



Plazma Ortamında Aktifleştirilen Bimetalik Nano-katalizör Varlığında Sodyum Borhidrürün Hidrolizinin İncelenmesi

Tülin Avcı Hansu*¹, Saliha Özarslan²

¹Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5441-4696), tulin.hansu@siirt.edu.tr

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5696-9644), salihaozarslan@windowslive.com

(İlk Geliş Tarihi 13 Ekim 2021 ve Kabul Tarihi 20 Aralık 20212)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008996)

ATIF/REFERENCE: Avcı Hansu, T. & Özarslan, S. (2021). Plazma Ortamında Aktifleştirilen Bimetalik Nano-katalizör Varlığında Sodyum Borhidrürün Hidrolizinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 487-492.

Öz

Bu çalışmada CoBi bimetalik nano katalizörüne plazma etkisi ile hidroliz reaksiyonundaki aktivitesi araştırılmıştır. Hidrojen kaynağı olarak sodyum borhidrür kullanılmıştır. Sentezlenen katalizörün yüzeyi geçirmeli elektron mikroskopisi (TEM) ve yüzey boyut dağılımı (BET) ile analiz edilmiştir. Plazma etkisini incelemek için katalizör plazma gücü (%60, %80 ve %100), plazma süresi (10, 15 ve 20 dakika) ve plazma ortamına verilen inert gaz (CO₂, N₂ ve Ar) gibi çeşitli parametreler uygulanmıştır. Bu uygulanan parametreler sonucu oluşan katalizör, 30 °C, 10 ml su, %1 NaBH₄, %5 NaOH ve 25 mg katalizör varlığında hidroliz reaksiyonuna ilave edilmiştir. Hidroliz reaksiyonunu tamamlama süreleri referans alınarak CoBi katalizörünü aktifleştirmek için uygun koşulların CO₂ gazı ortamında %80 plazma gücü ile 15 dakika plazma uygulanması olduğu belirlenmiştir

Anahtar Kelimeler: Plazma etkisi, Nano-katalizör, Hidrojen üretimi, Sodyum borhidrür.

Investigation of Hydrolysis of Sodium Borohydride in the Presence of Activated Bimetallic Nano-catalyst in Plasma Medium

Abstract

The activity of a CoBi bimetallic nanocatalyst in a hydrolysis reaction with a plasma effect was investigated in this study. Sodium borohydride was used as the hydrogen source. The surface of the synthesized catalyst was analyzed by transmission electron microscopy (TEM) and surface size distribution (BET). Various parameters such as catalyst plasma power (60%, 80% and 100%), plasma time (10, 15 and 20 min) and inert gas (CO₂, N₂ and Ar) given to the plasma medium were applied to examine the plasma effect. The catalyst produced by these parameters was added to the hydrolysis reaction in the presence of 30 °C, 10 ml of water, 1% NaBH₄, 5% NaOH, and 25 mg of catalyst. Based on the hydrolysis reaction completion times, it was determined that the best conditions for activating the CoBi catalyst were to apply plasma for 15 minutes at 80 % plasma power in a CO₂ gas environment.

Keywords: Plasma effect, Nano-catalyst, Hydrogen production, Sodium borohydride.

* Sorumlu Yazar: tulin.hansu@siirt.edu.tr, tulinn_avci@hotmail.com

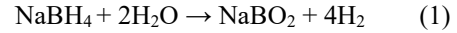
1. Giriş

Yenilenebilir enerji; güneş, rüzgar, dalga, okyanus ısı, jeotermal, gelgit ve biyokütle gibi çok çeşitli kaynaklardan elde edilebilen temiz ve tükenmeyen bir enerji çeşididir. Dolayısıyla yenilenebilir enerji, tükenme tehlikesi ile karşı karşıya olan fosil kaynakların yerine kullanılacak güçlü bir adaydır. Fosil yakıtlar; hava kirliliği, iklim değişikliği, sera gazı etkisi gibi yaşamı tehdit altına alan olumsuz etkileriyle bilinmektedir (ATELGE), (ATELGE, 2021). Yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtların yerini alması ile bu gibi zararlı etkilerin en aza indirileceği ve gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakılabileceği öngörülmektedir (Moriarty & Honnery, 2020). Yenilenebilir enerji sistemlerinin geliştirilmesi; enerji tedarik güvenilirliğinin ve organik yakıt ekonomisinin iyileştirilmesi, nüfusun yaşam standardının ve istihdam düzeyinin artırılması, çöl ve dağlık bölgelerin kalkınmasının sağlanması, kırsal kesimde iş fırsatları yaratılarak kentsel alanlara göçün en aza indirilmesi gibi avantajları da bünyesinde barındırmaktadır (Panwar, Kaushik, & Kothari, 2011).

