

Co-B-F ve Co-B-P KATALİZÖRLERİ KULLANILARAK NaBH₄'DEN HİDROJEN ÜRETİMİNE NaOH'İN ETKİSİ

¹Mehmet Sait İZGİ, ²Ömer ÖDEMiŞ, ³Ömer ŞAHİN, ⁴Cafer SAKA

^{1,2}Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fak. Kimya Bölümü, 13100, Bitlis, Türkiye

³Siirt Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Kimya Mühendisliği Bölümü, 56100 Siirt, Bitlis

⁴Siirt Üniversitesi Sağlık Yüksekokulu, 56100 Siirt, Bitlis

¹saitizgi@hotmail.com, ²hizan13@yahoo.com, ³sahinomer2002@yahoo.com,
⁴sakaca1976@hotmail.com

(Geliş/Received: 05.01.2016; Kabul/Accepted in Revised Form: 28.01.2016)

ÖZ: Bu çalışmada sodyum borhidrürün hidrolizi ile hidrojen üretimi için Co-B-P ve Co-B-F katalizörleri sentezlenmiştir. Sodyum borhidrürden hidrojen üretiminde stabiliteyi sağlamak amacıyla kullanılan sodyum hidroksit konsantrasyonu oldukça önem arz etmekte zira fazla kullanılması durumunda katalizörün katalitik aktivitesini azaltırken, az kullanılması ya da hiç kullanılmaması durumunda ise sodyum borhidrürün kendiliğinden bozunması gerçekleşmektedir. Bu nedenle sentezlenen Co-B-F ve Co-B-P katalizörlerinin sodyum borhidrürün hidrolizinde kullanılması durumundaki optimum sodyum hidroksit konsantrasyonları belirlenmiştir. Farklı sodyum hidroksit konsantrasyonları varlığında reaksiyon hızlarına etkileri ve reaksiyon hız sabitlerine etkileri ayrı ayrı belirlenerek sodyum hidroksit konsantrasyonunun sodyum borhidrürün hidrolizi ile hidrojen üretimi üzerinde ne kadar etkin ve önemli olduğu belirlenmiştir. Co-B-F katalizörü için hidrojen üretim hızı %2,5 NaOH konsantrasyonu varlığında 2400 ml/dk.katalizör, Co-B-P katalizörü için ise 1605 mL/dk.katalizör olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sodyum Borhidrür, Hidrojen, Katalizör, Sodyum Hidroksit, Kobalt

Effect Of NaoH In Hydrogen Production From NaBH₄ By Using Co-B-F And Co-B-P Catalysts

ABSTRACT: In this study, Co-B-F and Co-B-P catalysts were synthesized in order to produce hydrogen from sodium boron hydride hydrolysis. Sodium hydroxide concentration in hydrogen production from sodium boron hydride is immensely important to stabilize the reaction. In the case of over use of sodium hydroxide, catalytic activity of the catalyst will decrease, On the other hand, In the case of under-use or without any usage of the catalyst, sodium boron hydride degradation will occur. For these reasons, optimum sodium hydroxide concentrations were determined in the case of synthesized Co-B-F and Co-B-P catalysts usage in sodium boron hydride hydrolysis. In the presence of different sodium hydroxide concentrations, reaction rates and reaction rate constants were examined separately which hydrolysis of sodium borohydride with sodium hydroxide concentration was determined to be effective and how important the hydrogen production. Co-BF in the presence of catalyst for hydrogen production rate of 2.5% concentrations of NaOH in 2400 ml / dk.catalyst, Co-BP for the catalysts was 1605 ml / dk.catalyst was determined.

Key Words: Sodium Borohydride, Hydrogen, Catalyst, Sodium Hydroxide, Cobalt

DOI: 10.15317/Scitech.2016116095

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yeni bir bin yıla girerken hidrojenin yakın gelecekte ana enerji kaynağı olacağı tahmin edilmekte olup son zamanlarda çeşitli sanayi alanlarında yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde hidrojen, çeşitli kaynaklardan üretilmekte ve farklı yöntemlerle depolanmaktadır. Enerji stoklarımızı korumak, çevremizi korumak ve yaşam kalitesini düzeltmek için teknolojiden yeterince yararlanmak gereklidir. Arabalar, evler ve enerji santralleri için yeterli çok yönlü bir teknolojiye ihtiyaç vardır. Çevremize verilen zararları tersine döndürmeye yardım edebilecek yeterince temiz bir teknoloji gereklidir. Bunlardan biriside sodyum bor hidrürden hidrojen üretimidir. Sodyum borhidrürün su ile olan hidrolizi aşağıdaki gibidir.



