

## Bira atıkları ve değerlendirme yöntemleri

### Valorization of brewery waste

Pınar ATALAY<sup>1</sup> , Nuriye ALTINAY PERENDECI<sup>2</sup> , Mehmet Yekta GÖKSUNGUR<sup>3\*</sup> 

<sup>1,3</sup> Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.  
pinaratalay93@gmail.com, yekta.goksungur@ege.edu.tr

<sup>2</sup>Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye.  
aperendeci@akdeniz.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 29.04.2019  
Kabul Tarihi/Accepted: 30.10.2019

Düzeltilme Tarihi/Revision: 28.10.2019

doi: 10.5505/pajes.2019.80850  
Derleme Makalesi/Review Article

#### Öz

Atık yönetimi, biracılık sektörü de dahil olmak üzere tüm gıda endüstrisi için çevre bileşenlerinin korunması, kirliliğin önlenmesi ve ekonomik üretim için kritik bir öneme sahiptir. Çevre kirliliği, dünya nüfusundaki artış ve buna bağlı olarak daha verimli üretim yöntemlerinin geliştirilmek zorunda olması gibi nedenlerle atık ve yan ürünlerin geri kazanılması ve bu atıklardan katma değeri yüksek ürünlerin üretilmesi zorunlu hale gelmektedir. Bira üreticileri, atıkların yönetimi için ülkeler tarafından yürürlüğe sokulan çevre ile ilgili yasal düzenlemelere uymak zorunda olup, bu konuda ciddi yatırımlar yapmaktadırlar. Bira sanayi için olumsuz bir maliyet unsuru olan organik yapıdaki bira sanayi atıkları, biyoteknolojik süreçler için ucuz maliyeti ve zengin kimyasal kompozisyonu ile gelecek vaat eden bir ham madde kaynağını oluşturmaktadır. Bu çalışmada, bira üretimi sonucunda ortaya çıkan çeşitli atık ve yan ürünler tanımlanmış ve bu atıklar ile yan ürünlerin biyoteknolojik yöntemlerle değerlendirilme olanakları incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Atık, Bira sanayi, Biyodönüşüm, Değerlendirme, Yan ürün.

#### Abstract

Waste management is a critical and important issue for the food industry related to the issues of environmental protection, pollution prevention and process economy. Utilization of waste and by-products for the production of high value-added products becomes compulsory due to economic and environmental issues. Since brewery industry generates large amounts of organic wastes, breweries make investments for the management of wastes according to the environmental regulations forced by the rules of the countries. Although brewery waste is a negative cost factor for brewery industry, its rich content of complex carbohydrates, nitrogen and minerals opens avenues to the production of biotechnological products such as biofuel, enzymes, organic acids and bioactive compounds. In this review, different types of brewery waste and by products are defined and alternative valorization methods and utilization strategies in biotechnological processes are explained.

**Keywords:** Brewery industry, Bioconversion, By-product, Waste, Valorization.

## 1 Giriş

Gıda endüstrisi içerisinde bira üretimi, stratejik ve ekonomik konuma sahip olan dinamik bir sektördür. Bira, en çok tüketilen alkollü içeceklerden biri olmakla birlikte, biyolojik olarak parçalanabilir nitelikte çok sayıda atık, yan ürün ve atık su gibi organik kirleticiler üretmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre, 2017 ve 2018 yılında biralık arpa üretimi üretimi 400000 ton olarak gerçekleşmiştir [1]. Türkiye’de 2017 yılında üretilen toplam bira 9.597 milyon hektolitire, 2018’de ise 10.149 milyon hektolitredir [2]. Bira üretiminde lider konumdaki Almanya’da, 2017 yılında 93.013 milyon hektolitire (hl) bira üretimi gerçekleşirken, 85.582 milyon hl bira tüketilmiştir. Bira üretim ve tüketim değerleri sırasıyla, Birleşik Krallık’ta 40.480 milyon hl ve 44.051 milyon hl, Polonya’da 40.382 milyon hl ve 37.223 milyon hl, İspanya’da 37.621 milyon hl ve 39.572 milyon hl olarak kaydedilmiştir [3].

Farklı faaliyet alanlarında ortaya çıkan atıkların değerlendirilmesi hem ekonomik hem de çevreye verdikleri zararın önlenmesi açısından önemlidir. Özellikle atıkların biyoteknolojik süreçlerde substrat olarak değerlendirilmesi önemli bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır. Biranın endüstriyel üretiminde de önemli miktarlarda yan ürün ve atıklar ortaya çıkmaktadır. Bunların çoğu tarım kökenli ve organik karakterde olduğundan kolayca geri dönüştürülebilir ve tekrar kullanılabilir niteliktedir. Bu özelliklerinden dolayı,

diğer alanlarla karşılaştırıldığında bira endüstrisi, yarattığı çevre kirliliği problemleri açısından daha masum olarak gösterilmektedir [4],[5].

Son yıllarda proses teknolojilerindeki önemli gelişmeler ve iyileştirmelere rağmen, fazla su tüketimi, yüksek miktarda oluşan atık su, katı atık ve yan ürünler bira endüstrisinde önemli problemler olmaya devam etmektedir. Atık, yan ürün ve atık suların çevreye olan olumsuz etkilerinin önlenmesi veya azaltılması kapsamında yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada; bira üretimi, bira üretimi sonucunda ortaya çıkan atık, yan ürün ve atık sular, alternatif ürün üretimi için bunların değerlendirilme yöntemleri ve atık bertarafı için olası yönetim alternatifleri değerlendirilmiştir.

## 2 Bira

Bira, insan beslenmesinde en az MÖ 5000 yılından beri var olan, arpanın çimlendirilip kurutulmasıyla elde edilen malt, su, şerbetçiotu ve bira mayası kullanılarak fermantasyon sonucu üretilen; alkol ve karbondioksit içeren bir içkidir [6]. Bira çeşitli amino asitleri, vitaminleri içermenin yanı sıra kalsiyum, demir, magnezyum, fosfor, potasyum, sodyum, çinko, bakır, manganez ve florür gibi mineralleri ve eser elementleri de içermektedir [7],[8]. Biranın ortalama besin bileşimi Tablo 1’de verilmiştir.

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

Tablo 1. Biranın ortalama besin bileşimi\* [8].

Table 1. Average nutritional composition of beer\* [8].

Besin ögesi	Miktar
Su (g)	459.8
Enerji (kcal)	215
Protein (g)	2.3
Yağ (g)	0
Karbonhidrat (g)	17.75
Kül (mg)	0
Şeker (g)	0
Mineral (mg)	
Potasyum	135
Fosfor	70
Magnezyum	30
Kalsiyum	20
Sodyum	20
Demir	0.100
Çinko	0.050
Vitamin (mg)	
Niasin	2.565
Riboflavin	0.125
Tiamin	0.025
B6	0.230