Yenilenebilir enerji kaynakları, farklı yöntemler kullanılarak elektrik ve çeşitli formlarda yakıtlar gibi diğer enerji biçimlerine dönüştürülebilir. Örneğin güneş enerjisi doğrudan su ve alan ısıtma amaçlı kullanılabilir gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir. Bir diğer yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle, gelişmekte olan ülkelerde enerji arzı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Biyokütle kaynakları, binalarda ısı ve ışık sağlamada, elektrik üretiminde ve katı, sıvı veya gaz yakıtlara dönüştürülerek kullanılabilir (Xia & Xia, 2010). Enerji kaynaklarının farklı yöntemler kullanılarak dönüştürüldüğü gaz yakıt türlerinden biri de hidrojen'dir. Hidrojen, yüksek verimliliği, bolluğu, sıfır emisyonu ve yenilenebilirliği ile en temiz enerji türlerinden biridir. Hidrojen kullanımının yaygınlaştırılması, fosil yakıtların yanması ile oluşan karbon emisyonlarının olumsuz etkisini azaltmak için potansiyel bir yoldur (KARAOĞLU & KARAOĞLU). Hidrojen, zamana ve kullanım yerine göre talebe ayak uydurmak için birçok biçimde depolanabilir ve kolayca taşınabilir. Bu nedenle çeşitli endüstriler, evsel kullanımlar, otomotiv uygulamaları ve elektrik üretimi gibi birçok farklı alanda hidrojen kullanımı mümkündür. Hidrojen depolama için fiziksel ve kimyasal olarak tanımlanan iki yöntem kullanılmaktadır. Fiziksel depolama yöntemleri; sıkıştırılmış gaz şeklinde, sıvı halde ve kriyoadsorpsiyon ile depolamadır. Kimyasal depolama yönteminde ise hidrojen molekülleri, kimyasal reaksiyonlar kullanılarak katı bileşiklerde depolanabilir (BOYNUEĞRİ & Metin, 2021).

Özellikle ulaşım sektöründe hidrojene dayalı bir enerji sistemi kurulması için hidrojen depolama teknolojisinin önemli ölçüde geliştirilmesi gerekmektedir. Kimyasal hidrürlerin hidrojen depolamak için oldukça güvenli ve umut verici bir seçenek olduğuna inanılmaktadır (Shang & Chen, 2006). Kimyasal hidrürler arasında, sodyum borhidür (NaBH_4), yanmazlık, kolay kontrol edilebilen hidrojen üretim hızı, yan ürünün geri dönüştürülebilirliği ve yüksek H_2 depolama verimliliği gibi avantajları sayesinde hidrojen depolama malzemesi olarak yoğun bir şekilde çalışılmıştır (Lee et al., 2007; Wee, Lee, & Kim, 2006). Denklem 1'de NaBH_4 hidroliz reaksiyonu verilmiştir. Uygun bir katalizör varlığında, 1 mol NaBH_4 hidroliz reaksiyonunda 4 mol H_2 üretilir. NaBH_4 'ün

hidroliz ve metanoliz reaksiyonunda kullanılan katalizör hidrojen üretim hızını kontrol eder (Ali, Khan, & Asiri, 2019; Avcı Hansu, Caglar, Demir Kivrak, & Sahin; Kaya, 2020).



NaBH_4 'den hidrojen üretimi ile ilgili literatürde pek çok çalışma vardır. Yapılan literatür araştırmasında NaBH_4 'den hidrojen üretimi konusu halen araştırmacıların dikkatini çekmektedir (Avcı Hansu et al.; Avcı Hansu, Sahin, Çağlar, & Demir Kivrak, 2021; Bekirogullari, Abut, Duman, & Hansu, 2021; T. Hansu, Caglar, Sahin, & Demir Kivrak, 2020; T. A. Hansu, Sahin, Caglar, & Kivrak, 2020; Kaya, 2020).

