



Elma posasından biyohidrojen üretimine farklı yükleme oranlarının etkisi

Effect of different loading rates on biohydrogen production from apple pulp

Furkan Baş^{1*}, Hamdi Muratçobanoğlu², Begüm Öznur Gökçek³, Sevgi Demirel⁴

¹ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde Türkiye
^{2,3,4} Niğde Ömer Halisdemir University, Çevre Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde Türkiye

Öz

Küresel çevre problemleri ve modern dünyanın artan enerji talebi alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışını ortaya çıkarmıştır. Alternatif enerji kaynaklarının başında ise yüksek enerji içeriğine sahip olması, enerji taşıyıcısı olması ve çevre dostu olması gibi avantajları nedeniyle hidrojen gelmektedir. Hidrojen üretim prosesleri; elektrokimyasal yöntemler, termal yöntemler ve biyolojik hidrojen üretimi olarak sıralanabilir. Bu yöntemler arasında daha sürdürülebilir olması nedeniyle biyolojik yöntemler ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, biyolojik bir proses olan karanlık fermantasyon yöntemi ile elma posasından biyohidrojen üretimi incelenmiştir. Elma posası kullanılarak, aşı çamuruna uygulanan fiziksel ön işlem (90°C- 30 dk) sonrası farklı substrat/aşı (S/I) yükleme oranlarında kesikli reaktörlerden elde edilen biyohidrojen verimleri karşılaştırılmıştır. En iyi performansı gösteren S/I 2 yükleme koşullarında uçucu katı başına (UK) 208 ml/gUK biyogaz ve 18 mlH₂/gUK biyohidrojen üretimi gerçekleşmiştir. Mikrobiyal dağılım sonuçları incelendiğinde *Lactobacillus*, *Clostridium* ve *Lachnospiraceae* türlerinin en baskın türler olduğu görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Biyohidrojen, Elma posası, Karanlık fermantasyon, Metagenomik analiz

Abstract

Global environmental problems and the increasing energy demand of the modern world have revealed the search for alternative and renewable energy sources. Hydrogen is one of these sources and has advantages such as having high energy content, being an energy carrier and being environmentally friendly. Hydrogen production processes can be lined as electrochemical methods, thermal methods, and biological hydrogen production. Among these methods, biological methods come to the fore because they are more economical and sustainable. In this study, biohydrogen production from apple pulp by dark fermentation method, which is a biological process, was investigated. Biohydrogen yields obtained from batch reactors at different substrate/inoculum (S/I) ratios were compared after physical pretreatment on inoculum (90°C-30 min). S/I 2 was the best performance yielded for per volatile solid (VS) 208 ml/gVS biogas and 18 mlH₂/gVS biohydrogen production. When the microbial distribution results are examined, it is seen that *Lactobacillus*, *Clostridium* and *Lachnospiraceae* are the most dominant species.

Keywords: Biohydrogen, Apple pulp, Dark fermentation, Metagenomic analysis

1

1 Giriş

Nüfus artışı ve küreselleşme ile özellikle gelişmekte olan ülkelerin günlük ihtiyaçlarının karşılanması için gerekli olan enerji ihtiyaçları hızla artmakta ve bu durum yakıt tüketimindeki talepleri de arttırmaktadır. Bu da mevcut fosil yakıt rezervlerinin (petrol ve doğalgaz gibi) tükenme tehlikesini doğurmaktadır [1]. Günümüzde yenilenemeyen enerji kaynağı olan fosil yakıtlar dünya enerji ihtiyacının yaklaşık %80'ini karşılamaktadır [2]. Karbon, hidrojen, kükürt ve azot gibi atomlar içeren fosil yakıtların tüketimi atmosfere karbon dioksit, sülfür dioksit ve karbon monoksit gibi gazlar salınmasına neden olmaktadır. Bu sera gazlarının uzun süreli çevreye salınımı küresel ısınma gibi çevreyi ve canlıları etkileyen olumsuz sonuçlar doğurmaktadır [3]. Yenilenebilir enerji kaynakları hızla tükenmekte olan ve yoğun CO₂ içeren fosil yakıtlara alternatif olarak geliştirilmektedir. Yakıtlardan meydana gelen CO₂ emisyonları yakıtın karbon içeriğine ve karbon/hidrojen

