

MAYA ENDÜSTRİSİ KOKU PROBLEMİ VE ÇÖZÜMLERİ: PAKMAYA DENEYİMİ

Mustafa TÜRKER^{1,2,3(*)}, Seval KARADAĞ², Yusuf IŞIK¹, İsmail ERTAN³

¹Pak-Gıda Üretim ve Paz. A.Ş. İzmit Fabrikası, İzmit

²Pak-Gıda Üretim ve Paz. A.Ş. İzmir Fabrikası, İzmir

³Pak-Gıda Üretim ve Paz. A.Ş. Düzce Fabrikası, Düzce

ÖZET

Pakmaya, Dünya’da maya sektörünün önde gelen kuruluşlarından biridir. Yaklaşık 40 yıldan fazla bir süredir fermentasyon yoluyla ekmek mayası üretmekte ve yüzden fazla ülkeye ihraç etmektedir. Türkiye’de ve Romanya’da olmak üzere toplam dört tesisi bulunmaktadır. Hammadde olarak şeker üretim prosesinin yan ürünü olan melas kullanılmaktadır. Pakmaya son 30 yılda çevre ile ilgili çok sayıda yatırım yapmıştır. 1980’lerde biyolojik arıtma yatırımları ile başlamış ve Türkiye’de anaerobik arıtma teknolojisini yaygınlaşmasına öncülük etmiştir. Daha sonra “Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği” ndeki değişmelere uyum sağlayabilmek için biyolojik arıtma sistemlerine ilave olarak evaporasyon ve membran teknolojilerini hayata geçirmiştir. Son yıllarda koku konusunda hassasiyetleri artması üzerine, şirketimiz konuyu gündemine almış ve olası teknolojik alternatifleri pilot ölçekte uygulanabilirlik, etkinlik ve ekonomi açısından incelemiş ve değerlendirmiştir. Bu vesileyle fotokatalitik, biyoyıkama ve ozon seçenekleri pilot ve endüstriyel ölçekte incelenmiştir. Alternatifler arasında ozon öne çıkmış ve üç fabrikada gerekli yatırımlar yapılmıştır. Pakmaya, hem atıksu arıtımında hemde gaz emisyonların arıtımında kendi teknolojisini üreten Dünya’da öncü kuruluşlardan biridir. Bu çalışmada bu konularda son yıllardaki deneyimi paylaşılacaktır.

ABSTRACT

Pakmaya is one of the leading manufacturer of baker’s yeast in the world and the production of baker's yeast by fermentation has started more than about 40 years ago. It has four production facilities in Turkey and Romania. Molasses, a by-product of the sugar production process is used as a raw material. Pakmaya has made a large number of investments about the environment during last 30 years. It began with biological treatment investment in the 1980s and has pioneered the anaerobic treatment technology in Turkey. Then evaporation and membrane technology has been implemented in addition to the biological treatment system to adapt to the changes in "Water Pollution Control Regulation". In recent years, because of increased sensitivity about odor, Pakmaya has taken the issue on its agenda and possible technological options were evaluated and assessed at pilot scale. For this reason, photocatalytic, bioscrubber and ozone options were studied at pilot and industrial scale and ozone oxidation came forward among the alternatives and Pakmaya made the necessary investments in three factories. In this paper these alternatives will be evaluated after briefly introducing general overview of environmental activities in Pakmaya over the last thirty years.

* mustafa.turker@pakmaya.com

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Maya Sektörü, Atıksu Arıtımı, Koku giderimi, Ozon.

1. GİRİŞ

Pakmaya Şirketler grubunun temeli 1923 yılında Prof. Mustafa Nevzat Bey'in kendi adını taşıyan ilaç laboratuvarını kurmasıyla atılmıştır. Günümüzde Türk ilaç sektörünün öncü ve köklü kuruluşu Mustafa Nevzat İlaç San. A.Ş.'de uzun yıllar ilaç ve ilaç hammaddeleri üretimi yaparak titiz, dikkatli ve hijyenik sinai üretim deneyimi kazanmış olup, 1973'te gıda sektörüne Pakmaya markası ile girmeye karar vermiş ve ilk maya fabrikasını İzmir-Köseköy'de işletmeye açmıştır. 1986'da İzmir-Kemalpaşa'da ikinci, 1990'da Düzce-Cumayeri'nde üçüncü maya fabrikasını kuran şirketimiz, Türkiye dışındaki ilk yatırımını 1998'de Romanya'nın Paşcani şehrinde gerçekleştirmiştir.

Kuruluşundan 1980 yılına kadar yoğun bir çalışmayla Türkiye maya pazarını geliştiren Pakmaya, bu tarihten sonra dikkatini ihracat pazarlarına yöneltmiştir. 1981 yılında 51 ton olarak ilk ihracatını İran'a yapan Pakmaya, şimdi ise ürettiğinin %60'dan fazlasını 120'den fazla ülkeye ihraç etmektedir. Markalarımız bu ülkelerin çoğunda ilk üçe girmekte, bazı pazarlarda ise pazar lideri konumunda bulunmaktadır. Dünya pazarlarındaki zorlu rekabeti sürdürebilmenin ve müşterilerine daima daha iyi hizmet ve ürün sunabilmenin en önemli koşullarından birinin teknolojik gelişme olduğunun bilinciyle, Pakmaya araştırma-geliştirme faaliyetlerine de büyük ağırlık vermektedir. Bu amaçla çevre, biyoteknoloji ve fırıncılık araştırmaları için kurulan Pakmaya Arge Merkezi çalışmalarını sürdürmektedir.

