T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIKSULARDAN ELEKTROHİDROLİZLE HİDROJEN GAZI ÜRETİMİ

Sedef ARIKAN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: **26/06/2012**

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ

2. Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Fikret KARGI

ÇANAKKALE

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

SEDEF ARIKAN tarafından **YRD. DOÇ. DR. NİLGÜN AYMAN ÖZ** ve **PROF. DR. FİKRET KARGI** yönetiminde hazırlanan "**ATIKSULARDAN ELEKTROHİDROLİZLE HİDROJEN GAZI ÜRETİMİ"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Fikret KARGI
2. Danışman

Yrd. Doç. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ
Danışman

Doç. Dr. Çetin KANTAR
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Sibel MENTEŞE
Jüri Üyesi

Yrd. Doç Dr. Nükhet ZORBA
Jüri Üyesi

Sıra No :

Tez Savunma Tarihi: 26/06/2012

Prof. Dr. İsmet KAYA
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Sedef ARIKAN

TEŞEKKÜR

Tezimi hazırlayabilmem için laboratuvar olanaklarını ve her daim bilimsel desteğini sunan, çalışmalarım sürecinde değerli vaktini ayıran, kendisiyle çalışabilme fırsatına erişebildiğim için onur duyduğum, tez danışmanım, çok saygıdeğer hocam Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Fikret Kargı'ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bilimsel ve manevi desteğini eksik etmeyen, değerli vaktini ayıran, bir bilim insanı olmasının yanında benim için çok özel bir önemi olan, tez danışmanım, çok kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Nilgün Ayman Öz'e teşekkür ederim.

Çok değerli hocalarım Doç. Dr. Önder Ayyıldız'a ve Yrd. Doç. Dr. Akın Alten'e, yüksek lisans öğrenimime katkıları için teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimimi tamamlamada bana destek olan Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Sevgili dedeme, çalışmalarıma katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Anneme, babama ve canım kardeşlerime, her şey için teşekkür ederim.

Sedef ARIKAN

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Amper
E_E	Elektrik Enerjisi
E_{H2}	Üretilen Hidrojen Gazının Enerjisi
K	Sıcaklık
mV	Mili volt
n	Hidrojenin Mol Sayısı
mg	Miligram
g	gram
l	litre
ORP	Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli
AKM	Askıda Katı Madde
TKM	Toplam Katı Madde
TUYA	Toplam Uçucu Yağ Asitleri
ɳ	Enerji Dönüşüm Verimliliği
YH_2	Hidrojen Gazı Dönüşüm Oranı
TOK	Toplam Organik Karbon
PVC	Photovoltaic Cells
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
COD	Chemical Oxygen Demand
PEM	Proton Exchange Membrane

ÖZET

ATIKSULARDAN ELEKTROHİDROLİZLE HİDROJEN GAZI ÜRETİMİ

Sedef ARIKAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ

İkinci Danışman: Prof. Dr. Fikret KARGI

26/06/2012, 79

Hızla artan enerji ihtiyacını karşılamak için fosil yakıtların aşırı kullanılması, küresel ısınma ve asit yağmurlarına yol açmıştır. Bu sebeple son 50 yılı aşkın bir süredir temiz ve yüksek enerjili yakıt arayışı önem kazanmıştır.

Hidrojen küresel ısınmaya yol açan gaz emisyonunu azaltacak temiz ve yüksek enerjili (122 kJ g^{-1}) bir yakıttır. Hidrojen gazı üretimi için geliştirilen prosesler yoğunlukla enerji eldesine yöneliktir.

Sirke fermantasyonu sonucu oluşan atıksuların yüksek asetik asit içeriği nedeniyle elektrohidrolizi ile hidrojen gazı üretimi yeni ve gelecek vaat eden bir yaklaşım sunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında sirke fermentasyonu atıksuyundan elektrohidrolizle hidrojen gazı üretimi araştırılmıştır. Uygulanan doğru akım voltajı, atıksuyun KOİ konsantrasyonu, metal elektrodun türü, yonga ve tuz katkısı gibi farklı parametrelerin hidrojen gazı üretimine etkileri sistematik olarak araştırılmıştır. Optimum voltaj 4 V, optimum başlangıç KOİ konsantrasyonu 48,6 g/l ve en uygun elektrod türü alüminyum olarak belirlenmiştir. Atıksuya ilave edilen yonga ve tuzun etkisinin araştırıldığı deneylerde hem yonga hem de tuz katkılı deneyin hidrojen üretimini maksimize ettiği belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Elektrohidroliz, doğru akım voltajı, hidrojen gazı, sirke fermantasyonu atıksuyu

ABSTRACT

HYDROGEN GAS PRODUCTION FROM WASTEWATERS BY ELECTROHYDROLYSIS

Sedef ARIKAN

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School

Chair of Environmental Engineering Thesis of Master of Science

Advisor : Yrd. Doç. Dr. Nilgün AYMAN ÖZ

Co- Advisor: Prof. Dr. Fikret KARGI

26/06/2012, 79

Utilization of fosil fuels to meet increasingly growing energy demand caused global warming and acid rains. For this reason, search for clean and high energy fuels has gained considerable attention over the last fifty years.

Hydrogen is a clean and high energy (122 kJ g^{-1}) fuel with reduced green house gas emission. Processes developed for hydrogen gas production are energy intensive.

Because of high acetic acid content of vinegar fermentation wastewater, hydrogen gas production by electrohydrolysis presents a novel and promising approach.

Hydrogen gas production by electrohydrolysis of vinegar fermentation wastewater was investigated in this study. Effects of different parameters such as applied direct current voltage, COD content of the wastewater, type of electrodes, scrap aluminum and salt addition on hydrogen gas production were investigated systematically. Optimum voltage was determined as 4 V, optimum initial COD concentration was determined as 48,6 g/l and optimum electrod type was determined as aluminum. İn the experiments which was investigated the effect of scrap aluminium and salt, both scrap aluminium and salt added experiment was maximized the hydrogen gas production.

Keywords: Electrohydrolysis, direct current voltage, hydrogen gas production, vinegar wastewater

İÇİNDEKİLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU……...….ii

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI……...iii

TEŞEKKÜR……...…….iv

SİMGELER VE KISALTMALAR…...……v

ÖZET…….vi

ABSTRACT……...……..vii

BÖLÜM 1- GİRİŞ……...…….1

1.1 Hidrojen Üretim Yöntemleri……...1

1.2. Hidrojenin Kullanım Alanları……...…….....1

BÖLÜM 2- ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR……..……..…4

BÖLÜM 3- MATERYAL VE METOTLAR……7

3.1. Uygulanan Doğru Akım Voltajının Etkisi…….7

3.1.1. Deney Düzeneği ve Prosedür……..……7

3.1.2. Analitik Yöntemler……...……..……9

3.2. Başlangıç KOİ Konsantrasyonun Etkisi……..……...…….……...9

3.2.1. Deney Düzeneği ve Prosedür……..……...……....….9

3.2.2. Analitik Yöntemler…...……...…10

3.3. Kullanılan Elektrot Türünün Etkisi…….…...…….….10

3.3.1. Deney Düzeneği ve Prosedür…...……..…….....…10

3.3.2. Analitik Yöntemler……..……....11

3.4. Atıksuya İlave Edilen Tuz ve Aluminyum Yonganın Etkisi……...…….11

3.4.1. Deney Düzeneği ve Prosedür……....11

3.4.2 Analitik Yöntemler……...……....12

3.5. Hesaplama Yöntemleri ……..…….....12

3.5.1. Toplam Hidrojen Gazı Hesaplamaları…….....……..12

3.5.2. Elektrohidroliz Deneyleri İçin Hesaplamalar……...12

BÖLÜM 4-ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....15

4.1. Uygulanan Doğru Akım Voltajının Etkisi……15

4.1.1. Hidrojen Gazı Üretimi …….....15

4.1.2. KOİ Giderimi……..……...…..19

4.1.3 pH, ORP ve İletkenlik Değişimi……..…..23

4.1.4. Enerji Dönüşüm Verimliliği…. .. ……..……..….27

4.2. Başlangıç KOİ Konsantrasyonun Etkisi……..……30

4.2.1. Hidrojen Gazı Oluşumu……...…….....31

4.2.2. KOİ Giderimleri……..…..34

4.2.3. pH, ORP ve İletkenlik Değişimleri……...…….....37

4.1.4. Enerji Dönüşüm Verimi ……...……...42

4.3. Elektrod Türünün Etkisi……...…….46

4.3.1 Hidrojen Gazı Üretimi ……....….46

4.3.2. KOİ Giderimleri…….....49

4.3.3. pH, ORP ve İletkenlik Değişimleri……..…….…...52

4.3.4. Enerji Dönüşüm Verimi…. . ……..……..…...…55

4.4. Aluminyum Yonga ve NaCl Etkileri…...……...……..….58

4.4.1. Hidrojen Gazı Üretimi ……..…...59

4.4.2. KOİ Giderimleri……..…..62

4.4.3. pH, ORP ve İletkenlik Değişimleri…….…...65

4.4.4. Enerji Dönüşüm Verimi ……..……70

BÖLÜM 5- SONUÇLAR VE ÖNERİLER…….73

KAYNAKLAR……..……77

ÇİZELGELER……..……..……I

ŞEKİLLER……...…….....II

EKLER……..VI

ÖZGEÇMİŞ……...……XXVIII

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Hidrojen Üretim Yöntemleri

Hızlı nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan ve gelişen sanayileşme büyük bir enerji gereksinimini de beraberinde getirmiştir. Enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Ancak fosil yakıtlar sera gazlarının (SO_x, NO_x ve CO_x) atmosfere salınımına, dolayısıyla küresel ısınmaya sebep olmakta ve asit yağmurlarına yol açmaktadır. Hidrojen gazı, fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında temiz ve yüksek enerjilidir (122kJ/g). Hidrojen yakıt hücrelerinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilmekte ve geleceğin önde gelen enerji taşıyıcısı olacağı düşünülmektedir (Kargı, 2011). Hidrojen gereksinimi yıllık %10'luk büyüme oranıyla hızla artmaktadır (Winter, 2005).

Dünyadaki fosil yakıt reservlerinin de hızla azaldığı ve buna bağlı olarak pahalandığı, enerji gereksinimin arttığı, çevresel problemlerin ise gittikçe arttığı bu günlerde gelişmiş ülkeler, enerji krizini aşmak için yenilebilir enerji kaynakları arayışına yönelmiştir.

Yenilebilir enerji kaynakları arasında güneş, rüzgar, jeotermal, hidroenerji, biyokütle enerjisi ve hidrojen enerjisi yer almaktadır.

Hidrojen yeryüzünde gaz olarak çok az bulunmasına rağmen diğer elementler ile bileşik yapmakta, suda ve birçok organik maddede bulunmaktadır (Penner, 2006). Bu nedenle büyükölçekli kullanım için hidrojen bitkiler, su, kömür veya doğal gaz gibi kaynaklardan elde edilmektedir. (Dinçer, 2002) Hidrojen gazı fosil yakıtlar, su ve biyokütle olmak üzere üç farklı kaynak kullanılarak üretilebilir (Das ve Veziroğlu, 2001).

Fosil yakıtlardan hidrojen üretimi hidrokarbonların kısmi oksidasyonu ve doğalgazın buhar reformasyonu ile yapılmaktadır. Buhar reformasyonu hidrokarbonlardan hidrojen üreten bir süreçtir. Hidrojen kaynağı olarak metan ya da doğal gaz kullanılır. Su buharı ve metan yüksek basınç ve sıcaklıkta kimyasal tepkime ile hidrojen ve karbon dioksite dönüşür. Üretilen hidrojenin enerji içeriği, tüketilen doğal gazdan daha yüksektir (Dinçer, 2002). Şu anda hidrojen üretiminde kullanılan en yaygın yöntem doğalgazın buhar-metan reformasyonu olup aynı zamanda mevcut olan en ucuz yöntemdir. Bu yöntem dünya hidrojen üretiminin %50'sini karşılamaktadır (Middleton, 2003). Şu anda kullanımda olan

diğer yöntemler ise kömürün gazlaştırılması ve elektrolizdir. Bunlar da dünya hidrojen üretiminin sırasıyla %18 ve %4'ünü kapsamaktadır (Middleton, 2003). Hidrokarbonların kısmi oksidasyonu hidrokarbonların katalitik olmayan kısmi oksidasyonla hidrojene dönüştürülmesidir.

Suyun elektrolizi suya elektrik akımı uygulanılarak su moleküllerinin hidrojen ve oksijene ayrılmasını sağlar.

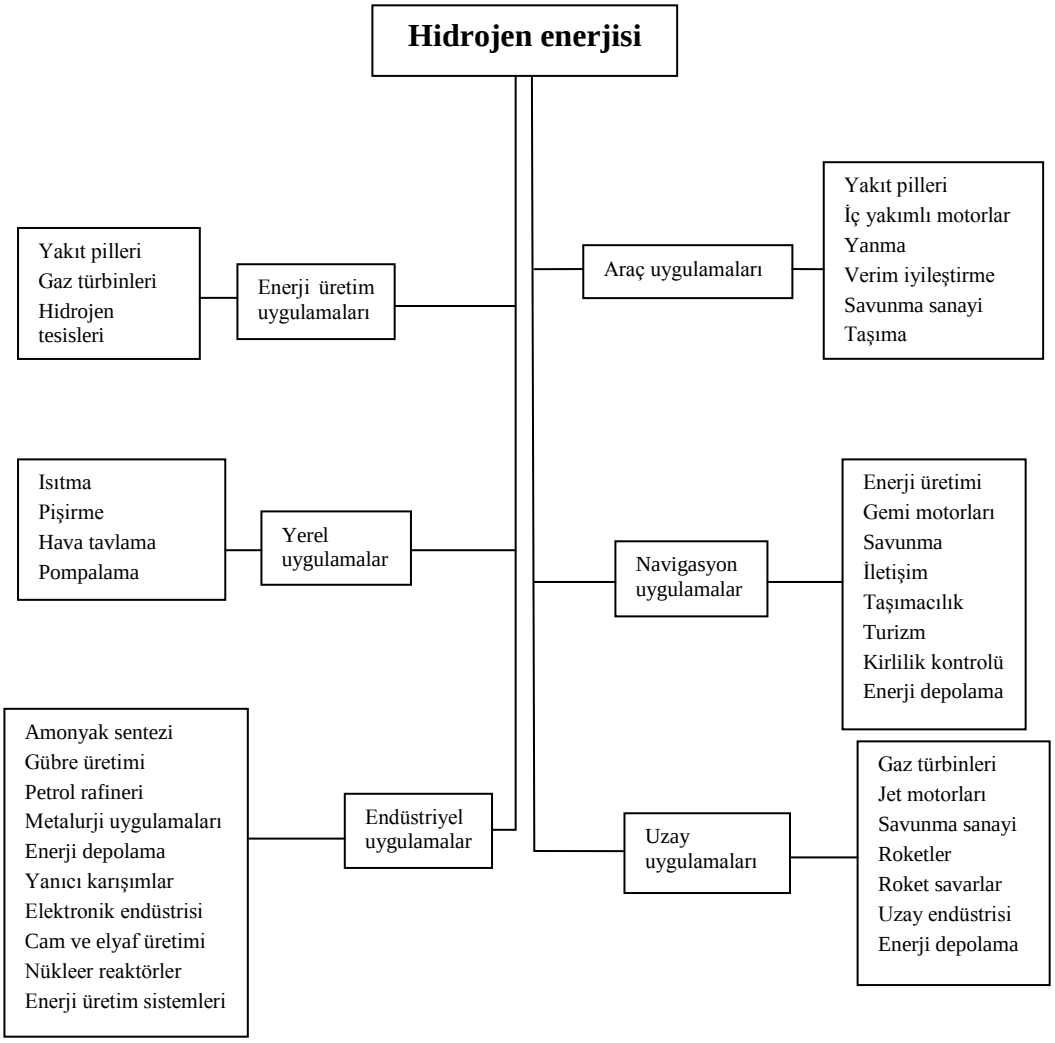
Suyun biyofotolizi ile hidrojen üretimi bazı alglerden güneş enerjisi yardımıyla hidrojen ve oksijen elde etme işlemidir. Deniz suyu içindeki algler, bir tür güneş pili gibi çalışarak deniz suyunu fotosentetik olarak ayrıştırırlar (Das ve Veziroğlu 2001).

Biyokütleden hidrojen gazı üretimi anaerobik mikroorganizmalar kullanılarak karanlık fermantasyon ile karbonhidratlardan uçucu yag asitleri, H_2, ve CO_2 üretimidir (Turner ve ark., 2007). Karanlık fermantasyon ile hidrojen üretiminde anaerobik mikroorganizmalar kullanılarak karbonhidrat metabolizması sonucunda H_2, CO_2 ve uçucu yağ asitleri üretilir (Turner ve ark., 2008). Fotofermantasyon ile hidrojen üretiminde anaerobik fotosentetik bakteriler kullanılarak ışık varlığında karbonhidrat ya da uçucu yağ asitlerinden azot yokluğu gibi stres koşulları altında hidrojen gazı üretilir (Meyer ve ark., 1978, Nandi ve ark., 1998).

1.2. Hidrojenin Kullanım Alanları

Hidrojenin yandığında ürün olarak sadece su oluşturması onu cazip bir alternatif enerji kaynağı yapmaktadır. Temiz ve yüksek verimli olması bakımından hidrojenin, 21. yüzyılın en önemli enerji kaynaklarından biri olacağı düşünülmektedir. Günümüzde dünyada her yıl 500 milyar m^3 hidrojen üretilmekte, depolanmakta, taşınmakta ve kullanılmaktadır.

Hidrojenin kullanım alanları oldukça çeşitli olmakla beraber petrokimya sanayinde ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Şekil 1.1'de hidrojenin kullanım alanları verilmiştir.



Şekil 1.1. Hidrojenin kullanım alanları (Açıkgöz, 2009).

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Hidrojenin fosil yakıtlardan üretimi yüksek enerji gereksinimi ve bu esnada oluşan kirleticilerden dolayı gerek ekonomik gerekse çevresel bakımdan sürdürülebilir bir yöntem değildir. Hidrojen gazı üretiminde metanın hidrojene dönüştürülmesi, hidrokarbonların kısmi oksidasyonu, fosil yakıtların pirolizi ve suyun elektrolizi uygulamada olan yöntemlerdir (Kim, 2003; Armor, 1999; Midilli, 2002; Ferdous, 2001).

Hidrojen doğal bir yakıt değildir. Hidrojenin üretim kaynakları oldukça çeşitlidir. Fosil yakıtlardan elde edilebildiği gibi güneş, rüzgar, hidroenerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak suyun elektrolizi ya da biyokütleden üretimi mümkündür. Günümüzde hidrojen ağırlıklı olarak doğal gazdan buhar reformasyonu sonucu elde edilmektedir. Son zamanlarda karbonhidratça zengin atıkların fermantasyon ürünü olan uçucu yağ asitlerinin elektrohidrolizi ile ve de mikrobiyal elektroliz hücreleri kullanılarak hidrojen gazı üretimi gibi yöntemler geliştirilmiştir.

Atıksu ve arıtma çamurunda elektrohidrolizle hidrojen gazı üretimi oldukça yenidir (Kargı ve Çatalkaya, 2011; Kargi ve ark., 2011). Atıksuların elektrohidrolizi, gerek enerji verimi ve hidrojen üretimi için uygulanan diğer yöntemlere göre hızlı olması, gerekse kirletici giderimi sağlaması bakımından daha avantajlıdır.

Tuna ve ark. (2009), 1-5 g/l UYA asidi içeren buğday tozu çözeltisinin karanlık fermentasyonu ürününe düşük voltajlarda (1-3 V) elektrik akımı uygulamışlardır. Kümülatif hidrojen üretimi için en uygun koşullar pH=2, 3 V uygulaması ve 5 g/l uçucu yağ asidi (UYA) içeren deney olmuştur. En yüksek enerji verimi (%56) 10.85 g/l UYA içeren çözeltide elde edilmiştir.

Seyreltilmiş zeytin işletmeleri karasuyunun elektrohidrolizle hidrojen gazı üretimi ve simultane KOİ giderimi amacıyla doğru akıma (0.5–4.0 V) maruz bırakıldığı bir çalışmada, 3 V doğru akım voltajı uygulaması en yüksek kümülatif hidrojen üretimi (3010 ml) ve hidrojen verimi (2500 ml H_2/gKOİ) sağlarken; 2 V doğru akım voltajı uygulamasında, gaz fazında hidrojen miktarı %95, %44 KOİ giderimi ve enerji verimi %95 olmuştur. Organiklerin bakteriyel dekompozisyonu sonucu oluşan uçucu yağ asitleri (UYA), doğru akım voltajı uygulamasıyla simultane KOİ giderimi ile ortama H_2 salarak ayrışmıştır.

Zeytin karasuyu elektrohidroliziyle hidrojen gazı üretiminin hızlı ve verimli bir metod olduğu gösterilmiştir (Kargı ve Çatalkaya, 2011).

Deponi sızıntı suyunun elektrohidroliziyle hidrojen üretimini ve KOİ giderimini amaçlayan bir çalışmada en yüksek hidrojen verimi,oluşum hızı ve yüzdesi 4 V DC voltajı ugulamasıyla elde edilmiştir. Enerji verimi %80,6 olarak 1 V doğru akım voltajında en yüksek değerine ulaşmıştır. En yüksek KOİ giderimi ise 4 V doğru akım voltajında % 77 olarak kaydedilmiştir (Kargı ve Çatalkaya, 2011).

Bir başka çalışmada hidrojen üretimi amacıyla atık anaerobik çamurun elektrohidrolizi (0.5-5 V) çalışılmış, uygulanan voltajın hidrojen oluşum hızına ve miktarına etkisi araştırılmıştır. En yüksek kümülatif hidrojen üretimi (2775 ml), günlük hidrojen gazı üretimi (686,7 ml/gün), hidrojen verimi (96 ml H_2/g KOİ) ve gaz fazında hidrojen yüzdesi (%94,3) olarak 2V doğru akım voltajında elde edilmiştir. Sonuçlar, atık anaerobik çamurdan hidrojen gazı eldesinin yüksek verimli, hızlı ve etkin bir metot olduğunu göstermişdir (Kargı ve ark., 2011).

Kargı (2011), ekmek mayası üretim tesisleri atıksuyundan hidrojen gazı eldesi için üç farklı elektrod (alüminyum, paslanmaz çelik ve grafit) kullanmış, en yüksek kümülatif hidrojen gazı oluşumunu (8 günde 120 L olarak) alüminyum elektrod ile, en düşük kümülatif hidrojen gazı oluşumunu (4 L) olarak grafit elektrod ile elde etmiştir.

Organik atıklara ve fermentasyon ürünlerine elektriksel güç uygulamasıyla hidrojen gazı üretimi konusunda patentler mevcuttur (Day ve Steinberg, 1980; Roychowdhury, 2000; Paterek, 2005). Ancak bu konuda yapılan yayınlar ve deneysel çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Fermentasyonla karbonhidrat içeriği yüksek hammaddelerden hidrojen gazı üretimi düşük hız ve verim nedeniyle tercih edilen bir yöntem değildir (Kapdan ve Kargı, 2006; Das ve Veziroğlu, 2001). Ancak son yıllarda yapılan ışıksız ve ışıklı fermentasyonla H_2 gazı üretiminde önemli gelişmeler kaydedilmişdir. Sağnak ve ark. (2011), asitle hidrolize edilmiş atık buğdayı, termofilik şartlarda karanlık fermantasyonla hidrojen gazı üretimi için kullanmışlar ve optimum substrat ve hücre konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Asit hidrolizini takiben gerçekleştirilen fermentasyonla H_2 gazı üretiminin bakteriyel hidroliz ve fermentasyonla karşılaştırıldığında daha etkili oldugu ortaya çıkmıştır. Suyun elektrohidrolizinden hidrojen gazı üretimi yaygın olmakla beraber enerji verimi bakımından etkin bir yöntem değildir. Suyun elektrohidrolizinden üretilen hidrojenin enerji

içeriği 3.55 kWh/m^3H_2 olmasına karşın suyun elektrohidrolizi yaklaşık 4 kWh/m^3 H_2 elektrik enerjisine gereksinim duyar. Suyun elektrohidrolizinden elde edilen hidrojen hızı ve miktarını katalitik ve yüksek sıcaklıkta buhar elektrolizi kullanılarak artırmak mümkündür. Suyun elektrohidrolizi için kullanılan PEM içeren hücreler hidrojen üretimi için net enerji gereksinimi duyar (Grigoriev ve ark., 2006). Son zamanlarda suyun elektrohidrolizi için katalitik yöntemler ve fotovoltaik hücreler (PVC) kullanılarak hidrojen üretimi geliştirilmiştir (Kargı, 2011; Obara, 2010; Gibson ve Kelly, 2010).

Eker ve Kargı (2010), fotovoltaik hücreler (PVC) ile elde edilen elektrik akımını, mekanik olarak karıştırılan ve paslanmaz çelik elektrodlar içeren kapalı bir reaktör içindeki atıksuya uygulamışlardır. Bu çalışmada 432 saat içinde 75 L %99 saflıkta H_2 gazı üretilmiştir. Atıksuyun TOK içeriği ise %12.5 azalmıştır.

Kargı ve ark. (2012), peynir altı suyu tozu çözeltisine termofilik karanlık fermentasyonu uygulamışlardır. En yüksek kümülatif hidrojen 20 g/l toplam şeker konsantrasyonuna sahip deneyde elde edilmiştir. En yüksek hidrojen gazı oluşum hızı ise 5,2 g/l ve 9,5 g/l substrat konsantrasyonlarında elde edilmiştir.

Biyohidrojen üretiminden elde edilen hidrojen gazı konsantrasyonun oldukça düşük olması ve sistemin sürdürülebilirliğinin daha zor olması bu çalışmada hidrojenin elektrohidrolizle daha verimli üretileceğini düşündürmüştür. Sirke fermentasyonu atıksuyundan hidrojen gazı üretimi şimdiye dek rapor edilmemiş olup, KOİ içeriğinin yaklaşık % 75'ini asetik asit oluşturan ve yüksek (H^+) iyonu konsantrasyonuna sahip bu atıksuyun önemli bir enerji potansiyeli taşıdığı görülmektedir.

Bu çalışmanın ana amacı sirke fermantasyonu atıksuyundan elektrohidrolizle hidrojen gazı üretiminin araştırılmasıdır. Bu çalışmanın detaylı amaçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Uygulanan doğru akım voltajının hidrojen gazı üretim hızına etkisinin araştırılması
- Atıksuyun başlangıç KOİsinin hidrojen gazı oluşum hızına,verimine ve KOİ giderimine etkisinin araştırılması
- Kullanılan elektrod türünün hidrojen gazı oluşum hızına etkisinin araştırılması
- Atıksuya ilave edilen tuz ve yonganın hidrojen gazı oluşum hızına etkisinin araştırılması
- Hidrojen gazı verimini ve oluşum hızını maksimize eden en uygun işletme parametrelerini belirlemek

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOTLAR

3.1. Uygulanan Doğru Akım Voltajının Etkisi

3.1.1. Deney Düzeneği ve Prosedür

Deney düzeneği doğru akım güç kaynakları (TT-T-ECHNI-C MCH-305T and MCH-305D-II, Çin), 500 ml seyreltilmiş atıksu içeren 1'er litrelik serum şişeleri ve her şişe için iki aluminyum elektrottan oluşmaktadır. Aluminyum elektrodlar 24.6 cm uzunluğunda ve 6 mm çapında olup atıksu içeren şişelere daldırılmıştır. Şişeler silikon tıpa ve ardından kapakla sıkıca kapatıldıktan sonra gaz sızmasını tamamen önlemek amacıyla silikonla kaplanmıştır. Şişeler daha sonra kablolar ile doğru akım güç kaynaklarına bağlanmıştır. Bütün deney setleri oda sıcaklığında (25 ^{o}C) gerçekleştirilmiştir. Her bir şişeye 0.5 V- 4 V aralığında doğru akım voltajı uygulanmıştır. Sirke üretimi atıksuyu Fersan, İzmir'den temin edilmiştir. Deneyde seyreltilmiş atıksu kullanılmıştır. Sisteme uygulanan voltaj ve geçen akım deney süresince avometre ile izlenmiştir. Ancak elektrotların korozyonu ve atıksuyun bileşiminin deney süresince değişimi sonucu sistemin direncinin değişimine bağlı olarak sistemden geçen akım yoğunluğu (mA) değişiklik göstermiştir. Akım yoğunlukları hem kullanılan güç kaynağından hem de sisteme seri bağlanan avometreden (T-TTECHNI-C- MY64, Çin) takip edilmiştir. Üretilen hidrojen gazı serum şişelerinin üst boşluğunda toplanmıştır.

Ayrıca her doğru akım voltajı için, biri atıksu biri su olmak üzere iki kontrol deneyi yapılmıştır. Atıksu kontrolü sadece biyolojik aktivite sonucu oluşan hidrojen gazının belirlenmesi için, su deneyi ise sudan elektrolizle oluşan hidrojen gazının tayini için yapılmıştır. Atıksu kontrolüne akım verilmemiş, su kontrolüne ise voltaj uygulanmıştır. Şekil 3.1. deney düzeneğini göstermektedir.



Şekil.3.1. Deney düzeneği

Çizelge 3.1.'de ham ve seyreltilmiş atıksu karakterizasyonuna ait değerler verilmiştir.
Çizelge 3.1. Ham ve seyreltilmiş atıksu karakterizasyonu

	Ham Atıksu	**Seyreltilmiş Atıksu**
pH	2.85	2.98
ORP (mV)	220.3	180.0
İletkenlik (mS/cm)	2.75	1.82
KOİ (mg/l)	66300	33149
Asetik Asit (mg/l)	40000	19200
TVFA(mg/l)	50000	25000
TKM (g/l)	14.26	7.70
AKM (mg/l)	830	520
Toplam N (mg/l)	162.4	81.2
NH_4-N (mg/l)	14.0	7.0
Toplam- P (mg/l)	92.0	46.0

Anotta bulunan aluminyum elektrot doğru akım voltajı uygulamasıyla aşağıdaki eşitlikteki gibi çözeltiye Al(III) iyonlarını salar.

$$\text{Anod : } Al^{o} \rightarrow Al(III) + 3e^{-} \quad (3.1)$$

Serbest elektronlar atıksudaki organik bileşiklerin ayrışması sonucu serbest kalan protonlarla birleşir.

$$HAc \rightarrow Ac^{-} + H^{+} \quad (3.2)$$

$$nH^{+} + ne^{-} \rightarrow n/2\ H_2(g) \quad (3.3)$$

Atıksudaki yağ asitleri asetik ve laktik asitten oluşmaktadır. Bu yağ asitleri ayrışarak ortama proton salarlar. Elektrik akımıyla ortama verilen elektronlarla protonlar reaksiyona girerek H_2 gazı oluştururlar. Bir kısım Al(III) iyonları serbest elektronlarla reaksiyona girerek elementel aluminyum (Al^{o}) olarak katodun yüzeyinde birikmiştir.

$$\text{Katod : } Al(III) + 3e^{-} \rightarrow Al^{o} \quad (3.4)$$

Deneyin başında oluşan hidrojenin net tesbiti için sistemden argon gazı geçirilmek suretiyle başlangıç hidrojen konsantrasyonu sıfırlanmıştır.

Atıksu içeren şişeler sırasıyla 0,5 V, 1 V, 2 V, 3 V ve 4 V doğru akım voltajlarında işletilmiştir. Her gün hidrojen gazı konsantrasyonu ve toplam gaz ölçümünden sonra şişelerden 10'ar ml sıvı örnekler alınmış ve bu örneklerden hergün pH, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ölçümleri yapılmıştır.

Ayrıca, toplam katı madde (TKM), askıda katı madde (AKM), iletkenlik ve asetik asit ölçümleri de deneyin başında ve sonunda yapılmıştır.

3.1.2. Analitik Yöntemler

Şişelerden her gün örnekler alınmış ve KOİ analizleri önce 8000 rpm de 20 dakika santrüjlendikten sonra kapalı reflux yöntemi (Greenberg, ve ark., 2005) kullanılarak standart metotlara göre yapılmıştır.

pH ve oksidasyon redüksiyon potansiyeli (ORP) ölçümleri, pH ve ORP metre kullanılarak (WTW Scientific, Almanya) ilgili problar yardımıyla ölçülmüştür. İletkenlik Hach & Lange iletkenlik ölçer (Model 58258-00, Almanya) ile belirlenmiştir. Asetik ve laktik asit ölçümleri HPLC (HP Agilent 1100 Series, Almanya) ile standart metotlara göre yapılmıştır. Toplam uçucu yağ asitleri (TUYA) analitik kitler (Spectroquant, 1.01763. 0001, Merck, Darmstadt, Almanya) ve spektrometre (WTW Photolab S12) kullanılarak analizlenmiştir.

Hidrojen gazı, gaz kaçırmaz cam şırıngalarla şişelerin üst kısmından örneklenmiştir. Gaz fazındaki hidrojen gazı konsantrasyonu gaz kromatografı (HP Agilent 6890) kullanılarak ölçülmüştür. Kolon olarak AllTech, Hayesep D 80/100 6” × 1/8” × 085”, Taşıyıcı gaz olarak 30 ml/dk akış hızında ve 22 psi basınçta azot gazı kullanılmıştır. Fırın, enjeksiyon, detektör ve alev sıcaklıkları sırasıyla 35 ^{o}C, 120 ^{o}C, 120 ^{o}C, 140 ^{o}C’ dir.

Üretilen toplam gaz hacmi her gün bileşik kaplar prensibine dayalı olarak gaz-sıvı yer değiştirme sistemi kullanılarak belirlenmiştir. Toplam gazın içinde tutuldugu sıvı faz, sülfirik asit (%2) ve NaCl (%10) çözeltisi içermektedir.

3.2. Başlangıç KOİ Konsantrasyonunun Etkisi

3.2.1. Deney Düzeneği ve Prosedür

Deney düzeneği ve prosedür 3.1.1. deki ile aynıdır. Bu deneyde her şişeye aynı doğru akım voltajı uygulanmış ve şişelerin içindeki atıksuyun KOİ konsantrasyonları belli aralıklarda seçilmiştir. KOİ derişimlerine göre değişen diğer atıksu özellikleri Çizelge 3.2 de verilmiştir. Seyreltilen atıksuyun KOİ konsantrasyonları 9,66-48,61 g/l aralığında seçilmiştir.Sisteme uygulanan voltaj 4 V olarak sabit tutulmuşdur. Bu deneylere parallel olarak hiç akım vermeden kontrol atıksu deneyleri ve su kontrolü için de 4 V da bir deney yürütülmüştür.

Atıksu içeren şişelerin tamamı 4 V doğru akım voltajında işletilmiştir. Her gün hidrojen gazı konsantrasyonu ve toplam gaz ölçümünden sonra şişelerden 10'ar ml sıvı örnekler alınmış ve bu örneklerden her gün pH, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, toplam katı madde (TKM), askıda katı madde (AKM), iletkenlik ve asetik asit ölçümleri de deneyin başında ve sonunda yapılmıştır.

Çizelge 3.2. Seyreltilmiş atıksuların başlangıç karakteristik özellikleri

KOI	**Voltaj (V)**	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Asetik asit (mg/l)**
10 g/l	4	3,22	220	0,95	160	2430	6147
20 g/l	4	3,05	209	1,33	330	4870	12270
30 g/l	4	2,97	200	1,69	490	7300	18237
40 g/l	4	2,94	192	2,04	650	9600	24347
50 g/l	4	2,91	185	2,34	810	12100	30134

3.2.2. Analitik Yöntemler

Bölüm 3.1.2. ile aynı analitik yöntemler kullanılmıştır.

3.3. Kullanılan Elektrot Türünün Etkisi

3.3.1. Deney Düzeneği ve Prosedür

Deney düzeneği ve prosedür 3.1.1. dekiyle aynıdır. Bu deneyde sistemdeki tüm şişelere aynı KOİ konsantrasyonuna sahip (33164 mg/l) seyreltilmiş atıksular konulmuş ve sisteme uygulan voltajda her şişe için 4 V da tutulmuştur. KOİ konsantrasyonun ve voltajın sabit tutulduğu bu deneyde kullanılan elektrodun türünün hidrojen gazına etkisi incelenmiştir. Elektrot olarak aynı boy çapa sahip (24,5 cm uzunluğunda ve 6mm çaplı) aluminyum, bakır ve paslanmaz çelik çubuklar kullanılmıştır. Her bir şişe için aynı voltaj uygulanmış (4 V) su kontrolleri ve voltaj uygulanmaksızın atıksu kontrollerinin deneyleri de aynı zamanda gerçekleştirilmiştir.

Atıksu içeren şişelerin tümü 4 V doğru akım voltajında işletilmiştir. Her gün hidrojen gazı konsantrasyonu ve toplam gaz ölçümünden sonra şişelerden 10'ar ml sıvı örnekler alınmış ve bu örneklerden her gün pH, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) ve

kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, toplam katı madde (TKM), askıda katı madde (AKM), iletkenlik ve asetik asit ölçümleri de deneyin başında ve sonunda yapılmıştır. Kullanılan atıksuyun özellikleri Çizelge 3.3' de verilmişdir

Çizelge 3.3. Atıksuyun başlangıç karakteristik özellikleri

	KOİ (mg/l)	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Asetik asit (mg/l)**
Atıksu	33164,49	3,0	195	1,82	680	8440	19337

3.3.2. Analitik Yöntemler

Bölüm 3.1.2. ile aynı analitik yöntemler kullanılmıştır.

3.4. Atıksuya İlave Edilen Tuz ve Aluminyum Yonganın Etkisi

3.4.1. Deney Düzeneği ve Prosedür

Deney düzeneği ve prosedür 3.1.1. dekiyle aynıdır. Bu deneyde her şişeye aynı doğru akım voltajı (4 V) uygulanmıştır.Bu deney 2 set olarak gerçekleştirilmiştir. İlk sette normal atıksu (Al ve tuz ilavesiz) içeren şişe, 1 g/l aluminyum yonga ilaveli atıksu, 1 g/l NaCl tuzu ilaveli atıksu ve 1 g/l yonga + 1 g/l NaCl tuzu ilaveli atıksu deneyleri bulunmaktadır. Ayrıca bu atıksuların doğru akım voltajı uygulanmaksızın kontrolleri de aynı anda yürütülmüştür. Tüm atıksular seyreltilmiştir. Bu atıksuların başlangıç özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

İkinci sette normal su (Al ve tuz ilavesiz) içeren şişe, 1 g/l aluminyum yonga ilaveli su, 1 g/l NaCl tuzu ilaveli su ve 1 g/l yonga + 1 g/l NaCl tuzu ilaveli su bulunmaktadır. Tüm sulara 4 V akım uygulanmıştır. Amaç Al yonga ve tuzun suyun elektrolizinden elde edilecek hidrojen gazına etkisini görmektir.

Çizelge 3.4. Farklı katkılı atıksuların başlangıç özellikleri

	KOİ (mg/l)	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Asetik asit (mg/l)**
Normal	33164	3,03	225	1,80	650	8500	19420
+ Al yonga	33164	3,03	220	2,04	1500	9300	19060
+Tuz	33164	2,90	215	4,61	700	9200	18895
Al yonga+Tuz	33164	2,90	205	5,01	1500	10000	18859

Her gün hidrojen gazı konsantrasyonu ve toplam gaz ölçümünden sonra şişelerden 10'ar ml sıvı örnekler alınmış ve bu örneklerden her gün pH, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, toplam katı madde (TKM), askıda katı madde (AKM), iletkenlik ve asetik asit ölçümleri de deneyin başında ve sonunda yapılmıştır.

