
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		 SAKARYA UNIVERSITY
	e-ISSN: 2147-835X		
	Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 26-09-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.340048	
	<u>Kabul/Accepted</u> 26-12-2017	<u>Online Access</u>	

Hayvan Yetiştiriciliğinden Kaynaklanan Kokulu Gazların Arıtımında Biyofiltrelerin Etkinliklerinin İncelenmesi

Edip Avşar^{*1}, Özgür Uyar², Kadir Alp², Asude Hanedar³

ÖZ

Çalışmada hayvan çiftliklerinden kaynaklanan ve amonyak içeren kokulu atık gazların biyofiltrelerle arıtılması araştırılmıştır. Biyofiltreler, düşük enerji gereksinimleri ve ilk kurulum maliyetinin düşüklüğü nedeniyle koku kontrolünde tercih edilmektedir. Bu nedenle, çalışmada hayvan barınaklarının aralıklı havalandırma uygulamasının simüle edilmesi için kesikli düzenle kurulan laboratuvar ölçekli reaktörler kullanılmıştır. Seri bağlı iki adet reaktöre kirletici olarak, konsantre amonyum hidroksit çözeltisinden hava geçirmek suretiyle elde edilen amonyak/hava karışımları beslenmiştir. Filtrelerde dolgu maddesi olarak evsel katı atıktan üretilmiş kompost ve odun talaşı karışımı kullanılmıştır. Farklı yükleme oranlarına karşılık amonyağın biyofiltrelerde aerobik-biyolojik olarak oksidasyon verimi ve bu verimi etkileyen faktörler incelenmiştir. Aklimasyon dönemi dahil 130 günlük süre içinde 1,32-27 g NH₃/m³.saat aralığında 8 farklı değerde yükleme yapılmış, ortalama amonyak giderim verimi % 97,2±1,8 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: amonyak; biyofiltre; hayvan besiciliği; koku

Investigation of the Treatment Efficiency of Biofilters In Terms of Odorous Gases Originated from Animal Breeding

ABSTRACT

In the study, treatment of odorous waste gases emitted from the cattle and sheep breeding facilities and poultry farms which containing ammonia were investigated by means of biofilters. Biofilters are preferred for odor control due to their low energy requirement and capital cost. For this purpose, bench scale batch reactors, were used to simulate the intermittent ventilation of animal barns. Ammonia/air mixtures used as pollution source were obtained by stripping the concentrated ammonium hydroxide via air and fed to two serially connected biofilter modules. Compost produced from domestic solid waste and sawdust mixture was used as a packing material in the filters. Factors affecting aerobic-biologic oxidation of ammonia in biofilters were investigated for different loading rates. During the 130 days which including the acclimation

¹ Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, eavsar@beu.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, uyaroz@itu.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, kalp@beu.edu.tr

³ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ahanedar@nku.edu.tr

period, 8 different loads were loaded in the range of 1.32-27 g NH₃/m³.h and the average ammonia removal rate was found as 97.2% ± 1.8.

Keywords: ammonia; biofilter; animal breeding; odor

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Koku en karmaşık hava kirliliği problemlerinden biridir. İstenmeyen kokular; insanların yaşam biçimlerini etkileyen ve halk tarafından istenmeyen hava kalite problemlerine neden olmakta, kişilerin psikososyal sağlığını ve refahını etkileyen çevresel bir stres faktörü olarak değerlendirilmektedir [1,2].

Organik ve inorganik birçok bileşik çevrede koku kirliliğine neden olmaktadır. İnorganik bileşiklerden hidrojen sülfür (H₂S) ve amonyak (NH₃), organik kirleticilerden sülfür ve aminli organikler ile solvent grubundan ise klorlu ve klorsuz bileşikler en önemli kokulu bileşikler olarak tanımlanır [3,4]. Genel olarak; gıda işleme tesisleri, süt endüstrisi, ilaç üretim tesisleri, kauçuk işleme tesisleri, kağıt endüstrisi, tekstil endüstrisi, petrol rafinerileri, kimya endüstrisi, hayvancılıkla alakalı tesisler, katı atık ve kompost tesisleri ile atıksu arıtma tesisleri koku kirliliği ile ilgili en önemli kaynaklar olup, atık gaz emisyonları sebebiyle etki ettikleri kentsel alanlar en önemli şikayet kaynaklarıdır [1,4].

Kokuya neden olan kaynaklarda kokunun kontrol altına alınması için farklı prosesler uygulanabilmektedir. Bunların en yaygın olanları; fizikokimyasal (yoğunlaştırma, adsorpsiyon, absorpsiyon, oksidasyon, insinerasyon vb.) ve biyolojik (biyofiltreler) proseslerdir. Bunlar içinde biyofiltreler basit ve uygun maliyetli çözümler sunması nedeniyle, özellikle uçucu organik maddelerin gideriminde yoğun olarak tercih edilmektedir [3,5,6].