(C/H) oranına bağlıdır. Yakıttaki C/H oranı ne kadar düşük olursa, yakıtın enerji verimi de o kadar yüksek olur ve yanmadan kaynaklanan CO₂ emisyonu da düşer. Yakıt olarak kullanılan odun, kömür, petrol ve doğal gazla kıyaslandığında hidrojen, su buharı ve ısı dışında herhangi bir emisyon ortaya çıkarmamaktadır. Hidrojen gibi biyoyakıtların C/H oranı sıfırdır. Bu yüzden hidrojenin yakıt olarak kullanılması atmosfere salınan CO₂ miktarını azaltacağı düşünülmektedir. Hidrojen üretim teknolojisinin giderek gelişmesiyle tükenmekte olan fosil yakıtlara güçlü bir alternatif olacağı düşünülmektedir [4]. Avrupa Yeşil Mutabakatı ile 2050'de karbon nötr bir Avrupa yaratmak ve "Sınırdan karbon düzenlemesi" ile hidrojen enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha fazla ilgi çekmektedir. Hidrojen kütle bazında yüksek enerji yoğunluğuna sahip enerji taşıyıcısı olmasından dolayı fosil yakıtlardan üretilebilmesinin yanında biyokütle kaynakları kullanarak da üretilebilmektedir. Hidrojen üretimi için elektrokimyasal, termokimyasal ve biyolojik yöntemler

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: furkanbas@ohu.edu.tr (F. Baş)

Geliş / Received: 21.06.2022 Kabul / Accepted: 12.11.2022 Yayınlanma / Published: 15.01.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1133871

uygulanmaktadır. Biyolojik yöntemlerle hidrojen üretiminin ekonomik bedeli ile ilgili çalışmalar incelendiğinde doğrudan biyofotolizde 2.13-7.24 \$/kg, dolaylı biyofotolizde 1.42 \$/kg ve karanlık fermentasyonda ise 7.54- 7.62 \$/kg aralığında olduğu görülmektedir [5]. Çevresel açıdan birçok faydası bulunan biyolojik yöntemlerin, elektrokimyasal ve termokimyasal yöntemlerle yarışabilir hale gelmesi için bu alanda yapılacak işletme koşullarının optimizasyonu ve mikroorganizmaların genetik modifikasyonu gibi konularda yeni nesil araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Hidrojen; biyofotoliz (doğrudan fotoliz-dolaylı fotoliz), fermentasyon (fotofermentasyon- karanlık-fermentasyon) veya hibrit prosesler [6,7] gibi biyolojik prosesler ile üretilebilmektedir. Bunlardan karanlık fermentasyon, heterotrofik mikroorganizmaların ışık yokluğunda organik maddeyi fermentasyonu atık azaltımı sağlarken hidrojen üretimini gerçekleştiren bir yöntemdir [8]. Karanlık fermentasyon prosesinde biyokütle kaynağı, anaerobik bakteriler yardımıyla belirli sıcaklıkta karanlık bir ortamda fermentasyona uğratılır ve hidrojen üretilir. Biyokütle kaynağı kullanılarak elde edilen hidrojen biyohidrojen olarak adlandırılmaktadır. Karanlık fermentasyon yöntemi ile hidrojen üreten sistemlerin verimi %85'lere kadar çıkabilmektedir [9]. Öte yandan yapılan güncel çalışmalar incelendiğinde karanlık fermentasyon yöntemi ile %99.5'e varan saflıkta hidrojen üretimi gerçekleştirilebilmektedir [10]. Tarım, ağaç işleme ve ormancılık atıkları, gıda atıkları, hayvansal ve kentsel katı atıklar, biyohidrojen üretimi için kullanılan biyokütle kaynaklarıdır [11]. Bu atıkların organik içerikleri birbirlerinden farklı olup buna bağlı olarak bu atıklardan üretilebilecek biyohidrojen miktarları da farklılık göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında biyokütle kaynağı olarak kullanılan elma, dünya çapında büyük üretim ve tüketim oranına sahip, besin ve ticari değeri yüksek bir ürün olmakla birlikte birçok endüstriyel alanda ve birçok şekilde kullanılmaktadır. 2017 verilerine göre, elma 83 milyon ton ile dünya çapında en çok üretilen üçüncü meyve olmuştur [12]. Bu üretimin 3 milyon tonu ise Türkiye'de gerçekleşmiştir ve bu üretim miktarıyla Türkiye elma üretiminde dünyada üçüncü sıradadır [13]. Elma üretimine bağlı olarak meyve suyu ve konsantresi işletmelerinde üretim için kullanılmayan ham, çürük, kusurlu meyveler ve posadan oluşan katı atıklar meydana gelmektedir. Endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan organik atıkların enerji kaynağı olarak değerlendirilmesiyle atıkların bertaraf edilmesi sağlanırken, atıktan enerji elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, elma işleme endüstrisinden kaynaklanan atıkların doğaya zarar vermeden bertaraf edilmesi, öte yandan bu atıkların geri kazanımı sağlanarak hem döngüsel ekonomiye katkı sağlanması hem de yerli bir kaynaktan katma değeri yüksek ve verimli bir enerji kaynağı olan hidrojen üretimi amaçlanmıştır. Böylece hem ekolojik hem de ekonomik faydalar sağlanması mümkün olabilecektir. Biyohidrojen üretimini artırmak ve metan oluşturan bakterileri elimine etmek için kullanılan aşı çamuruna ön işlem uygulanmaktadır [14]. Bu ön işlemler fiziksel ve kimyasal yöntemlerdir. Fiziksel ön arıtma işlemleri; ısı, ultrason, UV, havalandırma, dondurma vs.