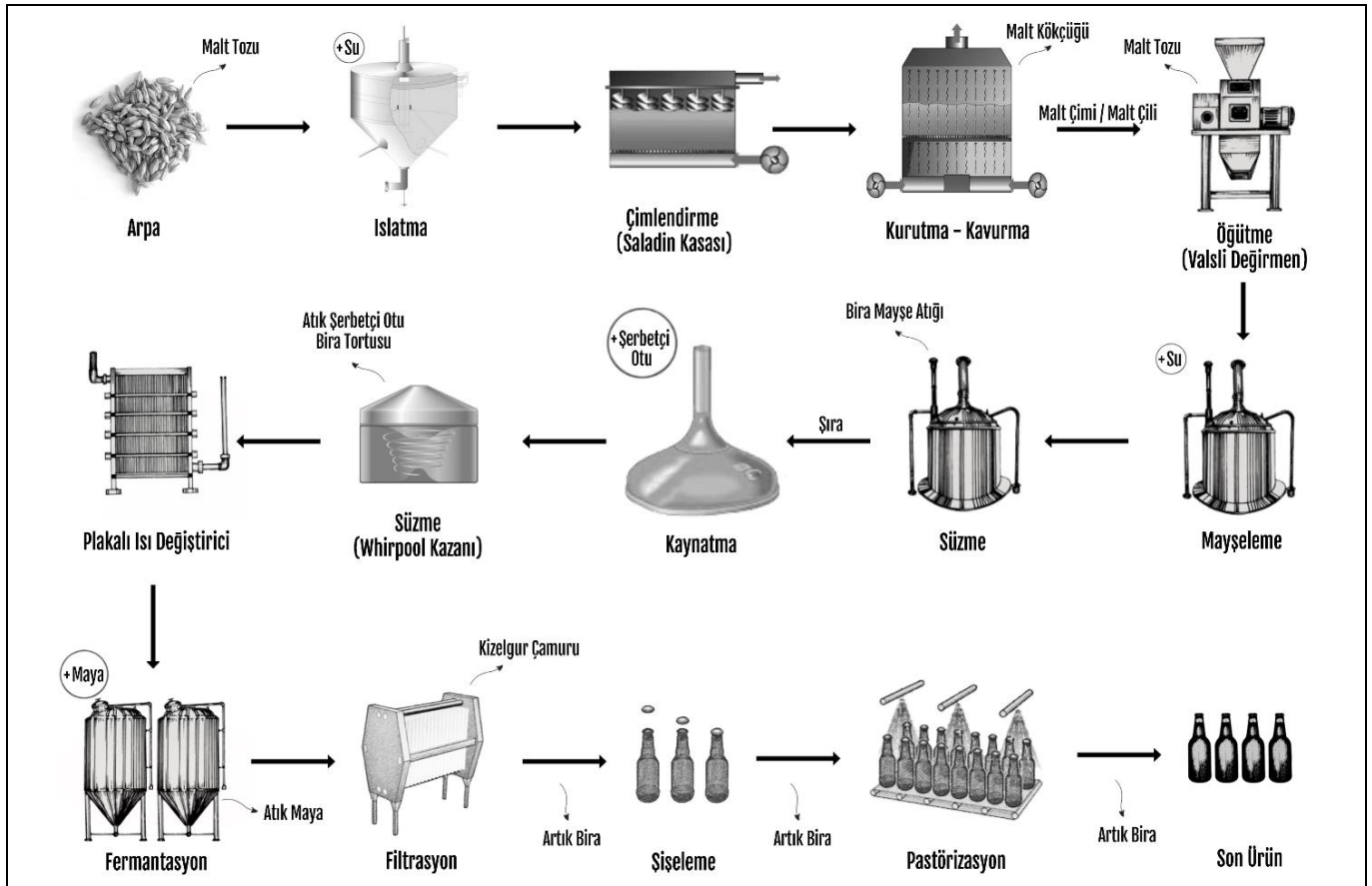
\*500 ml bira için yaklaşık değerler.

Son yıllarda yapılan araştırmalar, biranın uygun kullanım miktarlarında kardiyovasküler hastalık riskini azaltabileceğini [6], oksidatif strese karşı koruma sağlayabileceğini, ayrıca obezite, ateroskleroz, osteoporoz ve tip II diyabet oluşumunu önleyebileceğini [9] göstermektedir.

### 3 Bira üretimi

Bira üretiminde kullanılan ham maddeler malt, su, şerbetçiotu ve mayadır. Bira üretimi, arpanın malt haline getirilmesi, maltın öğütülmesi, mayşelenmesi, şıranın süzülmesi, şıranın şerbetçiotu eklenerek kaynatılması, şıranın soğutulması, fermantasyon, dinlendirme, filtreleme, dolum, pastörizasyon gibi işlem basamaklarını içermektedir. Bira üretimi akım şeması ve üretim sürecinde ortaya çıkan atık ve yan ürünler Şekil 1'de sunulmuştur.

Malt üretiminde ham madde olan arpa, ilk aşamada yabancı maddelerden ayrılarak temizlendikten sonra eleklerden geçirilmektedir. Sonrasında arpa, ıslatma kazanına alınmaktadır. Arpanın ıslatılması ile çimlendirme işlemi için gereken su içeriği arpaya kazandırılmaktadır. Çimlendirme, saladın kasalarında gerçekleştirilmekte ve arpada bulunan enzimler aktif hale gelmektedir. Çimlenmesini tamamlayan arpa, yeşil malt adını almaktadır. Ardından kurutma ve kavurma işlemi ile çimlendirmenin ve malta bulunan enzim aktivitesinin durdurulması, yapılacak bira tipine göre malta renk ve tat verilmesi, maltın dayanıklılığının artırılması hedeflenmektedir.



Şekil 1. Bira üretimi ve üretim sırasında ortaya çıkan atık/yan ürünler.

Figure 1. Brewery waste / by-products generated during beer production.

Bira üretiminde ilk aşamada, malt taneleri valsli değirmenlerde ezilerek öğütülmektedir. Parçalanmış kavuzdan biraya istenmeyen tat maddesi ve acılık geçişinin engellenmesi için öğütme işleminde kavuzun fazla parçalanması istenmemektedir. Ayrıca, parçalanmamış kavuz mayşenin süzülmesi işleminde filtre yardımcı maddesi olarak da görev yapmaktadır.

Maltın bileşiminde bulunan nişasta, selüloz, yüksek molekül ağırlıklı proteinler vb. maddeler suda çözünmez yapıdadır [10]. Mayşeleme işleminde öğütülmüş malt, su ile karıştırılarak mayşe elde edilmektedir. Elde edilen mayşenin, mayşe kazanlarında uygun süre, sıcaklık ve pH'da tutulmasıyla polimerik yapıdaki bileşenler enzimatik hidrolize uğramaktadırlar. Mayşeleme işleminin amacı; hidroliz ürünlerinin suya geçmesiyle bir nevi ekstrakte olmasıdır. Mayşeleme işleminde nişasta içerikli mısır, pirinç gibi tarımsal kökenli ham maddeler de ilave edilebilmektedir.

Süzme işlemi, mayşeden suya geçen maddeler (ekstrakt) ve kaba tortuyu şıradan ayırmak için yapılmaktadır. Bu işlem, süzme kazanlarında yapılmakta ve berrak şıra elde edilmektedir.

Mayşenin süzülmesi sonucunda elde edilen şıra, içinde rezistans sistemi bulunduran kaynatma kazanlarında kaynatılmaktadır. Kaynatma işlemiyle, şıranın mikrobiyal yükü azaltılarak şıranın bir bakıma sterilizasyonu sağlanmaktadır. Ayrıca, kaynatma sırasında proteinlerin çökmesi sağlanarak bulanıklık engellenmekte, enzimler inaktif hale getirilerek istenmeyen reaksiyonlar önlenmekte ve kaynatma sırasında şıraya şerbetçiotu katılarak şerbetçiotundan gelen kendine has tat ve aromanın biraya kazandırılması sağlanmaktadır. Kaynatmanın bir diğer amacı ise, şıranın kuru maddesinin yani ilksel ekstraktının ayarlanmasıdır.

Kaynatma işleminin ardından şıra, plakalı ısı değiştiriciler kullanılarak 8-12 °C'ye soğutulmakta ve fermantasyon tanklarına alınmaktadır. Fermantasyon sırasında maya, şıradaki şekeri etil alkol ve karbondioksit dönüştürmektedir [11]. Fermantasyon sonrasında, soğukta dinlendirme işleminde tortu ve kalan mayanın çökmesi sağlanmakta ve oluşan yüksek alkoller ile esterlerin biraya özgü aroma ve olgunlaşmış bira tadını vermeleri amaçlanmaktadır [12]. Günümüzde kullanılan modern sistemlerde fermantasyon ve dinlendirme işlemleri birlikte aynı tanklarda gerçekleştirilmektedir.

Sonraki basamak olan filtrasyon, biranın berraklık kazanması için genellikle plakalı filtrelerde gerçekleştirilmektedir. Filtrasyonla bulanıklık, bulanıklığa neden olabilecek maddeler ve kalan maya biradan ayrılmaktadır. Bira sırasıyla önce kalın, sonra ince kizelgur süzme yardımcı maddesi içeren filtre, poli vinil poli prolidon (PVPP) filtre ve trap filtreden geçirilmektedir. Kizelgur süzme yardımcı maddesi içeren filtre ile maya, şıra kalıntıları, büyük moleküllü ve bazı kolloidal yapılar tutulurken; PVPP filtre ile protein ve polifenoller ayrılmaktadır. Trap filtre ile, diğer filtrelerde tutunamayan kizelgur parçacıkları tutulmaktadır.

Filtre edilmiş bira dolum tanklarına alınmakta, sonrasında şişe, kutu ve fıçılara özgü dolum ünitelerinde dolum gerçekleştirilmektedir. Dolum üniteleri farklı olsa da izobarometrik dolum yöntemi ile biranın oksijenle teması ve karbondioksit kaybı önlenmektedir. Son aşamada, birayı biyolojik yönden dayanıklı kılmak ve raf ömrünü uzatmak için, pastörizasyon tünelleri kullanılarak pastörizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir.