1.1. Hayvancılıkta Amonyak Emisyonu (Animal Breeding Ammonia Emissions)

Hayvancılık sektöründe koku ve gaz emisyonları; arazi uygulamaları, hayvan gübresi depolama tesisleri ve ahırlara ait havalandırmalardan kaynaklanmaktadır Bu tesislerden kaynaklanan en önemli emisyonlardan biri olan amonyak; koku şiddeti yüksek, renksiz bir gaz olarak tanımlanmakta olup hayvan dışkılarındaki ürenin mikroorganizmalar tarafından üreaz enzimi

kullanılarak parçalanması sonucunda ortaya çıkmaktadır [5,7]. Hayvan yetiştiriciliği için ortam havasındaki tipik konsantrasyon seviyesi 5-70 ppm olarak verilmekle birlikte, özellikle kümes hayvancılığı aktivitelerinde ortamdaki amonyak konsantrasyonunun 200 ppm mertebelerine kadar yükseldiği, bu yüksek konsantrasyonların ise maruz kalanlarda üst solunum yolu rahatsızlıklarına neden olduğu tespit edilmiştir [8,9].

ABD’de sadece kümes hayvanları yetiştiriciliğinden yılda 3,6x10⁶ ton amonyak havaya salınırken, Hollanda’da hayvancılık sektörü kaynaklı emisyonlar 1.14x10⁵ ton/yıl dolayındadır. Tarım sektörünün önemli olduğu Avrupa ülkelerinde ortalama emisyon 8x10⁶ ton/yıl dolayındadır. Kanada’da zirai kaynaklı amonyak emisyonlarının %80’ini ise çiftlik hayvanları yetiştiriciliğinden kaynaklanmaktadır [10,11].

Tablo 1’de çeşitli sektörlerden kaynaklanan NH₃ konsantrasyonu seviyeleri listelenmiştir.

Tablo 1. Farklı tesis tipleri için NH₃ konsantrasyonu seviyeleri (NH₃ emission levels for several facilities)

Tesis Tipi	NH ₃ Konsantrasyon	Kaynak
Domuz çiftliği	6,2-8,7 g/gün	[12]
Domuz çiftliği	0-28 mg/m ³	[13]
Kapalı ahır	11-28 mg/m ³	[14]
Civciv yetiştirme çiftliği	6-38 mg/m ³	[15]
Gübre depolama alanı	12-26 mg/m ³	[16]
Evsel atık ve arıtma	>70 mg/m ³	[17]
çamuru kompost tesisi	227-700 mg/m ³	[18]
atıkgazı	>1000 mg/m ³	[19]
Hayvan gübresi atıklarının kompost tesisi	>2000 mg/m ³	[20]

1.2. Amonyak İçeren Kokulu Gazların Biyofiltrelerde Arıtımı (Treatment of Odorous Gases Containing Ammonia In Biofilters)

Kokulu gazın debisi ve kirleticinin gaz akımındaki konsantrasyonu, gaz akımına uygulanacak arıtma yönteminin seçilmesinde belirleyici kriterlerdir. Buna göre; atıkgaz debisinin yüksek, kirletici konsantrasyonunun ise düşük olduğu atık gaz akımları için biyofiltreler en ekonomik ve etkin seçenek olup, düşük enerji gereksinimleri ve düşük yatırım maliyetleri nedeniyle kullanımları

da giderek yaygınlaşmaktadır. Amonyak içeren atıkgaz akımları da bu özelliklere son derece uygundur [21].

Biyofiltrasyonda, atık gaz akımlarındaki kirletici gaz bileşenlerini biyolojik olarak ayrıştıran ve kokusuz ürünlere dönüştüren mikroorganizmalar kullanılır. Hava fazı içindeki kirletici gazlar, içinde mikroorganizmaların bulunduğu biyofilm içinde tutulur ve mikroorganizma tarafından nihai parçalanma ürünlerine (su, CO₂, mineral tuzlar, uçucu organik maddeler ve oksitlenebilir inorganik kirleticiler) dönüştürülürler. Mikroorganizmaların oksitleyebildiği bileşenler: hidrojen sülfür (H₂S) ve sülfürlü bileşikler, amonyak (NH₃), uçucu yağ asitleri (VFA'lar), aminler (RNH₂), diğer azotlu bileşikler ve çeşitli uçucu bileşiklerdir. Bu kapsamda biyofiltrelerde; giderim mekanizması 3 aşamalı olup; biyolojik parçalanma, absorpsiyon, ve desorpsiyondan oluşmaktadır [22-24].

Biyofiltreler, yapısal olarak (kapalı ve açık sistemler) ve gaz akış yönüne (yukarı-aşağı akış) göre sınıflandırılır. Kapalı biyofiltreler giriş ve çıkışında gaz akımı kontrolüne imkân sağlarken, açık sistemlerde arıtılmış gazın kontrol imkânı olmayıp, yüzeyden doğru direk havaya verilmektedir. İlk yatırım maliyeti açısından açık biyofiltrelerin maliyeti kapalı olanlardan düşüktür. Bu nedenle hayvan çiftliklerinden kaynaklanan ve koku içeren gazların arıtımında açık sistemler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Endüstriyel biyofiltre uygulamalarında dolgu malzemesi seçimi önemli olup malzeme seçiminde sırasıyla; nem tutma kabiliyeti, porozite, sorpsiyon özelliği, pH değeri ve maliyet gözönüne alınmaktadır [3,24].