3.4.2 Analitik Yöntemler

Bölüm 3.1.2. ile aynı analitik yöntemler kullanılmıştır.

3.5. Hesaplama Yöntemleri

3.5.1. Toplam Hidrojen Gazı Hesaplamaları

Kümülatif hidrojen gazı üretimi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Logan ve ark., 2002):

$$VH_{2,i} = VH_{2,i-1} + VW \quad CH_{2,i} + VG_i \, CH_{2,i} - VG_{i-1} \, CH_{2,i-1} \qquad (3.5)$$

$VH_{2,i}$ ve $VH_{2,i-1}$: i. ve önceki ölçüm sonrası hesaplanan kümülatif hidrojen hacimleri (ml)

VW: manometre ile ölçülen toplam gaz hacmi (ml)

$CH_{2,i}$: manometreyle ölçülen toplam gazın H_2 gazı konsantrasyonu (%)

VG_i ve VG_{i-1}: i. ve önceki ölçüm için şişenin üst boşluğundaki gaz hacimleri (ml)

$CH_{2,i}$ ve $CH_{2,i-1}$: i. ve önceki ölçüm için şişenin üst boşluğundaki H_2 gazı konsantrasyonu (%)

3.5.2. Elektrohidroliz Deneyleri İçin Hesaplamalar

Sisteme sağlanan elektrik enerjisi aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_e = V * \int (I * t) \qquad (3.6)$$

Ee: Doğru akım güç kaynağı tarafından sisteme sağlanan elektrik enerjisi (J)

V: Uygulanan voltaj (V)

I: Periyodik olarak avometre ile ölçülen akım (A)

t: Doğru akım voltajı uygulama süresi (s)

Akım yoğunluğu (A) sistemin direncindeki değişikliklerden dolayı deney süresince değişmiştir.

Hidrojen gazı miktarı ideal gaz kanunu ile hesaplanmıştır.

$P * V_{H2} = (m/M) * R * T$ (3.7)

P: Basınç (1 atm);

V_{H2}: Kümülatif hidrojen gazı hacmi

m: Kümülatif hidrojen gazı kütlesi (g);

M: Hidrojen gazının molekül ağırlığı (2 g/ mol)

R : Gaz sabiti (0.082 L atm/ molK)

T : Mutlak sıcaklık (K)

Üretilen Hidrojen gazının enerji içeriği aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$E_{H2} = m * (122\ kJ/g)$ (3.8)

E_{H2}: Üretilen hidrojen gazının enerji eşdeğeri (kJ)

m : Belirli zaman aralığında üretilen hidrojen gazı kütlesi (g)

Günlük akım yoğunlukları ve hidrojen gazı üretimine bağlı olarak sistemin enerji verimliliği deney boyunca değişmiştir. Ancak bu çalışmada deney süresi boyunca toplamda sistemin harcadığı elektrik enerjisine bağlı enerji dönüşüm verimliliği rapor edilmiştir.

Sistemin enerji verimliliği denklem 3.9 kullanılarak hesaplanmıştır.

$\eta = E_{H2} / E_e$ (3.9)

Hidrojen gazı verimi de (mL H_2/ g KOİ) KOİ giderimi baz alınarak aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

V_{H2}: İşletme süresi bitimindeki kümülatif hidrojen gazı hacmi (ml)

V : Şişenin içindeki atıksu hacmi (ml)

S_o ve S: Başlangıç ve sondaki KOİ(g/l)

$$Y_{H2}=V_{H2}/V(S_o-S) \quad (3.10)$$

BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Uygulanan Doğru Akım Voltajının Etkisi

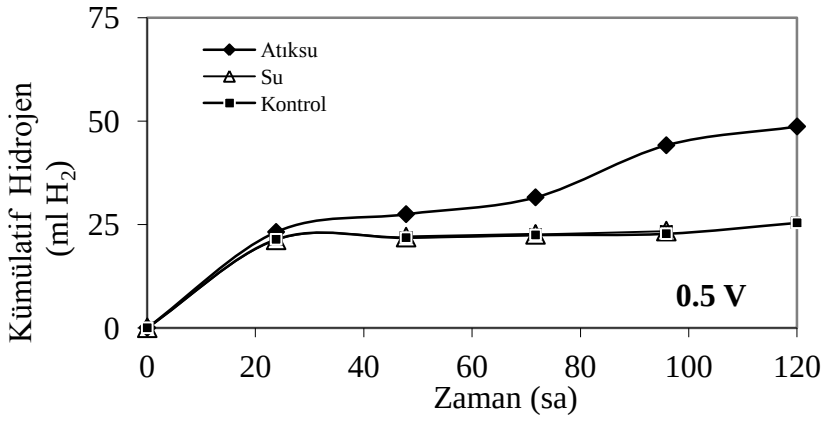
Bu deney iki set halinde gerçekleştirilmiştir. İlk sette atıksuya uygulanan doğru akım voltajının hidrojen gazı üretim hızına, verimine ve atıksudan KOİ giderimine etkileri incelenmiştir.

İlk deney seti 0,5V - 4 V aralığında farklı doğru akım voltajı uygulanan aynı KOİ içeriğine sahip 5 deney şişesi ve voltaj uygulanmayan bir kontrol şişesinden oluşmaktadır. Kontrol şisesinde sadece bakteriyel ayrışmadan ileri gelen hidrojen gazı üretim miktarının ve KOİ gideriminin tesbit edilmesi amaçlanmıştır.

İkinci deney seti ise 0,5 V- 4 V aralığında aynı özellikte su içeren 5 deney şişesinden oluşmaktadır. Bu deneyde amaç suyun elektrohidrolizinden üretilen hidrojen gazının saptanmasıdır.

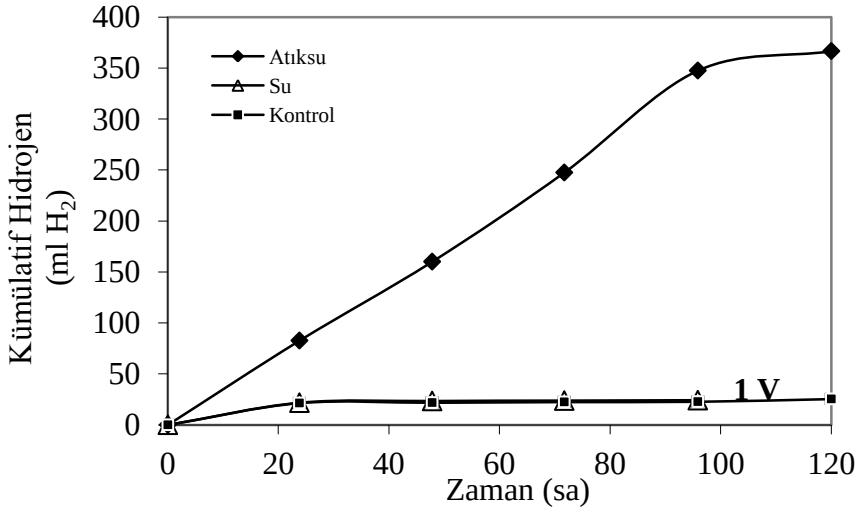
4.1.1. Hidrojen Gazı Üretimi

Şekil 4.1, 0,5 V doğru akım voltajının etkisi altındaki atıksudan, suyun elektrolizinden ve akım vermeksizin sadece atıksuyun bakteriyel ayrışmasından kaynaklı kümülatif hidrojen gazı oluşumunun zamana bağlı değimini göstermektedir. 0,5 V doğru akım voltajı uygulamasında 120 saatte sadece 48,67 ml hidrojen gazı üretilmiştir. Suyun elektrohidrolizi ve atıksu kontrolü ile karşılaştırıldığında Şekil 4.1.'de görüldüğü üzere 0,5 V için atıksuyun elektrohidrolizinden kaynaklı belirgin bir hidrojen gazı üretimi görülmemektedir. 0,5 V doğru akım voltajı uygulamasının atıksu organiklerinden hidrojen gazı üretimi için uygun bir voltaj olmadığı görülmektedir.

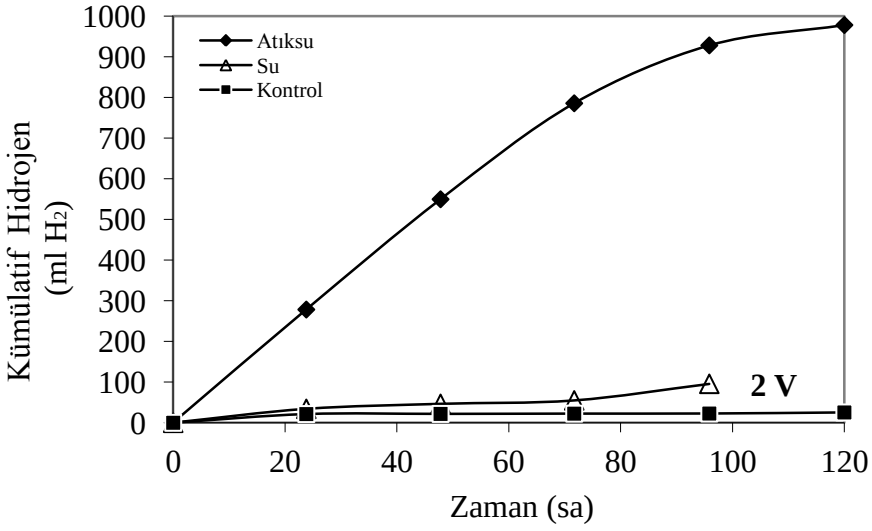


Şekil 4.1. V=0,5 V için kümülatif hidrojen gazı üretiminin zamana bağlı değişimi.

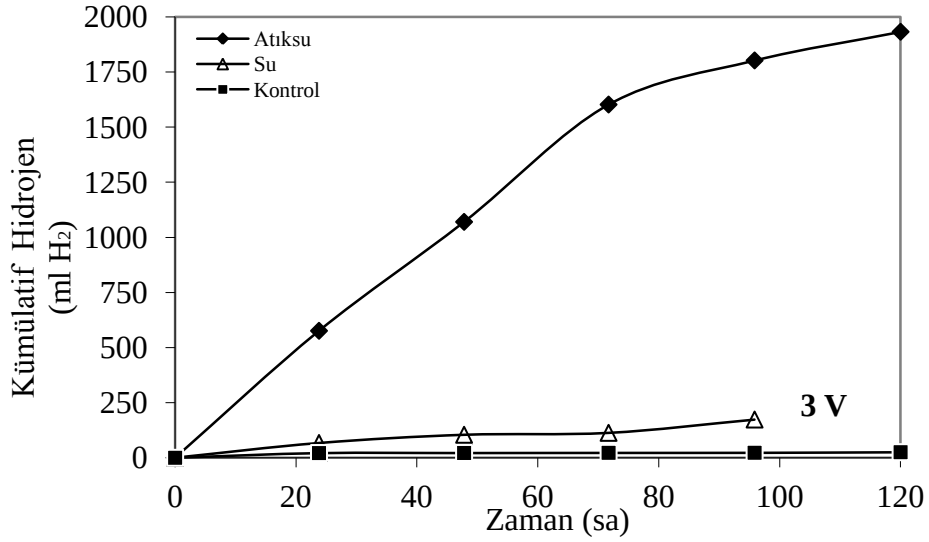
Şekil 4.2-4.5'de 1 V, 2 V, 3 V ve 4V doğru akım voltajları uygulanan atıksu ve sudan ve de atıksu kontrolünden kümülatif hidrojen gazı üretiminin zamanla değişimi görülmektedir.



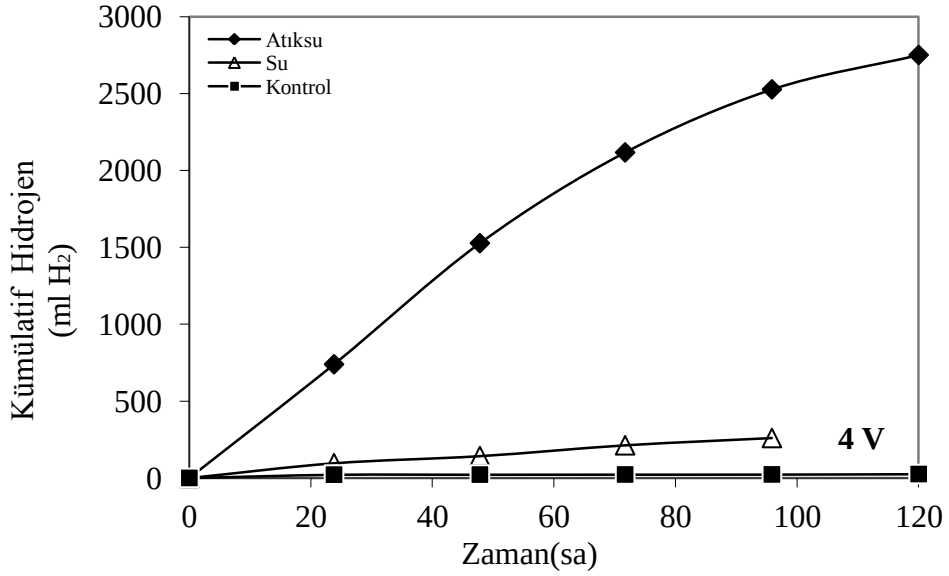
Şekil 4.2. V=1 V için kümülatif hidrojen gazı üretiminin zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.3. V=2 V için kümülatif hidrojen gazı üretiminin zamana bağlı değişimi.

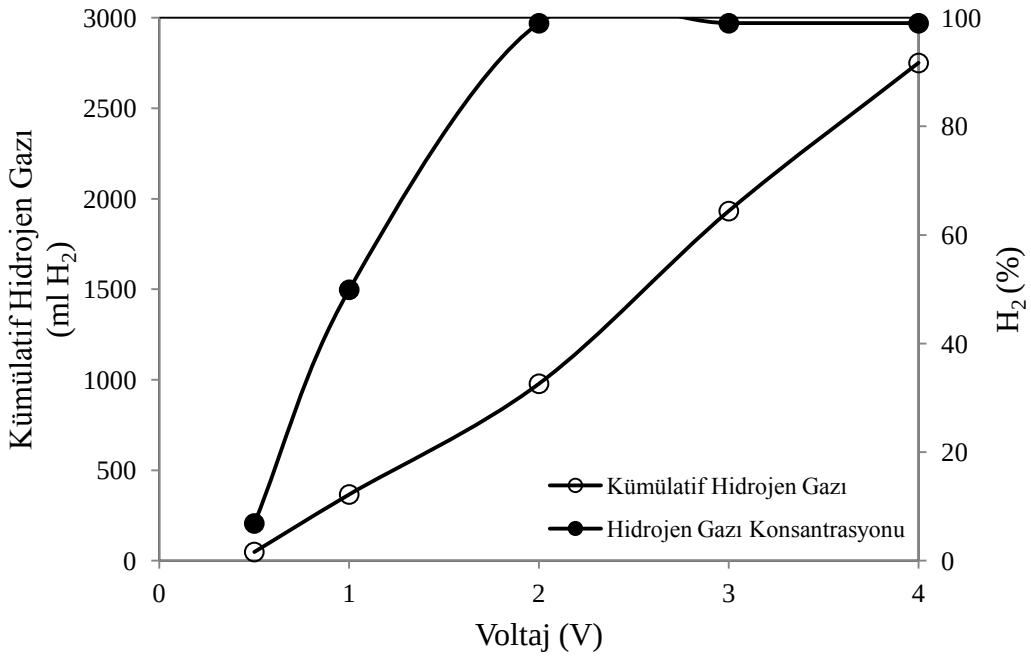


Şekil 4.4. V=3 V için kümülatif hidrojen gazı üretiminin zamana bağlı değişimi.



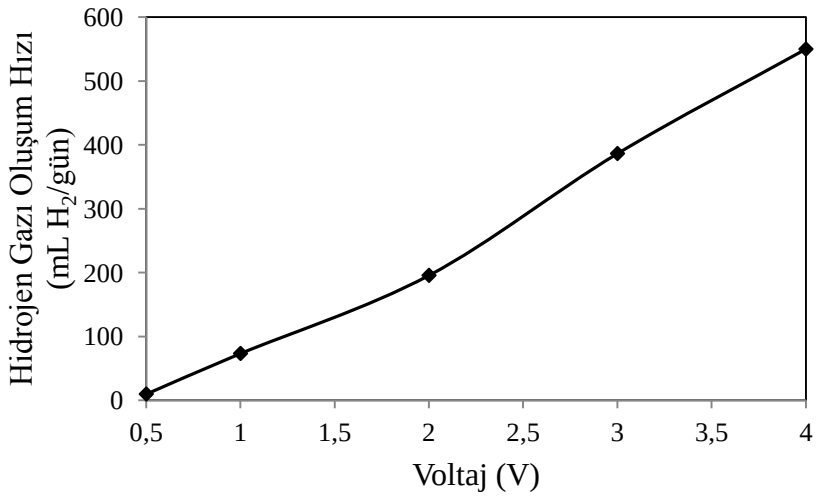
Şekil 4.5. V=4 V için kümülatif hidrojen gazı üretiminin zamana bağlı değişimi.

Grafiklerde, aynı KOİ içeriğine sahip atıksuya uygulanan 1 V doğru akım voltajından itibaren 2V, 3V, ve 4V uygulamalarında suyun elektrolizinden ve atıksuyun bakteriyel dekompozisyonundan kaynaklı hidrojen gazı üretiminin atıksudan elde edilen hidrojen gazının yanında ihmal edilebilir düzeyde kaldığı görülmektedir. 120 saat işletme süreci sonunda 1V, 2 V, 3 V ve 4V doğru akım voltajı uygulanan atıksulardan sırasıyla 366,5 ml, 978.3 ml, 1932,3 ml ve 2750,5 ml hidrojen gazı elde edilmiştir. 1 V, 2 V, 3 V ve 4V doğru akım voltajı uygulanan sulardan 96 saat işletme süreci sonunda ise sırasıyla 24,1ml, 95,9 ml, 173,4 ml ve 259,8 ml hidrojen gazı elde edilmiş olup, aynı KOİ içeriğine sahip kontrol atıksuyundan sadece 25,4 ml hidrojen gazı elde edilmiştir.



Şekil. 4.6. Farklı voltaj deneylerine ait kümülatif hidrojen gazı ve hidrojen konsantrasyonları.

Şekil 4.6'da 120 saat işletme süreci sonunda atıksuya uygulanan farklı doğru akım voltajlarıyla atıksulardan elde edilen kümülatif hidrojen gazı miktarı ve işletme sürecinde elde edilen maksimum hidrojen konsantrasyonu görülmektedir. Kümülatif hidrojen gazı üretimi ve H_2 gazı derişimi voltaj artırıldıkça artmıştır. Başlangıçta gaz fazı hidrojen ve karbondioksit gazlarından oluşmakta olup, 2 V, 3 V ve 4 V uygulamalarında işlem sonunda hidrojen konsantrasyonu % 99'a ulaşmıştır.



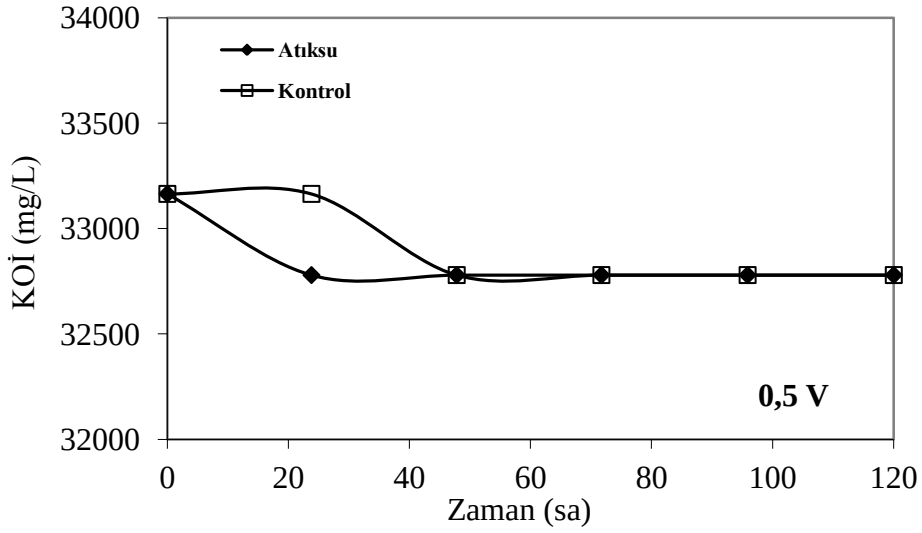
Şekil 4.7. Artan doğru akım voltajı uygulamalarının hidrojen gazı oluşum hızına etkisi.

Hidrojen gazı oluşum hızı 0,5 V, 1 V ve 2 V doğru akım voltajı uygulamalarında lineere yakın artış göstermiş olup 3 V ve 4 V uygulamalarında hızlanarak arttığı görülmektedir. Hidrojen gazı oluşum hızları 0,5 V, 1 V, 2 V, 3 V ve 4 V için sırasıyla, 9,73 ml/gün, 73,31 ml/gün, 195,6 ml/gün, 386,5 ml/gün ve 550 ml/gün olmuştur. Kümülatif hidrojen gazı miktarı (2750 ml), hidrojen gazı konsantrasyonu (%99) ve hidrojen gazı oluşum hızı (550 ml/gün) 4 V doğru akım voltajında en yüksek degerlere ulaşmışdır. Bu durumda 4 V doğru akım voltajı uygun voltajdır. Optimum voltajın belirlenmesi için 4 V'dan daha büyük voltajların denenmesi gerekmektedir.

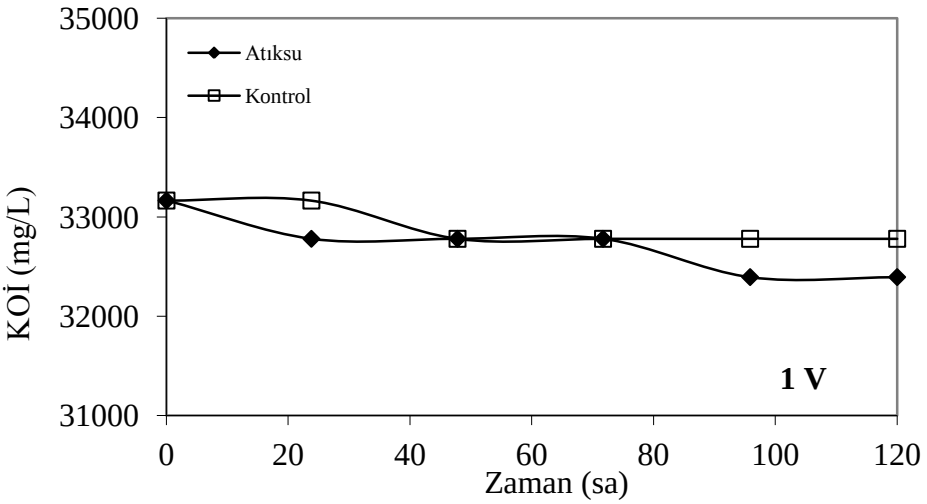
0,5 V ve 1 V doğru akım voltajı denemelerinde düşük akım yoğunluklarından dolayı ortama salınan elektronların sınırlı olması hidrojen gazı oluşum hızının ve miktarının kısıtlanmasına neden olmuştur. 2 V, 3 V ve 4 V uygulamalarında ortama salınan elektronların artması hidrojen gazı oluşumunun hızlanmasıyla sonuçlanmıştır. Ancak 3 V ve 4V uygulamalarında elektrodların giderek daha hızlı korozyona uğraması (Al^{+3}) iyonları ile (H^{+}) iyonlarının elektronlarla reaksiyon için yarışır hale getirdiğinden hidrojen gazı üretim hızı yavaşlamıştır.

4.1.2. KOİ Giderimi

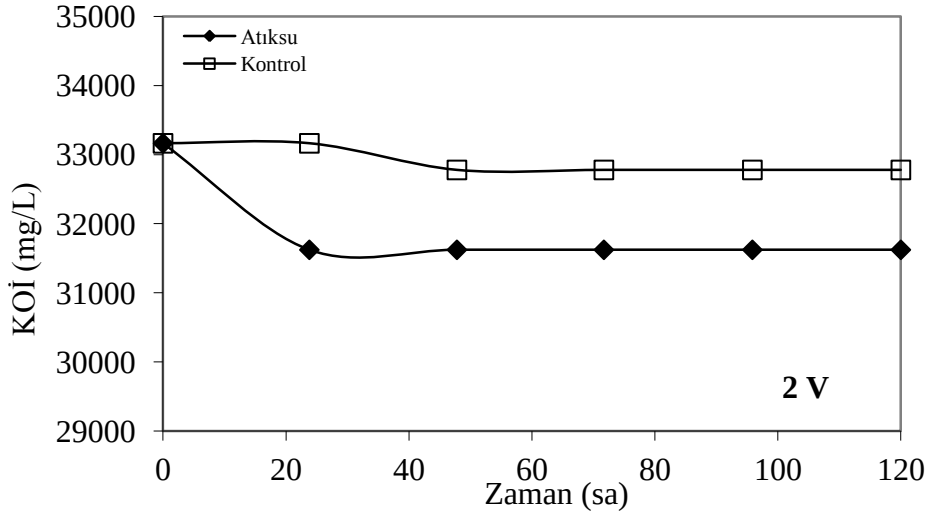
Atıksu organiklerinin (asetik asit) elektrohidroliziyle oluşan hidrojen gazı, bir kısım KOİ giderimi de sağlamıştır. Gerek 0,5 V- 4 V aralığında değişen voltaj uygulanmış atıksularda gerekse kontrol atıksuyunda az da olsa KOİ giderimi tesbit edilmiştir. Sonuçlar Sekil 4.8- 4.12'de verilmektedir.



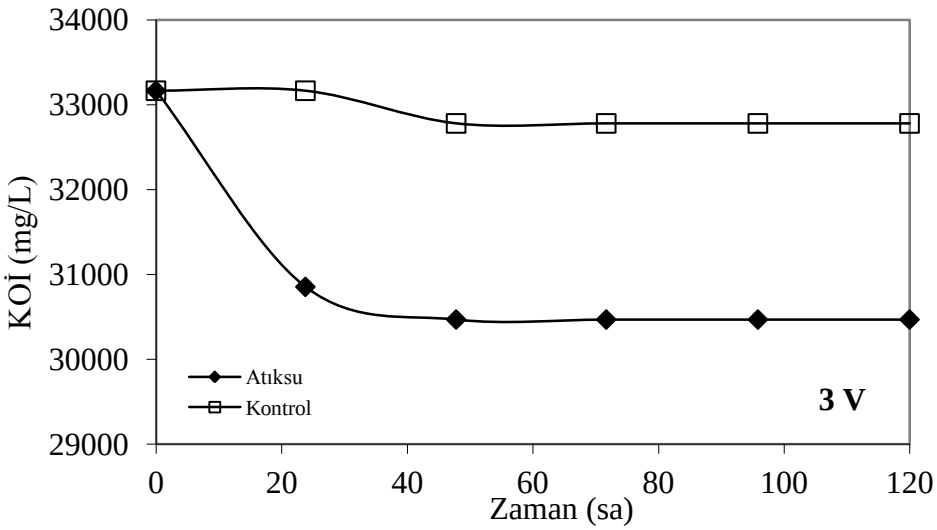
Şekil 4.8. V= 0,5 V için KOİ derişiminin zamana bağlı değişimi.



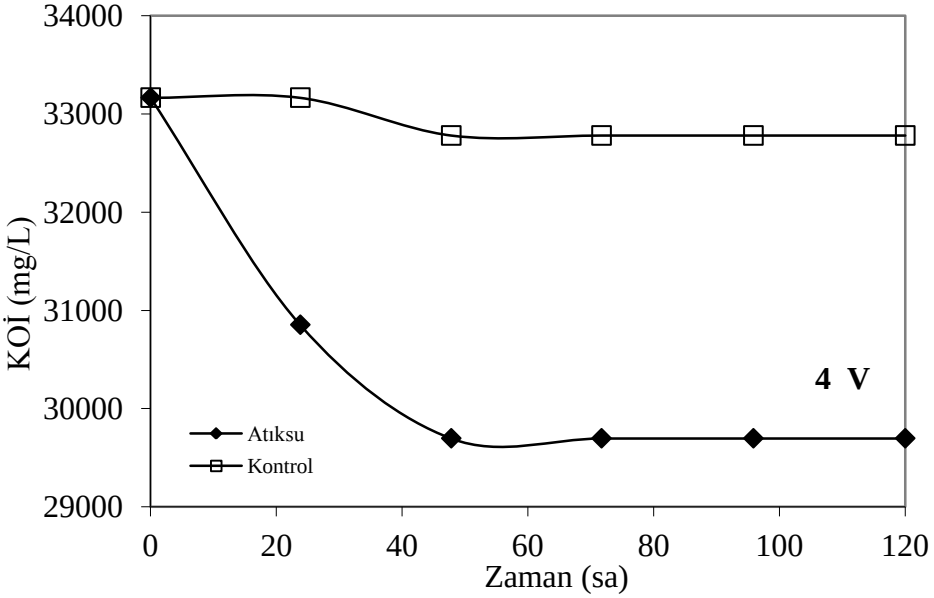
Şekil 4.9. V= 1 V için KOİ derişiminin zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.10. V= 2 V için KOİ derişiminin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.11. V= 3 V için KOİ derişiminin zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.12. V= 4 V için KOİ derişiminin zamana bağlı değişimi.

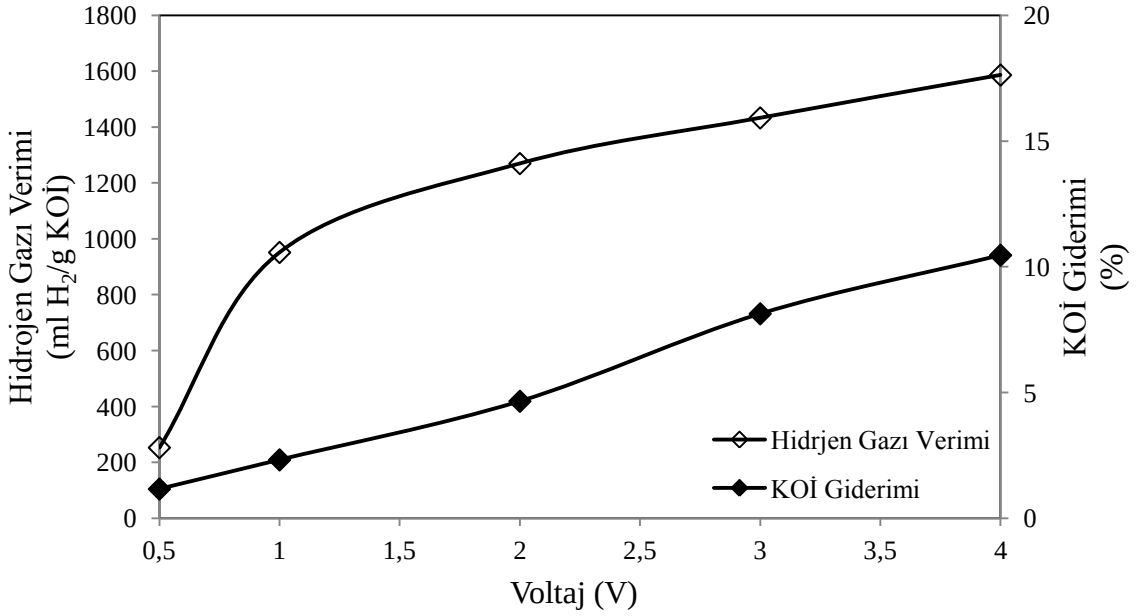
Atıksuyun KOİ'si gerek deney şişelerinde gerekse kontrol şişesinde zamanla azalma göstermiştir. KOİ gideriminin 2 V, 3 V ve 4 V deneylerinde ilk 48 saatte tamamlandığı gözlemlenmektedir. Hidrojen gazı konsantrasyonun da bu zamandan sonra % 99 düzeyine ulaşması bu durumu kanıtlamaktadır. Deney şişelerindeki KOİ gideriminin kontrol şişesine göre fazla olması bir kısım KOİ'nin doğru akım voltajı uygulaması sonucu UYA'lerinin ayrışmasından ileri geldiğini göstermektedir.

Deney sonunda atıksuların KOİ içerikleri 0,5 V, 1 V, 2 V, 3 V ve 4 V voltaj uygulamalarında sırasıyla 32779 mg/l, 32394 mg/l, 31623 mg/l, 30467 mg/l ve 29697 mg/l

kontrol şişesinde ise 32779 mg/l olmuştur. Artan voltajla birlikde KOİ gideriminin de arttığı görülmektedir. Bu durum uygulanan voltajın atıksu organiklerini parçalamada az da olsa etkisinin olduğunu göstermektedir.

KOİ giderimi anaerobik bakterilerin organik bileşikleri uçucu yağ asitlerine (UYA) ve karbondioksite parçalaması sonucu meydana gelmektedir. Hidrojen gazı üretimi ise doğru akımdan sağlanan elektronların UYA'nin disosyasyon ya da dekompozisyonu sonucu açığa çıkan protonlarla reaksiyonu ile gerçekleşmektedir.

Şekil 4.13, 120 saat işletme süresi sonunda değişik voltaj uygulamalarının KOİ giderim yüzdesine ve hidrojen gazı oluşum verimine etkisini göstermektedir.

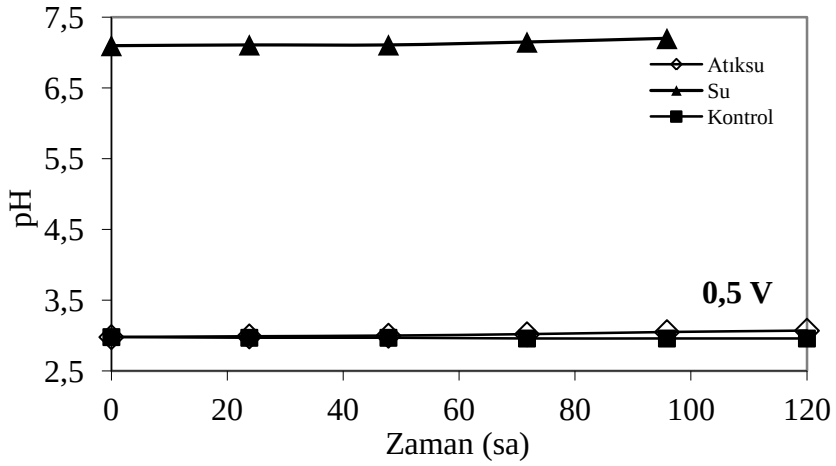


Şekil 4.13. Atıksuya uygulanan voltajın KOİ giderimine ve hidrojen gazı oluşum verimine etkisi.

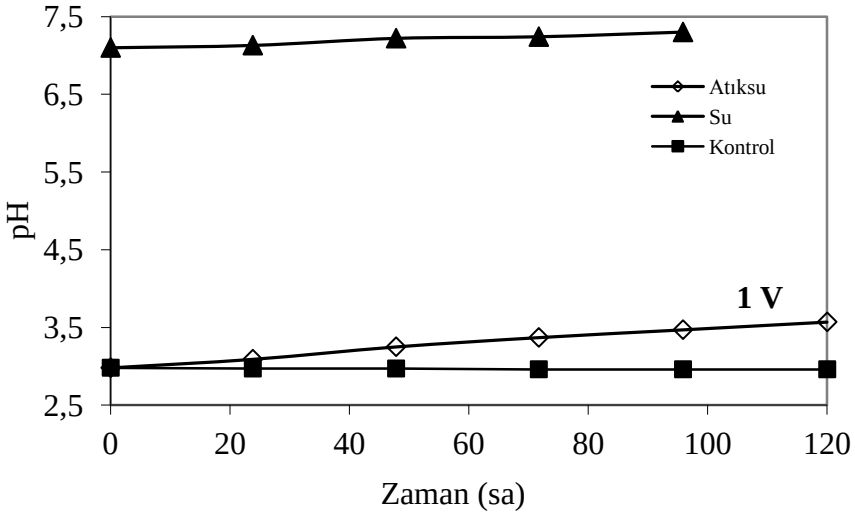
Hidrojen gazı verimi (3.9) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. KOİ giderim yüzdesi artan voltajın etkisiyle lineere yakın artış göstermiş ve 4 V doğru akım voltajı uygulamasında maksimum seviyeye (% 10,46) ulaşmıştır. Kontrol şişesinde KOİ giderimi ise % 1,16 mertebesinde kalmıştır. 0,5 V, 1 V, 2 V, 3 V ve 4 V voltaj uygulamalarında hidrojen gazı verimi sırasıyla 252,63 ml H_2/g KOİ, 951,35 ml H_2/g KOİ,1269,51 ml H_2/g KOİ, 1432,86 ml H_2/g KOİ ve 1586,38 ml H_2/g KOİ olmuştur. Hidrojen gazı verimi, artan doğru akım voltajıyla artış göstermiş ve 4 V uygulamasında maksimum değere (1586,38 ml H_2/g KOİ) ulaşmıştır.

4.1.3 pH, ORP ve İletkenlik Değişimi

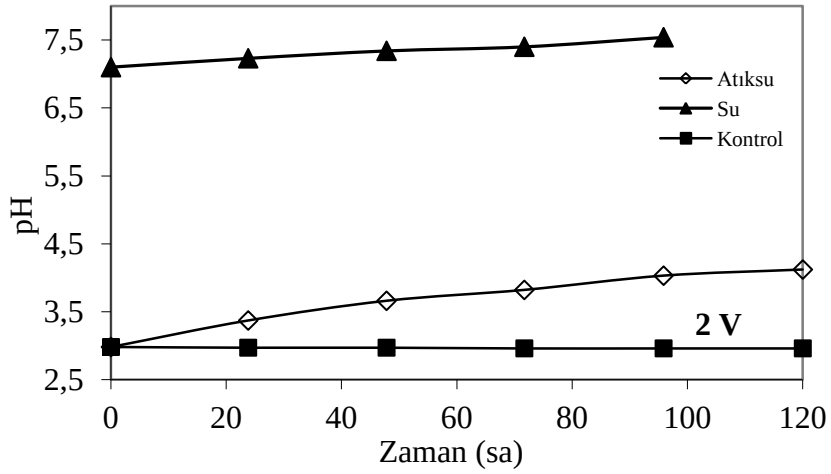
Tüm deney şişelerinde ve kontrol şişesinde 120 saat işletme süreci boyunca pH, ORP ve iletkenlik değişkenlik göstermiştir. Bu değişimler her gün izlenmiştir. Sonuçlar şekil 4.14- 4.23' de gösterilmektedir.



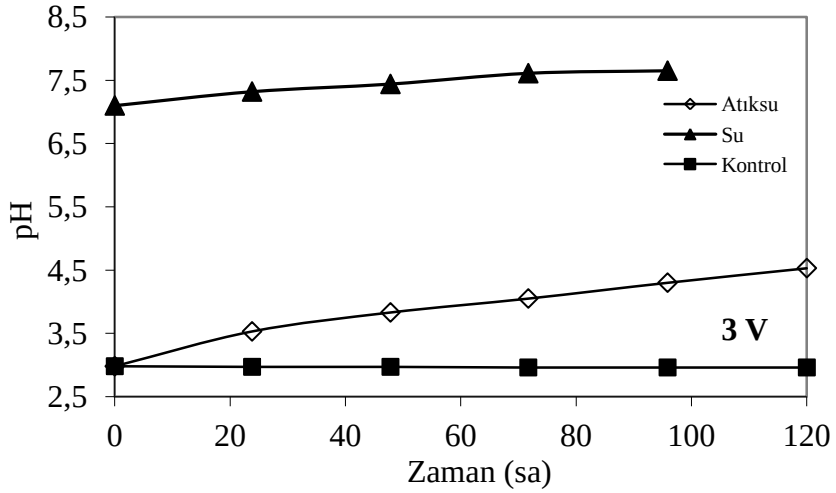
Şekil 4.14. V= 0,5 V için pH'ın zamana bağlı değişimi.