## 4 Bira atık ürünleri ve değerlendirilme yöntemleri

Bira üretimi sırasında kaçınılmaz olarak çeşitli atık, yan ürün ve atık sular oluşmaktadır. Bunlardan miktar olarak en fazla olanları; bira yapımında kullanılan ham maddelerden arpa, malt, şerbetçiotu atıkları, atık su, atık maya ve bira mayşe atığıdır. Bu atıklar zengin karbon, azot ve mineral madde içerikleri nedeniyle biyoteknolojik süreçler için potansiyel ham madde/substrat kaynağı olarak görülmektedir. Ayrıca, bu atıkların biyoteknolojik süreçlerde değerlendirilerek katma değeri yüksek ürünler üretilmesi ekonomik açıdan önemli olmasının yanı sıra, bu atıkların çevreye verdikleri zararın bertaraf edilmesi açısından da önemlidir. Bira sanayinde ortaya çıkan atıkların ekonomik olarak değerli ürünlerin üretiminde kullanılması ve diğer sanayi dallarına bir endüstriyel simbiyoz örneği oluşturması açısından önemlidir [13],[14].

### 4.1 Malt kökçüğü (Barley malt rootlet, malt spent rootlet)

Malt kökçüğü, çimlendirme sırasında oluşmaktadır ve kuvvetli nem çekici özelliği ve acılık vermesi nedeniyle bira üretiminde istenmeyen bir atıktır. Üretim yöntemine bağlı olarak 100 kg malttan yaklaşık 3-5 kg kökçük ayrılmakta olup kökçük ayırma işlemi kavurma işleminden hemen sonra kökçük ayıklama makineleriyle yapılmaktadır [15]. Malt kökçüğünün en önemli özelliği kuru madde bazında %37 (w/w) gibi yüksek bir protein içeriğine sahip olmasıdır [16].

Malt kökçüğü hayvan yemi katkısı olarak kullanılmakla beraber zengin azot ve protein içeriği nedeniyle biyoteknolojik proseslerde azot kaynağı olarak değerlendirilmesiyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Malt kökçüğünün alfa-amilaz enzimi [12], antioksidan fenolik bileşik [15], etil alkol [17], ε-pinen (bir çeşit terpen) [18] ve laktik asit [19] üretiminde azot kaynağı olarak kullanımıyla ilgili çalışmalar vardır. Ayrıca, Waters ve diğ. [16] tarafından ekmek yapımında glutatyon kaynağı olarak da kullanılmıştır.

Malt kökçüğünün, biyosorbant olarak çevre uygulamalarında kullanılmasıyla ilgili çalışmalar da bulunmaktadır. Anagnostopoulos ve diğ. [20] malt kökçüğünü atık sulardan civa ve Anagnostopoulos ve diğ. [21] ise uranyum uzaklaştırılması için biyosorbant olarak kullanmışlar ve malt kökçüğünün, bu metaller için önemli bir sorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu belirlemişlerdir.

### 4.2 Malt çimi/Malt çili (Malt sprout)

Malt çimi (malt çili), bira üretiminde çimlendirilmiş arpanın tohumlarından, kökleri ve filizleri çıkarıldıktan sonra elde edilen değerli bir yan üründür. Malt çili de kökçük gibi çimlendirme kasalarında oluşmasına rağmen, ayrılma işlemi kurutma-kavurma fırını sonrası, kökçük ayıklama makineleriyle yapılmaktadır. Malt çimi (malt çili) gibi tarımsal yan ürünlerin kullanımı, üretim maliyetlerini önemli ölçüde azalttığından ilgi çekmektedir. Bu yan ürün, ekonomik bir protein ve enerji kaynağı olarak hayvan beslenmesinde kullanılmasının yanı sıra fermantasyon proseslerinde de düşük maliyetli azot kaynağı olarak kullanılmaktadır [22],[23].

Malt çiminin, antibiyotik, aseton, butanol, l-lisin, laktik asit, sitrik asit, amilaz, pektinaz üretimi ve küf, maya ve probiyotik bazı bakterilerin gelişimi için kültür ortamında besin bileşeni olarak kullanıldığı bildirilmiştir [23]. Malt çimi, alkalın 5'-fosfodiesteraz [24] ve ksilanaz [25],[26] enzimlerinin

biyoteknolojik olarak üretiminde, demir içermeyen ağır ve kıymetli metallerin adsorbsiyonu için biyosorbent olarak [27] kullanılmıştır. Ayrıca, malt çimi ve türevlerinden elde edilen ekstrakt ve maddeler, çeşitli yiyecek ve içeceklerin üretimlerinde de kullanılmıştır [28]. Yapılan bir çalışmada [29] malt çimi, bisküvi ve ekmeğe ürünlerine ilave edildiğinde bu ürünlerin besleyici değerinin arttığı, emülsiyet ürünlerine eklendiğinde pişirme kalitesinin iyileştiği, pişirme kayıplarının azaldığı ve üretim maliyetlerinin düştüğü belirtilmiştir.

#### 4.3 Malt tozu (Malt dust)

Bira üretimindeki toplam atık kütle için yaklaşık olarak %2'sini oluşturan, öğütme işleminin yan ürünü olan tozlardır [30]. Malt tozu, hayvan yemi üretiminde, natto kinaz enzimi üretiminde [31], *Antrodia cinnamomea* için biyokütle ve triterpenoid üretiminde [32], *Blakeslea trispora* kültür ortamında [33], karbonhidrat türevleri ve monosakkaritlerin üretiminde [34] değerlendirilmektedir.

Baltacı ve Hamamcı [35], malt tozu selülozik yapısının enzimatik hidrolizi ile ortaya çıkan glikozu laktik asit üretiminde ve ürettikleri laktik asidi de mayşe ve şıranın asitlendirilmesinde kullanmışlardır. Çalışma ile malt tozunun, bira üretimindeki mayşe veya şıranın asidifikasyonunda kullanılabileceği bulunmuştur. Rusın ve diğ. [36] ve Lorenz ve diğ. [37] ise malt tozunun ve diğer bazı atıkların biyogaz üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Lorenz ve diğ. [37] malt tozundan üretilen biyogazda ortalama %60 metan içeriği varsayılmıştır. Biyogaz verimi kullanılarak malt tozu ve diğer atıkların biyogaz enerji potansiyellerinin hesaplanması yapılmıştır. Malt tozu dahil bazı bira üretimi atıklarının enerji potansiyellerine bakılarak, Alman biracılık endüstrisinin enerji talebinin yaklaşık %71.2'sinin karşılanabileceği hesaplanmıştır. Rusın ve diğ. [36] yaptıkları çalışmada ise, malt tozunun spesifik metan üretimi değerini yaklaşık  $0.23 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}_{\text{VS}}^{-1}$  olarak bulmuşlardır.

#### 4.4 Bira mayşe atığı (Brewer's spent grain)

Bira mayşe atığı, bira üretiminde mayşeleme aşamasından sonra şıra ve posanın ayrılmasıyla ortaya çıkan, çoğunlukla hayvan yemi olarak değerlendirilen lignoselülozik bir atıktır. Mayşe atığı, bira endüstrisinde miktar olarak en fazla ortaya çıkan atık olup, biracılık atıklarının yaklaşık %85'ini oluşturmaktadır [38]. Mayşe atığının bileşimi malt üretiminde kullanılan arpanın çeşidine, hasat dönemine, malt üretiminde ve mayşelemede kullanılan şartlara ve bira üretiminde kullanılan mısır ve pirinç gibi katkı maddelerine bağlı olarak değişebilmektedir. Genel olarak mayşe atığında; %28-35 hemiselüloz, %16-25 selüloz ve %7-27 aralığında lignin bulunmaktadır. Mayşe atığında ksiloz, glikoz ve arabinoz gibi monosakkaritlerin yanısıra değişik miktarlarda mineral maddeler, vitaminler ve amino asitler de bulunmaktadır [39]. Mayşe atığı hayvan yemi olarak kullanılmasına rağmen, bileşimine bakıldığında zaman biyoteknolojik prosesler için çok zengin ve önemli bir substrat olduğu görülmektedir. Ancak, mayşe atığı lignoselülozik yapıda olduğu için, yapının dağıtılması ve hidrolizi için bazı ön işlemlere gerek duyulmaktadır. Ravindran ve diğ. [40], bira mayşe atığından indirgen şeker elde etmek için seyreltik asit hidrolizi, buhar muamelesi, amonyum hidroksit ile yüksek sıcaklıkta muamele, demir klorür ile muamele, organik çözgenle (etil alkol) muamele, mikrodalga destekli alkali hidrolizi gibi ön işlemler kullanmışlar ve mikrodalga destekli alkali hidrolizi ile 1 g mayşe atığından 228.25 mg indirgen şeker elde etmişlerdir. Mussatto ve Roberto [38] bira mayşe atığını seyreltik sülfirik

