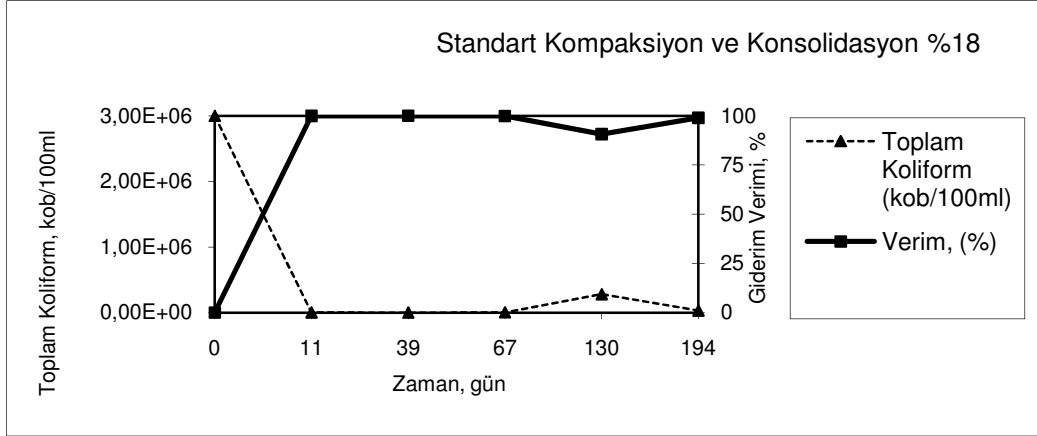


Şekil 4.66. Toplam koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))

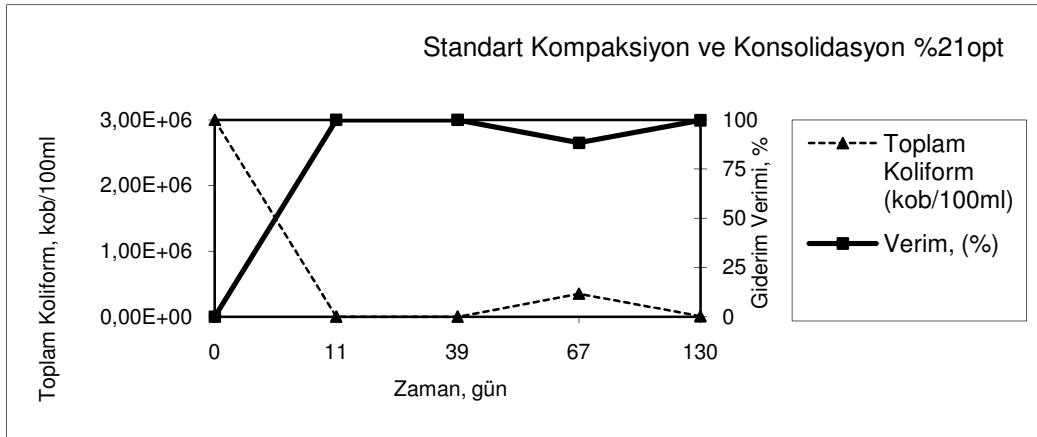
Toplam koliform giriş değeri 3000000 kob/100ml olarak ölçülen sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 8 gün sürmüştür. Şekillerden görüldüğü gibi 8. günde reaktörden çıkan sızıntı suyunun toplam koliform değerinde çok yüksek düşüş gerçekleşmiştir. %21 nem oranı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan numunenin bulunduğu reaktördeki toplam koliform çıkış değeri 0 kob/100ml'ye düşmüştür. Burada toplam koliform giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir.

67. günde elde edilen toplam koliform çıkış değeri ise su içeriği %21(opt), %18 ve %24 olan numunelerde sırasıyla 20 kob/100ml, 30000 kob/100ml, 10 kob/100ml ve verimi % 100, %99, %100 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.64-4.66). Şekillerden de görüldüğü gibi standart

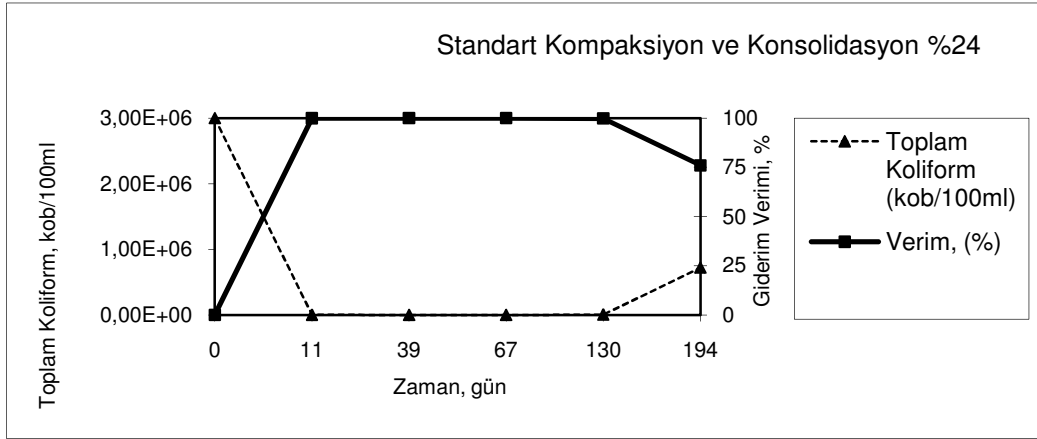
yöntemle sıkıştırılmış kil numunesinin ortalama giderim verimi %100 olduğu saptanmıştır. 194 gün boyunca izlenen adsorpsiyon çalışması sonucunda, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılmış killi zeminde toplam koliform giderim veriminin oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.67. Toplam koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))



Şekil 4.68. Toplam koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))

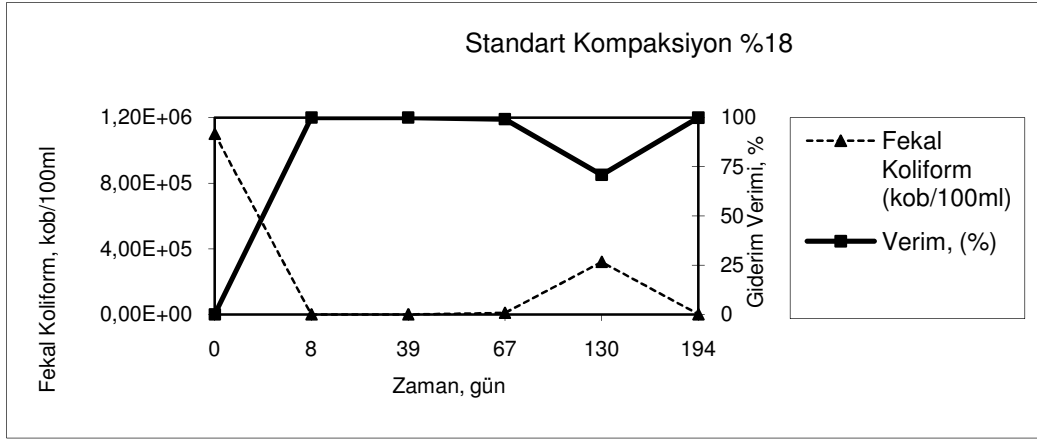


Şekil 4.69. Toplam koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))

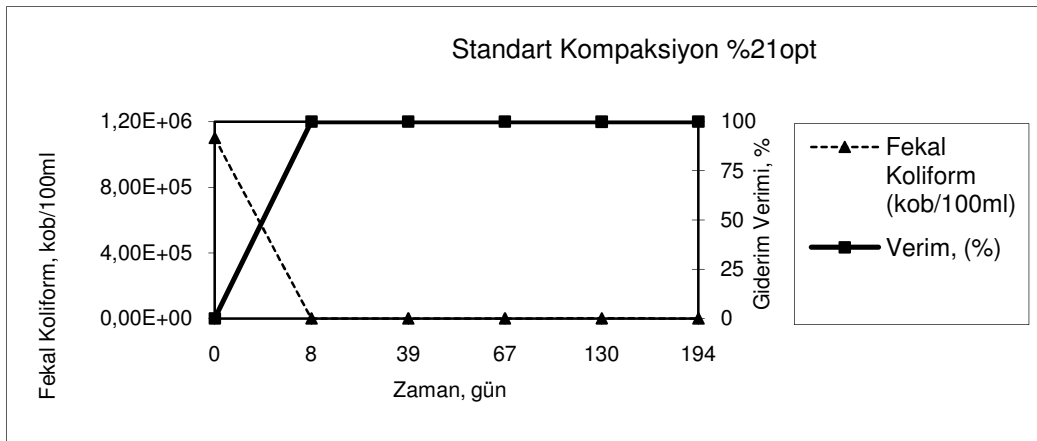
Şekillerden görülebileceği gibi başlangıç toplam koliform değeri 3000000 kob/100ml olarak ölçülmüştür ve sızıntı suyunun standart ve konsolide killi zeminden ilk geçişi 11 gün sürmüştür. 11. günde reaktörlerden çıkan sızıntı suyunun toplam koliform değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir. %21 nem oranlı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 11. ve 39. günlerde toplam koliform çıkış değeri 0 kob/100ml ve giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir. %18 nem oranlı standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 11. günde toplam koliform çıkış değeri 900 kob/100ml ve giderim verimi %100, 39. gündeki toplam koliform çıkış değeri 0 kob/100ml ve verimi %100 olarak elde edilmiştir. %24 nem oranlı standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 11. günde toplam koliform çıkış değeri 700 kob/100ml ve giderim verimi %100, 39. gündeki toplam koliform çıkış değeri 0 kob/100ml ve giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.67-4.69). Sonuçlardan görüldüğü gibi standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunelerde giderim verimi çok yüksektir.

Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %97, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %100 olduğu görülmektedir.