yöntemlerinden birisi ile yapılabilirken; kimyasal ön işlemler, pH, kimyasal aktivasyon ya da inhibisyon yöntemleri ile yapılabilmektedir. Ön işlem metodunun seçimi, baskın hale getirilmesi planlanan bakteri türüne göre değişmektedir. Çünkü her bakteri her stres uygulamasına farklı tepki vermektedir [15]. Biyokimyasal yöntemler ile H₂ üretiminde kesikli sistem işletme parametrelerinden biri de organik yükleme oranıdır, organik yükleme oranının optimize edilmesi gerçek ölçekli sistemler için hem ilk yatırım hem de işletme maliyetlerinin optimizasyonuna katkı sağlayabilmektedir. Bu çalışma ile gerçek bir elma işleme tesisi atıklarının (posa) kontrollü bir şekilde biyolojik bertarafında S/I oranının biyohidrojen üretimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2 Materyal ve metod

Bu çalışmada biyokütle atığından (elma posasından) biyohidrojen üretimi amacıyla toplam 500 ml, 150 ml çalışma hacmine sahip kesikli cam reaktörler kullanılmıştır. Farklı substrat/aşı oranlarının biyohidrojen üretimi üzerindeki etkisi S/I ise 0, 2, 4, 8 ve 10 grUK/grUK oranlarında araştırılmıştır.

2.1 Ön işlemler

Çalışmada kullanılan aşı çamuru Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi anaerobik çürütücüsünden temin edilmiştir. Temin edilen çamur yüksek miktarda metan üreten mikroorganizmalar, düşük miktarda hidrojen üreten mikroorganizmalar içermektedir. Biyolojik atıksu arıtım tesislerinde kullanılan aşı, hidrojen üreten bakterileri bulundurmamasını yanı sıra hidrojen tüketen bakteriler de ihtiva ettiği için homoasetojenler ve metanojenler gibi hidrojen kullanan mikroorganizmaların baskılanması gerekmektedir. Baskılama işlemi genellikle aşının ısı arıtımı ile spor oluşturan fermente edici bakterinin dışındaki tüm mikroorganizmaların öldürülmesi ile başarılmaktadır [16-17]. Ek olarak, termal, havalandırma, UV, pH değiştirme, aktivasyon, inhibisyon gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal ön biyohidrojen üretim verimini artırmak için de çeşitli fiziksel ve kimyasal ön işlemler biyohidrojen üretim verimini artırmak için kullanılmaktadır. Ancak her bakteri kültürünün ön işlemlere vereceği tepki farklılık göstermektedir. Öte yandan, yapılan literatür taramaları sonucunda ileri atıksu arıtım tesislerinden alınan aşı çamurlarına uygulanan termal (ısıtma) ön işlemin hidrojen üretimindeki artışa katkıda bulunduğu sonucuna varılmıştır [18-19]. Bu nedenle, hidrojen üreten mikroorganizmaların baskın hale gelebilmesi için, aşı çamuruna 90°C'de 15 dakika boyunca termal ön işlem uygulanmıştır.

Çalışmada kullanılan elma atıkları, bölgede faaliyet gösteren elma işleme tesisinden temin edilmiştir. Elma atığı içerisinde bulunan kabuk, tohum ve sap gibi odunsu yapıları mikroorganizmalar tarafından sindirilmesi oldukça zordur. Bu gibi yapılar sistem verimini olumsuz etkileyebilmektedir, bu nedenle atığa mekanik ön işlem uygulanmıştır. Elma atığı, ev tipi parçalayıcı yardımıyla homojen lapa kıvamına getirilmiş ve bakterilerin daha kolay çürütme yapabilmelerine olanak sağlanmıştır. Parçalama işlemi uygulandıktan sonra lapa haline getirilen atık 60-80

mesh elekten geçirilerek atık genelinin aynı boyutta olması sağlanmıştır.

2.1.1 Kesikli reaktör kurulumu

Çalışmada optimum S/I oranını belirlemek için farklı S/I oranlarında üç paralelli kesikli reaktörler kurulmuştur. Ön işleme tabii tutulmuş aşı çamuru içerisine ilave edilen atığın reaktör içerisinde homojen bir şekilde dağılması için çalkalamalı inkübatörde 15 dakika boyunca karıştırılmıştır. Reaktörler çalkalamalı inkübatörden alındıktan sonra reaktörler içerisine iz element (1.25 g/L NaHCO₃; 0.5 g/L NH₄Cl; 0.25 g/L KH₂PO₄; 0.25 g/L CaCl₂; 0.032 g/L NiSO₄; 0.32 g/L MgSO₄ · 7H₂O; 0.02 g/L FeCl₂; 0.0144 g/L Na₂MoO₄ · 2H₂O; 0.023 g/L ZnCl₂; 0.021 g/L CoCl₂ 6H₂O; 0.01 g/L CuCl₂ 6H₂O ve 0.03 g/L MnCl₂ · 4H₂O) ilavesi yapılmıştır. Son olarak, reaktör içerisinde bulunan oksijen ve diğer reaktif gazların sıyrılması amacıyla, reaktör 10 dakika boyunca N₂ gazından geçirilmiş ve reaktörler sızdırmaz silikon contalı kapaklarla sıkıca kapatılmıştır.