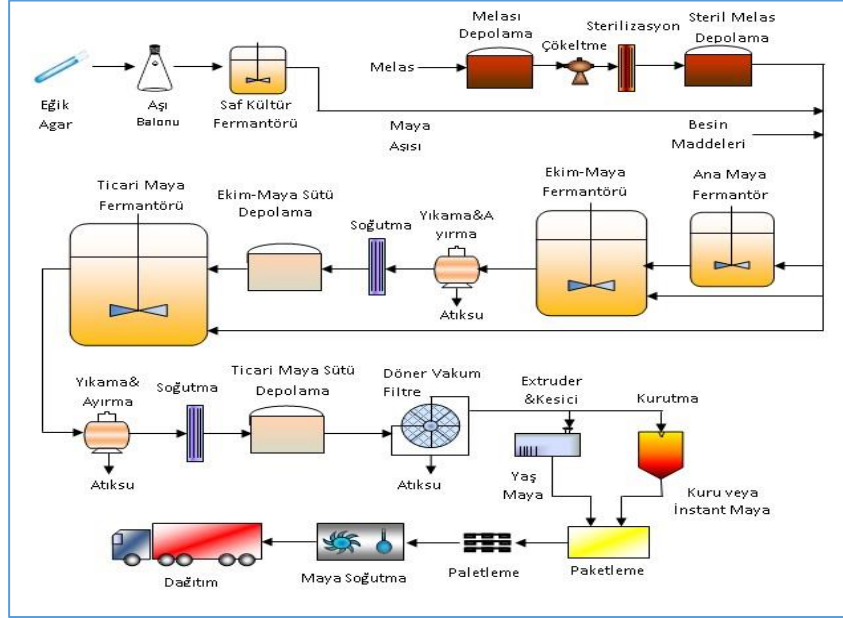
Üretim prosesi Şekil 1'de verilmiştir. Hammadde olarak melas kullanılarak maya *Saccharomyces cerevisiae* ve diğer yardımcı maddelerin yardımıyla melas içindeki şekerin üzerinde çoğaltılmaktadır (Türker, 2005). Üretim sırasında hem fermentasyon (Hocalar ve Türker, 2006, 2010; Türker, 2014) hem de kurutma süreçleri (Türker vd., 2006) sırasında ileri proses kontrol teknikleri kullanılmaktadır. Çoğaltma işlemi artan boyutlarda hacimleri 100-250 m³'e kadar çıkan ardışık fermentörlerde gerçekleştirilmektedir. Nihai ürün yaş maya, sıvı maya, kuru ve instant maya formunda elde edilmekte ve uygun biçimde paketlenerek müşterilere gönderilmektedir.

2. PAKMAYA ÇEVRE TEKNOLOJİLERİ

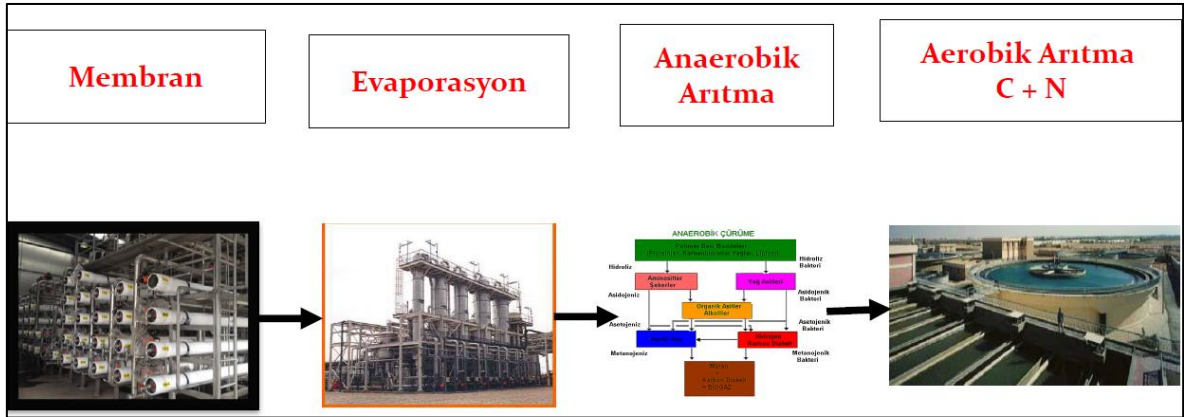
2.1 Biyolojik arıtma tesisi

Çevre teknolojilerinin mevcut durumu Şekil 2'de verilmiştir. Başlangıçta anaerobik ve aerobik arıtmadan oluşan arıtma teknolojileri (Şekil 3), deşarj koşullarının değişmesiyle melasdan kaynaklanan inert KOİ'den dolayı yetersiz kalmış, arkasından evaporasyon ve membran teknolojileri eklenmiştir. Türkiye'de anaerobik reaktör öncülüğünü yapan Pakmaya, anaerobik reaktör ihtiyacı olan birçok firmaya yol gösterici ve fiilen yardımcı olmuştur (Türker, 2008). Zaman içinde; anaerobik reaktör sayısını fabrikalarında arttırmış, aerobik havuzlarına azot giderim sistemleri (nitrifikasyon-denitrifikasyon) ilave etmiş ve arıtma sistemini online hale getirerek uzaktan izleme sistemi kurmuştur (Şekil 4). Mevcut biyolojik atıksu arıtma sistemi (anaerobik-aerobik-çamur çöktürme ve son dinlendirme havuzları) ile %95 KOİ giderim verimlerine ulaşmıştır. Atıksu arıtma tesisine, üretim proseslerinden kaynaklı fermentasyon yıkama suları, evsel atıksular, diğer yıkama suları, evaporasyon

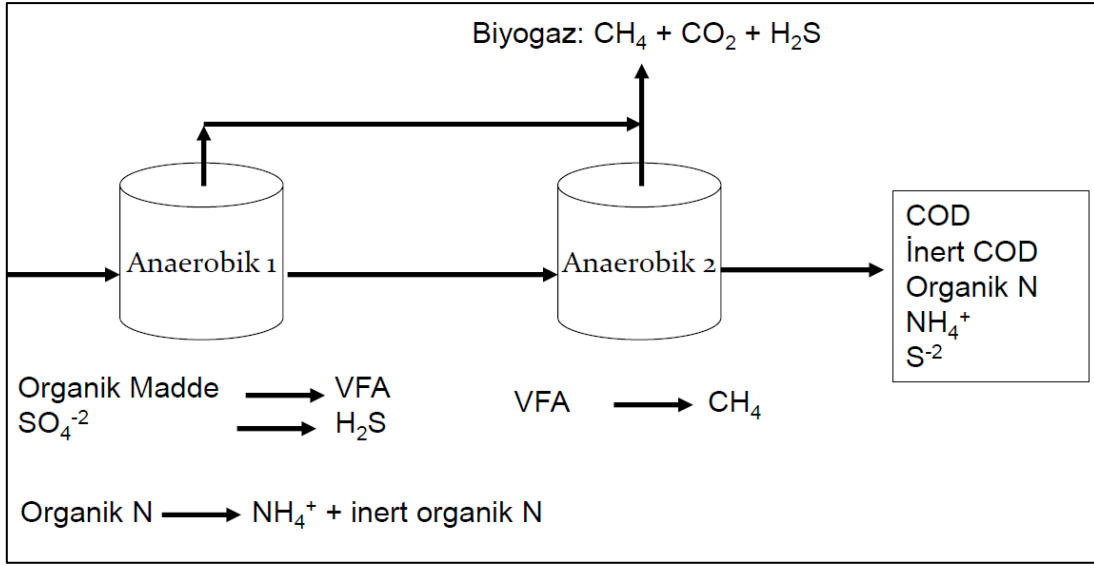
tesisinden çıkan kondens suları ve membran filtrasyon tesisinden çıkan permeate akıları beslenmektedir.