Co metali katalitik reaksiyonlarda aktif olduğu için bu çalışmada tercih edilmiştir. İkinci metal ilave edilerek sentezlenen katalizörün aktivitesi ve kararlılığı artırılmak istenmiştir. Çalışmada ikinci metal olarak Bi tercih edilmiştir. Plazma uygulanan katalizörlerin aktivitesinin arttığı birçok çalışmada kanıtlanmıştır (Ekinci, Şahin, Saka, & Avcı, 2013; Mistry et al., 2016; Şahin, Karakaş, Kaya, & Saka, 2017; Şahin, Saka, Baytar, & Hansu, 2013). Bundan dolayı bu çalışmada katalizörü aktifleştirmek için plazma yöntemi tercih edilmiştir. Bu çalışmada plazma ortamında aktifleştirilen CoBi 95:5 atomik oranında bimetalik katalizörünün hidrolizi incelenmiştir. CoBi (95:5) katalizörünün aktifliği plazma ortamında farklı güç yoğunluğu, farklı inert gaz ortamı ve plazma süresi gibi parametrelerle değerlendirildi. Sentezlenen CoBi (95:5) katalizörünün yüzeyi hakkında bilgi almak için TEM ve BET analizi yapıldı.

2. Materyal ve Metot

2.1. Katalizörün Hazırlanması

İkili alaşım formunda CoBi katalizörü sentezlenirken öncelikle kobalt nitrat ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ve bizmut nitrat ($\text{BiO}(\text{OH})_9(\text{NO}_3)_4$) sulu çözeltileri 95:5 atomik oranında karıştırıldı. Karışım halindeki çözeltinin indirgenmesi güçlü bir karıştırıcı altında ve sodyum borhidür (NaBH_4) ile gerçekleştirildi. Fazla miktarda sodyum borhidür kullanılarak metal katyonların tamamen indirgenmesi sağlandı. İndirgemenin sonra CoBi katalizörü vakum pompası yardımıyla süzülme ve deiyonize su ve etanol ile yıkandı ve sürekli akışlı N_2 ortamında 353 K'de 3-4 saat boyunca kurutulmaya bırakıldı. Kurutulan CoBi (95:5) katalizörünün oksitlenmemesi için kapalı ortamda muhafaza edilerek deneysel çalışmalarda kullanıma hazır hale getirildi.

2.2. Plazma Etkisi

CoBi (95:5) katalizörünü plazma ile aktifleştirmek için 100 mm çapında ve 270 mm uzunluğunda, 2.5 Pa basınçta ve 80 W güç girişinde bir hazneye sahip bir plazmokimyasal reaktör (Femto, Diener electronic, Almanya) kullanıldı. Katalizör tozu (yaklaşık 0,5 g) bir kuvars tekneye yüklendi ve boşaltma hücre sine konuldu. Katalizör numunesi reaktöre konuldu ve istenilen plazma gücü, süresi ve inert gaz ortamında plazmaya tabi tutuldu. Elde edilen katalizörler, daha sonra kullanılmak üzere hava geçirmez numune kabında saklandı. Şekil 1'de çalışmada kullanılan sistem şematik olarak gösterilmiştir