Biyofiltre malzemesi maliyet açısından da önemli bir unsurdur. Maliyeti azaltmak için, mikroorganizma kaynağı (kompost, turba ya da toprak) ve porozite arttırıcı malzeme (odun talaşı) karışımı ile elde edilen dolgu malzemeleri kullanılır. Çoğu açık biyofiltrelerde, compost ve odun talaşı sırasıyla %20-%80 oranında karıştırılmakta ve 420 kg/m³ yoğunlukta dolgu malzemesi elde edilmektedir. [25].

Literatürde büyükbaş hayvan çiftliklerinden kaynaklanan kokunun giderilmesinde eşit miktarda compost ve odun talaşından elde edilen karışımın kullanılması önerilmektedir. Sisteme yeterli mikroorganizma ve besi maddesi girişinin sağlanması açısından compost oranının azaltılması tavsiye edilmeyen bir durumdur. Biyofiltrelerde bekletme süresi de önemli bir parametredir ve

genellikle "boş yatak temas süresi" (BYTS) olarak tanımlanır. BYTS; biyofiltre yatağı dolgu malzemesi hacminin, atık gaz debisine bölünmesi ile bulunur. Besi hayvancılığı ile ilgili yapılan çalışmalarda bekletme süreleri birkaç saniye ile 1 dakika aralığında değişmektedir [26].

Laboratuvar ölçeğinde bir biyofiltre çalışmasında, %65 nem içeriğinde ve nitrifikasyon çamuru ile aşılammış linyitin 40 ppm gibi yüksek amonyak girişlerinde bile giderme veriminin etkilenmediği belirlenmiştir [27].

Nitrifikasyon bakterilerinin giderim verimine etkisinin incelendiği bir çalışmada, bakteri ile aşılammış turbanın aşılammış turbaya göre daha fazla amonyak giderdiği (pH=4,1'de sırasıyla 0,70 ve 0,32 g N/gün/kg kuru turba) görülmüştür. Bu deneylerde bir diğer ilginç husus ise aşılammış biyofiltrede organik azot miktarının <0,1 g değerinden 2 g N/kg kuru turba değerine artmış olmasıdır. Aşılammış dolgu malzemesine, 0,16-0,32 g N/gün kg kuru turba mertebesinde amonyak yüklemeleri yapıldığında, biyofiltrede önemli bir organik azot birikimi tespit edilmemiştir. Nötralizasyonu sağlanmış turbada mikrobiyal kütlelenin gelişiminin daha fazla olması bu durumun oluşmasında etkili olmaktadır [3].

Diğer bir çalışmada, değişken amonyak konsantrasyonlarının kesikli şekilde beslenmesinin (kompost/perlit oranı: 5/1 ve kuru çamur/granüler aktif karbon oranı: 5/1) farklı dolgu içeren biyofiltrelerin verimine etkisi araştırılmıştır. 30-110 mg/m³ aralığında amonyak beslemesi (3,6-60 g/m³.saat yükleme; 0,48-1,6 m³/saat debi ve 18-60 dakikalık BYTS değerleri) ile sürdürülen çalışmada uzun süreli kesintilerin ardından (3 gün ile 1 hafta arası), 18 saat alışma süresini takiben amonyak giderim veriminin %96'dan %99'a yükseldiği ve verimin uzun süre korunduğu görülmüştür. Şok yüklemelerde (6 saat süre ile 500 mg/m³) verimin hızla düştüğü (%70), ancak 5 gün ile 1 haftalık dinlenme periyodunu takiben sistem veriminin %98'e çıkabildiği tespit edilmiştir [17].

Başka bir çalışmada, 210 günlük süreçte compost ve arıtma çamuru içeren iki ayrı biyofiltrede amonyanın (20-200 mg/m³) arıtımı incelenmiştir. Compost biyofiltre için 24,9-566 g NH₃/m³.gün, çamur içeren biyofiltre için de 24,9-472 g NH₃/m³.gün şeklinde yükleme yapılmıştır. Bu yüklemeler için arıtma verimleri sırasıyla %97-99 ve %95-99 olmuştur. 110 mg/m³ giriş konsantrasyonu üzerinde ise verim düşmektedir. Nitratın en önemli giderim ürünü olduğu

çalışmada, sisteme herhangi bir besi maddesi ve tampon desteği ise ilave edilmemiştir [28].

Literatürde ağaç yongaları ile doldurulmuş pilot ölçekli biyofiltre domuz çiftliğinden kaynaklanan amonyak emisyonlarının gideriminde kullanılmıştır. 74 günlük işletme süresi boyunca devam eden çalışmada (15 mg/m³ NH₃ giriş konsantrasyonu ve 6-15 dk'lık BYTS değerlerinde) %90-%100 aralığında giderim verimleri elde edilmiştir [13].

