

FARKLI SANAYİ SEKTÖRLERİNDEKİ KOKU KAYNAKLARININ BELİRLENMESİ, UYGUN GİDERİM YÖNTEMLERİNİN SEÇİLMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Esat ŞAHİN^{1(*)}, Abdurrahman BAYRAM²

¹Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği, Buca/İzmir

²Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca/İzmir

ÖZET

Koku, günümüzde en önemli çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Özellikle üretim faaliyetleri sırasında birçok endüstride kokuya neden olan emisyonlar oluşmakta ve ortaya çıkan koku tesis içinde ve çevresindeki yaşam alanlarında problem yaratmaktadır. Oluşan kokuların rahatsız edici boyutlarda olması ve şikayetlerin artması sonucunda “Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik” yürürlüğe girmiş ve sınır değerler belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında sektörel bazda koku konsantrasyonu seviyeleri ve uygun koku giderim yöntemleri araştırılmıştır. Koku şikayetlerinin yoğun olduğu bitkisel yağ üretimi, rendering, kümes hayvancılığı, bira üretimi, atık su arıtımı ve maya üretimi sektörleri seçilerek pek çok farklı tesisin belirlenen koku kaynaklarından numuneler alınmıştır. Numuneler, laboratuvarında olfaktometrik yöntem ile ölçülerek sektörel koku seviyeleri belirlenmiştir. Sektörel olarak belirlenen koku seviyesi aralıkları bitkisel yağ üretimi için 2580-5050 Koku Birimi (KB)/m³, rendering için 9583-33410 KB/m³, kümes hayvancılığı için 3600 KB/m³, bira üretimi için 13976-55360 KB/m³, maya üretimi için 9095-15305 KB/m³, atıksu arıtmada ise terfi merkezleri için 3795-11385 KB/m³, tek hatta toplanan atıksu arıtım ve çamur bertaraf üniteleri toplamı için 2754-13658 KB/m³ olarak belirlenmiştir. Benzer bir ölçüm çalışması koku giderim ünitelerinin çıkışlarından alınan numunelerle de yapılmış, sektörel uygun koku giderim yöntemleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda bitkisel yağ üretimi, rendering, terfi merkezleri, kümes hayvancılığı ve bira üretiminde ıslak yıkama, atıksu arıtım ve çamur bertaraf ünitelerinde biyofiltrasyon ve maya üretiminde ise ozon oksidasyonu yöntemlerinde en düşük çıkış değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçların koku kaynakları ve uygun koku giderim yöntemi belirlenirken, sektörlere rehber olması beklenmektedir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Koku, koku kontrolü, olfaktometre, endüstriyel tesisler

ABSTRACT

Odor-causing emissions occur especially during production activities in various industries and this situation creates problems for both facilities and living quarters. In Turkey, The Regulation on Odorous Emission Controlling came in force as a result of increasing number of complaints about offensive odors. Within the scope of this study, odor concentration ranges and proper control methods were investigated on sectoral bases. Samplings have been employed in different

(*) sahin_est@hotmail.com

industries, such as vegetable oil production, rendering, poultry operation, yeast production, wastewater treatment, and brewery production, where complaints about offensive odors are very frequent. They were measured in the laboratory by using olfactometric method. Concentration ranges were found as 2580-5050 OU (Odor Unit) m⁻³ for vegetable oil production, 9583-33410 OU m⁻³ for rendering, 3600 OU m⁻³ for poultry operation, 13976-55360 OU m⁻³ for brewery production, 9095-15305 OU m⁻³ for yeast production, 3795-11385 OU m⁻³ for lift stations and 2754-13658 OU m⁻³ were calculated for the samples from wastewater treatment and sludge disposal units. Similar measurement activities were performed for outlet samples of odor control units to investigate proper control method each sector. Lowest concentrations were found in following methods; wet scrubbing for vegetable oil production, rendering, wastewater treatment (lift stations), poultry operation and brewery production; bio-filtration for wastewater treatment and sludge disposal, and ozone oxidation for yeast production. It is expected that to be a guide of this study in determination odor sources and best control methods for the sectors.

