

KOKUYA SEBEP OLAN GIDA FERMANTASYON PROSESİ ATIKGAZ AKIMI KARAKTERİZASYONU VE BİYOLOJİK ARITIMI

Kadir ALP ^{1(*)}, Mustafa TÜRKER², İlker AKMIRZA ¹, Saadet ETLİ ¹, Merve YILMAZ ¹

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ayazağa/İstanbul
² PAK Gıda Üretim ve Pazarlama A.Ş., İzmit

ÖZET

Son yıllarda artan refah seviyesi ile beraber koku emisyonları giderek önem kazanan bir hava kirlilik parametresi olmaktadır. Günümüzde başta Amerika ve Avrupa Birliği ülkeleri olmak üzere bir çok ülke koku emisyonlarının kontrolüne yönelik yasal düzenlemeleri yürürlüğe koymuştur. Ülkemizde de 2013 yılında yürürlüğe giren ilgili yönetmelik uyarınca koku emisyonlarının kontrol altına alınması hedeflenmiş ve bu çerçevede kokulu atıkgaz akımlarının arıtımına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Ülkemizde yaygın bir endüstri kolu olan gıda fermantasyon endüstrisi etanol, asetaldehit ve propanol gibi kokulu atıkgaz akımlarını atmosfere salmakta ve özellikle tesislere yakın yerleşim yerlerinde ciddi koku problemlerine sebebiyet vermektedir. Son 30 yılda koku emisyonlarının kontrolüne yönelik birçok fizikokimyasal proses kullanılmış ancak yüksek enerji ve yatırım maliyetlere sahip olmaları ve de çevre dostu olmayan yapılarından ötürü günümüzde bu sistemler yerlerini biyolojik arıtma alternatiflerine bırakmıştır. Bu amaç ışığında yapılan çalışmada yüksek debi ve düşük emisyon konsantrasyonuna sahip olan gıda fermantasyon atıkgaz akımının pilot ölçekli biyofiltre sisteminde arıtılması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada 700 mg m⁻³ etanol, ~ 300 mg m⁻³ asetaldehid ve ~ 70 mg m⁻³ aseton konsantrasyonuna sahip sentetik atıkgaz akımları, 50 litre aktif hacme sahip PVC malzemeli 0.2 m çap ve 2.7 m yüksekliğe sahip biyofiltre kolonunda 145 günlük işletim süresince saatlik 2 m⁻³ atıkgaz debisi biyolojik arıtıma tabii tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar ışığında etanol 29 ± 1 g m⁻³ sa⁻¹ eliminasyon kapasitesi ve > %90 giderim verimi ile arıtılırken, asetaldehit için bu değerler 11.4 ± 0.7 g m⁻³ sa⁻¹ eliminasyon kapasitesi ve > %90 giderim verimi olarak gerçekleşmiştir. Aseton eliminasyon kapasitesi ise 1.9 ± 0.3 g m⁻³ sa⁻¹ ve %50 giderim verimi ile gerçekleşmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Biyofiltre, Emisyon, Koku, Arıtım, Gıda Fermantasyon.

ABSTRACT

Recently, odor emission has become globally an essential contamination parameter within increasing wellbeing level of human life. In order to control odor emissions and reduce their health and environmental effects, Europe, USA and Turkey started to enact regulations and investigations since the last decade for suitable odor treatment alternatives. Food fermentation is one of the important processes that release odorous pollutants like ethanol, acetaldehyde, acetone, propanol to the atmosphere without any control mechanism. Until now, many physicochemical techniques have been used for the abatement of VOCs. However, the high capital and operating costs

(*) kalp@itu.edu.tr

associated with these technologies, their high energy requirements and non-environmentally friendly nature have boosted the development of new treatment technologies. In recent years, many biological treatment methods such as biofilters, bioscrubbers and biotrickling filters were found to be environmentally friendly and low-cost treatment alternatives for odorous compounds. Biofilters come into prominence above other biological treatment technologies due to their high flowrate waste gas treatment capacities. Within this scope of aim, VOC emissions derived from food fermentation process were investigated on a pilot scale biofilter consisting of a cylindrical jacketed PVC column (0.20 m inner diameter, 2.7 m height) packed with Rashing rings to a working volume of 50 L. The synthetic inlet gas stream with a flowrate of $2 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ was prepared by injecting a liquid mixture containing emissions at inlet concentrations of $\sim 700 \text{ mg m}^{-3}$ for ethanol, $\sim 300 \text{ mg m}^{-3}$ for acetaldehyde and $\sim 70 \text{ mg m}^{-3}$ for acetone according to waste gas characterization of industrial process. Biodegradation of ethanol was achieved up to $29 \pm 1 \text{ g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ of elimination with a removal $>90\%$ where $11.4 \pm 0.7 \text{ g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ acetaldehyde was eliminated with removal $>90\%$. Acetone elimination was recorded as $1.9 \pm 0.3 \text{ g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ and resulted in removal of $\sim 50 \%$.