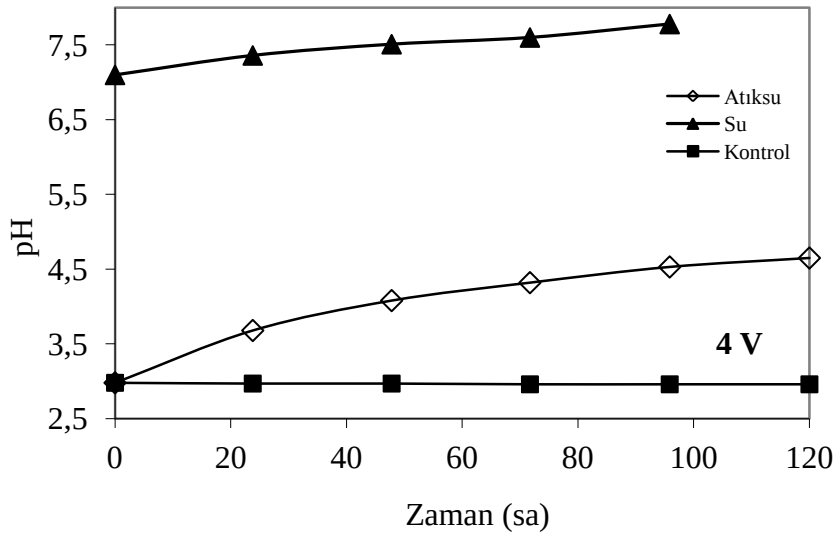
Şekil 4.15. V= 1 V için pH'ın zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.16. V= 2 V için pH'ın zamana bağlı değişimi.

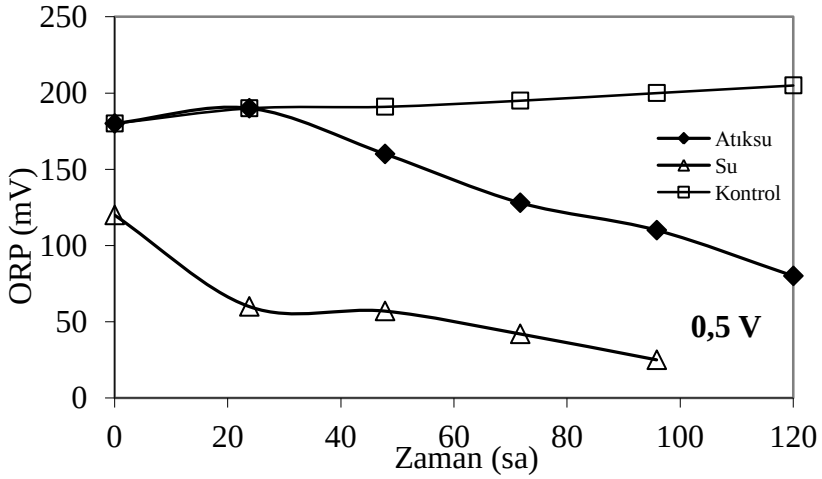


Şekil 4.17. V= 3 V için pH'ın zamana bağlı değişimi.

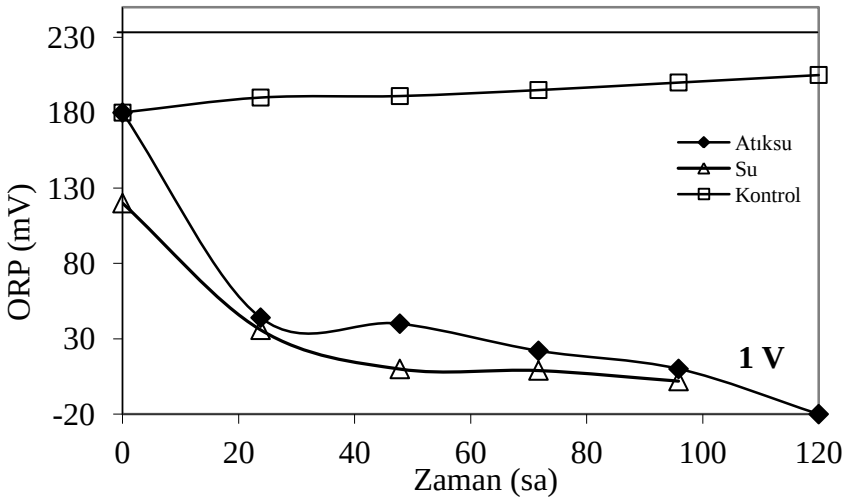


Şekil 4.18. V= 4 V için pH'ın zamana bağlı değişimi.

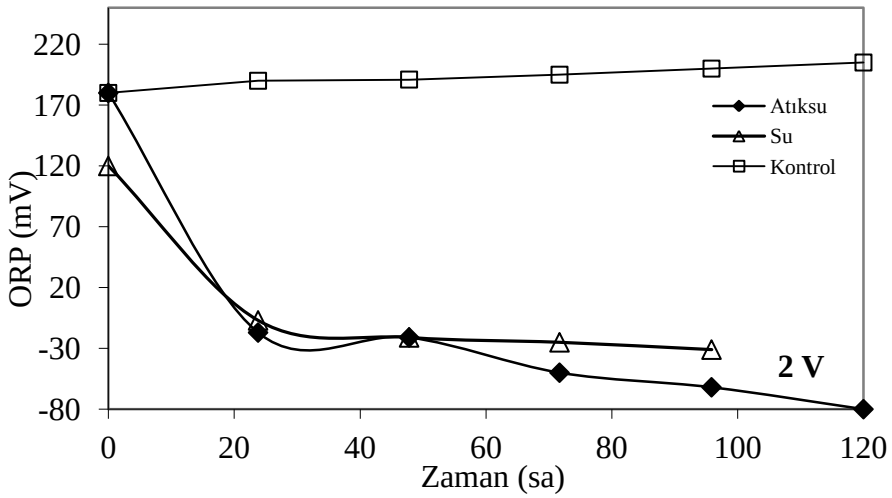
Atıksuya uygulanan 0,5 V, 1 V, 2 V, 3 V ve 4 V doğru akım voltajları için 120 saat işletme süresi sonunda son pH değerleri sırasıyla 3,07, 3,57, 4,12, 4,53 ve 4,65 olmuştur. pH değerlerinin artan voltaj uygulamalarında ortamdan uzaklaşan protonların hidrojen gazına dönüşmesi sonucu arttığı görülmektedir. Kontrol atıksuyunda ise önemli bir değişiklik olmamıştır.



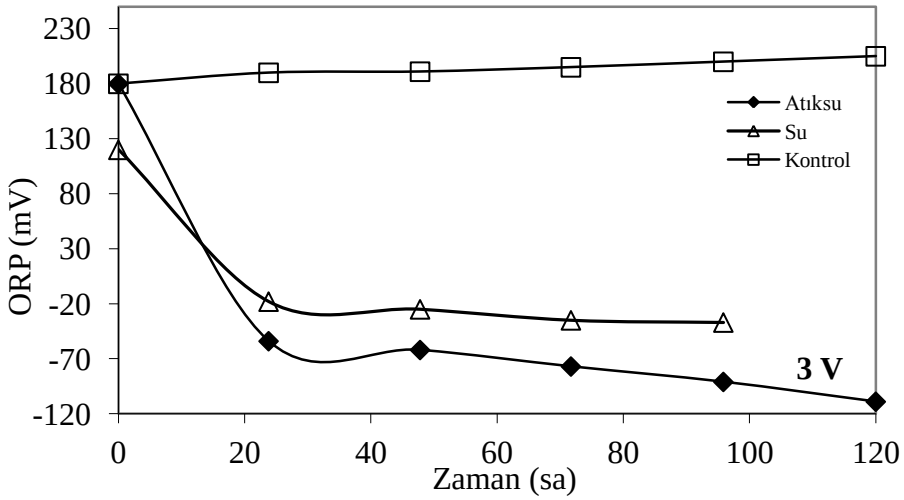
Şekil 4.19. V= 0,5 V için ORP'nin zamana bağlı değişimi.



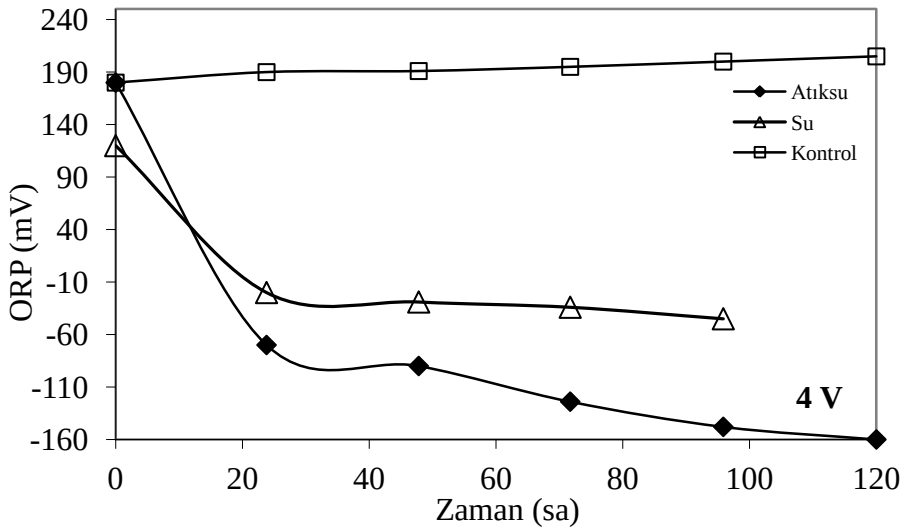
Şekil 4.20. V= 1 V için ORP'nin zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.21. V= 2 V için ORP'nin zamana bağlı değişimi.



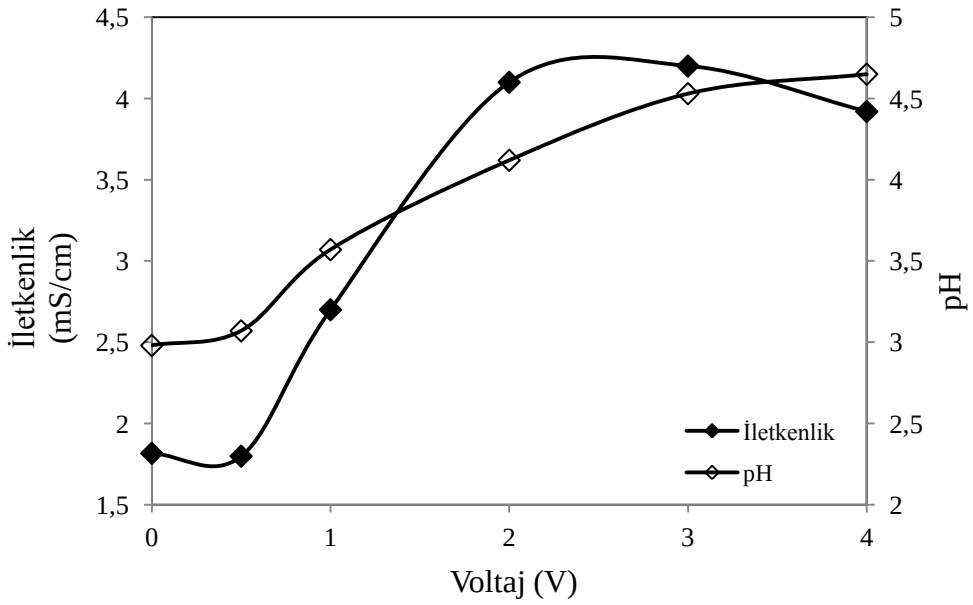
Şekil 4.22. V= 3 V için ORP'nin zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.23. V= 4 V için ORP'nin zamana bağlı değişimi.

Atıksuya uygulanan 0,5 V, 1 V, 2 V, 3 V ve 4 V doğru akım voltajları için 120 saat işletme süresi sonunda son ORP değerleri sırasıyla 80, -20, -80, -109 ve -160 olmuştur. pH'ın artması sonucu ORP nin düştüğü görülmektedir.

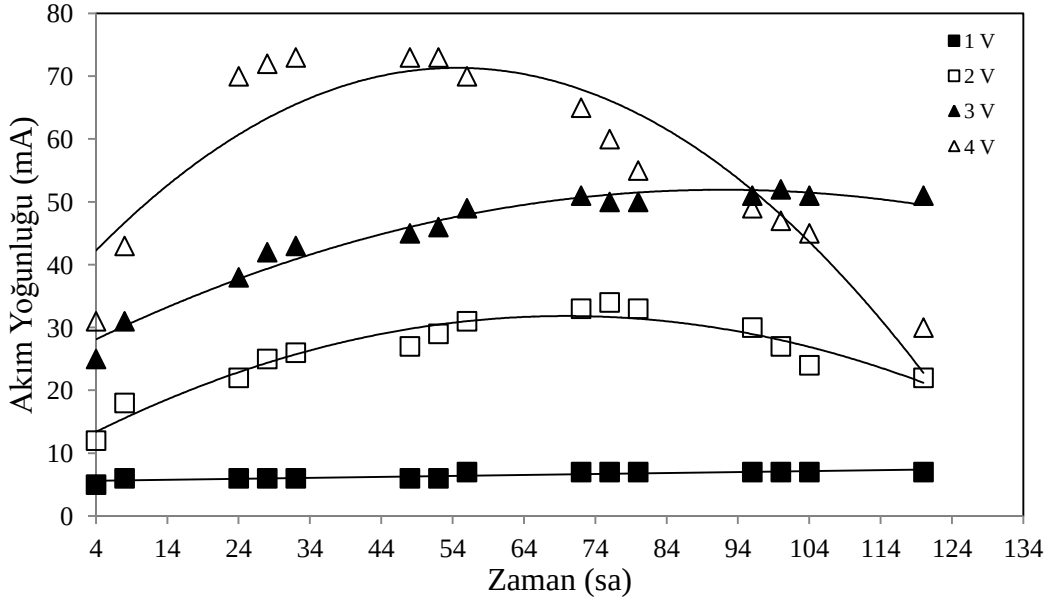
Atıksuyun başlangıç iletkenliği 1,82 mS/cm dir. Atıksuya uygulanan 0,5 V, 1 V, 2 V, 3 V ve 4 V doğru akım voltajları için 120 saat işletme süresi sonunda son iletkenlikler sırasıyla 1,80 mS/cm, 2,70 mS/cm, 4,10 mS/cm, 4,20 mS/cm ve 3,92 mS/cm olmuştur. 0,5 V uygulamasında elektrodun az aşınması ve ortamdan uzaklaşan protonların etkisiyle iletkenlik az bir düşüş göstermiştir. 1V, 2 V ve 3 V uygulamalarında ortamdan proton giderek daha fazla uzaklaşmış olmasına rağmen elektrotların aşırı korozyona maruz kalması (Al^{+3}) iyonlarının suya geçişini arttırmıştır. Bu durumun son iletkenliği artırdığı düşünülmektedir. Şekil 4.24 son pH ve iletkenligin uygulanan voltajla degişimini göstermektedir. Son iletkenlik ve pH degerleri uygulanan voltajla artmıştır.



Şekil 4.24. Atıksuya uygulanan voltajın deney sonundaki pH ve iletkenliğe etkisi.

4.1.4. Enerji Dönüşüm Verimliliği

Enerji verimliliği elektrodun korozyonu ve atıksu karakteristiğindeki değişimler sonucu sistemden geçen akım yoğunluklarının değişimlere bağlı olarak zamanla değişkenlik göstermiştir. Şekil 4.25'de değişik voltajlar için akım yoğunluklarının zamana baglı değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.25. Değişik voltajlarda akım yoğunluklarının zamana bağlı değişimi.

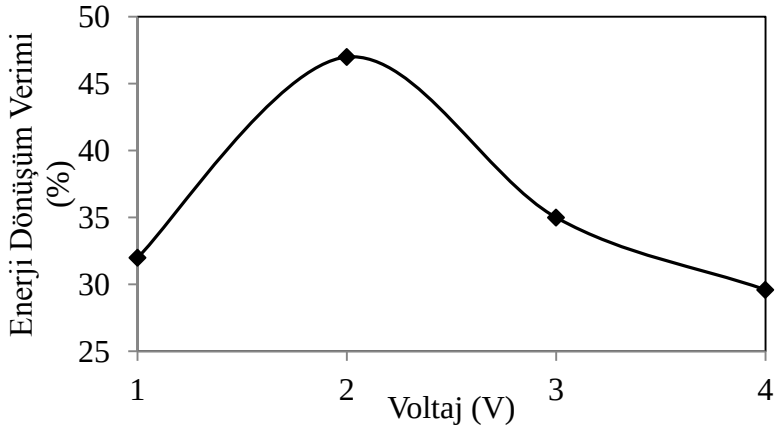
Akım ölçümleri için sistemin kararlı hale gelmesi beklenmiş (yaklaşık 4. saatten itibaren) ve sistem sonlandırılıncaya kadar aralıklarla ölçülmeye devam edilmiştir.

0,5 V deneyinde (H^+) iyonu konsantrasyonu elektrotlar arasında akım oluşturmaya yeterli gelmediğinden deney süresince akım okunamamıştır.

1 V deneyinde akımın deney başından deney sonuna kadar ölçülebilir düzeyde olmuş ve akım önemli bir değişiklik göstermemiştir. 0,5 V ve 1 V deneylerindeki düşük akım yoğunlukları düşük hidrojen gazı üretimiyle sonuçlanmıştır.

Diğer voltaj denemelerinde ise atıksu içerisindeki (H^+) konsantrasyonun azalması ve elektrodun aşınmasına paralel olarak akımın önce arttığı daha sonra ise azaldığı gözlemlenmiştir. 2 V, 3 V ve 4 V denemelerinde akımın başlangıçta sırasıyla, 5 mA, 12 mA, 25 mA ve 31mA'den en yüksek akım değerleri olan 7 mA, 34 mA, 52 mA ve 73 mA düzeylerine çıktığı izlenmiş ve 120 saat işletme sonunda sonunda en küçük değerler olan 7 mA, 22 mA, 51 mA ve 30 mA değerlerine düşmüştür. Yüksek voltajlarda elde edilen yüksek akım yoğunluğu atıksuya çok sayıda elektron geçişine sebep olmuş ve bu durum hidrojen gazı üretim hızı ve miktarını artırmıştır. 2 V, 3 V ve 4 V deneylerinde elektrotların belli zaman sonra iyice aşınması suya geçen elektron miktarını azalttığından hidrojen gazı oluşum hızının azaldığı görülmüştür. Buna bağlı olarak (H^+) ve (Al^{+3}) iyonlarının yarış halinde olması sistemin enerji verimini olumsuz etkilemiştir.

Değişik voltajlardaki hidrojen gazı üretimi için enerji dönüşüm verimleri (3.9) eşitliği ile hesaplanmışdır.



Şekil 4.26. Enerji dönüşüm veriminin voltajla değişimi

Şekil 4.26'da 120 saat sonunda değişik voltajlar için elde edilen enerji verimleri gösterilmektedir. Düşük voltajdaki (0,5 V) akım yoğunluklarının ölçülememesi sebebiyle grafikte yer verilmemiştir. Enerji verimliliği , 2 V, 3 V ve 4 V için sırasıyla %32, % 47, % 35 ve % 30 olmuştur. 4 V deneyinde elektronların (H^+) iyonları yerine kısmen (Al^{+3}) iyonları ile reaksiyona girmesi hidrojen gazı üretimini düşürmüş ve en düşük enerji verimine yol açmıştır.

Çizelge 4.1. 120 saat işletme sonrası farklı voltaj deneylerindeki asetik asit konsantrasyonu ve elektrot ağırlıkları değişimi (Kontrol atıksuyu: asetik $asit_{baş}$= 19200 mg/l, asetik $asit_{son}$=20180 mg/l)

PARAMETRE	**DOĞRU AKIM VOLTAJI**				
	0,5 V	**1 V**	**2 V**	**3 V**	**4 V**
Asetik Asit (mg/l) Başlangıç	19200	19200	19200	19200	19200
Asetik Asit (mg/l) Son	19084	18952	18695	18126	17880
Anot Ağırlığı (g) Başlangıç	18,8696	18,8692	18,8697	18,8689	18,8695
Anot Ağırlığı (g) Son	18,8591	18,8501	18,5465	16,3168	14,0256
Katot Ağırlığı (g) Başlangıç	18,8710	18,8611	18,8698	18,8590	18,8510
Katot Ağırlığı (g) Son	18,8798	18,8691	18,8799	18,8624	18,8600

Çizelge 4.1'de farklı voltajlardaki atıksulara ait başlangıç ve son durumdaki asetik asit konsantrasyonları ve elektrot ağırlıklarındaki değişimler verilmiştir. Atıksuyun KOİ içeriğinin büyük bir bölümünü (%76) asetik asit oluşturmaktadır. Deney süresince KOİ giderimi çok sınırlı kalmıştır. En yüksek KOİ giderimi 4 V uygulamasında %10,46 ile sonuçlanmıştır. Asetik asit konsantrasyonunun son durumda voltaj artmasına paralel olarak azaldığı görülmektedir. Başlangıç asetik asit konsantrasyonu 19200 mg/l olup, son durumda 0,5 V, 1 V, 2 V, 3 V ve 4V deneyleri için sırasıyla 19084 mg/l, 18952 mg/l, 18695 mg/l, 18126 mg/l ve 17880 mg/l olmuştur. Bu durum hidrojen gazı oluşumunun daha çok ortamdaki asetik asitin ayrışmasından ileri gelen (H^+) iyonlarından kaynaklandığını göstermektedir.

Çizelge 4.2. 120 saat işletme sonucu farklı voltaj deneylerindeki toplu sonuçlar

PARAMETRE	**DOĞRU AKIM VOLTAJI**				
	0,5 V	**1 V**	**2 V**	**3 V**	**4 V**
KOİ giderimi (%)	1,16	2,32	4,65	8,13	10,46
H_2 verimi (ml H_2/g KOİ)	252,6	951,4	1269,5	1432,9	1586,3
H_2 oluşum hızı (ml H_2/gün)	9,7	73,3	195,7	386,5	550,1
Kümülatif H_2 (ml)	48,6	366,5	978,3	1932,3	2750,5
Sisteme verilen elektrik (A.sa)	-	-	2,922	5,166	6,554
Enerji verimi (%)	-	32	47	35	29,6

Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi en yüksek KOİ giderimi, hidrojen gazı verimi, hidrojen gazı oluşum hızı ve kümülatif hidrojen gazı miktarı 4 V'da elde edilmişdir. Optimum voltajın bulunması için 4V dan büyük voltajların uygulanması gerekmektedir.

4.2. Başlangıç KOİ Konsantrasyonun Etkisi

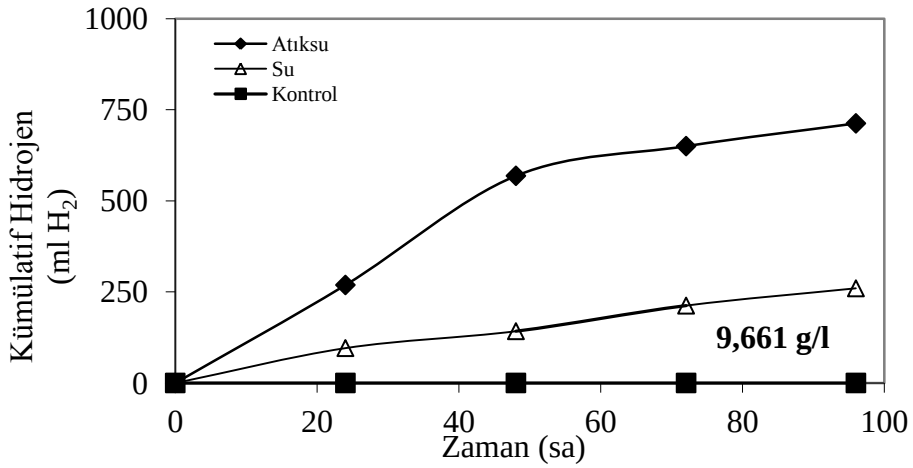
Bu deneyde atıksuyun başlangıç KOİ konsantrasyonun hidrojen gazı üretim hızı ve verimine etkisi ile KOİ giderimine etkisi araştırılmıştır.

İlk deney seti 5 farklı seyreltme oranında (9661 mg/l-48605 mg/l) atıksu içeren şişelerden, 4V uygulanan bir su şişesinden ve atıksu kontrollerinden oluşmaktadır. Tüm şişelere optimum voltaj olarak seçilen 4V doğru akım voltajı uygulanmıştır. Kontrol şişelerine bakteriyel ayrışmadan kaynaklı hidrojen gazının tesbiti için elektrik

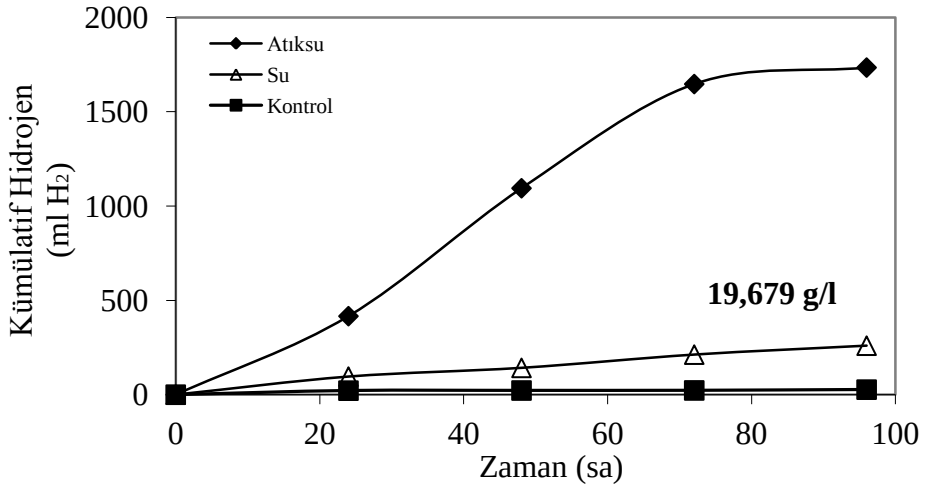
verilmemiştir. Suyun elektrolizinden kaynaklı hidrojen gazı miktarını saptamak için ayrıca 4 V voltaj uygulanan kontrol su deneyi yapılmıştır.

4.2.1. Hidrojen Gazı Oluşumu

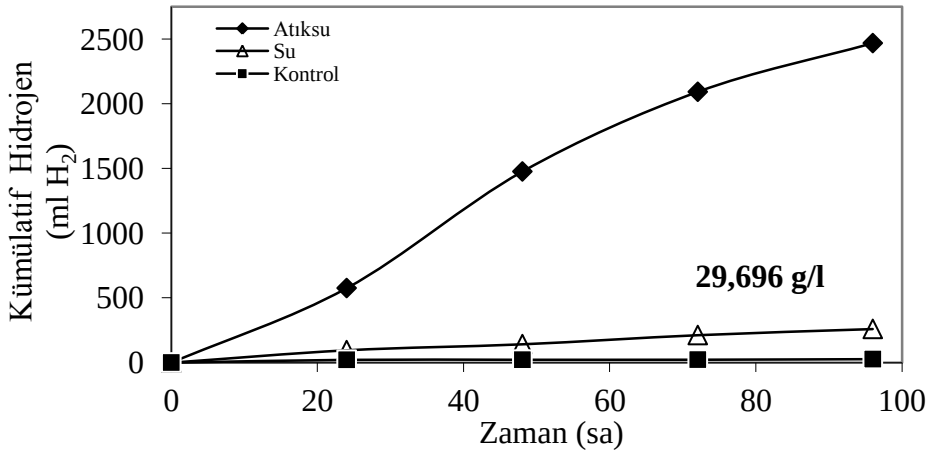
Aşağıdaki grafikler (Şekil 4.27-4.31), 9661 mg/l-48605 mg/l aralığında konsantrasyon değerlerine sahip atıksularından, atıksu kontrolleri ve su kontrolünden elde edilen H_2 gazının zamanla degişimini göstermektedir.



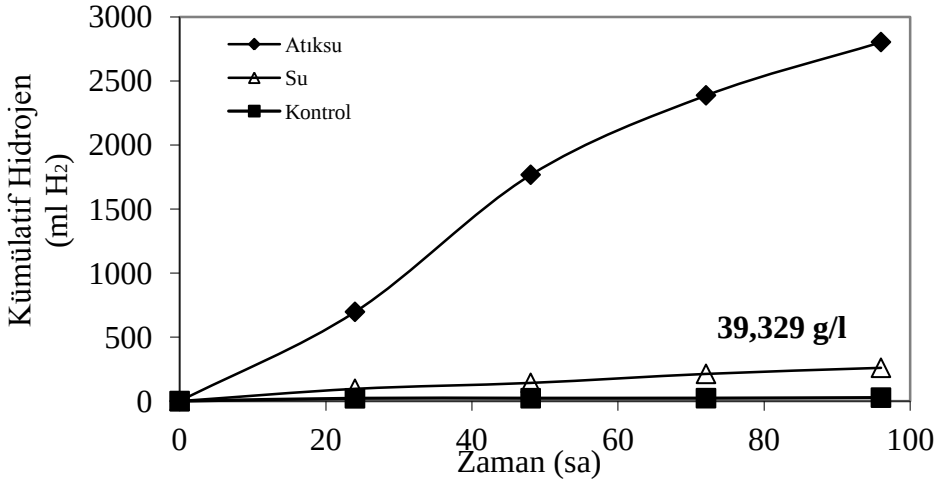
Şekil 4.27. KOİ=9,661 g/l için kümülatif hidrojen gazının zamana bağlı değişimi.



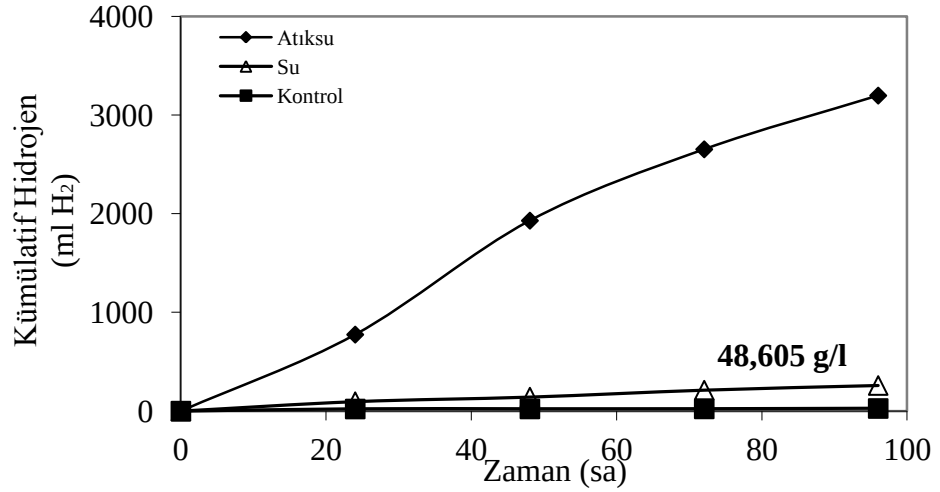
Şekil 4.28. KOİ=19,679 g/l için kümülatif hidrojen gazının zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.29. KOİ=29,696 g/l için kümülatif hidrojen gazının zamana bağlı değişimi.



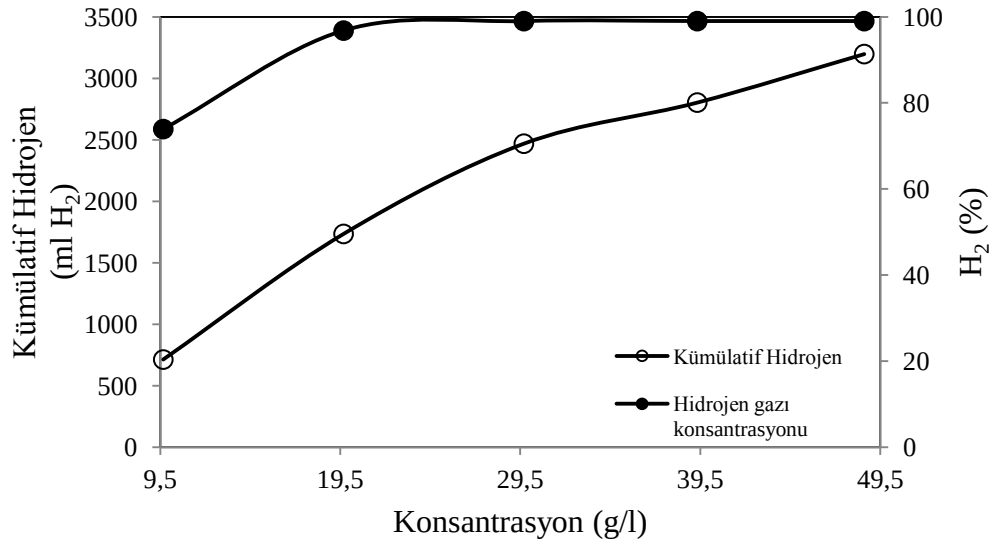
Şekil 4.30. KOİ=39,329 g/l için kümülatif hidrojen gazının zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.31. KOİ=48,605 g/l için kümülatif hidrojen gazının zamana bağlı değişimi.

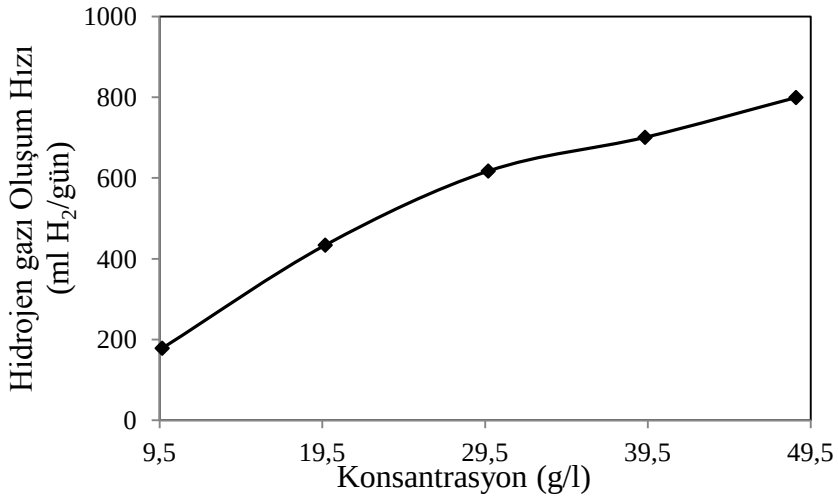
Kontrol atıksuyundan ve sudan 96 saat işletme süreci sonunda elde edilen kümülatif hidrojen gazı miktarları sırasıyla 26,62 ml ve 259,76 ml olup atıksudan elde edilen kümülatif hidrojen miktarları yanında ihmal edilebilir düzeydedir. Kümülatif hidrojen gazı üretimi, artan KOİ konsantrasyonlarına paralel olarak artış göstermiştir. 9661 mg/l, 19679 mg/l, 29696mg/l, 39329 mg/l ve 48605 mg/l başlangıç KOİ konsantrasyonlarında sırasıyla 712 ml, 1734 ml, 2468 ml, 2802 ml ve 3197 ml kümülatif hidrojen gazı elde edilmiştir.

Şekil 4.32, 96 saat işletme süresi sonunda farklı KOİ konsantrasyonlarına ait kümülatif hidrojen miktarı ve gaz fazındaki hidrojen konsantrasyonunu göstermektedir.



Şekil 4.32. Farklı konsantrasyon değerleri için kümülatif hidrojen miktarları ve hidrojen konsantrasyonları.

Kümülatif hidrojen gazı üretimi atıksuyun artan KOİ içeriğine bağlı olarak giderek artmıştır. 48605 mg/l için en yüksek hidrojen gazı üretimi (3197 ml) gerçekleşmiştir. Atıksuyun KOİ konsantrasyonundaki artışın gaz fazındaki H_2 konsantrasyonuna da yansıdığı görülmektedir. 29696mg/l, 39329 mg/l ve 48,605 mg/l KOİ konsantrasyonlarında deney sonunda %99 oranında hidrojen gazı elde edilmiştir.



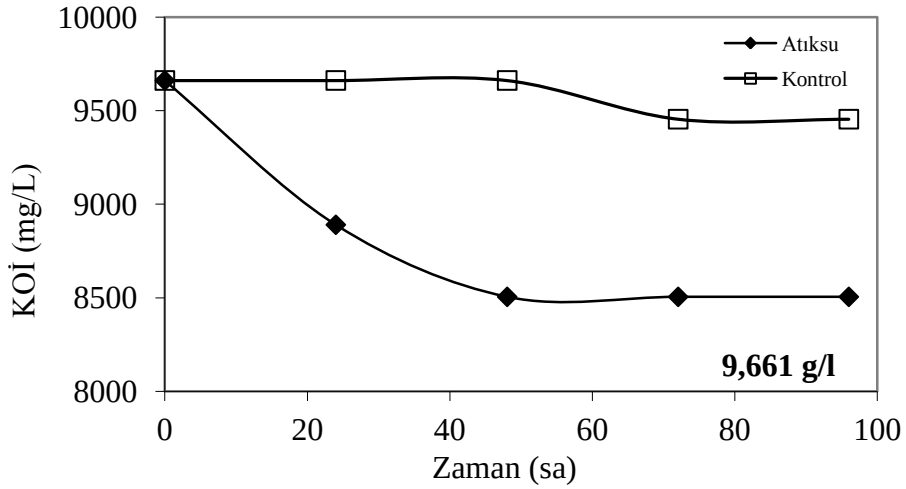
Şekil 4.33. Farklı KOİ konsantrasyonlarına sahip atıksulardan hidrojen gazı oluşum hızları.

Şekil 4.33'de 9661 mg/l-48605 mg/l aralığındaki farklı konsantrasyonlara sahip atıksulara ait hidrojen gazı oluşum hızları verilmiştir. KOİ konsantrasyonu artışının hidrojen gazı oluşum hızını arttırdığı görülmektedir. 9661 mg/l KOI için (H^+) iyonlarının sınırlı olması hidrojen gazı oluşum hızını ve dolayısıyla kümülatif hidrojen gazı miktarını düşürmüştür. Yüksek KOİ konsantrasyonlarında ise elektrodun iyice aşınması elektronların sayısını azalttığından hidrojen gazı oluşum hızı azalmıştır.