KEYWORDS

Odor, odor control, olfactometer, industrial facilities

1. GİRİŞ

1.1. Koku

Koku problemi, günümüzde başlıca çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Özellikle nüfus artışına bağlı talebi karşılamak amacıyla üretim faaliyetleri artmış, bu da endüstriyel tesisleri başlıca koku kaynakları haline getirmiştir. Estetik ve ekonomik etkilerinin yanı sıra sürekli kokuya maruz kalmanın insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri pek çok çalışma ile kanıtlanmıştır. (Lebrero vd., 2011). Artan şikayetler, çevresel konulara duyarlılığın artması ve kontrol teknolojilerinin daha ulaşılabilir hale gelmesi sonucunda özellikle son yıllarda koku kontrolünde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir (DEPARK, 2014).

1.2. Koku ile ilgili yasal düzenlemeler

Koku kontrolü ile ilgili olarak dünyada uygulanmakta olan pek çok yasal düzenleme bulunmaktadır. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, İngiltere ve Avrupa Birliği ülkeleri sınır değerleri oldukça düşük tutarak koku probleminin önüne geçmeye çalışmışlardır. Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada gibi ülkelerde yasal düzenlemeler yerel otoriteler tarafından yapılmaktayken Avrupa Birliği ve İngiltere gibi ülkelerde tek bir mevzuat veya direktif üzerinden düzenlenmektedir. Uygulama farklılıklarına rağmen maksimum sınır değerleri 1 veya 10 KB m⁻³ aralığında değişmektedir. (Brancher vd., 2016; Dincer, 2007).

Ülkemizdeki koku ile ilgili düzenlemeler ise ilk olarak Avrupa Birliği'ne uyum süreci çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu kapsamında resmi kurumlar çalışmalarını tamamlayarak, son halini 2013 yılında Resmi Gazete'de yayımlanan 'Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik' yürürlüğe girmiştir. Yönetmelikte izin verilen sınır değer ise 1000 KB m⁻³ olup yukarıdaki ülkelere kıyasla oldukça yüksektir.

1.3. Koku oluşturan sektörlerin incelenmesi ve kaynakların belirlenmesi

Koku probleminin önlenmesindeki ilk adım kaynağın doğru bir şekilde belirlenmesidir. Özellikle bitkisel yağ üretimi, rendering, kümes hayvancılığı, boya üretimi, petrol rafinasyonu, atıksu arıtımı, bira, maya, alkol, dondurulmuş gıda gibi yiyecek içecek üretimi yapan tesislerin sıkça kokuyla ilgili şikayetlere sebep olduğu bilinmektedir. Tesisteki faaliyetler sonucunda ortaya çıkan uçucu organik bileşikler, amonyak, sülfür bileşikler, organik asitler, merkaptanlar, aldehitler ve çeşitli hidrokarbonlar ise kokuyu oluşturan temel bileşiklerdir (Mudliar vd., 2010; Barbusinski vd., 2017). Tesislerdeki koku kaynakları belirlenirken bu tip bileşiklerin açığa çıktığı prosesleri incelemek doğru bir yaklaşım olacaktır.

Bu çalışma kapsamında ise bitkisel yağ üretimi, rendering, kümes hayvancılığı, maya ve bira üretimi ile atıksu arıtım sektörleri ele alınmıştır. Bu sektörlerle ilgili olarak daha önce yapılmış olan çalışmalar, akım şemaları ve Türkiye’deki mevcut tesislerin faaliyetleri incelenerek her bir sektör için proses bazlı koku kaynakları belirlenmiştir. Bitkisel yağ üretimi için kokusuzlaştırma (Altınyaz 2013, Yemişçioglu vd., 2013), rendering için pişirme (Sironi vd., 2007), kümes hayvancılığı için havalandırma üniteleri (Murphy vd., 2014), bira üretimi için kaynatma (World Bank Group, 2007), maya üretimi için ise fermantasyon (Akmırza 2012) prosesleri koku kaynakları olarak belirlenmiştir. Atıksu arıtımında ise terfi merkezleri, atıksu arıtım ve çamur bertaraf üniteleri potansiyel koku kaynakları olarak seçilmişlerdir.

