

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ENDÜSTRİYEL ARITMA ÇAMURLARININ
BOX-BEHNKEN DENEYSEL TASARIM
YÖNTEMİ KULLANILARAK
KOMPOSTLAŞTIRILMASI**

NURDAN AYCAN DÜMENÇİ

DOKTORA TEZİ

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**ENDÜSTRİYEL ARITMA ÇAMURLARININ
BOX-BEHNKEN DENEYSEL TASARIM
YÖNTEMİ KULLANILARAK
KOMPOSTLAŞTIRILMASI**

NURDAN AYCAN DÜMENÇİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SAMSUN
2018**

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Nurcan AYCAN DÜMENÇİ tarafından hazırlanan “Endüstriyel Arıtma Çamurlarının Box-Behnken Deneysel Tasarım Yöntemi Kullanılarak Kompostlaştırılması” adlı tez çalışması 26/03/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman Prof. Dr. N. Gamze TURAN
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri

Başkan Prof. Dr. Yüksel ARDALI
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye (Danışman) Prof. Dr. N. Gamze TURAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Prof. Dr. Okan ÖZGÖNENEL
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Dr. Öğretim Üyesi
Fulya AYDIN TEMEL

Üye Dr. Öğretim Üyesi
Oylum GÖKKURT BAKI

Yukarıdaki sonucu onaylarım./....../2018

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

25/04/2018

İmza

Nurdan Aycan Dümenci

ÖZET

Doktora Tezi

ENDÜSTRİYEL ARITMA ÇAMURLARININ BOX-BEHNKEN DENEYSEL TASARIM YÖNTEMİ KULLANILARAK KOMPOSTLAŞTIRILMASI

Nurdan Aycan Dümenci

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. N. Gamze Turan

Bu çalışmada, susuzlaştırılmış endüstriyel arıtma çamurlarının kapalı sistemde kompostlaştırılması araştırılmıştır. Proses süresince pH, elektriksel iletkenlik, nem içeriği, amonyum azotu, nitrat azotu ve toplam azot parametrelerindeki değişimler incelenmiştir. Kompostlaştırma prosesinde parametrelerin ana ve ikili etkilerinin belirlenmesi ve daha az sayıda deneysel çalışmayla etkin proses koşullarının sağlanması amacıyla Box-Behnken deneysel tasarım yöntemi uygulanmıştır. Deneysel faktörler ve seviyeleri, ilave materyal türü (pomza, perlit ve vermikülit), materyal oranı (%10, %25 ve %40) ve havalandırma oranı (3 L/dak, 6 L/dak ve 9 L/dak) olarak seçilmiştir. Deneysel tasarım yöntemi, kompostlaştırma prosesi üzerine en büyük etkiye sahip ana deneysel değişkenleri belirlemektedir. Çalışmanın sonuçları, pomzanın kompost kalitesi üzerine önemli bir etkiye sahip materyal olduğunu göstermiştir. Önerilen deneysel tasarım yöntemi, uygulaması kolay ve ekonomik bir yöntemdir.

Nisan 2018, 149 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kompostlaştırma, Endüstriyel arıtma çamuru, Cevap yüzey yöntemi, Box-Behnken deneysel tasarımı.

ABSTRACT

Doctoral Dissertation

COMPOSTING OF INDUSTRIAL SLUDGE BY USING BOX-BEHNKEN EXPERIMENTAL DESIGN

Nurdan Aycan Dümenci

Ondokuz Mayıs University
Graduate School of Science
Department of Environmental Engineering
Supervisor: Prof. Dr. N. Gamze Turan

In this study, it was investigated the composting of dewatered industrial sludge in-vessel system. The variations of pH, electrical conductivity, moisture content, ammonia nitrogen, nitrate nitrogen and total nitrogen were measured during the process. The Box-Behnken experimental design method was applied to determine the main and binary effects of the parameters in the composting process and to ensure effective process conditions with fewer experimental runs. The experimental factors and their related levels were selected as amendment material type (pumice, expanded perlite and expanded vermiculite), amendment material ratio (10%, 25% and 40%), and finally aeration rate (3 L/min, 6 L/min and 9 L/min). The methodology identified the principal experimental variables, which have the greatest effect on the composting process. The results of the study showed that pumice as amendment material had significant influence on compost quality. The proposed experimental design was cost effective and easy to implement.

April 2018, 149 pages

Key Words: Composting, Industrial sludge, Response surface method,
Box-Behnken experimental design

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Akademik eğitim sürecimin üst noktası olan Doktora tez çalışmalarım boyuncaengin bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak yardım ve desteğini esirgemeyen, tezimin her aşamasında önerilerde bulunarak beni bu zorlu süreçte motive eden çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. N. Gamze TURAN’a teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin yönlendirilmesinde değerli katkılarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Yüksel ARDALI ve Sayın Prof. Dr. Okan ÖZGÖNENEL’e teşekkür ederim.

Tez çalışmasında kullandığım atıksu arıtma çamurlarının temini konusunda bana yardımcı olan Samsun Merkez Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi çalışanlarına ve Sayın Ufuk GÜLŞEN’e teşekkür ederim.

Tezimdeki deneysel çalışma sonuçlarının değerlendirilerek istatistiksel olarak yorumlanması konusunda yardım eden Sayın Dr. Öğretim Üyesi Naci MURAT’a teşekkür ederim.

Doktora eğitimim boyunca benden desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Beni bugünlere getirmek için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan biricik aileme, zekiliği ve ileri görüşlülüğü ile her zaman bana örnek olup hayat tecrübesini benimle paylaşan, hep daha çok okumanın önemini vurgulayan, kızı olmaktan her an gurur duyduğum, melek olup uçup gitmiş olsada hep yanımda olduğunu hissettiren, hayatımın anlamı canım babacığım Mahmut AYCAN’a teşekkürün en büyüğünü ediyorum.

Çalışmalarım süresince bana her türlü konuda yardımcı olan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, kendisine ayırmam gereken zamanın büyük kısmını çalışmalarına ayırmamı anlayışla karşılayan eşim M.Burak DÜMENCI’ye de teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, PYO.MUH.1904.16.007 nolu Bilimsel Araştırma Projesi olarak Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

Nisan 2018, Samsun

Nurdan AYCAN DÜMENCI



Bu tez canım babam **Mahmut AYCAN**'a ithaf edilmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Kompostlaştırma Prosesi	3
2.1.1. Kompostlaştırma prosesini etkileyen faktörler	5
2.1.1.1. Nem içeriği	5
2.1.1.2. Havalandırma	6
2.1.1.3. Sıcaklık	7
2.1.1.4. C/N oranı	8
2.1.1.5. pH	8
2.1.1.6. Partikül boyutu	9
2.1.2. Kompostlaştırma sistemleri	9
2.1.2.1. Açık kompostlaştırma sistemleri	10
2.1.2.2. Reaktör kompostlaştırma sistemleri	11
2.1.3. Yasal mevzuat	13
2.1.4. Kompostun kullanım alanları	15
2.2. Arıtma Çamuru	17
2.2.1. Arıtma çamuru kaynakları	18
2.2.1.1. Birincil çamur	19
2.2.1.2. Kimyasal çökeltme çamuru	20
2.2.1.3. İkincil çamur	20
2.2.2. Arıtma çamurlarının sınıflandırılması	21
2.2.2.1. Kentsel arıtma çamurları	21
2.2.2.2. Endüstriyel arıtma çamurları	21
2.2.3. Arıtma Çamurlarının özellikleri	22
2.2.3.1. Özgül ağırlık	22
2.2.3.2. Çamur katı madde içeriği	22
2.2.3.3. Çamur hacim indeksi	25
2.2.3.4. Çamurdaki suyun dağılımı	26
2.2.3.5. Çamurun akışkanlık özelliği	26
2.2.3.6. Çamur partikül boyut dağılımı	26
2.2.3.7. Çamur partiküllerinin elektriksel yükleri	27
2.2.3.8. Çamurun ısı değeri	27
2.2.3.9. Çamurun gübre değeri	28
2.2.3.10. Çamurun biyolojik özellikleri	29
2.2.3.11. Çamurun ağır metal içeriği	29
2.2.4. Arıtma çamurları bertaraf yöntemleri	30
2.2.4.1. Arazide kullanma	30
2.2.4.2. Düzenli depolama	31
2.2.4.3. Yakma	31
2.2.4.4. Termal kurutma	32
2.2.4.5. Çürütme	33
2.2.4.6. Kompostlaştırma	34

2.3. Deneysel Tasarım	37
2.3.1. Cevap yüzey yöntemleri	37
2.3.2. Box-Behnken tasarımı	43
2.3.3. Simplex algoritması	46
2.3.4. Varyans analizi (ANOVA)	47
3. MATERYAL VE YÖNTEM	50
3.1. Materyallerin Temini, Özellikleri ve Deneylere Hazırlanması	50
3.1.1. Perlit örneklerinin temini, özellikleri ve deneylere hazırlanması	50
3.1.2. Vermikülit örneklerinin temini, özellikleri ve deneylere hazırlanması	52
3.1.3. Pomza örneklerinin temini, özellikleri ve deneylere hazırlanması	54
3.1.4. Arıtma çamuru örneklerinin temini, özellikleri ve deneylere hazırlanması	55
3.2. Pilot Kompostlaştırma Sistemlerinin Tasarımı	60
3.3. Sistemlerden Örnek Alınması ve Analizlere Hazırlanması	60
3.4. Sistemlerin Box-Behnken Deneysel Tasarımına Uyarlanması	61
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	63
4.1. Materyallerin Kompostlaştırma Prosesine Etkisi	63
4.1.1. Pomzanın kompostlaştırma prosesine etkisi	63
4.1.1.1. Pomzanın pH değişimi üzerine etkisi	63
4.1.1.2. Pomzanın elektriksel iletkenlik değişimi üzerine etkisi	64
4.1.1.3. Pomzanın nem içeriği değişimi üzerine etkisi	65
4.1.1.4. Pomzanın amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)değişimi üzerine etkisi	66
4.1.1.5. Pomzanın nitrat azotu değişimi ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) üzerine etkisi	67
4.1.1.6. Pomzanın toplam azot (TN) değişimi üzerine etkisi	69
4.1.2. Genleştirilmiş perlitin kompostlaştırma prosesine etkisi	70
4.1.2.1. Genleştirilmiş perlitin pH değişimi üzerine etkisi	70
4.1.2.2. Genleştirilmiş perlitin elektriksel iletkenlik değişimi üzerine etkisi	71
4.1.2.3. Genleştirilmiş perlitin nem içeriği değişimi üzerine etkisi	72
4.1.2.4. Genleştirilmiş perlitin amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi	74
4.1.2.5. Genleştirilmiş perlitin nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi	75
4.1.2.6. Genleştirilmiş perlitin toplam azot (TN) değişimi üzerine Etkisi	76
4.1.3. Genleştirilmiş vermikülitin kompostlaştırma prosesine etkisi	78
4.1.3.1. Genleştirilmiş vermikülitin pH değişimi üzerine etkisi	78
4.1.3.2. Genleştirilmiş vermikülitin elektriksel iletkenlik değişimi üzerine etkisi	79

4.1.3.3. Genleştirilmiş vermikülitin nem içeriği değişimi üzerine etkisi	81
4.1.3.4. Genleştirilmiş vermikülitin amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) üzerine etkisi	83
4.1.3.5. Genleştirilmiş vermikülitin nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi	85
4.1.3.6. Genleştirilmiş vermikülitin toplam azot (TN) değişimi üzerine etkisi	87
4.2. Parametrelerin Deneysel Tasarım Sonuçlarının Değerlendirilmesi	89
4.2.1. Model bileşenlerinin parametreler üzerine etkileri ve istatistiksel değerlendirme	89
4.2.1.1. pH	89
4.2.1.2. Elektriksel iletkenlik	94
4.2.1.3. Nem içeriği	98
4.2.1.4. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)	102
4.2.1.5. Nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$)	106
4.2.1.6. Toplam azot (TN)	110
4.3. Optimizasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi	114
4.4. Maliyet Analizi	115
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	117
KAYNAKLAR	121
EKLER	133
ÖZGEÇMİş	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kompostlaştırma proses şeması	4
Şekil 2.2. Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan işlemlere genel bakış	19
Şekil 2.3. Aktif çamur ünitesinin yer aldığı atıksu arıtma tesisi akım şeması	20
Şekil 2.4. Partikül boyutunun su alma işlemleri üzerindeki etkisi	27
Şekil 2.5. Arıtma çamurlarının kompostlaştırma prosesi	35
Şekil 2.6. Box-Behnken tasarım sınırları	44
Şekil 3.1. Atıksu arıtma tesisi iş akım şeması	58
Şekil 3.2. Atıksu arıtma tesisi vaziyet planı	59
Şekil 3.3. Pilot kompostlaştırma sistemlerinin şematik görünümü	60
Şekil 3.4. Pilot kompostlaştırma sistemleri	62
Şekil 4.1. Pomzanın pH değişimi üzerine etkisi	63
Şekil 4.2. Pomzanın elektriksel iletkenlik değişimi üzerine etkisi	65
Şekil 4.3. Pomzanın nem içeriği değişimi üzerine etkisi	66
Şekil 4.4. Pomzanın amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi	67
Şekil 4.5. Pomzanın nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi	68
Şekil 4.6. Pomzanın toplam azot (TN) değişimi üzerine etkisi	69
Şekil 4.7. Genleştirilmiş perlitin pH değişimi üzerine etkisi	71
Şekil 4.8. Genleştirilmiş perlitin elektriksel iletkenlik değişimi üzerine etkisi	72
Şekil 4.9. Genleştirilmiş perlitin nem içeriği değişimi üzerine etkisi	73
Şekil 4.10. Genleştirilmiş perlitin amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi	74
Şekil 4.11. Genleştirilmiş perlitin nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi	76
Şekil 4.12. Genleştirilmiş perlitin toplam azot (TN) değişimi üzerine etkisi..	77
Şekil 4.13. Genleştirilmiş vermikülitin pH değişimi üzerine etkisi	78
Şekil 4.14. Genleştirilmiş vermikülitin elektriksel iletkenlik değişimi üzerine etkisi	80
Şekil 4.15. Genleştirilmiş vermikülitin nem içeriği değişimi üzerine etkisi...	82
Şekil 4.16. Genleştirilmiş vermikülitin amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi	84
Şekil 4.17. Genleştirilmiş vermikülitin nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi	86
Şekil 4.18. Genleştirilmiş vermikülitin toplam azot (TN) değişimi üzerine etkisi	88
Şekil 4.19. pH değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	92
Şekil 4.20. pH değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	92
Şekil 4.21. pH değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	93
Şekil 4.22. pH değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği	93
Şekil 4.23. Elektriksel iletkenlik değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	96
Şekil 4.24. Elektriksel iletkenlik değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	96

Şekil 4.25. Elektriksel iletkenlik değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	97
Şekil 4.26. Elektriksel iletkenlik değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği	97
Şekil 4.27. Nem içeriği değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	100
Şekil 4.28. Nem içeriği değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	100
Şekil 4.29. Nem içeriği değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	101
Şekil 4.30. Nem içeriği değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği	101
Şekil 4.31. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	104
Şekil 4.32. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	104
Şekil 4.33. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	105
Şekil 4.34. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan tepki düzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği	105
Şekil 4.35. Nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	108
Şekil 4.36. Nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	108
Şekil 4.37. Nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	109
Şekil 4.38. Nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği	109
Şekil 4.39. Toplam azot (TN) değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	112
Şekil 4.40. Toplam azot (TN) değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	113
Şekil 4.41. Toplam azot (TN) değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik	113
Şekil 4.42. Toplam azot (TN) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği	114

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Arıtma çamuru direktifi limit değerler	17
Çizelge 2.2. Arıtma çamurlarının fiziksel özellikleri	23
Çizelge 2.3. Farklı arıtma işlemlerinde beklenen çamur katı madde konsantrasyonları	24
Çizelge 2.4. Çeşitli çamurlara ait ısııl değerler	28
Çizelge 2.5. Toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda izin verilen ağır metal içerikleri	29
Çizelge 2.6. Üç faktör için Box-Behnken tasarımı	45
Çizelge 2.7. Varyans analizi sonuç çizelgesi	48
Çizelge 3.1 Dünya perlit rezervleri	51
Çizelge 3.2. Perlit örneklerinin kimyasal analiz sonuçları	51
Çizelge 3.3. Dünya vermikülit rezervleri	53
Çizelge 3.4. Vermikülit örneklerinin kimyasal analiz sonuçları	53
Çizelge 3.5. Pomza örneklerinin kimyasal analiz sonuçları	55
Çizelge 3.6. Samsun OSB atıksu arıtma tesisi analiz sonuçları	57
Çizelge 3.7. Deneylerde kullanılan analiz yöntemleri	61
Çizelge 3.8. Box-Behnken tasarımına göre seçilen seviyeler	61
Çizelge 3.9. Box-Behnken tasarımına göre sistemler.....	62
Çizelge 4.1. pH değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları	90
Çizelge 4.2. pH değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları	91
Çizelge 4.3. Elektriksel iletkenlik değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları	94
Çizelge 4.4. Elektriksel iletkenlik değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları	95
Çizelge 4.5. Nem içeriği değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları	98
Çizelge 4.6. Nem içeriği değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları	99
Çizelge 4.7. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan tepki düzey modelin ilişkin varyans analizi sonuçları	102
Çizelge 4.8. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan tepki düzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları	103
Çizelge 4.9. Nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları	106
Çizelge 4.10. Nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları	107
Çizelge 4.11. Toplam azot (TN) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları	110
Çizelge 4.12. Toplam azot (TN) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları	111
Çizelge 4.13. Deneysel tasarım yönteminde elde edilen optimum koşullar ...	115
Çizelge 4.14. Çalışmada kullanılan malzemenin ve enerjinin birim fiyatları..	115
Çizelge 4.15. Deneysel tasarım yönteminde elde edilen optimum koşulların maliyet hesabı	116

1. GİRİŞ

Evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuların, fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtımı sonucunda ortaya çıkan arıtma çamurlarının bertarafı, günümüzün önemli çevre problemlerinden birini oluşturmaktadır. Evsel arıtma çamurlarının doğrudan araziye uygulanmaları, içeriğindeki organik ve mineral tuzlar nedeniyle toprak özelliklerini iyileştirme, erozyonu önleme ve bitkiler için zengin besi maddesi sağlama gibi yararlarının yanı sıra koku oluşumu, patojen mikroorganizma, yeraltı suyu kirliliği gibi problemlerin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Endüstriyel atıksuların arıtımında ise, çeşitli endüstriyel proseslerden oluşan toksik ürünler arıtma çamurunda çevresel açıdan ciddi sorunlara neden olmaktadır.

Arıtma çamurları, doğal veya mekanik yöntemler uygulanarak suyu alındıktan ve stabilizasyon işlemlerinden geçirildikten sonra özellikle tarım alanında kullanılmaktadır. Ayrıca toprakta bitkilerin ihtiyaç duyduğu gübreyi, daha ekonomik olarak sağlaması arıtma çamurlarının tarımda uygulanmasını cazip kılmaktadır. Arıtma çamurlarının yüksek organik madde içeriği (%20-40) ve yapısındaki N, P, K, Fe, Cu, Mn, Zn gibi makro ve mikro besin maddelerinin zenginliği, arıtma çamuru kullanımının tarıma yönelmesini arttıran temel etkidir.

Avrupa ülkelerinde arıtma çamurlarının tarımda kullanılma oranı %10-80 arasında değişmektedir. Arıtma çamurlarını çevresel açıdan uygun bir forma dönüştürerek toprak iyileştirici olarak kullanımını sağlayan bir proses olan kompostlaştırma, günümüzde yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. Kompostlaştırılmış arıtma çamurları, park, bahçe, golf sahaları vb. alanlarda yüzey toprağını iyileştirmek amacıyla kullanılabilir. Bununla birlikte, arıtma çamurları, ülkemiz başta olmak üzere gelişmekte olan ülkelerin büyük bir bölümünde, yoğunlaştırma ve susuzlaştırma işlemlerinden sonra belediyelerin gösterdikleri döküm sahalarında depolanmakta veya yerleşim bölgelerinin dışında boş arazilere kaçak olarak dökülmektedir.

Bu alışmada, Organize Sanayi Bölgesi'ne ait atıksu arıtma tesisinden temin edilen endüstriyel arıtma amurlarının kapalı sistemde kompostlaştırılması incelenmiştir. Kompostlaştırma prosesinde parametrelerin ana ve ikili etkilerinin belirlenmesi ve daha az sayıda deneysel çalışmayla etkin proses koşullarının sağlanması amacıyla Box-Behnken deneysel tasarım yöntemi uygulanmıştır. Deneysel tasarım yönteminde, kompostlaştırma prosesinde etkin olan 3 parametrenin (malzeme türü, malzeme oranı ve havalandırma oranı) 3 farklı seviyesi ile çalışılmış ve elde edilen sonuçlar kompost kalite kriterleri ve maliyet açısından değerlendirilmiştir.



2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Kompostlaştırma Prosesi

Organik maddelerin biyolojik olarak ayrışması sonucu oluşan ısının bir sonucu olarak termofilik sıcaklığın gelişimine izin veren koşullarda; patojenlerden arındırılmış, stabil ve toprağa yararlı bir ürün üretmeyi amaçlayan işlem kompostlaştırma olarak tanımlanmaktadır (Haug, 1993).

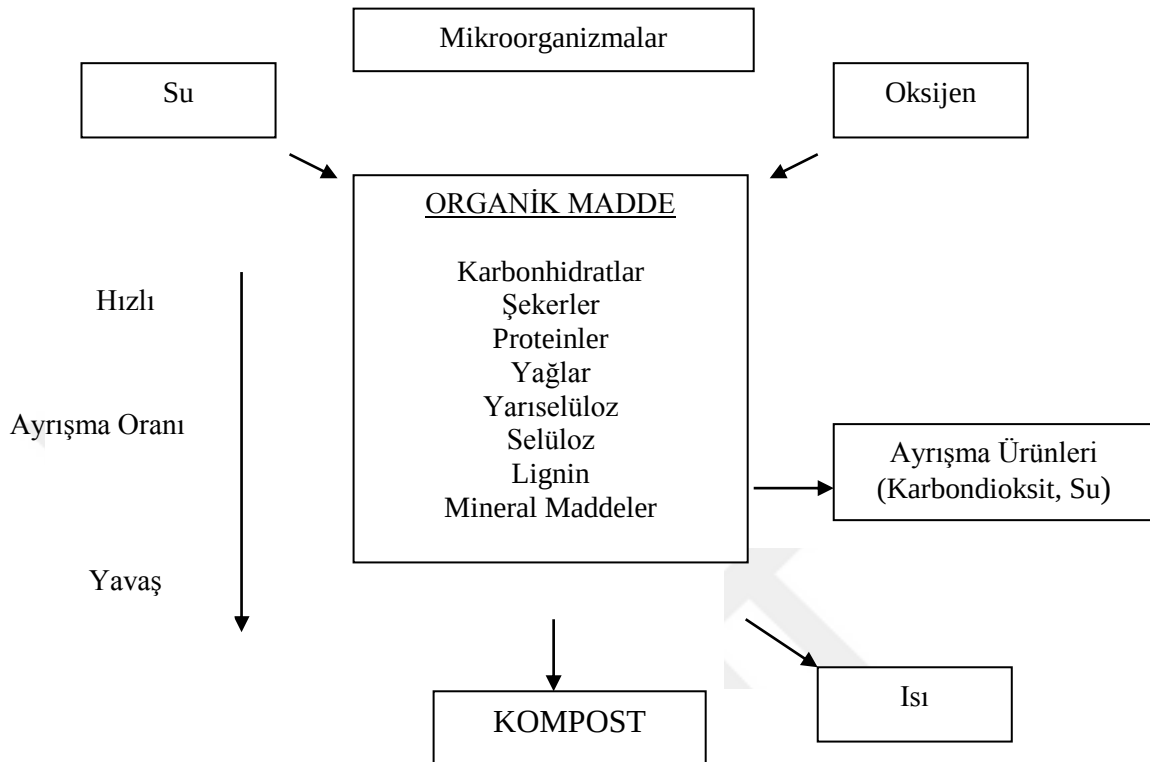
Kompostlaştırma pasif veya aktif havalandırma uygulanarak aerobik şartlarda gerçekleştirilmektedir. Proseste karbondioksit, su ve enerji açığa çıkarken eser miktarda amonyak ve diğer uçucu organik maddeler oluşmaktadır. Optimal şartlarda kompostlaştırma süreci üç aşamada meydana gelmektedir. Bu aşamalar;

- Mezofilik faz
- Termofilik faz
- Olgunlaşma fazı'dır.

Mezofilik faz organik maddelerin ilk ayrışmasının gerçekleştiği fazdır. Bu fazın gerçekleşmesi için geçen zaman genellikle birkaç gündür. Mikroorganizmalar tarafından çözülmüş ve kolay parçalanabilen bileşikler mezofilik fazda ayrıştırılmaktadır. Ayrışma sırasında oluşan ısı, proseste sıcaklığı 40 °C'nin üzerine çıkarmaktadır. Bu sıcaklıklar mezofilik organizmaların yaşamasına uygun olmadığı için yerini termofilik mikroorganizmalara bırakmaktadır (Marthur, 1991; Rynk, 1992; Tchobanoglous vd, 1993).

Sıcaklık değerinin 40°C'nin üzerine çıktığı koşullar termofilik faz aşamasının başladığını göstermektedir. Bu faz birkaç haftadan birkaç aya kadar devam edebilmektedir. Sıcaklığın 55°C'nin üzerine çıkmasıyla birlikte patojen mikroorganizmaların ortamdaki uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Ulaşılan yüksek sıcaklık değerlerinde karbonhidrat, protein, yağ ve selüloz gibi kompleks organiklerin parçalanması hızlanmaktadır. Bu yüksek enerji düzeyine sahip kompleks organiklerin miktarı azaldıkça, proses sıcaklığı da orantılı olarak azalmaktadır (Haug, 1993; Epstein, 1997; Furness vd, 2000).

Son faz olan olgunlaşma fazında ise mezofilik mikroorganizmalar tekrar devreye girerek ortamda kalan organik maddeyi tüketir ve olgun kompost oluşmasını sağlarlar. Kompostlaştırma prosesinin şeması Şekil 2.1’de belirtilmiştir.



Şekil 2.1. Kompostlaştırma proses şeması

Başta sıcaklık olmak üzere, nem, oksijen, pH ve nütrient gibi faktörler kompostlaştırma prosesinin mikrobiyal popülasyonunu etkileyen parametrelerdir (Epstein, 1997).

Kompostlaştırma prosesi, mezofilik ve termofilik mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda, sıcaklık değerinin 40-50°C'nin üzerinde olduğu durumlarda termofilik mikroorganizmaların baskın olduğu, prosesin en son aşamasında ise gelişen organizma türlerinin genellikle mezofilik mikroorganizmalar olduğu görülmüştür (Haug, 1993).

Kompostlaştırma proseslerinde gözlemlenen en önemli mikroorganizmalar bakteriler, aktinomisetler ve fungilerdir. Fungilerin test edilen bütün sıcaklık değerlerinde daha fazla oranda ortamda bulunduğu gözlemlenmiştir. Kesin olarak kanıtlanmamış olsa da kompostlaştırma prosesinin minimum %80-90'ının

aktinomisetler ve bakteriler tarafından gerçekleştirildiği bilinmektedir (Haug, 1993; Burton ve Turner, 2003).

Bakteriler, kompostlaştırma prosesinde en etkin mikroorganizmalardır. Gerek mezofilik gerekse termofilik sıcaklıklarda organik maddeleri parçalarlar. Aktinomisetler, kompostlaştırma prosesinin sonuna yakın aşamalarında ortaya çıkarlar. Bu organizmalar protein, şeker, organik asit, nişasta, polipeptid ve yarı selüloz gibi pekçok organik maddeyi metabolize etmelerine rağmen selülozları parçalayamamaktadır (Forster ve Wase, 1987; Aasheim vd, 1985).

Fungiler, düşük nemli ortamlarda da bile yaşamlarını sürdürmektedirler. Atmosfer neminden absorblanan nemle beslenen kuru substratlarda büyüebilmektedirler. Geniş pH aralığına karşı dirençli olup, bakterilerden daha düşük azot ihtiyacına sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı fungiler kompostlaştırma proseslerinde önemli rol oynamaktadır. Ancak değişen koşullara bağlı olarak asidite ve yüksek sıcaklık kompost yığını içinde fungilerin gelişmesine engel olabilmekte ve termofilik fungilerin prodesteki rolünü kısıtlayabilmektedir (Haug, 1993; Gagnon vd, 2001).

Mikroorganizmalar yaşamları için oksijen ve nemin yanında başta karbon ve azot olmak üzere fosfor ve potasyum gibi nütrientlere ve enzimatik fonksiyonları için bakır, nikel, molibden, demir, çinko ve sodyum gibi mikronütrientlere ihtiyaç duymaktadır. Katı atıkların kompostlaştırılmasında bu gereksinimler atık materyali tarafından sağlanmaktadır. Mikroorganizmalar, organik maddeyi bir besin kaynağı olarak kullanırken CO₂, H₂O, bazı organik ürünler ve enerji açığa çıkarmaktadır (Epstein, 1997; Williams, 1999).

2.1.1. Kompostlaştırma prosesini etkileyen faktörler

2.1.1.1. Nem içeriği

Mikrobiyal bozunma işlemlerinin çoğu nemli ortamlarda gerçekleşmektedir. Sıcaklık ve organik maddenin ayrışma hızı mikrobiyal bozunma için oldukça önemlidir. Kompostlaştırma için gerekli nemin sağlanması, mikrobiyal bozunma ve organik maddelerin biyolojik oksidasyonu ile meydana gelmektedir. Ayrıca prosesin

gerçekleşmesinde önemli role sahip mikroorganizmalar ihtiyaç duydukları besinleri suda çözülmüş halde özümleyebilmektedirler (Tiquia vd, 1996).

Arıtma çamurlarının kompostlaştırılması için optimum nem içeriği %50-60 olarak önerilmektedir (Tchobanoglous vd, 1993). Nem içeriğinin fazla olması taneler arasındaki boşlukların su ile dolmasına, hava girişinin engellenmesine, patojen mikroorganizmaların ortamdan uzaklaştırılmamasına ve istenmeyen koku oluşumuna neden olmaktadır (Öztürk, 2010; Hamoda vd, 1998).

Bunun yanında nem içeriğinin %30 ve daha altındaki değerlerde olması, kompostlaştırma prosesinde mikrobiyal aktiviteyi ve etkin bir kompost üretimini engellemektedir (Richard, 1998).

Kompostlaştırma sürecinin etkin olarak gerçekleştirilebilmesi için nem içeriğinin yüksek oranda olması durumunda sistem her gün karıştırılarak istenilen seviyeye getirilir. Düşük nem içeriğine sahip olması durumunda ise su veya nem içeriği yüksek organik madde ilave edilerek nem içeriğinin artırılması sağlanabilmektedir (MacConnell ve Jimerson, 2003; Iqbal vd, 2010).

Kompostlaştırma prosesinin sonunda, nihai kompost için nem içeriği %45 civarında olmalıdır. Çünkü daha kuru haldeki bir kompost toz emisyonunun oluşmasına neden olabilmektedir. Bunun dışında anaerobik ortam oluşması halinde koku problemi de ortaya çıkmaktadır (WEF, 1995a).

2.1.1.2. Havalandırma

Havalandırma, kompostlaştırma prosesine etki eden parametredir. Kompostlaştırma prosesinde havalandırma; karıştırma, konvektif hava akımı ve mekanik havalandırma şeklinde üç farklı yöntemle gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemler içerisinde mekanik havalandırma daha çok pasif şekilde havalandırılan kompostlaştırma sistemleri için kullanılmaktadır. Diğer iki yöntem ise, yığın kompostlaştırma sistemleri için uygulanmaktadır (Miller vd, 1989).

Kompostlaştırma prosesinin başlangıcında oksijen konsantrasyonu %15-20, karbondioksit konsantrasyonu da %0.5-5 arasında değişmektedir. Organik maddenin parçalanmasıyla oksijen konsantrasyonu zamanla azalmakta ve karbondioksit konsantrasyonu artmaktadır. Kompostlaştırma prosesinin optimum şartlarda gerçekleştirilebilmesi için oksijen konsantrasyonunun %10'dan daha fazla olması istenmektedir (Epstein, 1997; Tuomela vd, 2000).

Seçilen kompostlaştırma teknolojisine ve ilk beslemeye bakılmaksızın yeterli oksijen sağlanabilmesi için materyalin en az %20-30 gözenek boşluğuna sahip olması önerilmektedir. Kompostlaştırma prosesinin başlangıcında, hızlı bozunmadan dolayı daha fazla oksijen ihtiyaı olmaktadır. Örneğin; yiyecek atıkları ve çim kırıntısı gibi hızlı olarak ayrışan substratlar, yaprak ve ürütölmüş kanalizasyon çamurlarından daha hızlı şekilde oksijen tüketmektedir. Bu tüketim çevresel şartlara ve susbstrat yapısına bağlı olarak değişmektedir (Haug, 1993; Uğurlu, 1995).

Kompostlaştırma prosesinde yeterli havalandırmanın sağlanamaması, aerobik şartların oluşmasına, ayrışma süresinin uzamasına ve etrafa kötü kokuların yayılmasına neden olabilmektedir. Diğer yandan, gereğinden fazla havalandırma, kompost kütlesinin soğumasına, termofilik ısının oluşmamasına ve patojen mikroorganizmaların ortamdaki uzaklaştırılamamasına yol açmaktadır (Williams, 1999; Haug 1993; Uğurlu 1995).

Havalandırma oranının kompostlaştırma prosesindeki etkisini gösteren bir çalışmaya göre, laboratuvar şartlarında 5 L'lik reaktörlerde 2400 L/gün ve 4800 L/gün havalandırma oranları ile gerçekleştirilmiş olan kompostlaştırma prosesinin, yüksek havalandırma oranına sahip sistemde daha iyi bir performans sağlandığı ortaya konulmuştur (Alten ve Erdin, 2006).

Arıtma amurlarının kompostlaştırılmasında havalandırma için en uygun şartların belirlenmesi üzerine yapılan diğer bir çalışmada ise, ortam sıcaklığının ortalama 55°C'de kalması sağlanarak sabit hızlı bir havalandırma ile organik maddenin parçalanması ve nem içeriğinin değişimi incelenmiştir. Sıcaklık kontrolünün sağlandığı sistemden açığa çıkan karbondioksitin sabit hızlı havalandırmaya oranla 2.5 kat ve nem içeriğindeki azalmanın da 2 kat daha fazla gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak havalandırmanın da artmış olması arıtma amurlarının nem içeriğinin daha fazla azaldığını göstermiştir (Sikora ve Sowers, 1985; Cayuela vd, 2006).

2.1.1.3. Sıcaklık

Sıcaklık, kompostlaştırma prosesinde patojen mikroorganizmaların ortamdaki uzaklaştırılması için izlenmesi gereken önemli bir parametredir. Kompostlaştırma prosesinde mezofilik ve termofilik sıcaklık fazları görölmektedir. Ayrışma en hızlı olarak termofilik fazda (40-60°C) gerçekleşmektedir. Patojen mikroorganizmanın

sayısında önemli bir azalma sağlayabilmek için kompost sıcaklığının en az 5 gün 40°C’de kalması ve bu süre içerisinde de en az 5 saat 55°C’nin üzerine çıkması gerekmektedir (EPA, 1994; Erdim, 2003).

Sıcaklığın 60°C’nin üzerine çıkması durumunda mikroorganizma türlerinde oldukça fazla bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklığın daha da artarak 70°C dolaylarında olması, 60°C’deki durum ile kıyaslandığında %10-15 civarında bir biyolojik aktivitenin gerçekleştiğini ortaya koymuştur. 75-80°C sıcaklıklarda ise hiçbir biyolojik faaliyetin gerçekleşmediği görülmüştür (Strom, 1985; Stentiford, 1987; Zorpas vd, 2003).

2.1.1.4. C/N oranı

Kompostlaştırmayı etkileyen parametreler içerisinde karbon enerji kaynağı olması ve hücre kütlelerinin %50 gibi büyük bir kısmını oluşturması, azot ise hücrelerin gelişmesini sağlayacak aminoasit, protein, nükleik asit ve enzimlerin temel bileşenleri olması açısından oldukça önemlidir (Henry vd, 1999; Schmidt, 2000).

Kompostlaştırma prosesi için optimum C/N oranı 30/1’dir. Yüksek C/N oranında ortamda yeteri kadar azot bulunmayacağından mikrobiyal parçalanma yavaşlarken, düşük C/N oranında ortamda gerektiğinden fazla olarak bulunan azot amonyak gazı şeklinde açığa çıkarak istenmeyen koku problemine yol açmaktadır (Haug, 1993; Topkaya, 2004; Turan ve Ergun, 2007; Turan, 2009).

Kompostlaştırma prosesi sonlarına doğru organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından parçalanması sırasında kullanılan karbonun yaklaşık 2/3’ünün karbondioksit olarak atmosfere verilmesi nedeniyle C/N oranı, 10/1-15/1 değerine kadar düşebilmektedir. Arta kalan karbon ise, azot ile birlikte yeni hücrelerin yapısında kullanılmakta hücrelerin ölmesiyle serbest hale geçmektedir (Bernal vd, 1996; Fahmy vd, 1999).

2.1.1.5. pH

Kompostlaştırma prosesine etki eden bir diğer faktör de pH değeridir. Kompostlaştırma prosesinde, başlangıç pH’ı kompostlanacak materyalin cinsine göre değişiklik göstermektedir. Ortam mikrobiyal aktivite ile ısınmaya başladığında, organik asitlerin oluşumu sonucu pH düşmektedir. Daha sonra, sıcaklığın yüksek değerlere ulaşması ile pH yeniden yükselmektedir. Son ürünün pH’ı genellikle 6-8 aralığındadır (Haug, 1993; Epstein, 1997; Sharma vd, 1997).

Yapılan bazı çalışmalara göre pH'ın 8.5'ten büyük olması durumunda amonyak oluşumu ile azot kayıplarının olduğu ve bitki köklerinin zarar gördüğü belirtilmektedir (Herity, 2003; Zhiyi ve Saskatchewan, 2004).

Kompostlaştırma prosesi sonucunda elde edilen kompostta istenen optimum pH değeri 6.5-7.2 olarak verilmektedir (WERL, 2000).

2.1.1.6. Partikül boyutu

Kompostlaştırma işleminde mikrobiyal faaliyetler daha çok partiküllerin yüzeyinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle partikül boyutunun büyük olması faaliyetlerin gerçekleşmesini engelleyerek, parçalanmanın yavaş olmasına neden olmaktadır (MacConnell ve Jimerson, 2003).

Partikül boyutunun küçük olması durumunda, partiküller arasındaki boşlukların su ile dolması nedeniyle oksijen difüzyonu azalmaktadır. Optimal şartlarda kompostlaştırmanın gerçekleşmesi için gerekli partikül boyutu 15-20 mm olarak belirlenmiştir. Kompostlaştırma prosesinde organik maddenin partikül boyutunun küçük olması durumunda, odun parçaları ve talaş gibi hacim arttırıcı materyaller kullanırken, partikül boyutunun büyük olması durumunda ön işlem olarak parçalayıcıdan geçirme işlemi uygulanmaktadır (Haug, 1993).

2.1.2. Kompostlaştırma sistemleri

Günümüzde kompostlaştırmayla ilgili birçok sistem yer almaktadır. Bu sistemler ortam şartlarına ve atığın temel yapısına göre açık (reaktörsüz) veya kapalı (reaktörlü) olarak çeşitli şekillerde tasarlanmaktadır (Yıldız, 2010):

- Açık kompostlaştırma sistemleri
 - a. Statik yığın kompostlaştırma sistemleri
 - b. Dinamik yığın kompostlaştırma sistemleri
- Reaktör kompostlaştırma sistemleri
 - a. Düşey akışlı reaktör kompostlaştırma sistemleri
 - b. Yatay akışlı reaktör kompostlaştırma sistemleri
 - c. Akışsız-statik reaktör kompostlaştırma sistemleri

şeklindedir (Haug, 1993).

2.1.2.1. Açık kompostlaştırma sistemleri

Açık kompostlaştırma sistemleri, geniş araziye ihtiyaç duymasının yanı sıra hava şartlarından da hassas şekilde etkilenmesi nedeniyle bazı kısıtlara sahiptir. Özellikle fazla yağış alan ve soğuk iklime sahip bölgelerde kompost yığınının ısınmasına engel olmakta ve kompostlaştırma işleminin süresini uzatmaktadır (Stentiford, 1987).

Statik ve dinamik olmak üzere iki şekilde açık kompostlaştırma sistemi bulunmaktadır. Bu sistemler için gerekli havalandırma, kompostlaştırılacak atık yığının alt üst edilerek karıştırılmasıyla doğal olarak gerçekleştirilebileceği gibi, sadece havalandırma için tasarlanmış ekipmanla mekanik olarak da gerçekleştirilebilmektedir (Rynk, 1992).

a. Statik yığın kompostlaştırma sistemleri: Statik yığın kompostlaştırma sistemlerinde, kompostlaştırılacak atık materyalleri kesikli yığınlar haline getirilmektedir. Proses boyunca bu yığınlar hiçbir şekilde karıştırılmadan doğal hava hareketiyle havalandırılmaktadır. Yığın içerisindeki aktif kompostun ısınmasıyla, sıcak hava yükselerek ortamdan uzaklaşmakta ve ortama soğuk hava girişi sağlamaktadır (Öztürk, 2010).

Büyük yapıdaki yığınların daha yoğun ve sıkışmış olması verimli bir havalandırma için sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle, kompostun küçük yığınlar şeklinde yapılması önerilmektedir. Ayrıca küçük yığınlar halindeki kompostlaştırma sistemlerinde materyalin yüksek sıcaklıklara ulaşması durumunda kütlenin kolaylıkla soğutulması gerçekleştirilebilmektedir (Öztürk, 2010).

Kompostlaştırma prosesinde sıcaklık ve zaman kontrolünün sağlanması için oksijenin %5-15 seviyelerinde kalmasını sağlayan blowerlar kullanılmaktadır (Yıldız, 2010).

Statik yığın kompostlaştırma sistemlerinin en büyük sorunu ise yığınların kontrol edilemediği durumlarda anaerobik şartların oluşması ve koku problemine neden olmasıdır (Öztürk, 2010).

Beltsville (1970), yapmış olduğu bir çalışmada yığınların üzerine nihai ürün kompostu sererek sıcaklık kaybını önlemiş ve aynı zamanda biyofiltre görevini üstlenen örtü ile koku giderimini sağlamıştır (Yıldız, 2010).

b. Dinamik yığın kompostlaştırma sistemleri: Dinamik kompostlaştırma sistemi oldukça geniş alana ihtiyaç duyan en eski ve basit kompostlaştırma sistemidir. Bu sistemde organik atıklar açık bir alana yığınlar halinde serilmekte ve belirli aralıklarla alt üst edilerek havalandırılmaktadır. Kompost içinde sıcaklık ve nem dengesini sağlamaya yardımcı olan yığın üzerinde hareket halinde bulunan aktarma ekipmanları, aynı zamanda poroziteyi de arttırarak büyük partikül boyutuna sahip organik maddelerin parçalanmasını gerçekleştirmektedir. Karıştırma işlemi, haftada bir veya iki kez yapılmaktadır. Kompost yüzeyinde bulunan bu sistem kompost yığınının boyut ve şekline göre farklılık göstermektedir (Yıldız, 2010).

Dinamik kompostlaştırma sistemlerinde yığınlar sıra halinde dizilmiş olarak genellikle 3.5-5.0 m eninde, 2.0 m yüksekliğinde yapılmaktadır. Yığınlar çoğunlukla üçgen, dikdörtgen veya ikizkenar yamuk şeklinde tasarlanmaktadır (Öztürk, 2010). Dinamik kompostlaştırma sistemlerinin yatırım ve işletme maliyeti düşüktür. Bununla birlikte geniş alana ihtiyaç duyması, açık olarak yapıldığından hava koşullarına karşı hassas olması, yüzeyinin örtülmediği durumlarda koku ve sinek sorununa yol açması sistemin kısıtlarını göstermektedir (Hong ve Park, 2005).

2.1.2.2. Reaktör kompostlaştırma sistemleri

Açık yığın şeklindeki kompostlaştırma sistemlerinden farklı olarak, kompostlaştırma kapalı olarak bir reaktör içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde, proses süresince gerçekleşen çıkış gazı toplanarak işlenebilmektedir. Açığa çıkan bu gazın nemli ve sıcak olması duvar, boru ve çatılarda korozyona yol açmaktadır (Yıldız, 2010).

Kompostlaştırma prosesinin kapalı bir reaktör içerisinde gerçekleşmiş olması olumsuz hava şartlarından etkilenmemesini sağladığı gibi çeşitli çevresel faktörlerin de doğru gözlemlenebilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca daha az alana gereksinim duyması ve prosesin süresini kısaltmasından dolayı açık kompostlaştırma sistemlerine göre daha fazla kullanılmaktadır (Haug, 1993).

Reaktör kompostlaştırma sistemleri, düşey akışlı, yatay akışlı ve akışsız-statik olmak üzere üç şekilde tasarlanmaktadır.

a. Düşey akışlı reaktör kompostlaştırma sistemleri: Düşey akışlı reaktör kompostlaştırma sistemleri çoğunlukla silindir şeklindeki kuleler ve dikdörtgen yapıdaki reaktörlerden meydana gelmektedir. Bu sistemler daha çok arıtma çamurları için kullanılmaktadır. Düşey yapıdaki bu kompostlaştırma sistemleri üst kısımdan sürekli ya da kesikli olarak beslenmektedir. Kompostlaştırma hareketinin aşağıdan yukarıya doğru olması ara bölmelerde karıştırmayı arttırmaktadır. Verimli bir şekilde prosesin sürdürülebilmesi için iyi bir havalandırma olması gerekmektedir. Ancak bazı durumlarda, reaktör içerisinde kompost yığını karıştırılamadığından koku oluşumuna neden olmaktadır (Yıldız, 2010).

Kompostlaştırma işlemi sona erdiğinde reaktör içerisindeki yığın ya açık bir alana serilmekte veya ikinci bir kompostlaştırma kulesine doldurularak olgunlaşması sağlanmaktadır. Bu şekilde gerçekleşen sistemler için alıkonma süreleri yaklaşık 14-20 gün arasındadır. Kompostun olgunlaşması için sonradan araziye serilmesi yaklaşık 3 ay, reaktör içerisine tekrar konularak olgunlaştırılması ise yaklaşık 2-3 hafta sürmektedir (Yıldız, 2010).

b. Yatay akışlı reaktör kompostlaştırma sistemleri: Yatay akışlı olarak tasarlanan reaktör sistemleri daha çok tarımsal atıklar, kentsel atıklar ve kanalizasyon atıkları için kullanılmaktadır. Bu sistemler döner katı yataklı, statik ve dinamik katı yataklı olarak yapılmaktadır.

Döner reaktör sistemlerinde, reaktörün giriş ve çıkış uçlarına materyaller yerleştirilerek kompostlaştırma prosesi gerçekleştirilmektedir. Tambur şeklinde olan bu sistemler daha çok kullanılmaktadır.

