

ÇEŞİTLİ ENDÜSTRİLERİN KOKULU GAZLARININ OZONLAMA İLE GİDERİMİNİN İNCELENMESİ

Fulya OKAN¹, Melik KARA^{1(*)}, Yetkin DUMANOĞLU¹, Hasan ALTIOK¹, Abdurrahman BAYRAM¹, Mustafa ODABAŞI¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca/İzmir

ÖZET

Üretim faaliyetleri sırasında endüstrilerde kokuya neden olan gazlar oluşmakta ve ortaya çıkan koku yaşam alanlarında problem yaratmaktadır. Koku problemi yaratan faaliyetlerin başında, bira, maya endüstrisi, kümes hayvanları yetiştiriciliği, atıksu arıtma tesisleri ve rendering tesisleri gelmektedir. Koku giderimi için kullanılan yöntemler kimyasal maddeler içeren çözeltiler ile yıkama, adsorpsiyon ve ozonlamadır. Bu çalışma kapsamında, kokulu gazların bileşiminde bulunan uçucu organik bileşiklerin ozonlama ile giderimi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada kaynak olarak aktif kümes altlığı, balık yemi ve yoğunlaştırıcı çıkışı arıtma çamuru kullanılmıştır. Kokulu gazlar ve ozon pilot ölçekli bir kolondan geçirilmiştir. Kokulu gazların bileşiminde bulunan uçucu organik bileşiklerin karakterize edilmesi ve koku seviyelerinin ölçümü amacıyla reaktörün girişi ve çıkışında eşzamanlı gaz örneklemeleri yapılmıştır. Gaz örnekleri, koku konsantrasyonlarını belirlemek amacı ile olfaktometre cihazında, uçucu organik bileşiklerin (UOB) kompozisyonunu belirlemek için ise gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) cihazında analizlenmiştir.

GC-MS analizleri sonucunda, 122 adet UOB belirlenmiştir. Bu bileşikler, hidrokarbonlar (HC), Cl, N, O ve S içeren UOB'ler olarak gruplandırılmıştır. Aktif kümes altlığı için alınan örneklerde baskın olarak HC'lar, O ve S içeren UOB'ler (alpha-pinene, methyl ethyl ketone, sec-butyl alcohol, 3-hydroxy-2-butanone, dimethyl disulfide) bulunmuştur. Balık yemi için alınan örneklerde çoğunlukla HC'lar ve O içeren UOB'lere rastlanmıştır (propionic acid, butanoic acid, acetic acid, hexane, methyl-cyclopentane gibi). Arıtma çamurunda gözlenen başlıca bileşik grupları ise HC'lar, O ve S içeren UOB'lerdir (1,2,3-trimethyl-benzene, 1-ethyl-2-methyl-benzene, o-propyltoluene, acetophenone, dimethyl sulfide).

Çalışma kapsamında incelenen 122 adet UOB'nin 3 tanesi için ozonlama ile giderim verimi %100 olarak bulunmuş, 24 bileşik için giderim verimi %98 ile %80 arasında, 42 bileşik için ise giderim verimi %79 ile %18 arasında değişmiştir. Aktif kümes altlığı, balık yemi ve arıtma çamuru için giriş koku konsantrasyonları sırası ile 11000 KB/m³, 5300 KB/m³, 7100 KB/m³, çıkış konsantrasyonları ise 290 KB/m³, 190 KB/m³, 200 KB/m³ olarak belirlenmiş ve giderim verimleri %96.4 ile %97.4 arasında değişmiştir. Yüksek giderme verimi yanında ozonlama sırasında oluşan reaksiyonlar ile Cl, HC, O ve N içeren çok sayıda UOB (52 adet) oluşmuştur. Çalışmanın sonuçları, incelenen üç farklı kaynaktaki koku seviyelerinin ozonlama ile etkin bir şekilde azaltılabileceğini ancak oluşan yeni bileşiklerin de gözönüne alınması gerektiğini göstermektedir.