1.4. Koku kontrol yöntemleri

Günümüzde koku kontrolü amacıyla pek çok teknoloji kullanılmaktadır. Islak yıkama, adsorpsiyon, biyofiltrasyon, ozon oksidasyonu, ultraviyole (UV) ile parçalama, yakma, gibi yöntemler koku giderimi için sıkça tercih edilmektedir.

Islak yıkama. Islak yıkama koku giderimi amacıyla sıkça tercih edilen yöntemlerden bir tanesidir. Temel olarak, bir reaktör içerisinde kokulu gazın bir sıvı yardımıyla yıkanarak kokulu bileşiklerin uzaklaştırılması prensibine dayanır. Bileşikler doğrudan sıvı ile fiziksel olarak uzaklaştırıldığı gibi, sıvıya eklenen kimyasallarla reaksiyona girerek giderilebilmektedirler. Gaz ile sıvının doğrudan temas ettirildiği sistemlerin yanı sıra temas süresini arttırmaya yarayan dolgu sistemlerde bulunmaktadır. Ayrıca yıkama sıvısına çeşitli kimyasallar eklenerek giderim veriminin artırılması sağlanır. (Velhow, 2015). Sıvı / gaz oranı, alıkonma süresi, temas yüzeyi, kullanılan kimyasallar, pH, sıcaklık ise başlıca izlenmesi gereken parametrelerdir. (Schlegelmilch vd., 2005). Ayrıca daha önceki çalışmalarda atıksu arıtım, rendering tesislerindeki uygulamalarda giderim verimlerinin %60-100 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. (Kastner ve Das, 2002; Biard vd., 2010).

Biyofiltrasyon. Fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yanı sıra biyolojik yöntemlerde koku gideriminin de sıkça kullanılmaktadır. Bakterilerin koku oluşturan bileşikler besin olarak tüketerek ortamdaki kokuyu uzaklaştırması prensibi ile çalışan biyofiltrelerin pek çok farklı şekillerde uygulamaları mevcuttur. (Schlegelmilch vd., 2005). Bakteriler filtre içerisine yerleştirilen bir dolgu üzerine tutularak gelen gaz içerisindeki bileşikler daha basit yapıya indirirler. Tasarım ve işletme de nem oranı, basınç, besin içeriği, pH, yüzey alanı, gözeneklilik, alıkonma süresi gibi parametreler büyük öneme sahiptir (Morgan ve Noyola, 2006). Diğer sistemlerle kıyaslandığında işletimin daha zor olmasına rağmen biyofiltreler pek çok sektörde kullanılmakta ve oldukça yüksek verimlerle koku giderimi yapmaktadırlar. Biyofiltreler kompostlama, tütün üretimi ve

atıksu arıtımı gibi tesislerde yaygın olarak kullanılmakta olup bu tesislerdeki uygulamalarında %95-99 verimle çalışmaları tespit edilmiştir (Kaosol ve Pongpat, 2011; Zagustina vd., 2012; Omri vd., 2013).