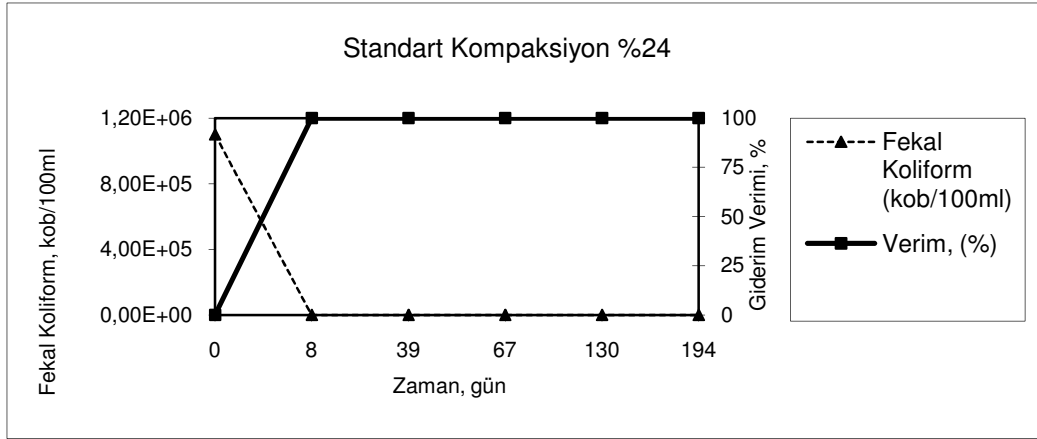
4.3.2.3. Fekal Koliform Analiz Sonuçları



Şekil 4.70. Fekal koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))



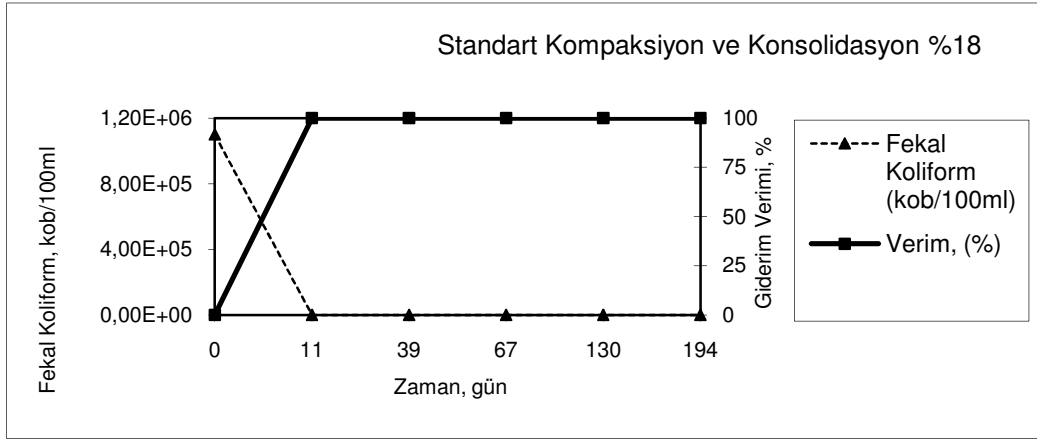
Şekil 4.71. Fekal koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))



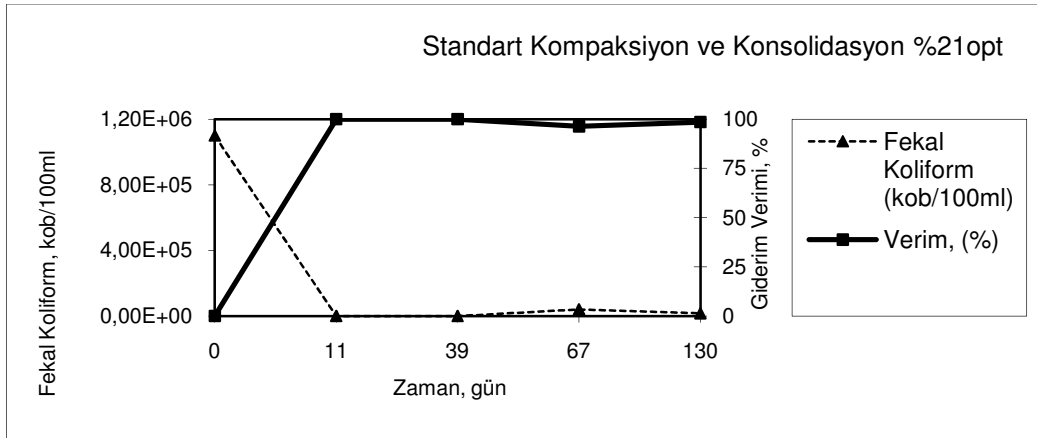
Şekil 4.72. Fekal koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))

Sızıntı suyunun başlangıç fekal koliform değeri 1100000 kob/100ml olarak ölçülmüştür ve sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 8 gün sürmüştür. %21 nem oranı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan numunenin bulunduğu reaktörde fekal koliform çıkış değeri 0 kob/100ml ve giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir.

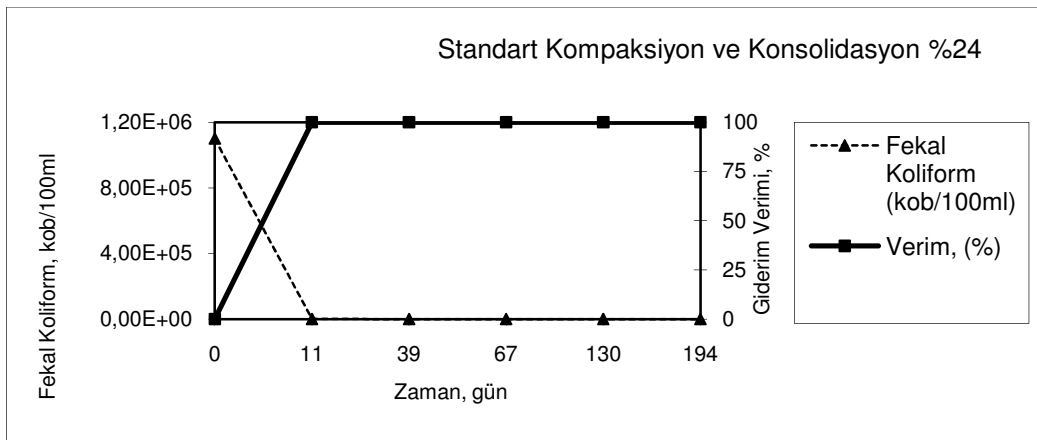
Optimum su içeriği %21, %18 ve %24 olan numunelerde 39. günde elde edilen fekal koliform çıkış değerleri ise herbirinde 0 kob/100ml ve verimleri %100 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.70-4.72). Standart yöntemle sıkıştırılmış kil numunesinin ortalama giderim verimi %100 olduğu görülmüştür. Adsorpsiyon 194 gün boyunca izlenmiştir. Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılmış killi zeminde giderimin incelendiği bu çalışmada fekal koliform giderim veriminin oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.73. Fekal koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))



Şekil 4.74. Fekal koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))

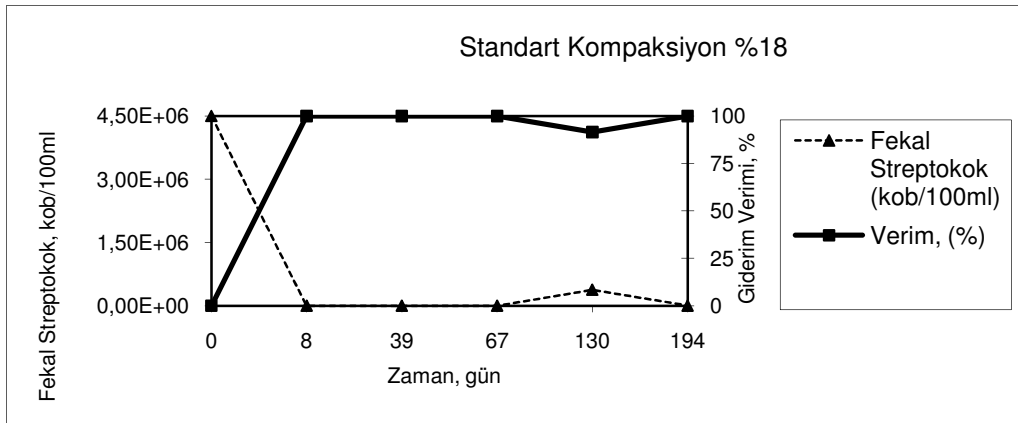


Şekil 4.75. Fekal koliformun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))

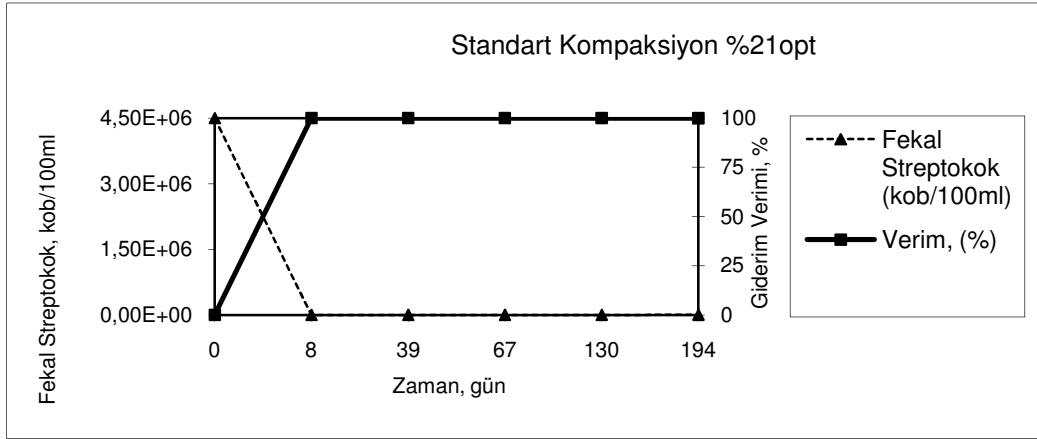
Sızıntı suyunun fekal koliform giriş değeri 1100000 kob/100ml olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart kompaksiyon ve konsolide killi zeminden ilk geçişi 11 gün sürmüştür ve 11. ve 39. günde %21 nem oranlı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde fekal koliform çıkış değeri 0 kob/100ml ve giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir. %18 nem oranlı standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 11. Ve 39. günde fekal koliform çıkış değerleri 0 kob/100ml ve giderim verimleri %100 olarak elde edilmiştir. %24 nem oranlı standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 11. günde fekal koliform çıkış değeri 100 kob/100ml ve giderim verimi %100, 39. gündeki fekal koliform çıkış değeri 0 kob/100ml ve giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir. 67.günde %21(opt.)nem oranında %96 giderim verimi, %18 nem oranında %100 giderim verimi, %24 nem oranında %100 giderim verimleri elde edilmiştir (Şekil 4.73-4.75). Sonuçlardan görüldüğü gibi standart kompaksiyon ve konsolidasyon uygulanan zeminin giderim verimi fekal koliformu çok yüksek seviyelerde gidermiştir.

Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %99, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %100 olduğu görülmektedir.

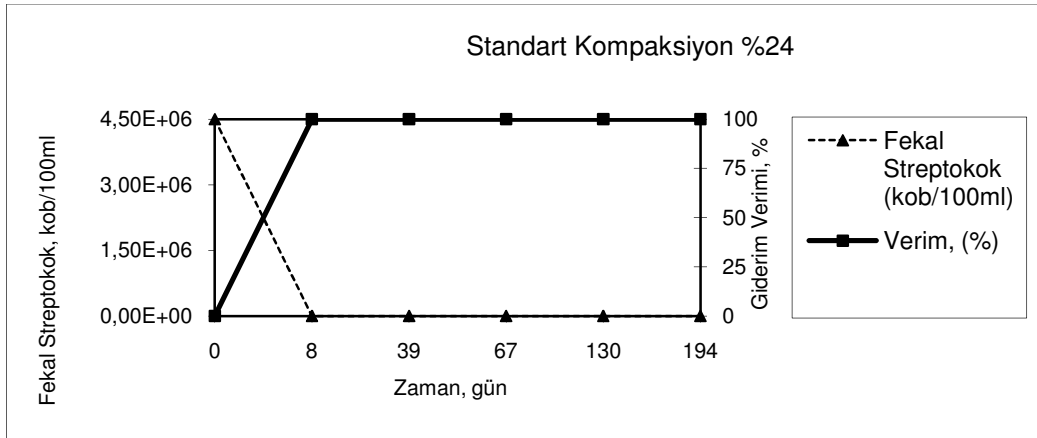
4.3.2.4. Fekal Streptokok Analiz Sonuçları



Şekil 4.76. Fekal streptokokun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))



Şekil 4.77. Fekal streptokokun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))

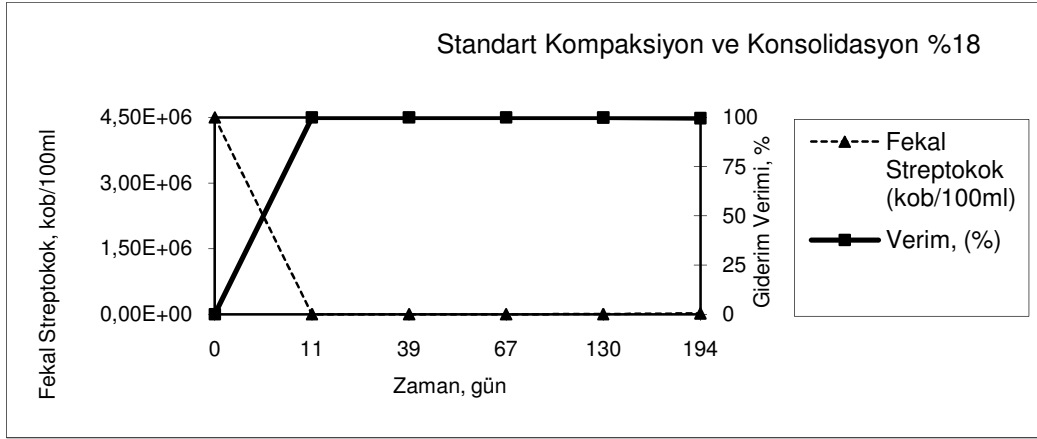


Şekil 4.78. Fekal streptokokun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))

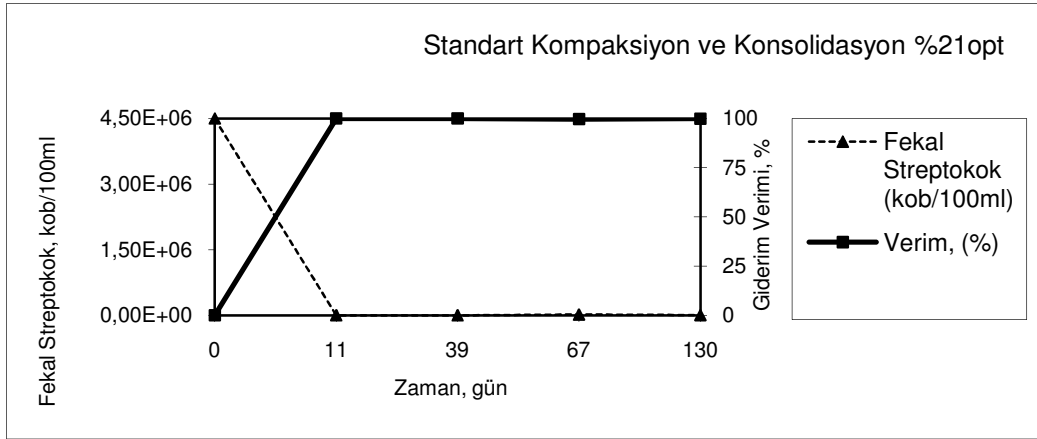
Sızıntı suyunun başlangıç fekal streptokok değeri 4500000 kob/100ml olarak ölçülmüştür ve sızıntı suyunun standart kompaksiyon uygulanan killi zeminden ilk geçişi 8 gün sürmüştür. Şekillerden de görüldüğü gibi, 8. günde reaktörlerden çıkan sızıntı suyunun fekal streptokok değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir, dolayısıyla verimde de artış gözlemlenmiştir. 8. günde, %21 nem oranı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan numunenin bulunduğu reaktörde fekal streptokok çıkış değeri 0 kob/100ml ve giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir.

Optimum su içeriği %21, %18 ve %24 olan numunelerde 67. günde elde edilen fekal streptokok çıkış değeri ise sırasıyla 80 kob/100ml, 0 kob/100ml, 100 kob/100ml ve verimi

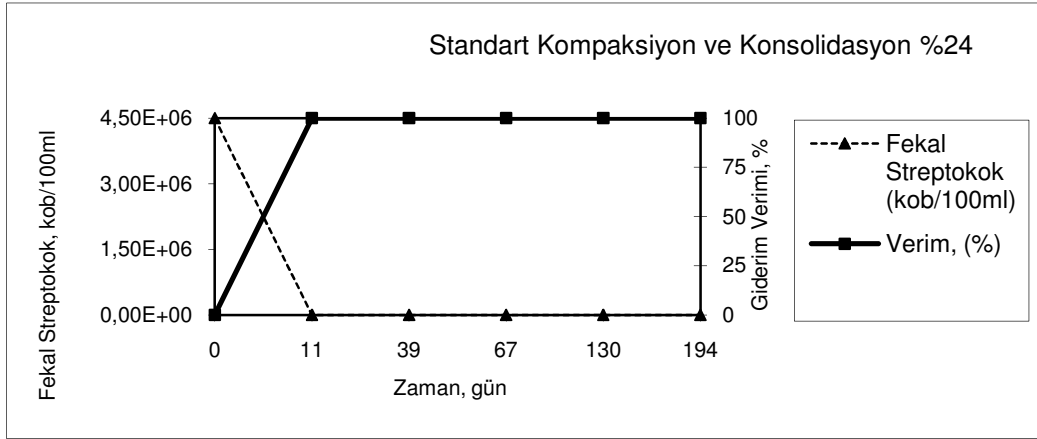
%100, %100, %100 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.76-4.78). Standart yöntemle sıkıştırılmış kil numunesinin ortalama giderim verimi %100 olduğu görülmüştür. Adsorpsiyon 194 gün boyunca izlenmiştir. Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılmış killi zeminde giderimin incelendiği bu çalışmada fekal streptokok giderim veriminin oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.79. Fekal streptokokun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))



Şekil 4.80. Fekal streptokokun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))

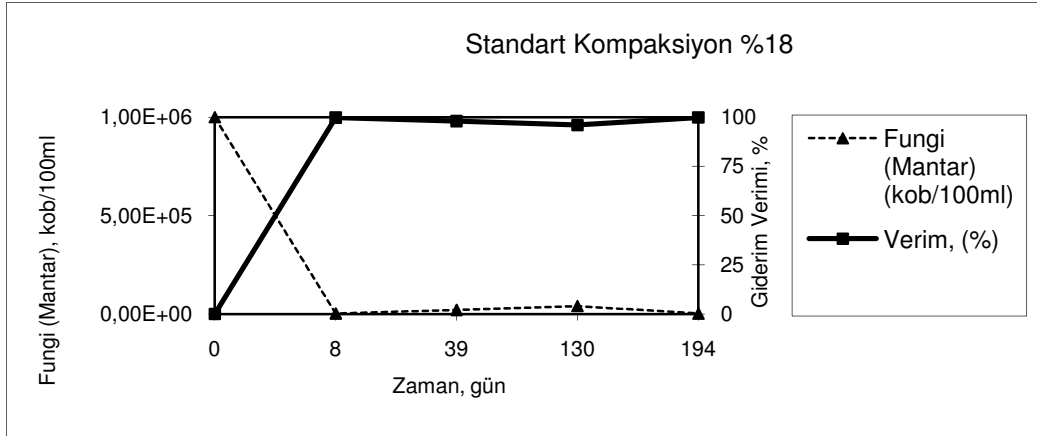


Şekil 4.81. Fekal streptokokun değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))