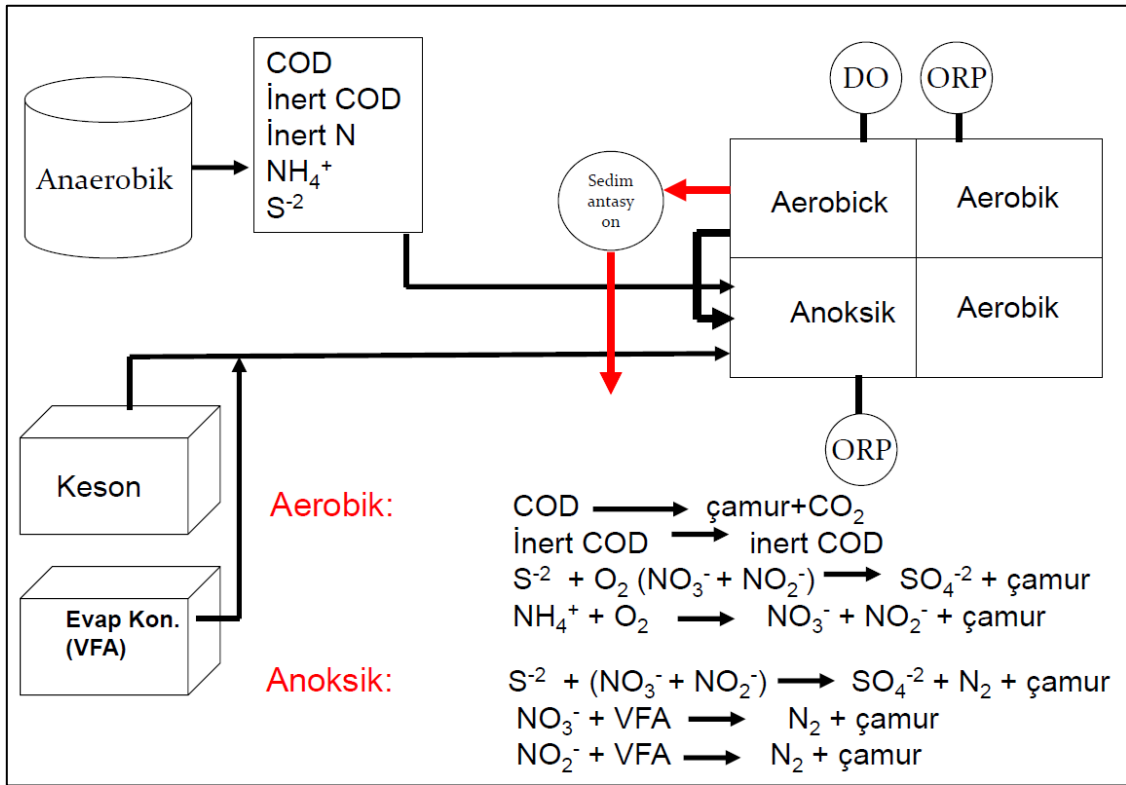
Şekil 1. Ekmek mayası üretim akım şeması



Şekil 2. Pakmaya çevre teknolojilerinin mevcut durumu



Şekil 3. Anaerobik arıtma sistemi



Şekil 4. Aerobik arıtma sistemi

2.2 Evaporasyon tesisi

Hamur mayası fermantasyonundan çıkan seperasyon atığı (zayıf vinas) mayanın melastaki şekeri kullanmasından sonra kalan ve maya tarafından kullanılmayan organik maddeleri içerdiğinden dolayı yüksek KOİ değerlerine (50.000 mg/l KOİ) sahiptir. Söz konusu proses atığı; 2005 yılına kadar anaerobik ve aerobik arıtma tesisinde arıtılmak amacıyla atıksu arıtma

tesisine gönderiliyordu. İçerisinde yüksek oranda organik madde içeren bu atığı hem arıtmak, hem de geri kazanmak ve değerlendirmek amacıyla, yeni bir ileri arıtma ve geri dönüşüm tesisi olan evaporasyon tesisini 2005-2006 yıllarında tüm fabrikalarında kurmuştur.

Fermantasyon prosesinden çıkan seperasyon atığı, 5 etkili evaporasyon tesisine alınarak iki ticari ürün üretilmektedir. Bu ürünler %65-70 kurumadeli vinas (hayvansal yem katkı maddesi) ve kristallendirilerek ayrılan vinas ekstresi (potasyum sülfat gübresi) olarak bilinmektedir. Evaporasyon tesisinin tek atığı olan proses kondensatı, tüm katkı maddelerinden arındırılmış, vakum altındaki kaynama sırasında oluşan buharın soğutulmuş ve yoğunlaştırılmasından elde edilen, KOİ değeri olarak çok düşük seviyelere (3000 mg/l KOİ) indirgenmiş, rengi alınmış berrak bir sıvı halinde atıksu arıtma tesisinde işlenerek arıtılmaktadır. Bununla birlikte, tesisin mümkün olduğu kadar ekonomik işletilebilmesi amacıyla, bu organik içerikli atıksudan evaporasyon teknolojisi ile yoğunlaştırarak ürün olarak aldığı vinas (hayvan yem katkı maddesi) ve vinas ekstresi (potasyum sülfat gübresi) ürünleri ile tüm fabrikalarında ciddi bir geri kazanım tesisine sahip olmuştur. Tüm fabrikalarında kurup işlettiği evaporasyon tesislerinde işlediği atıktan, günde yaklaşık 200-250 ton vinas ve 60-80 ton vinas ekstresi üreterek ekonomiye kazandırmaktadır.

2.3 Membran filtrasyon tesisi

2012 yılında Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği ile renk parametresinin 280 pt-co olarak gündeme gelmesiyle renkli atıklarımızın rengini gidermek için çeşitli çalışmalar yapılmış ve rengi 15.000 pt-co mertebelerinde ve yüksek debide olan döner filtre atıksularımızın ayrı bir procesten geçirerek rengini giderme gerekliliği doğmuştur. Yüksek renge ve organik içeriğe sahip döner filtre atıksuları, arıtma tesisine gelen diğer atıksularla karıştığında atıksu arıtma tesisi çıkışında 4.000 pt-co rengini oluşturmaktadır. Atıksuyun koyu kahve rengi genellikle bir tür şeker-azot karmaşık bileşikler olan melanoidin türü bileşiklerin varlığından kaynaklanmaktadır. Melanoidin bileşikler ise hammadde olarak kullanılan şeker pancarı melasından, üretimdeki çeşitli işlemler sonucunda atık suya geçmektedir.