KEYWORDS

Biofilter; Emission; Odor; Treatment, Food Fermentation.

1. GİRİŞ

Dünyamızda artan nüfus beraberinde sanayileşmeyi ve de nüfusun taleplerinin karşılanması için üretim faaliyetlerinin artışına sebep olmaktadır. Artan endüstriyel faaliyetler ve üretim sonucu endüstriyel proseslerde oluşan emisyonlarda buna paralel olarak artmakta ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde proses emisyonlarının önemli bir kısmı hiçbir arıtım mekanizmasına uğramadan atmosfere salınmaktadır. Kontrolsüz biçimde atmosfere salınan bu emisyonların önemli kısmı koku rahatsızlığına neden olmaktadır. Bu emisyonlar insanları rahatsız edici özellikleri yanında sağlık üzerinde de zararlı etkileri olan bileşikleri içermektedir ve bu emisyonların kontrol mekanizmaları ile atmosfere salınmasının önlenmesi gerekmektedir.

Günümüzde artan koku problemleri ve yapılan şikayetler neticesinde ülkeler koku ile ilgili kendi yasal mevzuatlarını oluşturmaya başlamışlardır. Ülkemizde de, 19 Temmuz 2013 tarihinden itibaren yürürlüğe giren "Kokuya Katkıda Bulunulan Emisyonların Kontrolü Yönetmeliği (KOEKHY)" uyarınca koku emisyonlarının kontrolünün sağlanması ve koku problemlerinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Bu yönetmelik uyarınca endüstriyel tesisler, kokulu emisyonlarını kontrol etmeli ve yasal sınırları aşarsa bu yönetmelikle belirlenen endüstri, emisyonları uygun kontrol sistemleri ile muamele etmek ve KOEKHY'ye göre standartlar sağlamakla yükümlüdür [3].

Kokulu gaz emisyonlarının yoğun olarak ortaya çıkmakta olduğu endüstrilerden bir tanesi de ülkemizde de yaygın olarak bulunan bir endüstri kolu da maya üretimi endüstrisidir. Gıda endüstrisinin bir parçası olan maya üretimi, mayanın fermantasyon sürecinde büyütülmesi ile gerçekleşmektedir. Bu fermantasyon süreci esnasında birçok kokulu bileşik oluşmakta ve kontrol sistemleri olmayan proseslerde atmosfere yoğun miktarda kokulu bileşikler salınmaktadır. Gıda fermantasyon prosesi esnasında yaygın olarak ortam havasına uçucu organik bileşikler olan etanol ve asetaldehit salınmakta ve bu maddeler koku problemine yol açabilmektedir. Bu maddelerin

düşük koku eşik seviyelerine sahip olmaları, düşük konsantrasyonlarda dahi koku problemlerin oluşmasına sebebiyet vermektedir. Literatürde koku eşik değerleri sırasıyla etanol ve asetaldehit için 5-500 ppbV ve 10-120ppbV arasında tespit edilmiştir [4].

Oluşan koku probleminin bertaraf edilmesi için uygun teknolojilerin seçiminin sağlanmasında koku karakterizasyonunun yapılması en önemli aşama olarak göze çarpmaktadır. Koku kirliliği konusundaki yasal düzenlemelerde, kokulu bileşimlerin koku karakterizasyonunun belirlenmesi ve ilgili karakterizasyona göre arıtım mekanizmasının dizayn edilmesi önem kazanmıştır. Günümüzde enstrümental analiz ve olfaktometrik koku belirleme yöntemleri, koku kirliliği karakterizasyonu için hem objektif hem de subjektif olarak en temsil edici nitelik taşıyan ölçüm metotları olarak kullanılmaktadır. [5]. Enstrümental analiz tekniğinde sıklıkla kullanılan gaz kromatografisi, bir karışımdaki çok benzer bileşikler arasında ayırım yapmak için kullanılan en yaygın yöntemdir. Bir gaz karışımı içinde bulunan bileşenler bu yöntem kullanılarak yüksek duyarlılıkla kısa bir süre içinde bulunabilir. Belirli niceliksel ve nitel sonuçlara ihtiyaç duyulduğunda, gaz kromatografina bağlı bir kütle spektrometresi kullanılmaktadır [6].