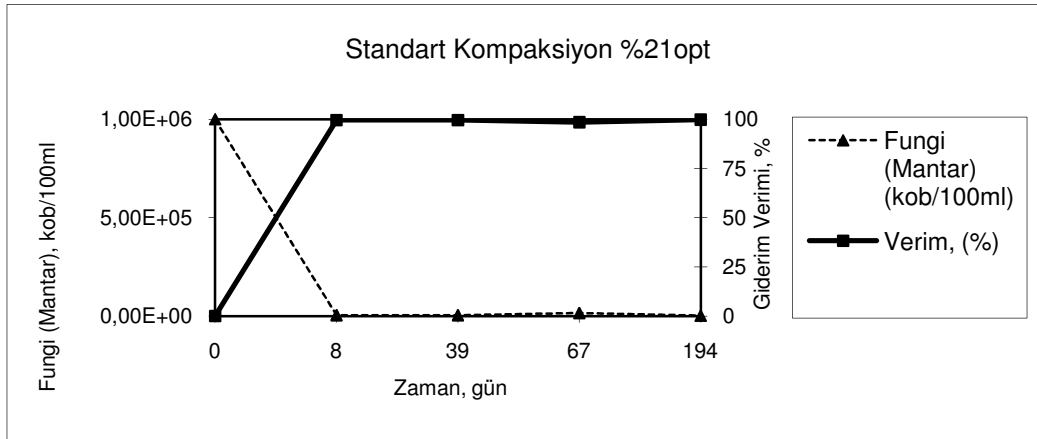
Şekillerden görülebileceği gibi başlangıç fekal streptokok değeri 4500000 kob/100ml olarak ölçülmüştür ve sızıntı suyunun standart ve konsolide killi zeminden ilk geçişi 11 gün sürmüştür. 11. günde reaktörlerden çıkan sızıntı suyunun fekal streptokok değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir. %21 nem oranlı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde fekal streptokok çıkış değeri 0 kob/100ml ve giderim verimi %100, 39.günde ise fekal streptokok çıkış değeri 0 kob/100ml ve giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir. 67.günde %21(opt.)nem oranında %100 giderim verimi, %18 nem oranında %100 giderim verimi, %24 nem oranında %100 giderim verimleri elde edilmiştir (Şekil 4.79-4.81). Sonuçlardan görüldüğü gibi standart kompaksiyon ve konsolidasyon uygulanan zeminlerde giderim verimi oldukça yüksek olmaktadır.

Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %100, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %100 olduğu görülmektedir.

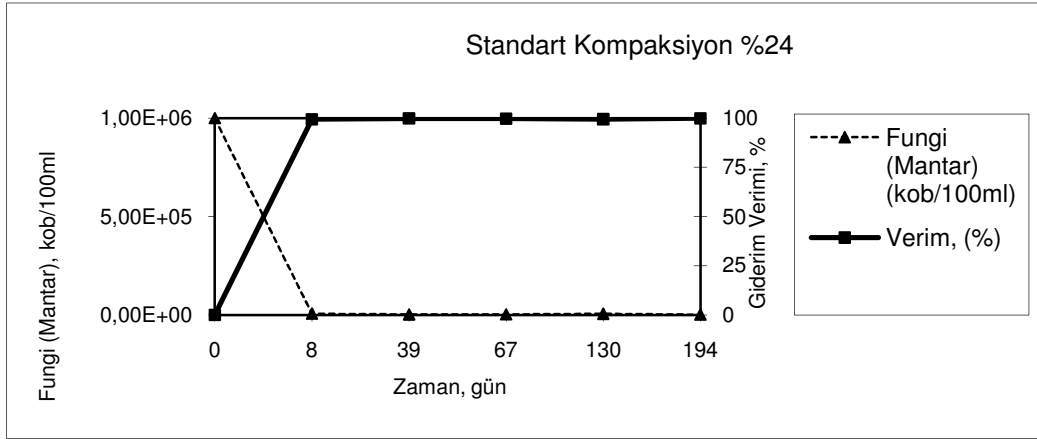
4.3.2.5. Fungi (Mantar) Analiz Sonuçları



Şekil 4.82. Funginin(mantar) değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))



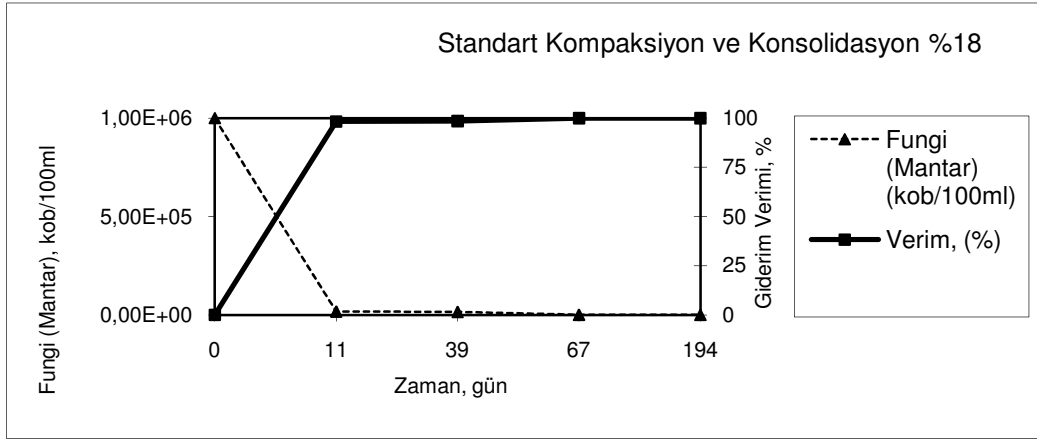
Şekil 4.83. Funginin(mantar) değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))



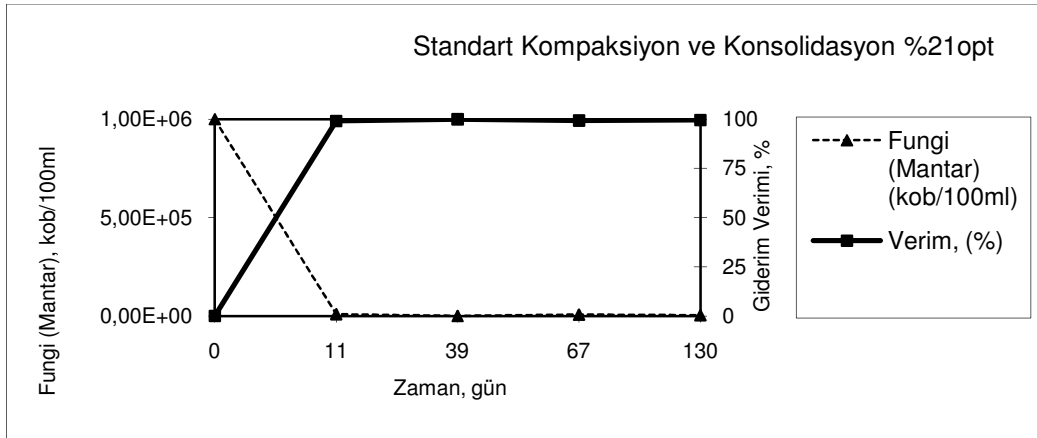
Şekil 4.84. Funginin(mantar) değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))

Sızıntı suyunun başlangıç fungi (mantar) değeri 1000000 kob/100ml olarak ölçülmüştür ve sızıntı suyunun standart killi zeminden ilk geçişi 8 gün sürmüştür. %21 nem oranı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan numunenin bulunduğu reaktörde fungi (mantar) çıkış değeri 4000 kob/100ml ve giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir.

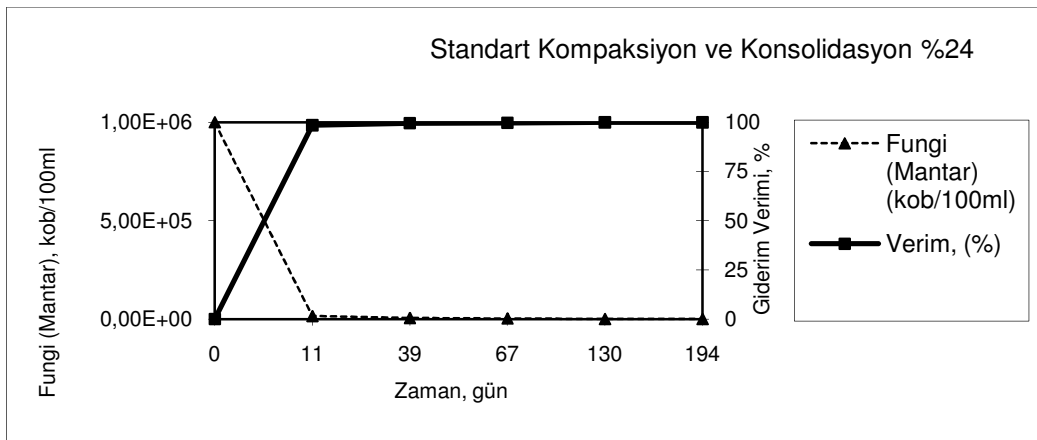
Optimum su içeriği %21, %18 ve %24 olan numunelerde 67. günde elde edilen fungi (mantar) çıkış değeri ise sırasıyla 4000 kob/100ml, 20000 kob/100ml, 1800 kob/100ml ve verimi %100, %98, %100 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.82-4.84). Standart yöntemle sıkıştırılmış kil numunesinin ortalama giderim verimi %100 olduğu görülmüştür. Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılmış killi zeminde giderimin incelendiği bu çalışmada fungi (mantar) giderim veriminin oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.85. Funginin(mantar) değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))



Şekil 4.86. Funginin(mantar) değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))

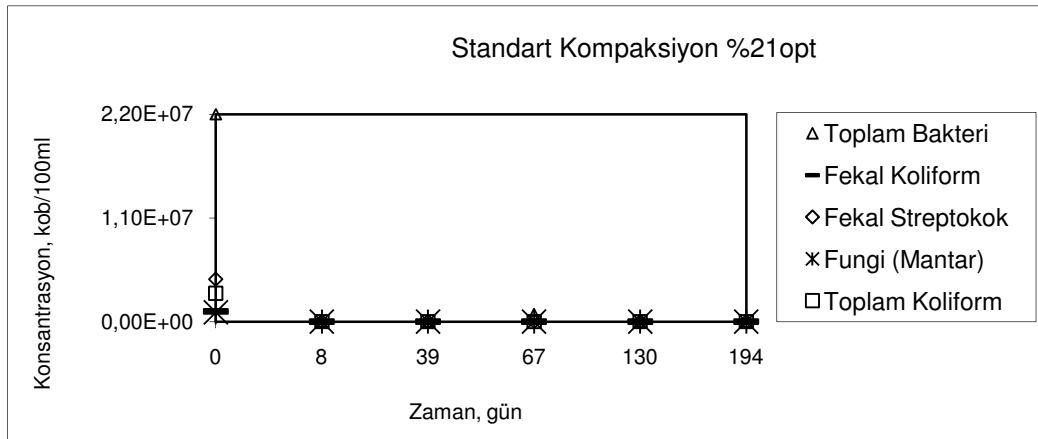


Şekil 4.87. Funginin(mantar) değişimi ve giderim verimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))

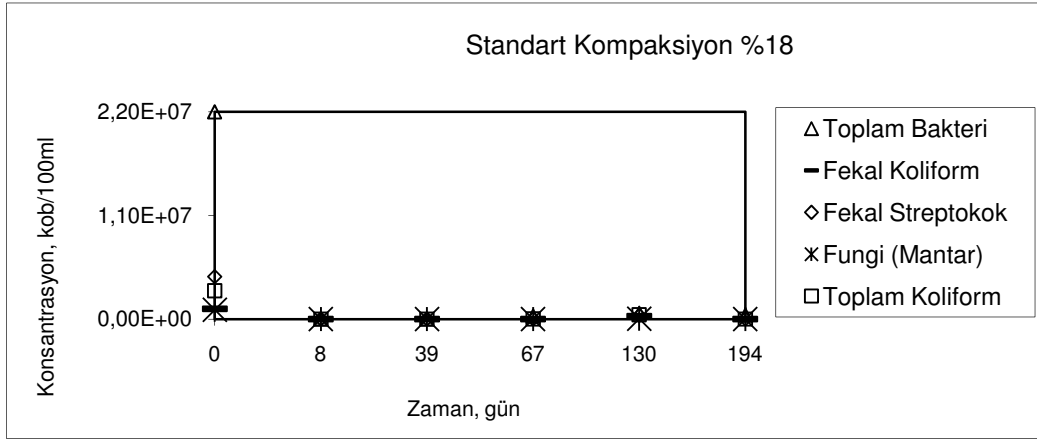
Sızıntı suyunun fungi (mantar) giriş değeri 1000000 kob/100ml olarak ölçülmüştür. Sızıntı suyunun standart kompaksiyon ve konsolide killi zeminden ilk geçişi 11 gün sürmüştür ve 11. günde %21 nem oranlı (optimum nem oranı) standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde fungi (mantar) çıkış değeri 9000 kob/100ml ve giderim verimi %99, 39.günde ise fungi (mantar) çıkış değeri 500 kob/100ml ve giderim verimi %100 olarak elde edilmiştir. 67.günde %21(opt.)nem oranında %99 giderim verimi, %18 nem oranında %100 giderim verimi, %24 nem oranında %100 giderim verimleri elde edilmiştir (Şekil 4.85-4.87). Sonuçlardan görüldüğü gibi standart kompaksiyon ve konsolidasyon uygulanan zeminin fungi (mantar) giderim verimi son derece yüksektir.

Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %100, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan zeminlerin %21(opt.) nem oranında giderim verimi %100 olduğu görülmektedir.

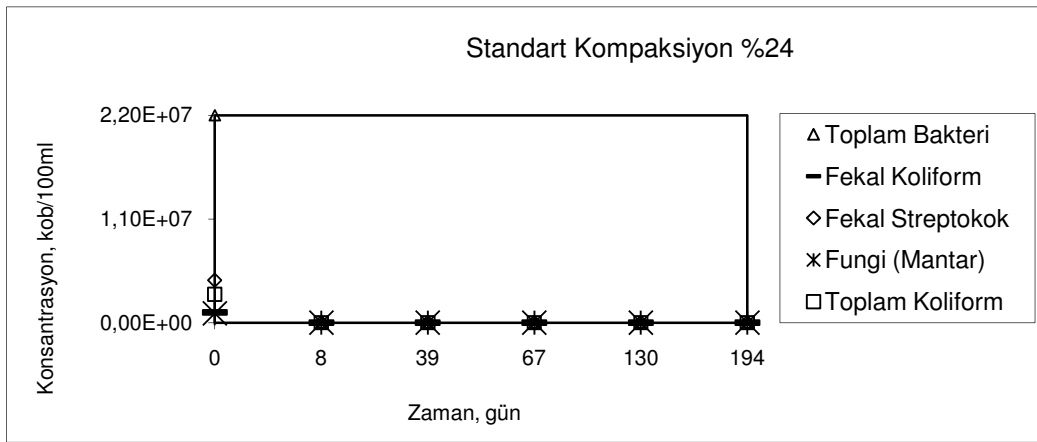
4.3.2.6. Mikroorganizmaların Reaktörlere Göre Değişimi



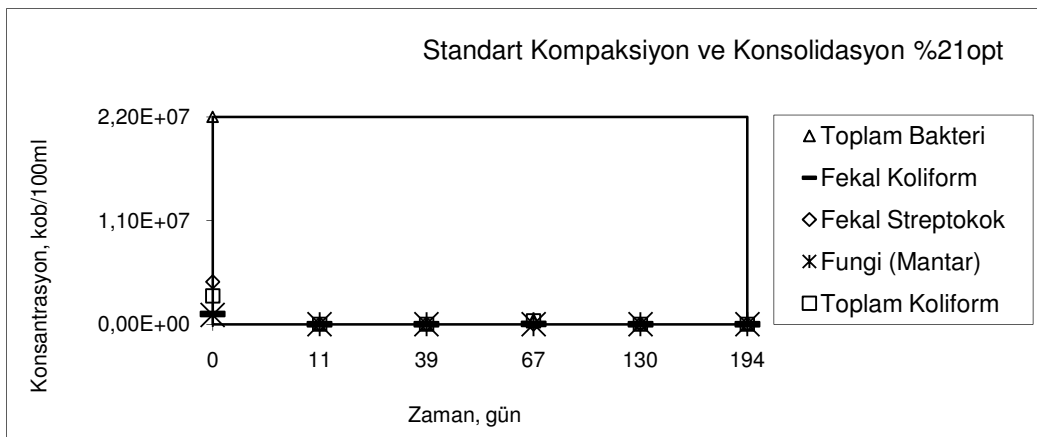
Şekil 4.88. Mikroorganizmaların değişimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %21(opt.))



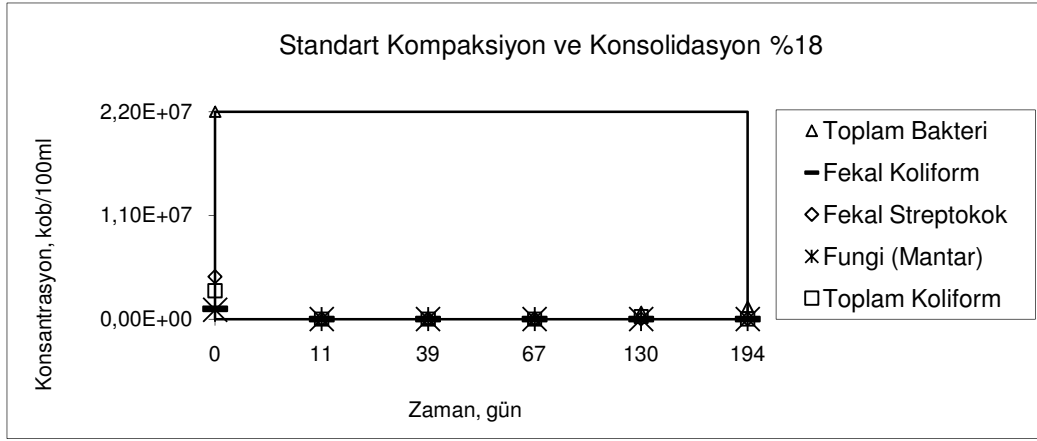
Şekil 4.89. Mikroorganizmaların değişimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %18(opt.-3))



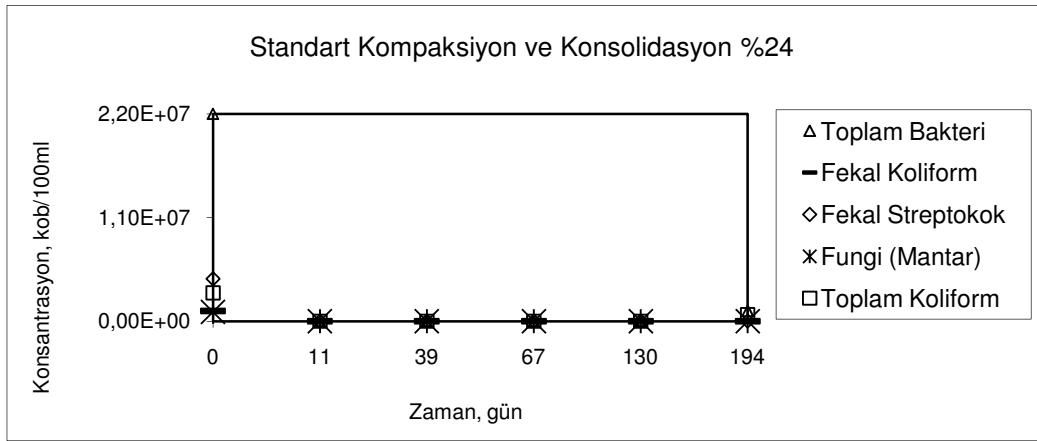
Şekil 4.90. Mikroorganizmaların değişimi (Standart kompaksiyon, su içeriği %24(opt.+3))



Şekil 4.91. Mikroorganizmaların değişimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %21(opt.))



Şekil 4.92. Mikroorganizmaların değişimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %18(opt.-3))

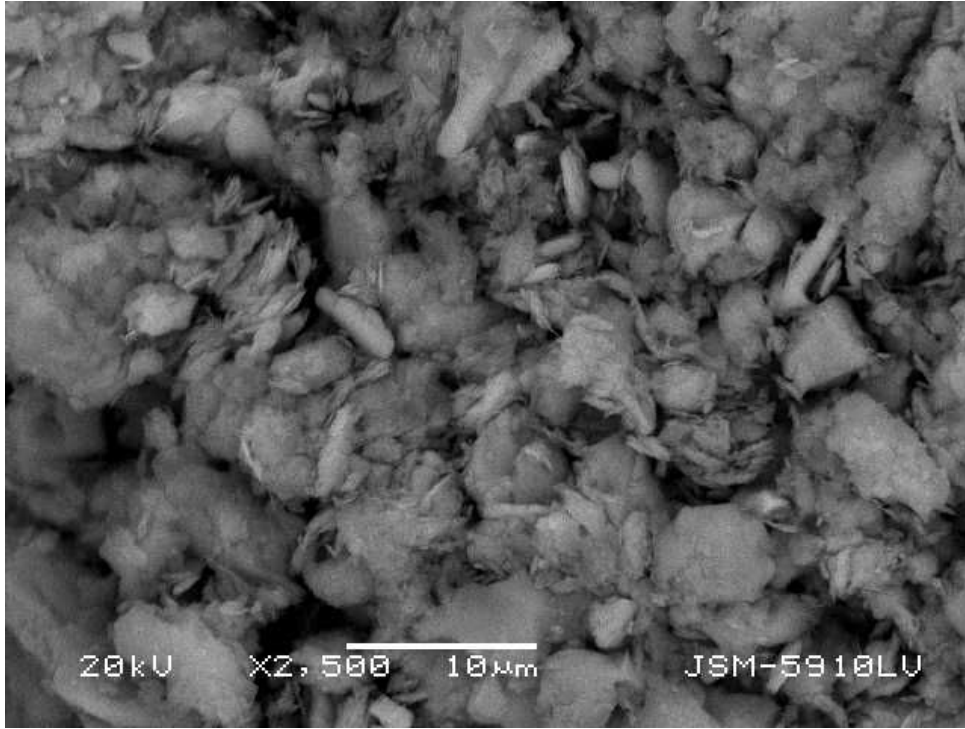


Şekil 4.93. Mikroorganizmaların değişimi (Standart kompaksiyon ve konsolidasyon, su içeriği %24(opt.+3))

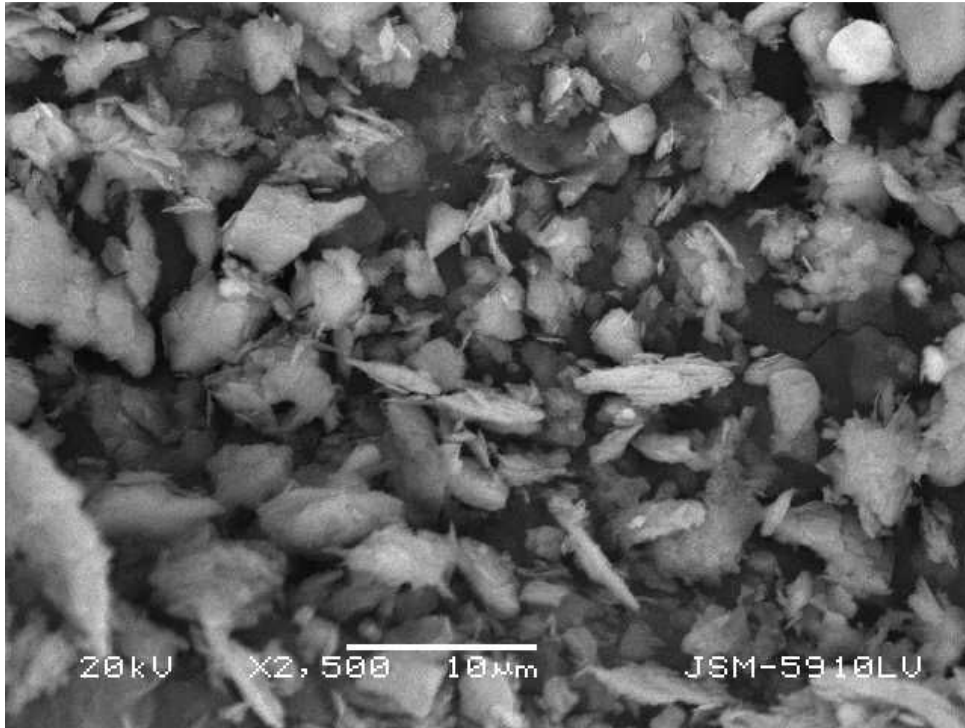
Şekillerden görüldüğü gibi her bir parametre için giderim olmuştur ve bakteri sayıları giriş suyuna göre azalmaktadır. Her bir parametrede sayılar dedekte edilemeyecek sayıların altına düşmüş ve oldukça iyi verim seviyelerine ulaşılmıştır.

4.4. SEM ANALİZ SONUÇLARI

Şile-Kömürcüoda düzenli depolama alanından alınan temiz ve kirli kil örneklerinin scanning electron mikroskop (SEM) ile 2500 kat büyütülerek alınan görüntüleri Şekil 4.94-4.95’de verilmiştir.



Şekil 4.94. Temiz kil



Şekil 4.95. Kirli kil

Çalışmada kullanılan temiz kilin görüntüsü Şekil4.94'de, kirli kilin görüntüsü Şekil4.95'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi kil partiküllerinin yapısı amorf tur(şekilsiz). Kirli numunelerde kil yumakları arasında ve yüzeyinde sızıntı suyunun biriktiği fotoğraflardan belirgin(yumaklar arasındaki siyah kısımlar) bir şekilde görülmektedir.

Sızıntı suyunun killi zeminden geçişi sırasında zeminin permeabilitesini değiştirmesinin yanı sıra sızıntı suyunda mevcut kirliliklerin giderilmesi için birbirinden farklı mekanizmalar tesirli olmaktadır. Bunlar; mekanik süzme, çökeltme, adsorbsiyon (tutunma), kimyasal reaksiyon ve biyolojik faaliyetlerdir.

Mekanik olarak süzme işlemi, kullanılmış suların filtre yatağından geçerken bazı kirlleticilerin filtre malzemesi tarafından tutulması işlemidir. Süspansiyon halindeki katıların boyutları, yatak malzemesi gözeneklerinden daha büyük olduğundan burada tutulurlar. Ancak süzülme sırasında bazı daneciklerin birbiriyle temas etmesi neticesi büyük yumaklar teşekkül eder, böylece kirlitici maddelerin filtre yatağından süzülüp çıkış suyuna karışması engellenir. Süzülme sırasında çökelen malzemeler, gözenek hacmini azaltır, suyun geçtiği kesit daraldığından su hızı artar. Adsorbsiyon (tutulma), kolloidlerin ve küçük asılı daneciklerin sudan uzaklaştırılmasında en mühim işlemlerden birisidir. Adsorbsiyon kuvvetleri, en fazla 0,01 – 1 µm gibi çok kısa mesafeler için tesirli olmaktadır. Halbuki kil danecikleri saran film tabakasının kalınlığı bu mesafeden çok daha büyüktür. Bu husus dikkate alınırsa adsorbsiyonun, daneciklerin tutulmasında bir rolü olmayacağı anlaşılır. Ancak durum farklıdır. Adsorbsiyon işlemine yardım eden, taşınma mekanizmaları ile suda bulunan partiküller filtre malzemesini teşkil eden kil danesine doğru yaklaştırılır. Böylece mesafe azaldığından partiküller tutulur. Taşınma mekanizmaları, kesişme, atalet, yerçekimi, difüzyon ve hidrodinamik tesirler olarak sınıflandırılabilir.

Filtrasyon işlemi sırasında bazı reaksiyonlar ceryan eder. Böylece çözünmüş haldeki kirlitici maddeler ayrışır, daha az zararlı maddeler hâline dönüşür veya çözünmeyen maddelere dönüşerek çökeltme ve adsorbsiyon ile sudan uzaklaşır.

Killi zemin yatağında ve yatak yüzeyinde yaşayan mikroorganizmalar biyolojik faaliyet gösterirler. Suda bulunan besin maddelerin bir kısmı, bu mikroorganizmaların yaşamları için

gerekli olan enerjiyi temin için (disimilasyon), bir kısmı ise büyümeleri için (asimilasyon) harcanır. Bu mikroorganizmalardan bir kısmı süzme, çökelme ve adsorbsiyon ile kil daneciklerin yüzünde tutulur.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Şile Kömürcüoda Düzenli Depolama Alanı'ndan alınan killi zeminin geçirgenliğinin ve arıtım kapasitesinin incelendiği bu çalışmada, rengi sarımsı griden kahverengimsi griye değişim gösteren siltli kil kullanılmıştır. Sızıntı suyu ile yapılan permeabilite deneyleri sonucunda, standart kompaksiyon uygulanan numunelerde ve standart kompaksiyon ile konsolidasyonun birlikte uygulandığı numunelerde ayrı ayrı permeabilite değişimi gözlenmiştir. Standart kompaksiyon ve konsolidasyon uygulanan zeminde patiküller arası boşlukların sıkışmanın etkisiyle standart kompaksiyon uygulanan zemindeki patiküller arası boşluklardan daha az olduğu ve bu nedenle konsolide killi zeminin permeabilitesinin daha düşük olduğu görülmüştür.

Zeminden standart yöntemlerle sıkıştırılan örneklerde ilk numune çıkışı 8 gün, standart kompaksiyon ve konsolidasyon uygulanan örneklerde ise 11 gündür. Her iki durumda da deney süresi 194 gün olarak gözlenmiştir.

Sızıntı suyu başlangıç Fe(II) değeri 65.30 mg/L olarak ölçülmüş ve standart yöntem ile sıkıştırılmış kil numunesinin giderim verimi 67. günde %21(opt.) nem oranı için %99 olduğu görülmüştür. Genel olarak 39. ve 67. günler arasında desorpsiyon başladığı görülmüştür. Benzer şekilde standart kompaksiyon yöntemi ile sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunelerde 67. günde %21(opt.) nem oranında %100 giderim verimi olmuştur. Kesikli sistemde ise Fe(II) giderim verimi 150. dakikada %95 olup, sonrasında desorpsiyon gözlenmiştir.

Mn(II) başlangıç değeri 1.33 mg/L olarak ölçülmüş ve standart yöntem ile sıkıştırılmış kil numunesinin giderim verimi 67. günde %21(opt.) nem oranı için %88 olduğu görülmüştür. Standart kompaksiyon yöntemi ile sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunelerde 67.günde %21(opt.) nem oranında %92 giderim verimi elde edilirken 67. günden sonra desorpsiyon başlamıştır. Kesikli sistemde ise Mn(II) çıkış değerleri çok düşük olduğu için adsorpsiyon ve desorpsiyon süreçleri gözlenememiştir.

Başlangıçta sızıntı suyu Zn(II) değeri 2.376 mg/L olarak ölçülmüştür. Standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan numunenin 67. günde giderim verimi %82 olduğu, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 67. günde %21(opt.) nem oranında %85 giderim verimi elde edilmiştir. Kesikli sistemde ise, Zn(II) giderim verimi 90. dakikada %98'e ulaşmış ve sonrasında desorpsiyon başlamıştır.

Sızıntı suyu başlangıç Cu(II) değeri 1.499 mg/L olarak ölçülmüştür. Standart yöntemle sıkıştırılmış kil numunesinin 67. günde elde edilen Cu(II) giderim verimi % 87 olarak elde edilmiştir. Genel olarak 67. güne kadar Cu(II)'nin giderim veriminin arttığı sonraki günlerde azalmaya başladığı görülmüştür. Bu değişim 67. güne kadar adsorpsiyon sonrasında da desorpsiyon olarak açıklanabilir. Sızıntı suyunun standart kompaksiyonla konsolide killi zeminden 67.günde %21(opt.) nem oranında %93 giderim verimi elde edilmiştir. Kesikli sistemde ise 90. dakikada Cu(II) giderim verimi %97'ye ulaşmış, sonrasında düşüş göstermiştir. Bu da 90. dakikadan sonra desorpsiyonun başladığını göstermiştir.

Başlangıç sızıntı suyu Pb(II) değeri 0.536 mg/L olarak ölçülmüş olup, standart kompaksiyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 67. günde %21 (opt.) nem oranında giderim veriminin %53 ve standart kompaksiyonla konsolidasyon uygulanan numunenin bulunduğu reaktörde 67.günde %21(opt.) nem oranında ise giderim veriminin %81 olduğu saptanmıştır. Kesikli sitemde ise, alevli AAS'nin minimum ölçüm değerinden düşük seviyelerde sonuç elde edildiği için adsorpsiyon ve desorpsiyon süreleri gözlenememiştir.

Sızıntı suyu başlangıç değeri 65.30 mg/L olarak ölçülmüş olan Cd(II)'nin çıkış değerleri alevli AAS'nin ölçüm aralığı dışında olduğu için, Cd(II) değişimi izlenememiştir.

Genel olarak Fe(II), Mn(II), Zn(II), Cu(II) ve Pb(II) parametreleri deney sonuçları incelendiğinde standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve konsolidasyon uygulanan zeminlerin giderim veriminin, standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan zeminlerin giderim veriminden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Farklı nem oranlarında standart kompaksiyon yöntemiyle sıkıştırılan ve standart kompaksiyonla konsolidasyon uygulanan zeminlerin bulunduğu reaktörün her birinden çıkan

analiz sonuçlarında mikrobiyolojik parametrelerin (Toplam heterotrofik bakteriler, toplam koliform, fekal koliform, fekal streptokok, fungi(mantar)) giderim veriminin %100'e ulaştığı görülmüştür. Toplam heterotrofik bakteriler ve fungiler (mantar) hariç diğer bütün parametrelerin çıkış değerleri 0 seviyelerine ulaşmıştır.

Genelde tüm mikrobiyolojik parametreler (Toplam heterotrofik bakteriler, toplam koliform, fekal koliform, fekal streptokok, fungi(mantar)) için giderim olmuş ve bakteri sayıları giriş suyuna göre azalmıştır. Her bir parametre için oldukça yüksek giderim verimleri elde edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada; çöp sızıntı suyu kilden geçirildikten sonra kimyasal ve mikrobiyolojik parametrelerde önemli derecede giderim verimi elde edilmiş ve kilin doğal bir arıtım mekanizması olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. SHASHIKUMAR, B.M., 1992, Effect Of Leachate On The Stability Of Landfill Composite Liners, Master Thesis, Ohio University.
2. SERTDEMİR, N.B., 2010, Sıkıştırılmış Killi Zeminlerde Permeabilite-Giderim İlişkisinin Kimyasal Ve Biyolojik Parametreler Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
3. FARQUAR, G.J., 1998, Leachate: Production and Characterization, Department of Civil Engineering, University of Waterloo, Ontario, Canada.
4. Anonymous, 1995, Katı Atık Yönetimi, Çevre Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.
5. TOR, A., 2000, Konya İli Düzensiz Katı Atık Depolama Sahası Sızıntı Suyu Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
6. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (KAKY), 1999. Resmi Gazete, Sayı: 23790, 18 Ağustos, Ankara.
7. KÖSEOĞLU A., Düzenli Depolama Alanlarının Tasarımı, Bitirme Ödevi, İTÜ Çevre Müh. Bölümü, 1998, İstanbul.
8. GARTUNG E., MÜLLNER B., DEFREGER F., Performance of compacted Clay Liners at the Base of Municipal Landfills: The Bavarian Experience, Sardinia 99 Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, vol. 3, 4 – 8 Oct, 1999, Italy.
9. YILDIZ Ş., İSTAÇ Katı Atık Eğitim Merkezi, Katı Atık Düzenli Depolama Sistemleri Eğitimi, 2005. 9 – 12 Mayıs, İstanbul.
10. YILDIZ Ş., 1999, Mahmutbey Belde Belediyesi Katı Atık Proje Ara Raporu, İstanbul.
11. ROWE, R.K. ve LAKE, C.B., 1999, Geosynthetic Clay Liner Research and Design Applications, Sardinia 99 Seventh International Waste Management and Landfill Symposium vol. 3, 4 – 8 Oct, Italy.
12. CH2M – Hill – Antel, 1999, İstanbul Anakenti için Hazırlanan Katı Atık Yönetim Etüdü, İstanbul.
13. YILDIZ Ş., İstanbul’ da Katı Atık Yönetimi, Brifing Notları, İstaç A.Ş., 1998, İstanbul.
14. Tıbbi Atıkların Kontrol Yönetmeliği (TAKY), 1993, Resmi Gazete, Sayı:21586, 20 Mayıs, Ankara.

15. Tehlikeli Atıkların Kontrol Yönetmeliği (ThAKY), 1995, Resmi Gazete, Sayı:22387, 27 Ağustos, Ankara.
16. İNCE, M., 2008, Düzenli Deponi Sahası Sızıntı Sularının Yüksek Performanslı Kompakt Membran Biyoreaktörlerle Arıtılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
17. KÜÇÜKGÖL O., 1999, Katı Atık Düzenli Depolama Sahaları Sızıntı Suyu Özelliklerinin Değişimini İfade Eden Bir Matematiksel Model, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enst.,İstanbul.
18. ÖZKAYA, B., 2001, Katı atık düzenli depo sahalarında sızıntı suyu geri devir etkilerinin tam ölçekli bir sahada (oda yeri) araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
19. Lin, C.Y., 1991, Anaerobic-Digestion of Landfill Leachate, Water SA, 17(4), 301-306.
20. ERARSLAN, İ., 2003, Sızıntı Sularının Örselenmiş Killi Zeminler Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
21. BAŞTÜRK, A., ÖZTÜRK, M., DEMİR, A., KANAT, G., 2003, Kömürcüoda (Asya Yakası) Katı Atık Dolgu Alanı Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Ön Araştırma Raporu, YTÜ , İstanbul.
22. İSTAÇ A.Ş., 2006, Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası Çöp Suyu Arıtma Tesisi İşletme El Kitabı, İstanbul.
23. DENİZ, C., 2008, Adsorpsiyon ve Biyosorpsiyon Mekanizmasının kirleticilerin Gideriminde kullanımı, Cumhuriyet Üniversitesi, Yüksek Lisans Semineri, Sivas.
24. ŞENGÜL, F., Küçükgül, E.Y., 1990, Çevre Mühendisliğinde Fiziksel ve Kimyasal Temel İşlemler”, D.E.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları, No:153, İzmir.
25. TOPRAK, R., 1997, Deri Sanayi Atıksularından Kromun Doğal Zeolit Yardımıyla Adsorpsiyon Yöntemi Kullanılarak Giderimi, Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
26. YÖRÜKOĞULLARI, E., 1997, Doğal Zeolitlerde Fiziksel Adsorpsiyon Uygulamaları, Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Eskişehir.
27. PINAR, A., 2002, Çöp Deponi Alanlarında Oluşan Sızıntı Sularında Bulunan Amonumun Doğal Zeolitle Arıtımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
28. KAYACAN, S., 2007, Kömür ve Koklarla Sulu Çözeltilerden Boyar Maddelerin Uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara.

29. KETİZMEN, S., 2008, Islak Hava Oksidasyonu ve Adsorpsiyon Yöntemler İle Selüloz Ağartma Atıksuyunun Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
30. VELİ, S., KIRLI, L., ÖZTÜRK, T., ALYÜZ, B., 2007, Çeşitli Doğal Adsorbentlerin Reaktif Azo Boyanın Giderimindeki Uygunluklarının İncelenmesi, Ulusal Çevre Sempozyumu, Mersin.
31. ÖZAYDIN K., 1997, Zemin Mekaniği Kitabı, Birsen Yayınevi, 1. Baskı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
32. HACIHAMZAOĞLU O., 2003, Kompakte Edilmiş Zeminlerde Permeabilitenin Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı, İstanbul.
33. YÜKSEL, B., 2007, Konsolidasyon Süresince Kil Yapısındaki Değişimin Araştırılması, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
34. ÇİNİCİOĞLU, S.F., 2005, Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı, İMO, İstanbul.
35. CERNICA, J. N., 1995, Geotechnical Engineering, Soil Mechanics, John Wiley & Sons, Inc. New York.
36. WATTS, R. J., 1997, Hazardous Wastes: Sources, Pathways, Receptors, John Wiley&Sons, Inc., United States of America.
37. AKİNBİYİ, A., 2000, Removal of Lead from Aqueous Solutions by Adsorption Using Peat Moss, Master Thesis, University of Regina, Saskatchewan- Canada.
38. GÖKAĞAÇLI, N. G., 2007, Microcystis Sp. İle Demir, Bakır Ve Çinko Metallerinin Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
39. OKUMUŞ, E., 2007, Küçükçekmece Gölü Sedimentinde Ağır Metal (Zn^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+}) Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
40. Lin, J., 1998, The Relationship Between Adsorption of Heavy Metal and Organic Matter in River Sediments, Environmental International, 345-352.
41. KIZILKAYA, R., 1998, Samsun Azot Sanayi (TÜGSAŞ) ve Karadeniz Bakır İşletmeleri (KBİ) Çevresindeki Tarım Topraklarında Ağır Metal Birikiminin Toprakların Bazı Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
42. USTAOĞLU, A., 2003, Ön Ozonlamanın Mn(II) Oksidasyonunun Verimi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

43. GERBER, G.B., LEONARD, A., HANTSON, P.H., 2002, Carcinogenicity, mutagenicity and teratogenicity of manganese compounds, *Critical Reviews in Onc./Hem.* 42:25–34.
44. TANAK, A.G., 2006, Samsun Çevresinde Yetişen Bazı Yeşil Bitkilerdeki Ağır Metallerin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
45. DOMINGO, J.L., 1994, Metal-induced developmental toxicity in mammals, *J. Toxicol. Environ. Health.* 42:123–41.
46. MANAHAN, S.E., 1994, *Environmental Chemistry-6th Edition*, CRC Press, Inc., USA
47. BAKKALOĞLU, İ., 1998, Screening of Various Types Biomass for Removal and Recovery of Heavy Metals (Zn, Cu, Ni) by Biosorption, Sedimentation and Desorption”, *Water Science Technology*, vol.38, 269-277.
48. ÇOMAKOĞLU, B., 1995, Atıksulardan Bakır ve Kadmiyum’un Kompost ile Adsorplanarak Uzaklaştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
49. SAWYER, C. N. ve McCARTY, P. L., 1978, *Chemistry for Environmental Engineering*, Third Edition, McGraw-Hill, Inc.
50. GREEN ET AL., 1981, Clay-Soils Permeability And Hazardous Waste Storage, *J. Water Pollution Control Fed.*, 53(8), 1347-1354.
51. 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.
52. DANIEL, D.E., 1984, Predicting Hydraulic Conductivity Of Clay Liners, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.110, No.GT2, pp. 288-300.
53. WANG, M.C., ASCE, M., HUANG, C.C., December 1984, Soil Compaction and Permeability Prediction Models, pp. 19356, *Journal of Environmental Engineering*, Vol.110, No. 6.
54. KINGSLEY, H.W. ve ASCE M., October 1985, Clay Liner Permeability: Evaluation and Variation, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 111, No. 10.
55. QUIGLEY, R.M., FERNANDEZ, F., 1987, Suitability of Marine Clays as Hazardous Waste Site Liners, pp. 21914, *Journal of Environmental Engineering*, Vol.113.
56. BRUTSAERT WILLIEM, F. Ve ASCE, M., 1987, Suitability of Marine Clays as Hazardous Waste Site Liners, pp. 21914, *Journal of Environmental Engineering*, Vol 113, No 5.

57. JANARDANAN, O., STEPHENSON. R.W., ASCE. M., 1989, Permeability of Clays Under Organic Permeants, pp. 23121, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol 115, No.1.
58. YOUNG, R.N. ve PHADUNGCHWIT, N.T., 1993, pH Influence on Selectivity and Retention of Heavy Metals in Some Clay Soils, pp. 821-833, *Can. Geotech. J.* Vol.30.
59. OWEN, J.A. ve MANNING, D.A.C., 1997, Silica in landfill leachates: implications for clay mineral stabilities, *Applied Geochemistry*, Vol. 12, pp. 267-280.
60. MOJONE, M., PAPINI, M.P., ROLLE, E., June 1998, Influence of Metal Speciation in Landfill Leachates on Kaolinite Sorption, pp.882-890, *Wat. Res.* Vol.32, No.3.
61. YUEN K., GRAHAM J., JANZEN P., 1998, Weathering-Induced Fissuring and Hydraulic in a Natural Plastic Clay, pp. 1101-1108, *Can. Geotech.* Vol.35.
62. FOGED, N., BAUMANN, J., 1999, Clay Membrane Made of Natural High Plasticity Clay: Leachate Migration due to Advection and Diffusion, *Engineering Geology*, Vol.54, pp. 129.
63. SNAPEL, MORRIS C.E., COLE C.M., March 2001, The Use of Permeable Reactive Barriers to Control Contaminant dispersal During Site Remediation in Antarctica, *Cold Regions Science and Technology*, Vol.32, pp.157-174.
64. 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.
65. YAVUZ, Ö., ALTUNKAYNAK, Y., GÜZEL, F., 2003, Removal of Copper, Nickel, Cobalt and Manganese from Aqueous Solution by Kaolinite, *Water Research*, Vol.37, pp.948-952.
66. EDİL, T.E., 2003, A Review of Aqueous-Phase VOC Transport in Modern Landfill Liners, *Waste Management* Vol.23, pp. 561-571.
67. ISLAM, J., SINGHAL, N., 2004, A Laboratory Study of Landfill-Leachate Transport in Soils, *Water Research*, Vol.38, pp.2035-2042.
68. 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.
69. ÖZÇOBAN, M. Ş., ERARSLAN, İ., TÜFEKÇİ, N., 2006, Influence of Leachates on the Permeability and Leachate Removal Rate of Compacted Clay, *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 15-No 9b.
70. CHUNGA, H., LEE, M., 2007, A New Method for Remedial Treatment of Contaminated Clayey Soils by Electrokinetics Coupled with Permeable Reactive Barriers, *Electrochimica Acta*, 52, pp. 3427-3431.

71. MARTIN, P.J., STEPHENS, W., 2008, Willow Water Uptake and Shoot Extension Growth in Response to Nutrient and Moisture on A Clay Landfill Cap Soil, *Bioresource Technology*, 99, 5839–5850.
72. THIRUVENKATACHARI, R., VIGNESWARAN, S., NAIDU, R., 2008, Permeable Reactive Barrier for Groundwater Remediation, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 14, 145–156.
73. OZCOBAN, M.S., 2008, Permeability And Removal Rate Of Compacted Clays To Organic And İnorganic Matters, *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol. 67, pp. 136-140.
74. TUFEKCI, N., ÖZÇOBAN, M.Ş., YALÇIN, S., AŞCI, 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.
75. FRANCISCA, F.M., ve GLATSTEIN, D.A., 2010, Long Term Hydraulic Conductivity Of Compacted Soils Permeated With Landfill Leachate, *Applied Clay Science*, Vol. 49, Iss. 3, pp. 187-193.
76. Greenberg, A., 2005, Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, Washington, USA.

ÖZGEÇMİŞ

30 Ağustos 1985’de İstanbul’da doğdu. İlkokulu Zafer İlköğretim Okulu’nda tamamladı. 2003 yılında Y.D.A. Cengizhan Lisesi’nden mezun oldu. Aynı yıl Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’ne başladı. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’ne yatay geçiş yaparak 2007 yılında oradan mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı’na girmeye hak kazandı.