(*) melik.kara@deu.edu.tr

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Koku Giderimi, Ozonlama, Uçucu Organik Bileşikler, Olfaktometri

ABSTRACT

Odorous gases are released during the production in many industries cause problems in the facilities and nearby residential areas. Major activities that cause odor problem are, leather, brewery, yeast industries, poultry farming, waste water treatment facilities and rendering facilities. Commonly used methods for odor removal are scrubbing with solutions containing chemicals, adsorption, and ozonation. The removal of volatile organic compounds in odorant gasses with ozonation was investigated in this study. Concurrent gas samples were collected from the inlet and outlet of the reactor to characterize the volatile organic compounds in odorant gasses and to measure the odor levels. Gas samples were analyzed using an olfactometer to determine the odor concentrations and also using a Gas Chromatograph-Mass Spectrometer (GC-MS) to determine the volatile organic compounds.

As a result of the GC-MS analysis, 122 VOCs were specified using spectral library scans. These compounds were categorized as hydrocarbons (HC), Cl, N, O, and S containing VOCs. Samples taken for poultry litter contained dominantly HC's and O and S containing VOCs (i.e., alpha-pinene, methyl ethyl ketone, sec-butyl alcohol, 3-hydroxy-2-butanone, dimethyl disulfide). For the the samples taken for fish feed, HC's and oxygenated VOC's (such as propionic acid, butanoic acid, acetic acid, hexane, methyl-cyclopentane) were the leading compounds. Samples from sludge mainly included HCs, O and S containing compounds (i.e., 1,2,3-trimethyl-benzene, 1-ethyl-2-methyl-benzene, o-propyltoluene, acetophenone, dimethyl sulfide).

Three of the 122 investigated VOC had 100% removal efficiency with ozonation, 24 components had removal efficiencies between 98% and 80%, and 42 components had removal efficiencies between 79% and 18%. The inlet odor concentrations for poultry litter, fish feed and treatment sludge were 11000 OU/m³, 5300 OU/m³, 7100 OU/m³, respectively while outlet concentrations were 290 OU/m³, 190 OU/m³, 200 OU/m³, respectively and the removal efficiencies varied between 96.4% and 97.4%. Besides the high removal efficiencies for several compounds, several HCs, Cl, O and N containing VOCs (52 compounds) were also formed as a result of ozonation. The results of this research showed that odor levels from three different sources can be effectively reduced with ozonation, however newly formed compounds should be taken into consideration.

KEYWORDS

Odour removal, Ozonation, Volatile Organic Compound, Olfactometry

1. GİRİŞ

Koku, insanda koku alma duyusunu harekete geçiren ve kokunun algılanmasına neden olan uçucu maddelerin yarattığı etkidir (KOEKY, 2010). Koku, günümüzde önemli bir kirlilik parametresi olarak ön plana çıkmaktadır ve kokuya sebep olan uçucu organik bileşiklerin meydana getirdiği problemlerin asgari seviyelere indirilmesi gerekmektedir. Özellikle endüstriyel faaliyetler sonucu proseslerde oluşan kokulu atık gazlar atmosfere kontrolsüz olarak verilmekte ve tesislerin buldukları bölgelerde koku emisyonu kaynaklı problemler ortaya çıkarmaktadır (Güler, 2015). Oluşan kokuların rahatsız edici boyutlarda olması ve şikayetlerin artması sonucu “Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik” yürürlüğe girmiş ve kokulu gazlar için sınır değerler belirlenmiştir. Bazı faaliyetlerden yayınlanan gazların sınır değerleri aşması, oluşan kokunun çeşitli teknikler kullanılarak giderilmesini gerektirmektedir.