Koku probleminin subjektif etkisinin belirlenmesi amacı ile kullanılan yöntem ise olfaktometrik ölçüm metodudur. Olfaktometri, temel olarak kokulu gazın kontrollü olarak belli konsantrasyonlarda insan burnuna sunulması ve bu kokunun insanın koku alma duyusu üzerinde yarattığı etkinin ölçülmesi yöntemidir. Panelistlerin %50 oranında pozitif bir tespit için gereken seyreltme sayısı, kübik metre başına emisyon koku biriminde (OUE / m³) koku konsantrasyonunu olarak tanımlanmaktadır. [7-8].

Karakterize edilen kokulu bileşiklerin arıtımında günümüze kadar yakma, katalitik oksidasyon ve adsorpsiyon gibi çeşitli fiziko-kimyasal arıtma teknolojileri kullanılmıştır [9]. Bununla birlikte, bu teknolojilerin yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetlerine sahip olmaları, yüksek enerji gereksinimleri ve çevre dostu olmayan doğası, yeni arıtma alternatiflerinin geliştirilmesine olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu bağlamda, biyofiltre, biyoyıkayıcı ve biyo damlatmalı filtre gibi biyolojik arıtma alternatifleri günümüzde giderek önem kazanmaktadır [10]. Bu biyolojik sistemler, düşük UOM konsantrasyonlarına sahip emisyonlarının arıtımı için uygun olan teknolojilerdir (<2000 mg m⁻³) [11-12]. Biyolojik arıtma alternatiflerinden, biyofiltreler, diğer teknoloji alternatiflerine kıyasla yüksek debide atıkgaz akımlarının arıtılmasına olanak sağladığı ve ilk yatırım ve işletme maliyetinin düşüklüğünden ötürü yaygın olarak tercih edilmektedir.

Bu bilgiler ve değerlendirmeler ışığında gerçekleştirilen bu çalışmada objektif ve subjektif koku kirliliği analizleri yapılarak gıda fermantasyon prosesi koku emisyonları ve karakteristiği belirlenmiştir. Belirlenen karakteristikteki atıkgaz akımlarının pilot ölçekli biyofiltre sisteminde arıtımına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Koku karakterizasyonu

Gıda fermantasyon prosesi atıkgaz akımlarının enstrümental analiz teknikleri ile karakterizasyonu, adsorbent tüpler üzerine aktif örnekleme sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Emisyonların geniş skalada tayinini gerçekleştirebilmek adına polar karakteristikteki sorbent malzeme 20:35 Tenax-TA™ ile apolar malzemeler 60:80 Carboxen™ 1000, ve 60:80 Carbosieve™ SIII içeren sorbent tüpler üzerine atıkgaz numune noktalarından 100 ml/dk debi ile 1 dakika boyunca vakum pompa

ile atıkgaz numuneleri alınmıştır. Proses karakteristiğini belirleyebilmek adına 17 saatlik gıda fermantasyon çevrimi boyunca saatlik periyodlar halinde alınan örnekler, 24 saatlik süre zarfı içerisinde ısıtıcı ön ekipmanlı Agilent 7890A, 5975C-Tripleaxes GS/MS sisteminde, HP5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm) kolon kullanılarak analiz edilmiştir.

Prosesteki koku probleminin subjektif algısının belirlenmesi adına koku eşik düzeyini (% 50' nin kokulu bileşenleri algılaması) tespit etmek için, dinamik olfaktometri ölçümleri EN 13725: 2003 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Analitik ölçümlerle paralel yürütülen olfaktometrik ölçümlerde numuneler 1 litrelik Tedlar Torbalar içine aktif örnekleme ile toplanarak, koku eşik seviyesinin ve koku kuvvetini belirlemek için akredite panelistler tarafından ECOMA TO8 Olfaktometri üzerinde 24 saat içinde analiz edilmiştir. Yapılan ölçümlerde atıkgaz numuneleri 64000 kata kadar farklı seyreltme oranları ile seyreltilerek panelistlerin evet/hayır prensibi ile kokuyu algıladıkları seviye ve koku karakteristiği subjektif algı neticesinde belirlenmiştir.