CO₂ gazı ortamında %80 plazma gücü ile 15 dk plazma etkisi

Şekil 1. Kullanılan Sistemin Şematik Gösterimi

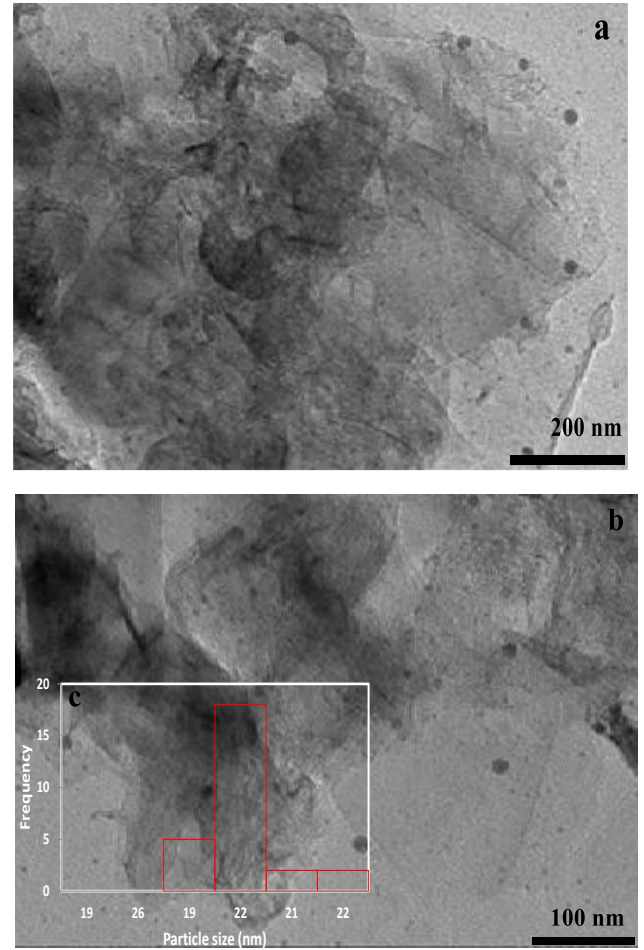
2.3. YüzeY Karakterizasyonu

CoBi nanoparçacığının morfolojisi ve boyut dağılımları Zeiss Sigma 300 transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ile karakterize edildi. YüzeY yapısı Brunauer–Emmett–Teller (BET) yöntemini kullanan yüzeY alanı ve gözeneklilik ölçüm analizörü ile donatılmış bir Micromeritics Tristar II 3020 üzerinde gerçekleştirilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. YüzeY Karakterizasyonu Sonuçları

Geçirmeli elektron mikroskopisi (TEM) partiküllerin şeklini ve boyutunu belirlemede oldukça doğru sonuçlar veren bir tekniktir. Aynı zamanda katının bileşimi ve partiküllerin içyapısı ile ilgili de bilgi sağlamaktadır. Sentezleme yönteminde indirgeme işleminin hızlı bir şekilde gerçekleşmesinden dolayı küçük bir yığın gözlenirken, homojen parçacık dağılımı şekilden görülmektedir. Ortalama parçacık boyutu CoBi (95:5) katalizörü için 20 nm olarak bulundu. CoBi katalizörünün farklı partikül boyutları için oluşturulmuş olan ve histogram grafiklerini de içeren TEM görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. CoBi Katalizörü (a) 200 nm Partikül Boyut (b) 100 nm Partikül Boyut (c) 100 nm Partikül Boyut Histogram Grafik İnsert

Sentezlenen katalizör mezopöz yapısını gösteren V tipi adsorpsiyon izotermi sergiler. CoBi (95:5) katalizörünün BET yüzeY alanı 16.9711 m²/g olarak hesaplandı ve bu değerler Tablo 1’de verilmiştir. BJH ile hesaplanan CoBi katalizörünün gözenek büyüklüğü 18.1127 nm olarak bulundu. CoBi katalizörünün BET yüzeY alanı, gözenek hacmi ve gözenek boyutu Tablo 1’de verilmiştir. TEM’de hesaplanan gözenek boyutunun 20 nm olması BET analizinde hesaplanan gözenek boyutuna çok yakın olduğundan katalizör içeriğinde homojen bir dağılım ve sentezin gerçekleştiğini söyleyebiliriz.

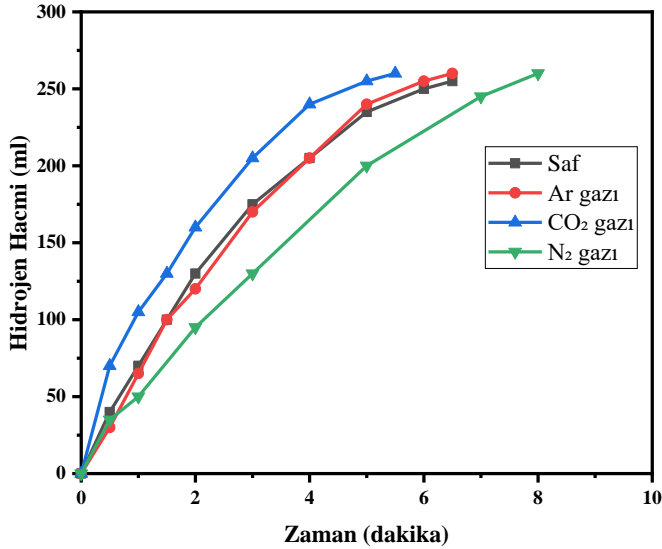
Tablo 1. BET Yüzey Alanı, Gözenek Hacmi ve Hazırlanan Katalizörün Gözenek Boyutu