Hızlı gelişen sanayileşme kokuya neden olan endüstriyel işlemler sonucunda sorunu daha da ağırlaştırmaktadır. Endüstriyel kaynaklardan yayılan kokulu maddeler hem inorganik hem de organik gazlardan (uçucu organik bileşikler, amonyak, sülfür bileşikleri, organik asitler, merkaptanlar, aldehitler ve çeşitli hidrokarbonlar) oluşmaktadır (Mudliar vd., 2010; Barbusinski vd., 2017). Üretim faaliyetleri yanında biyolojik faaliyetler (anaerobik bozunma, kanalizasyon) sonucu da kokulu gazlar açığa çıkar. Organik maddelerin anaerobik bozunmasından türetilen kokulu maddelerin birçoğu sülfür ve azot içerirler. Kokulu maddelerin birçoğu normal atmosfer koşulları altında gaz halindedirler veya en azından önemli bir uçuculuğa sahiptirler (Akyüz, 2016). Koku sorununu yaratan faaliyetlerin başlıcaları bitkisel yağ üretimi, deri, petrokimya, şarap ve bira endüstrisi, maya üretimi, balık yemi üretimi (ekstruder sistemleri), kümes hayvanları yetiştiriciliği, tekstil sanayi, atıksu arıtma tesisleri ve rendering tesisleridir. Bu tesislerden oluşan kokuların giderimi için farklı teknikler kullanılmaktadır. Koku giderimi için kimyasal maddeler içeren çözeltiler ile yıkama, adsorpsiyon, biofiltrasyon, yakma ve ozonlama gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ozon ileri derecede bir oksitleyici olmasından dolayı uzun yıllardır atıksu arıtımı ve dezenfeksiyon için kullanılmıştır. Son yıllarda da güçlü oksitleyici özelliği nedeniyle koku giderici olarak kullanılmaktadır. Koku giderimi için kullanılan diğer kimyasalların aksine ozon, depolanamaz, üretildiği yerde hemen kullanılması gereklidir. Bu nedenle ilave depolama alanı ve tehlikeli kimyasalların yönetimi konularına ihtiyaç duyulmaz (Zhang ve Pagilla, 2013). Doğrudan atık gaz içerisine verilebileceği gibi gazın içerisinden geçtiği sıvıya verilerek de kullanılabilir (Smet vd., 1998). Ozon sistemlerinin tasarımında dikkat edilmesi gereken başlıca husus korozyon olduğu için malzeme seçimi ozona dayanıklılık özelliği göz önüne bulundurarak yapılmalıdır. Ozon ile koku giderimi neredeyse tüm sektörlerde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde ozon kullanılarak koku giderimi verimi %99'a ulaşırken, bu oran rendering tesislerinde %40-100 aralığında gerçekleşmektedir (Kerc ve Olmez, 2010; ASABE, 2003).

Bu çalışma kapsamında, kokulu gazların bileşiminde bulunan uçucu organik bileşiklerin ozonlama ile giderimi deneysel olarak incelenmiştir. İncelenmek üzere belirlenen üç adet koku kaynağından (Aktif kümes altlığı, balık yemi ve yoğunlaştırıcı çıkışı arıtma çamuru) oluşan kokulu gazlar oluşturulan pilot ölçekli bir ozonlama kolonundan geçirilerek koku giderim verimleri ve oluşan gazların uçucu organik bileşikler (UOB) kompozisyonu belirlenmiştir.

Kokulu gazlar, uçucu organik bileşiklerin kompozisyonunu belirlemek amacı ile gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) cihazı kullanılarak analizlenirken aynı zamanda koku konsantrasyonlarını belirlemek amacı ile olfaktometre cihazı kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Koku kaynakları