2.2. Biyofiltre ile arıtım

Koku karakteristikleri ve konsantrasyonları belirlenen gıda fermantasyon atıkgaz akımı sentetik olarak 700 mg m⁻³ etanol, ~ 300 mg m⁻³ asetaldehid ve ~ 70 mg m⁻³ aseton konsantrasyonunda hazırlanmıştır. Hazırlanan sentetik atıkgaz akımı şırınga pompa vasıtası ile 50 litre aktif hacme sahip PVC malzemeli (0.2 m çap ve 2.7 m yükseklik) biyofiltre kolonda, Ambarlı Atıksu Arıtma Tesisi, İstanbul'dan alınan 12500 mg/L UAKM içeriğine sahip olan aşı çamuru ile 145 günlük işletim süresince saatlik 2 m⁻³ atıkgaz debisi ile biyolojik arıtıma tabii tutulmuştur.

Biyofiltre reaktör işletim prosesi ilk 93 günlük süre zarfında 80 saniye temas süresi ile 2 m⁻³/saat debilik atıkgaz akımı ile proste oluşan ana kokulu bileşen olan etanolün arıtımı için gerçekleştirilmiştir. Reaktör işletiminin ikinci safhasında etanolün yanı sıra asetaldehid ve aseton kimyasalları da atıkgaz akımına dahil edilerek sentetik olarak gıda fermantasyon akımı simule edilerek biyofiltre kolonunda arıtım çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Biyofiltre sisteminde nem muhtevatisının %40-60 aralığında kalması ve gerekli nütrient ihtiyacının karşılanması için biyofiltre kolonu (g L⁻¹): Na₂HPO₄·12H₂O, 6.15; KH₂PO₄, 1.52; MgSO₄·7H₂O, 0.2; CaCl₂, 0.038; ve 10 mL L⁻¹ eser element solüsyonu (g L⁻¹): EDTA, 0.5; FeSO₄·7H₂O, 0.2; ZnSO₄·7H₂O, 0.01; MnCl₂·4H₂O, 0.003; H₃BO₃, 0.03; CoCl₂·6H₂O, 0.02; CuCl₂·2H₂O, 0.001; NiCl₂·6H₂O, 0.002; NaMoO₄·2H₂O, 0.003 içeren sıvı ile günde iki sefer toplamda 5 litrelik nütrient solüsyonu ile yıkanmıştır. [13].

3. SONUÇLAR

3.1. Atıkgaz karakterizasyonu

Yapılan enstrümental analizler sonucunda gıda fermantasyon prosesi emisyonlarının % 99'dan büyük bir kısmını etanol, asetaldehid, aseton ve propanol gibi uçucu organik maddelerin oluşturduğu belirlenmiş ve koku probleminin kaynakları objektif olarak tespit edilmiştir. Fermantasyon prosesi çevreminin ilk saatlerinde toplam emisyon miktarı en yüksek seviyelere ulaşırken ilerleyen saatlerde emisyonlarda kayda değer bir düşüş gözlemlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Gıda Fermentasyon Prosesi Çevrimi Emisyon Miktarları

<i>Fermentasyon (sa)</i>	<i>Cycle</i>	<i>Etanol (mg/m³)</i>	<i>Aseton (mg/m³)</i>	<i>Propanol (mg/m³)</i>	<i>Asetaldehid (mg/m³)</i>	<i>Toplam Emisyon(mg/m³)</i>
1		764	65	16	331	1176
3		704	54	20	275	1053
4		720	58	21	290	1089
5		634	44	18	215	910
6		629	38	18	197	880
7		720	47	22	224	1013
8		612	39	17	197	866
9		663	34	15	172	885
10		396	23	11	110	539
11		359	31	6	145	540
13		109	10	1	43	162
15		1	2	0	5	7
17		0	0	0	0	0

