

## EVAPORASYON PROSESİNİN MAYA ENDÜSTRİSİ ATIKSU KARAKTERİZASYONU VE ARITILABİLİRLİĞİNE ETKİSİ

Recep Kaan DERELİ<sup>1,\*</sup>, Hale ÖZGÜN<sup>1</sup>, Mustafa Evren ERŞAHİN<sup>1</sup>, İsmail KOYUNCU<sup>1</sup>,  
Mahmut ALTINBAŞ<sup>1</sup>, İzzet ÖZTÜRK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul

(Alınış / Received: 23.08.2016, Kabul / Accepted: 27.12.2016,  
Online Yayınlanma / Published Online: 02.05.2017)

**Anahtar Kelimeler**  
Ekmek Mayası  
Üretimi,  
Endüstriyel  
Atıksu Arıtımı,  
Evaporasyon  
Prosesi

**Özet:** Ekmek mayası üretimi tarıma dayalı endüstriler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Ekmek mayası endüstrisi atıksuları yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam azot (TN), sülfat ve çözülmüş katı madde konsantrasyonları, koyu kahverengi renk ve nispeten düşük kolay ayrışan organik madde içeriği ile karakterize edilir. Bu çalışmanın amacı, maya endüstrisindeki en önemli kirletici kaynaklardan biri olan maya ayırımı (separasyon) prosesi atıksularının (toplam KOİ yükünün >%80'i) evaporasyon teknolojisi ile arıtımının, endüstrinin kirlenme profili ve atıksu yönetimine etkilerini ortaya koymaktır. Evaporasyon prosesinin kurulumu öncesinde ve sonrasında mevcut arıtma tesisine gelen kirletici yükleri ve biyogaz üretimindeki değişimler incelenmiştir. Evaporasyon prosesi sonrasında, KOİ ve toplam Kjeldahl azotu (TKN) yüklerinde sırasıyla %53 ve %66 azalma olmuştur. Enerji yoğun bir proses olan evaporasyonun esas faydası koyu renkli ve yüksek TKN yüklü atıksuların buharlaştırılması sayesinde alıcı ortam deşarj standartlarının daha kolay sağlanabilmesidir. Evaporasyon kurulumu sonrası incelenen atıksu arıtma tesisinde TKN ≤ 80 mg/L ve toplam renk ≤ 400 Pt-Co düzeyinde bir çıkış suyu kalitesi elde edilebilmektedir. Evaporasyon prosesi yan ürünleri olan vinas ve potasyum sülfatın (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) hayvan yemi ve gübre olarak pazarlanmasıyla işletme maliyetleri kısmen de olsa azaltılabilmektedir.

## EFFECT OF EVAPORATION PROCESS ON THE WASTEWATER CHARACTERIZATION AND TREATABILITY OF BAKER'S YEAST INDUSTRY

**Keywords**  
Baker's Yeast  
Industry  
Evaporation  
Process,  
Industrial  
Wastewater  
Treatment

**Abstract:** Baker's yeast industry is one of the most important branches of agro-industry that produces yeast through aerobic fermentation of molasses. Wastewater generated from baker's yeast industries is characterized with high chemical oxygen demand (COD), high total nitrogen (TN), high sulfate, high dissolved solids concentrations, dark color and low readily biodegradable organic pollutants. The objective of this study is to determine and evaluate the environmental and economical effects of the installation of evaporation process to treat yeast separation

unit effluent, which is the main pollutant source (>80% of total COD load) in a baker's yeast industry. The variations in biogas flow, and pollutant loads of the investigated industrial effluent after the installation of evaporation process were presented. After the installation of the evaporation process, 53% and 66% decreases were observed in COD and total Kjeldahl nitrogen (TKN) loads, respectively. Evaporation is an energy intensive process. After the installation of evaporation process, it was possible to achieve TKN concentration and color below 80 mg/L and 400 Pt-Co in the biological treatment plant effluent, respectively. However, the feasibility of the system can be improved by the valorization of the recovered byproducts namely vinasse and potassium sulphate ( $K_2SO_4$ ).