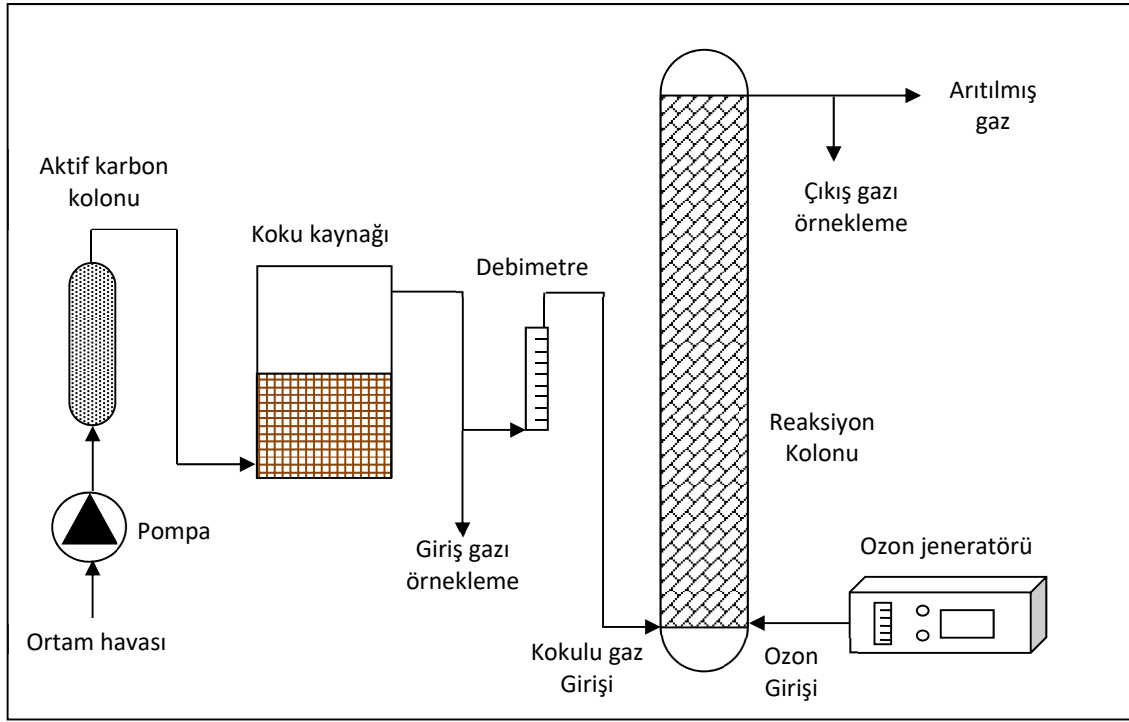
Çalışmada koku giderim verimlerinin incelenmesi amacıyla üç adet farklı koku oluşturan kaynak seçilmiştir. Bunlar, kümes hayvanları yetiştiriciliğini temsilen aktif kümes altlığı, ekstruder sistemini ve hayvan yemi üretimini temsilen balık yemi ve artıma tesislerini temsilen yoğunlaştırıcı çıkışı arıtma çamurudur.

Aktif kümes altlığı numuneleri hindi yetiştirme çiftliğinden sağlanmıştır. Bu tür kanatlı hayvan yetiştirme kümeslerinde altlık materyali olarak kaba odun talaşı, saman, hızar talaşı, kâğıt kırpıntıları, ayçiçeği kabuğu, çeltik kavuzu, taze fındık cürufu, mısır silajı, kum, kompostlanmış altlık, çam kabuğu, parçalanmış mısır koçanı, diatomit ve ponza kullanılabilir. Kümes altlığının yapısı birçok faktöre bağlı olarak değişmekle birlikte dışkı (%62), altlık materyali (%31), döküntü yem (%3), tüy (%2) ve diğer atıklardan (%2) oluşmaktadır. Benzer şekilde kullanılan altlığın türü ve kullanım sıklığına bağlı olarak değişen düzeylerde (*E. coli*, *Staphylococcus* spp., *Clostridium perfringens*, *Campylobacter* spp ve *Salmonella* spp. gibi) patojenleri içerebilmektedir (Şekeroğlu vd., 2013). Balık yemi örnekleri bölgede faaliyet gösteren ekstruder sistemi ile balık yemi üreten bir tesisten sağlanmıştır. Balık yemi bileşiminde balık unu, balık yağı, çeşitli bitki tohumları unu (buğday, mısır), soya küspesi, pamuk tohumu küspesi ayçiçeği tohumu küspesi ve mısır glütenu bulunmaktadır. Ekstruder sistemi ise balık yeminin belirli bir oranda buhar ve suyla pişirilerek bazı hammaddelerden gelen ve hastalığa neden olan zararlı maddelerin yok edilmesi ve besinlerden maksimum yararın sağlanması için geliştirilmiş bir üretim sistemidir. Son kaynak olarak seçilen artıma çamuru örnekleri ise, deri yoğunluklu karma organize sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisinin çamur susuzlaştırma ünitesi çıkışından alınmıştır. Burada çamurun susuzlaştırılması için dekantör kullanılmakta ve katı madde içeriği %35-40'lara ulaşmaktadır.