Katalizör	BET Yüzey Alanı (m ² /g)	Gözenek Hacmi (cc/g)	Gözenek Boyutu (nm)
CoBi (95:5)	16.9711	0.078029	18.1127

3.2. Hidroliz Deneyleri

3.2.1. Farklı İnert Gaz Ortamının Hidrojen Üretimine Etkisi

Sentezlenen CoBi (95:5) katalizörüne plazma ortamında farklı inert gaz ortamında %80 plazma gücü 10 dakika uygulandı. %80 plazma gücü ile 15 dakika plazma uygulanan katalizörlerin %5 NaOH, 10 ml %1'lik NaBH₄ çözeltisi, 30 °C'de ve 25 mg CoBi katalizör varlığında hidroliz reaksiyonları incelenmiştir. Elde edilen hidrojen hacmine bağlı zaman grafikleri Şekil 3'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere CO₂ gazı ortamında plazma gücü uygulanan katalizör hidroliz reaksiyonunu diğer gaz ortamları ve plazma uygulanmamış haline göre daha kısa sürede tamamlamaktadır.

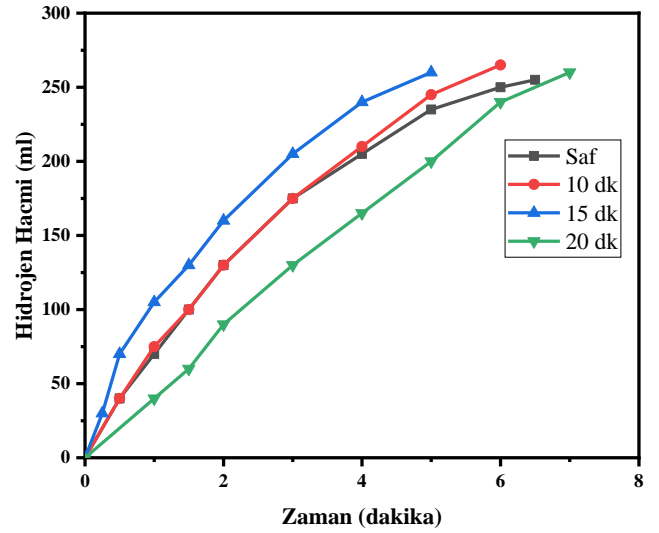


Şekil 3. İnert Gaz Ortamının Hidrojen Üretimine Etkisi (T=30 °C, V_{su}= 10 ml, %1 NaBH₄, %5 NaOH, 25 mg katalizör)

3.2.2. Uygulanan Plazma Süresinin Hidrojen Üretimine Etkisi

Plazma ortamında CO₂ gazına karar verdikten sonra plazma süresinin etkisi incelendi. Plazma süresinin hidrojen üretimine etkisini incelemek için; CoBi (95:5) katalizörüne %80 plazma gücü ve CO₂ gazı ortamında farklı sürelerde (10, 15, 20 dakika)

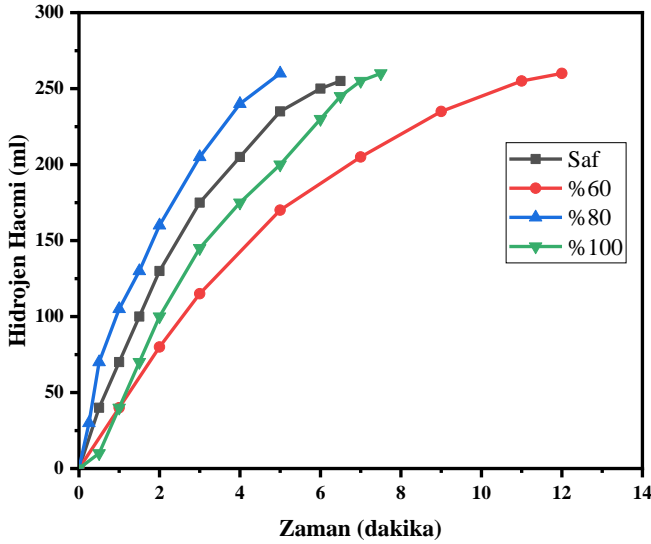
plazma uygulandı. Elde edilen katalizörlerin 30 °C, 10 ml su, %1 NaBH₄, %5 NaOH ve CO₂ gazı ortamında %80 plazma gücü farklı sürelerde uygulanan 25 mg CoBi (95:5) katalizörü varlığında hidroliz deneyleri yapıldı. Elde edilen hidrojen hacmine bağlı zaman grafiği Şekil 4'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere 15 dakika uygulanan plazma süresi hidroliz reaksiyonunu, plazma uygulanmamış ve diğer uygulanan plazma sürelerine göre daha kısa sürede tamamlamaktadır.