Rengi gidermek amacıyla, Gebze Teknik Üniversitesi ile ortak TÜBİTAK-TEYDEB destekli proje çalışmalarına başlanmıştır. Proje çalışmalarının laboratuvar sonuçları, Pakmaya bünyesinde bulunan mühendislik departmanı tarafından bir yatırım projesine dönüştürülerek, tüm fabrikalarında 2012-2014 yılları arasında yapılan ciddi yatırımlarla Membran Filtrasyon Tesisleri devreye alınmıştır. Bu tesiste, şeker fabrikasının atığı olan melastan kaynaklı doğal olarak oluşan döner filtre atık sularının rengi ile oluşan, atıksu arıtma tesisi çıkışındaki renk değeri 4.000 pt-co seviyelerinden, 200-250 pt-co'ya düşürülmüştür. Yapılan bu proje ile; hammadde olarak kullanılan şeker fabrikasının atığı olan melastan kaynaklı doğal olarak oluşan rengin gideriminde, maya sektöründe Türkiye'de ilk ve Dünya'da da ilklerin arasında bulunan bu tesis ile renkte %95 giderim sağlamayı başarmıştır.

Bu projedeki amaç; kuru madde açısından düşük fakat organik besin açısından değerli ve yüksek renge sahip olan döner filtre atıksularının membran filtrasyon tesisinde yoğunlaştırarak ve renkli kısmını alarak evaporasyon tesisine beslenmesiyle vinas ve vinas ekstresi üreterek geri kazanımını sağlamak ve arıtma tesisine giden renkli atık yükünü azaltarak (250-100 pt-co) seviyelerine indirmektir. Membran filtrasyon tesisinden arıtılarak renksiz olarak çıkan akıllar ise arıtma tesisine verilmektedir.

Filtrasyon sistemi; ön filtrasyon, 5 kademeli seri bağlı filtrasyon aşaması ve 3 kademeli seri bağlı reverse osmose sisteminden oluşmaktadır. 300-350 m³/gün olarak membran tesisine giren atıksuyun; %70-80'i yoğunlaştırılarak, kuru maddesi artırılarak alınan renkli kısmı geri dönüşüm için evaporasyon tesisine, %20-30'u ise arıtılmış su olarak atıksu arıtma tesisine alınmaktadır. Membran filtrasyon prosesi için fazla yoğunlaşma durumunda membranların tıkanmaması için kullanılan seyreltme suları; membran filtrasyonundan çıkan renksiz suların (permeate), 3 kademeli seri bağlı reverse osmose sisteminden geçirilip elde edilmesiyle sağlanmaktadır.

3. MAYA ENDÜSTRİSİNDE KOKU PROBLEMİ VE GİDERİMİ

3.1 Koku ve kokunun kaynakları

Koku, koku alma duyusuyla hissedilen, genelde çok düşük konsantrasyonlarda havada çözülmüş halde bulunan kimyasal maddelerden herbiridir. Koku, havada çözülmüş haldeki koku verici moleküllerin verdiği histir.

Kokulu emisyon kaynakları genel olarak atıksu arıtma tesislerinden, katı atık depolama ve kompost tesislerinden ve endüstriyel proseslerden kaynaklanmaktadır. Çeşitli endüstriyel faaliyetler gerek kullandıkları hammadde gerekse uygulanan prosesler sonucu koku emisyonu yaratan gazları atmosfere salmaktadır. Koku emisyonu oluşturan başlıca endüstriyel faaliyetler şu şekilde sıralanabilmektedir (Bilgili, 2004): Gıda sektörü, Maya, Mayalı içkiler, Kahve ve kakao kavurma, Şeker üretimi, Etil alkol üretimi, Demir çelik, Petrokimya, Deri işleme.

Koku emisyonları, kompleks yapıdaki birçok koku kaynağından ortaya çıkmaktadır. Bu emisyonların tanımlanabilmesi ve ölçülebilmesi için çeşitli ölçüm teknikleri geliştirilmiştir. Bu teknikler arasında GC/MS ve elektronik burun yöntemi gibi analitik, olfaktometrik koku ölçümü yöntemi gibi duysal koku ölçümleri bulunmaktadır. Ülkemizde koku ölçümü konusunda ilgili yönetmelik, olfaktometrik ölçüm yöntemi yapılmasını bildirmektedir. Koku birimi (KB/m³); bir kokulu madde, standart koşullardaki 1 m³ nötral hava içine buharlaştırılarak karıştırıldığında panelin algılama eşiğindeki fizyolojik tepkisinin, aynı koşullarda Avrupa referans koku kütlesinin yine 1 m³ nötral hava içine buharlaştırılarak karıştırıldığında ortaya çıkan tepkiye eşit olması halindeki kokulu madde miktarı şeklinde tanımlanır (KOEKHY, 2013).

3.2 Koku ile ilgili yasal düzenleme

Türkiye'de yakın zamana kadar direkt olarak koku ile ilgili yasal bir düzenleme bulunmamaktaydı. Bunun yerine Sanayi Kaynaklı Hava Kirlenmesi Kontrolü Yönetmeliği, kokulu emisyonları olan tesisler için koku rahatsızlığına yol açmayacak şekilde işletilme koşullarını istemekte, ayrıntıyı içermemekte idi. Artan refah seviyesi ve çoğu bölgelerde endüstrilerin kentsel alanlarda kalması, koku probleminin bireyler tarafından daha şiddetli derecede hissedilmesine neden olmaktadır. Avrupa ve özellikle Almanya'nın koku probleminin çözümüne yönelik yasa ve yönetmelikleri örnek alınarak ve de lokal koşullar da sisteme dahil edilerek Ocak 2012'den itibaren ülkemizde "Koku Emisyonlarının Kontrolü Yönetmeliği" yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik gereğince koku probleminin olduğu bölgelerde analitik ve duysal ölçümler yapılarak koku probleminin çözümü sağlanmaktadır. Yürürlüğe Ocak 2012 tarihinde giren yönetmelik koku şikayetinin beyan edildiği durumlar gözönünde bulundurularak işlemekte idi. 19 Temmuz 2013 yılında revize edilerek yürürlüğe

giren “Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik” ile 1000 KB/m³ üzerinde koku veren işletmelerin gerekli tedbirleri alması zorunlu kılınmıştır.