\*derelir@itu.edu.tr

## 1. Giriş

Günümüzde en temel ve vazgeçilmez endüstrilerden biri olan ekmek mayası (*Saccharomyces cerevisiae*) üretimi endüstrisi temelde bir fermentasyon prosesidir. Maya üretimi, suyun yoğun olarak kullanıldığı bir proses olup, prosesin sonunda oldukça yüksek kirliliğe sahip atıksu oluşmaktadır. Maya üretimi atıksuları yüksek biyokimyasal oksijen ihtiyacı ( $BOI_5$ ), kimyasal oksijen ihtiyacı ( $KOI$ ), toplam Kjeldahl azotu (TKN), toplam çözünmüş madde, sülfat konsantrasyonları ve koyu kahverengi renk ile karakterize edilir [1-3]. Maya üretiminde en önemli atıksu kaynakları santrifüj ve döner vakum filtreler gibi ayırma proseslerinden çıkan atıksulardır. Kalyuzhni ve diğ. [4] maya üretiminde ayırma prosesi atıksularının  $KOI$ , toplam azot (TN) ve sülfat konsantrasyonlarını sırasıyla 22500, 1179, 1828 mg/L olarak bildirmiştir. Ayrıca, ayırma prosesinde oluşan atıksuların, tüm üretim prosesinden kaynaklanan toplam atıksuların %30'unu oluşturduğu belirtilmiştir.

Maya üretimi atıksularının yüzeysel sulara deşarjında dünya çapında birçok farklı standart uygulanmaktadır. Türkiye'de  $KOI$ , askıda katı madde (AKM) ve yağ-gres konsantrasyonları, pH ve renk limitleri sırasıyla 1000 mg/L, 100 mg/L, 30 mg/L, 6-9 ve 260 Pt-Co olarak

belirlenmiştir [5]. Rusya'da  $KOI$ , sülfat, TN, amonyum azotu, fosfor konsantrasyonları sırasıyla 800 mg/L, 500 mg/L, 100 mg/L, 50 mg/L, 3,5 mg/L olarak uygulanmaktadır. Renk parametresi için ise absorbansın 0,1'den küçük olması istenmektedir [4]. İçecek endüstrisi için maya üretimi atıksularına Japonya'da uygulan deşarj standartlarında ise  $KOI$ , toplam fosfor (TP) ve TN parametrelerinin konsantrasyonları için 90-130 mg/L, 10-30 mg/L ve 1,5-7,5 mg/L limitleri belirlenmiştir [6].

Yüksek çözünmüş organik madde içeriği nedeniyle maya endüstrisi atıksularının arıtımı için aerobik ve anaerobik konvansiyonel biyolojik arıtma prosesleri en uygun sistemlerdir. Ancak, özellikle ham madde olarak kullanılan melas kaynaklı yüksek sülfat içeriği, anaerobik arıtmada hidrojen sülfür inhibisyonuna neden olabilmektedir. Bununla birlikte atıksuyun yüksek azot içeriği, deşarj edilmeden önce mutlaka nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesleriyle azotun giderimini gerekli kılmaktadır. Melas kaynaklı ve biyolojik olarak ayrışmaya dirençli organik maddeler (melanoidler) maya endüstrisi atıksularına koyu kahverengi rengini vermekte ve özellikle deşarj standartlarındaki renk parametresinin sağlanmasında büyük zorluğa neden

olmaktadır. Atıksudaki rengin giderimi için ileri oksidasyon veya membran prosesler gibi ilave arıtma kademelerinin uygulanması gerekmektedir [2].

Maya üretimi vb. fermentasyon endüstrilerinin sürdürülebilirliği açısından suyun geri kazanımı ve yeniden kullanımının yanı sıra özellikle organik ve inorganik maddelerin konsantrasyon edilerek yeniden kullanılabilirliğinin araştırılması oldukça önemlidir. Bu amaçla tarım ve hayvansal ürünlere dayalı endüstrilerde özellikle evaporasyon prosesinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Evaporasyon prosesi, termal bir ayırma işlemi olup, temelde ısı enerjisi kullanılarak bir akımdaki su gibi uçucu maddelerin buharlaştırılması yoluyla ana akımın konsantrasyon edilmesidir. Bu proses şeker, süt ve süt ürünleri, zeytinyağı, meşrubat, alkollü içki ve ekmekek mayası üretimi gibi birçok endüstride kullanılmaktadır [7, 8, 9, 10, 11, 12].

Bu çalışmada, maya üretim endüstrisi atıksularının arıtımında evaporasyon prosesinin kullanımının çevresel ve ekonomik etkilerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu bağlamda, bir maya endüstrisinde evaporasyon prosesinin kurulumundan önce ve sonra atıksu miktar ve karakterindeki değişimler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, tarıma dayalı endüstrilerde bulunan arıtma proseslerinde yapılan değişikliklerin kirlilik ve işletme maliyetleri üzerindeki etkisine örnek teşkil edecektir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Tesisin özellikleri