reaksiyonuna (Schlesinger ve diğerleri. 1953) göre uygun katalizör varlığında alkali sodyum borhidrür çözeltilisi hidrolizi gerçekleşir. Bu önemli reaksiyon için birçok metal ve bileşikler katalizör olarak test edilmiştir. Sodyum borhidrürün hidrolizi süreci, genellikle oda sıcaklığına yakın koşullarda değişik heterojen ve homojen katalizörler kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Sodyum borhidrür'ün hidrolizinden hidrojen üretimi, uygun katalizörlerin kullanılmasıyla sağlanır. Örneğin Nikel (Ingersol ve diğerleri. 2007), ve Kobalt (Fernandes R. ve diğerleri. 2009-2010), Co-B (Şahinve diğerleri. 2015 and Amendola S.C. ve diğerleri. 2000 and İzgi ve diğerleri. 2015) Sodyum borhidrür'ün hidrolizi sonucu saf hidrojen elde edilmesinde katalizör olarak kullanılabilenleri görülmektedir.

Sodyum borhidrürün hidrolizi sürecinde kullanılan heterojen katalizörlerin, homojen katalizörlere göre bazı avantajları vardır. Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir.

- Katalizörün daha uzun süre çalışması,
- Katalizörün hidroliz tepkimesinde yan ürün olarak oluşan sodyum metaborat çözeltilisinden kolaylıkla ayrışması,
- Hidroliz tepkimesi sürecinde, sodyum metaboratın dışında, diğer yan ürünlerin, özellikle de üretilen hidrojeni kirletebilecek gazların oluşmamasıdır.

Katalitik aktiviteyi hızlandırıcı özellik gösteren katalizörlerde aranan bazı özellikler; yüksek yüzey alanına sahip olması, reaksiyon şartlarından etkilenmemesi ve tekrar kullanılabilirliğinin olması olarak sıralanabilir.

Sodyum borhidrürün hidrolizinden saf hidrojen eldesi için heterojen katalizörler üzerine birçok çalışma yapılmıştır ve halen bu katalizörlerin katalitik aktifliklerini artırmak için çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar hidroliz reaksiyonunun hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleşmesi için etkin katalizörlerin sentezlenmesi üzerine olmuştur. Bu amaçla birçok araştırmacı farklı katalizörler varlığında en iyi reaksiyon verimini elde etmek için deneysel çalışmalar yapmaktadır. Ancak sodyum bor hidrürün katalitik hidrolizi katalizör türünün yanı sıra sıcaklık, sodyum hidroksit ve sodyum borhidrürün yoğunluğu gibi diğer parametrelere de bağlıdır. Araştırmacılar çeşitli katalizörlerin varlığında bu parametrelerin NaBH₄'ün hidroliz hızına etkisini incelemişlerdir. Bunun içinde ucuz ve kullanışlı katalizörlere ihtiyaç vardır.

Bu çalışmamızın amaçlarından birisi bor rezervleri bakımından dünyanın sayılı ülkelerinden olan ülkemizde, üretilen Co-B-F ve Co-B- P katalizörlerinin, sodyum borhidrürden hidrojen üretilmesinde kullanılarak hem bu katalizörlerin katalitik aktivitelerini artırılması ve hidrojen üretiminin daha ucuz maliyetli üretilmesinin sağlanmasıdır.

MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada son yıllarda hidrojen depolama kaynağı olarak görülen bor hidrür çözeltilerinden hidrojen elde edilmesine yönelik farklı katalizörler sentezlenerek hidrojen elde edilmesine bağlı parametreler incelendi. Burada Co-F-B ve Co-P-B katalizörleri sentezlendikten sonra, bunların sodyum borhidrür varlığındaki hidrojen üretimine etkisi farklı sodyum hidroksit konsantrasyonlarında incelenmiştir. Ayrıca farklı sodyum hidroksit konsantrasyonları varlığında reaksiyon hızlarına ve reaksiyon hız sabitlerine etkileri ayrı ayrı belirlenmiştir.

Co-B-F katalizörünün sentezlenmesi

Co-B-F katalizörünün sentezi için 50 mL CoCl₂.6H₂O çözeltisi 250 mL'lik üç boyunlu bir balona konulan bu çözeltiliye yaklaşık 2-4 °C'ye soğutularak sodyum bor hidrür çözeltisi kuvvetli karıştırma ile yavaşça damlatıldı. Siyah bir çökelti elde edildikten sonra bu çökeltideki yabancı maddeleri uzaklaştırmak için mutlak etanol ile birkaç kez yıkandı. Son olarak elde edilen ürün 8 saat boyunca 110 °C de N₂ ortamında kurutulularak Co-B katalizörü elde edildi. Ayrıca, 0,6mL HF ve 6 gr KF, 1L suyun içinde çözülerek florlu çözelti hazırlanmıştır. (Suda X. S. ve diğerleri. 2001) Bu florlu çözeltiliden 40 mL alınarak içine 1 gr Co-B katalizörü atılarak 30 °C de 500 rpm de karıştırıldı. 40mLsi alınıp içine 1 gr katalizör atıldı. Daha sonra süzülerek birkaç defa saf suyla yıkandıktan sonra kurutulup Co-B-F katalizörü elde edilmiştir.