2.2 Deneysel çalışmalar ve örnekleme

Çalışmanın deneysel bölümünde kokulu gazlar ile ozon pilot ölçekli bir kolon reaktörden geçirilerek ozonun giderim verimliliği belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışma süresince koku kaynağının ve hava akışının sürekli olması için alınan kokulu madde örnekleri ~30-40 °C'ye kadar ısıtılan bir kap içerisine konularak, Aktif karbon kolonundan geçirilip safsızlaştırılan ortam havası ile sürekli beslenmiştir. Bunun sonucunda sürekli bir kokulu gaz akışı sağlanmıştır. Elde edilen kokulu gaz 900-1000 L/saat akış debisi ile kolona gönderilmiştir. Diğer taraftan ozon jeneratöründe üretilen 0,25 gr/saat ozon, 0,3 L/dk akış debisi ile kolona gönderilmiştir. Kolon içerisinde kokulu gaz ile ozonun reaksiyona girmesi sağlanarak giderim gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon için gerekli temasın ve alıkonma süresinin sağlanması amacıyla kolon içerisine baffle yapısı yerleştirilmiştir. Şekil 1'de deney düzeneği ve örnekleme noktaları gösterilmektedir.



Şekil 1 Ozonlamada kullanılan deney düzeneğinin akım şeması

2.3. Koku ölçümü ve uçucu organik bileşiklerin analizi

Koku örnekleri, girişten ve çıkıştan olmak üzere her bir koku kaynağı için 2'şer set olmak üzere Nalophan torbalar içerisine alınmıştır. Bunun bir setinin koku birimi cinsinden konsantrasyonunun belirlenmesi için Olfaktometrede ölçümü yapılmıştır. Diğer set ise 0,5 L/dk debi ve 10 dk süreyle adsorban tüplere (Tenax) örneklenecek GS-MS (Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi) cihazında analizlenmiştir.

Olfaktometre ile ölçüm; örnek torbası olfaktometreye bağlandıktan sonra nötr hava ile seyreltilerek daha önceden belirlenen panelistler tarafından koklanarak gerçekleştirilmiştir. Tüm panelistler verilen kokuyu hissedinceye kadar seyreltme oranları azaltılmış ve tüm panelistlerin kokuyu hissettiği anda ölçüm sonlandırılarak koku konsantrasyonları Koku birimi (KB)/m³ olarak belirlenmiştir.

GS-MS cihazında, uçucu organik bileşikler (UOB) kompozisyonu belirlemek amacıyla Tenax tüplere alınan koku örnekleri, helyum akımı kullanılarak desorblanmıştır. Kromatografik kolon olarak HP5-MS (30 m, 0,25 mm, 0,25 µm), taşıyıcı gaz olarak ise helyum kullanılmıştır. Termal desorber sistemini kalibre etmek için analizlenen bileşiklerin bir bölümünü içeren bir standart karışımından metanol ile seyreltilerek kalibrasyon standartları hazırlanmıştır. Analizlenmesi hedeflenen bileşiklerin büyük bir çoğunluğu için analitik standart maddeler mevcut olmadığı için bu bileşikler, kendilerine benzer bileşiklerin (fizikokimyasal özellikleri ve kütle spektrometresindeki iyonizasyon paternleri çok benzer olan ve aynı grup içerisinde bulunan

bileşikler) standartları kullanılarak yarı kantitatif olarak analizlenmiştir. Analizler sonucunda, spektral kütüphane taramaları kullanılarak 122 adet UOB belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR

3.1. Olfaktometrik yöntem ile ölçülen koku konsantrasyonları

Çalışmanın bir ayağında, Olfaktometrik yöntem ile 3 koku kaynağı (aktif kümes altlığı, balık yemi ve yoğunlaştırıcı çıkışı arıtma çamuru) için koku konsantrasyonları ve ozonlama ile arıtım sonucunda oluşan koku konsantrasyonları belirlenmiştir. Olfaktometrik koku ölçümleri sonucunda reaktör giriş ve çıkışında ölçülen koku konsantrasyonları Tablo 1’de verilmektedir. En yüksek değer aktif kümes altlığı için ölçülürken, yoğunlaştırıcı çıkışı arıtma çamuru ve balık yemi üretimi onu izlemiştir. Ozonlama ile koku giderimi çalışması sonucunda giriş ve çıkış koku konsantrasyonları karşılaştırıldığında, koku giderim veriminin aktif kümes altlığı için %97,4; balık yemi için %96,4 ve arıtma çamuru için %97,2 oranında olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. Olfaktometrik yöntem ile belirlenen giriş ve çıkış konsantrasyonları (KB/m³)