3.3 Koku Kontrol Yöntemleri

Endüstriyel proseslerde oluşan kokuların kontrol yöntemleri, tesis türüne ve önlem yapısına göre iki başlık altında toplanabilir. Tesis türüne göre, ortaya çıkan kokuların kaynaklanma nedeni ve yapısı ile birlikte bunların önlenmesinde uygulanabilecek yöntemler etkinlik türüne göre değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin bir gıda endüstrisinde koku kontrolü; proses kontrolü, depolama, absorpsiyon, biyofiltre ve oksidasyon (O₃, OCL⁻, H₂O₂ vd.) ile gerçekleştirilirken, demir çelik tesislerinde koku kontrolü; fırınlardan çıkan gazın arıtılması, dökümden duman çıkmasının önlenmesi, yıkama suyunun arıtılarak yeniden kullanılması ve granülasyondan çıkan dumanın yoğunlaştırılması şeklinde sağlanabilir. Önlem yapısına göre ise, kokunun oluşmasını önlemek, arıtma ya da güvenlik mesafesi uygulama yöntemlerinden daha etkili olmaktadır (Topal, 2013).

Bu açıdan yaklaşıldığında, koku önleme yöntemleri; kaynakta önleme, arıtma, seyreltme ve etkinliğini azaltma veya maskeleyme yöntemleri olarak sınıflandırılabilir. Kokunun oluşmadan önlenmesi daha ekonomik ve etkin bir yöntemdir. Bu ise tesisin üretim yapısı ve işletme koşulları iyileştirilerek yapılabilir. Kokulu gaz ve sıvıların koku oluşturan bileşiklerden arındırılması amacı ile bazı arıtma teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler; adsorpsiyon, absorpsiyon, yaygın ve etkili bir şekilde kullanılan biyofiltreler, sulu filtreleme, yakma, oksidasyon ve çeşitli pH düzenleyici sistemler olarak yönetmelikte belirtilmektedir (KOEKHY, 2013).

Koku giderim yöntemleri (Müezzinoğlu, 2014);

- Biyolojik prosesler (biyofiltre, biyoscrubber, biyotracking..)
- Kondensasyon,
- Aktif karbon adsorpsiyonu,
- Yıkamalı absorpsiyon,
- İnsinerasyon,
- Membran prosesler,
- UV oksidasyonu,
- Plasma oksidasyonu ve
- Ozonlamadır.

Biyogazda bulunan hidrojen sülfürün arıtılması için uygun bir teknoloji ve proses kontrol sistemi geliştirilmiş, fakat evaporasyon tesisinin kurulmasıyla anaerobik arıtmanın önemi azalmış ve biyogaz üretimi düşmüştür (Başpınar vd., 2012; Türker vd., 2011)

3.4 Maya sektöründe koku kontrolü konusunda uygulanan yöntemler

Maya üretiminin en önemli ham maddesi, fermantasyon prosesinde mikroorganizmalara karbonhidrat kaynağı olarak beslenen şeker pancarı ve şeker kamışı melasıdır. Hammaddenin aşılama sistemi ile devreye alınması ve ardında uygulanan fermantasyon prosesi ile maya üretimi gerçekleşmektedir. Maya üretimi için gerekli olan en temel ihtiyaçlar; melas, su, hava, azot ve fosfor kaynakları ve minerallerdir. Fermantasyon prosesini gerçekleştirmek için fermantöre alınan bu girdiler, fermantasyon esnasında fermantörün soğutulması işlemi ve sürekli ph ve sıcaklık kontrolünde yaklaşık 17 saat sürmektedir. Fermantasyon prosesi sonucu

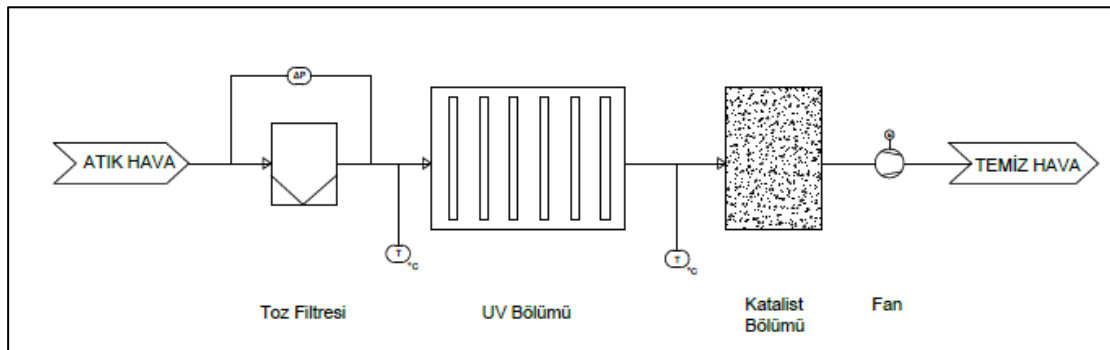
elde edilen maya sütünden, yaş maya üretilecek ise özel dizayn edilmiş yaş maya paketleme makinalarına, eğer kuru maya üretilecekse kurutma fırınlarında kurutulmuş kuru maya ambalaj makinalarına gönderilerek, paketlenerek maya elde edilir.

İşletmelerimizin her birinde fermantasyon ve kurutma fırınlarına ait proses bacaları bulunmaktadır. 4/9/2010 tarihli ve 27692 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “Kokuya Sebep Olan Emisyonların Kontrolü Yönetmeliği” yürürlükten kaldırılmadan önce 2012 yılında işletmemiz proses bacalarında Yönetmelik gereğince; koku ölçümleri yaptırılmıştır. Proses bacalarında yapılan ölçümlerde; koku miktarı kurutma fırın bacalarında $200-300 \text{ KB/m}^3$ ve fermantör bacalarında ise 10.000 KB/m^3 seviyelerinde çıkmıştır. 19.07.2013 tarihinde “Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik”in yürürlüğe girmesiyle fermantasyon prosesine ait fermantör bacalarında ölçülen kokunun yönetmelikte verilen 1.000 KB/m^3 üzerinde olduğu anlaşılacak, fermantasyon proses bacalarındaki kokunun giderilmesi ve 1.000 KB/m^3 altına çekilmesi üzerine çalışmalar başlatılmıştır.

Fermantasyon prosesi bacalarından proses gereği çıkan uçucu organik bileşiklerin kokuya neden olduğu bilinmektedir. Fabrikamızda bulunan proses bacalarında hava emisyonu içinde kokuya neden olan bileşikler giderecek sisteme ihtiyaç duyularak araştırmalar yapılmıştır. Yapılan deneme çalışmaları ve bu çalışmalara ilişkin değerlendirmeler aşağıda yer almaktadır.