Yatay akışlı-statik katı yataklı reaktör kompostlaştırma sistemleri, genellikle arıtma çamuru ve hayvansal atıklar için kullanılmaktadır. Sistem piston akışlı olup boru veya dikdörtgen kesitli tünel şeklinde tasarlanmaktadır. Bu reaktörlerin hacmi 10-500 m³ aralığında değişmektedir. Kentsel katı atıklar, bahçe atıkları, endüstriyel ve kentsel atıksu arıtma çamurları gibi birçok atık için kullanılmaktadır. Genellikle bu sistemler dairesel ve dikdörtgen şeklindedir. Mekanik olarak gerçekleştirilen havalandırma sistemi prosesin işletiminde kolaylık sağlamaktadır. Sistemin üzerinin kapalı olması koku problemine yol açmayacağından bina içlerine de kurulabilirliğine olanak sağlamaktadır.

c. Akışsız-statik reaktör kompostlaştırma sistemleri: Akışsız reaktör sistemleri, tünel, kutu veya biyokonteyner olmak üzere değişik şekillerde tasarlanmaktadır. Bu sistemlerde CO₂ çıkış gazı daima kontrol altında tutulmaktadır. Kompostlaştırılacak materyal sistem içerisinde yaklaşık olarak 7-14 gün boyunca kalmaktadır. 14 gün sonra sistemden elde edilen kompost açık alanda 10 hafta boyunca olgunlaşmaya bırakılmaktadır (Haug, 1993).

2.1.3. Yasal mevzuat

Türkiye’de atık yönetimiyle ilgili alınacak kararlar T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yönetmelikleri ve AB Direktifleri ile uyumlu olmalıdır. Bu kararların esas alınacağı yönetmelikler Atık Yönetimi Yönetmeliği (AYY, 2015), Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (KAAY, 2006), Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (TKKY, 2005) ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (AAKY, 2007); AB Direktifleri ise başlıca Düzenli Depolama Direktifi (AB, 1999) ve Ambalaj Atıkları Direktifi (AB, 1994)’dir (Öztürk vd, 2005).

Avrupa Birliği, hazırlamakta olduğu yeni direktifte, organik atıkların düzenli depolama sahalarında uzaklaştırılmasını yasaklamaktadır. AB Düzenli Depolama Direktifinin amacı, emisyonlardan havaya, toprağa, yüzey sularına, yeraltı sularına ve insan sağlığına olumsuz etkilere neden olan düzenli depolama bertaraf yönteminin yarattığı olumsuz etkileri önlemek veya minimize etmektir. AB direktifinin hedefleri arasında düzenli depolama alanlarının yer seçimi, tasarımı, geçirimsizliği, işletilmesi, denetlenmesi ve rehabilitasyonu yer almaktadır (Öztürk vd, 2005).

Kompostlaştırma tesisinde oluşan kompostun yasa ve yönetmelikteki kriterleri sağlayacak şekilde piyasaya sürülmesi ve uygulanması gerekmektedir. Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nin 14. maddesine göre kompostun toprakta kullanılması için, piyasaya sürülecek kompostta aranan birtakım şartlar yer almaktadır. Bu şartlar;

- C/N oranının 35’ten daha büyük olması halinde kompost reaksiyonunun optimum şartlarda gerçekleşmesi için reaktörde kompostta azot beslemesinin yapılması,
- Kompostun, organik madde içeriğinin kuru maddenin en az % 35’i oranında olması,
- Piyasaya sürülen kompostun su içeriğinin oranının % 50’yi geçmemesi,

- Piyasaya sürülen kompost içinde cam, cüruf, metal, plastik, lastik, deri gibi seçilebilir maddelerin toplam ağırlığının % 2'sini geçmemesi,
- Toprak ve kompost numunelerinin usulüne ve tekniğine uygun olarak alınması ve tüm kütleyi temsil edici olmasıdır (TKKY, 2005).

Kentsel Atıksu Arıtım Yönetmeliği'nin amacı, kentsel atıksuların toplanarak arıtılmasını ve çevreyi olumsuz etkileyecek durumlara karşı gerekli önlemler alınmasını sağlamaktır.

Mevcut koşulların yetersiz olması durumunda yönetmelikte belirtilen hükümler doğrultusunda atıksuların ikincil arıtılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Endüstriyel atıksuların, kanalizasyona bağlı olarak ortama deşarj edilebilmesi için kanalizasyon bağlantı izni olması gerekmektedir. Ayrıca fosseptik ve arıtma çamurlarının alıcı su ortamlarına bırakılması yönetmelik uyarınca yasaktır. Ancak bu yönetmelik hükümleri yerine getirildiği takdirde arıtma çamurlarının toprakta kullanılması için Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ndeki standartların da sağlanması gerekmektedir.

Çevrenin atıksu ve arıtma çamurlarından oluşacak her türlü olumsuz etkilerinden korunması için alıcı ortamların izlenmesi gerekmektedir. Bu atıkların bertarafıyla ilgili düzenli olarak raporlar hazırlanıp kamuoyuna duyurulmalıdır.

Atıksular ve arıtma çamurları için yapılması planlanan arıtma tesisleri, yerleşim yerine uzaklığı, coğrafik ve topoğrafik özelliği, büyüklüğü, ekonomik ve teknik özelliklerine göre yapılmaktadır. Bu şartlar göz önüne alınarak yapılan arıtma tesislerine girecek yük, yıl boyunca maksimum olacak şekilde ele alınarak belirlenmektedir (KAAY, 2006).

Belirli bir amaca ulaşmayı hedefleyen teknik, teknolojik ve yönetim biçimlerinin seçilip uygulanmasına entegre katı atık yönetimi denir. Etkili ve verimli bir katı atık yönetimi için atığın oluşumu, biriktirilmesi, toplanması, taşınması, ayrılması, işlenmesi, geri kazanımı ve nihai bertarafı bir bütün olarak ele alınmalı ve atık yönetimi planlı olarak gerçekleştirilmelidir (Tchobanoglous vd, 1993).

Entegre katı atık yönetimi (EKAY)'nin en genel haliyle öncelik sırası atık önleme, atık azaltma, yeniden kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım ve bertarafıdır (Arıkan vd, 1997). Entegre katı atık yönetiminde ilk hedef atığın oluşumunu

önlemektir. Bunun mümkün olamayacağı durumlarda atık azaltımı sağlanmalıdır. En son olarak ise uygun teknolojiler kullanılarak atıklar bertaraf edilmelidir.

Geri kazanım ve yeniden kullanılım açısından atıklar ele alındığında kompostlaştırma bu amaca en uygun bertaraf yöntemleri arasında yer almaktadır. Kompostlaştırma işlemi sonunda elde edilen ürün çeşitli alanlarda kullanılabilir. Organik içerikli katı atıkların gelişmekte olan ülkelerde daha fazla oranda bulunuyor olması kompostlaştırmada maksimum fayda sağlanabileceğini göstermektedir (Öztürk, 2017).

Organik atıkların hem geri kazanımını, hem bertarafını sağladığı ve hem de düzenli depolama alanına gidecek olan atık miktarını azalttığı için kompostlaştırma prosesine gösterilen ilgi giderek artmaktadır (Sesay vd, 1998). Özellikle arıtma çamurlarının kompostlaştırılması, stabil çamurun tarımsal olarak değerlendirilmesine olanak sağlamakta; çamur hacim ve kütlesini azaltmaktadır (Doublet vd, 2011).

2.1.4. Kompostun kullanım alanları

Kompostlaştırma prosesi sonucunda elde edilen olgun kompost, toprak iyileştirme materyali olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kirlilik önleme, kirlilik remediasyon ve düşük maliyet sağlamak gibi yararları da vardır. EPA (1997), tarafından verilen kullanım alanları, kısa başlıklar halinde şu şekilde tanımlanmıştır:

Toprak zenginleştirme;

- Fakir toprakları rejenere etmek amacıyla organik madde ve humus sağlama,
- Bitki hastalıkları ve haşere sorununun kontrol edilmesine yardımcı olma,
- Killi ve kumlu toprakları da, suyun tutulmasını ve toprağın nütrient içeriğini arttırma,
- Kimyasal gübrelerle doğal toprak mikroorganizmaların azalmasından sonra toprak yapısını restore etme,
- Gübre ihtiyacını azaltma veya giderme,
- Özel toprak, su ve hava problemleri ile mücadele etme,

şeklinde sıralanabilir.

Kirlilik remediasyonu;

- Uçucu organik bileşikler parçalayabilmek ve kokuları absorblama,
- Ağır metalleri tutmak ve onların bitkiler tarafından absorblanmasını veya su kaynaklarına ulaşmasını engelleme,
- Kirlenmiş topraklardaki klorlu ve klorlu olmayan hidrokarbonları, pestisitleri, petrol ürünlerini ve ahşap koruyucularını parçalama ve bazı durumlarda tamamen yok etme,

olarak sıralanabilir.

Kirlilik önleme;

- Düzenli depolamadaki sızıntı suyu oluşumunu ve metan üretimini engelleme,
- Şiddetli yağışlarda, su kaynaklarına kirletici ulaşması önleme,
- Erozyonu ve dere, göl ve nehirlerle şiddetli yağış ile kum ve çamur gelmesini önleme,
- Yol kenarları, yamaçlar, golf gibi oyun sahalarında çim kaybını önleme,

şeklindedir.

Ekonomik yararları;

- Su, gübre ve pestisitler için duyulan ihtiyacı azaltarak önemli ölçüde tasarruf sağlama,
- Pazarlanabilir bir ürün oluşturma,
- Standart düzenli depolama örtüsüne ve suni toprak ıslah materyallerine alternatif olarak daha düşük maliyet gerektirme,
- Atık akımı içerisindeki organik atıkların kompostlaştırılması ile kentsel katı atık depolarının ömrü uzatma,
- Klasik biyoremediasyon tekniklerine alternatif olarak daha düşük maliyet sağlama,

şeklinde verilmektedir.

2.2. Arıtma Çamuru

Arıtma çamuru, evsel ve endüstriyel atıksuların, fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemleri sonucunda ortaya çıkan, suyu alınmış, kurutulmuş çamur olarak tanımlanmaktadır (EKAÇTKY, 2010).

Atıksuların arıtılmasıyla büyük hacimlerde çamur oluşumunun yanı sıra, çamurun işlenmesi ve bertarafı da mühendislik açısından oldukça karmaşık sorunlardan birisini oluşturmaktadır.

Son zamanlarda arıtma çamurlarının bertarafı için kullanılan yöntemler arasında araziye uygulama yer almaktadır. Arıtma çamurlarının yapısındaki organik madde, toprak iyileştirmede önemli rol oynarken içerdiği yararlı elementler sayesinde de toprağın verimini arttırmaktadır. Başta EPA olmak üzere birçok ülke arıtma çamurlarının tamamen uzaklaştırılması yerine, faydalı olarak kullanılacağı yöntemleri uygulamayı hedeflemektedir. Üretilen biyokatıların arazide kullanılma oranı ABD için %33 ve AB ülkeleri için %37 olarak belirtilmektedir (Öbek vd, 2004).

Diğer yandan, arıtma çamuru yapısında bulunan ağır metaller bitkilerde zehirlilik etkisi gösterebilmektedir. Bu nedenle çamurun yapısındaki ağır metaller için sınırlamalar bulunmaktadır. AB Direktifine göre arıtma çamurlarının toprağa uygulanmasındaki limit değerler Çizelge 2.1’de yer almaktadır.

Çizelge 2.1 Arıtma çamuru direktifi limit değerler

Parametre	Uygulanacak Topraktaki Limit Değerler (mg /kg KM)	Atık Çamurdaki Limit Değerler (mg /kg KM)
Kadmiyum	1.0 - 3.0	20- 40
Bakır	50 -140	1000 - 1750
Nikel	30 -75	300 - 400
Kurşun	50 -300	750 - 1200
Çinko	150 -300	2500 - 4000
Civa	1.0 - 1.5	16 - 25
Krom	1.0 - 1.5	-

Avrupa Birliği'nde yer alan ülkeler içerisinde kişi başına çamur üretim miktarı en fazla olan ülkeler arasında Danimarka, Almanya, Finlandiya yer alırken, Yunanistan 15.4 g ile en az olan ülke olarak görülmektedir (EC, 2001).

Atıksu arıtımıyla ilgili olarak yapılan arıtma işlemleri arttıkça, arıtma çamuru miktarı da buna bağlı olarak artış göstermektedir. Evsel veya endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin akış diyagramı ve kullanılan arıtma sistemleri çamurun miktarını, karakterizasyonunu ve kirlilik konsantrasyonunu etkilemektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda kişi başına düşen arıtma çamuru miktarının yaklaşık olarak 26-90 g/kişi.gün olduğu görülmektedir (Akça, 2005).

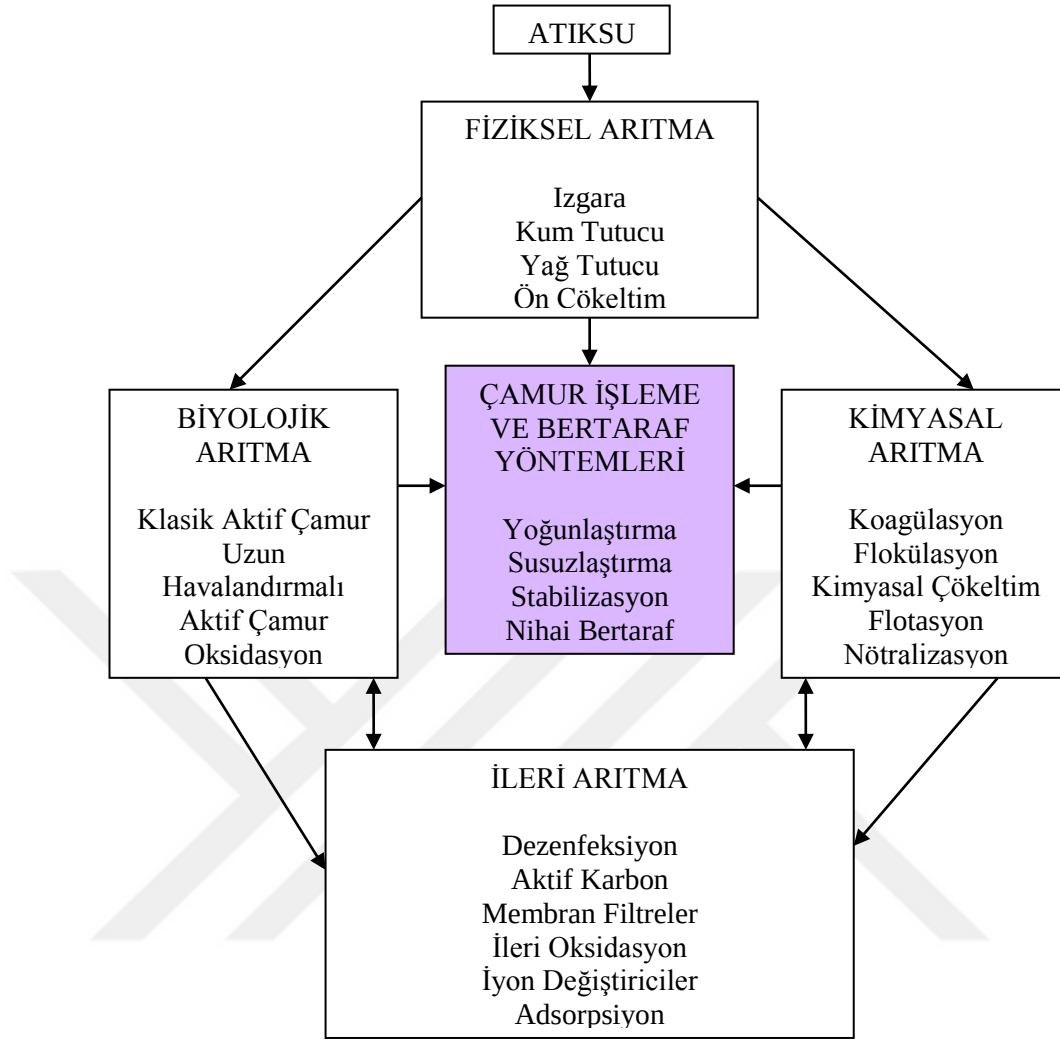
2.2.1. Arıtma amuru kaynakları

Arıtma amurları üç ana başlıkta incelenmektedir. Bunlar;

- İçme suyu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma amurları,
- Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma amurları,
- Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma amurlarıdır.

Ayrıca arıtma tipine ve amacına göre arıtma amurlarının cinsleri de farklılık göstermektedir. Bunlar; kebilen katı maddelerin oluşturduğu n keltim çamurları, kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar, ve biyolojik arıtma işlemleri sonucu oluşan biyolojik amurlardır (Yıldız vd, 2009).

Atıksu arıtımı sonucunda elde edilen çamurlar sıvı haldedir. Sıvı olarak ele alınan arıtma çamurlarını öncelikle susuzlaştırma işleminde geçirilerek %18-40 kuru madde oranına sahip çamur keki elde edilmektedir. Atıksu arıtım tesislerinde farklı kademelerde gerçekleşen arıtım şeması şekil 2.2'de gösterilmektedir (Filibeli, 1998; AATTUT, 2010).



Şekil 2.2. Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan işlemlere genel bakış

Arıtma tesislerinden elde edilen birincil çamurlar ön çökeltme havuzlarından, ikincil çamurlar ise kimyasal çöktürme, son çökeltme havuzlarından ve tesise eklenmişse çamur çürütücülerden elde edilmektedir.

2.2.1.1 Birincil çamur

Ön çökeltme havuzu arıtma tesislerinde askıda halde bulunan katı atıkların giderilmesi için yapılan bir fiziksel işlem olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem, basit ve ucuz olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ortalama %50-70 oranında askıda katı madde, %25-40 oranında da biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅) giderimi gerçekleşmektedir. Bu arıtma çamuru, birincil çamur olarak ele alınmaktadır.

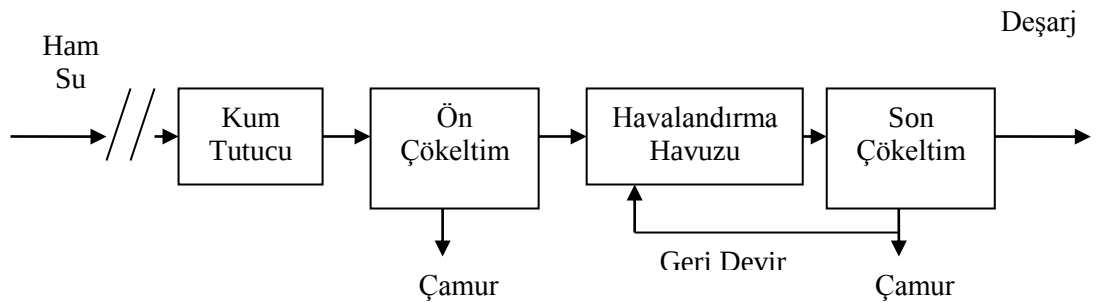
Ön çökeltme çamuru sonunda elde edilen arıtma çamuru; yapışkan, gri-siyah renkli ve oldukça rahatsız edici bir kokuya sahiptir. Ayrıca kuru madde içeriği ortalama %4'tür ve bu kuru maddenin de %70-80'i organik ve uçucu katı maddedir. Yağlar, yiyecek kalıntıları, kağıt ve deterjanlar birincil çamurdaki organik maddeleri, silisli kum ise inorganik maddeyi oluşturmaktadır (Varank vd, 2012).

2.2.2.2 Kimyasal çökeltme çamuru

Kimyasal olarak atıksuların arıtılması; koagülasyon, flokülasyon ve kimyasal çökeltim gibi işlemlerle sağlanmaktadır. Ön çökeltimde çökmeyen askıda katı maddelerin, durgun şekilde farklı yöntemlerle birbirlerine temas edilerek yumaklar halinde çöktürülmesine kimyasal çöktürme denilmektedir (Duran ve Demirer, 1997). Bu işlemler sonucunda elde edilen arıtma çamurları, atıksuyun özelliğine ve kullanılan kimyasal maddelere bağlı olarak farklılık göstermektedir (Filibeli, 1996; Filibeli, 1998).

2.2.2.3 İkincil çamur

Çözünebilir nitelikteki organik maddelerin oksidasyonu amacıyla sıkça kullanılan biyolojik arıtma işlemi aktif çamurdur. Aktif çamur havuzları; havalandırma ve çökeltim havuzlarından meydana gelmektedir. Klasik aktif çamur ünitesinin bulunduğu arıtma tesisinin akım şeması Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Aktif çamur ünitesinin yer aldığı atıksu arıtma tesisi akım şeması

Birincil çamurla kıyaslandığında, yoğunlaştırma ve susuzlaştırma işlemi daha zor olmaktadır. İkincil çamurlar flok şeklinde ve kahverengidir. Rengin koyu olması septik durumun olduğunun, açık olması ise çamurun iyi kalitede olmadığını göstergesidir. Eğer çamur toprak kokusuna sahipse, iyi çamur olarak nitelendirilmektedir (Varank vd, 2012).

Atıksuların arıtılması sonucunda elde edilen çamurların stabilize edilmesi ve içindeki patojenlerin azaltılarak hacminin azaltılmasıyla çürütülmüş çamurlar oluşmaktadır. Bu çamurlar, hem oksijenli hem de oksijensiz olarak çürütülmektedir. Oksijenli olarak çürütülen çamurlar; koyu kahverengi, küf gibi kokan, kurutma yataklarında kolayca susuzlaştırılabilen çamurlardır. Oksijensiz olarak çürütülen arıtma çamurları ise; koyu siyah renkte olup içerisinde fazlaca gaz içermektedir. Ayrıca tam çürütüldüğü takdirde kötü kokuya sahip değildir (Varank vd, 2012).

2.2.2. Arıtma çamurlarının sınıflandırılması

2.2.2.1. Kentsel arıtma çamurları

Kentsel arıtma çamurları, kentsel atıksuların arıtımı sonucunda oluşan, yaklaşık %97-99 oranında su içeriğine sahip, bünyelerinde önemli ölçüde azot, fosfor, potasyum, iz elementler ve organik madde bulunduran çamurlardır (Zorpas vd, 1999).

İçeriğindeki organik ve mineral tuzlardan dolayı kentsel arıtma çamurlarının, erozyonu önleme ve bitkiler için zengin besi maddesi sağlama gibi faydaları bulunmaktadır. Bunun yanında, direkt olarak araziye uygulandığı takdirde koku, patojen mikroorganizmanın oluşumu yüzeysel ve yeraltı sularının kirlenmesi gibi sorunlara da neden olmaktadır. Arıtma çamurlarının içeriğinde bulunan su; doğal veya mekanik yöntemler kullanılarak azaltılıp stabilizasyon işleminden geçirildikten sonra tarım arazisinde kullanılabilir. Bu nedenle kompostlaştırma en çok tercih edilen yöntemdir. Kompostlaştırılmış kentsel arıtma çamurları; park, bahçe, golf sahaları vb. alanlarda yüzey toprağını iyileştirmek amacıyla kullanılabilir (Tchobanoglous vd, 1993; O'Brien vd, 2003).

2.2.2.2. Endüstriyel arıtma çamurları

Endüstriyel atıksu arıtımı sonucunda oluşan arıtma çamurlarıdır. Çeşitli endüstrilerden kaynaklanan arıtma çamurlarının direkt arazide bertaraf edilmesi çevresel açıdan çok ciddi sorunlara neden olmaktadır. Bu tür atıklar özel olarak çeşitli işlemlere tabi tutularak tehlike oluşturan unsurların seviyesi azaltıldıktan sonra araziye serilerek bertaraf edilmektedir (LaGrega vd, 1994).

Kompostlaştırma günümüzde, daha çok gıda işleme endüstrilerinin arıtma çamurlarına uygulanmaktadır. Bunların dışında organik madde üreten tekstil, kağıt-karton, farmasetik ve petrol gibi endüstrilerin arıtma çamurlarına da kompostlaştırma uygulamalarına yönelik araştırmalar sürdürülmektedir (Haug, 1993; Evanylo ve Daniels, 1999).

2.2.3 Arıtma çamurlarının özellikleri

Uygulanan arıtım aşamalarına göre, elde edilen arıtma çamurlarının özellikleri değişmektedir. Arıtma çamurlarının özelliklerinin, çamurların bertaraf yöntemi için detaylı olarak analiz edilmesi gerekmektedir. Elde edilen analiz sonuçları, çamurun organik madde içeriği, kimyasal özellikleri, çökelebilmek, su verme gibi fiziksel özellikleri hakkında bilgi vermelidir (Scott ve Smith, 1995; Varank vd, 2012).

2.2.3.1 Özgül ağırlık

Birim hacimdeki çamur ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranına özgül ağırlık denir. Birçok arıtma çamuru örneği için özgül ağırlık yaklaşık olarak 1.0 g/mL'dir. Diğer bir deyişle, çamurun ağırlığı suyun ağırlığına çok yakındır. 1 L çamur 1010 g geliyorsa, özgül ağırlığı;

$Sç = 1010 \text{ g} / 1000 \text{ mL} = 1.01 \text{ g/mL}$ şeklinde hesaplanabilmektedir (Filibeli, 1996; Filibeli, 1998).

2.2.3.2 Çamur katı madde içeriği

Çamurun katı madde içeriği, verilen standart yöntemlere göre belirli oranda alınan numunenin 105°C'de etüvde buharlaştırılması sonucunda oluşan ağırlık kaybından hesaplanmaktadır. Birimi mg/L'dir (APHA, 1995). Çamurun katı madde içeriği arıtımın gerçekleştiği kademeye göre farklı olmaktadır. Örneğin; ön çökeltim havuzundaki çamurun katı madde içeriği genellikle %3-5 iken, son çökeltim havuzunda %0.5-2 graviteli yoğunlaştırıcı çıkışındaki yoğun çamurda ise %5-10'dur (Filibeli, 1998).

Çamurun çeşitli kademelerdeki özgül ağırlık ve kuru madde miktarı gibi fiziksel özellikleri Çizelge 2.2'de ve çeşitli arıtma işlemlerinde beklenen çamur katı madde konsantrasyonları Çizelge 2.3'de gösterilmektedir (Metcalf & Eddy, 1991).

Çizelge 2.2. Arıtma çamurlarının fiziksel özellikleri

Arıtma prosesleri	Çamur katısının özgül ağırlığı	Çamurun özgül ağırlığı	Kuru madde, kg/10 ³ m ³	
			Aralık	Tipik Değer
Birincil çamur	1.4	1.02	108-167	151
Aktif çamur ^a	1.25	1.005	72-96	84
Damlatmalı filtre humusu ^a	1.45	1.025	60-96	72
Uzun havalandırılmalı sistem ^a	1.3	1.015	84-120	96 ^d
Havalandırılmalı lagün ^a	1.3	1.01	84-120	96 ^d
Filtrasyon tesisi	1.2	1.005	12-24	18
Alg giderimi	1.2	1.005	12-24	18
Ön çöktürme ^b (fosfor giderimi için)	-	-	-	-
Düşük dozda kireç (350-500 mg/L)	1.9	1.04	241-398	301
Yüksek dozda kireç (800-1600 mg/L)	2.2	1.05	602-1325	795
Askıdaki aktif çamur ile Denitrifikasyon	1.2	1.005	12-30	18
Kaba kum filtreler	1.28	1.02	-	- ^e

^a Atık çamur, ^b Fosfor giderimi için kimyasal ilavesi, ^c İhmal edilebilir, ^d Ön arıtma yok, ^e Biyolojik arıtmadan gelen çamuru da içerir

Çizelge 2.3. Farklı arıtma işlemlerinde beklenen çamur katı madde konsantrasyonları

Arıtma İşlemleri	Çamur kuru madde konsantrasyonu, % kuru madde	
	Aralık	Tipik Değer
<i>Ön çökeltim tankı</i>		
Ön çökeltim çamuru (ÖÇÇ)	4-10	5
Siklona gönderilen ön çökeltim çamuru	0.5-3	1.5
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	3-8	4
Ön çökeltim ve damlatmalı filtre humusu	4-10	5
P giderimi için demir ilaveli ÖÇÇ	0.5-3.0	2
P giderimi için kireç (düşük doz) ilaveli ÖÇÇ	2-8	4
P giderimi için kireç (yüksek doz) ilaveli ÖÇÇ	4-16	10
Köpük	3-10	5
<i>Son çökeltim tankı</i>		
Aktif çamur		
Ön çökeltim havuzu olan	0.5-1.5	0.8
Ön çökeltim havuzu olmayan	0.8-2.5	1.3
Saf oksijenli aktif çamur		
Ön çökeltim havuzu olan	1.3-3	2
Ön çökeltim havuzu olmayan	1.4-4	2.5
Damlatmalı filtre humusu	1-3	1.5
Döner biyodisk sistemi	1-3	1.5
<i>Graviteli yoğunlaştırıcı</i>		
Sadece ön çökeltim çamuru	5-10	8
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	2-8	4
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	4-9	5

Çizelge 2.3. Farklı arıtma işlemlerinde beklenen çamur katı madde konsantrasyonları (devam)

<i>Flotasyonlu yoğunlaştırma</i>		
Sadece aktif çamur		
Kimyasal madde ilavesi ile	4-6	5
Kimyasal madde ilavesi olmadan	3-5	4
<i>Santrifüj yoğunlaştırıcı</i>		
Sadece atık aktif çamur	4-8	5
<i>Bantlı yoğunlaştırıcı</i>		
Kimyasal madde ilavesi ile sadece atık aktif çamur	3-6	5
<i>Havasız çürütücü</i>		
Sadece ön çökeltim çamuru	5-10	7
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	2.5-7	3.5
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	3-8	4
<i>Havalı çürütücü</i>		
Sadece ön çökeltim çamuru	2.5-7	3.5
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	2.5-7	3.5
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	1.5-4	2.5
Sadece atık aktif çamur	0.8-2.5	1.5

2.2.3.3 Çamur hacim indeksi

Bir gram katı maddenin 30 dakikada çökmesi sonucunda kapladığı hacmin mL/g olarak tanımlanmasına çamur hacim indeksi denir. Çamur hacim indeksi, tesisin işletilmesinde kullanılan çamurun çökebilme özelliğinin belirlenmesinde kullanılan basit ve ucuz bir yöntemdir. 100 birim'den büyük olması durumunda çamur çok zor çökmektedir. Bu nedenle iyi çökebilen çamur için çamur hacim indeksinin 100 birim'den küçük olması gerekmektedir. Seyreltik halde bulunan çamurlar, konsantre haldeki çamurlara göre daha hızlı çökmektedir.

2.2.3.4. Çamurdaki suyun dağılımı

Çamur içerisindeki suyun dağılımı dört ana başlıkta toplanmıştır. Bunlar (Filibeli, 1996; Filibeli, 1998):

Serbest su: Çamur partiküllerine bağlı olmayan ve graviteli çökelme ile kolaylıkla ayrılabilen sudur.

Flok suyu: Çamur flokları içinde hapsedilmiş su olup, yumakla birlikte hareket eder. Mekanik su alma işlemleri ile giderilebilir.

Kapiler su: Partiküllerin üzerinde bağlı halde bulunur ve bu partiküllerin sıkıştırılarak deformasyonları sonucu uzaklaştırılabilir.

Kimyasal bağlı su: Partiküller içinde kimyasal olarak bağlanmış sudur.

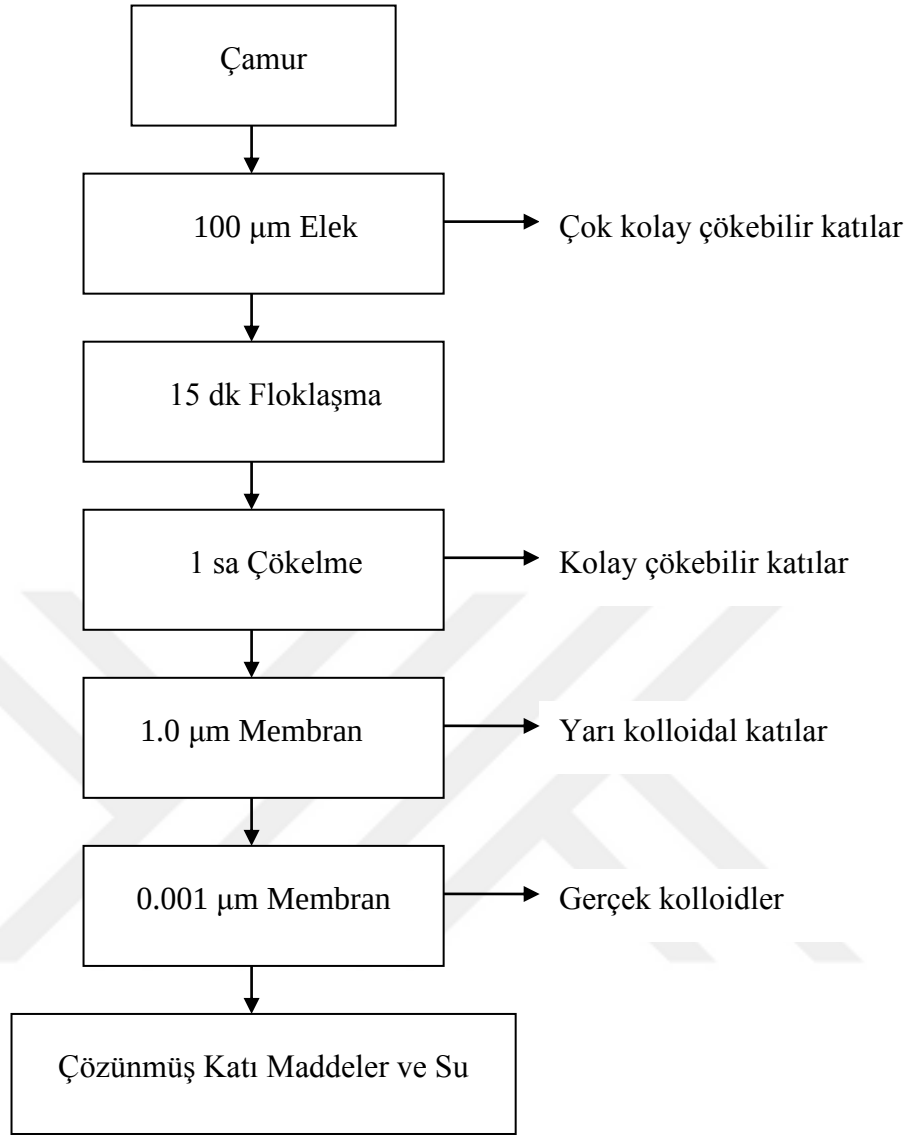
2.2.3.5. Çamurun akışkanlık özelliği

Çamurun akışkanlığının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir diğer parametre akışkanın kayma gerilmesine karşı gösterdiği direnç olan viskozitedir.

Arıtma çamurlarının akışkanlık özellikleri çamur işleme proseslerinin tasarımında, çamurların yoğunlaştırılmasında, aerobik ve anaerobik olarak çürütülmesinde, taşınması ya da tarımsal amaçlı kullanılmasında, depolanmasında ve bertarafında hem tasarım hem de kontrol için sıkça kullanılmaktadır.

2.2.3.6 Çamur partikül boyut dağılımı

Çamur içerisindeki partiküllerin boyutuna göre çamurun özelliğinin belirlenmesi zordur. Partikül boyutu zamanla ve test koşullarına göre de farklılık göstermektedir. Çamurları daha kolay karakterize edebilmek için hacimsel agrega konsantrasyonunun, hacimsel katı madde konsantrasyonuna oranı ile elde edilen agrega hacim indeksi kullanılmaktadır. Flok olarak adlandırılan agregaların su içeriği oldukça fazladır ve bu durumda çökelme esnasında partikül hareket halinde olmaktadır. Partikül boyutunun su alma işlemleri üzerindeki etkisini göstermek için farklı çamur numuneleri kullanılarak gerçekleştirilen işlem Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Partikül boyutunun su alma işlemleri üzerindeki etkisi

2.2.3.7 Çamur partiküllerinin elektriksel yükleri

Partiküller üzerindeki elektriksel yük, kolloidal haldeki katı maddelerin tanımlanması ve kontrolü amacıyla kullanılan “zeta potansiyeli” ile ifade edilmektedir ve birimi mV olarak ölçülmektedir. Zeta potansiyeli değeri, endüstriyel çamurlar için -80 mV’un üzerinde iken kentsel arıtma çamurlarında -10 ile 20 mV arasındadır (Filibeli, 1996).

2.2.3.8 Çamurun ısı değeri

Çamurun ısı değeri, çamurun tipine ve içerdiği uçucu katı madde miktarına bağlıdır. Arıtma çamurunun içerisinde yağ ve gres olması durumunda çamur ısı değeri çok yüksek olmaktadır. Bu durumda çürümüş halde bulunan çamurun ısı değeri, ham

çamura göre daha düşüktür. Yaklaşık olarak aktif çamurun ısı değeri 5000 cal/g, anaerobik çürümüş çamurun ise 2750 cal/g'dır (Filibeli, 1996).

Çeşitli çamurlara ait çamur ısı değerleri Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Çeşitli çamurlara ait ısı değerleri

Çamur Tipi	Isıl Değer, kJ / kg kuru madde	
	Aralık	Tipik Değer
Ham ön çökeltim çamuru	23250-29000	25550
Aktif çamur	16270-23250	20900
Anaerobik çürümüş çamur	9300-13950	11620
Kimyasal madde ilave edilmiş ön çökeltim çamuru	13950-18600	11620
Biyolojik filtre çamuru	16270-23250	19750

2.2.3.9. Çamurun gübre değeri

Geçmiş yıllarda, ürün verimini arttırmak için hayvan gübresi ve insan atıkları kullanılmıştır. Yaşam şartları ve teknolojinin de gelişmesine bağlı olarak ürün verimini arttırmak için sentetik gübreler kullanılmaktadır. Kullanılan birçok gübre suda kolay çözünebilen azot, fosfor ve potasyum içermektedir. Bu maddeler, bitki yaşamının sürdürülmesi için şarttır. Suni gübre ile beslenen bitkiler daha kısa sürede gelişmekte ve protein kalitesini düşürerek hastalık sorunlarının ortaya çıkmasına zemin oluşturmaktadır. Çamurun gübre olarak kullanılması için azot, fosfor ve potasyum içeriğine bakılmalıdır (Filibeli, 1998).

Çamuru gübre olarak kullanmak için uygulanacak işlemlerin maliyetinin, ticari gübrelerin maliyetinden fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Arıtma çamurlarının toprak verimi üzerindeki etkisi toprağın cinsine, çamurun kompozisyonuna, iklime, çamur uygulama oranlarına ve kullanılan işletme tekniğine bağlı olarak değişmektedir (Külling vd, 2001).

2.2.3.10. Çamurun biyolojik özellikleri

Organizmaların sınıflandırılması ve patojen organizmaların varlığı arıtma çamurların biyolojik olarak en önemli kısımlarını oluşturmaktadır.

Çamur kütlelerinin çok farklı kaynakları olması ve her bir kaynaktan gelen besin ile değişik mikroorganizmaların da meydana gelmesi patojen mikroorganizmanın üremesini kaçınılmaz kılmaktadır.

2.2.3.11. Çamurun ağır metal içeriği

Gerek kentsel gerekse endüstriyel arıtma çamurlarının birbirinden farklı ağır metal içerikleri bulunmaktadır. Özellikle arıtma çamurları tarımsal amaçlı kullanılacaksa Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik hükümlerinde yer alan ağır metal içeriklerini sağlaması gerekmektedir. Arıtma çamurlarında izin verilen ağır metal konsantrasyonları Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda izin verilen ağır metal içerikleri

Ağır Metal (Toplam)	Sınır Değerler (mg kg ⁻¹ kuru madde)
Kurşun	750
Kadmiyum	10
Krom	1000
Bakır	1000
Nikel	300
Çinko	2500
Civa	10

Ağır metal içeriği, sınır değerlerden fazla olduğu durumda ağır metal giderimi için ekstraksiyon ve fiziksel ayırma yöntemi kullanılmaktadır. Ekstraksiyon, ağır metallerin düşük pH değerinde (katı-sıvı ayırma) çözünmesini sağlayarak katı fazın sıvı fazdan ayrılması olarak tanımlanmaktadır. Fiziksel ayırma işlemlerinde ise, ağır metallerin yoğun olarak bulunduğu katı kısmın fiziksel işlemler ile uzaklaştırılması sağlanmaktadır (Filibeli, 1998).

2.2.4. Arıtma çamurları bertaraf yöntemleri

Arıtma çamurlarının katı madde içeriğinin çok az olması, büyük hacim kaplaması, içerisinde patojen mikroorganizmaların bulunması, kötü koku oluşturmaları gibi dezavantajları nedeniyle bertaraf edilmeden önce mutlaka arıtılması önerilmektedir.

Arıtma tesisi, bünyesinde oluşacak arıtma çamurunun arıtılması için gerekli şartları göz önünde bulundurularak projelendirmelidir. Arıtma çamurunun bertarafı için kurulacak tesisin maliyeti de dikkate alınmalıdır. Bu maliyetler, yıllık yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve son ürünün tekrar kullanımına bağlı olarak oluşan maliyettir.

Avrupa Birliği atık politikasına göre yönetim öncelik sırası atıkların minimizasyonu, geri kazanım, enerjinin tekrar kazanılarak yakılması ve düzenli depolanması şeklindedir (Yıldız vd, 2009).

2.2.4.1. Arazide kullanma

Arıtma çamurlarının yapısında yer alan azot ve fosfor gibi elementler sayesinde organik maddeler toprağı iyileştirmekte ve tarım alanlarında kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Ancak tarım alanına verilecek olan arıtma çamuru, ürünün ihtiyacı olan azot ve fosfor miktarını geçmeyecek şekilde olmalıdır (Kocaer vd, 2003).

Arıtma çamurları, ekonomik olmasından dolayı düzenli depolama ile bertaraf edilmektedir. Bununla birlikte yasal kısıtlamalarının olması, yeraltı suyunun kirletilme riski, bitkilerde toksik etki oluşturmaları ve koku problemi yaratması gibi dezavantajları da bulunmaktadır (EC, 2008).

Arıtma çamurlarının tarım alanında kullanılması yönünde bazı Avrupa ülkeleri ve ABD'nin yasal kısıtları bulunmaktadır. Danimarka, İsveç, İsviçre, Hollanda ve ABD toprağı verilmesi gereken arıtma çamuru miktarıyla ilgili yasal kriterler belirleyerek bu miktarları sınırlandırmıştır. Çamur içinde yer alan kuru madde miktarının belirlenmesinde Norveç, Finlandiya, Almanya, İrlanda, İtalya ve İspanya bazı sınırlamalar getirmiştir. Fransa ve İngiltere de arıtma çamuru içerisinde bulunan ağır metal oranına ait sınırlandırmalar getiren ülkeler arasında yer almaktadır (R&R, 2010; AÇKD, 2010).

2.2.4.2. Düzenli depolama

Arıtma çamurları kolay ve ekonomik bir bertaraf yöntemi olması nedeniyle pek çok ülkede düzenli depolama yöntemiyle bertaraf edilmektedir. Ancak düzenli depolamada kullanılacak arıtma çamurunun doğal ya da mekanik yöntemler kullanılarak susuzlaştırılması gerekmektedir. Ülkemizde Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik gereğince arıtma çamurunun depolanabilmesi için arıtma çamurunun kuru madde içeriğinin en az %50 olması bunun yanında, kötü kokunun giderilip atığın kararlı hale getirilmesi önerilmektedir (ADDDY, 2010).

Kullanılacak çamurun arazide depolanması için katı madde içeriğinin %15 veya daha fazla olması gerekmektedir. Eğer çamur içerisindeki katı madde içeriği %15'ten düşük ve tek seçenek düzenli depolama ise katı atıklarla birlikte depolanmasına izin verilmektedir. Arıtma çamurlarının düzenli depolamada kullanılması için aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır.

- Sadece çamurun depolandığı hendekler (dar ya da geniş hendekler)
- Sadece çamurun depolandığı alanlar (yığın depolama, tabakalı depolama)
- Katı atıkla birlikte depolama (çamur/çöp karışımı, çamur/toprak karışımı)

Örtü toprağı olarak kullanılması ve diğer sistemlere göre daha uygun maliyet içermesi avantaj olarak sayılabilirken, alan yetersizliği ve yasal zorunlulukların getirdiğı kısıtlamalar dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca sadece arıtma çamurlarının yer aldığı deponilerde depolanması ise oldukça pahalı olabilmektedir.

2.2.4.3. Yakma

Avrupa'da arıtma çamurlarının toplam kütlelerinin yaklaşık %15'i yakılmaktadır. Bu yöntem arıtma çamurlarının tek başına ya da diğer atıklarla birlikte yakılmasına olanak sağlamaktadır. Diğer bertaraf yöntemlerine getirilen yasal kısıtlamaların bazı durumlarda çok zor sağlanması nedeniyle yakma sistemleri yatırım maliyetine rağmen son zamanlarda daha fazla tercih edilmektedir.

Akışkan yataklı yakma sistemleri işletiminin kolay olması açısından daha çok kullanılmaktadır. Akışkan yataklı sistem, içi ısı tuğlası ile kaplanmış dikey bir yakma odasına sahiptir. Yatağın alt kısmında yüksek sıcaklıkta bir kum tabakası bulunmaktadır. Bu kum tabakası içinden yüksek sıcaklıkta hava geçirilerek akışkan halde tutulması sağlanmaktadır. Arıtma çamurları bu kum yatağının içine veya

üzerine bırakılmaktadır. Akışkan yatak içindeki gaz, yanma ürünlerinin tam olarak parçalanması için 850°C'ye sahip olmalıdır. Arıtma çamurlarının tamamen yakılması için enerjiye ihtiyaç vardır. Çünkü arıtma çamurlarının tek başına mekanik olarak yakılması olanaksızdır. Ayrıca ısı geri kazanım ünitesi de kullanılarak açığa çıkan sıcak gazlar ile ısı enerjisinin geri kazanılması sağlanmalıdır.

Yakma yönteminin, büyük ölçüde hacim azalması sağlanması, açığa çıkan enerjiden faydalanılması, tüm arıtma çamurları için kullanılabilir olması, yüksek sıcaklıkta ve kapalı olarak yapılarak koku problemine neden olmaması gibi avantajları bulunmaktadır. Baca gazı emisyonlarının kontrol altına alınmasında yaşanan sorunlar, yatırım ve işletim maliyetinin yüksek olması ise dezavantajları arasında sayılmaktadır.

2.2.4.4. Termal kurutma

Kurutma, çamura ısı işlem uygulanarak içerisinde bulunan suyun buharlaştırılması işlemi olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemle çamur içindeki kuru madde oranı yükseltilerek yüksek sıcaklıkta patojenlerin etkisiz hale gelmesi sağlanmaktadır. Arıtma çamurunun stabilizasyon ve dezenfeksiyon koşullarının gerçekleştirilmesi nedeniyle kurutma ileri arıtım yöntemleri arasında yer almaktadır.

EPA'ya göre, patojen ve taşıyıcı giderim standartlarını sağlayan sistemler arıtma metodu olarak ele alınmaktadır. Kurutma işlemi ile çamur içerisindeki su oranı %10 ve daha altına düşürülebilmektedir. Susuzlaştırılan çamur keki, bünyesinde patojen bulundurması ve çürüme eğiliminde olması açısından önem taşımaktadır.