Çalışmada karanlık fermantasyon yöntemi ile kurulan kesikli reaktörlerin etrafı alüminyum folyo sarılarak sıcaklık ve ışık yalıtımı sağlanmıştır. Reaktörlerin çalışma sıcaklığı 37°C olarak belirlenmiştir.

2.1.2 Analiz yöntemleri

Üretilen biyogaz reaktör içerisinde birikmekte ve basınç oluşturmaktadır. 12 saatlik aralıklarla, yer değiştirme prensibinden yararlanılarak toplam biyogaz hacmi şırınga ile belirlenmiştir. Alınan biyogaz örneğinin gaz kromatografi analizi ile biyogaz içindeki hidrojenin yüzde oranına bağlı olarak hacimsel miktarı hesaplanmıştır. Miktarı belirlenen gazın GC (Agilent 7820A) cihazı ile H₂, CO₂ ve metanojenlerin varlığını kontrol amaçlı olarak CH₄ analizleri yapılmıştır. Toplam organik karbon (TOK) ve toplam azot (TN) analizleri TOK analizörü (Shimadzu TOC analyzer-SSM) ile yapılmıştır. Uçucu yağ asitleri (UYA) ölçümleri Shimadzu marka GC-MS QP2010 Plus model cihazda yapılmıştır (kromatografik şartlar: enjeksiyon sıcaklığı 220 °C, kolon boyutları 30mx0.53mmx0.25 µm, kolon türü SupraWAX-280° Capillary Column, helyum taşıyıcı gaz hızı 1,5 ml/dk).

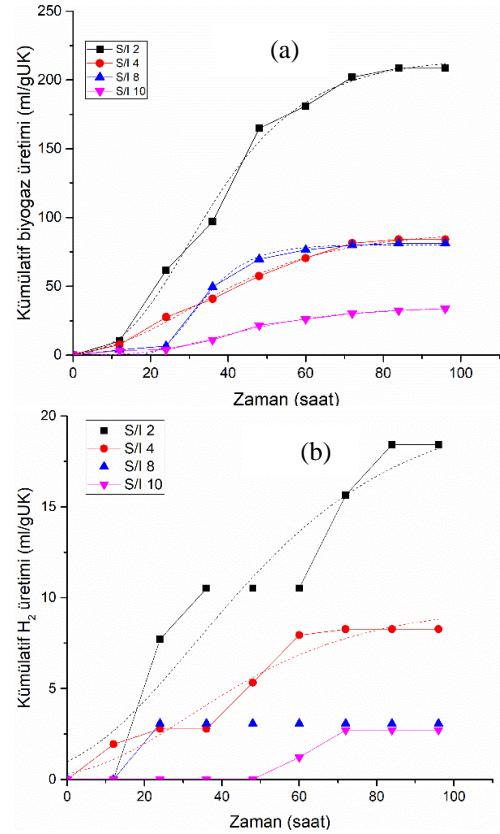
2.1.3 DNA izolasyonu ve dizileme

En uygun S/I oranını belirlemek için yapılan deneme sonuçlarında en yüksek H₂ verimi elde edilen S/I=2 reaktöründe mikrobiyal dağılımı belirlemek için 10 ml'lik biyofilm örneği alınmıştır. Alınan örnek DNA izolasyonu aşamasına kadar -20°C koşullarında saklanmıştır. Biyofilm örneğinde, DNeasy PowerSoil Kit (QIAGEN) kullanılarak, prosedürüne uygun bir şekilde DNA izolasyonu gerçekleştirilmiştir. DNA izolasyonu için 0.5 ml biyofilm örneği kullanılmıştır. İzole edilen DNA örneklerinin miktar ve kalitesi Quawell Nanodrop spektrofotometre (Q 5000, Quawell UV-VIS Spectrophotometer, USA) kullanılarak belirlenmiştir. DNA örneklerinin A 260/280 değerleri 1.8-2.0 olacak şekilde ayarlanmıştır. Mikrobiyal kompozisyondaki değişim yeni nesil dizileme tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla 16S rDNA V3-V4 gen bölgeleri hedefli olarak yeni nesil dizileme uygulaması gerçekleştirilmiştir.