İncelenen tesisin üretim kapasitesi yaklaşık 170 ton yaş maya/gün'dür. Maya üretimi sırasında oluşan proses atıksuyunun en önemli kaynağı, mayanın substrattan ekstraksiyonunun gerçekleştiği maya seperatörleridir. İncelenen endüstride, seperasyon

atıksuyunun  $KO_2$  ve azot yükünü azaltmak ve renk sorununa çözüm sağlamak amacıyla ön arıtma olarak evaporasyon prosesi uygulamasına geçilmiştir. Bu süreçte yıllık 320000 ton seperasyon atığı işlenmektedir. Evaporasyona, %5 kuru madde ile giren maya seperasyon atığı, bu üniteye %65-70 kuru madde muhtevalı vinas dönüşmektedir. Vinas yoğunluğu ölçülerek %70 kuru madde oranından yüksek ise ayrı tanka alınmakta, düşük ise proses kondensatları ile birlikte sisteme geri devrettirilmektedir. Düşük potasyum içerikli yem ham maddesi olan vinas ve potasyum sülfat ( $K_2SO_4.CaSO_4.H_2O$ ) evaporasyon prosesinin yan ürünleridir. Evaporasyon prosesinden çıkan yüksek çözünmüş organik madde içeren kondensat, deşarj öncesi mevcut atıksu arıtma tesisinde biyolojik olarak arıtılmaktadır [13].

Endüstride mevcut olan iki kademeli biyolojik atıksu arıtma tesisinin evaporasyon öncesi ve sonrası akım şeması sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmektedir.

Evaporasyon ünitesi kurulmadan önce tesiste oluşan atıksular; maya seperatörleri, melas temizleme, döner vakum filtre suları, yer ve ekipman yıkama suları ve evsel nitelikli az kirli atıksulardan kaynaklanmaktadır. Oluşan atıksular iki kademeli biyolojik arıtma sisteminde; anaerobik arıtmayı müteakip aerobik arıtma ile arıtılmaktadır. Birinci kademeyi oluşturan anaerobik arıtma sistemi, faz ayırımı (asit reaktörü ve metan reaktörü) ve kendi içinde iki kademeli bir tesistir. Anaerobik arıtma sisteminde dengeleme tankı, terfi merkezi, asit reaktörü, metan reaktörü, gaz ayırıcı ve lamelli çamur çöktürücüler ile gaz toplama tankı, buhar kazanları ve gaz yakma bacası (flare) ünitesi bulunmaktadır. Anaerobik arıtma sistemi, her biri 3700 m<sup>3</sup> hacminde olan iki adet asit reaktörü ve her biri 3700 m<sup>3</sup>

hacminde olan üç adet metan reaktöründen oluşmaktadır. İkinci kademeyi teşkil eden aerobik sistem, selektörlü uzun havalandırmalı aktif çamur sistemidir. Anaerobik arıtmadan sonra 400 m<sup>3</sup>'lük selektör havuzundan geçen atıksular, reaktör hacimleri sırasıyla 1764, 1780, 1675 ve 1675 m<sup>3</sup> olan seri bağlı dört adet aerobik reaktörde havalandırılmakta ve iki adet son çökeltim havuzundan geçtikten sonra deşarj edilmektedir (Şekil 1).

Evaporasyon prosesi kurulumu sonrası, evaporasyon öncesi durumda endüstride açığa çıkan atıksulara ilave olarak evaporasyon kondensatı, evaporasyon proses ve yıkama suları da toplam atıksu oluşumuna eklenmiştir (Şekil 2). Evaporasyon tesisi, maya prosesinin çok yüksek KOİ konsantrasyonuna ve koyu kahverengi renge sahip seperasyon atıklarını buharlaştırmakta ve tekrar yoğunlaştırmaktadır. Oluşan evaporasyon kondensatı biyolojik olarak kolay ayrılan uçucu organik bileşikleri içerir ve renksizdir. Evaporatör yıkama suları, evaporatörlerin belirli periyotlarla temizlenmesi sonucu oluşmaktadır. Bu atıksu akımı, kirlilik bakımından yüksek kuvvette olduğu için anaerobik arıtma sistemine kesikli olarak gönderilmektedir. Evaporasyon prosesinde oluşan tüm atıksular anaerobik arıtma öncesindeki dengeleme tankına beslenmektedir [13].

Mevcut biyolojik arıtma tesisinde evaporasyon sonrası bazı proses ve işletme modifikasyonları yapılmıştır. Evaporasyonun devreye alınması ile birlikte, organik yükün çok büyük oranda azalması nedeniyle, üç adet anaerobik reaktör devre dışı kalmış ve sistemde bir adet asit (3700 m<sup>3</sup>) ve bir adet metan (3700 m<sup>3</sup>) reaktörü kalmıştır. Ayrıca, tesisin azot giderim verimini arttırmak maksadı ile dört adet havalandırma havuzundan bir tanesi anoksik havuza dönüştürülmüş ve yaklaşık 270 m<sup>3</sup>/saat

kapasitesinde bir nitrifiye edilmiş atıksu geri devir hattı (içsel geri devir hattı) ana sisteme eklenerek aerobik arıtma kademesi nitrifikasyon-denitrifikasyonlu aktif çamur sistemine dönüştürülmüştür (Şekil 2). Söz konusu değişim sırasında, anoksik bölmeye mekanik karıştırıcılar yerleştirilmiş, aerobik bölmelerde de çözülmüş oksijen seviyesini 1,5-2 mg/L düzeyinde tutmak üzere havalandırıcılarla bağlantılı çözülmüş oksijen izleme/kontrol ve otomasyon sistemi kurulmuştur.