Şekil 4. Uygulanan Plazma Süresinin Hidrojen Üretimine Etkisi (T=30 °C, V_{su}= 10 ml, %1 NaBH₄, %5 NaOH, 25 mg katalizör)

3.2.3. Uygulanan Plazma Gücünün Hidrojen Üretimine Etkisi

Katalizöre uygulanan süre ve inert gaz ortamına karar verildikten sonra uygulanan plazma gücünün hidrojen üretimine etkisi incelendi. Plazma gücünün hidrojen üretimine etkisini incelemek için, 30 °C, 10 ml su, %1 NaBH₄, %5 NaOH ve CO₂ gazı ortamında 15 dakika farklı plazma gücü uygulanmış 25 mg CoBi (95:5) katalizörü varlığında hidroliz deneyleri yapıldı. Elde edilen hidrojen üretimine bağlı zaman grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere plazma gücü %60'tan %80'e çıkarıldığında katalizörün hidroliz reaksiyonunu tamamlama süresi kısalmaktadır. Fakat uygulanan plazma gücü %100'e çıkarıldığında reaksiyonu tamamlama süresi %80'e göre artmaktadır. Bunun temel nedeni aşırı güç uygulandığında katalizörün aktif yüzeylerinin bozulması ya da zehirlenmesidir. Bundan dolayı katalizör aktivitesini yitirmektedir.



Şekil 5. Uygulanan Plazma Gücünün Hidrojen Üretimine Etkisi (T=30 °C, V_{su}= 10 ml, %1 NaBH₄, %5 NaOH, 25 mg katalizör)

4. Sonuç

Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin en önemli ihtiyacı enerjidir. Bu nedenle yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili çalışmalar ve araştırmalar sınırlı kaynaklara sahip fosil yakıtlara alternatif olması açısından oldukça önemlidir. Bu durumda hidrojen enerjisi devreye girer. Hidrojen, kullanıldığı teknolojilerde verimliliği artırması ve kirletici etkilerinin düşük olması nedeniyle gelecekte dikkate alınması gereken en önemli enerji kaynağı olarak görülmektedir

Bu çalışmada literatürde optimum hidrojen üretim şartları belirli olan CoBi (95:5) katalizörünün aktifleştirilmesi incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda CO₂ gazı ortamında 15 dakika %80 plazma gücü CoBi (95:5) katalizörüne uygulandığında hidrojen üretim verimliliği saf haline göre artmıştır. Plazma uygulanmayan katalizör hidroliz reaksiyonunu 6,5 dakikada tamamlarken belirlenen koşullarda plazma uygulanan katalizör hidroliz reaksiyonunu 4,5 dakika gibi daha kısa sürede tamamlamıştır. Bilindiği üzere kimyasal proseslerde süreç ne kadar hızlı ilerlerse istenen ürün ve verim o derecede artmaktadır. Bu sonuçlar ışığında çalışma amacına ulaşılmıştır. Üretilen katalizöre destek malzemesi eklenerek daha aktif ve daha karalı bir katalizör tasarlanıp sentezlenebilir. Bu çalışma bu yönü ile diğer çalışmalara öncülük etmektedir.

Kaynakça

- Ali, F., Khan, S. B., & Asiri, A. M. (2019). Chitosan coated cellulose cotton fibers as catalyst for the H₂ production from NaBH₄ methanolysis. *international journal of hydrogen energy*, 44(8), 4143-4155.
- ATELGE, R. Kısmi Yük Koşullarında Dizel-Biyogaz Kullanılarak Çift Yakıtlı Dizel Motorun Enerji ve Ekserji Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(27), 334-346.
- ATELGE, R. (2021). Türkiye'de Sığır Gübresinden Biyoyakıt Olarak Biyogaz Üretimine Potansiyeli ve 2030 ve 2053 Yıllarında Karbon Emisyonlarının Azaltılmasına Öngörülen Etkisi. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5(1), 56-64.