3 Bulgular ve tartışma

3.1 Biyogaz ve biyohidrojen üretimi

Bu bölümde farklı yükleme oranlarında işletilmiş olan kesikli reaktörlerin biyogaz ve biyohidrojen üretimleri değerlendirilmiştir. Çalışmada 2, 4, 8, 10 gUK/gUK olmak üzere dört farklı S/I oranında denemeler gerçekleştirilmiştir. Kümülatif biyogaz ve biyohidrojen üretimleri Şekil 1'de gösterilmektedir.



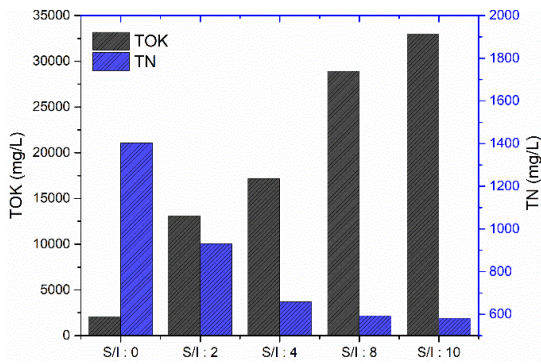
Şekil 1. Farklı yükleme oranlarındaki biyogaz* (a) ve biyohidrojen (b) üretimleri*

*Kontrol reaktörüne göre normalize edilmiştir.

S/I 2, 4, 8 ve 10 gUK/gUK yükleme oranlarındaki biyogaz üretimleri sırasıyla 208, 84, 81 ve 33 ml/gUK olarak belirlenmiştir. S/I oranının artırılması ile birim biyogaz üretiminde düşüş gözlemlenmektedir. Yükleme oranının artması ile birim mikroorganizma başına düşen besin miktarının artması sağlanmıştır, bu fazla yüklemenin mikroorganizmaların faaliyetlerinde baskılanmaya neden olduğu ve bu sebeple birim biyogaz üretiminde düşüşlerin gözlemlendiği düşünülebilir. Yükleme oranının yükseltilmesi ile gaz üretiminde düşüşler literatürde de gözlemlenmektedir [20]. Biyohidrojen üretimleri S/I 2, 4, 8 ve 10 gUK/gUK yükleme oranında sırası ile 18, 8, 3 ve 2.7 mlH₂/gUK mertebesindedir. Biyogaz üretimine benzer olarak biyohidrojen üretimi de yükleme oranının artırılmasıyla düşüş göstermektedir. S/I oranlarının artırılması ile sistemde besin miktarının artmasına bağlı olarak toplam üretilen H₂ miktarının da artması beklenebilir. Fakat, karanlık fermantasyon son ürünlerinden biri de UYA'dır, Son ürünlerin sistemde birikiyor olması sistemdeki

biyokimyasal reaksiyonların hızlarını düşürebilmekte veya tamamen durdurabilmektedir [21]. Buna bağlı olarak çalışmada S/I oranının artırılması ile (fazla besin sağlanması koşulu) sistemde UYA birikimlerinin olduğu bu sebeple biyokimyasal reaksiyonun yavaşladığı ve sonuç olarak tamamen durduğu düşünülmektedir.

Farklı yükleme oranlarındaki TOK ve TN değerleri Şekil 2’de verilmektedir. S/I 2, 4, 8 ve 10 gUK/gUK yükleme oranlarında çıkış TOK konsantrasyonları sırası ile 13124, 17168, 28913 ve 32940 mg/L, çıkış TN konsantrasyonları sırası ile 930, 658, 593 ve 581 mg/L mertebesindedir. TOK değerlerindeki yükseliş yüklenen besin miktarının artışı ile paralellik göstermektedir, çözünür forma geçen karbonlu besinin çözeltiye geçmesi ile TOK konsantrasyonunda artışlar gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Farklı yükleme oranlarındaki çıkış TOK ve TN konsantrasyonları

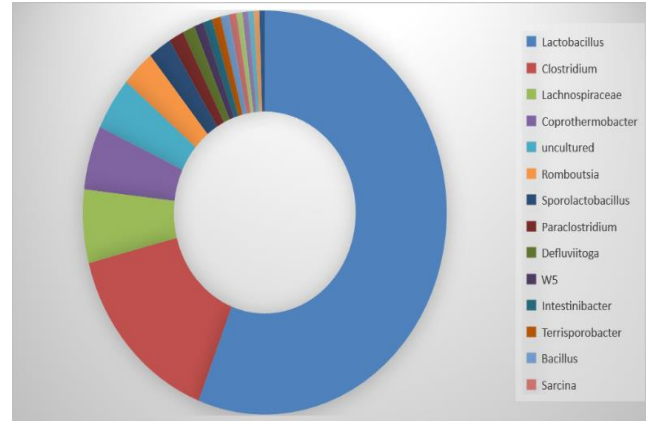
Tablo 1’de farklı yükleme oranlarındaki UYA sonuçları gösterilmektedir. S/I 2, 4, 8 ve 10 gUK/gUK yükleme oranlarındaki UYA konsantrasyonları sırasıyla 56.6, 49.3, 70.6 ve 88.1 mmol seviyesindedir, S/I 4 hariç olmak üzere UYA konsantrasyonlarının yükleme oranına bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir. Bu durumun anaerobik asit üretimi safhasında mikroorganizmaların fazla besinleri indirgeyerek UYA’ya çevirmesi yolu ile gerçekleştiği düşünülmektedir.