Kurutma işlemine maruz kalan susuzlaştırılmış çamur içerisindeki suyun buharlaştırılmasıyla hacim ve ağırlık azaltılarak nakliye işlemi kolaylaştırılmakta ve maliyet azaltılmaktadır. Ayrıca çamurun kalorifik değeri yükseltilerek yakılması kolaylaştırılmaktadır. Elde edilen kurutulmuş çamurun dolgu malzemesi, toprak iyileştirici ve yakıt olarak kullanılıyor olması ekonomik açıdan önemlidir. Diğer yandan, kurutma işlemi sonucunda oluşan çamur hem hijyeniktir hem de kolay depolanabilmektedir. Bu nedenle, son zamanlarda yaygın olarak kullanılan arıtım yöntemlerinin ilk sıralarında yer almaktadır (Varank vd, 2012).

2.2.4.5 Çürütme

Çürütme, arıtma çamurlarındaki patojenlerin yok edilmesi, kokunun giderilmesi ve çamur hacminin azaltılmasında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem hem aerobik hem de anaerobik ortamlarda gerçekleştirilmektedir. Çürütme işlemi sonunda geniş çaplı bir biyolojik arıtım gerçekleşmiş olmasına rağmen, çamur hacminin yeteri kadar azalmadığı görülmektedir. Arıtım sonrası çamurun hacminin yine fazla olması, susuzlaştırmaya duyulan ihtiyacı arttırmaktadır. Çürütmenin yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesi, gerekli ısı enerjisinin karşılanması açısından yatırım ve işletim maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi ise çamur bekleme süresini uzatacağından daha büyük kapasiteye sahip tanklar gerektirecek ve dolaylı olarak ilk yatırım ve işletme maliyetini arttıracaktır (Varank vd, 2012).

Havasız Ortamda (Anaerobik) Çürütme: Yaklaşık olarak 35°C’de ısıtılmış tanklarda çamur hacminin azaltılması, stabilizasyonu ve kısmen dezenfeksiyonu için havasız ortamda çürütülme işlemi gerçekleştirilmektedir. Çamurun stabilize edilmesinde kullanılan en eski yöntemler arasında yer almakta ve günümüzde de halen kullanılmaktadır. Ayrıca enerjinin korunması ve kazanılmasına da olanak sağlamaktadır (Öztürk, 2008).

Arıtma çamurunun anaerobik ortamda bulunması, mikrobiyolojik faaliyetlerde çamur içindeki organik maddenin metan, karbondioksit, su, amonyak, hidrojen sülfür ve hidrojene dönüşmesini sağlamaktadır. Anaerobik ortamda gerçekleşen çürütmenin önemli bir faydası da biyogaz eldesidir. Elde edilen biyogazın yaklaşık olarak %65-85’i metan ve %15-35’i karbondioksit karışımından meydana gelmektedir. Yüksek kalorifik değere sahip metan gazı, tesis için enerji kaynağı oluşturmaktadır. Üretilen enerji, çamur çürütücülerin ısıtılmasında ve reaktörün karıştırılmasında kullanılmaktadır. Ayrıca ham çamurdan katı maddenin %25-50 dolaylarında giderilmesini sağlaması bertaraf maliyetini azaltmaktadır (Öztürk, 2008; Vesilind ve Spinosa, 2001).

Havalı Ortamda (Aerobik) Çürütme: Ön çökeltim tanklarında çökelen veya ikincil arıtım sonucunda oluşan çamurların ileri arıtılması için havalı ortamda çürütme işlemi yapılmaktadır. Bu sistemler üstü açık şekilde reaktör içerisindeki çamurun havalandırılarak biyolojik parçalanması olarak ifade edilmektedir. Biyolojik

parçalanmayla yeni hücresele materyaller oluşmakta ve bunlardan bazıları da oksidasyona uğramaktadır (Öztürk, 2008; Vesilind ve Spinoso, 2001).

Aerobik ortamda gerçekleşen çürütme sistemlerinin asıl amacı; biyolojik olarak stabil bir ürün oluşturmak ve hacmin azalmasını sağlamaktır. Bu sistemler anaerobik ortamda gerçekleşen çürütme sistemlerine göre toksik madde ve besleme durumlarına karşı daha toleranslıdır. 45°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşerek termofilik aerobik sistemlerin bekleme sürelerini azaltmaktadır. Ayrıca, kesikli veya sürekli reaktörler şeklinde gerçekleştirilmektedir (Varank vd, 2012).

İşletmesinin daha kolay olması, yatırım maliyetinin daha düşük olması, besi maddesi içeriği açısından zengin çamurların arıtımı için uygulanması ve ekonomik değeri yüksek, kokusuz, humus benzeri bir malzeme elde edilmesi havalı ortamdaki çürütmenin avantajlarını oluşturmaktadır. Diğer yandan sıcaklık, tank yapısı, kullanılan malzeme türünden fazlaca etkilenme ve havalandırma maliyeti nedeniyle bazı dezavantajlara sahiptir (Öztürk, 2008; Tchobanoglous vd, 2003).

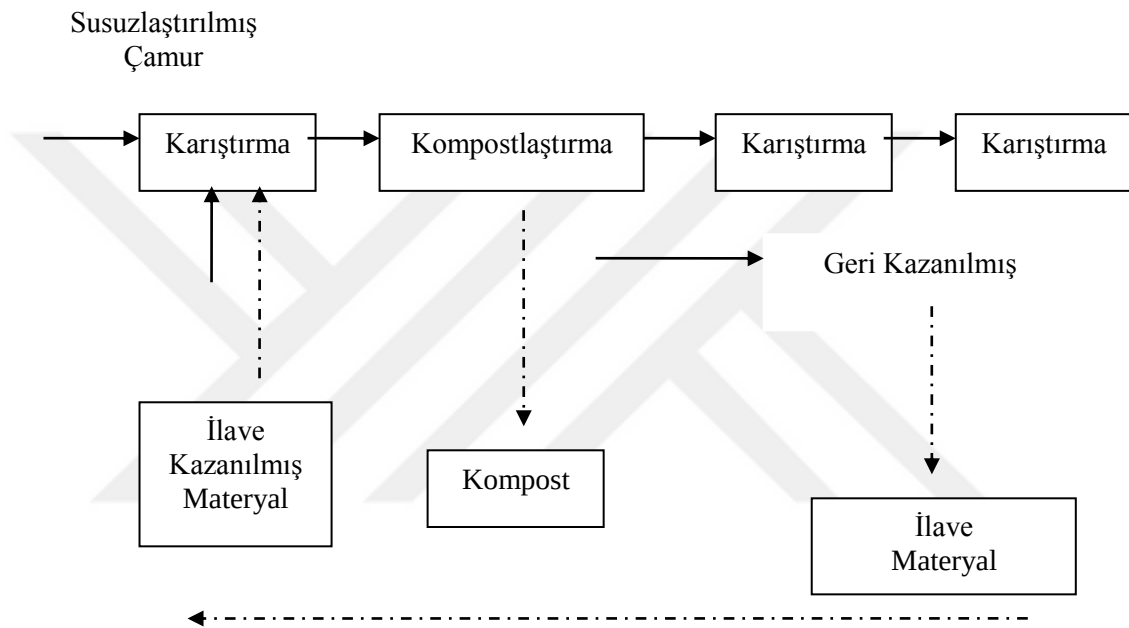
2.2.4.6. Kompostlaştırma

Arıtma çamurlarının kompostlaştırılması, kentsel katı atıklarla veya su içeriğini azaltan saman, yaprak, ağaç kabuğu gibi materyallerle karıştırılarak gerçekleştirilebilmektedir. Amerika'da 18. yüzyıldan beri kompostlaştırma sistemi kullanılmaktadır. Havalandırılmalı olarak gerçekleşen kompostlaştırma ile organik maddelerin ayrışması hızlanmakta ve içeriğindeki patojenlerin yok olması için gereken sıcaklığa kolaylıkla ulaşması sağlanmaktadır (Sanchez-Arias vd, 2008; Varank vd, 2012).

Arıtma çamurları iyi çürütülmüş olsalar bile, doğrudan tarım arazilerinde tarımsal faaliyetler için kullanılmamalıdır. Çünkü çürüten arıtma çamurları içerisinde patojenler ve çeşitli kimyasal toksinlerde yer alabilmektedir (Ecolable, 2001; Aydın, 2004).

Kompostlaştırma prosesinde arıtma çamuru özelliklerinin göz önünde bulundurulması şartıyla uygun materyal ile karıştırılarak porozitesi arttırılmakta, optimum C/N oranı, nem içeriği sağlanmakta ve etkin olarak havalandırılması gerçekleştirilmektedir. İlave edilen materyaller çoğunlukla saman, kağıt, çalı parçası gibi malzemeler olmaktadır. Parçaların boyutları havalandırılmalı yığınlar için 12.5-50 mm arası, diğer kompost sistemlerinde 6-12 mm arasındadır (WEF, 1995b).

Arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasındaki amaç kirletici risklerinin kontrol altına alınarak son ürün olarak değerlendirilmesini sağlamaktır. Bu uygulama yapılırken çamurun su içeriğinde potansiyel bir azalma da gerçekleşmektedir. Kompostlaştırmayla çamurun tüm çeşitleri işlenebilmektedir. Ancak ham çamurların kompostlaştırılması, işlenmiş çamurun kompostlaştırılmasına göre daha fazla koku ortaya çıkarmaktadır. Bunun yanında, ham çamur daha hızlı ısınarak daha iyi kurumaktadır (Jackson vd, 2000).



Şekil 2.5. Arıtma çamurlarının kompostlaştırma prosesi

Kompostlaştırma esnasında mikroorganizmalar çamurun organik kısmını ve ilave metaryalleri parçalamaktadır. Aerobik parçalanmanın son ürünü genellikle su, CO₂, biyokütle (mikroorganizmalar) ve stabil komposttur. Parçalanma süresince açığa çıkan enerjinin bir kısmı ısıya dönüşerek kompostun sıcaklığını 50-60°C'ye çıkarmaktadır. Bu sıcaklık artışı patojenlerin azalması için gereklidir (Poincelot, 1975).

Kompostlaştırmanın, diğer arıtma çamuru işleme yöntemlerine göre avantajları aşağıda özetlenmektedir:

- Tarım arazilerine serilmek üzere taşınacak malzemelerin hacimlerinde azalma olur,

- Üretimden uzak olan yerlerde daha kolay depolama olanakları elde edilir,
- Ürünün daha az su içermesi nedeni ile araziye serilmesi daha kolay olur,
- Kompostun özellikleri kontrol edilir. Böylece toprağın humus ve besleyici madde seviyesi yönünden iyileştirilmesini sağlayan nihai ürün kompozisyonu tanımlanmış olur,
- Ürün standardında belirlenen ve uygulamada tanımlanan besin maddesi kontrolü yapılır,
- Zirai uygulamadan önce ürünün hijyenliği sağlanır.

Arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasındaki kısıtlar ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- İşleme maliyeti, arıtma çamurunun ham olarak serilmesine göre daha fazladır,
- Havalandırma enerji sarfiyatına neden olur,
- Kompostun nihai ürün olarak kullanılması için bir ihtiyacın olması gerekir. Halen kompost ile rekabet edecek ürünler mevcuttur.

Ülkemizde oluşan arıtma çamurlarının miktarı ve bertaraf yöntemi konusunda istatistiksel bir çalışma bulunmamaktadır. Yıllık evsel arıtma çamuru miktarının 1.38 milyon ton/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Oluşan arıtma çamurlarının büyük bir kısmı katı atık depolama sahalarında ya da arazide depolanmak sureti ile bertaraf edilmektedir. 1980’li yılların ikinci yarısından itibaren İller Bankası tarafından yapımı gerçekleştirilen atıksu arıtma tesislerinden oluşan arıtma çamurları genellikle çamur kurutma yataklarında %80-90 kuru madde içerecek şekilde kurutulduktan sonra, yöre çiftçileri tarafından toprak iyileştirici olarak kullanılmaktadır. Ege bölgesindeki Manisa, Akhisar, ve Alaşehir atıksu arıtma tesisleri bu duruma örnek olarak gösterilebilmektedir.

Türkiye’de son yıllarda endüstriyel tesislerin Organize Sanayi Bölgeleri’nde kurulması, kentsel atıksu içerisindeki endüstriyel atık su miktarlarını azaltmaktadır. Bunun bir sonucu olarak da ülkemizdeki kentsel atıksu arıtma tesisi çamurlarındaki ağır metal konsantrasyonları düşük kalmaktadır. Ülkemizde arıtma çamurları ile ilgili düzenlemeler Atık Yönetimi Yönetmeliği (AYY) ve Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde (TKKY) yer almaktadır.

2.3. Deneysel Tasarım

2.3.1. Cevap yüzey yöntemleri

Cevap yüzey yöntemi (CYY); proseslerin geliştirilmesi ve optimize edilmesinde, hem endüstriyel hem de bilimsel çalışmalarda mühendislik prosesleri ile ilgili problemlerin çözülmesinde, araştırmacılar tarafından sıkça kullanılan matematiksel ve istatistiksel verileri birlikte değerlendiren bir algoritmaya sahip deneysel tasarım yöntemidir. Ayrıca çok seviyeli faktörlere sahip bir sistemin optimum seviyelerinin belirlenmesinde, yeni ürünlerin tasarımı, geliştirilmesi ve formüle edilmesi, var olan ürünlerin ise iyileştirilmesi gibi amaçlar için de kullanılmaktadır (Carley vd, 2004; Myers ve Montgomery, 1995).

CYY, bir prosesin gelecekteki sonuçlarını tahmin ederek; ilk olarak uygun bir yaklaşım fonksiyonu elde etmekte ve bağımsız durumda bulunan değişkenler arasında en iyi yaklaşımda bulunan optimum değerinin belirli bir işletme koşulundaki en uygun çalışma alanını saptanmaktadır (El-Gohary vd, 2002; Kalaycı, 2006).

Carley (2004)'e göre CYY, “çok seviyeli faktörlere sahip bir sistemde optimum faktör seviyelerinin belirlenmesinde kullanılan bir deney tasarım tekniği” şeklinde tanımlanmaktadır.

Cevap yüzey yöntemleri üç aşamada gerçekleşmektedir. Eleme olarak tanımlanan birinci aşamada, minimum sayıda deneysel analiz ile daha etkin deneyler yapılması sağlanmaktadır. İkinci aşama bölge araştırmasıdır. Burada amaç elenerek belirlenen bağımsız değişkenlerden elde edilen sonuçların optimum şartları sağlayıp sağlamadığını ortaya çıkarmaktır. Son aşamanın gerçekleşmesi için sistemde olması gereken optimum şartı gösteren noktaya yakın olması gerekmektedir. Gerçek yanıt fonksiyonunun optimum nokta etrafında oluşturduğu eğrilik için varsayımların ortaya konulmasında, genellikle ikinci dereceden çok terimli modeller veya üstel ifadeli modeller kullanılmaktadır. En uygun modelin ortaya çıkmasıyla, optimum şartlar sağlanmış olmaktadır (Dutta vd, 2011; Koç ve Ertekin, 2012).

Yöntem uygulanarak elde edilen bir model ile proses değişkenlerini ve deneysel verileri sembolize eden matematiksel bir yaklaşım oluşturulmaktadır. Ele alınması düşünülen deneyler tasarlanırken yanıtın ölçülmesini sağlayacak şekilde

verilerin toplanması göz önünde bulundurulmalıdır. Deneysel tasarımlar birinci ve ikinci derece model tasarımları kullanılarak yapılabilmektedir. Veriler toplanarak optimum şartları sağlayacak model elde edilmektedir. Optimum nokta, belirlenen alanın dışında ise, bu durumda kanonik analiz veya sırt (ridge) adı verilen analiz, belirlenen alanın içerisinde ise kanonik analiz kullanılabilmektedir (Kasapoğlu, 2007; Sahu vd, 2009).

Cevap yüzey yöntemi; prosesi etkileyen parametreler arasında etkileşim olup olmadığını, varsa hangi etkileşimin daha baskın olduğunu, prosesin hangi optimizasyon parametresine daha duyarlı olduğunu belirleyebilen ve bu avantajlarından dolayı da sıklıkla her alanda (gıdadan, ayırma proseslerine, uçak dizaynına kadar hemen hemen her proseste) kullanılabilen bir istatistiksel yöntemdir. En önemli avantajlarından biri de belirlenen optimum koşulların endüstriye uygulanabilirliğinin olmaması durumunda, endüstride bu koşullara en yakın durumun uygulanması sonucunda elde edilecek proses verimini ek deneyler yaparak doğrulanmasına gerek kalmaksızın gösterebilmesidir (Karacan vd, 2007; Türkyılmaz, 2011).

Cevap yüzey yöntemleri (CYY) kullanarak yapılan çalışmaların avantajları (KHAJEH, 2009; Singh vd, 2011):

- Daha az sayıda deney yapılarak sonuç üzerinde etken görülen değişkenlerin optimum durumunun belirlenmesinde kolaylık sağlaması,
- Bağımsız değişkenlerin etkilerinin birlikte incelenmesine olanak sağlaması,
- Bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişkinin matematiksel bir model ile ifade edilmesi

olarak sıralanabilir.

Cevap yüzey yöntemleri (CYY)'nin dezavantajı ise,

- Biyokimyasal süreçlere benzer doğrusal olmayan sistemler için elde edilen modellerde başarısız olması,
- Çan eğrisi veya hiperbolik şeklindeki simetrik olmayan fonksiyonların polinomlar ile model oluşturamamasıdır.

Cevap yüzey yöntemlerinin en yaygın olarak kullanıldığı alanlar; farklı girdi değişkenlerinin performans ölçümü veya ürün ve proseslerin kalite karakteristiklerinin etkilendiği durumları cevap olarak tanımladığı alanlardır. Birçok uygulamada elde edilen cevaplar birden fazla olabilmektedir. Bağımsız değişkenler bazı durumlarda girdi değişkeni olarak da kullanılabilir, ancak analizler gibi bunların değişimi de uzman kontrolünde gerçekleştirmektedir. Ayrıca bu yöntemin biyoteknoloji alanında yapılan çalışmalarda ekstraktif metalurji konularını içeren çalışmalara göre daha çok kullanıldığı görülmektedir (Myers ve Montgomery, 1995).

Cevap yüzey yöntemi, bir cevabın birçok değişkenle değiştiği ve amacın bu cevabı optimize etmek olduğu herhangi bir problemin analiz ve modellenmesinde kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Örneğin; bir prosesin verimi sıcaklık ve basınç ile değişiyorsa cevap yüzey yönteminde verim bu bağımsız değişkenlerin bir fonksiyonu olarak yazılıp, optimizasyon üretilen bu bağıntı üzerinden gerçekleştirilir.

$$\text{Proses verimi (y)} = f [\text{sıcaklık (x}_1\text{) ve basınç (x}_2\text{) }] \quad (3.1)$$

$$E(y) = \eta = f(x_1, x_2) + \varepsilon \quad (3.2)$$



Cevap Bağımsız
Yüzeyi Değişken

ε : Sayılmayan deneysel hatalar

Cevap yüzey yöntemi iki basamaktan oluşmaktadır. Çoğu zamanlarda bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklayan fonksiyon bilinmemektedir. Sistemin açıklanabilmesi için genellikle birinci ya da ikinci dereceden eşitlikler kullanılmaktadır.

Birinci basamakta cevabın değişkenlere bağlı fonksiyonu, birinci dereceden bir polinom ile ifade edilir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \dots\dots\dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (3.3)$$

Belirlenen şartlarda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen cevaplar en küçük kareler yöntemi ile bir polinoma uygulanır. Bu sayede optimuma en yakın bölge tespit edilir ve bu bölgeye yakın noktalar göz önünde bulundurularak cevabın değişkenlere bağlı fonksiyonu için ikinci dereceden bir polinom oluşturulur. Bu polinomun doğruluğu istatistiksel analizlerle test edildikten sonra bilgisayar yazılım programı kullanılarak cevap yüzeyi ve kontur grafikleri çizilir.

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \sum \sum \beta_{ij} X_{ij} + \beta_k X_k + \epsilon \quad (3.4)$$

$\beta_0, \beta_j, \beta_{jj}$ ve β_{ij} : Regresyon katsayısı, x_j ve x_i : Bağımsız değişkenler

Cevap yüzey yöntemi çalışmalarında genellikle ikinci dereceden modellemeler tercih edilmektedir. Bunun nedeni;

- Sonsuz kareler hesabının kolay yapılıyor olması,
- Gerçek cevap yüzey problemlerinin çözümünde başarıyla uygulanabilmesidir.

İkinci dereceden elde edilen eşitlikler matris notasyonu ile açıklanmakta ve bu notasyon da en küçük kareler yöntemiyle çözüme ulaşmaktadır. Bu yöntemde oluşan hataların rastgele olduğu, sıfıra eşit olduğu ve birbirlerinden farklı olduğu düşünülerek yapılmaktadır. Gözlemlenen ve hesaplanan cevaplar arasındaki fark aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmekte ve hata olarak adlandırılmaktadır.

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \quad (3.5)$$

Eşitlikte hataların kareleri toplamını (HKT) en aza indirmek için β_i değeri seçilerek aşağıdaki eşitlik meydana getirilir.

$$HKT = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.6)$$

Bu durumda hata terimi,

$$e = y - x \beta \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilmekte ve HKT aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$HKT = e^T e = (y - x \beta)^T (y - x \beta) \quad (3.8)$$

Eşitliğin β 'ya göre türevi alındığında, kısmi türevlerin bir vektörü elde edilir ve eşitlik aşağıdaki şekilde oluşur:

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \text{HKT} = -2x^T (y - x\beta) \quad (3.9)$$

Bu türev sıfıra eşitlenerek $x\beta = y$ ifadesi şekline dönüşmektedir. Bu denklem aşağıdaki eşitlik ile çözülerek regresyon katsayılarını bulmak için kullanılmaktadır (Myers ve Montgomery, 1995).

$$x^T x \beta = x^T y \quad (3.10)$$

$$\beta = (x^T x)^{-1} x^T y = C x^T y \quad (3.11)$$

Kare matrisi olarak ifade edilen C matrisi aşağıda formülde gösterilmektedir.

$$C = (x^T x)^{-1} \quad (3.12)$$

Deneysel cevapların birbirleriyle uyumluluk durumunu kontrol etmek için hesaplanan regresyon katsayıları ile karşılaştırılmaktadır. Diğer bir deyişle, oluşturulan modellemenin doğruluğunun tespit edilmesinde ilişki katsayısı (R^2) ve mutlak ortalama sapma (MOS) değerleri göz önüne alınır. Bu değerler arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikler ile tanımlanmaktadır (Baş, 2005).

$$R^2 = 1 - \frac{\text{HKT}}{\text{TH}} \quad (3.13)$$

$$\text{MOS} = \left\{ \left[\sum_{i=1}^n (y_{i,d} - y_{i,h})^2 / y_{i,d} \right] / P \right\} \times 100 \quad (3.14)$$

HKT: Model tarafından hesaplanan değerleri ile deneysel değerler arasındaki hataların kareleri toplamı, TH: toplam hatayı, $y_{i,d}$: deneysel cevaplar, $y_{i,h}$: hesaplanan cevaplar, P: deneysel nokta sayısı ifade etmektedir.

Modelin doğru olup olmadığını anlamak için R^2 değerinin 1.0'e, MOS değerinin ise mümkün olduğunca 0'a yakın olması gerekmektedir. Anlamlı ya da anlamsız birçok değişkene sahip olan model R^2 değerini arttırmış olsa da bu değer yüksek olması model için sistemin iyi çalıştığı anlamına gelmemektedir. Bu nedenle hem MOS, hem de R^2 'nin istenilen değerde olması sağlanmalıdır. İstenilen aralık değerinde olması interpolasyon yapılabileceğinin göstergesi olmakla birlikte, bu aralık dışındaki noktalar için tahmin yapılmaması gerekmektedir (Baş, 2005; Ravikumar vd, 2007).

Cevap yüzeyi yöntemi için bir çok özel tasarımlar üzerinde çalışılmıştır. Bu tasarımlar diklik ve dönersellik özellikleri taşıdıkları takdirde cevap yüzeyi problemlerinin çözümünde daha sağlıklı çözümler üretmektedirler. Merkezi bileşik tasarımlar ve Box-Behnken tasarımları bu alanda en çok başvurulan ve dönersellik özelliğini sağlayan önemli deney tasarım yöntemleridir (Box ve Draper, 1987; Montgomery, 2001).

Literatürde deney sayısını azaltması ve daha kullanışlı olması bakımından birçok deneysel tasarım yöntemleri yer almaktadır. Deney tasarımı yaparken amaç, çalışma için hangi uygun tasarımın olduğunu belirlemektir. Örneğin, ele alınması gereken çok fazla faktör varsa ve bu faktörlerin çalışma için etkin ya da etkisiz şeklinde bir sonuca ulaşması yeterli oluyorsa Plackett-Burman gibi birinci dereceden tasarım tercih edilmelidir. Ancak, değişken için matematiksel ifadeler elde ederek optimum koşulların ne olduğu bilinmek isteniyorsa, Box-Behnken tasarımı gibi ikinci dereceden bir tasarım kullanılmalıdır (Box ve Behnken, 1960; Plackett ve Burman, 1946).

Yaygın olarak kullanılan cevap yüzey yöntemleri; Merkezi Kompozit Tasarım, Plackett-Burman Tasarımı , Doehlert Tasarımı, D-optimal Tasarımı ve Box-Behnken Tasarımı'dır.

Cevap yüzey yöntemlerinin varyans analizi (ANOVA) regresyon ortalama karesi ile ortalama karesinin, hata oranı olan F değerinin hesaplanmasıyla yapılmaktadır. Modelin durumuna göre F oranı, varyans oranı şeklinde de kullanılabilir. F oranı belirli bir anlam derecesinde, tüm terimlerin hata teriminin içinde bulunduğu şartlar için anlamlı olarak kabul edilmektedir (Noordin vd, 2004).

Varyans analizi, ele alınan faktörlerin normal bir şekilde dağılması ve varyanslarının eşit uzaklıkta olması şartıyla gerçekleştirilmektedir. Belirlenen faktörler bağımsız değişken olarak tanımlanmaktadır. Amaç bağımsız değişken olan faktörlerin bağımlı değişkenlerdeki değişimlerinin araştırılmasıdır (Orhunbilge, 1997).

Birçok bilim dalında cevap yüzey yöntemleri başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Cevap yüzey yöntemleri iki veya daha fazla faktörün birlikte sonuç üzerindeki etkilerinin araştırılarak optimum değerleri bulmaktadır. Sonuçlar üç boyutlu grafiklerle gösterilmektedir. Daha az sayıda deneysel çalışma yapılarak gerçekte test edilmesi mümkün olmayan faktörlerin ve bunların birbirleriyle etkileşimlerinin nasıl olduğu hakkında varsayımlar yapılmasını sağlamaktadır (Walker ve Parkhurst, 1984).

2.3.2. Box-Behnken tasarımı

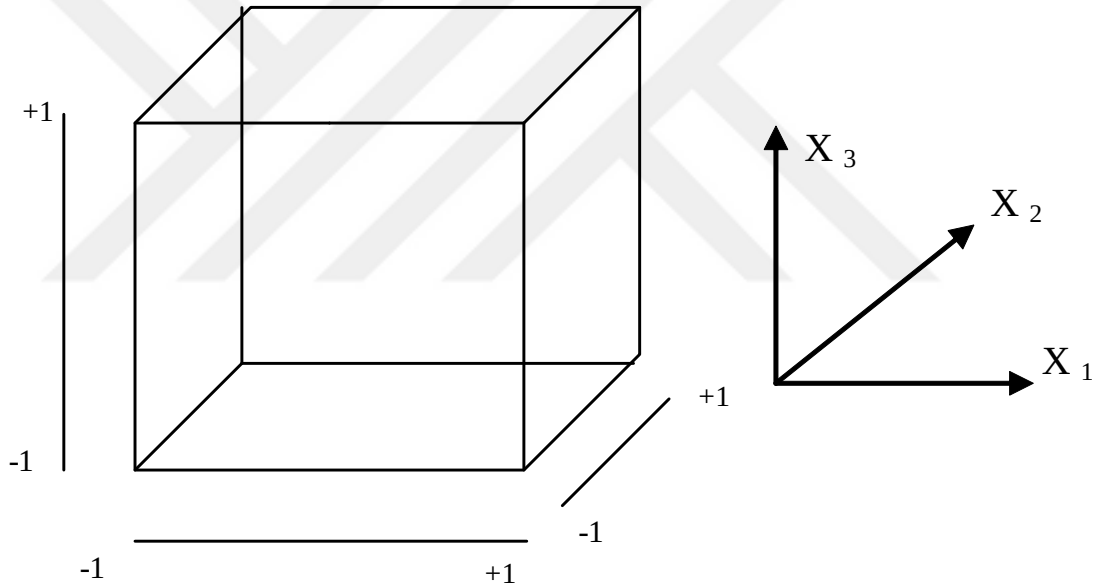
Cevap yüzey yöntemi; ilk olarak Box ve Wilson tarafından 1951 yılında tanımlanmış ve geliştirilmiştir. Bu yöntem endüstriyel proseslerin geliştirilmesine bakış açılarının tamamıyla değişmesine neden olmuştur. Box ve Wilson çalışmalarında cevap yüzey yönteminin temelini oluşturan; eleme (screening), bölge araştırma (steepest ascent), işlem veya ürünün karakterize edilmesi ve optimizasyonunu kapsayan bir seri deneme ortaya koymuştur. Cevap yüzey yöntemi; deneylerin tasarlanması, modellerin oluşturulması, faktörlerin etkilerini değerlendirmek ve istenen yanıt oluşturmak için uygun koşulların araştırılması için gerekli istatistiksel tekniklerin bir arada kullanıldığı bir yöntem olarak ifade edilmektedir (Ürküt vd, 2007).

Box-Behnken tasarımları, 1960 yılında Box ve Behnken tarafından geliştirilmiş olup bileşik tasarımlara göre daha ekonomik bir tasarım yöntemidir. Cevap değişkenlerinin optimize edilmesinde az sayıda değişkenin söz konusu olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Özellikle bir cevap değişkenini matematiksel olarak tahmin etmek ya da bir prosesi optimize etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu deneysel tasarım yöntemi, kübik modelin kenarları ve kenar orta noktalarının ele alındığı ikinci dereceden bir modeldir (Köksoy, 2001).

Box-Behnken tasarımı, bütün noktalar arasındaki uzaklıklarının $\sqrt{2}$ olduğu bir küp üzerinde Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Kübik bölge her bir değişkenin alt ve üst sınırları tarafından oluşturulmaktadır. Küpün içindeki noktalar, prosesin fiziksel kısıtlarından dolayı uygulanması imkânsız veya çok yüksek maliyetli olan faktör-seviye kombinasyonlarını gösterdiğinden dolayı avantajlı bir yöntemdir. Bu tasarım oluşturulurken bağımsız değişkenlerin belirlenen bir noktası merkez olarak seçilmektedir ve bu nokta 0 noktasını temsil etmektedir. Bu değerden eşit uzaklıkta (+5 ve -5 veya +10 ve -10 aralığı) bulunan noktalar ise +1 ve -1 değerleri ile

belirtilmektedir. Sistem döndürülebilir olması nedeniyle genellikle üç veya beş tane deney merkez noktasında gerçekleştirilmektedir. Bu deneyler merkez deneyleri olarak adlandırılmaktadır (Vittal vd, 2012).

Bu tasarımın genel işleyişi; cevap yüzey yönteminin ilk aşamasında belirlenen üç parametre için optimum bölge içerisindeki noktalardan değerlikli olanlarının merkez nokta olarak seçilmesi ve deneyi gerçekleştiren kişinin bakış açısına bağlı olarak aralıklarının belirlenmiş olmasıdır. Sonuç olarak cevap yüzey yönteminde kullanılabilecek üç faktör ve üç merkez deneyli bir Box-Behnken tasarım Çizelge 2.6'daki gibi elde edilmektedir (Zidan vd, 2007).



Şekil 2.6. Box-Behnken tasarım sınırları

Çizelge 2.6. Üç faktör için Box-Behnken tasarımı

Deney Sayısı	Faktörler		
	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	0
2	+1	-1	0
3	-1	+1	0
4	+1	+1	0
5	-1	0	-1
6	+1	0	-1
7	-1	0	+1
8	+1	0	+1
9	0	-1	-1
10	0	+1	-1
11	0	-1	+1
12	0	+1	+1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

Box-Behnken tasarımlarının avantajlarından biri küresel bir tasarım olması ve sadece üç düzeyde verilere sahip olmasıdır. Diğer bir avantajı da, tüm faktörlerin +1 veya -1 seviyesinde bulunduğu deneysel şartların bulunmaması olarak gösterilebilir (Yetilmezsoy vd, 2009). Box-Behnken tasarımları, tamamlanmamış bir blok tasarımın uygun bir şekilde iki düzeyli, çok etkenli bir tasarımla birleştirilmesi sonucunda ortaya çıkmıştır (Şehirlioğlu, 1997).

Box-Behnken tasarımında deneme noktası sayısı ;

$$N = 2k(k-1) + C_0 \quad (3.15)$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada; k: faktör sayısı, C₀ : merkez nokta sayısı'dır.

Üç faktör ve üç merkez noktalı bir deneyin, Box-Behnken tasarımına göre on beş deney ile gerçekleştirileceği formülünden hesaplanmaktadır. Faktör sayısının artması ile deney sayısı da artmaktadır. Tasarımda tüm etkenler için, alt ve üst sınırlar aynı anda hiçbir zaman yer almadığı için, uç değerlerin yaratacağı tatmin edici olmayan sonuçlar da engellenmiş olmaktadır (Ferreira vd, 2007).

Box Behnken ve merkezi bileşik tasarımları biyoloji, biyoteknoloji, kimya, kimya mühendisliği, çevre mühendisliği, gıda teknolojileri, imalat ve eczacılık alanlarında kullanılmaktadır.

Sonuç olarak, Box-Behnken tasarımları, ikinci dereceden modellerin tahmin edilmesinde, ardışık tasarımların kurulumunda, modelin güven eksikliğinin analizinde ve bloklarda kullanılan bir cevap yüzeyi tasarımıdır (Tania ve Deborah, 2002).

2.3.3. Simpleks algoritması

Bir sistemde bulunan kaynaklardan en verimli şekilde yararlanılmasını hedefleyen teknoloji optimizasyon olarak tanımlanmaktadır.

Optimizasyon, modelleme ve çözümleme şeklinde iki faktöre göre incelenmektedir. Gerçek hayatta karşılaşılan sorunların matematiksel olarak ele alınması modelleme olarak nitelendirilmektedir. Çözümleme ise bu modelleme için en uygun sonucun ortaya çıkmasını sağlamaktadır (Leontief, 1933; Leontief, 1936).

Karşılaşılan birçok problemin etkin, doğru ve gerçek zamanlı olarak çözülmesinde, karar verme süreçlerini hızlandıran optimizasyon teknolojisi kullanılmaktadır (Winston, 2003). Aynı zamanda pek çok bilimsel çalışmadaki problemlerin çözümünde, ele alınan sistem performanslarının optimum şartlarını belirlemede kullanılan optimizasyon teknolojisi bir projede kullanıldığında ön plana çıkmaktadır (Hillier ve Lieberman, 2005).

Optimizasyon modelleri içerisinde en çok kullanılan doğrusal programlama (simpleks) modelidir. Bu model, bilimsel, endüstriyel ve ekonomik problemlerin modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynakların optimal ve seçenekli dağılımının, optimal üretim bileşiminin ve minimum maliyeti veren girdi bileşiminin belirlenmesinde doğrusal programlama kullanılmaktadır.

Doğrusal programlama problemlerini çözmeye yaygınca kullanılan simpleks yöntemi ilk kez 1947 yılında G.B. Dantzig tarafından geliştirilerek ABD Hava Kuvvetlerinin planlanmasında kullanılmıştır. Daha sonra Charnes, Cooper ve diğerleri ekonomik analizler için uygulamalı çalışmalar yapmışlardır (Öztürk, 2001).

Cebirsel olarak tekrarlama (iterasyon) işlemine simplex yöntemi denilmektedir. Bu yöntemde ilk olarak başlangıç simpleks tablosu düzenlenmektedir. Daha sonra tekrarlayıcı işlemler ile belirli bir hesap yöntemi içinde gelişen çözümlere doğru ilerleyerek optimal çözüme ulaşıncaya kadar işlemler sürdürülmektedir. Çözüm tablolarının amacı, fonksiyonunun ve karar değişkenlerinin değişen değerlerinin gözlemlenmesidir.

Simpleks yönteminde en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılırken çözüm alanı içinde farklı noktalar denenmektedir. Bu deneme sırasında aynı standart hesaplamalar tekrarlanarak en iyi çözüme ulaşıncaya kadar art arda çözümler geliştirilmektedir. Bu yöntemin bir başka özelliği de, her yeni çözümün en az bir önceki çözüm kadar iyi olmasıdır. Bu özellik, en iyi çözüme yaklaşılmamasını sağlamaktadır. Belirli sayıda tekrarlanarak birçok sorunda en iyi çözüme ulaşılmaktadır. Tekrarlama özelliği ve standart hesaplama yolları nedeniyle bilgisayara uyarlanması da oldukça kolaydır (Tütek ve Gümüšoğlu, 2000).

2.3.4. Varyans analizi (ANOVA)

Varyans analizi (ANOVA), iki veya çok yönlü olarak ele alınan grupların ortalamaları arasındaki değişiklikleri açığa çıkarmak ve belirtilen değişkenler arasındaki ilişkinin anlamlı olup olmadığını analiz etmek için kullanılan bir istatistiksel modelleme türü şeklinde tanımlanmaktadır. Bu modelleme türü 1920'li ve 1930'lu yıllarda Ronald Fisher tarafından geliştirilmiştir. Örneklerde seçilen değişkenlerin ana kütlelerinin normal dağılması ve varyanslarının eşit olması koşuluyla varyans analizi (ANOVA) yapılabilir. Serbestlik derecesi, kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO) gibi niceliklerin hesaplanması için kullanılmaktadır (Orhunbilge, 1997; Montgomery, 1991).

Değişkenler, bağımlı ve bağımsız değişken şeklinde yer almaktadır. Bağımsız değişkenlere faktör adı da verilebilmektedir. Varyans analizinde (ANOVA), bağımsız olarak ifade edilen değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerinde etkisinin nasıl olduğu araştırılmaktadır. Bağımlı değişkenler devamlı olarak ölçme seviyesinde

bulunan metrik, bağımsız değişkenler ise kategorik veya gruplanmış olarak ele alınmaktadır. Burada amaç bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkinin birbirinden farklı olup olmadığını ortaya çıkarmaktır. Bağımlı ve bağımsız değişken bir tane ise tek yönlü ANOVA, bağımlı değişken bir tane ve bağımsız değişken iki tane ise iki yönlü ANOVA kullanılmaktadır. Tek yönlü ANOVA sadece bir tane bağımlı ve bir tane bağımsız değişkenin yer almasından dolayı oldukça basit şekilde analiz edilebilmektedir (Field, 2005).

Varyans analizinde (ANOVA), ele alınan gruplardaki örnek sayıları önemlidir. Gruplardaki örneklerin sayıları arasındaki farkın çok olmaması gerekmektedir. Çünkü örnekler arasındaki sayılar birbirine ne kadar yakın olursa varyans analizinden (ANOVA) elde edilen sonuçlar da o kadar sağlıklı olmaktadır. Tercihen gruplardaki örnek sayısının 10'dan fazla olması önerilmektedir. Yapılan varyans analizi (ANOVA) sonucunda ele alınan gruplar arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı değişikliklere sahip olduğu belirlenirse, çoklu karşılaştırma testleri yapılarak hangi gruplar arasında değişikliklerin gerçekleştirildiği ortaya koyulmaktadır. Toplam varyasyon bileşeni; kalite değişkenini etkileyen faktörlerden, etkileşim ve hatalardan kaynaklanan varyasyon toplamıdır. Bu toplamdaki varyans analiz sonuçları Çizelge 2.7'de gösterilmiştir (Spiers vd, 2009).

Çizelge 2.7. Varyans analizi sonuç çizelgesi

Değişim	Serbestlik	Kareler	Kareler Ortalaması	F
Kaynağı	Derecesi	Toplamı (KT)	(KO)	Hesaplama
Deneme	k-1	KT _{Deneme}	KO _{Deneme}	KO _{Deneme} /KO _{Hata}
Hata	N-k	KT _{Hata}	KO _{Hata}	
Genel	N-1	KT _{Genel}		

Varyans analizinde (ANOVA) yer alan terimler aşağıdaki şekilde elde edilmektedir.

$$KT_{Hata} = KT_{Genel} - KT_{Deneme}$$

$$KO_{Deneme} = KT_{Deneme} - sd_{Deneme}$$

$$KO_{Hata} = KT_{Hata} - sd_{Hata}$$

Standart çizelgede yer alan F değeri ile hesaplanan F değeri karşılaştırılarak elde edilen varsayımların doğru olup olmadığına bakılmaktadır. F değerinin olması gereken seviyeden daha düşük olması, ortalamalar arasında anlamlı şekilde ifade edilecek bir değişimin olmadığını ortaya koymaktadır. Aksi bir durumun olmasında ise, ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır.



3.MATERYAL VE METOT

3.1. Materyallerin Temini ve Özellikleri

3.1.1. Perlit örneklerinin temini ve özellikleri

Perlit; %90–97 cam, %3–10 kristalleşmiş feldispat ve biotit içeren asidik yapıdaki volkanik bir kayadır. Isı verildiğinde genişler ve gözenekli bir yapıya dönüşür (Turp, 2012).

Perlit farklı yapı ve renkte bulunabilmektedir. Ham olarak ele alınan perlit saydamdır ve açık gri, parlak siyah renkte bulunmaktadır. Genleşmiş perlitin rengi ise beyazdır. Perlit, hidrasyona uğrayan camsı silika yapısında olup, yaklaşık olarak %2-6 oranında bileşik durumda su içermektedir. Bileşik yapıda bulunan bu su perlitin kararlı olmasında etkindir (Sönmez, 2006).

Perlit, diğer volkanik yapıdaki camlardan farklı olarak 750-1200°C arasında ısıtıldıktan sonra yaklaşık olarak 20 kat genişleyebilmektedir. Bu şekilde gerçekleşen perlit, genişleştirilmiş perlit olarak tanımlanmaktadır. Ham ve genişleşmiş yapıdaki perlit farklı özellikler içerisinde yer almaktadır. Gözenekli yapıya sahip olan genişleştirilmiş perlit bu özelliğinden dolayı kimyasal maddelerde taşıyıcı olarak kullanılmasının yanında süzmeye yardımcı madde olarak da kullanılabilir. Ayrıca çok iyi bir ısı ve ses izolasyon malzemesidir. Genleştirilmiş perlit kimyasal malzeme olarak pasiftir ancak ateşe karşı dayanıklıdır (Sönmez, 2006).

Perlit hazırlama tesislerinde sırasıyla; ön öğütme, kurutma, öğütme, ince öğütme, eleme (sınıflandırma, boyutlama) ve depolama işlemleri yer almaktadır (Turp, 2004).

Perlit rezervleri bakımından oldukça zengin ülkeler bulunmaktadır. Bu ülkeler içerisinde ABD, Türkiye, Japonya, İtalya, Yunanistan ve Ermenistan ilk sıralarda yer almaktadır.

Çizelge 3.1 Dünya perlit rezervleri (milyon ton) (USBM, 1995)

Ülkeler, Kıtalar	Rezerv (%)
ABD	50
Diğer	5
Kuzey Amerika Toplamı	55
Türkiye	30
Yunanistan	50
Diğer	490
Avrupa Toplamı	570
Japonya	10
Filipinler	10
Diğer	30
Asya Toplamı	80
Afrika ve Okyanusya	25
Dünya Toplamı	700

Türkiyede yapılan araştırmalar sonucunda perlit rezervlerinden elde edilen perlitin yaklaşık olarak 4.5 milyar ton olduğu belirtilmektedir (İMMİB, 1999).

Çizelge 3.2. Perlit örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Bileşim	% Ağırlık
Na ₂ O	3.29
MgO	0.18
Al ₂ O ₅	11.9
SiO ₂	72.9
P ₂ O ₅	0.02
CaO	0.79
MnO	0.05
K ₂ O	4.47
F ₂ O ₃	0.53

Çalışmada kullanılan genleştirilmiş perlit örnekleri İzmir-Bergama yöresine ait olup Akper Madencilik İnşaat Sanayi Taahüt Ticaret Ltd. Şti.'den temin edilmiştir. Genleştirilmiş perlit örnekleri ED-XRF spektrofotometre ile analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Akper Madencilik İnşaat Sanayi Taahüt Ticaret Ltd. Şti.'den temin edilen perlitlerin tane boyu 0-2.5 mm olup tamamen beyazdır. Birim hacim ağırlığı 80-120 kg/m³ arasındadır. Perlitin pH değeri genel olarak nötr olmasının yanında pH 5-9 arasında değişebilmektedir. Kompostlaştırma sistemindeki örneklere standart olarak üretildikleri şekliyle eklenerek kullanılmıştır.

3.1.2. Vermikülit örneklerinin temini ve özellikleri

Vermikülit, çok iyi dilimlenme özelliği bulunan mika grubu mineralidir. Kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre çeşitli şekilde ele alınmaktadır (Grim, 1968).

Vermikülit, genleşme özellikleri bulunan bütün mika grubu minerallerini (biotit, flogopit ve hidrobiotit) içermektedir (Millot, 1970). Vermikülit su molekülleri ile mika tabakalarından ayrılmaktadır. Rengi yeşil, sarımsı kahve ve siyah olan vermikülit, Mohs sertlik ölçeğine göre 1.2-2.0 arasında değişmektedir. Özgül ağırlığı ise 2.4-2.8 g/cm³'dür (Strand, 1983).

Vermikülit çok yüksek sıcaklıklarda ani bir ısıya maruz bırakıldığında akordiyon şeklinde uzamaktadır. Bu genleşme yapısındaki kristal suyunun buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Genleşen vermikülitin yığın yoğunluğu yaklaşık olarak 10 kat azalmaktadır. Gerçekleşen bu azalma vermikülitin kalitesine ve kullanılan fırına bağlı olarak değişmektedir. Isıl işleme karuz kaldığında ise 30 kata kadar genleşebilmektedir (Strand, 1983; Loughbrough, 1991).

Genleştirilmiş vermikülit kimyasal olarak kararlı bir yapıya sahiptir. Düşük yoğunluğa sahip olmasının yanında, yüksek sıcaklığa karşı da dayanıklı bir mineraldir. Bu özelliklerine göre birçok endüstride çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Özellikle ısı ve ses yalıtımı için oldukça önemlidir (Hindman, 1994; Marcos ve Rodriguez, 2010).

Yaklaşık olarak dünyada 50 milyon ton bulunan vermikülit rezervlerinin yarısı ABD'de bulunmaktadır. Bu rezervin de büyük bir kısmı ABD'nin Montana kısmında yer almaktadır. Vermikülit rezervi açısından zengin olan diğer bir ülke, dünya rezervinin %40'lık kısmını oluşturan Afrika'dır. Afrika'nın en büyük

vermikülit yatağı güney kısmında yer alan Palabora'dır (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001).

Çizelge 3.3. Dünya vermikülit rezervleri

Ülkeler	Rezerv (%)
ABD	50
Güney Afrika	40
Diğer ülkeler	10

Ülkemizde yer alan en önemli vermikülit yatakları Malatya-Darende-Kuluncak başta olmak üzere Sivas-Yıldızeli-Karakoç, Eskişehir-Sarıcakaya ve Elazığ-Harput-Arduçluk'da yer almaktadır. Ancak bu bölgelerde yer alan vermikülitlerin genleşme oranları farklı ve az olduğundan Türkiye'de üretime yönelik çalışma yapılmamıştır. Bu durum karşısında ülkemizdeki vermikülit ticari anlamda değer kazanamamıştır (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001).