asitle hidrolize uğratmışlar ve *Candida guilliermondii* mayası ile elde ettikleri hidrolizattan ksilitol üretmişlerdir. Mussatto ve diğ. [41] asit ve alkali ile muamele ettikleri bira mayşe atığından ortaya çıkan selülozu ticari selülaz enzimi ile hidrolize uğratmışlar ve elde ettikleri glikoz içeren ortamdan *Lactobacillus delbrueckii* bakterisi ile laktik asit üretmişlerdir. Bira mayşe atığını kullanarak Carvalheiro ve diğ. [42] *Debaryomyces hansenii* ile ksilitol, Xiros ve diğ. [43] ise *Neurospora crassa* ile etil alkol, Xiros ve Christakopoulos [44] *Fusarium oxysporum* ile etil alkol, Moldes ve diğ. [45] *Lactobacillus pentosus* ile laktik asit üretmeyi başarmışlardır. Moreira ve diğ. [46], farklı malt çeşitlerinden elde edilen bira mayşe atığı ile yaptıkları çalışmada, bira mayşe atığının potansiyel bir ferulik ve p-kumarik asit kaynağı olabileceğini göstermişlerdir.

Biyoteknolojik uygulamalar haricinde bira mayşe atığının insan beslenmesinde, enerji, kömür, inşaat/yapı malzemesi, kâğıt üretiminde, taşıyıcı ajan ve çevre uygulamalarında adsorbant olarak kullanılmasıyla ilgili çalışmalar bulunmaktadır [5].

#### 4.5 Bira tortusu (Beer lees)

Tortu; farklı alkollü içki endüstrilerinin fermantasyon ve yıllandırma süreçlerinde oluşan atıklardır. Tortular, tank dibine çökmüş durumdaki mikrobiyal biyokütle (maya ve bakteri), çözünmeyen karbonhidratlar (selülozik veya hemiselülozik maddeler), renk ve aromaya katkıda bulunan fenolik bileşikler, lignin, proteinler, metaller, inorganik tuzlar, organik asit tuzları, fermantasyon sıvısı ve tahıl, tohum, kabuk gibi diğer maddelerden oluşan tüm birikintileri içermektedir [14].

Yapılan çalışmalar, karbonhidrat, azot ve esansiyel vitamin içeriği sayesinde tortuların, fermantasyon süreçleri içinde karbon, azot ve besin maddesi kaynağı olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir [14]. Bira tortusu; aktif karbon [47], adsorbent [48], metan [49], biyohidrojen [50], hayvan yemi [51], ksilitol [52], enzim [53] üretimi için ekonomik bir besin bileşeni olarak kullanılabilir. [14].

#### 4.6 Bira atık suyu (Beer wastewater)

Bira üretiminde, arpanın ıslatılması, mayşeleme aşaması, ambalaj malzemesi olan şişelerin yıkanması, şişelerin pastörizasyonu, zemin temizliği, yerinde temizlik sistemleri (CIP) gibi üretimin birçok alanında su ve buhar kullanılmaktadır [54],[55]. Katı madde, şeker, maya ve diğer bileşenler gibi ham madde atıklarından oluşan bira fabrikası atık suları farklı üretim aşamalarından kaynaklanmaktadır. Filtrasyon, ekipmanların boşaltılması, tanklar, kaplar, fiçiler ve boruların yıkanması ile yerlerin temizliği gibi diğer işlemler sırasında da üretilmektedir [56]. Dolayısıyla bira üretiminde ciddi miktarlarda atılması gereken atık su ortaya çıkmaktadır. Bira atık suyu, üretim sürecine ve işlem sırasındaki tüketim miktarına bağlı olarak organik madde içeren, biyolojik olarak parçalanabilen ve genellikle kayda değer miktarda ağır metal içermeyen özelliktedir [55],[57].

1 L biranın üretilmesi için 4.5 litre su harcanmakta olup, bira bileşiminin %95'i sudur. Bira üretiminde çok fazla hacimde su kullanıldığından [56],[58],[59], su yönetimi ve atık su arıtımı bira endüstrisinde kritik bir maliyet faktörüdür [60].

Tablo 2'de bira üretim sürecinde oluşan atık suların karakterizasyonu verilmiştir. Tablo 2'den de görüleceği üzere bazı kirletici parametrelerin değerleri geniş bir aralıktadır.



Tablo 2. Bira üretim prosesinde oluşan atık suların karakterizasyonu.

Table 2. Characterization of wastewater from the beer production process.

Kaynak	pH	Toplam KOİ (mg/L)	Toplam N (mg/L)	Toplam P (mg/L)	Toplam Katı Madde (mg/L)	Alkalinite (mg/L)
[58]	3-12	2000-6000	25-80	10-50	2900-3000	
[59]	5.2-6.2	8000-14000	80-280	20-90	500-1300	190-350
[67]	6.3	6000	90	0.5		
[68]		6558	76	58		
[69]	3.2-3.9	22500-32500	320-450	144-216		
[70]	6.9	2000		21.3	2449	3173
[71]	4.5-11	3000-6000	50-100		200-600	
[72]		2400	90	3.2	620	

Suda çözülmüş organik kirleticilerin giderilmesi amacıyla aerobik ve anaerobik parçalanma olmak üzere biyolojik arıtma prosesleri kullanılmaktadır [61]. Bira endüstrisi atık sularının anaerobik biyolojik prosesle arıtılması sonucunda, metan ve karbondioksit içeren biyogaz üretilmektedir. Üretilen biyogaz, elektrik ve ısı enerjisi üretiminde kullanılarak tesiste ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlanmakta ya da gelir getirmesi amacıyla satılmaktadır.

Atık su içerisindeki organik kirleticilerin mikroalgler tarafından kullanılarak alg biyokütlesi üretilmesi alternatif, atık su içerisindeki kirleticilerin daha ucuz, ekolojik olarak güvenli ve geri dönüşümü ile kaynak geri kazanımı gibi ek avantajlar sunduğu, son yıllarda yapılan çalışmalarda gündeme gelmiştir [61]. Yapılan bir çalışmada [62], bira atık suyunun arıtılması ve yeniden kullanılabilmesi için fotosentetik bakteriler ve *Spirulina maxima* kullanılmıştır. Bu uygulama ile atık su arıtılmakta ve atık su içerisindeki kirleticilerin tüketilmesi ile *S.maxima* biyokütlesi üretilmektedir. Çalışmada *S.maxima*'nın protein üretiminde kullanıldığı belirtilmiştir. Yapılan bir diğer laboratuvar ölçekli çalışmada ise *Scenedesmus obliquus* kullanılarak bira endüstrisi atık suyunun fotobiyoreaktörde arıtılması incelenmiş ve %92.9 amonyum, %88.5 azot, %40.8 fosfor ve %61.9 KOİ giderimi elde edilmiştir. Atık içerisindeki tüketilen organik madde ile üretilen *S.obliquus* biyokütlesinin ise karanlık fermantasyon ile biyohidrojen üretiminde ve piroliz prosesiyle biyoyağ, biyoçar ve biyogaz üretiminde kullanılabilceği belirtilmiştir [61].

Ayrıca, bira atık suyunun değerlendirilmesi üzerine değişik çalışmalar yapılmıştır. Bira atık suyunun *Bacillus thuringiensis* tarafından sadece hedef böceklerle karşı toksik olma etkisine sahip olan  $\delta$ -endotoksinler üretmek için kültür ortamı bileşeni olarak [63], biyolojik yüzey aktif madde (biyosülfektan) üretiminde *Bacillus subtilis* için karbon kaynağı olarak [64], mikrobiyal yakıt hücrelerinin elektrik üretiminde [65] ve biyohidrojen [66] eldesinde kullanılmıştır.