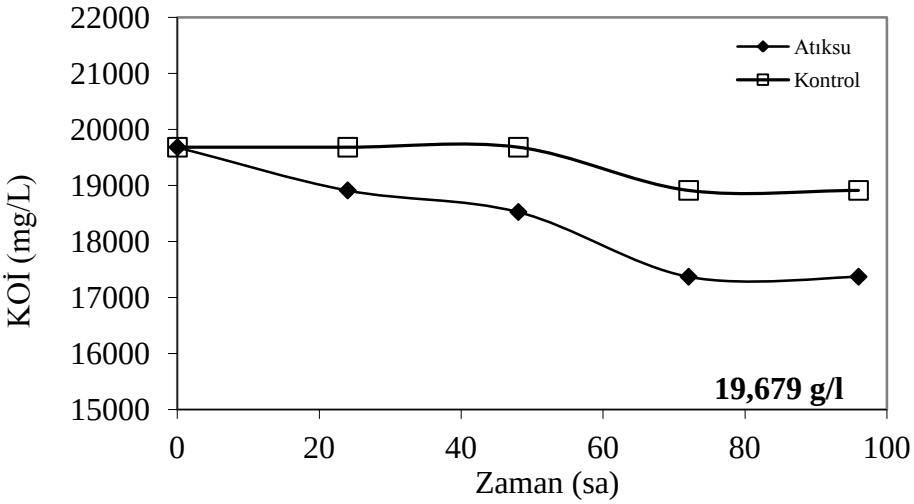
4.2.2. KOİ Giderimleri

Atıksu organiklerinin elektrohidroliziyle oluşan hidrojen gazı kısmen KOİ giderimi de sağlamıştır. 9661 mg/l-48605 mg/l aralığındaki elektrohidrolize maruz kalan atıksularda ve kontrollerinde az da olsa KOİ giderimi gerçekleşmiştir. KOİ gideriminin hem 4 V doğru akım voltajı uygulanan deney şişelerinde hem de atıksu kontrollerinde olduğu görülmektedir. Ancak deney şişelerindeki KOİ gideriminin kontrol şişelerindeki anaerobik ayrışmasından kaynaklanan KOİ gideriminden fazla olması elektrohidrolizle bir kısım organiklerin (asetik asit) ayrıştığını göstermektedir. Şekil 4.34- 4.38 de degişik başlangıç KOİ içerikleri için KOİ derişimlerinin zamanla degişimi görülmektedir.

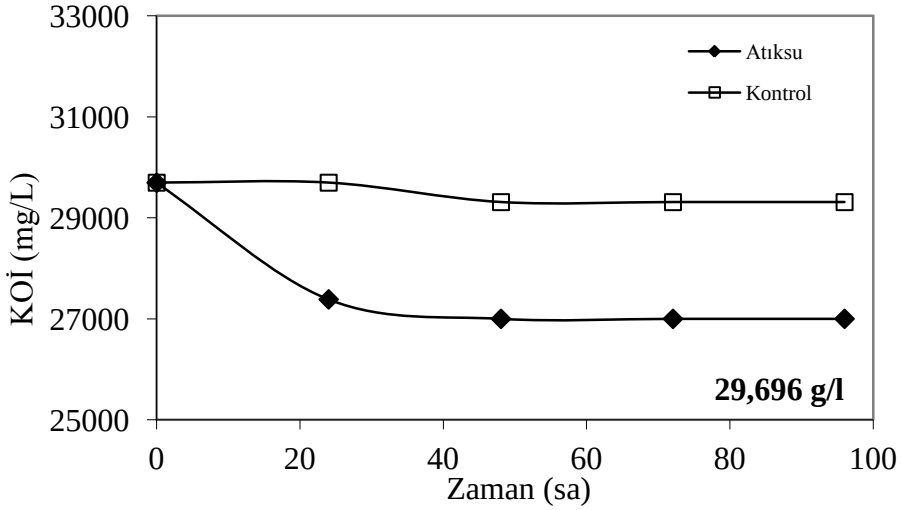
9661 mg/, 19679 mg/l, 29696mg/l, 39329 mg/l ve 48,605 mg/l başlangıç KOİ konsantrasyonlarına sahip atıksular 96 saat işletme süresi sonunda sırasıyla 8505 mg/l, 17367 mg/l, 27000 mg/l, 36630 mg/l ve 46293 mg/l değerlerine ulaşmıştır.



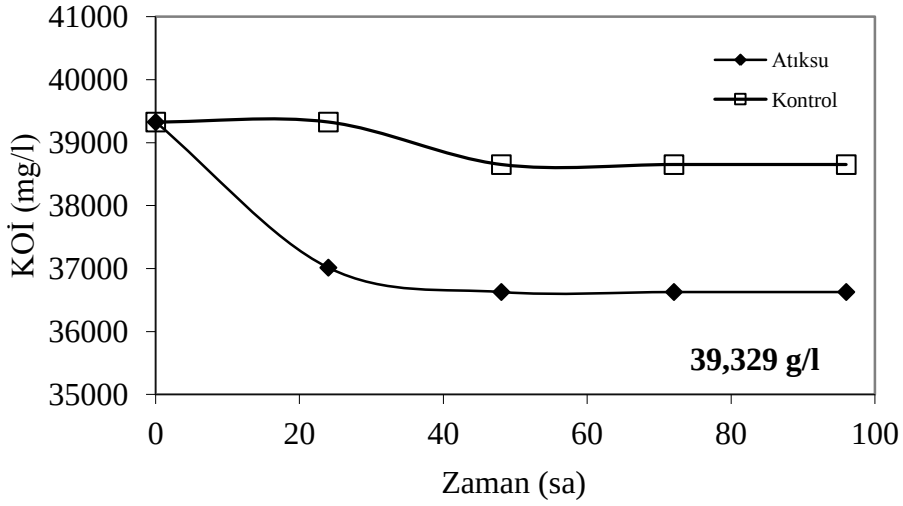
Şekil 4.34. $KOİ_o$= 9,661 g/l için zamana bağlı KOİ giderimi.



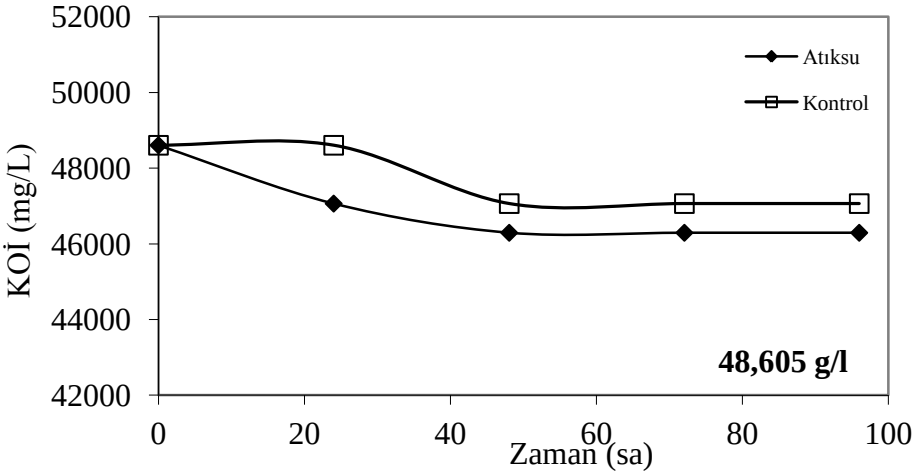
Şekil 4.35. $KOİ_o$= 19,679 g/l için zamana bağlı KOİ giderimi.



Şekil 4.36. $KOİ_o$= 29,696 g/l için zamana bağlı KOİ giderimi.



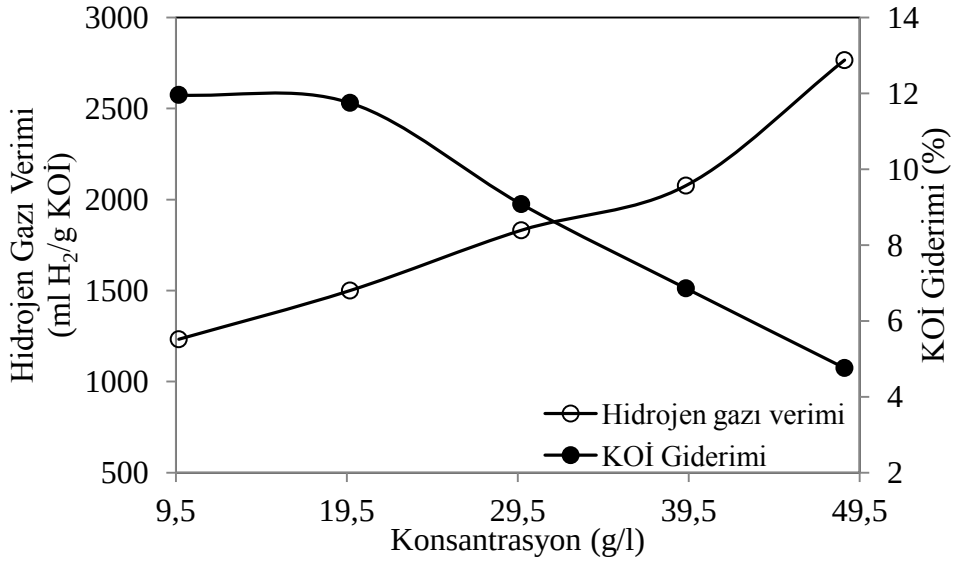
Şekil 4.37. $KOİ_o$= 39,696 g/l için zamana bağlı KOİ giderimi.



Şekil 4.38. $KOİ_o$= 48,605 g/l için zamana bağlı KOİ giderimi.

9661 mg/, 19679 mg/l, 29696mg/l, 39329 mg/l ve 48,605 mg/l başlangıç KOİ konsantrasyonlarına sahip atıksularda sırasıyla, % 11,96, % 11,75, % 9,08, % 6,86 ve % 4,76 KOİ giderimi olmuştur.

Şekil 4.39'da 9661 mg/l-48605 mg/l aralığında KOİ konsantrasyonlarına sahip atıksulardan elde edilen hidrojen gazı verimleri (ml H_2/g KOİ) ve hidrojen gazı konsantrasyonları (% H_2) gösterilmiştir.

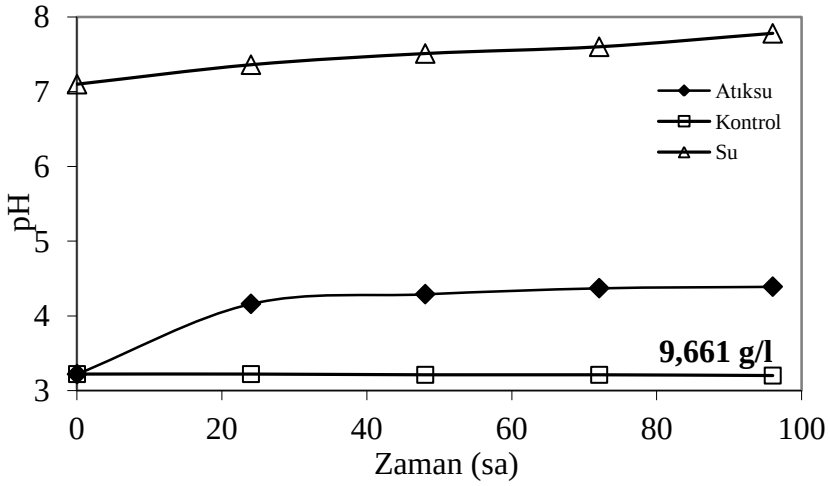


Şekil 4.39. Atıksuyun başlangıç KOİ konsantrasyonunun KOİ giderimine ve hidrojen gazı oluşum verimine etkisi.

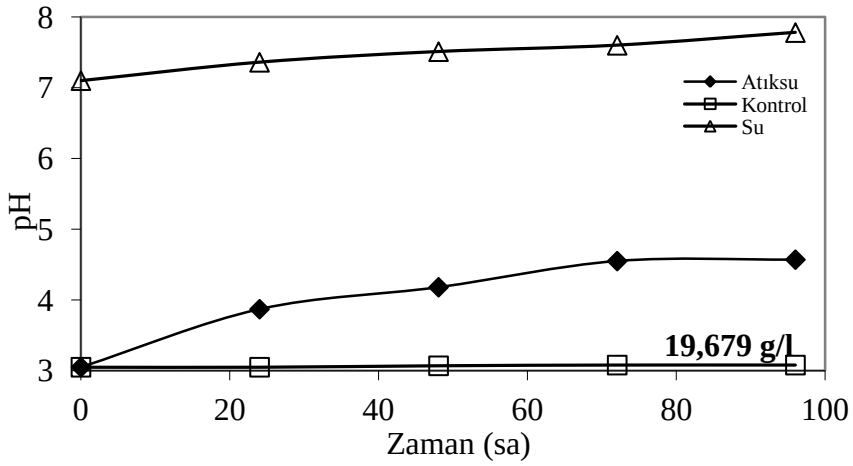
Şekil 4.39'da KOİ gideriminin oldukça düşük olduğu görülmektedir. KOİ giderimi çoğunlukla bakteriyel dekompozisyondan kaynaklanmaktadır. KOİ gideriminin artan konsantrasyonlarda azaldığı, buna karşılık hidrojen gazı veriminin arttığı göze çarpmaktadır. 9661 mg/, 19679 mg/l, 29696mg/l ve39329 mg/l başlangıç KOİ konsantrasyonlarına sahip atıksularda sırasıyla, hidrojen gazı verimleri 1232,6 ml H_2/g KOİ , 1500 ml H_2/g KOİ , 1831 ml H_2/g KOİ ve 2076 ml H_2/g KOİ olmuş ve en yüksek KOİ değerine sahip atıksuda (48605 mg/l) hidrojen gazı verimi maksimuma çıkmıştır (2765,6 ml H_2/g KOİ).

4.2.3. pH, ORP ve İletkenlik Değişimleri

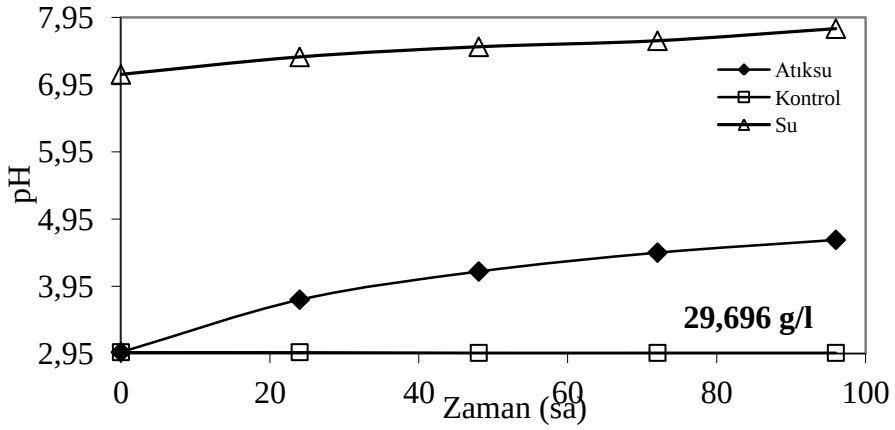
pH, ORP ve iletkenlik 96 saat işletme süresi boyunca izlenmiştir. Aşağıdaki grafiklerde (Sekil 4.40-4.44) zamana bağlı olarak farklı KOİ konsantrasyonuna sahip deney ve kontrol şişeleri ile sudaki pH, ORP ve iletkenlik değişimleri gösterilmiştir. Başlangıçta her atıksu deneyi KOİ değerlerinin farklı olması sebebiyle farklı pH, ORP ve iletkenlik değerlerine sahiptir. Başlangıç KOİ değerleri arttıkça başlangıç pH'larının azaldığı, ORP ve iletkenliğin ise arttığı gözlenmişdir. İşletme sonunda deney şişelerinde pH ve iletkenlik artmış, ORP ise azalmıştır. Kontrol şişelerinde ise H_2 gazı oluşumu için ortamdan uzaklaşan az miktarda (H^+) iyonu sebebiyle, pH değerlerinde önemli bir değişim olmamıştır. 4 V uygulanan su deneylerinde ise, pH'ın H_2 gazı oluşumuna bağlı olarak deney süresince giderek arttığı ve ORP değerlerinin de giderek düştüğü gözlenmiştir



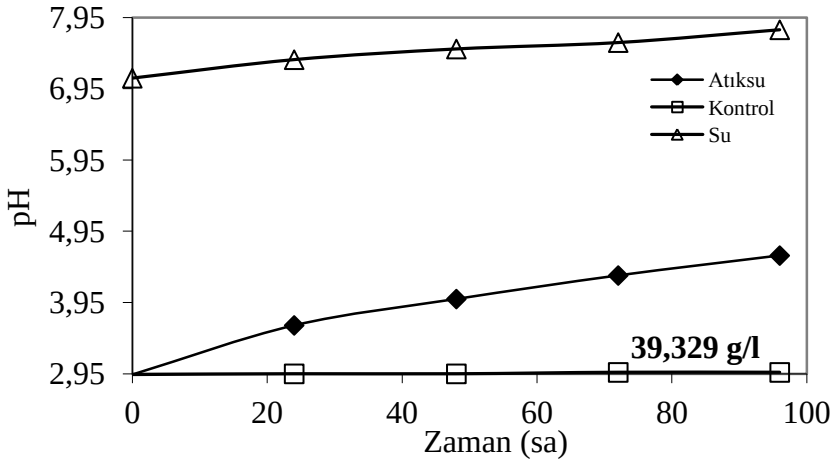
Şekil 4.40. $KOİ_o$= 9,661 g/l için pH'ın zamana bağlı değişimi.



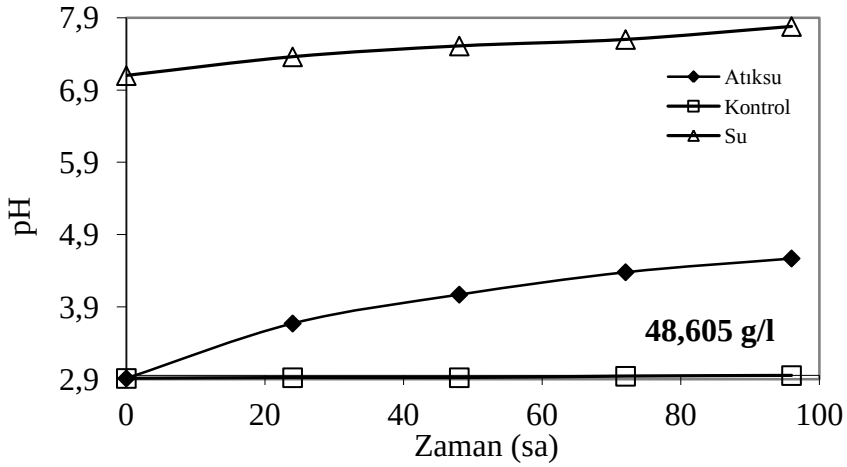
Şekil 4.41. $KOİ_o$= 19,679 g/l için pH'ın zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.42. $KOİ_o$= 29,696 g/l için pH'ın zamana bağlı değişimi.

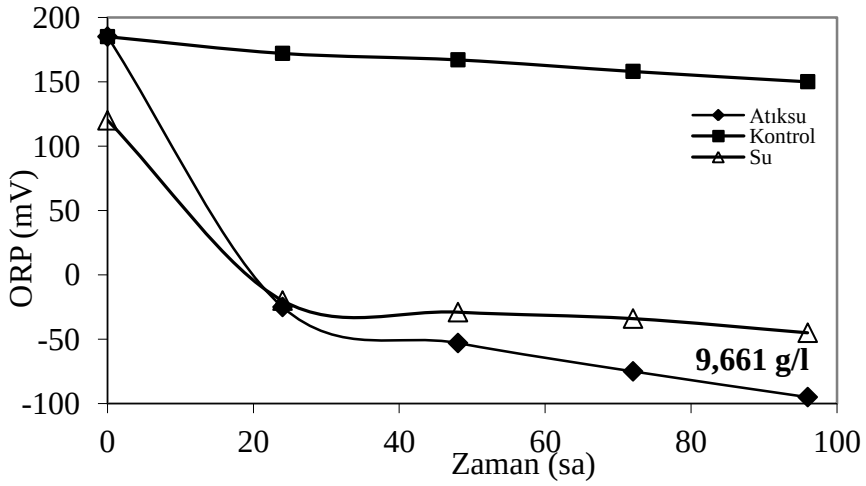


Şekil 4.43. $KOİ_o$= 39,329 g/l için pH'ın zamana bağlı değişimi.

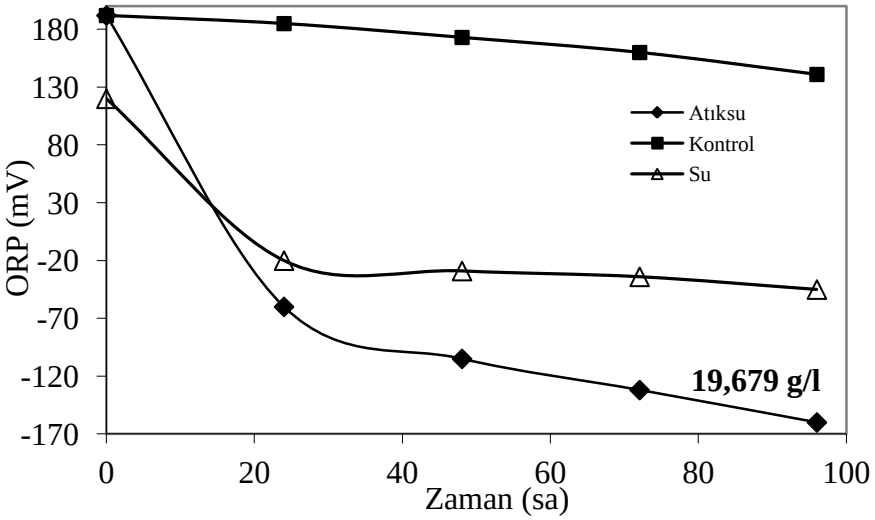


Şekil 4.44. $KOİ_o$= 39,329 g/l için pH'ın zamana bağlı değişimi.

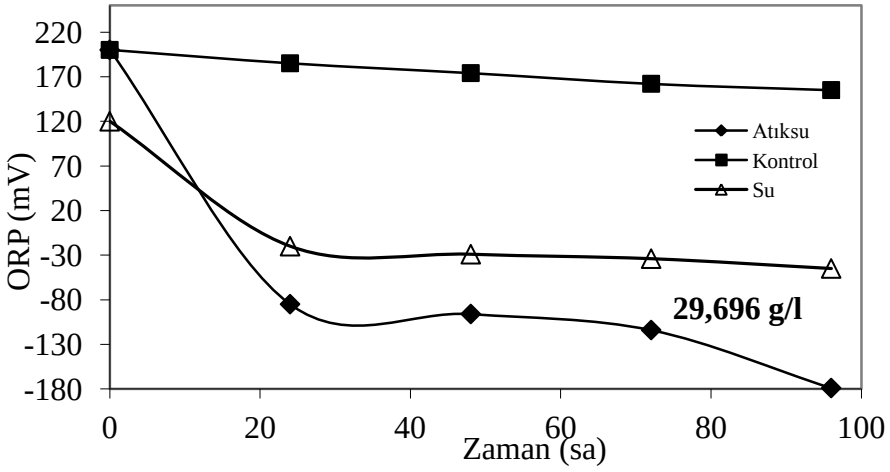
Başlangıç pH değerleri atıksuyun başlangıç KOİ'sine göre değişkenlik göstermektedir. Her deneyde pH değerinin deney süresince arttığı gözlenmiştir. Başlangıç KOİ konsantrasyonları, 9661 mg/, 19679 mg/l, 29696 mg/l, 39329 mg/l ve 48,605 mg/l olan atıksu deneylerinde başlangıç pH değerleri sırasıyla, 3,22, 3,05, 2,97, 2,94 ve 2,91' dir. Bu pH değerleri 9661 mg/l, 19679 mg/l, 29696mg/l, 39329 mg/l ve 48605 mg/l olan atıksu deneylerinde 96 saat işletme sonunda ortamdan (H^+)iyonlarının H_2 olarak uzaklaşmasına bağlı olarak sırasıyla, 4,39, 4,57, 4,64, 4,61 ve 4,57 değerlerine yükselmiştir. Kontrol şişelerinde ise H_2 gazı oluşumu için ortamdan uzaklaşan az miktarda (H^+) iyonu sebebiyle pH değerlerinde önemli bir değişim olmamıştır. 4 V uygulanan su deneylerinde ise, pH'ın H_2 gazı oluşumuna bağlı olarak deney süresince giderek arttığı gözlenmiştir.



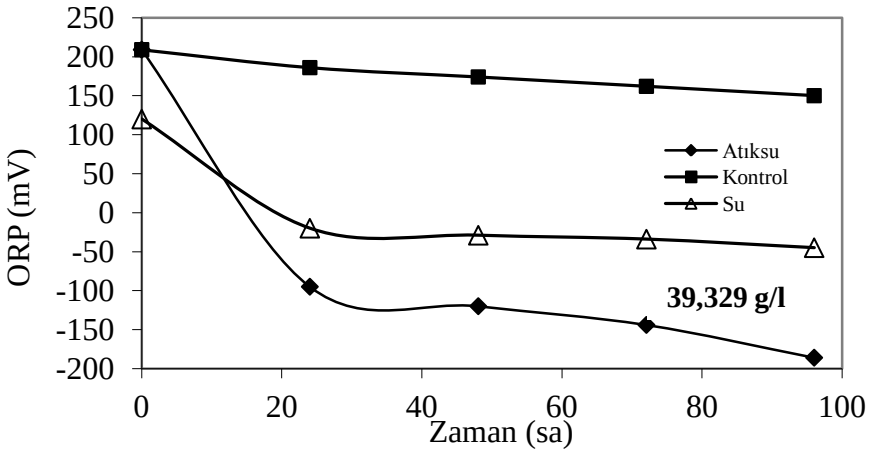
Şekil 4.45. $KOİ_o$= 9,661 g/l için ORP'nin zamana bağlı değişimi.



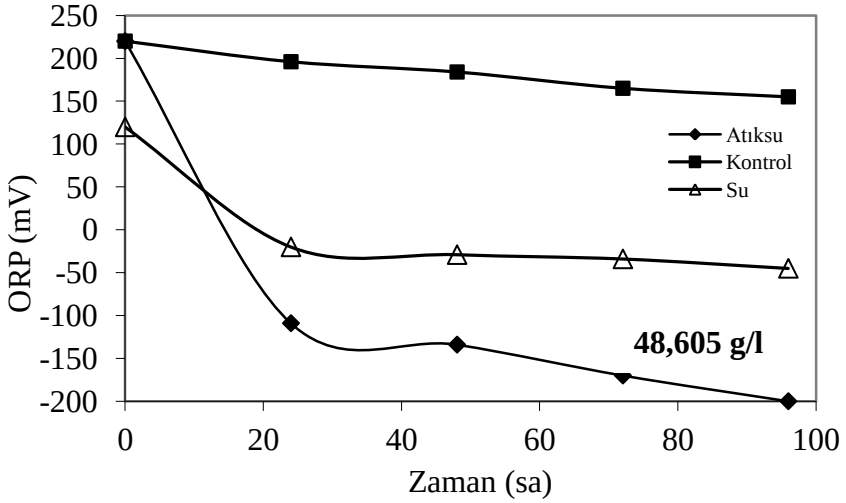
Şekil 4.46. $KOİ_o$= 19,679 g/l için ORP'nin zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.47. $KOİ_o$= 29,696 g/l için ORP'nin zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.48. $KOİ_o$= 39,329 g/l için ORP'nin zamana bağlı değişimi.

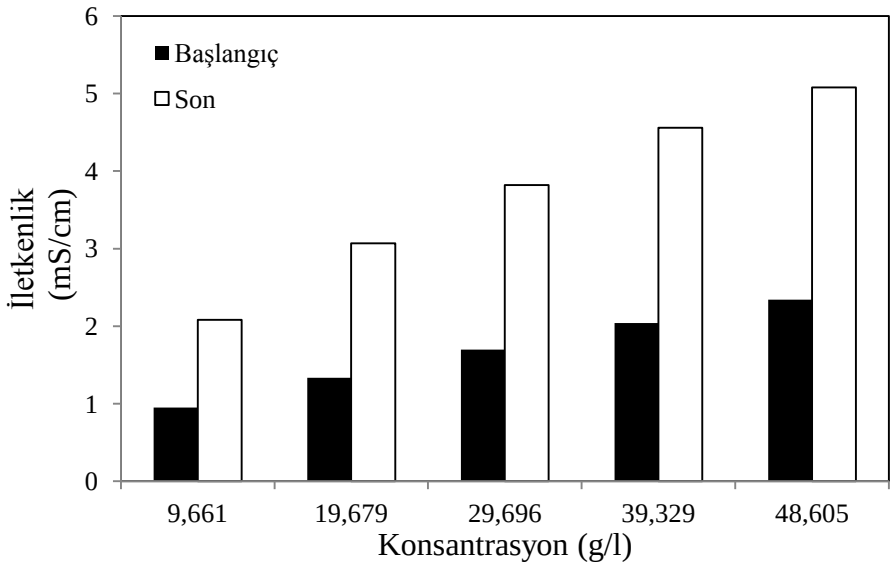


Şekil 4.49. $KOİ_o$= 48,605 g/l için ORP'nin zamana bağlı değişimi.

ORP değerlerinin tüm deney şişelerinde pH'la ters orantılı olarak zamanla azaldığı gözlenmiştir (Sekil 4.44-4.49). 9661 mg/, 19679 mg/l, 29696 mg/l, 39329 mg/l ve 48,605 mg/l başlangıç KOİ konsantrasyonlarında başlangıç ORP değerleri sırasıyla 185, 192, 200, 209 ve 220'dir. Deney sonunda son ORP değerleri 9661 mg/, 19679 mg/l, 29696mg/l, 39329 mg/l ve 48,605 mg/l başlangıç KOİ konsantrasyonlarına sahip deneyler için sırasıyla, -95, -160, -179, -186 ve -200 mertebelerine kadar düştüğü görülmektedir. Kontrol atıksuyunda ortamdan uzaklaşan az miktardaki (H^+) iyonlarına bağlı olarak pH ve ORP önemli bir değişiklik göstermemiştir. 4 V doğru akım voltajı uygulanan su deneyi için de hidrojen gazı üretimine bağlı olarak ORP'nin düştüğü gözlenmiştir.

Şekil 4.50, farklı başlangıç KOİ değerlerine sahip atıksu deneylerindeki başlangıç ve son durumdaki iletkenlik değerlerini göstermektedir. Başlangıç KOİ değerlerinin

artmasıyla son durumdaki iletkenliklerin de giderek arttığı gözlemlenmiştir. Yüksek KOİ konsantrasyonuna sahip deney şişelerinde ortama salınan yüksek miktardaki (Al^{+3}) iyonlarının bu duruma yol açtığı düşünülmektedir.



Şekil.4.50. Farklı KOİ konsantrasyonuna sahip atıksular için iletkenlik değişimleri.

Çizelge 4.3' de KOİ konsantrasyonun etkisinin incelendiği deney için toplu pH, ORP ve iletkenlik değişimleri sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.3. Farklı başlangıç KOİ değerlerine sahip atıksuların pH, ORP ve iletkenlik değişimleri

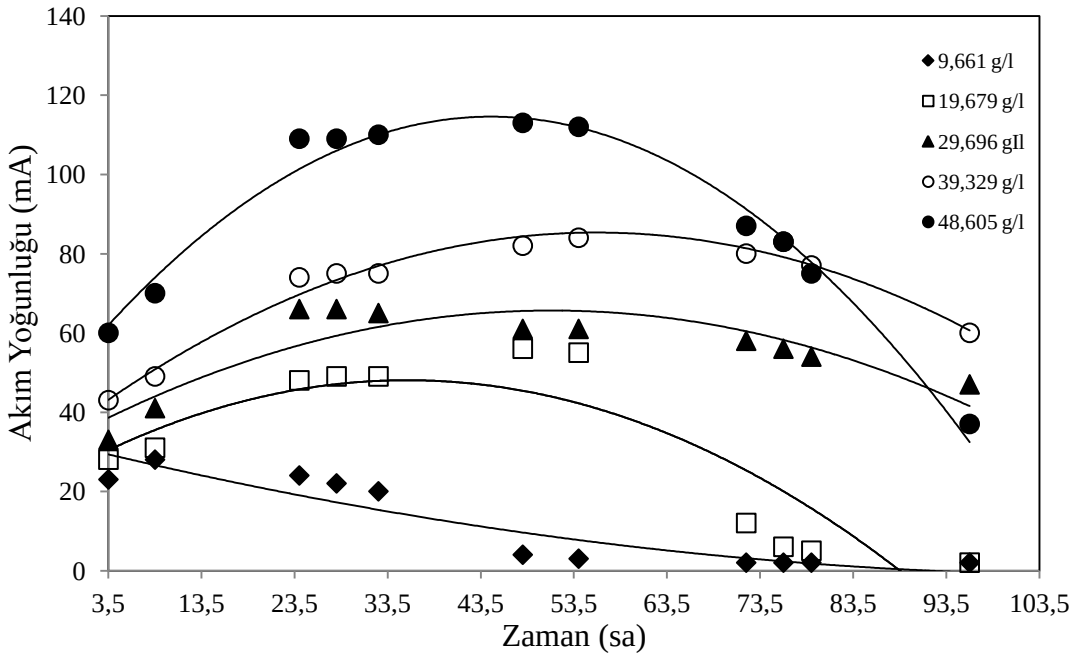
Başlangıç KOİ (mg/l)	pH		ORP		İletkenlik	
	Başlangıç	Son	Başlangıç	Son	Başlangıç	Son
9661	3,22	4,39	185	-95	0,95	2,08
19679	3,05	4,57	192	-160	1,33	3,07
29696	2,97	4,64	200	-179	1,70	3,82
39329	2,94	4,61	209	-186	2,04	4,56
48605	2,91	4,57	220	-200	2,34	5,08

4.1.4. Enerji Dönüşüm Verimi

96 saat deney süreci içinde sistemin direncinin değişmesi sonucu sistemden geçen akım zamanla değişkenlik göstermiştir. Artan KOİ konsantrasyonlarında başlangıç iletkenlik değerlerinin yüksek olması sistemin başlangıcda daha fazla akım çekmesine yol açmıştır. Akım değerleri belli bir zaman diliminde yükselmiş daha sonra elektrodun aşınması ve (H^+) iyonlarının giderimine bağlı olarak akım yoğunlukları düşmüştür. Bu

durum aynı doğru akım voltajı uygulanan (4 V) sistemden her bir deney için farklı enerji korunumu elde edilmesine yol açmıştır. En düşük başlangıç KOİ değerine sahip (6991 mg/l) deney için başlangıç akım değeri en düşük olup (23 mA), bu değer en yüksek KOİ değerine sahip (48605 mg/l) deney için en yüksek değer (60 mA) olmuştur. 19679 mg/l, 29696 mg/l ve 39329 mg/l başlangıç KOİ değerlerine sahip deneyler için başlangıç akımları sırasıyla, 28 mA, 33 mA ve 43 mA olmuştur.

Şekil 4.51'de 96 saat işletme süresi boyunca deney şişelerindeki akımın zamanla değişimi verilmiştir.

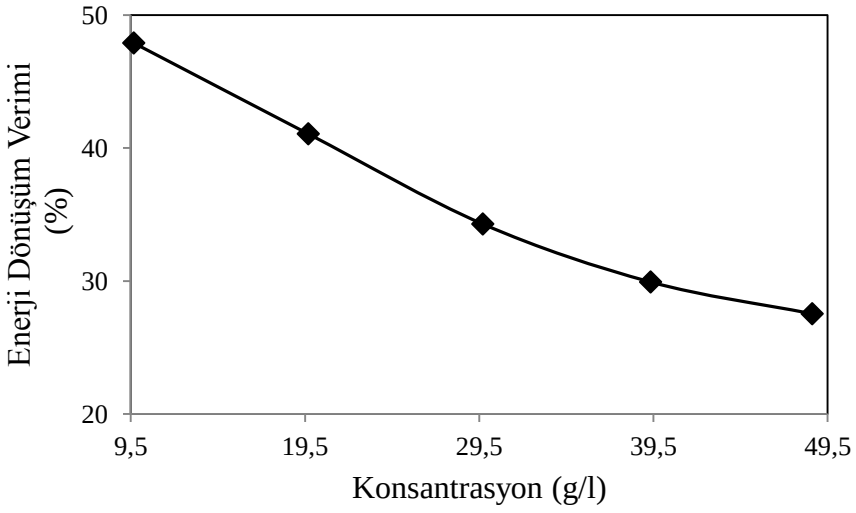


Şekil 4.51. Farklı başlangıç KOİ konsantrasyonlarına sahip deneyler için akım yoğunluklarının zamanla değişimi

9661 mg/ ve 19679 mg/l başlangıç KOİ değerlerine ait deneylerde oldukça kısa bir süre akım az bir artış göstermiş olup ortamdaki (H^+) iyonun kısıtlı olması sebebiyle iletkenliğin düşük olması ve elektrotlardan ortama yeterince elektron aktarılamaması zamanla akım değerlerinin hızla düşmesine yol açmış ve bu durum hidrojen gazı oluşumunu olumsuz etkilemiştir.

29696 mg/l, 39329 mg/l ve 48605 mg/l başlangıç KOİ değerlerine sahip deneylerde ise sistemden geçen akımın belli bir süre arttığı daha sonra ise yine düştüğü gözlenmiştir. Ancak bu deney şişelerindeki akım yoğunluğunun düşmesi elektrodun iyice aşınmasıyla açıklanabilir. Akımın azalmasına bağlı olarak oluşan H_2 gazının oldukça azalması sistemin enerji verimini olumsuz etkilemiştir.

Farklı başlangıç KOİ konsantrasyonlarına sahip atıksu deneyleri için enerji verimleri (3.9) eşitliği ile hesaplanmıştır. Elektrodun korozyonu ve atıksu kompozisyonunun değişimi sonucu akım yoğunluklarındaki değişime bağlı olarak sistemin enerji verimliliği her deney için değişkenlik göstermiştir.



Şekil 4.52. Farklı başlangıç KOİ konsantrasyonları için enerji dönüşüm verimleri.

Şekil 4.52, 4 V doğru akım voltajı uygulananan farklı KOİ içeriğine sahip atıksular için enerji dönüşüm verimlerinin KOİ derişimiyle değişimini göstermektedir. Enerji dönüşüm veriminin başlangıç KOİ konsantrasyonlarının artmasıyla azaldığı görülmektedir. En yüksek enerji dönüşüm verimi (%47,90) en düşük başlangıç KOİ değerine sahip (9661 mg/l) deneyde elde edilmiştir. En düşük enerji dönüşüm verimi (% 27,5) ise en yüksek başlangıç KOİ değerine (48605 mg/l) sahip deneyde elde edilmiştir. 19679 mg/, 29696 mg/ ve 39329 mg/l için eneri dönüşüm verimleri sırasıyla % 41,07, % 34,29 ve % 29,93 olmuştur. Başlangıç KOİ değerlerinin artması başlangıç asetik asit miktarını da artırmıştır. (H^+) iyonları asetik asitten ayrıştığı için elektrohidrolizle kümülatif hidrojen üretimi potansiyelinde başlangıç asetik asit konsantrasyonu önem arz etmektedir. Bu durum artan KOİ değerlerinde artan hidrojen gazı üretimini de beraberinde getirmiştir. Ancak artan KOİ konsantrasyonlarında iletkenliğin de yüksek olması sonucu sistemin çektiği akımın artması Şekil 4.52'de de görüldüğü gibi artan elektrik enerjisi girdisine sebep olmaktadır. Düşük KOİ konsantrasyonlarında düşük elektrik enerjisi girdisi yüksek enerji dönüşümü ile sonuçlanmıştır.