Elde edilen sonuçlar çerçevesinde alkol grubu uçucu organik bileşikler için fermentasyon prosesinin başlangıç saatlerinde 1000 mg/m³ – 1200 mg/m³ mertebeleri arasında değişen emisyon konsantrasyonları ölçülmüştür. Fermentasyon prosesinin 10. Saatinden sonra emisyonlarda kayda değer bir düşüş gözlemlenmekte ve prosesin 13. Saatinden sonra çevrimin bittiği 17. Saate kadar emisyon değerleri çok düşük mertebelerde seyretmektedir. Fermentasyon süreci atıkgaz karakteristiği incelendiği zaman ise alkol grubu emisyonlarının %70-%75 gibi oranını etanol emisyonu, %25-%30 gibi oranının asetaldehid emisyonu ve ≤ %5 kadarını ise aseton ve propanol gibi diğer uçucu organik maddeler içermektedir. Ayrıca prosesde eser miktarda bütanol emisyonu tespit edilmiş olup değerler kantitatif değerlerin altında olduğu için dikkate alınmamıştır. Elde edilen değerler literatür değerleri ile mukayese edildiği zaman ölçüm sonuçlarının literatürdeki değerlerin üstünde olduğu tespit edilmiştir.

Literatür verileri ile sadece emisyon yükü belirlenebilmekte iken yapılan bu çalışma ile maya fermentasyon sürecinde emisyon kaynağı olan bileşikler kantitatif olarak ortaya konmuş olup saatlik ölçümler ile atıkgaz karakterizasyonu temsil edici şekilde belirlenmiştir. Böylelikle çalışmanın bir sonraki safhası olan biofiltre sisteminde kullanılacak koku emisyon miktar ve niceliği tespit edilmiştir.

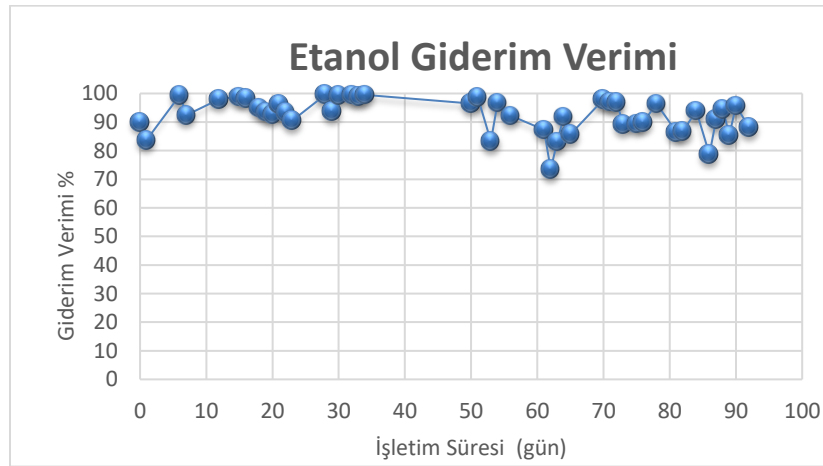
Belirlenen atıkgaz emisyonları ile koku eşik seviye konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik olarak subjektif algının tespiti için ARTEK Çevre Laboratuvarlarında TS-EN 13725:2004 Hava Kalitesi – Dinamik Olfaktometre ile Koku Derişimin Tayin metodu ile ölçümler analitik örnekleme ile paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Olfaktometrik ölçümler en kötü şartları temsil etmesi adına en çok koku emisyonunun beklendiği proses saatlerinden örnekler alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede koku emisyon potansiyeli yüksek olan 3. ve 5.saatler örnekleme için seçilmiş olup sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Olfaktometrik Koku Konsantrasyon Değerleri

Sıra No	Ölçüm Noktası	Koku Konsantrasyonu 1. Ölçüm (KB/m ³)	Koku Konsantrasyonu 2. Ölçüm (KB/m ³)	Koku Konsantrasyonu 3. Ölçüm (KB/m ³)	Koku Konsantrasyonu Geometrik Ortalama (KB/m ³)
1	Ekim Maya 1 Fermentör Bacası 11:00	36781	21870	27554	28090
2	Ekim Maya 1 Fermentör Bacası 13:00	36781	41285	41285	39725