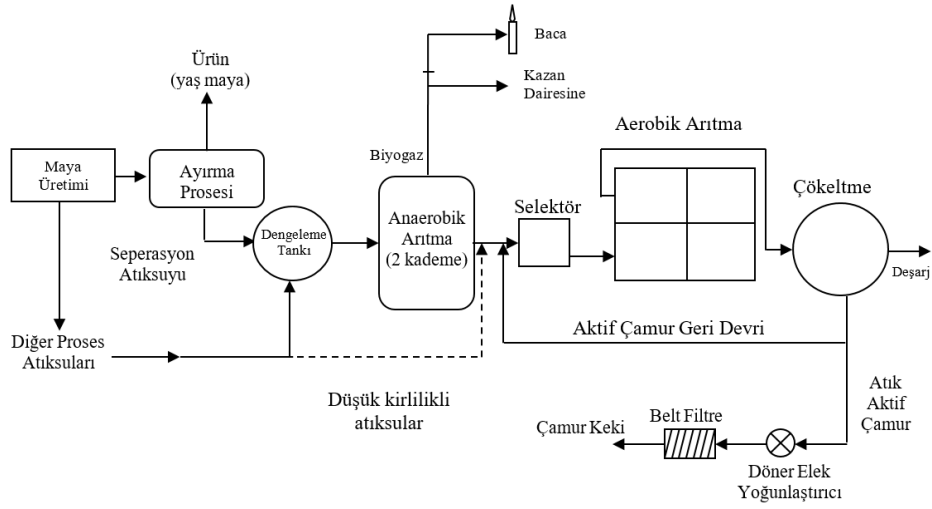
## 2.2. Kimyasal analizler

KOİ, BOİ<sub>5</sub>, AKM, TKN, amonyum azotu ve TP ölçümleri Standart Metotlar'a göre gerçekleştirilmiştir [14]. Sülfat, nitrit ve nitrat ölçümlerinde iyon kromatograf kullanılmıştır (Dionex ICS-3000). pH ölçümleri Thermo Orion 720 A pH ölçer ile gerçekleştirilmiştir. Her parametre için ölçümler üç tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır.