Çizelge 4.4. Farklı başlangıç KOİ değerlerine sahip deneylerde asetik asit konsantrasyonu ve aluminyum elektrot ağırlıklarının değişimi

PARAMETRE	BAŞLANGIÇ KOİ (mg/l)				
	9661	**19679**	**29696**	**39329**	**48605**
Asetik Asit (mg/l) Başlangıç	6147	12270	18237	24347	30134
Asetik Asit (mg/l) Son	6135	11745	17702	23928	29443
Anot Ağırlığı (g) Başlangıç	18,895	18,918	18,852	19,082	18,886
Anot Ağırlığı (g) Son	18,597	17,566	16,342	15,84	14,844
Katot Ağırlığı (g) Başlangıç	18,938	18,912	18,859	18,924	18,852
Katot Ağırlığı (g) Son	19,16	18,922	18,909	18,937	18,911

Çizelge 4.4'de farklı KOİ değerlerine sahip deneylerin başlangıçta ve 96 saat işletme sonunda asetik asit konsantrasyonları ve elektrot ağırlıkları verilmiştir. 9661 mg/l, 19679 mg/l, 29696mg/l, 39329 mg/l ve 48605 mg/l başlangıç KOİ konsantrasyonlarına sahip deneyler için başlangıç asetik asit konsantrasyonları sırasıyla, 6147 mg/l, 12270 mg/l, 18237 mg/l, 24347 mg/l ve 30134 mg/l'dir. Son durumda bu değerlerin hepsi bir miktar düşmüş olup sırasıyla, 6135 mg/l, 11745 mg/l, 17702 mg/l, 23928 mg/l, ve 29443 mg/l olmuştur. Bu durum elektrohidrolizle asetik asitin kısmi parçalanmasından kaynaklanmaktadır. Çizelge 4.5'te bu deney seti için toplu sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 4.5. Farklı başlangıç KOİ değerlerine sahip deneylerin 96 saat işletme süresi sonundaki toplu sonuçları

PARAMETRE	BAŞLANGIÇ KOİ (mg/l)				
	9661	**19679**	**29696**	**39329**	**48605**
KOİ giderimi (%)	11,97	11,75	9,08	6,86	4,76
H_2 verimi (ml H_2/g KOİ)	1232,6	1500,1	1831,1	2076,6	2765,6
H_2 oluşum hızı (ml H_2/gün)	178,12	433,53	617,07	700,62	799,26
Kümülatif H_2 (ml)	712,5	1734,1	2468,3	2802,5	3197,0
Sisteme verilen elektrik (A.sa)	1,050	2,975	5,063	6,603	8,195
Enerji verimi (%)	48	41	34	30	28

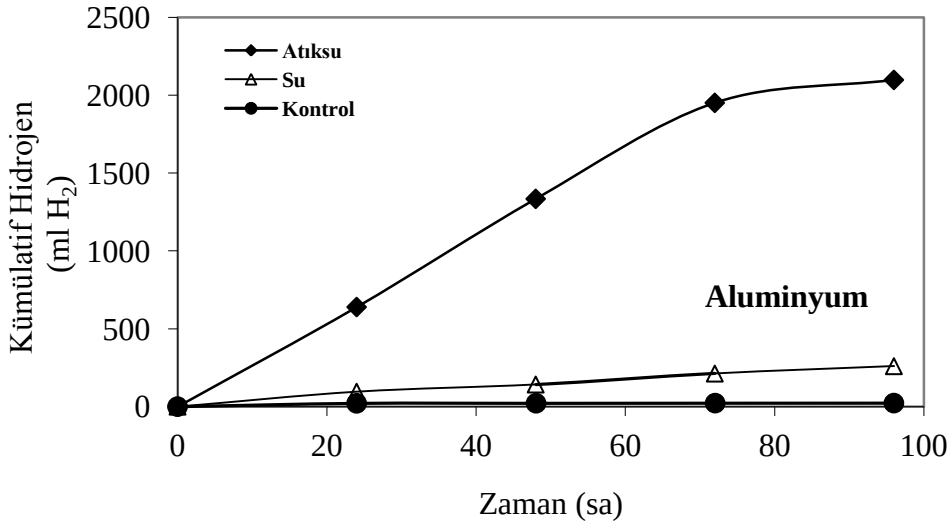
4.3. Elektrod Türünün Etkisi

Bu deney iki set halinde gerçekleştirilmiştir.İlk sette atıksuya uygulanan doğru akım voltajı (4 V) ve başlangıç KOİ değeri (33164 mg/l) sabit tutularak farklı türden elektrod kullanımının hidrojen gazı üretimine etkileri incelenmiştir. Kullanılan elektrod türleri alüminyum, bakır ve paslanmaz çelik çubuklardır. Farklı türden çubukların çapları (6.0 mm) ve boyları (24,5 cm) birbiriyle aynıdır. Kontrol atıksuyu deneyi de bakteriyel bozunmadan kaynaklı hidrojen gazı üretimi potansiyelini görmek için eş zamanlı yürütülmüştür.

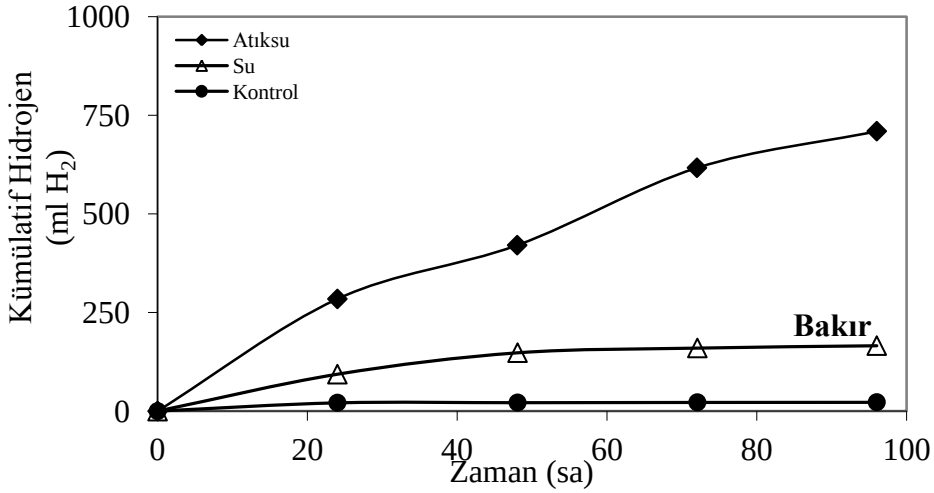
İkinci deney seti ise yine 4 V doğru akım voltajı uygulanan aynı özellikteki suların farklı elektrodlar kullanılarak elektroliz ile elde edilecek hidrojen gazı miktarının tesbiti için gerçekleştirilmiştir.

4.3.1. Hidrojen Gazı Üretimi

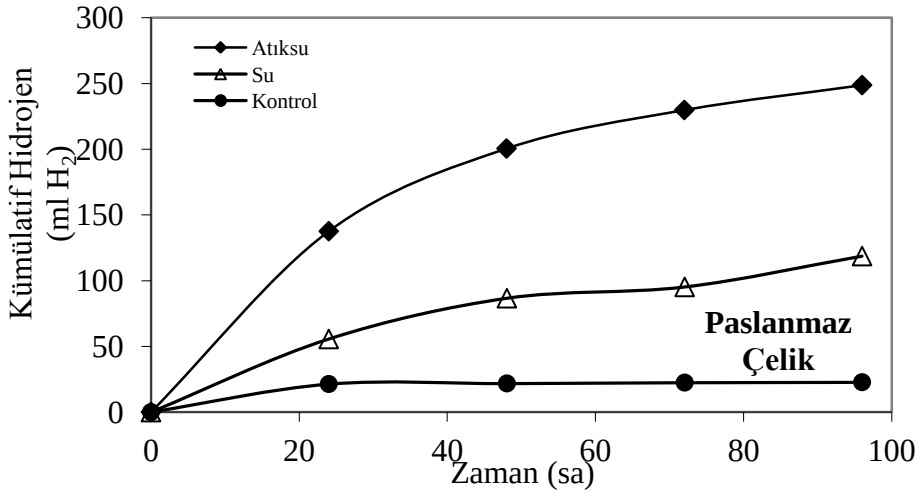
Aşağıdaki grafiklerde (Sekil 4.53-4.55) 96 saat işletme süreci boyunca 4 V uygulanılan, 33164 mg/l KOİ içeriğine sahip atıksulardan kümülatif hidrojen gazı üretimi verilmiştir. Ayrıca farklı elektrodların suyun elektrolizinden elde edilecek hidrojen gazı miktarına etkisinin belirlenmesi için su kontrollerine ve voltaj uygulanmayan atıksu kontrollerine ($KOİ_o$= 33164 mg/l) karşılaştırmak amacıyla yer verilmiştir



Şekil 4.53. Aluminyum elektrodun hidrojen gazı üretimine etkisi.



Şekil 4.54. Bakır elektrodun hidrojen gazı üretimine etkisi.

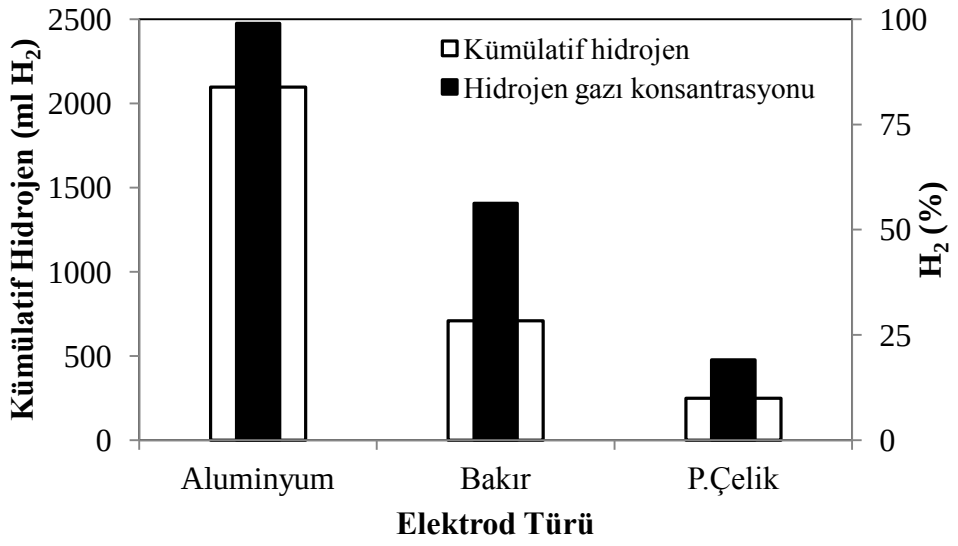


Şekil 4.55. Paslanmaz çelik elektrodun hidrojen gazı üretimine etkisi.

96 saat işletme süresi sonunda aluminyum, bakır ve paslanmaz çelik elektrod kullanılarak yapılan deneylerden sırasıyla, 2097,8 ml, 709,9 ml ve 248,7 ml hidrojen gazı üretilmiştir. Aynı şekilde su kontrol deneylerinden sırasıyla, 259,7 ml, 166,2 ml ve 118,7 ml hidrojen gazı üretilmiştir. Anaerobik bozunmadan kaynaklı kontrol deneyinden ise sadece 22,7 ml hidrojen gazı elde edilmiştir. Suyun elektrolizinden kaynaklı hidrojen gazının aluminyum, bakır ve paslanmaz çelik elektrodlar için oranları sırasıyla, %12,38, %23, %40 ve %47,71'dir. Aluminyum elektrod için suyun elektrolizinin katkısının oldukça az olduğu, paslanmaz çelik elektrot için ise bu oranın önemli olduğu görülmektedir. Ortama salınan elektron miktarının bakır ve paslanmaz çelik elektron deneyleri için sınırlı kalması bu durumda etkili olmuştur. Bakteriyel bozunmadan kaynaklanan hidrojen gazının etkisi için tüm deneyler için ihmal edilebilir düzeyde olup,

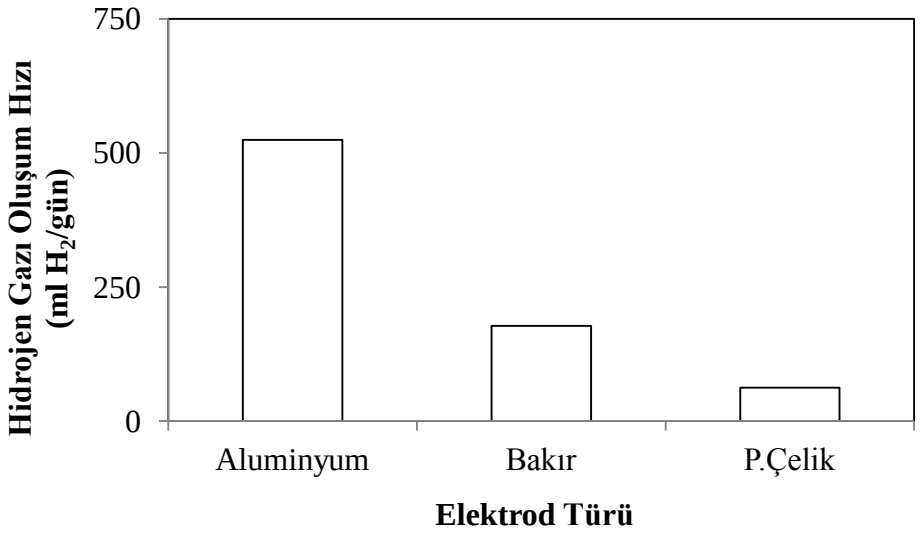
aluminyum, bakır ve paslanmaz çelik deneyleri için sırasıyla, %1,08, % 3,20 ve % 9,14 mertebelerindedir.

Kullanılan elektrodun hidrojen gazı üretimine katkısının oldukça önemli olduğu görülmektedir. Aluminyumun, bakır ve paslanmaz çeliğe göre daha korozif olması sebebiyle en çok aşınmış ve ortama daha çok elektron transfer etmiştir. Deney sırasında en az paslanmaz çelik elektrot aşınmıştır. Aluminyum elektrodun deney sonunda kopma noktasına geldiği, paslanmaz çelik elektrodun ise yüzeysel aşındığı görülmüştür. Bakır ve paslanmaz çelik elektrodların daha sert metaller olması bu sonucu doğurmuştur.



Şekil 4.56. Elektrod türünün kümülatif hidrojen gazı ve hidrojen konsantrasyonuna etkisi.

Kullanılan elektrod türü kümülatif hidrojen üretim miktarını değiştirmekle birlikte gaz fazındaki hidrojen konsantrasyonunun da değişimine yol açmıştır. Şekil 4.56, kullanılan elektrod türüne bağlı olarak kümülatif hidrojen üretimi ve gaz fazındaki hidrojen gazı konsantrasyonundaki değişimleri göstermektedir. Kümülatif hidrojen gazı üretimi ve hidrojen gazı konsantrasyonunun elektrodların elektron verme kapasitelerine bağlı olarak oldukça büyük farklılıklar göstermiştir. Aluminyum elektrod için gaz fazındaki hidrojen gazı konsantrasyonu % 99 mertebelerine ulaşırken bu durum bakır ve paslanmaz çelik elektrodlar için sırasıyla % 56 ve % 19 olmuştur.



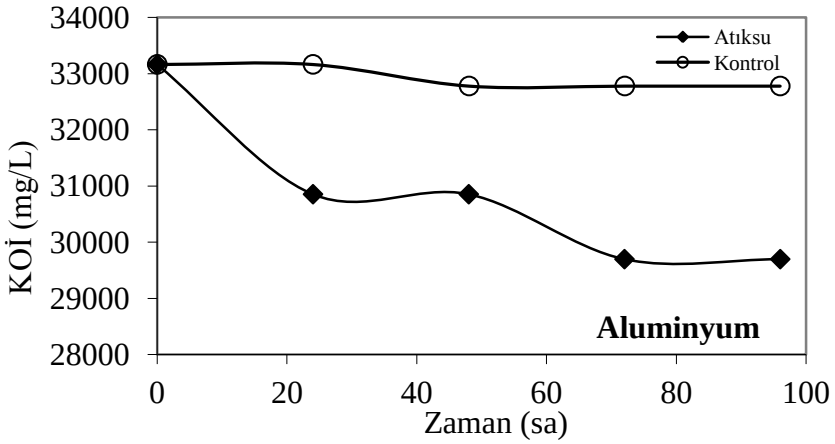
Şekil 4.57. Elektrod türünün hidrojen gazı oluşum hızına etkisi.

Farklı elektrodlar elektron verme kapasitelerine bağlı olarak atıksudan hidrojen gazı oluşum hızını etkilemektedirler. Şekil 4.57'de deneylerde kullanılan elektrod türlerinin hidrojen gazı oluşum hızına etkisi verilmiştir. Aluminyum, bakır ve paslanmaz çelik elektrod deneyleri için aynı başlangıç KOİ değerine (33164 mg/l) sahip ve aynı doğru akım voltajı uygulanan atıksuların hidrojen gazı oluşum hızı sırasıyla, 524,5 ml H_2/gün, 177,5 ml H_2/gün ve 62,2 ml H_2/gün olmuştur.

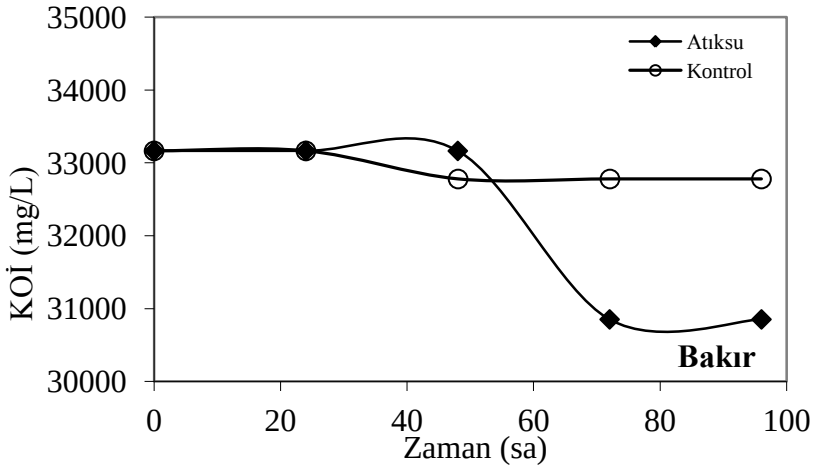
4.3.2. KOİ Giderimleri

Atıksu organiklerinin elektrohidroliziyle oluşan hidrojen gazı oluşumuna paralel olarak KOİ giderimi de gözlenmiştir. 4 V doğru akım voltajı ile elektrohidrolize maruz kalan aynı başlangıç KOİ değerine (33164 mg/l) sahip atıksularda ve kontrollerinde KOİ giderimleri kısmen de olsa gerçekleşmiştir. Deney şişelerindeki KOİ gideriminin kontrol şişelerindeki anaerobik degredasyondan kaynaklanan KOİ gideriminden fazla olması elektrohidrolizle bir kısım organiklerin (asetik asit) ayrıştığını göstermektedir.

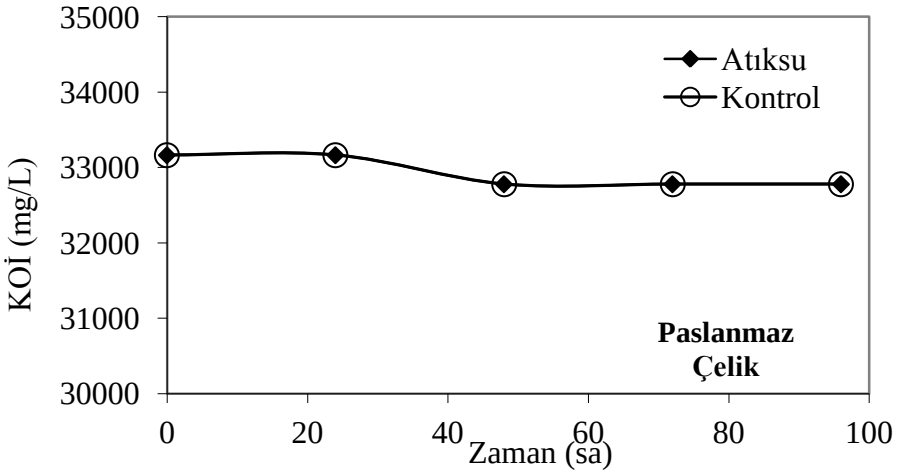
Aluminyum, bakır ve paslanmaz çelik elektrod deneylerinde aynı başlangıç KOİ konsantrasyonlarına (33164 mg /l) sahip atıksular 96 saat işletme süresi sonunda sırasıyla 29696 mg/l, 30852 mg/l ve 32779 mg/l değerlerine ulaşmıştır. Aşağıdaki grafikler kullanılan değişik elektrod türleri için KOİ giderimlerini göstermektedir.



Şekil 4.58. Aluminyum elektrod ile KOİ giderimi.

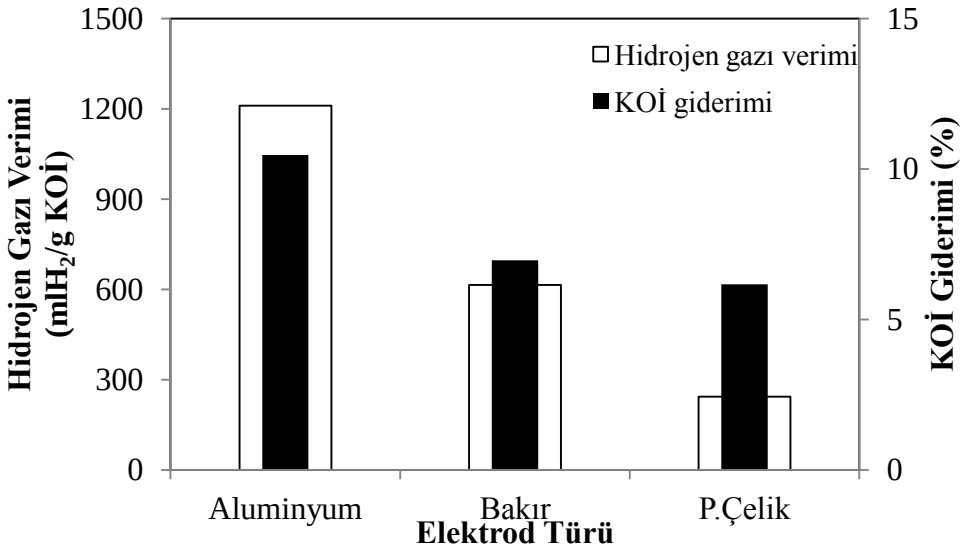


Şekil 4.59. Bakır elektrod ile KOİ giderimi



Şekil 4.60. Paslanmaz çelik elektrod ile KOİ giderimi.

Atıksuyun farklı metal elektrodlar ile elektrohidrolizinde hidrojen gazı oluşumuna bağlı olarak aluminyum için en çok (%10,46) ve paslanmaz çelik için ise en az (%6,16) KOİ giderimi sağlamıştır. Bakır elektrot için KOİ giderimi ise %6,97 olmuştur. Anaerobik parçalanmadan kaynaklı KOİ giderimi ise kontrol atıksuyu için %1,16 olmuştur. Atıksuyun farklı elektrodlarla elektrohidrolizinde farklı oranlarda kısmen de olsa KOİ giderimi sağlanmıştır. Şekil 4.61'de farklı elektrodlara ait deneylerin hidrojen gazı verimleri (ml H_2/g KOİ) ve KOİ giderimleri (%) gösterilmiştir.



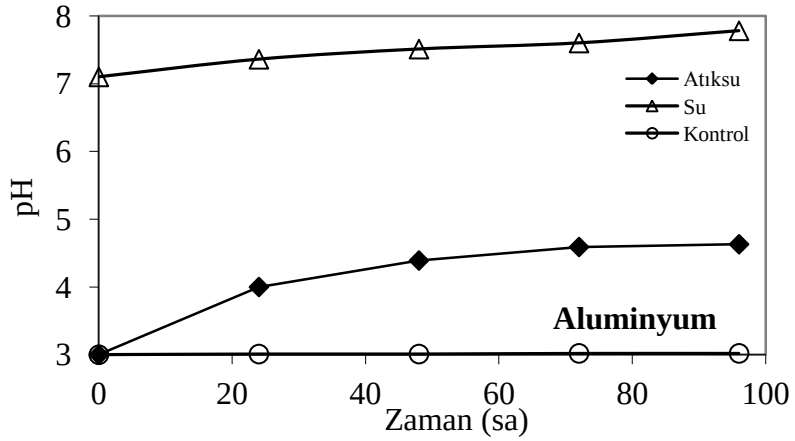
Şekil 4.61. Farklı elektrodlar için hidrojen gazı verimleri ve KOİ giderimleri.

Atıksuların farklı elektrodlarla elektrohidrolizi farklı hidrojen gazı üretimine ve KOİ giderimine yol açmış olup bu durum her deney için hidrojen gazı veriminin (ml H_2/g KOİ) değişimine yol açmışdır. Aluminyum, bakır ve paslanmaz çelik için hidrojen gazı verimleri sırasıyla, 1209,9 ml H_2/g KOİ, 614,2 ml H_2/g KOİ ve 243,6 ml H_2/g KOİ olmuştur. Aluminyum elektrodun kümülatif hidrojen gazı, gaz fazındaki hidrojen konsantrasyonu ve hidrojen gazı verimi bakımından en uygun elektrod türü olduğu görülmektedir.

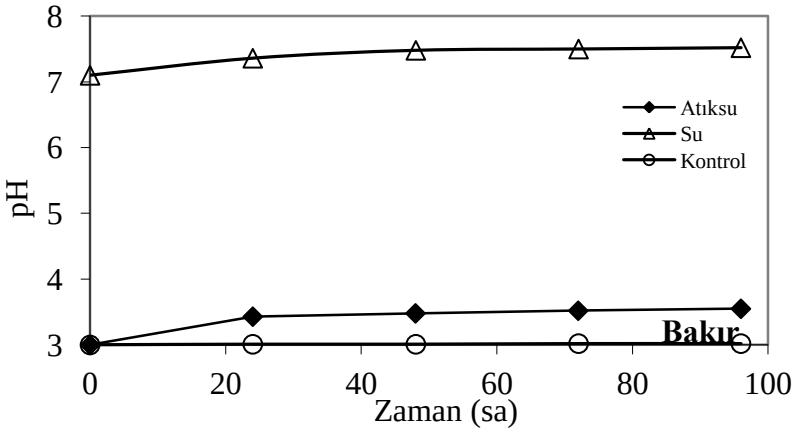
4.3.3. pH, ORP ve İletkenlik Değişimleri

Atıksuyun pH, ORP ve iletkenlik degişimleri 96 saat işletme süresi boyunca izlenmiştir. Aşağıdaki grafiklerde (Sekil 4.62-4.64) farklı elektrot türlerine sahip deney ve kontrol şişeleri ile farklı elektrotlara sahip su deneylerinde pH, ORP ve iletkenliğin zamanla değişimleri gösterilmiştir. Başlangıçta her atıksu deneyi için KOİ içeriği (33164 mg/l) ve uygulanan doğru akım voltajı (4 V) aynıdır. İşletme sonunda deney şişelerinde pH ve iletkenlik artmış, ORP ise azalmıştır. Kontrol şişelerinde ise H_2 gazı oluşumu için

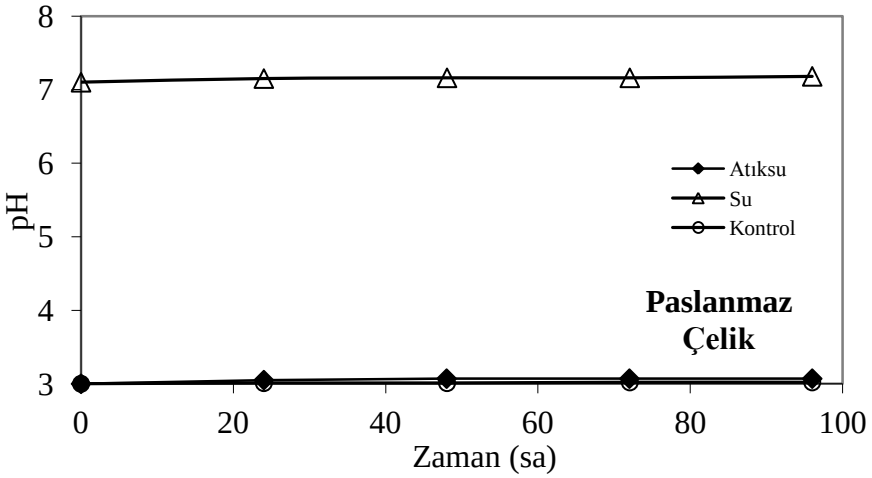
ortamdan uzaklaşan az miktarda (H^+) iyonu sebebiyle, pH değerlerinde önemli bir değişim olmamıştır. Farklı elektrodlarla yapılan kontrol su deneylerinde ise, pH'ın H_2 gazı oluşumuna bağlı olarak deney süresince giderek arttığı ve ORP değerlerinin de giderek düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 4.62. Aluminyum elektrod kullanımında pH ın zamanla değişimi



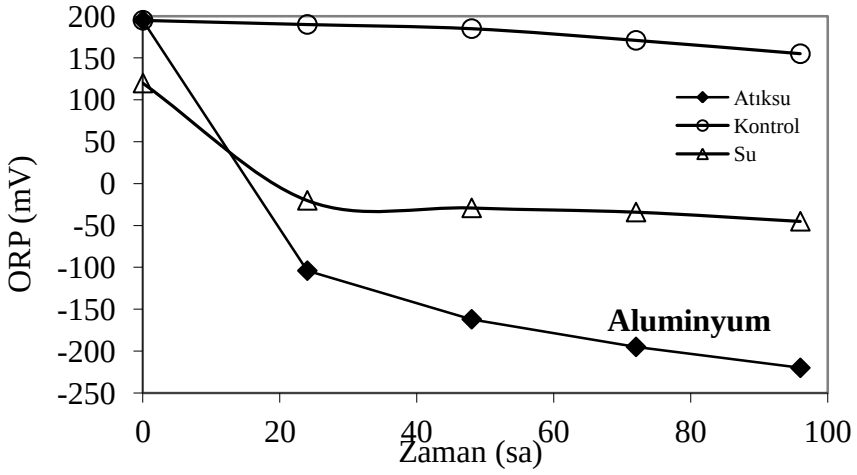
Şekil 4.63. Bakır elektrod kullanımında pH ın zamanla değişimi



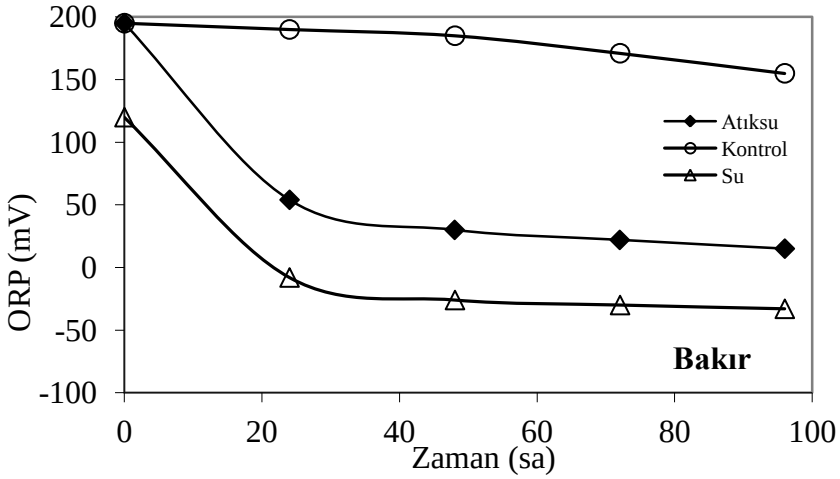
Şekil 4.64. Paslanmaz çelik elektrod kullanımında pH ın zamanla değişimi.

Başlangıç pH değerleri tüm deney şişeleri ve kontrol için aynıdır (pH=3,0). 96 saat işletme sonunda pH değerleri aluminyum, bakır ve paslanmaz çelik elektrotlar için sırasıyla 4,63, 3,55 ve 3,07 olmuştur. Kontrol atıksuyunun son pH değeri ise 3,02' dir. Kullanılan elektrot türünün etkisine bağlı olarak ortama salınan elektronların, (H^+) iyonlarıyla birleşerek hidrojen gazı üretmesi pH ın yükselmesine yol açmıştır. Aluminyum elektrodun ortama en çok elektron salması pH'ın bakır ve aluminyum elektrotlara göre daha hızlı ve çok yükselmesine yol açmıştır. Paslanmaz çelik elektrodun ise yüzeysel aşınması sonucu ortama yeterli elektron sağlayamaması pH değişiminin oldukça az olmasına neden olmuştur. Kontrol atıksuyunda da az miktardaki hidrojen gazı oluşumu pH' da önemli bir değişiklik oluşturmamıştır.

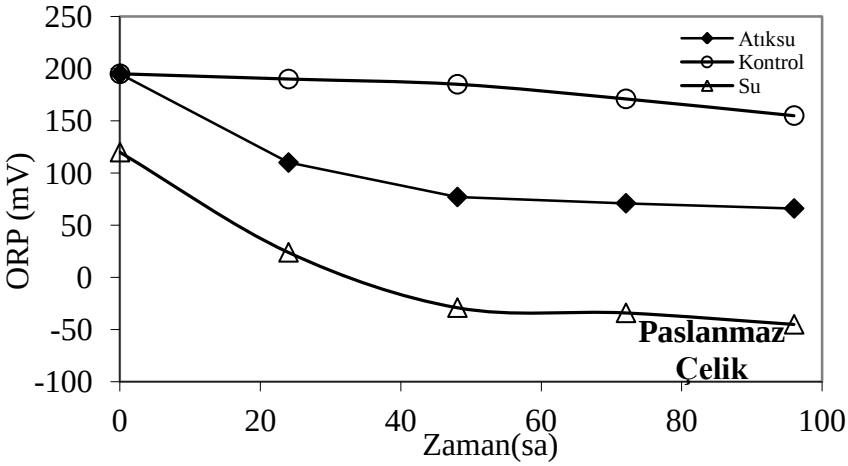
Başlangıç atıksularının ORP değerleri aynı olup 195 mV'dır. Zamanla pH değerlerinin artmasına bağlı olarak tüm deneylerde ve kontrolde ORP değerleri zamanla azalmıştır. Aşağıdaki grafiklerde (Sekil 4.65-4.67) farklı elektrodların kullanıldığı atıksu ve kontrol deneyleri için ORP nin zamanla değişimi verilmektedir.



Şekil 4.65. Aluminyum elektrod kullanımında ORP nin zamanla değişimi.



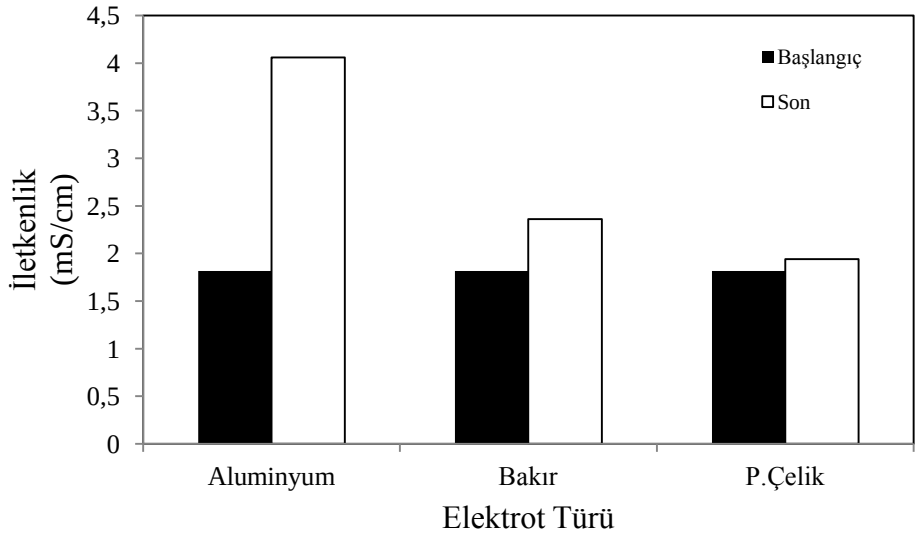
Şekil 4.66. Bakır elektrod kullanımında ORP nin zamanla değişimi.



Şekil 4.67. Paslanmaz çelik elektrod kullanımında ORP nin zamanla değişimi.

96 saat işletme süresi bitiminde son ORP değerleri aluminyum, bakır ve paslanmaz çelik elektrotlar için sırasıyla, -220 mV, 15 mV ve 66 mV ‘dur. pH’ın artışına bağlı olarak her deneyde ORP değerlerinin azaldığı görülmektedir.

İletkenliğin degişik elektrod deneylerinin hepsinde 96 saat işletme süresi sonunda arttığı belirlenmiştir. Şekil 4.68, elektrot türünün deney başlangıcı ve sonundaki iletkenliğe etkisini göstermektedir. Başlangıçta her elektrot deneyi için atıksuyun iletkenliği aynı olup 1,816 mS/cm’dir. Deney sonunda aluminyum, bakır ve paslanmaz çelik elektrotlar için iletkenlik değerleri sırasıyla, 4,06 mS/cm, 2,37 mS/cm ve 1,94 mS/cm’dir. Ortama salınan metal iyonlarının iletkenliği son durumda arttırdığı düşünülmektedir.



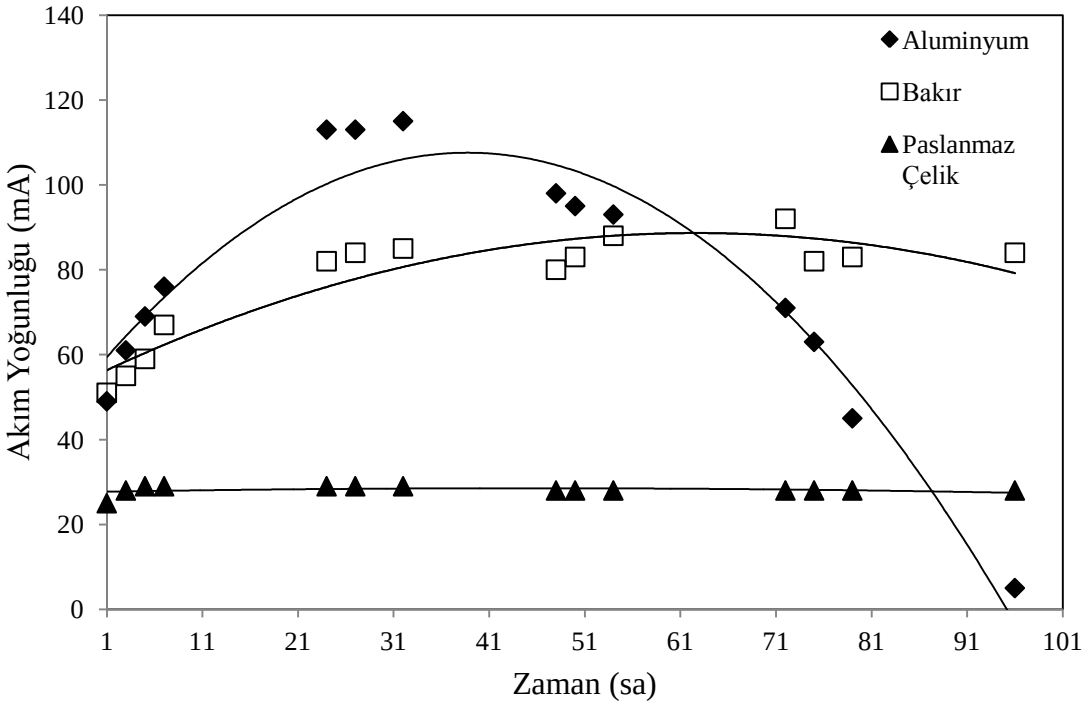
Şekil 4.68. İletkenliğin elektrod türüne bağlı olarak değişimi.