Tablo 1. Farklı yükleme oranlarındaki UYA konsantrasyonları

	S/I: 0	S/I: 2	S/I: 4	S/I: 8	S/I: 10
Acetic acid (CAS)	2.39	40.39	44.75	36.59	87.0
Propanoic acid (CAS)	0	0	0.36	0.28	0
Propanoic acid, 2-methyl- (CAS)	0.09	0.15	0.14	0.08	0.07
Butanoic acid (CAS)	1.01	1.37	3.17	3.13	0.51
iso-VALERIC ACID	0.13	0.30	0.26	0.21	0.23
Pentanoic acid (CAS)	0.16	0.16	0.15	0.15	0
Pentanoic acid, 4-methyl-	0.05	0.10	0.07	0.03	0.006
Hexanoic acid (CAS)	0.13	0.10	0.09	0.07	0.06
Heptanoic acid	0.27	0.26	0.27	0.24	0.21

3.2 H₂ üretimi ve mikrobiyal dağılım arasındaki ilişki

S/I=2 oranındaki reaktörden alınan biyofilm örneğine ait mikrobiyal dağılım Şekil 3’te görülmektedir. Mikrobiyal dağılım sonuçları incelendiğinde *Lactobacillus*, *Clostridium* ve *Lachnospiraceae* türlerinin en baskın türler olduğu görülmektedir (Şekil 3). Biyofilm yapısında en çok bulunan üçüncü mikroorganizma grubunu *Lachnospiraceae* oluşturmaktadır. Bu gruptaki bakteriler bütirat üreten anaerobik bakteriler olarak bilinmektedir [22]. *Clostridium* türleri H₂ üretimi ile ilgili çalışmalarda en sık rastlanan fermentatif anaerobik bakteriler arasında yer almaktadır. *Lactobacillus* ise karbonhidrat fermentasyonundan sorumlu gram pozitif bakteri grupları arasında yer alır. *Lactobacillus* ve *Clostridium* türlerinin kompleks atıkların fermentasyonunda birlikte görev aldığına sıkça rastlanmaktadır [23]. Daha önce muz ve kahve atıkları ile yapılan iki farklı çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir [24-25]. *Lactobacillus* türleri şeker kamışı gibi lifli yapıdaki karbonhidratı fermente ederek laktik asit ve asetik asit üretimine katkıda bulunurken *Clostridium* türleri bu iki asiti ve bütirik asiti kullanarak H₂ üretimini gerçekleştirirler [26]. Literatürle uyumlu bir şekilde *Lactobacillus* ve *Clostridium*’un birlikte bulunması sonucu ortaya çıkan sinerjistik etkinin H₂ üretim performansını olumlu etkilediği düşünülmektedir.



Şekil 3. Mikrobiyal dağılım

4 Sonuçlar

Elma posası atıklarından biyohidrojen üretiminde farklı S/I oranlarının verim üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, en iyi performansı gösteren S/I 2 yükleme koşullarında uçucu katı başına (UK) 208 ml/gUK biyogaz ve 18 mlH₂/gUK biyohidrojen üretimi gerçekleşmiştir. S/I oranları arttıkça biyohidrojen üretimi olumsuz etkilenmiş ve verim düşüşü gözlemlenmiştir. En iyi reaktör koşullarında yapılan metagenomik analizlerde *Lactobacillus*, *Clostridium* ve *Lachnospiraceae* türlerinin baskın türler olduğu görülmüştür. Biyokütleden H₂ üretim proseslerinin büyük ölçekte kullanımı ve ticarileşmesi konusundaki en önemli problem düşük H₂ verimi ve üretim hızıdır. Bu çalışmada elde edilen biyohidrojen verimlerinin fosil kaynaklardan hidrojen üretimi ile yarışabilir boyuta taşınması için daha ileri araştırmalara ihtiyaç vardır.