Fotokatalitik oksidasyon yöntemi ile koku giderimi. Literatür araştırmalarımızda, farklı sektörlerde fotokatalitik oksidasyon tekniği ile kokunun giderilebileceği ilişkin çalışmalara rastlanılmıştır. Bunun üzerine yurtdışından bu konuda uzman bir firma ile uzun süre görüşülerek ve proses ayrıntılı incelenerek, her bir bacaya Fotokatalitik Oksidasyon tekniği ile, fermantasyon bacalarımızdan atmosfere salınan kokuların giderimini sağlayacak fotokatalizör takılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Hem sistemin yatırım maliyeti yüksekliğinden, hem de herhangi bir maya endüstrisi fermantör bacasında fotokatalitik oksidasyon sisteminin koku giderimi konusunda uygulanmamış olmasından dolayı, öncelikle bu sistemin 1 fermantör bacamızda denenmesinin en sağlıklı yol olacağına karar verilmiştir. Yaptığımız araştırmalar, fotokatalizör olarak titanyum oksitinin kullanıldığı alanlardan biri olan koku gideriminde, %80-95 oranında başarılı olduğunu göstermektedir.

Bu teknoloji, yeşil bir teknoloji olup, hava ve sudaki organik bileşenleri ayrıştırmak için kullanılır. İşletmemizde bir bacaya kurulan sistemin blok şeması Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Fotokatalizör Sistemi

Sistemin prensibi gaz içindeki organik maddenin (VOC, volatile organic compounds) UV ışığı ve TiO₂ katalizörlüğünde yükseltgenerek parçalanmasına dayanmaktadır. Fotokatalitik oksidasyon ile deneme yapacağımız cihaz yurtdışından getirildikten sonra fermantör bacalarından birine Şekil 5’de görüldüğü gibi monte edilmiştir. Cihaz devreye alındıktan belli bir süre sonra, Fotokatalitik Oksidasyon Cihazının içerisi açıldığında UV lambalarının üzeri, fermantasyon buharı ile tamamen kaplanmasından dolayı, UV ışınları işlevini yerine getiremediği ve dolayısıyla bizim sistemimize uygun olmadığı anlaşılmıştır.

Bioscrubber Sistemi ile koku giderimi. Proje grubumuz tarafından, Fermantör bacalarından çıkan gazın bir kollektörle toplanması ve toplanan gazın scrubber sisteminde yıkanması yoluyla koku emisyonun giderilmesi konusunda bir proje üzerinde çalışılmıştır. Fakat tüm fermantör bacalarından çıkan hava, bir kolektör hattında toplandığında, oluşacak yüksek debinin scrubber sistemi vasıtasıyla yıkanması her açıdan zorluk taşımakta olduğu ve müşterek çalışan bir sistemin hijyenik açıdan işletiminde oluşabilecek güçlükler nedeniyle bu yöntem tercih edilmemiştir. Bunun yerine her bir bacaya tek tek uygulanabilecek bir yöntemin üretim açısından daha uygun olduğu görüşüne varılmıştır.

Biyoyıkayıcılarda gaz fazdaki kirleticiler gaz-sıvı kontaktöründe geri devirde olan sıvı içinde absorplanmaktadır. Daha sonra kirleticilerle zenginleşen sıvı biyoreaktörde süspanse halde bulunan mikroorganizmalar tarafından tüketilir. Bu esnada gereken oksijen sıvıya eklenmiş olmalıdır. Bu da sıvının rejenerasyonu sırasında yapılır. Sıvıya nutrient eklemesi ve pH ayarı sürekli yapılır. Reaksiyon ürünleri ve ara oksidasyon ürünleri sürekli olarak sistemden atılmalıdır. Gaz kirleticinin sıvıya transferiyle başlayan işlemler bu yüzden daha başarılıdır ve daha küçük reaktör hacimlerinde gerçekleştirilebilir. Dolayısı ile basınç kayıpları da düşüktür. Kontaktör olarak dolgu kuleler, püskürtmeli kuleler kullanılabilir. Sıvının rejenerasyonu süspanse mikroorganizmalar tarafından yapılmış olur. Sonuçta mineralizasyon ürünleri ve CO₂ ve H₂O ortaya çıkar (Müezzinoğlu, 2014).

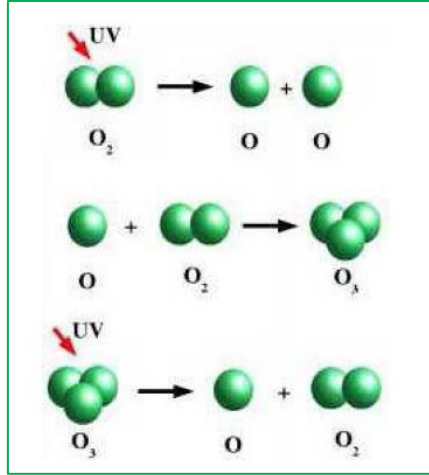
Ozonlama ile koku giderimi. Araştırmalarımız sırasında koku gidermek için Ozon (O₃) kullanımının uygulamaları ile de karşılaşılmıştır. Çünkü ozon, bilinen en güçlü oksitleyicilerden biridir. Son zamanlarda eskisinden daha hızlı bir teknoloji ile daha ucuza elde edilmektedir. Son yıllarda ozonla yapılan koku gideriminin sadece yıkama kulesinde sulu ortamda değil doğrudan doğruya gaz fazda da yapılmaktadır (Müezzinoğlu, 2014).

Ozon oksidasyonu H₂S ve VOC’lerden kaynaklı kokuların giderilmesinde kullanılan bir yöntemdir. H₂S, Yıkama kulesinde suda çözüldükten sonra ozon verilerek oksitleme tamamlanır. Bu yöntem aynı zamanda VOC (Uçucu organik bileşikler) gazlarına da uygulanabilmektedir.



1.1 Ozonu doğrudan gaza uygulayarak, fermantasyon kaynaklı koku gideriminde etkisi olup olmadığını görmek amaçlı, farklı dozajlarda ozon üretebilme kapasitesi olan ozon jeneratörlerinden kiralayıp, bacanın en alt noktasından karışım olacak şekilde 2-3 farklı yerden ozon vererek kokuyu giderme amaçlanmıştır.

Ozon ve ozon uygulamaları. Ozon 1781 yılında içinden elektrik kıvılcımları geçirilen havada oluşan koku nedeniyle Van Marum tarafından fark edilmiş daha sonra 1840 yılında C.F.Schoenbein tarafından yeniden keşfedilerek ozon adı verilmiştir. Marignac, Becquerel ve Fremy tarafından incelenerek yapısı ve Soret'in yaptığı araştırmalar sonucu da formülü bulunmuştur (Ünal, 2011).



Şekil 6: Ozon molekülünün oluşumu (Yıldız ve Yangılar, 2014)

Termodinamik olarak ozon oluşumu aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir.



Yaklaşık olarak 143 kJ/mol enerjiye sahip olan ozon, oksijenin sahip olduğu enerjiden daha fazla bir enerji içermektedir. 1 gr ozon üretebilmek için 2960 jule enerji gereklidir (Musschelein, 1982).