Ozon oksidasyonu. Ozon ileri derecede bir oksitleyici olması nedeniyle uzun yıllar boyunca atıksu arıtımı, dezenfeksiyon, vb. amaçlarla kullanılmıştır. Son yıllarda da koku gideriminde başarılı uygulamaları mevcuttur. Ayrıca çoğu bileşik ile kolayca tepkimeye girebildiği için yüksek verimde koku giderimi sağlamaktadır. Koku gideriminin de kullanılan diğer kimyasalların aksine ozon, depolanamaz, üretildiği yerde hemen kullanılması gereklidir. Bu sebeplerden ötürü ilaveten depolama alanı ve tehlikeli kimyasalların yönetimi konularına ihtiyaç duyulmaz (Zhang ve Pagilla, 2013). Doğrudan atık gaz içerisine verilebileceği gibi gazın içerisinden geçtiği sıvıya verilmek şeklinde etkinliği artırılarak kullanılabilir (Smet vd., 1998). Ozon sistemlerinin tasarımında dikkat edilmesi gereken başlıca husus korozyondur. Malzeme seçimi ozona dayanıklılık özelliği göz önüne bulundurarak yapılmalıdır. Hemen hemen tüm sektörlerde kullanılabilen ozon sistemleriyle ilgili olarak giderim verimlerini incelemek üzere atıksu arıtımı ve rendering tesisleri özelinde çalışmalar yapılmıştır. Atıksu arıtım tesisi örneğinde hedef bileşiklerde ortalama %99' luk bir giderim verimine ulaşılmış olup bu oran rendering tesisinde ise %40-%100 aralığında gerçekleşmiştir (Kerc ve Olmez, 2010; ASABE, 2003).

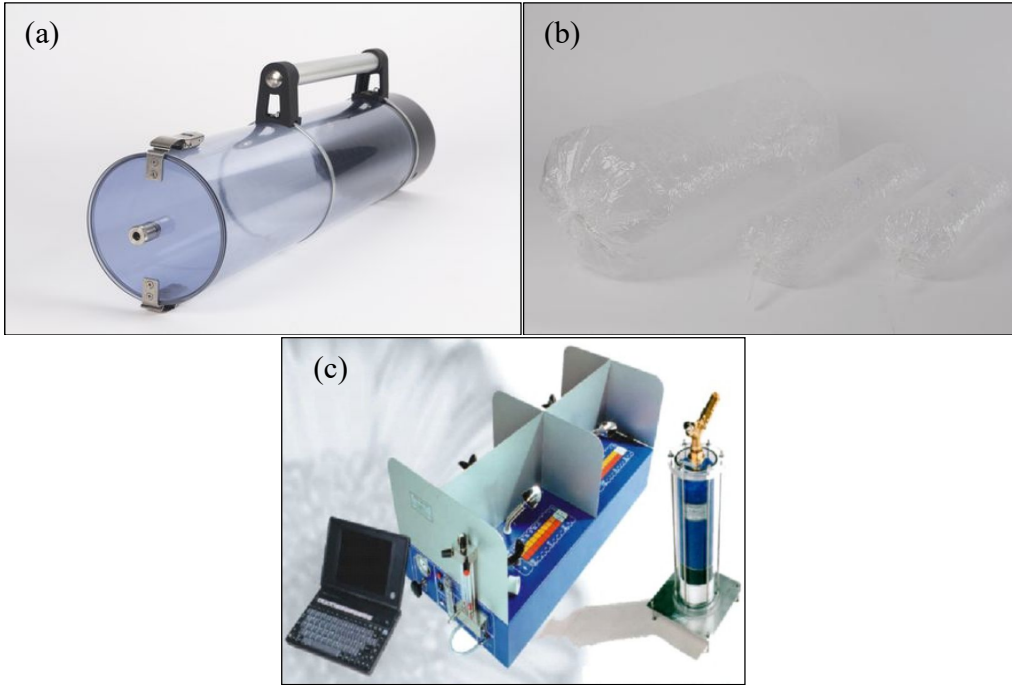
Adsorpsiyon. Koku giderimi için kullanılan adsorpsiyon yöntemi, temel olarak koku oluşturan bileşiklerin aktif karbon, alümina, silika jel veya zeolit gibi maddelerin yüzeyine tutunarak ortamdan giderilmesi esasına dayanır. Özellikle aktif karbon üretim kolaylığı, yüksek yüzey alanı sağlama, yenileme işlemleri sonrasında tekrar kullanılabilir olma özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (Schlegelmilch vd., 2005). Adsorpsiyon sistemlerinde yüzey alanı, sıcaklık, pH, nem gibi parametreler verimlilik açısından büyük bir öneme sahiptirler. Kullanım ömrü sınırlı olan adsorpsiyon sistemleri daha çok ıslak yıkama, ozon oksidasyonu, vb. uygulamalardan sonra arta kalan istenmeyen bileşikleri gidermek amacıyla kullanılmaktadırlar. (DEPARK, 2014).