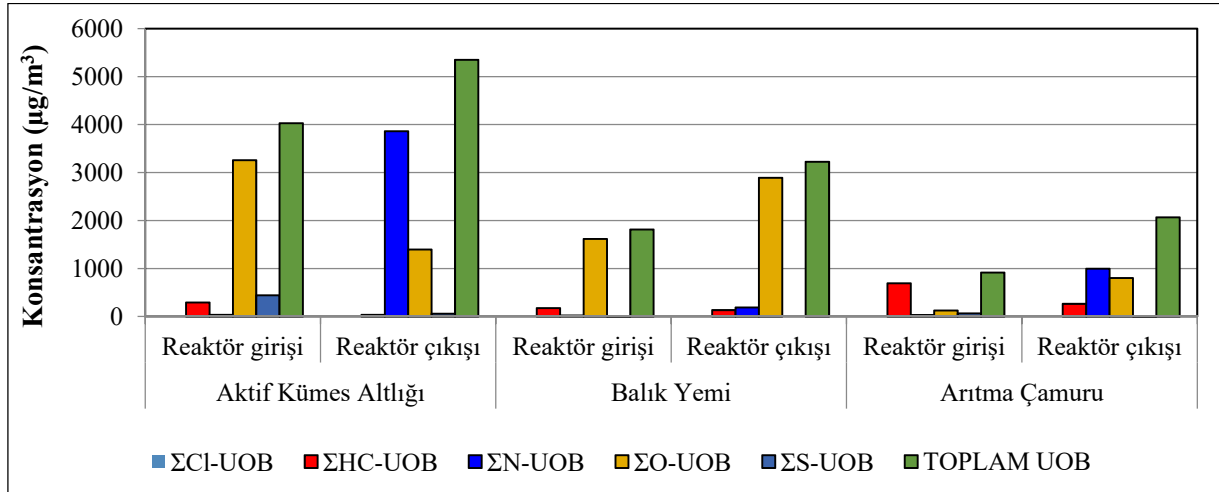
Örnekleme Noktası	Koku Kaynağı		
	Aktif kümes altlığı	Balık Yemi	Arıtma Çamuru
Reaktör Girişi	11000	5300	7100
Reaktör Çıkışı	290	190	200

3.2. Kokulu gazların bileşiminde bulunan uçucu organik bileşikler ve konsantrasyonları

Kokulu gazların bileşiminde bulunan uçucu organik bileşiklerin karakterize edilmesi amacıyla alınan örneklerde, GC-MS analizleri sonucunda, spektral kütüphane taramaları kullanılarak 122 adet UOB belirlenmiştir. Bu bileşikler, hidrokarbonlar (HC-UOB), halojenli bileşikler (Cl-UOB), azotlu bileşikler (N-UOB), oksijenli bileşikler (O-UOB) ve kükürtlü bileşikler (S-UOB) gruplarına ait bileşiklerdir. Çalışma sonucunda, toplam uçucu organik bileşik konsantrasyonları sırasıyla reaktör giriş ve çıkışında aktif kümes altlığı için 4026 ve 5351 µg/m³; balık yemi için 1813 ve 3225 µg/m³; arıtma çamuru için 914 ve 2068 µg/m³ olarak ölçülmüştür. Buna göre tüm koku kaynaklarında toplam organik bileşik konsantrasyonunun ozonla reaksiyon sonucunda arttığı görülmüştür. Aktif kümes altlığı için reaktör çıkışı örneklerinde N ve O’li bileşikler oluşmuştur. Konsantrasyonları artan bileşikler N,N-dimethylformamide, cyclohexanone ve acetone’dir. Balık yemi için konsantrasyonu artan bileşikler alpha-chloroacetophenone (Cl-UOB), phenylethyne (HC-UOB), N,N-dimethylformamide (N-UOB), benzonitrile (N-UOB), formic acid (O-UOB) ve 2-hydroxy-1-phenyl-Ethanone (O-UOB)’dir. Arıtma çamuru örneklerinde ise ozonlama sonucunda konsantrasyonu artan bileşikler N,N-dimethylformamide (N-UOB), benzonitrile (N-UOB), acetone (O-UOB), acetic acid (O-UOB), cyclohexanone (O-UOB), benzaldehyde (O-UOB) ve acetophenone (O-UOB)’dir.