Ozon kararlı oksijen molekülünün parçalanması ile oluşur. Parçalanmış oksijen atomları daha sonra ozon oluşturmak için moleküler oksijenle birleşir.



1906'dan beri içme suyu arıtımında ozon kullanılmaktadır. Ozonlama uygulamaları organik ve inorganik maddelerin oksidasyonu, flokulasyonu, askıda katı madde giderme, bulanıklık giderme ve mikroflokulasyonu içermektedir (Rip et al., 1981).

Çoğu atık su hoş olmayan kokular içermektedir ve hatta atık su arıtım sistemi bile kendi kendine kokulu bileşikler meydana getirmektedir. Hidrojensülfid, ketonlar, amonyum, merkaptanlar, aminler, aldehytler, skatoller, indoller gibi koku oluşumuna neden olan bileşikler çoğu atık su arıtım sistemi tarafından oluşturulur. Bu pis kokular azot ve sülfür içeren bileşiklerin anaerobik parçalanması sonucu ortaya çıkmaktadır. Kirlenmiş havadan pis kokulu bileşikler gidermek için aktif karbon adsorpsiyonu, yanma, asit-alkali giderimi ve birkaç oksidant gibi farklı fiziksel ve kimyasal arıtım prosesleri kullanılabilir. Yapılan bir

çalışmada aktif karbon, ozonlama ve havalı biofiltreler atık suda meydana gelen kokuyu gidermek için kullanılmıştır (Yongwoo et al., 1994).

Ozon tarafından giderilen çoğu kokular doğadaki sülfür kökenli olup, kanalizasyon atık suyu, gıda ve kağıt tesislerinden kaynaklanmaktadır. Çoğu ozon reaksiyonları hızlı olmasına rağmen birkaçı anlık olup karışık gazların atmosfere deşarjından önce uygulanır (Rip, 1978).

Pakmaya ozon sistemi. Farklı ozon dozajları ile 2 farklı tür olan fermantasyon prosesine ait ana maya fermantör ve ticari maya fermantör bacalarında denemeler yapılması ve eğer başarılı olursa her bacaya ayrı ayrı ozon jeneratörü bağlanabileceği düşüncesi ile ozon jeneratörleri kiralanmıştır. Farklı zamanlarda farklı ozon miktarları ile deneme yaptığımız bacalarda, aldığımız sonuçların bazıları aşağıdaki Tablo 1’de verilmiştir. Yaptığımız denemelerde farklı ozon miktarları fermantör bacasına dozlanmış ve sonuçta aşağıdaki tabloda da görüldüğü gibi ozonun; fermantasyon bacalarında ölçülen yaklaşık 10.000 KB/m³ kokuyu 400-500 KB/m³’e düşürdüğü ve dolayısıyla yaklaşık %95 oranında kokuyu giderdiği ve yönetmelik değeri olan 1000 KB/m³’ün altına düşürdüğü bir çok deneme çalışması ile test edilmiştir.

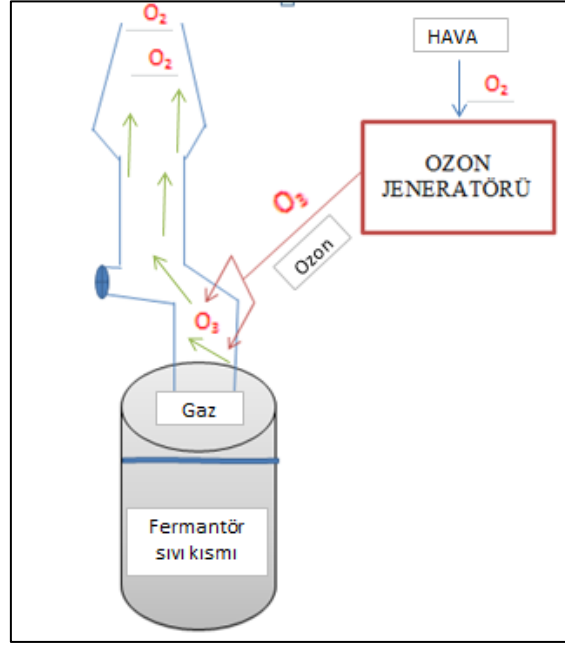
Deneme tarihi	Ozon uygulama yerleri	Koku ölçüm sonuçlarının geometrik ortalaması (KB m ⁻³)	Ölçüm yapan akredite kuruluş
31.12.2013	Ana maya fermantör bacası	640	Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü
	Ticari maya fermantör bacası	592	
06.03.2014	Ana maya fermantör bacası – Deneme 1	640	
	Ticari maya fermantör bacası – Deneme 1	460	
	Ticari maya fermantör bacası – Deneme 2	763	
12.03.2014	Ana maya fermantör bacası – Deneme 1	500	
	Ana maya fermantör bacası – Deneme 2	570	
	Ticari maya fermantör bacası – Deneme 1	480	
	Ticari maya fermantör bacası – Deneme 2	540	

Tablo 1. Farklı ozon miktarlarında bacalarda yapılan deneme sonuçları

Koku giderimi üzerine, fabrikalarımızda yaklaşık 1-2 yıllık süreçte bir çok farklı deneme yürütülmüştür. Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere; akredite kuruluşa yaptırdığımız koku ölçüm sonuçları, ozonlama ile koku giderimi konusunda olumlu sonuçlar alındığını göstermektedir. Alınan olumlu sonuçlar neticesinde, 2014 yılında fabrikalarımız fermantasyon tesisi bacalarına ozonlama sistemi kurulmuştur. Ozon jeneratörleri otomasyon

sistemine bağlanmıştır. Otomasyon sistemi ile, her bir fermantör devreye girdiği anda otomatik olarak ozon jeneratöründe devreye girmesi, fermantör devreden çıktığı anda ise otomatik olarak devreden çıkması sağlanmıştır.

1.2 Ozon jeneratörü havadaki oksijeni (O_2) kullanarak, ozona (O_3) çevirmektedir. Fermantörün gaz fazına dozlanan ozon, gaz içerisindeki kötü yapı, kokulu bileşikler (Uçucu organik bileşikler) parçalayarak, okside olup oksijen formuna dönüşüp Şekil 7’de görüldüğü gibi bacayı terk etmektedir.



Şekil 7. Fermantöre ozon verme sistemi

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada; Pakmaya'nın çevresel açıdan atıksu arıtımında, atıksuyun geri kazanılmasında ve koku gideriminde uyguladığı çalışmalar anlatılmıştır. Pakmaya'nın bugüne kadar çevresel açıdan yaptığı tüm bu çalışmalar önceki bölümlerde detaylandırılmış olup aşağıda özet olarak yer almaktadır.