Çalışmada kullanılan genleştirilmiş vermikülit örnekleri Antalya'daki Fitar Tarım Tic. San. ve Paz. Ltd. Şti.'den temin edilmiştir. Genleştirilmiş vermikülit örneklerine deneylerden önce herhangi bir işlem uygulanmamıştır. Genleştirilmiş vermikülit örneklerinin ED-XRF spektrofotometresi ile kimyasal analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Vermikülit örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Bileşim	% Ağırlık
Al ₂ O ₃	18.45
SiO ₂	41.29
Fe ₂ O ₃	6.51
Na ₂ O	0.05
MgO	17.75
CaO	0.25
TiO ₂	1.21
MnO	0.04
K ₂ O	7.21

3.1.3. Pomza örneklerinin temini ve özellikleri

Pomza, süngerimsi yapıya sahip olan ve mağmanın bütün türleriyle (andezit, dasit, bazalt ve riyolit) oluşan hafif bir kayaç türüdür. Pomza meydana gelirken ani olarak soğuyarak içerisindeki gazların ortamdan uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bu durumda büyük ve küçük çok sayıda gözenek oluşmaktadır (Sarıiz ve Nuhoglu, 1992; İlhan vd, 1997).

Birbirinden farklı şekillerde ve yapıda gözenek içeren pomza partiküllerinde, gözeneklerin bazıları kendi içinde izole olurken, bazıları da birbirleriyle içten bağlı ve dış yüzeye doğru açılmaktadır (Gündüz vd, 1998; Wesley, 2001). Gözeneklerin bir çoğunun birbirleriyle bağlantısı yoktur. Her bir gözenek birbirlerinden camsı bir zar ile ayrılmaktadır. Bu özelliği, pomzayı iyi bir adsorbant yapmaktadır (Bardakçı ve Çiçek, 2005).

Pomza; çok ince, orta ve çok iri olarak sınıflandırılmaktadır. Özellikle çok ince yapıda olan pomza materyalinin tarım sektöründe kullanılmaması gerekmektedir. Çünkü ince yapıdaki pomza sadece su tutma kapasitesi düşük olan yerlerde su tutma kapasitesini arttırmada kullanılabilir. Orta irilikteki pomza yetiştirme ortamları için en uygun materyaldir. Çok iri yapıdaki pomzalar ise havalandırmayı arttırmak amacıyla kullanılmaktadır (Verdonck, 1984, Çevikbaş ve İlgin, 1997).

Doğada iki çeşit pomza yer almaktadır. Bunlar asidik ve bazik pomza olarak adlandırılmaktadır. Beyaz ve kirli beyaz renkte olanlar asidik yapıdaki pomza iken, kahverengi ve siyah renkte bulunanlar bazik pomzadır. Yaklaşık olarak pomzanın boşluk oranı %70'dir (Özkan ve Tuncer, 2001).

Pomza, üretiminin ucuz olmasının yanında elde edildikten sonra ek bir işleme ihtiyaç duyulmaması nedeniyle birçok alanda çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Örneğin tekstil ve kimya sanayisinde aşındırıcı ve cilalama malzemesi olarak kullanılırken, tarım sektöründe bitki köklerinin ihtiyacı olan nemi sağlamak için kullanılmaktadır (Güngör ve Tombul, 1997; Gündüz vd, 1998; Farizoglu vd, 2003). Özellikle son zamanlarda çevre kirliliğini önlemek için ele alınan araştırmalarda pomza yaygın olarak kullanılmaktadır (Bardakçı ve Çiçek, 2005).

Çalışmada kullanılan pomza örnekleri Nevşehir ilinde bulunan Soylu Endüstriyel Mineraller A.Ş.'den temin edilmiştir. Pomza örnekleri deneylerden önce saf su ile yıkanarak yabancı madde ve tozlardan arındırılmıştır. Örnekler daha sonra 70°C'de kurutulmuş ve çalışmada kullanılmıştır. Kullanılan pomza örneklerinin kimyasal analizi ED-XRF spektrofotometresi ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.5'te verilmiştir (Turan vd, 2011).

Çizelge 3.5. Pomza örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Bileşim	% Ağırlık
Na ₂ O	3.65
MgO	0.03
Al ₂ O ₃	12.27
SiO ₂	73.44
P ₂ O ₅	0.002
CaO	0.96
TiO ₂	0.10
MnO	0.06
K ₂ O	4.37
Fe ₂ O ₃	1.2
SO ₃	0.08

3.1.4. Arıtma çamuru örneklerinin temini ve özellikleri

Kompostlaştırma sisteminde kullanılan arıtma çamuru Samsun Organize Sanayi Bölgesi (OSB)'nde kurulu bulunan Atıksu Arıtma Tesisisi'nden temin edilmiştir.

Samsun Organize Sanayi Bölgesi karma yapıda bir OSB olarak 1981 yılında kurularak 1989 yılında faaliyete geçmiştir. Organize Sanayi Bölgesi içerisinde ağırlıklı olarak faaliyet gösteren sektörler; fabrikasyon metal ürünleri imalatı, metal sanayi, kauçuk ve plastik ürün imalatının yer aldığı işletmelerdir.

OSB'ler sanayinin belirli bir program içerisinde birlikte üretim yapmalarına imkan sağlayacak şekilde sanayileşme, örgütlenme ve kentleşme ilişkilerini düzenleyerek olumsuz çevre şartlarının denetlenmesine, toplu olarak yer aldıkları bu alan içerisinde kaliteli, kolay ve ucuz üretim yapmalarına olanak sağlayarak gelişen sanayi alanlarının kavuşturulmasına imkan sağlamaktadır.

OSB'lerde kurulan Atıksu Arıtma Tesisleri, sanayi tesislerinde gerçekleştirilen üretim faaliyetleri sonucunda meydana gelen endüstriyel nitelikli atıksuların ve kişisel kullanımdan kaynaklanan evsel nitelikli atıksuların arıtılması amacı için projelendirilmektedir. Farklı üretim proseslerine sahip endüstrilerden kaynaklanan atıksuların arıtılması çevre kirliliğinin önüne geçilmesi açısından oldukça önemlidir.

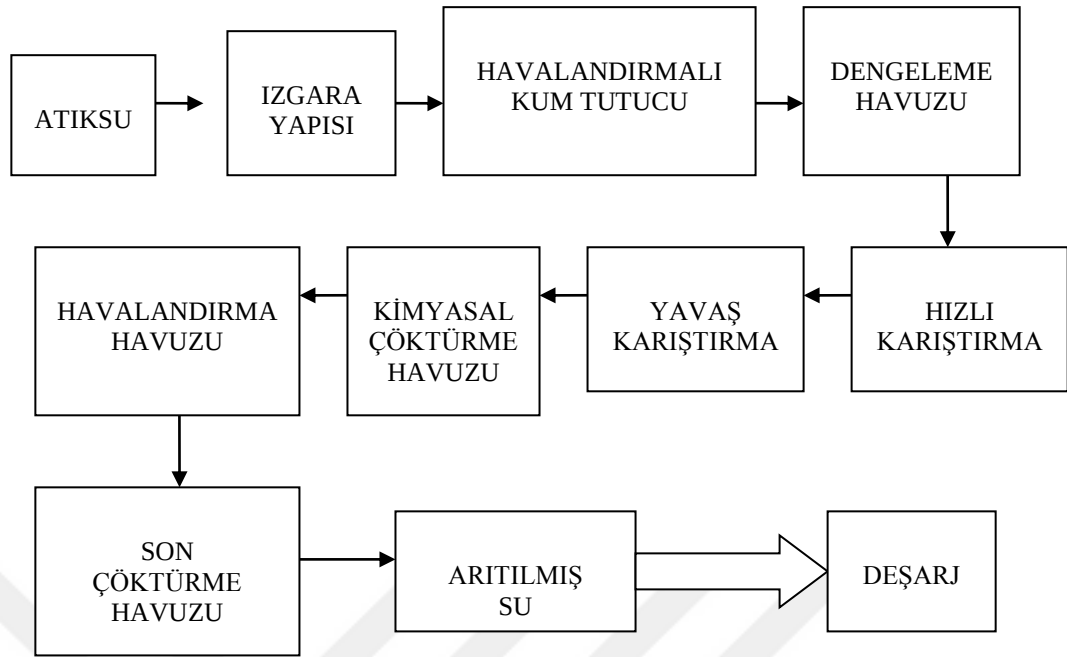
Samsun Merkez Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi de bu amaçla kurulmuş ve faaliyete geçmiştir. Kurulan atıksu arıtma tesisi içerisinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma üniteleri yer almaktadır. Tesisin kurulumu 4000 m³/gün üzerinden projelendirilmiş olup, mevcut inşaatı 2000 m³/gün'lük kısmı için gerçekleştirilmiştir. Tesisin mevcut kapasitesi 2000 m³/gün'dür. Faaliyet gösteren atıksu arıtma tesisinin iş akım şeması Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Tesis içerisindeki mevcut atıksular için yapılan analiz sonuçları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Samsun Merkez Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi analiz sonuçları (TÜRKAK)

Parametre	Birim	Analiz Sonucu	Metot Numarası	Sınır Değer		
				III.sınıf Depolama Tesisleri	II.sınıf Depolama Tesisleri	I.sınıf Depolama Tesisleri
Eluat Testi Değerleri, Sıvı/Katı Oranı (L/S) = 10 L/kg						
pH	-	8.26	TS ISO 10390	-	≥6	-
Arsenik (As ⁺⁵)	mg/L	<0.01	EPA 200.7	0.05	0.2	2.5
Baryum (Ba ⁺²)	mg/L	0.343	EPA 200.7	2	10	30
Kadmiyum (Cd ⁺²)	mg/L	<0.004	EPA 200.7	0.004	0.1	0.5
Toplam Krom (Cr ⁺⁶)	mg/L	0.275	EPA 200.7	0.05	1	7
Bakır (Cu ⁺²)	mg/L	3.152	EPA 200.7	0.2	5	10
Civa (Hg ⁺¹)	mg/L	<0.001	EPA 200.7	0.001	0.02	0.2
Molibden (Mo ⁺⁶)	mg/L	0.100	EPA 200.7	0.05	1	3
Nikel (Ni ⁺²)	mg/L	0.303	EPA 200.7	0.04	1	4
Kurşun (Pb ⁺²)	mg/L	<0.01	EPA 200.7	0.05	1	5
Antimon (Sb ⁺³)	mg/L	<0.005	EPA 200.7	0.006	0.07	0.5
Selenyum (Se ⁻²)	mg/L	0.404	EPA 200.7	0.01	0.05	0.7
Çinko (Zn ⁺²)	mg/L	0.653	EPA 200.7	0.4	5	20
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	73.25	SM 4500 Cl ⁻ B	80	1500	2500
Florür (F ⁻)	mg/L	7.16	SM 4500-F ⁻ B ve D	1	15	50
Sülfat (SO ₄ ⁻²)	mg/L	139.81	SM 4500 (SO ₄ ⁻²) E	100	2000	5000
Çözülmüş Organik Karbon (DOC)	mg/L	79.33	TS 8195 EN 1484	50	80	100
Toplam Çözünen Katı (TDS)	mg/L	450	SM 2540 C	400	6000	10.000
Fenol İndeksi	mg/L	<0.05	TS 6227 ISO 6439	0.1	-	-
Orijinal Atık Test Değerleri						
Mineral Yağ	mg/kg	1983.74	TS EN 14039	500	-	-
Benzen, Toluen, Etilbenzen, Ksilen (BTEX)	mg/kg	3.39	EPA 5021 A	6	-	-
Poliklorlu Bifeniller (PCB)	mg/kg	0.152	EPA 3540 C EPA 3665 A EPA 8082 A	1	-	-
Yanma Kaybı (LOI)	%	73.62	TS EN 12879	-	-	10
Toplam Organik Karbon (TOC)	mg/kg	151300	TS 12089 EN 13137	250.000 mg/kg	%25	-
	%	15.13				

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, Ek-2 Atık Kabul Kriterleri Sınır Değerleri ADDDY Ek-2-C "Tehlikeli Atıkların Düzenli Depolanabilme Kriterleri, I. Sınıf Depolama Tesisleri" için verilen sınır değerlerine göre LOI ya da TOC kullanılır.
Kuru Madde Miktarı = %47.19



Şekil 3.1. Atıksu arıtma tesisi iş akım şeması

Tesise gelen atıksu ilk olarak fiziksel arıtma ünitesinde yer alan ızgaralardan geçirilerek maddelerin tutunması sağlanır. Toplanan bu parçalar konveyör bant sisteminin alt bölümüne yerleştirilerek çöp konteynerine aktarılır. Sadece kanalizasyon sisteminden gelen atıksular toplandığından dolayı ızgara kalınlığının 10 mm aralığında seçilmesi uygun görülmüştür.

Ekonomik ve inşaat kolaylığı sağlamasının yanında, kum ve çakıl gibi malzemelerin sisteme zarar vermesini ve boruların tıkanmasını önlemek için kullanılan havalandırmalı kum tutucular aynı zamanda yapısında yağ perdeleri ve yağ sıyrıcıları da içerdiğinden ince ızgaradan geçerek kum tutucuya gelen atıksulardaki yağ ve köpükleri de uzaklaştırmaktadır.

Gün içerisinde terfi merkezine gelen atıksuların debileri ve kirlilik yükleri farklılıklar göstermesi nedeniyle dengeleme havuzuna aktarılır. Dengeleme havuzu hacmi çamur yoğunlaştırma ve çamur susuzlaştırma yapılarından gelen sular dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca atıksu içerisinde çökebilen maddelerin çöktürülmesi için dengeleme havuzundan çıkan atıksu buradan kimyasal arıtma ünitesine aktarılır kimyasal madde ilavesiyle askıda katı maddelerin yumaklar oluşturulması sağlanır ve oluşan yumaklar dairesel olarak tasarlanan kimyasal çöktürme havuzunda çöktürülür. Çöktürmenin verimli olması için kullanılan koagülantların su ile homojen

olarak karıştırılması gerekmektedir. Çöktürme havuzunda çöken çamur, çamur toplama çukurunda toplanarak buradan çamur yoğunlaştırma havuzuna iletilir.

Biyolojik arıtma olarak aktif çamur prosesi kullanılmaktadır. Atıksu içindeki organik maddeler ile mikroorganizma yumakları etkileşime geçerek oksitlenmiş son ürüne dönüştürülmektedir. Atıksu içerisindeki organik maddelerin parçalanması için yeterli konsantrasyonda bakteri sağlanması amacıyla son çöktürme havuzundaki mikrobiyolojik kütlenin havalandırma havuzuna geri devri yaptırılmaktadır. Bu işlem sırasında sürekli olarak mikrobiyolojik kütlenin bir kısmının uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Son çökeltme havuzunda kullanılan savaklar V tipinde ve tek taraflıdır. Taban kısmına çöken çamurların alınması için ise sıyrıcılar kullanılmaktadır.

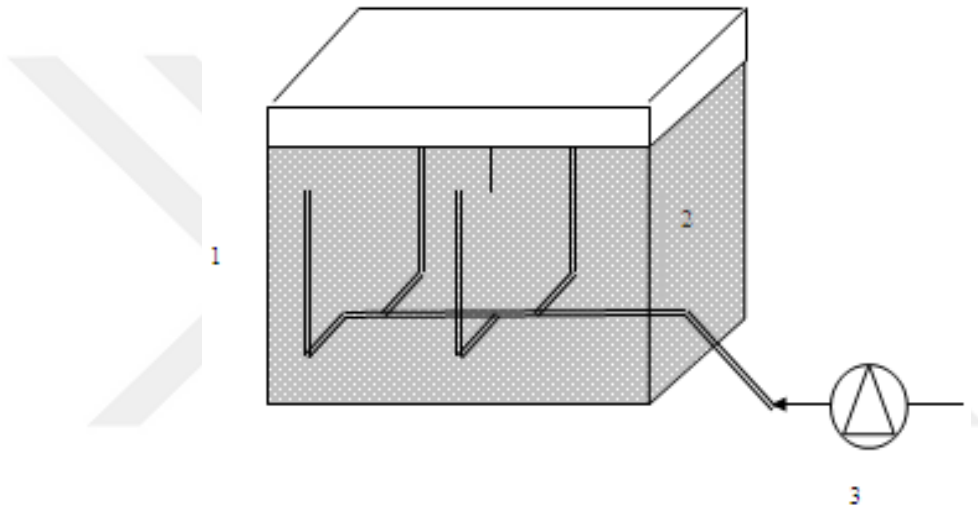
Kimyasal ve biyolojik arıtmadan sonra konsantrasyonu %1 olan çamur, çamur yoğunlaştırmada %3 konsantrasyonuna ulaşarak çamur susuzlaştırma ünitesine geçer. Buradaki %3'lük çamur konsantrasyonu yaklaşık olarak %25 konsantrasyonuna gelerek çamur keki olarak uzaklaştırılır. Daha sonra çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma ünitelerinden alınacak duru sular, duru su terfi merkezi emme haznesinde toplanır ve buradan dalgıç pompalar ile toplama dağıtma yapısına basılır. Duru su terfi merkezi, basma yüksekliği 7 m olan 1 asıl ve 1 yedek dalgıç pompadan meydana gelmektedir.



Şekil 3.2. Atıksu arıtma tesisi vaziyet planı

3.2. Pilot Kompostlaştırma Sistemlerinin Tasarımı

Çalışmada kullanılacak kompostlaştırma sistemi pilot olarak oluşturulmuştur. Tasarlanan pilot reaktör 25 L hacminde olup 40 cm x 25 cm x 25 cm (en x boy x yükseklik) boyutlarındadır. Bu reaktörde sızıntı suyunun toplanmasını kolaylaştırmak için kenarda tabana yakın bir yere plastik boru bağlantısı yapılmıştır. Tabana 2 cm çaplı PVC borudan tarak şeklinde havalandırma teçhizatı döşenmiştir. Çalışmalarda kullanılan kompostlaştırma reaktörünün şematik çizimi Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



(1) kompostlaştırma ünitesi, (2) arıtma çamuru, (3) havalandırma pompası

Şekil 3.3. Pilot kompostlaştırma sistemlerinin şematik görünümü

3.3. Sistemlerden Örnek Alınması ve Analizlere Hazırlanması

Kompostlaştırma sistemlerinde kullanılan materyallerin arıtma çamuru ile karıştırılmasında hacimce oranları dikkate alınmıştır. İstenilen hacimlerde ekleme yapıldıktan sonra elle iyice karıştırılmıştır.

Kompostlaştırma sistemlerinden haftalık olarak örnekleme yapılmıştır. Her örnekleme zamanında kompost kütlesi karıştırılarak yaklaşık 50 g kadar örnek alınmış ve haftalık olarak pH, elektriksel iletkenlik, nem içeriği, amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ve toplam azot (TN) analizleri gerçekleştirilmiştir. Örnekleme 13 hafta boyunca devam etmiştir. Analizlerde, kullanılan standart yöntemler Çizelge 3.7'de verilmektedir. Deneylerde kullanılan kimyasallar, alet ve cihazlar Ek 1 ve 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Deneylerde kullanılan analiz yöntemleri

Parametreler	Analiz Yöntemi
pH	TS ISO 10390
Elektriksel İletkenlik	TS ISO 11265
Nem İçeriği	TS 9546 EN 12880
Amonyum Azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)	SM 4500 NH_3
Nitrat Azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$)	TS 8337 ISO 11261
Toplam Azot (TN)	TS 8337 ISO 11261

3.4. Sistemlerin Box-behnken deneysel tasarımına uyarlanması

Çalışmada, Box-Behnken tasarımına göre 15 pilot kompostlaştırma sistemi oluşturulmuştur. Bu sistemler Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Her bir sistem malzeme türü, malzeme oranı ve havalandırma oranı parametreleri kullanılarak tasarlanmıştır. Box-Behnken dizaynına göre oluşturulan kompostlaştırma düzenekleri için seçilen seviyeler ve sistemler Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9'da sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 3.8. Box-Behnken tasarımına göre seçilen seviyeler

	Düşük Seviye (-1)	Orta Seviye (0)	Yüksek Seviye (+1)
Malzeme Türü, A	Pomza	Genleştirilmiş Vermikülit	Genleştirilmiş Perlit
Malzeme Oranı, B	%10	%25	%40
Havalandırma Oranı, C	3 L/dak	6 L/dak	9 L/dak

Çizelge 3.9. Box-Behnken tasarımına göre sistemler

Sistem Sayısı	Malzeme Türü	Malzeme Oranı	Havalandırma Oranı
1	-1 (Pomza)	-1 (%10)	0 (6L/dak)
2	+1 (G. Perlit)	-1 (%10)	0 (6L/dak)
3	-1 (Pomza)	+1 (%40)	0 (6L/dak)
4	+1 (G. Perlit)	+1 (%40)	0 (6L/dak)
5	-1 (Pomza)	0 (%25)	-1 (3L/dak)
6	+1 (G. Perlit)	0 (%25)	-1 (3L/dak)
7	-1 (Pomza)	0 (%25)	+1 (9L/dak)
8	+1 (G. Perlit)	0 (%25)	+1 (9L/dak)
9	0 (G.Vermikülit)	-1 (%10)	-1 (3L/dak)
10	0 (G.Vermikülit)	+1 (%40)	-1 (3L/dak)
11	0 (G.Vermikülit)	-1 (%10)	+1 (9L/dak)
12	0 (G. Vermikülit)	+1 (%40)	+1 (9L/dak)
13	0 (G. Vermikülit)	0 (%25)	0 (6L/dak)
14	0 (G. Vermikülit)	0 (%25)	0 (6L/dak)
15	0 (G. Vermikülit)	0 (%25)	0 (6L/dak)



Şekil 3.4. Pilot kompostlaştırma sistemleri

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

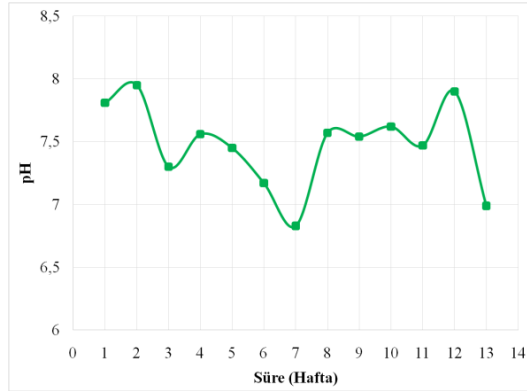
4.1. Materyallerin Kompostlaştırma Prosesine Etkisi

4.1.1. Pomzanın kompostlaştırma prosesine etkisi

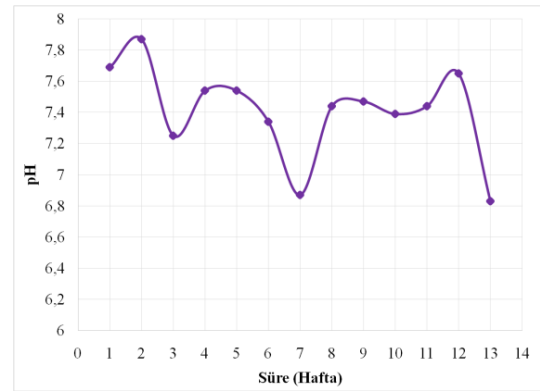
4.1.1.1. Pomzanın pH değişimi üzerine etkisi

Box-Behnken deneysel tasarımına göre oluşturulan sistemlerde arıtma çamurları içerisinde %10- %25 ve %40 oranlarında karıştırılan pomza materyalinin pH değeri üzerine etkisine bakıldığında, pH değerlerinin proses süresince 6.5-8.0 arasında değişim gösterdiği görülmüştür. Başlangıçta 8.0'a yakın olan pH değerleri, özellikle 3. haftadan itibaren azalma eğilimi göstermiş, 7. haftadan sonra da artışa geçmiştir. Bu azalmaların, organik maddenin ilk haftalarda hızla parçalanarak organik asitleri oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Haug, 1993).

Olgun kompost için en uygun pH değerinin literatürdeki karşılığı 6.5-7.2'dir (WERL, 2000). Bu kriter göz önünde bulundurulduğunda 13 haftalık kompostlaştırma prosesi sonunda, tüm sistemlerin pH değerleri olgun kompostun pH değerine uygundur.

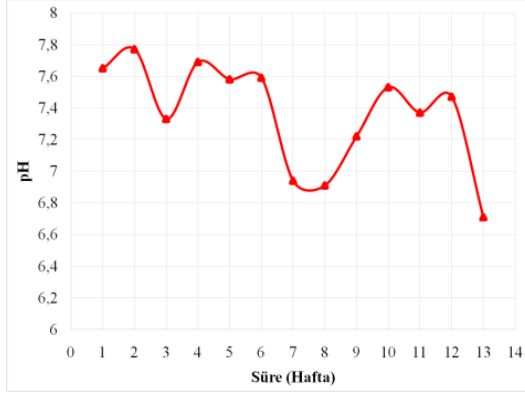


(a)

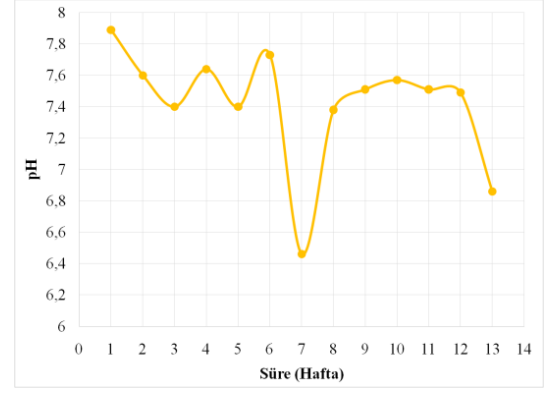


(b)

Şekil 4.1. Pomzanın pH değişimi üzerine etkisi



(c)



(d)

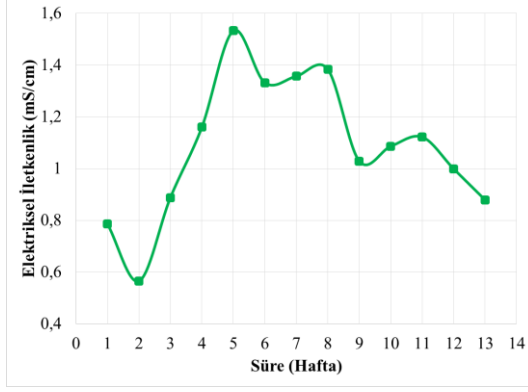
Şekil 4.1. Pomzanın pH değişimi üzerine etkisi (devam)

(a) S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak), (b) S3 (Sistem 3; %40 pomza materyali, 6 L/dak), (c) S5 (Sistem 5; %25 pomza materyali, 3 L/dak), (d) S7 (Sistem 7; %25 pomza materyali, 9 L/dak)

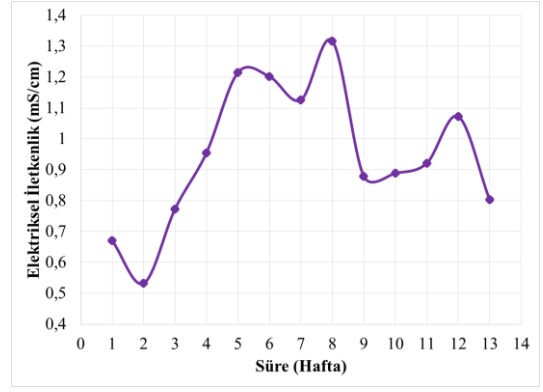
4.1.1.2. Pomzanın elektriksel iletkenlik değişimi üzerine etkisi

Kompostlaştırma prosesi başlangıcında, pomza materyali içeren sistemlerde elektriksel iletkenlik değeri 0.6-0.8 mS/cm arasında değişmiştir. Proseste ilk haftalarda asiditellik durumun da artmasına bağlı olarak, elektriksel iletkenlik değerinde bir düşüş gerçekleşmiştir. Çalışmada, en yüksek elektriksel iletkenlik değerine S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak) sisteminde rastlanmış ve 5. haftada elektriksel iletkenlik değeri 1.533 mS/cm olarak ölçülmüştür. Elektriksel iletkenlik değerleri, tüm sistemlerde 8. haftadan sonra azalmaya başlamıştır.

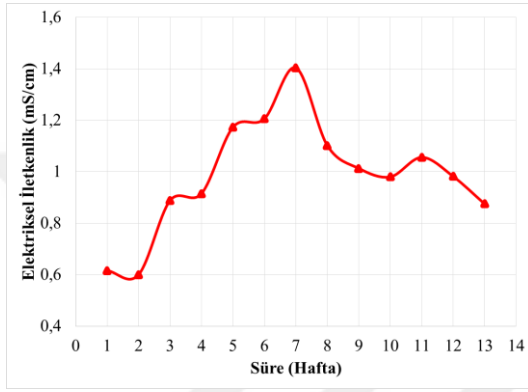
Penwarn (2002)'e göre, elektriksel iletkenlik değeri <1 mS/cm olan kompostun olgunluk derecesi “çok iyi”, 1-2 mS/cm olan kompostun olgunluk derecesi “orta”, 2-3 mS/cm olan kompostun olgunluk derecesi ise “tuzlu” olarak değerlendirilmektedir. Proses sonunda pomza ile yürütülen tüm sistemlerde elde edilen kompostların elektriksel iletkenlik değerleri “çok iyi” sınıfına girmektedir.



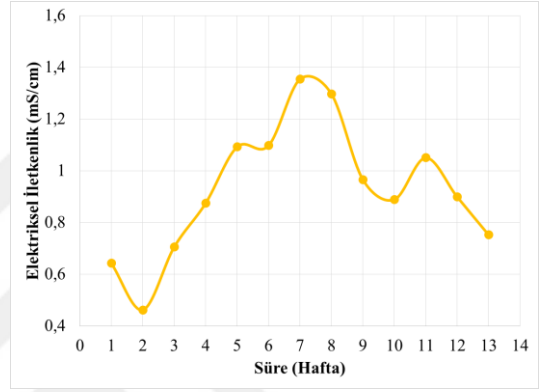
(a)



(b)



(c)



(d)

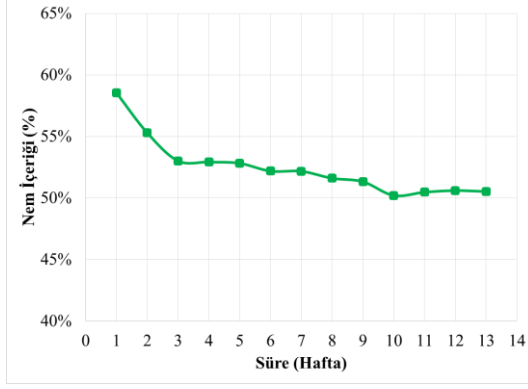
Şekil 4.2. Pomzanın elektriksel iletkenlik değişimi üzerine etkisi

(a) S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak), (b) S3 (Sistem 3; %40 pomza materyali, 6 L/dak), (c) S5 (Sistem 5; %25 pomza materyali, 3 L/dak), (d) S7 (Sistem 7; %25 pomza materyali, 9 L/dak)

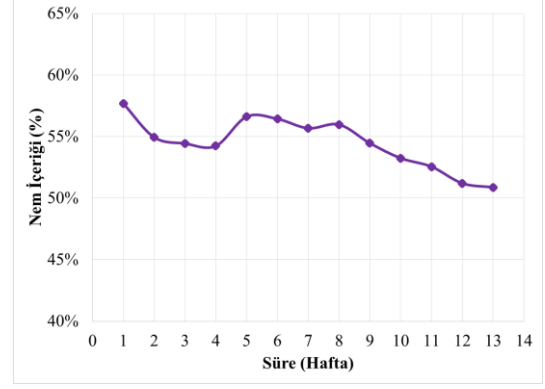
4.1.1.3. Pomzanın nem içeriği değişimi üzerine etkisi

Çalışmada, pomza ile yürütülen kompostlaştırma sistemlerinde nem içeriği değerlerinin proses boyunca yaklaşık olarak %50-60 arasında değiştiği görülmektedir. Prosesin başlangıcında, %60'a yakın olan nem içeriği değerleri, proses sonunda %50 civarında ölçülmüştür.

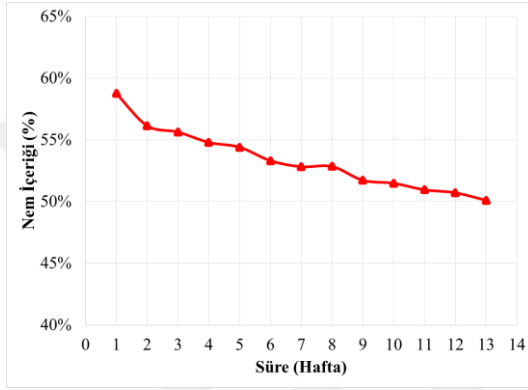
Kompostlaştırma için optimum nem içeriği değeri literatürde %50 olarak verilmektedir (Haug, 1993). Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, proses süresince nem içeriğinde küçük değişiklikler olmasına rağmen, pomza ile yürütülen tüm sistemlerde proses sonundaki nem içeriği değerleri optimum seviyededir.



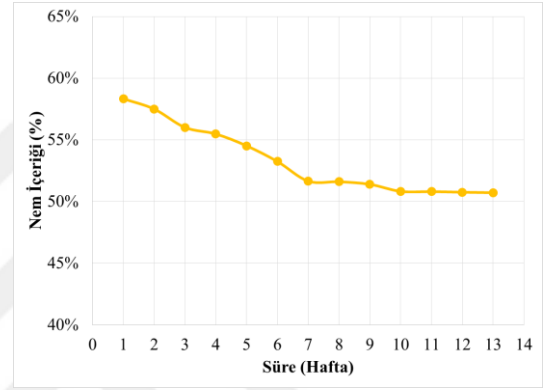
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.3. Pomzanın nem içeriği değişimi üzerine etkisi

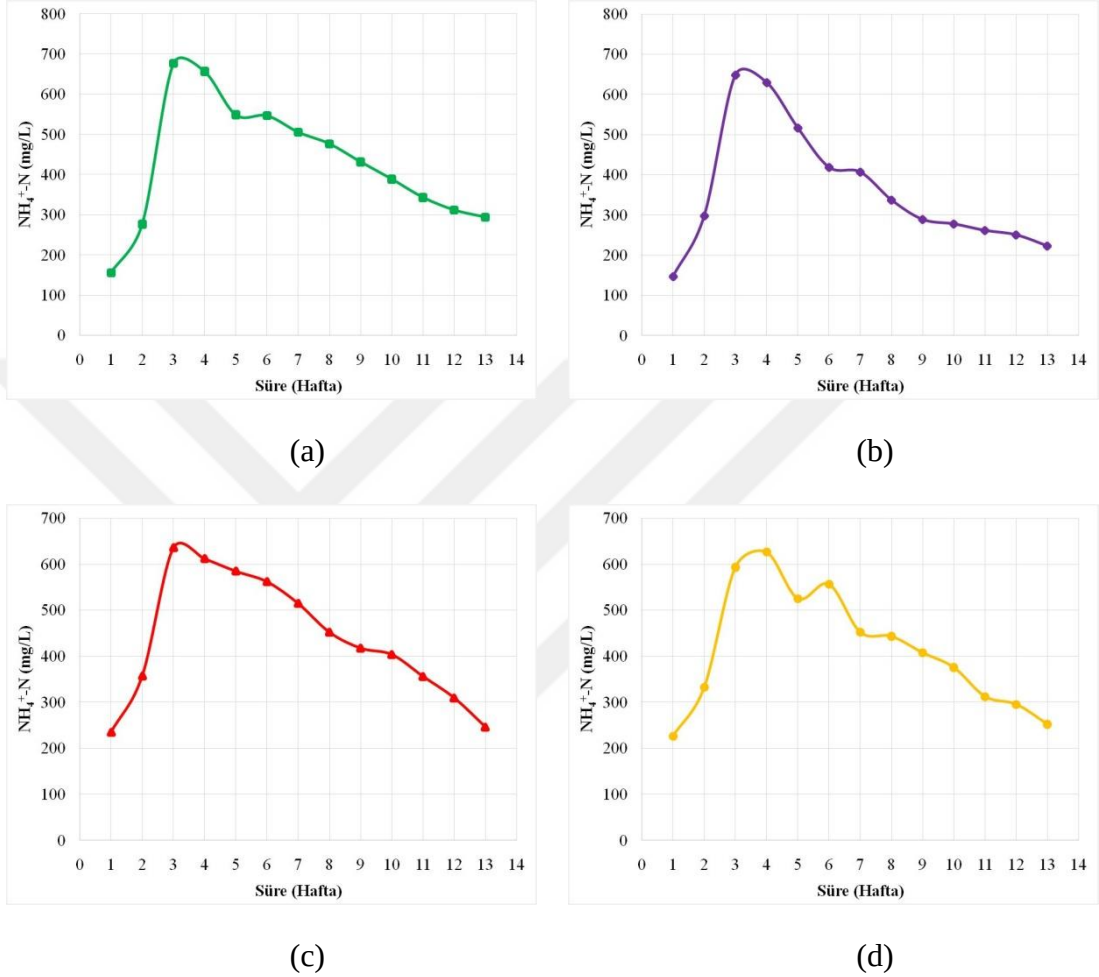
(a) S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak), (b) S3 (Sistem 3; %40 pomza materyali, 6 L/dak), (c) S5 (Sistem 5; %25 pomza materyali, 3 L/dak), (d) S7 (Sistem 7; %25 pomza materyali, 9 L/dak)

4.1.1.4. Pomzanın amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi

Değişik oranlarda pomza ilave edilerek oluşturulan kompostlaştırma sistemlerinde ilk 3 hafta amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerinde bir artış gözlenmiştir. 3. haftada en yüksek amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerine ulaşan sistem S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak) sistemi olup, bu sistemde ölçülen amonyum azot ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değeri 676.21 mg/L'dir. 3. haftadan itibaren amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerinde sürekli olarak azalma görülmüştür.

Kompost kalite kriterlerine göre olgun bir kompost elde edilmesi için gerekli amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerinin 75-500 mg/L aralığında olması gerekmektedir (WERL, 2000). Kompostlaştırma prosesi sonunda pomza kullanılan sistemlerden elde edilen kompostlardaki amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerleri S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak) için 294.21 mg/L, S3 (Sistem 1; %40 pomza materyali, 6

L/dak) için 222.52 mg/L, S5 (Sistem 5; %25 pomza materyali, 3 L/dak) için 245.63 mg/L ve S7 (Sistem 5; %25 pomza materyali, 9 L/dak) için 252.21 mg/L olarak ölçülmüştür. Buna göre pomza kullanılan tüm sistemler amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) parametresi açısından olgun kompost standartlarını taşımaktadır (Şekil 4.4).



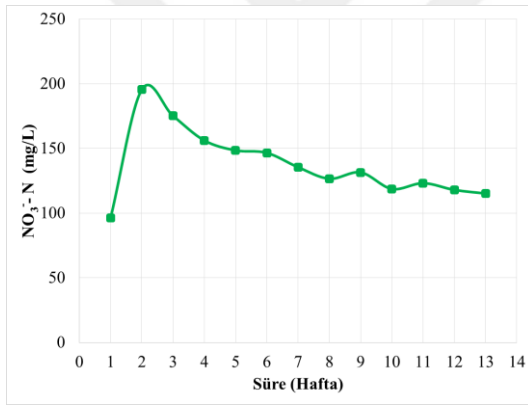
Şekil 4.4. Pomzanın amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) içeriği değişimi üzerine etkisi

(a) S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak), (b) S3 (Sistem 3; %40 pomza materyali, 6 L/dak), (c) S5 (Sistem 5; %25 pomza materyali, 3 L/dak), (d) S7 (Sistem 7; %25 pomza materyali, 9 L/dak)

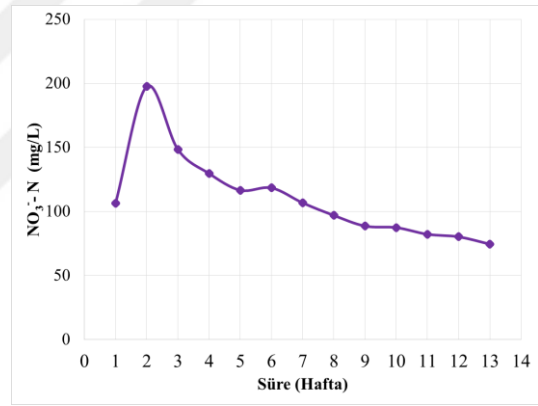
4.1.1.5. Pomzanın nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi

Pomza ile yürütülen kompostlaştırma sistemlerinde nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değeri, sadece ilk haftada artmıştır. 2. haftadan itibaren başlayan azalma proses boyunca devam etmiştir. Şekil 4.5'te pomza ile yürütülen sistemlerdeki nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişimleri gösterilmektedir.

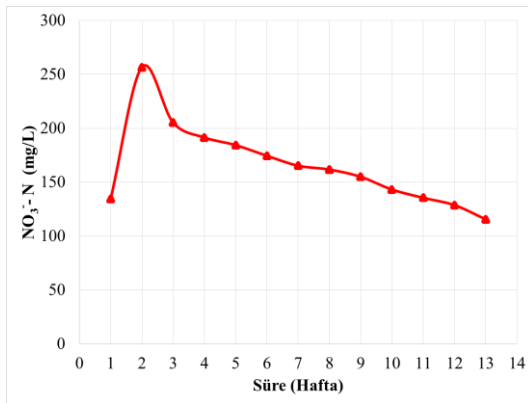
Kompostlaştırma proseslerinde nitrat azotu (NO_3^- -N) konsantrasyonuna göre kompost kalitesi, nitrat azotu (NO_3^- -N) konsantrasyonunun, amonyum azotu (NH_4^+ -N) konsantrasyonuna oranlanması ile değerlendirilmektedir. WERL (2000)'in kompost kalite kriterlerine göre olgun bir kompost için amonyum azotu (NH_4^+ -N)/nitrat azotu oranı (NO_3^- -N) 0.5-3.0 aralığında olmalıdır. Buna göre pomza ile yürütülen kompostlaştırma sistemlerinden elde edilen kompostların amonyum azotu (NH_4^+ -N)/ nitrat azotu (NO_3^- -N) oranı 0.5-3.0 aralığındadır. Dolayısıyla pomza içeren tüm sistemler olgun kompost elde edilmesinde gerekli nitrat azotu (NO_3^- -N) değerini sağlamaktadır. Proses sonunda elde edilen oransal sonuçlar; S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak) sistemi için 2.55, S3 (Sistem 3; %40 pomza materyali, 6 L/dak) sistemi için 2.99, S5 (Sistem 5; %25 pomza materyali, 3 L/dak) sistemi için 2.12 ve S7 (Sistem 7; %25 pomza materyali, 9 L/dak) sistemi için 2.25 olarak belirlenmiştir.



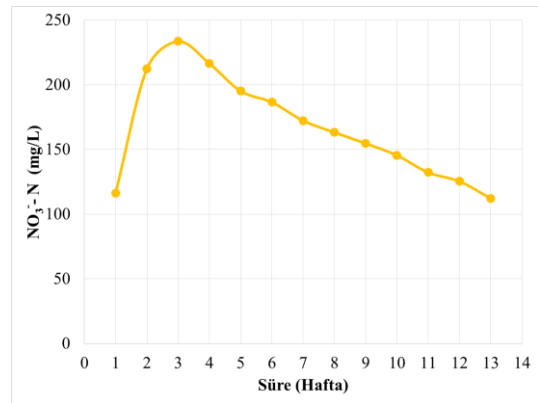
(a)



(b)



(c)



(d)

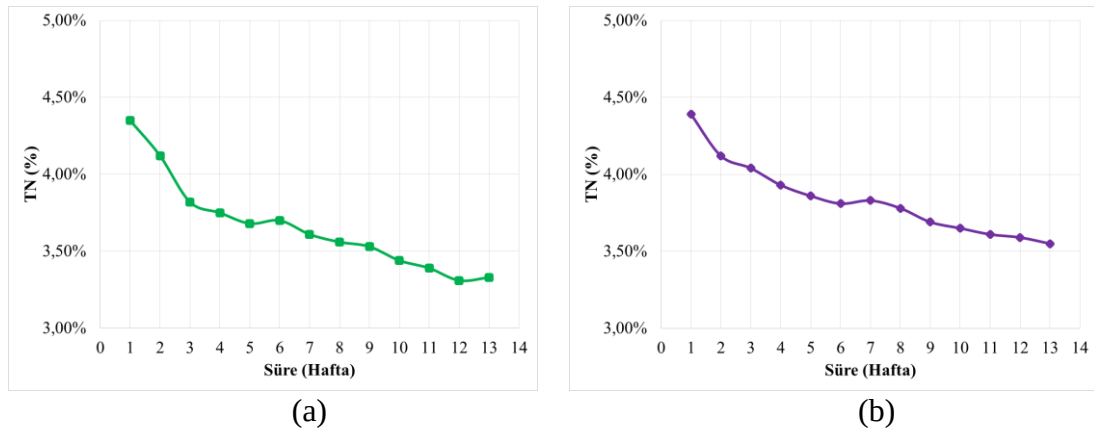
Şekil 4.5. Pomzanın nitrat azotu (NO_3^- -N) içeriği değişimi üzerine etkisi

(a) S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak), (b) S3 (Sistem 3; %40 pomza materyali, 6 L/dak), (c) S5 (Sistem 5; %25 pomza materyali, 3 L/dak), (d) S7 (Sistem 7; %25 pomza materyali, 9 L/dak)

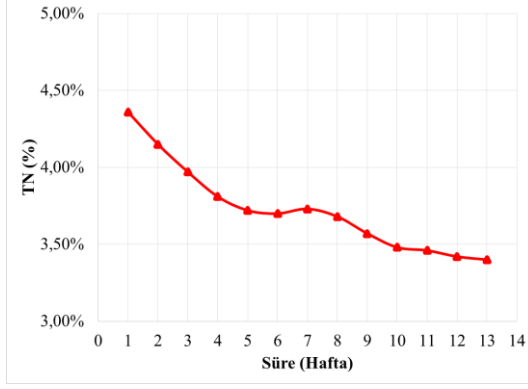
4.1.1.6. Pomzanın toplam azot (TN) değişimi üzerine etkisi

Çalışmada, proses başlangıcında toplam azot değeri %4.46'dır. 13 haftalık proses süresince toplam azot değerinde devamlı olarak azalan bir eğri gözlenmiştir. şekil 4.6'dan da görüldüğü gibi ilk haftalarda daha belirgin bir azalma gerçekteşirken son haftalarda nispeten daha az değişimler gerçekteşmiştir.

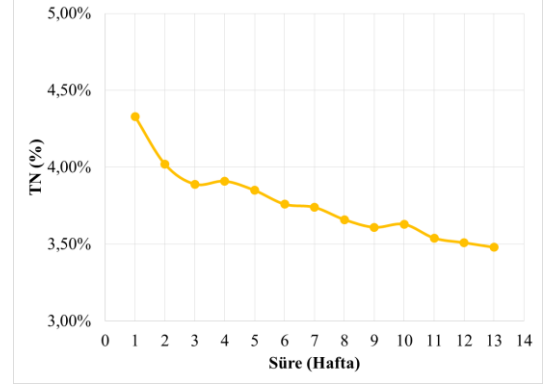
Proses sonunda pomza ile yürütölen kompostlaştırma sistemlerinde, toplam azot değerine bakıldığında, S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak) sisteminde %3.33, S3 (Sistem 3; %40 pomza materyali, 6 L/dak) sisteminde %3.55, S5 (Sistem 5; %25 pomza materyali, 3 L/dak) sisteminde %3.40 ve S7 (Sistem 7; %25 pomza materyali, 9 L/dak) sisteminde ise %3.48 toplam azot (TN) değerleri bulunmuştur. Buna göre, S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak) sisteminde %23.45, S3 (Sistem 3; %40 pomza materyali, 6 L/dak) sisteminde %19.13, S5 (Sistem 5; %25 pomza materyali, 3 L/dak) sisteminde azot kaybı %22.15 ve S7 (Sistem 7; %25 pomza materyali, 9 L/dak) sisteminde ise %19.63 azot kaybı olduğu görölmektedir. En az azot kaybı S3 (Sistem 3; %40 pomza materyali, 6 L/dak) sisteminde, en fazla azot kaybı ise, S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak) sisteminde gerçekteşmiştir.



şekil 4.6. Pomzanın toplam azot (TN) değişimi üzerine etkisi



(c)



(d)

Şekil 4.6. Pomzanın toplam azot (TN) değişimi üzerine etkisi (devam)

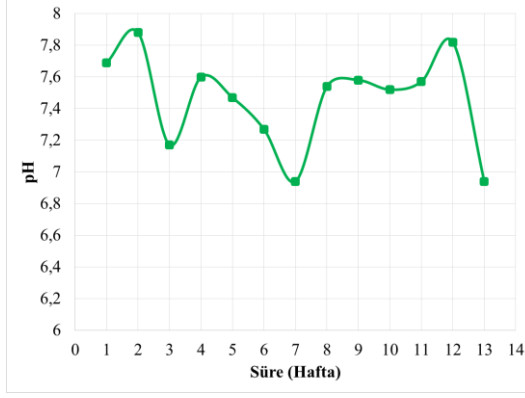
(a) S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak), (b) S3 (Sistem 3; %40 pomza materyali, 6 L/dak), (c) S5 (Sistem 5; %25 pomza materyali, 3 L/dak), (d) S7 (Sistem 7; %25 pomza materyali, 9 L/dak)

4.1.2. Genleştirilmiş perlitin kompostlaştırma prosesine etkisi

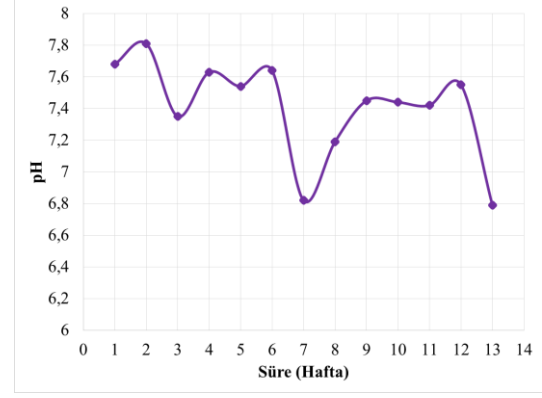
4.1.2.1. Genleştirilmiş perlitin pH değişimi üzerine etkisi

Genleştirilmiş perlit materyali içeren arıtma çamurlarının, 13 hafta devam eden kompostlaştırma prosesi boyunca gerçekleşen pH değişimi Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Proses başlangıcında pH değerlerinin 7.4’ten yüksek olduğu görülmektedir. 3. ve 7. haftada pH değişiminde belirgin şekilde bir azalma görülmüştür. pH değerindeki azalmalar organik maddelerin parçalanarak organik asitlerin oluştuğunu ortaya koymaktadır.

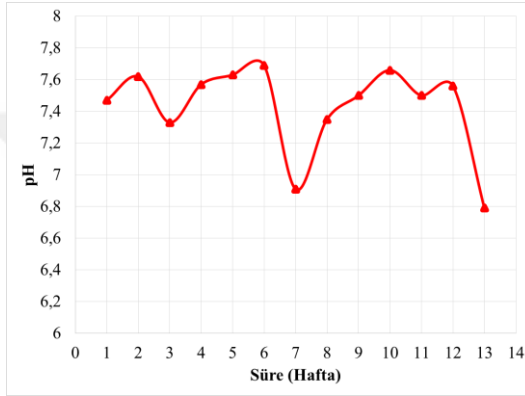
WERL (2000) tarafından olgun kompost için gerekli olan optimum pH değeri 6.5-7.2 olarak belirlenmiştir. Değişik havalandırma ve materyal oranına sahip genleştirilmiş perlit içeren sistemlerde kompostlaştırma prosesi sonunda, elde edilen sonuçlar pH değerinin 6.75-6.94 aralığında olduğunu göstermektedir. Bu durumda, bütün sistemlerin iyi bir kompost eldesi için gerekli pH değerine sahip olduğu görülmektedir.



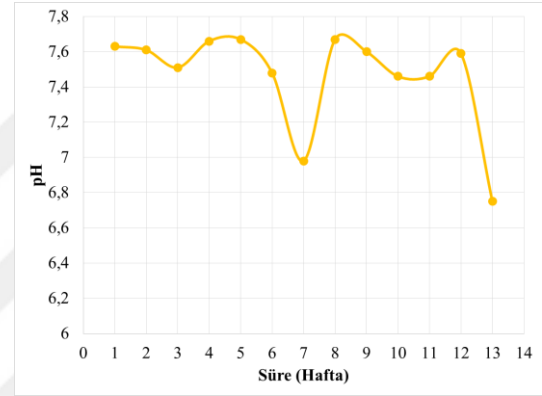
(a)



(b)



(c)



(d)

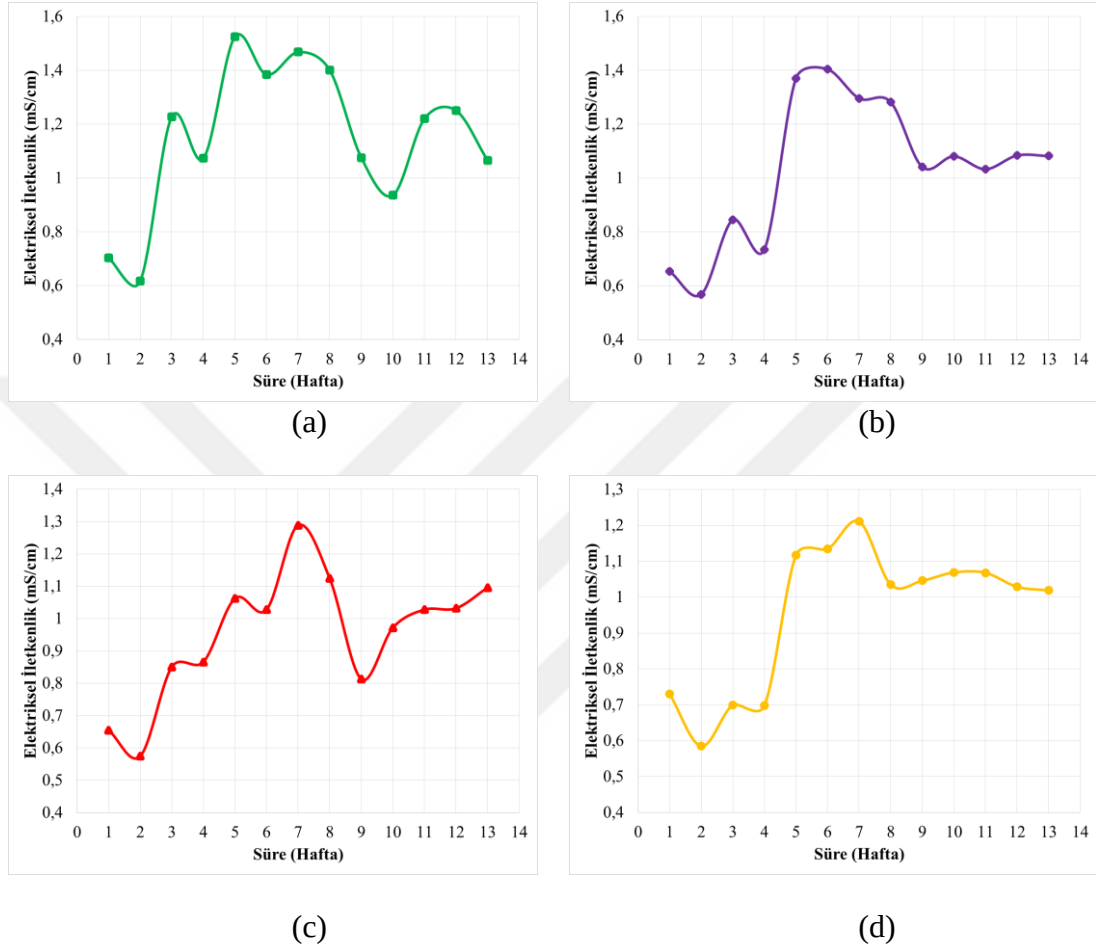
Şekil 4.7. Genleştirilmiş perlitin pH değişimi üzerine etkisi

(a) S2 (Sistem 2; %10 genleştirilmiş perlit materyali, 6 L/dak), (b) S4 (Sistem 4; %40 genleştirilmiş perlit materyali, 6 L/dak), (c) S6 (Sistem 6; %25 genleştirilmiş perlit materyali, 3 L/dak), (d) S8 (Sistem 8; %25 genleştirilmiş perlit materyali, 9 L/dak)

4.1.2.2. Genleştirilmiş perlitin elektriksel iletkenlik değişimi üzerine etkisi

Proses başlangıcında arıtma çamurlarının analiz sonuçlarına göre elektriksel iletkenlik değerleri 0.6-0.7 mS/cm arasındadır. 2. haftadan itibaren elektriksel iletkenlik değerlerinde dalgalanmalar olmakla beraber artış gözlenmiştir. 5. haftada en yüksek elektriksel iletkenlik değeri 1.404 mS/cm ile %10 genleştirilmiş perlit içeren S2 (Sistem 2; %10 genleştirilmiş perlit materyali, 6 L/dak) sisteminde gözlenmiştir. Şekil 4.8'de genleştirilmiş perlit ile yürütülen kompostlaştırma sistemlerindeki elektriksel iletkenlik değişimleri görülmektedir.

Kompost kalite kriterlerine göre 2-3 mS/cm arasında olan elektriksel iletkenlik değerlerine sahip kompostun olgunluk derecesi “orta” olarak verilmektedir (Penwarn, 2002). Buna göre proses sonunda elde edilen kompostların genişleştirilmiş perlit içeren dört sistem için de olgunluk derecesi “orta” seviyededir.



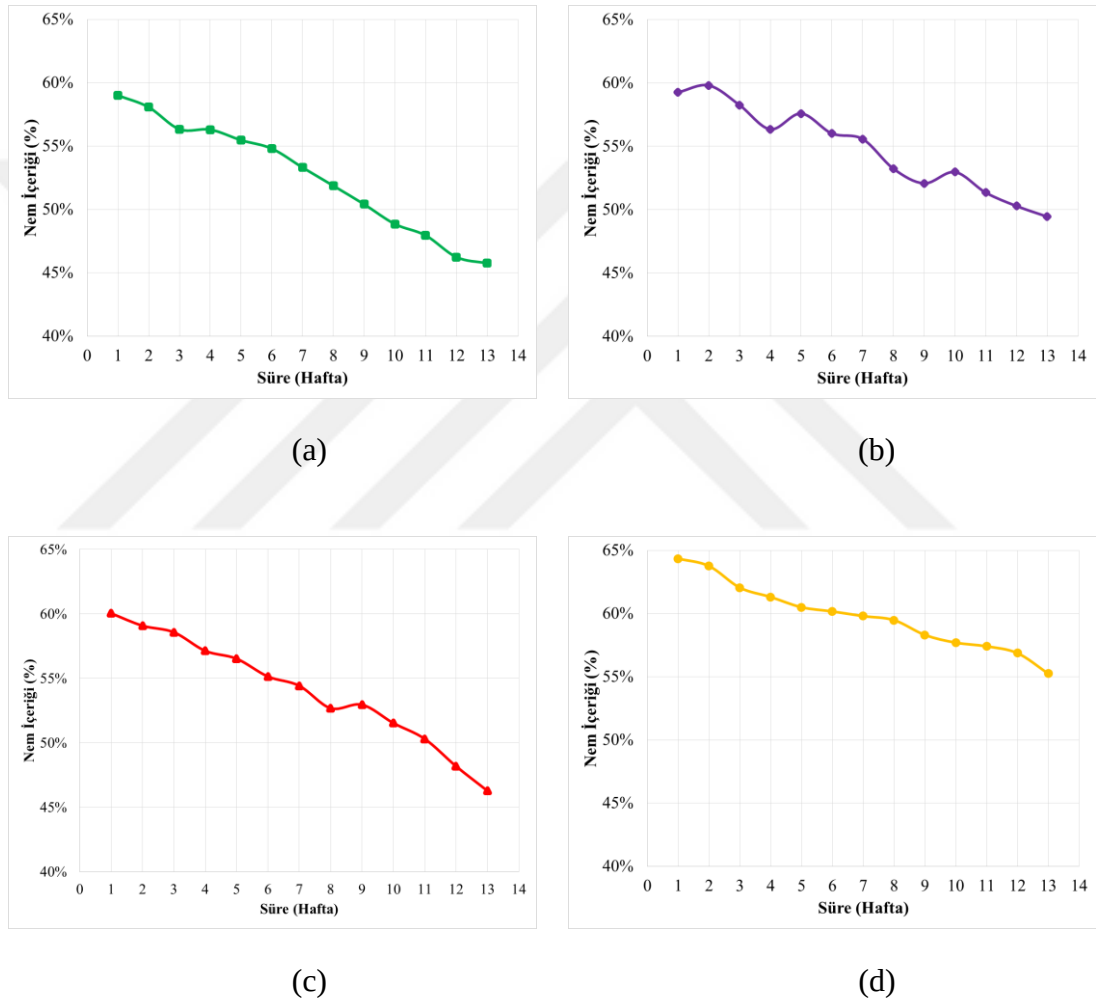
Şekil 4.8. Genleştirilmiş perlitin elektriksel iletkenlik değişimi üzerine etkisi

(a) S2 (Sistem 2; %10 genişleştirilmiş perlit materyali, 6 L/dak), (b) S4 (Sistem 4; %40 genişleştirilmiş perlit materyali, 6 L/dak, (c) S6 (Sistem 6; %25 genişleştirilmiş perlit materyali, 3 L/dak), (d) S8 (Sistem 8; %25 genişleştirilmiş perlit materyali, 9 L/dak)

4.1.2.3. Genleştirilmiş perlitin nem içeriği değişimi üzerine etkisi

Şekil 4.9’da genişleştirilmiş perlit ile yürütülen kompostlaştırma sistemlerinde proses süresince nem içeriği değişimleri görülmektedir. Şekil 4.9’da da görüleceği gibi genişleştirilmiş perlit içeren tüm kompostlaştırma sistemlerinde nem içeriği değerleri belirgin oranda azalmalar göstermiştir. En belirgin azalma başlangıçta en yüksek nem içeriğine sahip olan S8 (Sistem 8; %25 genişleştirilmiş perlit materyali, 9 L/dak) sisteminde gerçekleşmiştir.

Literatürde kompostlaştırma için optimum nem içeriği %50'dir (Haug, 1993). Proses başlangıcında S2 (Sistem 2; %10 genişletilmiş perlit materyali, 6 L/dak), S4 (Sistem 4; %40 genişletilmiş perlit materyali, 6 L/dak) ve S6 (Sistem 6; %25 genişletilmiş perlit materyali, 3 L/dak) sistemlerinin nem içeriği %50 seviyesine yakın olmakla birlikte 10. haftadan itibaren %50 seviyesinin altına düşmüştür. Proses sonunda genişletilmiş perlit ilaveli sistemlerden sadece S8 (Sistem 8; %25 genişletilmiş perlit materyali, 9 L/dak) sisteminden elde edilen kompostun nem içeriği değerinin optimum olduğu görülmektedir.



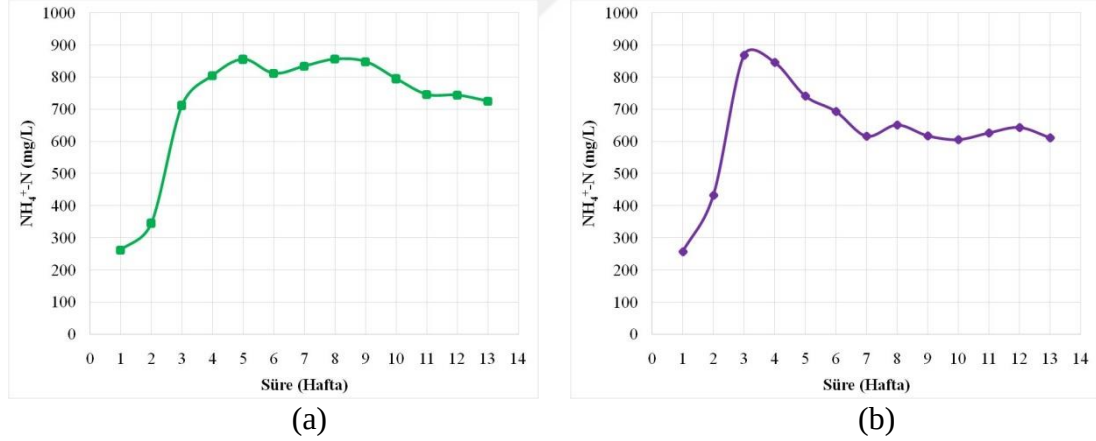
Şekil 4.9. Genleştirilmiş perlitin nem içeriği değişimi üzerine etkisi

(a) S2 (Sistem 2; %10 genişletilmiş perlit materyali, 6 L/dak), (b) S4 (Sistem 4; %40 genişletilmiş perlit materyali, 6 L/dak), (c) S6 (Sistem 6; %25 genişletilmiş perlit materyali, 3 L/dak), (d) S8 (Sistem 8; %25 genişletilmiş perlit materyali, 9 L/dak)

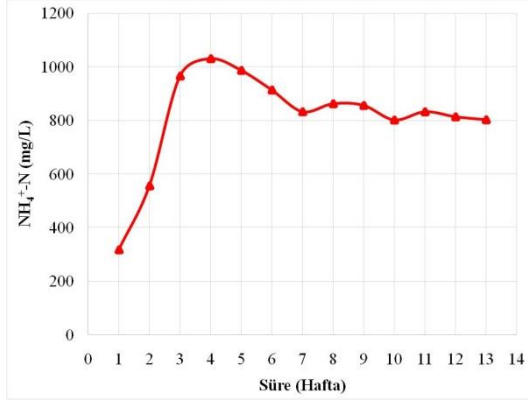
4.1.2.4. Genleştirilmiş perlitin amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi

Proses başlangıcında en yüksek amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değeri 358.44 mg/L ile S8 (Sistem 8; %25 genleştirilmiş perlit materyali, 9 L/dak) sisteminden elde edilmiştir. İlk haftalarda termofilik sürecin başlamasına bağlı olarak amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerlerinde belirgin bir artış gerçekleşmiştir. 4. haftadan itibaren ise amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerleri nispeten azalmakla birlikte, 10. haftadan sonra belirgin değişimler gözlenmemiştir.

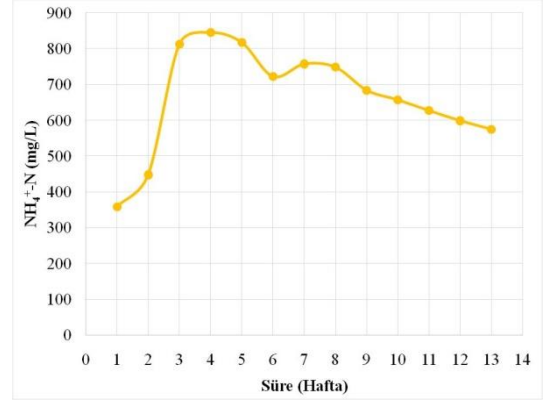
13 hafta sonunda genleştirilmiş perlit ile yürütölen sistemlerden elde edilen kompostlarda amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerlerine bakıldığında, değerlerin 75-500 mg/L aralığının üzerinde bulunduğu gözlenmiştir. WERL (2000)'e göre bu aralığın üzerinde amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) içeren kompostlar “olgunlaşmamış kompost” olarak nitelendirilmektedir. Bu durumda genleştirilmiş perlit içeren sistemler amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) açısından olgunlaşmış kompost kalite kriterini sağlamamaktadır. şekil 4.10'da genleştirilmiş perlit içeren sistemlerin proses süresince amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişimleri gösterilmektedir.



şekil 4.10. Genleştirilmiş perlitin amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi



(c)



(d)

Şekil 4.10. Genleştirilmiş perlitin amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi (devam) (a) S2 (Sistem 2; %10 genleştirilmiş perlit materyali, 6 L/dak), (b) S4 (Sistem 4; %40 genleştirilmiş perlit materyali, 6 L/dak), (c) S6 (Sistem 6; %25 genleştirilmiş perlit materyali, 3 L/dak), (d) S8 (Sistem 8; %25 genleştirilmiş perlit materyali, 9 L/dak)

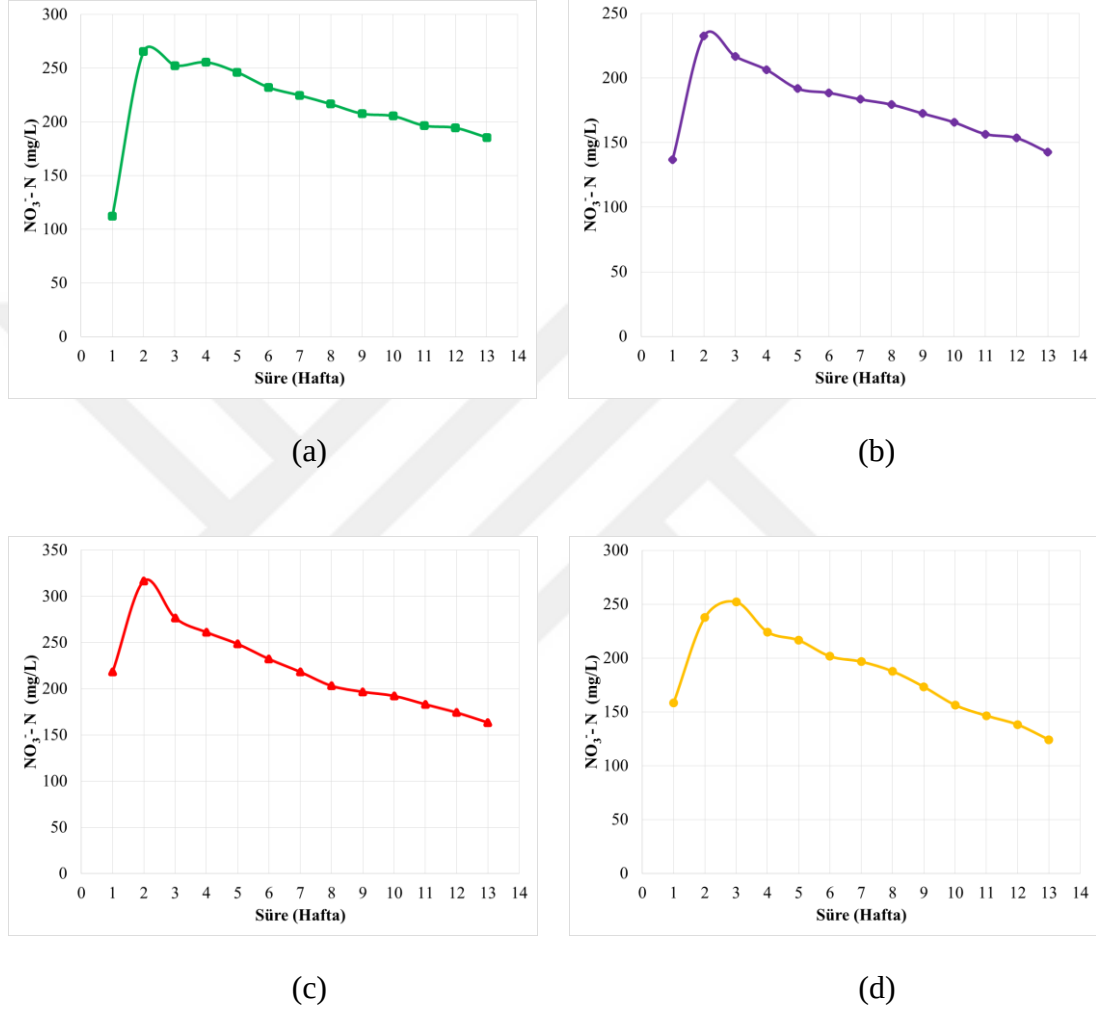
4.1.2.5. Genleştirilmiş perlitin nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi

Proses süresince genleştirilmiş perlit ile gerçekleştirilen kompostlaştırma sistemlerindeki nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişimleri Şekil 4.11’de gösterilmektedir. Genleştirilmiş perlit ile yürütülen tüm sistemlerde ilk hafta nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değerinde belirgin oranda bir artış olmuştur. 2. haftanın sonunda en yüksek nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değeri 316.75 mg/L olarak %25 oranında genleştirilmiş perlitin kullanıldığı S6 (Sistem 6; %25 genleştirilmiş perlit materyali, 3 L/dak) sisteminde gözlenmiştir. Sistemlerde nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değerleri 2. haftadan sonra azalan bir eğri göstermiştir.

Kompostlaştırma proseslerinde kompostun kalitesine karar verebilmek için amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerinin, nitrat azotu değerine oranı esas alınmaktadır. WERL (2000) tarafından verilen, kompost kalite standartları olgunluk indeksine göre, bu oran 0.5-3.0 arasında olursa kompost “olgunlaşmış”, 3’ten büyük olursa “olgunlaşmamış” olarak nitelendirilmektedir.

Prosesin sonunda genleştirilmiş perlit ilave edilen sistemlerdeki amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)/nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değerleri; S2 (Sistem 2; %10 genleştirilmiş perlit materyali, 6 L/dak) sistemi için 3.91, S4 (Sistem 4; %40 genleştirilmiş perlit materyali, 6 L/dak) sistemi için 4.29, S6 (Sistem 6; %25 genleştirilmiş perlit materyali, 3 L/dak) sistemi için 4.92 ve S8 (Sistem 8; %25 genleştirilmiş perlit

materyali, 9 L/dak) sistemi için 4.62 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)/nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değerlerinin tüm sistemler için 3'ten büyük olması, geliştirilmiş perlit ile yürütülen sistemlerden elde edilen kompostların nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) açısından “olgunlaşmamış” olduğunu göstermektedir.



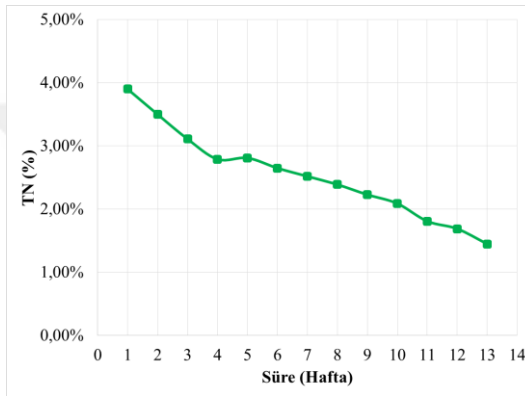
Şekil 4.11. Genleştirilmiş perlitin nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi

(a) S2 (Sistem 2; %10 geliştirilmiş perlit materyali, 6 L/dak), (b) S4 (Sistem 4; %40 geliştirilmiş perlit materyali, 6 L/dak, (c) S6 (Sistem 6; %25 geliştirilmiş perlit materyali, 3 L/dak), (d) S8 (Sistem 8; %25 geliştirilmiş perlit materyali, 9 L/dak)

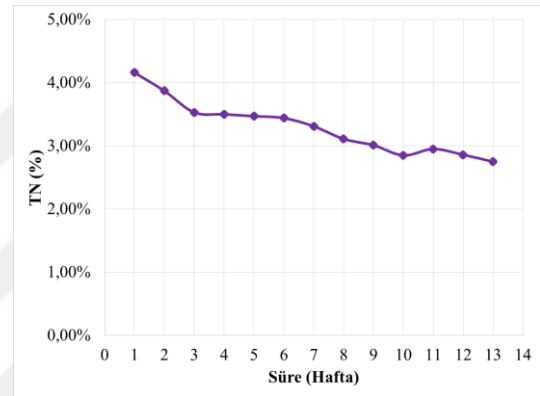
4.1.2.6. Genleştirilmiş perlitin toplam azot (TN) değişimi üzerine etkisi

Şekil 4.12’de kompostlaştırma prosesi süresince geliştirilmiş perlit ile yürütülen sistemlerdeki toplam azot (TN) değişimleri gösterilmektedir. Başlangıçta %3.7-4.1 arasında olan toplam azot (TN) değerleri, proses süresince azalma göstermiştir. Bu azalmalar ilk üç hafta daha belirgin bir oranda gerçekleşirken, 3. haftadan sonra

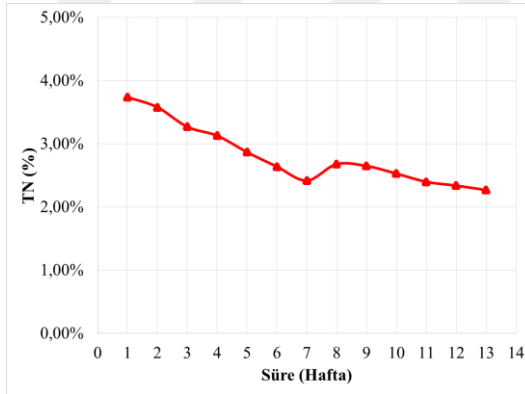
nispeten daha düşük değişimlerle gerçekleşmiştir. Proses sonunda toplam azot (TN) değerleri, S2 (Sistem 2; %10 genleştilirilmiş perlit materyali, 6 L/dak) sistemi için %1.45, S4 (Sistem 4; %40 genleştilirilmiş perlit materyali, 6 L/dak) sistemi için %2.75, S6 (Sistem 6; %25 genleştilirilmiş perlit materyali, 3 L/dak) sistemi için %2.27 ve S8 (Sistem 8; %25 genleştilirilmiş perlit materyali, 9 L/dak) sistemi için %2.45 olarak ölçülmüştür. Buna göre, genleştilirilmiş perlit ile yürütölen kompostlaştırma sistemlerinde en az toplam azot (TN) kaybı %32.12 ile S4 (Sistem 4; %40 genleştilirilmiş perlit materyali, 6 L/dak) sisteminde, en fazla toplam azot (TN) kaybı ise %62.82 ile S2 (Sistem 2; %10 Perlit materyali, 6 L/dak) sisteminde gözlenmiştir.



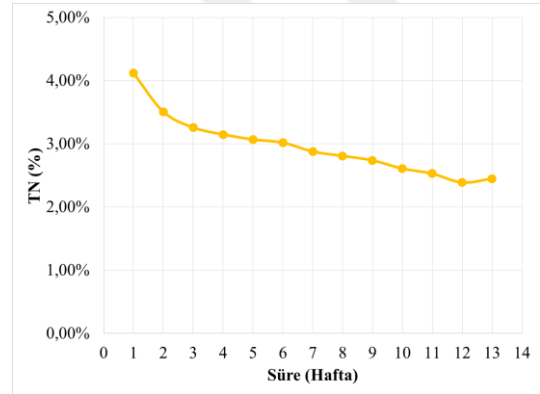
(a)



(b)



(c)



(d)

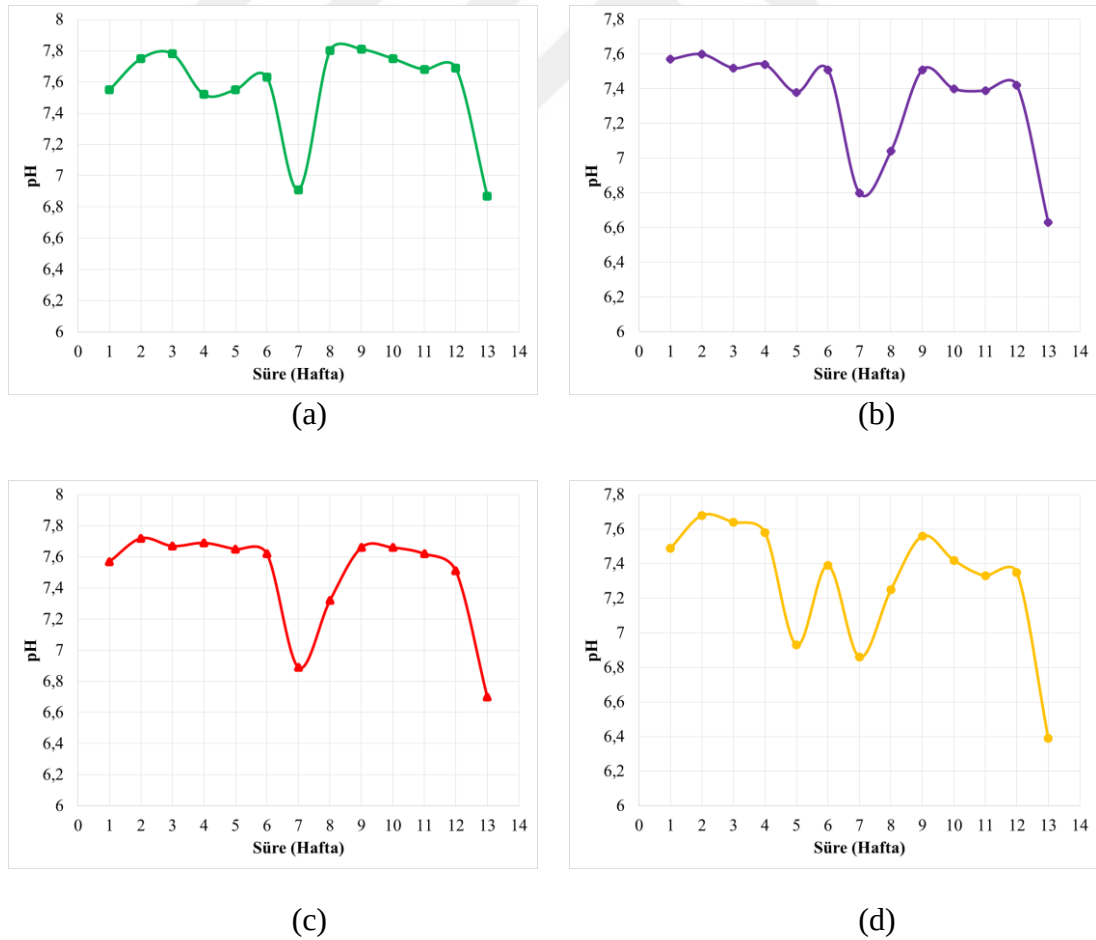
Şekil 4.12. Genleştilirilmiş perlitin toplam azot (TN) değişimi üzerine etkisi

(a) S2 (Sistem 2; %10 genleştilirilmiş perlit materyali, 6 L/dak), (b) S4 (Sistem 4; %40 genleştilirilmiş perlit materyali, 6 L/dak), (c) S6 (Sistem 6; %25 genleştilirilmiş perlit materyali, 3 L/dak), (d) S8 (Sistem 8; %25 genleştilirilmiş perlit materyali, 9 L/dak)

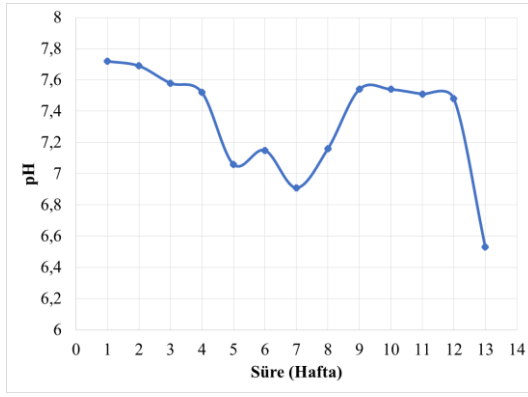
4.1.3. Genleştirilmiş vermikülitin kompostlaştırma prosesine etkisi

4.1.3.1. Genleştirilmiş vermikülitin pH değışimi üzerine etkisi

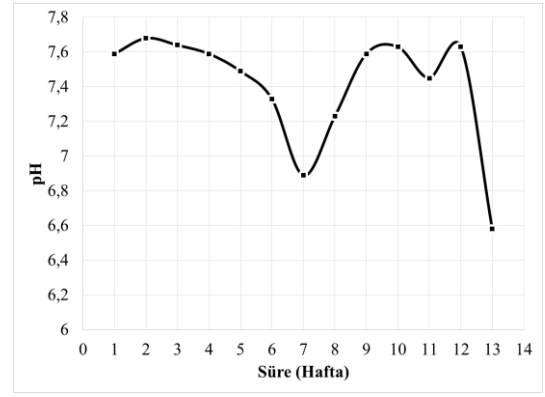
Şekil 4.13'te genleştirilmiş vermikülit ile yürütölen kompostlaştırma sistemlerinde proses süresince gözlenen pH değışimleri gösterilmektedir. Prosesin ilk haftasında ortalama 7.5 olan pH değeri, 6 hafta boyunca küçük salınımlarla azalan bir eğri oluşturmuştur. Şekil 4.13'te göröldüğü gibi en düşük pH değeri 7. haftada 6.8 olarak ölçölen %40 oranında genleştirilmiş vermikülit içeren S10 (Sistem 10; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak) sisteminde elde edilmiştir. 7. haftadan 9. haftaya kadar pH değeri kısmen artmakla birlikte, 9. haftadan sonra tekrar azalmaya başlamıştır. Sistemlerin pH değışiminde azalmaların olması ortamda organik asitlerin oluştuğunu göstermektedir. Genleştirilmiş vermikülit kullanılarak gerçekleştirilen kompostlaştırma sistemlerinden elde edilen kompostların, “olgun kompost” için gerekli pH aralığında olduğı gözlenmiştir (WERL, 2000).



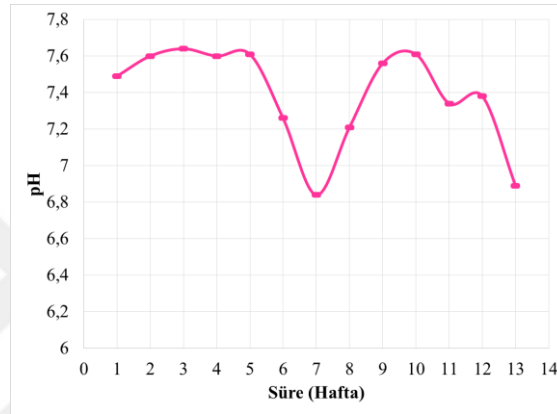
Şekil 4.13. Genleştirilmiş vermikülitin pH değışimi üzerine etkisi



(e)



(f)



(g)

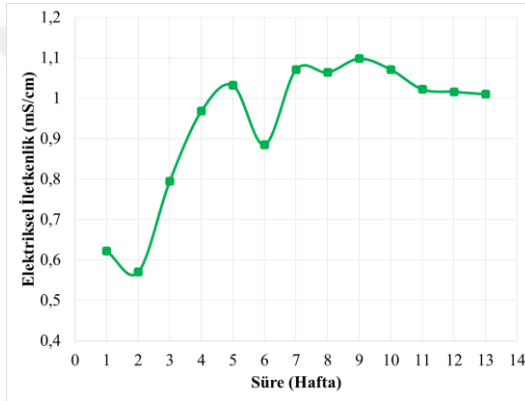
Şekil 4.13. Genleştirilmiş vermikülitin pH değişimi üzerine etkisi (devam)

(a) S9 (Sistem 9; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak), (b) S10 (Sistem 10; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak), (c) S11 (Sistem 11; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak), (d) S12 (Sistem 12; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak), (e) S13 (Sistem 13; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak), (f) S14 (Sistem 14; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak), (g) S15 (Sistem 15; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak)

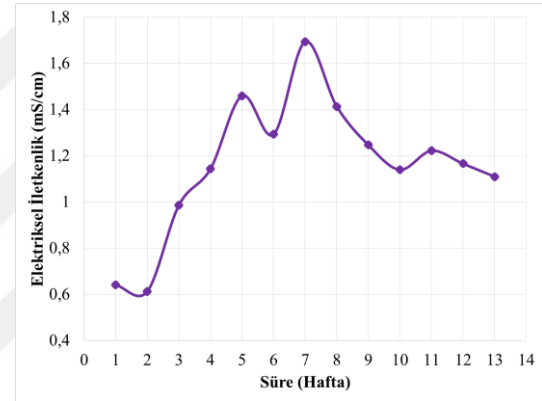
4.1.3.2. Genleştirilmiş vermikülitin elektriksel iletkenlik değişimi üzerine etkisi

Genleştirilmiş vermikülit ile yürütülen kompostlaştırma sistemlerindeki elektriksel iletkenlik değişimleri Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Sistemlerde proses başlangıcındaki elektriksel iletkenlik değerleri 2. haftadan itibaren belirgin olarak artmıştır. Proses başlangıcında ortalama 0.75 mS/cm olarak ölçülen elektriksel iletkenlik değerleri, proses sonunda S9 (Sistem 9; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak) sistemi için 1.010 mS/cm, S10 (Sistem 10; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali; 3 L/dak) sistemi için 1.110 mS/cm, S11 (Sistem 11; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak) sistemi için 1.003 mS/cm, S12 (Sistem 12; %40 genleştirilmiş

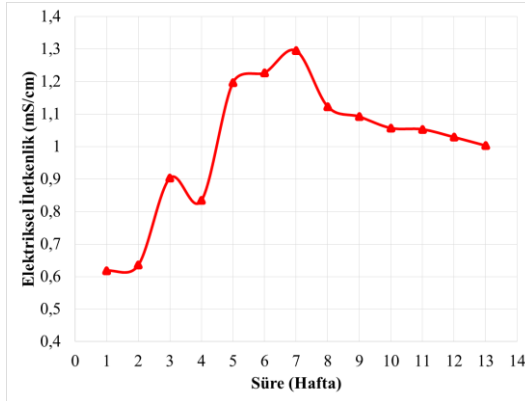
vermikülit materyali, 9 L/dak) sistemi için 1.089 mS/cm, S13 (Sistem 13; %25 genişletilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sistemi için 1.083 mS/cm, S14 (Sistem 14; %25 genişletilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sistemi için 1.145 mS/cm ve S15 (Sistem 15; %25 genişletilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sistemi için 1.092 mS/cm olarak ölçülmüştür. Penwarn (2002)'e göre <1 mS/cm elektriksel iletkenlik değerine sahip kompostların olgunlaşma derecesi “çok iyi”, 1-2 mS/cm elektriksel iletkenlik değerine sahip kompostların olgunlaşma derecesi “orta” olarak kabul edilmektedir. Buna göre, proses sonunda genişletilmiş vermikülit kullanılarak gerçekleştirilen kompostlaştırma sistemlerinden elde edilen kompostların elektriksel iletkenlik değeri açısından olgunlaşma derecesi “orta” olarak belirlenmiştir.



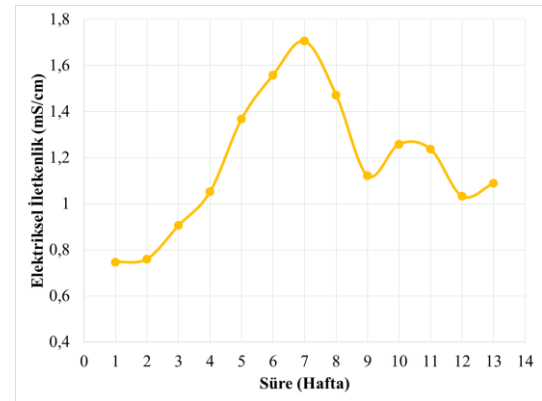
(a)



(b)

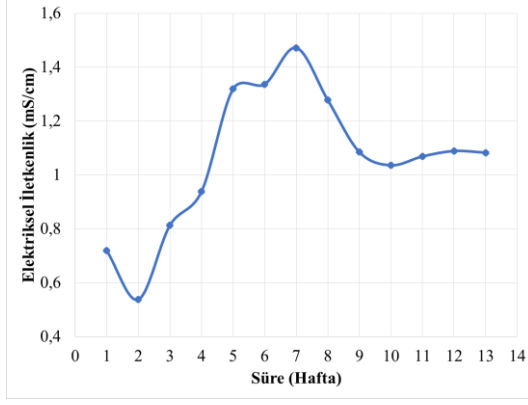


(c)

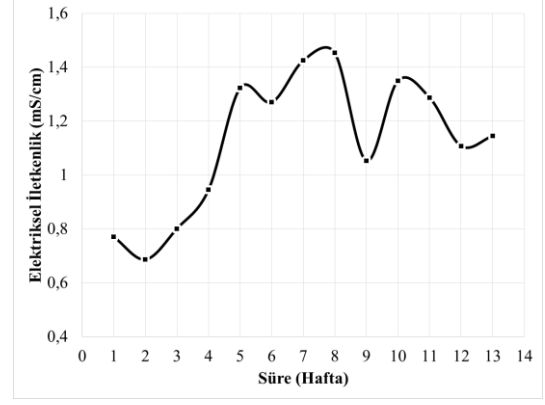


(d)

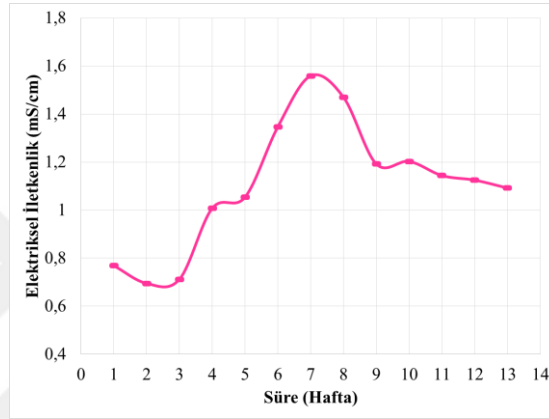
Şekil 4.14. Genleştirilmiş vermikülitin elektriksel iletkenlik değişimi üzerine etkisi



(e)



(f)

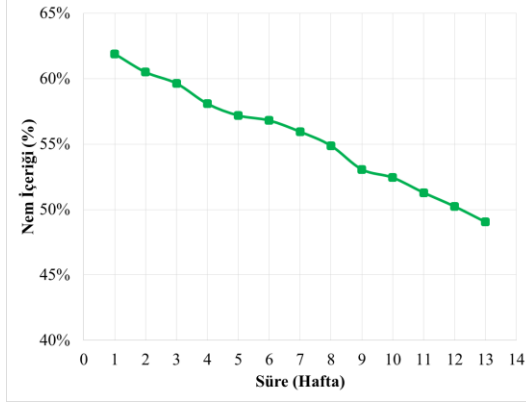


(g)

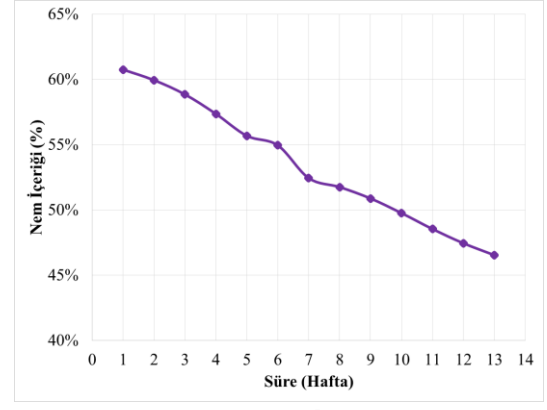
Şekil 4.14. Genleştirilmiş vermikülitin elektriksel iletkenlik değişimi üzerine etkisi (devam) (a) S9 (Sistem 9; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak), (b) S10 (Sistem 10; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak), (c) S11 (Sistem 11; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak), (d) S12 (Sistem 12; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak), (e) S13 (Sistem 13; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak), (f) S14 (Sistem 14; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak), (g) S15 (Sistem 15; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak)

4.1.3.3. Genleştirilmiş vermikülitin nem içeriği değişimi üzerine etkisi

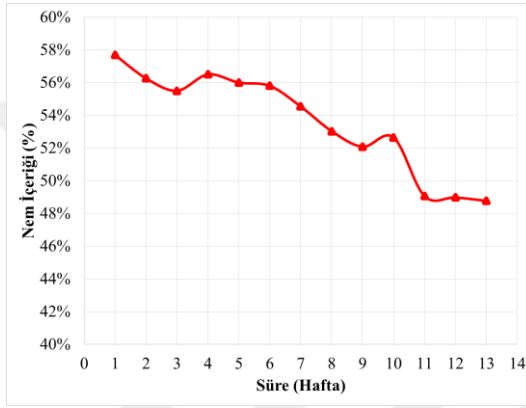
Genleştirilmiş vermikülit kullanılarak gerçekleştirilen kompostlaştırma sistemlerinde proses süresince nem içeriği değişimleri Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Kompostlaştırma prosesi sonunda elde edilen değerlerin %50'nin çok altında olduğu ve optimum nem içeriği değerini sağlamadığı görülmüştür. Şekil 4.15'te de görüldüğü üzere, nem içeriği değerleri tüm sistemlerde proses süresince azalma göstermiştir. En belirgin azalma %25 oranında genleştirilmiş vermikülit içeren S14 (Sistem 14; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sisteminde gerçekleşmiştir.



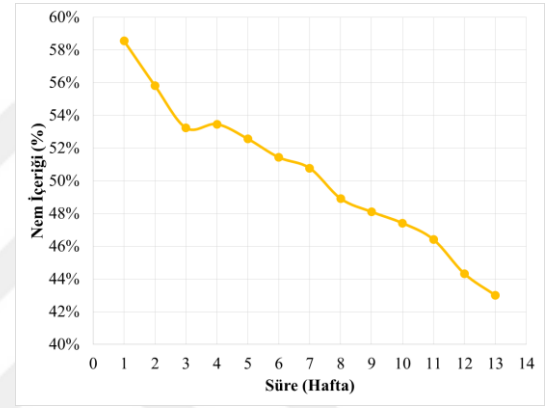
(a)



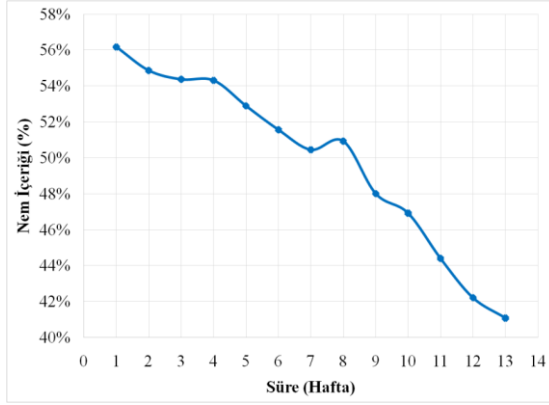
(b)



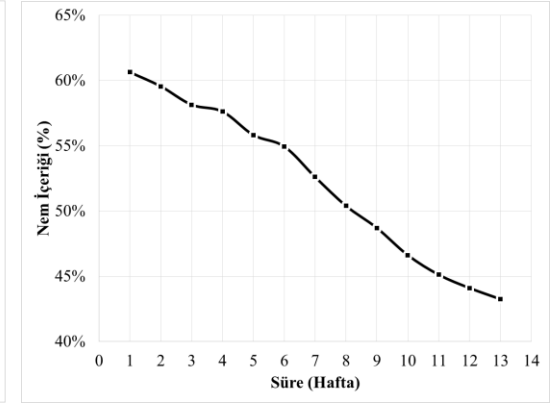
(c)



(d)

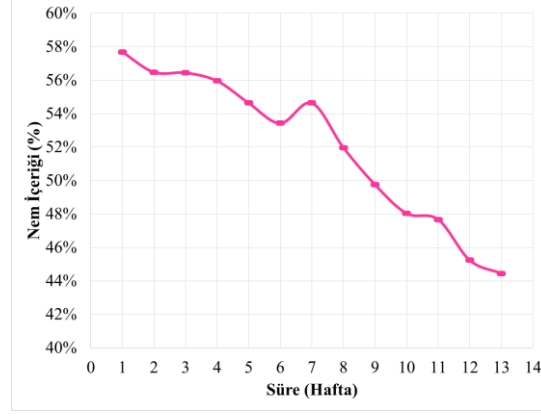


(e)



(f)

Şekil 4.15. Genleştirilmiş vermikülitin nem içeriği değişimi üzerine etkisi



(g)

Şekil 4.15. Genleştirilmiş vermikülitin nem içeriği değişimi üzerine etkisi (devam)

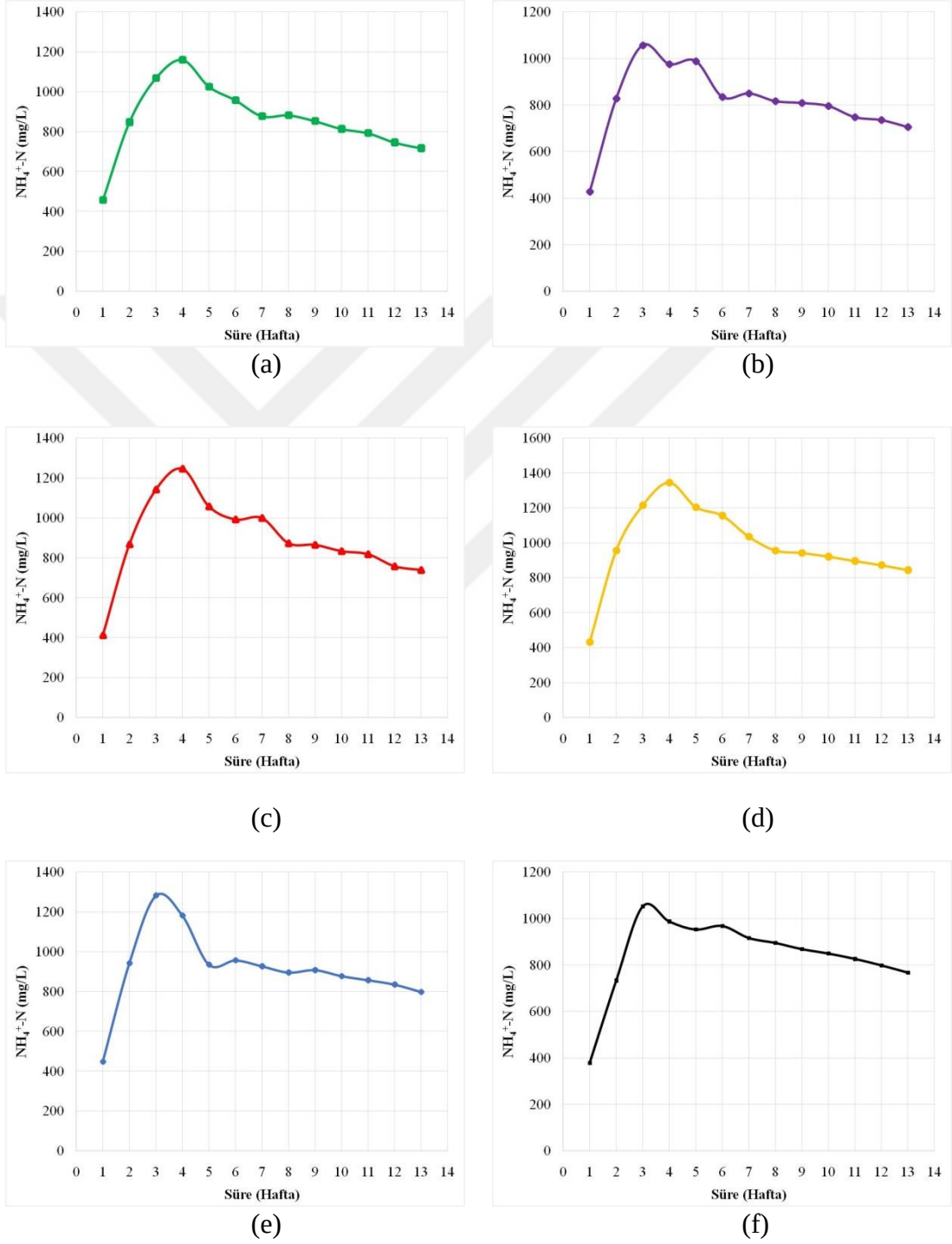
(a) S9 (Sistem 9; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak), (b) S10 (Sistem 10; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak), (c) S11 (Sistem 11; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak), (d) S12 (Sistem 12; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak), (e) S13 (Sistem 13; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak), (f) S14 (Sistem 14; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak), (g) S15 (Sistem 15; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak)

4.1.3.4. Genleştirilmiş vermikülitin amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi

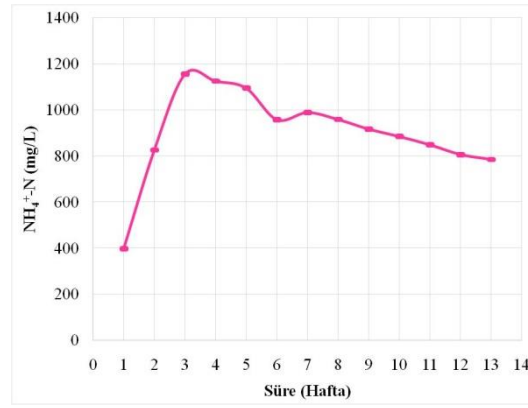
Genleştirilmiş vermikülit kullanılarak gerçekleştirilen kompostlaştırma sistemlerinde amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerinin proses süresince değişimi Şekil 4.16'da gösterilmektedir. Sistemlerde başlangıç amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerleri yaklaşık olarak 400 mg/L olarak ölçülmüştür. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerleri ilk 4 hafta artış göstermiştir ve en yüksek artış 1345.24 mg/L olarak S12 (Sistem 12; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak) sisteminde gerçekleşmiştir. 8. haftadan itibaren amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişimleri ihmal edilecek düzeyde küçük salınımlar yapmıştır.

Genleştirilmiş vermikülit kullanılarak gerçekleştirilen sistemlerde amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerleri, S9 (Sistem 9; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak) sistemi için 715.82 mg/L, S10 (Sistem 10; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali; 3 L/dak) sistemi için 705.33 mg/L, S11 (Sistem 11; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak) sistemi için 738.65 mg/L, S12 (Sistem 12; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak) sistemi için 844.21 mg/L, S13 (Sistem 13; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sistemi için 797.67 mg/L, S14 (Sistem 14; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sistemi için 766.72 mg/L ve S15 (Sistem 15; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sistemi

için 784.41 mg/L olarak ölçülmüştür. Genleştirilmiş vermikülit kullanılan sistemlerden elde edilen kompostların amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerleri 500 mg/L'nin oldukça üzerinde olduğundan WERL (2000)'e göre kompost kalite kriterleri açısından “olgunlaşmamış” olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 4.16. Genleştirilmiş vermikülitin amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi



(g)

Şekil 4.16. Genleştirilmiş vermikülitin amonyum azotu (NH₄⁺-N) değişimi üzerine etkisi (devam) (a) S9 (Sistem 9; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak), (b) S10 (Sistem 10; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak), (c) S11 (Sistem 11; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak), (d) S12 (Sistem 12; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak), (e) S13 (Sistem 13; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak), (f) S14 (Sistem 14; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak), (g) S15 (Sistem 15; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak)

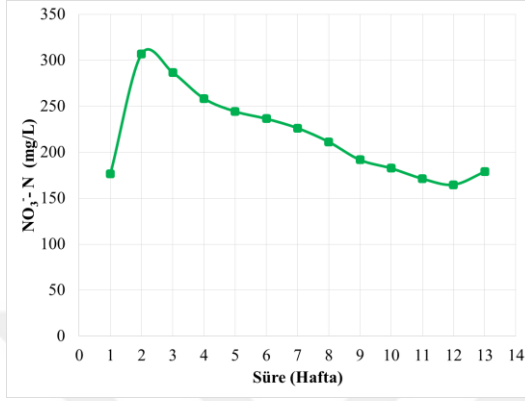
4.1.3.5. Genleştirilmiş vermikülitin nitrat azotu (NO₃⁻-N) değişimi üzerine etkisi

Genleştirilmiş vermikülit ile yürütülen sistemlerde proses süresince nitrat azotu (NO₃⁻-N) değişimleri Şekil 4.17’de gösterilmektedir. Proses başlangıcında 176.56–248.44 mg/L olan nitrat azotu (NO₃⁻-N) değerleri ilk 2 hafta içerisinde belirgin bir artış göstermiştir. 2. haftadan itibaren nitrat azotu (NO₃⁻-N) değerleri proses süresince azalmıştır.

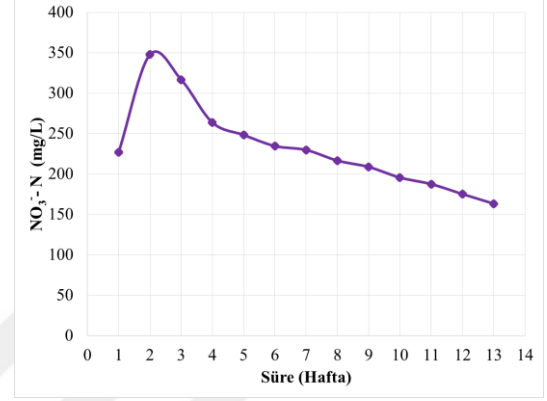
Proses sonunda ölçülen amonyum azotu (NH₄⁺-N) değerleri, nitrat azotu (NO₃⁻-N) değerlerine oranlanmış ve bu oran S9 (Sistem 9; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak) sistemi için 4.00, S10 (Sistem 10; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali; 3 L/dak) sistemi için 4.32, S11 (Sistem 11; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak) sistemi için 4.09, S12 (Sistem 12; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak) sistemi için 4.30, S13 (Sistem 13; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sistemi için 4.21, S14 (Sistem 14; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sistemi için 4.60 ve S15 (Sistem 15; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sistemi için 4.50 olarak bulunmuştur.

WERL (2000) kompost kalite kriterlerine göre olgunlaşmış kompost için belirlenen amonyum azotu (NH₄⁺-N)/nitrat azotu (NO₃⁻-N) değeri %0.5-3 aralığında olmalıdır. Proses sonunda genleştirilmiş vermikülit ile yürütülen kompostlaştırma

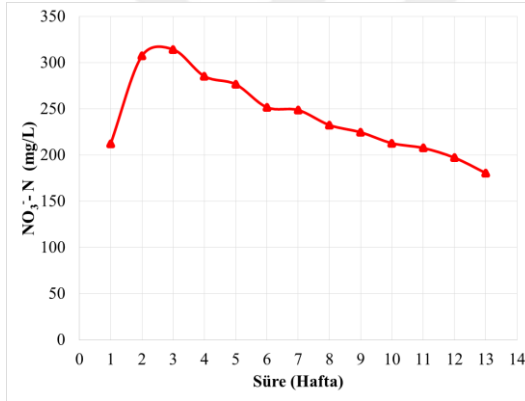
sistemlerinden elde edilen kompostların amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)/nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) oranlarına bakıldığında, tüm sistemlerde bu oranın 3'ten büyük çıktığı görülmektedir. Bu nedenle, genişletilmiş vermikülit içeren sistemlerden elde edilen kompostlar “olgunlaşmamış” olarak değerlendirilmiştir.



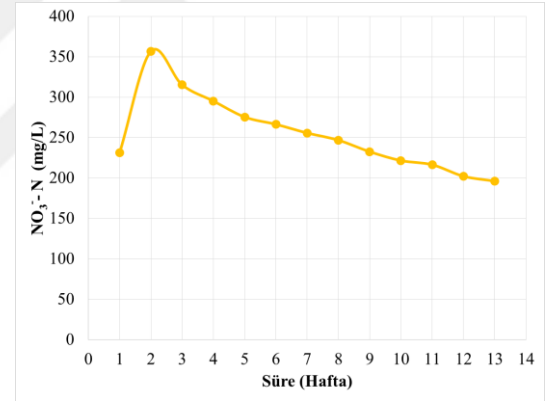
(a)



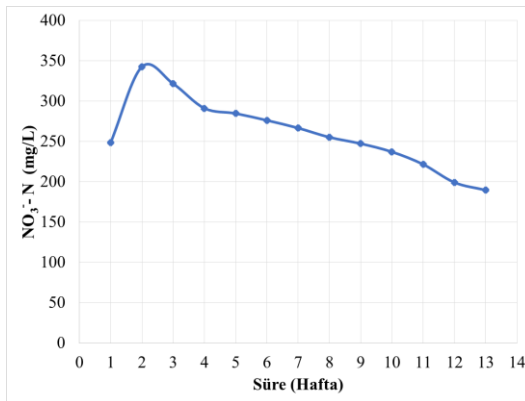
(b)



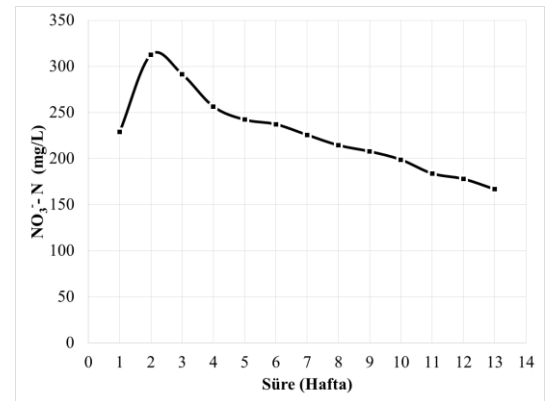
(c)



(d)

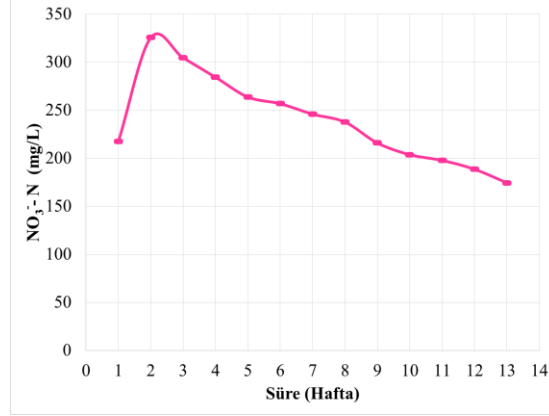


(e)



(f)

Şekil 4.17. Genleştirilmiş vermikülitin nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişimi üzerine etkisi



(g)

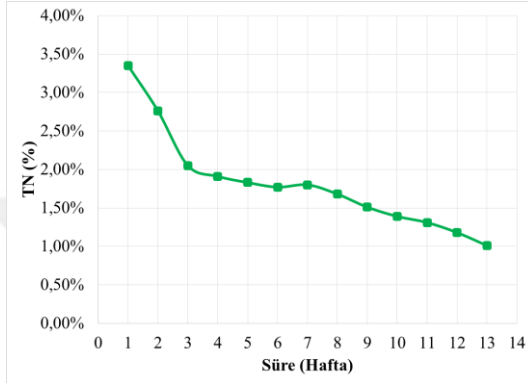
Şekil 4.17. Genleştirilmiş vermikülitin nitrat azotu (NO_3^- -N) değişimi üzerine etkisi (devam) (a) S9 (Sistem 9; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak), (b) S10 (Sistem 10; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak), (c) S11 (Sistem 11; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak), (d) S12 (Sistem 12; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak), (e) S13 (Sistem 13; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak), (f) S14 (Sistem 14; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak), (g) S15 (Sistem 15; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak)

4.1.3.6. Genleştirilmiş vermikülitin toplam azot (TN) değişimi üzerine etkisi

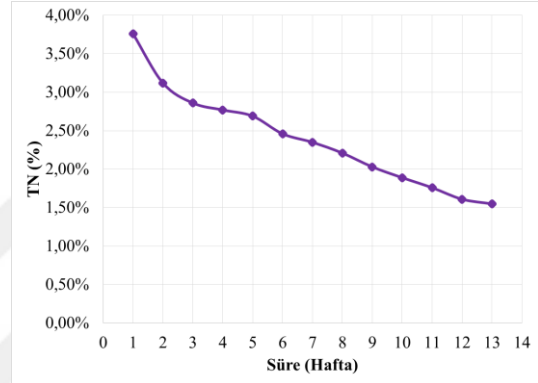
Proses süresince genleştirilmiş vermikülit kullanılarak gerçekleştirilen kompostlaştırma sistemlerinden elde edilen toplam azot (TN) değerlerinin değişimleri Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Şekil 4.18’de de görüleceği üzere toplam azot (TN) değerleri proses süresince azalma göstermiştir.

Proses sonunda toplam azot (TN) değeri, S9 (Sistem 9; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak) sisteminde %1.01, S10 (Sistem 10; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak) sisteminde %1.55, S11 (Sistem 11; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak) sisteminde %0.87, S12 (Sistem 12; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak) sisteminde %1.23, S13 (Sistem 13; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sisteminde %1.38, S14 (Sistem 14; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sisteminde %1.01 ve S15 (Sistem 15; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sisteminde %0.95 olarak ölçülmüştür. Proses başlangıcındaki toplam azot (TN) değerlerine göre; azot kaybı S9 (Sistem 9; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak) sisteminde %69.85, S10 (Sistem 10; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak) sisteminde %58.78, S11 (Sistem 11; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak) sisteminde %76.42, S12 (Sistem 12; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak) sisteminde %65.35, S13 (Sistem 13; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak)

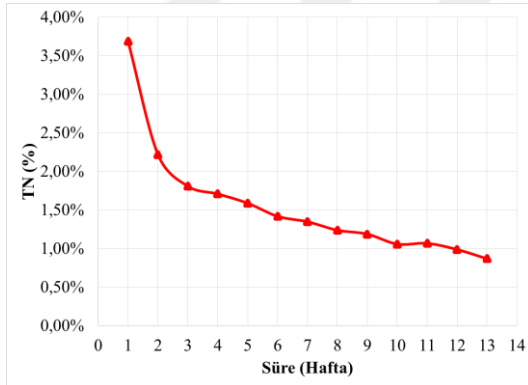
sisteminde %64.25, S14 (Sistem 14; %25 genişletilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sisteminde %72.25 ve S15 (Sistem 15; %25 genişletilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak) sisteminde ise %75.78 olarak belirlenmiştir. Buna göre genişletilmiş vermikülit kullanılarak gerçekleştirilen sistemlerden en fazla azot kaybı S11 (Sistem 11; %10 genişletilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak) sisteminde, en düşük azot kaybı ise S10 (Sistem 10; %40 genişletilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak) sisteminde gerçekleşmiştir.



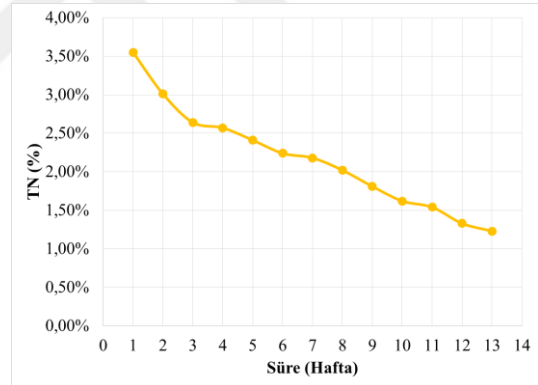
(a)



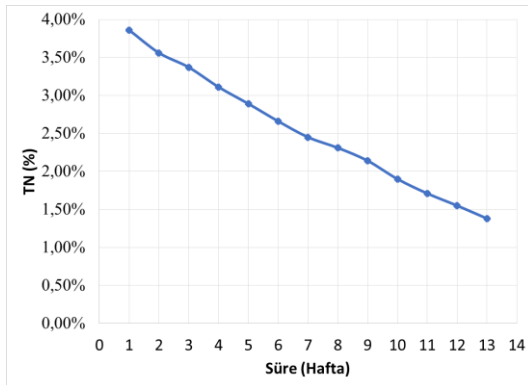
(b)



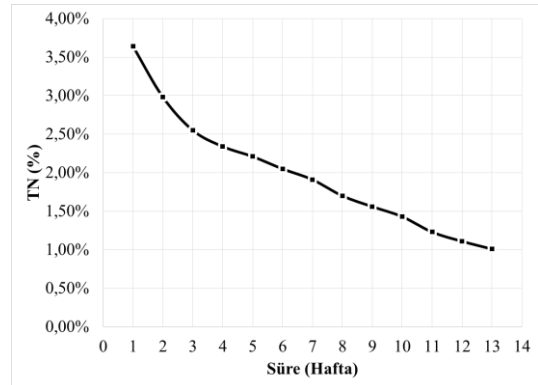
(c)



(d)

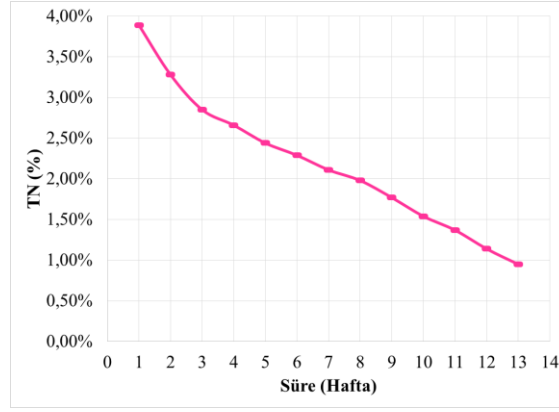


(e)



(f)

Şekil 4.18. Genleştirilmiş vermikülitin toplam azot (TN) değişimi üzerine etkisi



(g)

Şekil 4.18. Genleştirilmiş vermikülitin toplam azot (TN) değişimi üzerine etkisi

(devam) (a) S9 (Sistem 9; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak), (b) S10 (Sistem 10; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak), (c) S11 (Sistem 11; %10 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak), (d) S12 (Sistem 12; %40 genleştirilmiş vermikülit materyali, 9 L/dak), (e) S13 (Sistem 13; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak), (f) S14 (Sistem 14; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak), (g) S15 (Sistem 15; %25 genleştirilmiş vermikülit materyali, 6 L/dak)

4.2. Parametrelerin Deneysel Tasarım Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.2.1. Model bileşenlerinin parametreler üzerine etkileri ve istatistiksel değerlendirme

Bu çalışmada malzeme türü, malzeme oranı ve havalandırma oranları değişkenlerinin pH, elektriksel iletkenlik, nem içeriği, amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ve toplam azot (TN) değişkenleri üzerindeki etkileri Box-Behnken deneysel tasarım tekniği ile incelenmiştir.

Çalışmanın temel amacı, her bir bağımlı değişken için malzeme türü, malzeme oranı ve havalandırma oranları değişkenlerinin etkilerini test etme ve optimal seviyeleri tespit etmektir. Çalışmada her bir bağımlı değişken için varyans analizi sonuçları (ANOVA), regresyon katsayıları sonuçları, üç boyutlu grafiksel gösterimler ve optimum düzey sonuçları verilmiştir.

4.2.1.1 pH

Deneysel tasarım yönteminde faktörlerin etkileri sayısal olarak hesaplanmış ve bu sayısal değerler varyans analizi (ANOVA) incelenerek değerlerin anlamlı olup olmadığına yani faktörün deney sonucunda etkili olup olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. pH değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	Sd	Düz. KT	Düz. KO	F-istatistiği	p
Model	9	2.57E-01	2.86E-02	1.220	0.436
Lineer	3	1.06E-01	3.52E-02	1.500	0.323
A	1	1.80E-03	1.80E-03	0.080	0.793
B	1	9.25E-02	9.25E-02	3.930	0.104
C	1	1.13E-02	1.13E-02	0.480	0.520
Kareli	3	1.42E-01	4.72E-02	2.010	0.232
A*A	1	1.14E-01	1.14E-01	4.830	0.079
B*B	1	7.62E-03	7.62E-03	0.320	0.594
C*C	1	1.54E-02	1.54E-02	0.660	0.455
İki yönlü etkileşimler	3	1.03E-02	3.43E-03	0.150	0.928
A*B	1	2.50E-05	2.50E-05	0.000	0.975
A*C	1	9.03E-03	9.03E-03	0.380	0.563
B*C	1	1.23E-03	1.23E-03	0.050	0.828
Hata	5	1.18E-01	2.35E-02		
Uyum Eksikliği	3	4.15E-02	1.38E-02	0.360	0.791
Hata	2	7.61E-02	3.80E-02		
Toplam	14	3.75E-01			

R²: % 68.65 Sd:serbestlik derecesi, Düz. KT:düzeltilmiş kareler toplamı, Düz. KO:düzeltilmiş kareler ortalaması, F-istatistiği:F testi sonucunda elde edilen test istatistiği, p:testin anlamlılık değeri

Çizelge 4.1’de pH değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları gösterilmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre bu modele ilişkin lineer etkiler, kareli etkiler ve iki yönlü etkileşimler istatistiksel olarak anlamsızdır ($p>0.05$).

pH değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin performans ölçüleri gösterilmektedir. Bu modelin belirtme katsayısına göre, oluşturulan cevap yüzey modeli malzeme türü, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenleri tarafından pH değişkenini %68.65 oranında açıklamaktadır. Bu oran pH değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modelinin orta düzeyde açıklayıcılık gücüne sahip

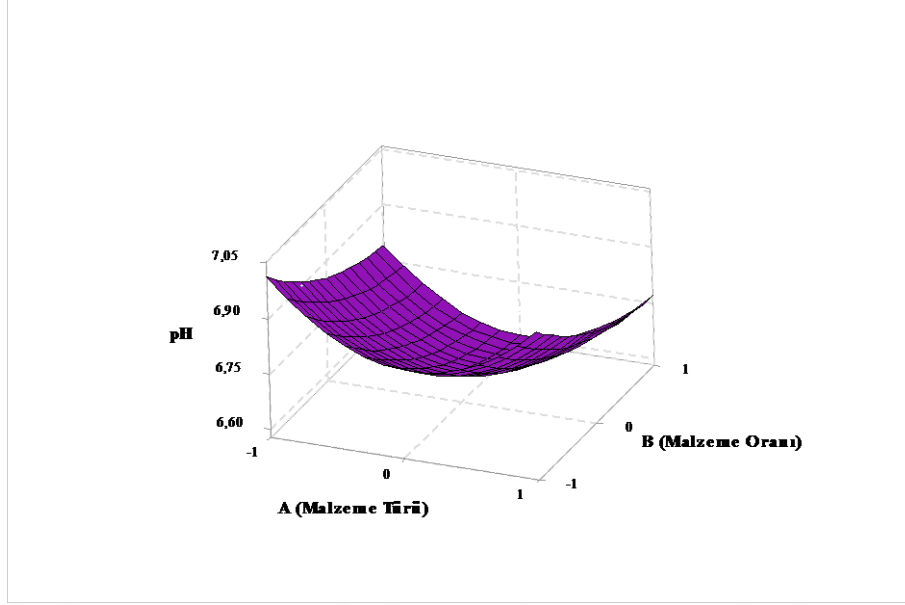
olduğunu göstermektedir. Ancak düzeltilmiş R^2 değerinin oldukça düşük olması, modelin performansının düşük olduğuna işaret etmektedir.

Çizelge 4.2. pH değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları

Terim	β	SH(β)	t-istatistiği	p	VIF
Sabit terim	6.67E+04	8.85E-02	75.320	<0.001	-
A	-1.50E-02	5.42E-02	-0.280	0.793	1.000
B	-1.08E-01	5.42E-02	-1.980	0.104	1.000
C	-3.75E-02	5.42E-02	-0.690	0.520	1.000
A*A	1.75E-01	7.98E-02	2.200	0.079	1.010
B*B	4.54E-02	7.98E-02	0.570	0.594	1.010
C*C	-6.46E-02	7.98E-02	-0.810	0.455	1.010
A*B	2.50E-03	7.67E-02	0.030	0.975	1.000
A*C	-4.75E-02	7.67E-02	-0.620	0.563	1.000
B*C	-1.75E-02	7.67E-02	-0.230	0.828	1.000

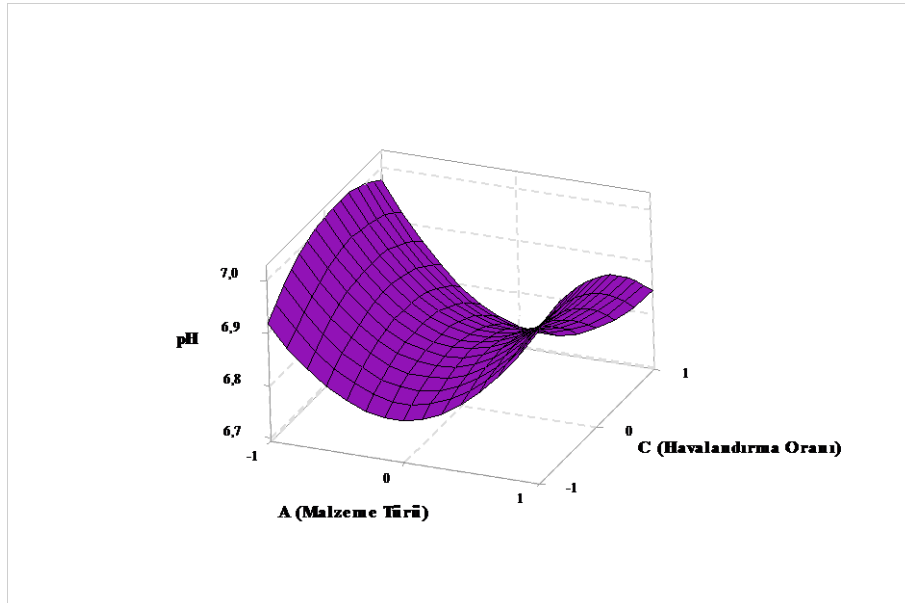
SH:standart hata, t-istatistiği:ilgili regrasyon katsayısına ilişkin t-testi sonucuna ait değer, p:testin anlamlılık değeri, VIF:varyans şişirme çarpanı

Çizelge 4.2’de pH değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre bağımsız değişkenlere ait tüm bileşenler istatistiksel olarak anlamsızdır ($p>0.05$). Bu modelde yer alan bağımsız değişkenlerin bileşenlerinin VIF değerleri 10’dan küçük olduğundan dolayı pH değişkeni için oluşturulan Box-Behnken deneysel tasarımında çoklu bağlantı problemi bulunmamaktadır.



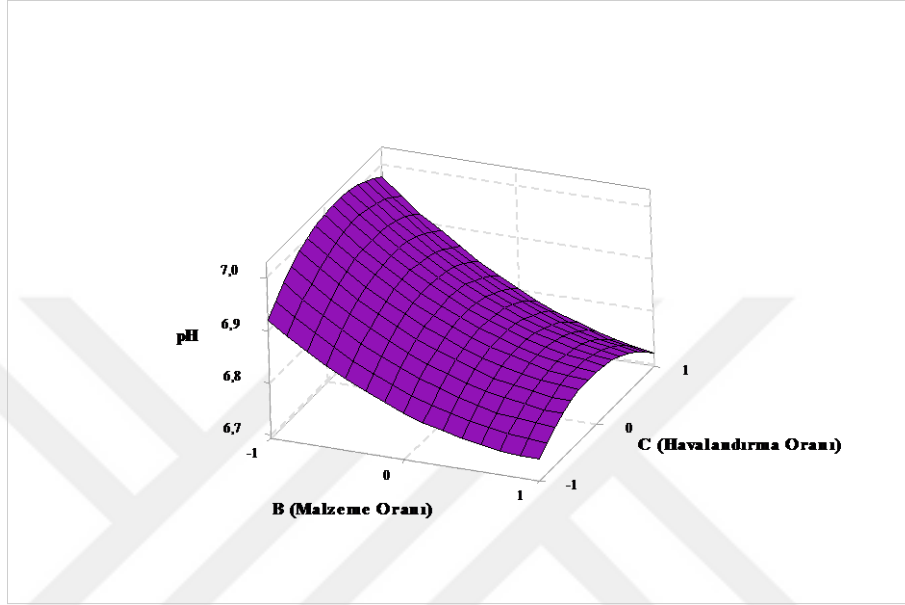
Şekil 4.19. pH değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.19’da pH değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre pH değişkeni ile malzeme oranı arasında ters yönlü bir ilişki mevcuttur. Malzeme türünün pomza ile genişleştirilmiş vermikülit arasındaki değerleri için malzeme türü ile pH değişkeni arasında ters yönlü ilişki varken, genişleştirilmiş vermikülit ile genişleştirilmiş perlit arasındaki değerleri için malzeme türü ile pH değişkeni arasında aynı yönlü ilişki bulunmaktadır.



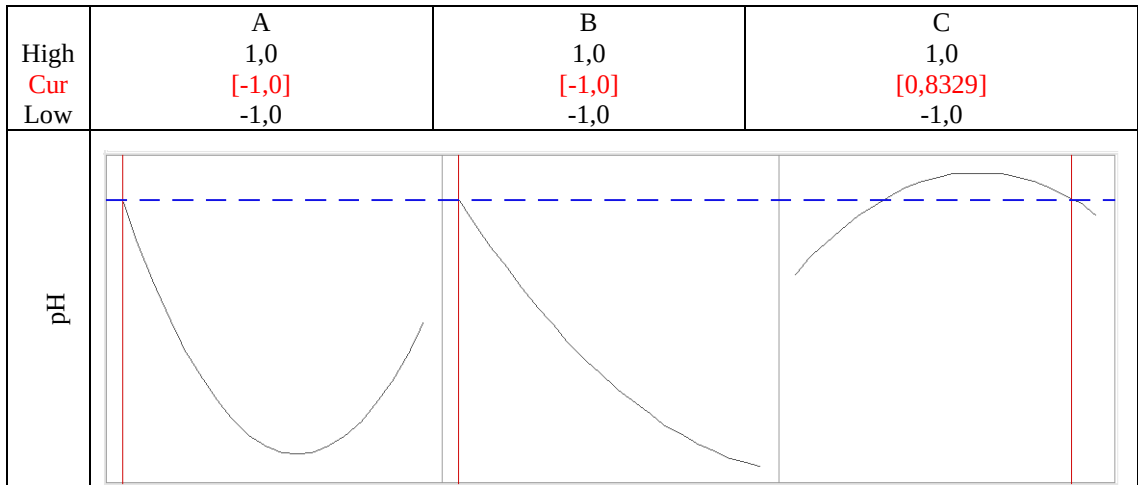
Şekil 4.20. pH değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.20’de pH değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre havalandırma oranının 3 L/dak ile 6 L/dak arasındaki değerleri için havalandırma oranı ile pH değişkeni arasında aynı yönlü ilişki varken, 6 L/dak ile 9 L/dak arasındaki değerleri için havalandırma oranı ile pH değişkeni arasında ters yönlü ilişki bulunmaktadır.



Şekil 4.21. pH değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.21’de pH değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre pH değişkeni ile malzeme oranı arasında ters yönlü bir ilişki mevcuttur.



Şekil 4.22. pH değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği

Şekil 4.22’de pH değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği gösterilmektedir. Buna göre pH değişkeni için oluşturulan Box-Behnken deneysel tasarımına ait optimum modelde malzeme türünün pomza, malzeme oranı %10 ve havalandırma oranı 9 L/dak olmalıdır.

4.2.1.2. Elektriksel iletkenlik

Elektriksel iletkenlik parametresinin deney sonucunda etkili olup olmadığını tespit etmek amacıyla varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.3’te Elektriksel iletkenlik değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları gösterilmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre bu modele ilişkin malzeme türü değişkeninin lineer ve kareli etkileri elektriksel iletkenlik üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahiptir ($p < 0.05$).

Çizelge 4.3. Elektriksel iletkenlik değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	Sd	Düz. KT	Düz. KO	F-istatistiği	p
Model	9	1.93E+05	2.15E+04	7.920	0.017
Lineer	3	1.22E+05	4.07E+04	15.020	0.006
A	1	1.14E+05	1.14E+05	41.920	0.001
B	1	1.99E+03	1.99E+03	0.730	0.432
C	1	6.50E+03	6.50E+03	2.390	0.182
Kareli	3	6.85E+04	2.28E+04	8.420	0.021
A*A	1	6.56E+04	6.56E+04	24.190	0.004
B*B	1	9.26E+02	9.26E+02	0.340	0.585
C*C	1	5.29E+03	5.29E+03	1.950	0.222
İki yönlü etkileşimler	3	2.69E+03	8.98E+02	0.330	0.804
A*B	1	2.12E+03	2.12E+03	0.780	0.418
A*C	1	5.29E+02	5.29E+02	0.190	0.677
B*C	1	4.90E+01	4.90E+01	0.020	0.898
Hata	5	1.36E+04	2.71E+03		
Uyum Eksikliği	3	1.13E+04	3.77E+03	3.360	0.238
Hata	2	2.25E+03	1.12E+03		
Toplam	14	2.07E+05			

R²:% 93.45 Sd:serbestlik derecesi, Düz. KT:düzeltilmiş kareler toplamı, Düz. KO:düzeltilmiş kareler ortalaması, F-istatistiği:F testi sonucunda elde edilen test istatistiği, p:testin anlamlılık değeri

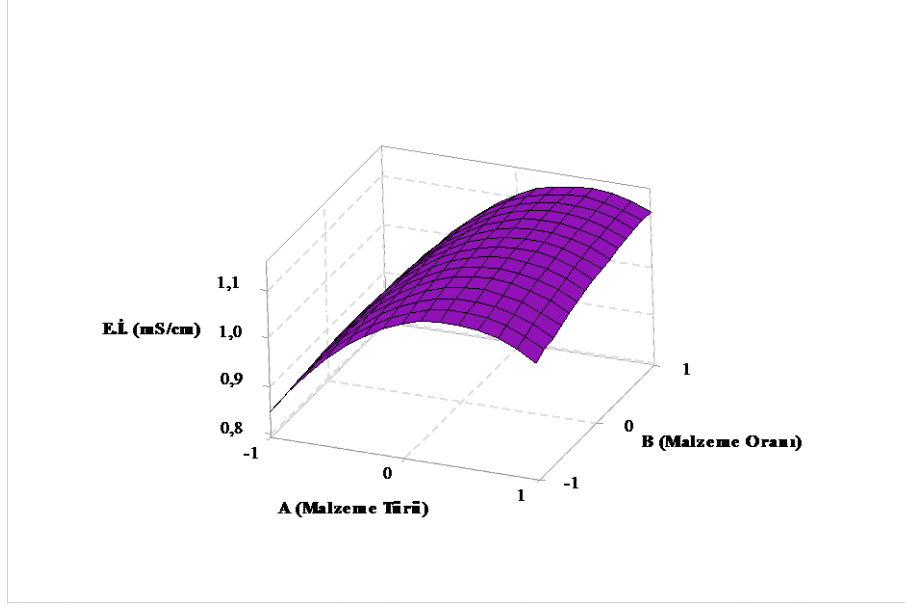
Elektriksel iletkenlik değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin performans ölçüleri gösterilmektedir. Bu modelin belirtme katsayısına göre, oluşturulan cevap yüzey modeli malzeme türü, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenleri tarafından elektriksel iletkenlik değişkenini %93.45 oranında açıklamaktadır. Bu oran elektriksel iletkenlik değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modelinin yüksek düzeyde açıklayıcılık gücüne sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.4. Elektriksel iletkenlik değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları

Terim	β	SH(β)	t-istatistiği	p	VIF
Sabit terim	1.11E+03	3.01E+01	36.800	0.000	
A	1.19E+02	1.84E+01	6.470	0.001	1.000
B	1.57E+01	1.84E+01	0.860	0.432	1.000
C	-2.85E+01	1.84E+01	-1.550	0.182	1.000
A*A	-1.33E+02	2.71E+01	-4.920	0.004	1.010
B*B	-1.58E+01	2.71E+01	-0.580	0.585	1.010
C*C	-3.78E+01	2.71E+01	-1.400	0.222	1.010
A*B	2.30E+01	2.60E+01	0.880	0.418	1.000
A*C	1.15E+01	2.60E+01	0.440	0.677	1.000
B*C	-3.50E+00	2.60E+01	-0.130	0.898	1.000

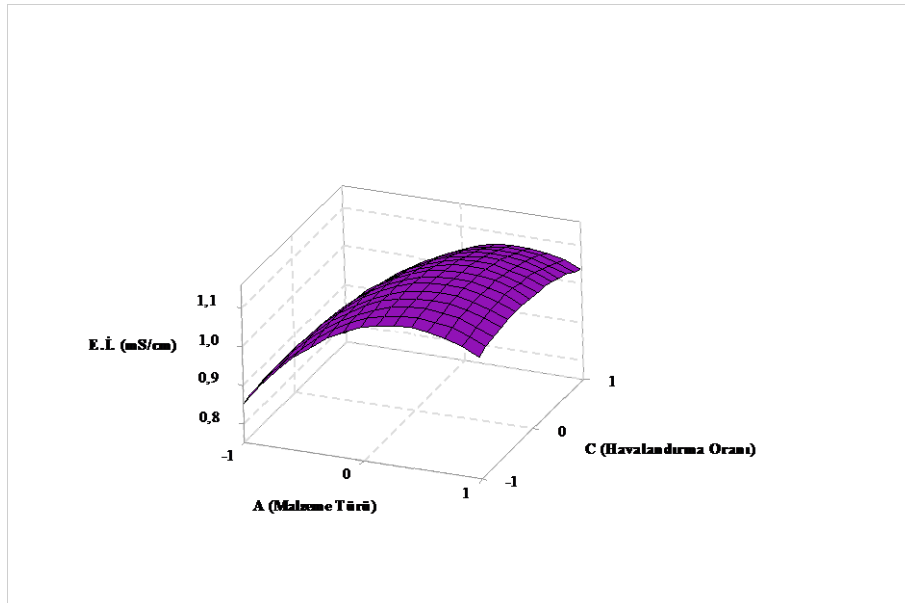
SH:standart hata, t-istatistiği:ilgili regrasyon katsayısına ilişkin t-testi sonucuna ait değer, p:testin anlamlılık değeri, VIF:varyans şişirme çarpanı

Çizelge 4.4'te elektriksel iletkenlik değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre malzeme türü değişkeninin lineer ve kareli etkileri istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.05$). Bu modelde yer alan bağımsız değişkenlerin bileşenlerinin VIF değerleri 10'dan küçük olduğundan dolayı elektriksel iletkenlik değişkeni için oluşturulan Box-Behnken deneysel tasarımında çoklu bağlantı problemi bulunmamaktadır.



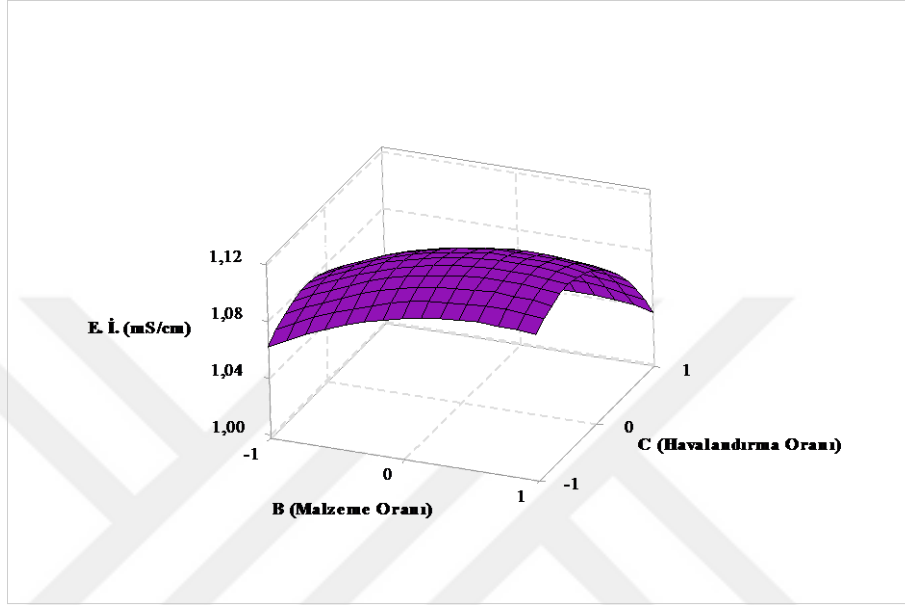
Şekil 4.23. Elektriksel iletkenlik değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.23’de Elektriksel iletkenlik değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre elektriksel iletkenlik değişkeni ile malzeme oranı arasında aynı yönlü ilişki vardır. Malzeme türünün pomza ile geniştirilmiş vermikülit arasındaki değerleri için malzeme türü ile elektriksel iletkenlik değişkeni arasında aynı yönlü ilişki varken, geniştirilmiş vermikülit ile geniştirilmiş perlit arasındaki değerleri için malzeme türü ile elektriksel iletkenlik değişkeni arasında ters yönlü ilişki bulunmaktadır.



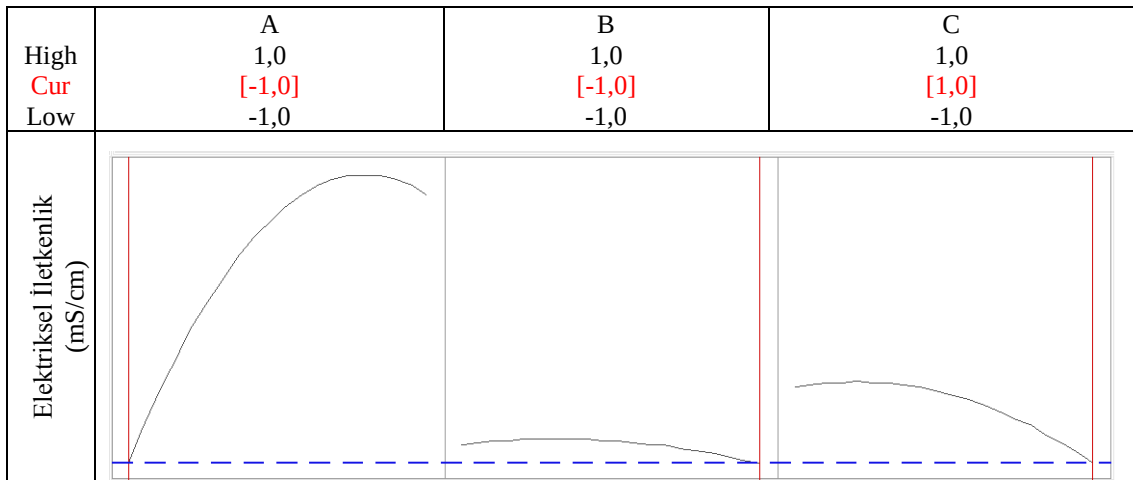
Şekil 4.24. Elektriksel iletkenlik değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 24’te elektriksel iletkenlik değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre elektriksel iletkenlik değişkeni ile havalandırma oranının 3 L/dak ile 6 L/dak arasındaki değerleri için aynı yönlü, 6 L/dak ile 9 L/dak arasındaki değerleri için ters yönlü ilişki vardır.



Şekil 4.25. Elektriksel iletkenlik değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.25’te iletkenlik değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre elektriksel iletkenlik değişkeni ile malzeme oranı arasında aynı yönlü ilişki mevcuttur.



Şekil 4.26. Elektriksel iletkenlik değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği

Şekil 4.26'da Elektriksel iletkenlik değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği gösterilmektedir. Buna göre elektriksel iletkenlik değişkeni için oluşturulan Box-Behnken deneysel tasarımına ait optimum modelde malzeme türünün pomza, malzeme oranı %10 ve havalandırma oranı 9 L/dak olmalıdır.

4.2.1.3. Nem içeriği

Nem içeriği değişkeni için faktörlerin etkileri sayısal olarak hesaplanmış ve varyans analizi (ANOVA) incelenmiştir. Çizelge 4.5'de nem içeriği değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları gösterilmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre bu modele ilişkin malzeme türü değişkeninin kareli etkisi nem içeriği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahiptir ($p < 0.05$).

Çizelge 4.5. Nem içeriği değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	Sd	Düz. KT	Düz. KO	F-istatistiği	p
Model	9	1.46E-02	1.62E-03	1.530	0.334
Lineer	3	1.02E-03	3.40E-04	0.320	0.812
A	1	3.81E-04	3.81E-04	0.360	0.576
B	1	2.23E-04	2.23E-04	0.210	0.667
C	1	4.18E-04	4.18E-04	0.390	0.559
Kareli	3	1.13E-02	3.77E-03	3.540	0.104
A*A	1	9.16E-03	9.16E-03	8.610	0.032
B*B	1	5.69E-04	5.69E-04	0.530	0.498
C*C	1	2.65E-03	2.65E-03	2.480	0.176
İki yönlü etkileşimler	3	2.30E-03	7.66E-04	0.720	0.581
A*B	1	2.81E-04	2.81E-04	0.260	0.630
A*C	1	1.75E-03	1.75E-03	1.650	0.256
B*C	1	2.67E-04	2.67E-04	0.250	0.638
Hata	5	5.32E-03	1.06E-03		
Uyum Eksikliği	3	4.74E-03	1.58E-03	5.410	0.160
Hata	2	5.84E-04	2.92E-04		
Toplam	14	1.99E-02			

R^2 :%73.31 Sd:serbestlik derecesi, Düz. KT:düzeltilmiş kareler toplamı, Düz. KO:düzeltilmiş kareler ortalaması, F-istatistiği:F testi sonucunda elde edilen test istatistiği, p:testin anlamlılık değeri

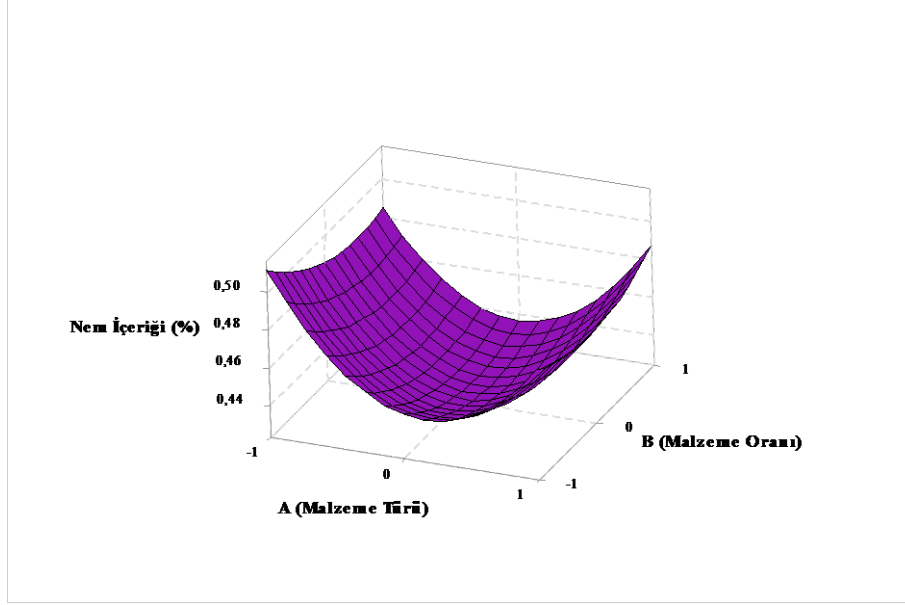
Nem içeriği değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin performans ölçüleri gösterilmektedir. Bu modelin belirtme katsayısına göre, oluşturulan cevap yüzey modeli malzeme türü, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenleri tarafından nem içeriği değişkenini %73.31 oranında açıklamaktadır. Bu oran nem içeriği değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modelinin iyi düzeyde açıklayıcılık gücüne sahip olduğunu göstermektedir. Ancak düzeltilmiş R^2 değerinin oldukça düşük olması, modelin performansının düşük olduğuna işaret etmektedir.

Çizelge 4.6. Nem içeriği değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları

Terim	β	SH(β)	t-istatistiği	p	VIF
Sabit terim	4.29E-01	1.88E-02	22.790	0.000	
A	-6.90E-03	1.15E-02	-0.600	0.576	1.000
B	-5.30E-03	1.15E-02	-0.460	0.667	1.000
C	7.20E-03	1.15E-02	0.630	0.559	1.000
A*A	4.98E-02	1.70E-02	2.930	0.032	1.010
B*B	1.24E-02	1.70E-02	0.730	0.498	1.010
C*C	2.68E-02	1.70E-02	1.580	0.176	1.010
A*B	8.40E-03	1.63E-02	0.510	0.630	1.000
A*C	2.09E-02	1.63E-02	1.280	0.256	1.000
B*C	-8.20E-03	1.63E-02	-0.500	0.638	1.000

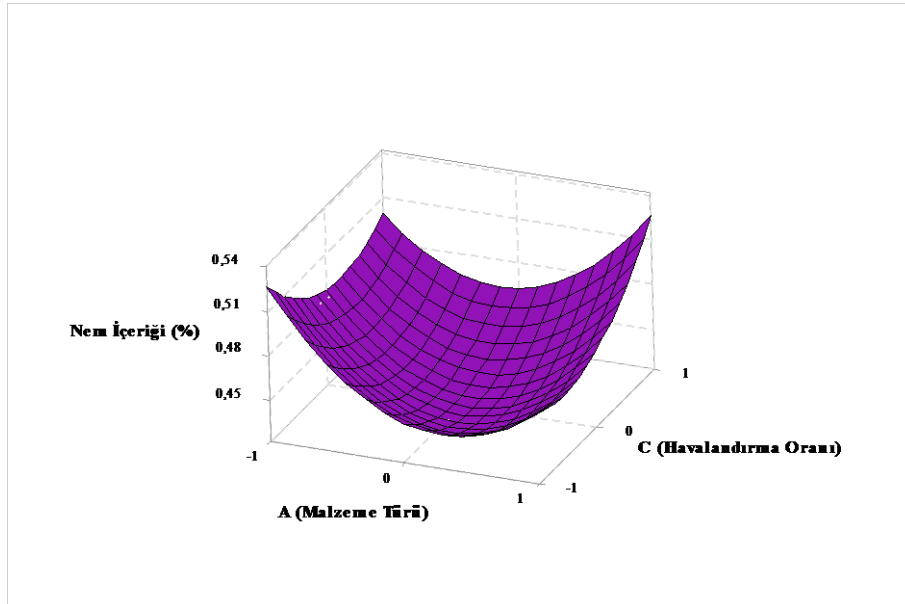
SH:standart hata, t-istatistiği:ilgili regresyon katsayısına ilişkin t-testi sonucuna ait değer, p:testin anlamlılık değeri, VIF:varyans şişirme çarpanı

Çizelge 46'da nem içeriği değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre malzeme türü değişkeninin kareli etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.05$). Bu modelde yer alan bağımsız değişkenlerin bileşenlerinin VIF değerleri 10'dan küçük olduğundan dolayı nem içeriği değişkeni için oluşturulan Box-Behnken deneysel tasarımında çoklu bağlantı problemi bulunmamaktadır.



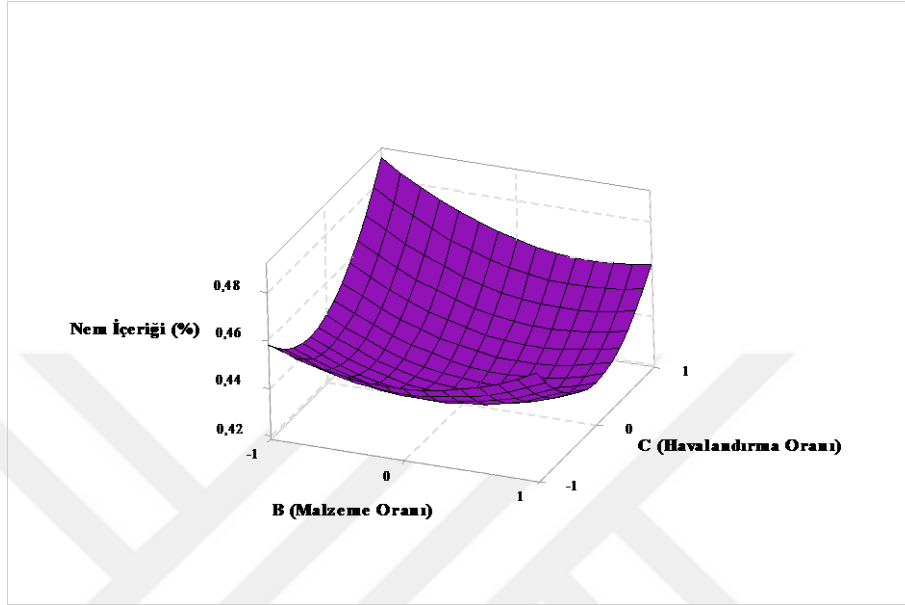
Şekil 4.27. Nem içeriği değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.27’de nem içeriği değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Malzeme türünün pomza ile genişletilmiş vermikülit arasındaki değerleri için malzeme türü ile nem içeriği değişkeni arasında ters yönlü ilişki varken, genişletilmiş vermikülit ile genişletilmiş perlit arasındaki değerleri için malzeme türü ile nem içeriği değişkeni arasında aynı yönlü ilişki bulunmaktadır.



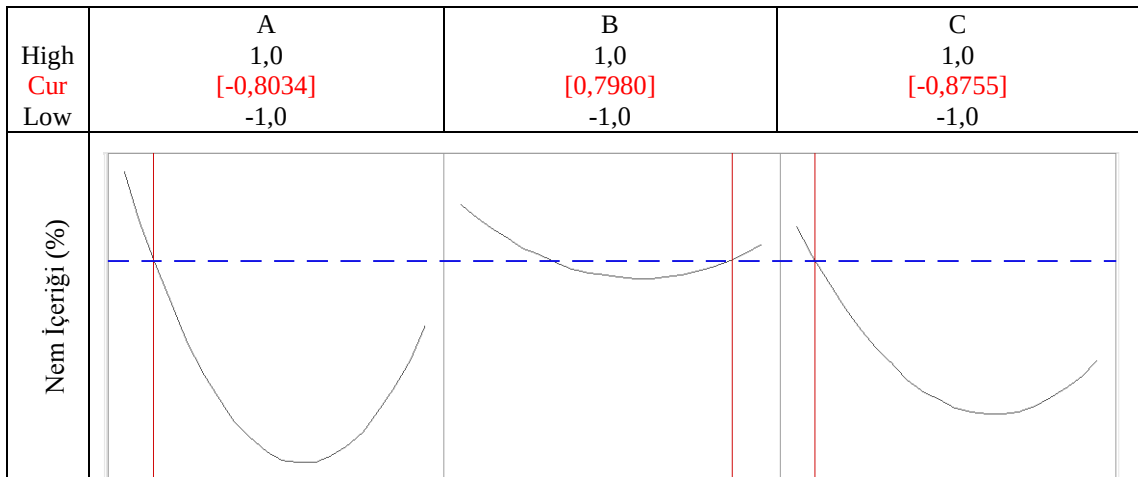
Şekil 4.28. Nem içeriği değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.28’de nem içeriği değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre nem içeriği değişkeni ile havalandırma oranının 3 L/dak ile 6 L/dak arasındaki değerleri için ters yönlü, 6 L/dak ile 9 L/dak arasındaki değerleri için aynı yönlü ilişki vardır.



Şekil 4.29. Nem içeriği değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.29’da nem içeriği değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre nem içeriği değişkeni ile malzeme oranının %10 ile %25 arasındaki değerleri için ters yönlü, %25 ile %40 arasındaki değerleri için aynı yönlü ilişki vardır.



Şekil 4.30. Nem içeriği değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği

Şekil 4.30’da nem içeriği değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği gösterilmektedir. Buna göre nem içeriği değişkeni için oluşturulan Box-Behnken deneysel tasarımına ait optimum modelde malzeme türünün pomza, malzeme oranı %40 ve havalandırma oranı 3 L/dak olmalıdır.

4.2.1.4. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)

Faktörlerin etkileri sayısal olarak hesaplanarak varyans analizi (ANOVA) yapılmış ve faktörün etkili olup olmadığı incelenmiştir. Çizelge 4.7’de amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları gösterilmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre bu modele ilişkin malzeme türü değişkeninin lineer ve kareli etkileri amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahiptir ($p<0.05$).

Çizelge 4.7. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	Sd	Düz. KT	Düz. KO	F-istatistiği	p
Model	9	7.15E+05	7.94E+04	13.580	0.005
Lineer	3	3.63E+05	1.21E+05	20.680	0.003
A	1	3.61E+05	3.61E+05	61.780	0.001
B	1	1.03E+03	1.03E+03	0.180	0.693
C	1	4.64E+02	4.64E+02	0.080	0.790
Kareli	3	3.34E+05	1.12E+05	19.060	0.004
A*A	1	3.34E+05	3.34E+05	57.120	0.001
B*B	1	1.29E+03	1.29E+03	0.220	0.659
C*C	1	6.49E+02	6.49E+02	0.110	0.753
İki yönlü etkileşimler	3	1.77E+04	5.91E+03	1.010	0.461
A*B	1	4.48E+02	4.48E+02	0.080	0.793
A*C	1	1.39E+04	1.39E+04	2.380	0.184
B*C	1	3.37E+03	3.37E+03	0.580	0.482
Hata	5	2.92E+04	5.85E+03		
Uyum Eksikliği	3	2.88E+04	9.59E+03	39.760	0.025
Hata	2	4.82E+02	2.41E+02		
Toplam	14	7.44E+05			

R²:%96.07 Sd:serbestlik derecesi, Düz. KT:düzeltilmiş kareler toplamı, Düz. KO:düzeltilmiş kareler ortalaması, F-istatistiği:F testi sonucunda elde edilen test istatistiği, p:testin anlamlılık değeri

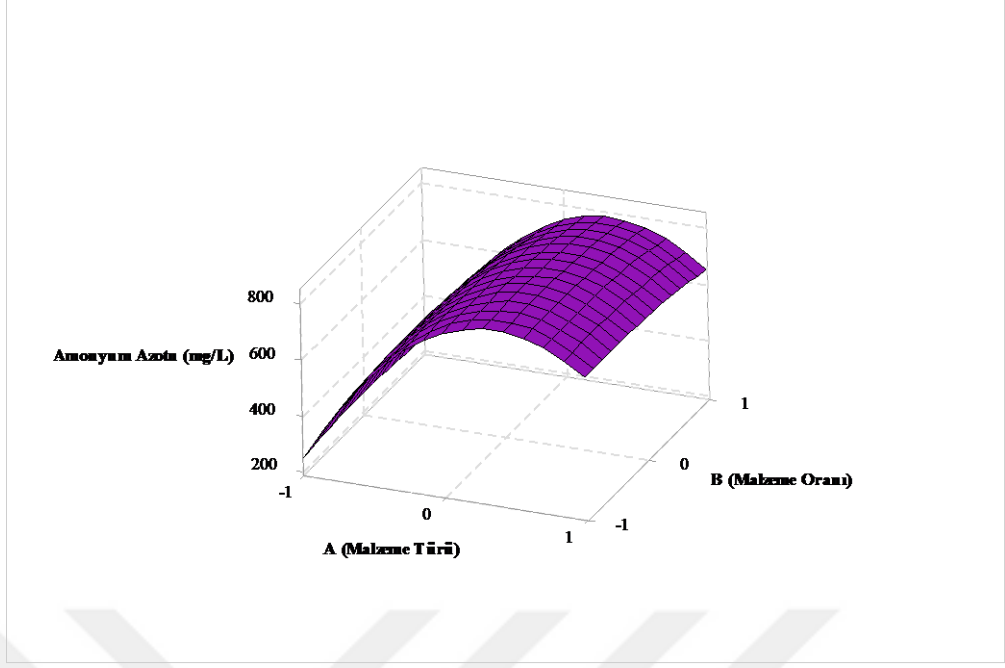
Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin performans ölçüleri gösterilmektedir. Bu modelin belirtme katsayısına göre, oluşturulan cevap yüzey modeli malzeme türü, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenleri tarafından amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkenini %96.07 oranında açıklamaktadır. Bu oran amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modelinin yüksek düzeyde açıklayıcılık gücüne sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.8. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları

Terim	β	$\text{SH}(\beta)$	t-istatistiği	p	VIF
Sabit terim	7.83E+02	4.42E+01	17.730	0.000	
A	2.13E+02	2.70E+01	7.860	0.001	1.000
B	-1.13E+01	2.70E+01	-0.420	0.693	1.000
C	-7.60E+00	2.70E+01	-0.280	0.790	1.000
A*A	-3.01E+02	3.98E+01	-7.560	0.001	1.010
B*B	-1.87E+01	3.98E+01	-0.470	0.659	1.010
C*C	-1.33E+01	3.98E+01	-0.330	0.753	1.010
A*B	-1.06E+01	3.82E+01	-0.280	0.793	1.000
A*C	-5.89E+01	3.82E+01	-1.540	0.184	1.000
B*C	2.90E+01	3.82E+01	0.760	0.482	1.000

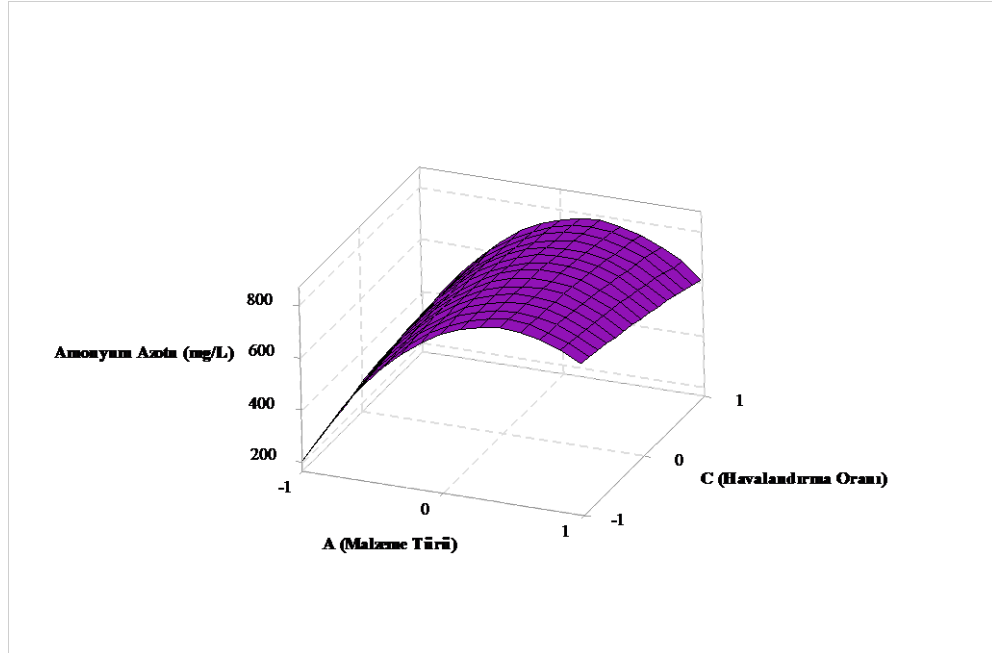
SH:standart hata, t-istatistiği:ilgili regrasyon katsayısına ilişkin t-testi sonucuna ait değer, p:testin anlamlılık değeri, VIF:varyans şişirme çarpanı

Çizelge 4.8’de amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre malzeme türü değişkeninin lineer ve kareli etkileri istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.05$). Bu modelde yer alan bağımsız değişkenlerin bileşenlerinin VIF değerleri 10’dan küçük olduğundan dolayı amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan Box-Behnken deneysel tasarımında çoklu bağlantı problemi bulunmamaktadır.



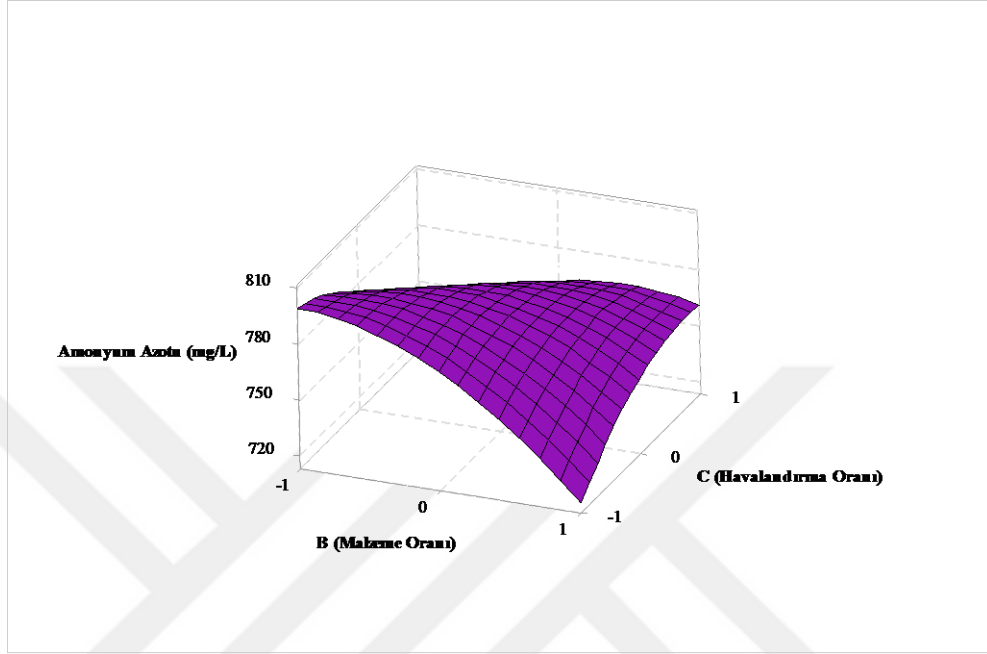
Şekil 4.31. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.31’de amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre malzeme türünün pomza ile genişleştirilmiş vermikülit arasındaki değerleri için malzeme türü ile amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni arasında aynı yönlü ilişki varken, genişleştirilmiş vermikülit ile genişleştirilmiş perlit arasındaki değerleri için malzeme türü ile amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni arasında ters yönlü ilişki bulunmaktadır.



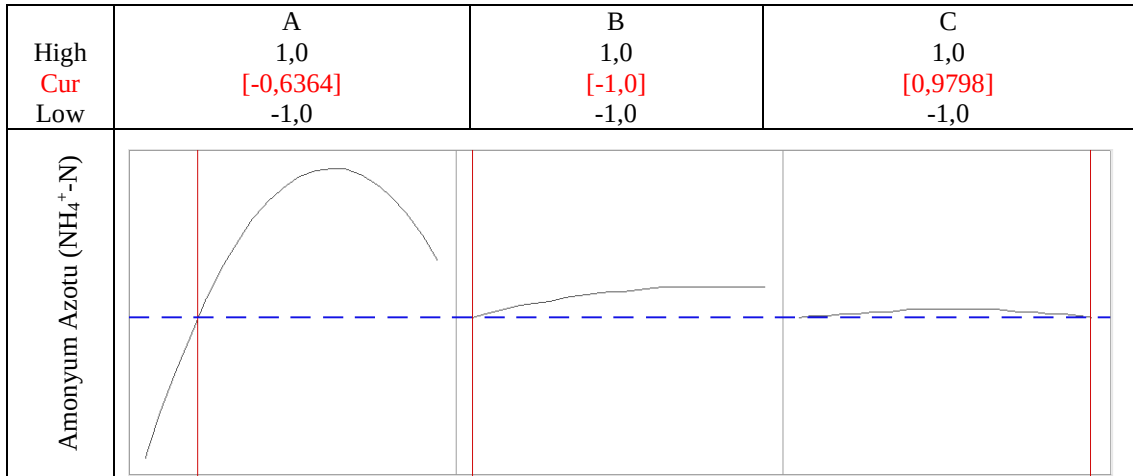
Şekil 4.32. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.32’de amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni ile havalandırma oranı arasında ilişki bulunmamaktadır.



Şekil 4.33. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.33’de amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni ile malzeme oranı arasında ters yönlü ilişki mevcuttur.



Şekil 4.34. Amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modelin ilişkin optimal sonuç grafiği

Şekil 4.34'te amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği gösterilmektedir. Buna göre göre amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan Box-Behnken deneysel tasarımına ait optimum modelde malzeme türünün pomza, malzeme oranı %10 ve havalandırma oranı 9 L/dak olmalıdır.

4.2.1.5. Nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$)

Çizelge 4.9'da nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları gösterilmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre bu modele ilişkin malzeme türü değişkeninin lineer ve kareli etkileri nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahiptir ($p < 0.05$).

Çizelge 4.9. Nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	Sd	Düz. KT	Düz. KO	F-istatistiği	p
Model	9	1.06E+05	1.18E+05	6.670	0.025
Lineer	3	7.88E+04	2.63E+05	14.840	0.006
A	1	7.66E+04	7.66E+05	43.250	0.001
B	1	2.25E-01	2.25E-01	1.270	0.311
C	1	1.30E-03	1.25E-03	0.010	0.936
Kareli	3	2.70E+04	8.99E-01	5.080	0.056
A*A	1	2.67E+04	2.67E+05	15.060	0.012
B*B	1	8.21E-02	8.21E-02	0.460	0.526
C*C	1	4.20E-02	4.20E-02	0.240	0.647
İki yönlü etkileşimler	3	4.67E-02	1.56E-02	0.090	0.964
A*B	1	7.00E-04	6.80E-04	0.000	0.953
A*C	1	4.34E-02	4.35E-02	0.250	0.641
B*C	1	2.60E-03	2.58E-03	0.010	0.909
Hata	5	8.85E-01	1.77E-01		
Uyum Eksikliği	3	8.02E-01	2.67E-01	6.410	0.138
Hata	2	8.34E-02	4.17E-02		
Toplam	14	1.15E+05			

R²:%92.31 Sd:serbestlik derecesi, Düz. KT:düzeltilmiş kareler toplamı, Düz. KO:düzeltilmiş kareler ortalaması, F-istatistiği:F testi sonucunda elde edilen test istatistiği, p:testin anlamlılık değeri

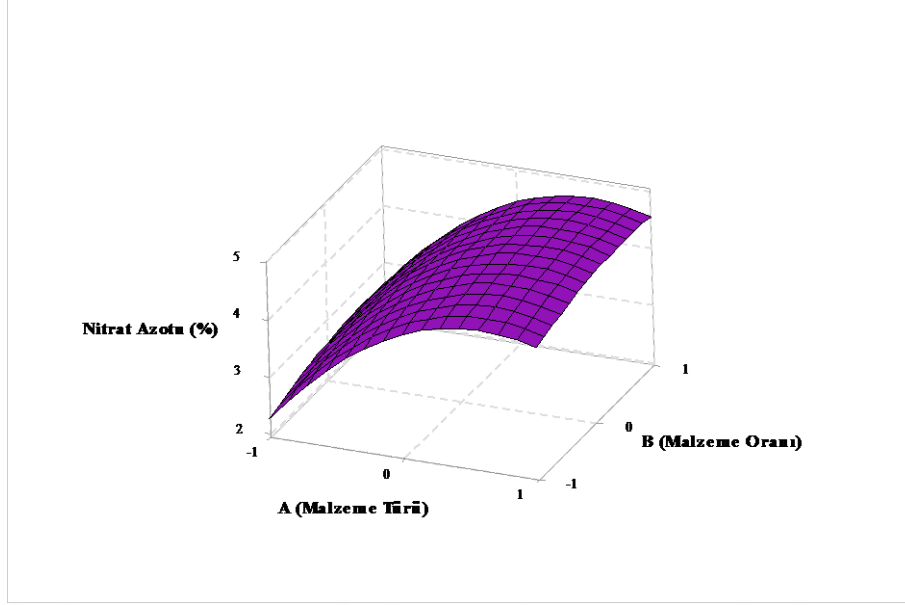
Nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin performans ölçüleri gösterilmektedir. Bu modelin belirtme katsayısına göre, oluşturulan cevap yüzey modeli malzeme türü, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenleri tarafından nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkenini %92.31 oranında açıklamaktadır. Bu oran nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modelinin yüksek düzeyde açıklayıcılık gücüne sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.10. Nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları

Terim	β	SH(β)	t-istatistiği	p	VIF
Sabit terim	4.43E+03	2.43E-01	18.250	0.000	
A	9.78E-01	1.49E-01	6.580	0.001	1.000
B	1.68E-01	1.49E-01	1.130	0.311	1.000
C	-1.30E-02	1.49E-01	-0.080	0.936	1.000
A*A	-8.50E-01	2.19E-01	-3.880	0.012	1.010
B*B	-1.49E-01	2.19E-01	-0.680	0.526	1.010
C*C	-1.07E-01	2.19E-01	-0.490	0.647	1.010
A*B	-1.30E-02	2.10E-01	-0.060	0.953	1.000
A*C	-1.04E-01	2.10E-01	-0.500	0.641	1.000
B*C	-2.50E-02	2.10E-01	-0.120	0.909	1.000

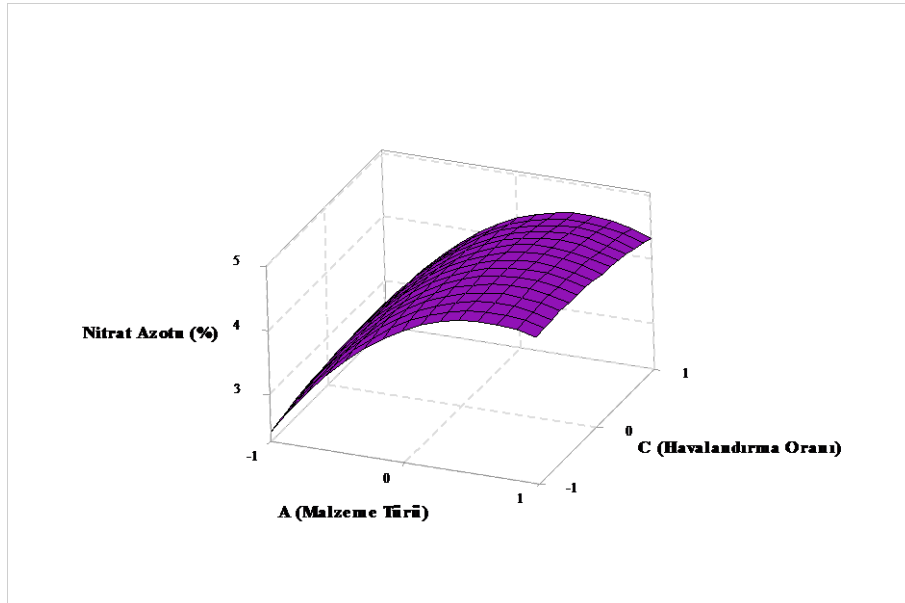
SH:standart hata, t-istatistiği:ilgili regrasyon katsayısına ilişkin t-testi sonucuna ait değer, p:testin anlamlılık değeri, VIF:varyans şişirme çarpanı

Çizelge 4.10’da nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre malzeme türü değişkeninin lineer ve kareli etkileri istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.05$). Bu modelde yer alan bağımsız değişkenlerin bileşenlerinin VIF değerleri 10’dan küçük olduğundan dolayı nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni için oluşturulan Box-Behnken deneysel tasarımında çoklu bağlantı problemi bulunmamaktadır.



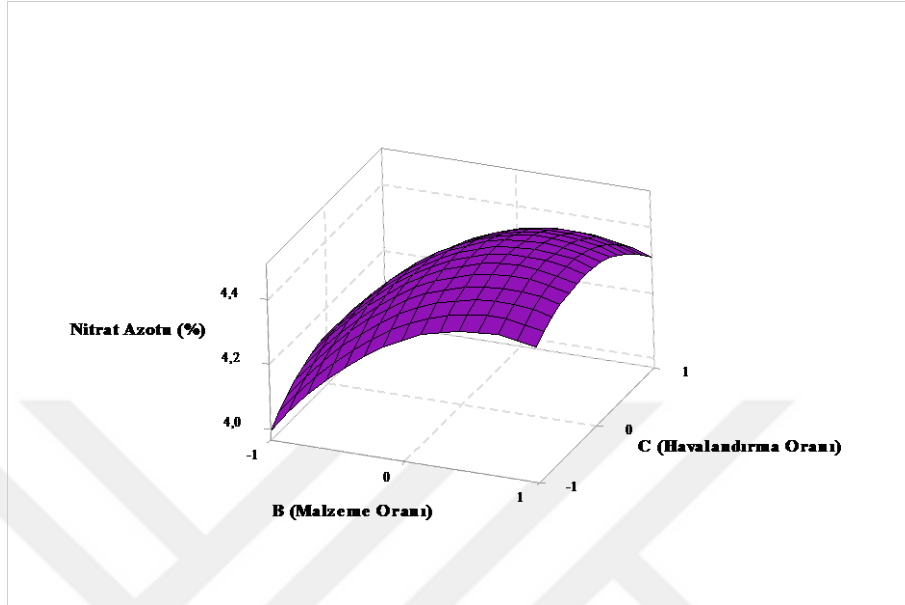
Şekil 4.35. Nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.35'te nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni ile malzeme türü ve malzeme oranı arasında aynı yönlü bir ilişki mevcuttur.



Şekil 4.36. Nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.36’da nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre havalandırma oranı ile nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni arasında ilişki bulunmamaktadır.



Şekil 4.37. Nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.37’de nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni ile malzeme oranı arasında aynı yönlü bir ilişki mevcuttur.

	A	B	C
High	1,0	1,0	1,0
Cur	[-0,6932]	[-1,0]	[1,0]
Low	-1,0	-1,0	-1,0

Nitrat Azotu (NO_3^- -N)			
------------------------------------	--	--	--

Şekil 4.38. Nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği

Şekil 4.38’de nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği gösterilmektedir. Buna göre nitrat azotu (NO_3^- -N) değişkeni için oluşturulan Box-Behnken deneysel tasarımına ait optimum modelde malzeme türünün pomza, malzeme oranı %10 ve havalandırma oranı 9 L/dak olmalıdır.

4.2.1.6. Toplam azot (TN)

Faktörlerin etkileri sayısal olarak incelenerek varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiş ve faktörlerin deney sonucunda etkili olup olmadığına karar verilmiştir. Çizelge 4.11’de toplam azot (TN) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları gösterilmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre bu modele ilişkin lineer ve kareli etkiler istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.05$). Bu model için malzeme türü ve malzeme oranının lineer bileşenleri ile malzeme türünün kareli bileşeni toplam azot (TN) değişkeni üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahiptir ($p < 0.05$).

Çizelge 4.11. Toplam azot (TN) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	Sd	Düz. KT	Düz. KO	F-istatistiği	p
Model	9	1.47E-03	1.63E-04	32.000	0.001
Lineer	3	3.67E-04	1.22E-04	23.940	0.002
A	1	2.93E-04	2.93E-04	57.390	0.001
B	1	7.30E-05	7.30E-05	14.350	0.013
C	1	1.00E-06	1.00E-06	0.100	0.767
Kareli	3	1.07E-03	3.58E-04	70.090	<0.001
A*A	1	1.06E-03	1.06E-03	208.110	<0.001
B*B	1	1.00E-06	1.00E-06	0.110	0.753
C*C	1	3.00E-06	3.00E-06	0.600	0.475
İki yönlü etkileşimler	3	3.00E-05	1.00E-05	1.970	0.236
A*B	1	2.90E-05	2.90E-05	5.720	0.062
A*C	1	0.00E+00	0.00E+00	0.050	0.834
B*C	1	1.00E-06	1.00E-06	0.160	0.707

Çizelge 4.11. Toplam azot (TN) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin varyans analizi sonuçları (devam)

Kaynak	Sd	Düz. KT	Düz. KO	F-istatistiği	p
Hata	5	2.60E-05	5.00E-06		
Uyum Eksikliği	3	1.50E-05	5.00E-06	0.900	0.564
Hata	2	1.10E-05	5.00E-06		
Toplam	14	1.50E-03			

R²:%98.29 Sd:serbestlik derecesi, Düz. KT:düzeltilmiş kareler toplamı, Düz. KO:düzeltilmiş kareler ortalaması, F-istatistiği:F testi sonucunda elde edilen test istatistiği, p:testin anlamlılık değeri

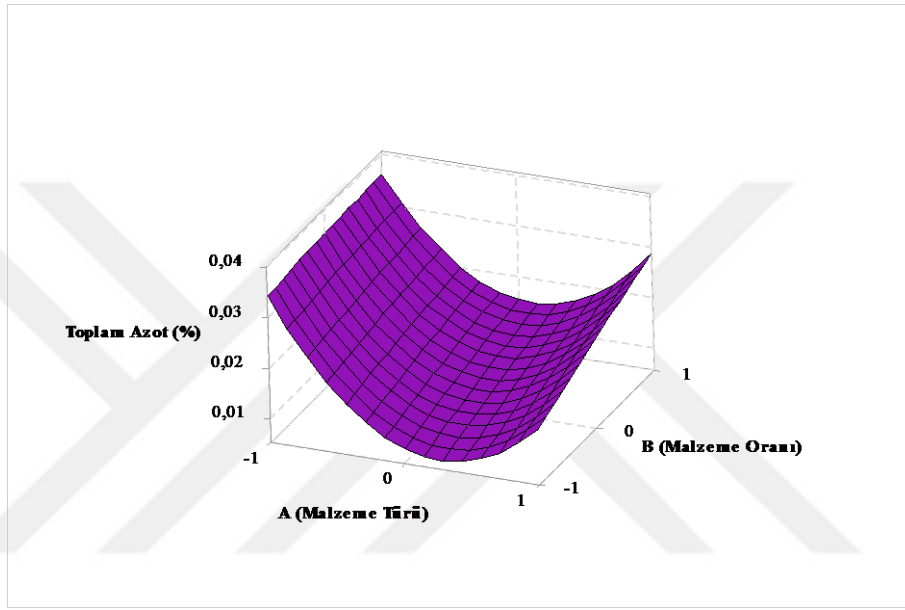
Toplam azot (TN) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin performans ölçüleri gösterilmektedir. Bu modelin belirtme katsayısına göre, oluşturulan cevap yüzey modeli malzeme türü, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenleri tarafından toplam azot (TN) değişkenini %98.29 oranında açıklamaktadır. Bu oran toplam azot (TN) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modelinin yüksek düzeyde açıklayıcılık gücüne sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.12. Toplam azot (TN) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları

Terim	β	SH(β)	t-istatistiği	p	VIF
Sabit terim	1.11E-02	1.30E-03	8.540	<0.001	-
A	-6.05E-03	7.99E-04	-7.580	0.001	1.000
B	3.03E-03	7.99E-04	3.790	0.013	1.000
C	-2.50E-04	7.99E-04	-0.310	0.767	1.000
A*A	1.70E-02	1.18E-03	14.430	<0.001	1.010
B*B	-3.90E-04	1.18E-03	-0.330	0.753	1.010
C*C	9.10E-04	1.18E-03	0.770	0.475	1.010
A*B	2.70E-03	1.13E-03	2.390	0.062	1.000
A*C	2.50E-04	1.13E-03	0.220	0.834	1.000
B*C	-4.50E-04	1.13E-03	-0.400	0.707	1.000

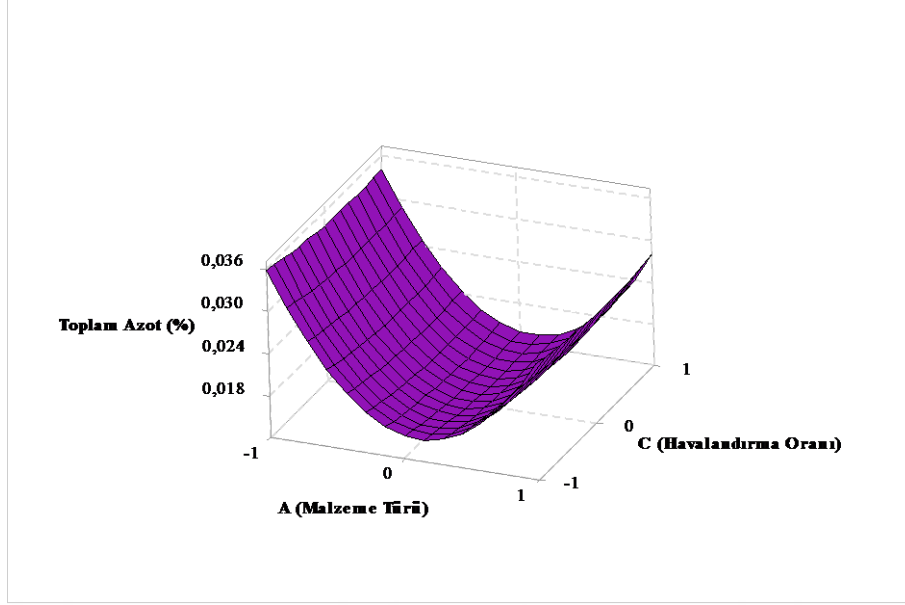
SH:standart hata, t-istatistiği:ilgili regrasyon katsayısına ilişkin t-testi sonucuna ait değer, p:testin anlamlılık değeri, VIF:varyans şişirme çarpanı

Çizelge 4.12’de toplam azot (TN) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin regresyon katsayıları sonuçları gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre malzeme türü ve malzeme oranının lineer bileşenleri ile malzeme türünün kareli bileşeni istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.05$). Bu modelde yer alan bağımsız değişkenlerin bileşenlerinin VIF değerleri 10’dan küçük olduğundan dolayı toplam azot (TN) değişkeni için oluşturulan Box-Behnken deneysel tasarımında çoklu bağlantı problemi bulunmamaktadır.



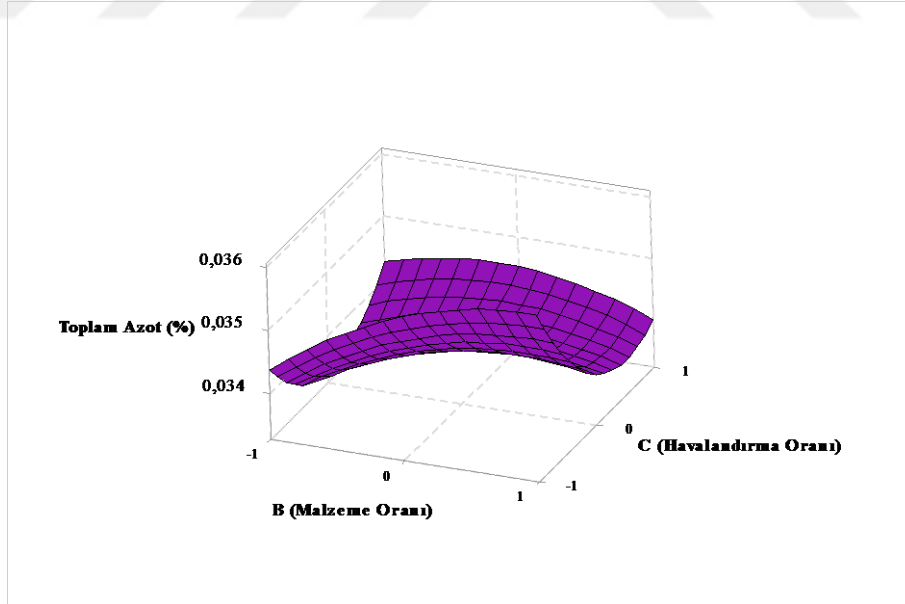
Şekil 4.39. Toplam azot (TN) değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.39’da toplam azot (TN) değişkeni, malzeme türü ve malzeme oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre toplam azot (TN) değişkeni ile malzeme oranı arasında aynı yönlü bir ilişki mevcuttur. Malzeme türünün pomza ile genişletilmiş vermikülit arasındaki değerleri için malzeme türü ile toplam azot (TN) değişkeni arasında ters yönlü ilişki varken, genişletilmiş vermikülit ile genişletilmiş perlit arasındaki değerleri için malzeme türü ile toplam azot (TN) değişkeni arasında aynı yönlü ilişki bulunmaktadır.