#### 4.7 Atık şerbetçiotu (*Spent hops*)

Şerbetçiotu (*Humulus lupulus* L.), kaynatma işlemi sırasında ilave edilip işlem sonrası şıradan ayrılmaktadır. Atık şerbetçiotu, genellikle hayvan beslenmesinde kullanılmakta veya tarımsal arazilere dökülmektedir [73]. Fenolik bileşik [74], östrojenik bitkisel besin takviyesi [75], yem katkı maddesi [76], biyogaz [77], organik asit [34] arabinogalakattan proteinleri [78] üretiminde ve gıdaların depolanması sırasında zararlılar (*Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus granarius*) tarafından meydana gelebilecek, olası kayıplara karşı koruyucu aktiviteye sahip esansiyel yağ kaynağı [73] olarak da değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

Tıp alanında yapılan ve atık şerbetçiotu kullanılan bir çalışmada ise [79], atık şerbetçiotundan ekstrakte edilmiş, fenolik bileşiklerce zengin ekstraktın trombosit agregasyonunu düşürdüğü, insan endotel hücrelerinde antikoagülant aktiviteyi arttırdığı belirlenmiştir.

#### 4.8 Atık maya (*Brewery spent yeast, Yeast surplus*)

Bira üretiminde maya hücreleri, doğal sedimentasyon yoluyla fermantasyon sonunda tank dibine çökmektedir [60]. Bira mayası zengin bir protein, B vitamini, nükleik asit, vitamin ve mineral madde kaynağıdır [80].

Atık bira mayası, hayvan yemi üretiminde protein kaynağı olarak, balık yemi üretiminde biyoaktif bileşen ve besin kaynağı olarak, evcil hayvan mamalarının üretiminde protein kaynağı ve aroma verici olarak, fermantasyon proseslerinde besin kaynağı olarak kullanılmaktadır [80],[81]. Literatürde atık bira mayası, etil alkol [82], laktik asit [83], süksinik asit [84],  $\beta$ -glukan [85]-[86], biyoaktif bileşen (maya hücre duvarının parçalanmasıyla, atık mayanın iç hücre kütesinden elde edilen içerik) [87], fonksiyonel gıda (bira mayası özütü ve kırmızı pancar suyu karışımından elde edilen fermente ürün) [88], polisakkarit (glukan ve mannoproteinler) [89], protein ve aminoasit [90] üretimlerinde test edilmiştir. Ayrıca, metan üretiminde [91], uranyum biyosorpsiyonunda [92], dokosaheksaenoik asit (DHA) açısından zengin olan *Aurantiochytrium* sp. KRS101 [93], biyodizel üretimi için kullanılan, lipid üreten *Cryptococcus curvatus* [94] ve alg [95] gelişiminde kullanımıyla ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

#### 4.9 Kizelgur çamuru (*Kieselguhr sludge*)

Kizelgur, bira üretimine filtrasyon işleminde kullanılan filtre yardımcı maddesidir. Kizelgur çamuru ise filtrasyon sırasında tutulan mayadan ve şerbetçiotu gibi diğer organik maddelerden ve kizelgurdan oluşan çamur formunda bir yan üründür [96]. Kizelgur çamuru için en yaygın kullanım, tarım arazisine yaymaktır [97]. Kizelgur çamuru çimento endüstrisinde [55], kalsiyum silikat tuğla [98] ve seramik tuğla [96] yapımında da kullanılmaktadır.

#### 4.10 Artık bira/Atık bira (*Residual beer, Waste beer*)

Artık bira (atık bira), son ürün olan şişelenmiş bira ile yaklaşık olarak aynı bileşime sahip olan bir atıktır. Bira üretim sürecinde, ürünün kalitesini test etmek için gerçekleştirilen örnek alım işlemlerinden kalan bira numunelerini, hatalı doldurma yükseklikleri veya yanlış yapılandırılmış etiketler gibi nedenlerle ambalaj alanında reddedilen bira örneklerini, satılmayıp iade edilen biralara, patlayan şişeler ile şişenin kalitesizliği, şişenin muayene edilmemesi veya tünel

pastörizatöründe sıcaklık kontrolü bulunmamasından kaynaklanan hatalı bira şişelerinden ortaya çıkan birayı kapsamaktadır. Artık bira ayrıca, proses tankları boşaltılması sırasında kullanılan filtrelerde ve borularda kalan bira olarak da tanımlanabilmektedir [55].

Genel olarak atık su arıtma tesisine gönderilen ve anaerobik atık su arıtma prosesine girerek metan formunda enerji üretiminde kullanılmakta olan artık biranın, biyoteknolojik yöntemlerle değerlendirilmesine ait herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak zengin ekstrakt, karbonhidrat ve azotlu maddeler içeriği nedeniyle atık biranın mikrobiyal proseslerde kullanılması akılcı bir yöntem olacaktır.

#### 4.11 Diğer atıklar

Depozitolu şişeler, paketleme ve pastörizasyon hatlarında kırılmış kırık camlar, kartonlar, plastikler, metaller, şişe kapakları, etiketler, depozitolu şişelerin yıkanmasıyla elde edilen etiket hamurları ve atık yağlar bira üretiminde ortaya çıkan diğer atıklardır. Kırılan camlar ve şişelerin, metal, kâğıt gibi diğer malzemelerden arındırılmış olmak suretiyle, yeni cam üretimi için geri dönüşümü sağlanabilmektedir. Bira endüstrisindeki katı atıklardan olan kâğıt, karton ve metal ayrıştırılarak, her biri yeni bir malzemeye dönüştürülebilmektedir veya yakılabilmektedir. Etiket hamurları, kâğıt ve kartonlar kompost hale getirilerek, hamur kalitesine bağlı olarak kâğıt fabrikalarında kullanılabilir [55].

## 5 Sonuçlar

Tarım ve tarıma dayalı gıda endüstrisi, yüksek hacimlerde organik atık üreten sektörleri içermektedir. Bu organik atıkların kontrolsüz bir şekilde doğada parçalanması ve bozulması toprak, su ve hava ortamlarında ciddi kirlenmelere sebep olmaktadır. Sürdürülebilir tarım ve tarıma dayalı gıda sektörü için sistematik bir şekilde kaynakların yok olması ile sonuçlanan mevcut "doğadan al, üret ve doğaya at" doğrusal ekonomi modelinin (Cradle to Grave - Linear Economy) "tüketimi azalt, geri dönüşüm yap ve yeniden üret" döngüsel ekonomi (Cradle to Cradle, Circular Economy) alternatifine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu algı seviyesinde, bira endüstrisi gibi tarım ve tarıma dayalı endüstrilerden kaynaklanan biyoatıklar, atık olmaktan çıkıp sürdürülebilir kaynaklar olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde, çevre kirliliği, kaynakların israfı ve ham madde kaynaklarının azalması gibi sebeplerle, endüstriyel atık ve yan ürünlerin geri dönüşümü ve katma değeri yüksek ürün olarak geri kazanılması kaçınılmaz bir şekilde zorunlu hale gelmiştir. Özellikle, organik yapıdaki gıda sanayi atıkları içerdikleri karbonhidrat, azot ve mineral maddeler sebebiyle biyoteknolojik prosesler için son derece önemli ve zengin bir ham madde ve substrat kaynağıdır. Bira sanayi de malt atıkları, mayşe atığı, atık maya, atık şerbetçiotu, atık su, atık bira, bira tortusu ve kizelgur çamuru gibi atıklarıyla gıda sektöründe atık ve yan ürünlerin yüksek miktarlarda ortaya çıktığı sektörlerdendir. Bu atıkların zengin metabolik yol izleri sayesinde birçok ürün üretme kabiliyetine sahip mikroorganizmalar tarafından kullanılarak katma değeri yüksek ürünlerin üretilmesinde kullanılması hem ekonomik açıdan hem de atıkların çevreye verdikleri zararın engellenmesi açısından önemli olacaktır. Sonuç olarak, bu derleme, bira sanayi atıklarının gıda sanayinde ortaya çıkan farklı atıklarla birlikte ekonomik biyoteknolojik proseslerle değerlendirilmesi ve bertarafı için gıda, enerji ve su ağında

endüstriyel simbiyoz uygulamalarının önemli bir alternatif yönetim sistemi olacağını vurgulamaktadır.