4.3.4. Enerji Dönüşüm Verimi

96 saat deney sürecinde sistemin direncinin değişmesi sonucu sistemden geçen akım zamanla değişmiştir. Farklı türden metal elektrodlar aynı doğru akım voltajında (4 V) deney süresince güç kaynağından oldukça farklı akımlar çekmiştir. Akım değerleri aluminyum ve bakır elektrodlar için belli bir zaman yükselmiş daha sonra elektrodun aşınması ve (H^+) iyonlarının giderimine bağlı olarak düşmüştür. Paslanmaz çelik elektrodun dayanıklı bir metal olmasından dolayı oldukça zor aşındığı ve süreç boyunca akım değerlerinin yaklaşık sabit kaldığı gözlenmiştir. Bu durum aynı doğru akım voltajı uygulanan (4 V) değişik elektrodlar için farklı enerji dönüşüm veriminin elde edilmesine yol açmıştır. Bakır elektrod için başlangıç akım değeri en yüksek olup (51 mA), bu değer aluminyum deneyi için 49 mA ve paslanmaz çelik deneyi içinse 25 mA olmuştur. Ancak

aluminyumun yumuşak bir metal olması dolayısıyla daha hızlı iyonlaştığından akım değeri zamanla daha hızlı yükselmiş ve deney süresi bitiminde atıksuya değen kısmı neredeyse tümüyle aşınmıştır.

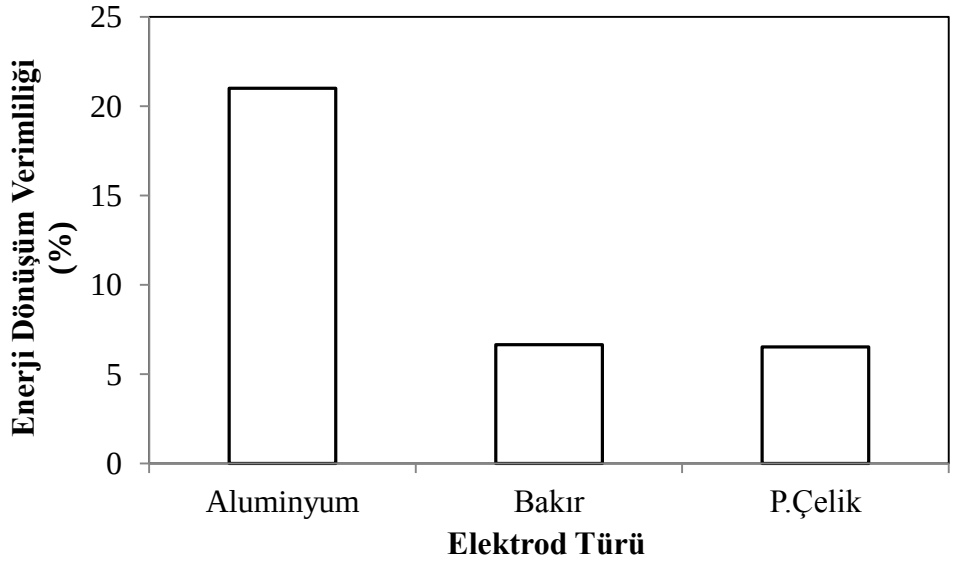
Şekil 4.69'da değişik elektrodlar için 96 saat işletme süresi boyunca akımın şiddetinin değişimi verilmiştir.



Şekil 4.69. Elektrod türüne bağlı olarak akım yoğunluklarının zamanla değişimi

Aluminyum elektrod deneyinde sistemden geçen akımın belli bir zaman arttığı daha sonra düştüğü gözlenmiştir. Ancak bu deney şişesindeki akım yoğunluğunun düşmesi elektrodun iyice aşınmasına ve (H^+) iyonları ile (Al^{+3}) iyonlarının yarış haline gelmesiyle açıklanabilir. Akımın azalmasına bağlı olarak oluşan H_2 gazının oldukça azalmasına rağmen diğer elektrotlara göre hidrojen gazı üretiminin avantajından dolayı aluminyum elektrod kullanıldığında enerji verimi en yüksek olmuştur.

Bakır ve paslanmaz çelik elektrod deneylerinde akım deney suresince fazla bir değişiklik göstermemiştir. Bu durumda ortama verilen elektronlar sınırlı kalmış ve hidrojen üretimi olumsuz etkilenmiştir. Paslanmaz çelik elektrodun bakıra göre daha da az korozif olması hidrojen gazı üretimini oldukça düşürmüş olup bu durum enerji dönüşüm verimlerinin her iki elektrod için aluminyuma kıyasla daha düşük olmasına yol açmışdır.



Şekil 4.70. Değişik elektrod türleri için enerji dönüşüm verimi

Şekil. 4.70, 4 V doğru akım voltajı uygulanan aynı KOİ içeriğine sahip (33164 mg/l) atıksular için değişik elektrod kullanımında enerji verimlerini göstermektedir. Enerji veriminin elektrod türüne bağlı olarak oldukça değiştiği görülmektedir. En yüksek enerji verimi (% 21,33) aluminyum elektrodla elde edilmiştir. Bakır ve paslanmaz çelik deneylerinde hidrojen gazı üretimine ve sistemin çektiği akıma bağlı olarak enerji dönüşüm verimleri sırasıyla, % 6,65 ve % 6,54 olmuştur. (H^+) iyonlarının asetik asitten ayrışmasına bağlı olarak elektrohidrolizle hidrojen üretiminde elektrod türünün oldukça etkisi olmuştur. Ortama salınan elektronların bakır ve paslanmaz çelik elektrotlarda sınırlı kalması asetik asitin ayrışmasını etkilediği düşünülmektedir.

Çizelge 4.6. Farklı türden elektrotlara sahip deneylerde asetik asit konsantrasyonu ve elektrot ağırlıklarının değişimi

PARAMETRE	ELEKTROT TÜRÜ		
	Aluminyum	Bakır	Paslanmaz Çelik
Asetik Asit (mg/l) Başlangıç	19337	19337	19337
Asetik Asit (mg/l) Son	17899	18463	18702
Anot Ağırlığı (g) Başlangıç	18,8720	64,785	56,65
Anot Ağırlığı (g) Son	15,4207	54,0926	56,1605
Katot Ağırlığı (g) Başlangıç	18,8730	64,8225	56,3233
Katot Ağırlığı (g) Son	18,8796	67,1439	56,3246

Çizelge 4.6'da aynı KOİ değerlerine sahip deneylerin başlangıçta ve 96 saat işletme sonunda asetik asit konsantrasyonları ve elektrot ağırlıkları verilmiştir. Aluminyum, bakır ve paslanmaz çelik elektrod deneyleri için başlangıç asetik asit konsantrasyonları aynı olup 19337 mg/l'dir. Son durumda bu değerlerin hepsi bir miktar düşmüş olup aluminyum, bakır ve paslanmaz çelik için sırasıyla 17899 mg/l, 18463 mg/l, 18702 mg/l olmuştur. Bu durum elektrohidrolizle asetik asitin kısmi ayrışmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.7'de farklı elektrodlar için toplu sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak aluminyum elektrodun test edilen diger elektrodlar arasında en iyi olduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 4.7. Farklı türden elektrodlar için ait toplu sonuçlar

PARAMETRE	ELEKTROT TÜRÜ		
	Aluminyum	**Bakır**	**Paslanmaz Çelik**
KOİ giderimi (%)	10,46	6,97	6,16
H_2 verimi (ml H_2/g KOİ)	1209,93	614,18	243,64
H_2 oluşum hızı (ml H_2/gün)	524,46	177,48	62,18
Kümülatif H_2 (ml)	2097,84	709,94	248,73
Sisteme verilen elektrik (A.sa)	7,20	7,53	2,98
Enerji verimi (%)	21,33	6,65	6,54

4.4. Aluminyum Yonga ve NaCl Etkileri

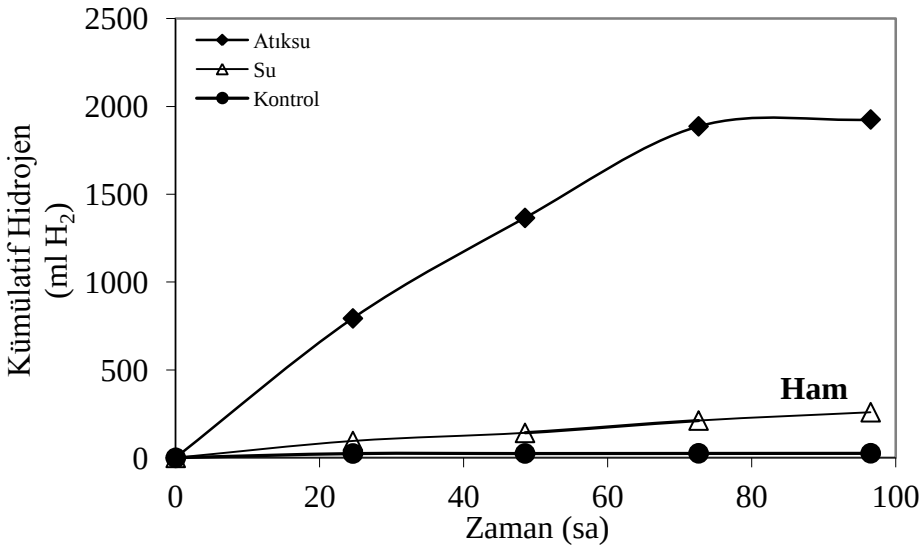
Bu deneylerin amacı atıksuya aluminyum yonga ve tuz (NaCl) ilavesi ile atıksuyun iletkenliğini ve dolayısıyla H_2 gazı üretim hızını artırmakdır. Bu deneyler iki set halinde gerçekleştirilmiştir. İlk sette atıksuya uygulanan doğru akım voltajı (4 V) ve başlangıç KOİ içeriği (33164 mg/l) sabit tutularak, atıksuya sadece aluminyum yonga, sadece NaCl ve aluminyum yonga + NaCl ilavesinin hidrojen gazı üretimine etkileri incelenmiştir. Bu set, 4 V doğru akım voltajı uygulanan ham atıksu, 1 g/l aluminyum yonga ilaveli atıksu, 1 g/l NaCl tuzu ilaveli atıksu ve 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl tuzu ilaveli atıksu olmak üzere 4 deney şişesinden ve bu deney şişelerinin her biriyle aynı özellikteki 4 kontrol atıksuyu şişesinden oluşmaktadır. Kontrol atıksularına da yonga ve tuz ilaveleri aynı şekilde yapılmıştır. Kullanılan aluminyum elektrot çubukların çapları 6 mm ve boyları 24,5

cm'dir. Kontrol atıksuyu deneyleri bakteriyel bozunmadan kaynaklı hidrojen gazı üretimi potansiyelini görmek için eş zamanlı yürütülmüştür.

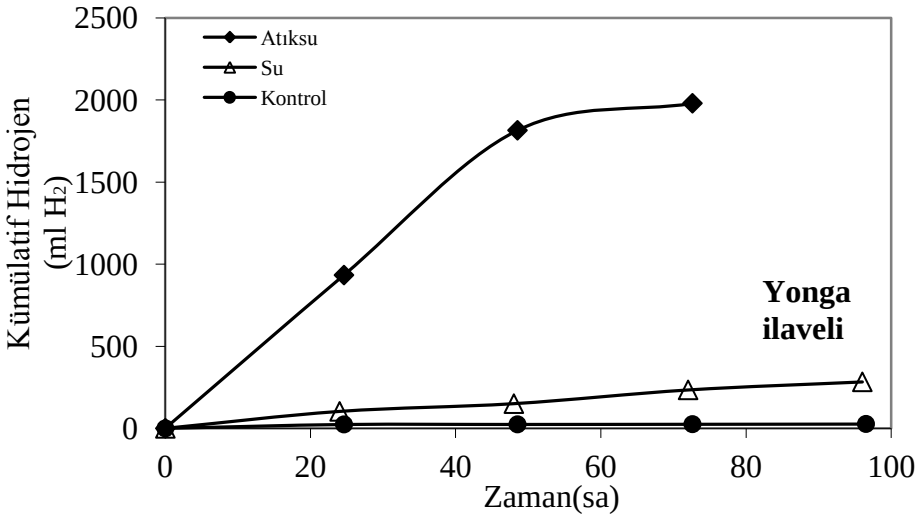
İkinci deney seti ise aluminyum elektrotlar ile 4 V doğru akım voltajı uygulanan ham atıksu, 1 g/l aluminyum yonga ilaveli su, 1 g/l NaCl ilaveli su ve 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl tuzu ilaveli su olmak üzere 4 deney şişesinden oluşmaktadır. Bu setin amacı farklı özellikteki sulardan elektroliz ile elde edilecek hidrojen gazı miktarının tespit edilmesidir.

4.4.1. Hidrojen Gazı Üretimi

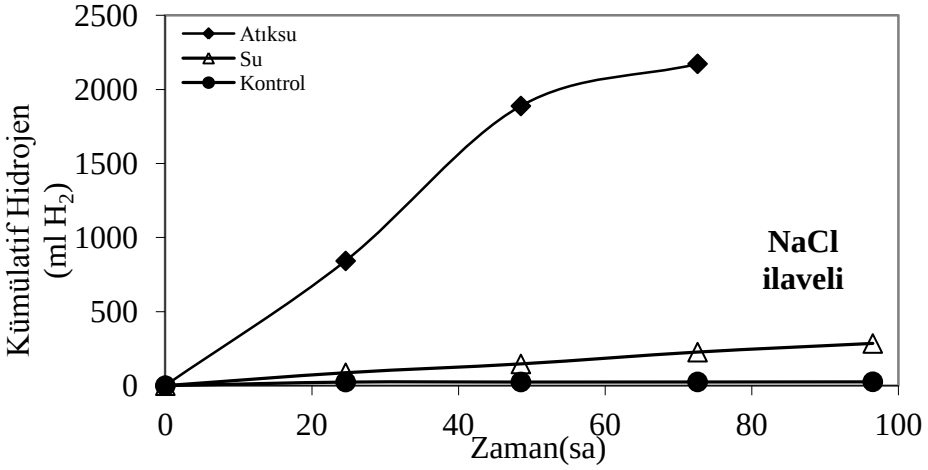
Aşağıdaki grafiklerde (Şekil 4.71-4.45) 96 saat işletme süreci boyunca 4 V uygulanılarak 33164,49 mg/l KOİ içeriğine sahip ham atıksu, 1 g/l aluminyum yonga ilaveli, 1 g/l NaCl ve 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl ilaveli atıksulardan üretilen kümülatif hidrojen gazının zamanla değişimi verilmiştir.



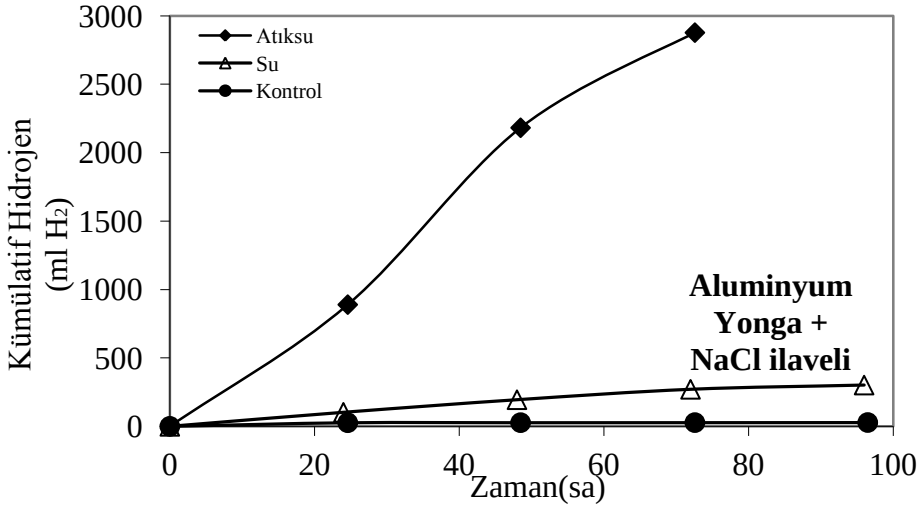
Şekil 4.71. Ham atıksudan kümülatif hidrojen gazı üretimi.



Şekil 4.72. 1 g/l aluminyum yonga ilaveli atıksudan kümülatif hidrojen gazı üretimi.



Şekil 4.73. 1 g/l NaCl tuzu ilaveli atıksudan kümülatif hidrojen gazı üretimi.



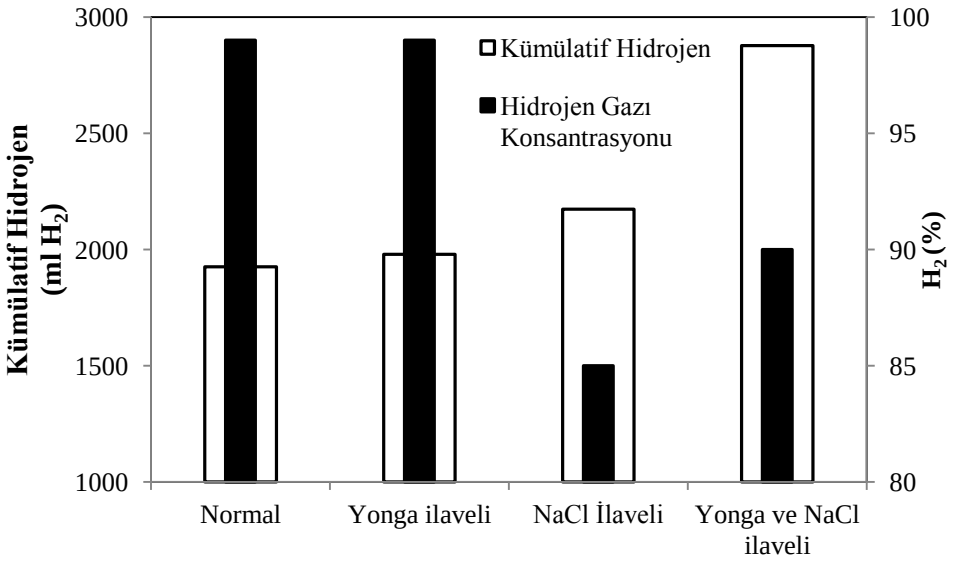
Şekil 4.74. 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl ilaveli atıksudan kümülatif hidrojen gazı üretimi.

1 g/l aluminyum yonga, 1 g/l NaCl ve 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl ilaveli atıksu deneylerinde elektrotlar kopup sistemden akım geçmediği için deneyler 72 saat sonunda bitirilmiştir. Bu deneylerden elde edilen hidrojen gazı miktarları sırasıyla, 1979,8 ml, 2173,1 ml ve 2877,3 ml'dir. Normal atıksudan ise 96 saat sonunda 1925,5 ml hidrojen gazı elde edilmiştir. Aynı şekilde su deneylerinden 96 saat işletme süresi sonunda sırasıyla, 283,4 ml ve 284,9 ml ve 301,6 ml hidrojen gazı üretilmiştir. Ham sudan ise 259,8 ml hidrojen gazı üretilmiştir Anaerobik bozunmadan kaynaklı kontrol deneylerinden ise ilave edilen tuz ve yonganın önemli bir katkısının olmadığı görülmüş ve 25,5±2 ml hidrojen gazı elde edilmiştir.

Başlangıç iletkenliklerinin yüksek olması nedeniyle bu deneylerde atıksudan yüksek akım geçmekte ve bu durum da elektrodların hızlı aşınmasına ve deneylerin 72 saatte sonlanmasına neden olmuştur.

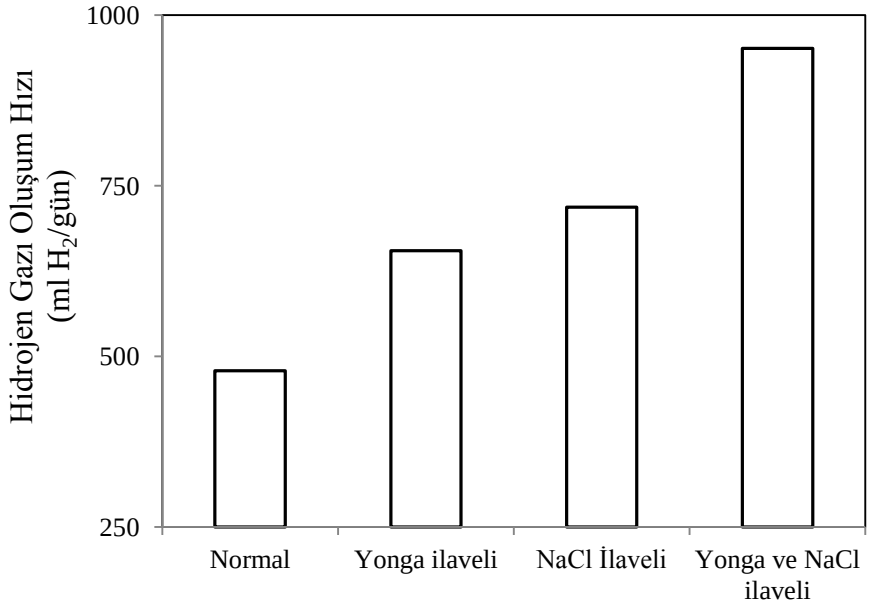
Özellikle 1 g/L NaCl ilavesinin iletkenliği oldukça artırması hidrojen gazı üretim hızını olumlu etkilemiştir. Yonga ilavesinin de iletkenliğe az miktar katkıda bulunması bu deneyde de ham atıksuya göre hidrojen üretim miktarını ve hızını arttırmıştır.

Şekil 4.75'de işletme süreleri sonunda normal atıksu, yonga ilaveli atıksu, tuz ilaveli atıksu ve yonga+tuz ilaveli atıksu deneylerine ait kümülatif hidrojen miktarı ve gaz fazındaki hidrojen konsantrasyonunu gösterilmektedir.



Şekil 4.75. Aluminyum yonga ve tuz ilaveli atıksulardan üretilen kümülatif hidrojen hacmi ve hidrojen gazı konsantrasyonları.

Yonga, tuz ve yonga + tuz ilaveli atıksu deneylerinde 72 saat sonunda ham atıksuyun 96 saatlik işletimine kıyasla hidrojen üretimlerinin oldukça arttığı gözlenmiştir. Ham atıksu, Al yonga ilaveli, tuz ilaveli ve Al yonga + tuz ilaveli atıksu deneylerinde gaz fazındaki hidrojen gazı konsantrayonları sırasıyla, %99,%99, % 85 ve %90'dır.



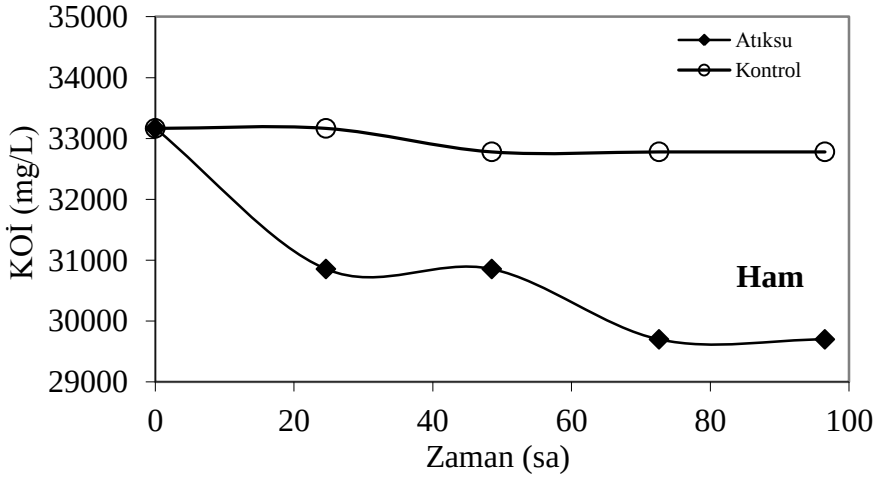
Şekil 4.76. Aluminyum yonga ve tuz ilaveli atıksulardan hidrojen gazı oluşum hızları.

Şekil 4.76 hidrojen gazı oluşum hızlarının Al yonga ve tuz ilavesi ile değişimini göstermektedir. Ham atıksu, yonga ilaveli, tuz ilaveli ve yonga + tuz ilaveli atıksu deneyleri için hidrojen gazı oluşum hızları sırayla, 478,9 ml H_2/gün, 654,5 ml H_2/gün, 718,4 ml H_2/gün ve 951,2 ml H_2/gün olmuştur. Yonga ve tuz ilavesi hidrojen oluşum hızını önemli ölçüde arttırmıştır.

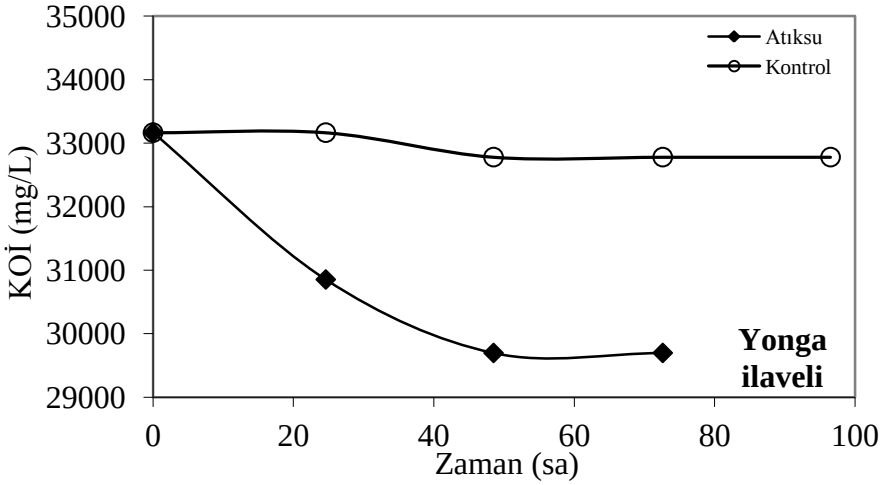
4.4.2. KOİ Giderimleri

Atıksu organiklerinin elektrohidroliziyle hidrojen gazı oluşumuna paralel olarak bir miktar KOİ giderimi de sağlamıştır. 4 V doğru akım voltajı ile elektrohidrolize maruz kalan aynı başlangıç KOİ içeriğine (33164 mg/l) sahip atıksularda ve kontrollerinde az da olsa KOİ giderimleri gerçekleşmiştir. KOİ gideriminin hem deney şişelerinde hem de atıksu kontrollerinde gerçekleştiği görülmektedir. Ancak deney şişelerindeki KOİ gideriminin kontrol şişelerindeki anaerobik parçalanmadan kaynaklanan KOİ gideriminden fazla olması elektrohidrolizle bir kısım organiklerin (asetik asit) ayrıştığını göstermektedir.

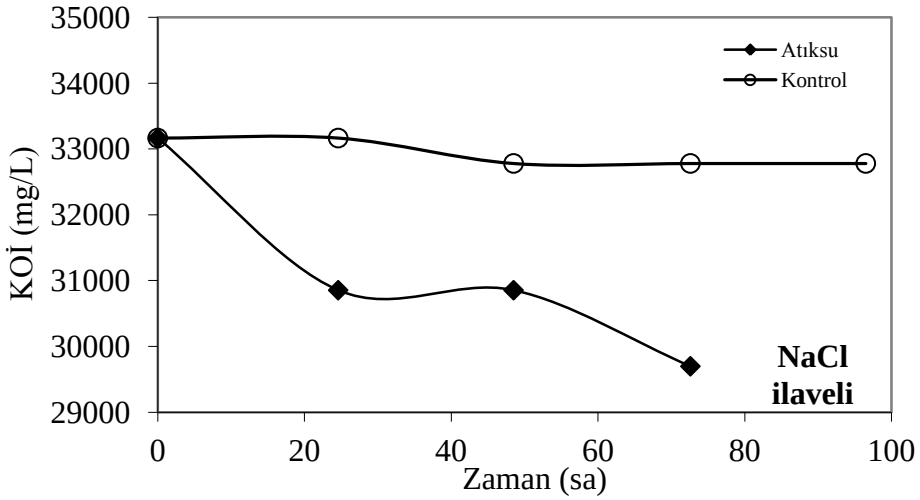
Ham atıksu, 1 g/l aluminyum yonga, 1 g/l NaCl ve 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl ilaveli atıksu deneylerinde KOİ, 96 saat işletme süresi sonunda aynı değere (29696 mg/l) ulaşmıştır. Aluminyum yonga ve tuz ilavesi KOI giderimini etkilememişdir. Aşağıdaki grafikler (Şekil 4.77-4.80) Al yonga ve tuz ilavesinin KOİ giderimine etkilerini göstermektedir.



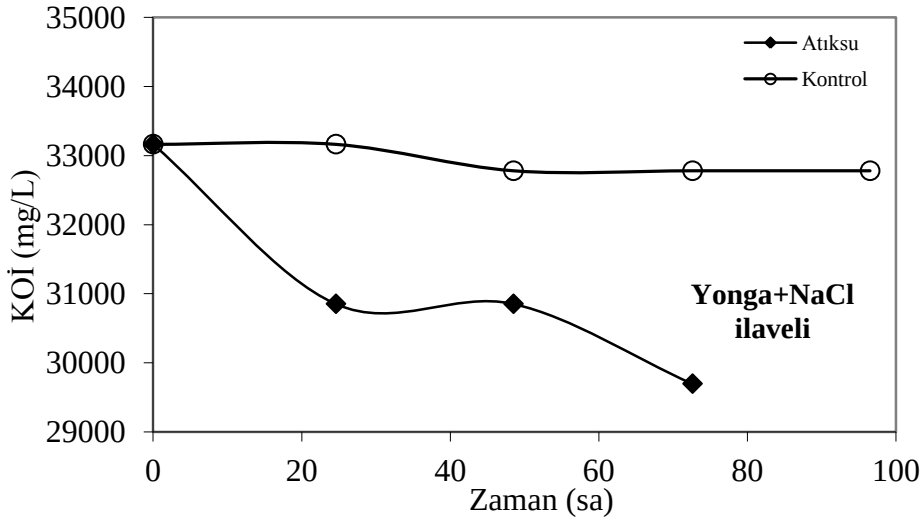
Şekil 4.77. Ham atıksuyun KOİ değişimi.



Şekil 4.78. 1 g/l aluminyum yonga ilaveli atıksuyun KOİ değişimi.

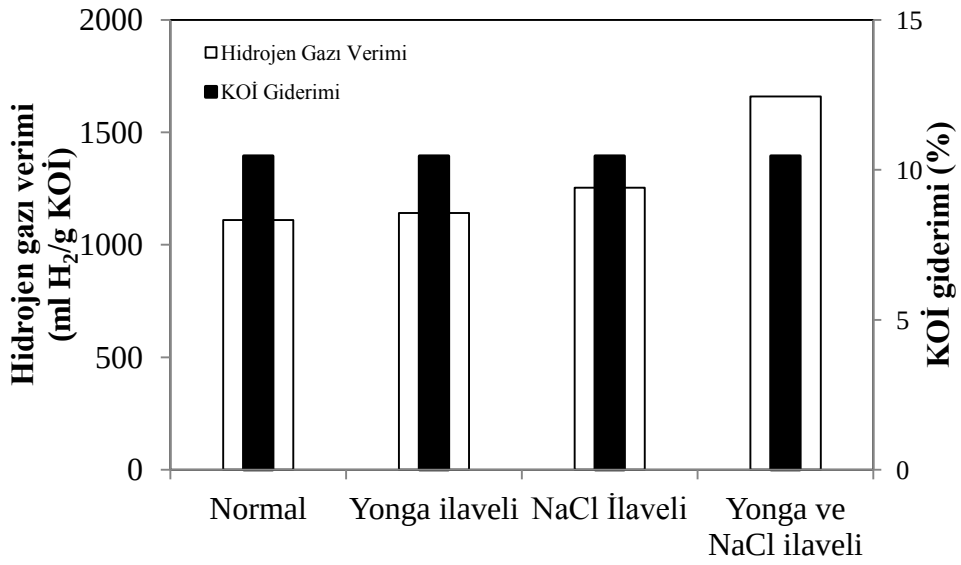


Şekil 4.79. 1 g/l NaCl ilaveli atıksuyun KOİ değişimi.



Şekil 4.80. 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl ilaveli atıksuyun KOİ değişimi.

Aynı başlangıç KOİ değerine sahip (33149 mg/l) ve aynı doğru akım voltajı uygulanan (4V) ham atıksu, 1 g/l aluminyum yonga, 1 g/l NaCl ve 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl ilaveli atıksu deneylerinde eşit KOİ giderimi (% 10,46) sağlanmıştır. Anaerobik parçalanmadan kaynaklı KOİ giderimi ise kontrol atıksuyu için % 1,16 olmuştur. Şekil 4.81'de, farklı atıksu deneylerine ait hidrojen gazı verimleri (ml H_2/g KOİ) ve KOİ giderimleri (%) gösterilmiştir.

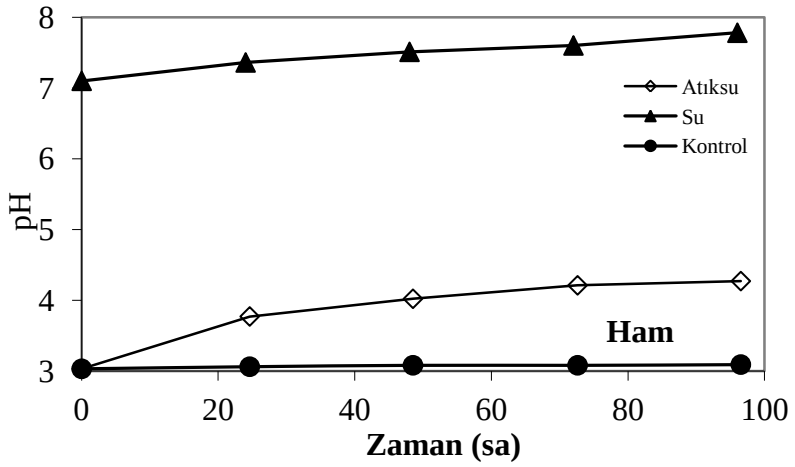


Şekil 4.81. Aluminyum yonga ve tuz ilaveli atıksular için hidrojen gazı verimleri ve KOİ giderimleri

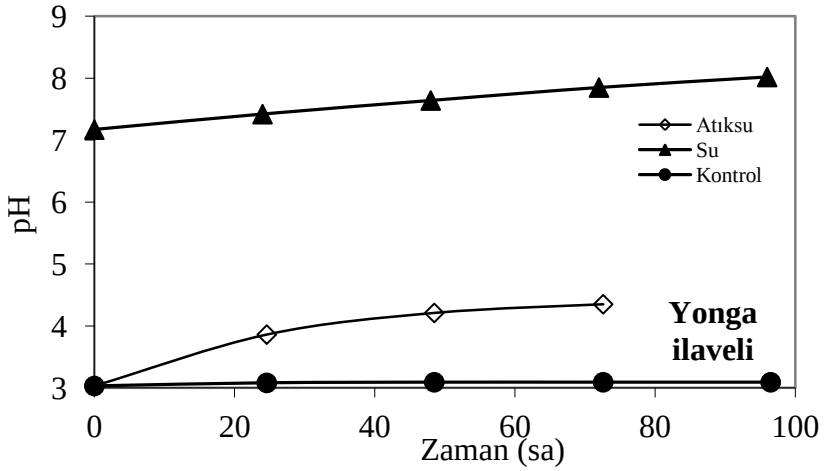
Tuz ve yonga ilaveli deneylerde iletkenlik artısı nedeniyle hidrojen gazı üretim hızı ve verimi artmıştır. Ham atıksu, 1 g/l aluminyum yonga, 1 g/l NaCl ve 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl ilaveli atıksu deneyleri için hidrojen gazı verimleri sırasıyla, 1110,5 ml H_2/g KOİ, 1141,9 ml H_2/g KOİ, 1253,4 ml H_2/g KOİ ve 1659,5 ml H_2/g KOİ olmuştur. Atıksuya ilave edilen 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl, bütün deneyler için aynı olan KOİ giderimine rağmen hidrojen gazı miktarını arttırdığı için hidrojen verimini de arttırmıştır. Tuz ilavesinin etkisi aluminyum yongadan daha fazla olmuştur.

4.4.3. pH, ORP ve İletkenlik Değişimleri

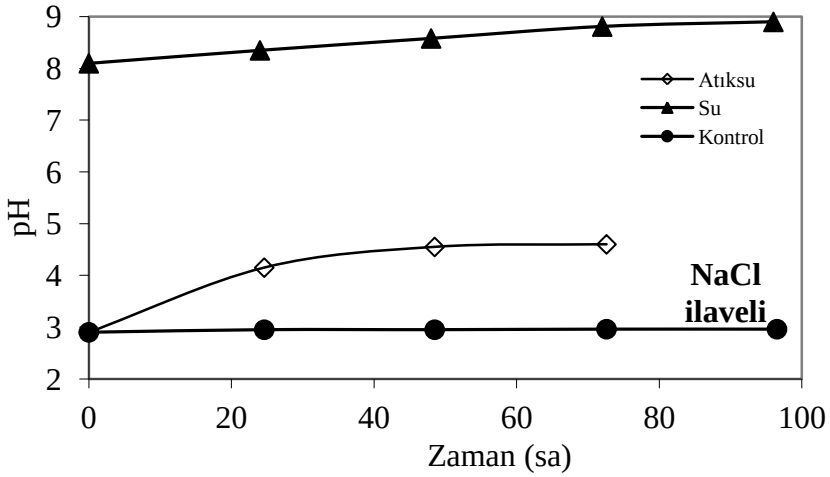
Atıksuyun pH, ORP ve iletkenligi deney süresince izlenmiştir. Sekil 4.82- 4.85 de ham atıksu, 1 g/l aluminyum yonga, 1 g/l NaCl ve 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl tuzu ilaveli atıksu deneyleri ve kontrol deneylerinde pH, ORP ve iletkenliklerin zamanla değişimleri gösterilmiştir. Başlangıçta her atıksu deneyi için KOİ içerigi (33164 mg/l) ve uygulanan doğru akım voltajı (4 V) aynıdır. İşletme sonunda deney şişelerinde pH ve iletkenlik artmış, ORP ise azalmıştır. Kontrol şişelerinde ise H_2 gazı oluşumu için ortamdan uzaklaşan az miktarda (H^+) iyonu sebebiyle, pH değerlerinde önemli bir değişim olmamıştır. 4 V uygulanan su deneylerinde ise, pH'ın H_2 gazı oluşumuna bağlı olarak deney süresince giderek arttığı ve ORP değerlerinin de giderek düştüğü gözlemlenmiştir.



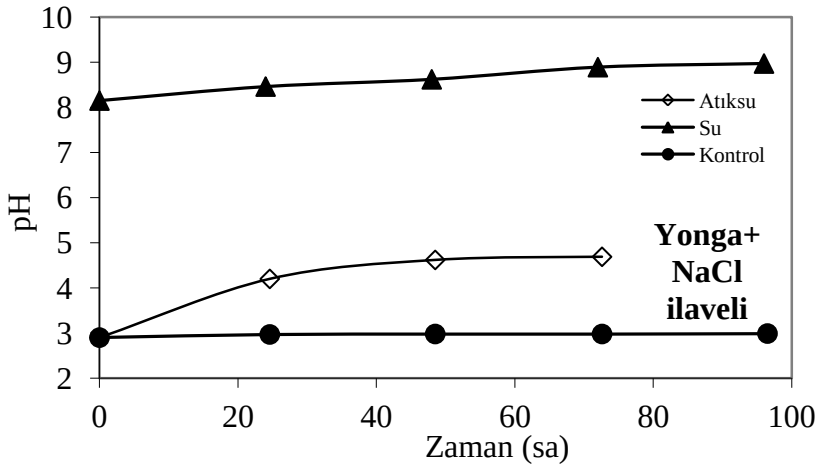
Şekil 4.82. Ham atıksu için pH değişimi.