Aktif kümes altlığından alınan örneklerde baskın olarak HC'lar, O ve S içeren UOB'ler bulunmuştur. En yüksek konsantrasyona sahip bileşikler sırasıyla methyl ethyl ketone ($1375 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sec-butyl alcohol ($685 \mu\text{g}/\text{m}^3$), dimethyl disulfide ($385 \mu\text{g}/\text{m}^3$), alpha-pinene'dir ($232 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Balık yemi örneklerinde çoğunlukla HC'lar ve O içeren UOB'lere rastlanmıştır. En yüksek konsantrasyona sahip bileşikler acetic acid ($445 \mu\text{g}/\text{m}^3$), propionic acid ($233 \mu\text{g}/\text{m}^3$), butanoic acid ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$), hexanal ($153 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve hexane'dir ($103 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Aritma çamurunda gözlenen başlıca bileşik grupları ise HC'lardır. Bu bileşikler 1,2,3-trimethyl-benzene ($114 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 1-ethyl-2-methyl-benzene ($76 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o-propyltoluene ($55 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve hexane'dir ($52,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Şekil 2'de reaktör giriş ve çıkışında alınan numunelerde ölçülen toplam Cl, HC, N, O ve S-UOB konsantrasyonları verilmiştir. Aktif kümes altlığı örneklerinde O' li bileşikler girişte $3257 \mu\text{g}/\text{m}^3$, çıkışta ise $1395 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir. S'lü uçucu organik bileşiklerin giriş konsantrasyonu $442,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ çıkış konsantrasyonu $57,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. N'lu uçucu organik bileşiklerin giriş konsantrasyonu $34,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak görülürken çıkıştaki konsantrasyon değeri $3,862 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. HC'ların giriş konsantrasyonu $292,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olup çıkış konsantrasyonu ise $35,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tür. Cl' içeren uçucu organik bileşikler tespit edilememiştir. Aktif kümes altlığı örneklerinde HC, O, S içeren uçucu organik bileşiklerin giriş konsantrasyonunun yüksek olduğu saptanmıştır. N-UOB bileşiklerinde ise reaktör çıkışında artış görülmüştür.



Şekil 2. Koku kaynakları için farklı UOB gruplarına göre giriş ve çıkış konsantrasyonları

Balık yemi örneklerinde O'li bileşikler girişte $1616 \mu\text{g}/\text{m}^3$, çıkışta ise $2890 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Ozonlama sonucunda O-UOB'in konsantrasyonunda artış olduğu gözlenmiştir. HC-UOB'in giriş konsantrasyonu $175,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ çıkış konsantrasyonu ise $132,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. N'lu uçucu organik bileşiklerin giriş konsantrasyonu $17,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak görülürken çıkıştaki konsantrasyon değeri $186,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Bu arada N'lu bileşiklerinin giderilmediği, çıkış konsantrasyonunun giriş konsantrasyonundan yaklaşık 10 kat daha yüksek olduğu saptanmıştır. S'lü bileşiklerin giriş konsantrasyonu $2,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olup çıkış konsantrasyonu

ise tespit limitinin altındadır. Cl' içeren uçucu organik bileşikler girişte $0,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ çıkışta ise $16,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir.