Literatürde yapılan çalışmalara ek olarak bu çalışmayla, hayvan yetiştiriciliğinden kaynaklanan amonyak içerikli kokulu gazların kontrolünde kullanılabilen biyofiltrelerin tasarım sürecinde yararlanılacak temel kriterler ortaya konulmuştur.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Reaktör Sistemi (Reactor System)

Deney düzeneği, seri bağlanmış birbirine eş iki biyofiltre reaktöründen oluşmaktadır. Reaktörler; pleksiglastan, çap 200 mm, yükseklik 295 mm (hacim:9300 mL, efektif hacim:8500 mL, Yükseklik: 270 mm) olacak şekilde yapılmıştır. Reaktörlerin alt ve üst kısmındaki kapakların sızdırmazlığı, conta ile sağlanmıştır. Kapaklarda, gaz ve sıvı akım giriş ve çıkışı için uygun açıklıklar mevcuttur. Reaktör tabanından 2 cm yukarıya, atık gazın homojen dağılması ve dolgu malzemesine destek olması için alüminyum bir elek yerleştirilmiştir (Şekil.1). BYTS değeri her bir reaktör için 50 saniye olarak seçilmiştir. Havalandırma debisi 10 L/dak olacak şekilde sürdürülmüştür.

2.2. Dolgu Malzemesi (Pack Material)

Dolgu malzemesi için kompost ve ağaç talaşı karışımı seçilmiştir. Kullanılan kompost, İSTAÇ A.Ş.'ye ait kompost tesisi'nden alınmış olup, 2 mm elek altı malzemeden oluşmaktadır. Talaş olarak kaba ağaç talaşı kullanılmıştır. Kompost-talaş karışımı için literatür verileri uyarınca ağırlıkça %50-%50 ile, %90-%10 oranlarında değişen karışımlar yapılmıştır. Bunların arasından optimum karışım olarak “%85 kompost-%15 talaş” oranı seçilmiştir. Kullanılan kompostun ve oluşturulan optimum karışımın bazı özellikleri Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir. Her bir reaktöre

elde edilen karışımdan 1,9 kg malzeme sıkıştırılmadan doldurulmuştur.

2.3. Amonyak Beslemesi (Ammonia Loading)

Amonyak sisteme %1-1,5 amonyak gazı/ azot gazı olacak şekilde verilmiştir. Hâlihazırda iç piyasada bu şekilde bir karışım olmadığı için, değişik pH değerlerinde derişik (%25'lik) amonyum hidroksit ile su karışımlarından havayla sıyrılarak amonyak gazı temin edilmiştir. Bu amaçla, 0,5 L'lik yıkama şişelerinde belirli pH değerlerinde hazırlanan karışımlar, debi kontrollü olarak sağlanan hava ile sıyrılmıştır.



Şekil 1. Seri bağlı reaktör sistemi ve besleme düzeni (Reaktors connected in series and loading layout)

Tablo 2. İSTAÇ Kemerburgaz tesisinden sağlanan kompostun özellikleri (Specification of the compost provided from İSTAÇ kemerburgaz facility)

Parametre	Birim	Değer
pH	-	7,9
TOK	%	19,4
TKN	%	1,2
C/N	-	16,2
Kurşun	mg/kg	266,5
Kadmiyum	mg/kg	3,2
Krom	mg/kg	135,2
Bakır	mg/kg	221,0
Nikel	mg/kg	82,6
Çinko	mg/kg	438,3
Cıva	mg/kg	1,1

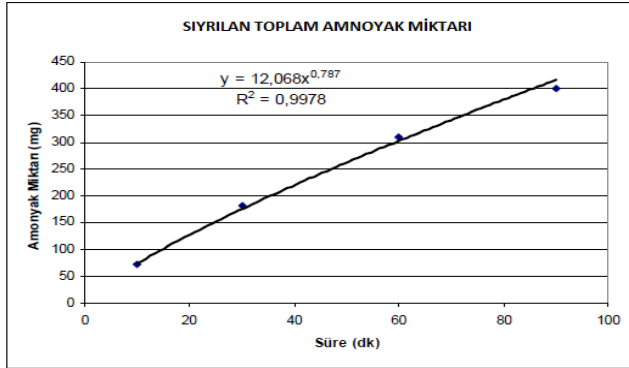
Sıyrılan amonyağı taşıyan gaz karışımı reaktörlere beslenmiştir. Bu tarz besleme kesikli şekilde ve sıyrma işleminden dolayı düşük bir konsantrasyondan gittikçe artan konsantrasyonlara doğru yapılmıştır. Çözeltiden gaz fazına geçebilecek amonyağın hesabı Henry Kanunu yardımıyla yapılmıştır. Henry kanunu;

$$P_A = H \cdot X_A \quad (1)$$

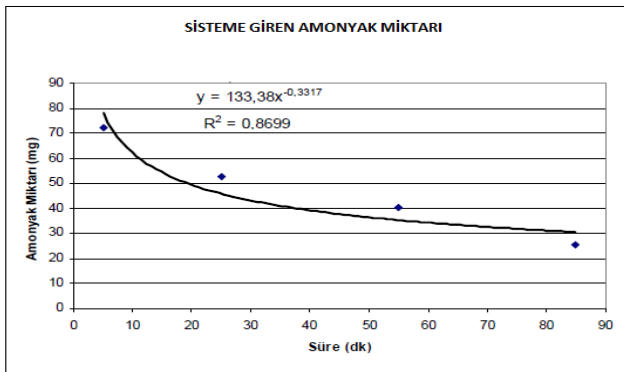
Denklemi ile verilir. Burada; P_A gaz fazındaki amonyak kısmi basıncını (atm veya mm Hg), X_A

ise çözeltilde amonyak mol konsantrasyonu (mol/L), H'de Henry Kanunu sabitini (Amonyak için 25 °C'de 0,01695 atm/mol) ifade etmektedir. [7].