Şekil 4.83. 1 g/l Aluminyum yonga ilaveli atıksu için pH değişimi.

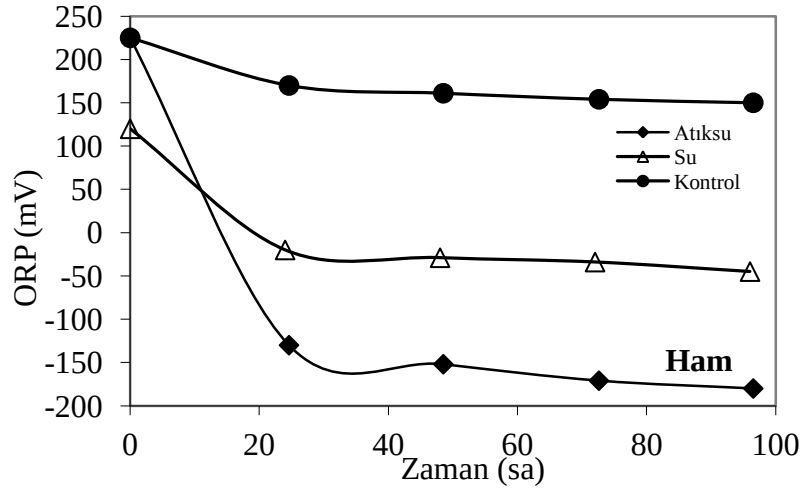


Şekil 4.84. 1 g/l NaCl tuzu ilaveli atıksu için pH değişimi.

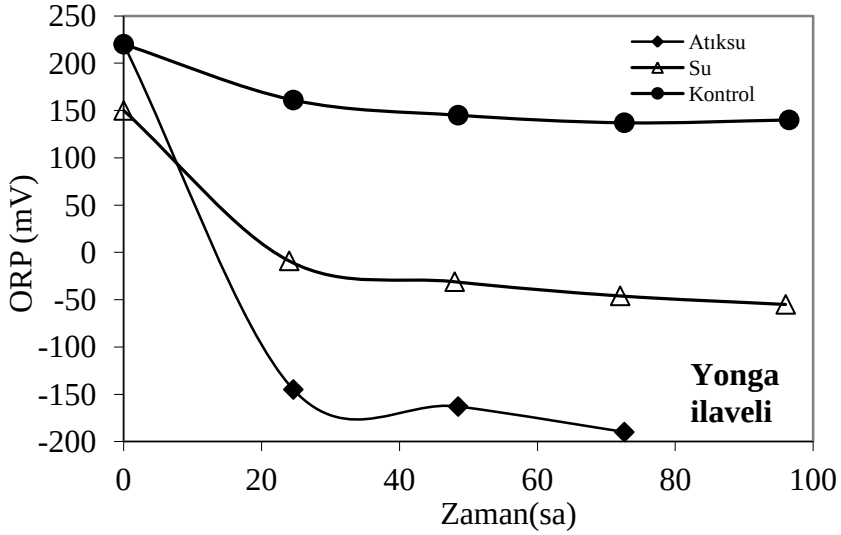


Şekil 4.85. 1 g/l Al yonga + 1 g/l NaCl tuzu ilaveli atıksu için pH değişimi.

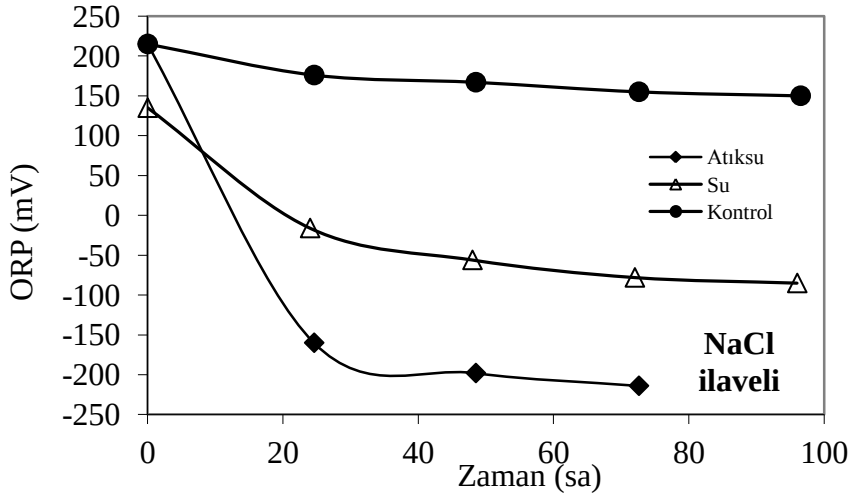
Her deneyde pH değerinin deney süresince arttığı gözlenmiştir. Ham atıksu, 1 g/l aluminyum yonga, 1 g/l NaCl ve 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl ilaveli atıksu deneylerinde başlangıç pH değerleri sırasıyla, 3,03 3,05, 2,97, 2,94 ve 2,91' dir. Bu pH değerleri ham atıksu deneyi için 96 saat işletme sonunda 4,27'ye ulaşmıştır. 1 g/l aluminyum yonga, 1 g/l NaCl ve 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl ilaveli atıksu deneylerinde ise elektrodların korozyonu sonucu bu deneyler 72 saat sürmüş ve işletme sonrasında pH sırasıyla, 4,35, 4,60 ve 4,69, değerlerine yükselmiştir. Kontrol şişelerinde ise H_2 gazı oluşumu için ortamdan uzaklaşan az miktarda (H^+) iyonu sebebiyle, pH değerlerinde önemli bir değişim olmamıştır. Kontrol atıksularında ilave edilen tuz ve yonga az miktarda H_2 gazı üretimi nedeniyle pH değerine fazla etki etmemiş ve son pH değerleri tüm kontrol atıksuları için 2.9±0,2 olmuştur. 4 V uygulanan su deneylerinde ise, pH'ın H_2 gazı oluşumuna bağlı olarak deney süresince giderek arttığı ve gözlenmiştir.



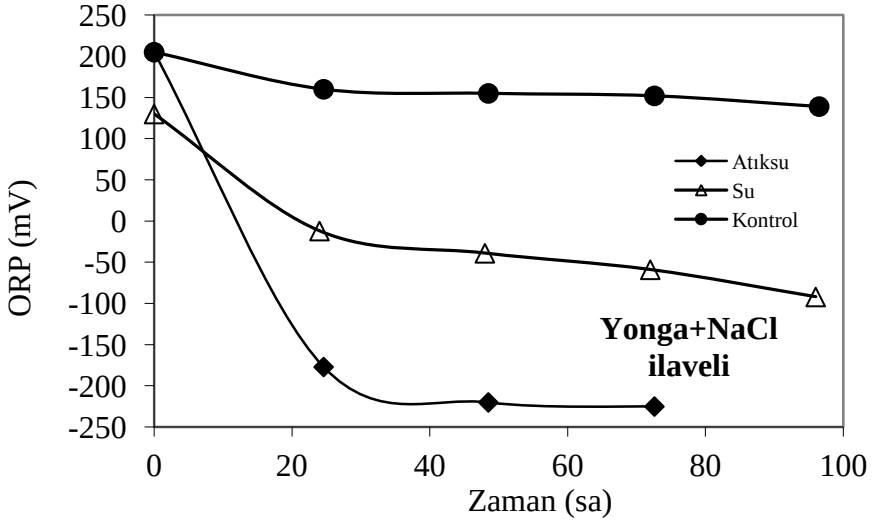
Şekil 4.86. Ham atıksu için ORP değişimi.



Şekil 4.87. 1 g/l Al yonga ilaveli atıksu için ORP değişimi.

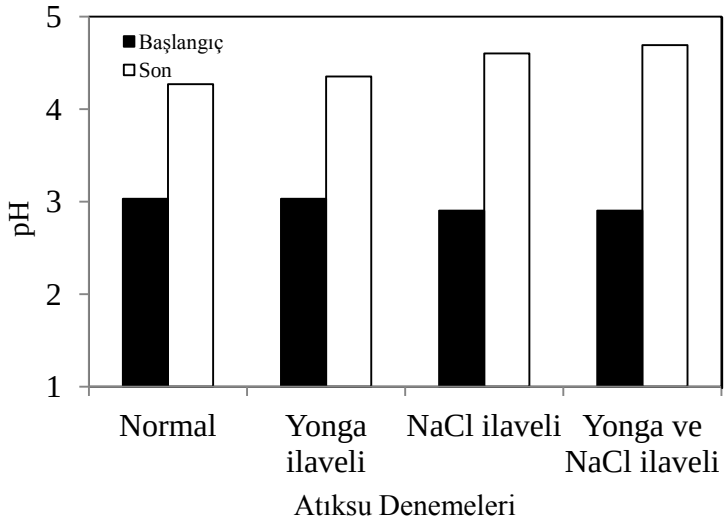


Şekil 4.88. 1 g/l NaCl ilaveli atıksu için ORP değişimi.

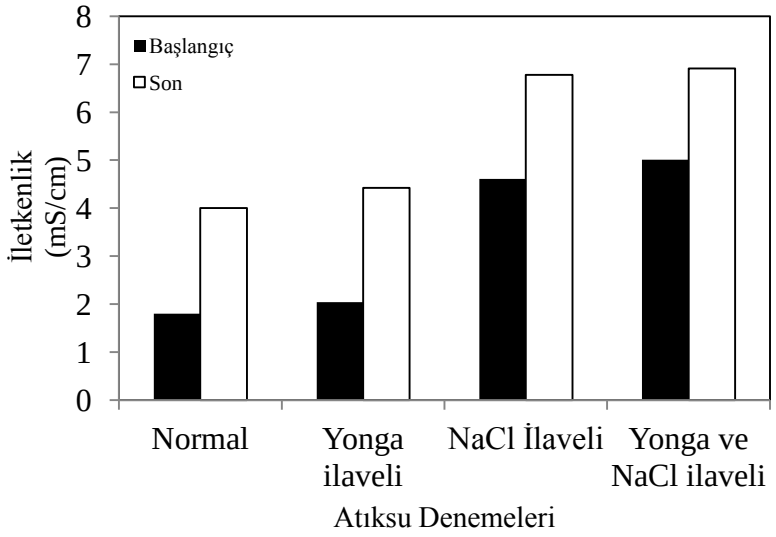


Şekil 4.89. 1 g/l Al yonga + 1g/l NaCl ilaveli atıksu için ORP değişimi.

Şekil 4.86- 4.89'dan görüldüğü gibi Al yonga ve tuz ilaveli atıksu deneylerinde pH değerlerinin deney süresince azalmasına bağlı olarak ORP değerleri giderek düşmüşdür. Ham atıksu, 1 g/l aluminyum yonga, 1 g/l NaCl ve 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl ilaveli deneylerde başlangıç ORP değerleri sırasıyla, 225 mV, 220 mV, 215 mV ve 205 mV olup bu değerler deneyler sonunda, -180 mV, -190 mV, -214 mV ve -225 mV değerlerine ulaşmıştır.



Şekil 4.90. Al yonga ve tuz ilaveli atıksularda ilk ve son pH değerleri.



Şekil 4.91. Al yonga ve tuz ilaveli atıksularda ilk ve son iletkenlik değerleri.

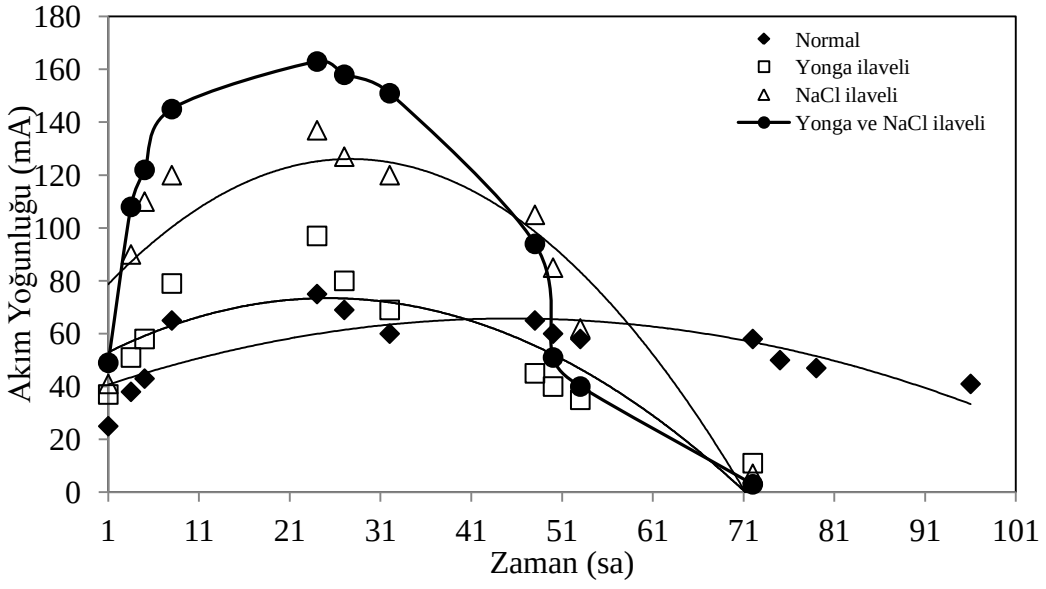
Deney süresince ortamdan uzaklaşan (H^+) iyonları nedeniyle tüm deneylerde pH artış göstermiştir (Sekil 4.90). Sistemden (H^+) uzaklaşmasına karşın atıksuya geçen yüksek konsantrasyonda (Al^{+3}) iyonu sebebiyle iletkenlikler son durumda artış göstermiştir. Ham

atıksu, 1 g/l aluminyum yonga, 1 g/l NaCl ve 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl ilaveli atıksu deneylerinde başlangıç iletkenlikleri sırasıyla, 1,80 mS/cm, 2,04 mS/cm, 4,61 mS/cm ve 5,01 mS/cm olup bu değerler deney sonunda sırasıyla 4,0 mS/cm, 4,42 mS/cm, 6,78 mS/cm ve 6,91 mS/cm olmuştur (Şekil 4.91).

4.4.4. Enerji Dönüşüm Verimi

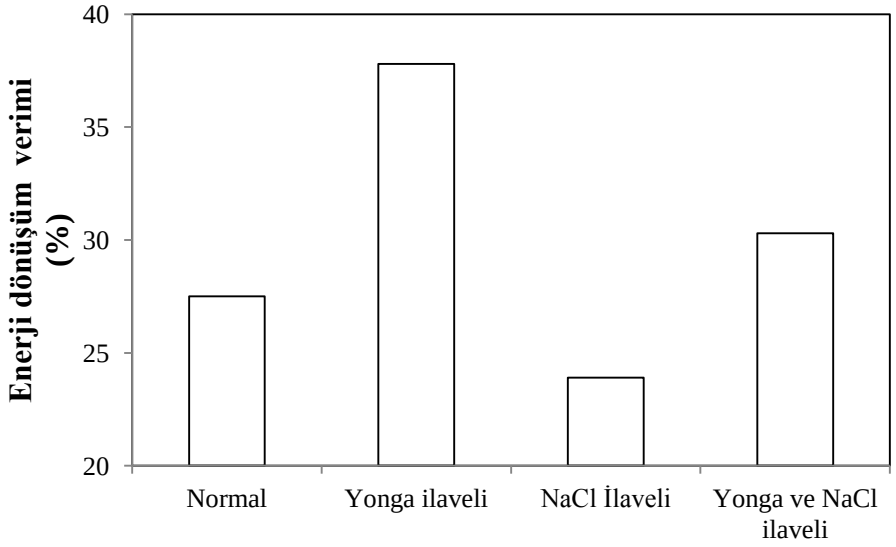
Deney süresince atıksuların dirençlerinin değişmesi sonucu sistemden geçen akım da zamanla değişmişdir. Aluminyum yonga ve tuz katkısına bağlı olarak aynı KOİ içeriğine (33164 mg/l) sahip atıksular aynı doğru akım voltajında (4 V) farklı akımlar çekmiştir. Akım değerleri tüm atıksu deneyleri için belli bir zaman yükselmiş daha sonra elektrodun aşınması ve (H^+) iyonlarının giderimine bağlı olarak akım yoğunlukları düşmüştür. Başlangıç iletkenliklerine bağlı olarak tuz ve yonga katkılı atıksu deneylerinde beklenildiği gibi daha yüksek akımlar elde edilmiştir. Ancak sistemden geçen yüksek akım elektrodların daha hızlı aşınmasına sebep olmuş ve elektrodlar incelince akım şiddetleri düşüş göstermiş ve bu durum 72 saatte sonlandırılmasına yol açmıştır. Ayrıca azalan akım sisteme aktarılan elektronları azalttığından ve bir yandan da (Al^{+3}) iyonlarının (H^+) iyonları ile yarışması, oluşan hidrojen gazı miktarını düşürmüş bu durum enerji dönüşümünü olumsuz etkilemiştir.

Şekil 4.92'de 96 saat işletme süresi boyunca deney şişelerinde akımın zamanla değişimi verilmiştir.



Şekil 4.92. Aluminyum yonga ve tuz ilaveli atıksu deneylerinde sistemden geçen akımın zamanla değişimi.

Akımlar sistem dengeye ulaştıktan bir müddet sonra (deney başlangıcından yaklaşık 1 saat sonra) okunmaya başlanmıştır. Deneylerin başında akım değerleri ham atıksu, 1 g/l aluminyum yonga, 1 g/l NaCl ve 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl tuzu ilaveli deneyler için sırasıyla, 25 mA, 31mA, 41 mA ve 49 mA'dir. Okunan en yüksek akım değerleri sırasıyla, 75 mA, 97 mA, 137 mA ve 163 mA olmuştur. 72 saat sonunda sistem sonlanmadan hemen önce Al yonga, tuz ve yonga+tuz ilaveli deneylerde en son akım değerleri 11 mA, 7 mA ve 3 mA'dir. Normal atıksuda ise 96 saat sonunda 41 mA akım okunmuştur.



Şekil 4.93. Aluminyum yonga ve tuz ilaveli atıksular için enerji dönüşüm verimleri.

Enerji dönüşüm verimleri, normal, yonga ilaveli, tuz ilaveli ve yonga+tuz ilaveli deneyler için sistemden geçen akım ve üretilen hidrojen gazı miktarına bağlı olarak sırasıyla, %27,5, %37,8, %23,9 ve %30,3 olmuştur (Sekil 4.93). Üretilen hidrojen miktarının atıksuya ilave edilen yonga ve tuz katkılarıyla önemli ölçüde artmasına rağmen bu deneylerde daha fazla elektrik akımı çekilmesi nedeniyle enerji verimleri artmamıştır.

Çizelge 4.8. Aluminyum yonga ve tuz ilaveli deneyler için asetik asit ve elektrod ağırlıkları değişimi

	Ham	**Al yonga**	**Tuz**	**Yonga+Tuz**
Asetik Asit (mg/l) Başlangıç	19420	19060	18995	18859
Asetik Asit (mg/l) Son	17940	16892	16756	15956
Anot Ağırlığı (g) Başlangıç	18,87	18,87	18,87	18,87
Anot Ağırlığı (g) Son	15,11	14,56	18,88	13,99
Katot Ağırlığı (g) Başlangıç	18,87	18,87	18,87	18,87
Katot Ağırlığı (g) Son	18,88	18,88	18,875	18,88

Çizelge 4.8'de aynı KOİ değerlerine sahip deneylerin başlangıçta ve 96 saat işletme sonunda asetik asit konsantrasyonları ve elektrot ağırlıkları verilmiştir. Ham atıksu, yonga ilaveli, tuz ilaveli ve yonga+tuz ilaveli deneyler deneyler için başlangıç asetik asit konsantrasyonları 19420 mg/l, 19060 mg/l, 18995 mg/l ve 18859 mg/l'dir. Son durumda bu değerlerin hepsi bir miktar düşmüş olup sırasıyla 17940 mg/l, 16892 mg/l, 15756 mg/l ve 14956 mg/l olmuştur. Bu durum elektrohidrolizle asetik asitin kısmi degredasyonundan kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.9. Aluminyum yonga ve tuz ilaveli atıksu deneylerinde toplu sonuçlar

	Ham	Yonga	Tuz	Yonga+ Tuz
KOİ giderimi (%)	10,46	10,46	10,46	10,46
H_2 verimi (ml H_2/g KOİ)	1110,5	1141,8	1253,3	1659,5
H_2 oluşum hızı (ml H_2/gün)	478,8	654,5	718,4	951,1
Kümülatif H_2 (ml)	1925,5	1979,8	2173,1	2877,3
Sisteme verilen elektrik (A.sa)	4,95	3,69	6,4	6,7
Enerji verimi (%)	27,5	37,8	23,9	30,3

Çizelge 5.1'de farklı atıkların elektrohidrolizinde en iyi sonuçların karşılaştılması görülmektedir.

Kargı ve ark., (2010), 13,5 V uyguladıkları endüstriyel atıksudan 144 saatte 10450 ml H_2/g TOK hidrojen gazı verimiyle %99 saflıkta 98000 ml hidrojen gazı üretmişlerdir. Bu çalışmadan atıksuda %30 KOİ giderimi ve 74 enerji dönüşüm verimi sağlamışlardır.

0,5-5 V aralığında doğru akım voltajı uygulanan anaerobik çamurdan 140 saat işletme süresi bitiminde en uygun volt olan 2 V'da 2775 ml hidrojen gazı üretilmiştir. %94,3 hidrojen gazı konsantrasyonuna ulaşılmış olup atıksuda %84 KOİ giderimi saptanmıştır (Kargı ve ark., 2011).

Kargı ve ark., (2011), zeytin karasuyuna 0,5-4 V aralığında voltaj uygulamışlardır. 3 V'da 96 saatte 3020 ml hidrojen gazı verimi elde etmişlerdir. En yüksek KOİ giderimi, eneji dönüşüm verimi ve hidrojen gazı konsantrasyonu ise 2 V'da elde edilmiş olup sırasıyla %44,2, %95 ve %95 olmuştur.

0,5-5 V aralığında doğru akım voltajı uygulanan sızıntı suyundan 4 V için optimum değerler elde edilmiştir. 96 saat içinde 5000 ml %99 saflıkta hidrojen gazı elde edilmiş olup, 2400 ml H_2/g KOİ hidrojen gazı verimi ve %77 KOİ giderimi elde edilmiştir(Kargı ve ark., 2011).

Sirke fermantasyonu atıksuyunun elektrohidrolizi literaturde bu konuda yapılmış farklı atıksularla karşılaştırıldığında gerek kümülatif hidrojen gazı üretimi gerekse hidrojen gazı konsantrasyonu bakımından uygulanabilirliği yüksek bir atıksu olduğu görülmektedir.

Bu çalışmadan alınan sonuçlar sirke fermantasyonu atıksularının elektrohidrolizinin simultane KOİ giderimiyle beraber saf hidrojen gazı üretimi için uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.1. Farklı atıkların elektrohidrolizinde elde edilen en iyi sonuçların karşılaştırılması

Atık türü	**Voltaj aralığı (V)**	**Kümülatif H_2 (ml)**	**H_2 gazı üretim hızı (ml H_2/gün)**	**H_2 gazı verimi (ml H_2/g KOİ)**	**H_2 konsantrasyonu (%)**	**KOİ Giderimi (%)**	**Enerji dönüşüm verimi (%)**	**Kaynak**
Endüstriyel atıksu	13,5	98000 (144 sa)	16330	10450 (ml H_2/g TOK)	99	30	74	Kargı ve ark., 2010
Anaerobik çamur	0,5-5	2775 (140 sa) (2V)	686,7	96	94,3	84	74	Kargı ve ark., 2011
Zeytin Karasuyu	0,5-4	3020 (96 sa) (3V)	614 (2V)	2500 (3 V)	95 (2V)	44,2 (2 V)	95 (2V)	Kargı ve ark., 2011
Sızıntı suyu	0,5-5	5000 (96 sa) (4 V)	1277	2400	99	77	80,6 (1 V)	Kargı ve ark., 2011
Sirke fermentasyonu atıksuyu	0,5-4	2750 (96sa) (4V)	550	1586	99	10,5	47 (2 V)	Bu çalışma

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sirke fermentasyonu atıksuyunda bulunan uçucu yağ asitlerinden (UYA) elektrohidroliz ile hidrojen gazı üretimi araştırılmıştır. Bunun için uygulanan doğru akım voltajlarının, KOİ konsantrasyonlarının, elektrod türlerinin ve atıksuya ilave edilen aluminyum yonga ve NaCl'ün hidrojen gazı üretimine etkileri incelenmiştir.

Aluminyum elektrotlar ile 0,5 V- 4 V doğru akım voltajı uygulanan aynı başlangıç KOİ değerine sahip atıksular için, en yüksek kümülatif hidrojen üretimi (2750 ml), hidrojen verimi (1586 ml H_2/g KOİ), hidrojen oluşum hızı (550 ml/gün) ve KOİ giderimi (%10,5) 4 V ile gerçekleşmiştir. En yüksek enerji dönüşüm verimi (%47) ve hidrojen gazı konsantrasyonu (%99) 2 V ile elde edilmiştir. pH ve iletkenlikler sistemden ayrılan (H^+) iyonları ve sisteme salınan (Al^{+3}) iyonlarının etkisiyle deney boyunca değişmiştir. Bu doğrultuda 4 V, sirke fermentasyonu atıksuyu için en uygun voltaj seçilmiştir.

Atıksu KOI derişimleri 9661 mg/l - 48605 mg/l aralığında değiştirilerek atıksular 4 V doğru akım voltajına tabi tutulduğunda, en yüksek kümülatif hidrojen üretimi (3197 ml), hidrojen verimi (2765 ml H_2/g KOİ), hidrojen oluşum hızı (800 ml/gün) ve KOİ giderimi (%11,96), en yüksek KOİ içeriğine sahip (48605 mg/l) atıksu deneyinde gerçekleşmiştir. En yüksek enerji dönüşüm verimi (%47,9) ise en düşük KOİ içeriğine sahip atıksuda elde edilmiştir. 29696 mg/l-48605 mg/l aralığında hidrojen gazı konsantrasyonu (%99) en yüksek değere ulaşmıştır. pH ve iletkenlikler deney boyunca değişmiştir.

Yüksek KOİ içeriğine sahip atıksuların elektrohidrolizi oldukça verimli olmasına karşın patlama riski nedeniyle seyreltilmiş atıksu kullanılarak aluminyum, bakır ve paslanmaz çelik elektrodların kullanıldığı deneylerde, en yüksek kümülatif hidrojen üretimi (2098ml), hidrojen verimi (1210 ml H_2/g KOİ), hidrojen oluşum hızı (525 ml/gün), hidrojen gazı konsantrasyonu (%99), enerji dönüşüm verimi (%21) ve KOİ giderimi (%10,46), aluminyum elektrod deneyinde gerçekleşmiştir.

Atıksuya eklenen aluminyum yonga ve tuzun katkısının araştırıldığı deneyde, en yüksek kümülatif hidrojen üretimi (2877 ml), hidrojen verimi (1660 ml ml H_2/g KOİ) ve hidrojen oluşum hızı (951 ml/gün) 1 g/l Al yonga + 1 g/l tuz katkılı deneyde gerçekleşmiştir. En yüksek hidrojen gazı konsantrasyonu (%99) ham atıksu ve 1 g/l

aluminyum yonga ilaveli atıksu deneyinde elde edilmiştir. En yüksek enerji dönüşüm verimi (%37,8) ise 1g/l aluminyum yonga ilaveli deneyde elde edilmiştir. Aşağıdaki önerilerle sistemin performansı arttırılabilir.

4V'dan daha büyük voltaj denemeleri yapılabilir.

Belirli aralıklarla şişede oluşan gazı başka bir tanka depolayan sistem denenebilir.

Daha büyük ölçekte deneyler yapılarak H_2 gazı oluşumuna etkileri incelenebilir.

Yüksek konsantrasyonda uçucu yağ asidi içeren farklı atıklarla deneyler yapılabilir.

Atıksuya ilave edilen aluminyum yonga ve tuz konsantrasyonları değiştirilerek hidrojen gazı oluşumuna etkileri belirlenebilir.

İletkenliği yüksek ancak korozyona uğramayan ve suya metal iyonları vermeyen elektrodlar geliştirilerek atıksuyun kirlenmesi önlenebilir.

Ortama verilen metal iyonları eş zamanlı olarak çökeltilip ortamdan ayrılabilir.

Sistem sürekli ve yarı sürekli (kesikli beslemeli) işletilebilir.

Elektrik enerji kaynağı olarak fotovoltaik hücreler (güneş panelleri) ya da rüzgar enerji sistemleri kullanılarak elektrohidrolizle hidrojen üretim maliyeti azaltılabilir.

KAYNAKLAR

Açıkgöz V., 2009. Geleceğin Enerjisi: Hidrojen (H_2). *Kimya Mühendisliği Dergisi*, 173: 41-59.

Armor J.N., 1999. The Multiple Roles for Catalysis in the Production of H_2. *Applied Catalsis A: General*, 176: 159-176.

Das D., Veziroğlu T.N., 2001. Hydrogen Production by Biological Processes: Survey of Literature. *International Journal of Hydrogen Energy*, 26:13-28.

Day D.L., Steinberg M.P., Electrochemical conversion of organic material. US patent no. 4200505, (April 1980).

Dinçer, I., 2002. Technical, Environmental and Exergetic Aspects of Hydrogen Energy Systems, *International Journal of Hydrogen Energy*, 265-285.

Eker S., Kargı F., 2010. Hydrogen Gas Production from Electrohydrolysis of Industrial Wastewater Organics by Using Photovoltaic Cells (PVC). *International Journal of Hydrogen Energy*, 35: 12761-12766.

Ferdous, D., Dalai, A.K., Bej, K.S., Thring, R.W., Bakhshi, N.N., 2001. Production of H_2 and Medium Btu Gas via Pyrolysis of Lignins in a Fixed-bed Reactor. *Fuel Processing Technology*, 70: 9-26.

Gibson T.L., Kelly N.A., 2010. Predicting Efficiency of Solar Powered Hydrogen Generation Using Photovoltaic Electrolysis Devices. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35: 900-911.

Grigoriev S.A., Porembsky V.I., Fateev V.N., 2006. Pure Hydrogen Production by PEM Electrolysis for Hydrogen Energy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 31:171-175.

J.R. Paterek, Method and apparatus for hydrogen production from organic wastes and manure. US patent no.: 6887692, (Mayıs 2005).

Kargı F., Eren N.S., Özmıhçı S., 2012. Hydrogen Gas Production From Cheese Whey Powder (CWP) Solution By Thermophilic Dark Fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37, 2260-2266.

Kargı F. ve Çatalkaya E.Ç., 2011. Hydrogen Gas Production From Olive Mill Wastewater by Electrohydrolysis with Simultaneous COD Removal. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36: 3457-3464.

Kargı F., Çatalkaya E.Ç., 2011. Electrohydrolysis of Landfill Leachate Organics for Hydrogen Gas Production and COD Removal. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36: 8252-8260.

Kargı F., Çatalkaya E.Ç., Uzunçar S.,2011. Hydrogen Gas Production From Waste Anaerobic Sludge by Electrohydrolysis: Effects of Applied DC Voltage. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, 2049-2056.

Kargı F., 2011. Comparison of Different Electrodes in Hydrogen Gas Production From Electrohydrolysis of Wastewater Organics Using Photovoltaic Cells (PVC). *International Journal of Hydrogen Energy*, 36: 3450-3456.

Kapdan İ.K, Kargı F., 2006. Biohydrogen Production From Waste Materials. *Enzyme and Microbial Technology*. 38: 569-582.

Kim, H.Y., 2003. A Low Cost Production of Hydrogen from Carbonaceous Waste. *International Journal of Hydrogen Energy*, 28: 1179-1186.

Meyer J., Kelley B.C., Vignais P.M., 1978. Effect of Light on Nitrogenase Function and Synthesis in Rhodopseudomonas Capsulate. *Journal of Bacteriology*, 136: 201–208.

Middleton P., Larson R., Niclas M., Collins, B., 2003. Renewable Hydrogen Forum: A Summary of Expert Opinion and Policy Recommendations. Forum Presented By The American Solar Energy Society, *Washington, D.C. National Press Club*, 473.

Midilli A., Doğru M., Akay G., Howarth C.R., 2002. Hydrogen Production from Sewage Sludge via a Fixed Bed Gasifier Product Gas. *International Journal of Hydrogen Energy*, 27: 1035-1041.

Nandi R., Sengupta S, 1998. Microbial Production of Hydrogen: An Overview. *Critical Reviews in Microbiology*, 24: 61–84.

Obara S., 2010. Study of Water Electrolysis System Using A Compact Solar Cell Module with A Plant Shoot Configuration. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35: 26-36.

Penner, S. S., 2006. Steps Toward the Hydrogen Economy. Energy, 31: 33-43.

Riis T., Hagen E.F., Vie J.S.P. ,Ulleberg Q., 2006. Hydrogen Production and Storage. *International Energy Publications*, France.

Roychowdhury S., Process for Production of Hydrogen from Anaerobically Decomposed Organic Materials. US patent no. 6090266, (Temmuz 2000).

Sağnak R., Kargı F., Kapdan İ.K., 2011. Bio-hydrogen Production from Acid Hydrolyzed Waste Ground Wheat by Dark Fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36: 12803-12809.

Tuna E., Kargı F., Argun H., 2009. Hydrogen Gas Production by Electrohydrolysis Of Volatile Fatty Acid (VFA) Containing Dark Fermentation Effluent. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 262-269.

Turner J., Sverdrup G., Mann M., Maness P., Kroposki B., Ghiardi M., Evan, R., Blake D., 2008. Renewable Hydrogen Production. *International Journal of Energy Research*, 32: 379-407.

Winter C.C., 2005. Into the Hydrogen Energy Economy-Milestones. *International Journal of Hydrogen Energy*, 30: 681-685.