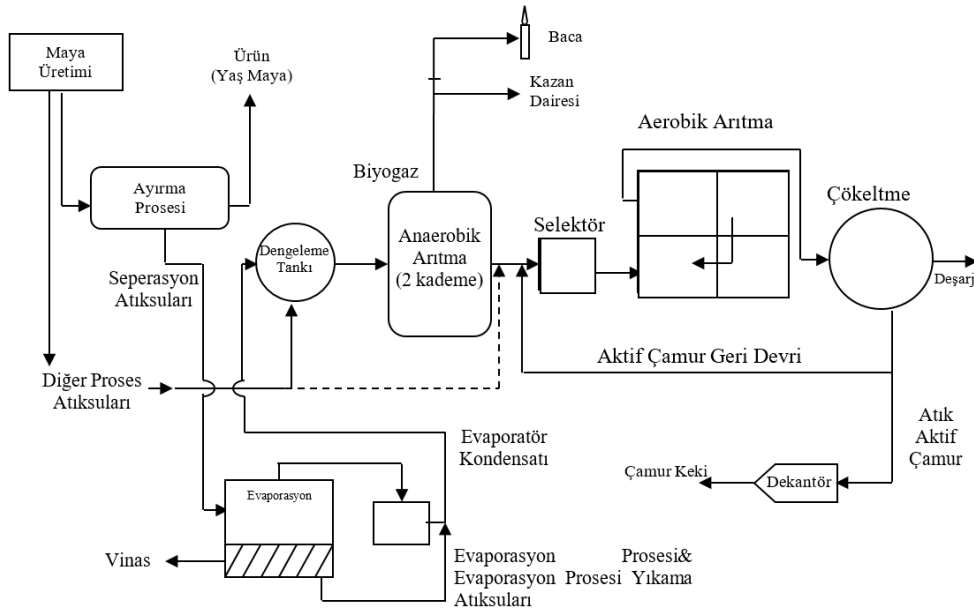
## 3. Bulgular

### 3.1. Evaporasyon prosesinin atıksu karakterizasyonu ve kirletici yükleri üzerindeki etkileri

Evaporasyon prosesinin kurulması sonrasında endüstrinin atıksu debisi 2090 m<sup>3</sup>/gün'den 2590 m<sup>3</sup>/gün'e yükselmiştir. Evaporasyon sisteminin kurulumu öncesi ve sonrasında dengeleme tankındaki atıksu karakterizasyonunun karşılaştırması Tablo 1'de verilmektedir. Buna göre, evaporasyon sonrası KOİ, BOİ<sub>5</sub>, TKN, TP ve sülfat konsantrasyonlarında sırasıyla %62, %66, %73, %89, %87 azalma gözlenmiştir. Evaporasyon prosesiyle sülfatın potasyum sülfat kristalleri olarak geri kazanılması sonucu, anaerobik arıtmada önemli bir kriter olan KOİ/Sülfat oranı 4,4'ten 12,6'ya yükselmiş ve sülfat yükünde önemli derecede azalma sağlanmıştır [15].



Şekil 1. Evaporasyon prosesi kurulumu öncesi atıksu arıtma tesisi akım şeması



Şekil 2. Evaporasyon prosesinin kurulumu sonrası atıksu arıtma tesisi akım şeması

Evaporasyon prosesi kurulması sonrasında atıksu arıtma tesisine giren ve tesisten çıkan kirlilik yüklerinde meydana gelen değişim Tablo 2'de verilmektedir. Evaporasyon sistemi, atıksu arıtma tesisinin ortalama KOİ ve azot yüklerinin sırasıyla 33702 kg KOİ/gün ve 2100 kg N/gün değerlerinden 15773 kg KOİ/gün ve 710 kg N/gün değerlerine düşmesini

sağlamıştır. Bu da, KOİ ve TKN yüklerinde sırasıyla %53 ve %66 oranında azalmaya tekabül etmektedir. KOİ yükündeki azalma dolayısıyla anaerobik kademedeki oluşan biyogaz miktarında da azalma meydana gelmiştir. Evaporasyon sistemi kurulumu öncesi ve sonrası biyolojik atıksu arıtma tesisinin KOİ giderim verimleri birbirine çok yakındır

(sırasıyla %94 ve %92). Evaporasyon sisteminin kurulumu öncesinde TKN konsantrasyonu 800-1250 mg/L aralığındadır (Tablo 1) ve arıtma tesisinin aerobik kademesi konvansiyonel aktif çamur sistemi olarak (sadece karbon giderimli) çalışmıştır. Tablo 2'de belirtildiği üzere, evaporasyon uygulaması biyolojik arıtma tesisinin TKN yükünü önemli oranda (%66) azaltmıştır. Azot yükünün azalması ve aerobik kademenin

işletiminde yapılan yeni düzenlemeler sayesinde arıtma tesisinde azot giderme verimi artmıştır.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne (SKKY) [5] göre, evaporasyon sisteminin kurulumu öncesi ve sonrasında KOİ ve pH parametreleri standartları sağlamaktadır (Tablo 3). AKM parametresinde standardın sağlanması da evaporasyon sisteminin kurulması sonrasında gerçekleşmiştir.

**Tablo 1.** Evaporasyon öncesi ve sonrası dengeleme tankındaki atıksu karakterizasyonları (ortalama±standart sapma)

| Parametre             | Birim | Evaporasyon Öncesi | Evaporasyon Sonrası |
|-----------------------|-------|--------------------|---------------------|
| KOİ                   | mg/L  | 16130±5500         | 6090±1125           |
| BOİ <sub>5</sub>      | mg/L  | 11200±5870         | 3780±740            |
| pH                    | -     | 6,0±0,5            | 6,5±0,2             |
| AKM                   | mg/L  | 500±112            | 585±100             |
| TKN                   | mg/L  | 1000±225           | 274±113             |
| TP                    | mg/L  | 27±8               | 3±4                 |
| Sülfat                | mg/L  | 3700±1365          | 484±71              |
| BOİ <sub>5</sub> /KOİ | -     | 0,69               | 0,62                |
| KOİ/Sülfat            | -     | 4,4                | 12,6                |

**Tablo 2.** Evaporasyon sonrası kirletici yüklerindeki değişim

| Parametre  | Değişim<br>Evaporasyon Sonrası (%)* |
|--|-------------------------------------|
| <b>Kirletici Yükleri (Ham Atıksu)</b>                  |                                     |
| KOİ  | -53                                 |
| TKN  | -66                                 |
| <b>Kirletici Yükleri (Atıksu arıtma tesisi çıkışı)</b> |                                     |
| KOİ  | -30                                 |
| TKN  | -70                                 |
| AKM  | -40                                 |
| <b>Biyogaz oluşumu</b>                                 | -65                                 |