Hava ile sıyırma işlemi; 0,5 L'lik yıkama şişesindeki amonyak/su çözeltisi yüzeyinden ve çözelti içine batırılarak iki değişik yöntemle yapılmıştır. Elde edilen amonyak gazı, seri bağlı poröz taş dağıtıcılı 2 adet absorplama şişesinde tutulmuştur. Absorplama şişelerine 0,1L 0,1 N borik asit çözeltisi ilave edilmiştir. Sıyırma işleminin gerçekleştirildiği 1-2 saatlik sürede 10'ar dakikada bir absorplama işlemi yapılmıştır. Sıyırma hava debisi 10, 20 ve 30 L/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. Absorplama şişelerinde tutulan amonyak, 0,02 N H₂SO₄ çözeltisi ile titre edilerek miktar tespit edilmiştir [29]. Amonyak sıyırmasında beslenen (hava+amonyak) karışımının konsantrasyonu ve reaktörlere giren toplam amonyak miktarının zamanla değişimine örnek olmak üzere, pH 11,19 değerinde yapılan çalışma Şekil 2'de verilmiştir. Çeşitli pH değerlerine sahip amonyak çözeltileri kullanılarak yapılan sıyırma çalışmalarında teorik ve ölçülen değerlerin uyumluluğu belirlenmiş ve örnek oluşturmak üzere Tablo 4'te verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2. Sıyırma sisteminden elde edilen (a) ve biyofiltreye beslenen amonyak (b) miktarları Ammonia values obtained from stripping system (a) and loaded to biofilters (b)

Tablo 4. Teorik ve deneysel amonyak sıyırma değerleri (Theoretical and experimental ammonia stripping values)

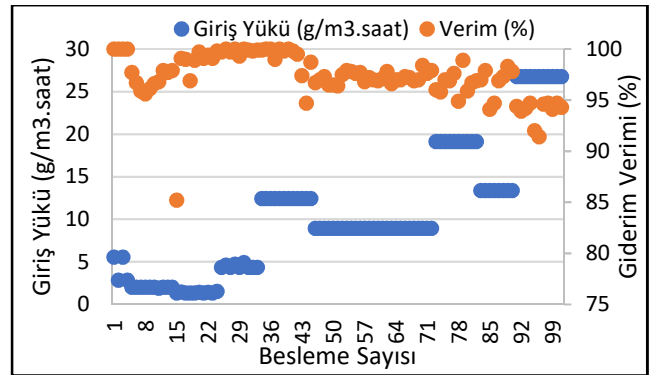
Teorik NH ₃ miktarı, mg	Ölçülen NH ₃ miktarı, mg	Sıyırma Verimi, %
69,9	46	65,8
196,3	178,3	90,8
467,5	401,5	85,9

3. DENEY SONUÇLARI (EXPERIMENTAL RESULTS)

Ters akımlı, ardışık reaktörlerde sentetik amonyak gazı 40-350 mg/m³ konsantrasyon aralığında beslenmiş ve reaktörlerdeki biyolojik reaksiyonların ürünleri olan NO₂⁻, NO₃⁻, TKN ve kalan NH₄⁺ azot türleri arasındaki dönüşüm, reaktörlerdeki dolgu malzemesinde yapılan deneylerle tespit edilmiştir.

3.1. Amonyak Giderimi (Ammonia Removal)

Çalışma, aklimasyon dönemi dahil, 130 günlük süre içinde 1,32-27 g NH₃/m³.saat aralığında 8 farklı yükte yapılmıştır. Bu yükler sırasıyla 1,32-2,00-4,48-8,92-12,44-13,38-19,12-26,76 g NH₃/m³.saat olmuştur. Ölçüm sonuçları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Biyofiltrede giriş amonyak yükleri ve giderim verimi ilişkisi (Input ammonia load and removal efficiency relation)

Reaktörlerde nem oranı % 40-60 aralığında değişmiştir. Sistem genellikle mezofilik (15-26 °C) aralıkta çalıştırılmış olup, değerler amonyak giderimi için gerekli olan optimum aralıkta kalmıştır. Deneysel çalışma esnasında biyofiltre sisteminin ikinci reaktörünün çıkışı, içlerinde 100'er mL 0,1 N borik asit çözeltisi bulunan seri bağlı 2 adet yıkama şişesi içinden gün boyunca geçirilerek amonyak gazı absorbe edilmiş ve 0,02 N H₂SO₄ çözeltisi ile titre edilerek günlük ortalama verimin belirlenmesinde kullanılmıştır. Çalışma 42 gün boyunca 10 L/dak'lık debi ve farklı 3 amonyak yüklemesiyle, takip eden 58 gün

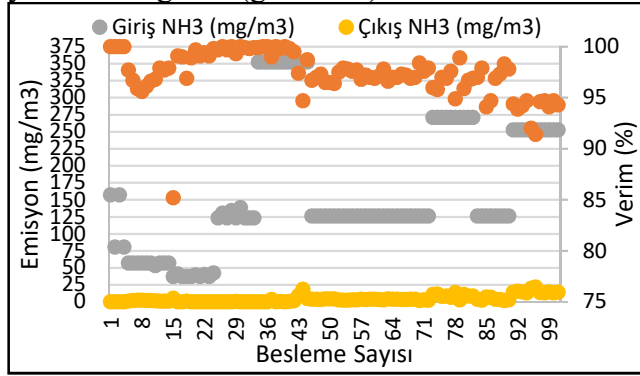
boyunca 20 L/dak'lık debi ve tek yüklemeye, 21 gün boyunca ise 30 L/dak'lık debi ve farklı 2 amonyak yüklemesiyle tamamlanmış olup, BYTS biyofiltreler için literatürde en çok önerilen 17-51 saniye arasında değiştirilmiştir. Biyofiltrede amonyak yüklemesi ile giderme veriminin değişimi Şekil 4'de verilmiştir.

Çalışma periyodu boyunca ortalama giderme verimi % 97,2±1,76 olarak bulunmuştur. Bu değer literatürde verilen %95-99 aralığı ile uyumludur. Maksimum ve minimum verimler %99,8 ve %93,9 olarak belirlenmiştir. Genel olarak NH₃ yükü arttırıldığında verim azalmaktadır. Bu ilişkinin denklemi;

$$y = -0,1337x + 98,712 \quad (2)$$

(R² = 0,4471) olarak bulunmuştur.

Burada y terimi % giderim verimini, x terimi ise yükleme değerini (g/m³.saat) ifade etmektedir.



Şekil 4. 10, 20 ve 30 L/dakika debide giriş ve çıkış amonyak emisyonları ve verimin değişimi (Input and output ammonia emissions and removal efficiency relation for 10,20, 30 L/min. flows)

Bu ifade, biyofiltrede inhibisyon etkisi sınırlarına kadar geçerlidir. Kompost materyalinin biyofiltrasyondan önce ve 42 gün sonraki özelliklerinden bazıları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Çalışmanın başlangıç ve sonundaki dolgu malzemesi özelliklerinin karşılaştırması (Comparison of pack material properties at beginning and end of experiment)

Parametre	Birim	Çalışma başlangıcı	42 gün sonra	
			Karışım	Reaktör 1
pH*	-	7,38	7,44	7,46
Elektriksel İletkenlik*	µs/cm	4440	2560	2840
Su Muhtevası*	%	27,2	55	56
Katı Madde	(% katı)	72,8	45,0	44,0
TKN	g/kg*	12,92	18,11	16,03
TKN	%	1,29	1,81	1,60
NH ₄ -N	mg/kg*	38,0	2406,44	251,49
KOI, **	g/kg kuru mad	0,13	0,12	0,10

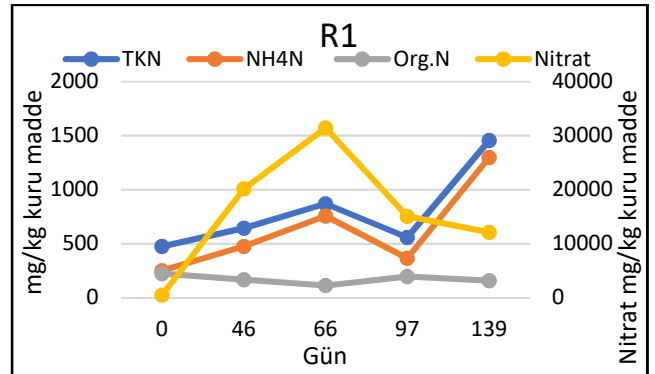
* 1 birim karışım+ 5 birim su, ** 1 birim karışım+ 20 birim su

Tablodan görüldüğü üzere malzemenin pH'ında tamponlama kapasitesinden dolayı önemli bir değişim görülmemekle beraber, elektriksel iletkenliğinde bir azalma söz konusu olmuştur. Organik madde konsantrasyonunda herhangi bir değişim gözlenmezken, yüksek amonyak giderimi sonucu NH₄-N konsantrasyonunda büyük bir artış gözlenmiştir. Buna göre organik azot miktarında %3 dolayında artış gerçekleşmiştir.

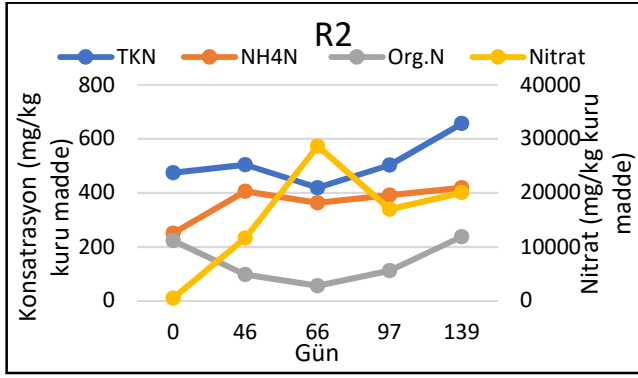
3.2. Azot Türlerinin Dönüşümü (Transformation of Nitrogen Forms)