- Avci Hansu, T., Çağlar, A., Demir Kivrak, H., & Sahin, O. Structure of ruthenium nanocatalysts of bismuth, investigation of its effect on hydrolysis performance and kinetic studies. *Energy Storage*, e267.
- Avci Hansu, T., Sahin, O., Çağlar, A., & Demir Kivrak, H. (2021). Untangling the cobalt promotion role for ruthenium in sodium borohydride dehydrogenation with multiwalled carbon nanotube-supported binary ruthenium cobalt catalyst. *International Journal of Energy Research*, 45(4), 6054-6066.
- Bekirogullari, M., Abut, S., Duman, F., & Hansu, T. A. (2021). Lake sediment based catalyst for hydrogen generation via methanolysis of sodium borohydride: an optimization study with artificial neural network modelling. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 1-18.
- BOYNUEĞRİ, T. A., & Metin, G. (2021). RELEASING HYDROGEN FROM NABH₄ VIA HYDROGEL BASED CoF₂ CATALYST. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 41(1), 1-9.
- Ekinci, A., Şahin, Ö., Saka, C., & Avci, T. (2013). The effects of plasma treatment on electrochemical activity of Co-W-B catalyst for hydrogen production by hydrolysis of NaBH₄. *International journal of hydrogen energy*, 38(35), 15295-15301.
- Hansu, T., Çağlar, A., Sahin, O., & Demir Kivrak, H. (2020). A COMPARATIVE STUDY FOR SODIUM BOROHRIDE DEHYDROGENATION AND ELECTROOXIDATION ON CERIUM AND COBALT CATALYSTS.
- Hansu, T. A., Sahin, O., Çağlar, A., & Kivrak, H. (2020). A remarkable Mo doped Ru catalyst for hydrogen generation from sodium borohydride: the effect of Mo addition and estimation of kinetic parameters. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 131(2), 661-676.
- KARAOĞLU, S. Y., & KARAOĞLU, S. HYDROGEN GENERATION FROM SODIUM BOROHRIDE WITH COBALT BORIDE CATALYSTS. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 84-96.
- Kaya, M. (2020). Production of metal-free catalyst from defatted spent coffee ground for hydrogen generation by sodium borohydride methanolysis. *International journal of hydrogen energy*, 45(23), 12731-12742.
- Lee, J., Kong, K. Y., Jung, C. R., Cho, E., Yoon, S. P., Han, J., . . . Nam, S. W. (2007). A structured Co-B catalyst for hydrogen extraction from NaBH₄ solution. *Catalysis today*, 120(3-4), 305-310.
- Mistry, H., Varela, A. S., Bonifacio, C. S., Zegkinoglou, I., Sinev, I., Choi, Y.-W., . . . Strasser, P. (2016). Highly selective plasma-activated copper catalysts for carbon dioxide reduction to ethylene. *Nature communications*, 7(1), 1-9.
- Moriarty, P., & Honnery, D. (2020). Feasibility of a 100% global renewable energy system. *Energies*, 13(21), 5543.
- Panwar, N., Kaushik, S., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(3), 1513-1524.
- Shang, Y., & Chen, R. (2006). Hydrogen storage via the hydrolysis of NaBH₄ basic solution: optimization of NaBH₄ concentration. *Energy & fuels*, 20(5), 2142-2148.
- Şahin, Ö., Karakaş, D. E., Kaya, M., & Saka, C. (2017). The effects of plasma treatment on electrochemical activity of Co-B-P catalyst for hydrogen production by hydrolysis of NaBH₄. *Journal of the Energy Institute*, 90(3), 466-475.

- Şahin, Ö., Saka, C., Baytar, O., & Hansu, F. (2013). Influence of plasma treatment on electrochemical activity of Ni (o)-based catalyst for hydrogen production by hydrolysis of NaBH₄. *Journal of Power Sources*, 240, 729-735.
- Wee, J.-H., Lee, K.-Y., & Kim, S. H. (2006). Sodium borohydride as the hydrogen supplier for proton exchange membrane fuel cell systems. *Fuel processing technology*, 87(9), 811-819.
- Xia, X., & Xia, J. (2010). *Evaluation of potential for developing renewable sources of energy to facilitate development in developing countries*. Paper presented at the 2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference.