

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**PATATES CİPSİ İŞLEME ATIKSULARININ HİBRİT YAPAY
SULAK ALAN SİSTEMLERİ İLE ARITIMININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYŞENİL ŞENCAN

BOLU, AĞUSTOS - 2017

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**PATATES CİPSİ İŞLEME ATIKSULARININ HİBRİT
YAPAY SULAK ALAN SİSTEMLERİ İLE ARITIMININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYŞENİL ŞENCAN

BOLU, AĞUSTOS - 2017

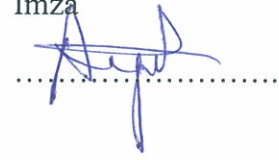
KABUL VE ONAY SAYFASI

AYŞENİL ŞENCAN tarafından hazırlanan “**PATATES CİPSİ İŞLEME ATIKSULARININ HİBRİT YAPAY SULAK ALAN SİSTEMLERİ İLE ARITIMININ İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 21.08.2017 tarihinde Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
Doç. Dr. Arda YALÇUK
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

İmza



Üye
Prof. Dr. Duran KARAKAŞ
Abant İzzet Baysal Üniversitesi



Üye
Yrd. Doç. Dr. Murat SOLAK
Düzce Üniversitesi



21.08.2017

Prof.Dr. Duran KARAKAŞ 

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



Sevgili Anne ve Babama,

ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

AYŞENİL ŞENCAN

ÖZET

**PATATES CİPSİ İŞLEME ATIKSULARININ HİBRİT YAPAY SULAK
ALAN SİSTEMLERİ İLE ARITIMININ İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
AYŞENİL ŞENCAN
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ARDA YALÇUK)**

BOLU, AĞUSTOS - 2017

Yapılan çalışmada, patates işleme endüstrisi atık suyunun hibrit yapay sulak alan sistemi kullanılarak arıtılması incelenmiştir. Çalışmada kullanılan patates işleme atık suyu Bolu ilinde yer alan BOLPAT A.Ş'den 06/08/2015-24/06/2016 tarihleri arasında belirli dönemlerde temin edilmiş ve bitki olarak *Cyperus alternifolius* kullanılmıştır. Hibrit sistem; yatay reaktörleri dikey reaktörlerin takip etmesi şeklinde düzenlenmiştir. Kurulan hibrit sistemde bitkinin arıtıma etkisini belirlemek amacıyla bitki dikili olan grup ve kontrol grubu olarak ayrılmıştır. Çalışma iki set halinde gerçekleştirilmiştir ve her iki sette de giriş atık suyunda ve reaktörlerin çıkış numunelerinde KOİ, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, PO₄-P, pH, ORP, EC, AKM ve bulanıklılık analizleri yapılmıştır. Set-1'de dolgu malzemesi olarak dikey reaktörlerde toprak/silt karışımı, pomza taşı ve çakıl taşı kullanılırken, yatay reaktörlerde sadece zeolit kullanılmıştır. Set-2'de set-1'den farklı olarak hibrit sistemin arıtım performansını artırmak amacıyla dolgu malzemelerinde değişiklik yapılmıştır. Dikey reaktörlerde zeolit, pomza taşı ve çakıl taşı kullanılırken, yatay reaktörlerde yalnızca zeolit kullanılmıştır. Set-1'de yapılan analizler sonucunda; bitkili hibrit sistemde %87 KOİ, %56 NH₄-N, ve %57 PO₄-P giderimi gerçekleştirilirken, bitkisiz hibrit sistemde %84 KOİ, %53 NH₄-N ve %52 PO₄-P giderimi elde edilmiştir. Set-2'de gerçekleştirilen analizler sonucunda bitkili hibrit sistemde %87 KOİ, %83 NH₄-N ve %82 PO₄-P giderimi gerçekleştirilirken, bitkisiz hibrit sistemde % 77 KOİ, % 77 NH₄-N ve % 73 PO₄-P giderimi görülmüştür. Çalışma sonunda elde edilen verilere göre hibrit yapay sulak alan sistemlerinin, amonyak ve organik madde gideriminde etkili olduğu gözlenmiştir. Her iki sette de dolgu malzemesi olarak kullanılan pomza taşı, çakıl taşı ve zeolitin yapay sulak alan sistemlerinde atık su arıtımına katkı sağladığı

saptanmıştır. Çalışmanın her iki setinde de yapılan SEM görüntüleme yöntemi ile sistemlerde biofilm oluşumları izlenmiştir. Ayrıca MALDI TOF/TOF MS analizi ile de biofilmin yapısında yer alan ve patates atıksuyu arıtımında rol oynayan bazı mikroorganizmalar tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan bitkilerin büyümesine ilişkin modelleme uygulaması yapılmıştır. Bitki büyümesi modellenirken proportional, linear, quadratic, quadratic/zero, parabola, cubic, exponential, restrictedexponential, logistic, vonbertalanffy, gompertz, richards büyüme modelleri kullanılmıştır. Set-1'in bitkili sistemindeki yatay ve dikey reaktörleri için Cubic model uygun olurken, Set-2'nin bitkili sistemindeki yatay ve dikey reaktörlerinde sırasıyla Logistic, VonBertalanffy modellerinin uyumlu olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELEER: Hibrit yapay sulak alan, *Cyperus alternifolius*, Patates işleme endüstrisi atıksuyu

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE POTATO CHIPS PROCESSING WASTEWATER TREATMENT BY HYBRID CONSTRUCTED WETLAND SYSTEMS

MSC THESIS

AYŞENİL ŞENCAN

**ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: DOÇ. DR. ARDA YALÇUK)

BOLU, AUGUST 2017

This study investigates the use of a hybrid constructed wetland system in the treatment of potato processing industry wastewater. The potato processing wastewater used in the study was supplied by BOLPAT Inc., located in Bolu, at certain periods between 06/08/2015 and 24/06/2016, and for the hybrid system, the plant, *Cyperus alternifolius*, was used. The hybrid system was arranged in a manner whereby the vertical reactors followed the horizontal reactors. In the hybrid system, two groups were formed, a plant group and a control group, in order to determine the treatment effect. The study was carried out in two sets, with KOI, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, PO₄-P, pH, ORP, EC, AKM and turbidity analyses being performed on the input wastewater and the output samples of the reactors in both sets. Soil/silt mixture, pumice stones and pebbles were used as filling materials in the vertical reactors in Set-1, whereas only zeolite was used in the horizontal reactors. Unlike Set-1, in Set-2, the filling materials were modified in order to improve the treatment performance of the hybrid system. As part of this modification, zeolite, pumice stones and pebbles were used in the vertical reactors and only zeolite in the horizontal reactors. Results from the analyzes performed on Set-1 showed 87% COD, 56% NH₄-N and 57% PO₄-P remediation values in the hybrid system with plant, while results from the analysis on showed 84% COD, 53% NH₄-N and 52% PO₄-P remediation values in the hybrid system with no plant. Results from the analyzes performed on Set-2 showed 87 % COD, 83 % NH₄-N and 82 % PO₄-P remediation values in the hybrid system with plant, while results from the analysis on showed 77% COD 77 % NH₄-N and 73 % PO₄-P remediation values in the hybrid system with no plant. According to the final

results obtained at the end of the study, hybrid constructed wetland systems proved to be effective in removing ammonia and organic matter. Furthermore, it was found that in both sets the use of pumice stones, pebble stones and zeolite as filling material contributed to wastewater treatment in the constructed wetland systems. SEM imaging showed biofilm formations in both sets. In conducting MALDI TOF/ TOF MS analysis, the microorganisms in the biofilm structure and the role that they played in potato wastewater treatment were determined. The following growth modeling applications were carried out for the plants used in the study: proportional, linear, quadratic, quadratic/zero, parabola, cubic, exponential, restricted exponential, logistic, Von Bertalanffy, Gompertz and Richards. The cubic model was determined to be suitable for the horizontal and vertical reactors in the planted system of Set-1, while the logistic and Von Bertalanffy models were deemed suitable for the horizontal and vertical reactors, respectively, in the planted system of Set-2.

KEYWORDS: Hybrid constructed wetland, *Cyperus alternifolius*, Potato processing wastewater

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiv
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xv
TEŞEKKÜR	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1 Patates Yetiştiriciliği	5
2.2 Patates İşleme Atık Suyu ve Kaynakları	5
2.3 Ana Proses Adımları	6
2.4 Patates Üretim Çeşitleri	7
2.5 Patates İşleme Endüstrisi Atık Suyunun Karakteristiği.....	8
2.6 Patates İşleme Endüstrisi Atık Suyu Arıtım Yöntemleri ve Uygulanan Prosesler	9
2.6.1 Ön Arıtma (Ayırma)	12
2.6.2 İkincil Arıtma.....	12
2.6.3 Aktif Çamur Prosesleri	13
2.6.4 Anaerobik Arıtma Sistemleri	14
2.6.5 İleri Arıtma	16
2.7 Bitki ile Arıtım (Fitoremediasyon).....	17
2.7.1 Bitki ile arıtım Mekanizmaları.....	18
2.7.1.1 Bitkisel Özümleme (Fitoekstraksiyon)	19
2.7.1.2 Köklerde Süzme (Rizofiltrasyon)	19
2.7.1.3 Köklerde Sabitleme (Fitostabilizasyon).....	19
2.7.1.4 Köklerde Bozunum (Rizodegradasyon).....	20
2.7.1.5 Bitkisel Buharlaştırma (Fitovolatilizasyon)	20
2.7.1.6 Bitkisel Bozunum (Fitodegradasyon)	21
2.8 Yapay Sulak Alanlar	22
2.8.1 Yüzey Akışlı Sulak Alanlar	25
2.8.2 Yüzeyaltı Akışlı Sulak Alanlar	26
2.8.2.1 Yatay Yüzey altı Akışlı Sulak Alanlar.....	27
2.8.2.2 Dikey Yüzey altı Akışlı Sulak Alanlar	28
2.8.2.3 Hibrit Yapay Sulak Alanlar.....	29
2.9 Kirletici Parametrelerin Yapay Sulak Alanlarda Giderim Mekanizmaları 38	
2.9.1 Sulak Alanlarda Karbon Giderimi	39
2.9.2 Sulak Alanlarda AKM Giderimi.....	41
2.9.3 Sulak Alanlarda Azot Giderimi	41

2.9.4	Sulak Alanlarda Fosfor Giderimi.....	44
2.9.5	Sulak Alan Bitkilerinde Oksijen Transferi	47
2.10	Literatür Çalışmaları.....	47
3.	MATERYAL VE METOD	54
3.1	Ham Patates Atık Suyu.....	54
3.2	Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Yapay Sulakalan Sistemleri.....	58
3.2.1	Dikdörtgen Reaktörler	58
3.2.2	Dairesel Reaktörler	59
3.3	Deneysel Çalışmalarda Uygulanan Setler	60
3.3.1	Çalışmada kullanılan sistemlerin tanıtımı (SET 1/ SET 2).....	63
3.4	Sulakalan Sistemlerinde Kullanılan Bitkiler	66
3.4.1	Japon Şemsiyesi (<i>Cyperus alternifolius</i>)	66
3.5	Analizler	67
3.5.1	KOİ Analizi.....	68
3.5.2	Amonyum (NH ₄ -N) Analizi.....	68
3.5.3	Orto- Fosfat (PO ₄ -P) Analizi	69
3.5.4	Nitrit (NO ₂ -N) Analizi	69
3.5.5	Nitrat (NO ₃ -N) Analizi	69
3.5.6	Askıda Katı Madde (AKM) Analizi	69
3.5.7	Diğer Ölçümler	70
3.5.8	Bulanıklık (NTU) Analizi	70
3.5.9	SEM Analizi	70
3.5.10	MALDI TOF/TOF Analizi	71
3.5.11	İstatiksel Analiz	71
3.5.12	Model Çalışması	72
4.	ELDE EDİLEN SONUÇLAR VE TARTIŞMA	74
4.1	SET-1.....	74
4.1.1	Set-1’de elde edilen arıtım veriminin incelenmesi	74
4.1.1.1	KOİ giderimi	77
4.1.1.2	PO ₄ -P giderimi	80
4.1.1.3	AKM giderimi.....	83
4.1.1.4	Azot giderimi	86
4.1.1.4.1	NH ₄ -N giderimi.....	86
4.1.1.4.2	NO ₂ -N ve NO ₃ -N değişimleri	89
4.1.1.5	EC değişimi.....	94
4.1.1.6	Bulanıklık giderimi	96
4.1.1.7	ORP değişimi	98
4.1.1.8	Bitki gelişimi.....	100
4.1.1.9	Taramalı elektron mikroskopisi (SEM)	101
4.1.1.10	MALDI TOF/TOF MS Analizi.....	101
4.1.1.11	İstatistiksel değerlendirme	104
4.2	SET-2.....	107
4.2.1	Set-2’de elde edilen arıtım veriminin incelenmesi	107
4.2.1.1	KOİ giderimi	110
4.2.1.2	PO ₄ -P giderimi	112
4.2.1.3	AKM giderimi.....	114
4.2.1.4	Azot giderimi	117
4.2.1.4.1	NH ₄ -N giderimi.....	117
4.2.1.4.2	NO ₂ -N ve NO ₃ -N değişimleri	120

4.2.1.5	EC değişimi	124
4.2.1.6	Bulanıklık giderimi	125
4.2.1.7	ORP değişimi	127
4.2.1.8	Bitki gelişimi	129
4.2.1.9	Taramalı elektron mikroskopisi (SEM)	130
4.2.1.10	İstatiksel değerlendirme	130
5.	MODELLEME ÇALIşMASI	134
5.1	SET-1.....	135
5.1.1	Y1-D1 Reaktörleri	135
5.2	SET-2.....	139
5.2.1	Y3-D3 Reaktörleri	139
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	144
7.	KAYNAKLAR.....	148
8.	EKLER.....	164
	EK A	164
	EK B	165
	EK C	166
	EK D	167
	EK E	173
9.	ÖZGEÇMİş	187

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Patates Cipsi Üretimi Akış Şeması.....	8
Şekil 2.2: Patates İşleme Endüstrisi Atık sularının Genel Arıtım Şeması	11
Şekil 2.3: Fitoremediasyon İşlemlerinin Şematik Gösterimi	18
Şekil 2.4: Yüzey akışlı sistem kesiti (Duygulu, 2016)	25
Şekil 2.5: Yatay yüzey altı akışlı sistem kesiti (Duygulu, 2016).....	26
Şekil 2.6: Yatay yüzey altı akışlı sistem görünümü	27
Şekil 2.7: Yatay yüzey altı akışlı sistem kesiti (Duygulu, 2016).....	28
Şekil 2.8: Düşey yüzey altı akışlı sistem kesiti (Duygulu, 2016).....	29
Şekil 2.9: Hibrit Yapay Sulak Alan Sistemleri Örnek Kombinasyonları	32
Şekil 2.10: Hibrit Yapay Sulak Alan Sistemleri Örnek Kombinasyonları	33
Şekil 2.11: Hibrit Yapay Sulak Alan Sistemleri ile Anaerobik Reaktör Kullanımı Örnek Kombinasyonu	35
Şekil 2.12: Hibrit Yapay Sulak Alan Sistemleri ile Mikrobiyal Yakıt Hücresi Örnek Kombinasyonları	37
Şekil 2.13: Yapay Sulak Alanlarda Karbon Giderim Mekanizmaları	40
Şekil 2.14: Yapay Sulak Alanlarda Azot Giderim Mekanizmaları	43
Şekil 2.15: Yapay Sulak Alanlarda Fosfor Giderim Mekanizmaları.....	46
Şekil 3.1: BOLPAT A.Ş Parmak patates üretimi proses akış şeması.....	56
Şekil 3.2: Dikdörtgen Reaktörün Görünümü.....	58
Şekil 3.3: Dairesel Reaktörün Görünümü.....	59
Şekil 3.4: Çalışmada kullanılan zamanlayıcı.....	60
Şekil 3.5: Set-1 deki yapay sulak alan şeması	64
Şekil 3.6: Set-2 deki yapay sulak alan şeması	64
Şekil 3.7: Set-1 deki yapay sulak alan düzeneği.....	65
Şekil 3.8: Set-2 deki yapay sulak alan düzeneği.....	65
Şekil 3.9: <i>Cyperus alternifolius</i> (Japon Şemsiyesi).....	66
Şekil 4.1: KOİ değişimi	78
Şekil 4.2: HS-1- HS-2 sistemlerinde KOİ giderimi.....	79
Şekil 4.3: PO ₄ -P değişimi	81
Şekil 4.4: HS-1- HS-2 sistemlerinde PO ₄ -P giderimi.....	83
Şekil 4.5: AKM değişimi	84
Şekil 4.6: HS-1 – HS-2 sistemlerinde AKM giderimi	85
Şekil 4.7: NH ₄ -N değişimi.....	87
Şekil 4.8: HS-1 – HS-2 sistemlerinde NH ₄ -N giderimi.....	88
Şekil 4.9: pH değişimi	89
Şekil 4.10: NO ₂ -N değişimi.....	91
Şekil 4.11: NO ₃ -N değişimi.....	91
Şekil 4.12: HS-1 ve HS-2 reaktörlerinin NH ₄ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N değişimi.....	93
Şekil 4.13: EC değişimi	95
Şekil 4.14: HS-1 – HS-2 sistemlerinde EC değişimi.....	95
Şekil 4.15: Bulanıklık değişimi	97
Şekil 4.16: HS-1 – HS-2 sistemlerinde bulanıklık giderimi	97
Şekil 4.17: ORP değişimi	99
Şekil 4.18: Set-1’de bitkilerin haftalara göre boy ortalaması	100
Şekil 4.19: HS-1 ve HS-2 sisteminin SEM görüntüleri	103

Şekil 4.20: KOİ değişimi	111
Şekil 4.21: HS-3 – HS-4 sistemlerinde KOİ giderimi	111
Şekil 4.22: PO ₄ -P değişimi	113
Şekil 4.23: HS-3 – HS-4 sistemlerinde PO ₄ -P giderimi	114
Şekil 4.24: AKM değişimi	115
Şekil 4.25: HS-3 – HS-4 sistemlerinde AKM giderimi	116
Şekil 4.26: NH ₄ -N değişimi	117
Şekil 4.27: HS-3 – HS-4 sistemlerinde NH ₄ -N giderimi	118
Şekil 4.28: pH değişimi	119
Şekil 4.29: NO ₂ -N değişimi	121
Şekil 4.30: NO ₃ -N değişimi	121
Şekil 4.31: HS-3 ve HS-4 reaktörlerinin NH ₄ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N değişimi	123
Şekil 4.32: EC değişimi	125
Şekil 4.33: HS-3 – HS-4 sistemlerinde EC değişimi	125
Şekil 4.34: Bulanıklık değişimi	127
Şekil 4.35: HS-3 - HS-4 sistemlerinde bulanıklık giderimi	127
Şekil 4.36: ORP değişimi	128
Şekil 4.37: Set-2’de bitkilerin haftalara göre boy ortalaması	129
Şekil 4.38: HS-3 ve HS- 4 sistemlerinin SEM görüntüleri	133
Şekil 5.1: D1 reaktörüne ilişkin tahmin değerlerine ait grafikler	138
Şekil 5.2: Y1 reaktörüne ilişkin tahmin değerlerine ait grafikler	139
Şekil 5.3: Y3 reaktörüne ilişkin tahmin değerlerine ait grafikler	142
Şekil 5.4: D3 reaktörüne ilişkin tahmin değerlerine ait grafikler	143

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Türkiye’de Patates Üretimi	5
Çizelge 2.2: Patates İşleme Endüstrisi Atık sularının Arıtımının Bölümleri. 10	
Çizelge 2.3: Bazı İşletmelerde Gözlenen Sorunlar ve Çözümleri	14
Çizelge 2.4: Yapay sulak alanlarda kullanılan köklü ve yüzücü bitkiler	24
Çizelge 2.5: Sulak alanlarda gerçekleşen giderim mekanizmaları	38
Çizelge 3.1: Çalışma süresince BOLPAT A.Ş. ‘den alınan ham atık suların özellikleri.....	57
Çizelge 3.2: Deneysel süreçte kurulan yapay sulak alan düzenekleri	60
Çizelge 3.3: SET-1 ve SET-2 ‘de Kullanılan Dolgu Malzemeleri ve Yatak İçindeki Derinliği	61
Çizelge 3.4: SET-1 ve SET-2 Reaktörlerin Hidrolik Bilgileri	62
Çizelge 3.5: Analiz Yöntemleri	68
Çizelge 3.6: Model çalışmasında kullanılan modellerin denklemleri	73
Çizelge 4.1: Set-1 ‘deki İşletme Parametreleri	75
Çizelge 4.2: Set-1 ‘deki Giderim Verimleri	76
Çizelge 4.3: Gıda Sanayii (Sebze, Meyva Yıkama ve İşleme Tesisleri)	80
Çizelge 4.4: Set-1 Numunelerinde Tespit Edilen Bakteriler	102
Çizelge 4.5: Set-1 ANOVA hesapları.....	104
Çizelge 4.6: Set-1 TUKEY sonuçları	105
Çizelge 4.7: Set-1 t-test hesapları	106
Çizelge 4.8: Set 2 deki işletme parametreleri	108
Çizelge 4.9: Set-2 ‘deki Giderim Verimleri	109
Çizelge 4.10: Set-2 ANOVA hesapları.....	130
Çizelge 4.11: Set-2 TUKEY HSD sonuçları	131
Çizelge 4.12: Set-2 t-test hesapları	132
Çizelge 5.1: Y1 reaktörüne ilişkin modellere ait performans ölçütleri	136
Çizelge 5.2: D1 reaktörüne ilişkin modellere ait performans ölçütleri	136
Çizelge 5.3: Y1 reaktörüne ilişkin modellere ait katsayılar	137
Çizelge 5.4: D1 reaktörüne ilişkin modellere ait katsayılar	137
Çizelge 5.5: Y3 reaktörüne ilişkin modellere ait performans ölçütleri	140
Çizelge 5.6: D3 reaktörüne ilişkin modellere ait performans ölçütleri	140
Çizelge 5.7: Y3 reaktörüne ilişkin modellere ait katsayılar	141
Çizelge 5.8: D3 reaktörüne ilişkin modellere ait katsayılar	141

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

BOİ	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
D1	: Bitkili dikey akış reaktörü
D2	: Kontrol dikey akış reaktörü
D3	: Bitkili dikey akış reaktörü
D4	: Kontrol dikey akış reaktörü
G	: Giriş reaktörü
HRT	: Hidrolik bekleme süresi
HLR	: Hidrolik yükleme hızı
HS-1	: Hibrit sistem-1
HS-2	: Hibrit sistem-2
HS-3	: Hibrit sistem-3
HS-4	: Hibrit sistem-4
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
MALDI TOF	: Matriks ile desteklenmiş lazer desorpsiyon/iyonizasyon uçuş zamanı kütle spektrometrisi (Matrix- Assisted Laser Desorpsiton/ Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry)
OLR	: Organik yükleme hızı
p	: İstatistiksel parametre
SEM	: Taramalı electron mikroskobu
TN	: Toplam Azot
Y1	: Bitkili yatay akış reaktörü
Y2	: Kontrol yatay akış reaktörü
Y3	: Bitkili yatay akış reaktörü
Y4	: Kontrol yatay akış reaktörü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında değerli bilgilerini, emeklerini, sabrını, deneyimlerini ve maddi manevi olarak desteğini esirgemeyen, her zaman ilgi ve anlayışını hissettiğim danışmanım Sayın Doç. Dr. Arda YALÇUK'a, her türlü bilgi, deneyim ve emeklerini çalışmalarım boyunca hiç bir zaman tereddüt etmeden benimle paylaşan ve yalnız bırakmayan Sayın Arş. Gör. Gamze DOĞDU OKÇU'ya, çalışmamda kullandığım atık suyun teminini sağladıkları için BOLPAT A.Ş.'ye, değerli bilgi ve emekleri ile tez çalışmama katkıda bulunan Prof. Dr. Duran KARAKAŞ ve Yrd. Doç. Dr. Yakup ERMURAT'a, çalışmamın gerçekleşmesine mali olarak sağladıklarından ve tez çalışmamı desteklediklerinden dolayı Üniversitemiz BAP birimine, çalışmalarımı yürütebilmem için gerekli laboratuvar ortamını sağladıkları nedeniyle Çevre Mühendisliği Bölümüne, tez çalışmam sırasında yardımlarını, desteklerini esirgemeyen laboratuvar arkadaşlarıma ve okulumuzda görev yapan uzman arkadaşlara, bugüne kadar bana hayatımın her aşamasında inanan, yalnız bırakmayan ve maddi manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen annem ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Günümüz hayat temposunda yemek hazırlama ve tüketimi için ayrılan zaman oldukça kısalmıştır. Buna paralel olarak tüketiciye zaman kazandıran ve kolaylık sağlayan hızlı yemek sektörü de gelişmeye başlamıştır. Bu nedenle patates, insanlar tarafından doğrudan mutfaklarda tüketildiği gibi, işlenerek değişik şekillerde de (cips, parmak patates, donrulmuş kızartmalık patates vs.) kullanılmaktadır. Gıda endüstrilerinin neredeyse hepsinde üretim prosesleri; hammaddelerin ayıklanması, işlenemez bölümlerin ayrılması, gıda maddelerinin uygun biçimde hazırlanması ve ambalajlama gibi çeşitli bölümlerden oluşmaktadır. Üretimin bu biçimde kademeli olduğundan tesisten çıkan atığın yapısı da farklı olmaktadır. Bu atıklar, yıkama ya da çalkalama suyundan, hammaddenin bozulmasından ve kullanılmaz taraflarından, ekipmanların ya da zeminin yıkanma suyundan ve taşıma amaçlı kullanılan sudan oluşabilmektedir (El-Gohary vd., 1999). Patates işleme endüstrilerinde de üretim benzer biçimde olduğundan, tesis birimlerinde oluşan atığın özellikleri, cinsi ve miktarı farklılık göstermektedir. Patates işleme prosesinin aşamaları; hammaddenin girişi-depolanması, içerisindeki taşların uzaklaştırılması, patatesin kabuğundan ayrılması, kesilmesi, doğranması, yıkanması, tuzlanıp kızartılması ve defolu bölgelerinin giderimi ve ambalajlamadır. Bahsedilen bu proses işlemleri sonucunda büyük miktarlarda atık su meydana gelmektedir (Öztürk vd., 2003).

Avrupa Birliği'ne uyum gösterme sürecinde daha iyi ürün elde etmek amacı ile çevreye olan duyarlılık artmıştır. Bunun sonucunda su kaynaklarındaki kalitenin iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar her geçen gün gelişmektedir. Su kalitesi limitlerini sağlayabilmek için, patates işleme endüstrisi atık sularının giderilmesinde etkin arıtımı sağlamak amacıyla patates işleme endüstrisinin arıtım metotlarını geliştirilmiştir. Patates işleme endüstrisi atık suları; katı madde, protein ve nişasta içerikleri fazla olduğundan, kirlilik yükü yüksek atık sular olarak nitelendirilmektedir. Bu tür sularda katı parçacık içerikleri yüksek olması yüzünden öncelikle birincil arıtma uygulanmaktadır. Birincil arıtmada ızgara, dengeleme tankı ve ön çöktürme ünitelerinin biri veya birkaçı uygulanabilir. Daha sonra biyolojik olarak ayrışabilir organik madde içeriği fazla olan bu atık sulara biyolojik arıtma uygulanmaktadır (Dalzell, 1994). Bu durumda enerji ihtiyaçları daha az olan havasız

biyolojik arıtma yöntemleri değerlendirmektedir. Patates işleme endüstrilerinde genellikle HÇYR (Havasız Çamur Yataklı Reaktör) ve HAYR (Havasız Akışkan Yataklı Reaktör) havasız arıtma sistemleri kullanılmaktadır (El-Gohary vd.,1999).

Patates işleme endüstrisi atık sularının arıtılmasında kullanılan diğer bir biyolojik arıtma yöntemi aerobik sistemlerdir. Aerobik arıtmada biyofilm sistemleri veya tam karışımli sistemler uygulanabilmektedir. biyofilm sistemlerde temas süresinin uzun olması ayrışmayı arttıracığından reaktör hacminin büyük olması gerekmektedir. Ancak bu durumda arazi gereksinimi artmakta ve maliyet yükselmektedir. Ekonomik faydalar göz önünde tutulduğunda tam karışımli sistemler daha sık tercih edilmektedir. Patates işleme endüstrisi atık sularında organik madde, azot ve fosfor içeriği fazladır. Atık su içerisindeki azot ve fosfor giderimi için Bardenpho, A2/0, UCT, VIP, Pho-Strip prosesleri, Ardışık Kesikli Reaktörler (AKR) gibi değişik sistemler kullanılmaktadır. Bu arıtma sistemleri ile patates işleme tesisinden çıkan atık sularda KOİ, azot ve fosfor giderimi kimyasal madde kullanılmadan gerçekleştirilebilmektedir. Diğer bir yöntem ise doğal arıtma sistemlerinde arıtmadır. Bu tür sistemler ekonomik olduklarından yüksek kirlilik içeren atık suların arıtımında kullanımı yaygınlaşmaktadır. Patates işleme endüstrisi atık suyu ile yapılan çalışmalar sonucunda toplam azot içeriğinde azalma sağlanması bu uygulamaların önemli faydalarındandır (Öztürk vd., 2003).

Yapay sulak alanlar düşük enerji tüketimi, yüksek verimi, işletim maliyetinin düşük olması ve estetik açıdan güzel bir görüntü sağlıyor olması nedeniyle atık su arıtımında sıklıkla tercih edilen yöntemler arasındadır. Bitki ile arıtım (Phytoremediation) yöntemi bütün dünyada yaygın olarak kullanılan teknik bir yöntem olup, bitki; dolgu malzemesi ve mikroorganizmalar arasında, fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkileşimin sonucu olarak arıtım yapabilmektedir. Yapay sulak alan sistemleri, temeli doğal bileşenlere dayanan (bitki, mikrobiyal kültür) özellikle evsel atık su, sızıntı suyu, tarım ve endüstriyel atık sulardan organik madde, besin ve askıda katı madde giderimi yapan sistemlerdir (Vymazal vd., 2006). Yapay sulak alanlar genel olarak; yüzey akışlı, yüzey altı akışlı ve hibrit sistemler olarak incelenir. Son yıllarda teknolojinin gelişmesi ve arıtım verimini daha yüksek oranlara çıkartmak amacı ile hibrit (birleşik) yapay sulak alan sistemleri popüler hale gelişmiştir.

Bu sistemler, yüzey akışlı ve yüzeyaltı akışlı (yatay ve düşey) sistemlerin farklı kombinasyonlarının birleştirilmesi ile oluşturulan sistemlerdir. Ayrıca arıtım

verimini artırmak amacıyla hibrit yapay sulak alan sistemlerinin başına ya da sonunda aerobik ya da anaerobik reaktörlerde konulabileceği gibi bir de son yıllarda teknolojisi gelişen atıksuların arıtılırken aynı zamanda elektrik üretmesini sağlayacak mikrobiyal yakıt hücreleri de hibrit sistemlere ilave edilmiştir.

Hibrit yapay sulak alan sistemleri işletmede daha fazla esneklik, yüksek performans ve yüksek deşarj kalitesi sağlamaktadır (Cooper vd., 1999(a); Radoux vd., 2000; G'omez Cerezo vd., 2000; Rousseau vd., 2004).

Sulak alanlarda yetişen ve su ile iç içe geçmiş dolgu malzemelerinde büyüeyebilen bazı bitki türleri vardır. Bunlardan başlıcaları *Typha angustifolia*, *Typha latifolia*, *Cannaceae*, *Phragmites australis*, *Lemna minor*, *Eichharnia crassipes*, *Cyperus alternifolius* vb. sayılabilir. Bitkiler dışarıdan kökleri vasıtasıyla aldıkları oksijeni taşıyarak aerobik bir ortam oluşmasını sağlarlar.

Bu çalışmanın amacı, hibrit yapay sulak alan sistemleri kullanılarak Bolu ili, BOLPAT A.Ş. 'den alınan patates işleme ham atık suyun arıtma veriminin incelenmesidir. Araştırma kapsamında kurulan hibrit sistemde yatay ve dikey yüzeyaltı akışlı reaktörler kullanılmıştır. Hibrit sistemin işleyiş yönü yatay reaktörden dikey reaktöre olacak biçimde tasarlanmıştır. Çalışmanın her bir setinde bitkili ve bitkisiz (kontrol) grubu yer almaktadır. Set-1'in dikey akışlı reaktörlerinde toprak/silt, çakıl taşı ve pomza taşı kullanılırken, yatay reaktörlerde ekonomik ve özellikle amonyak için iyi bir adsorbent olan zeolit (klinoptilolit) tek katman olarak kullanılmıştır. Set-2'de ise aynı dolgu malzemeleri kullanılmış, set-1'den tek fark olarak dikey akışlı reaktörlerde toprak/silt karışımının yerine zeolit tercih edilmiştir. Dolgu malzemelerinin kullanım amacı mikroorganizmalar için etkili bir biofilm yüzeyi oluşturmaktır. Her iki sette de çalışma boyunca kurulan hibrit sistemlerin yatay ve dikey bitkili reaktörlerine *Cyperus alternifolius* bitkisi ekilmiştir. Laboratuvar ölçekli yapılan çalışmada amonyum, fosfat, nitrit, nitrat, KOİ, konsantrasyonları periyodik olarak alınan numunelerde incelenmiş olup, bunun yanı sıra setlerdeki pH, ORP, EC, AKM ve bulanıklılık analizleri de yapılmıştır. SEM analizleri ile biofilm oluşumu ve bozunma ürünlerinin varlığı desteklenmiştir.

Set-1'den alınan biofilm örneklerinin yapısı MALDİTOF/TOF MS analizi ile incelenmiştir. Yatay reaktörlerden alınan örneklerde *Pseudomonas alcaligenes*, *Streptomyces badius*, *Staphylococcus hominis* ve *Bacillus weihenstephanensis* bakterilerine rastlanırken, dikey reaktörlerde *Lactobacillus ingluviei*, *Streptomyces phaeochromogenes*, *Streptococcus pneumoniae*, *Bacillus marisflavi*, *Sodalis glossinidius*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptomyces lavendulae*, *Arcanobacterium bernardiae* ve *Filifactorvillosus* bakterileri bulunmuştur. Ayrıca seyreltik giriş atık suyundan alınan örnekte *Pseudomonas stutzeri* bakterisi görülmüştür.

Çalışmada kullanılan *Cyperus alternifolius* bitkisinin büyümesine ilişkin modelleme uygulaması yapılmıştır. Bitki büyümesi modellenirken proportional, linear, quadratic, quadratic/zero, parabola, cubic, exponential, restrictedexponential, logistic, vonbertalanffy, gompertz ve richards büyüme modelleri kullanılmıştır. Hibrit sistemlerin bitkili reaktörlerine yapılan bu modellerde Set-1'in yatay ve dikey reaktörleri için Cubic model uygun olurken, Set-2'nin yatay ve dikey reaktörlerinde sırasıyla Logistic, VonBertalanffy modellerinin uyumlu olduğu görülmüştür.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Patates Yetiştiriciliği

Patates, Ülkemizin her bölgesinde yetişebilen, iç ve dış piyasada ilgi gören, besin değeri açısından yüksek ve ekonomik bir hammadde olarak endüstride kullanılan bir bitkidir. Türkiye, 4.760000 ton üretim ile dünya patates üretiminde üst sıralarda yer almaktadır. Niğde, Nevşehir, Bolu, Aksaray, Konya, Afyonkarahisar, İzmir, Kayseri ve Sivas başlıca üretimin yoğun olarak yapıldığı iller olarak sıralanabilir. Çizelge 2.1’de Türkiye’de ki son 5 yılın patates üretimi görülmektedir.

Çizelge 2.1. Türkiye’de Patates Üretimi (TÜİK, 2015)

Yıllar	Ekilen alan (Dekar)	Hasat edilen alan (Dekar)	Üretim (ton)
2011	1 429 849	1 415 136	4 613 071
2012	1 720 867	1 704 039	4 795 122
2013	1 250 297	1 249 436	3 948 000
2014	1 297 032	1 283 919	4 166 000
2015	1 538 787	1 538 022	4 760 000

2.2 Patates İşleme Atık Suyu ve Kaynakları

Patates işleme endüstrisi atık sularının doğru bir şekilde arıtılması çevreye olan zararı minimize etmek için gereklidir. Buna bağlı olarak su kaynaklarının iyileştirilmesi yönünde çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır ve patates işleme atık suyundan çöktürülebilir ve çözünmüş katıların etkili bir yöntem ile uzaklaştırılmasına yönelik uygulamalar gelişmektedir (Hung vd., 2006). Patatesler işlenirken yıkama, soyma, şekil verme ve ek proses işlemleri gibi çeşitli prosedürlerden geçerler. Bu prosedürler sonucu yüksek ölçüde atık su ve bununla birlikte organik atık meydana gelir. Patates işleme esnasında oluşan atık sularının arıtımı yapılırken toksik maddelerin çevreye verdikleri olumsuz etkileri en az miktara çekebilecek prosesler seçilmelidir (Şentürk, 2010). Patates işleme endüstrisinde kaliteli patatesler çıkacak son ürünü ve oluşabilecek atık miktarını

direkt olarak etkiler. İşletmelerde genel olarak kabuğu ince, şeker oranı düşük, çok miktarda katı içermeyen, şekil ve boyut itibarıyla düzgün patatesler tercih edilir (Topaloğlu, 2012). Patates yaklaşık olarak % 81 su, % 18 nişasta ve % 1 selülozdan oluşmaktadır. %81'lik su bölümünde protein, karbonhidrat gibi çözülmüş organik maddeler bulunur (Vegt ve Vereijken, 1992; Şentürk, 2010). İşletmenin türü üretilen ürünün üretilen ürüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Örneğin patates cipsi, patates garnitürü, patates pulu, patates püresi, patates nişastası, kızartmalık patates ve soyulmuş patates gibi ürünler için işletmedeki sıra değişmektedir. Bütün patates işleme üretim yerlerinde ana prosesler sırası ile depolama, yıkama, soyma, kırma, dilimleme, beyazlatma, pişirme, kurutma ve paketlenme olarak gerçekleşmektedir (Şentürk, 2010).

2.3 Ana Proses Adımları

Depolama: Üretilen patatesleri uygun ortamlarda korumak, daha kaliteli ürün elde edebilmek ve üretim sezonu boyunca patates yumruları tedarik etmek amacıyla depolama yapılır. Depolama koşulları uygun olmayan yerlerde patatesin kalitesi bozulabilir. Patateslerin depolamasında yaşanan en büyük problemler, filiz büyümesi, çürüme ve şeker birikiminin azalmasıdır. Çiğ patateslerin işlenmeden önce tutulup depolanması, yüksek kaliteli patateslerin korunmasında ve işleme sırasında oluşan kayıp ve atık yüklerinin azaltılmasında büyük rol oynamaktadır (Hung vd., 2006).

Yıkama: Patatesler fabrikalara getirildikten sonra işlenmeye başlanmadan önce üzerindeki kum, toprak ve kiri tamamen temizleninceye kadar yıkanılır. Patatesteki kir oranına bağlı olarak atık su 45-181 kg katı/ton patates katı bünyesinde taşımaktadır. Organik olarak ayrılabilen maddeler atık su içerisinde çözülmüş halde veya ince parçacıklar halinde dağılmış olarak bulunmaktadır (Topaloğlu, 2012).

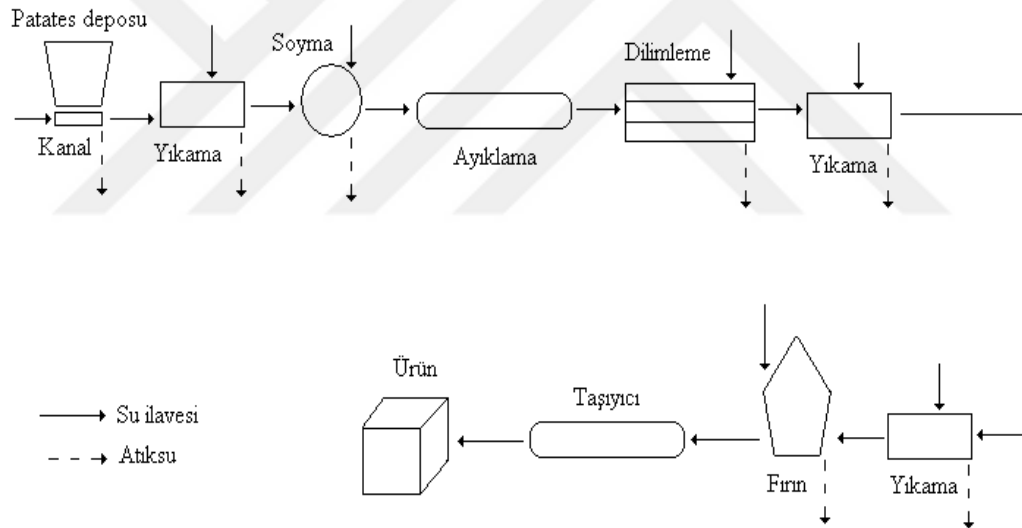
Soyma: Patateslerin soyulması, işlendikten sonra ortaya çıkan atıktaki organik yükün oluşmasına katkıda bulunur. Patatesler soyulurken alkali soyma, zımparalama ve buhar yardımıyla soyma olmak üzere üç çeşit yöntem uygulanmaktadır. Alkali soyma metodu ise günümüzde en çok kullanılan yöntemdir.

Termal ve kimyasal şoklamanın bir arada kullanıldığı bu yöntemde kabuk soyulur ve bozuk kısımlar çıkartılır. Bu işlem sırasında oluşan atık suyun pH'ı 11-12 civarında olduğundan biyolojik olarak arıtımı oldukça zordur. İçerisindeki organik madde içeriği diğer yöntemlere göre daha yoğundur ve katılar kolloid halinde yer almaktadır (Şentürk, 2010). Zımparalama metodu ile soymada patatesin yüzeyinde % 25-30 gibi yüksek oranda kayıplar söz konusu olabilir. Bu nedenle en az tercih edilen bir yöntemdir. Buharlı soyma yönteminde ise, yüzey kaybı olmadan bütün patates yüzeyi rahatlıkla işlenebilir (Hung vd., 2006).

2.4 Patates Üretim Çeşitleri

Patates işleme endüstrileri üretilen ürünün özelliğine göre çeşitli prosesleri içermektedirler. Genellikle işletmelerde dondurulmuş parmak patates, kızarmış patates, patates nişastası, patates unu, patates granülleri ve patates cipsi yaygın olarak üretilmektedir. Dondurulmuş patates ürünleri için şeker oranı düşük ve iri yapılı olan patatesler tercih edilmektedir. Yıkamış olan patatesler alkali ya da buhar yoluyla soyma yöntemleri ile kabukların ayrılırlar. Patatesin kalitesini soyma işlemi %15-40 arasında etkilemektedir. Patatesler kesilip ayıklandıktan sonra sıcaklık nedeniyle suyu beyazlatırlar. Patatesler kızartma prosesinde kızartıldıktan sonra açığa çıkan serbest yağ çalkalama ve sıcak hava buharı ünitelerinde uzaklaştırılır (Guttormsen ve Carlson, 1969; Şentürk, 2010). Patatesler çeşitli büyüklükte parçalara ayrılırlar. Bu parçalar kesme ve yıkama proseslerine gönderilir. Daha sonra buhar veya su yardımıyla 90-100 °C'ye kadar ağartma işlemine tabi tutulurlar. Bu işlemden sonra patatesler susuzlaştırma ünitesine alınır ve üzerlerine oluşan ince jelatin kıvamındaki nişasta tabakası özenli bir biçimde geliştirilen metotla alınır. Patatesler kurutma prosesinden sonra boyutlarına göre sınıflandırılırlar bu sınıflandırma da hacimsel benzerlik dikkate alınır. Patates granülleri, nem oranı % 6 – 7 civarında olan ve suyu tam olarak alınmış patatesler olarak tanımlanır. Yıkama, soyma, kesme proseslerinden sonra patatesler atmosfer basıncında 30-40 dakika buhar eşliğinde kaynatılırlar. Bu işlemden sonra patatesler karıştırılarak nem oranı %12-13 civarına gelinceye kadar kurutma işlemine tabi tutulurlar (Talbert ve Smith, 1967; Guttormsen ve Carlson, 1969; Topaloğlu, 2012). Patatesten elde edilen bir diğer ürünler arasında nişasta ve un yer alır. Patatesler

öğütücü ya da parçalayıcılarda öğütülerek harç haline getirilirler. Bu harçtan nişasta ayrılarak kurutulur. Kesme işleminden sonra patatesler kurutulur ve öğütücü bölümüne gönderilir. Öğütücüde patates parçaları ve oluşan un ayrılarak patates unu elde edilir (Guttormsen ve Carlson, 1969; Topaloğlu, 2012). Patates günlük yaşantımızda sıkça kullandığımız temel besinlerimizden biri haline geldiği için kullanım alanı da bir o kadar geniştir. Ulaşım ve pişirme kolaylığı açısından günümüzde patatesler konserveler halinde ya da soyulmuş biçimde de kullanılır. Patatesin çok çeşitli işleme yolları olduğundan işletmelerde ortaya çıkan atık suyun miktarı ve kalitesi üretilen ürüne göre farklılık göstermektedir. Patates cipsi yapımında ise, patatesler öncelikle uygun biçimde kesilir ve soğuk su ile yıkanır. Yıkanan patatesler durulanır, kurutulur ve kızartılır. Patates cipsi için genellikle beyaz kabuklu ve şeker oranı düşük patatesler kullanılır. Patates cipsi üretiminin akış şeması Şekil 2.1’de verilmiştir (Guttormsen ve Carlson, 1969; Şentürk, 2010).



Şekil 2.1. Patates Cipsi Üretimi Akış Şeması (Hung et al., 2006).

2.5 Patates İşleme Endüstrisi Atık Suyunun Karakteristiği

Patates işleme endüstrisinde açığa çıkan atık suların protein ve nişasta gibi maddeleri fazla miktarda bulundurduğundan ve bununla birlikte yüksek oranda KOİ, AKM ve TKN’e içerdiklerinden dolayı bu atıksular çevreye olumsuz anlamda tehdit oluşturmaktadır (Kadlec, 1997; Abeling ve Seyfried, 1993; Hadjivassilis vd., 1997). Patates işleme atık suları yaklaşık olarak 10.000 kg/L KOİ, 9700 mg/L AKM

ve 9500 mg/L UAKM içermektedir (Hung, 1983). Atık suyun bu değerleri patates işleme prosesindeki diğer yöntemlerle farklılık gösterebilirler. Birçok farklı işlemden geçerek üretilen atık suların karakteristiğini ve miktarını genelleştirmek uygulanan yöntemlerin farklı olmasından dolayı oldukça zordur. Literatür çalışmaları bu konuda patatesin soyulması sırasındaki kayıplar, atıkların genel akışı ve su kullanımının çeşitli olmasından kaynaklandığını belirtmektedir (Hung vd., 2006). Patates işleme prosesleri pişirme, ağartma, buhar yardımıyla soyma ve kostik gibi sıcak işlemlerden geçtiğinde yapısında jelleşmiş nişasta ve protein bulunduran bir atık su meydana gelmektedir. Elde edilen bu suda sıcaklığa maruz kalmış bir bileşene rastlanmadığı belirtilmiştir (Pailthorp vd., 1987). Patates işleme endüstrisinde oluşan atık suların kirlilik yükünü en aza indirmeye yönelik yöntemler ve oluşan ürünleri geri kazanmak için çalışmalar sağlanabilir. Bu atık sular uygun arıtım yöntemleri ile arıtıldığı takdirde yönetmeliklere uygun standartların olabilmesi mümkündür (Şentürk, 2010).

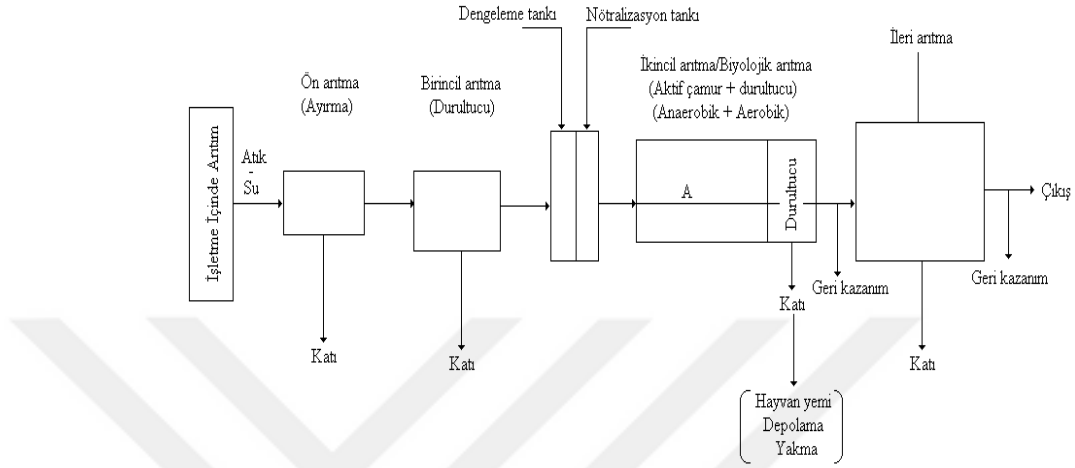
2.6 Patates İşleme Endüstrisi Atık Suyu Arıtım Yöntemleri ve Uygulanan Prosesler

Gıda endüstrisi atık sularından sebze ve meyve atık sularında pektin, vitamin, karbonhidrat, nişasta gibi bileşikler bulunmaktadır. Bu tip atık sularda organik maddenin %75'i çözünmüş olduğundan fiziksel ya da mekanik arıtma yöntemleri yerine biyolojik veya kimyasal oksidasyon kullanılmaktadır (Loehr, 1974; Bertola et al., 1999). Patates işleme endüstrisinde oluşan atık suları arıtmak için 1980 'lere kadar birincil arıtım kullanılmıştır. İkincil arıtım ve diğer sistemler zamanla arıtmada kullanılmaya başlanmıştır. Patates işleme endüstrilerinin ulusal deşarj sınır değerleri ikincil arıtmadan sonra belirlenmiştir fakat ikincil arıtım uygulandığında atık su karakterizasyonunda istenilen sınır değerlerin altına düşülemediği. Bu nedenle ikincil arıtmadan sonra ileri arıtma yapılması ihtiyaç olarak belirlenmiştir. EPA, patates işleme endüstrisi atık sularının sınır değerlerini bu işletmelerin faaliyet gösterdiği bütün ülkelerde geçerli olacak biçimde belirlenmesini amaçlamaktadır (USEPA, 1973; Şentürk, 2010).

Çizelge 2.2. Patates İşleme Endüstrisi Atık sularının Arıtımının Bölümleri (Hung vd., 2006).

Arıtma Ünitesi	İşletme, proses ve arıtma	Açıklama
Fabrika içi	Koruma ve tekrar su kullanımı Proses düzeltme Proses kontrol Yeni ürünler	Atık yükü azaltımı
Ön Arıtma	Eleme (mesh büyüklüğü 20 – 40)	% 10 – 25 BOİ ₅ giderimi
Birincil Arıtım	Çöktürme Yüzdürme	% 30 – 60 BOİ ₅ giderimi % 20 – 60 KOİ giderimi
Dengeleme	Dengeleme/buffer Tankı	Sabit debi ve konsantrasyon
Nötralizasyon	Şartlandırıcı tank	pH ve Sıcaklık ayarlaması
İkincil Arıtma		
1. Aerobik Arıtma	Doğal arıtma Aktif Çamur Biyodiskler Damlatmalı filtreler	% 80 – 90 BOİ ₅ giderimi % 70 – 80 KOİ giderimi
2. Anaerobik Arıtma	UASB EGSB Anaerobik kontak reaktör Anaerobik filtreler Akışkan yataklı reaktörler	% 80 – 90 BOİ ₅ giderimi % 70 – 80 KOİ giderimi
İleri Arıtma	Mikroeleme Granül Filtrasyon Kimyasal Koagülasyon ve çöktürme Nitrifikasyon - Denitrifikasyon Hava sıyırma ve iyon değiştirme Membran teknolojisi	% 90 – 95 BOİ ₅ giderimi % 90 – 95 KOİ giderimi Bazen de %95'ten daha fazla

Patates işleme endüstrisi atık sularının arıtımının bölümleri Çizelge 2.2’de verilmiştir. Her geçen gün gelişen toplumun ihtiyaçlarına bağlı olarak işletmelerde arıtım sistemlerinde çeşitli değişiklikler olabilmektedir. Şekil 2.2’de patates işleme endüstrisi için oluşturulmuş temsili bir atık su arıtım sistemi verilmiştir.



Şekil 2.2. Patates İşleme Endüstrisi Atık sularının Genel Arıtım Şeması (Hung vd., 2006)

Atık suların yapısındaki atıkların azaltılması için katı partiküllerin ve yıkama suları ile prosesin işleyişi sırasında kullanılan suyun azaltılması gerekir. Atıkların azaltılması için taban döküntüsü azaltmak, tabanda oluşan atıkları ayrı bir haznede toplamak ve patates atıklarını atık suyun içerisinde uzaklaştırmak gibi yöntemler izlenebilir (Pailthorp vd., 1987). Proseste geri devir kullanılarak kullanılan suyun yeniden kullanımı da atık azaltımını sağlayabilir ve böylece azalan atık konsantrasyonu sayesinde birincil çökeltim tankının etkinliği artmış olur. Sistemin son basamağında klorlanmış su bakteriyel kirliliğin önüne geçebilmek amacıyla uygulanabilir. Diğer atık azaltma yöntemleri ise patateslerin tesise geliş yönteminin düzenlenmesi, zemin temizliği ve ekipmanların düzenli olarak bakımlarının yapılması olarak belirtilmiştir (Hung vd., 2006).

2.6.1 Ön Arıtma (Ayırma)

Atık su arıtma tesislerinde ilk bölüm eleklerdir. Sisteme giriş yapan atık sular burada büyük parçalarından ayrılırlar. Ayırma işlemini için üç tür ayırıcı kullanılmaktadır. Bunlar titreyen ayırıcılar, sabit ayırıcılar ve dönen ayırıcılardır. Bu üç ayırıcının katıları suların içinden ayırma biçimleri birbirlerine çok yakın yöntemlerde gerçekleşir. İri parçalı katılar boyutu 1 mm'lik meshe sahip ayırıcılarla sudan ayrılabilir. Sabit ayırıcılar atık su arıtma tesislerinin hemen girişlerinde yer alırlar ve çok sayıda ızgaralardan oluşurlar. Dönen ayırıcılar ise çok çeşitli türlere sahiptir ve kullanım alanı oldukça fazladır. Buna örnek olarak tambur ve disk ayırıcılar verilebilir. Titreşimli ayırıcılar sistem olarak ileri geri hareket eden mekanizmadan oluşurlar. Atık suyun akması sırasında içinden katı maddelerin sıçrayıp katı toplama bölümüne doğru ilerlemesi prensibine dayanır (Topaloğlu, 2012). Atık suda sedimentasyon prosesi askıda katı madde uzaklaştırılması amacıyla yapılır. Bu biçimde katıların büyük çoğunluğu dibe çökmüş olur ve durultucular eşliğinde sistemden uzaklaştırılır. Bu nedenle birincil arıtmada KOİ giderimi %40-70 arasında değişmektedir. (Pailthorp vd., 1987). Atık sularda yüzdürme (flotasyon) işlemi askıda katı madde gideriminde ve yağ-gresin ayrılmasında kullanılır. Yüzdürme işlemi sistemde hava kabarcıklarının oluşmasını sağlar ve bu hava kabarcıklarının yoğunluğuna göre sistemin performansı belirlenir. Atıksu arıtma tesislerinde fiziksel ve kimyasal dengenin kurulması, uygun koşulların sağlanması ve atık suyun bileşenleri arasında gerçekleşen salınımları stabil duruma getirmek amacıyla dengeleme tankı kullanılmaktadır. Atık suların arıtımında dengeleme tankından çıkan su şartlandırma bölümüne bir pompa aracılığı ile gönderilir ve bu bölümde biyolojik arıtmanın yapılması için uygun koşulları sağlamak adına atık suyun sıcaklık ve pH değerleri ölçülür (Topaloğlu, 2012).

2.6.2 İkincil Arıtma

Atık su arıtımında ikincil arıtma büyük önem taşımaktadır. Bunun nedeni arıtımda biyolojik topluluğun katkısının olmasıdır. Biyolojik organizmaların büyüyüp gelişmesi lagünlerde, aerobik havalandırma tanklarında ya da anaerobik şartların sağlandığı izole tanklarda yapılır. İkincil arıtma için atık suyun giriş

parametresi 50-1000 mg/L BOİ değerleri arasında olmalıdır. Biyolojik parçalanma sonunda atık suyun ıkış BOİ değerleri 15-20 mg/L'ye kadar düşmektedir. Biyolojik arıtım sonucu oluşan çamurun bir kısmı geri devir mekanizması ile sisteme verilirken fazla kısmı sistemden alınmalıdır. Ayrıca oluşan katı maddelerin ve mikroorganizma topluluğunun çökeltilmesi gerekmektedir (Hung vd., 2006). Patates işleme endüstrisi atıksuları stabilizasyon havuzunda evsel atık sular ile birlikte arıtılmaktadır (Fossum vd., 1964; Topaloğlu, 2012). Patates işleme endüstrisi atık sularının arıtımı için sulak alan çalışması yapılmış ve atık su arıtımında uygun değerler sağlanmıştır (De Zeeuv vd., 1990).

2.6.3 Aktif amur Prosesleri

Aktif amur sistemlerinde atık sular ön çöktürmeden sonra havalandırma tankına veya havalandırma havuzlarına alınırlar. Bu bölümde mekanik karıştırıcılar ya da hava kompresörleri ile oksijen ihtiyacı karşılanır. Atık suyun içerisinde floküle olmuş organik maddelerin bir kısmı çözünmüş, bir kısmı çözünmemiş mikrobiyal ürünlere dönüşürler. Daha sonrasında çökelmeye bırakılarak çıkış suyunun kaliteli biçimde ortaya çıkması sağlanır. Bu sistemlerin kullanımında birçok çeşit yer almaktadır. Tam karışımli tıpa akışli, uzun havalandırma ve ardışık kesikli reaktör bunlara birer örnek olarak verilebilir. Bütün aktif çamur çamur sistemlerinin işletiminde izlenilen yöntem aynıdır. Ancak atık suyun sisteme verilemesi, havalandırma biçimi gibi çeşitli modifikasyonlar yapılabilir. Patates işleme sonucunda oluşan atık suların arıtılması üzerine Hung ve arkadaşları çeşitli çalışmalar denemişlerdir (Hung ve Priebe, 1981; Hung, 1983; Hung, 1984; Hung ve Jen, 1987; Shih ve Hung, 1987; Liyah ve Hung, 1988; Hung vd., 1994). Yapılan çalışmaların içerisinde toz aktif çamur sistemi, aktif çamur sistemi, aktif çamur sistemi sonrası biyolojik aktif karbon kolonu bulunan iki kademeli arıtım ve anaerobik arıtım prosesleri gibi çalışmalar bulunmaktadır. Bunun sonucunda tam ölçekli aerobik arıtım yönteminin, enerji tüketme miktarı bakımından yüksek oluşu, arıtım sonucu fazla miktarda çamur oluşması, çamuru susuzlaştırmanın maliyeti, çamurun saklanması ve nakliyeti gibi dezavantajlar sıralanmıştır (Şentürk, 2010).

2.6.4 Anaerobik Arıtma Sistemleri

Bu sistemler etkili biçimde KOİ giderimi gerçekleştirmelerinden ötürü günümüzde birçok endüstride kullanılmaktadırlar (Hulshoffpol vd., 1997). Anaerobik proseslerin temelini genişletilmiş granül yatak reaktörler (ESGB) ve yukarı akışlı reaktörlere (UASB) benzer hızlı ve granül biyokütle sistemleri oluşturmaktadır (Zoutberg ve Eker, 1999). Çizelge 2.3'te çeşitli endüstrilerin anaerobik reaktör uygulamaları, karşılaşılan problemler ve çözümleri verilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda her endüstride belli sorunlarla karşılaşıldığını ve çözümlerinin benzer yöntemlerle olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar farklı endüstrilerin atık sularının bir arada arıtılabileceğini ve bunun gıda endüstrisinde mümkün olabileceğini göstermiştir (Austerman-Haun vd., 1999).

Çizelge 2.3. Bazı İşletmelerde Gözlenen Sorunlar ve Çözümleri (Hung vd., 2006).

Endüstri	Problem	Çözüm
Patates işleme	Katılar	Eleme, asidifikasyon tankı, EGSB metan
Patates ve buğday nişastası	Magnezyum amonyum fosfatın çökmesi	pH düzenleme
Şeker pancarı	pH'ın 5'ten daha düşük olduğu durumlarda kirecin çökmesi	Siklon Düşük pH içeriğini sistemde devir daim yaptırma
Pektin fabrikası	Yüksek nitrat konsantrasyonu	Metan reaktöründen önce denitrifikasyon
Bira fabrikası	Diyatomit değişikliği ile pH asidifikasyonda alüminyumun çökmesi	Dengeleme tankı, pH düzenleme çöktürme tankı
Alkol Üretimi	Kesikli üretim	Dengeleme tankı ve pH ayarlaması
Farklı endüstrilerden gelen atıksuların anaerobik ön arıtımı	İçerik farklılıkları, yüksek atıksu yükü	Atıksu karışımını sağlama ve dengeleme ve arıtıma başlama
Anaerobik/aerobik arıtma	C/N oranı	By-pass hattı oluşturma

Anaerobik arıtımda büyük önem taşıyan bir kavram olan hidroliz, mikroorganizmaların organik ve metanı üretmeleri için patates işleme endüstrisinin atık sularındaki substratları çözünebilir biçime getirerek kullanılabilir duruma dönüştürürler. Patates işleme sektöründe anaerobik arıtım kullanılırken en yaygın olarak yukarı akışlı reaktörler tercih edilmektedir. Yukarı akışlı reaktörlerin uygun biçimde çalışması için sisteme verilen atık suların askıda katı madde oranlarının düşük olması gerekmektedir. Aksi takdirde askıdaki parçacıklar sistemdeki aktif çamur granüllerinin yerini alırlar. Bir yandan genişletilmiş granül yataklı reaktörler geliştirilmiştir ve bu reaktörlerin yukarı akış hızı daha yüksek olduğundan askıdaki katı parçacıkların yıkanmasına sebep olur ve düşük sıcaklıkta arıtım sağlarlar (Zoutberg ve Eker, 1999).

Patates işleme atık sularında yüksek miktarda askıda katı madde mevcuttur. Yukarı akışlı sistem granül yataklı sisteme göre daha uzun bekleme süresine sahiptir. Bu nedenle askıda katı maddeler yukarı akışlı reaktörlerde daha iyi giderildiği için yüksek KOİ verimi elde edilmiş olur (Hung vd., 2006).

Gıda endüstrisi atık suları genellikle sıcak atık su olarak deşarj edilmektedir ve bu nedenle içerisindeki organik madde oranı yüksektir. Anaerobik arıtımda termofilik prosesler sıcak ve organik madde miktarı yüksek atık suların arıtımında başarılı sonuçlar vermektedir (Lepistö ve Rintala, 1997). Bu endüstrilerden oluşan atık suların arıtımında anaerobik arıtımın aerobik arıtım ile karşılaştırıldığında oluşan çamur miktarının daha az olması, ekonomik oluşu, metan gazı ile enerji eldesi ve havalandırmaya ihtiyaç duymaması gibi avantajları bulunmaktadır (Şentürk, 2010).

2.6.5 İleri Arıtma

Atık su arıtımında organik ve inorganik maddelerin giderilmesi amacıyla ikincil arıtmıdan sonra kullanılmak üzere ileri atıksu arıtma teknikleri geliştirilmiştir. Patates işleme endüstrisinin atık suyunu arıtma prosesleri, deşarjı ve gerekli şartların sağlanması için kullanılan yöntemler aşağıda belirtilmiştir. Bu yöntemlerde KOİ, BOİ, askıda kalan katı maddeler ve nütrientler belirleyici kısımlardır. Atık su ikincil arıtmıdan çıktıktan sonra kalitesini artırmak amacıyla yüzeyi silindirik olan ve 23-60 µm boyutlarında küçük deliklerle kaplı mikroeleklerden geçirilmektedir. Aktif çamur sisteminden sonra gerçekleştirilen bu işlem sonucunda çıkış atık suyunda BOİ'nin 3,5-5 mg/L'ye ve AKM'nin 6-8 mg/L'ye kadar düştüğü bildirilmiştir (Lyman vd., 1969; Şentürk, 2010). İkincil arıtım sonrasında granüler filtrasyon metodu mikroelemeye göre daha fazla kullanılmaktadır. Bunun sebebi granüler filtrasyonun daha az işletim sorunu olması ve daha fazla katı madde giderimi gerçekleştiriyor olmasıdır. Genel olarak ikincil arıtmıda yatak filtrasyonu büyük önem taşımaktadır. Sistemde çıkıştaki askıda katı madde derişimi 1-10 mg/L arasında iken filtrasyon hızı 0.06-0.5 m/dk arasında değişim göstermektedir. Atık sudaki fosforu uzaklaştırmak için çöktürme ve kimyasal koagülasyon yapılmaktadır. Patates işleme atık sularında kimyasal koagülasyon yöntemi kullanılabilir. Ancak bu yöntemde nütrientin giderimi sırasında koagülasyondan hemen sonra çöktürme yapılmalıdır (Karim ve Sistrunk, 1985; Şentürk, 2010).

2.7 Bitki ile Arıtım (Fitoremediasyon)

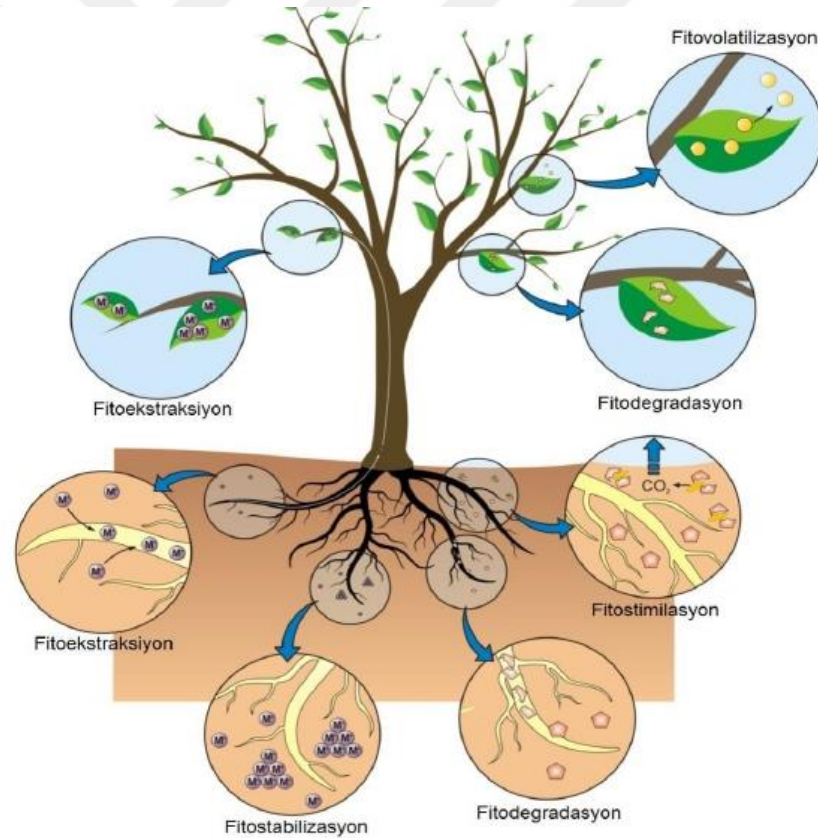
Fitoremediasyon olarak bilinen bitki ile arıtım prosesleri Türkçeye ‘Yeşil ıslah’ olarak geçmiştir ve kirlenmiş bölgelerin bitkiler yardımı ile organik/inorganik kirlenmelerinden arındırılma işlemine denilmektedir. Bu teknolojiye bitki esas alınarak çevreyi ıslah etme çalışmaları yapılmaktadır. Çalışmalarda kullanılan bitkilerin; kirlenmiş bölgelerde yetişebiliyor olması ve kök-gövde uzunluklarının yeterli boyutlarda olmaları gerekmektedir. Çünkü sistemin etkin biçimde çalışabilmesi kök derinliği ve iklim koşullarına bağlıdır. Fitoremediasyon bitkilerin toprak ve su ortamından kirlenmeleri kök bölgesinde hareketsiz bırakarak, bitki tarafından bünyelerine alıp depolayarak, kökler yardımı ile gövdeye taşınır, gövde ve yapraklarda metabolize edilip buharlaştırma yolu ile toprakların temizlenmesini sağlayan doğal bir sistemdir. Bu yöntemle çok çeşitli organik ve inorganik kirlenmeler giderilebilir. Bunlara örnek olarak, bitkiler tarafından topraktan alımı mümkün kirlenmeler, elementler, radyonükleidler, organik bileşikler ve metal olmayan maddeler bunlardan bazılarıdır (Vanlı, 2007).

Fitoremediasyonun yönteminin avantajları şu şekilde sıralanabilir; ekonomik/ekolojik olması, uygulama sırasında özel bir donanım gerektirmemesi, uygulanan bölgenin yeniden kullanımı için imkan verilmesi, yöntemin estetik bir görünüme sahip olması ve birçok kirleniciyi aynı anda giderebilen bir sistem yapısına sahip olmasıdır. Dezavantajları ise; farklı arıtım yöntemleri ile kıyaslandığında kirlenmiş alanlarda kısa süre içinde sonuç vermemesi, kirliliği giderme süresinin diğer ıslah çalışmalarına göre daha uzun sürmesi ve kirlenmelerin mevsimsel değişikliklerden etkilenip toprağı yeniden kirlenebilme riski bulunmaktadır (Aybar vd., 2015).

2.7.1 Bitki ile arıtım Mekanizmaları

Yeşil ıslah yönteminin bitkilerin kirliliği bertaraf etme metoduna bağlı olarak çeşitleri mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıda gösterilmiştir. Şekil 2.3’ te fitoremediasyonun şematik gösterimi verilmiştir.

- Bitkisel özümleme (Fitoekstraksiyon)
- Köklerde süzme (Rizofiltrasyon)
- Köklerde sabitleme (Fitostabilizasyon)
- Köklerle bozunum (Rizodegradasyon)
- Bitkisel buharlaştırma (Fitovolatilizasyon)
- Bitkisel bozunum (Fitodegradasyon)



Şekil 2.3. Fitoremediasyon İşlemlerinin Şematik Gösterimi (Aybar vd., 2015)

2.7.1.1 Bitkisel Özümleme (Fitoekstraksiyon)

Bitkisel özümleme, bitki kökleri tarafından kirleticilerin alınıp, sonrasında bünyelerine biriktirilmesi ve bitkilerin hasat edilerek yok edilmesi işlemidir. Bu yöntem genellikle topraktan ağır metal gideriminde Cd, Zn, Ni, Pb, Cu kullanılabileceği gibi Se, As gibi diğer elementlerin ve organik maddeler içinde kullanılabilir. Bitkisel özümleme işleminin başarılı olabilmesi için; bitkinin hızlı bir biçimde biyokütle üretmesi gerekmektedir ve ardından bünyelerine aldıkları ağır metalleri yüksek oranda tutabilme özellikleri önem taşımaktadır. Bu yöntemin sonunda hasat edilen bitkiler; kurutularak, çürütülüp kompost haline getirilerek, yakılarak ve bünyelerindeki ağır metalleri yeniden kazanmak amacıyla geri dönüşüme verilerek (bio-metal-ore) izole edilebilir (Hamutoğlu vd., 2012; Favas vd., 2014).

2.7.1.2 Köklerde Süzme (Rizofiltrasyon)

Köklerde süzme, bitki köklerince ortamdaki fazla miktarda bulunan besin elementlerinin ve kirleticilerin alınması işlemidir. Bu yöntem için bitki köklerinin; biyokütle ve yüzey alanı oluşturmaları, filtre etme işlemi gelişmiş olması önem taşımaktadır. Bitki kökleri kirleticileri ya absorplayarak yüzeyinde tutar ya da bünyelerine alıp bitkinin diğer bölümlerine taşır. Bu yöntemde kullanılan bitkiler kirletici alana ekilmeden önce başka bir ortamda kirleticiye maruz bırakılarak akümülyasyon süresi tamamlanır. Kirleticilerle temas eden bitkilerin kökleri yeterli miktarda geliştiğinde temiz suda yıkanır ve adaptasyon sorunu ortadan kalkmış bitkilerin kirlenmiş alana dikimi gerçekleştirilir (Hamutoğlu vd., 2012; Aybar vd., 2015).

2.7.1.3 Köklerde Sabitleme (Fitostabilizasyon)

Köklerde sabitleme yöntemi, erozyonu önlemek ve yer altı sularına kirletici etmenlerin karışmasını engellemek amacıyla bütün toprak tabakasının bitkiler ile kaplanmasıdır ve bu bitkilerin kökleri toprağın altındaki kirleticileri sabitlemektedir (Berti ve Cunningham, 2000; Favas vd., 2014). Yöntem uygulanırken kirleticilerin

kirlenmiş alanlara karşı dayanıklı, zehirli maddeleri daha az zehirli madde haline getirebilen, geniş kök yapısına sahip ve ağır metallere dayanıklı ortamda yetişebilen bitkilere ihtiyaç duyulmaktadır (Rizzi vd., 2004; Aybar vd., 2015). Bu metodun uygulama alanları sediment, çamur ve toprağın ıslah çalışmalarıdır (EPA, 2000).

2.7.1.4 Köklerde Bozunum (Rizodegradasyon)

Köklerde bozunum, organik kirleticilerin bitki kökleri tarafından mikroorganizma faaliyetleri sonucu parçalanmasıdır. Köklerin etrafında; şeker, yağ asitleri, enzimler, büyüme etmenleri, organik asitler, aminoasit ve nükleotidler bulunmaktadır. Bu bölge, kirliliğin en çok yaşandığı bölgedir. Köklerde bozunum metodunun en önemli avantajı, kirletici etmenlerin doğal yollardan bertaraf ediliyor olmasıdır. Fakat bu kirleticiler bitkilere ya da atmosfere az miktarda da olsa karışır. (Hamutoğlu vd., 2012). Bu metotla kirlenmiş alandan giden kirleticiler; toplam petrolü hidrokarbonlar, benzen, ksilen, toluen, aromatik hidrokarbonlar, herbisitler, pestisitler, insektisitler, yüzey aktif maddeler ve pentaklorofenol bu metotla uzaklaştırılabilir. Mikrobiyal faaliyetin artması için bitkinin rizosfer bölgesindeki toprak gevşetilir (Mirsalia, 2004; Aybar vd., 2015).

2.7.1.5 Bitkisel Buharlaştırma (Fitovolatilizasyon)

Bitkisel buharlaştırma, topraktan bir miktar metal ya da metaloidlerin alınarak atmosfere verilmesi için bitkilerin kullanıldığı yöntemdir. Özellikle periyodik tablonun IIB, VA ve VIA gruplarındaki (özellikle Hg, Se ve As) metaller bitkiler tarafından alınıp daha az toksik içeren formlara dönüştürülerek atmosfere bırakılırlar. Bu yöntem aynı zamanda organik bileşiklerin gideriminde de kullanılabilir. Bu yöntemin bitkilerine örnek olarak *Arabidopsis thaliana*, *Nicotiana tabacum*, *Liriodendron tulipifera*, *Brassica napus*, *Astragalus bisulcatus* ve *Stanleya pinnata* verilebilir (Favas, 2014). En önemli avantajı; civalı bileşikler gibi çok zehirli bileşiklerin daha az zehirli bileşikler haline çevrilebiliyor olması iken, dezavantajı ise; zararlı maddelerin direkt olarak atmosfere salınmasıdır. Sistem çalışırken bitki köklerinin derinliği oldukça büyük önem taşır. Söz konusu yer altı suları olduğunda

bitki köklerinin erişemediği durumlarda atık sular yer altından pompalarla yüzeye çıkartılıp, daha sığ bitki k  klerin   alınımı sağlanabilir. Bu yöntem, yer altı suları, sediment ve çamur alanlarında uygulanabilmektedir. Ayrıca organik klorlu bileşikler,         ler ve inorganik kirleticilerin giderimi bu yöntemle yapılabilir (Hamutoğlu vd., 2012).

2.7.1.6 Bitkisel Bozunum (Fitodegradasyon)

Bitkisel bozunum, bitki dokularının bünyesinde kirleticilerin metabolik faaliyetlerle değiştirilmesidir. Klorlu bileşikler, pestisitler, kimyasal maddeler ve fenoller bu yöntemle uzaklaştırılabilir (Hamutoğlu vd., 2012). Bu yöntemde nitroaromatik bileşikler parçalanır, böcek ilaçlarının ve klorlu bileşikler bozunur ve organik kirleticiler enzimler ile bitki hücrelerinde bozunur. *Populus* türleri ve *Myriophyllum spicatum* bu enzimatik sistemleri olan bitkilere örnektir (Favas, 2014).

2.8 Yapay Sulak Alanlar

Hızlı nüfus artışı, kentleşme ve ekonomik kalkınma başta gelişmekte olan ülkeler olmak üzere birçok ülkede atık suyun üretiminde artışa neden olmuştur. Evsel, endüstriyel ve tarımsal atıklardan kaynaklanan bu kirlilik, genellikle akarsu ve nehirlerle boşaltıldığından su kalitesi gittikçe bozulmaktadır. Bu nedenle su kirliliğini azaltmak için birçok atık su arıtma yöntemi geliştirilmiştir (Zheng vd., 2016). Bu yöntemlerden biri de sulak alan teknolojisidir. Yapay sulak alanlar, atık suları arıtma amacıyla sulak alan bitki örtüsünü, toprakları ve bununla ilgili mikrobiyal toplulukları içeren, doğal süreçleri kullanmak üzere tasarlanmış mühendislik sistemleridir. Bu sistemler doğal sulak alanlarda meydana gelen birçok işlemten faydalanmak için düzenlenirler ancak bu işlemleri daha kontrollü bir çevrede gerçekleştirmek üzere tasarlanırlar. Sistemlerin bazıları atık suların arıtılması ve iyileştirilmesi amacıyla tasarlanıp işletilmiştir. Sulak alan bitkilerini kullanarak atık suları arıtma çalışmalarının ilki Almanya'da 1950'lerde gerçekleştirilirken, tam ölçekli sistemler 1960'lı yılların sonlarında inşa edilmeye başlanmıştır (Vymazal, 2014).

Yapay sulak alanlar; mikroorganizmaların, bitkilerin ve sucul ekosistemin birleşimi ile oluşmaktadır. Atık su arıtımı için alternatif bir yöntem olmakla birlikte aynı zamanda doğal tabanlı bir arıtma yöntemidir. Arıtımı sağlayan prosesler fizikokimyasal ve mikrobiyolojik esastır. Bu sistemlerde bulunan bitkiler, mikroorganizmalar ve atık sudaki organik maddeler arasındaki etkileşim karmaşık gibi görünse de aslında diğer sistemlere göre işletimi daha kolaydır. Yapay sulak alanlarda bitkiler; mikrobiyal büyüme için yüzey oluştururlar, substratların stabilizasyonunu sağlarlar, akımı yönlendirirler ve sulak alana estetik bir görünüm kazandırır. Sulak alanların yoğun bir bitki örtüsüne sahip olması dış etkenlerin (olası rüzgarlar vs.) verebileceği zararları minimum düzeye indirebilir. Ortamda bulunan mikroorganizmalar bitkilerin ölümünden sonra ortaya çıkan organik karbonu besin kaynağı olarak kullanırlar (Çiftçi, 2007). Bitkiler; yapay sulak alan teknolojisinin biyolojik bileşeni olarak kabul edilirler ve nütrient uzaklaştırmada önemli bir rol oynarlar ve sadece asimilasyon yoluyla kirliliğin azalmasına katkıda bulunmakta kalmaz, aynı zamanda rizosferdeki mikropların büyümesini kolaylaştırıp sulak alanlarda çeşitli fiziksel ve kimyasal saflaştırma süreçlerini hızlandırarak katkıda bulunurlar (Zheng vd., 2016).

Bitki kökleri yapay sulak alanlarda biyolojik önem taşır. Kök bölgesinde mikroorganizmalar, bitkiler ve kirleticilerin etkileşimi gerçekleşerek biyolojik prosesler meydana gelir. Bu prosesler, bitkilerin bünyesindeki organik maddelerin köklere taşınması ve burada birikmesi ile başlar. Bitkiler, fotosentez yoluyla yapay sulak alanlara oksijen kazandırır. Sisteme giren oksijen metabolik olaylarda ve biyolojik reaksiyonlarda kullanılır. Bitkilerin rizosfer bölgesindeki mikroorganizmaların inorganik ve organik kirleticileri uzaklaştırmasında çözünmüş oksijen önemli bir yer tutar. Bitki rizosfer bölgesindeki oksijen ile besinleri alır. Mikroorganizma ise aerobik bozunma için oksijen ile organik maddeleri parçalar. Yapay sulak alan sistemlerinde organik kirleticilerin ve besinlerin degradesyona uğraması ve mineralizasyonu temelde bitkiler yönünden değil mikroorganizmalar yönünden gerçekleşir. Fakat bitkiler; sedimentlerin, bitki artıklarının ve mikrobiyal faaliyetlerin yoğunlaşacağı katı tabakayı oluştururlar. Sulak alanların hepsi ekolojik yaşamda enerji dönüşümlerini sağlamak için bakteri ve mikroorganizmaları bünyelerinde bulundururlar (Çiftçi, 2007).

Yapay sulak alanlarda genel olarak hızlı yetişen bitkiler tercih edilir. Bu bitkilerin kökleri odunsu değildir ve sulak alan içerisinde büyür. Yaprakları ve gövdeleri ise su yüzeyine çıkar. Yapay sulak alanlarda yetişen bazı bitki türleri ve bunların ekolojik yaşam ortamları Çizelge 2.4'te verilmiştir. Yapay sulak alanlar yüksek kirletici uzaklaştırma verimi, düşük enerji gereksinimleri, işletme ve bakım kolaylığı ile son yıllarda atık su arıtımı için popüler bir seçenek haline gelmiştir (Zhang vd., 2014). Bu sistemlerde arıtma performansı bitki türüne, su derinliğine, hidrolik alıkonma süresine ve yüküne, besleme tipine ve sistem tasarımına bağlı olarak değişmektedir (Wu vd., 2014). Yapay sulak alanlar işletme türlerine göre iki gruba ayrılırlar

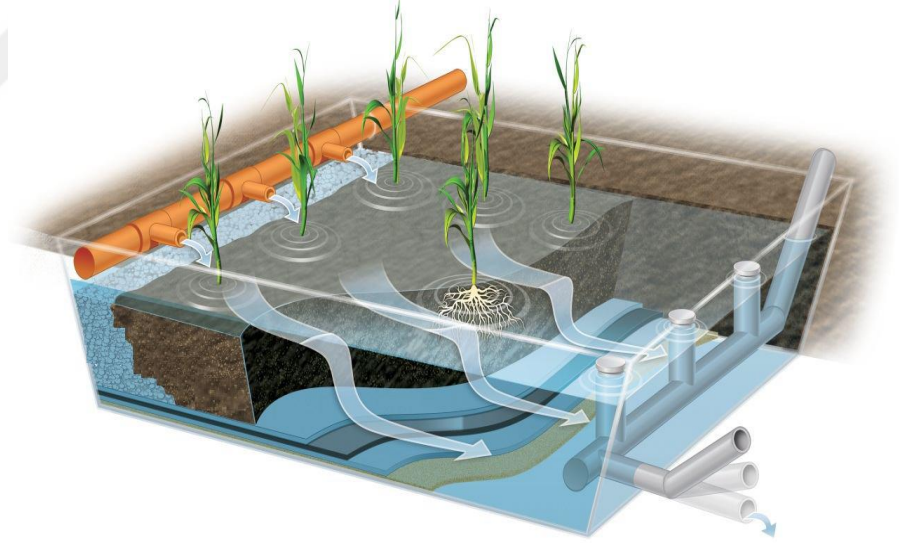
- Yüzey akışlı sistemler
- Yüzey altı akışlı sistemler

Çizelge 2.4. Yapay sulak alanlarda kullanılan köklü ve yüzücü bitkiler (Knight, 1997; Demirörs, 2006)

BİTKİ CİNSİ	BÜYÜME ŞEKLİ	YETİŞME YERİ	GÖLGE TOLERANSI
<i>Acer negundo</i>	Ağaç	Ormanlık sulak alanlarda	Tamamen güneşli yerler
<i>Acorus calamus</i>	Otsu Bitki	Tatlı sulardan, az tuzlu sulak alanlara kadar her yerde	Kısmi gölgeli yerler
<i>Alnus serrulata</i>	Çalı, funda	Sulak Alanlar	Tam güneşli
<i>Carex spp.</i>	Otsu Bitki	Sulak Alanlar, göl kıyıları	Tam gölgeli ve tam güneşli yerler
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Su içinde	Göllere ve yavaş akan dereler	-
<i>Cyperus esculentus</i>	Otsu Bitki	Yeni bataklıklar, ıslak çayırlar	Tam güneşli yerler
<i>Eichhornia crassipes</i>	Köksüz yüzen bitki	Tatlı su gölleri ve ağır akan dereler	Tam güneşli yerler
<i>Hrdrocotyle umbellata</i>	Yüzen bitki	Kıyılarda, sığ sulak alanlar	Kısmi gölgeli yerler
<i>Nyssa sylvatica</i>	Ağaç	Ormanlık sulak alanlar	Kısmi gölgeli
<i>Phragmites australis</i>	Otsu Bitki	Tatlı veya tuzlu sulu sulak alanlar	Tam güneşli yerler
<i>Pontederia cordata</i>	Otsu Bitki	Tatlı ve tuzlu sulak alanlar, gölet kıyıları	Kısmi gölgeli
<i>Populus deltoides</i>	Ağaç	Ormanlık sulak alanlar	Tam güneşli yerler
<i>Nuphar luteum</i>	Yüzen su bitkisi	Sulak Alanlar, göletler	Kısmi gölgeli
<i>Scirbus americanus</i>	Otsu Bitki	Tuzlu sulu ve alkali sulak alanlar	Tam güneşli yerler
<i>Sparganim eurycarpm</i>	Otsu Bitki	Sulak Alanlar, gölet kıyıları	Kısmi gölgeli yerler
<i>Taxodium distichum</i>	Ağaç	Tatlı sulu sulak alanlar	Kısmi gölgeli yerler
<i>Typha latifolia</i>	Otsu Bitki	Tatlı su sulak alanları, gölet kıyıları	Tam güneşli yerler
<i>Scirpus valides</i>	Otsu Bitki	Tatlı tuzlu sulak alanlar	Tam güneşli yerler

2.8.1 Yüzey Akışlı Sulak Alanlar

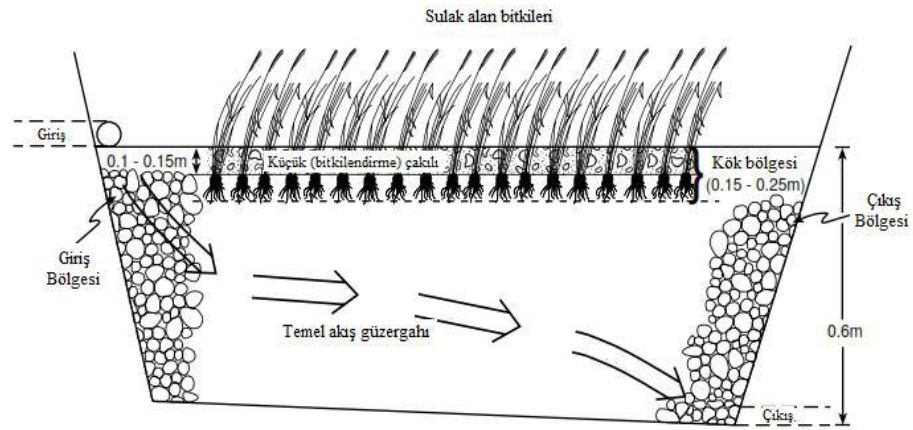
Yüzey akışlı sistemler; sudaki vetetasyon ile biofilmin etkileşimi ile oluşan sığ havzalardır. Bu sistemler; doğal bataklıklara benzerler ve su kalitesinin iyileştirilmesi için birçok unsuru bünyelerinde bulundurlar (Şekil 2.4). Sistemin su tabakası aerobik koşullardayken, daha derin kısımlar anaerobik koşullar altındadır. Genellikle bu sistemlerin su derinlikleri 0.4m'den daha az olup, hidrolik yükleme oranları 0.7-5.0 cm arasında değişim göstermektedir. Yüzey akışlı sulak alanlar organik maddelerin mikrobiyal bozunumu ve askıda katıların filtrasyon ve sedimentasyon ile uzaklaştırılmasında etkilidir (Zhang vd., 2014). Bu sistemin avantajları; işletiminin kolay ve ekonomik olmasıdır. Dezavantajları ise; koku problemi yaratması ve kurulumu için geniş arazilere ihtiaç duyulmasıdır (Zaimoğlu ve Bozkurt, 2010).



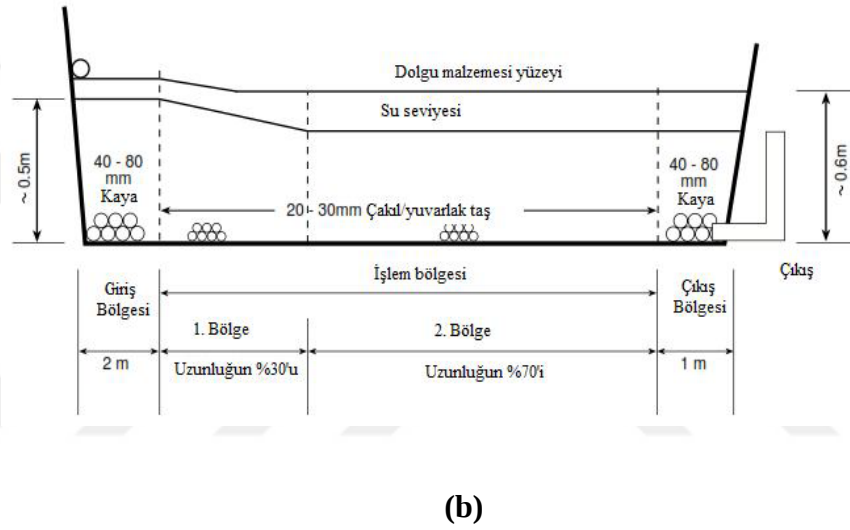
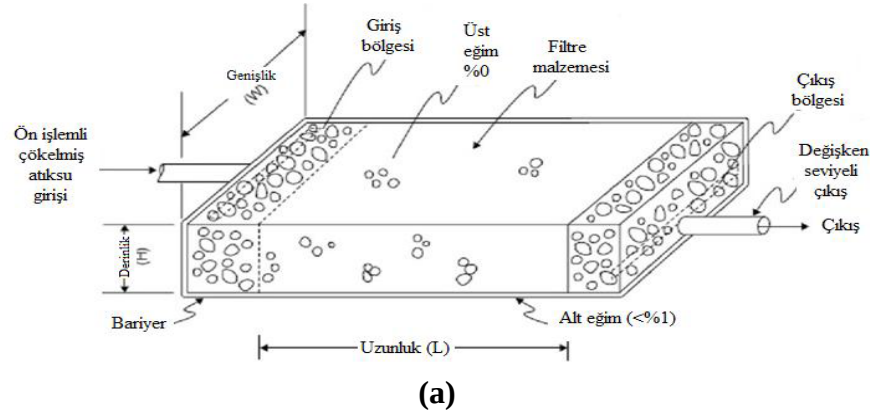
Şekil 2.4. Yüzey akışlı sistem kesiti (Duygulu, 2016)

2.8.2 Yüzeyaltı Akışlı Sulak Alanlar

Yüzey altı akışlı sistemler yatay yüzey altı ve dikey yüzey altı akışlı olarak iki biçimde tasarlanabilir. Bu sistemlerde su; kum, çakıl taşı ve kaya gibi dolgu malzemesinin alt bölümünden akıtılır (Şekil 2.6). Yatay yüzey altı akışlı sistemler en yaygın kullanılan sistemler olmasına rağmen son zamanlarda dikey akışlı sistemlerin kullanımı daha popüler duruma gelmiştir. Yatay yüzey altı akışlı sistemlerde; atık su granüler ortam vasıtasıyla yatay olarak akar ve yer altı havzasında aerobik ve anaerobik bölgeye girer. Sistemdeki aerobik bölgeler bitki kökleri ve rizomları çevresinde bulunurlar. Dikey yüzey altı akışlı sistemlerde, atık su bir dağıtım sistemi vasıtasıyla tüm yüzey alanından dikey olarak geçer. Yüzey altı akışlı sistemlerde genel olarak su derinlikleri 0.6m'den daha az olmaktadır. Hidrolik yükleme oranları 2-20 cm arasında değişiklik göstermektedir (Zhang vd., 2014). Yüzey altı akışlı sistemlerin avantajları; koku probleminin daha az yaşanması ve ortamdaki alg miktarında azalma görülmesidir. Dezavantajları ise; sistemde tıkanma sorununun sık sık yaşanması ve yapım-onarım açısından maliyetli bir kurulum olmasından dolayı işletiminin zor olmasıdır (Zaimoğlu ve Bozkurt, 2010). Şekil 2.5'te yatay yüzey altı akışlı sisteminin kesiti görülmektedir.



Şekil 2.5. Yatay yüzey altı akışlı sistem kesiti (Duygulu, 2016)



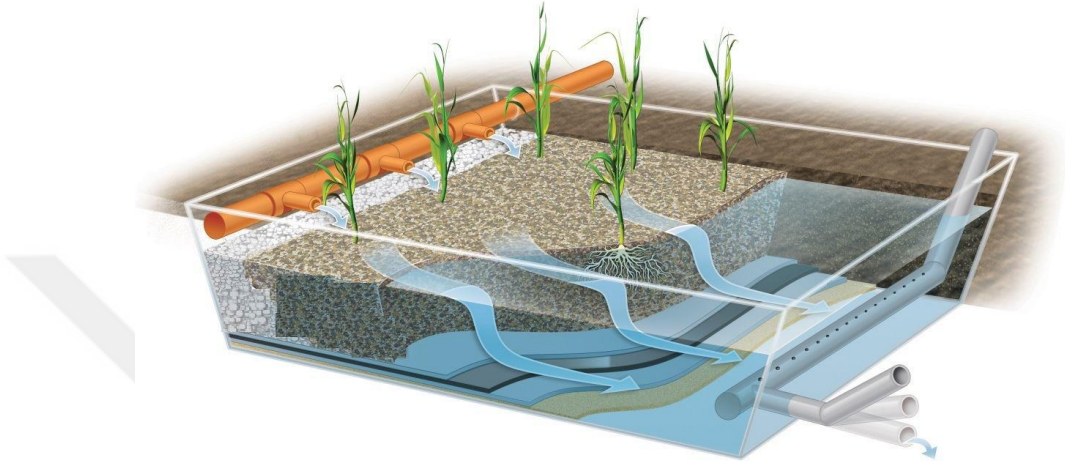
Şekil 2.6. Yatay yüzey altı akışlı sistem görünümü

(a) Yan kesit (b) Dikey kesit (Duygulu, 2016)

2.8.2.1 Yatay Yüzey altı Akışlı Sulak Alanlar

Yatay yüzey altı akışlı sistemlerde; atık su yüzeyde su olmayacak şekilde çıkış bölgesinde ulaşmaya kadar gözenekli ortam üzerinden yavaşça akıtılır. Bu sistemlerde organik maddeler aerobik ve anaerobik mikrobiyal işlemler ile ve parçacık halindeki organik maddelerin sedimentasyon ve filtrasyonuyla ayrıştırılır. Aerobik işlemler kök ve rizomlarda gerçekleşirken, atmosferden gelen oksijenin difüzyonunda meydana gelen ince yüzey tabaka ile sınırlandırılır. Filtrasyon yatağının doymuş olması nedeniyle de bu bölgede anaerobik süreç gelişir. Yatay

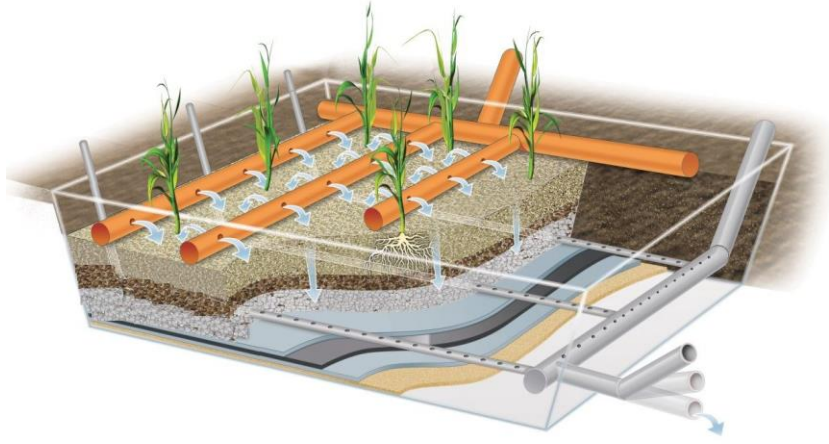
yüzey altı akışlı sistemlerde askıda katı madde giderimi yer çekimine bağlı sedimentasyon ve adsorpsiyonla gerçekleşir. Ayrıca bu sistemlerin filtreleme yatağında oksijen olmaması nedeniyle amonyak gideriminde etkisi görülmemektedir. Bu nedenle ortam denitrifikasyon için uygun şartları barındırmış olur (Vymazal, 2014). Yatay yüzey altı akışlı sistemin kesiti Şekil 2.7' de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Yatay yüzey altı akışlı sistem kesiti (Duygulu, 2016)

2.8.2.2 Dikey Yüzey altı Akışlı Sulak Alanlar

Dikey yüzey altı akışlı sistemlerde; üzeri kum ile örtülü çakıl düz bir yataktan oluşur. Atık su bu bölgeden beslenir ve kademeli olarak tabana düşey olarak sızar. Atık suyun bu şekilde verilmesi oksijen transferine yol açar ve dolayısıyla nitrifikasyon olayı gerçekleşmiş olur. Havadaki oksijen difüzyonu filtrasyon yatağındaki oksijene kıyasla bitkiler aracılığı ile ortama daha fazla oksijen kazandırmış olur. Dikey yüzey altı akış sisteminde bitkilerin rolü yatağın içindeki hidrolik iletkenliği korumaya yardımcı olmaktır (Vymazal, 2014). Şekil 2.8'de düşey yüzey altı akışlı sistemin kesiti verilmiştir.



Şekil 2.8. Düşey yüzey altı akışlı sistem kesiti
(Duygulu, 2016)

2.8.2.3 Hibrit Yapay Sulak Alanlar

Yapay sulak alan sistemlerinde aynı anda hem aerobik hem de anaerobik koşulların birlikte sağlanamaması nedeniyle sistemlerde azot gideriminde yeteri oranda başarı elde edilmemektedir (Vymazal, 2005, 2007). Bu nedenle sulak alan sistemlerinin bireysel avantajlarından yararlanmak için seri halde düzenlenmiş çeşitli tiplerde hibrit sistemler ortaya çıkmıştır. Bu sistemler çoğunlukla kademeli olarak düzenlenmiş yatay yüzey altı akışlı ve dikey yüzey altı akışlı sistemlerden oluşur (Vymazal, 2011, 2007). Hibrit sistemlerin gelişimi 1960'lı yıllarda başlamış ve 1990-2000'li yıllarda kullanımı artmıştır. Hibrit sistem ilk olarak Seidel tarafından Almanya'da kurulmuştur ve o yıllarda bu sistem Seidel sistemi, Krefeld sistemi ya da Max plank sistemi olarak tanınmıştır. İlk hibrit sistem iki aşamalı paralel bağlı dikey yüzeyaltı akışlı sistemi takip eden 2 ya da 3 adet yatay yüzeyaltı akışlı sistemden oluşmaktadır. Dikey akışlı sistemler filtrasyon yatağı olarak adlandırılırken, yatay akışlı sistemler bertaraf etme sistemleri olarak adlandırılmıştır. Bu sistemlerin dikey reaktörlerinde bitki olarak genellikle *Phragmites australis* kullanılırken, yatay akışlı reaktörlerde *Schoenoplectus*, *Sparganium*, *Carex*, *Typha* ve *Acorus* bitkileri kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak 1990'lı yılların sonlarına doğru yüzey akışlı sistemlerin oluşturduğu hibrit sistemler de kullanılmaya başlanmıştır. (Vymazal, 2013). 1990'lı yılların ortalarında Johansen ve Brix tarafından ilk olarak yatay akışlı sistemlerden sonra dikey akışlı sistemin geldiği hibrit sistem kurulmuştur. Bu

sistemde yatay akışlı sistemler büyük ölçekte tutulurken, dikey akışlı sistemler küçük ölçekte tutulmuştur (Vymazal, 2008). 1990'da Yang vd. ilk olarak yatay yüzey altı akışlı sistem ile yüzey akışlı sistem birleştirilip hibrit sistem kurmuşlardır. Bu sistemin üç adet seri bağlı yatay yüzeyaltı akışlı reaktörün ardından bir adet yüzey akışlı sistemin bir araya gelmesinden oluştuğu bildirilmiştir. Bu sistemde yatay akışlı reaktörlerde *Phragmites australis*, *Cyperus malancesis*, *Lepirenia articulata* kullanılırken, yüzey akışlı sistemlerde yüzen sulak alan bitkilerinin kullanıldığını belirtmişlerdir (Vymazal, 2013). Hibrit sistemler; dikey akış reaktörlerini takip eden yatay akış reaktörler, yatay akışlı reaktörleri takip eden dikey akışlı reaktörler ve yüzey akışlı sistemlerin oluşturduğu çeşitli konfigürasyonlardan oluşmaktadır. En yaygın olarak kullanılan dikey akışlı sistemden sonra gelen yatay akışlı sistemlerin oluşturduğu hibrit sistemlerdir ve genellikle endüstri atık sularını arıtma amaçlı kullanılmaktadır. Yatay akışlı reaktörden sonra dikey akışlı reaktörün geldiği sistemler ise tarımsal ve kentsel atık suların arıtımı için tercih edilmektedir. Hibrit sistemlerde dikey yüzey altı akışlı sistemler, organik madde gideriminde, askıda katı maddeleri uzaklaştırmada ve nitrifikasyonu sağlamak için tasarlanırken, yatay yüzeyaltı akışlı sistemler organik madde gideriminde, katı maddelerin askıda kalmasında ve denitrifikasyonu gerçekleştirmek amacıyla tasarlanır (Zhang vd., 2014). Yapılan araştırmalar; hibrit sistemlerin bütün konfigürasyonlarının azot giderimi açısından tekli kurulan yatay ya da dikey akışlı yapay sulak alan sistemlerinden daha etkili olduğunu göstermiştir. BOI_5 , KOI , AKM ve toplam fosfor giderimi açısından bakıldığında ise, hibrit sistemlerin diğer tekli sistemlere göre giderimlerde farklılık göstermediği bildirilmiştir (Vymazal, 2013). Hibrit yapay sulak alanların;

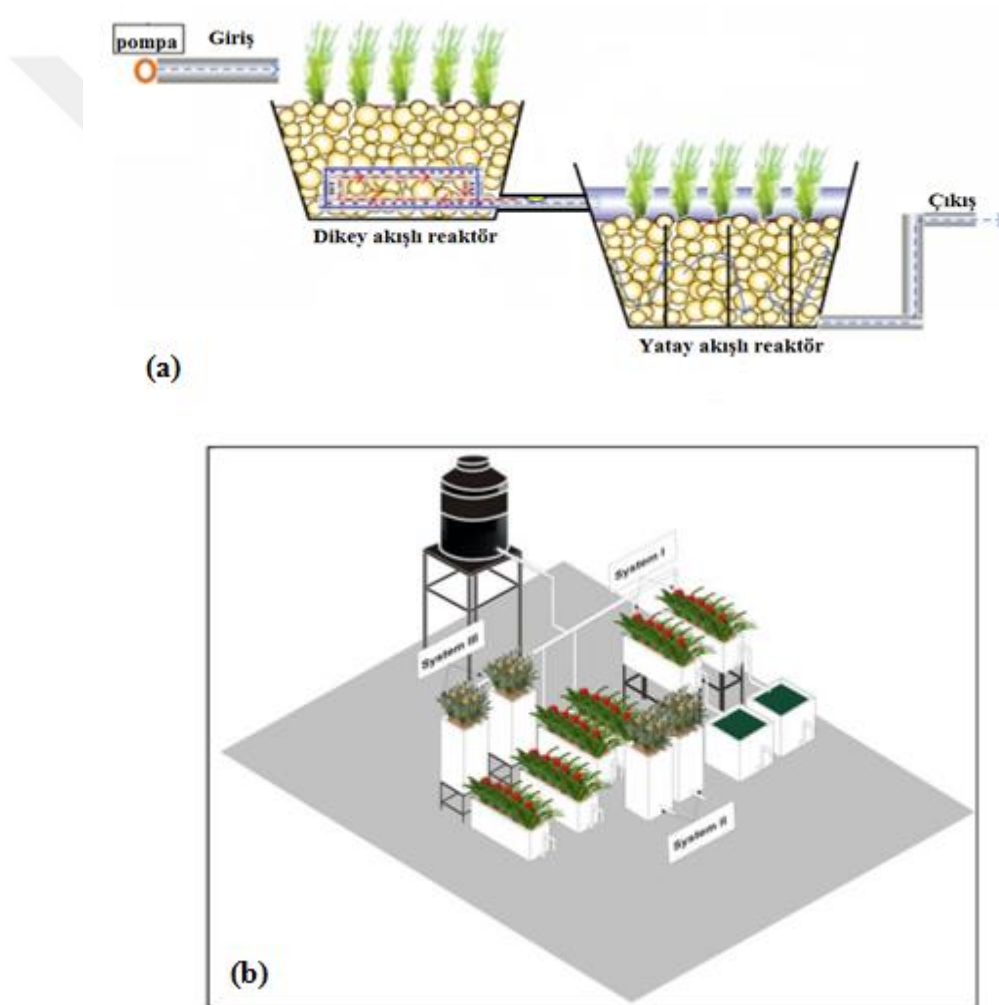
Avantajları;

- Kurulumu oldukça basittir.
- İşletimi sırasında ekstra kimyasalla ihtiyaç duyulmaz.
- Arıtım gerçekleşirken doğal süreçler kullanılır.
- Sistemde bulunan askıda ve çözünmüş organik maddelerin, besin maddelerinin ve patojenlerin verimli bir şekilde giderilmesi sağlanır (web1).

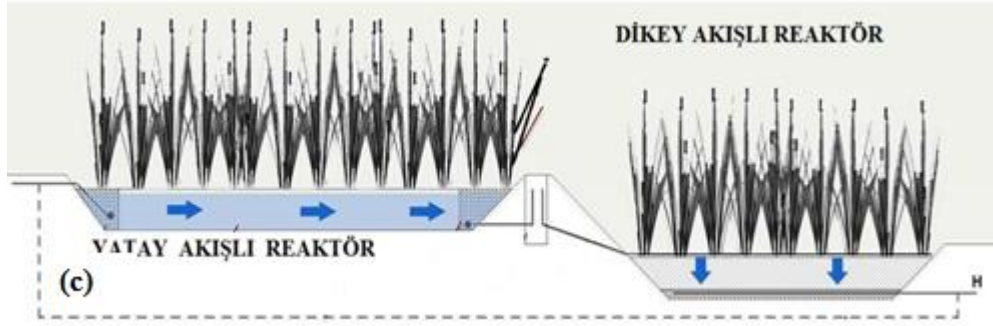
Dezavantajları;

- Kurulan sistemler uzman tasarımı ve sıkı denetimi gerektirir.
- Sistemlerin kurulum yerine ve kullanılan dolgu malzemesine göre sermaye farkı görülebilir.
- Tıkanma sorunu sıklıkla yaşanabilir.
- Soğuk iklimlere karşı düşük tolerans göstermektedirler (web1).

Şekil 2.9’ da hibrit yapay sulak alan sistemleri ile yapılmış örnek kombinasyonları göstermektedir.



Şekil 2.9. Hibrit Yapay Sulak Alan Sistemleri Örnek Kombinasyonları
(a) Dikey akışlı sistem-Yatay akışlı sistem (b) Sulak alan sisteminin üstten kesiti



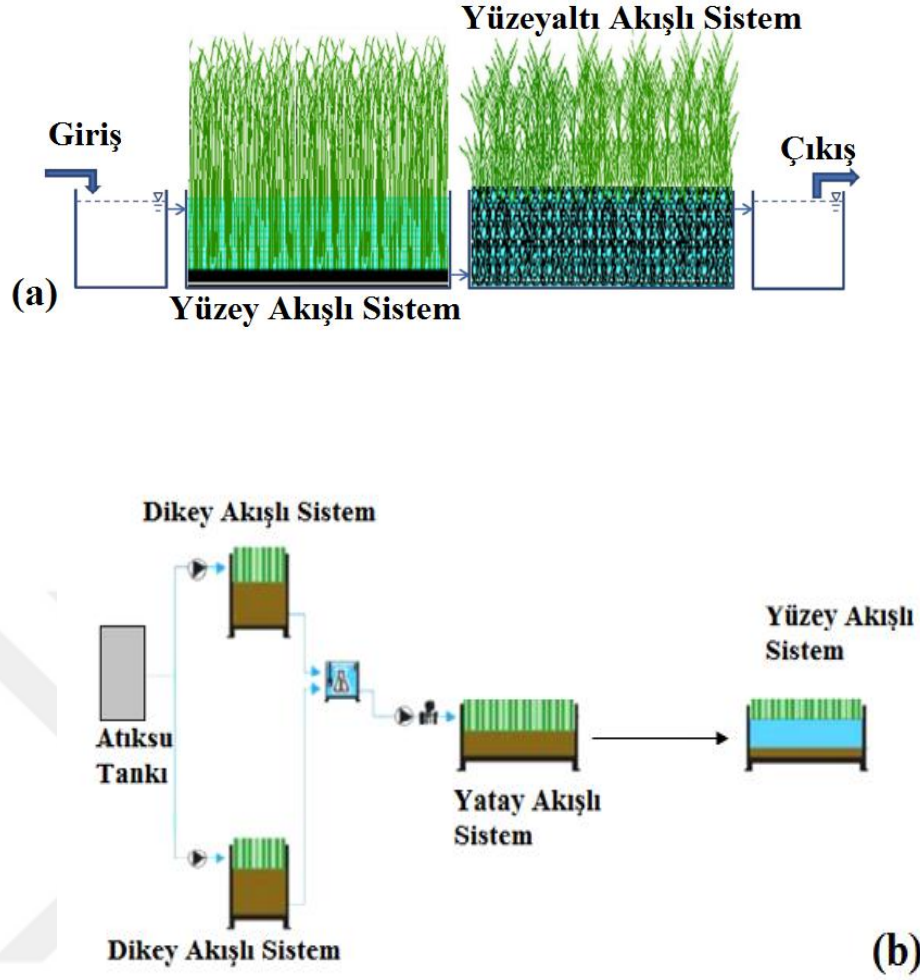
Şekil 2.9. Hibrit Yapay Sulak Alan Sistemleri Örnek Kombinasyonları
(c) Yatay akışlı sistem-Dikey akışlı sistem (devamı)

Hibrit sistemlerin bir başka kombinasyon biçimi de yüzey akışlı sistemler ile yüzeyaltı akışlı sistemlerin birleştirilmesi ile oluşmaktadır. Chyan vd. (2017) yılında yüzeyaltı akışlı sistem ile yüzay akışlı sistemi birlikte kombinledikleri sistemde evsel atık sudan tuzluluk giderimini araştırmışlardır. Yüzey akışlı sisteme *Typha Orientalis* ekilirken, yüzeyaltı akışlı sisteme *Phragmites Communis* bitkisi ekilmiştir. Çalışma sonunda yüzey akışlı sistemden % 12, yüzeyaltı akışlı sistemden % 16.6 oranında tuzluluk giderimi olduğu tespit edilmiştir.

Avila vd. (2016) yılında kentsel atıksuların arıtımı için yatay ve dikey yüzeyaltı akışlı sistemler ile yüzey akışlı sistemleri bir arada kullanarak hibrit yapay sulak alan sistemi inşa etmişlerdir. Çalışmada *Phragmites australis* bitkisini kullanmışlardır ve sonuç olarak % 82 KOİ, % 96 AKM ve % 75 NH₄-N giderimi elde etmişlerdir.

Pelissari vd. (2017) yılında kentsel atıksuların arıtımında atıksuların azot giderimini araştırmışlardır. Çalışmada yüzey akışlı ve yüzeyaltı akışlı sistemler birlikte kullanılarak bir hibrit yapay sulak alan sistemi kurulmuştur. Çalışmada *Phragmites australis* bitkisi kullanılmıştır ve % 77 başarı elde edilmiştir.

Şekil 2.10'da hibrit yapay sulak alan sistemlerinde yüzey akışlı ve yüzeyaltı akışlı sistemlerin birlikte kullanımının örnekleri verilmiştir.



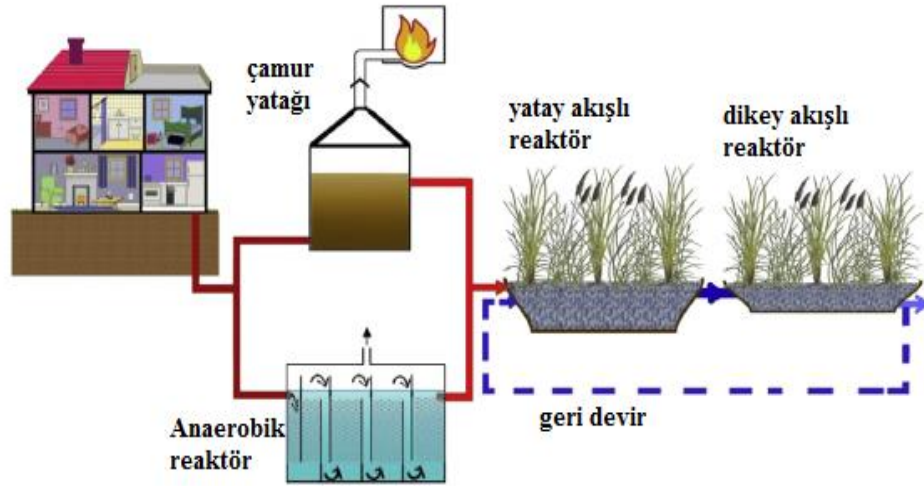
Şekil 2.10. Hibrit Yapay Sulak Alan Sistemleri Örnek Kombinasyonları (Avila vd., 2016; Chyan vd., 2017)

(a) Yüzey Akışlı ve Yüzeyaltı Akışlı Sistemlerin Birlikte Kullanımı **(b)** Dikey Yüzeyaltı Akışlı Sistem, Yatay Yüzeyaltı Sistem ve Yüzey Akışlı Sistemlerinin Birlikte Kullanımı

Canepel ve Romagnolli (2010) yılında kentsel atıksuların arıtımı amacıyla yapay sulak alan sistemi kullanmışlardır. Sistemde Yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan ile yüzey akışlı sulak alan birlikte kombin edilmiştir. Çalışmada *Carex spp.*, *Scirpus Spp.*, *Alisma plantago-aquatica*, *Mentha aquatica*, *Nuphar lutea*, *Typha latifolia* ve *Hydrocharis morsus-ranae* bitkileri kullanılarak karma bir kültür oluşturulmuştur. Çalışma sonunda % 85 KOİ, % 99 TN ve % 99 NH₄-N giderimi elde edilmiştir.

Hibrit sistemler, yapay sulak alan sistemleri ile farklı arıtım sistemlerinin birleşimi ile birlikte oluşturulabilirler. Bunlara örnek olarak sulak alan sistemlerinin başına ya da sonuna eklenecek membran biyoreaktörler ve aerobik/anaerobik reaktörler verilebilir. Yapay sulak alanlarla oluşturulan bu sistemler askıda katı maddeleri uzaklaştırması nedeniyle sistemdeki tıkanma sorunlarının önlemiş olurlar. Ayrıca bu çalışmaların KOİ ve BOİ₅ gideriminde oldukça etkilili olduğu görülmüştür. Bu sistemlerin, inşaatlarının ve kurulumlarının kolay olması, düşük maliyetli ve sürdürülebilir sistemler olması avantajları arasında sıralanabilir (Gonzalo vd., 2017).

Literatür çalışmaları incelendiğinde bu konu ile ilgili birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Bunlardan bazıları şu şekilde verilmektedir. Ayaz vd. (2015) yılında yaptıkları çalışmada yatay akışlı sistemi dikey akışlı sisteme bağlayan sulak alan sisteminin en başına anaerobik ön arıtma tankı yerleştirmişlerdir. Çalışmada evsel atık su arıtımı incelenmiş ve % 95'in üzerinde KOİ giderimi ile % 90'ın üzerinde azot giderimi elde etmişlerdir. Avila vd. (2015) yılında yaptıkları çalışmada anaerobik reaktörden sonra iki adet paralel bağlı dikey akışlı sistemin ardından yatay akışlı sistemi ve en sona da yüzey akışlı sistemin bağlı olduğu hibrit sistem çalışması yapmışlardır. Çalışmada evsel atık su kullanmışlardır ve % 82 KOİ, % 96 AKM, % 75 NH₄-N giderimi elde etmişlerdir. Bosak vd. (2016) yılında patates işleme atık suyunun arıtımında yapay sulak alan sistemini kullanmışlardır. Çalışmada yapay sulak alandan önce atık suya ön arıtım sistemlerini (Sedimentasyon ve havalandırma) uygulamışlardır. Bunun sonucunda % 96 BOİ₅, % 97 AKM ve % 86 TN giderimi elde etmişlerdir. Şekil 2.11'de hibrit yapay sulak alan ile anaerobik reaktörün birlikte kullanılmasına temsili bir örnek verilmiştir.

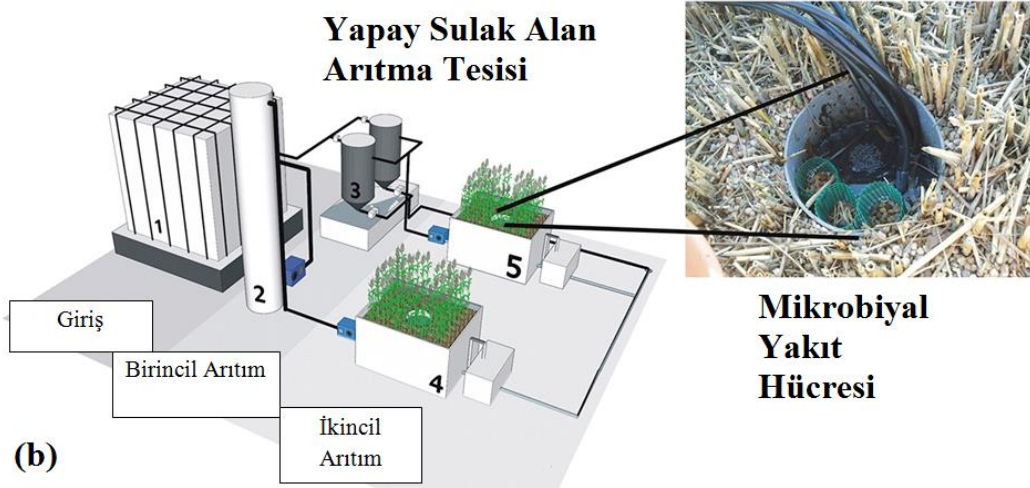
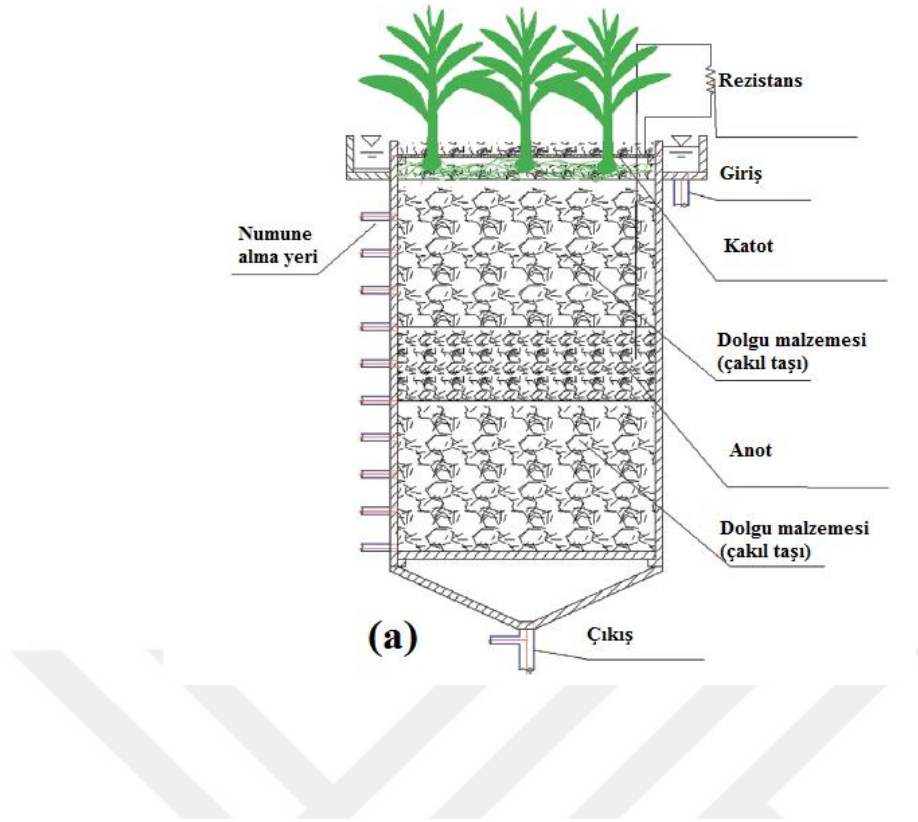


Şekil 2.11. Hibrit Yapay Sulak Alan Sistemleri ile Anaerobik Reaktör Kullanımı Örnek Kombinasyonu (Ayaz, 2015)

Son yıllarda yapay sulak alan sistemlerinin içerisinde mikrobiyal yakıt hücreleride yer almaktadır. Birlikte kurulup oluşturdukları bu hibrit sistemler hem atık su arıtımı hem de biyoelektrik üretimi için oldukça elverişli sistemler olarak görülmektedir (Türker ve Yakar, 2017). Mikrobiyal yakıt hücreleri anot, katot, ayırıcı ve harici bir devreden oluşmaktadır. Sistemin anot kısmı anaerobik bir ortamda bir süre tutulur ve bu sürede çözünmeyen elektron akseptörü gibi davranır. Anotta organik maddelerin oksidasyonu sırasında protonlar açığa çıkar. Atık su ya da ayırıcılar vasıtasıyla da açığa çıkan protonlar katota geçerler. Elektronlar ise dış devreden katota geçerler. Proton ve elektronların katottaki indirgeme tepkimesinde kullanıldığında devre tamamlanmış olur. Nihai elektron alıcısı oksijenle temas ettiğinden kullanılabilirliği ve redoks potansiyeli oldukça yüksektir. Mikrobiyal yakıt hücrelerinde yük dengesini sağlamak amacıyla sistemin içindeki konsantrasyona bağlı olarak anyon ve katyonlar kullanılabilir ve kendilerine gerekli olan redoks gradyanı ortamda doğal olarak bulunabilir. Suyu doymun bir toprağa anot yerleştirilip, katodun da tuzlu suya bağlanması sonucu sediment mikrobiyal yakıt hücreleri oluşturulmuştur. Bu sistemlerde toprakta bulunan organik maddelerin bakteriler tarafından oksitlenmesi sonucu elektrik üretilmektedir ve biyoremediasyon konusunda ilham veren yapıya sahiptirler.

Yapılan bazı çalışmalar sonucunda toprakta dizelin bozunması (Morris vd., 2009), ve fenol gideriminde (Huang vd., 2011) etkili olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra bitki ile birlikte kurulan mikrobiyal yakıt hücreleri oluşturulmuştur. Bu sistemler canlı bitki köklerinde organik bileşiklerin depolanması ve mikroorganizmaların mikrobiyal yakıt hücrelerinde bu organik maddelerden elektrik üretme prensibine dayalı olarak çalışmaktadır (Doherty vd., 2015). Yapay sulak alanlar ve mikrobiyal yakıt hücreleri ayrı sistemler olarak incelendiğinde her biri yoğun olarak çalışılmaktadır. Fakat bu iki sistemin birleşimi yeni gelişen bir teknolojidir. Mikrobiyal yakıt hücreleri yapay sulak alanın akış yönüne sulak alanın derinliğine göre yapay sulak alanlarda doğal olarak bulunan anaerobik anot ve aerobik katot gibi redoks granyanlarına ihtiyaç duymaktadır (Logan, 2008; Yadav vd., 2012; Corbella vd., 2014). Yapay sulak alan ve mikrobiyal yakıt hücrelerinin birlikte çalıştırıldığı sistemlerde organik maddelerin bozunmasında biyolojik sistemlerin temel olduğu görülmektedir. Şekil 2.12’de mikrobiyal yakıt hücreleri ile hibrit sistem kombinasyonları görülmektedir.

Literatürde bu çalışma ilk olarak Yadav vd. (2012) tarafından azo boyası sentetik atık suyunun dikey akışlı bir yapay sulak alan ve grafik plaka elektronları cam yünü ayırıcısının birlikte kullanıldığı sistemde atık su arıtımında kullanılmıştır. Fang vd. (2013) yılında yaptıkları çalışmada azo boyasının renk giderimini araştırmışlardır. Çalışmada *Iphomoea aquatica* bitkisi kullanılmıştır. Sistem iki ayrı biçimde hem bitkili hem bitkisiz olarak iki ayrı yapay sulak sistemini mikrobiyal yakıt hücresi ile birleştirilerek kurulmuştur. Çalışma sonucunda bitkili sistemde % 85.65 KOİ giderimi elde edilirken, bitkisiz sistemde % 82.67 KOİ giderimi elde edilmiştir. Sonuç olarak bitkili sistemde anot ve katottaki etkinliğin bitki kökleri yardımıyla renk giderimine etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Oon vd. (2015) yılında dikey akışlı yapay sulak alan ile mikrobiyal yakıt hücresini birleştirmişlerdir. Bu çalışmanın temel amacı olarak sentetik atık suyun arıtımı sırasında elektirik üretimi yaparak çalışmanın performansını değerlendirmek olduğu belirtilmiştir. Çalışma da *Typha latifolia* bitkisi kullanılmıştır ve sistemden % 100 KOİ, % 40 NO₃-N, % 91 NH₄-N giderimi elde etmişlerdir.



Şekil 2.12. Hibrit Yapay Sulak Alan Sistemleri ile Mikrobiyal Yakıt Hücresi Örnek Kombinasyonları (Fang vd., 2013)

- (a) Dikey Akışlı Yapay Sulak Alan Sistemi ile Mikrobiyal Yakıt Hücresi hibrit sistemi
- (b) Mikrobiyal Yakıt Hücresi ile Kurulmuş Yapay Sulak Alan Tesis Kesiti

2.9 Kirletici Parametrelerin Yapay Sulak Alanlarda Giderim Mekanizmaları

Yapay sulak alan içerisinde gerçekleşen biyokimyasal çevrimler indirgenebilen organik maddelerin konsantrasyon ve karakteristiğinin değişmesinde rol oynayan mekanizmalardır. Bu döngüler gazifikasyon, mineralizasyon ve organik maddelerin yeniden biyokütleyle çevrilmesiyle giderimlerini sağlamaktadır. Atık suların içerisinde bulunan organik maddeler biyokütlenin sentezlenmesi ve enerji kaynağı amacıyla kullanılır. Bu durumda gerçekleşen tepkimeler enerji üretiminde, hücre yapıtaşlarının sentezlenmesinde ve molekülleri organizmaların kullanımı için hazır biçime getirir. Çizelge 2.5 sulak alanlarda gerçekleşen giderim mekanizmalarını göstermektedir (Vymazal vd., 1998). Yapay sulak alanlardaki faaliyetler mikroorganizmalar yardımı ile gerçekleşmektedir. Bunlara örnek olarak prozoa, alg, mantar ve mayalar verilebilir. Bu canlıların sulak alanlardaki işlevleri fazla miktardaki inorganik ve organik maddelerin çözünemeyen ve pasif olan maddelere dönüşümünü sağlamak, kullanılan nütrientlerin tekrar kullanımını sağlamak ve sulak alan içerisindeki oksidasyon-redüksiyon şartlarını değiştirmektir (Reddy ve D'Angelo, 1997; Demirörs, 2006).

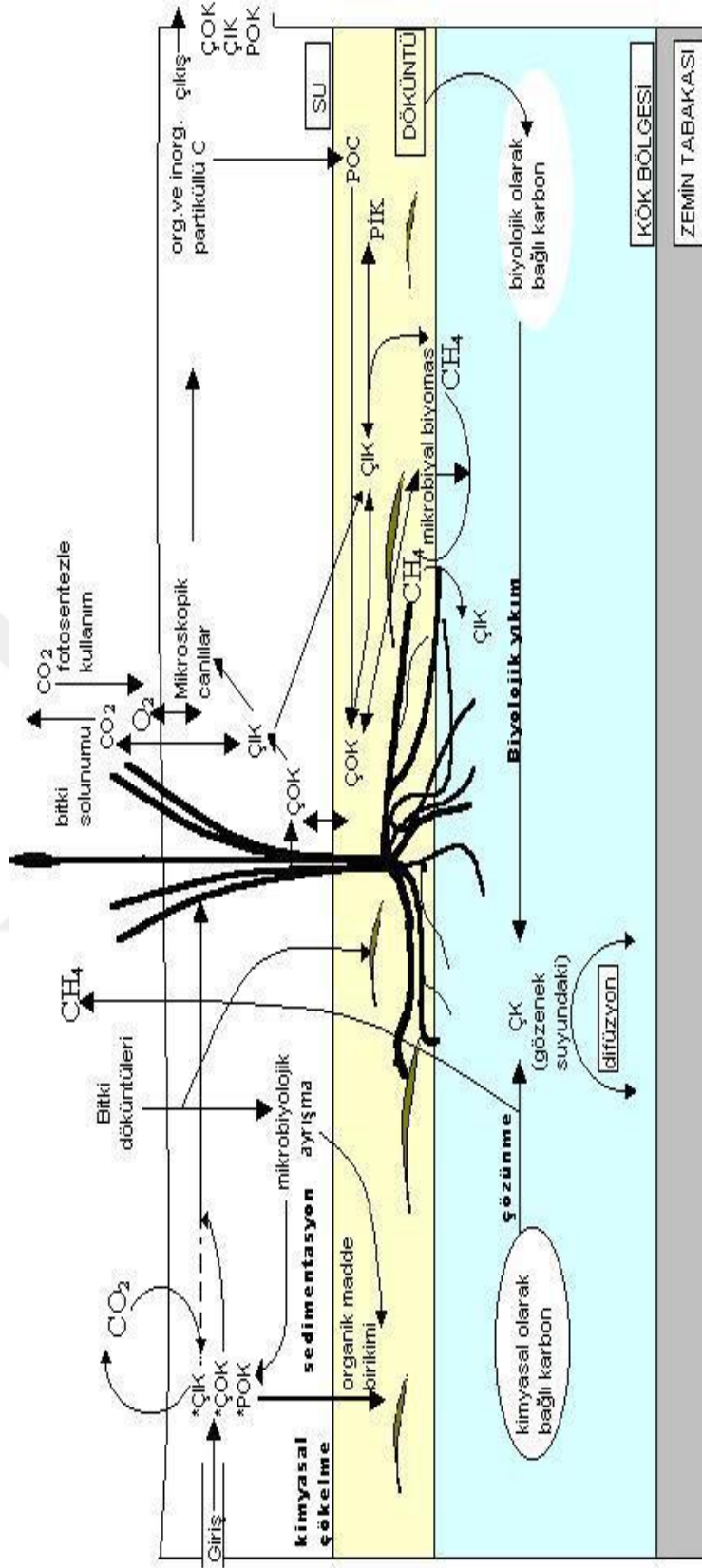
Çizelge 2.5. Sulak alanlarda gerçekleşen giderim mekanizmaları (Vymazal vd., 1998)

Parametre	Giderim Mekanizması
AKM	Çökelme, Süzülme
BOİ	Biyolojik ayrışma, Çökelme
AZOT	Amonyaklaşma, Nitrifikasyon / Denitrifikasyon, Bitkilerin kullanımı
FOSFOR	Çökelme ve adsorbsiyon, Bitkilerin kullanımı
PATOJEN	Çökelme, Ölüm, U.V. Radyasyonu, Bitki köklerinden antibiyotik salgısı

2.9.1 Sulak Alanlarda Karbon Giderimi

Yapay sulak alan sistemlerinde organik maddelerin gideriminde mikrobiyolojik bozunma büyük önem taşımaktadır. Sulak alanın filtre malzemesine, bitkilerin kök ve rizomlarına tutunmuş haldeki mikroorganizmalar aerobik ve anaerobik biçimde bozunurlar. Bu mikroorganizmalar artarak organik maddeleri son ürün olan gaz haline çevirirler. Organik maddeler ortamdaki oksijen miktarına göre anaerobik, aerobik ve anoksik kısımlarda bozunmaya uğrarlar (Rousseau, 2005; Vymazal vd., 1998b; Demirörs, 2006). Atıksuların karakteristiğindeki sülfür, oksijen, karbon ve azot miktarlarına göre organik maddelerin oluştuğu belirtilmiştir. Organik maddelerin bir bölümü nitrat, demir ve sülfürün indirgenmesi ile çözünen bileşiklere dönüştürülüp giderilirken, partikül biçimindeki organik maddeler durumundakiler ise çökeltme ile ortamdan uzaklaştırılır (Temel, 2013).

Yapay sulak alanlarda biyokimyasal bozunma işlemleri dipteki birikmelerin yüzeyinde ve bitkinin su altında kalan kısımlarında gerçekleşir. Sistemlerde aerobik şartların sağlanması için oksijenin bitkinin yapraklarından köklere doğru taşınması gerekir. Bu sırada biyokimyasal tepkimeler ortamın yüzeyinde ve bitkinin su altında kalmış bölümlerinde biyofilm tabakasında meydana gelir. Arıtımın gerçekleşmesi için gerekli aerobik şartların sağlanması bitkinin köklerine taşınan oksijen yardımıyla olur. Yapay sulak alan sistemlerinin projelendirilme aşamasında organik madde giderimi, hidrolik koşullar ile birlikte düşünülen bir parametredir (Rousseau, 2005; Demirörs, 2006). Şekil 2.13'te karbon giderim mekanizması görülmektedir.



Şekil 2.13. Yapay Sulak Alanlarda Karbon Giderim Mekanizmaları (Kadlec ve Knight, 1996; Zaimoğlu ve Bozkurt, 2010)

ÇİK: Çözünmüş İnorganik karbon

ÇOK: Çözünmüş Organik Karbon

POK: Partiküler Organik Karbon

PİK: Partiküler İnorganik Karbon

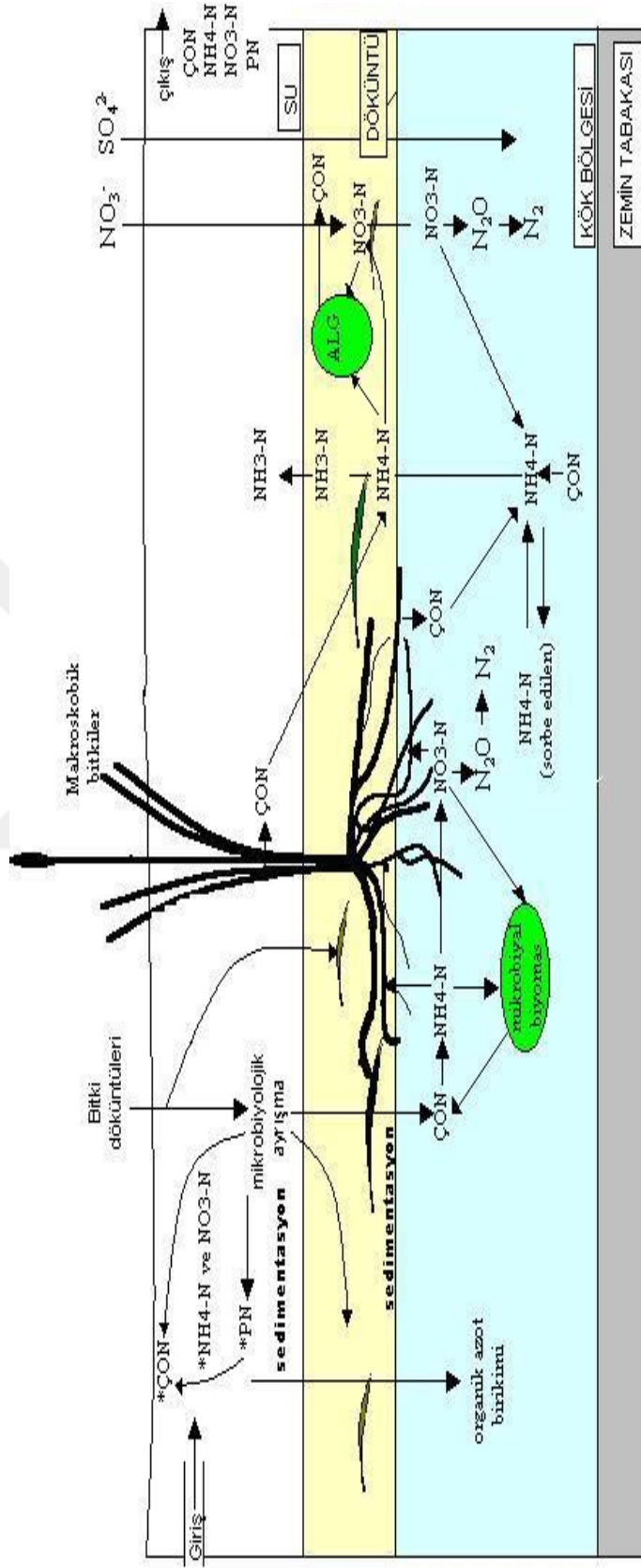
2.9.2 Sulak Alanlarda AKM Giderimi

Yapay sulak alanlarda kolayca çökebilen katılar hidrolik alıkonma süresi uzun olan sistemlerde yerçekimi ile çökelirler. Çökelemeyen katı parçacıklar ise adsorpsiyon, biyodegradasyon ve filtrasyon ile giderilirler (Rousseau, 2005; Vymazal vd., 1998b; Othman, 2007). Yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanlarda askıda katı maddelerin giderimi kimyasal çökelme, filtrasyon ve çökelme işlemleri ile gerçekleşmektedir. Atık su içerisinde yer alan katı maddeler suyun hızlı, sulak alanın derinliği, partiküllerin boyutu ve sıcaklık gibi etmenlere bağlı olarak çökerler. Yapay sulak alanlarda katı parçacıkların çökmesi sistemdeki atıksuyun içerdiği organik maddelerin özelliklerine göre yumaklı ya da taneli biçimde olmaktadır. Sık vejetasyon görülen sistemlerde AKM giderimi katıların bitkilerin arasından geçerken tutulması ve birçok kimyasal yöntem ile çözünebilen katıların çözünemeyen katı bileşikler haline dönüştürülüp çökmesidir (Rousseau, 2005). Yüzey altı akışlı sistemlerde askıda katı madde giderimi kök bölümündeki adsorpsiyon ile olur. Bu sistemlerde çoğunlukla parçacıkların sistemi tıkaması sonucu sistemde aksaklıklar ile karşılaşılır. Tıkanmaların önüne geçmek amacıyla ön arıtım olarak septik tanklar kullanılabilir (Temel F, 2013).

2.9.3 Sulak Alanlarda Azot Giderimi

Biyolojik yaşamın temelini inorganik ve organik azot formları oluşturmaktadır (Vymazal, 2007). Yapay sulak alanlarda azot; çözünmüş, partikül, inorganik ve organik azot formları şeklindedir. Sulak alanlardan azot giderimi, denitrifikasyon, nitrifikasyon, bitki alımı, zeminde depo edilme ve mikrobiyolojik alım ve amonifikasyon ile gerçekleşir (Lee, 1999; Sim, 2003; Demirörs, 2006; Othman, 2007; Vymazal, 2007; Temel, 2013). Aerobik şartlardaki yapay sulak alan sistemlerinde organik azotun amonifikasyonu ile oluşan azot, nitrifikasyona uğrar ve denitrifikasyon ile sistemden uzaklaştırılır (Temel, 2013). Optimum sıcaklığın 40-60 °C olduğu ve pH aralığı 6.5-8.5 olan durumlar amonifikasyon için elverişli şartlardır. Yapay sulak alan sistemlerinde atık sular yatakların üstünden süzülürken nitrifikasyon gerçekleşmektedir. Nitrifikasyon, amonyağın ototrofik bakteriler tarafından indirgenip nitrat oluşmasına yol açmasıdır.

Bu mekanizmada *nitrosomonas* ve *nitrobacter* bakterileri önemli rol oynamaktadır. Denitrifikasyon olayı ise heterotrofik canlılar aracılığıyla gerçekleşmektedir. Denitrifikasyon prosesinin hızı sistemde bulunan mevcut organik karbon sayesinde tespit edilir. Suyun içindeki azot çevrim sistemindeki atmosfer, biyokütle ve sulak alanın dolgu malzemesine bağlı olarak değişiklik gösterir. Biyokütlenin parçalanması ile organik azot oluşmaktadır ve oluşan bu azot daha sonra amonifikasyon ile amonyağa dönüşür. Oluşan amonyak ise bitki alımı, amonyak uçuşması, nitrifikasyon ve adsorplama ile kaybolmaktadır. Sulak alanlarda azot bitki tarafından alınıp besin olarak kullanılmaktadır. Yapay sulak alanlarda üst kısımda alt kısma sırası ile su tabakası, suyun içindeki organikler ve toprak bulunmaktadır. Bu durum denitrifikasyonun gerçekleşmesi adına zemin hazırlar ve aerobik-anaerobik tabakayı oluşturur. Amonyak ve organik azot; aerobik koşullarda nitrifikasyon ile nitrit-nitrata çevrilirken, anaerobik koşullarda azota indirgenir ve atmosfere gönderilir. Yapay sulak alanların azot giderim miktarı hidrolik yükleme oranı, azot/karbon oranı ve alıkonma sürelerine göre değişiklik göstermektedir (Zaimoğlu ve Bozkurt, 2010). Şekil 2.14'te azot giderim mekanizması görülmektedir.



Şekil 2.14. Yapay Sulak Alanlarda Azot Giderim Mekanizmaları
(Kadlec ve Knight, 1996; Zaimoğlu ve Bozkurt, 2010)
ÇON: Çözünmüş Organik Azot
PN: Partiküler Azot

2.9.4 Sulak Alanlarda Fosfor Giderimi

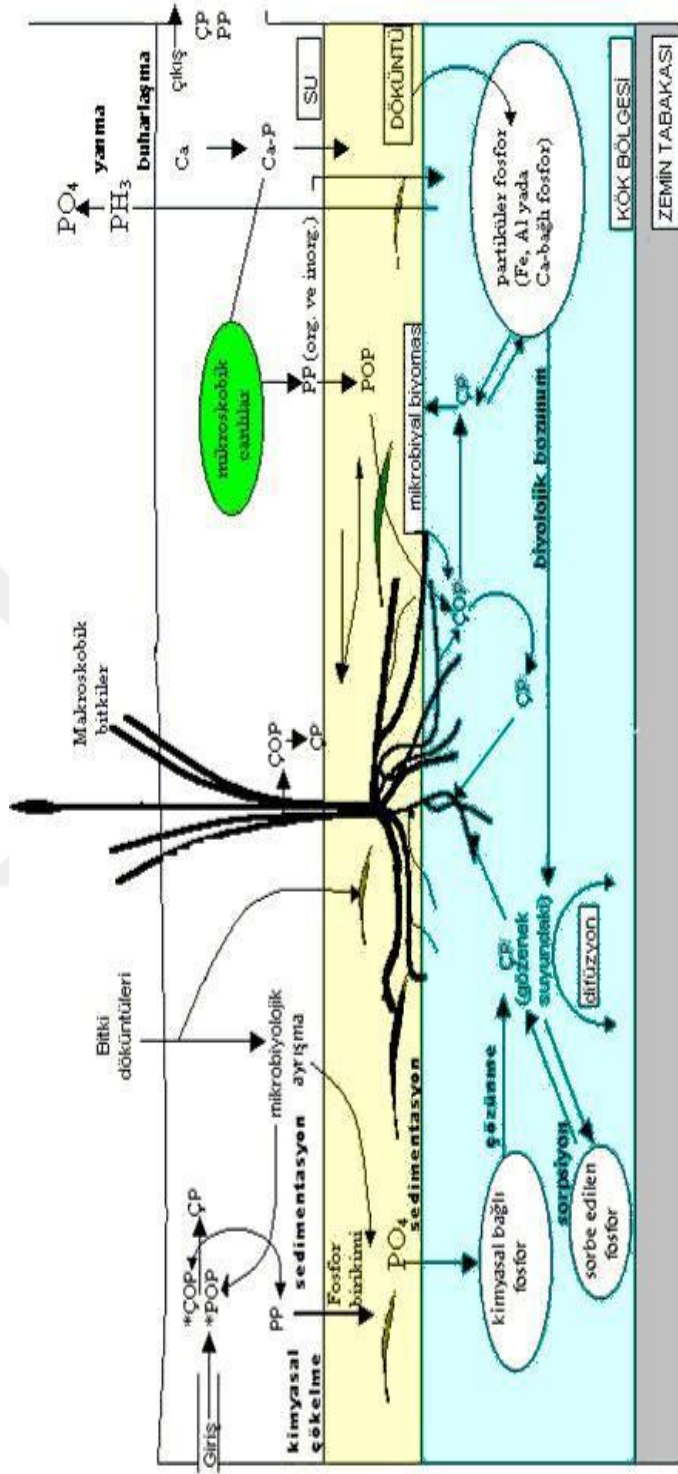
Yapay sulak alan sistemlerinde fosfor inorganik ve organik formlar olarak yer alırlar. Bu iki formun oranı sulak alanlarda kullanılan bitkiye, toprağa ve sulak alan havzasının bulunduğu arazi kullanım yapısına bağlıdır. Fosforun sulak alanlardaki değişimlerini takip etmek amacıyla aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir. Şekil 2.15'te fosfor giderim mekanizması gösterilmiştir.

1. Çözünmüş organik fosfor
2. Çözünmüş inorganik fosfor
3. Çözünmez organik fosfor
4. Çözünmez inorganik fosfor

Çözünmüş organik fosfor biyolojik biçimde kullanılabilirken, çözünmeyen organik fosforun biyolojik olarak kullanılabilmesi için inorganik formlara dönüştürülmesi gerekmektedir (Reddy ve Delaune 2008). Yapay sulak alanlarda fosfor giderim işlemi; absorpsiyon, çökelme, filtrasyon ve adsorpsiyonun birlikte gerçekleşmesi ile olmaktadır (Sakadevan ve Bavor 1998, Forbes 2002). Sulak alan sistemleri fosforun bütün formlarının dönüşümünde uygun zeminler sağlar. Çözünebilen fosfor sediment ya da toprak tarafından emilir veya bitkilerin alınımı ile dokularda kullanılabilir. Organik yapılı fosfor oksidasyona uğradığı zaman çözünebilir fosfor açığa çıkar (Kadlec ve Knight 1996). Sulak alanlardaki fosfor çevrimleri adsorpsiyon, çökelme, bitkisel ve mikrobiyal alım şeklinde sıralanabilir (Vymazal, 2007). Adsorpsiyon, çözünebilen inorganik fosforun toprağın gözenek suyundan mineral yüzeylere hareket etmesi ile gerçekleşir. Çökelme, fosfat iyonlarının ortamdaki Mg, Ca, Fe veya Al ile reaksiyona girerek fosforun çözünmeyen katılar haline dönüşüp çökmesi ile açıklanabilir (Sivrioğlu, 2010). Sulak alanlarda bulunan mikroorganizmalar gelişmeleri için fosforu bünyelerine alırlar. Fosforu mikroorganizmalar çok hızlı bir şekilde bünyelerine alırken, bitkiler çok yavaş biçimde alırlar. Fosforun büyük bir bölümü toprağın içinde kalan bitki kökleri ile bitki bünyesine dahil olur. Ayrıca fosfor bir nütrient olarak değerlendirildiğinden sulak alana dahil olduklarında biyokütleyi artırır ve bitki gelişimini sağlar ve dolayısıyla daha fazla atığın oluşmasına yol açar (Temel, 2013).

Sulak alan sistemlerinde toprak ve atık suyun yeterli derece temas etmemesi sebebiyle fosfor gideriminin çok yüksek bir performansı olmadığı belirtilmektedir. Fakat kullanılan sistemlerdeki dolgu malzemeleri fosfor giderimi açısından uygun katmanlardan oluşturulduğunda fosforun giderim performansı artabilmektedir. Atık su yatağında çakıl taşı kullanılıyorsa az miktarda fosfor giderilirken, dolgu malzemesi olarak kil kullanılması fosfor giderimi daha yüksek olmaktadır (Vymazal vd., 1998b; Lee, 1999; Demirörs, 2006; Temel, 2013).





Şekil 2.15. Yapay Sulak Alanlarda Fosfor Giderim Mekanizmaları
(Kadlec ve Knight, 1996; Zaimoğlu ve Bozkurt, 2010)

ÇOP: Çözünmüş Organik Fosfor

POP: Çözünmüş Organik Fosfor

PP: Partiküler Fosfor

2.9.5 Sulak Alan Bitkilerinde Oksijen Transferi

Sulak alan bitkilerini, doymuş toraklarda yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilen bitkiler olarak açıklayabiliriz. Bu bitkilerin bitkilerinin kök ve toprak altında yetişen yumruları için oksijen son derece gereklidir. Oksijen doymuş koşullarda kök bölgelerin de zehirli madde birikimini önlemektedir (DLWC, 1998). Bitkilerin yumruları ve kök kısımlarına oksijen taşınmasını sağlayan hava boşlukları yardımıyla anaerobik şartlara adapte olurlar. Bu hava boşlukları toplam dokunun % 60'ını oluşturmaktadır (ITRC, 2003).

2.10 Literatür Çalışmaları

A Patates İşleme Atık Sularının Arıtımında yapılan çalışmalar

- De Zeeuw vd. (1990) yılında patates nişastası atık suyu arıtımı amacıyla yapay sulan sistemi kullanmışlardır. Çalışmada *Phragmites australis* bitkisi seçilmiştir. Sistemde % 92 KOİ giderimi elde etmişlerdir.
- Kadlec vd. (1997) yılında yaptıkları bir çalışmada patates işleme atık suyundan kirliliği uzaklaştırmak amacıyla sulak alan sistemleri kurmuşlardır. Çalışma sonucunda dikey akışlı sistemden % 95 KOİ , % 94 askıda katı madde, % 60 NH₄-N giderimi gerçekleştirmişlerdir.
- Burgoon vd. (1999) yılında yaptıkları çalışmada, patates atıksuyunu serbest yüzey akışlı ve dikey akışlı doğal sulak alan sistemleri ile *Scirpus Validus* ve *Typha latifolia* kullanılarak arıtmayı denemişler, % 75 kışın, % 95 yazın olmak üzere COD giderimi elde etmişlerdir.
- Öztürk vd. (2003), patates işleme endüstrisinde oluşan atıksuları kimyasal ve biyolojik olarak arıtan iki kademeli arıtma tesisinin veriminin ve deşarj suyu kalitesinin uzun süreli değerlendirilmesini araştırmışlardır.. Kirlilik parametresi olarak KOİ, toplam fosfor, amonyak, AKM ve nitrat azotu parametrelerini incelemişlerdir.1 yıl boyunca kaydedilen verilerden hareketle istatistiksel analizi neticesinde; havasız ve havalı ünitelerde ortalama olarak % 86'lık KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

- Barampouty vd. (2003) yılında patates işleme atık suyu arıtma tesisinden aldıkları verilerle UASB reaktöründe biyogaz üretim oranını tahmin etmek amacıyla dinamik modelleme tekniği kullanmışlardır. Bu yöntemde teknik olarak çıkış verilerinin regresyon analizi incelenmiştir. Sonuç olarak bu modelleme tekniğinin biyogaz üretim oranı tahmin etmekte etkili olduğunu görmüşlerdir.
- Sayed vd. (2005) yılında patates işleme endüstrisi atık suyunu membran biyoreaktörlerde arıtmayı denemişlerdir. Çalışma sonucunda % 99.08 KOİ, % 99.85 BOİ₅, % 99.78 TKN, % 98.70 NH₄-N ve % 77.67 PO₄-P giderimi gerçekleştirmişlerdir.
- Nowak vd. (2010) yılında patates işleme atık suyunun arıtımını aerobik termofilik işlemlerle sağlamışlardır. Bu yöntemle kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam organik karbon, toplam azot ve toplam fosfor uzaklaştırma derecesi incelenmiştir. Sonuç olarak gerçekleşen biyolojik bozunumların çevre dostu bir arıtım olabileceğini görmüşlerdir.
- Şentürk vd. (2010) yılında çalıştığı doktora çalışmasında patates işleme endüstrisi atık sularının anaerobik tam karışimli kontak reaktörde mezofilik ve termofilik şartlarda arıtılabilirliğini araştırmıştır. Bu çalışmasında Farklı organik yükleme hızında ve farklı hidrolik bekleme süresinde anaerobik arıtma için önemli olan parametrelerin (giderme verimi, uçucu yağ asitleri ve gaz kompozisyonu) seyri takip edilmiştir. Termofilik şartlarda yapılan çalışmalarda uygulanan 0,6-8 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükleme hızlarında kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderim verimi % 86-97 ve biyogazdaki metan içeriği % 68-89 olarak bulunmuştur. Mezofilik şartlarda yapılan çalışmalarda uygulanan 1,1-5 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükleme hızlarında ise KOİ giderim verimi % 78-92 ve biyogazdaki metan içeriği % 80-89 olarak bulunmuştur. Termofilik ve mezofilik denemelerden elde edilen sonuçlar ışığında termofilik anaerobik kontakt reaktörde daha yüksek organik yükleme hızlarında çalışılabileceğini açıklamıştır.

- Durruty vd. (2012) yılında patates işleme atık suyunda anaerobik metan ve metan üretimini ve metanojenezin ortaya çıkarmakta olduğu mikrobiyal yakıt hücresi teknolojisini araştırmışlardır. Sonuç olarak bu yöntemin KOİ gidermede etkin olduğunu ve yüksek derecede enerji üretildiğini görmüşlerdir.
- Liu vd. (2013) yılında patates işleme atık suyundan çıkan proteini geri kazanmak için sıcaklık, pH, hacimsel hava akış hızı, sıvı yükleme hacmi ve köpük ayırma performanslarındaki dağılma zamanı spiral iç bileşenli sütun kullanarak araştırmışlardır. Bu yöntemde patates proteininin hem zenginleştirme oranını hem de geri kazanım yüzdesini iyileştirmek için iki aşamalı köpük ayırma teknolojisi tasarlamışlardır. Sonuç olarak yöntemin patates proteini zenginleştirme oranının yüksek olduğunu görmüşlerdir ve iki aşamalı köpük ayırma teknolojisi ile patates işleme atık suyundan protein elde edilebileceğini görmüşlerdir.
- Abanoz (2012) yılında çalıştığı yüksek lisans çalışmasında patates işleme atık suyundan biyoetanol üretiminin *Vitreoscilla* hemoglobini (VHb) aracılığı ile artırılması araştırmıştır. Çalışmasında elde edilen verilere göre, fazla maddi yükü olmayan patates işleme atık suyu hidrolizatı ile vgb/VHb sisteminin sanayide biyoetanol üretiminde potansiyel olarak kullanılabileceğini ve avantajlı olabileceğini göstermiştir.
- Topaloğlu (2012) yılında çalıştığı yüksek lisans tezinde patates işleme atıksularının termofilik püskürtme çevrimli membran biyoreaktörlerle arıtımını incelemiştir. Bu çalışmada yakın bir geçmişi olan püskürtme çevrimli membran biyoreaktör patates işleme endüstrisi atıksularının arıtımında denemiştir. Püskürtme çevrimli reaktör, çözünmüş oksijen konsantrasyonunun homojen olmasından faydalanılarak termofilik olarak işletmesini araştırmıştır. Bu sisteme ait kinetik ve stokiyometrik katsayılar, respirometrik yöntemle bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada kullanılan reaktör yüksek kirlilik yüküne sahip çiftlik atıksu arıtımında, gıda endüstrisinde, evsel atıksu arıtımında, zeydin yağı atıksu arıtımında, kağıt endüstrisi atıksuların arıtımında, patates atıksuyu arıtımında ve sızıntı atıksuyu arıtımında kullanılabiliğini kanıtlamıştır.

- Kato vd. (2013) yılında patates nişastası atık suyunu kullanarak ile *Pragmites* bitkisini kullanarak kurdukları hibrit yapay sulak alan sisteminde % 93 bir KOİ giderimi elde ettiklerini belirtmişlerdir.
- Muniraj vd. (2013) yılında patates işleme atık suyunun yağlı lifli mantar olan *Aspergillus oryzae* ile lipid üretimi için kullanılmasını ve patates işleme atık suyunun biyodizel geri dönüşümü amacıyla incelemişlerdir. Atık su içindeki fosfatın lipid birikiminde etkili olabileceğini görmüşlerdir. Ayrıca lipid üretimine ek olarak % 91 KOİ, % 98 toplam çözünür azot ve % 97 fosfor giderimi elde etmişlerdir. Lipitlerin ikinci nesil biyodizel üretimi için uygun olduğu sonucuna varmışlardır.
- Dabestani vd. (2017) yılında yaptıkları bir çalışmada patates işleme atık suyundan protein geri kazanımı amacıyla ön arıtma ve membran sistemlerden yararlanmışlardır. Çalışma sonucunda % 72 protein geri kazanımı sağlanmıştır.

B. Hibrit Yapay Sulak Alan İle İlgili Yapılan Çalışmalar

- Shrestha vd. (2001) yılında Nepal’de hastane ve kanalizasyon atık suları arıtımı amacıyla iki aşamalı bir hibrit yapay sulak alan çalışması yapmışlardır. Çalışma sonucunda % 94-97 KOİ, % 97-99 AKM ve % 80-99 NH₄-N giderimi elde etmişlerdir.
- Belmont vd. (2004) yılında evsel atık suyun arıtımı amacıyla bir hibrit yapay sulak alan sistemi inşa etmişlerdir. Çalışmada *Typha Angustifolia* bitkisi kullanılmıştır. Sonuç olarak % 84.9 KOİ, % 58.6 AKM, % 53.9 NH₄-N, % 81.7 NO₃-N ve % 71.7 NO₂-N giderimi gerçekleştiğinin belirtmişlerdir.
- Rivas vd. (2011) yılında Meksika’da evsel atık suyun arıtımı amacıyla hibrit yapay sulak alan sistemi kurmuşlardır. Çalışmada % 91-93 KOİ ve % 56-88 TN arıtımı gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir.
- Saeed ve Sun (2013) yılında yaptıkları çalışmada; 2 adet laboratuvar ölçekli hibrid sistem yapay sulak alanlar kullanarak tekstil atıksuyu arıtmışlardır. Sistemler sırasıyla düşey ve yatay olarak kombine edilmiş farklı organik yükleme oranlarında çalışılmıştır. Sistemlerde % 74-79 BOD₅ ve % 59-66 Amonyum giderimi izlemişlerdir.

- Maurizio vd. (2013) yılında Kuzey İtalya’da hayvan çiftliği atık suyunu hibrit yapay sulak alan sistemi ile arıtmayı denemişlerdir. Bitki olarak *Canna Indica* ve *Symphytum officinale* kullanılmıştır. Çalışma üç adet dikey akışlı sistemi 1 adet yatay akışlı sistem takip edecek biçimde tasarlanmıştır. Yatay akışlı sistemin daha yüksek oranda KOİ giderimine etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda % 79 KOİ, % 64 TN, % 63 NH₄-N ve % 53 NO₃-N giderimi sağlanmıştır.
- Zheng vd. (2014) yılında Çin’de kirlilik oranı yüksek nehir sularını arıtmak için hibrit yapay sulak alan sistemi kurmuşlardır. Sistem 1 adet yüzey akışlı 1 adet yüzeyaltı akışlı reaktörlerden oluşmaktadır. Çalışmada katman olarak çakıl taşı, kum ve curüf kullanılırken, bitki olarak ise *Phragmites australis* kullanılmıştır. Çalışma sonucunda yüzey akışlı sistemde en iyi giderim % 54 ile NH₃-N’ de görülmüştür. Yüzeyaltı akışlı sistemde ise en iyi giderimi % 53.7 ile TN’ de elde etmişlerdir.
- Zepater- Pereya vd. (2015) yılında evsel atık suyu arıtmak amacıyla üç farklı hibrit yapay sulak alan sistemi kurmuşlardır. Katman olarak çakıl taşı ve kum kullanılırken, bitki olarak *Phragmites australis* kullanmışlardır. Çalışma sonucunda %87 KOİ, % 91 AKM, % 85 NH₄-N giderim oranlarını elde etmişlerdir.
- Sehar vd. (2015) yılında yaptıkları çalışmada; yüzey altı akışlı hibrid sulakalan sistemleri ile farklı tür bitkiler kullanılarak evsel atık su arıtımı denemişler. Yatay akış, Dikey akış ve bitkisiz kum filtre sistemi kombine edilerek evsel atıksu arıtımı gerçekleştirilmiştir.% 80 AKM giderimi gerçekleşmiş olup patojen bakteri miktarında da azalma izlemişlerdir.
- Avila vd. (2015) yılında anaerobik reaktör destekli üç farklı kombinasyonda hibrit yapay sulak alan çalışması yapmışlardır. Çalışmayı anaerobik reaktörü iki adet dikey akışlı, bir adet yatay akışlı, bir adet yüzey akışlı sistem takip edecek biçimde tasarlamışlardır. Dikey akışlı reaktörlerde katman olarak kum, çakıl taşı ; yatay akışlı reaktörlerde ise sadece çakıl taşı kullanmışlardır. Çalışmada *Phragmites australis* bitkisini tercih etmişlerdir. Sonuç olarak % 82 KOİ, % 96 AKM, % 93 BOİ₅, % 75 NH₄-N giderimlerini elde etmişlerdir.

- Vymazal ve Kröpfelova (2015) yılında maksimum azot giderimi elde etmek amacıyla hibrit yapay sulak alan çalışması yapmışlardır. Çalışma birbirine bağlı 2 adet dikey akışlı reaktörün 1 adet yatay akışlı reaktöre seri olarak bağlanması olarak tasarlanmıştır. Çalışmada doldu malzemesi olarak 1.dikey akış reaktöründe kırma taş, 2.dikey akış reaktöründe kum, yatay akış reaktöründe kırma taş tercih edilmiştir. Bitki olarak dikey akış reaktörlerinde *Phragmites australis*, yatay akış reaktöründe *Phalaris arundinacea* kullanmışlardır. Çalışma sonucunda % 83.8 KOİ, % 92.5 BOİ₅, % 86 AKM, % 88 NH₄-N ve % 79.9 TN giderimi elde etmişlerdir.
- Ayaz vd. (2015) yılında evsel atık suların arıtımı amacıyla hibrit yapay sulak alan sistemi kurmuşlardır. Çalışma 1 adet yatay akışlı reaktörü 1 adet dikey akışlı reaktör takip edecek biçimde tasarlanmıştır. Dolgu malzemesi olarak dikey akışlı reaktörde çakıl taşı, mermer taşı ve kireç taşı kullanılırken, yatay akışlı reaktörde sadece çakıl taşı kullanılmıştır. Çalışmada *Phragmites australis* bitkisini tercih etmişlerdir. Sonuç olarak % 95 'in üstünde organik madde giderimi, %90'ın üstünde azot giderimi elde etmişlerdir.
- Huang vd. (2016) yılında evsel atık su arıtımı amacıyla üç adet farklı kombinasyonlar hibrit yapay sulak alan sistemi kurmuşlardır. Çalışmada bekleme süresi ve besleme zamanının etkisini araştırmışlardır ve düşük bekleme süresinin KOİ ve NH₄-N gideriminde olumlu yönde etkisi olduğunu belirtmişlerdir.
- Torrios vd. (2016) yılında evsel ve endüstriyel atık suların arıtımı amacıyla sekiz farklı kombinasyonda hibrit yapay sulak alan sistem çalışması yapmışlardır. Sonuç olarak her bir sistemin AKM, KOİ, BOİ₅ gideriminde % 95 ten fazla etkisi olduğunu belirtmişlerdir.
- Maucieri vd. (2016) yılında sera gazlarının emisyon sınırlarını arıtmak için hibrit yapay sulak alan sistemleri kurmuşlardır. Sistem üç adet yüzey akışlı sistem ile biri yatay biri düşey olmak üzere toplam 2 adet yüzeyaltı akışlı sistemin birbirini izlemesi sonucu oluşmuştur. Çalışma sonucunda % 89.2 KOİ, % 90 TN, % 89 NH₄-N ve % 49.9 PO₄-P giderimi elde ettiklerini belirtmişlerdir.

- Tejada vd. (2016) yılında Meksika’da bir tür ilaç olan Carbamazepine’in arıtımı için hibrit yapay sulak alan sistemi kurmuşlardır. Çalışma üç farklı hibrit sistem şeklinde tasarlanmıştır. Birinci sistemde 1 adet yatay akış reaktörünü 1 adet dengeleme havuzu takip etmiştir. İkinci sistemde 1 adet dikey akışlı reaktörü 1 adet yatay akışlı reaktör takip etmiştir. Üçüncü ve son sistemde ise 1 adet yatay akışlı reaktörü 1 adet dikey akışlı reaktör takip etmiştir. Bu reaktörlerin her birine *Thypha latifolia*, *Iris sibirica* ve *Zantedeschia aethiopica* bitkileri karışık kültür oluşturacak biçimde ekilmiştir. Sonuç olarak Carbamazepine arıtımında 1.sistemin % 59, 2. sistemin % 62.5 oranında etkili olduğunu belirtmişlerdir.
- Türker ve Yakar (2017) yılında yaptıkları çalışmada hibrit yapay sulak alan sistemi ile mikrobiyal yakıt hücrelerini birleştirerek yüksek miktarda bor içeren atık suların arıtımı ile aynı zamanda biyoelektrik üretimini denemişlerdir. Çalışmanın yapay sulak alan bölümünde *Typha latifolia* bitkisini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda % 63.4 bor giderimi, % 47 NO₃-N ve % 19.1 NO₂-N giderimi sağladıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca maksimum akım ve güç yoğunluğu hibrit sistemin son çıkışı için 78 mWatt/m² ve 105 mA/m² olarak kaydedilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, patates işleme fabrikasının kabuk soyma ünitesinin çıkış suyu bölümünden alınan atık suyun yapay sulak alan sistemleri ile arıtımı incelenmiştir. Çalışmada dairesel ve dikdörtgen tasarımlı yapay sulak alan reaktörleri kullanılmıştır. Dairesel reaktörler dikey (D) , dikdörtgen reaktörler yatay (Y) olarak tasarlanmış olup, bu sistemlerin birleştirilmesi ile hibrit sistemler oluşturulmuştur. Hibrit sistemlere verilen seyreltik atık su ilk olarak yatay reaktörlere beslenmiştir. Buradan çıkan atık sular doğrudan dikey reaktörlerin giriş sularını oluşturacak biçimde düzenlenmiştir. Çalışma iki set olarak sürdürülmüştür.

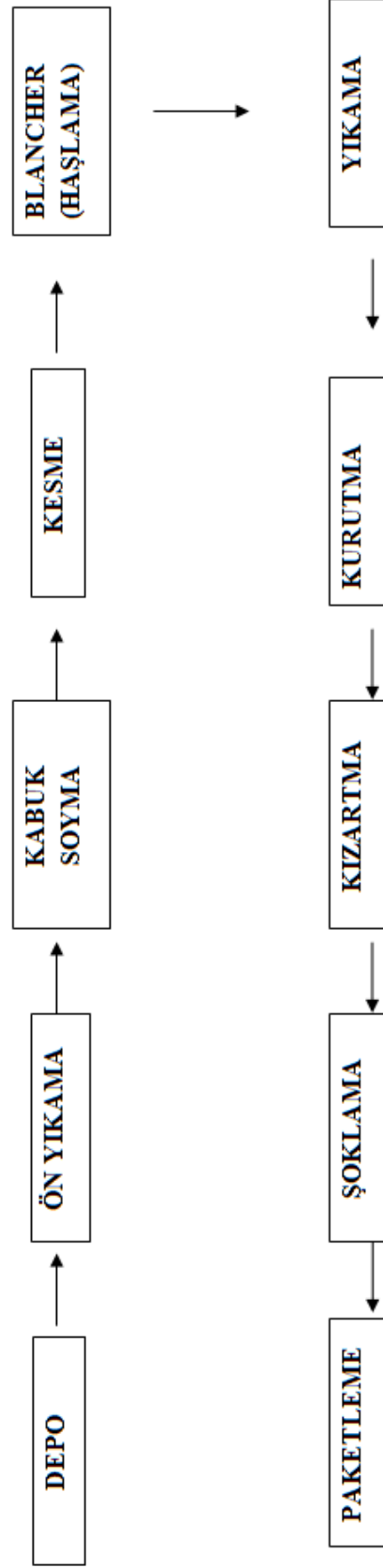
Set-1‘ de Y1: bitkili yatay akış reaktörü, D1: bitkili dikey akış reaktörü ile birlikte hibrit sistem-1‘i (HS-1); Y2: bitkisiz yatay akış reaktörü ve D2: bitkisiz dikey akış reaktörü de birlikte hibrit sistem-2‘yi (HS-2) oluşturmaktadır. Set-2‘de ise Y3: bitkili yatay akış reaktörü ile D3: bitkili dikey akış reaktörü birlikte hibrit sistem-3‘ü (HS-3); Y4: bitkisiz yatay akış reaktörü ve D4: bitkisiz dikey akış reaktörü de birlikte hibrit sistem-4‘ü (HS-4) meydana getirmektedir.

Çalışma boyunca bitkili (HS-1 ve HS-3) hibrit sistemlerde arıtım performansını incelemek amacıyla ‘*Cyperus alternifolius*’ bitkisi kullanılmıştır. HS-2 ve HS-4 sistemleri de kontrol grubu olarak değerlendirilmiştir.

3.1 Ham Patates Atık Suyu

Patates atık suyu Bolu ilinde yer alan BOLPAT A.Ş ‘den 06/08/2015-24/06/2016 tarihleri arasında belirli dönemlerde alınarak çalışmalarda kullanılmıştır. BOLPAT A.Ş. Mudurnu yolu üzerine 5. km’ de yer almaktadır. Fabrikanın genel akış şemasına bakılacak olursa patatesler depolanma, ön yıkama, kabuk soyma, kesme, haşlama (blancher), yıkama, kurutma, kızartma, şoklama ve paketleme işlemlerinden geçmektedirler. BOLPAT A.Ş. ‘ye ait parmak patates üretimi proses akış şeması Şekil 3.1‘ de verilmiştir.

Akış şemasında görüldüğü gibi patatesler boy kalibrasyonu yapılarak fabrikaya alınır. Patatesle gelebilecek olan küçük taş parçaları taş ayırmadan atılarak patatesler ön yıkıma tabi tutulur. Yıkanan patatesler buharlı soyucuya gelirler. Yüksek basınçtaki buhar muamelesiyle patates kabukları gövdeden ayrılır. Yumuşayan kabuk fırçalanarak soyma işlemi tamamlanır (BOLPAT A.Ş.). Ayıklama bandında işçiler, kabukları soyulan patatesteki çürük, hastalıklı kısımları keseler ve patatesler kesme ünitesinde parmak patates haline gelir. Kesme esnasında oluşan kıymık parçalar ile standart dışı ufak patates parçalarından ayrılan parmak patatesler 2. Ayıklama bandında tekrar kontrol edilir. 1. ve 2. Haşlama tankında patatesler belli sıcaklıkta ve belli sürede haşlanır. Haşlanan patatesler kurutucu üniteye gider. Burada patatesteki fazla miktarda su uçurulur. Dengeleme bandı vasıtasıyla kızartma tankına gider. Burada 180 °C kızgın yağda ön kızartma yapılır (BOLPAT A.Ş.).



**Şekil 3.1. BOLPAT A.Ş. Parmak patates üretimi proses akış şeması
(BOLPAT A.Ş.)**

Ürün şoklama tüneline girmeden önce, ön soğutma yapılır ve şoklama ünitelerine girerek şoklanır, paketlenir, metal dedektöründen geçirilir, kolilenir, kolilere üretim kodu atılır ve 18 °C lik şok depolarda muhafaza edilir. Sevkiyatta -18 °C lik araçlarla yapılır.(BOLPAT A.Ş.) Çalışmada kullanılan ham patates atık suları 1/5 oranında musluk suyu ile seyreltilerek kullanılmıştır. Fabrikadan alınan ham atık sular kaba filtreden süzildükten sonra ışık görmeyecek şekilde +4 °C ‘de buzdolabında saklanmıştır. Alınan ham atık suyun özellikleri Çizelge 3.1 de gösterilmiştir.

Analizler yapılmadan önce de ham atık sular 0,45 µm’luk filtrelerden geçirilerek işlem yapılmıştır. Çalışılan her iki hibrit sistem için de birer kez atık su alınmıştır. Reaktörlerin işletim süreci olan 100 gün boyunca haftada iki gün (pazartesi- perşembe) örnek alınmış olup her defasında giriş suyundaki kirletici parametrelerde kontrol edilmiştir.

Yapılan çalışmada Set-1’in Y1, D1, Y2 ve D2 reaktörlerinin çıkış atık suları ile sisteme verilen seyreltik giriş atık suyu Biyotar Organik Tarım Orman Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş.’nin su analiz laboratuvarına gönderilmiştir. Sonuçlar Ek-D’ de verilmektedir.

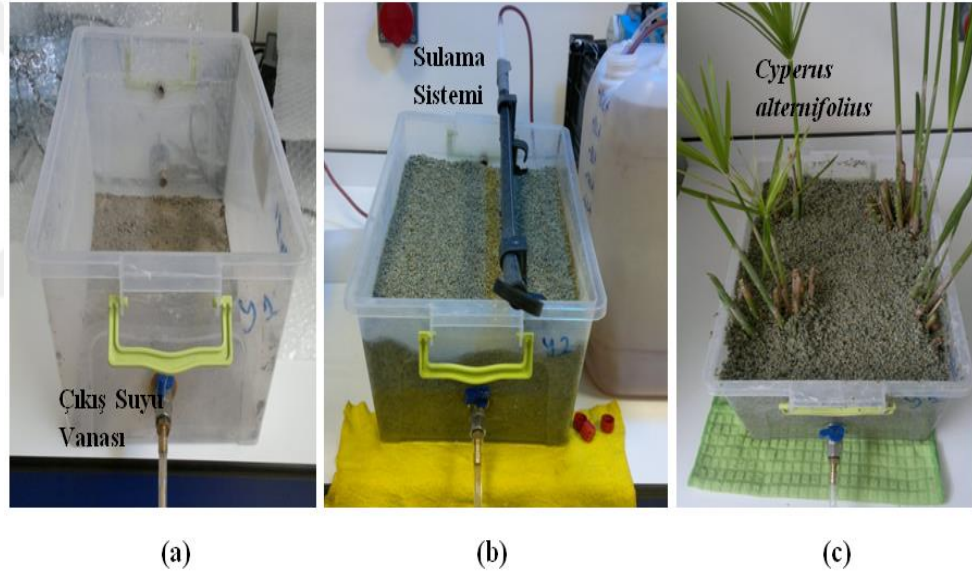
Çizelge 3.1. Çalışma süresince BOLPAT A.Ş. ‘den alınan ham atık suların özellikleri

PARAMETRE	ARALIK (Min-Max)	HAM ATIKSU ORTALAMA GİRİŞ DEĞERLERİ
KOİ (mg/l)	2245-2255	2252,5 ± 3,53
NH ₄ -N (mg/l)	80-100	92,5 ± 10,6
NO ₃ -N (mg/l)	15-21,5	19,25 ± 3,18
NO ₂ -N (mg/l)	5,2-6,2	5,8 ± 0,56
PO ₄ -P (mg/l)	9,2-10	9,82 ± 0,10
pH	8,15-8,25	8,21 ± 0,04
ORP (mV)	-43,2-94,7	-69,9 ± 35,0
EC (µS/cm)	690-1202	949 ± 357,8
BULANIKLIK (NTU)	15-20	95,05 ± 7,0
AKM (mg/l)	0,120-0,140	0,645 ± 0,04

3.2 Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Yapay Sulakalan Sistemleri

3.2.1 Dikdörtgen Reaktörler

Dikdörtgen reaktörler, 33(L) x 14,8(W) x 16(H) cm boyutlarında olan ve çalışma yüksekliği 12,3 cm olarak PVC malzemeden yapılmıştır. Örnek almayı sağlamak amacıyla tabandan 3.4 cm yüksekliklere monte edilen 1'er adet ¼ mini küresel vana bulunmaktadır. Reaktörün en altından başlanarak 0-12 cm'de tek katman zeolit bulunmaktadır (Çizelge 3.3). Hidrolik bekleme süreleri ise set-1 için 1,6 gün, set-2 için 2,5 gün olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.4). Dikdörtgen reaktörler Şekil 3.2' de görülmektedir.

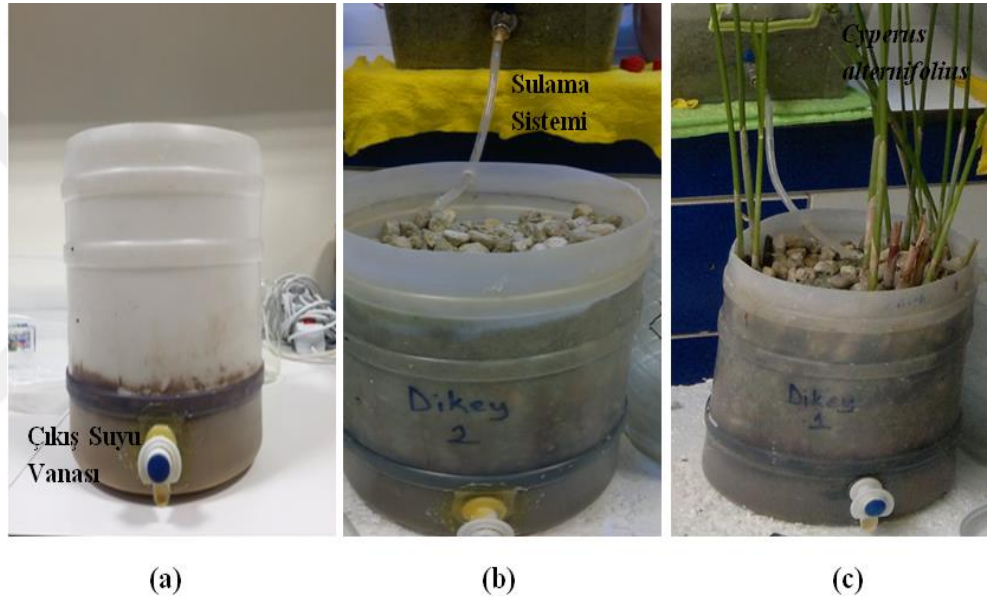


Şekil 3.2. Dikdörtgen Reaktörün Görünümü

- (a) Yatay reaktörün boş görünümü
- (b) Bitkisiz yatay reaktör
- (c) Bitkili yatay reaktör

3.2.2 Dairesel Reaktörler

Dairesel reaktörler, iç çapları 20.2 cm, yüksekliği 23,7 cm olan ve çalışma yüksekliği 21 cm olarak PVC malzemeden yapılmıştır. Örnek alınması için tabandan 4,8 cm yüksekliklere monte edilen 1'er adet ¼ mini plastik vana bulunmaktadır. Reaktörün en altından başlanarak 0-8 cm filtre boşluğu, 8-13 cm çakıl, 13-18 cm pomza ve 18-23 cm toprak/silt ya da zeolit katmanları yer almaktadır (Çizelge 3.3). Hidrolik bekleme süreleri ise set-1 için 3,2 gün, set-2 için 3.3 gün olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.4). Dairesel reaktörlerin fotoğrafı Şekil 3.3'de verilmektedir.



Şekil 3.3. Dairesel Reaktörün Görünümü

- (d) Dikey reaktörün boş görünümü
- (e) Bitkisiz dikey reaktör
- (f) Bitkili dikey reaktör

Atıksu beslemesinin yapılması amacıyla peristaltik bir pompa ve zamanlayıcı kullanılmıştır. Sistemlere 5 dk/saat olarak atık su dozlanmıştır. Tüm setlerde kullanılan zamanlayıcı; 1 adet PIC 16 F84 microchip, 1 adet DS 1302RTL saat entegresinden meydana gelmiş olup, direnç, kondansatör, trafo, regülatör ve led gibi standart elektronik malzemeleri kapsamaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan zamanlayıcı

3.3 Deneyisel Çalışmalarda Uygulanan Setler

Çalışmalar 2 set halinde gerçekleştirilmiştir. Bu setlerin işletme koşulları Çizelge 3.2 de anlatılmaktadır.

Çizelge 3.2. Deneyisel süreçte kurulan yapay sulak alan düzenekleri

Uygulanan Setler	Bitkili Hibrit Sistem	Bitkisiz Hibrit Sistem
Set-1	Y1-D1 (HS-1)	Y2-D2 (HS-2)
Set-2	Y3-D3 (HS-3)	Y4-D4 (HS-4)

Çizelge 3.3. SET-1 ve SET-2 ‘de Kullanılan Dolgu Malzemeleri ve Yatak İçindeki Derinliği

				Filtre (0-8cm)	Çakıl taşı (8-13 cm)	Pomza taşı (13-18 cm)	Toprak/ silt (18-23 cm)	Zeolit (18-23 cm)	Zeolit (0-12 cm)
SET-1	Bitkili Hibrit Sistem	HS1	Y1						✓
			D1	✓		✓	✓		
	Bitkisiz Hibrit Sistem	HS2	Y2						✓
			D2	✓		✓	✓		
SET-2	Bitkili Hibrit Sistem	HS3	Y3						✓
			D3	✓		✓		✓	
	Bitkisiz Hibrit Sistem	HS4	Y4						✓
			D4	✓		✓		✓	

Çizelge 3.4. SET-1 ve SET-2 Reaktörlerin Hidrolik Bilgileri

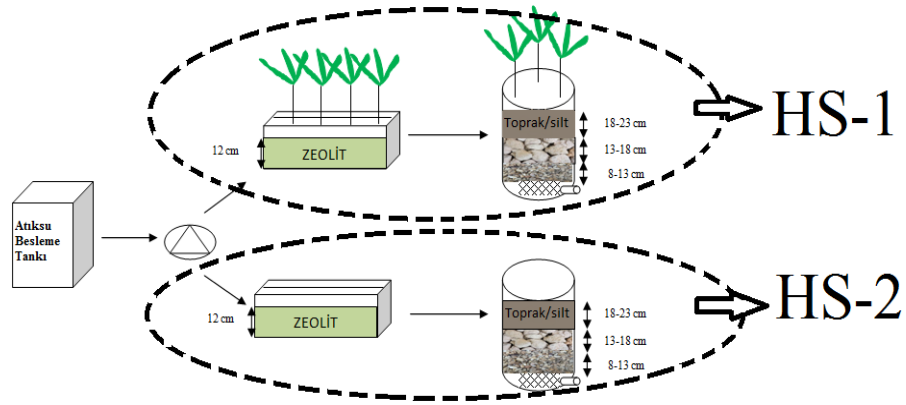
			Hidrolik bekleme süresi (gün)	Organik Yükleme Hızı (kg KÖİ/m ³ .gün)	Dolum hacmi (L)	Bitki Rizom sayısı/m ²
SET-1	Bitkili Hibrit Sistem	HS1	Y1	0,270	2	61
			D1	0,144	3,75	93
	Bitkisiz Hibrit Sistem	HS2	Y2	0,27	2	-
			D2	0,144	3,75	-
SET-2	Bitkili Hibrit Sistem	HS3	Y3	0,180	3	61
			D3	0,135	4	93
	Bitkisiz Hibrit Sistem	HS4	Y4	0,180	3	-
			D4	0,135	4	-

3.3.1 Çalışmada kullanılan sistemlerin tanıtımı (SET 1/ SET 2)

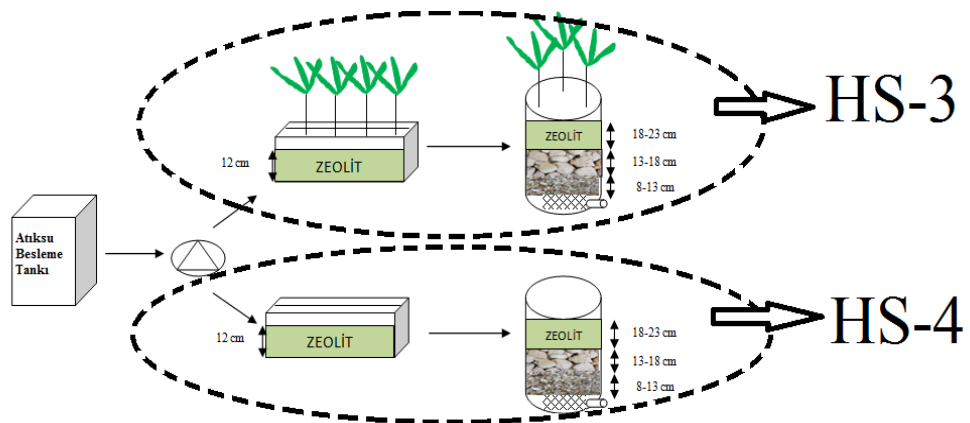
Bu tez çalışması 06/08/2015-12/11/2015 tarihleri arasında kurulan set-1 hibrit sistem çalışması ile 17/03/2016-09/06/2016 tarihleri arasında kurulan set-2 hibrit sistem çalışmasından oluşmaktadır. Her iki sette de 1/5 seyreltilmiş ham patates atık suyu ile çalışılmıştır. Çalışmada HS-1 ve HS-2 sistemleri set-1'i (Şekil 3.5) oluştururken, HS-3 ve HS-4 sistemleri set-2'yi (Şekil 3.6) oluşturmaktadır. HS-1 ve HS-3 hibrit sistemlerinde sulak alan bitkisi olarak '*Cyperus alternifolius*' bitkisi kullanılmıştır. Bitkiler yatay reaktörlerde (Y1-Y3) 61 kök/m², dikey reaktörlerde (D1-D3) 93 kök/m² olacak şekilde dikilmiştir. Seyreltilen ham patates atık suyu, ilk olarak yatay reaktörlere üstten perfore bir boru vasıtasıyla beslenmiş ve buradan yatay reaktörlerin (Şekil 3.2) çıkış vanaları aracılığı ile dikey reaktörlere (Şekil 3.1) iletilmiştir. Hibrit sistemin başlangıcı olarak belirlenen yatay reaktörlere günlük atık su olarak set-1'de 1.3 L, set-2'de 1.2 L su beslenmiştir. Atık su beslemesi peristaltik pompa ile kesikli olarak yapılmış ve bir zamanlayıcı (timer) yardımı ile sisteme 5 dk/saat atık su olarak dozlanmıştır. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de sırası ile set-1 ve set-2'deki yapay sulak alan düzenekleri verilmiştir. Set-1 ve set-2'de dolgu malzemesi olarak yatay reaktörlerinde 15 cm'lik yatak derinliğinin en alt kısımdan 0-12 cm'e kadar (0.8-2 mm) zeolit (klinoptiloid) kullanılmıştır.

Dikey reaktörlerinde ise; Set-1'de 23 cm'lik yatak derinliğinin en altında 0-8 cm filtre, 8-13 cm çakıl taşı, 13-18 cm pomza taşı ve 18-23 cm toprak/silt karışımı yer alırken, Set-2'de 23 cm'lik yatak derinliğinin en altında 0-8 cm filtre, 8-13 cm çakıl taşı, 13-18 cm pomza taşı ve 18-23 cm zeolit bulunmaktadır. En alt kısımda filtre kullanılmasının amacı, kaba partikülleri tutmak ve alınan numunelere karışıp bulanıklık yaratmasını engellemektir. Klinoptiloid, Manisa-Gödes bölgesinden alınmış olup birleşimi Ek-C'de verilmektedir. Sistemin toplam işletim süresi akümülyasyon süresi de dahil olmak üzere 100 gündür. Çalışmada kullanılan yatay reaktörler yatay akış prensibi ile dikey reaktörler dikey akış prensibine uygun olarak çalıştırılmıştır. Her iki set ile ilgili hidrolik bilgiler Çizelge 3.4 'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Hibrit yapay sulak alanlarda; yatay reaktörler organik madde giderimi ve denitrifikasyon gerçekleştirmeleriyle, dikey reaktörler ise nitrifikasyonu sağlamaları ile avantajlıdır (Ayaz vd., 2011). Bu çalışmada her iki hibrit sistemde önce yatay reaktörlerin daha sonra dikey reaktörlerinin kullanılmasının amacı ortamda önce denitrifikasyonu, daha sonra nitrifikasyonu sağlamaktır. Set-1 ile Set-2 arasındaki arıtım veriminin farklılığının incelenmesi amacıyla dikey reaktörlerin en üst katmanında değişiklik yapılmıştır. Set-1 de toprak/silt karışımı olarak kullanılırken, set-2 de bu katman zeolit ile değiştirilmiştir. Ayrıca sistemlerde kullanılan tüm malzemeler EK-A'da gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Set-1 deki yapay sulak alan şeması



Şekil 3.6. Set-2 deki yapay sulak alan şeması



Şekil 3.7. Set-1 deki yapay sulak alan düzeneği



Şekil 3.8. Set-2 deki yapay sulak alan düzeneği

3.4 Sulakalan Sistemlerinde Kullanılan Bitkiler

3.4.1 Japon Şemsiyesi (*Cyperus alternifolius*)

Cyperaceae (papirüsçiller) familyasının *Cyperus* cinsidir. Bu bitki, nemli bölgede veya bataklık bölgelerde yetişen çok yıllık bir bitkidir (Bilgin vd., 2014). Japon şemsiyesi, genellikle nutrient bakımından zengin olan kirli göl ve dere kenarlarında bulunan, 20-30 cm ile 1-2 m arasında uzunluğa ve 5-50 cm yaprak genişliğine sahip koyu yeşil renkli bir bitkidir (Şekil 3.9). Kökleri hızlı büyür, verimliliği oldukça yüksektir ve yetiştiği bölgelere estetik açıdan iyi bir görünüm kazandırabilir (Bilgin vd., 2014). Yaprakları merkezden çevreye doğru şemsiye şeklinde geliştiği için Japon Şemsiyesi olarak adlandırılmaktadır. Tropikal bir bitki olduğundan genelde nemli ortamları sever ve 15-20 cm derinliğe kadar su içinde de yaşayabilmektedir. Su bulamadığı durumda sararmakta ve duraklama periyoduna geçmektedir. Su ile yeniden temas etmesi durumunda kök bölgesinden yeni uzantılar oluşturarak yeniden büyümeye başlamaktadır (Dağlı, 2006).



Şekil 3.9. *Cyperus alternifolius* (Japon Şemsiyesi)

Ebrahimi vd. (2013) yılında İran’da yapay sulak alan sistemlerini kullanarak, evsel atık suyun arıtımını incelemişlerdir. Çalışmada *Cyperus alternifolius* bitkisini kullanmışlardır. Çalışma sonunda % 83 KOİ, % 81 NO₃-N ve % 47 NH₄-N giderimi elde etmişlerdir.

Bilgin vd. (2014) yılında evsel atık auların arıtımı için yapay sulak alan sistemi tasarlamışlardır. Çalışmada *Cyperus alternifolius* bitkisi kullanılmış olup, sonucunda % 82 KOİ ve % 77 TN giderimi elde etmişlerdir.

Thongtha vd. (2014) yılında evsel atık suların arıtımını yapay sulak alan sistemlerinde incelemişler ve çalışmada *Cyperus alternifolius* bitkisini kullanmışlardır. Sonuç olarak; % 91 KOİ, % 9.46 TN giderimi elde etmişlerdir.

Chan vd. (2008) yılında yaptıkları çalışmada evsel atık suyun arıtımı için yapay sulak alan sistemlerini denemişlerdir. Çalışmada *Cyperus alternifolius* bitkisi kullanılmıştır ve sonucunda % 60 KOİ, % 50 NH₄-N, % 40 TP ve % 80 AKM giderimi elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Yukarıda literatür örneklerinde verildiği gibi özellikle organik madde gideriminde bu bitkinin oldukça etkin olduğu izlenmiştir. Patates atık suyunda da organik madde içeriği yüksek miktarda tespit edildiğinden çalışmalarda bu bitkinin kullanılması uygun görülmüştür.

3.5 Analizler

Çalışma boyunca gerçekleştirilen sulak alanların performansının izlenmesi için giriş ve çıkış atık su numunelerinde kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), amonyum (NH₄-N), nirit (NO₂-N), nitrat (NO₃-N) ve ortofosfat (PO₄-P) konsantrasyonları ile pH, ORP, EC, bulanıklık ve askıda katı madde değerleri ölçülmüştür. Alınan numunelerden SEM analizi ile görüntüleme, MALDİ TOF TOF cihazı kullanılarak ise bakteri tespiti yapılmıştır. KOİ, PO₄-P, NH₄-N, NO₂-N ve NO₃-N analizlerinde Merck Spektroquant test kitleri kullanılmıştır. Bu ölçümler aşağıdaki analiz standart method yöntemlerine uyumluluk sağlamaktadır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Analiz Yöntemleri

PARAMETRE	YÖNTEM
KOİ*	Standart Metot 5220 D*
Amonyum*	Standart Metot 4500 NH ₃ - D*
Nitrit*	Standart Methot 4500 NO ₂ -N*
Ortofosfat*	Standart Metot 4500 P-C*
Nitrat*	Standart Methot 4500 NO ₃ -N*
pH§	Standard Methot 4500 H*
ORP§	Standart Methot 2580 B*
EC§	Standart Methot 2510 B*
Bulanıklık~	Standart Methot 2530 B*

* APHA, 2005

* Merck Pharo 100 Spektrofotometre kullanılarak yapılmıştır.

§ Thermo Scientific Orion 5 Star Multi parametre ölçer kullanılarak yapılmıştır.

~ SİNSCHE TB-2000 Turbidimater cihazı kullanılarak ölçülmüştür.

3.5.1 KOİ Analizi

Merck Spectroquant test kiti kullanılarak 25-1500 mg/l aralığında ölçüm yapılmıştır. Test tüpüne 3 mg/l anlık numune ilave edilmiştir. İki saat ısıtıcıda 148°C’de bekletilmiştir. Parçalanma tamamlandıktan sonra soğuması için 20 dakika beklenmiştir, MERCK SPECTROPHOTOMETER PHARO 100 Model Spektrofotometre de önceden hazırlanan kalibrasyon eğrisine uygun olarak 605 nm dalga boyunda ölçülmüştür.

3.5.2 Amonyum (NH₄-N) Analizi

00683 kodlu Merck Spectroquant test kiti kullanılarak 2.00-75.0 mg/l aralığında ölçüm yapılmıştır. Test tüpünde reaktiflerle birlikte 0,20 ml anlık numune ilave edilip reaktiflerle reaksiyonu 15 dakika beklenmiştir. Parçalanma tamamlandıktan sonra Merck Pharo 100 Spectroquant model Spektrofotometreyle ölçüm yapılmıştır.

3.5.3 Orto- Fosfat (PO₄-P) Analizi

14848 kodlu Merck Spectroquant test kiti kullanılarak 0.05-5.00 mg/l aralığında ölçüm yapılmıştır. 5 ml numune alınarak PO₄-P test kiti çözeltisi ile karıştırılmış ve hemen Merck Pharo 100 Spectroquant model Spektrofotometreyle ölçüm yapılmıştır.

3.5.4 Nitrit (NO₂-N) Analizi

14776 kodlu Merck Spectroquant test kiti kullanılarak 10 mm'lik quartz küvetlerle 0.07-3.28 mg/l aralığında NO₂-N ölçümleri yapılmıştır. Test tüpüne 5 ml numune anlık ilave edilip reaktiflerle reaksiyonu 10 dakika beklenmiştir. Parçalanma tamamlandıktan sonra Merck Pharo 100 Spectroquant model Spektrofotometre ile ölçüm yapılmıştır.

3.5.5 Nitrat (NO₃-N) Analizi

09713 kodlu Merck Spectroquant test kiti kullanılarak 10 mm'lik quartz küvetlerle 1.00-25.0 mg/l aralığında ölçüm yapılmıştır. Test tüpüne reaktiflerle birlikte 0,5 ml numune anlık olarak ilave edilip reaktiflerle reaksiyonu 10 dakika beklenmiştir. Parçalanma tamamlandıktan sonra Merck Pharo 100 Spectroquant model Spektrofotometre ile ölçüm yapılmıştır.

3.5.6 Askıda Katı Madde (AKM) Analizi

Askıda katı madde için 105 °C'ye getirilmiş etüvde filtre kağıtları 1 saat bekletilir, daha sonra 30 dakika desikatörde soğumaya bırakılır. Bu süre sonunda filtreler hassas terazide tartılarak ağırlıkları bulunur. Askıda katı madde düzeneğine tartımı yapılmış filtreler konularak bir pompa yardımıyla vakum uygulaması gerçekleştirilir ve 50 ml numune süzülür. Daha sonra filtre kağıtları yeniden 105 °C'deki etüvde 1 saat bekletilip 30 dakika soğumaya bırakılır. En son olarak filtreler yeniden hassas terazide tartılıp, hesabı yapılır.

Akm deneyi hesabı;

$$AKM (mg/l) = \frac{B-A}{V} \times 1000$$

B: Filtre kağıdı+ Kuru kalıntının tartımı (g)

A: Filtre kağıdı tartımı (g)

V: Numune hacmi (ml)

3.5.7 Diğer Ölçümler

EC, pH ve ORP ölçümü Thermo Scientific Orion 5 Star Multi parametre ölçer ile yapılmıştır.

3.5.8 Bulanıklık (NTU) Analizi

Bulanıklık ölçümleri SİNSCHE TB-2000 Turbidimater cihazı kullanılarak ölçülmüştür.

3.5.9 SEM Analizi

Yapay sulak alan sistemlerindeki katmanlarda oluşan biofilm tabakası oluşumunu gözlemlemek amacıyla SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) fotoğrafları çekilmiştir. SEM analizleri, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Araştırma Laboratuvarı tarafından yapılmıştır. Analiz için dolgu malzemeleri karbon yapışkan bandlı steplere dökülmüş, SEM cihazındaki (JEOL JSM-6390LV model) haznelere yerleştirilerek fotoğrafları çekilmiş ve kaydedilmiştir.

3.5.10 MALDİ TOF/TOF Analizi

Yapay sulak alan sistemlerindeki katmanlarda oluşan bakteri oluşumunu gözlemlemek amacıyla MALDİ TOF/TOF MS MS (Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization-Time of Flight Mass Spectrometry) cihazı kullanılarak alınan numunelerden, bakteri tespiti yapılmıştır. Analizler Abant İzzet Baysal Üniversitesi Merkez Laboratuvarı (BETÜM) tarafından gerçekleştirilmiştir. Analiz için numunelerden alınan örnekler BRUKER marka software BioTyper 3.0'ın kullanıldığı AUTOFLEX MALDİ TOF TOF MS cihazına yerleştirilerek bakteri tespiti yapılmış ve kaydedilmiştir. Bu işlemler yapılırken formikasit asetonitril yöntemi uygulanmıştır ve matrix olarak HCCA kullanılmıştır. Atış hızı 50 Hz olarak belirlenmiştir.

MALDİ-TOF tekniği, bir iyonizasyon metodudur. Bu yöntem genellikle ribozomal proteinleri ve peptitleri göstermektedir ve özellikle daha spesifik proteinleri okumaktadır. Mikroorganizma kültüründeki hücrelerden peptit ve proteinlerin ayırımına olanak verir. İyonlar ayrışır ve molekül ağırlık ve yüklerine göre tespit edilirler. Bakteri hücrelerinin yüksek miktarda protein içerdiği bilindiği için ve proteinler hücrenin genetik bilgisini yansıtmassından dolayı, protein profilinin mikroorganizma tanımlamada oldukça doğru sonuç verdiği belirtilmektedir. Bu yöntemle, gıda kaynaklı patojen bakteriler, diğer gıda kaynaklı bakteriler ve starter kültürler, klinik öneme sahip bakteriler, çevreden elde edilen izolatlar ve Enterobacteriaceae üyelerinin tanımlanabildiği bildirilmektedir. Özellikle çevresel bakterileri tanımlamada, klinikte ve gıda endüstrisinde kullanılmaya elverişli, hızlı ve doğru sonuç vermesi açısından DNA esaslı moleküler yöntemlere alternatif olduğu belirtilmektedir (Wenning vd., 2014).

3.5.11 İstatiksel Analiz

Çalışmada verileri istatistiksel açıdan değerlendirebilmek için SPSS v19 paket programı kullanılmıştır. Ham patates atık suyu ile çalışılan her iki sette de yatay ve dikey reaktörlerin giriş-çıkış konsantrasyonlarında fark olup olmadığı tek yönlü varyans çözümlemesi (ANOVA) ile belirlenmiş ve bu farkın hangi reaktörlerden kaynaklandığı Dunnet testi ile tespit edilmiştir. Yalnızca çıkış

konsantrasyonları karşılaştırıldığında ise Tukey HSD testi ile hangi reaktörlerin çıkış konsantrasyonlarının farklı olduğu incelenmiştir. Ayrıca Set-1 ve Set-2’de incelenen parametrelerin yüzde giderim verimleri arasında fark olup olmadığı ise t-test ile incelenmiştir.

3.5.12 Model Çalışması

Yapılan tez çalışmasında bitki büyümesini incelemek amacıyla istatistiksel modelleme çalışmasından yararlanılmıştır. Bu modeller belirlenirken R-R project yazılımının 3.3.2 sürümü kullanılmıştır. Modelleme çalışmasında MSE (Mean squared error), AIC (Akaike bilgi kriteri) ve BIC (Bayesci bilgi kriteri) ölçütleri göz önüne alınmıştır. Bu ölçütlerin kullanılmasının sebebi ise tahminsel hata açısından en başarılı modelin seçilmesine yardımcı olmalarıdır. Formülleri aşağıdaki eşitliklerde belirtilmiştir.

$$AIC = -2LL + 2k \quad \text{(Eşitlik-1)}$$

$$BIC = -2LL + k \log(n) \quad \text{(Eşitlik-2)}$$

$$MSE = \sum (Y - \hat{Y})^2 \quad \text{(Eşitlik-3)}$$

$\hat{Y}$, modelden elde edilen tahmin değerlerini, Y ise gerçek değerleri gösterir. Burada amaç; tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki farkı ölçmektir. AIC ve BIC içerisinde gösterilen “LL” ifadesi modelin log-olabilirlik değerini gösterir. “k” ifadesi modeldeki katsayıların sayısını, “n” ise gözlem sayılarını gösterir. AIC ve BIC $-\infty$ ve $+\infty$ aralığında yer almaktadır. Bu değerler için herhangi bir eşik değeri yoktur. En düşük değere sahip olan modellerin en yüksek performansa sahip olduğu söylenebilir. Her veri setine göre bu değerler de değişeceğinden, modeller arası kesin bir ilişkiden söz edilemez. Ancak her veri seti için modellerin performans sıralamaları değişebilir. En uygun modelin belirlenmesinde bir diğer kriter ise R^2 ‘dir. R^2 değeri modelin bağımsız değişkenler tarafından bağımlı değişkeni ne ölçüde açıklayabildiğini gösteren bir ölçüttür. Normal şartlarda 0-1 arasında yer alır ancak çok uyumsuz modellerde negatif değerler de alabilir. Bu değer 1 olması, modelin % 100 açıklayıcılığa sahip olduğunu gösterir. Dolayısıyla R^2 değerinin 0’ a yakın veya negatif olması modelin performansının çok kötü olduğuna işaret eder. Bitki

büyümesi modellenirken proportional, linear, quadratic, quadratic/zero, parabola, cubic, exponential, restricted exponential, logistic, von bertalanffy, gompertz ve richards büyüme modelleri uygulanmıştır ve bitki büyümesine uygun modeller belirlenmiştir. Çizelge 3.6’da uygulanan modellerin denklemleri verilmiştir.

Çizelge 3.6. Model çalışmasında kullanılan modellerin denklemleri (Renner-Martin vd., 2016, Wellock vd., 2004)

Büyüme modeli	Denklem
Proportional	$y = at$
Linear	$y = at + b$
Quadratic	$y = at^2 + bt + c$
Quadratic/zero	$y = at^2 + bt$
Parabola	$y = at^2 + c$
Cubic	$y = at^3 + bt^2 + ct + d$
Exponential	$y = ae^{bt}$
Restricted exponential	$y = a - be^{-ct}$
Logistic	$y = \frac{abe^{ct}}{ae^{ct} + b - a}$
Von Bertalanffy	$y = \left(\frac{a}{b} - \frac{1}{b} e^{-\frac{bt}{3} - \frac{cb}{3}} \right)^3$
Richards	$y = \frac{a}{(1 + be^{-cdt})^{\frac{1}{d}}}$
Gompertz	$y = a * \exp(-e^{-(t-c)/b})$

y: bitki boyu uzaması

t: zaman

a,b,c,d: modellerdeki büyüme katsayıları

4. ELDE EDİLEN SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1 SET-1

4.1.1 Set-1’de elde edilen arıtım veriminin incelenmesi

Bu setin deneysel çalışmaları iki farklı hibrit sistem (HS-1 ve HS-2) kurularak yapılmıştır. Çalışmada bitkinin arıtıma katkısının belirlenmesi için HS-1 sistemine sulak alan bitkisi olarak *Cyperus alternifolius* bitkisi kullanılmıştır. Patates işleme atık sularının yapay sulak alan sistemlerinde arıtım veriminin incelendiği bu çalışmada KOİ, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, PO₄-P, AKM, pH, ORP, EC ve bulanıklık analizleri yapılmıştır. Çizelge 4.1’ de çalışma süresi boyunca kirlilik parametrelerinin değişimleri verilirken, Çizelge 4.2 de ise, kirlilik parametrelerinin giderim verimleri incelenmiştir.

Çizelge 4.1. Set-1’deki İşletme Parametreleri

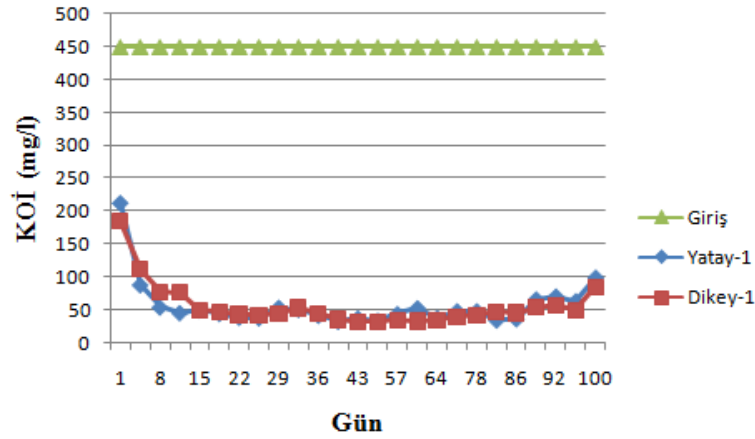
PARAMETRELER	GİRİŞ	ÇIKIŞ			
		BİTKİLİ HİBRİT SİSTEM (HS-1)		BİTKİSİZ HİBRİT SİSTEM (HS-2)	
		YATAY-1	DİKEY-1	YATAY-2	DİKEY-2
KOİ (mg/l) 1-100 gün	450	57,05	55,46	60,08	70,79
Max-Min	450	212-32,75	184-32	253,5-34	273-39,5
s.d	-	36,21	32,65	46,48	49,08
NH ₄ -N(mg/l)1-100 gün	20	6,69	8,77	6,71	9,33
Max-Min	20	14,25-2,35	18,25-2,4	15,25-2,45	16,25-2,3
s.d	-	3,34	4,16	3,61	3,69
PO ₄ -P(mg/l) 1-100 gün	1,95	0,69	0,83	0,68	0,91
Max-Min	1,95	1,4-0,37	1,36-0,35	1,46-0,27	1,59-0,30
s.d	-	0,30	0,32	0,28	0,41
pH 1-100 gün	8,24	7,88	7,64	7,75	7,78
Max-Min	8,24	7,88-7,38	7,64-7,25	7,75-7,17	7,78-7,39
s.d	-	0,28	0,28	0,27	0,23
ORP (mV) 1-100 gün	-45,2	-89,39	-78,11	-86,16	-84,84
Max-Min	-45,2	(-59,7)-(-99,9)	(-43,1)-(-98,2)	(-72,5)-(-99)	(-58,1)-(-99,3)
s.d	-	9,56	18,24	9,31	12,30
EC(μs/cm) 1-100 gün	1202	1524,48	1278,44	1438,92	1444,28
Max-Min	1202	1845-701	1615-885,5	1927-1164	2283-868
s.d	-	280,36	239,49	379,39	181,89
BULANIKLIK (NTU) 1-100 gün	18,02	0,72	7,78	0,94	9,12
Max-Min	18,02	0,315-1,895	13,55-2,25	2,74-0,275	16,05-5,5
s.d	-	0,42	2,91	0,57	2,62
NO ₂ -N(mg/l)1-100 gün	1,24	0,18	0,60	0,22	0,63
Max-Min	1,24	0,77-0,04	0,79-0,01	1,12-0,10	1,15-0,13
s.d	-	0,21	0,33	0,21	0,32
NO ₃ -N(mg/l) 1-100 gün	3,4	1,30	1,57	1,43	1,47
Max-Min	3,4	1,75-1,00	2,02-1,31	2,0-1,14	1,62-1,35
s.d	-	0,26	0,20	0,31	0,07
AKM(mg/l)1-100 gün	0,124	0,045	0,060	0,057	0,060
Max-Min	0,124	0,056-0,033	0,081-0,03	0,088-0,045	0,090-0,049
s.d	-	0,006	0,013	0,020	0,014

Çizelge 4.2. Set-1'deki Giderim Verimleri

PARAMETRELER	BİTKİLİ HİBRİT SİSTEM (HS-1)				BİTKİSİZ HİBRİT SİSTEM (HS-2)			
	Giriş	Yatay-1	Dikey-1	% Giderim	Giriş	Yatay-2	Dikey-2	% Giderim
pH	8,24	7,88±0,28	7,64±0,28	n.a	8,24	7,75±0,27	7,78±0,23	n.a
ORP (mV)	-45,2	-89,11±9,56	-78,11±18,24	n.a	-45,2	-86,16±9,31	-84,84±12,30	n.a
EC (µS/cm)	1202	1524,48±280,36	1278,44 ± 239,49	n.a	1202	1438,92 ± 379,39	1444,28± 181,89	n.a
BULANIKLIK (NTU)	18,02	0,72±0,42	7,78±2,91	56,81	18,02	0,94±0,57	9,12±2,62	49
KOİ (mg/l)	450	57,05±36,21	55,46±32,65	87,67	450	60,08±46,48	70,09±49,08	84,26
NH ₄ -N (mg/l)	20	6,69±3,34	8,77±4,16	56	20	6,71±3,61	9,33±3,69	53
NO ₂ -N (mg/l)	1,24	0,18±0,21	0,60±0,33	n.a	1,24	0,22±0,21	0,63±0,32	n.a
NO ₃ -N (mg/l)	3,4	1,30±0,26	1,57±0,20	n.a	3,4	1,43±0,31	1,47±0,07	n.a
PO ₄ -P (mg/l)	1,95	0,69±0,30	0,83±0,32	57	1,95	0,68±0,28	0,91±0,41	52,94
AKM (mg/l)	0,124	0,045±0,006	0,060±0,013	51,50	0,124	0,057±0,020	0,060±0,014	45,16

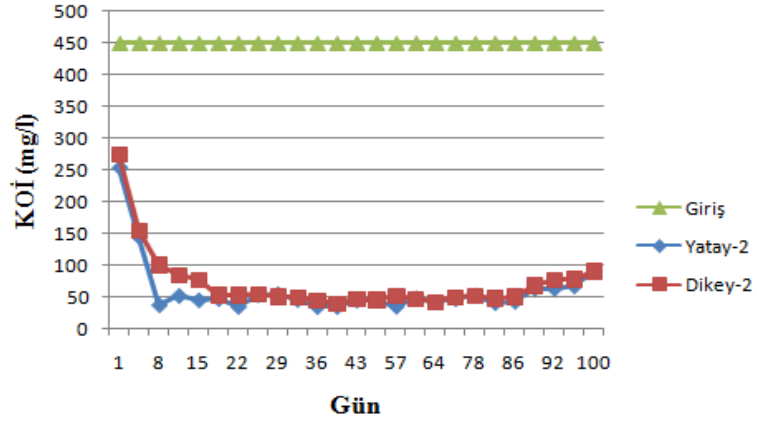
4.1.1.1 KOİ giderimi

Yapay sulak alanlar tarafından organik madde giderimi birincil olarak biyolojik parçalanmaya, hidrolik bekleme süresinin uzatılmasına veya hidrolik yükün azalmasına dayandırılır (Huang vd., 2016). Yüzey altı akışlı sistemlerde giderim; bitkilerin su altında kalan bölümleri ve dip birikintilerinin yüzeylerinde gerçekleşir. Aerobik koşulları sağlamak için mevcut tek oksijen taşıma mekanizması oksijenin yapraklardan köklere taşınmasıdır. Bu durumda biyokimyasal reaksiyonlar tıpkı damlatmalı filtrede olduğu gibi ortamın çeperlerinde ve bitkilerin su altında kalan kısımlarında oluşan biyofilm tabakasında gerçekleşir. Bitkilerin kök bölümlerine taşınan oksijen, arıtım için gerekli aerobik koşulları sağlar (Demirörs, 2006). Sisteme 100 gün boyunca beslenen seyreltik atık suyun ortalama giriş KOİ konsantrasyonu 450 mg/l'dir. Reaktörlerin ortalama çıkış konsantrasyonları Y1-D1 reaktörleri için sırasıyla 57.05 ± 36.21 mg/l, 55.46 ± 32.65 mg/l olarak belirlenirken, Y2-D2 reaktörleri için ise, sırasıyla 60.08 ± 46.48 mg/l, 70.79 ± 49.08 mg/l ölçülmüştür. (Şekil 4.1 a ve b).



(a)

Şekil 4.1. KOİ değişimi
(a) HS-1 sistemindeki KOİ değişimi



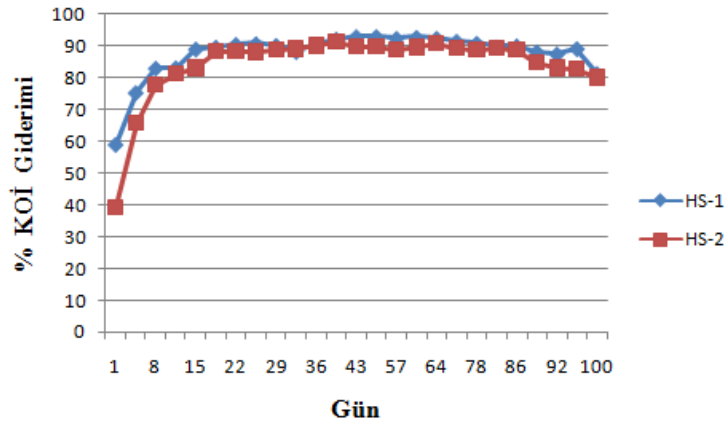
(b)

Şekil 4.1. KOİ değişimi

(b) HS-2 sistemindeki KOİ değişimi (devamı)

Sistemlerden alınan çıkış suyu örneklerinde KOİ konsantrasyonu; 8-92 günler arası HS-1 sisteminde ortalama 45.64 mg/l'ye kadar düşerken, HS-2 sisteminde ortalama 45.20 mg/l'ye kadar düşüş göstermişlerdir. Bu durumun, sisteminin filtrasyon etkisi ile askıda katı maddeleri tutması sonucu gerçekleştiği ve olası biyofilm oluşumu ile de KOİ gideriminin zaman içinde arttığı düşünülmektedir. Yüzey altı akışı sistemlerde bitki kökleri ve dolgu malzemesi yüzey ile su ara yüzeyinde biyofilm oluşumunu desteklemektedir (Larsen ve Greenway, 2004). 8. Günden itibaren HS-1 sisteminde % 30'luk bir artış görülürken, HS-2 sisteminde % 50 oranında artış izlenmiştir ve KOİ giderimi her iki sistemde de % 85-90 arasında olduğu görülmektedir (Şekil 4.2). KOİ giderim oranının yüksek olmasının nedenini, gelişen mikrobiyal topluluk sonucunda biofilm tabakasının dolgu malzemesi üzerinde oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.21'de bulunan SEM fotoğraflarıyla da biofilm tabakasının varlığı desteklenmektedir. De Zeeuw vd. (1990), patates işleme endüstrisi atık suyunda yaptıkları çalışmada alıkonma süresinin 1.4 ten 2.7 ye çıkarıldığında KOİ giderim veriminin % 27 arttığını belirtmişlerdir.

Çalışmada HS-1 ve HS-2 sistemlerinin hidrolik alıkonma süresi D1 ve D2 reaktörlerinde 3.2 gün, Y1 ve Y2 reaktörlerinde 1.6 gündür. Sistemin toplam bekleme süresi 4.8 gündür. Bu nedenle hidrolik alıkonma süresinin uzunluğu KOİ giderim verimine katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Yadav vd. (2012), yapay sulak alanlarda atık suyun yüksek bekleme süresine maruz kaldıklarında, mikroorganizmaların KOİ'yi metabolik aktiviteleri için kullanarak içerisindeki organik madde konsantrasyonunun azalabileceğini belirtmişlerdir. HS-1 ve HS-2 sistemlerde KOİ giderim verimleri sırası ile % 87.67 ve % 84.26'dır (Şekil 4.2). Her iki hibrit sistemin KOİ giderimleri arasında anlamlı bir fark yoktur ($F_{0.95}(1,48)=1.692$, $p>0.05$). Bu durum, katmanlar arasında yeterli miktarda oksijen difüzyonu gerçekleştiğini düşündürmektedir (Yalçuk vd., 2010).



Şekil 4.2. HS-1- HS-2 sistemlerinde KOİ giderimi

Kato vd. (2013) yılında patates nişastası atık suyu ile *Pragmites australis* bitkisini kullanarak kurdukları hibrit yapay sulak alan sisteminde % 93'lük KOİ giderimi elde ettiklerini belirtmişlerdir. De Zeeuw vd. (1990) yılında patates nişastası atık suyu arıtımı amacıyla yapay sulak alan sistemi kullanmışlardır. Çalışmada *Pragmites australis* bitkisi seçilmiştir. Sistemde % 92 KOİ giderimi elde etmişlerdir. Burgoon vd. (1999) yılında patates işleme atık suyunun arıtımı amacıyla kurdukları yapay sulak alan sisteminde *Typha latifolia* bitkisini kullanarak % 94 KOİ giderimi elde etmişlerdir. Bu çalışmada ise, patates işleme endüstrisi atık suyunun arıtımı hibrit yapay sulak alan sistemi ile denenmiştir. Çalışmada *Cyperus alternifolius* bitkisi kullanılmıştır ve % 87 KOİ giderimi elde edilmiş olup, benzer giderimlerin gözlemlendiği saptanmıştır. Ayrıca HS-1 ve HS-2'den elde edilen çıkış atıksularının konsantrasyon değerleri su kirliliği kontrolü yönetmeliği (SKKY) endüstriyel atıksuların deşarj standartları

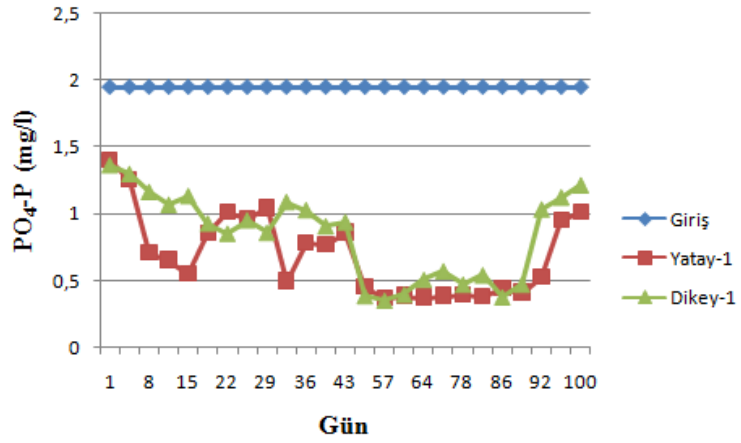
Çizelge 4.3’de (Gıda Sanayi Sebze ve Meyva Yıkama ve İşleme Tesisleri) belirtilen değerlere uygun olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.3. Gıda Sanayii (Sebze, Meyva Yıkama ve İşleme Tesisleri) (SKKY)

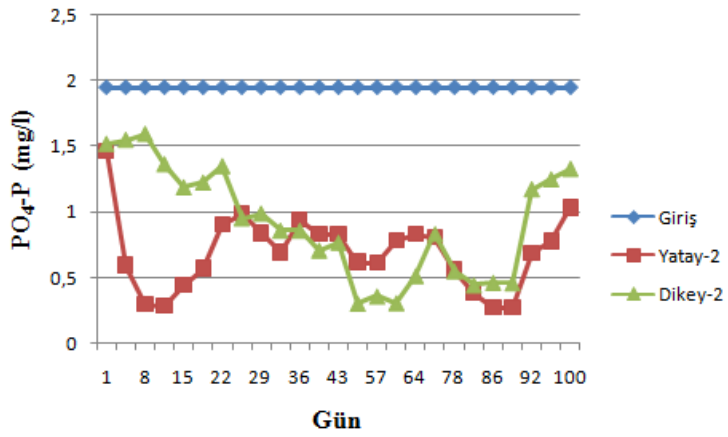
PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	150	100
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	200	100
pH	-	6-9	6-9

4.1.1.2 PO₄-P giderimi

Yapay sulak alanlarda fosfor gideriminde adsorpsiyon ve çökeltme işlemleri büyük rol oynamaktadır (Wang Z vd., 2014). Fosfor, bitki için önemli bir besin kaynağı olduğundan bitkiler tarafından fosfat formunda alınır ve bitkide depolanır (Thongtha vd., 2014). Bitkiler fosforu primer ortofosfat iyonu $H_2PO_4^-$ ve sekonder ortofosfat iyonu HPO_4^{2-} şeklinde bünyelerine alırlar (Kaçar vd., 2002). Alglerin ve mikroorganizmaların kolay bir biçimde alabildikleri serbest ortofosfat yapay sulak alanlarda organik ve inorganik fosfor döngüsünü birbirine bağlar (Vymazal, 2007). Fosfor gideriminde kullanılan dolgu malzemesi önemlidir. Bu nedenle yüksek fosfat adsorpsiyon kapasitesine sahip olabilmek için uygun dolgu malzemesi seçimi önemlidir (Prochaska vd., 2006). Yapay sulak alanlarda uzun süreli fosfor giderimi Al/Fe bileşikleri ve bitki artıkları tarafından gerçekleşirken, bitkinin alımı ile az miktarda fosfor giderimi olmaktadır (Sakadevan ve Bavor, 1998). Seyreltik atıksuyun ortalama giriş PO₄-P konsantrasyonu 1,95 mg/l bulunmaktadır. Reaktörlerin ortalama çıkış konsantrasyonları Y1-D1 reaktörleri için sırasıyla 0,69±0,30 mg/l, 0,83±0,32 mg/l olarak belirlenirken, Y2-D2 reaktörleri için sırasıyla 0,68±0,28 mg/l, 0,91±0,41 mg/l’dir (Şekil 4.3 a ve b).



(a)



(b)

Şekil 4.3. PO₄-P değişimi

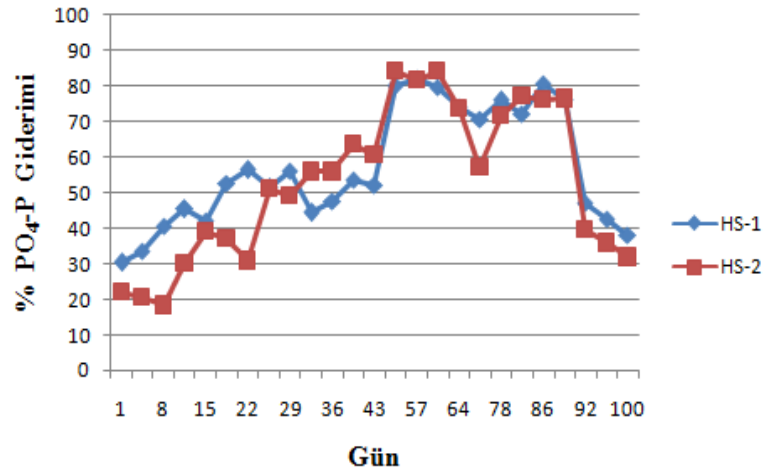
(a) HS-1 sistemindeki PO₄-P değişimi

(b) HS-2 sistemindeki PO₄-P değişimi

HS-1 ile HS-2hibrit sisteminin PO₄-P giderimlerinde benzer değişimler gözlenmiştir (Şekil 4.3). Reaktörlerden alınan çıkış numunelerinin ortalama PO₄-P giderim verimleri HS-1, HS-2 için sırasıyla % 57, % 52.94'tür (Şekil 4.4) ve giderimler arasında anlamlı fark olmadığı belirlenmiştir ($F_{0.95}(1,48)=0.561$, $p>0.05$). Fosforun miktar olarak % 5'ten azı bitkiler tarafından alınmaktadır. Bu bakımdan bitkinin bünyesine aldığı fosfor önem taşımamaktadır (Kim ve Geary, 2001).Bitkili ve bitkisiz hibrit sisteme aynı yüklemeler yapılmış ve sonuçta PO₄-P gideriminde bitkinin etkisinin olmadığı görülmüştür.

Ayaz vd. 2003 yılında yaptıkları evsel atık suların arıtımı amacıyla *Cyperus* bitkisi kullanılarak hibrit yapay sulak alanlarda giderimleri incelemişlerdir. Dolgu malzemesi olarak çakıl taşı kullanmışlardır. Sistemden ortalama % 60 PO₄-P giderimi gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Fosforun bir kısmı bitki artıkları tarafından ortama geri verilebilmektedir (Yang vd., 2001). Bu nedenle fosfor gideriminin de sedimentasyon, çökelme ve adsorpsiyonun daha etkili olabileceği düşünülmektedir. Saeed vd. (2012) yılında yaptıkları çalışmada farklı dolgu malzemeleri ile kurulan hibrit yapay sulak alan sisteminde PO₄-P gideriminin % 56-99 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, dolgu malzemesi olarak hibrit sistemlerin yatay reaktörlerinde % 100 zeolit, dikey reaktörlerinde % 33,3 toprak/silt karışımı, % 33,3 pomza taşı ve % 33,3 çakıl taşı kullanılmıştır.

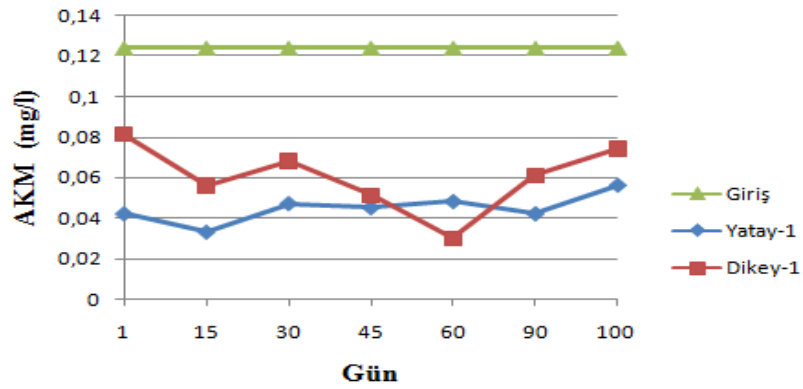
Reaktörlerde zeolit (klinoptilolite) ve pomza taşının kullanılmasının başlıca nedeni, kum ve çakıl taşıyla birlikte yapay sulak alan sistemlerinde iyon değişimi ve adsorpsiyonu artırmaktır. Zeolit, hidratlaşmış alümino silikat olup, 2nm'den düşük boşluklara sahip mikroporlu bir materyaldir (Stefanakis ve Tsihrintzis, 2012). Zeolit yüksek porozitesinden dolayı (% 45-50) mikroorganizmaların gelişimine olanak sağlar (Yalcuk ve Uğurlu, 2009). Pomza taşının kullanım amacı ise çakıl taşı ile birlikte dikey akışlı yapay sulak alan sistemlerinde arıtma mekanizmasını (iyon değişimi ve adsorpsiyon) artırmaktır. Pomza taşı yüksek miktarda Fe/Al içeren mineral karışımıdır. Bu nedenle pomza taşından oluşan filtrede fosfor giderimi yüksek seviyede elde edilir. EK-B ve EK-C'de sırasıyla pomza ve zeolitin (klinoptilolite) taşının fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir. Zeolitte % 1.10 Fe ve % 11.31 Al bulunurken, pomza taşında % 1.0-2.0 Fe ve % 12.0-14.0 Al bulunmaktadır. Sulak alan ortamında bu metallerin varlığı fosfor giderimini etkilediği bildirilmiştir. Ortamın pH değerine göre fosfor bu metallere bağlanarak çökmektedir (Yalçuk, 2007).



Şekil 4.4. HS-1- HS-2 sistemlerinde PO₄-P giderimi

4.1.1.3 AKM giderimi

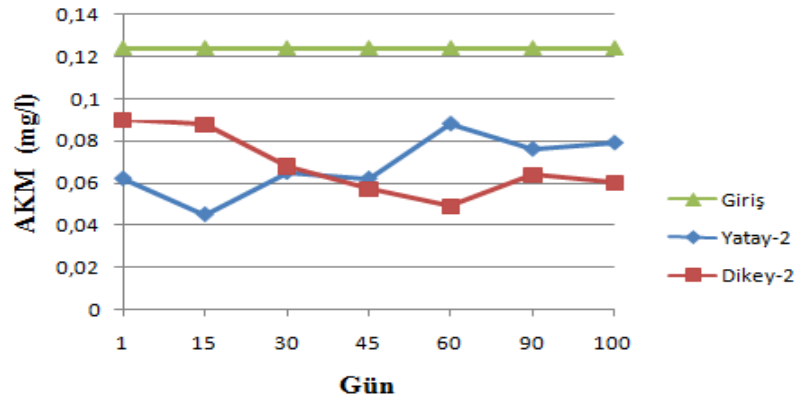
Sulak alanlarda AKM giderimi; filtrasyon, sedimentasyon, bitki tarafından organik maddelerin tutulması ve organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından aerobik, anaerobik ve fakültatif koşullar altında biyolojik olarak parçalanması ile gerçekleşir (Wang vd., 2014). Sisteme verilen seyreltik atık suyun ortalama askıda katı madde değeri 0,124 mg/l'dir. Reaktörlerin ortalama çıkış konsantrasyonları Y1-D1 için sırasıyla 0.045 ± 0.006 mg/l, 0.060 ± 0.013 mg/l iken, Y2-D2 için sırasıyla 0.057 ± 0.020 mg/l, 0.060 ± 0.014 mg/l olarak ifade edilmiştir (Şekil 4.5 a ve b).



(a)

Şekil 4.5. AKM değişimi

(a) HS-1 sistemindeki AKM değişimi



(b)

Şekil 4.5. AKM değişimi

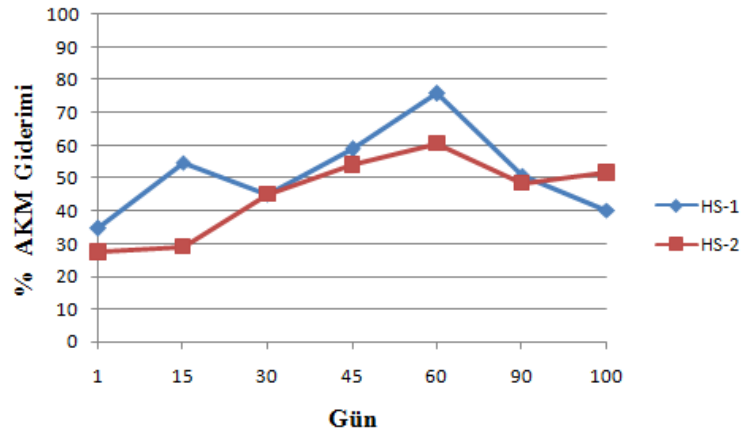
(b) HS-2 sistemindeki AKM değişimi (devamı)

Her iki hibrit sistem karşılaştırıldığında, HS-1 sisteminin HS-2 sistemine göre %6 daha fazla giderim oranına sahip olduğu görülmektedir. Bitkili sistemlerde AKM gideriminin yüzey alanının büyütülmesi, suyun akış hızını azaltması, çökmeyi hızlandırması ve kök ağı tarafından filtreleme etkisinin artmasından dolayı bitkisiz hibrit sistemlerden daha fazladır (Sehar vd., 2015). Dikey reaktörlerde ilk 60 gün boyunca AKM gideriminin de azalma göstermiştir. Bu sürede organik maddelerin süzülüp katı parçacık haline geldiği düşünülmektedir. 60.günden sonra AKM konsantrasyonlarında artış görülmektedir. Bunun nedeni ise sulak alanların çıkışında oluşan katı parçacıklar girişte tutunamayan katı parçaların bir kısmı ile mineralleşmesi sonucu oluşan bitki atıklarından kaynaklanmaktadır. Bu da çıkış konsantrasyonlarında artışa neden olmaktadır. Her iki hibrit sistemin Y1 ve Y2 reaktörlerinde 1-100 gün arası AKM konsantrasyonunda 0.02 mg/l'lik bir artış görülmektedir. HS-1 sistemin Y1 reaktöründe kök yoğunluğunun fazlalılığından dolayı bu artışın gerçekleştiği düşünülmektedir. HS-2 sistemin Y2 reaktöründeki artış ise, dolgu malzemelerinde zamanla gerçekleşen sedimentasyon, filtrasyon, adsorpsiyon ve bakteriyel parçalanmanın AKM giderimine katkıda bulunması ile açıklanabilir (Korkusuz vd., 2005).

Reaktörlerden alınan çıkış numunelerinin ortalama AKM giderim verimleri, HS-1, HS-2 için sırasıyla, % 51,50 % 45,16 'dır (Şekil 4.6). Her iki sistemin AKM giderim verimleri arasında anlamlı bir fark yoktur ($F_{0.95}(1,14)=0.824$, $p>0.05$). HS-2

sisteminde AKM giderimi HS-1 sistemine göre daha % 6 daha düşük olduğu görülmektedir. AKM gideriminde yapısı gereği uzun kökleri olan bitkilerin etkili bir rol oynadığı belirtilmiştir (IWA, 2000). Bu durum uzun köklerin katı maddeleri daha kolay tutabilme özelliğine bağlanabilir. Çalışmada kullanılan *Cyperus alternifolius* bitkisinin Y1 reaktörüne dikilirken başlangıçtaki kök boyu ortalama 25 cm iken 13 hafta sonra çalışma sonunda 50 cm olmuştur. D1 reaktörüne dikilirken ortalama kök boyu 18 cm iken çalışma bitiminde 70 cm olarak ölçülmüştür.

Dikey reaktörlerde kök boyu uzamasının yatay reaktörlere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Dikey akış reaktörüne ekilen bitkilerin kök boyu gelişimi yatay akış reaktörlerine göre daha fazladır (Yalçuk, 2007). Bu nedenle kök boyu uzamasında kullanılan reaktörlerin etkili olduğu düşünülmektedir.



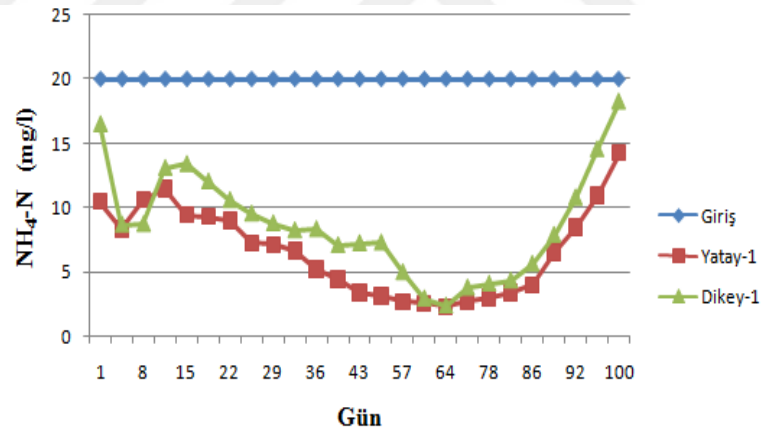
Şekil 4.6. HS-1 – HS-2 sistemlerinde AKM giderimi

Kadlec vd. (1997) patates işleme atıksuyu arıtımı için kurdukları yapay sulak alan sisteminde *Scirpus* ve *Typha* bitkilerini kullanmışlardır. Sistemden % 94 AKM giderimi elde edilmiştir. Schulz vd. (2003), çiftlik atıksularında yaptıkları çalışmada sulak alan sistemlerinde *Oncorhynchus mykiss* ve *Phragmites australis* bitkilerini kullanarak bitkili ve bitkisiz sistemlerden sırası ile % 95.8 ve % 97.3 AKM giderimi elde etmişlerdir. HS-1 ve HS-2 sistemlerinden elde edilen çıkış atıksularının konsantrasyon değerleri su kirliliği kontrolü yönetmeliğinde (SKKY) belirtilmiş olan Çizelge 4.3 Gıda Sanayi Sebze ve Meyva Yıkama ve İşleme Tesislerinde olması gereken değerlere uygun olduğu görülmüştür.

4.1.1.4 Azot giderimi

4.1.1.4.1 $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimi

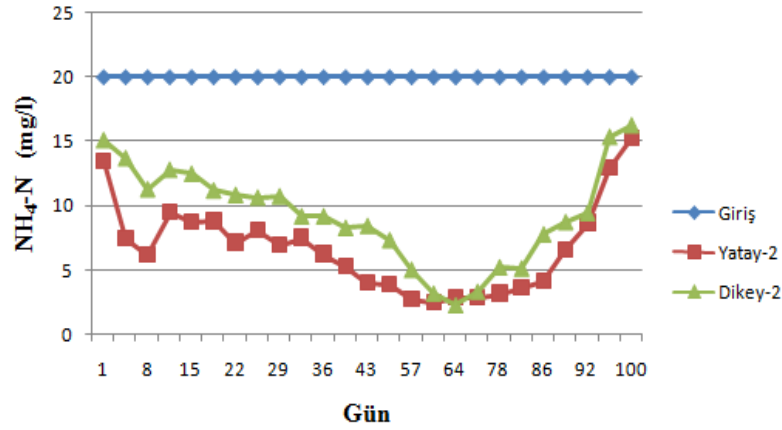
Yapay sulak alanlara azot girişı biyolojik olarak azot fiksasyonu ve noktasal olmayan dış kaynaklar aracılığı ile gerçekleşir. Bunlara; atmosferdeki azot tutulması, kentsel ve tarımsal akışlar, nütrient taşıyan yoğun akıntı suyu örnek olarak gösterilebilir (Reddy ve Delaune, 2008). Sulak alanlardaki azot giderimi ise; nitrifikasyon, denitrifikasyon, amonyum buharlaşması ve bitkiler tarafından alım ile gerçekleşir (Piotrowska vd., 2006; Newman vd., 1999). Çalışma boyunca sisteme beslenen seyreltik atık suyun ortalama $\text{NH}_4\text{-N}$ giriş konsantrasyonu 20 mg/l'dir. Reaktörlerin ortalama çıkış konsantrasyonları Y1-D1 için sırasıyla 6.69 ± 3.34 mg/l, 8.77 ± 4.16 mg/l olarak bulunurken, Y2-D2 için sırasıyla 6.71 ± 3.61 mg/l, 9.33 ± 3.69 mg/l olarak bulunmuştur (Şekil 4.7 a ve b).



(a)

Şekil 4.7. $\text{NH}_4\text{-N}$ değişimi

(a) HS-1 sistemindeki $\text{NH}_4\text{-N}$ değişimi



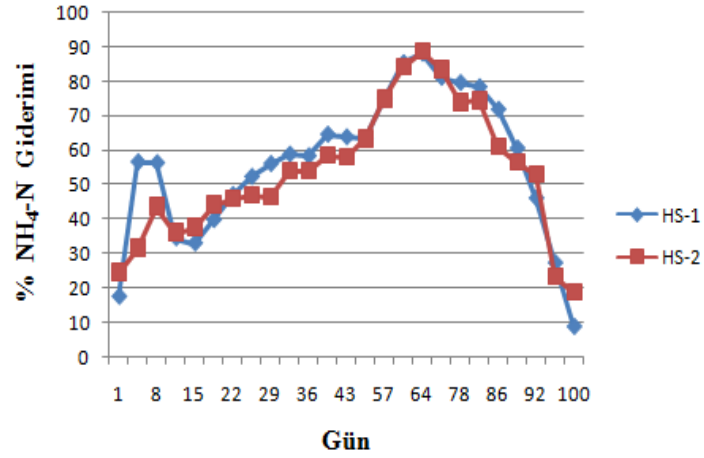
(b)

Şekil 4.7. $\text{NH}_4\text{-N}$ değişimi

(b) HS-2 sistemindeki $\text{NH}_4\text{-N}$ değişimi (devamı)

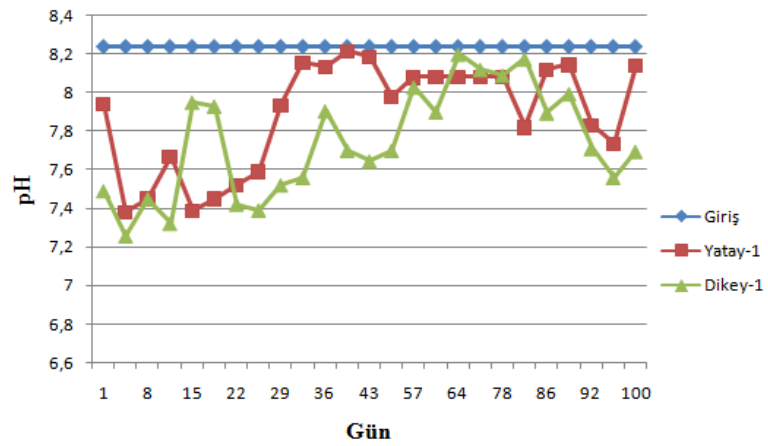
HS-1 ve HS-2 hibrit sistemlerinde ilk 64 gün boyunca yüzde amonyum giderimin artış gösterdiği gözlenmiştir. Çalışmada ilk 8 günde tüm reaktörlerde % 10-40 arası amonyum giderimi gerçekleşmiştir. Bu Giderim 15-64.üncü günler arasında % 20-70 arasında artış göstermiştir. $\text{NH}_4\text{-N}$ gideriminin yüksek olmasının nedeni hibrit sistemin yatay reaktörlerinde kullanılan zeolitten kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Zeolit amonyum gideriminde oldukça etkilili bir madde olduğu rapor edilmiştir (Mayo ve Mutamba, 2004). Atık sulardaki katı parçacıklar ve organik maddeler sıvı ortamın içerisindeki zeolitin boşluklarını doldurur ve yüzeyini kaplayarak amonyum giderim veriminde düşüşe neden olurlar (Pınar ve Uğurlu, 2003).

Reaktörlerin çıkış numunelerinden alınan ortalama $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimi HS-1, HS-2 için sırasıyla; % 56 , % 53 mg/l olarak belirlenmiştir (Şekil 4.8). Bitkili ve bitkisiz hibrit sistem arasında giderim verimi açısından fark olmadığı gözlenmiştir ($F_{0.95}(1,48)=0.237$, $p>0.05$). Giderimler arasında fark olmamasının nedeni; atık suyun içindeki organik maddelerin zeolitin aktif bölgelerini tıkaması sonucu 64. günden sonra HS-1 sisteminde ortalama % 57'lik, HS-2 sisteminde de ortalama %55'lik bir düşüş gerçekleşmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.8. HS-1 – HS-2 sistemlerinde $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimi

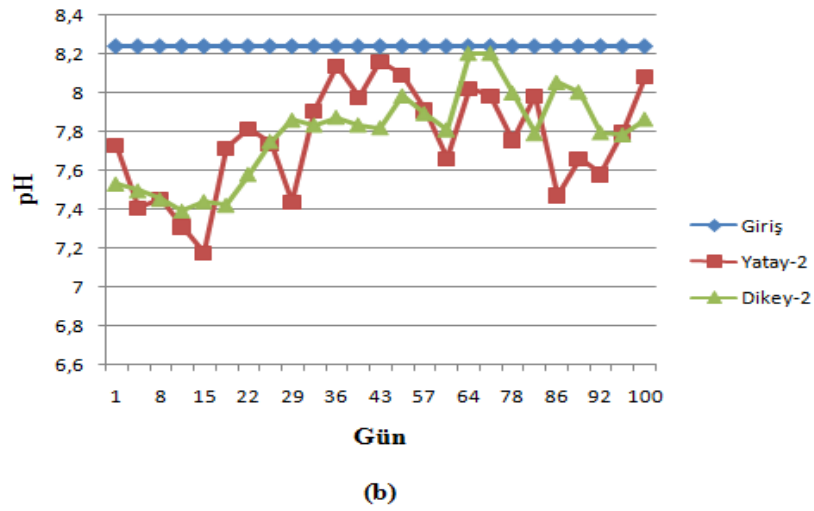
Amonyak gideriminde pH ve sıcaklık doğru orantılıdır (Borin vd., 2013). Sisteme giriş pH değeri 8,5 un altında bir değer aldığından buharlaşmanın amonyak uzaklaştırmada etkisinin ihmal edilebileceği düşünülmektedir (DeBusk, 1999). Sisteme ortalama giriş pH değeri 8,24 olurken ortalama çıkış pH değerleri Y1-D1 için sırasıyla 7.78, 7.64 olurken, Y2-D2 için sırasıyla 7.75, 7.78 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.9 a ve b). Bu değerlerin SKKY’de belirtilen Sebze ve Meyva Yıkama Tesisleri (Çizelge 4.3) deşarj standartlarına uygun olduğu gözlenmiştir.



(a)

Şekil 4.9. pH değişimi

(a) HS-1 sisteminde pH değişimi



Şekil 4.9: pH değişimi
(b) HS-2 sisteminde pH değişimi (devamı)

4.1.1.4.2 NO₂-N ve NO₃-N değişimleri

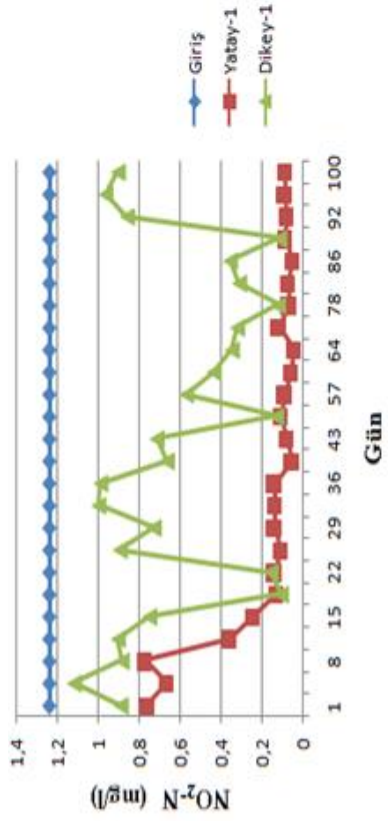
Sisteme verilen seyreltik atık suyun ortalama NO₂-N ve NO₃-N giriş konsantrasyonları sırası ile 1,24 mg/l ve 3,4 mg/l'dir. Reaktörlerin ortalama NO₂-N çıkış konsantrasyonları Y1-D1 için sırası ile 0.18 ± 0.21 mg/l, 0.60 ± 0.33 mg/l olarak bulunurken, Y2-D2 için sırasıyla 0.22 ± 0.21 mg/l, 0.63 ± 0.32 mg/l olarak belirlenmiştir (Şekil 4.11 a ve b).

HS-1 ve HS-2 sistemlerinin NO₂-N çıkış konsantrasyonlarında anlamlı bir fark yoktur ($F_{0.95}(1,48)=0,076$ $p>0.05$). Sistemlerinin NO₂-N çıkış konsantrasyonlarında anlamlı bir farkın görülmemesinin nedeni; her iki hibrit sisteminde dolgu malzemelerinin arasında oksijen difüzyonunun gerçekleşmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir (Yalçuk, 2010).

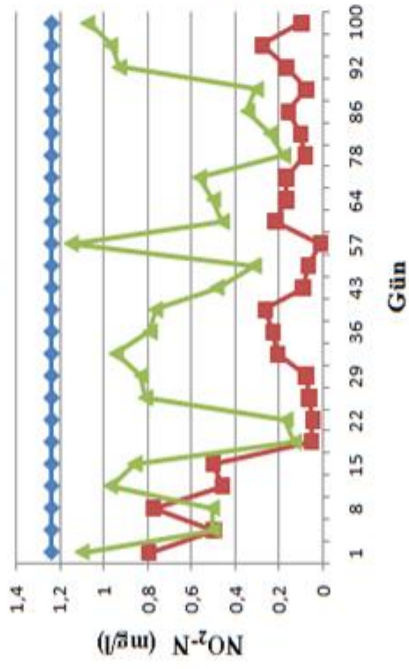
Ortalama NO₃-N çıkış konsantrasyonları ise Y1-D1 reaktörleri için sırası ile 1.30 ± 0.26 mg/l, 1.57 ± 0.20 mg/l olarak belirlenirken, Y2-D2 reaktörleri için sırası ile 1.43 ± 0.31 mg/l, 1.47 ± 0.07 mg/l olarak bulunmuştur (Şekil 4.10 a ve b). HS-1 ve HS-2 hibrit sistemlerinin NO₃-N çıkış konsantrasyonlarında anlamlı bir fark görülmektedir ($F_{0.95}(1,48)=6.189$ $p<0.05$). Bu farkın nedeni; nitrifikasyon prosesinin çözülmüş oksijen miktarına bağlı olarak HS-1 sisteminde HS-2 sisteminden daha önce başlamış olması ile açıklanabilir. Yapay sulak alan sistemlerinde atık suyun içindeki azot nitrifikasyon ile nitrit ve nitrata dönüştürülür, daha sonra da

denitrifikasyon ile uzaklaştırılır (Wang vd., 2014). HS-1 ve HS-2 sistemlerinin her ikisinde de $\text{NO}_3\text{-N}$ çıkış konsantrasyonlarının giriş konsantrasyonlarından düşük olduğu görülmektedir. Bu durum her iki hibrit sistemde de denitrifikasyonun gerçekleştiğini göstermektedir. Sulak alanlarda nitrifikasyon bitki köklerinin bulunduğu ortamda gerçekleşebilir. Bitki köklerinin çevresine nüfuz eden oksijen difüzyonu kök bölgesinin etrafında aerobik bir ortamın oluşmasını sağlar ve nitrifikasyonun gerçekleşmesine katkıda bulunur (Hecan, 2010). HS-1 sisteminde 57.günden sonra $\text{NO}_3\text{-N}$ artışı gözlenirken, HS-2 sisteminde 64.günden sonra $\text{NO}_3\text{-N}$ artışı görülmektedir. Bunun nedeninin bitkilerin hava kanalları ile kökleri vasıtasıyla oksijen iletimi yaparak nitrifikasyonu hızlandırması olduğu düşünülmektedir.





(a)

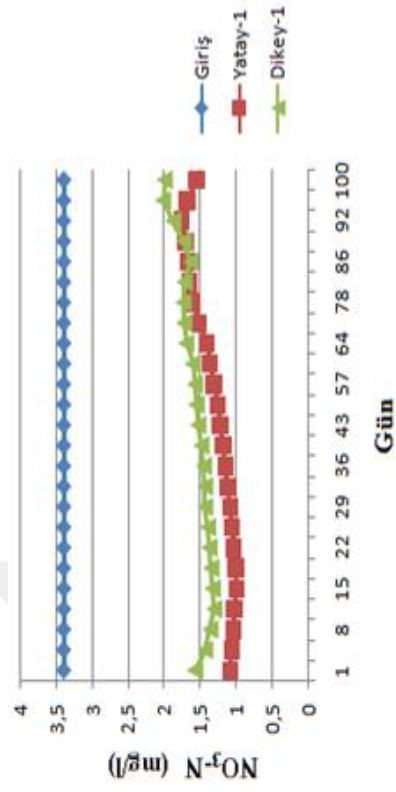


(b)

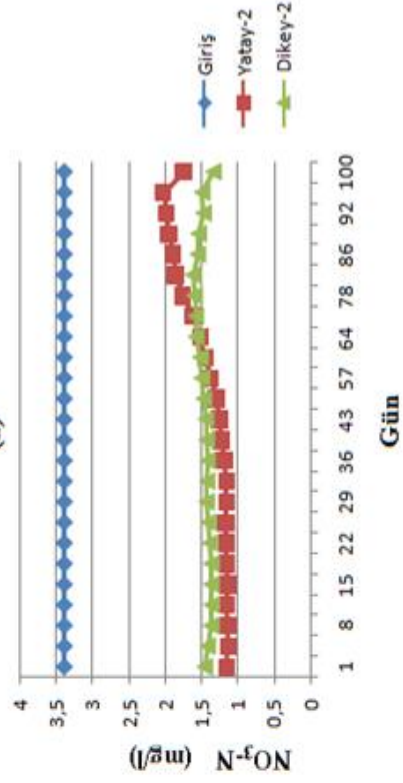
Şekil 4.11. $\text{NO}_2\text{-N}$ değişimi

(a) HS-1 sistemindeki $\text{NO}_2\text{-N}$ değişimi

(b) HS-2 sistemindeki $\text{NO}_2\text{-N}$ değişimi



(a)



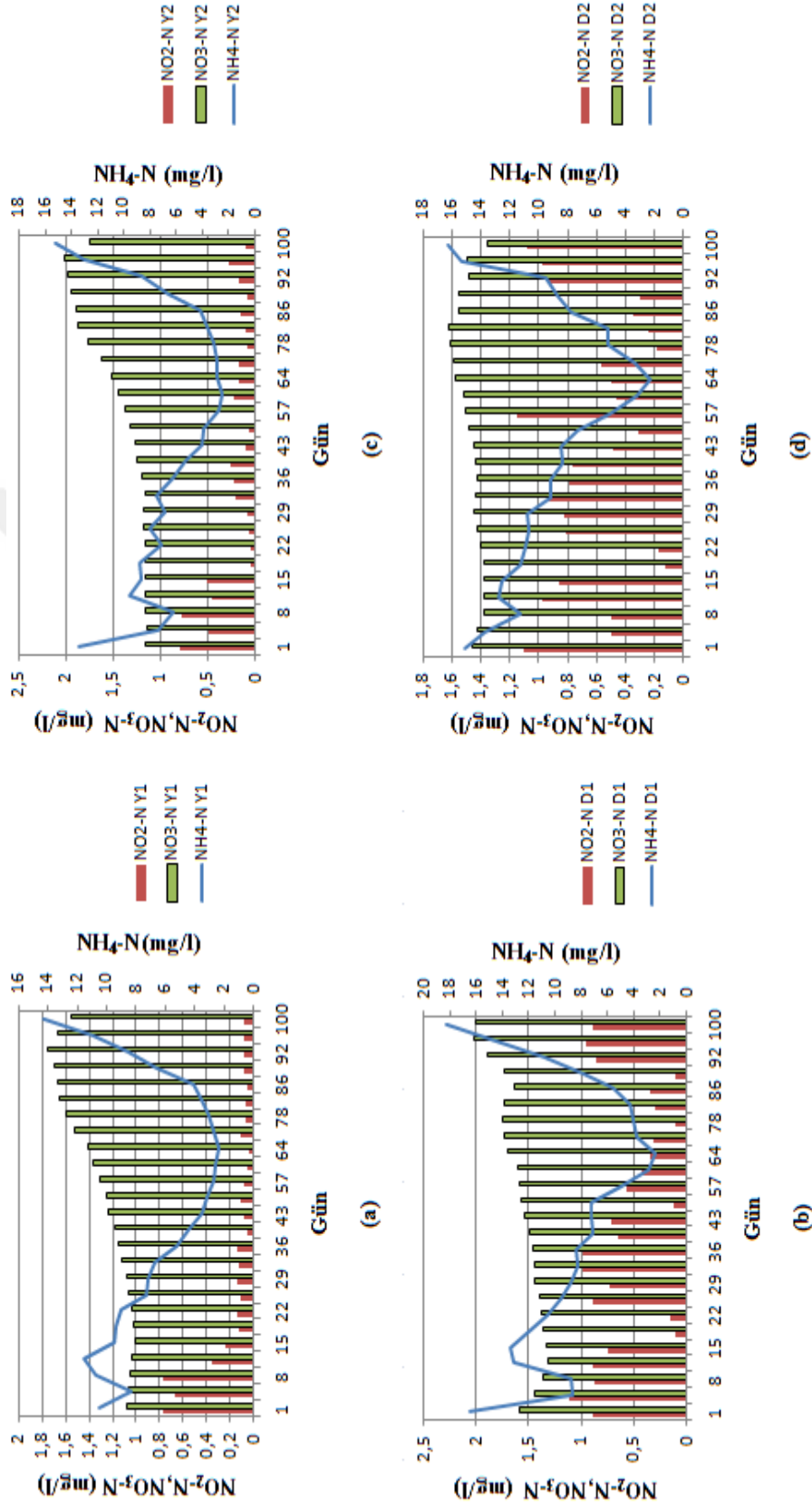
(b)

Şekil 4.10. $\text{NO}_3\text{-N}$ değişimi

(a) HS-1 sistemindeki $\text{NO}_3\text{-N}$ değişimi

(b) HS-2 sistemindeki $\text{NO}_3\text{-N}$ değişimi

Şekil 4.12 'de $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarının HS-1 ve HS-2 sistemleri için değişimi gösterilmiştir. Hibrit yapay sulak alanlarda; yatay akışlı reaktörlerde nitrifikasyona uygun koşullar sağlarken, dikey akışlı reaktörler nitrifikasyon prosesini gerçekleştirirler (Vymazal, 2007). HS-1 ve HS-2 sistemleri incelendiğinde 82. günde desorpsiyonun meydana gelmesi yatay reaktörlerde denitrifikasyonun gerçekleştiğini göstermektedir. Her iki sistemde de dikey reaktörlerde 64.güne kadar $\text{NH}_4\text{-N}$ 'in azalırken, $\text{NO}_3\text{-N}$ ve $\text{NO}_2\text{-N}$ 'nin artması sistemde nitrifikasyonun gerçekleştiğini göstermektedir. Seyreltik patates atık suyunun giriş pH değeri ortalama 8.24'tür. HS-1 ve HS-2 sistemlerin ortalama çıkış pH değerleri sıra ile 7.64 ve 7.78'tir. Çıkış pH değerlerinde HS-1 sisteminin HS-2 sistemine göre daha düşük bir değer aldığı görülmektedir. HS-1 sistemdeki kök bölgeleri etrafında ortamda bulunan çözünmüş oksijen nedeniyle düşen pH değeri sistemde nitrifikasyonun gerçekleştiğini göstermektedir (Bezbaruah vd., 2004). HS-2 sisteminde bitki kökü olmaması nedeniyle ortamda oksijen sağlanamadığından pH değerinin yüksek kaldığı düşünülmektedir.

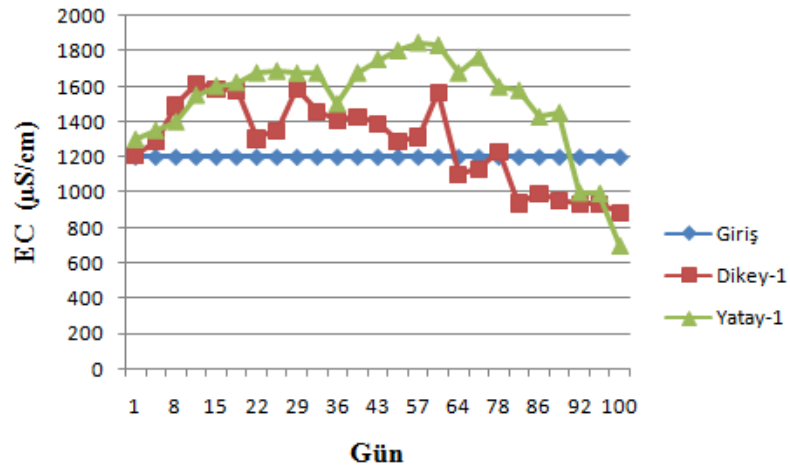


Şekil 4.12. HS-1 ve HS-2 reaktörlerinin $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ değişimi

(a) Y1 reaktörü (b) D1 reaktörü (c) Y2 reaktörü (d) D2 reaktörü

4.1.1.5 EC değışimi

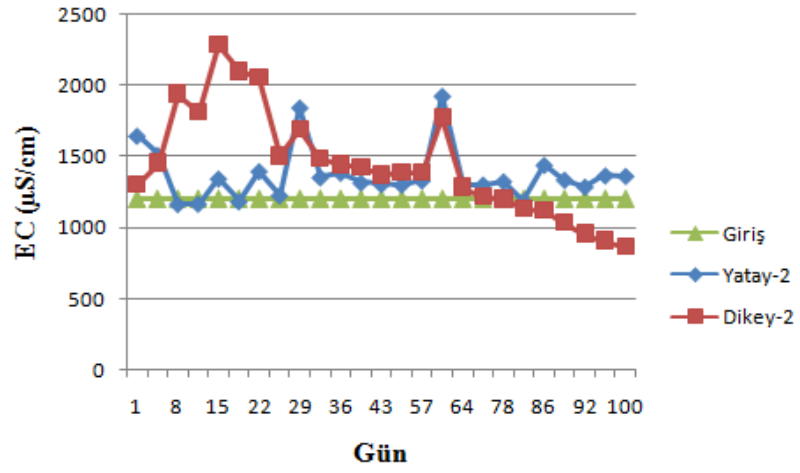
Elektriksel iletkenlik (EC) , çözünen iyonların ortamda varlığını işaret eden bir parametredir. Sisteme verilen seyreltik atıksuyun ortalama EC giriş değeri 1202 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olurken ortalama çıkış EC değeri Y1-D1 reaktörleri için sırasıyla $1524.48 \pm 280.36 \mu\text{S}/\text{cm}$, $1278.44 \pm 239.49 \mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Y2-D2 reaktörleri için sırasıyla $1438.92 \pm 379.39 \mu\text{S}/\text{cm}$, $1444.28 \pm 181.89 \mu\text{S}/\text{cm}$ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.13 a ve b). Her iki hibrit sistemin EC değeri arasında anlamlı bir fark yoktur ($F_{0.95}(1,48)=3.146$ $p>0.05$). Analiz sonuçlarına göre HS-1 ve HS-2 sistemlerinin tüm reaktörlerinde EC çıkış değeri giriş değeri üstünde kaldığı görülmektedir. Bu durum her iki hibrit sistemde de ortamda iyon salınımının etkili olduğunu göstermektedir (Şekil 4.14). Ancak 78. günden sonra her iki hibrit sistemde de EC değeri giriş değeri altına düşmüştür. Bu düşüşün nedeni ise, makro-mikro elementlerin ve iyonların, bakteri ve bitkiler tarafından alınması ve bunların alınıp çöp ve askıda katı parçalara adsorbe edilmesi ile açıklanmaktadır (Mohanraj ve Arivoli, 2013).



(a)

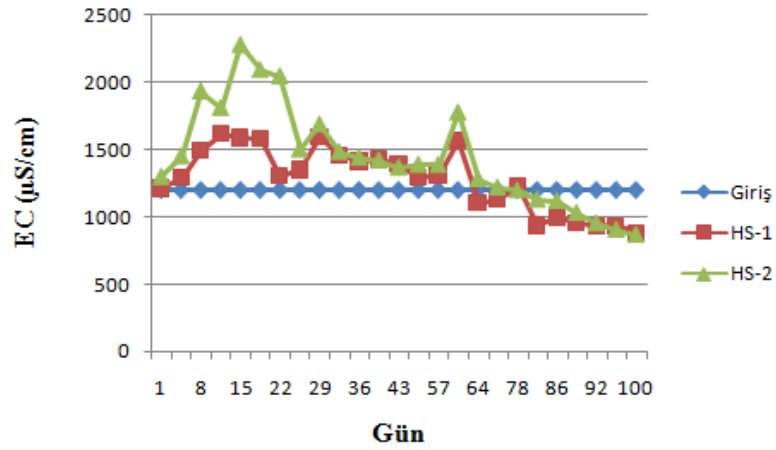
Şekil 4.13. EC değışimi

(a) HS-1 sistemindeki EC değışimi



(b)

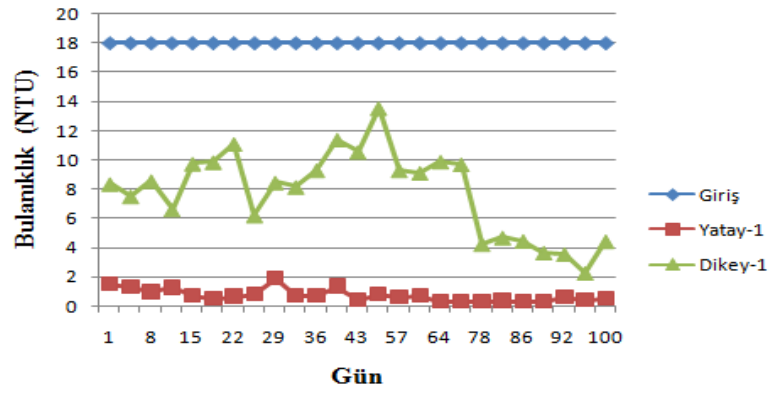
Şekil 4.13. EC değişimi
(b) HS-2 sistemindeki EC değişimi (devamı)



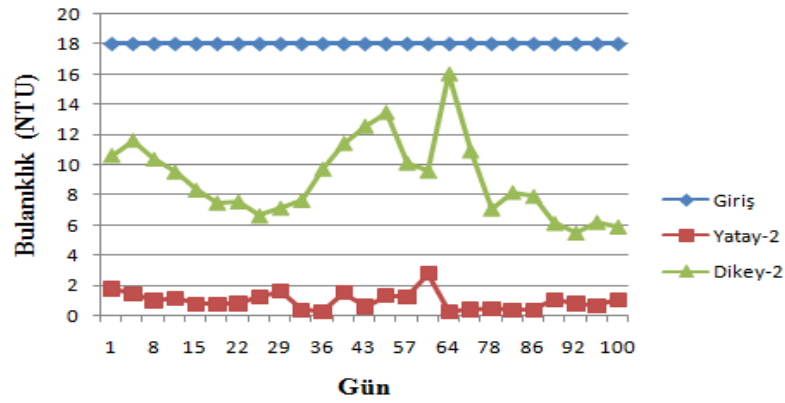
Şekil 4.14. HS-1 – HS-2 sistemlerinde EC değişimi

4.1.1.6 Bulanıklık giderimi

Atık sularda bulanıklık, askıda katı maddeler, organik maddeler, mikroskobik organizmalar, çökebilir durumdaki kalsiyum karbonat, alüminyum hidroksit, demir hidroksit vb maddeler ile oluşur. Kirletilmiş atıksularda ve endüstriyel atık suların önemli bir bölümünde organik yapılı maddeler bulunur. (Samsunlu, 2008). Hibrit sisteme verilen seyreltik atık suyun ortalama bulanıklık değeri 18,02 NTU'dur. Reaktörlerin ortalama çıkış bulanıklık değerleri Y1-D1 için sırası ile 0.72 ± 0.42 NTU, 7.78 ± 2.91 NTU, Y2-D2 için sırası ile 0.94 ± 0.57 NTU, 9.12 ± 2.62 NTU olarak bulunmuştur (Şekil 4.15 a ve b). Atık sularda bulanıklığa neden olan etkenlerin birçoğu aynı zamanda sudaki askıda katı madde oranının yoğunluğundan kaynaklandığı bilinmektedir. Bu nedenle bulanıklık ile askıda katı madde doğru orantılı olarak değerlendirilebilmektedir. HS-1 ve HS-2 sistemleri incelendiğinde her iki hibrit sistemin dikey reaktörlerinin çıkış konsantrasyonunun yatay reaktörlerin çıkış konsantrasyonlarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni; dikey reaktörlerde kullanılan üç farklı dolgu malzemesinin sistemlerde daha fazla askıda katı madde yoğunluğuna yol açarak bulanıklık değerini artırdığı düşünülmektedir (Çizelge 4.3). Reaktörlerden alınan çıkış numunelerinin ortalama bulanıklık giderimi HS-1, HS-2 için sırasıyla; % 56.81, % 49 mg/l'dir (Şekil 4.16). HS-1 ve HS-2 sistemin bulanıklık çıkış değerleri arasında anlamlı bir farka rastlanmamıştır ($F_{0.95}(1,48)=2.959$ $p>0.05$). HS-1 ve HS-2 hibrit sistemlerinde 64.güne kadar, HS-1 sisteminde ortalama %48 bulanıklık giderimi görülürken, HS-2 sisteminde ortalama % 46 giderim görülmüştür. 64-100 gün arasında ise HS-1 sisteminde ortalama % 71, HS-2'de % 54 bulanıklık giderimi tespit edilmiştir. Kök yapısı uzun olan bitkilerin askıda katı maddeleri tutarak bulanıklık giderimine yardımcı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle HS-1 sisteminin giderim oranında artış görüldüğü düşünülmektedir. HS-2 sistemindeki artışın nedeni ise dolgu malzemelerinde gerçekleşen atık suyun filtrasyonu sırasında mikroorganizmaların çürümesine bağlı adsorpsiyonu ve katı maddelerin çökmesi ile açıklanabilir (Mohanraj ve Arivoli, 2013).



(a)

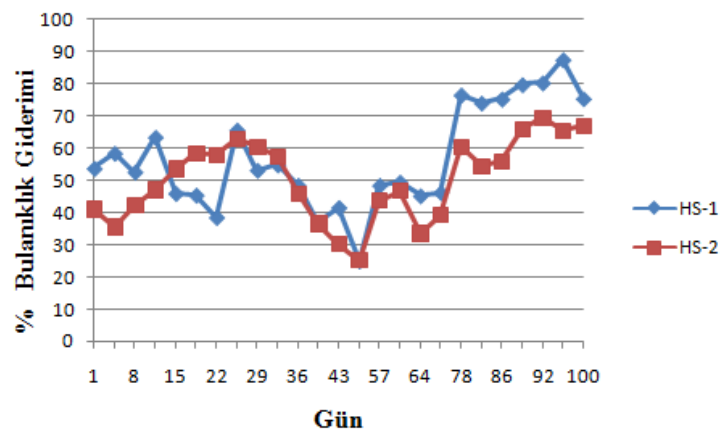


(b)

Şekil 4.15. Bulanıklık değişimi

(a) HS-1 sistemindeki bulanıklık değişimi

(b) HS-2 sistemindeki bulanıklık değişimi

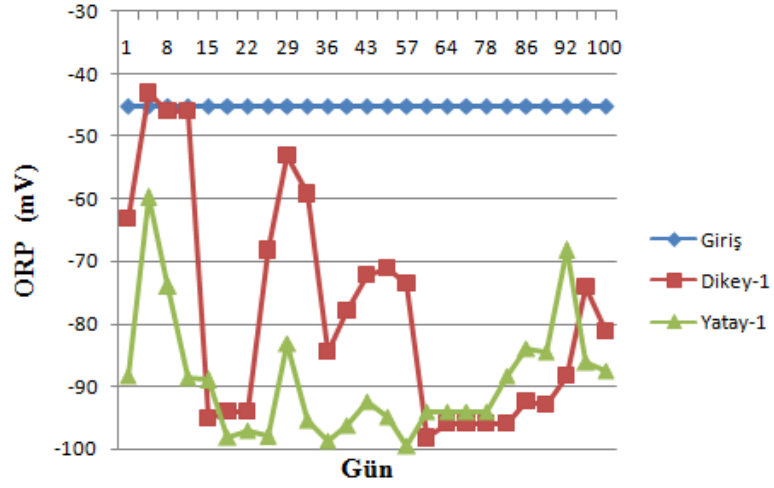


Şekil 4.16. HS-1 – HS-2 sistemlerinde bulanıklık giderimi

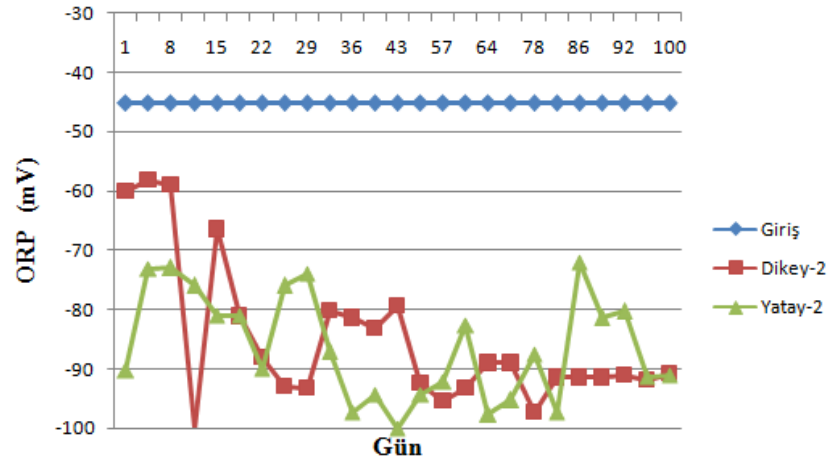
4.1.1.7 ORP değişimi

Redoks potansiyeli, sulak alan içersinde oksidasyon veya indirgenme reaksiyonlarının lmdr. Sulak alanın içerisinde gerçekleşen mikrobik işlemleri gösterir (Kadlec ve Wallace, 2009). Redoks potansiyeli 100 mV'dan büyük ise aerobik ortamı, -100 mV'dan düşük ise anaerobik ortamı ifade eder. (Ong vd., 2009). Redoks potansiyelini; sulak alanların işletim koşulları, makro besinlerin yüksek konsantrasyonda olması, düşük akış hızı, değişken hava koşulları, oksijenin köklere taşınım hızı ve kök bölgesinde ne kadar oksijen kaldığı gibi unsurlar etkilemektedir. Düşük akış hızı ve uzun alıkonulma sresinden dolayı, kök yüzeyine yakın olan bölgelerde oksitlenme reaksiyonu, köklerden uzak olan bölgelerde de indirgenme reaksiyonu olmaktadır (Wieber vd., 2005). Sulak alanlarda oksijen iletiminin başlıca kaynağı olarak giriş atık suyu, atmosferik difüzyon ve makrofit köklerinden sızıntı olmasıdır (Ye vd., 2012). Sisteme verilen seyreltik atık suyun ortalama giriş ORP değeri -45.2 mV olurken; ortalama ıkış ORP değerleri Y1-D1 reaktörleri için sırasıyla (-89.39 $\pm$ 9.56 mV), (-78.11 $\pm$ 18.24 mV) olurken, Y2-D2 için sırasıyla (-86.16 $\pm$ 9.31 mV), (-84.84 $\pm$ 12.30 mV) olarak belirlenmiştir (şekil 4.17 a ve b).

Yapay sulak alanlarda denitrifikasyonun gerçekleşmesi için ORP değerinin 300 mV altında olması ve ortamın anoksik olarak çalışması gerekmektedir (Wang vd., 2014). HS-1 ve HS-2 sistemlerinin çıkış değerleri -100 mV ile +100 mV arasında değişim göstermiş olup, hatta -100 mV'a daha yakın değerde sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre HS-1 ve HS-2 sistemlerinin anoksik koşullarda çalıştığını ve sistemlerde denitrifikasyonun olabildiği düşünülmektedir.



(a)



(b)

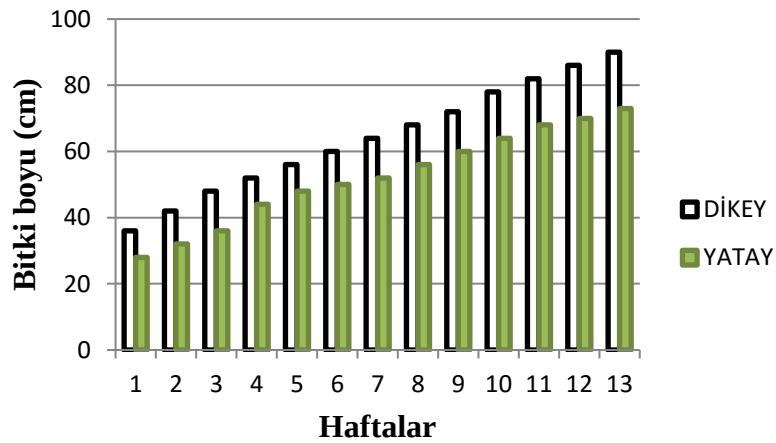
Şekil 4.17. ORP değişimi

(a) HS-1 sistemindeki ORP değişimi

(b) HS-2 sistemindeki ORP değişimi

4.1.1.8 Bitki gelişimi

Reaktörler 3.bölümde yer alan doldurma hacimleri kadar seyreltilmiş patates atık suyu ile doldurulmasının ardından *Cyperus alternifolius* bitkisinden yatay reaktörlere (61 kök/m²), dikey reaktörlere (93 kök/m²) olacak şekilde reaktörlere dikilmiştir. Set-1’de sistem, 6 Ağustos 2015-12 Kasım 2015 tarihleri arasında toplam 100 gün çalıştırılmıştır. Bitki reaktörlere dikildikten sonra bir hafta sisteme besleme yapılmadan ortama alışması için beklenilmiştir. Şekil 4.18’de görüldüğü üzere bitkilerin büyüme dönemi sisteme dikildiği ilk haftadan, sistemin kapatılacağı güne kadar verilmiştir. Bitkiler çalışma süresi boyunca ortama alışmış ve maksimum büyüme göstermiştir. Bitkilerin boyu, hibrit sistem kapatılıncaya kadar yatay reaktörlerde ortalama 52 cm, dikey reaktörlerde ortalama 64 uzama gözlenmiştir.



Şekil 4.18. Set-1’de bitkilerin haftalara göre boy ortalaması

Bitkilerin kök boyları ise reaktörlere dikilmeden önce ve çalışmanın bitiminde ölçülmüştür. *Cyperus alternifolius*’un dikey reaktöre dikilirken başlangıçtaki kök boyu ortalama 18 cm iken 13 hafta sonra çalışma bitiminde ortalama kök boyu ortalama 70 cm olarak ölçülmüştür. Yatay reaktörlerde ise başlangıçtaki ortalama kök boyu 25 cm iken çalışma sonunda ortalama 50 cm olarak saptanmıştır. Kök gelişiminin sulak alan sistemleri için önemli olduğu rapor edilmiştir (Weiber vd., 2005). Difüzyon ya da gaz taşınımiprosesleri ile oksijenin köklere taşınması rizosfer

bölgesindeki mikroorganizmaların aerobik arıtımının gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu olay ise organik madde giderimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyon için önemlidir.

4.1.1.9 Taramalı elektron mikroskopisi (SEM)

Çalışma tamamlandıktan sonra 100 gün boyunca besleme yapılan HS-1 ve HS-2 sistemlerin her iki reaktöründe bulunan tüm katmanlarından örnekler alınmıştır. Katmanlardan alınan örneklerde oluşan biofilm tabakasını gözlemleyebilmek için SEM çalışması uygulanmıştır. SEM görüntüleri, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Araştırma Laboratuvarında bulunan JEOL JSM-6390LV model taramalı elektron mikroskobu ile yapılmıştır. Şekil 4.19'da her iki hibrit sistemden alınan numunelerin SEM görüntüleri verilmektedir.

4.1.1.10 MALDİ TOF/TOF MS Analizi

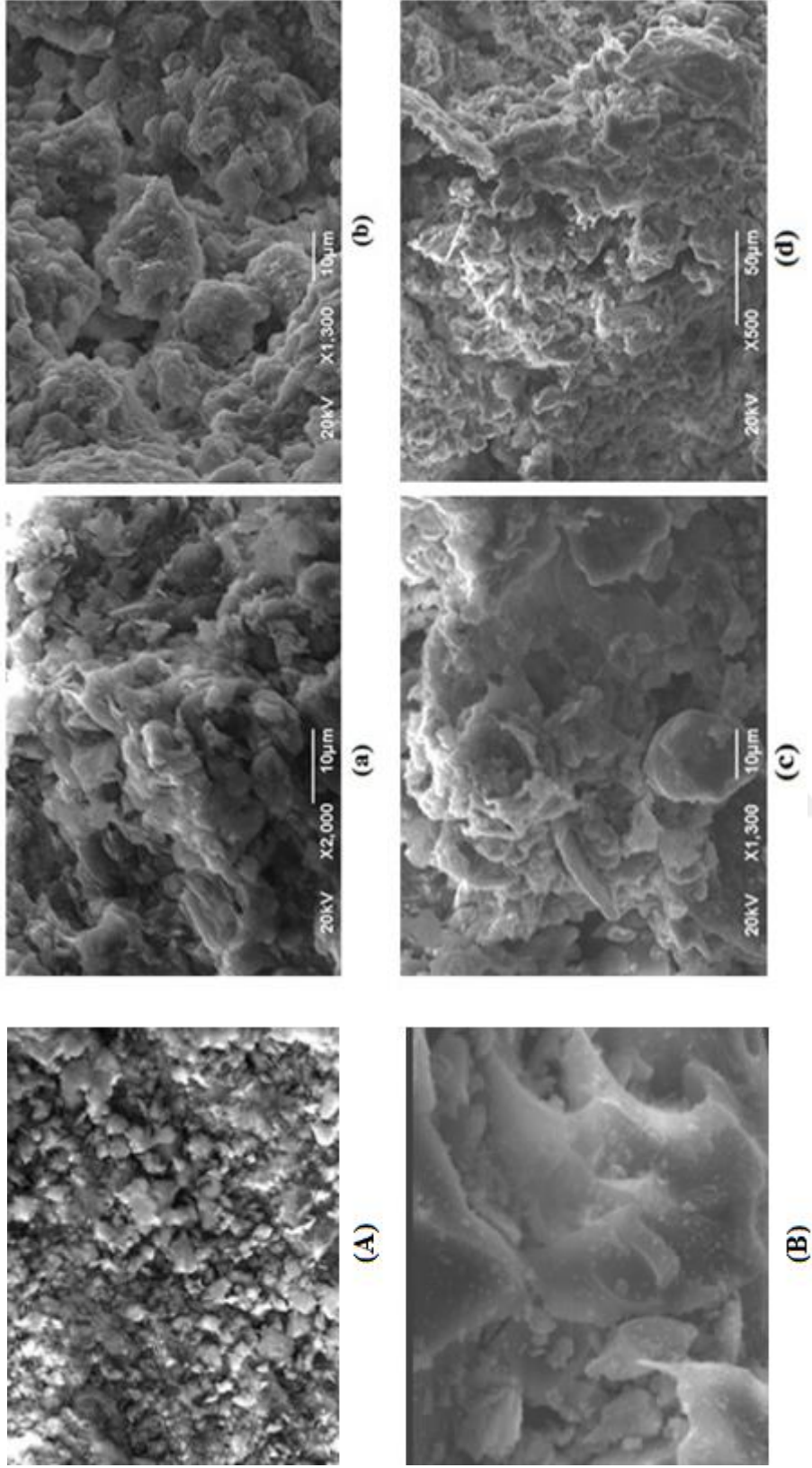
Biofilm tabakasından alınan örnekler MALDİ TOF TOF MS cihazı kullanılarak incelendiğinde hibrit sistemde bulunan bakteriler Çizelge 4.4'te verilmiştir. Sonuçlar Ek-E'de belirtilmiştir.

Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde yapay sulak alanlarda farklı yöntemlerle de bakteri tespiti yapıldığı görülmüştür. Calheiros vd. (2009) yılında kentsel ve endüstriyel atık suları ile kurdukları yapay sulak alan sistemlerinde *Typha latifolia* bitkisini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda substrattan aldıkları numunelerde Denatüre Gradiyel Jel Elektrofezi yöntemini kullanarak *Pseudomonas sp* ve *Bacillus sp* türlerine rastlamışlardır. Duque vd. (2009) yılında deri işleme atık suyunu kullanarak farklı hidrolik koşullara sahip yapay sulak alanlar inşa etmişlerdir. Çalışma boyunca *Typha latifolia* ve *Phragmites australis* bitkileri kullanılmıştır. Çalışma bitiminde substratlardan alınan örneklerde Denatüre Gradiyel Jel Elektrofezi yöntemi ile *Pseudomonas sp*, *Bacillus sp* ve *Holomonas sp* türlerini gözlemlemişlerdir. Sehar vd. (2015) yılında evsel atık suların arıtımını hibrit yapay sulak alan sistemi ile denemişlerdir. Çalışmada *Brachiaria reptans* ve *Trianthema portulacastrum* bitkileri kullanılmıştır ve çalışma bitiminde bakteri sayım yöntemi ile

çıkış atık sularından alınan numunelerde fecal koliformlara, *Bacillus sp*, *Staphylococcus sp* ve *Pseudomonas sp* bakteri türlerini bulduklarını belirtmişleridir.

Çizelge 4.4. Set-1 Numunelerinde Tespit Edilen Bakteriler

Alınan Numuneler	Bakteriler	Gram (+) / Gram (-) /	Aerobik/ Anaerobik/ Fakültatif	Referanslar
Giriş	<i>Pseudomonas stutzeri</i>	Gram (-)	Anaerobik	(Lalucat vd., 2006)
Y1 üst bölge	<i>Pseudomonas alcaligenes</i>	Gram (-)	Aerobik	(Suzuki vd., 2013)
Y1 orta bölge	<i>Streptomyces badius</i>	Gram (+)	Aerobik	(Saravana Kumar vd., 2014)
Y2 orta bölge	<i>Staphylococcus hominis</i>	Gram (+)	Aerobik	(Jemec vd., 2006)
Y2 Çıkış suyu	<i>Bacillus weihenstephanensis</i>	Gram (+)	Aerobik	Brenner vd., 2009)
D1 orta bölge	<i>Lactobacillus ingluviei</i>	Gram (+)	Anaerobik	(Kim vd., 2011; Holzapfel ve Wood, 2014)
D1 orta bölge	<i>Streptomyces phaeochromogenes</i>	Gram (+)	Aerobik	(Bamzadeh vd., 2014)
D1 orta bölge	<i>Streptococcus pneumoniae</i>	Gram (+)	Fakültatif anaerobik	(web2)
D1 çıkış suyu	<i>Bacillus marisflavi</i>	Gram (+) ya da değişken	Aerobik	(Yoon vd., 2003; Brenner vd., 2009)
D2 çıkış suyu	<i>Sodalis glossinidius</i>	Gram (-)	Anaerobik	William-Farmer vd., 2014; Toh vd., 2017)
D2 orta bölge	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	Gram (+)	Aerobik	(Jemec vd., 2006)
D2 orta bölge	<i>Streptomyces lavendulae</i>	Gram (+)	Aerobik	(Saravana Kumar vd., 2014)
D2 üst bölge	<i>Arcanobacterium bernardiae</i>	Gram (+)	Fakültatif Anaerobik	(PHE, 2014)
D2 üst bölge	<i>Filifactor villosus</i> (<i>Clostridium villosus</i>)	Gram (+) ya da değişken	Anaerobik	(N. Love vd., 1979)



Şekil 4.19. HS-1 ve HS-2 sisteminin SEM görüntüleri **A)** Zeolitin boş SEM görüntüsü **B)** Pomza taşının boş SEM görüntüsü **(a)** D1 reaktörü **(b)** Y1 reaktörü **(c)** D2 reaktörü **(d)** Y2 reaktörü

4.1.1.11 İstatistiksel değerlendirme

Sistemlerin giriş ile çıkış konsantrasyonları arasında fark olup olmadığı ve her iki hibrit sistemin çıkış konsantrasyonları arasında belirgin bir fark olup olmadığı tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile belirlenirken, bu farkın hangi reaktörler arasında olduğunu da Dunnet testi ile tespit edilmiştir. G: Giriş konsantrasyonu, HS1: Bitkili hibrit sistem-1'i ve HS2: Bitkisiz hibrit sistem-2'yi temsil etmektedir. Set-1 ANOVA hesapları Çizelge 4.5' de gösterilmiştir.

Dunnet testine göre; KOİ, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, PO₄-P, bulanıklık ve AKM parametrelerinin giriş konsantrasyonu ile HS-1 ve HS-2 çıkış konsantrasyonları arasında farklılık olduğu görülmektedir. EC açısından incelendiğinde ise; giriş konsantrasyonu ile HS-1 sisteminin çıkış konsantrasyonunda farklılık tespit edilmemişken, giriş konsantrasyonu ile HS-2 sisteminin çıkış konsantrasyonu arasında anlamlı bir farklılık saptanmıştır. HS-1 ve HS-2 sistemlerinin çıkış konsantrasyonları kıyaslandığında NO₃-N parametresi hariç, diğer parametreler arasında anlamlı bir fark görülmemiştir.

Çizelge 4.5. Set-1 ANOVA hesapları

Parametreler	G-HS1		G-HS2		HS1-HS2	
	F	p	F	p	F	p
KOİ	3649.969	0.000*	1492.078	0.000*	1.692	0.200
PO ₄ -P	295.233	0.000*	151.794	0.000*	0.561	0.457
NH ₄ -N	182.087	0.000*	192.026	0.000*	0.237	0.628
NO ₃ -N	2064.624	0.000*	14859.710	0.000*	6.189	0.016*
NO ₂ -N	87.093	0.000*	87.800	0.000*	0.076	0.784
EC	2.547	0.117	10.195	0.002*	3.416	0.071
Bulanıklık	40897.396	0.000*	21894.038	0.000*	2.959	0.092
AKM	100.812	0.000*	91.087	0.000*	0.824	0.382

*Gruplar arası farklılık vardır ($p < \alpha$, $\alpha = 0.05$)

Giriş, HS-1 ve HS-2 çıkış parametreleri kendi aralarında kıyaslandığında TUKEY testi ile reaktörlerin farklılığı saptanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.4 'e göre KOİ, NH₄-N, NO₂-N, PO₄-P, AKM ve bulanıklık parametrelerinin giriş konsantrasyonları ile HS-1 ve HS-2 çıkış konsantrasyonları arasında anlamlı bir fark saptanırken, belirtilen parametrelerin HS-1 ve HS-2 sistemlerinin çıkış konsantrasyonları arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir.

EC parametresinin, giriş konsantrasyonu ile her iki hibrit sistemin çıkış konsantrasyonları arasında anlamlı bir fark izlenmemiştir. NO₃-N parametresinin ise; giriş konsantrasyonu ile HS-1 ve HS-2 sistemlerinin çıkış konsantrasyonları arasında anlamlı bir fark görülmektedir. Ayrıca yine NO₃-N parametresi incelendiğinde HS-1 ve HS-2 sistemlerinin çıkış konsantrasyonları arasında da anlamlı bir farka rastlanmıştır.

Çizelge 4.6. Set-1 TUKEY sonuçları

Parametre	Reaktörler		P değeri	Parametre	Reaktörler		P değeri
KOİ	G	HS-1 HS-2	0.000* 0.000*	EC	G	HS-1 HS-2	0.546 0.004
	HS-1	G HS-2	0.000* 0.255		HS-1	G HS-2	0.546 0.067
	HS-2	G HS-1	0.000* 0.255		HS-2	G HS-1	0.004 0.067
NH₄-N	G	HS-1 HS-2	0.000* 0.000*	BULANIKLIK	G	HS-1 HS-2	0.000* 0.000*
	HS-1	G HS-2	0.000* 0.822		HS-1	G HS-2	0.000* 0.096
	HS-2	G HS-1	0.000* 0.822		HS-2	G HS-1	0.000* 0.096
NO₂-N	G	HS-1 HS-2	0.000* 0.000*	AKM	G	HS-1 HS-2	0.000* 0.000*
	HS-1	G HS-2	0.000* 0.936		HS-1	G HS-2	0.000* 0.519
	HS-2	G HS-1	0.000* 0.936		HS-2	G HS-1	0.000* 0.519
NO₃-N	G	HS-1 HS-2	0.000* 0.000*	PO₄-P	G	HS-1 HS-2	0.000* 0.000*
	HS-1	G HS-2	0.000* 0.009*		HS-1	G HS-2	0.000* 0.631
	HS-2	G HS-1	0.000* 0.009*		HS-2	G HS-1	0.000* 0.631

*Gruplar arası farklılık vardır ($p < \alpha$, $\alpha = 0.05$)

Çizelge 4.7 incelendiğinde ise KOİ, NH₄-N, PO₄-P, AKM ve bulanıklık parametrelerinin HS-1 ve HS-2 sistemlerinde yüzde giderim verimleri arasında t-test yapılmış ve aralarında fark olup olmadığı incelenmiştir.

Çizelge 4.7. Set-1 t-test hesapları

PARAMETRELER	p değeri
	HS1-HS2
KOİ	0.200
NH ₄ -N	0.628
PO ₄ -P	0.457
AKM	0.382
BULANIKLILIK	0.092

*Gruplar arası farklılık vardır ($p < \alpha$, $\alpha = 0.05$)

t-test sonuçlarına göre KOİ, NH₄-N, PO₄-P, AKM ve bulanıklık parametrelerinin HS-1 ve HS-2 sistemleri arasında yapılan t-test sonucunda yüzde giderim verimleri kıyaslandığında aralarında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür.

4.2 SET-2

4.2.1 Set-2’de elde edilen arıtım veriminin incelenmesi

Bu setin deneysel çalışmaları da set-1 de olduğu gibi iki farklı hibrit sistem (HS-3 ve HS-4) kurularak yapılmıştır. Birinci setten farklı olarak HS-3 ve HS-4 hibrit sistemlerinin D3 ve D4 reaktörlerinde toprak/silt karışımı yerine dolgu malzemesi olarak zeolit kullanılmıştır. Çizelge 4.8’ de çalışma süresi boyunca kirlilik parametrelerinin değişimleri verilmiştir. Çizelge 4.9 da ise, kirlilik parametrelerinin giderim verimleri incelenmiştir.



Çizelge 4.8. Set 2'deki işletme parametreleri

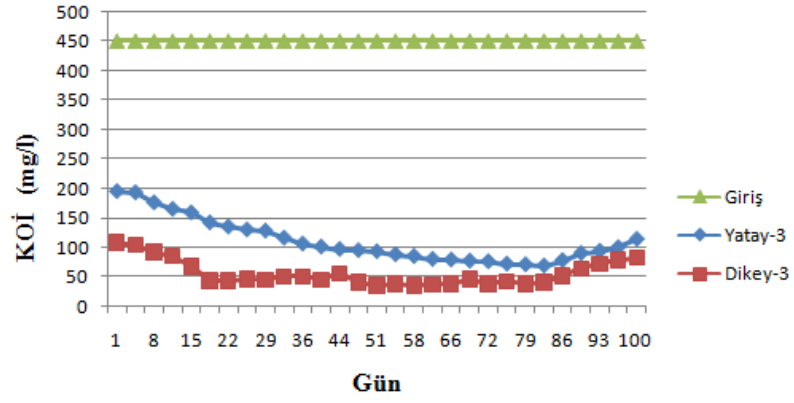
PARAMETRELER	GİRİŞ	ÇIKIŞ			
		BİTKİLİ HİBRİT SİSTEM (HS-3)		BİTKİSİZ HİBRİT SİSTEM (HS-4)	
		YATAY-3	DİKEY-3	YATAY-4	DİKEY-4
KOİ (mg/l) 1-100 gün	451	110,48	55,58	172,13	103,58
Max-Min	451	195-69	108-35	220-130	140-80
s.d	-	37,19	21,18	28,28	19,83
NH ₄ -N(mg/l)1-100 gün	17	3,3	3,3	3,8	3,4
Max-Min	17	8,1-2,2	5,6-2,0	9,7-4,0	6,9-2,0
s.d	-	1,92	1,67	1,98	1,67
PO ₄ -P (mg/l) 1-100 gün	1,98	0,74	0,90	0,34	0,51
Max-Min	1,98	0,93-0,45	0,6-0,08	1,3-0,67	0,89-0,23
s.d	-	0,10	0,16	0,15	0,17
pH 1-100 gün	8,19	7,5	7,4	7,9	7,9
Max-Min	8,19	7,9-7,3	7,9-7,0	8,1-7,7	8,0-7,7
s.d	-	0,17	0,20	0,10	0,09
ORP (mV) 1-100 gün	-94,7	-89,9	-87,0	-89,74	-88,6
Max-Min	-94,7	(-82,7)-(-92,1)	(-78,5)-(-92,5)	(-83,2)-(-94,4)	(-76,0)-(-93,0)
s.d	-	2,04	3,81	2,89	3,63
EC (µs/cm) 1-100 gün	696	695	746	684	587
Max-Min	696	877-634	1023-654	766-626	810-498
s.d	-	55,20	101,41	41,45	83,91
BULANIKLIK (NTU) 1-100 gün	20	6,68	4,86	7,14	6,74
Max-Min	20	10,1-4,6	6,9-4,0	9,2-5,1	8,9-3
s.d	-	1,37	0,76	1,19	1,77
NO ₂ -N(mg/l)1-100 gün	1,08	0,32	0,18	0,39	0,28
Max-Min	1,08	0,63-0,09	0,36-0,07	0,82-0,08	0,63-0,08
s.d	-	0,16	0,08	0,22	0,16
NO ₃ -N(mg/l)1-100 gün	4,3	2,9	2,3	3,7	2,7
Max-Min	4,3	3,7-2,4	3,0-1,7	3,7-2,2	3,4-2,0
s.d	-	0,36	0,28	0,40	0,38
AKM (mg/l) 1-100 gün	0,134	0,052	0,070	0,048	0,056
Max-Min	0,134	0,084-0,060	0,091-0,046	0,076-0,057	0,093-0,029
s.d	-	0,012	0,014	0,014	0,019

Çizelge 4.9. Set-2'deki Giderim Verimleri

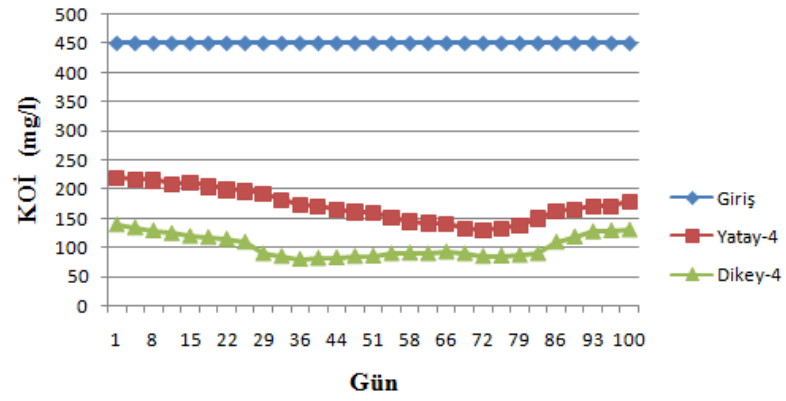
PARAMETRELER	BİTKİLİ HİBRİT SİSTEM (HS-3)				BİTKİSİZ HİBRİT SİSTEM (HS-4)			
	Giriş	Yatay-3	Dikey-3	% Giderim	Giriş	Yatay-4	Dikey-4	% Giderim
pH	8,19	7,5 ± 0,17	7,4 ± 0,20	n.a	8,19	7,9 ± 0,10	7,9 ± 0,09	n.a
ORP (mV)	-94,7	-89,9 ± 2,04	-87,0 ± 3,81	n.a	-94,7	-89,74 ± 2,89	-88,6 ± 3,63	n.a
EC (µS/cm)	696	695 ± 55,20	746 ± 101,41	n.a	696	684 ± 41,45	587 ± 83,91	n.a
BULANIKLIK (NTU)	20	6,68 ± 1,37	4,86 ± 0,76	75,65	20	7,14 ± 1,19	6,74 ± 1,77	68,79
KOİ (mg/l)	451	110,48 ± 37,19	55,58 ± 21,18	87,67	451	172,13 ± 28,28	103,58 ± 19,83	77,03
NH ₄ -N (mg/l)	17	3,3 ± 1,92	3,3 ± 1,67	83,7	17	3,8 ± 1,98	3,4 ± 1,67	77,6
NO ₂ -N (mg/l)	1,08	0,32 ± 0,16	0,18 ± 0,08	n.a	1,08	0,39 ± 0,22	0,28 ± 0,16	n.a
NO ₃ -N (mg/l)	4,3	2,9 ± 0,36	2,3 ± 0,28	n.a	4,3	3,7 ± 0,40	2,7 ± 0,38	n.a
PO ₄ -P (mg/l)	1,98	0,74 ± 0,10	0,90 ± 0,16	82,50	1,98	0,34 ± 0,15	0,51 ± 0,17	73,83
AKM (mg/l)	0,134	0,052 ± 0,012	0,070 ± 0,014	54,10	0,134	0,048 ± 0,014	0,056 ± 0,019	46,08

4.2.1.1 KOİ giderimi

Bu sette HS-3 ve HS-4 sistemine beslenen atık suyun ortalama giriş KOİ konsantrasyonu 451 mg/l'dir. Reaktörlerin ortalama çıkış konsantrasyonları Y3-D3 için sırası ile 110.48 ± 37.19 mg/l, 55.58 ± 21.18 mg/l olarak belirlenirken, Y4-D4 için sırası ile 172.13 ± 28.28 mg/l, 103.58 ± 19.83 mg/l olarak bulunmuştur (Şekil 4.20 a ve b). Bu değerlerin SKKY'de belirtilen Sebze ve Meyva Yıkama Tesisleri (Çizelge 4.3) deşarj standartlarına uygun olduğu görülmüştür. Her iki hibrit sistem incelendiğinde ise, HS-3 sisteminin 19.günden sonra yatışkın hale geldiği, HS-4 sisteminin 26.günden sonra yatışkın olduğu görülmektedir. HS-3 ve HS-4 sisteminde KOİ giderim verimleri sırası ile % 87.67 ve % 77.03 olarak bulunmuştur (Şekil 4.21). Giderimler arasında anlamlı bir fark olduğu görülmüştür ($F_{0.95}(1,56)=79.340$, $p<0.05$). HS-3 sisteminde gerçekleşen KOİ giderimi, HS-4 sisteminden %10 daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedenini HS-3 sistemindeki bitkilerin fotosentez yoluyla sürekli oksijen üretmesi ve bu oksijenin köklere taşınması ile daha yüksek bir KOİ giderimi elde edilmiştir. Bitki köklerinden rizosfer kısmına olan oksijen transferi KOİ giderimini etkilediği bildirilmiştir (Korkusuz vd., 2004). HS-4 sisteminde ise bitki bulunmadığından daha düşük bir KOİ giderimi gözlenmiştir. Bu sonuca göre, KOİ gideriminde bitkinin olumlu yönde etkisinin olduğu görülmektedir. Sulak alanlarda bitkilerin zamanla büyümesi ile daha yüksek miktarda organik madde uzaklaştırılır. Bu da sistemde biofilmin oluşmasını sağlar (Sharma vd., 2014). Çalışma süresince 1-15 gün arasında HS-3 sisteminde ortalama % 79 KOİ giderimi 15-100 gün arasında ise % 88 KOİ giderimi görülmüştür. % 8 lik bu fark 15.günden sonra muhtemel biofilm oluşumunu göstermektedir. Şekil 4.46'deki SEM görüntüleri bu sonucu desteklemektedir. HS-3 ve HS-4 sistemlerinde hidrolik alıkonma süresi Y3 ve Y4 reaktörlerinde 2.5 gün, D3 ve D4 reaktörlerinde 3.3 gündür. Sistemin toplam alıkonma süresi 5.8 gündür ve KOİ gideriminde alıkonma süresinin etkili olduğu bilinmektedir. Sarmento vd. (2013) yılında yaptıkları çalışmada alıkonma süresinin 3 gün olduğunu söylemişlerdir. Yüksek miktarda organik madde gideriminin olmasının alıkonma süresi ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Rampsarad vd. (2016) yılında yaptıkları çalışmada alıkonma süresini 8.9 günden 14.3 güne çıkardıklarında KOİ giderim veriminin arttığını görmüşlerdir.



(a)

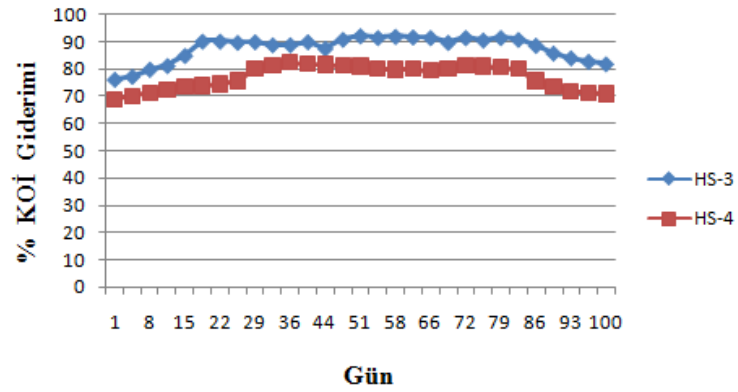


(b)

Şekil 4.20. KOİ değişimi

(a) HS-3 sistemindeki KOİ değişimi

(b) HS-4 sistemindeki KOİ değişimi



Şekil 4.21. HS-3 – HS-4 sistemlerinde KOİ giderimi

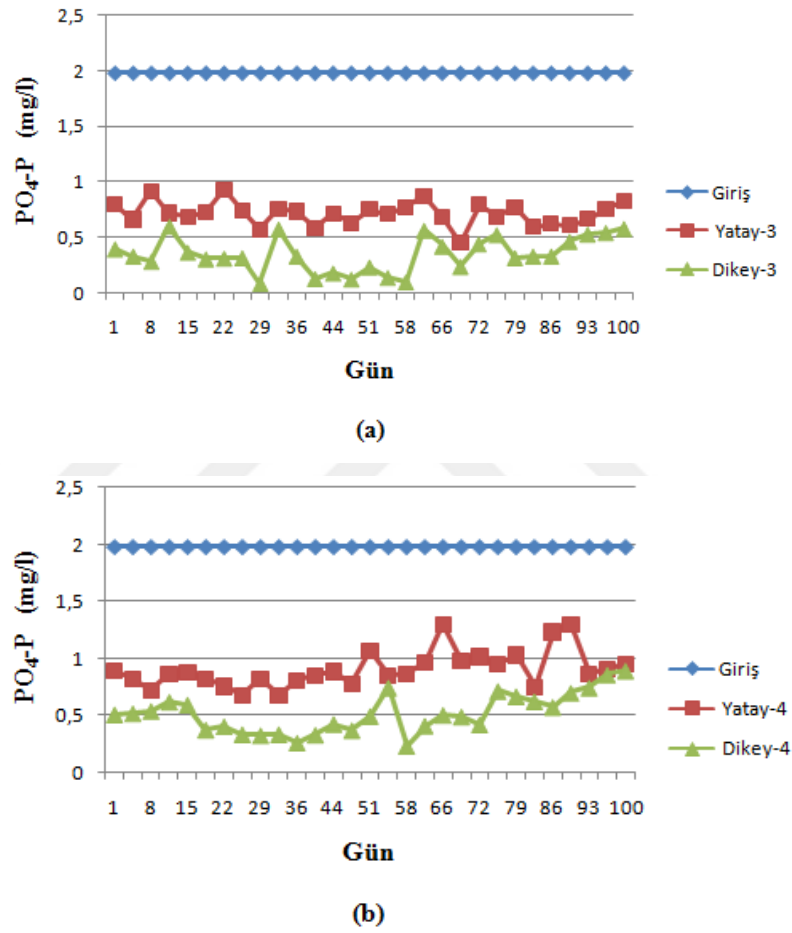
Kato vd. (2010) yılında yaptıkları hibrit yapay sulak alan çalışmasında patates nişastası atıksuyunu kullanarak % 94 KOİ verimi elde etmişlerdir. Obarska-Pempkowiak ve Gajewska'nın (2003) yılında yaptıkları çalışmada hibrit yapay sulak alan sistemine *Phragmites australis* bitkisini kullanarak evsel atıksudan % 81 KOİ giderimi elde etmişlerdir. Sohsalam vd. (2008) yılında şeker kamışı atık suyunu, *Cyperus involucratus*, *Typha. angustifolia* ve *Thalia dealbata* bitkilerini kullanarak hibrit yapay sulak alan sistemi geliştirmişlerdir. Sistemden % 89 KOİ giderimi elde edilmiştir. Kadlec vd. (1997) yılında patates işleme atık suyunun arıtımı amacıyla kurdukları yapay sulak alan sisteminde *Typha* ve *Scirpus* bitkilerini kullanarak % 95 KOİ giderimi elde etmişlerdir. Bu çalışmada ise patates işleme endüstrisi atık suyunun arıtımı hibrit yapay sulak alan sistemi uygulanmıştır. Çalışmada *Cyperus alternifolius* bitkisi kullanılmıştır ve % 87.67 KOİ giderimi elde edilmiştir.

4.2.1.2 PO₄-P giderimi

Bu sette sisteme verilen ortalama PO₄-P giriş konsantrasyonu 1.98 mg/l'dir. Reaktörlerin ortalama çıkış konsantrasyonları Y3-D3 için sırası ile; 0.74 ± 0.10 mg/l, 0.90 ± 0.16 mg/l iken, Y4-D4 için sırası ile; 0.34 ± 0.15 mg/l, 0.51 ± 0.17 mg/l olarak bulunmuştur (Şekil 4.22 a ve b).

HS-3 ve HS-4 sistemlerinin ortalama PO₄-P giderim verimleri sırası ile; % 82.50 ve % 73.83'tür (Şekil 4.23). Her iki hibrit sistemin giderimleri arasında anlamlı bir fark vardır ($F_{0.95}(1,56)=15,308$ $p<0.05$). Bu farkın nedeni ise; bu sette set-1'den farklı olarak dikey akışlı reaktörlerde toprak/silt karışımı yerine zeolit kullanılmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Zeolitin yüksek adsorplama kapasitesinin olduğu bilinmektedir.

Reddy vd. (2013) yılında yaptıkları yapay sulak alan çalışmasında zeoliti dolgu malzemesi olarak kullandıklarında % 87 $PO_4\text{-P}$ giderimi elde ettiklerini belirtmişlerdir. Yalçuk vd. (2010) yılında yaptıkları yapay sulak alan çalışmasında zeoliti dolgu malzemesi olarak kullanmışlardır ve % 95.93 $PO_4\text{-P}$ giderimi elde etmişlerdir. Bu nedenle zeolit kullanımının $PO_4\text{-P}$ giderimine katkıda bulunduğu düşünülmektedir.

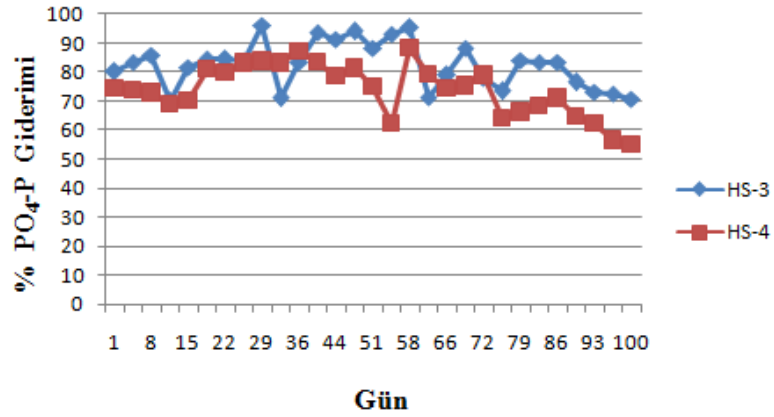


Şekil 4.22. $PO_4\text{-P}$ değişimi

(a) HS-3 sistemindeki $PO_4\text{-P}$ değişimi

(b) HS-4 sistemindeki $PO_4\text{-P}$ değişimi

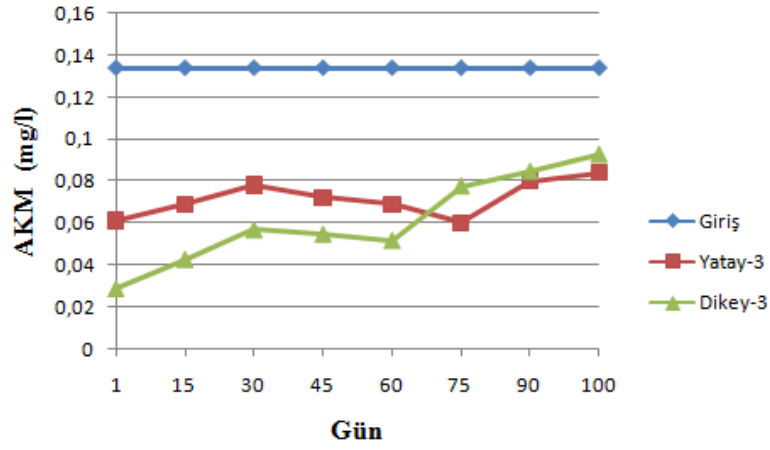
Yapay sulak alanlarda fosfor giderimi kimyasal çökertme ve adsorplama olduğu gibi ayrıca bitkiler bir miktar fosforu bünyelerine alıp kullanarak fosfor giderimine yardımcı olabilmektedirler (Zaimoğlu ve Bozkurt, 2010). Bu nedenle fosforun bir kısmının da bitki tarafından alınıp giderilebildiği düşünülmektedir. Tao vd. (2015) yılında yaptıkları bir çalışmada *Cyperus alternifolius* bitkisinin çok düşük bir miktarda olsa fosfor giderimine katkıda bulunduğunu bildirmişlerdir.



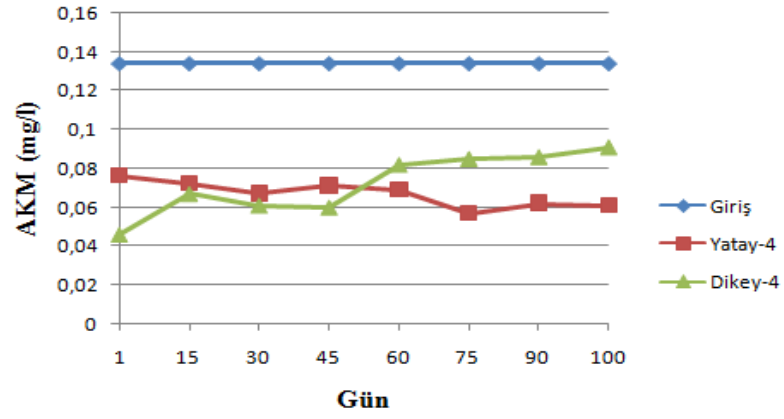
Şekil 4.23. HS-3 – HS-4 sistemlerinde PO₄-P giderimi

4.2.1.3 AKM giderimi

Set-2’de hibrit sisteme verilen seyreltik atık suyun ortalama askıda katı madde değeri 0.134 mg/l’dir. Reaktörlerin ortalama çıkış konsantrasyonları Y3-D3 için sırası ile 0.052 ± 0.012 mg/l, 0.070 ± 0.014 mg/l belirlenirken, Y4-D4 için sırası ile 0.048 ± 0.014 mg/l, 0.056 ± 0.019 mg/l olarak belirlenmiştir (Şekil 4.24 a ve b). Bu değerlerin SKKY’de belirtilen Sebze ve Meyva Yıkama Tesisleri (Çizelge 4.3) deşarj standartlarına uygun olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.24. AKM değişimi

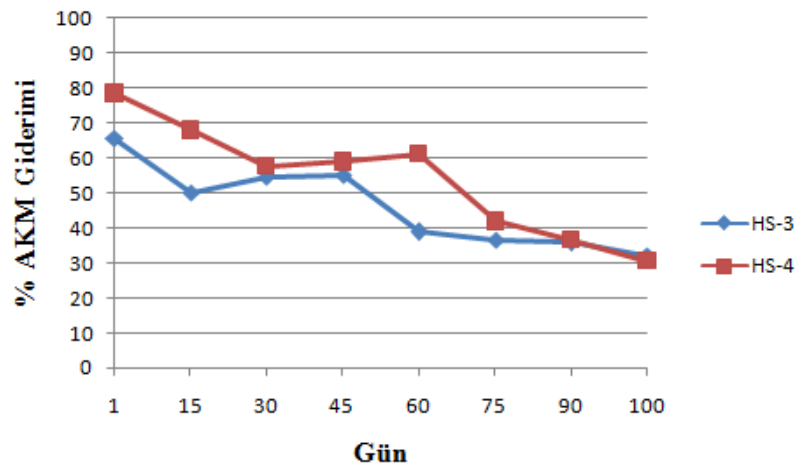
(a) HS-3 sistemindeki AKM değişimi

(b) HS-4 sistemindeki AKM değişimi

HS-3 ve HS-4 sistemleri incelendiğinde, HS-3 sistemindeki Y3 ve D3 reaktörleri sırası ile 75 ve 60. günlerden sonra AKM konsantrasyonunda artış görülmüştür. Bu artışın temel sebebinin bitki organik maddelerinin ve sistemde bulunan diğer katı maddelerin, zamanla ayrışarak yataklara dağılmasının AKM gideriminde etkili olduğu düşünülmektedir. Bu durum, bitkilerin sürekli atık oluşturarak AKM giderimini etkilemesinden kaynaklanmaktadır (Yalçuk, 2007). HS-4 sisteminde çalışma süresi boyunca Y4 reaktöründe bir değişim görülmemişken, D4 reaktöründe 45. günden sonra bir artış tespit edilmiştir. Bu durum, zeolitin zamanla çözünerek suya karıştıktan sonra askıda katı madde gideriminde artışa neden olması ile açıklanabilir.

HS-3 ve HS-4 sistemlerinin AKM giderim verimleri sırası ile % 54.10 ve % 46.08'dir (Şekil 4.25). Giderimler arasında anlamlı bir fark yoktur ($F_{0.95}(1,14)=1,254$ $p>0.05$). HS-3 sistemindeki AKM gideriminin HS-4 sistemindeki giderimden %8 daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun bitkilerin kök yapılarının uzun olmasından dolayı gerçekleştiği ve bunun askıda katı madde gideriminde etkili olduğu bilinmektedir. Ayrıca bu sonuca göre bitkilerin AKM gideriminde önemli bir rol oynadığı görülmektedir (Sehar vd., 2015).

Burgoon vd. (1999) yılında yaptıkları çalışmada yapay sulak alan sistemi kullanarak patates işleme atık suyunun *Typha latifolia* bitkisini ile arıtımını gerçekleştirmişlerdir. Sistemden % 86 AKM giderimi elde edilmiştir.

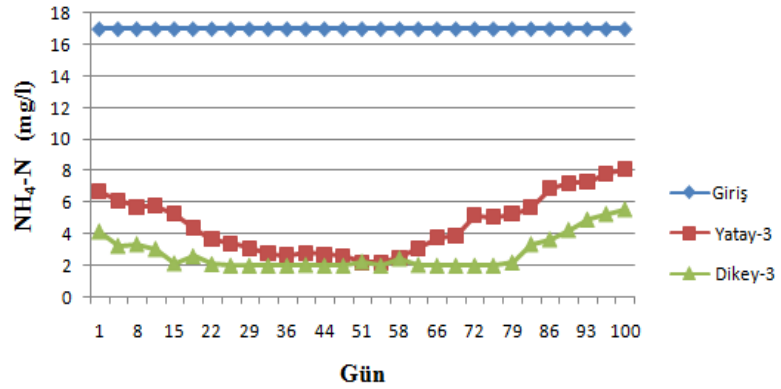


Şekil 4.25. HS-3 – HS-4 sistemlerinde AKM giderimi

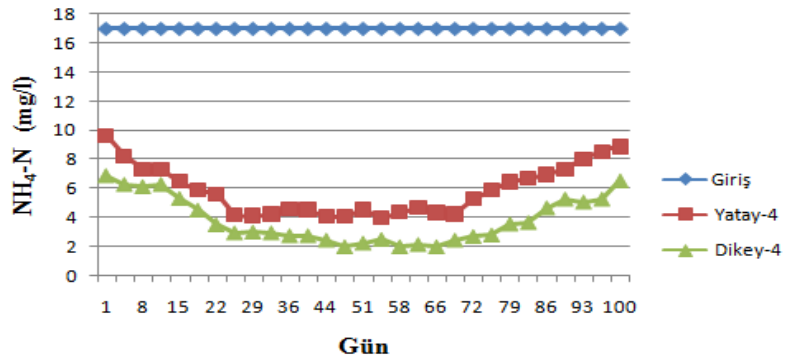
4.2.1.4 Azot giderimi

4.2.1.4.1 $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimi

Bu sette çalışma süresi boyunca sisteme verilen atık suyun ortalama giriş konsantrasyonu 17 mg/l'dir. Reaktörlerden alınan örneklerin çıkış konsantrasyonları ise; Y3-D3 için sırası ile 3.3 ± 1.92 mg/l, 3.3 ± 1.67 mg/l olurken, Y4-D4 için sırası ile 3.8 ± 1.98 mg/l, 3.4 ± 1.67 mg/l olarak ifade edilmiştir (Şekil 4.26 a ve b).



(a)



(b)

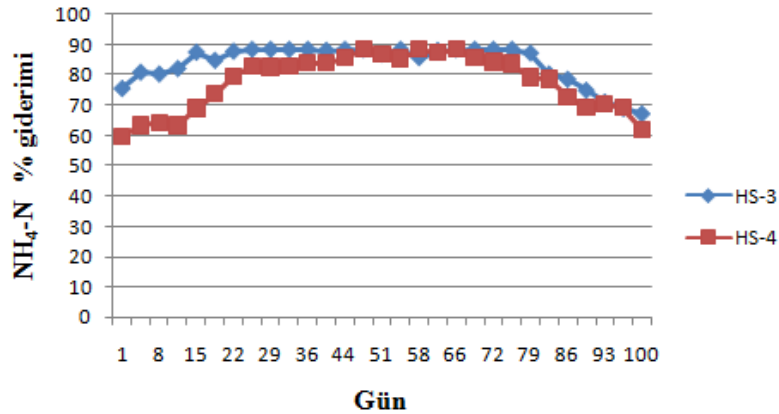
Şekil 4.26. $\text{NH}_4\text{-N}$ değişimi

(a) HS-3 sistemindeki $\text{NH}_4\text{-N}$ değişimi

(b) HS-4 sistemindeki $\text{NH}_4\text{-N}$ değişimi

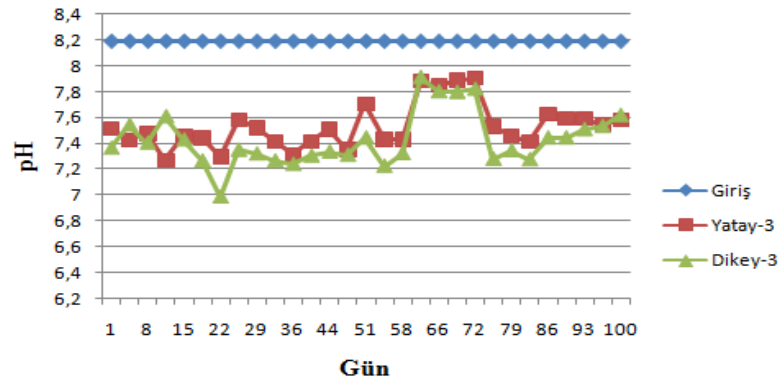
HS-3 ve HS-4 sistemlerinde ilk 22 gün boyunca amonyum gideriminin arttığı izlenmiştir. Bu süre zarfında HS-3 sisteminde yaklaşık % 10-15 arası, HS-4 sisteminde yaklaşık % 25-30 arası amonyum giderimi gerçekleştirilmiştir. 22-72. günler arası amonyum gideriminin her iki hibrit sistemde de etkili olduğu görülmüştür. 72-100 gün arası ise amonyum gideriminde düşüş tespit edilmiştir. Zeolitin amonyum gideriminde etkili bir rol oynadığı bilinmektedir (Mayo ve Mutamba, 2004). Bu nedenle sistemin 72-100 günleri arasında organik maddelerin ve katı partiküllerin zeolitin boşluklarını doldurup, yüzeyini kaplaması nedeniyle amonyum gideriminde düşüşe yol açtığı düşünülmektedir. HS-3 ve HS-4 sisteminde amonyum giderimi sırası ile % 83.7 ve % 77.6'dır (Şekil 4.27). Her iki hibrit sistemin giderimleri arasında anlamlı bir fark vardır ($F_{0.95}(1,56)=8,268$ $p<0.05$). Bu farkın nedeninin amonyumun bitki tarafından alınıp giderime yardımcı olmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Azotlu bileşiklerin bitki tarafından alınan bölümünün % 3-47 arasında olduğu bildirilmiştir (Gottschall vd., 2007).

Jing vd. (2001) yılında yaptıkları çalışmanın sonucu olarak bitkilerin büyüme dönemlerinde etkin olarak $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimine katkıda bulunduklarını görmüşlerdir ve çalışmalarında % 94-100 $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimi tespit etmişlerdir. Tao vd. (2015) yılında yaptıkları bir çalışmada *Cyperus alternifolius* bitkisinin $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimine katkıda bulunduğunu ve %50 $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimi gerçekleştiğini görmüşlerdir.

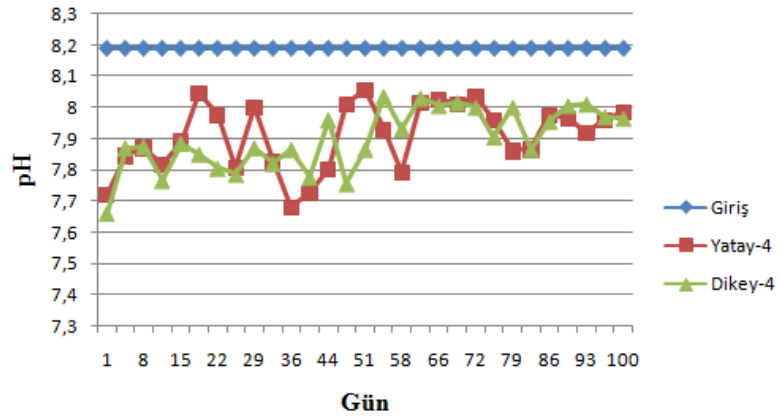


Şekil 4.27. HS-3 – HS-4 sistemlerinde $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimi

Sisteme verilen seyreltik atık suyun ortalama giriş pH değeri 8.19'dur. Reaktörlerin ortalama çıkış pH değerleri Y3-D3 için sırası ile 7.5 ± 0.17 , 7.4 ± 0.20 olurken, Y4-D4 için sırası ile 7.9 ± 0.10 , 7.9 ± 0.09 'dur (Şekil 4.28 a ve b). Bu değerlerin SKKY'de belirtilen Sebze ve Meyva Yıkama Tesisleri (Çizelge 4.3) deşarj standartlarına uygun olduğu görülmüştür. Sisteme verilen atık su seyreltilmiş olduğundan ve ham atık suya göre daha düşük miktarda amonyak değeri içermektedir. Giriş ve çıkış pH değerlerinin nötrale yakın bir değerde olması nedeniyle amonyak uzaklaştırma etkisi ihmal edilmektedir (Tunçsiper, 2005).



(a)



(b)

Şekil 4.28. pH değişimi

(a) HS-3 sisteminde pH değişimi

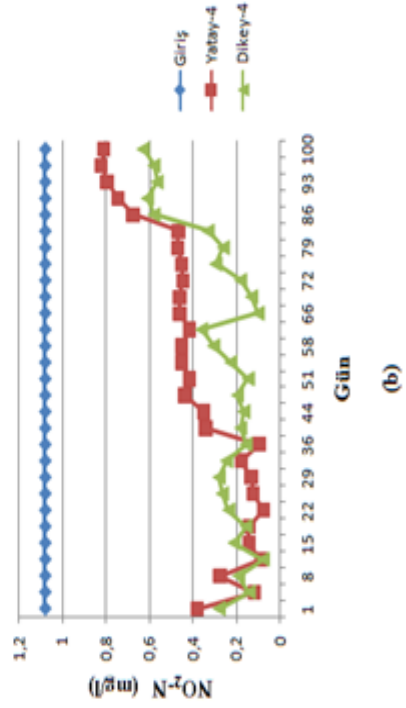
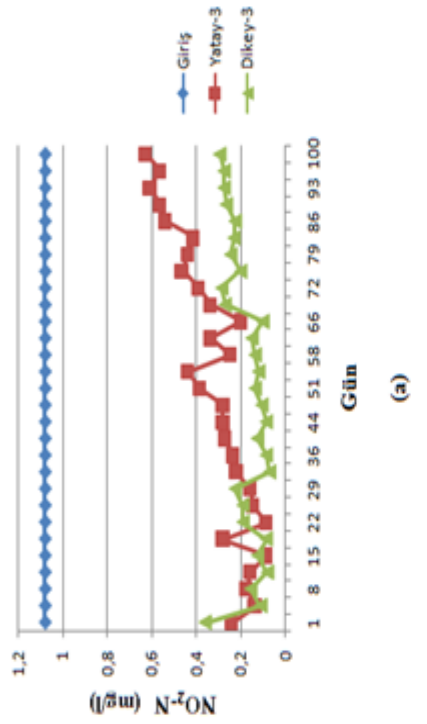
(b) HS-4 sisteminde pH değişimi

4.2.1.4.2 NO₂-N ve NO₃-N değişimleri

Çalışma süresi boyunca sisteme beslenen seyreltik atık suyun ortalama NO₂-N ve NO₃-N giriş konsantrasyonları sırası ile 1.08 mg/l ve 4.3 mg/l'dir. Reaktörlerin ortalama çıkış NO₂-N konsantrasyonları Y3-D3 için sırası ile 0.32 ± 0.16 mg/l ve 0.18 ± 0.08 mg/l olarak belirlenirken, Y4-D4 için sırası ile 0.39 ± 0.22 mg/l ve 0.28 ± 0.16 mg/l belirlenmiştir (Şekil 4.29 a ve b). HS-3 ve HS-4 sistemlerinin NO₂-N çıkış konsantrasyonlarında anlamlı bir fark vardır ($F_{0.95}(1,56)=8,727$ $p<0.05$).

Sistemden alınan numunelerin ortalama NO₃-N çıkış konsantrasyonları Y3-D3 için sırası ile 2.9 ± 0.36 mg/l, 2.3 ± 0.28 mg/l ve Y4-D4 için sırası ile 3.7 ± 0.40 mg/l, 2.7 ± 0.38 mg/l olarak bulunmuştur (Şekil 4.30 a ve b). HS-3 ve HS-4 sistemlerinin NO₃-N çıkış konsantrasyonlarında anlamlı bir fark vardır ($F_{0.95}(1,56)=18,658$ $p<0.05$).

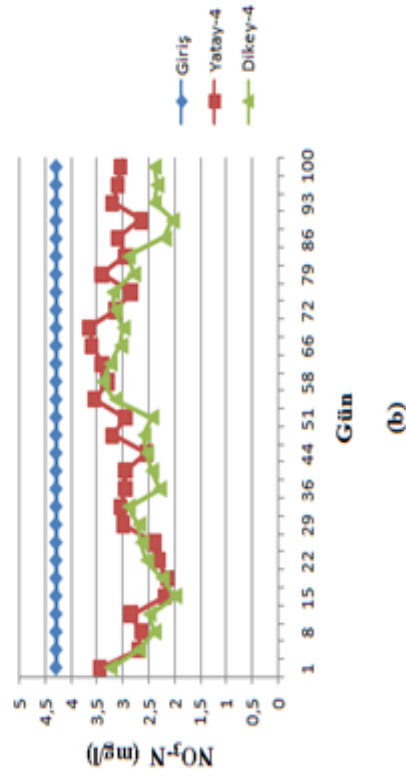
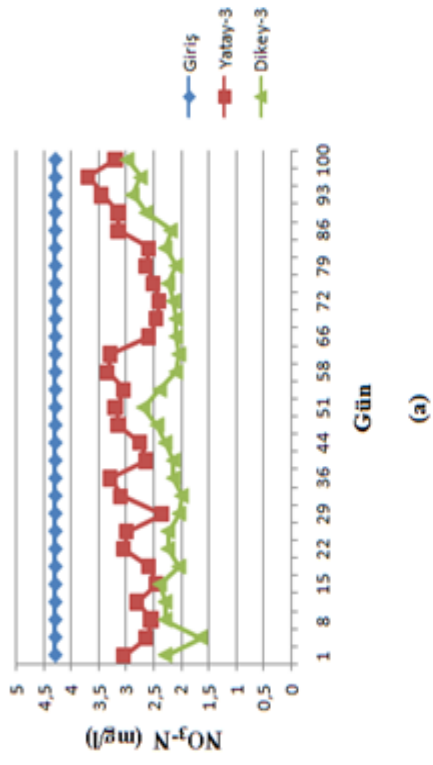
HS-3 ve HS-4 sistemlerine bakıldığında her iki hibrit sistemde de NO₃-N çıkış konsantrasyonları giriş konsantrasyonundan daha düşük olduğu görölmektedir. Bu durum her iki hibrit sistemde denitrifikasyonun gerçekleştiğini göstermektedir. HS-3 sisteminde 72. günden sonra NO₃-N değerinde bir artış gösterirken HS-4 sisteminde 86. Günden sonra bir artış izlenmiştir. Bu artışların nedeni, nitrifikasyon süreci ile ilgilidir. Sulak alan sistemlerinde alt katmanlara doğru yüksek miktarda oksijen kaynağı olduğu zaman atık sulara daha fazla oksijene maruz kalmasına neden olur. Ancak su sisteme beslendikçe taşınan yeni oksijen miktarı değişir ve yatakların içindeki oksijen miktarı korunmuş olur (Sarmanto vd., 2012).



Şekil 4.30. $\text{NO}_2\text{-N}$ değişimi

(a) HS-3 sistemindeki $\text{NO}_2\text{-N}$ değişimi

(b) HS-4 sistemindeki $\text{NO}_2\text{-N}$ değişimi

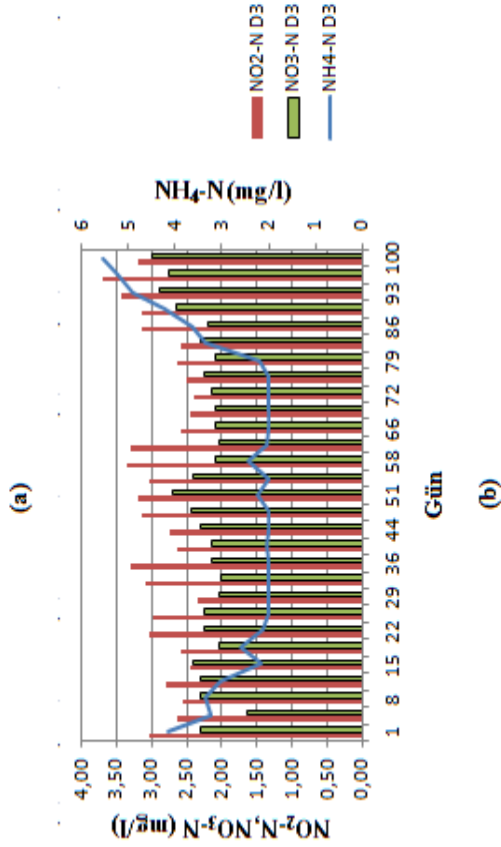
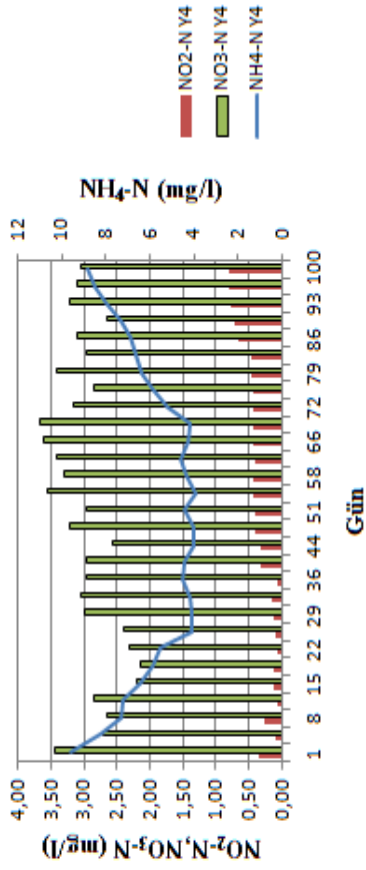


Şekil 4.29. $\text{NO}_3\text{-N}$ değişimi

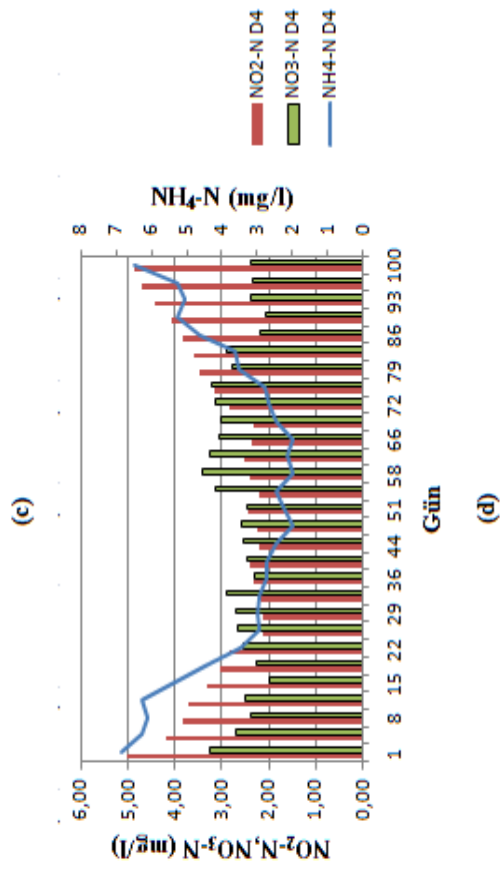
(a) HS-3 sistemindeki $\text{NO}_3\text{-N}$ değişimi

(b) HS-4 sistemindeki $\text{NO}_3\text{-N}$ değişimi

Şekil 4.31’de $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarının HS-3 ve HS-4 için değişimi gösterilmiştir. HS-3 ve HS-4 sistemlerinin yatay ve dikey reaktörlerinin $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ değişim grafikleri incelendiğinde; HS-3 sisteminde 55. günden sonra, HS-4 sisteminde 70. günden sonra desorpsiyonun gerçekleşmesi sistemde nitrifikasyonun meydana geldiğini göstermektedir. HS-3 sisteminde daha önce desorpsiyonun gerçekleşmesi bitkilerin nitrifikasyonu hızlandırdıklarını belirtmektedir. HS-3 ve HS-4 sistemlerinin dikey reaktörlerinde $\text{NH}_4\text{-N}$ azalırken, $\text{NO}_3\text{-N}$ ve $\text{NO}_2\text{-N}$ ’in artması da sistemde nitrifikasyonun gerçekleştiğini desteklemektedir. $\text{NH}_4\text{-N}$ ’in mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen nitrifikasyonu, ototrofik nitrifikasyon bakterilerinin düşük solunum hızına sahip olması nedeniyle, diğer azot giderim aşamalarına göre yavaş gerçekleşen bir mekanizmadır (Conolly vd., 2003). Nitrifikasyonun yavaş bir proses olmasına rağmen adsorpsiyon hızlı ve tersinir bir prosestir. HS-3 ve HS-4 sistemlerinin Y3 ve Y4 reaktörlerinde % 100 oranında, D3-D4 reaktörlerinde % 33.33 oranında zeolit bulunmaktadır. Zeolitin amonyak gideriminde etkili olduğu bilinmektedir ve bu nedenle Y3 ve Y4 reaktörlerinde 1-66. günler arasında, D3 ve D4 reaktörlerinde 1-79. günler arasında gerçekleşen $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonundaki azalma olması adsorpsiyon ile amonyum giderildiğini ve daha sonra da nitrifikasyon bakterilerinin biofilm tabakasında büyüüp gelişmesi ile nitrifikasyonun azot giderimine katkıda bulunduğu düşünülmektedir.



(b)



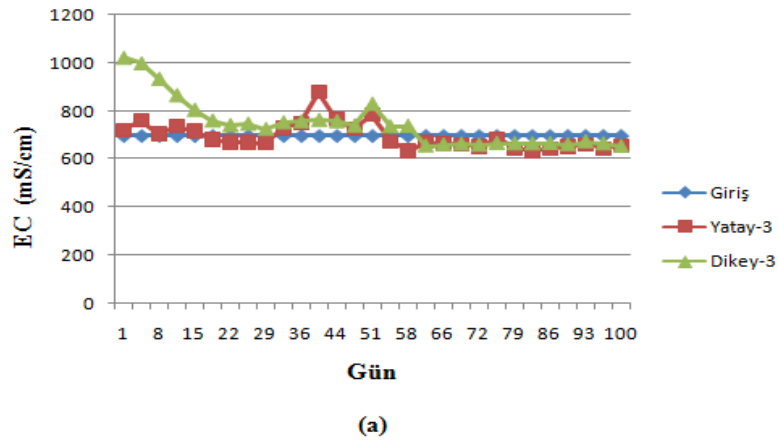
(c)

(d)

Şekil 4.31. HS-3 ve HS-4 reaktörlerinin $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ değişimi
(a) Y3 reaktörü (b) D3 reaktörü (c) Y4 reaktörü (d) D4 reaktörü

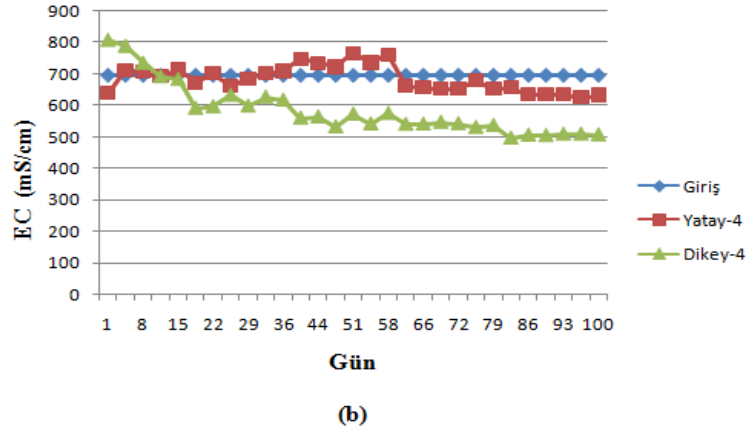
4.2.1.5 EC değışimi

Set-2’de sisteme verilen seyreltik atık suyun ortalama çıkış değeri 696 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’dir. Reaktörlerin ortalama çıkış EC değeri Y3-D3 için sırasıyla; $695 \pm 55,20 \mu\text{S}/\text{cm}$, $746 \pm 101,41 \mu\text{S}/\text{cm}$ olurken, Y4-D4 için sırası ile $684 \pm 41,45 \mu\text{S}/\text{cm}$, $587 \pm 83,91 \mu\text{S}/\text{cm}$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.32 a ve b). Her iki hibrit sistem arasında EC değeri açısından farklılık vardır ($F_{0,95}(1,56)=42.075$, $p<0.05$). HS-3 sistemine bakıldığında Y3 ve D3 çıkış EC değeri 1-8 günler arası giriş değerinin üzerinde seyretmiş olup, daha sonrasında ortalama $654 \mu\text{S}/\text{cm}$ civarında sabitlendiği görülmüştür. HS-4 sisteminde; Y4 reaktörü 1-58. günler arası bir artış göstermiştir ve 58-100. günler arası giriş değerinin altına düşmüştür. D4 reaktörü ise 1-15. günler arasında giriş değerinin üzerindeyken, 15-100. günler arası giriş değerinin altına düşüp ortalama $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ değerinde sabit kalmıştır. Y3, Y4 ve D3 reaktörlerinin EC değerlerinin 1-58 gün boyunca giriş değerinden yüksek olması sistemde iyon salınımının gerçekleştiğini düşündürmektedir. D4 reaktörü ise 8. günden sonra giriş değerinin altına düşmüştür. EC değerlerinin HS-3 sisteminde HS-4 sistemine göre daha az düşme gösterdiği görülmüştür. Bu durum HS-3 sisteminin iyon salınımı bakımından daha aktif olduğunu göstermektedir (Şekil 4.33). Aynı zamanda organik maddenin oksidasyonu için bitki kökleri tarafından sisteme taşınan oksijenin serbest kalması ile de açıklanabilir (Hench vd., 2003).



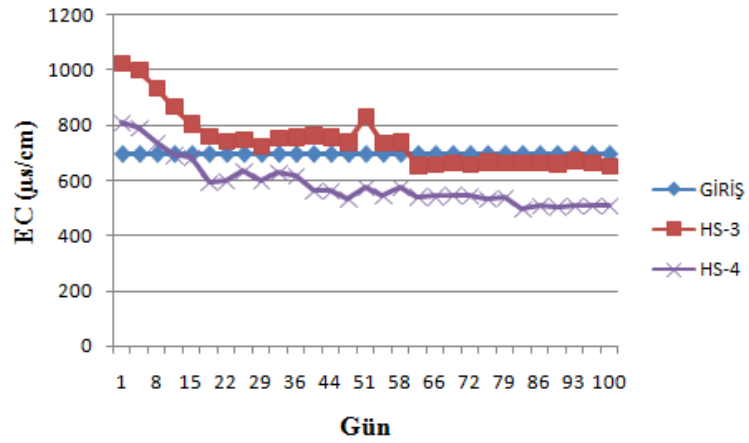
Şekil 4.32. EC değışimi

(a) HS-3 sistemindeki EC değışimi



Şekil 4.32. EC değişimi

(b) HS-4 sistemindeki EC değişimi (devamı)

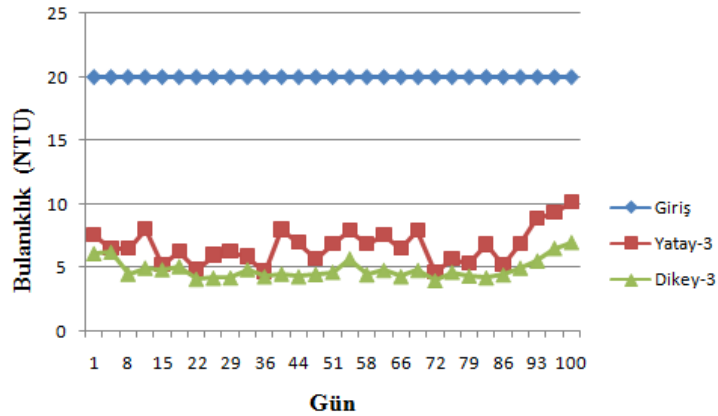


Şekil 4.33. HS-3 – HS-4 sistemlerinde EC değişimi

4.2.1.6 Bulanıklık giderimi

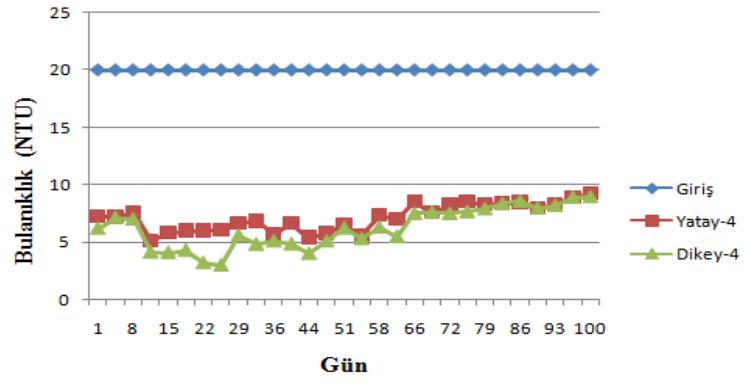
Bu sette hibrit sistemlere beslenen seyreltik atık suyun ortalama bulanıklık giriş değeri 20 NTU'dur. Reaktörlerin ortalama çıkış konsantrasyonları Y3-D3 için giriş değeri 20 NTU'dur. Reaktörlerin ortalama çıkış konsantrasyonları Y3-D3 için sırası ile 6.68 ± 1.37 NTU, 4.86 ± 0.76 NTU belirlenirken, Y4-D4 için sırasıyla 7.14 ± 1.19 NTU, 6.74 ± 1.77 NTU olarak belirlenmiştir (Şekil 4.34 a ve b).

HS-3 ve HS-4 sistemlerinin bulanıklık giderimleri sırası ile % 75.65, % 68.79 dir (Şekil 4.35). Her iki hibrit sistemin bulanıklık giderimleri arasında anlamlı bir fark vardır ($F_{0.95}(1,56)=14.684$, $p<0.05$). Bu farkın nedeni bitki köklerinin ortamda bulanıklık yaratan partikülleri tutmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Yan vd. (2016) yılında yaptıkları yapay sulak alan çalışmasında, farmasötik bileşiklerin zehirlilik etkisini gidermeyi denemişlerdir. Çalışmada *Cypeus alternifolius* bitkisi kullanılmıştır ve sistemde kökleri sayesinde kirleticileri tutarak, tolere etmesinden dolayı giderime yardımcı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma bitiminde % 70-85 arasında KOİ, % 30-55 arasında NH_4-N giderimi elde etmişlerdir. Çalışmada kullanılan *Cypeus alternifolius* bitkisinin D3 reaktörüne dikildiğinde başlangıçtaki boyu ortalama 13 cm iken 13 hafta sonra çalışma bitiminde ortalama 45 cm olarak ölçülürken, Y3 reaktörüne dikilen bitkilerin başlangıçtaki kök boyu ortalama 9 cm iken, çalışma sonunda ortalama 40 cm olarak belirlenmiştir. HS-3 sisteminde bulanıklık gideriminin yüksek olmasını bitki köklerindeki uzama miktarının desteklediği düşünülmektedir. HS-4 sistemindeki giderimin ise dolgu malzemeleri arasında gerçekleşen sedimentasyon ve adsorpsiyon ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

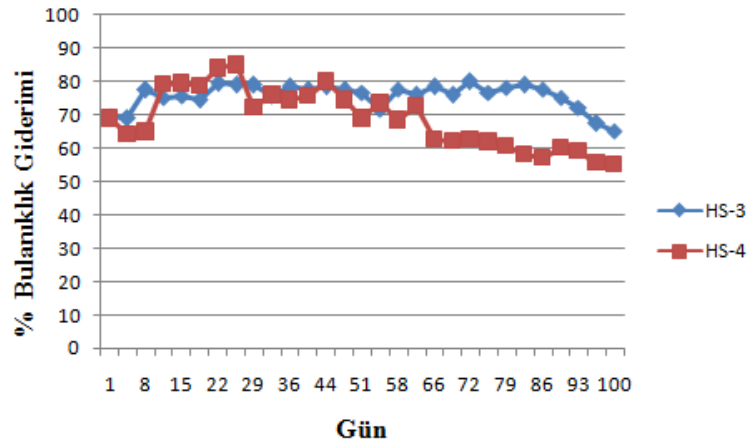


(a)

Şekil 4.34. Bulanıklık değişimi
(a) HS-3 sistemindeki bulanıklık değişimi



Şekil 4.34. Bulanıklık değişimi
(b) HS-4 sistemindeki bulanıklık değişimi (devamı)

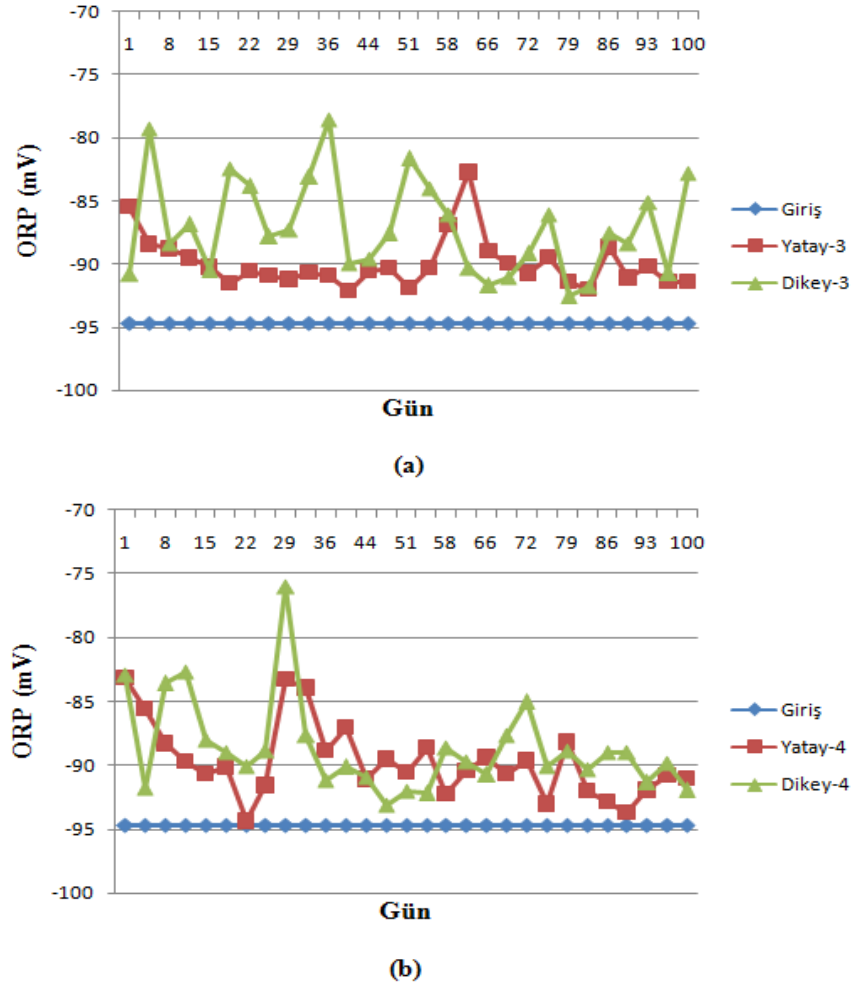


Şekil 4.35. HS-3 - HS-4 sistemlerinde bulanıklık giderimi

4.2.1.7 ORP değişimi

Set-2'de çalışma süresi boyunca sisteme verilen atık suyun ortalama ORP giriş değeri -94.7 mV'dir. Reaktörlerin ortalama çıkış konsantrasyonları Y3-D3 için sırası ile; -89.9 ± 2.04 mV, -87.0 ± 3.81 mV olarak belirlenirken, Y4-D4 için sırası ile; -89.74 ± 2.89 mV, -88.6 ± 3.63 mV belirlenmiştir (Şekil 4.36 a ve b).

HS-3 sisteminde ORP değeri -78.55 mV ile -92.55 mV değerleri arasında, HS-4 sisteminde ise -76 mV ile -94,4 mV arasında değişim göstermektedir. Her iki hibrit sistemin reaktörlerinden alınan sonuçlar incelendiğinde; tüm redoks değerlerinin negatif aralıklarda seyrettiği görülmekte ve bu nedenle sistemin anoksik biçimde çalıştığı düşünülmektedir. Anoksik koşullarda oksijenin bitkinin iç kısımlarına girmesi, solunum sırasında kullanılan kök bölgelerindeki oksijen miktarı ile orantılıdır (Stottmeister vd., 2003). Yüksek oksijen konsantrasyonunun bulunduğu sistemlerde daha düşük redoks potansiyeli olması nedeniyle nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayları görülmektedir (Caselles-Osorio vd., 2017). Analiz sonuçlarına göre artan ve azalan ORP değerlerinin sistemde denitrifikasyon-nitrifikasyon aktivitelerinin gerçekleştiği düşündürmektedir.



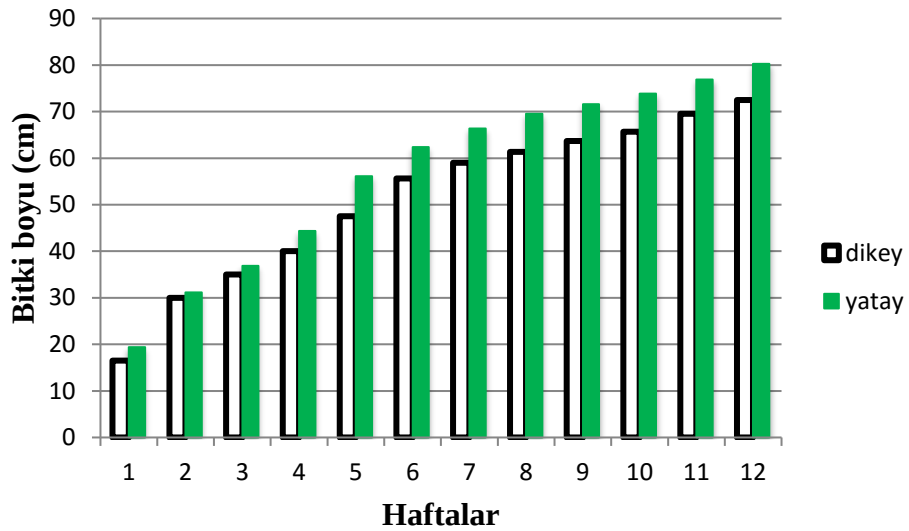
Şekil 4.36. ORP değişimi

(a) HS-3 sistemindeki ORP değişimi

(b) HS-4 sistemindeki ORP değişimi

4.2.1.8 Bitki gelişimi

Reaktörler 3.bölümde yer alan doldurma hacimleri kadar seyreltilmiş patates atık suyu ile doldurulduktan sonra *Cyperus alternifolius* bitkisinden yatay reaktörlere (61 kök/m²), dikey reaktörlere (93 kök/m²) olacak şekilde dikilmiştir. Set-2 de sistem, 17 Mart 2016-9 Haziran 2016 tarihleri arasında toplam 100 gün çalıştırılmıştır. Bitki reaktörlere dikildikten sonra bir hafta sisteme besleme yapılmadan ortama alışması için beklenilmiştir. Şekil 4.37’de görüldüğü üzere büyüme dönemi bitkilerin dikildiği ilk haftadan sistemin kapatılacağı son güne kadar verilmiştir. Bitkiler çalışma süresince maksimum büyüme göstermiştir. Bitkilerin boyu, hibrit sistem kapatılıncaya kadar yatay reaktörlerde ortalama 51 cm, dikey reaktörlerde ortalama 57 cm uzama göstermiştir.



Şekil 4.37. Set-2’de bitkilerin haftalara göre boy ortalaması

Bitkilerin kök boyları ise reaktörlere dikilmeden önce ve çalışmanın bitiminde ölçülmüştür. *Cyperus alternifolius*’un dikey reaktöre dikilirken başlangıçtaki kök boyu ortalama 13 cm iken 12 hafta sonra çalışma bitiminde ortalama kök boyu 45 cm olmuştur. Yatay reaktörlerde ise başlangıçtaki ortalama kök boyu 9 cm iken çalışma sonunda ortalama 40 cm olarak ölçülmüştür.

4.2.1.9 Taramalı elektron mikroskopisi (SEM)

Set-1 de olduğu gibi çalışma tamamlandıktan sonra, 100 gün boyunca besleme yapılan HS-3 ve HS-4 sistemlerin reaktörlerinde bulunan tüm katmanlarından biyofilm tabakası gözlemlmek amacıyla örnekler alınmıştır. Şekil 4.38 'deki SEM görüntüleri verilmektedir.

4.2.1.10 İstatiksel değerlendirme

Sistemlerin giriş ile çıkış konsantrasyonları arasında fark olup olmadığı ve her iki hibrit sistemin çıkış konsantrasyonları arasında fark olup olmadığı tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile ve bu farkın hangi reaktörler arasında olduğunu da Dunnet testi ile belirlenmiştir. G: Giriş konsantrasyonu, HS3: Bitkili hibrit sistem-3'i ve HS4: Bitkisiz hibrit sistem-4'yi temsil etmektedir. Bu değerler Çizelge 4.8'de gösterilmiştir. Çizelge 4.10 'un ifade ettiği gibi KOİ, PO₄-P, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, EC ve bulanıklık parametrelerin giriş konsantrasyonu ile HS-3 ve HS-4 sistemlerinin çıkış konsantrasyonları arasında farklılık olduğu görülmektedir. AKM parametresinin; giriş değeri ile her iki hibrit sistemin çıkış değerleri arasında fark gözlenirken, HS-3 ve HS-4 sistemlerinin çıkış değerleri arasında farklılık olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.10. Set-2 ANOVA hesapları

PARAMETRELER	G-HS3		G-HS4		HS3-HS4	
	F	p	F	p	F	p
KOİ	10100.846	0.000*	8900.656	0.000*	79.340	0.000*
PO ₄ -P	295.233	0.000*	151.794	0.000*	15.308	0.000*
NH ₄ -N	1286.468	0.000*	1894.892	0.000*	8.264	0.000*
NO ₃ -N	368.657	0.000*	319.767	0.000*	18.700	0.000*
NO ₂ -N	1494.052	0.000*	521.304	0.000*	43.882	0.000*
EC	7.084	0.010*	48.398	0.000*	42.075	0.000*
Bulanıklık	378.713	0.000*	2361.423	0.000*	14.684	0.000*
AKM	87.396	0.000*	119.191	0.000*	1.254	0.282

*Gruplar arası farklılık vardır ($p < \alpha$, $\alpha = 0.05$)

Dunnet testine göre; KOİ, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, PO₄-P, EC ve bulanıklık parametreleri açısından giriş konsantrasyonları ilev HS-3 ve HS-4 çıkış konsantrasyonları arasında belirgin bir fark olduğu görülmektedir. AKM parametresinde HS-3 ve HS-4'ün çıkış konsantrasyonları arasında fark olmadığı ve benzer çıkış konsantrasyonları elde edildiği görülmektedir. Giriş, HS-3 ve HS-4 çıkış parametreleri kendi aralarında kıyaslandığında TUKEY testi ile reaktörlerin farklılığı saptanmıştır. Çizelge 4.11'de sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 4.11. Set-2 TUKEY HSD sonuçları

Parametre	Reaktörler		P değeri	Parametre	Reaktörler		P değeri
KOİ	G	HS-3 HS-4	0.000* 0.000*	EC	G	HS-3 HS-4	0.037* 0.000*
	HS-3	G HS-4	0.000* 0.000*		HS-3	G HS-4	0.037* 0.000*
	HS-4	G HS-3	0.000* 0.000*		HS-4	G HS-3	0.000* 0.000*
NH₄-N	G	HS-3 HS-4	0.000* 0.000*	BULANIKLIK	G	HS-3 HS-4	0.000* 0.000*
	HS-3	G HS-4	0.000* 0.001*		HS-3	G HS-4	0.000* 0.000*
	HS-4	G HS-3	0.001* 0.000*		HS-4	HS-3 G	0.000* 0.000*
NO₂-N	G	HS-3 HS-4	0.000* 0.000*	PO₄-P	G	HS-3 HS-4	0.000* 0.000*
	HS-3	G HS-4	0.000* 0.002*		HS-3	G HS-4	0.000* 0.000*
	HS-4	G HS-3	0.000* 0.002*		HS-4	G HS-3	0.000* 0.000*
NO₃-N	G	HS-3 HS-4	0.000* 0.000*	AKM	G	HS-3 HS-4	0.000* 0.000*
	HS-3	G HS-4	0.000* 0.000*		HS-3	G HS-4	0.000* 0.373
	HS-4	G HS-3	0.000* 0.000*		HS-4	G HS-3	0.000* 0.373

*Gruplar arası farklılık vardır ($p < \alpha$, $\alpha = 0.05$)

Çizelge 4.12’de KOİ, NH₄-N, PO₄-P, AKM ve bulanıklık parametrelerinin HS-3 ve HS-4 sistemlerinin yüzde giderim verimleri arasında t-test yapılmış ve aralarında fark olup olmadığı incelenmiştir.

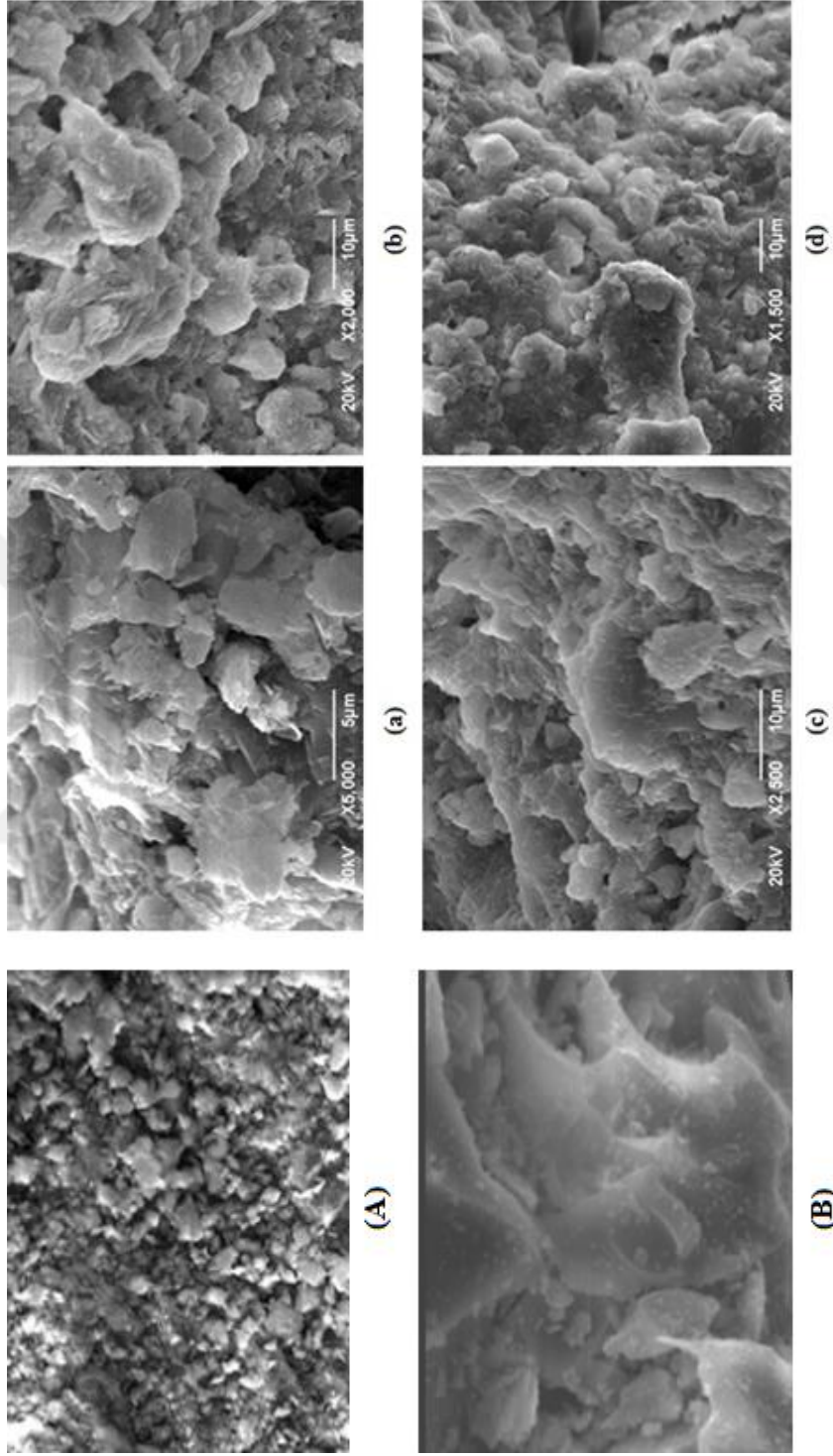
Çizelge 4.12. Set-2 t-test hesapları

PARAMETRELER	p değeri
	HS3-HS4
KOİ	0.000*
NH ₄ -N	0.000*
PO ₄ -P	0.000*
AKM	0.282
BULANIKLILIK	0.000*

*Gruplar arası farklılık vardır ($p < \alpha$, $\alpha=0.05$)

Sonuçlar incelendiğinde, Set-2’de KOİ, NH₄-N, PO₄-P ve bulanıklılığın HS-3 ve HS-4 sistemleri arasında yüzde giderim verimleri karşılaştırıldığında aralarında anlamlı bir fark olduğu görülürken, AKM parametresinde ise HS-3 ve HS-4 sistemlerinin arasında anlamlı bir fark olmadığı belirtilmiştir (Çizelge 4.12).

t-test sonuçları karşılaştırıldığında Set-2’nin Set-1’e göre KOİ, NH₄-N, PO₄-P ve bulanıklılık parametrelerinin yüzde giderim verimleri arasında fark olduğu görülürken, AKM parametresinin yüzde giderim veriminin her iki sette de farklılık göstermediği saptanmıştır.



Şekil 4.38. HS-3 ve HS-4 sistemlerinin SEM görüntüleri **A)** Zeolitin boş SEM görüntüsü **B)** Pomza taşının boş SEM görüntüsü **(a)** D3 reaktörü **(b)** Y3 reaktörü **(c)** D4 reaktörü **(d)** Y4 reaktörü

5. MODELLEME ÇALIŞMASI

Model, en temel anlamda gerçek bir olayı basit yaklaşımlara benzetmeye çalışarak o olgu hakkında daha fazla bilgi sahibi olmak, gelecek ile ilgili daha güçlü tahminlerde bulunmak, elimizde olan kontrol teknikleri geliştirmek ve gelecekteki durumlara karşı öngörü sağlamaktır. Modeller, minimize edilmiş sistemlerden elde edilen deneyim ve gözlemlerle pilot ölçekte gerçekleştirilmiş sistemlerdeki işleyişi açıklamaya çalışmaktadır. Bitkilerdeki modellemeler genellikle bitkinin büyüme, gelişme ve verim özelliklerini anlamaya yönelik yapılır (Pamuk ve Özgürel, 2005). Büyüme, biyolojik olarak canlıların en temel özelliklerindendir. Büyüme modeli, farklı zaman ve farklı durumlardaki gelişmeleri daha önceden öngören denklemlerin oluşturduğu modeldir. Bitkideki büyüme ise, zaman içinde bitkinin çap, boy ve hacimce artması olarak tanımlanır (Yıldızbakan, 2005). Bitki gelişimi; Toprak, su ve iklim gibi parametrelerin etkileşimleri sonucu olmaktadır. Bu mekanizmayı geniş arazide incelemek oldukça güç ve ekonomik açıdan maliyetli olmasından dolayı modellemeye başvurulur. Bitki büyüme modelleri, toprak ve iklim koşulları ile bitki fizyolojisiyle ilgili dinamik olayları matematiksel sistemlerden yararlanarak çözümleyip ve bitkiyle ilgili verilerin öngörülmesi sırasında kullanılan yaklaşımdır. Bitki büyümesinin modellenmesine ilişkin çalışmalar sırasında, bitkinin gelişimi esnasındaki olaylar göz önünde bulundurulur ve bitki gelişimi bu yaklaşıma göre belirlenmeye çalışılmaktadır.

Bitki büyüme modellerini; yarı kurak kara parçalarında yağışlardan dolayı tarımsal üretimde olası bir riskin oluşmasında, su-verim ilişkisinin dengede tutulmasında, bitkinin günlük gelişiminin takip edilerek tahmin edilmesinde, Bitkilerin sulama programının nasıl olması gerektiğinin belirlenmesinde, gelecekte olması durumunda iklim değişikliğinin bitki büyümesi üzerindeki etkisinin belirlenmesinde ve bitkisel üretim yapılması durumunda belirli aşamalarında karar verilmesi sırasında kullanılmaktadır (Pamuk ve Özgürel, 2005).

Set-1 ve Set-2 için *Cyperus alternifolius* bitkisinin farklı modeller kullanılarak bitki boyu uzamasının modellere uygunluğu araştırılmıştır. Çalışmada Set-1 ve Set-2’de bitki ekili olan sistemler sırası ile HS-1 ve HS-3 olduğundan modellemeler bu setlerin reaktörleri (Y1-D1-Y3-D3) üzerinde uygulanmıştır. Yapılan modelleme uygulamasında proportional, linear, quadratic, quadratic/zero, parabola, cubic, exponential, restricted exponential, logistic, von bertalanffy, gompertz, richards istatistiksel modellemeleri kullanılmıştır. Bu modeller öncelikle hayvanların büyüme modelleri ile ilgili çalışmalarda uygulanmış ve başarılı sonuçlar vermesi nedeniyle bitki ve ağaç büyümelerini modellemek için de kullanımına başlanmıştır (Efe, 1990). Yıldızbakan, (2005) yılında yaptığı çalışmada okaliptus ağaç türünün büyüme modelini incelemiş ve en uygun modelin gompertz modeli olduğunu görmüştür. Yılmaz vd. (2005) yılında yaptıkları çalışmada okaliptüs (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) ağaç türünün büyüme modellemesini çalışmışlar ve en uygun büyümenin von bertalanffy modeline uyduğunu görmüşlerdir.

5.1 SET-1

5.1.1 Y1-D1 Reaktörleri

Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de sırası ile Y1 ve D1 reaktörlerinden elde edilen regresyon modellerine ait performans ölçütleri gösterilmektedir. Bu ölçütlere göre MSE, AIC, BIC değerleri düşük olan ve R^2 , düzeltilmiş R^2 değerleri yüksek olan modeller tercih edilmelidir. R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerleri sıfır yada negatif olan modeller aşırı ölçüde uyumsuzluk göstermektedir. Bu ölçütlere göre değerlendirildiğinde, Y1 ve D1 reaktörleri için Cubic modelin en uygun olan model olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.1. Y1 reaktörüne ilişkin modellere ait performans ölçütleri

Model	MSE	R-Kare	Düz. R-kare	AIC	BIC
Proportional	307.701	-0.563	-0.705	115.371	116.501
Linear	5.552	0.972	0.966	65.176	66.871
Quadratic	2.389	0.988	0.984	56.213	58.473
Quadraticzero	120.418	0.388	0.184	105.175	106.870
Parabola	28.758	0.854	0.825	86.558	88.253
Cubic	1.140	0.994	0.991	48.596	51.421
Exponential	12.169	0.938	0.926	75.378	77.073
RestrictedExponential	2.036	0.990	0.988	54.137	56.397
Logistic	3.224	0.984	0.978	60.109	62.368
VonBertalanffy	2.382	0.988	0.984	56.173	58.433
Gompertz	2.595	0.987	0.982	59.287	62.111
Richards	196.852	0.000	-0.500	117.564	120.954

Çizelge 5.2. D1 reaktörüne ilişkin modellere ait performans ölçütleri

Model	MSE	R-Kare	Düz. R-kare	AIC	BIC
Proportional	477.882	-0.771	-0.932	121.094	122.224
Linear	3.011	0.989	0.987	57.220	58.915
Quadratic	1.673	0.994	0.992	51.583	53.842
Quadraticzero	208.687	0.227	-0.031	112.323	114.018
Parabola	28.194	0.896	0.875	86.301	87.996
Cubic	0.217	0.999	0.999	27.055	29.879
Exponential	8.992	0.967	0.960	71.445	73.140
RestrictedExponential	1.528	0.994	0.993	50.400	52.660
Logistic	2.632	0.990	0.987	57.471	59.731
VonBertalanffy	1.880	0.993	0.991	53.100	55.359
Gompertz	2.064	0.992	0.990	56.316	59.141
Richards	269.822	0.000	-0.500	121.663	125.053

Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te Y1 ve D1 reaktöründen elde edilen regresyon modellerine ait tahmin edilen katsayılar gösterilmektedir.

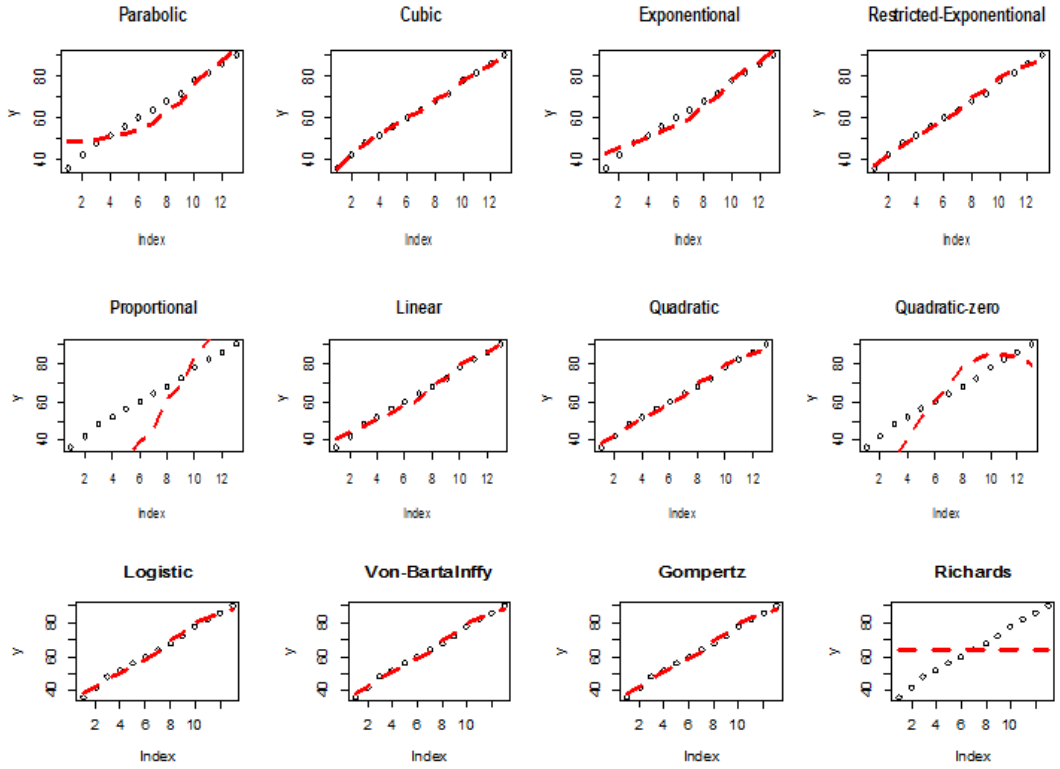
Çizelge 5.3. Y1 reaktörüne ilişkin modellere ait katsayılar

Model	a	b	c	d
Proportional	0.882			
Linear	31.491	0.430		
Quadratic	-0.002	0.648	28.188	
Quadraticzero	-0.011	1.796		
Parabola	0.004	39.344		
Cubic	5.05E-05	-0.010	0.938	26.095
Exponential	34.758	0.008		
RestrictedExponential	93.757	66.257	0.011	
Logistic	29.082	77.784	0.029	
VonBertalanffy	0.223	0.051	157.955	
Gompertz	-2.08E+17	1.081	0.019	-4.03E-16
Richards	0.216	4.493	7.790	4.708

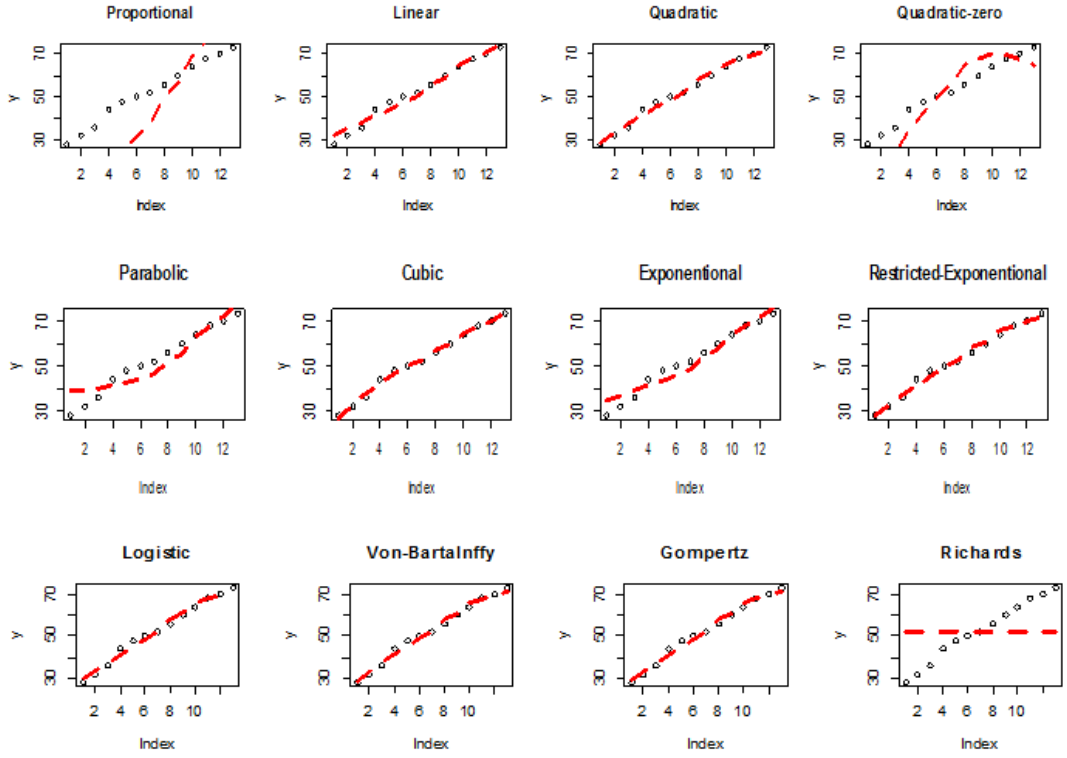
Çizelge 5.4. D1 reaktörüne ilişkin modellere ait katsayılar

Model	a	b	c	d
Proportional	1.074			
Linear	39.478	0.508		
Quadratic	-0.001	0.650	37.330	
Quadraticzero	-0.014	2.170		
Parabola	0.005	48.519		
Cubic	5.46E-05	-0.010	0.963	35.072
Exponential	42.985	0.008		
RestrictedExponential	150.217	113.237	0.006	
Logistic	38.352	105.195	0.022	
VonBertalanffy	0.169	0.034	254.971	
Gompertz	-7.34E+21	1.126	0.014	-1.58E-20
Richards	7.744	4.205	8.442	9.503

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de Y1 ve D1 reaktörlerine göre oluşturulan regresyon modellerine ait tahmin değerlerine ilişkin grafiksel gösterimler verilmektedir. Buna göre grafikler incelendiğinde Y1 ve D1 reaktörlerinden elde edilen verilerin Linear, Quadratic, Cubic, Exponential, Restricted-Exponential, Logistic, Von-Bartalnffy ve Gompertz modelleri için gerçek değerler ile tahmin değerleri arasında uyumlu bir ilişki mevcut olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.1. D1 reaktörüne ilişkin tahmin değerlerine ait grafikler



Şekil 5.2. Y1 reaktörüne ilişkin tahmin değerlerine ait grafikler

5.2 SET-2

5.2.1 Y3-D3 Reaktörleri

Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6’da sırası ile Y3 ve D3 reaktörlerinin verileri kullanılarak elde edilen regresyon modellerine ait performans ölçütleri gösterilmektedir. Bu ölçütlere göre MSE, AIC, BIC değerleri düşük olan ve R^2 , düzeltilmiş R^2 değerleri yüksek olan modeller tercih edilmelidir. R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerleri sıfır yada negatif olan modeller aşırı ölçüde uyumsuzdur. Bu ölçütlere göre değerlendirildiğinde, D3 reaktörü için VonBertalanffy modeli en uygun olan model olurken, Y3 reaktörü için ise en uygun modelin Logistic model olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.5. Y3 reaktörüne ilişkin modellere ait performans ölçütleri

Model	MSE	R-Kare	Düz. R-kare	AIC	BIC
Proportional	283.232	0.220	0.142	105.810	106.780
Linear	39.788	0.890	0.866	84.257	85.712
Quadratic	5.675	0.984	0.979	62.888	64.828
Quadraticzero	47.278	0.870	0.821	86.327	87.782
Parabola	109.901	0.697	0.630	96.449	97.904
Cubic	4.848	0.987	0.979	62.997	65.422
Exponential	68.896	0.810	0.768	90.846	92.301
RestrictedExponential	5.538	0.985	0.981	62.595	64.534
Logistic	3.905	0.989	0.985	58.403	60.342
VonBertalanffy	4.087	0.989	0.985	58.949	60.889
Gompertz	247.733	0.317	0.062	110.203	112.627
Richards	362.976	0.000	-0.571	116.787	119.696

Çizelge 5.6. D3 reaktörüne ilişkin modellere ait performans ölçütleri

Model	MSE	R-Kare	Düz. R-kare	AIC	BIC
Proportional	223.555	0.209	0.130	102.970	103.940
Linear	26.584	0.906	0.885	79.418	80.873
Quadratic	3.814	0.987	0.981	58.120	60.060
Quadraticzero	41.668	0.853	0.797	84.811	86.266
Parabola	79.053	0.720	0.658	92.496	93.951
Cubic	2.438	0.991	0.986	54.747	57.172
Exponential	47.974	0.830	0.793	86.503	87.957
RestrictedExponential	2.752	0.990	0.988	54.202	56.141
Logistic	3.936	0.986	0.981	58.496	60.436
VonBertalanffy	2.688	0.990	0.987	53.921	55.861
Gompertz	241.681	0.145	-0.176	109.906	112.331
Richards	282.629	0.000	-0.571	113.784	116.694

Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8’de sırası ile Y3 ve D3 reaktörlerinin veri seti kullanılarak elde edilen regresyon modellerine ait tahmin edilen katsayılar gösterilmektedir.