Tablo 2. Farklı çalışma koşullarında karanlık fermantasyon ile biyohidrojen üretimi

Atık	Aşısı Kültürü	Reaktör	°C	HAS	Üretim	Ref.
Meyve-sebze atıkları	Atık su arıtım tesislerinde kullanılan anaerobik çamur	Yarı sürekli cam reaktör	35	3 gün	52 ml/gUK	[27]
Şeker pancarı posası				3 gün	17-37 ml/gUK	
Fasulye atık suyu	Atık su arıtım tesisinden alınan çamur	Kesikli cam reaktör	37	24 saat	80 ml/gUK	[28]
Patates atık suyu				18 saat	150 ml/gUK	
Elma posası	İleri biyolojik atık su arıtım tesisinden alınan çamur			3-5 gün	18 ml/gUK	Bu çalışma

*HAS: Hidrolik Alınma Süresi

Tablo 2’de farklı çalışma koşullarında (atık çeşidi, kullanılan aşısı kültürü, reaktör tipi, ortam sıcaklığı, işletme süresi) karanlık fermantasyon yöntemiyle biyohidrojen üretmek amacıyla yapılan çalışmalar görülmektedir. Tablo 2 incelendiğinde aşısı kültürü, reaktör tipi, sıcaklık ve işletme süresi aynı olmasına rağmen meyve-sebze atıkları ve şeker pancarı posası arasında üretim farklarının olduğu görülmektedir. Bu farkın atıkların içerisinde bulunan, mikroorganizmaların kullanabileceği besinlerin çeşitliliği ya da bu besinlerin organizma tarafından parçalanabilme kolaylığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada kullanılan elma posası atığı için çalışma koşulları ve biyohidrojen üretimi dikkate alındığında elde edilen sonuçlar literatürde yapılan benzer çalışmalarla tutarlılık göstermektedir. Ek olarak, literatür bulguları ve elde edilen sonuçlar incelendiğinde karanlık fermantasyonla biyohidrojen üretim sürecinde iyileştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla reaktördeki mikrobiyal faaliyetleri desteklemek amacıyla nanopartikül ilavesi gibi çalışmalar yapılabilir ve bu sayede üretim verimi ve miktarı artırılabilir.

Teşekkür

Yazarlar, 121Y452 no’lu projeye desteklerinden ötürü Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu’na (TÜBİTAK) teşekkürü borç bilirlir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %12

Kaynaklar

- [1] R. Haron, R. Mat, T. Abdullah, and R. Rahman, Overview on utilization of biodiesel by-product for biohydrogen production, Journal of Cleaner Production, 172, 314-324, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.160>
- [2] M. Ali, Q. Shafique, D. Kumar, S. Kumar and S. Kumar, Energy and exergy analysis of a 747-MW combined cycle power plant Guddu, International

- Journal of Ambient Energy, 41(13), 1495-1504, 2020. <https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1517680>
- [3] J. Ratnasingam, G. Ramasamy, F. Ioras and N. Parasuraman, Assessment of the carbon footprint of rubberwood sawmilling in peninsular Malaysia: Challenging the green label of the material, BioResources, 12(2), 3490-3503, 2017. <https://doi.org/10.15376/biores.12.2.3490-3503>
- [4] B. Hüner, N. Demir and M.F. Kaya, Electrodeposition of NiCu bimetal on 3D printed electrodes for hydrogen evolution reactions in alkaline media, International Journal of Hydrogen Energy, 47(24), 12136-12146, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.009>
- [5] S. F. Ahmed, N. Rafa, M. Mofijur, I.A. Badruddin, A. Inayat, M.S. Ali and T.M. Yunus Khan, Biohydrogen production from biomass sources: metabolic pathways and economic analysis, Frontiers in Energy Research, 9, 753878, 2021. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.753878>
- [6] G. Balachandar, N. Khanna and D. Das, Biohydrogen production from organic wastes by dark fermentation, In Biohydrogen (pp. 103-144), 2013. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59555-3.00006-4>
- [7] L. Zhao, Z. Wang, H.Y. Ren, C. Chen, J. Nan, G. L. Cao, and N. Q. Ren, Residue cornstalk derived biochar promotes direct bio-hydrogen production from anaerobic fermentation of cornstalk, Bioresource Technology, 320, 124338, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124338>
- [8] G. Kumar, T. Mathimani, E.R. Rene, and A. Pugazhendhi, Application of nanotechnology in dark fermentation for enhanced biohydrogen production using inorganic nanoparticles, International Journal of Hydrogen Energy, 44(26), 13106-13113, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.131>
- [9] H. Singh, S. Rout, and D. Das, Dark fermentative biohydrogen production using pretreated Scenedesmus obliquus biomass under an integrated paradigm of biorefinery, International Journal of Hydrogen Energy, 47(1), 102-116, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.018>