\* -: azalma; +: artma

**Tablo 3.** Evaporasyon öncesi ve sonrası atıksu arıtma tesisi çıkış kalitesinin yerel deşarj standartları ile karşılaştırılması

| Parametre       | Birim        | Kompozit<br>Numune<br>(24 saat) | Evaporasyon<br>Öncesi | Evaporasyon<br>Sonrası |
|-----------------|--------------|---------------------------------|-----------------------|------------------------|
| <b>KOİ</b>      | <b>mg/L</b>  | 1000                            | 919                   | 522                    |
| <b>AKM</b>      | <b>mg/L</b>  | 100                             | 145                   | 38                     |
| <b>Yağ-gres</b> | <b>mg/L</b>  | 30                              | M.D.                  | 20                     |
| <b>pH</b>       | -            | 6-9                             | 7.5                   | 8.6                    |
| <b>Renk</b>     | <b>Pt-Co</b> | 260                             | M.D.                  | 1350                   |

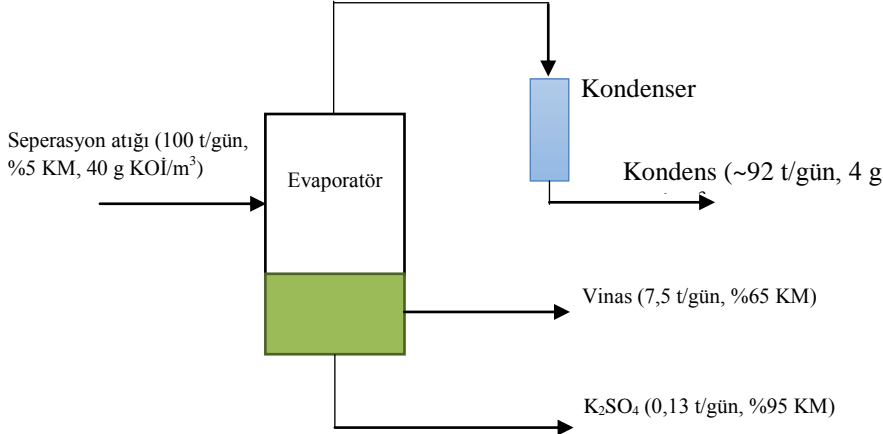
M.D.: Değer mevcut değil.

Yağ-gres maya atıksuları için kritik bir parametre olmayıp, genelde biyolojik arıtma sırasında giderildiği kabul edilebilir. Ancak, renk parametresinde deşarj standardı sağlanamamaktadır. Maya üretim prosesi atıksularında gözlenen koyu kahve tonlu rengin kaynağı melanoidindir. Melanoidinler esasen maya üretiminde temel ham madde olarak kullanılan şeker melasının içerisinde bulunmaktadır. Melanoidinler doğal koyu kahve renkli kompleks biyopolimerler olup organik maddelerdeki amino ve karboksil grupları arasında gerçekleşen enzimatik yapıda olmayan ve Maillard reaksiyonu olarak bilinen renklenme reaksiyonu sonucu oluşurlar. Koyu kahve renkli melanoidinler içeren atıksuların deşarj edildiği su ortamlarında estetik görünüm ve ışık geçirgenliğinin azalması gibi bazı istenmeyen sonuçlar gözlenebilir. Ancak, melanoidinler biyolojik olarak inert bileşikler olup deşarj edildikleri su ortamlarında ani oksijen tüketimine neden olmazlar. İntert oldukları için biyolojik arıtma sistemlerinde giderilememektedirler. Seperasyon atıklarının ayrılarak evaporasyon sistemi ile arıtımı renk parametresinde bir iyileşme sağlasa da, maya endüstrisindeki diğer atıksu akımları da melanoidinleri içermekte ve deşarj standardının sağlanamamasına neden olmaktadır. Bu bakımdan, renk

parametresini giderebilecek membran prosesler veya ileri oksidasyon prosesleri gibi ilave arıtma proseslerine ihtiyaç duyulmaktadır.