3.2 Biyofiltre sistemi işletimi

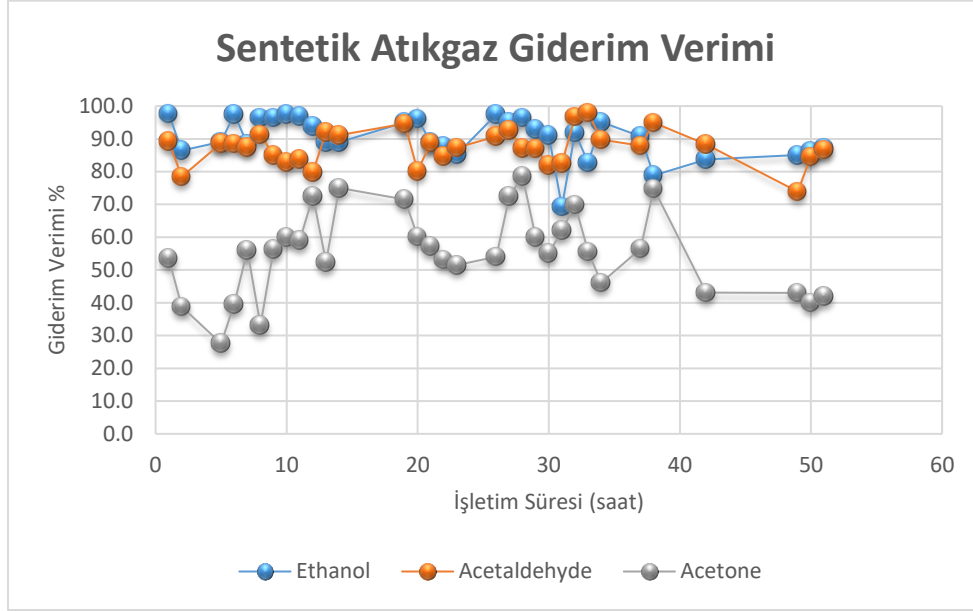
Kokulu atıkgaz karakterizasyonu belirlenen gıda fermantasyon endüstrisi atıkgaz akımı toplam 143 günlük işletim süresi boyunca pilot ölçekli biyofiltre kolonunda arıtıma tabii tutulmuştur. Sistem ilk 93 günlük süre zarfında proses atıkgaz akımındaki en yoğun olarak ortaya çıkan etanolün 700 mg/m³ konsantrasyonunda 2 m³/saat 'lik debi ile arıtılmasını kapsamaktadır. Sisteme etanol şırınga pompa vasıtası ile hava akımı içine sıvı olarak beslenerek sentetik atıkgaz akımı oluşturulmuştur. İlk kararlı koşullarda biyofiltre kolonunda etanol 80 saniyelik temas süresinde 28 g m⁻³ sa⁻¹ eliminasyon kapasitesine sahip olarak % 95 verimle giderilmiştir. Sistemde nem muhtevasının %40-%60 aralığında olması nütrient ihtiyacının karşılanması adına nemlendirme işlemi hazırlanan nütrient çözeltisi ile günde 2 sefer kısa süreli yapılarak gerçekleştirilmiştir.



Figür 1. Etanol Giderim Verimi

Sistem işletim süresinin 90. Gününde sisteminin ek yüklemeleri kaldırma kapasitesinin ve limitleyici aşamının (kütle transferi-biyolojik aktivite) tespiti için kütle transfer testi yapılmıştır. Bu test esnasında organik yükleme iki katına çıkartılıp sistem arıtma verimleri ve eliminasyon kapasiteleri incelenmiştir. Bu test sonucunda sistemin biyolojik olarak daha fazla miktarda emisyonu arıtma kapasitesine sahip olduğu belirlenerek sistem 94. işletme gününde 700 mg m⁻³

etanol, $\sim 300 \text{ mg m}^{-3}$ asetaldehid ve $\sim 70 \text{ mg m}^{-3}$ aseton konsantrasyonuna sahip sentetik atıkgaz akımı beslemesi başlanmıştır. Çoklu uçucu organik madde bileşenlerini içeren atıkgaz akımı biyofiltre sisteminde etanolü $29 \pm 1 \text{ g m}^{-3} \text{ sa}^{-1}$ eliminasyon kapasitesi ve $> \%90$ giderim verimi ile arıtılırken, asetaldehit için bu değerler $11.4 \pm 0.7 \text{ g m}^{-3} \text{ sa}^{-1}$ eliminasyon kapasitesi ve $> \%90$ giderim verimi olarak gerçekleşmiştir. Aseton eliminasyon kapasitesi ise $1.9 \pm 0.3 \text{ g m}^{-3} \text{ sa}^{-1}$ ve $\%50$ giderim verimi ile gerçekleşmiştir. Sistemin ikinci kararlı hal 38. işletme gününde debi $3 \text{ m}^3 \text{ sa}^{-1}$ çıkartılmış ancak arıtma verimindeki dramatik düşüş sebebi ile bu işlem 51. İşletme gününde sonlandırılmıştır.