2. MATERYAL VE METOD

Çalışma kapsamında belirlenen sektörlerin ilgili proseslerinden ve koku giderim ünitelerinin çıkışlarından Şekil 1' de bulunan pompa yardımıyla Nalophan® poşetlere numuneler alınmıştır. Alınan numunelerin konsantrasyonları Dokuz Eylül Üniversitesi Hava Kirliliği Laboratuvarı' nda TS EN 13725 standardına göre ECOMA® Olfaktometre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Sistem temel olarak panelistlerin farklı konsantrasyonlardaki 'Evet' ve 'Hayır' cevaplarının geometrik ortalamalarının alınması prensibiyle çalışmakta olup, ortalama değeri Koku Birimi / metreküp cinsinden vermektedir.

3. SONUÇLAR

Daha önce yapılan ve bu çalışma kapsamında alınan numunelerin ölçüm sonuçları ile koku kontrol ünitelerinin verimleri Tablo 1' de verilmektedir.



Şekil 1. (a) Vakum pompası, (b) Nalophan poşetler, (c) Olfaktometre

Tablo 1. Sektörel ortalama ve koku giderim üniteleri çıkışı koku konsantrasyonları

Sektör	Numune Alınan Ünite	Tesis No	Giriş Konsantrasyonu (KB m ⁻³)	Koku Kontrol Metodu	Çıkış Konsantrasyonu (KB m ⁻³)	Giderim Verimi (%)
Bitkisel yağ üretimi	Kokusuzlaştırma	1	4669	Islak Yık.	603	87
			5050	Islak Yık.	640	87
		2	3180	Islak Yık. + Ozon Ok.	605	81
			2580	Islak Yık. + Ozon Ok.	550	79
Rendering	Pişirme	1	33410	Islak Yık.	986	97
			24328	Islak Yık.	515	98
		2	9583	Islak Yık.	371	96
			3	14000	Islak Yık.	417
			14280	Islak Yık.	360	97
Kümes hayvancılığı	Kümes havalandırma	1	3600	Islak Yık.	305	92
Bira üretimi	Kaynatma	1	30000	Islak Yık.	7070	76
			13976	Islak Yık.	580	96
		2	31880	Islak Yık.	627	98
			48031	Islak Yık.	590	99
			55360	Islak Yık.	560	99

Tablo 1. (Devam ediyor).

Maya üretimi	Fermantasyon	1	15305	Ozon Ok.	640	96	
			12000	Ozon Ok.	480	96	
			13000	Ozon Ok.	460	96	
			13000	Ozon Ok.	592	95	
			9095	Ozon Ok.	350	96	
Atıksu arıtımı	Terfi merkezi	1	3795	Islak Yık.	370	90	
		2	11385	Islak Yık.	1400	88	
	Atıksu arıtım ve çamur bertaraf üniteleri	1	3795	Islak Yık.	400	89	
			8385	Islak Yık.	380	95	
			13325	Islak Yık.	330	98	
		2	11921	Biyofilt.	425	96	
			11075	Biyofilt.	170	98	
			7247	Biyofilt.	285	96	
				13658	Biyofilt.	196	99
				2754	Biyofilt.	110	96