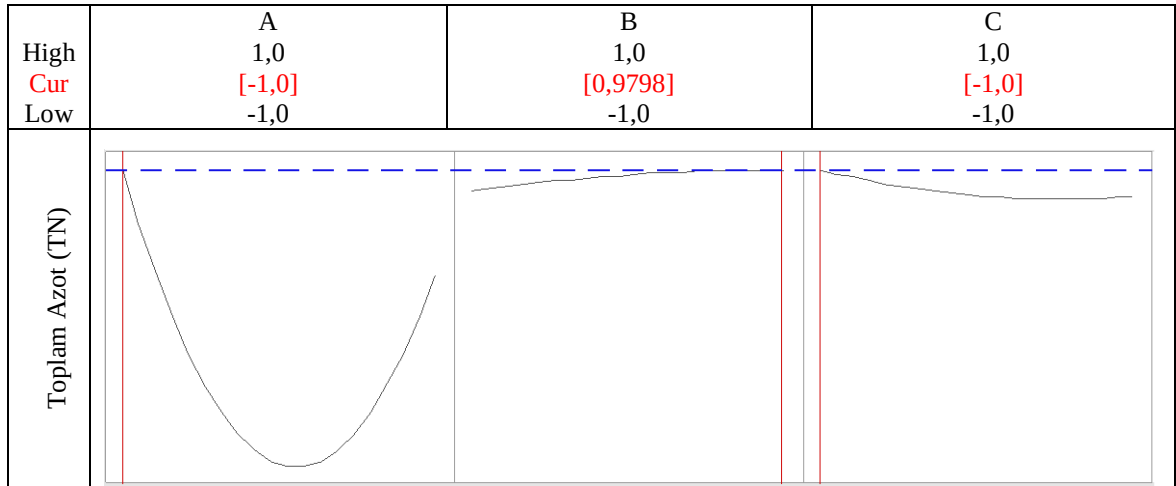
Şekil 4.40. Toplam azot (TN) değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.40’da toplam azot (TN) değişkeni, malzeme türü ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre toplam azot (TN) değişkeni ile havalandırma oranı arasında ters ilişki bulunmamaktadır.



Şekil 4.41. Toplam azot (TN) değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik

Şekil 4.41’de toplam azot (TN) değişkeni, malzeme oranı ve havalandırma oranı değişkenlerine ait üç boyutlu grafik gösterilmektedir. Buna göre toplam azot (TN) değişkeni ile malzeme oranı arasında ters yönlü bir ilişki mevcuttur.



Şekil 4.42. Toplam azot (TN) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği

Şekil 4.42’de toplam azot (TN) değişkeni için oluşturulan cevap yüzey modeline ilişkin optimal sonuç grafiği gösterilmektedir. Buna göre toplam azot (TN) değişkeni için oluşturulan Box-Behnken deneysel tasarımına ait optimum modelde malzeme türünün pomza, malzeme oranı %40 ve havalandırma oranı 3 L/dak olmalıdır.

4.3. Optimizasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneysel tasarım yönteminde her bir parametre için elde edilen optimum koşullar Çizelge 4.13’de verilmektedir. Çizelge 4.13’den de görüleceği üzere pH, elektriksel iletkenlik, nem içeriği, amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ve toplam azot (TN) parametreleri için kompost kalite kriterlerini sağlayan malzeme türü pomza olarak belirlenmiştir. Kompostlaştırma prosesinde malzeme türü olarak pomza kullanıldığında toplam azot (TN) ve nem içeriği için optimum malzeme oranı %40, havalandırma oranı 3 L/dak; pH, amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ve elektriksel iletkenlik için optimum malzeme oranı %10, optimum havalandırma oranı 9 L/dak olarak görülmektedir.

Buna göre, malzeme oranı olarak %40 pomza kullanıldığında 3 L/dak havalandırma oranı yeterli olurken, %10 pomza kullanıldığında 9 L/dak havalandırma oranına ihtiyaç duyulmaktadır. 13 haftalık proses sonunda elde edilen değerler kompost kalite kriteri açısından değerlendirilmiş ve her iki koşul için maliyet analizi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.13. Deneysel tasarım yönteminde elde edilen optimum koşullar

Parametreler	Malzeme Türü	Malzeme Oranı (%)	Havalandırma Oranı (L/dak)
pH	Pomza	%10	9 L/dak
Elektriksel İletkenlik	Pomza	%10	9 L/dak
Nem İçeriği	Pomza	%40	3 L/dak
Amonyum Azotu (NH ₄ ⁺ -N)	Pomza	%10	9 L/dak
Nitrat Azotu (NO ₃ ⁻ -N)	Pomza	%10	9 L/dak
Toplam Azot (TN)	Pomza	%40	3 L/dak

4.4. Maliyet Analizi

Çalışmada kullanılan materyallerin ve enerjinin güncel birim fiyatları tespit edilmiş ve optimizasyon sonuçlarına göre elde edilen koşulların maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Havalandırma proses süresince sürekli olarak gerçekleştirildiğinden, maliyet hesaplanırken 13 haftalık enerji sarfiyatı dikkate alınmıştır. Çizelge 4.14’de çalışmada kullanılan malzemenin ve enerjinin birim fiyatları sunulmaktadır.

Çizelge 4.13’de belirlenen optimum koşulların maliyet analizi sonuçları Çizelge 4.15’de verilmiştir. Çizelge 4.15’den de görüleceği üzere %40 pomza ve 3 L/dak havalandırma oranı kullanıldığında maliyet sistem başına 6.70 ₺ iken; %10 pomza ve 9 L/dak havalandırma oranı kullanıldığında 7.75 ₺ olmaktadır. Buna göre %40 oranında pomza ve 3 L/dak havalandırma oranı ile gerçekleştirilen kompostlaştırma sisteminde maliyet, %10 oranında pomza ve 9 L/dak havalandırma oranı ile gerçekleştirilen sistemin maliyetine göre %13.55 daha düşüktür.

Çizelge 4.14. Çalışmada kullanılan malzemenin ve enerjinin birim fiyatları

Malzemeler	Birim Fiyat	Birim	Referans
Pomza	1	₺ / L	10 ₺ / 10 L http://www.ankaraperlit.com/pomza-madeni-fiyatlari.php
Genleştirilmiş Perlit	0.7	₺ / L	7 ₺ / 10 L http://www.ankaraperlit.com/tarim-perliti-fiyatlari.php
Genleştirilmiş Vermikülit	1.50	₺ / L	15 ₺ / 10 L http://www.ankaraperlit.com/vermikulit-fiyatlari.php
Enerji			
Elektrik	0.412	₺ / kw	http://enerjienstitusu.com/elektrik-fiyatlari/

Çizelge 4.15. Deneysel tasarım yönteminde elde edilen optimum koşulların maliyet hesabı

		Birim Fiyatı	Malzeme Oranı	Malzeme Miktarı	Tutar (₺)	Havalandırma Oranı	Tutar (₺)	Toplam Tutar (₺)
	Türü	(₺/L)	(%)	(L)	A	(L/dak)	B	A+B
pH	Pomza	1.00	%10	1	1.00	9 L/dak	6.75	7.75
Elektriksel İletkenlik	Pomza	1.00	%10	1	1.00	9 L/dak	6.75	7.75
Nem İçeriği	Pomza	1.00	%40	4	4.00	3 L/dak	2.70	6.70
Amonyum Azotu (NH₄⁺-N)	Pomza	1.00	%10	1	1.00	9 L/dak	6.75	7.75
Nitrat Azotu (NO₃⁻-N)	Pomza	1.00	%10	1	1.00	9 L/dak	6.75	7.75
Toplam Azot (TN)	Pomza	1.00	%40	4	4.00	3 L/dak	2.70	6.70

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Samsun Organize Sanayi Bölgesi'ne ait atıksu arıtma tesisinden elde edilen endüstriyel arıtma çamurlarının kompostlaştırılması için kapalı kompostlaştırma sistemi tasarlanmış ve kompostlaştırma prosesinin optimizasyonu incelenmiştir. Kompostlaştırma prosesinde parametrelerin ana ve ikili etkilerinin belirlenmesi ve daha az sayıda deneysel çalışmayla etkin proses koşullarının sağlanması amacıyla Box-Behnken deneysel tasarım yöntemi uygulanmıştır. Deneysel tasarım yönteminde, kompostlaştırma prosesinde etkin olan 3 parametrenin (malzeme türü, malzeme oranı ve havalandırma oranı) 3 farklı seviyesi ile çalışılmış ve kompost kalite kriterleri açısından değerlendirmesi yapılmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır:

- Çalışılan tüm sistemlerin pH değerleri, mezofilik faz süresince organik asit oluşumu nedeniyle kısmen azalmakla birlikte, proses sonunda WERL (2000)'e göre belirlenen optimum 6.5-7.2 aralığında bulunmuştur.
- Penwarn (2002)'e göre, elektriksel iletkenlik değeri <1 mS/cm olan kompostun olgunluk derecesi “çok iyi”, 1-2 mS/cm olan kompostun olgunluk derecesi “orta”, 2-3 mS/cm olan kompostun olgunluk derecesi ise “tuzlu” olarak değerlendirilmektedir. Prosesin ilk haftalarında asiditilik durumun artmasına bağlı olarak elektriksel iletkenlik değerinde azalmalar meydana gelmiştir. Proses sonunda pomza ile yürütülen tüm sistemlerde elde edilen kompostların elektriksel iletkenlik değerlerinin “çok iyi”, genleştirilmiş perlit ve genleştirilmiş vermikülit ile gerçekleştirilen sistemlerden elde edilen kompostların elektriksel iletkenlik değerlerinin ise “orta” sınıfa girdiği gözlenmiştir.
- Düşük malzeme oranları ile (%10 ve %25) gerçekleştirilen genleştirilmiş perlit ve genleştirilmiş vermikülitin kullanıldığı kompostlaştırma proseslerinde atıkların yüksek nem içeriği, oksijen difüzyonunun azalmasına ve kompostun olgunlaşmamasına neden olmuştur. Bununla birlikte pomzanın kullanıldığı S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak), S3 (Sistem 3; %40 pomza materyali, 6 L/dak), S5 (Sistem 5; %25 pomza materyali, 3 L/dak) ve S7 (Sistem 7; %25 pomza materyali, 9 L/dak) sistemlerinde her bir malzeme oranı ve havalandırma oranı ile elde edilen kompostlarda nem içeriği

optimum seviyelerde gözlenmiştir. Malzeme türü olarak pomza ile gerçekleştirilen sistemlerin genişleştirilmiş perlit ve genişleştirilmiş vermikülit içeren sistemlere göre olgun kompost için daha uygun nem içeriğine sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

- Kompost kalite kriterlerine göre olgun bir kompost elde edilebilmesi için gerekli amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerinin 75-500 mg/L aralığında olması gerekmektedir (WERL, 2000). 13 hafta boyunca yapılan analizler sonucunda elde edilen verilere bakıldığında, pomza kullanılarak gerçekleştirilen bütün sistemlerde amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değerlerinin “olgun kompost” için istenen aralıkta olduğu gözlenmiştir. Genleştirilmiş perlit ve genişleştirilmiş vermikülit ile yürütülen tüm sistemlerde amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) değeri 500 mg/L’nin üzerindedir. WERL (2000)’e göre bu sistemlerden elde edilen kompostlar amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) içeriği açısından “olgunlaşmamış kompost” olarak değerlendirilmektedir.
- WERL (2000)’in kompost kalite kriterlerine göre olgun bir kompost için amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)/nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) oranı 0.5-3.0 arasında olmalıdır. Pomza kullanılarak gerçekleştirilen kompostlaştırma sistemlerinden elde edilen kompostlarda bu oranın 0.5-3.0 aralığında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla pomza içeren tüm sistemler “olgun kompost” elde edilmesinde gerekli nitrat azotu değerini sağlamaktadır. Bununla birlikte, genişleştirilmiş perlit ve genişleştirilmiş vermikülit kullanılarak gerçekleştirilen kompostlaştırma sistemlerinde, amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)/nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) değerlerinin tüm sistemler için 3’ten büyük olması bu sistemlerden elde edilen kompostların “olgunlaşmamış” olduğunu göstermektedir.
- Proses sonunda kompostlaştırma sistemlerinde toplam azot (TN) değerlerine bakıldığında, pomza ile yürütülen S3 (Sistem 3; %40 pomza materyali, 6 L/dak) sisteminde %19.13 değeriyle en az azot kaybının, S1 (Sistem 1; %10 pomza materyali, 6 L/dak) sisteminde ise %23.45 ile en fazla azot kaybının gerçekleştiği görülmüştür. Proses sonunda genişleştirilmiş perlit ile yürütülen kompostlaştırma sistemlerinde en az azot kaybının S4 (Sistem 4; %40 genişleştirilmiş perlit materyali, 6 L/dak) sisteminde %32.12 ile gerçekleştiği görülürken; en fazla azot kaybının %62.82 ile S2 (Sistem 2; %10 genişleştirilmiş perlit materyali, 6 L/dak) sisteminde gerçekleştiği ortaya

çıkmiştir. Diğer yandan, proses sonunda genişletilmiş vermikülit kullanılan sistemlerde en az azot kaybının %58.78 ile S10 (Sistem 10; %40 genişletilmiş vermikülit materyali, 3 L/dak) sisteminde gerçekleştiği görülmüştür. Buna göre, en düşük azot kayıpları pomza kullanılan sistemlerde meydana gelmiştir.

- Çalışmada malzeme türü (pomza, genişletilmiş perlit ve genişletilmiş vermikülit), malzeme oranı (%10, %25 ve %40) ve havalandırma oranı (3 L/dak, 6 L/dak ve 9 L/dak) değişkenlerinin pH, elektriksel iletkenlik, nem içeriği, amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ve toplam azot (TN) değişkenleri üzerindeki etkileri ve etkin proses koşulları Box-Behnken deneysel tasarım tekniği ile incelenmiştir. Her bir bağımlı değişken için varyans analizi sonuçları (ANOVA), regresyon katsayıları sonuçları, üç boyutlu grafiksel gösterimler ve optimum düzey sonuçlarına göre en etkili faktörün malzeme türü olduğu görülmüştür.
- Malzeme türü değişkeninin lineer ve kareli etkileri elektriksel iletkenlik, nem içeriği, amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ve toplam azot (TN) değişkenleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$) iken, pH değişkeni üzerindeki etkisi anlamsız ($p>0.05$) olarak bulunmuştur. pH'nın tüm sistemlerde optimum aralıkta olması bu sonucu doğrulamaktadır.
- pH, elektriksel iletkenlik, nem içeriği, amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ve toplam azot (TN) değişkenleri için kompost kalite kriterlerini sağlayan malzeme türü pomza olarak belirlenmiştir.
- Kompostlaştırma prosesinde malzeme türü olarak pomza kullanıldığında toplam azot (TN) ve nem içeriği değişkenleri için optimum malzeme oranı %40, havalandırma oranı 3 L/dak; pH, amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ve elektriksel iletkenlik değişkenleri için optimum malzeme oranı %10, havalandırma oranı 9 L/dak olarak belirlenmiştir.
- Çalışmada kullanılan malzemelerin ve enerjinin güncel birim fiyatları tespit edilmiş ve optimizasyon sonuçlarına göre elde edilen koşulların maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. %40 pomza ve 3 L/dak havalandırma oranı kullanıldığında maliyet sistem başına 6.70 ₺ iken; %10 pomza ve 9 L/dak havalandırma oranı kullanıldığında 7.75 ₺ olmaktadır. Buna göre %40

oranında pomza ve 3 L/dak havalandırma oranı ile gerçekleştirilen kompostlaştırma sisteminde maliyet, %10 oranında pomza ve 9 L/dak havalandırma oranı ile gerçekleştirilen sistemin maliyetine göre %13.55 daha düşüktür.

- Çalışmanın sonuçları, endüstriyel arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasında pomzanın, kompost kalitesinin geliştirilmesinde en etkin materyal olduğunu göstermiştir. Önerilen deneysel tasarım yöntemi, uygulaması kolay ve ekonomik bir yöntemdir.
- Çalışma sonuçlarının uygulamada kullanılması durumunda havalandırma oranı kompostlaştırılacak atık çamur miktarına göre uyarlanmalıdır. Bu durumda eklenecek materyallerin arıtma çamuru ile karıştırılmasında mekanik yöntemlerin kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Aasheim, S.E., Newbry, B.W., Graef, S.P., Zickefoose, G.S., and Karney, P.T. 1985. Sludge Stabilization Manual of Practice, Water Pollution Control Federation, Washington, D.C., p.55-80.
- Akça, L. 2005. “Arıtma Çamurlarının Düzenli Depolama Tesislerinde Bertarafı”, Katı Atık Düzenli Depolama Sistemleri Eğitimi Kursu, Kurs Bildiriler Klasörü, 09-12 Mayıs 2005, İSTAÇ, İstanbul.
- Alten, A. ve Erdin, E. 2006. İzmir kenti katı atık ve arıtma çamurlarının birlikte kompostlaştırılabilirliğinin incelenmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Mayıs 8(2), 11-20.
- Ambalaj Atıklarına ilişkin Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi (94/62/AT). 1994.
- Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, (AAKY). 2007. Resmi Gazete Sayısı, 26562.
- Anonim (2018). Ankara Perlit, Vermikülit, Pomza, Torf. <http://www.ankaraperlit.com/pomza-madeni-fiyatlari.php> (Erişim tarihi: 04.01.2018)
- Anonim (2018). Ankara Perlit, Vermikülit, Pomza, Torf. <http://www.ankaraperlit.com/tarim-perliti-fiyatlari.php> (Erişim tarihi: 04.01.2018)
- Anonim (2018). Ankara Perlit, Vermikülit, Pomza, Torf. <http://www.ankaraperlit.com/vermikulit-fiyatlari.php> (Erişim tarihi: 04.01.2018)
- Anonim (2018). Enerji Enstitüsü. <http://enerjienstitusu.com/elektrik-fiyatlari> (Erişim tarihi: 04.01.2018)
- Anonymous (APHA). 1995. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, Eds. Eaton, A.D., Clesseri, L.S. and Greenberg, A.E., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, D.C..
- Arıkan, O., Demir, İ., Demir, A., Öztürk, İ., İnanç, B., Öztürk M., and Tuyluoğlu, B.S. 1997. “Changes in MSW quality and influence on waste management in Istanbul Metropolitan City, Proceedings, Sixth International Landfill Symposium, Sardinia, Italy.
- Arıtma Çamurunun Tarımda Kullanılması Halinde Çevrenin ve Özellikle Toprağın Korunması hakkında Konsey Direktifi (AÇKD), (86/278/AET). 2010.

Atıkların Düzenli Depolanmasına ilişkin Konsey Direktifi (1999/31/AT). 1999.

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (AATTUT). 2010. Resmi Gazete Sayısı, 27527 <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/03/20100320-7.htm> (Erişim tarihi: 11.10.2017)

Atık Yönetimi Yönetmeliği (AYY). 2015. Resmi Gazete Sayısı, 29314.

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (ADDDY). 2010. Resmi Gazete Sayısı, 27533.

Aydın S. (2004). "Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Değişik Amaçlarla Kullanımının Araştırılması", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bardakçı, B. ve Çiçek, E. 2005. Isparta Pomzasının Radyoaktif Atıkların Adsorblanmasında Kullanımı, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, 15-17 Eylül, 335-338.

Baş, D. (2005). "Enzimatik Reaksiyonlara Ait Kinetik Katsayıların Cevap Yüzeyi Metodu ve Sinir Ağları Kullanılarak Saptanması", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 73s.

Bernal, M.P., Navarro, A.F., Roig, A., Cegarra, J. and Garcia, D. 1996. "Carbon and Nitrogen Composting of Sweet Sourghun Bagasse", *Biology and Fertility of Soils*, v.22, p. 141-148

Box, G. E. P. and Behnken, D. W. 1960. Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics*, 2 (4), 455-475.

Box, G.E.P. and Draper, N.R. 1987. *Empirical model-building and response surfaces*, A Wiley-Interscience Publication. 1st ed. Canada John Wiley and Sons pp. 34-57, 304-381, 423-474.

Burton, H. and Turner, C. 2003. *Manure Management. Treatment Strategies for Sustainable Agriculture* Silsoe Research Institute. 2nd Ed. Lister and Durling Printers, Flitwick, Bedford, UK.

Carley K.M., Kamneva N.Y. and Reminga J. 2004. *Response Surface Methodology CASOS – Center for Computational Analysis of Social and Organizational Systems*, Technical Report, ISRI - Institute for Software Research International. Carnegie Mellon University, 04-136. J.P. Holman.

Cayuela, M.L., Sánchez-Monedero, M.A. and Roig, A. 2006. Evaluation of two different aeration systems for composting two-phase olive mill wastes, *Process Biochem.* 41, 616-623.

Çevikbaş, A. ve İlgün, F. 1997. Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi, I. Isparta Pomza Sempozyumu, 26-28 Haziran, 13-18.

- Doublet, J., Francou, C., Poitrenaud, M. and Houot, S. 2011. Influence of Bulking Agents on Organic Matter Evolution During Sewage Sludge Composting; Consequences on Compost Organic Matter Stability and N Availability, *Bioresource Technology*, 102, 1298–1307.
- Duran, M. ve Demirer, G.N. 1997. Su Arıtımında Temel İşlemler, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.
- Dutta, S., Bhattacharya, A., Ganguly, A., Gupta, S. and Basu, S. 2011. Application of response surface methodology for preparation of low-cost adsorbent from citrus fruit peel and for removal of methylene blue, *Desalination* 275, 26-36.
- EC (European Commission). 2001. Disposal And Recycling Routes For Sewage Sludge Part 3 Scientific And Technical Report, European Communities, 23 October.
- EC (European Commission). 2008. “Environmental, Economic and Social impacts of the Use of Sewage Sludge on Land, Final Report, Part II: Report on Options and Impacts”, RPA, Milieu Ltd and WRc, Contract DG ENV.G.4/ETU/2008/0076r, Belgium.
- Ecolable. 2001. Commission Decision of 28 August, Establishing ecological criteria for the ward of the community Eco-label to soil improvers and growing media, (2001/688/EC).
- El-Gohary, F.A., Wahaab, R.A., Nasr, F.A. and Ali H.I. 2002. “Three Egyptian industrial wastewater management programmes”, *The Environmentalist*, 22, 59-65.
- EPA. 1994. A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule, EPA/832/R-93/003, Washington, D.C.
- EPA. 1997. Innovative Uses of Compost, EPA/530/F-97/042-043-044-045-046, Washington, D.C.
- Epstein, E. 1997. *The Science of Composting*, Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster, Basel, USA.
- Erdim, E. (2003). "İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Kompostlaştırılmasında Farklı Katkı Maddelerinin Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Evanylo, G.K. and Daniels, W.L. 1999. Paper mill sludge composting and compost utilization, *Compos. Sci. Utiliz.* 7 (2), 30-39.
- Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (EKAÇTKY). 2010. Resmi Gazete Sayısı, 27661.

- Fahmy, S., Lalande, R., Gagnon, B. and Gillam, K. 1999. Effect of composted and non-composted pulp fibre residue waste as soil amendment on soil moisture, potato yield and soil nitrogen. In: warman, P.R., Taylor, B.R. (Eds.), Proceedings of the International Composting Symposium (ICS'99), CBA Pres, pp. 737-758, Nova Scotia, Canada.
- Farizoglu, B., Nuhoglu, A., Yıldız, E. and Keskinler, B. 2003. The performance of pumice as a filter bed material under rapid filtration conditions, *Filtration and Separation*, 40, 41-46.
- Ferreira, S. L. C., Bruns, R. E., Ferreira, H. S., Matos, G. D., David, J. M., Brandao, G. C. et. al. 2007. Box-Behnken design: an alternative for the optimization of analytical methods. *Analytica Chimica Acta*, 597 (2), 179-186.
- Field, A. 2005. *Discovering Statistics using SPSS*, SAGE, London.
- Filibeli, A. 1996. *Aritma Çamurlarının İşlenmesi*, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- Filibeli, A. 1998. "Aritma Çamuru Tanımı ve Çamur Kaynakları", *Aritma Çamurlarının İşlenmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, 1 – 25, İzmir.
- Forster, C.F. and Wase, D.A.J. 1987. "Composting and Straw Decomposition", *Environmental Biotechnology*, Ellis Horwood Ltd., John Wiley & Sons, Inc., Chichester, p. 135-175.
- Furness, D.T., Hoggett, L.A. and Judd, S.J. 2000. Thermochemical treatment of sewage sludge, *Water Environ. J.* 14 (1) 57-65.
- Gagnon, B., Lalende, R. and Fahmy, S.H. 2001. Organic matter and aggregation in a degraded potato soil as affected by raw and composted pulp residue, *Biol. Fert. Soils* 34, 441-447.
- Grim, R.E. 1968. *Clay mineralogy*, McGraw-Hill, New York.
- Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozacan, B., Davraz, M., Ugur, I. and Cankiran, O. 1998. *Pumice Technology (in Turkish)*, Vol: 1 ISBAS A.S and SDU College of Engineering, Isparta, Turkey.
- Güngör, N. and Tombul, M. 1997. The usage of pumice and the effect of legislation on pumice mining, 1st Isparta Pumice Symposium, 85-90, Isparta.
- Hamoda, M. F., Abu Qdais, H. A. and Newham, J. 1998. Evaluation of municipal solid waste composting kinetics, *Resources, Conservation and Recycling*, 23(4), 209-223.
- Haug, R. T. 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers, Florida.

- Henry, C., Sullivan, D., Rynk, R., Dorsey, K. and Cogger, C. 1999. "Managing Nitrogen from Biosolids", Funded by Washington State Department of Ecology and Northwest Biosolids Management Association, Washington, D.C.
- Herity, L. 2003. A study of the quality of waste derived compost in Ireland, The Composting Association, Ireland.
- Hillier, F.S. and Lieberman, G.J. 2005. Introduction to Operations Research, 8. baskı, McGraw Hill, New York, NY.
- Hindman, J.R. 1994. Vermiculite, In Industrial Clay Mineral Minerals and Rocks, Ed. D.D. Carr, SME, 1103-1111.
- Hong, J.H. and Park, K.J. 2005. Compost biofiltration of ammonia gas from bin composting, Bioresour. Technol. 96, 741-745.
- Iqbal, M.K., Shafiq, T., Hussain, A. and Ahmed, K. 2010. Effect of enrichment on chemical properties of MSW compost, Bioresour. Technol. 101, 5969-5977.
- İlhan, S., Nurbas, M., Ekmekçi, S. ve Özdağ, H. 1997. Pomzanın Biyoteknolojide Adsorbant Olarak Kullanımı, I. Isparta Pomza Sempozyumu, 26-28 Haziran, 39-46.
- İstanbul Maden İhracatçıları Birliği (İMMİB). 1999. Çalışma Raporu. <http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/zet%20htisas%20Komisyonu%20Raporlar/Attachments/140/oik628.pdf> (Erişim tarihi: 21.05.2017).
- Jackson, M.J., Line, M.A., Wilson, S. and Hetherington S.J. 2000. Application of composted pulp and paper mill sludge to a young pine plantation, J. Environ. Qual. 29, 407-414.
- Kalaycı, Ş. 2006. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Asil Yayın Dağıtım, Ankara.
- Karacan, F., Ozden, U. and Karacan, S. 2007. Optimization of manufacturing conditions for activated carbon from Turkish lignite by chemical activation using response surface methodology, Appl. Therm. Eng. 27 1212-1217.
- Kasapoğlu, Ö.A. (2007). "Talaşlı İmalatta Bir Kalite Karakteristiğinin Modellenmesi", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, 191 s., İstanbul.
- Kemirtlek, A., Entegre Katı Atık Yönetimi (EKAY), İSTAÇ. http://istac.com.tr/contents/44/cevre-makaleleri_130838592910380265.pdf (Erişim tarihi: 10.10.2017).
- Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (KAAY). 2006. Resmi Gazete Sayısı, 27271.

- KHAJEH, M. 2009. Optimization of microwave-assisted extraction procedure for zinc and copper determination in food samples by Box-Behnken design, *Journal of Food Composition and Analysis*, 22: 343-346.
- Kocaer, F.O., Kemiksiz, A. ve Başkaya, H.S. 2003. "Arıtma Çamuru Uygulanmış Bir Topraktaki Organik Azotun Mineralizasyonu Üzerine Bir Araştırma", *Çev-Kor Dergisi*, 12-46.
- Koç, B. ve Ertekin, K.F. 2012. Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları. *Gıda Dergisi*, cilt 35, no.1.
- Köksoy, O. 2001. Taguchi ve Cevap Yüzeyi Felsefelerinin Birleştirilmesi: Problem ve Çözüm Teknikleri. Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Külling, D., Stadelmann, F. and Herter, U. 2001. "Sewage Sludge - Fertilizer or Waste?", UKWIR Conference, 30-31.10.01, Brussels.
- Lagrega, M.D., Buckingham, P.I. and Evans, J.C. 1994. "Composting", *Hazardous Waste Management*, McGraw-Hill, Inc., Singapore, p.625-630.
- Leontief, W.W. 1933. The Use of Indifference Curves in the Analysis of Foreign Trade, *The Quarterly Journal of Economics*, 47, 493-503.
- Leontief, W. W. 1936. Quantitative Input and Output Relations in the Economic System of the United States, *Review of Econ. Statistics*, 18, 3, 105-125.
- Loughbrough, R. 1991. Minerals in Lightweight Insulation, *Industrial Minerals*, October, 21-35.
- MacConnell, C. and Jimerson, J. 2003. "Fundamentals of Composting", 2003 Master Recyclee Composter Training Course Notes, Whatcom Country Solid Waste Division and Washington State University Whatcom Country Cooperative Extension, Bellingham, WA.
- Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001. Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III, Çalışma Grubu Raporu, Ankara.
- Marcos, C. and Rodriguez, I. 2010. Expansion behaviour of commercial vermiculites at 1000°C, *Applied Clay Science*, 48, 492-498.
- Metcalf & Eddy, 1991. *Wastewater Engineering: Collection, Treatment and Disposal*, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N.Y, USA.
- Marthur, S.P. 1991. Composting Processes, Bioconversion of Waste Materials to Industrial Products, Ed. Martin, A.M., Elsevier Appl. Ac. Publ., New York, p. 147-186.

- Miller, F.C., Harper, E.R. and Macauley, B.J. 1989. "Field Examination of Temperature and Oxygen relationships in Mushroom Composting Stacks- Consideration of Stack Oxygenation Based on Utilization and Supply", Australian Journal of Experimental Agriculture, 29(5), p. 741-750.
- Millot, G. 1970. Geology Of Clays, University of Strasbourg, Paris, p. 429.
- Montgomery, D.C. 1991. Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley&Sons Inc. New York.
- Montgomery, D.C. 2001. Design and Analysis of Experiments, 5th Ed. John Wiley & Sons, Inc., Arizona.
- Myers, R.H. and Montgomery, D.D. 1995. Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiments, John Wiley&Sons, Inc., New York, 700p.
- Noordin, M.Y., Venkatesh, V.C., Sharif, S., Elting, S. and Abdullah, A. 2004. Application of Response Surface Methodology in Describing the Performance of Coated Carbide Tools When Turning AISI 1045 steel", Journal of Materials Processing Technology, 145, s.46-58.
- O'Brien, T.A., Herbert, S.J. and Barker, A.V. 2003. Paper sludge as a soil amendment for production of corn, Commun. Soil Sci. Plan. 34, 2229-2241.
- Orhunbilge, N. 1997. Örneklem Yöntemleri ve Hipotez Testleri, İstanbul, İ.Ü. Basım ve Yayınevi Müdürlüğü.
- Öbek, E., Tatar, S. Y., Hasar, H., Arslan, E. I. ve İpek, U. 2004. "Kentsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamurlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Değerlendirilmesi", Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 16 (1):31-38.
- Özkan, Ş.G. ve Tuncer, G. 2001. Pomza Madenciliğine Genel Bir Bakış. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim 2001, S.200-207, İzmir.
- Öztürk, A. 2001. Yöneylem Araştırması, 7. Baskı, Bursa, Ekin Kitabevi Yayınları , s.77.
- Öztürk, İ., Timur, H. ve Koşkan, U. 2005. Atıksu Arıtımının Esasları. <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/arityon.html> (Erişim tarihi: 15.10.2017)
- Öztürk, D.C. (2008). "Biyolojik Arıtma Çamurlarının Aerobik ve Anaerobik Stabilizasyonunun Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk, İ. 2010. Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları, İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş. (İSTAÇ), Teknik Kitaplar Serisi 2, İstanbul.

- Öztürk, M. 2017. Hayvan Çiftliklerinde Kompost Üretimi. http://www.cevresehirkutuphanesi.com/assets/files/slider_pdf/Hk8jV030DWQe.pdf (Erişim tarihi: 04.01.2018).
- Penwarn, W. 2002. Quality Compost, Educations Seminars, Petrik Technology & Approach, Petrik Laboratories, Inc., USA.
- Plackett, R. L. and Burman, J. P. 1946. The design of optimum multifactorial experiments. *Biometrika*, 33 (4), 305-325.
- Poincelot, R. P. 1975. "Composting of sewage sludge", *Journal of Fermentation Technology* 65: 675-681.
- Ravikumar, K., Ramalingam, S., Krishnan, S. and Balu, K. 2007. Optimization of process variables by the application of response surface methodology for dye removal using a novel adsorbent, *Dyes and Pigments*. 72, 66-74.
- Richard, T. 1998. "Composting Strategies for High Moisture Materials, *Biocycle*, 39(6), p.46-51.
- R&R, 2010. "Evsel ve Evsel Nitelikli Atıksu Arıtma Çamurunun Arıtımı", DHV Consultant ve R&R Bilimsel ve Teknik Hizmetler Ltd. Şti., 12.03.10/report-4d, İstanbul.
- Rynk, R. 1992. On Farm Composting Handbook, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cornell University, Ithaca, NY, p.186.
- Sahu, J.N., Acharya, J. and Meikap, B.C. 2009. Response surface modeling and optimization of Chromium (VI) removal from aqueous solution using tamarind wood activated carbon in batch process, *J. Hazard. Mater.* 172(2-3) 818-825.
- Sánchez-Arias, V., Fernández, F.J., Villaseñor, J. and Rodríguez, L. 2008. Enhancing the co-composting of olive mill wastes and sewage sludge by the addition of an industrial waste, *Bioresour. Technol.* 99, 6346-6353.
- Sarız, K. ve Nuhoğlu, İ. 1992. Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği, Anadolu Üniversitesi Yayını, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Yayın No.62, Eskişehir.
- Schmidt, D. 2000. Odor, hydrogen sulfide and ammonia emissions from the composting of caged layer manure, Final Report, Broiler and Egg Association of Minnesota, University of Minnesota, USA.
- Scott, G.M. and Smith, A. 1995. Sludge characteristics and disposal alternatives for the pulp and paper industry. In: *Proceedings of the 1995 International Environmental Conference*, Tappi Press, Atlanta, GA.

- Sesay, A.A., Lasaridi, K.E. and Stentiford, E.I. 1998. Aerated Static Pile Composting of Municipal Solid Waste (MSW): A Comparison of Positive Pressure Aeration With Hybrid Positive And Negative Aeration, *Waste Management Research*, 16 (3).
- Sharma, V.K., Canditelli, M., Fortuna, F. and Cornacchia, G. 1997. Processing of Urban and Agro-Industrial Residues by Aerobic Composting: Review *Energy Conversion & Management*, 38(5), 453-478.
- Sikora, L. J. and Sowers, M. A. 1985. Effect of temperature control on the composting process, *Journal of Environmental Quality*, 14(3), 434-439.
- Singh, K.P., Singh, A.K., Gupta, S. and Sinha, S. 2011. Optimization of Cr (IV) reduction by zero-valent bimetallic nanoparticles using the response surface modeling approach, *Desalination* 270, 275-284.
- Sönmez, S. (2006). “Metal Kaplama Sanayi Atık Sularından Perlit Minerali ile Toplam Krom Gideriminin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Spiers, N., Manktelow, B. and Hewitt, M. J. 2009. *Practical Statistics Using SPSS*, National Institute for Health Research NHS, England.
- Stentiford, E.I. 1987. “Recent Developments in Composting”, *Compost Production, Quality and Use*, Eds. De Bertoldi, N., Ferranti, M.P., L’hermite, P. And Zucconi, F., Elsevier Applied Science, Great Britain.
- Strand, P. R. 1983. Vermiculite, *Industrial Minerals And Rocks*, ed: Lefond S. J., Vol: 2.
- Strom, P. F. 1985. Ventilation in Composting Wastewater Sludge. *Journal of the Water Pollution Control. Federation* 54, 111-113.
- Şehirlioğlu, A.K. 1997. Ürün ve süreç kalitesini iyileştirmede kullanılan istatistiksel modelleme teknikleri üzerine bir araştırma, 362 sayfa.
- Tania, P. and Deborah, J.S. 2002. An annotated bibliography of application papers using certain classes of fractional factorial and related designs, *Journal of Statistical Planning and Inference* 106: pp. 245 – 269.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S. 1993. “Aerobic Composting”, *Integrated Solid Waste Management*, McGraw-Hill, Inc., Singapore, p. 684-697.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L. and Stensel, H.D. 2003. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, Mc Graw Hill Press, New York U.S.
- Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y. and Hodgkiss, I.J. 1996. Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents, *Bioresour. Technol.* 55, 201-206.

- Topkaya, B. 2004. Kompost Ders Notu, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, (TKKY). 2005. Resmi Gazete Sayısı, 25687.
- Turp, S.M. (2004). "Perlit Adsorpsiyonu Katkısıyla Sıvı Borlu Sudan Helezon Sistemiyle Bor Arıtımının Teknolojik Araştırılması", Yüksek lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Turp, S.M. (2012). "Perlit ve Zeolit Kullanılarak Atıksulardan Ni, Zn, Pb Giderim Verimlerinin Belirlenmesi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Tuomela, M., Vikman, M., Hatkka, A. and Itavaara, M. 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review, *Bioresource Technology*, 72(2), 169-183.
- Turan, N. G. and Ergun, O. N. 2007. Ammonia uptake by natural zeolite in municipal solid waste compost, *Environmental Progress*, 26(2), 149-156.
- Turan, N.G. 2009. Nitrogen availability in composted poultry litter using natural amendments, *Waste Manage. Res.* 27, 19-24.
- Turan, N.G., Mesci, B. and Ozgonenel, O. 2011. The use of artificial neural networks (ANN) for modeling of adsorption of Cu(II) from industrial leachate by pumice, *Chem. Eng. J.* 171(3) 1091-1097.
- Türkyılmaz, H. (2011). "Kurşun İyonlarının Kesikli Adsorpsiyon Prosesi ile Gideriminin Cevap Yüzey Yöntemiyle Optimizasyonu", Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Müh. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Tütek, H.H. ve Gümüsoğlu, Ş. 2000. Sayısal Yöntemler, 3. Baskı, İstanbul, Beta Basım Yayın Dağıtım Yayın No: 1063, İşletme-Ekonomi Dizisi:47, s.138.
- Uğurlu, A. 1995. Katı Atık Yönetimi, Çevre Müh. Odası yayını, Ankara.
- United States Bureau of Mines (USBM). 1995. Mineral Yearbooks. <http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/zet%20htisas%20Komisyonu%20Raporlar/Attachments/140/oik628.pdf> (Erişim tarihi: 21.05.2017).
- Ürküt, Z, Dağbaşı, S. and Göksungur, Y. 2007. Optimization of Pullulan Production Using Ca-Alginate- Immobilized *Aureobasidium pullulans* by Response Surface Methodology. *J Chem Technol Biotechnol*, 82: 837-846.
- Varank, G., Bilgili, M.S., Sekman, E. ve Top, S. 2012. "Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Katı Atıklarla Birlikte Kompostlaştırılması", Bitirme Raporu, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, İstanbul.

- Verdonck, O. 1984. New Developments in the Use of Graded Perlite in Horticultural Substrates.
- Vesilind, P.A. and Spinoso, L. 2001. Production and Regulations, Ch1 in Sludge into Biosolid. London:IWA.
- Vittal, G. V., Deveswaran, R., Bharath, S., Basavaraj, B. and Madhavan, V. 2012. Formulation and characterization of ketoprofen liquisolid compacts by BoxBehnken design. International Journal of Pharmaceutical Investigation, 2 (3), 150- 156.
- Walker, C.E. and Parkhurst, A. M. 1984. Response Surface Analysis of Bake-Jab Date With A Personel Computer, Cereal Foods World 29 (10), 662.
- WEF (Water Environment Federation). 1995a. Wastewater Residuals Stabilization, Manual of Praticce FD-9, WEF, Alexandria, VA.
- WEF (Water Environment Federation). 1995b. Biosolids Composting. WEF, Alexandrian, VA.
- WERL. 2000. Compost Quality in America, Technical Document, New York State Association of Recyclers, pp, 30-42, Woods End Research Laboratory, Inc., USA.
- Wesley, L.D. 2001. Determination of specific gravity and void ratio of pumice materials, Geotechnical Testing Journal 24 (4), 418-422.
- Williams, P. 1999. "Composting-Waste is valuable Resource", Crop % Food Research Limited, Technical Document, The New Zealand.
- Winston, W.L. 2003. Operations Research: Applicatios and Algorithms, 4. baskı, International Thomson Publishing, Belmont, CA.
- Yetilmezsoy, K., Demirel, S. and Vanderbei, R.J. 2009. Response Surface Modeling of Pb(II) Removal from Aqueous Solution by Pistacia vera L.: Box-Behnken Experimental Design. Journal of Hazardous Materials, 171, 551–562.
- Yıldız, Ş., Yılmaz, E. ve Ölmez, E. 2009. "Evsel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonla Bertaraf Alternatifleri: İstanbul Örneği", TÜRKAY 2009 (Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu 2009), 15-17 Haziran, İstanbul, Türkiye.
- Yıldız, Ş. (2010). "Sorunlu Biyokatıların Aerobik Stabilizasyonu", Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.

- Zidan, A. S., Sammour, O. A., Hammad, M. A., Megrab, N. A., Habib, M. J. and Khan, M. A. 2007. Quality by design: understanding the formulation variables of a cyclosporine A self-nanoemulsified drug delivery systems by Box-Behnken design and desirability function. *International Journal of Pharmaceutics*, 332 (1-2), 55-63.
- Zhiyi, F. and Saskatchewan, R. (2004). A fuzzy inference system for synthetic evaluation of compost maturity and stability, MSc Thesis, Environmental System Engineering University, Regina.
- Zorpas, A. A., Vlyssides, A.G. and Loizidou, M. 1999. "Dewatered Anaerobically-Stabilized Primary Sewage Sludge Composting: Metal Leachability and Uptake by Natural Zeolite", *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 30 (11&12), p. 1603- 1613.
- Zorpas, A. A., Arapoglou, D. and Panagiotis, K. 2003. Waste paper and clinoptilolite as a bulking material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPSS) for compost production, *Waste Management*, 23, 27-35.

EK 1. KULLANILAN CİHAZLAR

KULLANILAN CİHAZLAR

Hassas terazi	RADWAG AS 220 R.2
pH-metre	OHAUS STARTER 3100-F
Mekanik çalkalayıcı	MIKROTEST
Etüv	JSR JSOF-100
İletkenlik-ölçer	SELECTRA CD-2005
Vakum pompası	WSK selbsthaltend
Distilasyon cihazı	BÜCHI Distillation Unit B-324
Spektrofotometre	T60U Spectrometer PG Instruments Ltd
Termoreaktör	MERCK TR 40 Spectroquant 420
Fotometre	MERCK Spectroquant NOVA 60 a

EK 2. KULLANILAN KİMYASALLAR

KULLANILAN KİMYASALLAR

Kalsiyum klorür ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

Sülfirik Asit (H_2SO_4)

Borik asit (H_3BO_3)

Sodyum hidroksit (NaOH)

Sodyum Tiyosülfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

Sodyum tetraborat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$)

Hidroklorik asit (HCl)

Potasyum nitrat (KNO_3)

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Nurdan AYCAN DÜMENÇİ

Doğum Yeri : Çarşamba

Doğum Tarihi : 01.04.1985

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Ondokuz Mayıs Lisesi (YDA) (2003)

Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği (2008)

Yüksek Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı (Ağustos 2008, Ekim 2011)

Yayınlar

A. Uluslararası hakemli dergilerde (SCI kapsamında) yayımlanan makaleler :

A1. Aycan, N., Turan, N.G., Özgonenel, O., “Optimization of Process Parameters for the Composting of Pulp / Paper-Mill Sludge by Hazelnut Kernel using a Statistical Method, *Environment Protection Engineering*, **40** (1), 127-138 (2014).

A2. Aycan, N., Turan, N.G., “Effects of different agro-based materials on composting of pulp/paper-mill sludge”, *Archives of Environmental Protection*, **40** (1), 33-40 (2014).

A3. Aycan, N., Turan, N.G., “The use of statistical optimization to model ammonia removal during the co-composting of pulp/paper mill sludge and corn wastes”, *Clean – Soil, Air, Water* **40** (1), (2014).

B. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (*Proceedings*) basılan bildiriler :

B1. Aycan, N., Turan, N.G., “Removal of Cu (II) from Inorganic Industrial Waste Leachate by Pumice”, 5th Annual International Symposium on Environment, Athens, Greece, 2010.

B2. Aycan, N., Turan, N.G., “Requirements for Closure of Open Dumping Areas-Towards Sustainable Landfilling”, *1st International Conference on Final Sinks, From Sanitary to Sustainable Landfilling-Why, How, and When?*, Vienna, Austria, 2010.

B3. Aycan, N., Turan, N.G., “Effects of Different Agro-Based Materials on Odour Control in Composting of Pulp/Paper-Mill Sludge”, 4th International Conference on Biotechniques for Air Pollution Control, La Coruña, Spain, 2011.

C. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

C1. Aycan, N., Turan, N.G., “Karadeniz Bölgesi’nde Katı Atıkların Kompostlaştırılabilirliğinin İncelenmesi”, *İTÜ 12. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu EKK’2010*, 647-652, İstanbul, 2010.

C2. Aycan, N., Turan, N.G., “Arıtma Çamurlarının Kompostlaştırılması ve Karşılaşılan Sorunlar”, *2. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi UKAY’2010*, 596-604, Mersin, 2010.

C3. Aycan, N., Turan, N.G., “Kentsel Arıtma Çamurlarının Pirinç Kabukları Kullanılarak Kompostlaştırılması”, *9. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, Samsun, 2011.