- [10] D. Cheng, H. H. Ngo, W. Guo, S. W. Chang, D. D. Nguyen, L. Deng, L. and N. B. Hoang, Advanced strategies for enhancing dark fermentative biohydrogen production from biowaste towards sustainable environment, *Bioresource Technology*, 127045, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127045>
- [11] L. Rosa and M. Mazzotti, Potential for hydrogen production from sustainable biomass with carbon capture and storage, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157, 112123, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112123>
- [12] Statista, Apple production worldwide, <https://www.statista.com/statistics/961248/production-of-apples-worldwide/> Erişim tarihi: 17.09.2021.
- [13] USDA Foreign Agricultural Service, Turkey: Fresh Deciduous Fruit Annual, <https://www.fas.usda.gov/data/turkey-fresh-deciduous-fruit-annual-5> . Erişim tarihi: 17.09.2021
- [14] J. R. Banu, J. Merrylin, T. M. Usman, R. Y. Kannah, M. Gunasekaran, S. H. Kim and G. Kumar, Impact of pretreatment on food waste for biohydrogen production: a review, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(36), 18211-18225, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.09.176>
- [15] Y. Yin, J. Hu and J. Wang, Enriching hydrogen-producing bacteria from digested sludge by different pretreatment methods, *International journal of hydrogen energy*, 39(25), 13550-13556, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.01.145>
- [16] R. Ali, F. Saravia, A. Hille-Reichel, J. Gescher and H. Horn, Propionic acid production from food waste in batch reactors: Effect of pH, types of inoculums, and thermal pre-treatment, *Bioresource technology*, 319, 124166, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124166>
- [17] D. R. S. Lima, O. F. H. Adarme, B. E. L. Baêta, L. V. A. Gurgel and de S. F. Aquino, Influence of different thermal pretreatments and inoculum selection on the biomethanation of sugarcane bagasse by solid-state anaerobic digestion: a kinetic analysis, *Industrial Crops and Products*, 111, 684-693, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.048>
- [18] T. N. B. Dung, C. H. Lay, D. D. Nguyen, S. W. Chang, J. R. Banu, Y. Hong and J. H. Park, Improving the biohydrogen production potential of macroalgal biomass through mild acid dispersion pretreatment, *Fuel*, 332, 125895, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125895>
- [19] Y. Wong, T. Wu, J. Juan, A Review of Sustainable Hydrogen Production Using Seed Sludge Via Dark Fermentation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 471-482, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.008>
- [20] P. Mishra, F. Ameen, R. M. Zaid, L. Singh, Z. Ab Wahid, M. A. Islam and S. Al Nadhari, Relative effectiveness of substrate-inoculum ratio and initial pH on hydrogen production from palm oil mill effluent: kinetics and statistical optimization, *Journal of Cleaner Production*, 228, 276-283, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.317>
- [21] S. Srikanth and S. V. Mohan, Regulating feedback inhibition caused by the accumulated acid intermediates during acidogenic hydrogen production through feed replacement, *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(19), 10028-10040, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.04.152>
- [22] L. Ge, J. Qi, B. Shao, Z. Ruan, Y. Ren, S. Sui and W. Song, Microbial hydrogen economy alleviates colitis by reprogramming colonocyte metabolism and reinforcing intestinal barrier, *Gut Microbes*, 14(1), 2013764, 2022. <https://doi.org/10.1080/19490976.2021.2013764>
- [23] A. Sikora, M. Błaszczuk, M. Jurkowski and U. Zielenkiewicz, Lactic acid bacteria in hydrogen-producing consortia: on purpose or by coincidence? *INTECH open science open minds*, 488-514, 2013. <http://dx.doi.org/10.5772/50364>
- [24] R. C. da Silva Mazareli, A. C. Villa-Montoya, T. P. Delforno, V. B. Centurion, V. M. de Oliveira, E. L. Silva, and M. B. A. Varesche, Metagenomic analysis of autochthonous microbial biomass from banana waste: Screening design of factors that affect hydrogen production, *Biomass and bioenergy*, 138, 105573, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105573>
- [25] A. C. V. Montoya, R. C. da Silva Mazareli, T. P. Delforno, V. B. Centurion, V. M. de Oliveira, E. L. Silva, and M. B. A. Varesche, Optimization of key factors affecting hydrogen production from coffee waste using factorial design and metagenomic analysis of the microbial community, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(7), 4205-4222, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.062>
- [26] M. Pérez-Rangel, J. E. Barboza-Corona, M. Navarro-Díaz, A. E. Escalante and I. Valdez-Vazquez, The duo *Clostridium* and *Lactobacillus* linked to hydrogen production from a lignocellulosic substrate, *Water Science and Technology*, 83(12), 3033-304, 2021. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.186>
- [27] W. Cieciora, S. Borowski, A. Otlewska, Biohydrogen production from fruit and vegetable waste, sugar beet pulp and corn silage via dark fermentation, *Renew Energy* 153:1226–1237, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.085>
- [28] A. H. Salem, R. Brunstermann, T. Mietzel, Effect of pretreatment and hydraulic retention time on biohydrogen production from organic wastes, *Int Journal of Hydrogen Energy*, 1–10, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.01.114>