## 6 Conclusions

The agriculture and agro-food industry generate large volumes of organic waste. The uncontrolled disintegration and degradation of these organic wastes in nature cause serious pollution in soil, water and air. The current linear economy model ("take, produce and dispose to nature" - Cradle to Grave) resulting in the systematic destruction of resources should be replaced with an alternative circular economy model ("reduce consumption, recycle, and reproduce" - Cradle to Cradle) for the sustainable agriculture and agri-food sector. At this level of perception, biowaste originating from agriculture and agro-industries such as beer industry is defined as sustainable resources rather than waste. Today, due to environmental pollution from waste sources and the reduction of raw material resources, it is inevitable to recycle industrial waste and by-products and to recover them as high value-added products. Especially, organic food industry wastes are extremely important rich sources of raw materials and substrates for biotechnological processes due to their rich carbohydrate, nitrogen and mineral contents. The beer industry generates high amounts of waste and by-products such as malt waste, mash waste, waste yeast, waste hops, wastewater, waste beer, beer residue and kieselguhr sludge. The use of these wastes in the production of high value-added products by microorganisms that have the ability to produce many products will be important both economically and environmentally. As a result, this review emphasizes that industrial symbiosis in the food, energy and water network will be an important alternative management system for the evaluation and disposal of the brewery wastes together with different wastes generated by the food industry with economical biotechnological processes.

## 7 Kaynaklar

- [1] Türkiye İstatistik Kurumu. "Bitkisel Üretim İstatistikleri". [http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1001](http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001) (01.04.2019).
- [2] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tütün ve Alkol Dairesi Başkanlığı. "Piyasa İstatistikleri" <https://www.tarimorman.gov.tr/TADB/Menu/23/Alkol-Ve-Alkollu-Ickiler-Daire-Baskanligi> (03.04.2019).
- [3] The Brewers of Europe. "Beer Statistics 2018 Edition". Brussels, Belgium, 2018.
- [4] Ishiwaki N, Murayama H, Awayama H, Kanauchi O, Sato T. "Development of high value uses of spent grain by fractionation technology". *MBAA Technical Quarterly*, 37, 261-265, 2000.
- [5] Mussatto SI, Dragone G, Roberto IC. "Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications". *Journal of cereal science*, 43(1), 1-14, 2006.
- [6] De Gaetano G, Costanzo S, Di Castelnuovo A, Badimon L, Bejko D, Alkerwi A, Chiva-Blanch G, Estruch R, La Vecchia C, Panico S, Pounis G, Sofi F, Stranges S, Trevisan M, Ursini F, Cerletti C, Donati MB, Iacoviello L. "Effects of moderate beer consumption on health and disease: A consensus document". *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 26(6), 443-467, 2016.
- [7] Bamforth CW. "Nutritional aspects of beer-a review". *Nutrition research*, 22(1-2), 227-237, 2002.

- [8] USDA United States Department of Agriculture Agricultural Research Service. "USDA Branded Food Products Database- National Nutrient Database for Standard Reference Release 1". <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/14003?man=&facet=&count=&max=25&qlookup=Alcoholic+beverage%2C+beer%2C+regular%2C+all&offset=&sort=default&format=Abridged&reportfmt=other&rptfrm=&ndbno=&nutrient1=&nutrient2=&nutrient3=&subset=&totalCount=&measureby=&qv=5&Q329746=1&Q329747=1&qv=10&Q329746=1&Q329747=1> (23.03.2019).
- [9] Kondo K. "Beer and health: preventive effects of beer components on lifestyle-related diseases". *Biofactors*, 22(1-4), 303-310, 2004.
- [10] Kunze W. *Technology, Brewing and Malting*. International ed. Berlin, Germany, VLB Berlin, 1996.
- [11] Candan B. Arpa, Malt ve Birada  $\beta$ -glukan İçeriği ve Bira Kalitesi Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2009.
- [12] Briggs DE, Boulton CA, Brookes PA, Stevens R. *Brewing Science and Practice*, 1<sup>st</sup> ed. Cambridge, England, Wood head Publishing Limited Cambridge and CRC Press, 2004.
- [13] Mussatto SI. *Biotechnological Potential of Brewing Industry By-Products*. Editors: Singh-Nee Nigam, P, Pandey, A. Biotechnology for agro-industrial residues utilization, 313-326, Springer, Dordrecht, Netherlands, 2009.
- [14] Pérez-Bibbins B, Torrado-Agras A, Salgado JM, de Souza Oliveira RP, Dominguez JM. "Potential of lees from wine, beer and cider manufacturing as a source of economic nutrients: An overview". *Waste management*, 40, 72-81, 2015.
- [15] Budaraju S, Mallikarjunan K, Annor G, Schoenfuss T, Raun R. "Effect of pre-treatments on the antioxidant potential of phenolic extracts from barley malt rootlets". *Food Chemistry*, 266, 31-37, 2018.
- [16] Waters DM, Kingston W, Jacob F, Titze J, Arendt EK, Zannini E. "Wheat bread biofortification with rootlets, a malting by-product". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(10), 2372-2383, 2013.
- [17] Lewis M. *Beer and Brewing*. Editor: Kirk-Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology, 1-30, United States, Wiley, 2000.
- [18] Aggelopoulos T, Katsieris K, Bekatorou A, Pandey A, Banat IM, Koutinas AA. "Solid state fermentation of food waste mixtures for single cell protein, aroma volatiles and fat production". *Food Chemistry*, 145, 710-716, 2014.
- [19] Pejin J, Radosavljević M, Pribić M, Kocić-Tanackov S, Mladenović D, Djukić-Vuković A, Mojović L. "Possibility of L- (+)-lactic acid fermentation using malting, brewing, and oil production by-products". *Waste Management*, 79, 153-163, 2018.
- [20] Anagnostopoulos VA, Manariotis ID, Karapanagioti HK, Chrysikopoulos CV. "Removal of mercury from aqueous solutions by malt spent rootlets". *Chemical Engineering Journal*, 213, 135-141, 2012.
- [21] Anagnostopoulos V, Symeopoulos B, Bourikas K, Bekatorou A. "Biosorption of U (VI) from aqueous systems by malt spent rootlets. Kinetic, equilibrium and speciation studies". *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(1), 285-296, 2016.
- [22] Brestenský M, Nitrayová S, Patráš P, Heger J. "Standardized ileal digestibilities of amino acids and nitrogen in rye, barley, soybean meal, malt sprouts, sorghum, wheat germ and broken rice fed to growing pigs". *Animal feed science and technology*, 186(1-2), 120-124, 2013.
- [23] Cejas L, Romano N, Moretti A, Mobili P, Golowczyk M, Gómez-Zavaglia A. "Malt sprout, an underused beer by-product with promising potential for the growth and dehydration of lactobacilli strains". *Journal of food science and technology*, 54(13), 4464-4472, 2017.
- [24] Beluhan S, Karmelić I, Novak S, Marić V. "Partial purification and biochemical characterization of alkaline 5'-phosphodiesterase from barley malt sprouts". *Biotechnology letters*, 25(13), 1099-1103, 2003.
- [25] Yegin S, Buyukkileci AO, Sargin S, Goksungur Y. "Exploitation of agricultural wastes and by-products for production of Aureobasidium pullulans Y-2311-1 xylanase: Screening, bioprocess optimization and scale up". *Waste and Biomass Valorization*, 8(3), 999-1010, 2017.
- [26] Kostyleva EV, Tsurikova NV, Sereda AS, Velikoretskaya IA, Veselkina TN, Lobanov NS, Shashkov IA, Sinitsyn AP. "Enhancement of activity of carbohydrases with endopolymerase action in trichoderma reesei using mutagenesis". *Microbiology*, 87(5), 652-661, 2018.
- [27] Losev VN, Buyko OV, Borodina EV, Samoilo AS, Zhyzhaev AM, Velichko BA. "Biosorbents based on pine sawdust and malt sprouts for preconcentration and ICP-OES determination of nonferrous, heavy, and precious metals in the environmental samples". *Separation Science and Technology*, 53(11), 1654-1665, 2018.
- [28] Kondo K, Nagao K, Yokoo Y. "Process for producing food and beverage products from malt sprouts". *US Patent No. 9.326.542*. Washington, DC, US. Patent and Trademark Office, 2016.
- [29] Salama AA, El-Sahn MA, Mesallam AS, Shehata AME. "Evaluation of the quality of bread, biscuit and butcher's sausage supplemented with rootlets of malt sprouts". *Food/Nahrung*, 41(4), 228-231, 1997.
- [30] Gareis M, Meussdoerffer F. "Dust of grains and malts as a source of ochratoxin A exposure". *Mycotoxin research*, 16(1), 127-130, 2000.
- [31] Guo HY, Wang B, Qiao JW, Wang G, Li N, Zhao J. "Optimization of solid fermentation conditions of the nattokinase". *Jilin Normal University Journal (Natural Science Edition)*, 2008(2), 66-68, 2008.
- [32] Li J, Lin X, Lin D, Lv X, Tong J, Lin Z. Improved mycelium biomass by submerged culture of *Antrrodia cinnamomea* using plackett-burman design and response surface methodology. Editor: Zhang Y. Proceedings of the 2016 International Conference on Biotechnology & Medical Science, 605-617, 5 Toh Tuck Link, Singapore, World Scientific Publishing, 2016.
- [33] Ning Z, Long Y. "Mutation breeding of  $\beta$ -carotene producing strain *B. trispora* by low energy ion implantation". *Plasma Science and Technology*, 11(1), 110-115, 2009.
- [34] Fischer K, Bipp HP. "Generation of organic acids and monosaccharides by hydrolytic and oxidative transformation of food processing residues". *Bioresource technology*, 96(7), 831-842, 2005.