Figür 2. Sentetik Atıkgaz Giderim Verimi

4. SONUÇ DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmalardan elde edilen veriler ışığında gıda fermantasyon prosesi kokulu atıkgaz akımının düşük konsantrasyon ve yüksek debide atıkgaz karakteristiğine sahip olduğu tespit edilmiş ve emisyonlarının büyük bir çoğunluğunun etanol, asetaldehit gibi alkol grubu bileşenleri olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu atıkgaz karakteristiğinin biyolojik koku arıtma sistemlerinden biyofiltre ile yüksek giderim verimi ile çevre havasından uzaklaştırılabilmesinin düşük maliyetli ve çevre dostu bir teknoloji olarak uygun olduğu tespit edilmiştir.

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında koku parametresinin hem objektif hem de subjektif parametreler cinsinden karakterize edilmesi sağlanmış ve elde edilen veriler literatür değerleri ile de örtüşmüştür. Bu yönü ile çalışma bundan sonra yapılacak çalışmalar için örnek bir metodoloji oluşturmuştur. Ancak atıkgaz akımının arıtımının sağlandığı biyofiltre sisteminde debi artışı ile beraber arıtma veriminin düşmesine yönelik olarak sistem optimizasyonunun yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Easter C, Witherspoon J, Voig R, Cesca J (2008) An Odor Control Master Planning Approach to Public Outreach Programs. Proceedings of the 3rd IWA International Conference on Odour and VOCs. Barcelona.
- Stuetz RM, Frechen FB (2001) Odours in Wastewater Treatments: measurement, modelling and control. IWA Publishing 2001. Cornwall, UK
- Ministry of Environment & Forests, G. o. I. (2012). "Guidelines on Odor Pollution & Its Control
- Fazzalari, F.A. (1978). Compilation of Odor and Taste Threshold Data. ASTM Data Series DS 48A
- Akmirza, I. (2012). Gıda Endüstrisi Kaynaklı Koku Emisyonlarının Kontrol Stratejilerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Guvener, M. (2004). Investigation Of Odorous Emissions And Immissions In Ankara With Olfactometer. ODTU, Master Thesis
- European Council BS EN 13725. Air quality. Determination of odor concentration by dynamic olfactometry (2003).
- ASTM (2009). D6196-03(2009) Standard Practice for Selection of Sorbents, Sampling, and Thermal Desorption Analysis Procedures for Volatile Organic Compounds in Air. West Conshohocken, PA, ASTM International. DOI: 10.1520/D6196-03R09.
- Chen J.M., Zhu R.Y., Yang W. B., Zang L.L., 2010. Treatment of a BTo-X-contaminated gas stream with a biotrickling filter inoculated with microbes bound to a wheat bran/red wood powder/diatomaceous earth carrier. Bioresource Technology 101: 8067- 8073.
- Akmirza, I., Pascual, C., Carvajal, A., Perez, R., Munoz, R., Lebrero, R., 2017. Anoxic Biodegradation of BTEX in a biotrickling filterç Science of Total Environment 587-588 :457-465.
- Balasubramanian P., Philip L., Bhallamudi S.M., 2012. Biotrickling filtration of VOC emissions from pharmaceutical industries. Chemical Engineering Journal 209: 102-112.
- Estrada J., Kraakman N.J.R., Muñoz R., Lebrero R., 2011. A comparative analysis of odour treatment technologies in wastewater treatment plants. Environmental Science and Technology 45: 1100-1106.
- Muñoz R., Souza T.S.O., Glittmann L., Pérez R., Guillermo G., 2013. Biological anoxic treatment of O2-free VOC emissions from the petrochemical industry: a proof of concept study. Journal of Hazardous Materials 260: 442-450.