Çalışmada ayrıca biyofiltrede dolgu malzemesi olan kompost materyalinden, karakteristik amonyak yüklemelerinde, kararlı duruma ulaşıldıktan sonra, her iki filtrenin girişinden alınan numuneler üzerinde azotun dönüşüm ürünleri incelenmiştir. Biyoreaktörlerde azot türlerinin değişiminin belirlenmesi için, reaktör 1 (R1) ve reaktör 2 (R2)'den alınmış dolgu malzemelerinin, distile su ile katı/sıvı oranı =1/20 olacak şekilde yapılan ekstraksiyonundan elde edilen filtre edilmiş suda iyon analizörle nitrit ve nitrat iyonları ve ıslak kimyasal analizlerle ise TKN ve NH₄-N'u parametreleri konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu parametrelerin değişimi Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

Sonuçta, aynı amonyak yüklemelerinde ilk sırada yer alan R1'de genellikle amonyağın önemli kısmının dönüşümünün gerçekleştiği ve dönüşüm ürününün beklendiği gibi nitrat azotu şeklinde olduğu bulunmuştur. Organik azot bakımından R1'de sabit bir seviyeye karşılık R2'de başlangıçta oldukça yüksek bir konsantrasyondan gittikçe azalan değerler elde edilmiştir. Nitrat azotunun azalmasına karşılık organik azot konsantrasyonunda artış tespit edilmiştir.



Şekil 6. Reaktör 1'de azot türlerinin değişimi (Variations of nitrogen species in reactor 1)



Şekil 7. Reaktör 2'de azot türlerinin değişimi (Variations of nitrogen species in reactor 2)

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Çalışmada hayvan çiftliklerinden ileri gelen kokulu atık gazların ekonomik bir yöntem olan biyofiltrelerle arıtılmasına ilişkin deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, hayvan yetiştiriciliğinde en önemli koku bileşenlerinden biri olan amonyakın, farklı yükleme oranlarında biyolojik olarak giderimini etkileyen etmenler laboratuvar ölçekli bir reaktörde vasıtasıyla incelenmiştir. Çalışma sonuçlarında, sektörde amonyak içeren kokulu atıkgazların kontrolünde kullanılabilecek biyofiltrelerin tasarımında yararlanılacak temel kriterler ortaya konmuştur.

Çalışmada, silindirik, seri bağlı ardışık iki adet biofiltre reaktörü kullanılmıştır. Biyofiltrede dolgu olarak kompost ve ağaç talaşı karışımı sırasıyla %85-%15 oranında kullanılmıştır. Amonyak beslemesi için, sentetik olarak sıyırma işlemi ile hazırlanan, %1-1,5 amonyak/azot gazı karışımları kullanılmıştır. Ters akımlı, ardışık reaktörlerde sentetik amonyak gazı 40-350 mg/m³ konsantrasyon aralığında, 130 günlük periyot içinde 1,32 -27 g NH₃/m³.saat olmak üzere 8 farklı yükte yapılmıştır.

Çalışmanın başlangıcı ile bitiminde, dolgu malzemesinden alınan örnekler analiz edilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde; pH değerinin kompost malzemesinin tamponlama kapasitesi dolayısı ile çok fazla değişiklik göstermediği, eluatlar üzerinden yapılan analizlerde TKN azotunda yükselme gözlemlendiği, amonyak azotunda ise her iki reaktörde NH₃ gideriminden dolayı önemli artışlar kaydedildiği tespit edilmiştir. Değişik amonyak giriş konsantrasyonlarında giderme verimi % 97,2±1,76 olarak bulunmuştur. Genel olarak amonyak giriş yükü artırıldığında verim azalmıştır.

Çalışmada ayrıca biyofiltrede dolgu malzemesi olan kompost materyalinden, karakteristik amonyak yüklemelerinde, kararlı konuma ulaşıldıktan sonra, her iki filtrenin girişinden olmak üzere alınan numunelerde azot dönüşüm ürünleri incelenmiş ve aynı amonyak yüklemelerinde ilk sırada yer alan R1'de genellikle amonyakın önemli kısmının dönüşümünün gerçekleştiği ve dönüşüm ürününün beklendiği gibi nitrat azotu şeklinde olduğu bulunmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. I. Showqi, F. A Lone, M. Ashraf, M. A. Mehmood, and A. Rashid, "Biofilters in Mitigation of Odour Pollution - A Review," *Nature Environment and Pollution Technology*, vol. 15, pp.1177-1185, 2016.
- [2]. V. Blanes-Vidal, J. Baelum, E. S. Nadimi, P. Lofstrom, L. P. Christensen, "Chronic exposure to odorous chemicals in residential areas and effects on human psychosocial health, Dose-response relationships," *Science of The Total Environment*, vol. 490, pp.545-554, 2014.
- [3]. Ö. Uyar "Biyofiltrelerle Amonyak Emisyonlarının Kontrolü," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2007.
- [4]. K. Alp, Ö. Uyar, A. Hanedar, E. Avşar, "Amonyak İçeren Atıkgazların Biyofiltrelerde Arıtılması," *İ.T.Ü. 12. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, s.103-112, 2010.
- [5]. G. K. Kafle, L. Chen, H. Neibling, B. B. He, "Field evaluation of wood bark-based down-flow biofilters for mitigation of odor, ammonia, and hydrogen sulfide emissions from confined swine nursery barns," *Journal of Environmental Management*, vol. 147, pp. 164-174, 2015.
- [6]. P. Baltrenasa, A. Miseviciusa, K. Macaitisa, R. Tekorieneb, "Experimental research of odours arising during the process of biofiltration," *Energy Procedia*, vol. 72, pp 64-70, 2015.
- [7]. M. Appl, "Ammonia:Principles and industrial practice," New Jersey: Wiley-VCH, 1999.