### 3.2. Evaporasyonun kirlilik yükü yüksek (kuvvetli) seperasyon atıksularından enerji geri kazanımı ve arıtma maliyetleri üzerinde etkileri

Endüstrilerde proses değişim ve iyileştirmelerinde dikkate alınan en önemli faktör genellikle ekonomik fizibilitedir. Evaporasyon enerji tüketen bir proses olduğu için sistemin fizibilitesi de önemli derecede etkilenmiştir. Bu bakımdan kütle dengelerinin oluşturulması çok önemlidir. Evaporasyon prosesinin 100 ton seperasyon atığı için tipik kütle dengesi Şekil 3'te verilmektedir. Evaporasyon tesisi ile yılda %5 katı maddeli 32000 ton seperasyon atıksuyu işlenmektedir. Buna karşın, tesiste yılda yaklaşık 24000 ton vinas ve 4000 ton potasyum sülfat üretilmektedir. Üretilen vinas hayvan yemi olarak satılabilmektedir [16]. Vinasın diğer olası kullanım alternatifi de, içerdiği yüksek tuzluluğu dikkate almak kaydıyla, arazide gübre olarak kullanımdır [17, 18]. Evaporasyon prosesinin diğer bir yan ürünü olan potasyum sülfat da gübre olarak kullanılabilir.



Şekil 3. 100 t/gün seperasyon atığı için evaporasyon prosesi tipik kütle dengesi

Maliyet ve faydaları içeren bir finansal analiz yapılırken, vinas ve potasyum sülfat satışlarından elde edilecek gelirler ve biyogaz geri kazanımı mutlaka dikkate alınmalıdır. Evaporasyon prosesi enerji yoğun bir proses olup işlenen 1 ton seperasyon atığı başına elektrik enerjisi ve buhar tüketimi sırasıyla 20 kW-sa ve 0,23 t (5-6 atü'de)'dur. İncelenen endüstride, anaerobik çürütme kademesinde elde edilen biyogaz maya kurutucuları için buhar üretiminde kullanılmaktadır. Evaporasyon sistemi kurulması neticesinde azalan organik yük nedeniyle biyogaz miktarındaki azalma doğal gaz ile dengelenmiştir. Yapı ömrü 20 yıl ve ekipman ömrü 10 yıl kabul edilerek %8 faiz oranı ile evaporasyon prosesinin yıllık yatırım bedeli 1,9 milyon dolardır. Prosesin yıllık enerji, bakım, onarım ve diğer işletme giderleri 0,8 milyon dolar olarak hesaplanmıştır. Buna göre, 1 ton seperasyon atığını evaporasyon prosesi ile arıtmanın maliyeti ~9 \$ (yatırım+işletme) olarak hesaplanmıştır.

Gidner ve diğ. [19] kağıt üretimi endüstrisinde ağartma sularının evaporasyon prosesi ile arıtımının fizibilitesini incelemiş ve ilk yatırım maliyeti ile enerji maliyetini sırasıyla 7,6 \$/ton kağıt hamuru ve 1,3-2,4 \$/ton kağıt hamuru olarak hesaplamışlardır. Evaporasyon sonrası oluşan ürünün yakılarak enerji geri kazanılması durumunda toplam maliyetin 3,1-6,5 \$/ton kağıt hamuruna düşürülebileceğini belirtmişlerdir. Madaeni ve Zereshki [20] şeker üretimi endüstrisinde şekeri konsantre etmek için kullanılan evaporatörlerin öncesinde ters ozmos sisteminin kullanılması halinde evaporatörlerde buharlaştırılması gereken suyun azalmasına bağlı olarak %33 daha az enerji harcanacağını hesaplamışlardır.

#### 4. Genel Değerlendirme

Evaporasyon prosesi maya endüstrisinde çok önemli çevresel ve ekonomik etkilere sahiptir. Çevresel açıdan bakıldığında, KOİ, BOİ<sub>5</sub>, TN, TP ve sülfat parametrelerinin konsantrasyon ve yüklerinde önemli bir azalma meydana gelmiştir. Kirlilik yüklerindeki azalma ve arıtma tesisinde yapılan proses iyileştirmeleri sonucunda endüstride özellikle KOİ ve TN parametreleri açısından daha iyi bir arıtılmış su kalitesi elde edilmiştir. AKM parametresi evaporasyon sisteminin kurulması sonrasında standardı sağlamıştır. Endüstriler çoğunlukla arıtılmış atıksu deşarj standartlarını, en az ilave maliyet getirecek bir metot kullanımı yoluyla sağlamak isterler. Ekonomik açıdan bakıldığında, biyogaz miktarındaki azalma ve evaporasyon prosesinin ilave işletme-bakım maliyetleri vinas ve potasyum sülfat gibi yan ürünlerin satışı ile kısmen de olsa dengelenebilmektedir. Arıtma tesisi içerisinde üretilen biyogazdan sağlanan enerji, tesisin toplam enerji ihtiyacını karşılayabilecek seviyede ise deşarj standartlarını sağlamak açısından evaporasyon teknolojisinin kullanımı tercih edilebilir. Bu çalışma ile evaporasyon sisteminin çevresel ve ekonomik açıdan atıksu yönetimi üzerindeki etkilerinin ortaya konması yanında, endüstrilerde arıtma proses iyileştirmelerinin önemi de vurgulanmaktadır.