- [35] Baltacı SF, Hamamcı H. The simultaneous saccharification and fermentation of malt dust and use in the acidification of mash. *Journal of the Institute of Brewing*, 125(2), 230-234, 2019.
- [36] Rusín J, Chamrádová K, Obroučka K, Kuča R. "Methane production during laboratory-scale co-digestion of cattle slurry with 10 wt. % of various biowastes". *Polish Journal of Chemical Technology*, 14(1), 14-20, 2012.
- [37] Lorenz H, Fischer P, Schumacher B, Adler P. "Current EU-27 technical potential of organic waste streams for biogas and energy production". *Waste management*, 33(11), 2434-2448, 2013.
- [38] Mussatto SI, Roberto IC. "Acid hydrolysis and fermentation of brewer's spent grain to produce xylitol". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(14), 2453-2460, 2005.
- [39] Aliyu S, Bala M. "Brewer's spent grain: a review of its potentials and applications". *African Journal of Biotechnology*, 10(3), 324-331, 2011.
- [40] Ravindran R, Jaiswal S, Abu-Ghannam N, Jaiswal AK. "A comparative analysis of pretreatment strategies on the properties and hydrolysis of brewers' spent grain". *Bioresource technology*, 248, 272-279, 2018.
- [41] Mussatto SI, Fernandes M, Mancilha IM, Roberto IC. "Effects of medium supplementation and pH control on lactic acid production from brewer's spent grain". *Biochemical Engineering Journal*, 40(3), 437-444, 2008.
- [42] Carvalheiro F, Duarte LC, Lopes S, Parajó JC, Pereira H, Girio FM. "Evaluation of the detoxification of brewery's spent grain hydrolysate for xylitol production by *Debaryomyces hansenii* CCM1 941". *Process Biochemistry*, 40(3-4), 1215-1223, 2005.
- [43] Xiros C, Topakas E, Katapodis P, Christakopoulos P. "Hydrolysis and fermentation of brewer's spent grain by *Neurospora crassa*". *Bioresource technology*, 99(13), 5427-5435, 2008.
- [44] Xiros C, Christakopoulos P. "Enhanced ethanol production from brewer's spent grain by a *Fusarium oxysporum* consolidated system". *Biotechnology for Biofuels*, 2(4), 1-12, 2009.
- [45] Moldes AB, Torrado A, Conventi A, Dominguez JM. "Complete bioconversion of hemicellulosic sugars from agricultural residues into lactic acid by *Lactobacillus pentosus*". *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 135(3), 219-227, 2006.
- [46] Moreira MM, Morais S, Carvalho DO, Barros AA, Delerue-Matos C, Guido LF. "Brewer's spent grain from different types of malt: Evaluation of the antioxidant activity and identification of the major phenolic compounds". *Food research international*, 54(1), 382-388, 2013.
- [47] Wakizaka H, Miyake H, Kawahara Y. "Utilization of beer lees waste for the production of activated carbons: The influence of protein fractions on the activation reaction and surface properties". *Sustainable materials and technologies*, 8, 1-4, 2016.
- [48] Dong Y, Lin H. "Competitive adsorption of Pb (II) and Zn (II) from aqueous solution by modified beer lees in a fixed bed column". *Process Safety and Environmental Protection*, 111, 263-269, 2017.
- [49] Sun C, Liu F, Song Z, Wang J, Li Y, Pan Y, Sheng T, Li L. "Feasibility of dry anaerobic digestion of beer lees for methane production and biochar enhanced performance at mesophilic and thermophilic temperature". *Bioresource technology*, 276, 65-73, 2019.
- [50] Bando Y, Fujimoto N, Suzuki M, Ohnishi A. "A microbiological study of biohydrogen production from beer lees". *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(6), 2709-2718, 2013.
- [51] Liu P, Li J, Deng Z. "Bio-transformation of agri-food wastes by newly isolated *Neurospora crassa* and *Lactobacillus plantarum* for egg production". *Poultry science*, 95(3), 684-693, 2016.
- [52] Pérez-Bibbins B, Torrado-Agrasar A, Pérez-Rodríguez N, Aguilar-Uscanga MG, Domínguez JM. "Evaluation of the liquid, solid and total fractions of beer, cider and wine lees as economic nutrient for xylitol production". *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 90(6), 1027-1039, 2015.
- [53] Yang SQ, Xiong H, Yang HY, Yan QJ, Jiang ZQ. "High-level production of  $\beta$ -1, 3-1, 4-glucanase by *Rhizomucor miehei* under solid-state fermentation and its potential application in the brewing industry". *Journal of applied microbiology*, 118(1), 84-91, 2015.
- [54] Van der Merwe AI, Friend JFC. "Water management at a malted barley brewery". *Water SA*, 28(3), 313-318, 2002.
- [55] The Brewers of Europe. "Guidance Note for Establishing BAT in the Brewing Industry". Brussels, Belgium, 2002.
- [56] Arantes MK, Alves HJ, Sequinel R, da Silva EA. "Treatment of brewery wastewater and its use for biological production of methane and hydrogen". *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(42), 26243-26256, 2017.
- [57] Anggraeni PN, Gunam IBW, Kawuri R. "Potential Bacterial Consortium to Increase the Effectiveness of Beer Wastewater Treatment". *Current World Environment*, 9(2), 312-320, 2014.
- [58] Simate GS, Cluett J, Iyuke SE, Musapatika ET, Ndlovu S, Walubita LF, Alvarez AE. "The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art". *Desalination*, 273(2-3), 235-247, 2011.
- [59] Chen H, Chang S, Guo Q, Hong Y, Wu P. "Brewery wastewater treatment using an anaerobic membrane bioreactor". *Biochemical engineering journal*, 105, 321-331, 2016.
- [60] Fillaudeau L, Blanpain-Avet P, Daufin G. "Water, wastewater and waste management in brewing industries". *Journal of cleaner production*, 14(5), 463-471, 2006.
- [61] Ferreira A, Ribeiro B, Marques PASS, Ferreira AF, Dias AP, Pinheiro HM, Reis A, Gouveia L. "Scenedesmus obliquus mediated brewery wastewater remediation and CO<sub>2</sub> biofixation for green energy purposes". *Journal of Cleaner Production*, 165, 1316-1327, 2017.
- [62] Zheng A, Cai A, Xu W, Fang Z. "Treatment and reuse of beer wastewater using the system of photosynthetic bacteria and spirulina maxima". *Acta Scientiae Circumstantiae*, 19(1), 22-27, 1999.
- [63] Moreira GA, Micheloud GA, Beccaria AJ, Goicoechea HC. "Optimization of the *Bacillus thuringiensis* var. kurstaki HD-1  $\delta$ -endotoxins production by using experimental mixture design and artificial neural networks". *Biochemical Engineering Journal*, 35(1), 48-55, 2007.
- [64] Liu JH, Chen YT, Li H, Jia YP, Xu RD, Wang J. "Optimization of fermentation conditions for biosurfactant production by *Bacillus subtilis* strains CCTCC M201162 from oilfield wastewater". *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 34(2), 548-554, 2015.