- [8]. W. M. Grant, C. C. Thomas, "Ammonia. In: Toxicology of the eye. 2nd edition," Illinois: Springfield, 1974.
- [9]. S. S. Schiffman, B. W. Auvermann, R. W. Bottcher, "Health Effects of Aerial Emissions from animal production and waste management systems,". Technical Note, *White Paper Summaries*, pp. 1-3, 2001.
- [10]. J. Pearson, G. R. Stewart, "The deposition of atmospheric ammonia and its effects on plants," *New Phytologist*, vol. 125, pp. 283–305, 1993.
- [11]. T. Kurvits, T. Marta, "Agricultural NH₃, and NO emissions in Canada. *Environmental Pollution*," vol. 102, pp. 187-194, 1998.
- [12]. C. M. C. Peet-Schwering, A. J. A. Aarnink, H. B. Rom, J. Y. Dourmad, "Ammonia emissions from pig houses in the Netherlands, Denmark and France,". *Livestock Production Science*, vol. 58, no.1-3, pp. 265-269, 1999.
- [13]. E. Dumont, L. Hamon, S. Lagadec, P. Landrain, B. Landrain, Y. Andrès, "NH₃ biofiltration of piggery air," *Journal of Environmental Management*, vol. 140, pp. 26-32, 2014.
- [14]. K. Louhelainen, J. Kangas, A. Veijen, P. Viilos, "Effect of in situ composting on reducing offensive odors and volatile organic compounds in Swineries," *AIHAJ*, vol. 62, pp. 159-167, 2001.
- [15]. S. B. Shah, T. J. Basden, D. K. Bhumbla, "Bench-scale biofilter for removing ammonia from poultry house exhaust," *Journal of Environmental Science and Health, Part B-Pesticides, Food Contaminants and Agricultural Wastes*, vol. B38, pp. 89-101, 2003.
- [16]. A. Armeen, "Biofiltration of odour control in livestock facilities," Ph.D Thesis, University of Alberta, 2006.
- [17]. Y. X. Chen, J. Yin, K. X. Wang, S. Fang, "Effects of periods of nonuse and fluctuating ammonia concentration on biofilter performance," *Journal of Environmental science and health part A-Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, vol. A39, pp. 2447-2463, 2004.
- [18]. E. Smet, H. Van Langenhove, K. Maes, "Abatement of high concentrated ammonia loaded waste gases in compost biofilters," *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 119, pp. 177-190, 2000.
- [19]. N. J. Kim, M. Hirai, M. Shoda, "Comparison of organic and inorganic packing materials in the removal of ammonia gas in biofilters," *Journal of Hazardous Materials*, vol. B72, pp.77-90, 2000.
- [20]. E. Pagans, X. Font, A. Sanchez, "Biofiltration for ammonia removal from composting exhaust gases," *Chemical Engineering Journal*, vol. 113, pp. 105-110, 2005.
- [21]. K. A. Rabbania, W. Charlesa, A. Kayaalp, R. Cord-Ruwischa, G. Hoa, "Pilot-scale biofilter for the simultaneous removal of hydrogen sulphide and ammonia at a wastewater treatment plant," *Biochemical Engineering Journal*, vol. 107, pp. 1–10, 2016.
- [22]. H. L. Bohn, "Control of VOC emissions from waste management facilities, Comments," *J. Environ. Eng.*, vol. 116, pp. 1002-1004, 1990.
- [23]. H. L. Bohn, "Consider biofiltration for decontaminating gases," *Chem. Eng. Prog.*, vol. 88, pp.34-40, 1992.
- [24]. R. F. Vieira, D. Lopes, I. R. Baptista, S. A. Figueiredo, V. F. Domingues, J. Vaz, H. Varela, R. F. Jorge, O. M. Freitas, and C. Delerue-Matos, "Biofiltration using natural materials from Portuguese woods for odour removal in a municipal waste management plant," *Sustainable Development*, vol. 2, pp. 717-727, 2015.
- [25]. J. S. Devinnny, M. A. Deshusses, T. S. Webster, "Biofiltration for air pollution control," Florida: CRC Lewis Publishers, 1999.
- [26]. R. E. Nicolai, "Biofiltration of livestock facility exhaust air," Ph.D Thesis, University of Minnesota, 2002.
- [27]. N. Furusawa, I. Togashi, M. Hirai, M. Shoda, H. Kubota, "Removal of hydrogen sulfide by a biofilter with fibrous peat," *Journal of Fermentation Technology*, vol. 62, pp. 589-594, 1984.

- [28]. Y. X. Chen, J. Yin, K. X. Wang, “Long term operation of biofilters for biological removal of ammonia,” *Chemosphere*, vol. 58, pp. 1023-1030, 2005.
- [29]. D. A. Eaton, L. S. Clesceri, E. W. Rice, A. E. Greenberg, “Standard Methods for the examination of water and wastewater 21st Ed.,” Missouri: American Public Ass., 2005.