ÇİZELGELER

Çizelge 3.1. Ham ve seyreltilmiş atıksu karakterizasyonu……..…8

Çizelge 3.2. Seyreltilmiş atıksuların başlangıç karakteristik özellikleri……..……10

Çizelge 3.3. Atıksuyun başlangıç karakteristik özellikleri……..11

Çizelge 3.4. Farklı katkılı atıksuların başlangıç özellikleri……..11

Çizelge 4.1. 120 saat işletme sonrası farklı voltaj deneylerindeki asetik asit konsantrasyonu ve elektrot ağırlıkları değişimi……...29

Çizelge 4.2. 120 saat işletme sonucu farklı voltaj deneylerindeki toplu sonuçlar……...…30

Çizelge 4.3. Farklı başlangıç KOİ değerlerine sahip atıksuların pH, ORP ve iletkenlik değişimleri……42

Çizelge 4.4. Farklı başlangıç KOİ değerlerine sahip deneylerde asetik asit konsantrasyonu ve aluminyum elektrot ağırlıklarının değişimi……45

Çizelge 4.5. Farklı başlangıç KOİ değerlerine sahip deneylerin 96 saat işletme süresi sonundaki toplu sonuçları……46

Çizelge 4.6. Farklı türden elektrotlara sahip deneylerde asetik asit konsantrasyonu ve elektrot ağırlıklarının değişimi……57

Çizelge 4.7. Farklı türden elektrodlar için ait toplu sonuçlar……...…58

Çizelge 4.8. Aluminyum yonga ve tuz ilaveli deneyler için asetik asit ve elektrod ağırlıkları değişimi……..……..72

Çizelge 4.9. Aluminyum yonga ve tuz ilaveli atıksu deneylerinde toplu sonuçlar……..…72

Çizelge 5.1. Farklı atıkların elektrohidrolizinde elde edilen en iyi sonuçların karşılaştırılması……74

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Hidrojenin kullanım alanları (Açıkgöz, 2009)……...3

Şekil 3.1. Deney düzeneği……..8

Şekil 4.1. V=0,5 V için kümülatif hidrojen gazı üretiminin zamana bağlı değişimi…..…..15

Şekil 4.2. V=1 V için kümülatif hidrojen gazı üretiminin zamana bağlı değişimi……..…16

Şekil 4.3. V=2 V için kümülatif hidrojen gazı üretiminin zamana bağlı değişimi……..16

Şekil 4.4. V=3 V için kümülatif hidrojen gazı üretiminin zamana bağlı değişimi……..…17

Şekil 4.5. V=4 V için kümülatif hidrojen gazı üretiminin zamana bağlı değişimi……..17

Şekil. 4.6. Farklı voltaj deneylerine ait kümülatif hidrojen gazı ve hidrojen konsantrasyonları……..18

Şekil 4.7. Artan doğru akım voltajı uygulamalarının hidrojen gazı oluşum hızına etkisi…19

Şekil 4.8. V= 0,5 V için KOİ derişiminin zamana bağlı değişimi……...…20

Şekil 4.9. V= 1 V için KOİ derişiminin zamana bağlı değişimi……..…20

Şekil 4.10. V= 2 V için KOİ derişiminin zamana bağlı değişimi……20

Şekil 4.11. V= 3 V için KOİ derişiminin zamana bağlı değişimi……21

Şekil 4.12. V= 4 V için KOİ derişiminin zamana bağlı değişimi……21

Şekil 4.13. Atıksuya uygulanan voltajın KOİ giderimine ve hidrojen gazı oluşum verimine etkisi……22

Şekil 4.14. V= 0,5 V için pH'ın zamana bağlı değişimi……..23

Şekil 4.15. V= 1 V için pH'ın zamana bağlı değişimi…….……23

Şekil 4.16. V= 2 V için pH'ın zamana bağlı değişimi…….…24

Şekil 4.17. V= 3 V için pH'ın zamana bağlı değişimi…….……24

Şekil 4.18. V= 4 V için pH'ın zamana bağlı değişimi…….……24

Şekil 4.19. V= 0,5 V için ORP'nin zamana bağlı değişimi…….…25

Şekil 4.20. V= 1 V için ORP'nin zamana bağlı değişimi……25

Şekil 4.21. V= 2 V için ORP'nin zamana bağlı değişimi……....26

Şekil 4.22. V= 3 V için ORP'nin zamana bağlı değişimi……26

Şekil 4.23. V= 4 V için ORP'nin zamana bağlı değişimi……26

Şekil 4.24. Atıksuya uygulanan voltajın deney sonundaki pH ve iletkenliğe etkisi.....27

Şekil 4.25. Değişik voltajlarda akım yoğunluklarının zamana bağlı değişimi…….28

Şekil 4.26. Enerji dönüşüm veriminin voltajla değişimi……..…29

Şekil 4.27. KOİ=9,661 g/l için kümülatif hidrojen gazının zamana bağlı değişimi……31

Şekil 4.28. KOİ=19,679 g/l için kümülatif hidrojen gazının zamana bağlı değişimi…..…31

Şekil 4.29. KOİ=29,696 g/l için kümülatif hidrojen gazının zamana bağlı değişimi……..32

Şekil 4.30. KOİ=39,329 g/l için kümülatif hidrojen gazının zamana bağlı değişimi…….32

Şekil 4.31. KOİ=48,605 g/l için kümülatif hidrojen gazının zamana bağlı değişimi…….32

Şekil 4.32. Farklı konsantrasyon değerleri için kümülatif hidrojen miktarları ve hidrojen konsantrasyonları……..33

Şekil 4.33. Farklı KOİ konsantrasyonlarına sahip atıksulardan hidrojen gazı oluşum hızları…….…...34

Şekil 4.34. $KOİ_o$= 9,661 g/l için zamana bağlı KOİ giderimi……..…...….35

Şekil 4.35. $KOİ_o$= 19,679 g/l için zamana bağlı KOİ giderimi……...….35

Şekil 4.36. $KOİ_o$= 29,696 g/l için zamana bağlı KOİ giderimi. ……..35

Şekil 4.37. $KOİ_o$= 39,696 g/l için zamana bağlı KOİ giderimi…….…...36

Şekil 4.38. $KOİ_o$= 48,605 g/l için zamana bağlı KOİ giderimi……..…..36

Şekil 4.39. Atıksuyun başlangıç KOİ konsantrasyonunun KOİ giderimine ve hidrojen gazı oluşum verimine etkisi…….....37

Şekil 4.40. $KOİ_o$= 9,661 g/l için pH'ın zamana bağlı değişimi……..….38

Şekil 4.41. $KOİ_o$= 19,679 g/l için pH'ın zamana bağlı değişimi…….....38

Şekil 4.42. $KOİ_o$= 29,696 g/l için pH'ın zamana bağlı değişimi…….....38

Şekil 4.43. $KOİ_o$= 39,329 g/l için pH'ın zamana bağlı değişimi…….39

Şekil 4.44. $KOİ_o$= 39,329 g/l için pH'ın zamana bağlı değişimi…….....39

Şekil 4.45. $KOİ_o$= 9,661 g/l için ORP'nin zamana bağlı değişimi…….....40

Şekil 4.46. $KOİ_o$= 19,679 g/l için ORP'nin zamana bağlı değişimi…….....40

Şekil 4.47. $KOİ_o$= 29,696 g/l için ORP'nin zamana bağlı değişimi……40

Şekil 4.48. $KOİ_o$= 39,329 g/l için ORP'nin zamana bağlı değişimi…….....41

Şekil 4.49. $KOİ_o$= 48,605 g/l için ORP'nin zamana bağlı değişimi…….…...41

Şekil.4.50. Farklı KOİ konsantrasyonuna sahip atıksular için iletkenlik değişimleri……..42

Şekil 4.51. Farklı başlangıç KOİ konsantrasyonlarına sahip deneyler için akım yoğunluklarının zamanla değişimi……..….43

Şekil 4.52. Farklı başlangıç KOİ konsantrasyonları için enerji dönüşüm verimleri…….....44

Şekil 4.53. Aluminyum elektrodun hidrojen gazı üretimine etkisi……..47

Şekil 4.54. Bakır elektrodun hidrojen gazı üretimine etkisi…….....47

Şekil 4.55. Paslanmaz çelik elektrodun hidrojen gazı üretimine etkisi……47

Şekil 4.56. Elektrod türünün kümülatif hidrojen gazı ve hidrojen konsantrasyonuna etkisi…….....48

Şekil 4.57. Elektrod türünün hidrojen gazı oluşum hızına etkisi…….....49

Şekil 4.58. Aluminyum elektrod ile KOİ giderimi…….….50

Şekil 4.59. Bakır elektrod ile KOİ giderimi…….....50

Şekil 4.60. Paslanmaz çelik elektrod ile KOİ giderimi……...….51

Şekil 4.61. Farklı elektrodlar için hidrojen gazı verimleri ve KOİ giderimleri…….....51

Şekil 4.62. Aluminyum elektrod kullanımında pH ın zamanla değişimi…….....52

Şekil 4.63. Bakır elektrod kullanımında pH ın zamanla değişimi……52

Şekil 4.64. Paslanmaz çelik elektrod kullanımında pH ın zamanla değişimi……..53

Şekil 4.65. Aluminyum elektrod kullanımında ORP nin zamanla değişimi……54

Şekil 4.66. Bakır elektrod kullanımında ORP nin zamanla değişimi……...…54

Şekil 4.67. Paslanmaz çelik elektrod kullanımında ORP nin zamanla değişimi……..…54

Şekil 4.68. İletkenliğin elektrod türüne bağlı olarak değişimi……55

Şekil 4.69. Elektrod türüne bağlı olarak akım yoğunluklarının zamanla değişimi……..56

Şekil 4.70. Değişik elektrod türleri için enerji dönüşüm verimi……..57

Şekil 4.71. Ham atıksudan kümülatif hidrojen gazı üretimi……59

Şekil 4.72. 1 g/l aluminyum yonga ilaveli atıksudan kümülatif hidrojen gazı üretimi……60

Şekil 4.73. 1 g/l NaCl tuzu ilaveli atıksudan kümülatif hidrojen gazı üretimi…….…60

Şekil 4.74. 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl ilaveli atıksudan kümülatif hidrojen gazı üretimi……..…60

Şekil 4.75. Aluminyum yonga ve tuz ilaveli atıksulardan üretilen kümülatif hidrojen hacmi ve hidrojen gazı konsantrasyonları……..…….61

Şekil 4.76. Aluminyum yonga ve tuz ilaveli atıksulardan hidrojen gazı oluşum hızları….62

Şekil 4.77. Ham atıksuyun KOİ değişimi……..…63

Şekil 4.78. 1 g/l aluminyum yonga ilaveli atıksuyun KOİ değişimi……...…63

Şekil 4.79. 1 g/l NaCl ilaveli atıksuyun KOİ değişimi…….64

Şekil 4.80. 1 g/l aluminyum yonga + 1 g/l NaCl ilaveli atıksuyun KOİ değişimi……...…64

Şekil 4.81. Aluminyum yonga ve tuz ilaveli atıksular için hidrojen gazı verimleri ve KOİ giderimleri……....65

Şekil 4.82. Ham atıksu için pH değişimi…….….66

Şekil 4.83. 1 g/l Aluminyum yonga ilaveli atıksu için pH değişimi……...…66

Şekil 4.84. 1 g/l NaCl tuzu ilaveli atıksu için pH değişimi…….….66

Şekil 4.85. 1 g/l Al yonga + 1 g/l NaCl tuzu ilaveli atıksu için pH değişimi…….…..67

Şekil 4.86. Ham atıksu için ORP değişimi……...…67

Şekil 4.87. 1 g/l Al yonga ilaveli atıksu için ORP değişimi……...….68

Şekil 4.88. 1 g/l NaCl ilaveli atıksu için ORP değişimi……..68

Şekil 4.89. 1 g/l Al yonga + 1g/l NaCl ilaveli atıksu için ORP değişimi……....68

Şekil 4.90. Al yonga ve tuz ilaveli atıksularda ilk ve son pH değerleri……..…….69

Şekil 4.91. Al yonga ve tuz ilaveli atıksularda ilk ve son iletkenlik değerleri…….69

Şekil 4.92. Aluminyum yonga ve tuz ilaveli atıksu deneylerinde sistemden geçen akımın zamanla değişimi……..70

Şekil 4.93. Aluminyum yonga ve tuz ilaveli atıksular için enerji dönüşüm verimleri…….71

EKLER

HAM DENEYSEL VERİLERE AİT ÇİZELGELER

A.1 Doğru Akım Voltajının Etkisine Ait Çizelgeler

Çizelge A.1.1. 0,5 V Doğru Akım Uygulamasına Ait Deneyler $KOİ_o$ = 33164,49 mg/ L (Deneysel Atıksu, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
20.02.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	2,98	180	33164,49	-
21.02.2012	23,8	500	630	0,0362	22,806		10	0,0362	0,362		23,17	0,9642	2,99	190	32779,19	-
22.02.2012	47,8	490	640	0,0417	3,882		10	0,0417	0,417		27,47	1,1432	3	160	32779,19	-
23.02.2012	71,7	480	650	0,0466	3,602		10	0,0466	0,466		31,535	1,3125	3,02	128	32779,19	-
24.02.2012	95,8	470	660	0,064	11,95		10	0,064	0,64		44,13	1,8365	3,05	110	32779,19	-
25.02.2012	120	460	670	0,0688	3,856		10	0,0688	0,688		48,669	2,0256	3,07	80	32779,19	-

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	1,816	19200	520	7700	18,8696	18,871	-
Son	1,799	19084	670	8380	18,8591	18,8798	-

Çizelge A.1.2. 1 V Doğru Akım Uygulamasına Ait Deneyler $KOİ_o$ = 33164,49 mg/ L (Deneysel Atıksu, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
20.02.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	2,98	180	33164,49	6
21.02.2012	23,8	500	630	0,1283	80,829		14	0,1283	1,7962		82,63	3,4389	3,09	44	32779,19	6
22.02.2012	47,8	490	640	0,2416	73,795		15	0,2416	3,624		160,04	6,6612	3,25	40	32779,19	6
23.02.2012	71,7	480	650	0,3549	76,061		32	0,3549	11,3568		247,46	10,2997	3,37	22	32779,19	7
24.02.2012	95,8	470	660	0,4892	92,187		16	0,4892	7,8272		347,48	14,4625	3,47	10	32393,89	7
25.02.2012	120	460	670	0,4992	11,592		15	0,4992	7,488		366,55	15,2566	3,57	-20	32393,89	7

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	1,816	19200	520	7700	18,8692	18,8611	0
Son	2,700	18952	750	15000	18,8501	18,8691	0,792

Çizelge A.1.3. 2 V Doğru Akım Uygulamasına Ait Deneyler KOİ$_o$ = 33164,49 mg/ L (Deneysel Atıksu, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
20.02.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	2,98	180	33164,49	20
21.02.2012	23,8	500	630	0,357	224,91		150	0,357	53,55		278,46	11,5899	3,37	-17	31623,29	26
22.02.2012	47,8	490	640	0,6486	190,194		125	0,6486	81,075		549,73	22,8805	3,66	-21	31623,29	28
23.02.2012	71,7	480	650	0,8457	134,601		120	0,8457	101,484		785,814	32,7068	3,82	-50	31623,29	33
24.02.2012	95,8	470	660	0,9817	98,217		45	0,9817	44,1765		928,21	38,6334	4,03	-62	31623,29	31
25.02.2012	120	460	670	0,99	22,078		28	0,99	28		978,285	40,7177	4,12	-80	31623,29	23

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	1,816	19200	520	7700	18,8697	18,8698	0
Son	4,100	18695	1080	37400	18,5465	18,8799	2,922

Çizelge A.1.4. 3 V Doğru Akım Uygulamasına Ait Deneyler KOİ$_o$ = 33164,49 mg/ L (Deneysel Atıksu, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
20.02.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	2,98	180	33164,49	31
21.02.2012	23,8	500	630	0,5382	339,066		440	0,5382	236,808		575,87	23,96878	3,53	-54	31623,29	43
22.02.2012	47,8	490	640	0,8089	178,63		390	0,8089	315,471		1069,98	44,53405	3,83	-62	31623,29	49
23.02.2012	71,7	480	650	0,99	132,304		400	0,99	400		1602,27	66,68938	4,05	-77	31623,29	52
24.02.2012	95,8	470	660	0,99	10		190	0,99	190		1802,28	75,01369	4,3	-91	31623,29	51
25.02.2012	120	460	670	0,99	10		120	0,99	120		1932,27	80,4245	4,53	-109	31623,29	50

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	1,816	19200	520	7700	18,8689	18,859	0
Son	4,200	18126	2320	46300	16,3168	18,8624	5,166

Çizelge A.1.5. 4 V Doğru Akım Uygulamasına Ait Deneyler KOİ$_o$= 33164,49 mg/ L (Deneysel Atıksu, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
20.02.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	2,98	180	33164,49	55
21.02.2012	23,8	500	630	0,6008	378,504		600	0,6008	360,48		738,98	30,75768	3,68	-70	30852,69	72
22.02.2012	47,8	490	640	0,9526	231,16		584	0,9526	556,3184		1526,46	63,53377	4,08	-90	29696,79	70
23.02.2012	71,7	480	650	0,99	40,336		550	0,99	550		2116,79	88,10449	4,32	-124	29696,79	65
24.02.2012	95,8	470	660	0,99	10		400	0,99	400		2526,80	105,1693	4,53	-148	29696,79	55
25.02.2012	120	460	670	0,895	0		250	0,895	223,75		2750,54	114,4822	4,65	-160	29696,79	32

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	1,816	19200	520	7700	18,8695	18,851	0
Son	3,920	17880	7300	51200	14,0256	18,86	6,554

Çizelge A.1.6. $KOİ_o$ = 33164,49 mg/ L için Deneyler (Kontrol atıksuyu, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**
20.02.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	2,98	180	33164,49
21.02.2012	23,8	500	630	0,0334	21,042		10	0,0334	0,334		21,38	0,8897	2,97	190	33164,49
22.02.2012	47,8	490	640	0,033	0,078		10	0,033	0,33		21,78	0,9066	2,97	191	32779,19
23.02.2012	71,7	480	650	0,033	0,33		10	0,033	0,33		22,444	0,9341	2,96	195	32779,19
24.02.2012	95,8	470	660	0,03	0		10	0,03	0,3		22,74	0,9466	2,96	200	32779,19
25.02.2012	120	460	670	0,033	2,31		10	0,033	0,33		25,384	1,0565	2,96	205	32779,19

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**
Başlangıç	1,816	19200	520	7700
Son	1,725	20180	470	7610

Çizelge A.1.7. 0,5 V Doğru Akım Uygulamasına Ait Deneyler (Deneysel Su, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**
30.01.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	7,1	120	0,400
31.01.2012	24,0	500	630	0,0332	20,916		10	0,0332	0,332		21,25	0,88437	7,11	60	
01.02.2012	48,0	490	640	0,0332	0,332		10	0,0332	0,332		21,91	0,91201	7,11	57	
02.02.2012	72,0	480	650	0,0332	0,332		10	0,0332	0,332		22,576	0,93964	7,15	42	
03.02.2012	96,0	470	660	0,0334	0,464		10	0,0334	0,334		23,37	0,97286	7,2	25	0,382

Çizelge A.1.8. 1 V Doğru Akım Uygulamasına Ait Deneyler (Deneysel Su, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**
30.01.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	7,1	120	0,400
31.01.2012	24,0	500	630	0,0338	21,294		10	0,0338	0,338		21,63	0,900358	7,13	36	
01.02.2012	48,0	490	640	0,0354	1,362		10	0,0354	0,354		23,35	0,971781	7,22	10	
02.02.2012	72,0	480	650	0,0349	0,029		10	0,0349	0,349		23,73	0,987514	7,24	9	
03.02.2012	96,0	470	660	0,0386	2,791		10	0,0386	0,386		24,11	1,003579	7,3	2	0,379

Çizelge A.1.9. 2 V Doğru Akım Uygulamasına Ait Deneyler (Deneysel Su, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**
30.01.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	7,1	120	0,400
31.01.2012	24,0	500	630	0,0535	33,705		10	0,0535	0,535		34,24	1,4251	7,23	-7	
01.02.2012	48,0	490	640	0,0709	11,671		10	0,0709	0,709		46,62	1,9403	7,34	-21	
02.02.2012	72,0	480	650	0,0814	7,534		11	0,0814	0,8954		55,05	2,2912	7,4	-25	
03.02.2012	96,0	470	660	0,1399	39,424		10	0,1399	1,399		95,87	3,9903	7,54	-31	0,248

Çizelge A.1.10. 3 V Doğru Akım Uygulamasına Ait Deneyler (Deneysel Su, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**
30.01.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	7,1	120	0,400
31.01.2012	24,0	500	630	0,1048	66,024		10	0,1048	1,048		67,07	2,7916	7,32	-18	
01.02.2012	48,0	490	640	0,1578	34,968		15	0,1578	2,367		104,41	4,3455	7,44	-25	
02.02.2012	72,0	480	650	0,1655	6,583		12,5	0,1655	2,06875		113,06	4,7056	7,61	-35	
03.02.2012	96,0	470	660	0,2503	57,623		11	0,2503	2,7533		173,44	7,2186	7,65	-37	0,137

Çizelge A.1.11. 4 V Doğru Akım Uygulamasına Ait Deneyler (Deneysel Su, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**
30.01.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	7,1	120	0,400
31.01.2012	24,0	500	630	0,1416	89,208		46	0,1416	6,5136		95,72	3,9840	7,36	-20	
01.02.2012	48,0	490	640	0,2	38,792		38	0,2	7,6		142,11	5,9149	7,51	-29	
02.02.2012	72,0	480	650	0,2941	63,165		24	0,2941	7,0584		212,34	8,8378	7,6	-34	
03.02.2012	96,0	470	660	0,3478	38,383		26	0,3478	9,0428		259,76	10,8117	7,78	-45	0,127

A.2 Başlangıç KOİ Konsantrasyonunun Etkisine Ait Tablolar

Çizelge A.2.1. $KOİ_o$ = 9661 mg/ L için Deneyler (Deneysel Atıksu, V= 4V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
05.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	3,22	185	9661	20
06.03.2012	24,00	500	630	0,2891	182,133		300	0,2891	86,73		268,86	11,1905	4,16	-25	8890	23
07.03.2012	48,05	490	640	0,6257	218,315		130	0,6257	81,341		568,52	23,6626	4,29	-53	8505	18
08.03.2012	72,05	480	650	0,6885	47,077		50	0,6885	34,425		650,021	27,0548	4,37	-75	8505	6
09.03.2012	96,05	470	660	0,7391	40,281		30	0,7391	22,173		712,48	29,6543	4,39	-95	8505	3

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	0,95	6147	160	2430	18,895	18,938	0
Son	2,08	6135	720	6500	18,597	19,26	1,050

Çizelge A.2.2. $KOİ_o$ = 19679 mg/ L için Deneyler (Deneysel Atıksu, V= 4V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
05.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	3,05	192	19679	30
06.03.2012	24,00	500	630	0,3963	249,669		420	0,3963	166,446		416,12	17,3193	3,87	-60	18908	35
07.03.2012	48,05	490	640	0,7999	262,267		520	0,7999	415,948		1094,3	45,5477	4,18	-105	18523	45
08.03.2012	72,05	480	650	0,9676	117,004		450	0,9676	435,42		1646,7	68,5404	4,55	-132	17367	33
09.03.2012	96,05	470	660	0,968	9,94		80	0,968	77,44		1734,1	72,1773	4,57	-160	17367	5

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	1,334	12270	330	4870	18,918	18,912	0
Son	3,07	11745	1680	19200	17,566	18,922	2,975

Çizelge A.2.2. $KOİ_o$ = 29696 mg/ L için Deneyler (Deneysel Atıksu, V= 4V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	t (sa)	Vs (ml)	Vg (ml)	CH_2 (%)	VH_{2-b} (ml)		V_t (ml)	CH_2 (%)	V_t x CH_2		Vküm. (ml)	Küm. H_2 (mmol)	pH	ORP (mV)	KOİ (mg/L)	Akım (mA)
05.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	2,97	200	29696	41
06.03.2012	24,00	500	630	0,5047	317,961		510	0,5047	257,397		575,36	23,9473	3,75	-85	27385	45
07.03.2012	48,05	490	640	0,9097	264,247		700	0,9097	636,79		1476,4	61,4498	4,17	-96	27000	60
08.03.2012	72,05	480	650	0,99	61,292		560	0,99	554,4		2092,0	87,0759	4,45	-114	27000	58
09.03.2012	96,05	470	660	0,99	9,9		370	0,99	366,3		2468,2	102,733	4,64	-179	27000	50

	İletkenlik (mS/cm)	Asetik Asit (mg/l)	AKM (mg/l)	TKM (mg/l)	Anot (g)	Katot (g)	Enerji girişi (A.sa)
Başlangıç	1,697	18232	490	7300	18,852	18,859	0
Son	3,820	17702	3120	50900	16,342	18,909	5,062

Çizelge A.2.3. $KOİ_o$ = 39329 mg/ L için Deneyler (Deneysel Atıksu, V= 4V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
05.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	2,94	209	39329	53
06.03.2012	24,00	500	630	0,5572	351,036		620	0,5572	345,464		696,50	28,9894	3,63	-95	37017	60
07.03.2012	48,05	490	640	0,98	276,164		810	0,98	793,8		1766,4	73,5230	4	-120	36630	76
08.03.2012	72,05	480	650	0,99	16,3		610	0,99	603,9		2386,6	99,3367	4,33	-144	36630	80
09.03.2012	96,05	470	660	0,99	9,9		410	0,99	405,9		2802,4	116,642	4,61	-186	36630	67

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	2,04	24347	650	9600	19,082	18,924	0
Son	4,56	23928	3080	56050	15,84	18,937	6,602

Çizelge A.2.4. $KOİ_o$ = 48605 mg/ L için Deneyler (Deneysel Atıksu, V= 4V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
05.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	2,91	220	48605	79
06.03.2012	24,00	500	630	0,5873	369,999		690	0,5873	405,237		775,24	32,2665	3,67	-109	47064	85
07.03.2012	48,05	490	640	0,99	263,601		900	0,99	891		1929,8	80,3228	4,07	-134	46293	105
08.03.2012	72,05	480	650	0,99	9,9		720	0,99	712,8		2652,5	110,407	4,38	-170	46293	85
09.03.2012	96,05	470	660	0,99	9,9		540	0,99	534,6		3197,0	133,065	4,57	-200	46293	50

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	2,34	30134	810	12100	18,886	18,852	0
Son	5,08	29443	5580	57750	14,844	18,911	8,195

Çizelge A.2.6. $KOİ_o$ = 29696 mg/ L için Deneyler (Kontrol Atıksuyu, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**
05.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	2,97	200	48605
06.03.2012	24,00	500	630	0,0334	21,042		10	0,0334	0,334		21,38	0,88970	2,97	201	47064
07.03.2012	48,05	490	640	0,0333	0,27		10	0,0333	0,333		21,98	0,91480	2,96	204	46293
08.03.2012	72,05	480	650	0,033	0,138		10	0,0363	0,363		22,48	0,93565	2,96	205	46293
09.03.2012	96,05	470	660	0,0382	3,762		10	0,0382	0,382		26,62	1,10813	2,96	210	46293

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**
Başlangıç	1,816	18237	490	7300
Son	1,749	17600	680	7610

Çizelge A.2.7. 4 V Doğru Akım Uygulamasına Ait Deneyler (Deneysel Su, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**
05.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	7,1	120	0,400
06.03.2012	24,0	500	630	0,1416	89,208		46	0,1416	6,5136		95,72	3,9840	7,36	-20	
07.03.2012	48,0	490	640	0,2	38,792		38	0,2	7,6		142,11	5,9149	7,51	-29	
08.03.2012	72,05	480	650	0,2941	63,165		24	0,2941	7,0584		212,34	8,8378	7,6	-34	
09.03.2012	96,05	470	660	0,3478	38,383		26	0,3478	9,0428		259,76	10,8117	7,78	-45	0,127

A.3. Elektrot Türünün Etkisine Ait Tablolar

Çizelge A.3.1. Aluminyum Elektrot için Deneysel Veriler (Deneysel Atıksu, $KOİ_0$ = 33164,49 mg/ L, V= 4V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
05.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	3	195	33164,49	75
06.03.2012	24,0	500	630	0,2903	182,889		350	0,2903	101,605		284,49	11,8410	3,43	54	33164,49	88
07.03.2012	48,0	490	640	0,38	60,311		200	0,38	76		420,81	17,5145	3,48	30	33164,49	107
08.03.2012	72,0	480	650	0,5494	113,91		150	0,5494	82,41		617,12	25,6857	3,52	22	30852,69	90
09.03.2012	96,0	470	660	0,5624	14,074		140	0,5624	78,736		709,94	29,5486	3,55	15	30852,69	38

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	1,816	19337	680	8440	18,872	18,873	0
Son	4,06	17899	6100	47200	15,4207	18,8796	7,20

Çizelge A.3.2. Bakır Elektrot için Deneysel Veriler (Deneysel Atıksu, $KOİ_0$ = 33164,49 mg/ L, V= 4V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
05.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	3	195	33164,49	58
06.03.2012	24,0	500	630	0,2903	182,889		350	0,2903	101,605		284,49	11,8410	3,43	54	33164,49	67
07.03.2012	48,0	490	640	0,38	60,311		200	0,38	76		420,81	17,5145	3,48	30	33164,49	80
08.03.2012	72,0	480	650	0,5494	113,91		150	0,5494	82,41		617,12	25,6857	3,52	22	30852,69	85
09.03.2012	96,0	470	660	0,5624	14,074		140	0,5624	78,736		709,94	29,5486	3,55	15	30852,69	77

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	1,816	19337	680	8440	64,785	64,822	0
Son	2,37	18463	5125	15650	54,0926	67,1439	7,530

Çizelge A.3.3. Paslanmaz Çelik Elektrot için Deneysel Veriler (Deneysel Atıksu, $KOİ_0$ = 33164,49 mg/ L, V= 4V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
05.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	3	195	33164,49	27
06.03.2012	24,0	500	630	0,1512	95,256		280	0,1512	42,336		137,59	5,7267	3,05	110	33164,49	28
07.03.2012	48,0	490	640	0,1839	22,44		220	0,1839	40,458		200,49	8,3447	3,07	77	32779,19	28
08.03.2012	72,0	480	650	0,1909	6,389		120	0,1909	22,908		229,787	9,5640	3,07	71	32779,19	28
09.03.2012	96,0	470	660	0,1882	0,127		100	0,1882	18,82		248,73	10,3527	3,07	66	32779,19	28

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	1,816	19337	680	8440	56,65	56,323	0
Son	1,940	18702	700	8700	56,1605	56,3246	2,688

Çizelge A.3.4. $KOİ_0$ = 33164,49 mg/ L için Deneyler (Kontrol Atıksuyu, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**
05.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	3	195	33164,49
06.03.2012	24,00	500	630	0,0334	21,042		10	0,0334	0,334		21,38	0,8897	3,01	190	33164,49
07.03.2012	48,05	490	640	0,033	0,078		10	0,033	0,33		21,78	0,9066	3,01	185	32779,19
08.03.2012	72,05	480	650	0,033	0,33		10	0,033	0,33		22,444	0,9341	3,02	171	32779,19
09.03.2012	96,05	470	660	0,03	0		10	0,03	0,3		22,74	0,9466	3,02	155	32779,19

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**
Başlangıç	1,816	19337	680	8440
Son	1,87	19040	690	8440

Çizelge A.3.5. Aluminyum Elektrot için Deneyler (Deneysel Su, V= 4V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı							
Tarih	**t (sa)**	**Vs (m)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**
05.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	7,1	120	0,400
06.03.2012	24,0	500	630	0,141	89,208		46	0,1416	6,5136		95,72	3,9840	7,36	-20	
07.03.2012	48,0	490	640	0,2	38,792		38	0,2	7,6		142,11	5,9149	7,51	-29	
08.03.2012	72,05	480	650	0,294	63,165		24	0,2941	7,0584		212,34	8,8378	7,6	-34	
09.03.2012	96,05	470	660	0,347	38,383		26	0,3478	9,0428		259,76	10,8117	7,78	-45	0,127

Çizelge A.3.6. Bakır Elektrot için Deneyler (Deneysel Su, V= 4V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı							
Tarih	**t (sa)**	**Vs (m)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**
05.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	7,1	120	0,400
06.03.2012	24,0	500	630	0,141	89,208		32	0,1416	4,5312		93,74	3,9015	7,36	-8	
07.03.2012	48,0	490	640	0,218	50,824		17	0,2188	3,7196		148,28	6,1717	7,48	-26	
08.03.2012	72,05	480	650	0,229	8,948		13	0,2292	2,9796		160,21	6,6682	7,5	-30	
09.03.2012	96,05	470	660	0,230	3,216		12	0,2306	2,7672		166,19	6,9172	7,52	-33	0,320

Çizelge A.3.7. Paslanmaz Çelik Elektrot için Deneyler (Deneysel Su, V= 4V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (m)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**
05.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	7,1	120	0,4
06.03.2012	24,0	500	630	0,085	54,054		18	0,0858	1,5444		55,60	2,3140	7,15	24	
07.03.2012	48,0	490	640	0,130	29,338		13	0,1303	1,6939		86,63	3,6059	7,16	-29	
08.03.2012	72,05	480	650	0,138	6,893		12	0,1389	1,6668		95,19	3,9619	7,16	-34	
09.03.2012	96,05	470	660	0,169	21,453		12	0,1693	2,0316		118,67	4,9399	7,18	-45	0,349

A.4. Atıksuya Eklenen Yonga, NaCl tuzu ve Yonga +NaCl tuzunun Etkisine Ait Tablolar

Çizelge A.4.1. Normal Atıksuya Ait Deneyler (Deneysel Atıksu, $KOİ_o$ = 33164,49 mg/ L, V= 4 V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
19.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	3,03	225	33164,49	50
20.03.2012	24,6	500	630	0,5922	373,086		710	0,5922	420,462		793,55	33,0287	3,77	-130	30852,69	52
21.03.2012	48,5	490	640	0,7325	95,714		650	0,7325	476,125		1365,39	56,8295	4,02	-152	30852,69	65
22.03.2012	72,6	480	650	0,99	174,7		350	0,99	346,5		1886,58	78,5227	4,21	-171	29696,79	60
23.03.2012	96,5	470	660	0,3892	0		100	0,3892	38,92		1925,51	80,1426	4,27	-180	29696,79	45

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	1,80	19420	650	8500	18,868	18,871	0
Son	4,00	17940	600	45400	15,1123	18,8794	4,950

Çizelge A.4.2. Aluminyum Yonga (1mg/l) İlaveli Atıksuya Ait Deneyler (Deneysel Atıksu, $KOİ_o$ = 33164,49 mg/ L, V= 4 V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
19.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	3,03	220	33164,49	62
20.03.2012	24,6	500	630	0,6528	411,264		800	0,6528	522,24		933,50	38,853	3,86	-145	30852,69	67
21.03.2012	48,5	490	640	0,987	220,416		670	0,987	661,29		1815,2	75,5512	4,21	-163	29696,79	81
22.03.2012	72,6	480	650	0,8231	0		200	0,8231	164,62		1979,8	82,4036	4,35	-190	29696,79	25

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	2,04	19060	1500	9300	18,871	18,869	0
Son	4,42	16892	7200	46100	14,5569	18,8765	3,69

Çizelge A.4.3. NaCl Tuzu (1 mg/l) İlaveli Atıksuya Ait Deneyler (Deneysel Atıksu, $KOİ_o$ = 33164,49 mg/ L, V= 4 V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**	**Akım (mA)**
19.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	2,9	215	33164,49	100
20.03.2012	24,6	500	630	0,4926	310,338		1080	0,4926	532,008		842,35	35,0597	4,15	-160	30852,69	110
21.03.2012	48,5	490	640	0,8532	235,71		950	0,8532	810,54		1888,60	78,6063	4,55	-198	30852,69	122
22.03.2012	72,6	480	650	0,769	0		370	0,769	284,53		2173,12	90,4489	4,6	-214	29696,79	30

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**	**Anot (g)**	**Katot (g)**	**Enerji girişi (A.sa)**
Başlangıç	4,61	18995	700	9200	18,869	18,869	0
Son	6,78	16756	7100	46000	14,1623	18,875	6,40

Çizelge A.4.4. Aluminyum Yonga (1 g/l) + NaCl Tuzu (1 mg/l) İlaveli Atıksuya Ait Deneyler (Deneysel Atıksu, $KOİ_o$ = 33164,49 mg/ L, V= 4 V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı									
Tarih	t (sa)	Vs (ml)	Vg (ml)	CH_2 (%)	VH_{2-b} (ml)		V_t (ml)	CH_2 (%)	V_t x CH_2		Vküm. (ml)	Küm. H_2 (mmol)	pH	ORP (mV)	KOİ (mg/L)	Akım (mA)
19.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	2,9	205	33164,49	130
20.03.2012	24,6	500	630	0,4996	314,748		1150,00	0,4996	574,54		889,29	37,0135	4,2	-177	30852,69	145
21.03.2012	48,5	490	640	0,8977	574,528		800,00	0,8977	718,16		2181,98	90,81728	4,62	-220	30852,69	125
22.03.2012	72,6	480	650	0,6953	451,945		350	0,6953	243,355		2877,27	119,7567	4,69	-225	29696,79	22

	İletkenlik (mS/cm)	Asetik Asit (mg/l)	AKM (mg/l)	TKM (mg/l)	Anot (g)	Katot (g)	Enerji girişi (A.sa)
Başlangıç	5,01	18859	1500	10000	18,872	18,87	0
Son	6,91	15956	7000	48100	13,9966	18,881	6,70

Çizelge A.4.5. $KOİ_o$ = 33164,49 mg/ L için Deneysel Veriler (Normal Kontrol Atıksuyu, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**
19.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	3,03	225	33164,49
20.03.2012	24,60	500	630	0,0386	24,318		10	0,0386	0,386		24,70	1,02821	3,06	170	33164,49
21.03.2012	48,50	490	640	0,0371	0		10	0,0371	0,371		25,08	1,04366	3,08	161	32779,19
22.03.2012	72,6	480	650	0,037	0,306		10	0,037	0,37		25,751	1,07179	3,08	154	32779,19
23.03.2012	96,50	470	660	0,0365	0,04		10	0,0365	0,365		26,16	1,08867	3,09	150	32779,19

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**
Başlangıç	1,800	19337	650	8500
Son	1,815	17899	670	8600

Çizelge A.4.6. $KOİ_o$ = 33164,49 mg/ L için Deneysel Veriler (Aluminyum Yonga (1 g/l) İlaveli Kontrol Atıksuyu, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**
19.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	3,03	220	33164,49
20.03.2012	24,60	500	630	0,0378	23,814		10	0,0378	0,378		24,19	1,00690	3,08	161	33164,49
21.03.2012	48,50	490	640	0,0334	0		10	0,0334	0,334		24,53	1,02081	3,09	145	32779,19
22.03.2012	72,6	480	650	0,034	0,724		10	0,034	0,34		25,59	1,06509	3,09	137	32779,19
23.03.2012	96,50	470	660	0,035	1		10	0,035	0,35		26,94	1,12128	3,09	140	32779,19

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**
Başlangıç	1,850	19337	1500	9100
Son	1,851	17897	1500	9300

Çizelge A.4.7. $KOİ_o$ = 33164,49 mg/ L için Deneysel Veriler (NaCl Tuzu (1 mg/l) İlaveli Kontrol Atıksuyu, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**
19.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	2,9	215	33164,49
20.03.2012	24,60	500	630	0,0385	24,255		10	0,0385	0,385		24,64	1,02555	2,95	176	33164,49
21.03.2012	48,50	490	640	0,0369	0		10	0,0369	0,369		25,01	1,04091	2,95	167	32779,19
22.03.2012	72,6	480	650	0,0352	0		10	0,0352	0,352		25,361	1,05556	2,96	155	32779,19
23.03.2012	96,50	470	660	0,0355	0,55		10	0,0355	0,355		26,27	1,09323	2,96	150	32779,19

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**
Başlangıç	1,850	19337	1500	9100
Son	1,851	17897	1500	9300

Çizelge A.4.8. $KOİ_0$ = 33164,49 mg/ L için Deneysel Veriler (Aluminyum Yonga (1 g/l) + NaCl Tuzu (1 mg/l) İlaveli Kontrol Atıksuyu, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**KOİ (mg/L)**
19.03.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	2,9	205	33164,49
20.03.2012	24,60	500	630	0,0413	26,019		10	0,0413	0,413		26,43	1,10014	2,97	160	33164,49
21.03.2012	48,50	490	640	0,0382	0		10	0,0382	0,382		26,81	1,11604	2,98	155	32779,19
22.03.2012	72,6	480	650	0,0367	0		10	0,0367	0,367		27,181	1,13131	2,98	152	32779,19
23.03.2012	96,50	470	660	0,0365	0,235		10	0,0365	0,365		27,78	1,15628	2,99	139	32779,19

	İletkenlik (mS/cm)	**Asetik Asit (mg/l)**	**AKM (mg/l)**	**TKM (mg/l)**
Başlangıç	1,855	19337	2500	10000
Son	1,858	17892	2500	10100

Çizelge A.4.9. Normal Suya Ait Deneyler (Deneysel Su, V= 4 V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**
05.04.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	7,1	120	0,400
06.04.2012	24,0	500	630	0,1416	89,208		46	0,1416	6,5136		95,72	3,98408	7,36	-20	
07.04.2012	48,0	490	640	0,2	38,792		38	0,2	7,6		142,11	5,91499	7,51	-29	
08.04.2012	72,0	480	650	0,2941	63,165		24	0,2941	7,0584		212,34	8,83780	7,6	-34	
09.04.2012	96,0	470	660	0,3478	38,383		26	0,3478	9,0428		259,76	10,81170	7,78	-45	0,127

Çizelge A.4.10. Aluminyum Yonga (1 g/l) İlaveli Suya Ait Deneyler (Deneysel Su, V= 4 V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**
05.04.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	7,17	150	0,752
06.04.2012	24,0	500	630	0,152	95,76		50	0,152	7,6		103,36	4,30200	7,42	-9	
07.04.2012	48,0	490	640	0,2106	39,024		39	0,2106	8,2134		150,60	6,26810	7,64	-31	
08.04.2012	72,0	480	650	0,3224	74,776		28	0,3224	9,0272		234,40	9,75612	7,85	-46	
09.04.2012	96,0	470	660	0,3763	38,798		27	0,3763	10,1601		283,36	11,79383	8,02	-55	0,321

Çizelge A.4.11. NaCl Tuzu (1 mg/l) İlaveli Suya Ait Deneyler (Deneysel Su, V= 4 V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**
05.04.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	8,1	135	1,756
06.04.2012	24,0	500	630	0,1241	78,183		72	0,1241	8,9352		87,12	3,62599	8,35	-16	
07.04.2012	48,0	490	640	0,1952	46,745		66	0,1952	12,8832		146,75	6,10781	8,58	-56	
08.04.2012	72,0	480	650	0,2945	66,497		45	0,2945	13,2525		226,50	9,42711	8,81	-78	
09.04.2012	96,0	470	660	0,3605	46,505		33	0,3605	11,8965		284,90	11,8578	8,9	-85	1,321

Çizelge A.4.12. Aluminyum Yonga (1 g/l) + NaCl Tuzu (1 mg/l) İlaveli Suya Ait Deneyler (Deneysel Su, V= 4 V, T = 20 °C)

Sıvı Üst Kısmı Boşluk Hacmi Katkısı							Toplam Gazın Katkısı								
Tarih	**t (sa)**	**Vs (ml)**	**Vg (ml)**	**CH_2 (%)**	**VH_{2-b} (ml)**		**V_t (ml)**	**CH_2 (%)**	**V_t x CH_2**		**Vküm. (ml)**	**Küm. H_2 (mmol)**	**pH**	**ORP (mV)**	**İletkenlik (mS/cm)**
05.04.2012	0	500	630	0	0		0	0	0		0	0	8,15	130	1,895
06.04.2012	24,0	500	630	0,1433	90,279		85	0,1433	12,1805		102,46	4,26452593	8,46	-12	
07.04.2012	48,0	490	640	0,2556	73,305		73	0,2556	18,6588		194,42	8,092204279	8,62	-39	
08.04.2012	72,0	480	650	0,3435	59,691		48	0,3435	16,488		270,60	11,26289436	8,89	-59	
09.04.2012	96,0	470	660	0,3632	16,437		40	0,3632	14,528		301,57	12,55170648	8,97	-92	1,650

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sedef Arıkan

Doğum Yeri : Almanya

Doğum Tarihi : 25.05.1987

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : DEÜ Çevre Mühendisliği, 2010

Yüksek Lisans Öğrenimi : ÇOMÜ Çevre Mühendisliği, 2012

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce, Almanca

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Yayınlar -SCI –Diğer: -

b) Bildiriler -Uluslararası –Ulusal: -

c) Katıldığı Projeler: -

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : ÇOMÜ Çevre Mühendisliği,09/2010-10/2011

DEÜ Çevre Mühendisliği, 10/2011-

İLETİŞİM

E-posta Adresi : sedefarikan@hotmail.com