#### Kaynakça

- [1] Koplmaa, M., Menert, A., Blonskaja, V., Kurisoo, T., Zub, S., Saareleht, M., Vaarmets, E., Menert, T. 2010. Liquid and Gas Chromatographic Studies of the Anaerobic Degradation of Baker's Yeast Wastewater, *Procedia Chemistry*, Cilt. 2, s. 120-129.
- [2] Liang, Z., Wang, Y., Zhou, Y., Liu, H. 2009. Coagulation Removal of Melanoidins From Biologically



- Treated Molasses Wastewater Using Ferric Chloride, *Chemical Engineering Journal*, Cilt. 152, s. 88-94.
- [3] Catalkaya, E.C., Sengul, F. 2006. Application of Box-Wilson Experimental Design Method for the Photodegradation of Baker's Yeast Industry With UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe(II) Process, *Journal of Hazardous Materials B*, Cilt. 128, s. 201-207.
- [4] Kalyuzhnyi, S., Gladchenko, M., Starostina, E., Shcherbakov, S., Versprille, A. 2005. Combined Biological and Physico-Chemical Treatment of Baker's Yeast Wastewater, *Water Science and Technology*, Cilt. 52(1-2), s. 175-181.
- [5] SKKY, Turkish Water Pollution Control Regulation. 2004. Official Gazette No: 25687, 31.12.2004.
- [6] Ukita, M., Imai, T., Hung, Y.T. 2006. Food Waste Treatment. ss 291-319, Wang, L.K., Hung, Y.T., Lo, H.H., Yapijakis, C., ed. 2006. *Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment*, CRC Press, USA.
- [7] Cheremisinoff, N.P. 2000. *Handbook of Chemical Processing Equipment*. Butterworth-Heinemann, Woburn.
- [8] Hoffman, P. 2004. Plate Evaporators in Food Industry-Theory and Practice, *Journal of Food Engineering*, Cilt. 61, s. 515-520.
- [9] Krajnc, D., Mele, M., Glavic, P. 2007. Improving the Economic and Environmental Performances of the Beet Sugar Industry in Slovenia: Increasing Fuel Efficiency and Using By-products for Ethanol, *Journal of Cleaner Production*, Cilt. 15, s. 1240-1252.
- [10] Gourdon, M., Innings, F., Jongasma, A., Vamling, L. 2015. Qualitative Investigation of the Flow Behaviour during Falling Film Evaporation of a Dairy Product, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Cilt. 60, s. 9-19.
- [11] Dammak, I., Neves, M., Isoda, H., Sayadi, S., Nakajima, M. 2016. Recovery of Polyphenols from Olive Mill Wastewater Using Drowning-out Crystallization based Separation Process, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, Cilt. 34, s. 326-335.
- [12] Gourdon, M., Mura, E. 2017. Performance Evaluation of Falling Film Evaporators in the Dairy Industry, *Food and Bioprocess Processing*, Cilt. 101, s. 22-31.
- [13] Ozturk, I., Koyuncu, I., Altinbas, M., Ozgun, H., Ersahin, M.E., Dereli, R.K. 2010. Process and Pollution Profile of Pak Gida A.S. Facility and Evaluation of the Treatment Plant Performance Report, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
- [14] APHA. 2005. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 21. ed. American Public Health Association, USA.
- [15] Ersahin, M.E., Dereli, R.K., Ozgun, H., Donmez, B.G., Koyuncu, I., Altinbas, M., Ozturk, I. 2011. Source Based Characterization and Pollution Profile of A Baker's Yeast Industry, *Clean-Soil Air Water*, Cilt. 39(6), s. 543-548.
- [16] Waliszewski, K.N., Romero, A., Pardo, V.T. 1997. Use of Cane Condensed Molasses Solubles in Feeding Broilers, *Animal Feed Science and Technology*, Cilt. 67, s. 253-258.
- [17] van Haandel, A.C. 2005. Integrated Energy Production and Reduction of the Environmental Impact at Alcohol Distillery Plants, *Water Science and Technology*, Cilt. 52(1-2), s. 49-57.

- [18] Tauk, S.M. 1982. Alternative Uses for Vinasse, An Alcohol Industry Residue: A Review, Environmental Technology Letters, Cilt. 3, s. 411-414.
- [19] Gidner, A., Jernqvist, A., Aly, G. 1996. An Energy Efficient Evaporation Plant for Treating Bleach Plant Effluents, Applied Thermal Engineering, Cilt. 16, s. 33-42.
- [20] Madaeni, S.S., Zereshki, S. 2010. Energy Consumption for Sugar Manufacturing. Part I: Evaporation Versus Reverse Osmosis, Energy Conversion and Management, Cilt. 51, s. 1270-1276.