Aritma çamuru örneklerinde ise HC'lar girişte $689,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, çıkışta ise $263,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir. O'li bileşikler girişte $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$, çıkışta ise $802 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir ve O-UOB'ler giderilmemiştir. N-UOB'in giriş konsantrasyonu $31,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ çıkış konsantrasyonu ise $996,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. O ve N'lu uçucu organik bileşikler için çıkış konsantrasyonlarının giriş konsantrasyonlarından çok daha fazla olduğu görülmektedir. S'lü uçucu organik bileşiklerin giriş konsantrasyonu $64,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak görülürken çıkıştaki konsantrasyon değeri $3,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Cl'lu bileşiklerin giriş konsantrasyonu $4,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olup çıkış konsantrasyonu ise $2,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür.

Tüm koku kaynaklarında N-UOB'nin ozonlama sonrasında ozonun yüksek oksitleyici özelliği nedeniyle konsantrasyonlarında artış görülmüştür. Bu durumun özellikle Aktif kümes altlığındaki yüksek NH_3 (amonyak) konsantrasyonlarına bağlı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca arıtma çamurundaki benzer durum da bunu desteklemektedir. Ozonlama sonucunda en yüksek giderim oranına sahip bileşik grubu ise S-UOB'dir. Tavuk altlığında %86 oranında, balık yeminde %100 oranında ve arıtma çamurunda %95 oranında giderim sağlanmıştır.

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ozonlama sonucunda kokuya neden olan uçucu organik bileşiklerin azaldığı ve böylece kokunun önemli ölçüde bertaraf edildiği tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan tüm koku kaynakları (aktif kümes altlığı, balık yemi ve yoğunlaştırıcı çıkışı arıtma çamuru) için yüksek koku giderim verimleri (%96,4 - %97,4) elde edilmiştir. Bu nedenle ozonlamanın koku giderimi için başarılı bir yöntem olduğu söylenebilir.

Ancak diğer taraftan uçucu organik bileşiklerin karakterize edilmesi çalışmaları sonucunda giriş örneklerindeki bazı grup ve bileşiklerin konsantrasyonları azalırken, bazı grup ve bileşiklerin ise ozon reaksiyonları sonucunda arttığı tespit edilmiştir. Bu durumda ozonlama ile koku gideriminde oluşacak olan yeni bileşiklerin çevre ve insan sağlığı açısından oluşturabileceği etkiler göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- American Society of Agricultural and Biological Engineers, (ASABE), 2003. *The potential of coupling biological and chemical/physical systems for air pollution control: A case study in the rendering industry.* (<https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=15500&t=2&redir=&redirType>). Erişim Tarihi Ağustos 2017.
- Akyüz, F., 2016. Endüstriyel kokular ve etkileri. *Turkchem Dergisi* 50, 14-18.
- Barbusinski, K., Kalemba, K., Kasperczyk, D., Urbaniec, K., & Kozik, V., 2017. Biological methods for odor treatment–A review. *Journal of Cleaner Production* 152, 223-241.
- Güler, U., 2015. Gıda fermantasyon prosesinden ve organik kimya sektöründen kaynaklanan koku emisyonlarının karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kerc, A., & Olmez, S. S., 2010. Ozonation of odorous air in wastewater treatment plants. *Ozone: Science & Engineering* 32, 199-203.
- KOEKHY, 2010. Koku oluşturan emisyonların kontrolü hakkında yönetmelik. Resmi Gazete. Sayı: 28712, Ankara.
- Mudliar, S., Giri, B., Padoley, K., Satpute, D., Dixit, R., Bhatt, P. et al, 2010. Bioreactors for treatment of VOCs and odours—a review. *Journal of Environmental Management* 91, 1039-1054.
- Smet, E., Lens, P., Van Langenhove, H., 2010. Treatment of waste gases contaminated with odorous sulfur compounds, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 28, 89-117.
- Şekeroğlu, A., Eleroğlu, H., Sarıca, M., Camcı, Ö., 2013. Yerde üretimde kullanılan altlık materyalleri ve altlık yönetimi. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi* 10, 27-28.
- Zhang, Y., Pagilla, K., R., 2013. Gas-Phase Ozone Oxidation of Hydrogen Sulfide for Odor Treatment in Water Reclamation Plants. *Ozone: Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association* 35, 390-398.