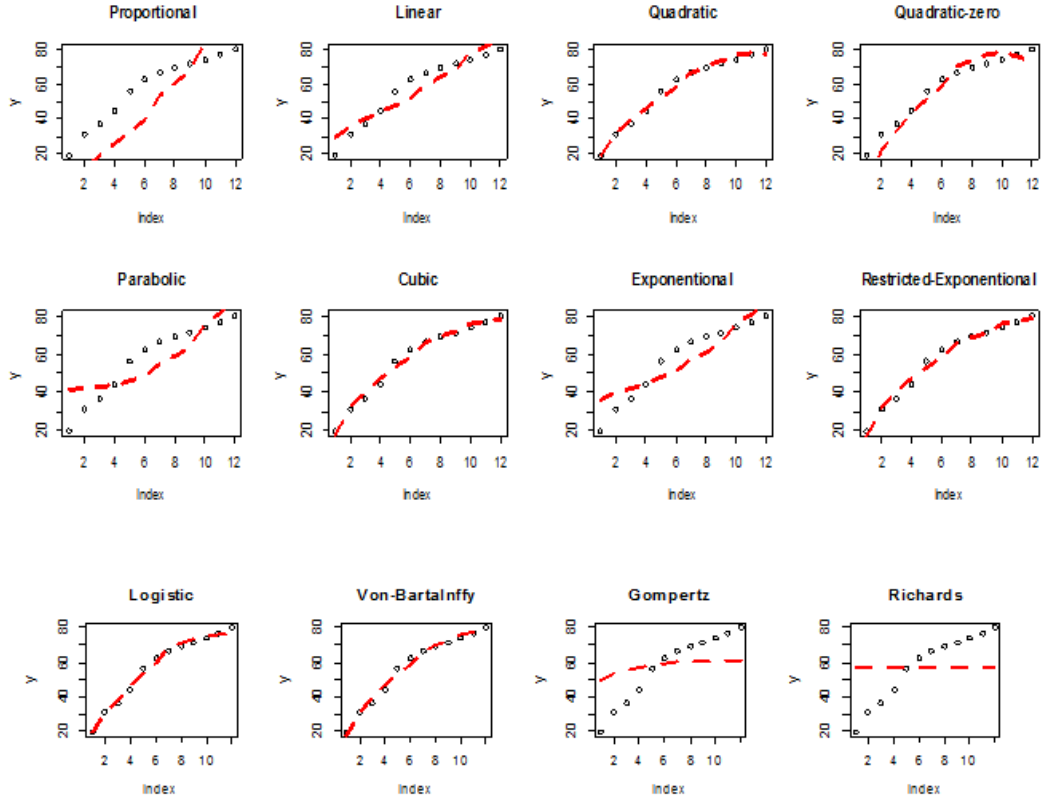
Çizelge 5.7. Y3 reaktörüne ilişkin modellere ait katsayılar

Model	a	b	c	d
Proportional	0.994			
Linear	29.097	0.574		
Quadratic	-0.007	1.284	17.539	
Quadraticzero	-0.012	1.975		
Parabola	0.005	41.158		
Cubic	4.08E-05	-0.013	1.524	15.746
Exponential	35.701	0.009		
RestrictedExponential	86.059	70.599	0.023	
Logistic	18.823	77.341	0.059	
VonBertalanffy	0.452	0.104	48.332	
Gompertz	-7.39E+10	0.222	0.043	-8.33E-10
Richards	7.145	7.129	9.021	6.004

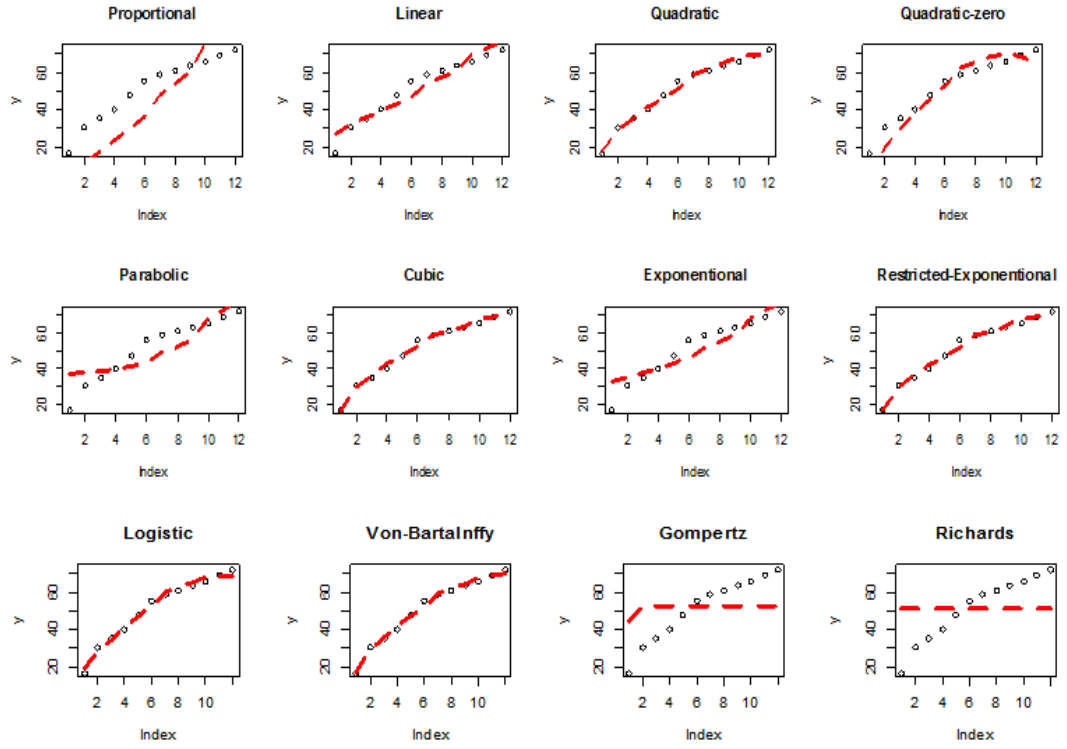
Çizelge 5.8. D3 reaktörüne ilişkin modellere ait katsayılar

Model	a	b	c	d
Proportional	0.889			
Linear	26.173	0.511		
Quadratic	-0.006	1.091	16.730	
Quadraticzero	-0.011	1.750		
Parabola	0.004	36.797		
Cubic	5.27E-05	-0.014	1.401	14.417
Exponential	31.903	0.009		
RestrictedExponential	77.597	62.949	0.022	
Logistic	18.206	69.851	0.054	
VonBertalanffy	0.412	0.099	54.938	
Gompertz	0.113	0.405	0.908	463.409
Richards	3.564	9.057	9.936	9.449

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te sırası ile Y3 ve D3 reaktörlerinin veri setleri kullanılarak oluşturulan regresyon modellerine ait tahmin değerlerine ilişkin grafiksel gösterimler verilmektedir. Grafikler incelendiğinde, D3 reaktörünün veri setine göre Linear, Quadratic, Quadratic-zero, Cubic, Restricted-Exponential, Logistic, Von-Bartalnffy modelleri için gerçek değerler ile tahmin değerleri arasında uyumlu bir ilişki olduğu görülürken, Y3 reaktörünün veri setine göre Quadratic, Quadratic-zero, Cubic, Restricted-Exponential, Logistic ve Von-Bartalnffy modellerinin gerçek ile tahmin değerleri arasında uyumlu bir ilişki olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.3. Y3 reaktörüne ilişkin tahmin değerlerine ait grafikler



Şekil 5.4. D3 reaktörüne ilişkin tahmin değerlerine ait grafikler

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada hibrit yapay sulak alan sistemlerinin, patates işleme endüstrisi atık sularının arıtımında uygun sistemler olduğu görülmüştür. Bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Çalışmada kullanılan *Cyperus alternifolius* bitkisinin köklerinin oksijen taşınımında etkili olduğu görülmektedir. Bu nedenle Set-1 ve Set-2’de bitkisiz sistemler (HS-2 ve HS-4) bitkili sistemlere (HS-1 ve HS-3) göre KOİ giderim verimi açısından daha düşük giderim verimi göstermiştir. Çalışmada kullanılan patates işleme endüstrisi atık suyunda KOİ gideriminde; biofilm oluşumu, dolgu malzemeleri arasındaki adsorpsiyon ve filtrasyon işlemlerinin de etkisi olmuştur. Set-1’de KOİ gideriminde HS-1 sistemi HS-2 sistemine göre % 3 daha fazla giderim gösterirken, Set-2’de HS-3 sistemi HS-4 sistemine göre % 10 daha fazla giderim göstermiştir. Set-1’de KOİ gideriminde biofilm oluşumu, dolgu malzemeleri arasındaki adsorpsiyon ve filtrasyon işlemleri etkili olduğu düşünülürken, Set-2’de bunların yanı sıra KOİ gideriminde bitkinin ve değişen dolgu malzemesinin olumlu etkisi olduğu görülmektedir.
- Her iki hibrit sistemde de KOİ gideriminde hidrolik bekleme süresinin etkili olduğu görülmüştür. Set-1’de toplam hidrolik bekleme süresi 4.8 gün olurken, Set-2’de 5.8 gündür. Bu süre arttıkça KOİ gideriminin arttığı saptanmıştır.
- Set-1 ve Set-2 sistemlerinde AKM giderimi incelendiğinde; Set-1’de HS-1 sisteminin HS-2 sistemine göre % 6 daha fazla giderim göstermektedir. Set-2’de ise, HS-3 sistemi HS-4 sistemine göre % 8 daha fazla AKM giderimi gerçekleştirmiştir. HS-1 ve HS-3 sistemlerinin giderim oranları sırası ile % 51 ve % 54 olarak belirlenirken, HS-2 ve HS-4 sistemlerinin AKM giderim oranları sırası ile % 45 ve % 46 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre *Cyperus alternifolius* bitkisinin AKM gideriminde etkili olduğu saptanmıştır.

- Her iki hibrit sistemin $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimleri incelendiğinde; Set-2’de giderim oranının HS-3 ve HS-4 için sırası ile % 83.7 ve % 77.6 olarak belirlenirken, Set-1’deki giderim oranları HS-1 ve HS-2 için sırası ile % 56 ve % 53 olmuştur. Set-1’de HS-1 sistemi HS-2 sisteminden % 3 daha fazla giderimde bulunurken, HS-3 sisteminin HS-4 sisteminden % 6 daha fazla $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimi gerçekleştirdiği görülmektedir. Set-2’de Set-1’e göre daha yüksek giderim oranlarının olması zeolitin sistemlerde dolgu malzemesi olarak kullanıldığında amonyum gideriminde etkili olduğunu göstermektedir. Set-1’in hibrit sistemlerinin sadece Y1 ve Y2 reaktörlerinde % 100 zeolit bulunurken, Set-2’nin hibrit sistemlerinin Y3 ve Y4 reaktörlerinde % 100 zeolit ve D3 ve D4 reaktörlerinde % 33.33 zeolit kullanılmıştır.
- Set-1 ve Set-2 $\text{PO}_4\text{-P}$ giderimi açısından incelendiğinde; Set-1’de HS-1 ve HS-2 sistemleri için sırasıyla % 57 ve % 52 giderim olurken, Set-2’de HS-3 ve HS-4 sistemleri için sırası ile % 82 ve % 73 $\text{PO}_4\text{-P}$ giderimi gerçekleşmiştir. Set-2’nin giderim performansında Set-1’e göre bitkili sistemde % 25, bitkisiz sistemlerde % 21 artmasının nedeni olarak D3 ve D4 reaktörlerinde zeolit kullanılmasının olduğu düşünülmektedir. Set-1’de ortamın pH değerleri HS-1 ve HS-2’de sırası ile 7.64 ve 7.78 ve Set-2’de ortamın pH değerleri HS-3 ve HS-4 için sırası ile 7.4 ve 7.9’dur. Ortamın pH değerine göre fosfor, bazı metallere bağlanarak çökebilmektedir. Özellikle ortamda Fe, Al, Ca, Mg bulunması fosfat giderimi etkileyebilmektedir. Ek C’de zeolitin kimyasal analiz sonuçları verilmektedir. Bu bağlamda fosforun söz konusu metallere bağlı olarak çöktüğü düşünülmektedir.
- Set-1 ve Set-2’de redoks potansiyeli -100 mV ile +100 mV arasında değişim gösterdiğinden sistemlerde anoksik koşullar baskın olmaktadır. Bu nedenle sistemde nitrifikasyon ile denitrifikasyonun proseslerinin birlikte gerçekleştiği artan $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimine ve azalan $\text{NO}_3\text{-N}$ giderimi ile orantılı olarak görülmektedir.

- Çalışılan hibrit sistemlerde çıkış pH değerinin giriş pH değerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Sistemlerde nitrifikasyonun gerçekleştiği pH değerinin düşmesi ve azot konsantrasyonlarının ($\text{NO}_3\text{-N}$ ve $\text{NO}_2\text{-N}$) artmasıyla anlaşılmıştır.
- Çalışmada kullanılan dolgu malzemelerinin biofilm oluşumu ve biyokütleyi tutma açısından uygun bir zemin oluşturdukları görülmüştür.
- Set-1’de yapılan çalışmalar sonunda reaktörlerde oluşan biofilm tabakasından alınan örnekler MALDİ TOF TOF MS cihazı kullanılarak incelenmiştir. Sisteme verilen seyreltik atık suda *Pseudomonas Stutzeri* bakterisine rastlanmıştır. HS-1 ve HS-2 sistemlerinin yatay reaktörlerinde *Pseudomonas alcaligenes*, *Bacillus Weiherstephanensis*, *Streptomyces badius*, *Staphylococcus hominis* bakterilerine rastlanırken, dikey reaktörlerinde *Lactobacillus ingluviei*, *Streptomyces phaeochromogenes*, *Streptococcus pneumoniae*, *Bacillus marisflavi*, *Sodalis glossinidius*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptomyces lavendulae*, *Arcanobacterium bernardiae*, *Filifactor villosus* bakterileri tespit edilmiştir.
- Modelleme çalışmasında Set-1’in HS-1 sistemindeki Y1 ve D1 reaktörleri için Cubic model uygunluk gösterirken, Set-2’nin HS-3 sistemindeki Y3 ve D3 reaktörlerinin sırasıyla Logistic ve Von Bertalanffy modellerinin uyumlu olduğu görülmüştür.
- Çalışma sonucunda Set-1 ve Set-2’den elde edilen sonuçlar Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde (SKKY) belirtilen endüstriyel atıksu deşarj standartlarından, gıda sektöründe yer alan ‘Sebze ve Meyva yıkama ve işleme tesisleri’ adıyla verilmiş Çizelge 4.3’ daki belirtilen değerlere uygun olduğu tespit edilmiştir.

Gelecekte yapılacak çalışmalara öneri olarak;

- Yapay sulak alan çalışmalarında pilot ölçekli bir sistem kurularak mevsimsel olabilecek değişimlerin etkisi de incelenebilir.
- Birden fazla hibrit sistem eş zamanlı olarak kurulup, çeşitli konfigürasyonlar aynı anda çalıştırabilir. Örneğin; iki farklı hibrit sistem kurulup, birincisinde yatay akışlı reaktörü dikey akışlı reaktör takip ederken, ikincisinde dikey akışlı reaktörü yatay akışlı reaktörün takip edeceği biçimde tasarım yapılabilir.
- Kullanılan dolgu malzemelerini (pomza taşı, çakıl taşı, zeolit, toprak/silt vb) doğadan hazır almak yerine atık materyallerden oluşan dolgu malzemeleri kullanılabilir. Bu malzemelere örnek olarak kokopit ve şeker pancarı küsbesi verilebilir. Ayrıca kum ve taş gibi doğal materyallerde yine dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Bu şekilde atık malzemeleri değerlendirme çalışmaları da yapılabilir.
- Sulak alan bitkileri arıtım performansı açısından farklılık gösterebilir. Bu nedenle atık suyun cinsine göre bitkinin seçimi, büyüme potansiyeli, dayanıklılığı göz önünde bulundurulmalıdır.

7. KAYNAKLAR

- Abanoz K (2012) Vıtreoscilla Hemoglobini ile Patates İşleme Atık Suyundan Biyoetanol Üretiminin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Abeling U ve Seyfried CF (1993) “Anaerobic-Aerobic Of Potato Starch Wastewater” Water Sci. Technol., 28:164-176.
- American Public Health Association (APHA) (2005) “Standard Methods for the Examination of Waste and Wastewater” 21st ed. Washington (DC): APHA.
- Austerman-Haun U, Mayer H, Seyfried CF ve Rosenwinkel KH (1999) “Full Scale Experiences with Anaerobic/Aerobic Treatment Plants in The Food and Beverage Industry” Water Sci. Technol. 40: (1) 305-325.
- Avila C, Garcia J ve Garfi M (2016) “Influence of Hydraulic Loading Rate, Simulated Storm Events and Seasonality on the Treatment Performance of an Experimental three-stage Hybrid Constructed Wetland System” Ecological Engineering, 87: 324-332.
- Ayaz S, Akça L, Tunçsiper B ve Saygın Ö (2003) “Evsel Atıksuların Arıtımı İçin İki Kademeli Bir Yapay Sulak Alan Sistemi” Tübitak-Marmara Araştırma Merkezi, SKKD cilt 13, 3: 18-22.
- Ayaz S, Aktaş Ö, Fındık N, Akça L ve Kınacı C (2012) “Effect of Recirculation on Nitrogen Removal in a Hybrid Constructed Wetland System” Ecological Engineering, 40: 1-5.
- Ayaz S, Aktaş Ö, Akça L ve Fındık N (2015) “Effluent Quality and Reuse Potential of Domestic Wastewater Treated İn a Pilot-Scale Hybrid Constructed Wetland System” Journal of Environmental Manegement, 156: 115-120.
- Aybar M, Bilgin A ve Sağlam B (2015) “Fitoremediasyon Yöntemi İle Topraktaki Ağır Metallerin Giderimi” Journal of Natural Hazards and Environment, 1-2: 59-65.
- Bamzadeh Z, Baserisalehi M, Bahador N ve Hossein Hejazi S (2014) “Characterization of a Bioactive Compounds Produced by *Streptomyces phaeochromogenes* NRRL B-2123” Nature Environment and Pollution Technology, 13 (1): 85-90.
- Barampouti EMP, Mai ST ve Vlyssides AG (2005) “Dynamic modeling of biogas production in an UASB reactor for potato processing wastewater treatment” Chemical Engineering Journal, 106: 53-58.

- Belmont MA, Cantellano E, Thompson S, Williamson M, Sa'nchez A ve Metcalfe CD (2004) "Treatment Of Domestic Wastewater İn a Pilot-Scale Natural Treatment System İn Central Mexico" *Ecological Engineering*, 23: 299-311.
- Berti WR ve Cunningham SD, (2000) "Phytostabilization of Metals, Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean-up the Environment" New York, Wiley, 71-88.
- Bezbaruah AN ve Zhang T (2004) "pH Redox and Oxygen Microprofiles in Rhizosphere Of Bulrushina Constructed Wetland Treating Municipal Wastewater" *Biotechnology and Bioengineering*, 88(1): 60-70.
- Bilgin M, Şimşek İ ve Tulun Ş (2014) "Treatment of Domestic Wastewater Using a Lab-Scale Activated Sludge/Vertical Flow Subsurface Constructed Wetland by Using *Cyperus alternifolius*" *Ecological Engineering*, 70: 362-365.
- BOLPAT A.Ş 'den Gıda Mühendisi Tuğba KÜÇÜK, kişisel görüşme, 06/08/2015
- Borin M, Politeo M ve Stefani GD (2013) "Performance of a Hybrid Constructed Wetland Treating Piggery Wastewater" *Ecological Engineering*, 51: 229-236.
- Bosak V, VanderZaag A, Crolla A, Kinsley C ve Gordon R (2016) "Performance of a Constructed Wetland and Pretreatment System Receiving Potato Farm WashWater" www.mdpi.com/journal/water , 183: 2-14.
- Burgoon PS, Kadlec RH ve Henderson M (1999) "Treatment of Potato Processing Wastewater With Engineered Natural Systems" *Water Technology* 40 (3): 211-215.
- Canepel R ve Romagnolli F (2010) "Hybrid Constructed Wetland for Treatment of Domestic Wastewater From a Tourist Site in the Alps. In: Masi, F, Nivala, J. (Eds.)" *Proceedings of the 12th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. International Water Association, 1228-1229.
- Caselles-Osorio A, Vega H, Lancheros JC, Casierra-Martinez HA ve Mosquera JE (2017) "Horizontal Subsurface-Flow Constructed Wetland Removal Efficiency Using *Cyperus articulatus L*" *Ecological Engineering*, 99: 479-485.
- Chan SY, Tsang YF, Chua H, Sin SN ve Cui LH (2008) "Performance Study Of Vege-Tated Sequencing Batch Coal Slag Bed Treating Domestic Wastewater İn Suburban Area" *Bioresour. Technol.*, 99: 3774-3781.
- Chyan M.J, Huang S.C ve Lin CJ (2017) "Impacts of Salinity on Degradation of Pollutions in Hybrid Constructed Wetlands" *International Biodeterioration & Biodegradation*, 1-12.
- Conolly R, Zhao Y, Sun G ve Allen S (2003) "Removal Of Ammoniacal-Nitrogen from an Constructed Landfill Leachate İn Down Flow Reedbeds." *Process Biochem* .38(7):1003-1018.

- Cooper P (1999) “A Review of The Design and Performance of Vertical Flow and Hybrid Reed Bed Treatment Systems” *Wat. Sci. And Tech*, 40 (3): 1-9.
- Corbella C, Garfi M ve Puigagut J (2014) “Vertical Redox Profiles in Treatment Wetlands as Function of Hydraulic Regime and Macrophytes Presence: Surveying the Optimal Scenario for Microbial Fuel Cell Implementation” *Sci. Total Environ.* 470-471: 754-758.
- Çiftçi H, Kaplan Ş, Köseoğlu H, Karakaya E ve Kitiş M (2007) “Yapay Sulak Alanlarda Atıksu Arıtımı ve Ekolojik Yaşam” *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23: (1-2) 149-160.
- Dağlı S (2006) *Evsel Atıksulardan Yapay Sulak Alan Sistemleriyle Fosfor Gideriminin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Dalzell JM (1994) *Food Industry and The Environment: Practical Issues and Cost Implications*, Blackie Academic and Professional, London.
- Debestani S, Arcot J ve Chen V (2017) “Protein recovery from potato processing water: Pre-treatment and membrane fouling minimization” *Journal of Food Engineering*, 195: 85-96.
- Debusk W (1999). *Wastewater Treatment Wetlands: Contaminant Removal Processes*. University of Florida.
- Demirörs B (2006) “Çukurova Bölgesinde Yapay Sulak Alan Teknolojisinin Kırsal Alanda Kullanımının Araştırılması” *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.*
- De Zeeuw W, Heijnen G ve De Vries J (1990) “Reed Bed Treatment As a Wastewater Treatment Alternative In the Potato Starch Industry. In *Constructed Wetlands in Water Pollution Controls* Cooper, P.F. and Findlate, B.C. (Eds.)”. Pergamon Pres. Oxford, UK. 551-554.
- Doherty L, Zhao Y, Zhao X, Hu Y, Hao X, Xu L ve Liu R (2015) “A Review of a Recently Emerged Technology: Constructed Wetland Microbial Fuel Cells” *Water Research*, 85: 38-45.
- DLWC (1998) “The Constructed Wetlands Manual Department of Land and Water Conservation New South Wales” Sydney , ISBN 071313296.
- Duygulu M (2016) *Doğal Arıtma Sistemlerinde (Yapay Sulak Alanlarda) Performans Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.*
- Durruty I, Bonanni SP, Gonzalez JF ve Busalmen JP (2012) “Evaluation of potato-processing wastewater treatment in a microbial fuel cell” *Bioresource Technology*, 105: 81-87.

- Ebrahimi A, Taheri E, Ehrampoush MH, Nasiri S, Jalali F, Soltani R ve Fatehizadeh A (2013) "Efficiency of Constructed Wetland Vegetated with *Cyperus alternifolius* Applied For Municipal Wastewater Treatment" Journal of Environmental and Public Health, Article ID 815962.
- Efe E (1990) Büyüme Eğrileri, Doktora Tezi (Yayınlanmamış), Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Zootekni Anabilim Dalı, Adana.
- El-Gohary FA, Nasr FA ve Aly HI (1999) "Cost Effective Pre-Treatment of Food Processing Industrial Wastewater" Water Science and Technology 40 (7): 17-24.
- EPA (2000) "Environmental Protection Agency, Introduction of Phytoremediation, epa/600/R-99/107" Cincinnati, Ohio, U.S.A 2000: 72.
- Erkoyun H (2005) Pomzanın Türkiye'deki Yeri ve Önemi, (Ed.) Gündüz L ve Deniz V, 2. Pomza Sempozyumu, 1-8, Isparta.
- Fang Z, Song HL, Cang N ve Li XN (2013) "Performance of Microbial Fuel Cell Coupled Constructed Wetland System For Decolorization of Azo Dye and Bioelectricity Generation" Bioresource Technology, 144: 165-171.
- Favas PJC, Pratas J, Varun M, D Souza R ve Poul MS (2014) "Phytoremediation of Soils Contaminated with Metals and Metalloids at Mining Areas: Potential of Native Flore" Environmental Risk Assessment of Soil Contamination, 485-517.
- Fossum GO, Cooley A.M ve Wahl GD (1964) "Stabilisation Ponds Receiving Potato Wastes With Domestic Sewage. In proceedings of the 19 th. Industrial Waste Conference" Purdue University, West Lafayette, 96-111.
- Gomez Cerezo R, Su'arez ML, Vidal-Abarca MR (2001) "The Performance Of a Multi-Stage System Of Constructed Wetlands For Urban Wastewater Treatment In a Semiarid Region Of SE Spain" Ecological. Engineering.16: 501-517.
- Gonzalo OG, Ruiz I ve Soto M (2017) "Integrating Pretreatment and Denitrification In Constructed Wetland Systems" Science of the Total Environment, 584-585: 1300-1309.
- Gottschall N, Boutin C, Crolla A., Kinsley C ve Champagne P (2007) "The Role Of Plants In The Removal Of Nutrients At a Constructed Wetland Treating Agricultural (Dairy) Wastewater, Ontario, Canada" Ecological Engineering, 29 (2): 154-163.
- Guttormsen KG ve Carlson DA (1969) "Current Practice in Potato Processing Waste Treatment" Water Pollution Research Series Report No. DAST-14. Water Pollution Control Federation, US Department of the Interior, Washington, DC.
- Holzapfel H.W ve J.B. Wood B (2014) "Lactic Acid Bacteria Biodiversity and Taxonomy" The Atrium Southern Gate, Chichester, West Sussex, UK.

- Hadjivassilis I, Gajdos S, Vavco D ve Nicolauo M (1997) "Treatment Of Wastewater From The Potato Chips and Snacks Manufacturing İndustry" Water Technology, 36:329-335.
- Hamutoğlu R, Dinçsoy AB, Duman DC ve Aras S (2012) "Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları" Türk Hijyen Deneyisel Biyoloji Dergisi, 69(4): 235-253.
- Hecan FN (2010) "Ardışık Yatay ve Düşey Akışlı Yüzeyaltı Arıtma Sistemi ile Azot Gideriminin Araştırılması" Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hench KR, Bissonnette GK, Sexstone AJ, Coleman JG, Garbutt K ve Skousen JG (2003) "Fate of physical, chemical, and microbial contaminants in domestic wastewater following treatment by small constructed wetlands" Water Research, 37: 921-927.
- Hrusa G, Farmer W, Weiss B, Applebaum T, Santinni Roma J, Szeto L ve Aksoy S (2015) "TonB-Dependent Heme Iron Acquisition in the Tsetse Fly Symbiont *Sodalis glossinidius*" Applied and Environmental Microbiology, 81: 2900-2909.
- Huang D.Y, Zhou S.G, Chen Q, Zhao B, Yuan Y ve Zhuang L (2011) Enhanced Anaerobic Degradation of Organic Pollutants in a Soil Microbial Fuel Cell. Chem. Eng J., 172 (2): 647-653.
- Huang M, Wang Z ve Qi R (2017) "Enhancement of the complete autotrophic nitrogen removal over Nitrite Process İn a Modified Single-Stage Subsurface Vertical Flow Constructed Wetland: Effect of Saturated Zone Depth" Bioresource Technology, 233: 191-199.
- Huang Z, Zhang X, Cui L ve Yu G (2016) "Optimization of Operating Parameters of Hybrid Vertical Down-Flow Constructed Wetland Systems For Domestic Sewerage Treatment" Journal of Environment Management, 384-386.
- Hulshoffpol L, Hartlieb E, Eitner A ve Grohgan D (1997) "GTZ Sectorial Project Promotion of Anaerobic Technology for the Treatment of Municipal and Industrial Sewage and Wastes" In proceedings of the 8th international conference on anaerobic digestions, Sendai, Japan. 2, 285-292.
- Hung YT ve Priebe BD (1981) "Biological Activated Carbon Process for Treatment of Potato Processing Wastewater for İn-Plant Reuse" Engineering Experimental Station, University of North Dakota.
- Hung YT (1983) "Tertiary Treatment Of Potato Processing Waste by Biological Activated Carbon Process" Am. Potato J. 60: 7, 543-555.
- Hung YT (1984) "Treatment of Potato Processing Wastewater by Activated Carbon Adsorption Process" Am. Potato J. 61: (1) 9-22.

- Hung YT ve Jen PC (1987) "Anaerobic Filtler Followed by Activated Sludge Process with Bio-Augmentation for Combined Potato and Sugar Wastewater Treatment" In Proceeding of 1987 Food Processing Waste Conference, Atlanta, Georgia.
- Hung YT, Howard HL ve Javaid AM (1994) "Effect of Boi-Augmentation on Activated Sludge Treatment of Potato Wastewater" Environ. Stud. 45: 98-100.
- Hung YT, Lo HH, Awad A ve Salman H (2006) "Potato Wastewater Treatment. In: Wang LK, Hung YT, Lo HH, Yapijakis C (Eds.), Waste Treatment in the Food Processing Industry" CRC Press, Taylor and Francis Group, Florida, 193-254.
- IWA (2000) "Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation" IWA Publications, London, UK, p:156.
- ITRC (2003) Tecnical and Regulatory Guidance Document for Constructed Wetlands, The Interstate Technology & Regulatory Council Wetlands Team.
- J Brenner D, R. Krieg N ve T.Staley J "Bergey's Manuel of Systematic Bacteriology Second Edition Volume Two" Departmant of Microbiology and Molecular Genetics, Michigan State University. USA.
- Jing SR, Lin YF, Lee DY ve Wang TW (2001) "Nutrient Removal From Polluted River Water By Using Constructed Wetlands" Bioresource Technology, 76:131-135.
- Kaçar B, Katkat AV, Öztürk İ (2002) Bitki Fizyolojisi, Yayın No:198: 975-564-133-5, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı , Bursa.
- Kadlec RH (1997) "Deterministic and Stochastic Aspecting Constructed Wetland Performance and Design" Water Sci. Technol. 35: 149-156.
- Kadlec RH, Burgoon PS ve Handerson ME (1997) "Integrated Natural System For Trating Potato Processing Wastewater" Water Technology, 35 (2): 263-270.
- Kadlec RL ve Wallace SD (2009) Treatment wetlands,CRC Press, Boca Raton, FL
- Karim MIA ve Sistrunk WA (1985) "Treatment Of Potato Processing Wastewater With Coagulating and Polymeric Flocculating Agents" Food Sci. 50:1657-1661.
- Kato K, Inoue T, Ietsugu H, Koba T, Sasaki H, Miyaji N, Yokota T, Sharma, PK, Kitagawa K ve Nagasawa T (2010) "Design and performance of hybrid reed bedsystems for treating high content wastewater in the cold climate. In: Masi, F.,Nivala, J. (Eds.), Proceeding of the 12th International Conference Wetland Systems for Water Pollution Control" IWA, IRIDRA Srl and Pan Srl Padova, Italy, 511-517.

- Kato K, Inoue T, Ietsugu H, Sasaki H, Harada J, Kitagawa K ve Sharma, PK (2013) "Design and performance of hybrid constructed wetland systems for high-content wastewater treatment in the cold climate of Hokkaido, northern Japan" *Water Science and Technology*, 1468-1476.
- Kim HJ, Eom S, Park S, Cha C ve Kim GB (2011) "Lactobacillus alvi sp. nov., isolated from the intestinal tract of Chicken" *Department of Animal Science and Technology, Chung-Ang University, Anseong* 456-756.
- Kim SY ve Geary PM (2001) "The Impact Of Biomass Harvesting On Phosphorus Uptake By Wetland Plants" *Water Science Technology*, (44): 61-7.
- Knight RL (1997) "Wildlife Habitat and Public Use Benefits of Treatment Wetlands" *Water Science and Technology*, 35: 35-43.
- Korkusuz A, Beklioğlu M ve Demirel G (2004) "Treatment Efficiencies Of The Vertical Flow Pilot Scale Constructed Wetlands For Domestic Wastewater Treatment" *Turkish J. Eng.Env.Sci*, 28: 333-344.
- Korkusuz A, Beklioğlu M ve Demirel G (2005) "Comparison of the Treatment Performances of Blast Furnace Slag- Based and Gravel- Based Vertical Flow Wetlands Operated Identically, For Domestic Wastewater Treatment In Turkey" *Ecological Engineering*, 24: 187-200.
- Lalucat J, Bennasar A, Bosch R, Garcia-Valdes ve J.Palleroni N (2006) "Biology of *Pseudomonas stutzeri*" *American Society for Microbiology*, 70 (2): 510-547.
- Larsen E ve Greenway M (2004) "Quantification Of Biofilms in a Sub-Surface Flow Wetland and Their Role In Nutrient Removal" *Water Science and Technology*, 49 (11-12): 115-122.
- Lee MA, Stansbury JS ve Zhang TC (1999) "The Effect of Low Temperatures on Ammonia Removal in a Laboratory-Scale Constructed Wetland" *Water Environment Research*, 71: 340-347.
- Lepistö SS ve Rintala JA (1997) "Start-up and Operation of Laboratory-Scale Thermophilic Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors Treating Vegetable Processing Wastewaters" *Chem. Technol. Biotechnol.* 68: 331-339.
- Liu Z, Wu Z, Li R ve Fan X (2013) "Two-stage foam separation technology for recovering potato protein from potato processing wastewater using the column with the spiral internal component" *Journal of Food Engineering* 114: 192-198.
- Liyah RY ve Hung YT (1988) "Bio-Augmented Activated Sludge Treatment of Potato Wastewaters". *Acta Hydrochim Hydrobiol.*, 16: (2) 223-230.
- Logan BE (2008) *Microbial Fuel Cells*. John Wiley and Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.

- Lyman B, Ettelt G ve McAloon T (1969) "Tertiary Treatment at Metro Chicago by Means of Rapid Sand Filtration and Microstrainers" Water Pollution Control Feder. 41: 247.
- Maucieri C, Mietto A, Barbera A.C ve Borin M (2016) "Treatment Performance and Greenhouse Gas Emission of a Pilot Hybrid Constructed Wetland System Treating Digestate Liquid Fraction" Ecological Engineering, 94: 406-417.
- Mayo AW ve Mutamba J (2004) "Effect of HRT On Nitrogen Removal İn a Coupled HRP and Unplanted Subsurface Flow Gravel Bed Constructed Wetland" PhysChem Earth. (29): 253-1257.
- Microbiology in Pictures, Streptococcus Pneumoniae Bacteria, <https://www.microbiologyinpictures.com/streptococcus-pneumoniae.php>, 11 Temmuz 2017, (web2).
- Mirsal Aİ (2004) "Soil Pollution: Origin, Monitoring and Remediation" Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Mohanraj R ve Arivoli A (2013) "Efficacy of *Typha angustifolia* Based Vertical Flow Constructed Wetland System in Pollutant Reduction of Domestic Wastewater" International Journal of Environmental Sciences, 3 (5): 1497-1508.
- Morris JM, Jin S, Crimi B ve Pruden A (2009) "Microbial Fuel Cell in Enhancing Anaerobic Biodegradation of Diesel" Chem. Eng. J. 146 (2): 161-167.
- Muniraj IK, Xiao L, Hu Z, Zhan X ve Shi J (2013) "Microbial Lipid Production From Potato Processing Wastewater Using Oleaginous Filamentous Fungi *Aspergillus Oryzae*" Water Research 47: 3477-3483.
- Newman JM, Clausen JC ve Neafsey JA (1999) "Seasonal Performance Of a Wetland Constructed to Process Dairy Milkhouse Wastewater İn Connecticut" Ecological Engineering, (14): 181.
- N Loved, Jones RF ve Bailey M (1979) "*Clostridium villosum* sp. nov. from Subcutaneous Abscesses in Cats" International Journal of Systematic Bacteriology, 29 (3): 241-244.
- Nowak J, Lasik M, Krzywonos M ve Cibis E (2010) "Impact of batch, repeated-batch (with cell recycle and medium replacement) and continuous processes on the course and efficiency of aerobic thermophilic biodegradation of potato processing wastewater" Bioresource Technology, 101: 3444-3451.
- Obarska-Pempkowiak H ve Gajewska M (2003) "The Dynamics Of Processes Responsible For Transformation Of Nitrogen Compounds İn Hybrid Wetlands Systems İn a Temperate Climate" In: Vymazal J. (Ed.), Wetlands e Nutrients, Metals and Mass Cycling. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 129-142.

- Ong SA, Uchiyama K, Inadama D ve Yamagiwa K (2009) “Simultaneous Removal Of Color Organic Compounds and Nutrients İn Azo Dye-Containing Waste Water Using Up-Flow Constructed Wetland” J. Hazard.Mater. 165: 696-703.
- Oon YL, Ong SA, Ho LN, Wong YS, Oon YS, Lehl HK ve Thung WE (2015) “Hybrid System Up-Flow Constructed Wetland İntegrated with Microbial Fuel Cell for Simultaneous Wastewater Treatment and Electricity Generation” Bioresource Technology, 186: 270-275.
- Othman SRB (2007) Landfill Leachate Treatment Using Free Water Surface Constructed Wetlands, Master of Engineering (Civil - Environmental Management), Faculty of Civil Engineering, University Teknology Malaysia.
- Öztürk İ, Gençsoy EB, Aydın AF, Kırmızı Y ve Eker Z (2003) “ Patates İşleme Endüstrisi Atıksularının İki Kademeli Biyolojik Arıtımı” SKKD cilt 13: 1-9.
- Pailthorp RE, Filbert JW ve Richter GA (1987) “Treatment and Disposal of Potato Wastes. In Potato Precessing, Talburt W.F and Smith O (Eds.)” Nostran Reinhold Co. New York. 747-788.
- Pamuk G ve Özgürel M (2005) “Bitki Büyüme Modelleri: CERES-Maize Örneği” Ege Üniv. Ziraat Fak. Dergisi , 42 (1):107-118.
- Pelissari C, Avila C, Sezerino P.H, Sgroi M, Roccaro P ve Garcia J (2017) “Enhancement of Total Nitrogen Removal Through Effluent Recirculation and Fate of PPCPs in a Hybrid Constructed Wetland System Treating Urban Wastewater” Science of the Total Environment, 584–585: 414-425.
- Pınar A ve Ugurlu A (2003) “Ammonium Removal From Leachate By Turkish Clinoptilolite: Effect Of Competingions, 9 th International Waste Management and Landfill Symposium, Cagliari, Sardinia, Italy.
- Piotrowska A, Iamarino G, Rao MA ve Gianfreda L (2006) “Short Term Effects Of Olive Mill Wastewater On Chemical and Biochemical Properties Of a Semiarid Mediterrenian Soil” Soil Biology and Biochemistry, (38): 600-610.
- Prochaska CA ve Zouboulis AI (2006) “Removal Of Phosphates By Pilot Vertical-Flow Constructed Wetland Using a Mixture Of Sandand Dolomiteas Substrate” Ecological Engineering, (26): 293-303.
- Radoux M, Cadelli D, Nemcova M, Ennabilli A, Ezzahri J ve Ater M (2000) “Optimisation of Natural Wastewater Treatment Technologies İn The MHEA Experimental Centre İn M’Dıq, Mediterranean Coast of Morocco. In: Proceedings of the 7th International Conference onWetland Systems for Water Pollution Control” 11–16 November, Lake Buena Vista, FL, USA, 1145-1152.
- Rampasrad C ve Philip L (2016) “Surfactans and Personal Care Products Removal in Pilot Scale Horizontal and Vertical Flow Constructed Wetlands While Treating Greywater” Chemical Engineering Journal, 284: 458-468.

- Reddy R ve Delanure RD (2008) “Biogeochemistry Of Wetlands: Science and Applications”, CRC Press, Taylor and Francis Group, USA.
- Reddy BG, Forbes AD, Phillips R, Cyrus JS ve Porter J (2013) “Demonstration of Technology to Treat Swine Waste Using Geotextile Bag, Zeolite Bed and Constructed Wetland” *Ecological Engineering*, 57: 353- 360.
- Renner-Martin K, Kühleitner M, Brunner N ve Hagmüller W (2016) “AIC-Based Selection of Growth Models: The Case of Piglets from Organic Farming” *Open Journal of Modelling and Simulation*, 4: 17-23.
- Revuz J, BE Jemec ve Leylen J (2006) “Hidradenitis Suppurativa” Springer Verlag-Berlin Heidelberg, Germany.
- Rivas A, Barcelo´-Quintal I ve Moeller GE (2011) “Pollutant Removal İn a Multi-Stage Municipal Wastewater Treatment System Comprised Of Constructed Wetlands and a Maturation Pond, İn a Temperate Climate” *Water Science and Technology* 64 (4): 980-987.
- Rizzi L, Petruzzelli G, Poggio G ve Vigna Guidi G (2004) “Soil Physical Changes and Plant Availability of Zn and Pb in a Treatability Test of Phytostabilization, Chemosphere” 57: 1039-1046.
- Rousseau DPL, Vanrolleghem PA ve Pauw ND (2004) “Constructed Wetlands İn Flanders: a Performance Analysis” *Ecological Engineering* 23:151-163.
- Rousseau D (2005) “Performance of Constructed Treatment Wetlands: Model-Based Evaluation and Impact of Operation and Maintenance” PhD thesis, Ghent University, Ghent, Belgium, pp. 300.
- Saeed T, Afrin R, Al Mueyed A ve Sun G (2012) “Treatment of Tannery Wastewater in a Pilot-Scale Hybrid Constructed Wetland System in Bangladesh” *Chemosphere*, 88: 1065-1073.
- Saeed T ve Sun G (2013) “Alab-Scaled Study of Constructed Wetlands with Sugarcane Bagasse and Sand Media For the Treatment of Textile Wastewater” *Bioresource Technology*, (128): 438-447.
- Sakadevan S ve Bavor H (1998) “Phosphate Adsorption Characteristics of Soils, Slags and Zeolite to be Used Assubstrates İn Constructed Wetland System” *WaterResearch*, (32): 393.
- Samsunlu A (2008) Çevre Mühendisliği Kimyası, Birsen yayınevi, 6.Baskı, İstanbul.
- Saravana Kumar P, Duraipandiyar V ve Ignacimuthu S (2014) “Isolation, screening and partial purification of antimicrobial antibiotics from soil *Streptomyces* sp. SCA 7” *Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 30, 435-446.

- Sarmiento AP, Borges AC ve Matos AD (2013) “Effect of Cultivated Species and Retention Time on the Performance of Constructed Wetland” *Environmental Technology*, 34 (8): 961-965.
- Sayed SKI, El-Ezaby KH ve Groendijk L (2005) “ Treatment of Potato Processing Wastewater Using a Membrane Bioreactor” Ninth International Water Technology Conference, IWTC9 2005, Sharm El-Sheikh, Egypt.
- Sehar S, Sumera, Naeem S, Perveen I, Ali N ve Ahmed S (2015) “A Comparative Study of Macrophytes Influence on Wastewater Treatment Through Subsurface Flow Hybrid Constructed Wetland” *Ecological Engineering*, 81: 62-69.
- Sharma G, Priya ve Brighu U (2014) “Performance Analysis of Vertical Up-Flow Constructed Wetland For Secondary Treatment Effluent” *APCBEE Procedia*, 10: 110-114.
- Shih JKC ve Hung YT (1987) “Biological Treatment of Potato Processing Wastewaters” *Am. Potato J.* 64: (9) 493-506.
- Shrestha RR, Haberl R, Laber J, Manandhar R ve Mader J (2001) “Application Of Constructed Wetlands For Wastewater Treatment In Nepal” *Water Technology*, 44 (11-12): 381-386.
- Sim CH (2003) “The Use of Constructed Wetlands For Wastewater Treatment” *Wetlands International - Malaysia Office*, pp 24.
- Sivrioğlu Ö (2010) *Yapay Sulak Alanlar ve Diğer Yöntemlerle Azot ve Fosfor Gideriminin Araştırılması*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Sohsalam P ve Sirianuntapiboon S (2008) “Feasibility Of Using Constructed Wetland Treatment For Molasses Wastewater Treatment”, *Biosource Technology*, 99: 1218-1224.
- Stefanakis AI ve Tsihrantzis VA (2012) “Use of Zeolite and Bauxite as Filter Media Treating the Effluent of Vertical Flow Constructed Wetlands” *Microporous and Mesoporous Materials*, (155):106-116.
- Stottmeister U, Wiebner A, Kusch P, Kappelmeyer U. , Kastner M, Bederski O, Müller BA ve Moormann H (2003) “Effects of Plant Sand Microorganisms in Constructed Wetlands For Wastewater Treatment” *Biotechnology Advances*, (22): 93-117.
- Sustainable Sanitation and Water Management, Hybrid Constructed Wetland, <http://www.sswm.info/ar/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments-2>, 8 Haziran 2017. (web1).

- Suzuki M, Suzuki S, Matsul M, Hiraki Y, Kawano F ve Shibayama K (2013) “Genome Sequence of a Strain of the Human Pathogenic Bacterium *Pseudomonas alcaligenes* That Caused Bloodstream Infection” *Genome Announcements*, 1(5): 00919-13. doi:10.1128.
- Şentürk, E (2010) Patates işleme endüstrisi atıksularının anaerobik kontakt reaktörde mezofilik ve termofilik şartlarda arıtılması ve modellenmesi, Doktora Tezi, Çevre Mühendisliği, GYTE, Gebze, Kocaeli.
- Talbert WF ve Smith O (1967) Potato processing; Van Nostrand Reinhold Company. New York.
- Tao W, Han J ve Li H (2015) “Investigation Into Ammonia Stress on *Cyperus alternifolius* and Its Impact on Nutrient Removal in Microcosm Experiments” *Journal of Environmental Management*, 163: 254-261.
- T.C Resmi Gazete, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY) (25687), 31.12.2004, 1-2.
- Tejeda A, Torres-Bojorges AX ve Zurita F (2017) “Carbamazepine Removal in Three-Scale Hybrid Wetlands Planted with Ornamental Species” *Ecological Engineering*, 98: 410-417.
- Temel F (2013) Türkiye’de Atıksu Arıtımında Yapay Sulak Alanların Tasarımı ve Potansiyelinin Değerlendirilmesi: Örnek Çalışma, Kızılcaören, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Thongtha S, Teamkao P, Boonapatcharoen N, Tripetchkul S, Techkarnjararuk S ve Thiravetyan P (2014) “Phosphorus Removal From Domestic Wastewater by *Nulembo Nucifera* Gaertn. and *Cyperus alternifolius* L.” *Journal of Environmental Management*, 137: 54-60.
- Topaloğlu A (2012) Patates İşleme Endüstrisi Atıksularının Termofilik Püskürtme Çevrimli Membran Biyoreaktörle Arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze Kocaeli.
- Toh H, Weiss B, AH Perkin S, Yamashita A, Oshima K, Hattori M ve Aksoy S (2006) “Massive genome erosion and functional adaptations provide insights into the symbiotic lifestyle of *Sodalis glossinidius* in the tsetse host” *Genome Research*, 16: 149-156.
- Torrijos V, Gonzalo OG, Trueba-Santiso A, Ruiz I ve Sato M (2016) “Effect of by-Pass and Effluent Recirculation on Nitrogen Removal in Hybrid Constructed Wetlands For Domestic and Industrial Wastewater Treatment” *Water Research*, 103: 92-100.
- Tunçsiper B (2005) Yapay Sulak Alan Sistemlerinde Azot Giderimini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Türker CO ve Yakar A (2017) “A Hybrid Constructed Wetland Combined with Microbial Fuel Cell For Boron (B) Removal and Bioelectric Production” *Ecological Engineering*, 102: 411-421.
- Türkiye İstatistik Kurumu, Diğer bitkisel Ürünler Yenilebilir Kök ve Yumrular, <http://www.tuik.gov.tr>, 2 Aralık 2016.
- UK Standards for Microbiology Investigations (2014) Issued by the Standards Unit, Microbiology Services, Public Health England (PHE), 3.1: 2-29, London.
- USEPA (1973) Development Document for Proposed Effluent Limitation Guidelines and New Source Performance Standards for the Citrus, Apple and Potato Segment of the Canned and Preserved Fruits and Vegetables Processing Plant Source Category, EPA- 440/1-73/027. U.S.Washington, D.C.
- Vanlı Ö (2007) “Pb, Cd, B Elementlerinin Topraklardan Şelat Destekli Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vegt A ve Vereijken M (1992) “Eight Year Full-Scale Experience with Anaerobic Treatment Of Potato Processing Effluent. In Proceedings of the 46th Industrial Waste Conference” Purdue University, West Lafayette. 395-404.
- Vymazal J, Brix H, Cooper PF, Haberl R, Perfler R ve Laber J (1998b) “Removal Mechanisms and Types of Constructed Wetlands. In: Vymazal J, Brix H, Cooper PF, Green MB and Haberl R (Eds.) (1998) “Constructed Wetlands For Wastewater Treatment in Europe” Backhuys Publishers, Leiden, 366.
- Vymazal J (2005) “Horizontal Sub-Surface Flow and Hybrid Constructed Wetlands Systems For Wastewater Treatment”, *Ecological Engineering*, 25: 478-490.
- Vymazal J, Greenway M, Tonderski K, Brix H, Mander Ü (2006) “Constructed Wetlands for Wastewater Treatment” Series in Ecological Studies, (190), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Vymazal J (2007) “Removal Of Nutrients In Various Types Of Constructed Wetlands” *Total Environmental*, 380:48-65.
- Vymazal J (2008) “Constructed Wetland For Wastewater Treatment: A Review” *Proceedings of Taal2007: The 12th World Lake Conference*, 965-980.
- Vymazal J (2011) “Constructed Wetlands For Wastewater Treatment: Five Decades Of Experience” *Environmental Technology*, 45(1): 61-69.
- Vymazal J (2013) “The Hybrid Constructed Wetland For Wastewater Treatment with Special Attention to Nitrogen Removal: A Review of a Recent Development” *Water Research*, 47: 4795-4811.
- Vymazal J (2014) “Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review” *Ecological Engineering* 73: 724-751.

- Vymazal J ve Kröpfelova L (2015) "Multistage Hybrid Constructed Wetland For Enhanced Removal of Nitrogen" *Ecological Engineering*, 84: 202-208.
- Wang Z, Liu C, Liao J, Liu L, Liu Y ve Huang X (2014) "Nitrogen Removal and N₂O Emission in Subsurface Vertical Flow Constructed Wetland Treating Swine Wastewater: Effect of Shunt Ratio" *Ecological Engineering*, 73: 446-453.
- Wellock JJ, Emmas GC ve Kyriazakis I (2004) "Describing and Predicting Potential Growth in the Pig" *Animal Science*, 78: 379-388.
- Wenning M, Breitenwieser F, Konrad R ve Huber I (2014) "Identification and differentiation of food Related Bacteria: A Comparison of FTIR Spectroscopy and MALDI TOF Mass Spectrometry" *Journal of Microbiological Methods*, 103: 44-52.
- Wiebner H, Kappelmeyer U, Kusch P, Kastner M (2005) "Influence of the Redox Condition Dynamics of a Laboratory-Scale Constructed Wetland. *WaterResearch*, (39), 248-256.
- Wu H, Zhang J, Ngo HH, Guo W, Hu Z, Liang S, Fan J ve Liu H (2015) "A Review on the Sustainability of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Design and Operation" *Bioresource Technology*, 175: 594-601.
- Yadav AK, Dash P, Mohanty A, Abbassi R ve Mishra BK (2012) Performance assessment of innovative constructed wetland-microbial fuel cell for electricity production and dye removal. *Ecol. Eng.* 47: 126-131.
- Yadav AK, Jena S, Acharya BC ve Mishra BK (2012) "Removal of Azo Dye in Innovative Constructed Wetlands: Influence of Iron Scrap and Sulfate Reducing Bacterial enrichment" *Ecological Engineering*, (49): 53-58.
- Yalçuk A (2007) Katı Atık Depolama Alanlarından Oluşan Sızıntı Sularının Arıtımında Yapay Sulak Alanların Kullanımı, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yalcuk A ve Ugurlu A (2009) "Comparison of Horizontal and Vertical Constructed Wetland Systems for Landfill Leachate Treatment" *Bioresource Technology*, (100): 2521-2526.
- Yalcuk A, Pakdil NB ve Turan SY (2010) "Performance Evaluation on the Treatment of Olive Mill Wastewater in Vertical Subsurface Flow Constructed Wetlands" *Desalination*, (262): 209-214.
- Yan Q, Feng Z, Gao X, Sun G, Guo J ve Zhu Z (2015) "Removal of Pharmaceutically Active Compounds (PhACs) and Toxicological Response of *Cyperus alternifolius* Exposed to PhACs in Microcosm Constructed Wetland" *Journal of Hazardous Materials*, 301: 566-575.

- Yang L, Chang H ve Huang M (2001) “Nutrient Removal in Gravel and Soil Based Wetland Microcosms with and without Vegetation” *Ecological Engineering*, 18: 91-105.
- Ye J, Wang L, Li D, Han W ve Ye C (2012) “Vertical Oxygen Distribution Trend and Oxygen Source Analysis for Vertical-Flow Constructed Wetlands Treating Domestic Wastewater” *Ecological Engineering*, (41): 8-12.
- Yıldızbakan A (2005) Ağaçlarda Büyümeye Ait Matematiksel Modeller ve Bu Modellerin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Yılmaz E, Akgün C ve Yıldızbakan A (2005) Von Bertalanffy Boyca Büyüme Modelinin Okaliptüste (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) Uygulanması, *Journal of DOA*, 11: 35-52.
- Yoon J-H, Kim İG, Kang KH, Oh TK ve Park YH (2003) “*Bacillus marisflavi* sp. nov. and *Bacillus aquimaris* sp. nov., isolated from sea water of a tidal flat of the Yellow Sea in Korea” *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53: 1297-1303.
- Zaimoğlu Z ve Bozkurt S (2010) “Yapay Sulak Alanlarda Atıksu Arıtımı, Nobel Kitapevi, Adana.
- Zapater-Pereyra M, Ilyas H, Lavrnjic S, Van Bruggen JJA ve Lens PNL (2015) “Evaluation of the Performance and Space Requirement by Three Different Hybrid Constructed Wetlands in a Stack Arrangement” *Ecological Engineering*, 82: 290-300.
- Zhai J, Xiao HW, Kujawa-Roeleveld K, He Q ve Kerstens SM (2011) Experimental Study of a Novel Hybrid Constructed Wetland for Water Reuse and its Application İn Southern China” *Water Technology*, 64: 2177-2184.
- Zhang DQ, Jinadasa KBSN, Gersberg RM, Liu Y, Ng WJ ve Tan SK (2014) “Application of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Developing Countries-A Review Recent Developments” *Journal of Environmental Management*, 141: 116-131.
- Zheng Y, Wang XC, Dzakupasu M, Ge Y, Zhao Y ve Xiong J (2016) “Performance of a Pilot Demonstration-Scale Hybrid Constructed Wetland System For On-Site Treatment of Polluted Urban River Water İn Northwestern China” *Environmental Pollution Res.* 23: 447-454.
- Zoutberg G.R ve Eker Z (1999) “Anaerobic Treatment of Potato Processing Wastewater”. *Water Sci. Technol.* 40: (1) 297-304.



EKLER

8. EKLER

EK A: Setlerde Kullanılan Dolgu Malzemeleri



(a)



(b)



(c)



(d)

(a) 0.8-2 mm zeolit

(b) 7-15 mm ince çakıl taşı

(c) 10-20 mm pomza taşı

(d) Toprak/silt karışımı

EK B: Çalışmada Kullanılan Pomza Taşının Yüzde Kimyasal Bileşimi
(Erkoyun, 2005).

% SiO ₂	60-70 (Baziklerde 50-60)
% Al ₂ O ₃	12.0-14.0
% Fe ₂ O ₃	1.0-2.0
% CaO	1.0-2.0
%MgO	1.0-2.0
% Na ₂ O+K ₂ O	7.0-8.0
Renk: Asit pomzalarda beyaz, gri, sarı, pembe ve bu renklerin kirli tonlarında. Bazik pomzalarda kahverengi, siyah.	
Sertlik: ≈ 6	
Yoğunluk: Asit pomzalarda ≈1, çoğunlukla 1'den küçük olup, suda yüzer özellikte. Bazik pomzalarda, ≈ 1,5, çoğunlukla 1'den büyük	

EK C: Çalışmada Kullanılan Klinoptilolit'in Yüzde Kimyasal Bileşimi
(Yalçuk, 2007).

BİLEŞEN	GÖRDES
SiO ₂	71.42
Al ₂ O ₃	11.31
Fe ₂ O ₃	1.10
CaO	1.73
MgO	0.50
Na ₂ O	0.82
K ₂ O	4.19
TiO ₂	0.08
P ₂ O ₅	0.02
Cr ₂ O ₃	-
MnO	0.02
a.k	6.13
Diğer	2.68

EK D: Set-1'de Yaptırılan Su Analiz Raporları (BİYOTAR)

D.1: Ham Atık Su Analizi



biyOTAR



BİYOTAR ORGANİK TARIM ORMAN KİMYA SAN. ve TİC. A.Ş.	SU ANALİZ RAPORU	Dok. No:	F 5.S.10
		Tarih	28.04.2010
		Rev. No:	00/-
		Sayfa No:	1/1

Rapor Tarihi	21.12.2015	Laboratuvar No :	68
Laboratuvar Giriş Tarihi	11.12.2015	Deney Tarihi	17.12.2015
İstenilen Analiz	SULAMA SUYU	Numune Sahibi	ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
Numunenin Cinsi	GİRİŞ HAM SU	Telefon	0538-340 51 72
Adres	ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ GÖLKÖY KAMPÜSÜ GÖLKÖY - BOLU		
Özellikler	Birim	Metotlar	Analiz Sonucu
pH		POTANSİYOMETRİK	8,24
EC	(dS/m)	KONDÜKTOMETRİK	0,99
SÜLFAT (SO ₄)	(me/l)	GRAVİMETRİK	3,40
KLOR (Cl)	(me/l)	TİTRİMETRİK	0,41
KARBONAT (CO ₃)	(me/l)	TİTRİMETRİK	-
BİKARBONAT (HCO ₃)	(me/l)	TİTRİMETRİK	21,81
POTASYUM (K)	(me/l)	ICP-OES	16,33
SODYUM (Na)	(me/l)	ICP-OES	0,84
MAGNEZYUM (Mg)	(me/l)	ICP-OES	3,21
KALSİYUM (Ca)	(me/l)	ICP-OES	5,25
BOR (B)	ppm	ICP-OES	1,879
SAR		HESAPLAMA	0,41
RSC		HESAPLAMA	13,36
TUZ VE ALKALİLİK SINIFI			T3-A1
SONUÇ	Tuza dayanıklı bitkilerin sulanmasında kullanılabilir. Yeterli geçirgenlik ve drenaj şartlarında dahi özel tuzluluk kontrol tedbirleri gerektirir. Drenajı tam olmayan topraklarda kullanılmamalıdır. Zararlı derecede alkalilik yaratma tehlikesi çok azdır. Bununla birlikte, taş çekirdekli meyveler gibi alkaliliğe karşı hassas olan bitkilerin etkilenmesi mümkündür.		
NOT : * Laboratuvara kişi tarafından getirilen numunenin analiz sonucudur. Alındığı yeri temsil etmeyen numuneler ve numunelerin laboratuvara ulaştırılması sırasında uygun olmayan koşullar dolayısıyla meydana gelebilecek olumsuz değişimler nedeniyle oluşabilecek zararlardan laboratuvarımız sorumlu değildir.			
* Bu rapor laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen veya tamamen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız raporlar geçersizdir. En az iki imza olmalıdır.			
* Değerlendirme için ekteki bilgileri okuyunuz.			

Sibel UÇUR
Kimyager

Berfu ARIKAN
Laboratuvar Sorumlusu
Kimyager

BİYOTAR ORGANİK TARIM ORMAN KİMYA SAN. ve TİC. A.Ş.