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ölçümlerin ilk aşamasında farklı tesislerden alınan numunelerin olfaktometre ile ölçümleri yapılarak her bir sektör için ortalama koku konsantrasyonları hesaplanmıştır. Rendering te üç, bitkisel yağ, bira üretimi, atıksu arıtımında iki farklı tesis; maya ve kümes hayvancılığın da ise tek tesis numuneler alınmıştır. Ölçüm değerleri Tablo 1’ de yer almakta olup en yüksek konsantrasyon bira üretimi sektöründe elde edilmiştir. Özellikle biraya aromasını veren şerbetçiotunun kaynatılması esnasında açığa çıkan aromatik bileşikler koku konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. Diğer yüksek konsantrasyonların hesaplandığı rendering sektöründe ise organik maddelerin yüksek sıcaklıkta parçalanması sonucunda açığa çıkan bileşikler kokuyu oluşturan ana sebeplerdendir. Maya üretiminde ise fermantasyon sonucunda açığa çıkan alkol bileşikler başta olmak üzere diğer bileşikler kokuya neden olmaktadır. Kümes hayvancılığı ve atıksu arıtımında kokunun başlıca sebepleri organik maddelerin bozunması ve bitkisel yağ üretiminde ise yağa acı tadı ve ağır kokuyu veren bileşiklerin yağdan uçurulması işlemleridir.

İkinci aşamada ise koku giderim ünitelerinin çıkışlarından alınan numuneler ölçülerek sektörel bazda uygun giderim yöntemleri incelenmiştir. Tablo 1’ deki verim oranları baz alınarak; bitkisel yağ üretimi, rendering, atıksu arıtımı (terfi merkezi), kümes hayvancılığı ve bira üretiminde ıslak yıkama; atıksu arıtımında (atıksu arıtımı ve çamur bertarafı) biyofitrasyon ile maya üretiminde ozon oksidasyonu en verimli yöntemler olarak belirlenmiştir. Bu yöntemlerin kullanıldığı sektörlerin hemen hemen hepsinde yaklaşık %90’ lık verim elde edilmiş olup bu sonuçlar daha önce yapılan Kastner ve Das (2002), Zagustina ve arkadaşları (2012), Omri ve arkadaşları (2013), Kerc ve Olmez (2010) çalışmalarıyla paralellik göstermektedir. Ayrıca terfi merkezi, bitkisel yağ ve bira üretimi sektörlerindeki bazı giderim uygulamalarında düşük verimler elde edilmiştir. Bu tip durumların başlıca sebepleri ise koku giderim ünitelerinin hatalı tasarımı, uygun olmayan

işletim koşulları (yetersiz kimyasal kullanımı...vb.) ve ünitelerin kapasitelerinin üzerinde çalıştırılması olarak tespit edilmiştir.

5. TARTIŞMA (VE ÖNERİLER)

Günümüzde koku problemi önemli çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Ülkemizde ise bu konuda yapılan çalışmalar henüz başlangıç seviyesindedir. Özellikle sektörel bazda koku kaynaklarının ve ortalama konsantrasyonların belirlenmesi, sektörlere özel uygun giderim yöntemlerinin seçilmesi için gerekli altyapı ve çalışmalarda pek çok eksiklikler bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında bu eksiklikler giderilmeye çalışılmış elde edilen sonuçların özellikle uygun koku giderim metodunun seçilmesinde endüstriyel tesislere rehberlik etmesi hedeflenmiştir.

Ancak kısıtlı sayıda endüstri ve giderim yöntemleriyle çalışılmış olduğundan daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Daha fazla sektör ve yenilikçi koku giderim yöntemleri (örneğin UV sistemleri, vb.) incelenerek bu çalışma daha da geliştirilip sektörlerin bu konudaki eksiklikleri tamamlanabilir. Ayrıca kokuya sebep olan bileşiklerin daha detaylı bir şekilde belirlenmesi amacıyla, okfaktometrik ölçümlere ek olarak analitik yöntemlerin kullanılması uygun koku giderim sistemlerinin belirlenmesine faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Lebrero, R., Bouchy, L., Stuetz, R., & Munoz, R., 2011. Odor assessment and management in wastewater treatment plants: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(10), 915-950.
- DEPARK, 2014. Dokuz Eylül Teknoloji Geliştirme A.Ş. 2014 - Atıksu Terfi Merkezlerindeki Kokunun Giderilmesine Yönelik Yöntemlerin Araştırılması ve Uygun Süreç Belirlenmesi Projesi Raporu, İzmir, sf. 3.
- Brancher, M., Griffiths, K. D., Franco, D., & de Melo Lisboa, H., 2016. A review of odour impact criteria in selected countries around the world. *Chemosphere*, 168, 1531-1570.
- Dincer, F., 2007. *Characteristic and chemistry of odors from selected industrial facilities in Izmir*, Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
- Akmirza, I., 2012 *Gıda endüstrisi kaynaklı koku emisyonlarının kontrol stratejilerinin geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- 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(5), 1039-1054.