- 1980'li yıllarda kurduğu anaerobik ve aerobik yatırımı ile kuruluşundan bu yana verimli bir şekilde atıksularının arıtılması sağlanmış ve anaerobik arıtma konusunda birçok firmaya öncü ve yardımcı olmuştur.
- 2005-2006 yıllarında tüm fabrikalarında yapılan evaporasyon tesisi yatırımı ile renkli, yüksek KOİ'li ve organik içerikli atıksuyu evaporasyon tesisinde yoğunlaştırıp ürün olarak geri kazanılmasını sağlamış ve aynı zamanda arıtma tesisine giden 50.000 mg/l KOİ ve çok koyu renkli atıksu, ileri arıtma sistemi ile kondens suyu olarak 3000 mg/l KOİ ve renksiz (berrak) hale getirilerek arıtma tesisinin yükü %90-95 oranında azaltılmıştır.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

- 2012-2014 yıllarında tüm fabrikalarında kurduğu TÜBİTAK destekli membran filtrasyon Tesisi ile deşarj rengini 3000-4000 pt-co'dan 100-250 pt-co'a düşürülmüş ve aynı zamanda filtrasyon tesisine alınan organik içerikli renkli atıksuyu filtre ettikten sonra evaporasyon tesisinde yoğunlaştırarak ürün olarak geri kazanılmaktadır. Membran filtrasyon yatırımı sektörümüzde öncü ve örneği olmayan bir uygulama olup, ülkemizde maya sektöründe ilk kez şirketimiz tarafından uygulanmıştır.
- Fermantasyon prosesi kaynaklı fermantör bacalarına tüm fabrikalarında koku giderimi amacıyla; 2014 yılında yatırım yapılarak her bir fermantör bacasına konulan ozon jeneratörleri ile koku yaklaşık 10.000-15.000 KB/m³ civarlarından 400-500 KB/m³'e düşürülerek %95 oranında koku giderilmiştir. Bulgularımıza göre, Ülkemizde ve Avrupa Ülkelerinde bulunan Maya fabrikalarında ve diğer fermantasyon yoluyla üretim yapan tesislerde, üretim bacalarındaki koku emisyonunun giderilmesi konusunda ilk uygulama şirketimiz tarafından yapılmış ve sektörümüzde başka örneği olmayan bu tesis 2014 yılında devreye alınmıştır.

KAYNAKLAR

Ateş, A. 1997. Mikro Kirleticilerin Ön Ozonlanması ve Biyolojik Arıtılabilirliği, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Akmirza, İ. 2012. Gıda Endüstrisi Kaynaklı Koku Emisyonlarının Kontrol Stratejilerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Baspınar, AB, Türker, M., Hocalar, A., and Oztürk, I. 2011. Biogas desulphurization at technical scale by lithotrophic denitrification: Integration of sulphide and nitrogen removal, *Process Biochemistry*, Volume 46, Issue 4, April, Pages 916-922, 2011.

Bilgili, S. 2004. Türkiye'de koku imisyon ve emisyonları yönetimi politikaları, Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Hava Yönetimi Dairesi Başkanlığı, 19-20 Temmuz 2004, İzmir.

Hocalar, A., Türker, M., Öztürk, S. 2006. State estimation and error diagnosis in industrial fed-batch yeast fermentation, *AIChE J.*, 52, 11, 3967-3980.

Hocalar, A. ve Türker, M. 2010. Model based control of minimal overflow metabolite in technical scale fed-batch yeast fermentation, *Biochemical Engineering Journal* 51 64-71.

John, A. R., William, L., Moench, Jr., Kenneth, A. D. 1982. Kinetic Modeling of The Ozonation of Phenol in Water, *Journal WPCF*, (54), 1.

KOEKHY, 2013. Koku Oluşturan Emisyonların Kontrolü Hakkında Yönetmelik, 19.07.2013 tarih ve 28712 sayılı resmi gazete.

Mahin, T. (2004). Control of Odors and Emissions from Wastewater Treatment Plants.

Musschelein, W. J. 1982. Ozonation Manual for Water and Wastewater Treatment, Compagnie Intercommunale Bruxelloise Des Eoux, Page : 9, Belgium.

- Müezzinoğlu, A. (2014). Koku ve kokunun giderimi Sunumu, Çevre Mühendisleri Odası, İzmir,
- Rip, G. R. 1978. Recent Advances In Ozone Technology, Wat. Pollut. Control, Washington, U. S. A. Page: 51-55.
- Rip, G., Rice, C., Rabson, M., Wade, M. G., Archibald, G. H. 1981. Uses of Ozone In Drinking Water Treatment, Journal AWWA Research and Technology. Page: 44-55.
- Topal, M., 2013. Koku Kontrol Yöntemleri ve Yasal Mevzuat, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi / Karaelmas Science and Engineering Journal 3 (1), 30-36.
- Türker, M. 2005; Biyoreaksiyon Mühendisliği, Su Vakfı Yayınları.
- Türker, M. 2008. Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyoenerji Üretimi, Çevkor Vakfı Yayınları, İzmir.
- Türker, M. Kanarya, A.; Yüzgeç, U.; Kapucu, H.; Şenalp, Z.; 2006. Drying of baker's yeast in batch fluidized bed. Chemical Engineering and Processing, 45 (12), 1019-1028.
- Türker, M., Baspınar, AB, Hocalar, A. 2012. Monitoring and control of biogas desulphurization using oxidation reduction potential under denitrifying conditions, *J. Chemical Tech. Biotech.*, 87, 682-688.
- Türker, M. 2014. Yeast biotechnology: diversity and applications, Advances in Science and Industrial Productions of Baker's Yeast, 27th VH Yeast Conference, April 14-15, 2014, İstanbul.
- Ünal, T., 2011. Ekmek Mayası Endüstrisi Seperasyon Prosesi Atıksularında Ozon Ve Ozon/Hidrojen Peroksit Oksidasyonu ile Renk Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Westerhoff, P., Alken, G., Amy, G., Debroux., J. 1999. Relationships Between The Structure of Natural Organic Matter and Its Reactivity Towards Molecular Ozone and Hydroxyl Radicals, Water Research, 33 (10), 2265-2276.
- Yıldız, P. O.; Yangılar, F., 2014. Fen Bilimleri Dergisi 3(1), BEÜ, 94-101, İstanbul.
- Yongwoo, H., Tomonari, M., Keisuke, H., Noriyuki, S. 1994. Removal of Odours In Wastewater By Using Activated Carbon, Ozonation and Aerated Biofilter, Water Research, 28 (11), 2309-2319.