Merkez & Laboratuvar :Macun Mah. Erciyes İşyerleri Sitesi 197.Cad. No:23 Macunköy - Yenimahalle / ANKARA
Tel : (0312) 387 33 33 Faks: (0312) 387 34 33 web: www.biyotar.com.tr e-mail: info@biyotar.com.tr

T.S.No: 193302

D.2: Sisteme Verilen Giriş Suyu Analizi



BİYOTAR ORGANİK TARIM ORMAN KİMYA SAN. ve TİC. A.Ş.	SU ANALİZ RAPORU	Dok. No:	F 5.S.10
		Tarih	28.04.2010
		Rev. No:	00/-
		Sayfa No:	1/1

Rapor Tarihi	21.12.2015	Laboratuvar No :	69
Laboratuvar Giriş Tarihi	11.12.2015	Deney Tarihi	17.12.2015
İstenilen Analiz	SULAMA SUYU	Numune Sahibi	ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
Numunenin Cinsi	GİRİŞ 12.11.2015	Telefon	0538-340 51 72

Adres **ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ GÖLKÖY KAMPÜSÜ GÖLKÖY - BOLU**

Özellikler	Birim	Metotlar	Analiz Sonucu
pH		POTANSİYOMETRİK	8,44
EC	(dS/m)	KONDÜKTOMETRİK	0,58
SÜLFAT (SO ₄)	(me/l)	GRAVİMETRİK	3,28
KLOR (Cl)	(me/l)	TİTRİMETRİK	0,82
KARBONAT (CO ₃)	(me/l)	TİTRİMETRİK	-
BİKARBONAT (HCO ₃)	(me/l)	TİTRİMETRİK	9,59
POTASYUM (K)	(me/l)	ICP-OES	2,19
SODYUM (Na)	(me/l)	ICP-OES	0,63
MAGNEZYUM (Mg)	(me/l)	ICP-OES	2,03
KALSİYUM (Ca)	(me/l)	ICP-OES	8,85
BOR (B)	ppm	ICP-OES	0,259
SAR		HESAPLAMA	0,27
RSC		HESAPLAMA	-1,29
TUZ VE ALKALİLİK SINIFI			T2-A1

SONUÇ Tuzluluğa hassas bitkiler hariç bütün bitkilerin sulanmasında kullanılabilir. Toprak geçirgenliğinin iyi ve orta derecede olduğu yerlerde özel tuzluluk kontrol tedbirlerine ihtiyaç yoktur. Zararlı derecede alkalilik yaratma tehlikesi çok azdır. Bununla birlikte, taş çekirdekli meyveler gibi alkaliliğe karşı hassas olan bitkilerin etkilenmesi mümkündür.

NOT : * Laboratuvara kişi tarafından getirilen numunenin analiz sonucudur. Alındığı yeri temsil etmeyen numuneler ve numunelerin laboratuvara ulaştırılması sırasında uygun olmayan koşullar dolayısıyla meydana gelebilecek olumsuz değişimler nedeniyle oluşabilecek zararlardan laboratuvarımız sorumlu değildir.

* Bu rapor laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen veya tamamen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız raporlar geçersizdir. En az iki imza olmalıdır.

* Değerlendirme için ekteki bilgileri okuyunuz.

Sibel UÇUR
Kimyager

Berfu ARIKAN
Laboratuvar Sorumlusu
Kimyager

BİYOTAR ORGANİK TARIM ORMAN KİMYA SAN. ve TİC. A.Ş.

Merkez & Laboratuvar :Macun Mah. Erciyes İşyerleri Sitesi 197.Cad. No:23 Macunköy - Yenimahalle / ANKARA
Tel : (0312) 387 33 33 Faks: (0312) 387 34 33 web: www.biyotar.com.tr e-mail: info@biyotar.com.tr

T.S.No: 193302

D.3: Y1 Reaktörünün Çıkış Suyu Analizi



biyOTAR



BİYOTAR ORGANİK TARIM ORMAN KİMYA SAN. ve TİC. A.Ş.	SU ANALİZ RAPORU	Dok. No:	F 5.S.10
		Tarih	28.04.2010
		Rev. No:	00/-
		Sayfa No:	1/1

Rapor Tarihi	21.12.2015	Laboratuvar No :	70
Laboratuvar Giriş Tarihi	11.12.2015	Deney Tarihi	17.12.2015
İstenilen Analiz	SULAMA SUYU	Numune Sahibi	ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
Numunenin Cinsi	YATAY-1 12.11.2015	Telefon	0538-340 51 72

Adres	ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ GÖLKÖY KAMPÜSÜ GÖLKÖY - BOLU
-------	---

Özellikler	Birim	Metotlar	Analiz Sonucu
pH		POTANSİYOMETRİK	8,29
EC	(dS/m)	KONDÜKTOMETRİK	0,61
SÜLFAT (SO ₄)	(me/l)	GRAVİMETRİK	7,13
KLOR (Cl)	(me/l)	TİTRİMETRİK	1,23
KARBONAT (CO ₃)	(me/l)	TİTRİMETRİK	-
BİKARBONAT (HCO ₃)	(me/l)	TİTRİMETRİK	6,39
POTASYUM (K)	(me/l)	ICP-OES	0,34
SODYUM (Na)	(me/l)	ICP-OES	0,69
MAGNEZYUM (Mg)	(me/l)	ICP-OES	2,11
KALSİYUM (Ca)	(me/l)	ICP-OES	11,62
BOR (B)	ppm	ICP-OES	0,217
SAR		HESAPLAMA	0,26
RSC		HESAPLAMA	-7,34
TUZ VE ALKALİLİK SINIFI			T2-A1

SONUÇ	Tuzluluğa hassas bitkiler hariç bütün bitkilerin sulanmasında kullanılabilir. Toprak geçirgenliğinin iyi ve orta derecede olduğu yerlerde özel tuzluluk kontrol tedbirlerine ihtiyaç yoktur. Zararlı derecede alkalilik yaratma tehlikesi çok azdır. Bununla birlikte, taş çekirdekli meyveler gibi alkaliliğe karşı hassas olan bitkilerin etkilenmesi mümkündür.
--------------	--

NOT : * Laboratuvara kişi tarafından getirilen numunenin analiz sonucudur. Alındığı yeri temsil etmeyen numuneler ve numunelerin laboratuvara ulaştırılması sırasında uygun olmayan koşullar dolayısıyla meydana gelebilecek olumsuz değişimler nedeniyle oluşabilecek zararlardan laboratuvarımız sorumlu değildir.

* Bu rapor laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen veya tamamen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız raporlar geçersizdir. En az iki imza olmalıdır.

* Değerlendirme için ekteki bilgileri okuyunuz.

Sibel UÇUR

Kimyager

Berfu ARIKAN

Laboratuvar Sorumlusu

Kimyager

BİYOTAR ORGANİK TARIM ORMAN KİMYA SAN. ve TİC. A.Ş.

Merkez & Laboratuvar :Macun Mah. Erciyes İşyerleri Sitesi 197.Cad. No:23 Macunköy - Yenimahalle / ANKARA

Tel : (0312) 387 33 33 Faks: (0312) 387 34 33 web: www.biyotar.com.tr e-mail: info@biyotar.com.tr

T.S.No: 193302

D.4: Y2 Reaktörünün Çıkış Suyu Analizi



biyOTAR



BIYOTAR ORGANİK TARIM ORMAN KİMYA SAN. ve TİC. A.Ş.	SU ANALİZ RAPORU	Dok. No:	F 5.S.10
		Tarih:	28.04.2010
		Rev. No:	00/-
		Sayfa No:	1/1

Rapor Tarihi	21.12.2015	Laboratuvar No :	71
Laboratuvar Giriş Tarihi	11.12.2015	Deney Tarihi	17.12.2015
İstenilen Analiz	SULAMA SUYU	Numune Sahibi	ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
Numunenin Cinsi	YATAY-2 12.11.2015	Telefon	0538-340 51 72

Adres	ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ GÖLKÖY KAMPÜSÜ GÖLKÖY - BOLU
-------	---

Özellikler	Birim	Metotlar	Analiz Sonucu
pH		POTANSİYOMETRİK	8,27
EC	(dS/m)	KONDÜKTOMETRİK	0,46
SÜLFAT (SO ₄)	(me/l)	GRAVİMETRİK	7,90
KLOR (Cl)	(me/l)	TİTRİMETRİK	0,82
KARBONAT (CO ₃)	(me/l)	TİTRİMETRİK	-
BİKARBONAT (HCO ₃)	(me/l)	TİTRİMETRİK	5,83
POTASYUM (K)	(me/l)	ICP-OES	0,33
SODYUM (Na)	(me/l)	ICP-OES	0,70
MAGNEZYUM (Mg)	(me/l)	ICP-OES	2,10
KALSİYUM (Ca)	(me/l)	ICP-OES	11,42
BOR (B)	ppm	ICP-OES	0,19
SAR		HESAPLAMA	0,27
RSC		HESAPLAMA	-7,70
TUZ VE ALKALİLİK SINIFI			T3-A1

SONUÇ	Tuza dayanıklı bitkilerin sulanmasında kullanılabilir. Yeterli geçirgenlik ve drenaj şartlarında dahi özel tuzluluk kontrol tedbirleri gerektirir. Drenajı tam olmayan topraklarda kullanılmamalıdır. Zararlı derecede alkalilik yaratma tehlikesi çok azdır. Bununla birlikte, taş çekirdekli meyveler gibi alkaliliğe karşı hassas olan bitkilerin etkilenmesi mümkündür.
--------------	---

NOT : * Laboratuvara kişi tarafından getirilen numunenin analiz sonucudur. Alındığı yeri temsil etmeyen numuneler ve numunelerin laboratuvara ulaştırılması sırasında uygun olmayan koşullar dolayısıyla meydana gelebilecek olumsuz değişimler nedeniyle oluşabilecek zararlardan laboratuvarımız sorumlu değildir.

* Bu rapor laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen veya tamamen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız raporlar geçersizdir. En az iki imza olmalıdır.

* Değerlendirme için ekte bilgileri okuyunuz.

Sibel UÇUR
Kimyager

Berfu ARIKAN
Laboratuvar Sorumlusu
Kimyager

BIYOTAR ORGANİK TARIM ORMAN KİMYA SAN. ve TİC. A.Ş.

Merkez & Laboratuvar : Macun Mah. Erciyes İşyerleri Sitesi 197.Cad. No:23 Macunköy - Yenimahalle / ANKARA
Tel : (0312) 387 33 33 Faks: (0312) 387 34 33 web: www.biyotar.com.tr e-mail: info@biyotar.com.tr
T.S.No: 193302

D.5: D1 Reaktörünün Çıkış Suyu Analizi



biyOTAR



BIYOTAR ORGANİK TARIM ORMAN KİMYA SAN. ve TİC. A.Ş.	SU ANALİZ RAPORU	Dok. No:	F 5.S.10
		Tarih	28.04.2010
		Rev. No:	00/-
		Sayfa No:	1/1

Rapor Tarihi	21.12.2015	Laboratuvar No :	72
Laboratuvar Giriş Tarihi	11.12.2015	Deney Tarihi	17.12.2015
İstenilen Analiz	SULAMA SUYU	Numune Sahibi	ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
Numunenin Cinsi	DİKEY -1 12.11.2015	Telefon	0538-340 51 72

Adres	ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ GÖLKÖY KAMPÜSÜ GÖLKÖY - BOLU
-------	---

Özellikler	Birim	Metotlar	Analiz Sonucu
pH		POTANSİYOMETRİK	8,27
EC	(dS/m)	KONDÜKTOMETRİK	0,66
SÜLFAT (SO ₄)	(me/l)	GRAVİMETRİK	0,91
KLOR (Cl)	(me/l)	TİTRİMETRİK	8,21
KARBONAT (CO ₃)	(me/l)	TİTRİMETRİK	-
BİKARBONAT (HCO ₃)	(me/l)	TİTRİMETRİK	10,81
POTASYUM (K)	(me/l)	ICP-OES	0,09
SODYUM (Na)	(me/l)	ICP-OES	1,27
MAGNEZYUM (Mg)	(me/l)	ICP-OES	2,67
KALSİYUM (Ca)	(me/l)	ICP-OES	15,89
BOR (B)	ppm	ICP-OES	0,46
SAR		HESAPLAMA	0,42
RSC		HESAPLAMA	-7,75
TUZ VE ALKALİLİK SINIFI			T2-A1

SONUÇ	Tuzluluğa hassas bitkiler hariç bütün bitkilerin sulanmasında kullanılabilir. Toprak geçirgenliğinin iyi ve orta derecede olduğu yerlerde özel tuzluluk kontrol tedbirlerine ihtiyaç yoktur. Zararlı derecede alkalilik yaratma tehlikesi çok azdır. Bununla birlikte, taş çekirdekli meyveler gibi alkaliliğe karşı hassas olan bitkilerin etkilenmesi mümkündür.
--------------	--

NOT : * Laboratuvara kişi tarafından getirilen numunenin analiz sonucudur. Alındığı yeri temsil etmeyen numuneler ve numunelerin laboratuvara ulaştırılması sırasında uygun olmayan koşullar dolayısıyla meydana gelebilecek olumsuz değişimler nedeniyle oluşabilecek zararlardan laboratuvarımız sorumlu değildir.

* Bu rapor laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen veya tamamen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız raporlar geçersizdir. En az iki imza olmalıdır.

* Değerlendirme için ekteki bilgileri okuyunuz.

Sibel UÇUR
Kimyager

Berfu ARIKAN
Laboratuvar Sorumlusu
Kimyager

BIYOTAR ORGANİK TARIM ORMAN KİMYA SAN. ve TİC. A.Ş.

Merkez & Laboratuvar : Macun Mah. Erciyes İşyerleri Sitesi 197.Cad. No:23 Macunköy - Yenimahalle / ANKARA
Tel : (0312) 387 33 33 Faks: (0312) 387 34 33 web: www.biyotar.com.tr e-mail: info@biyotar.com.tr

T.S.No: 193302

D.6: D2 Reaktörünün Çıkış Suyu Analizi



biyOTAR



BİYOTAR ORGANİK TARIM ORMAN KİMYA SAN. ve TİC. A.Ş.	SU ANALİZ RAPORU	Dok. No:	F 5.S.10
		Tarih	28.04.2010
		Rev. No:	00/-
		Sayfa No:	1/1

Rapor Tarihi	21.12.2015	Laboratuvar No :	73
Laboratuvar Giriş Tarihi	11.12.2015	Deney Tarihi	17.12.2015
İstenilen Analiz	SULAMA SUYU	Numune Sahibi	ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
Numunenin Cinsi	DİKEY -2 12.11.2015	Telefon	0538-340 51 72
Adres	ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ GÖLKÖY KAMPÜSÜ - GÖLKÖY - BOLU		

Özellikler	Birim	Metotlar	Analiz Sonucu
pH		POTANSİYOMETRİK	8,26
EC	(dS/m)	KONDÜKTOMETRİK	0,61
SÜLFAT (SO ₄)	(me/l)	GRAVİMETRİK	0,03
KLOR (Cl)	(me/l)	TİTRİMETRİK	10,88
KARBONAT (CO ₃)	(me/l)	TİTRİMETRİK	-
BİKARBONAT (HCO ₃)	(me/l)	TİTRİMETRİK	9,21
POTASYUM (K)	(me/l)	ICP-OES	0,34
SODYUM (Na)	(me/l)	ICP-OES	0,84
MAGNEZYUM (Mg)	(me/l)	ICP-OES	2,30
KALSIYUM (Ca)	(me/l)	ICP-OES	16,63
BOR (B)	ppm	ICP-OES	0,236
SAR		HESAPLAMA	0,27
RSC		HESAPLAMA	-9,72
TUZ VE ALKALİLİK SINIFI			T2-A1

SONUÇ

Tuzluluğa hassas bitkiler hariç bütün bitkilerin sulanmasında kullanılabilir. Toprak geçirgenliğinin iyi ve orta derecede olduğu yerlerde özel tuzluluk kontrol tedbirlerine ihtiyaç yoktur. Zararlı derecede alkalilik yaratma tehlikesi çok azdır. Bununla birlikte, taş çekirdekli meyveler gibi alkaliliğe karşı hassas olan bitkilerin etkilenmesi mümkündür.

NOT : * Laboratuvara kişi tarafından getirilen numunenin analiz sonucudur. Alındığı yeri temsil etmeyen numuneler ve numunelerin laboratuvara ulaştırılması sırasında uygun olmayan koşullar dolayısıyla meydana gelebilecek olumsuz değişimler nedeniyle oluşabilecek zararlardan laboratuvarımız sorumlu değildir.

* Bu rapor laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen veya tamamen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız raporlar geçersizdir. En az iki imza olmalıdır.

* Değerlendirme için ekteki bilgileri okuyunuz.

Sibel UÇUR
Kimyager

Berfu ARIKAN
Laboratuvar Sorumlusu
Kimyager

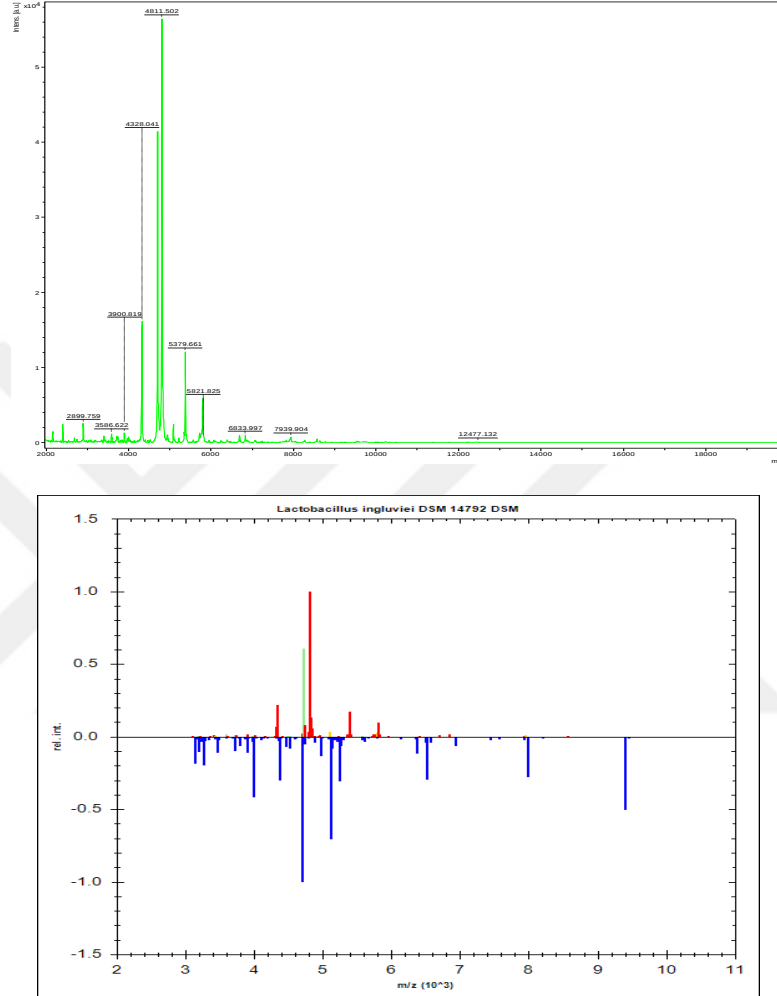
BİYOTAR ORGANİK TARIM ORMAN KİMYA SAN. ve TİC. A.Ş.

Merkez & Laboratuvar :Macun Mah. Erciyes İşyerleri Sitesi 197.Cad. No:23 Macunköy - Yenimahalle / ANKARA
Tel : (0312) 387 33 33 Faks: (0312) 387 34 33 web: www.biyotar.com.tr e-mail: info@biyotar.com.tr

T.S.No: 193302

EK E: Set-1'de Yapılan MALDI TOF/TOF Analizi Raporları

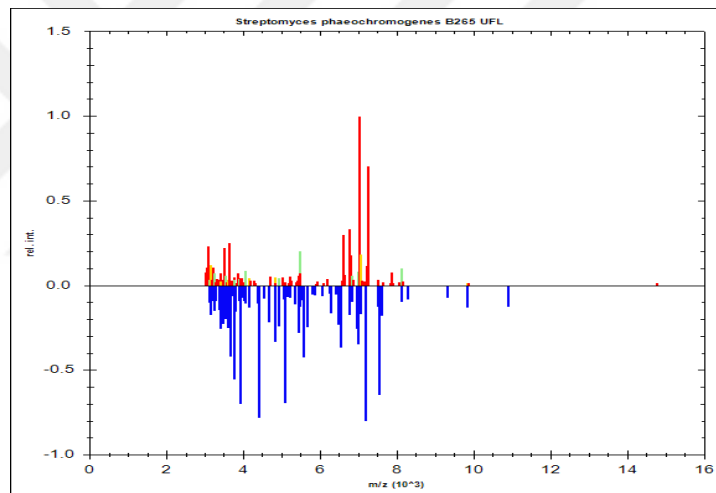
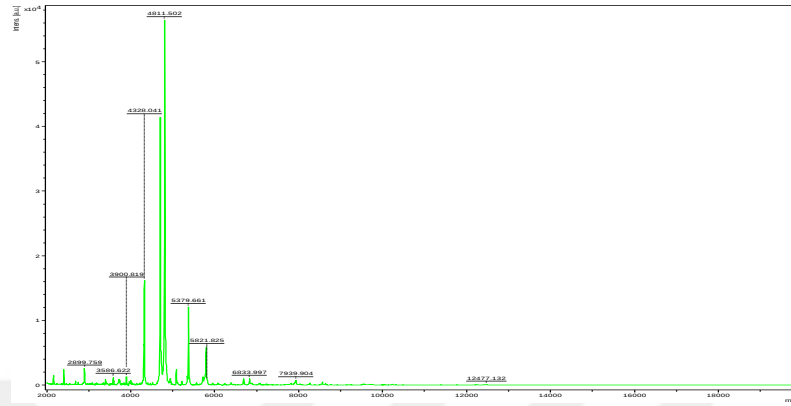
E.1: D1 Orta Bölge



ILK 10 YAKLASIM

<i>Lactobacillus ingluviei</i> DSM 14792 DSM	1.460
<i>Staphylococcus simulans</i> DSM 20723 DSM	1.428
<i>Clostridium baratii</i> 1018_NCTC 10986 BOG	1.403
<i>Staphylococcus simiae</i> DSM 17637 DSM	1.359
<i>Candida lambica</i> [ana]	1.299
<i>(Pichia fermentans_ssp_fermentans[teleo]#)</i> CBS 603 CBS	1.282
<i>Streptomyces hirsutus</i> B267 UFL	1.226
<i>Staphylococcus simiae</i> DSM 17636T DSM	1.187
<i>Pichia cactophila</i> VA_12214_09 ERL	1.180
<i>Kytococcusedentarius</i> IMET 11362T HKJ	1.174
<i>Aeromonasbestiarum</i> CECT 4227T DSM	

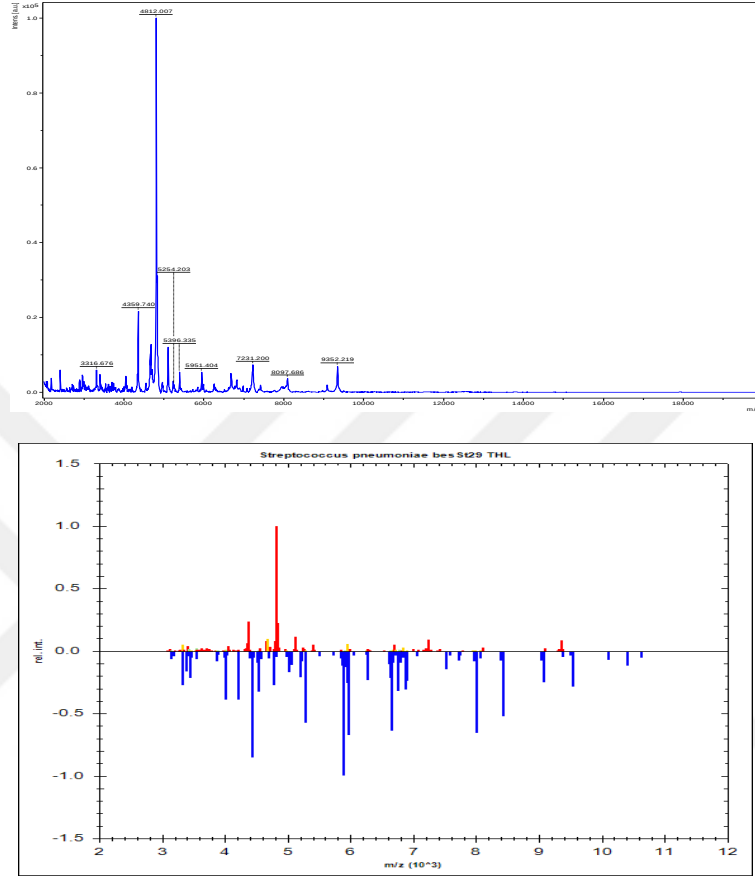
E.2: D1 Orta Bölge



ILK 10 YAKLASIM

<i>Streptomyces phaeochromogenes</i> B265 UFL	1.431
<i>Pseudomonas hydrocarboxydans</i> B333 UFL	1.389
<i>Staphylococcus xylosus</i> DSM 6179 DSM	1.334
<i>Pseudomonas viridiflava</i> DSM 11124T HAM	1.310
<i>Staphylococcus vitulinus</i> DSM 15615T DSM	1.277
<i>Candida lusitaniae</i> [ana] (<i>Clavispora lusitaniae</i> [teleo]#)	1.250
CBS 4413T CBS	
<i>Aromatoleumalkani</i> HxN1 MPB	1.248
<i>Lactobacillus paracaseispparacasei</i> DSM 5622T DSM	1.241
<i>Streptomyces badius</i> B192 UFL	1.211
<i>Lactobacillus satsumensis</i> DSM 16230T DSM	1.206

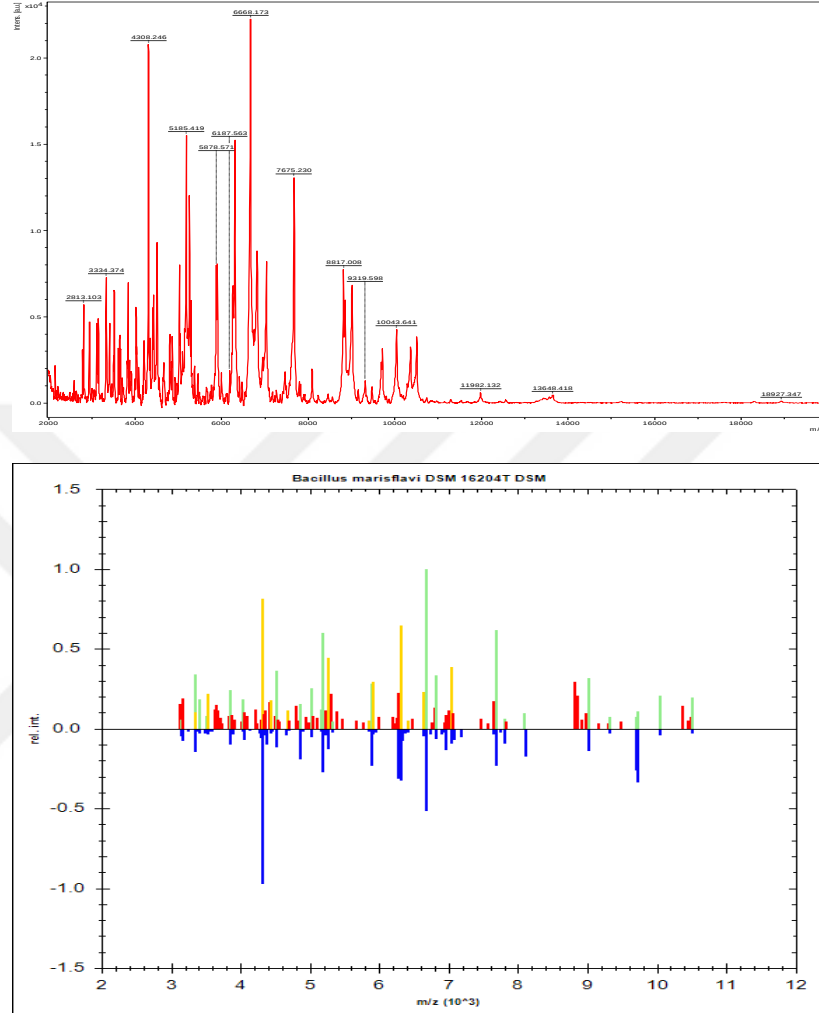
E.3: D1 Orta Bölge



ILK 10 YAKLASIM

<i>Streptococcus pneumoniae</i> besSt29 THL	1.428
<i>Brevundimonas vesicularis</i> DSM 7226T HAM	1.338
<i>Staphylococcus condimentii</i> DSM 11675 DSM	1.284
<i>Myroides odoratus</i> DSM 2801T HAM	1.280
<i>Brevundimonas diminuta</i> DSM 7234T HAM	1.276
<i>Streptomyces lavendulae</i> B264 UFL	1.266
<i>Thaueraphenylacetica</i> B4P MPB	1.254
<i>Filifactor villosus</i> 1051_NCTC 11220T BOG	1.253
<i>Neisseria meningitidis</i> 639 PGM	1.246
<i>Lactobacillus reuteri</i> DSM 20016T DSM	1.232

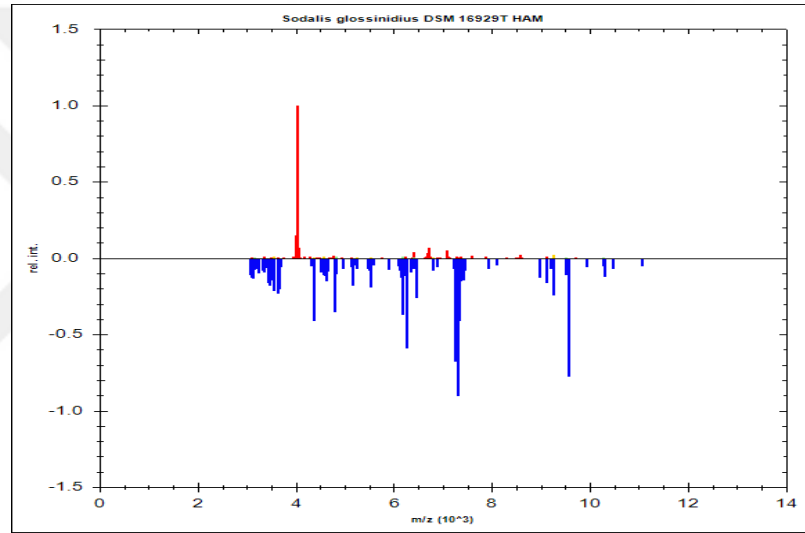
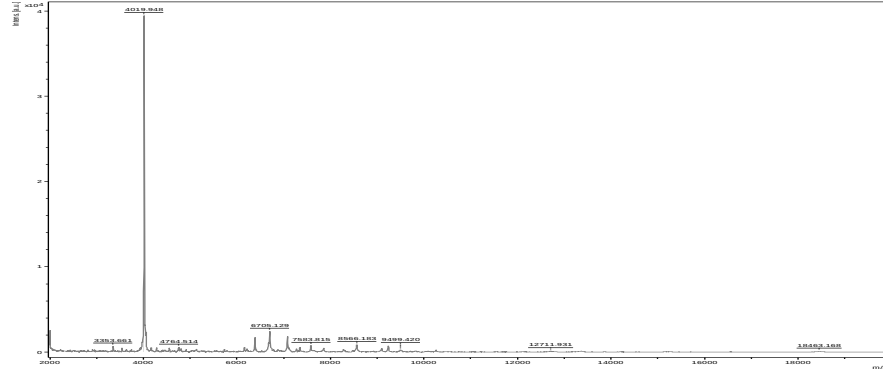
E.4: D1 Çıkış Suyu



ILK 10 YAKLASIM

<i>Bacillus marisflavi</i> DSM 16204T DSM	2.062
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> sspindicus DSM 15996T DSM	1.447
<i>Aromatoleum</i> terpenicum pCyN1 MPB	1.354
<i>Staphylococcus sciurisspsciuri</i> DSM 20345T DSM	1.334
<i>Stenotrophomonas</i> maltophilia 10942 CHB	1.327
<i>Agromyces</i> cerinussspcerinus HKI 11525_DSM 8595T HKJ	1.320
<i>Clostridium perfringens</i> DSM 798 VML	1.310
<i>Clostridium spiroforme</i> 1047_NCTC 11211T BOG	1.309
<i>Lactobacillus ultunensis</i> DSM 16047T DSM	1.303
<i>Agromyces</i> fucosus HKI 11529_DSM 8597T HKJ	1.290

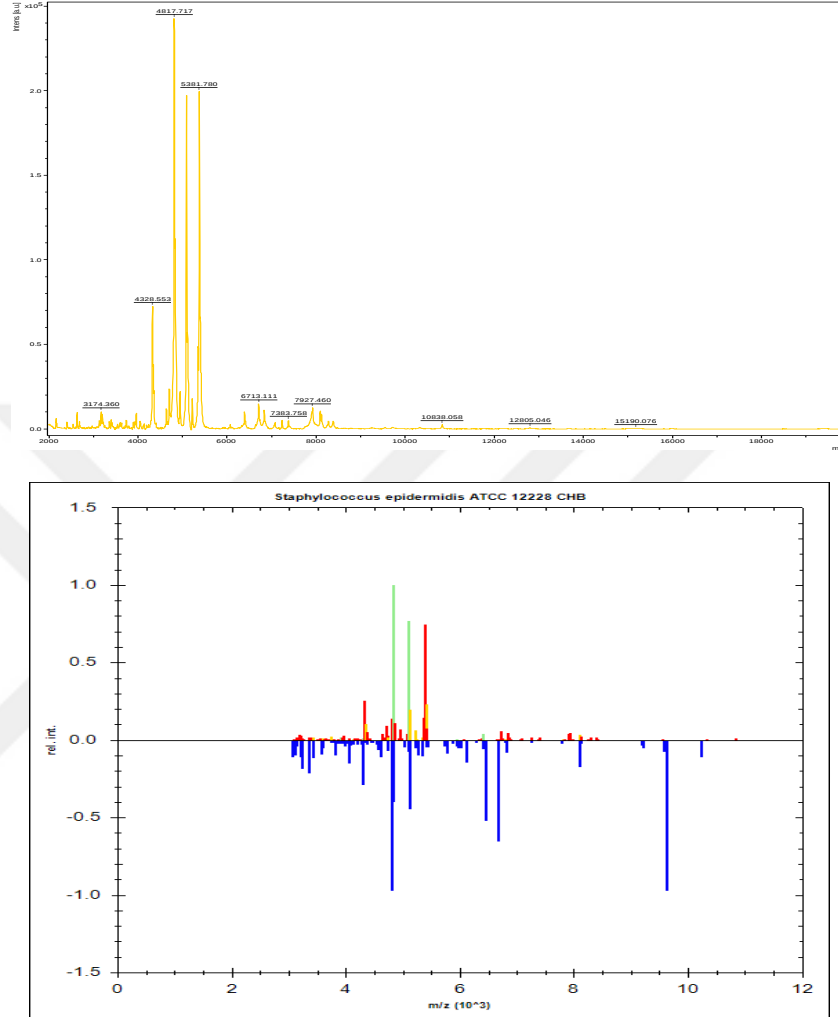
E.5: D2 Çıkış Suyu



ILK 10 YAKLASIM

<i>Sodalisglossinidius DSM 16929T HAM</i>	1.260
<i>Pseudomonas sp B538 UFL</i>	1.257
<i>Clostridium beijerinckii 1011_DSM 552 BOG</i>	1.252
<i>Mycobacterium gordonae 6957 BSI</i>	1.224
<i>Thaueraaromatica K172 MPB</i>	1.219
<i>Pseudomonas oryzihabitans DSM 6835T HAM</i>	1.206
<i>Arthrobacterhistidinolorans DSM 20115T DSM</i>	1.206
<i>Ralstoniapickettii 21323_1 CHB</i>	1.199
<i>Lactobacillus sharpeae DSM 20507 DSM</i>	1.181
<i>Bacillus asahii CIP 108638T CIP</i>	1.174

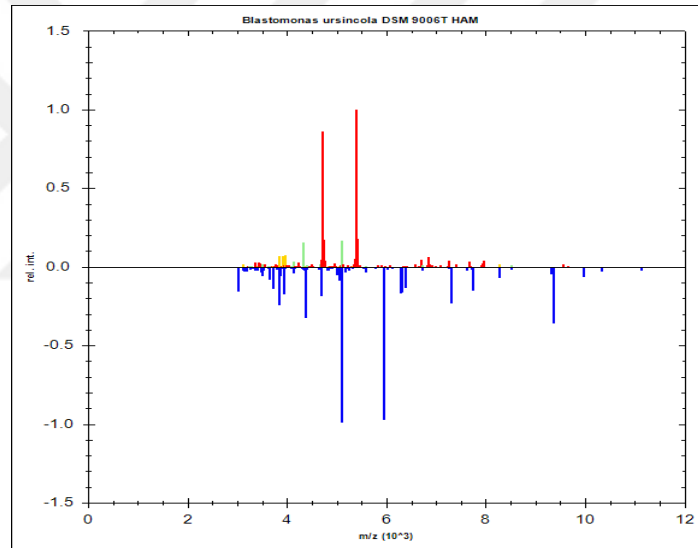
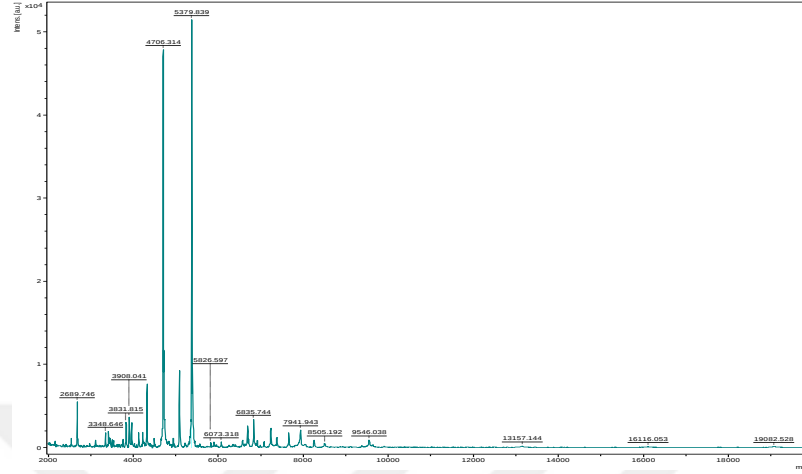
E.6: D2 Orta Bölge



ILK 10 YAKLASIM

<i>Staphylococcus epidermidis</i> ATCC 12228 CHB	1.502
<i>Staphylococcus simiae</i> DSM 17639 DSM	1.323
<i>Lactobacillus reuteri</i> DSM 20056 DSM	1.321
<i>Staphylococcus simulans</i> CCM 2724 CCM	1.281
<i>Burkholderiacepacia_Group</i> 18875_1 CHB	1.238
<i>Arthrobactersulfureus</i> B571 UFL	1.237
<i>Lactobacillus perolens</i> DSM 12744T DSM	1.198
<i>Staphylococcus condimenti</i> DSM 11675 DSM	1.179
<i>Listeria innocua</i> DSM 20649T DSM	1.176
<i>Lactobacillus reuteri</i> DSM 20016T DSM	1.175

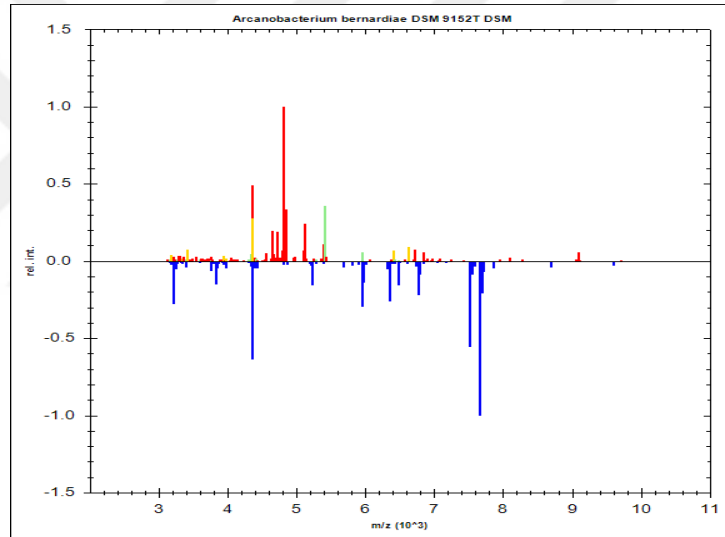
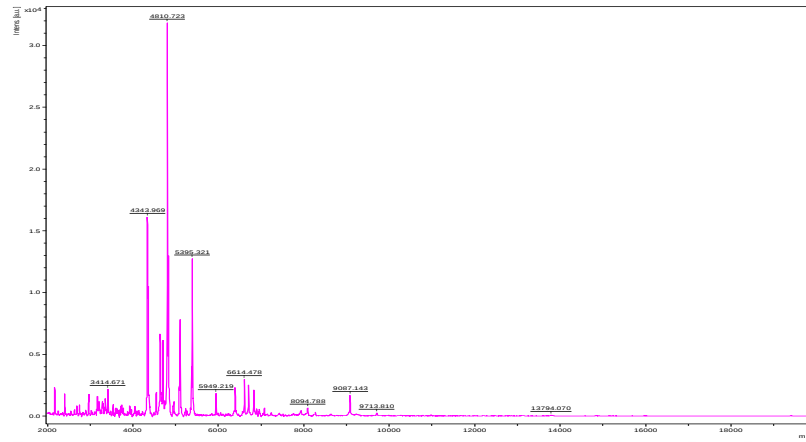
E.7: D2 Orta Bölge



ILK 10 YAKLASIM

<i>Streptomyces lavendulae</i> B264 UFL	1.580
<i>Blastomonas ursincola</i> DSM 9006T HAM	1.347
<i>Lactobacillus malefermentans</i> DSM 5705T DSM	1.290
<i>Lactobacillus plantarum</i> DSM 20205 DSM	1.258
<i>Lactobacillus ingluviei</i> DSM 14792 DSM	1.250
<i>Brenneria alni</i> DSM 11811T HAM	1.238
<i>Agromyces brachium</i> HKI 303 DSM 14596T HKJ	1.236
<i>Corynebacterium callunae</i> DSM 20147T DSM	1.232
<i>Neisseria meningitidis</i> 639 PGM	1.214
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i> DSM 50170T HAM	1.206

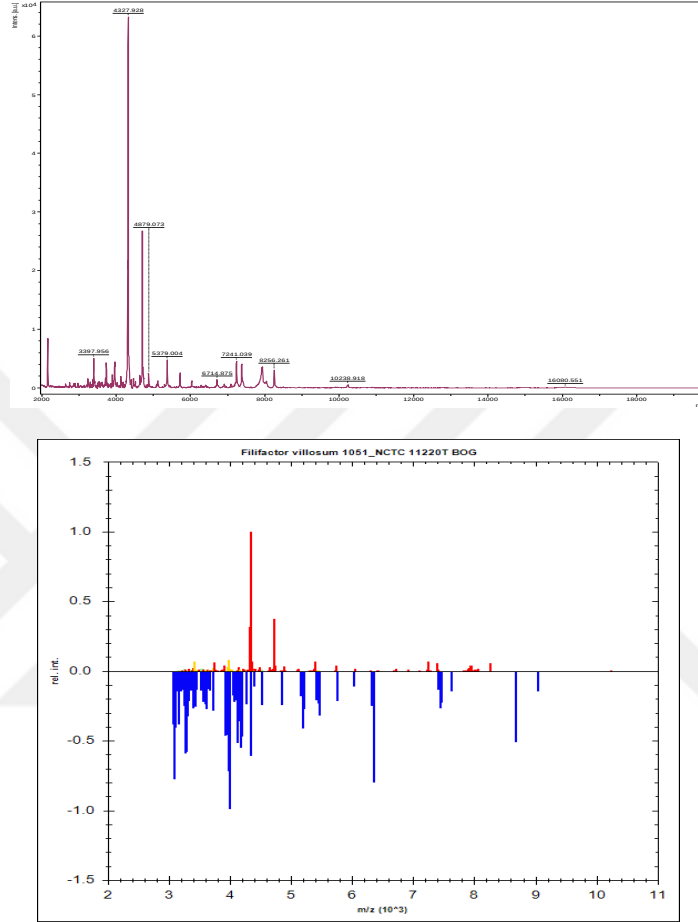
E.8: D2 Üst Bölge



ILK 10 YAKLASIM

<i>Arcanobacterium bernardiae</i> DSM 9152T DSM	1.395
<i>Arthrobacter arilaitensis</i> DSM 16368T DSM	1.317
<i>Arthrobacter castelli</i> DSM 16402T DSM	1.361
<i>Arthrobacter psychrophenicus</i> DSM 15454T DSM	1.265
<i>Azoarcus indigens</i> VB32 MPB	1.387
<i>Lactobacillus agilis</i> DSM 20510 DSM	1.281
<i>Lactobacillus paracasei ssp. paracasei</i> DSM 20207 DSM	1.265
<i>Staphylococcus capitis ssp. aureolyticus</i> DSM 6717T DSM	1.333
<i>Staphylococcus simiae</i> DSM 17636T DSM	1.303
<i>Staphylococcus warneri</i> Mb18796_1 CHB	1.318

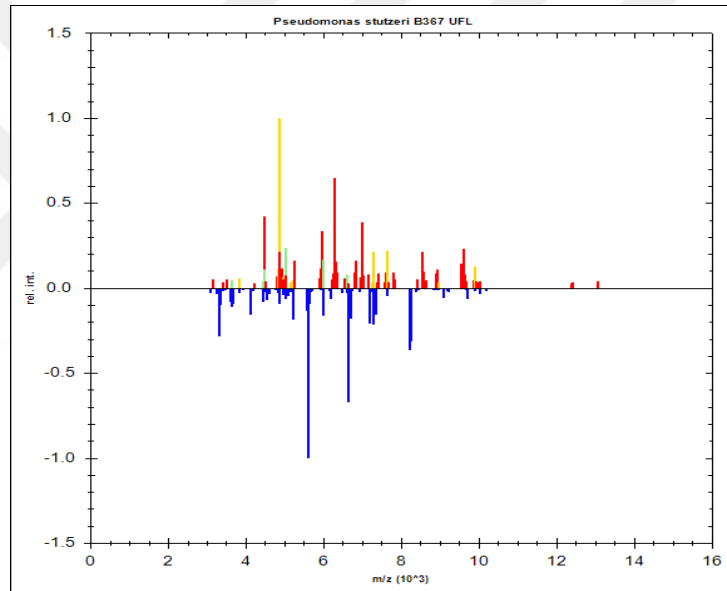
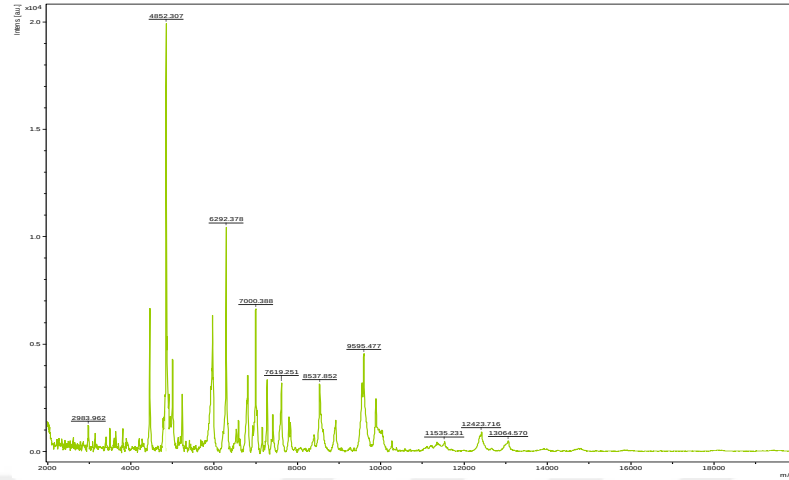
E.9: D2 Üst Bölge



ILK 10 YAKLASIM

<i>Filifactorvillosus</i> 1051_NCTC 11220T BOG	1.475
<i>Lactobacillus ingluviei</i> DSM 14792 DSM	1.280
<i>Pseudomonas oryzihabitans</i> DSM 6835T HAM	1.255
<i>Sphingobacteriumthalpophilum</i> DSM 11723T HAM	1.253
<i>Klebsiella pneumoniae ssp. pneumoniae</i> CCM 5792T CCM	1.252
<i>Pseudomonas poae</i> DSM 14936T HAM	1.231
<i>Enterobacter cloacae</i> MB_8779_05 THL	1.228
<i>Lactobacillus antri</i> DSM 16041T DSM	1.227
<i>Actinomycesneuii</i> spanitratus DSM 8577T DSM	1.221
<i>Lactobacillus perolens</i> DSM 12744T DSM	1.208

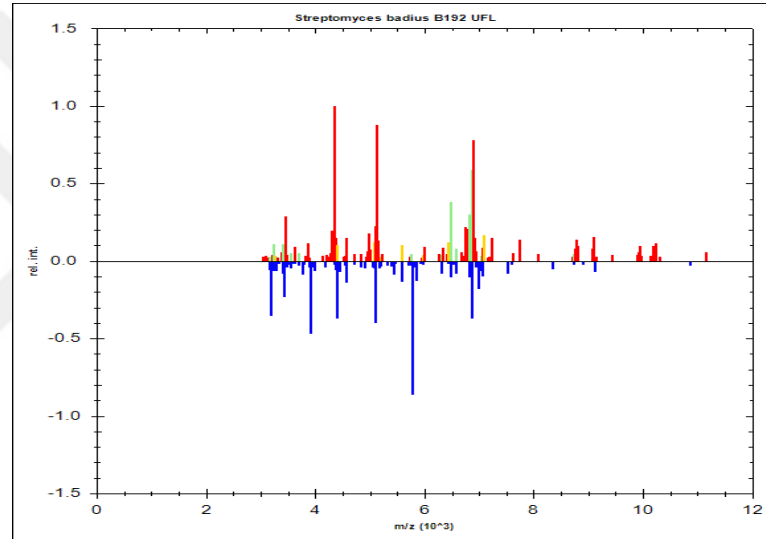
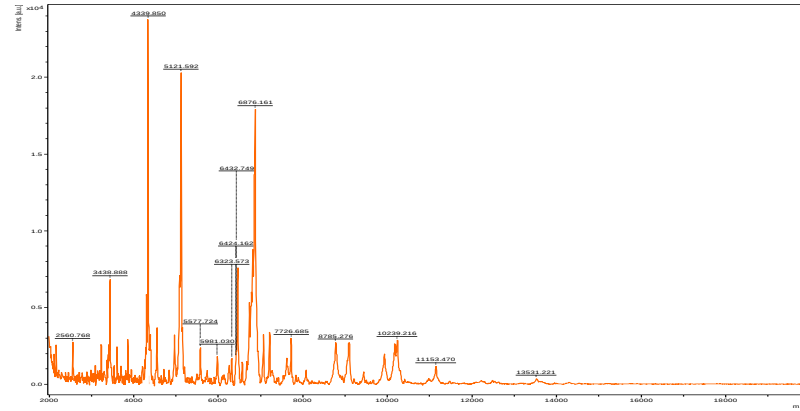
E.10: Giriş Suyu



ILK 10 YAKLASIM

<i>Pseudomonas stutzeri</i> B367 UFL	1.275
<i>Kytococcusedentarius</i> IMET 11362T HKJ	1.262
<i>Chryseobacteriumindologenes</i> CCM 4451T CCM	1.223
<i>Chryseobacteriumindologenes</i> 098_NE37 NFI	1.193
<i>Lactobacillus vini</i> DSM 20605T DSM	1.191
<i>Streptococcus acidominimus</i> DSM 20622T DSM	1.189
<i>Stenotrophomonasnitritireducens</i> DSM 12575T HAM	1.182
<i>Burkholderia gladioli</i> Wv22575 CHB	1.163
<i>Lactobacillus paracaseisspparacasei</i> DSM 20008 DSM	1.126
<i>Enterobacter aerogenes</i> ATCC 13048T THL	1.101

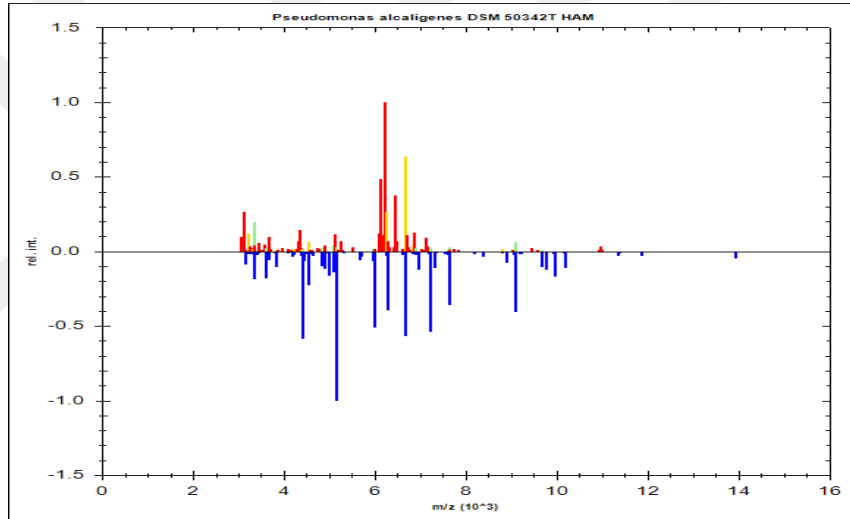
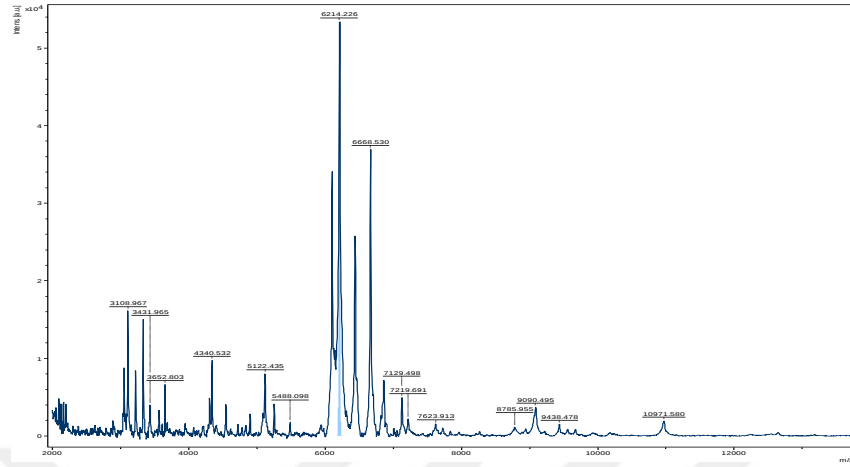
E.11: Y1 Orta Bölge



ILK 10 YAKLASIM

<i>Streptomyces badius</i> B192 UFL	1.471
<i>Streptomyces griseus</i> B261 UFL	1.435
<i>Pseudomonas pertucinogena</i> LMG 1874T HAM	1.319
<i>Clostridium lundense</i> DSM 17049T VML	1.307
<i>Pseudomonas alcaligenes</i> DSM 50342T HAM	1.279
<i>Empedobacter brevis</i> LMG 4011T HAM	1.253
<i>Lactobacillus vitulinus</i> DSM 20405T DSM	1.243
<i>Campylobacter helveticus</i> 8174_01 NVU	1.224
<i>Alishewanella fetalis</i> DSM 16032T HAM	1.209
<i>Staphylococcus haemolyticus</i> 19 ESL	1.181

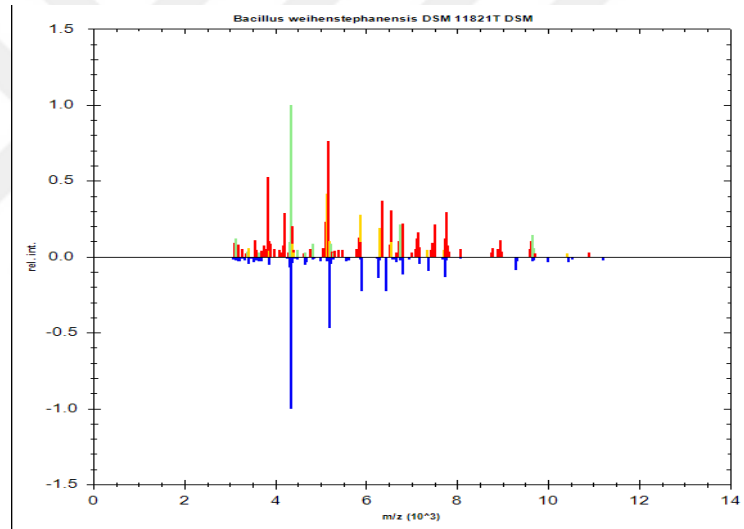
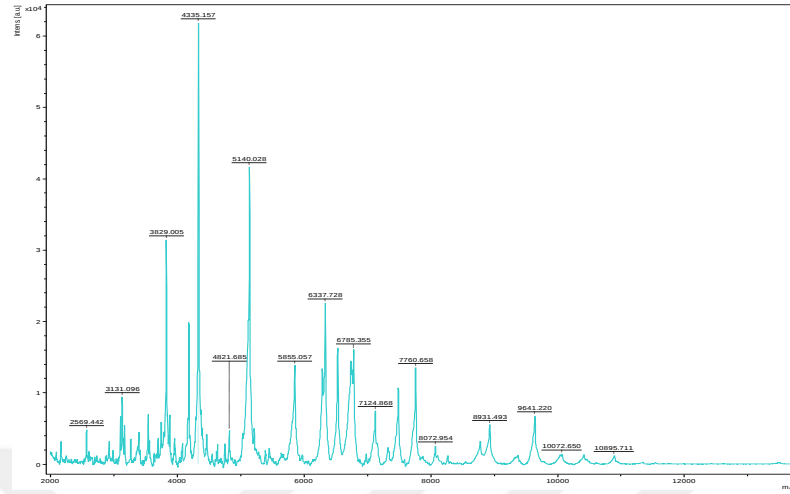
E.12: Y1 Üst Bölge



ILK 10 YAKLASIM

<i>Pseudomonas alcaligenes</i> DSM 50342T HAM	1.539
<i>Pseudomonas alcaligenes</i> 4_3_A TUB	1.375
<i>Jonesiadennitrificans</i> DSM 20603T DSM	1.303
<i>Lactobacillus mali</i> DSM 20483 DSM	1.297
<i>Lactobacillus salivarius</i> DSM 20492 DSM	1.292
<i>Bacillus aquimaris</i> DSM 16205T DSM	1.278
<i>Lactobacillus vini</i> DSM 20605T DSM	1.268
<i>Halobacterium salinarum</i> B277 UFL	1.253
<i>Staphylococcus warneri</i> Mb18796_1 CHB	1.243
<i>Staphylococcus carnosus</i> sp. nov. DSM 11676T DSM	1.234

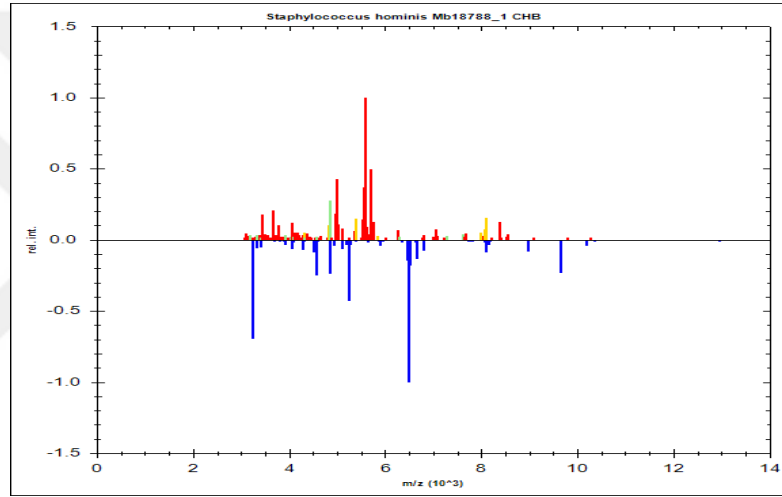
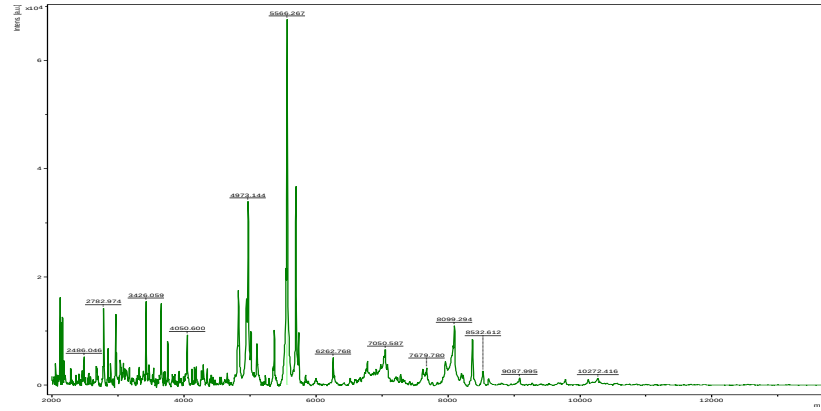
E.13: Y2 Çıkış Suyu



ILK 10 YAKLASIM

<i>Bacillus weihenstephanensis</i> DSM 11821T DSM	1.591
<i>Bacillus niacini</i> DSM 2923T DSM	1.576
<i>Bacillus mycoides</i> DSM 2048T DSM	1.450
<i>Lactobacillus murinus</i> DSM 20452T DSM	1.433
<i>Bacillus psychrotolerans</i> DSM 11706T DSM	1.409
<i>Bacillus novalis</i> DSM 15603T DSM	1.408
<i>Brachybacterium faecium</i> IMET 11352T HKJ	1.390
<i>Bacillus bataviensis</i> DSM 15601T DSM	1.324
<i>Bacillus cereus</i> DSM 31T DSM	1.317
<i>Lactobacillus aviarius</i> ssp <i>aviarius</i> DSM 20654 DSM	1.293

E.14: Y2 Orta Bölge



ILK 10 YAKLASIM

<i>Staphylococcus hominis</i> Mb18788_1 CHB	1.254
<i>Pseudomonas pictorum</i> LMG 981T HAM	1.253
<i>Staphylococcus epidermidis</i> DSM 1798 DSM	1.244
<i>Pseudomonas hydrocaroxydans</i> B333 UFL	1.238
<i>Clostridium baratii</i> 1018_NCTC 10986 BOG	1.227
<i>Agromyces rhizosphaerae</i> HKI 302_DSM 14597T HKJ	1.221
<i>Staphylococcus lugdunensis</i> 20659_1 CHB	1.209
<i>Arthrobacter koreensis</i> DSM 16760T DSM	1.199
<i>Staphylococcus warneri</i> DSM 20316T DSM	1.184
<i>Clostridium novyi</i> A 1025_NCTC 538 BOG	1.180

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : AYŞENİL ŞENCAN

Doğum Yeri ve Tarihi : ANKARA- 15/09/1991

Lisans Üniversite : Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Elektronik posta : aysenilsencan@hotmail.com

İletişim Adresi : Abant İzzet Baysal Üniversitesi/
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yayın Listesi :

Yalçuk A, Doğdu Okçu G, Şencan A (2016) ‘The Investigation of the Treatment of Patotoes Processing Wastewater by Hibrid Constructed Wetland Systems’ Sysmposium On EuroAsian Biodiversity, 23-27 May, Antalya.

Yalçuk A, Doğdu Okçu G, Şencan A (2017) ‘Investigation of the Treatment Performances of Hybrid Constructed Wetland Systems with Zeolite Media to Treat Potatoes Processing Wastewaters’ Ecology 2017 International Sysmposium, 11-13 May, Kayseri.