- 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.
- Altınyavaş, 2013. *Tam rafine bitkisel yağ*. <http://www.altinyag.com.tr/tam-rafine-bitkisel-yag/>. Erişim Tarihi 25 Aralık 2016.
- Yemişçioglu, F., Özdikicierler, O., Gümüşkesen, A. S., & Sönmez, A. E., 2013. Bitkisel Yağ Rafinasyon Artıklarının Değerlendirilmesi. *Gıda Dergisi*, 38(6).
- Sironi, S., Capelli, L., Centola, P., Del Rosso, R., & Grande, M. I., 2007. Odour emission factors for assessment and prediction of Italian rendering plants odour impact. *Chemical Engineering Journal*, 131(1), 225-231.
- Murphy, K. R., Parsi, G., & Stuetz, R. M., 2014. Non-methane volatile organic compounds predict odor emitted from five tunnel ventilated broiler sheds. *Chemosphere*, 95, 423-432.
- World Bank Group, 2007. *Environmental, health, and safety guidelines for breweries*. <http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a1b1ce8048855d0e8dc4df6a6515bb18/final+-+breweries.pdf?mod=ajperes>. Erişim Tarihi 6 Şubat 2017.
- Vehlow, J., 2015. Air pollution control systems in WtE units: an overview. *Waste Management*, 37, 58-74.
- Schlegelmilch, M., Streese, J., & Stegmann, R., 2005. Odour management and treatment technologies: an overview. *Waste Management*, 25(9), 928-939.
- Kastner, J. R., & Das, K. C., 2002. Wet scrubber analysis of volatile organic compound removal in the rendering industry. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 52(4), 459-469.
- Morgan-Sagastume, J. M., ve Noyola, A., 2006. Hydrogen sulfide removal by compost biofiltration: Effect of mixing the filter media on operational factors. *Bioresource Technology*, 97(13), 1546-1553.
- Kaosol, T., ve Pongpat, N., 2011. Ammonia gas removal from gas stream by biofiltration using agricultural residue biofilter medias in laboratory-scale biofilter. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 77, 642-646.

- Zagustina, N. A., Misharina, T. A., Veprizky, A. A., Zhukov, V. G., Ruzhitsky, A. O., Terenina, M. B., Krikunova, N. I., Kulikova, A. K., & Popov, V. O., 2012. Elimination of volatile compounds of leaf tobacco from air emissions using biofiltration. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 48(4), 385-395.
- Omri, I., Aouidi, F., Bouallagui, H., Godon, J. J., & Hamdi, M., 2013. Performance study of biofilter developed to treat H₂S from wastewater odour. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(2), 169-176.
- Zhang, Y., & Pagilla, K. R., 2013. Gas-phase ozone oxidation of hydrogen sulfide for odor treatment in water reclamation plants. *Ozone: Science & Engineering*, 35(5), 390-398.
- Smet, E., Lens, P., & Langenhove, H. V., 1998. Treatment of waste gases contaminated with odorous sulfur compounds. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 28(1), 89-117.
- Kerc, A., & Olmez, S. S., 2010. Ozonation of odorous air in wastewater treatment plants. *Ozone: Science & Engineering*, 32(3), 199-203.
- 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: 18 Mayıs 2017.