- [65] Köroğlu EO, Özkaya B, Denктаş C, Çakmakci M. "Electricity generating capacity and performance deterioration of a microbial fuel cell fed with beer brewery wastewater". *Journal of bioscience and bioengineering*, 118(6), 672-678, 2014.
- [66] Vijayaraghavan K, Ahmad D, Samson M. "Biohydrogen generation from beer brewery wastewater using an anaerobic contact filter". *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 65(2), 110-115, 2007.
- [67] Sinbuathong N, Somjit C, Leungprasert S. "Feasibility study for biohydrogen production from raw brewery wastewater". *International Journal of Energy Research*, 39(13), 1769-1777, 2015.
- [68] Boboescu IZ, Ilie M, Gherman VD, Mirel I, Pap B, Negrea A, Kondorosi E, Biro T, Maroti G. "Revealing the factors influencing a fermentative biohydrogen production process using industrial wastewater as fermentation substrate". *Biotechnology for biofuels*, 7(1), 139, 2014.
- [69] Shao X, Peng D, Teng Z, Ju X. "Treatment of brewery wastewater using anaerobic sequencing batch reactor (ASBR)". *Bioresource Technology*, 99(8), 3182-3186, 2008.
- [70] Enitan AM, Adeyemo J, Swalaha FM, Bux F. "Anaerobic digestion model to enhance treatment of brewery wastewater for biogas production using UASB reactor". *Environmental Modeling & Assessment*, 20(6), 673-685, 2015.
- [71] Golub NB, Shchurskaya EA, Trotsenko MV. "Anaerobic treatment of brewery wastewater with simultaneous hydrogen production". *Journal of Water Chemistry & Technology*, 36(2), 90-96, 2014.
- [72] Shi XY, Jin DW, Sun QY, Li WW. "Optimization of conditions for hydrogen production from brewery wastewater by anaerobic sludge using desirability function approach". *Renewable Energy*, 35(7), 1493-1498, 2010.
- [73] Bedini S, Flamini G, Girardi J, Cosci F, Conti B. "Not just for beer: evaluation of spent hops (*Humulus lupulus* L.) as a source of eco-friendly repellents for insect pests of stored foods". *Journal of Pest Science*, 88(3), 583-592, 2015.
- [74] Baranowski K, Baca E, Salamon A, Michalowska D, Meller D, Karas M, Rolno-Spozywczygo IBP. "Possibilities of retrieving and making a practical use of phenolic compounds from the waste products: Blackcurrant and chokeberry pomace and spent hops". *Zywnosc Nauka Technologia Jakosc*, 16(4), 100-109, 2009.
- [75] Krause E, Yuan Y, Hajirahimkhan A, Dong H, Dietz BM, Nikolic D, Pauli FG, Bolton JL, van Breemen RB. "Biological and chemical standardization of a hop (*Humulus lupulus*) botanical dietary supplement". *Biomedical Chromatography*, 28(6), 729-734, 2014.
- [76] Fiesel A, Ehrmann M, Geßner DK, Most E, Eder K. "Effects of polyphenol-rich plant products from grape or hop as feed supplements on iron, zinc and copper status in piglets". *Archives of Animal Nutrition*, 69(4), 276-284, 2015.
- [77] Ziemiński K, Romanowska I, Kowalska M. "Enzymatic pretreatment of lignocellulosic wastes to improve biogas production". *Waste Management*, 32(6), 1131-1137, 2012.
- [78] Oosterveld A, Voragen AG, Schols HA. "Characterization of hop pectins shows the presence of an arabinogalactan-protein". *Carbohydrate Polymers*, 49(4), 407-413, 2002.
- [79] Luzak B, Golanski J, Przygodzki T, Boncler M, Sosnowska D, Oszmianski J, Watala C, Rozalski M. "Extract from spent hop (*Humulus lupulus* L.) reduces blood platelet aggregation and improves anticoagulant activity of human endothelial cells in vitro". *Journal of Functional Foods*, 22, 257-269, 2016.
- [80] Ferreira IMPLVO, Pinho O, Vieira E, Tavela JG. "Brewer's *Saccharomyces* yeast biomass: characteristics and potential applications". *Trends in food science & Technology*, 21(2), 77-84, 2010.
- [81] Champagne CP, Gaudreau H, Conway J. "Effect of the production or use of mixtures of bakers or brewers yeast extracts on their ability to promote growth of lactobacilli and pediococci". *Electronic Journal of Biotechnology*, 6(3), 185-197, 2003.
- [82] York SW, Ingram LO. "Ethanol production by recombinant *Escherichia coli* K011 using crude yeast autolysate as a nutrient supplement". *Biotechnology Letters*, 18(6), 683-688, 1996.
- [83] Pejcin J, Radosavljević M, Kocić-Tanackov S, Đukić-Vuković A, Mladenović D, Mojović L. "Corrected: The influence of brewers' yeast addition on lactic acid fermentation of brewers' spent grain hydrolysate by *Lactobacillus rhamnosus*". *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 20(4), 193-196, 2016.
- [84] Jiang M, Chen K, Liu Z, Wei P, Ying H, Chang H. "Succinic acid production by *Actinobacillus succinogenes* using spent brewer's yeast hydrolysate as a nitrogen source". *Applied biochemistry and biotechnology*, 160(1), 244-254, 2010.
- [85] Thammakiti S, Supphantharika M, Phaesuwan T, Verduyn C. "Preparation of spent brewer's yeast  $\beta$ -glucans for potential applications in the food industry". *International Journal of Food Science & Technology*, 39(1), 21-29, 2004.
- [86] Liu XY, Wang Q, Cui SW, Liu HZ. "A new isolation method of  $\beta$ -D-glucans from spent yeast *Saccharomyces cerevisiae*". *Food Hydrocolloids*, 22(2), 239-247, 2008.
- [87] Vieira E, Cunha SC, Ferreira IM. "Characterization of a potential bioactive food ingredient from inner cellular content of brewer's spent yeast". *Waste and Biomass Valorization*, 10(11), 3235-3242, 2019.
- [88] Rakin M, Baras J, Vukasinovic M. "The influence of brewer's yeast autolysate and lactic acid bacteria on the production of a functional food additive based on beetroot juice fermentation". *Food Technology and Biotechnology*, 42(2), 109-113, 2004.
- [89] Pinto M, Coelho E, Nunes A, Brandão T, Coimbra MA. "Valuation of brewers spent yeast polysaccharides: A structural characterization approach". *Carbohydrate Polymers*, 116, 215-222, 2015.
- [90] Lamoolphak W, Goto M, Sasaki M, Supphantharika M, Muangnapoh C, Prommuag C, Shotipruk A. "Hydrothermal decomposition of yeast cells for production of proteins and amino acids". *Journal of Hazardous Materials*, 137(3), 1643-1648, 2006.
- [91] Sosa-Hernández O, Parameswaran P, Alemán-Nava GS, Torres CI, Parra-Saldívar R. "Evaluating biochemical methane production from brewer's spent yeast". *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, 43(9), 1195-1204, 2016.
- [92] Riordan C, Bustard M, Putt R, McHale AP. "Removal of uranium from solution using residual brewery yeast: combined biosorption and precipitation". *Biotechnology Letters*, 19(4), 385-388, 1997.

- [93] Ryu BG, Kim K, Kim J, Han JI, Yang JW. "Use of organic waste from the brewery industry for high-density cultivation of the docosahexaenoic acid-rich microalga, *Aurantiochytrium* sp. KRS101". *Bioresource Technology*, 129, 351-359, 2013.
- [94] Ryu BG, Kim J, Kim K, Choi YE, Han JI, Yang JW. "High-cell-density cultivation of oleaginous yeast *Cryptococcus curvatus* for biodiesel production using organic waste from the brewery industry". *Bioresource Technology*, 135, 357-364, 2013.
- [95] Zhang N. *Mixotrophic Cultivation of Microalgae for Biomass Production Optimization Using Statistical Methods*. MSc Thesis, Clemson University, South Carolina, United States, 2016.
- [96] Ferraz E, Coroado J, Silva J, Gomes C, Rocha F. "Manufacture of ceramic bricks using recycled brewing spent Kieselguhr". *Materials and Manufacturing Processes*, 26(10), 1319-1329, 2011.
- [97] Russ W. *Examples of Special Case Studies in Different Branches*. Editors: Oreopoulou, V, Russ, W. Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry, 259-272, New York, USA, Springer, 2007.
- [98] Russ W, Mörtel H, Meyer-Pittroff R, Babeck A. "Kieselguhr sludge from the deep bed filtration of beverages as a source for silicon in the production of calcium silicate bricks". *Journal of the European Ceramic Society*, 26(13), 2547-2559, 2006.