Co-B-P Katalizörünün sentezlenmesi

50 mL CoCl₂.6H₂O ve NaHPO₄ çözeltisi hazırlandıktan sonra 250 mL'lik üç boyunlu bir balona konulan bu çözelti yaklaşık 2-4 °C'ye soğutularak, üzerine sodyum bor hidrür çözeltisi kuvvetli karıştırma ile yavaşça damlatılır. Siyah bir çökelti elde edildikten sonra bu çökeltideki yabancı maddeleri uzaklaştırmak için mutlak etanol ile birkaç kez yıkanır. Son olarak elde edilen ürün 8 saat boyunca 110 °C de N₂ ortamında kurutulularak Co-B-P katalizörü elde edilmiştir.

Deneysel Çalışma Prosedürleri

Yukarıda hazırlanan katalizörlerin kendiliğinden bozunmadan kalabilmesi için çözeltilerde bir miktar sodyum hidroksit bulunmalı bu amaçla çözeltilerde %1-10 arasında değişen oranlarda olmak üzere en az 3 farklı sodyum hidroksit konsantrasyonu için, sodyum borhidrürün hidroliz reaksiyonu incelenmiş olup optimum sodyum hidroksit konsantrasyonu belirlenmiştir. Aynı zamanda n. Dereceden bir denklem için;

$$-\frac{d[A]}{dt} = k_n [C_A]^n \quad (2)$$

Genel hız denklemini yazılarak, integre edilirse

$$\int_{[A_0]}^{[A]} -\frac{d[A]}{[A]^n} = k_n \int_0^t dt \quad (3)$$

$$\frac{1}{n-1} \left[\frac{1}{[C_A]^{n-1}} - \frac{1}{[C_A]_0^{n-1}} \right] = k_n t \quad (4)$$

Eşitlik 4'te, 1/C_Aⁿ⁻¹ karşın (t) grafiğinde en uygun n değeri için çizildiğinde bir doğru denkleminin elde edilmesi beklenir. Bu doğru denkleminin eğiminden reaksiyon hız sabiti olan k değeri bulunur.

Çizelge 1. Katalizör üretimi ve hidrojen üretim miktarlarının ölçülmesi için kurulan düzenekte kullanılan ekipmanların marka ve modelleri (Brands and models of the apparatus that was setup in order to measure the amount of hydrogen and catalyst production)

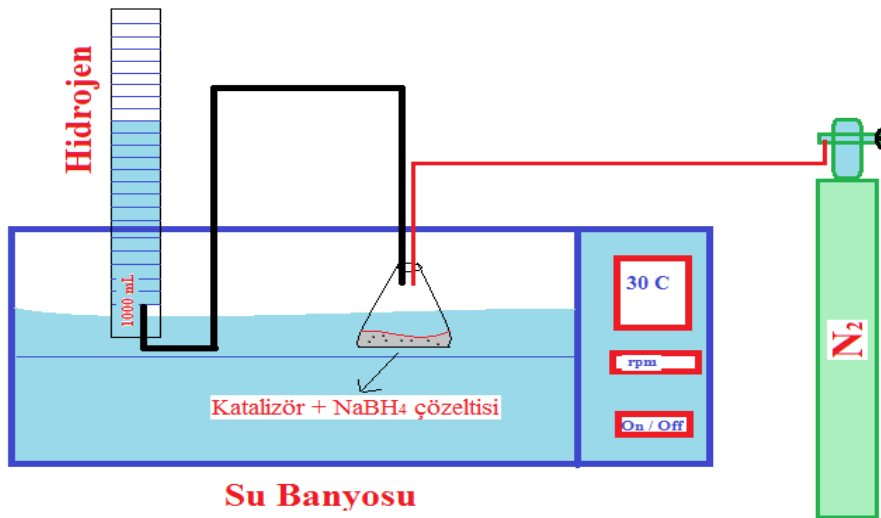
Kullanılan Cihaz Adı	Marka ve Modeli
Soğutmalı Termostat	Thermo Haake PC200
Termostat	Thermo
Hassas Terazi	Shimadzu
pH Metre	Mettler Toledo
Manyetik Karıştırıcı	Ika
Etüv	Nüve

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan kimyasallar ve markaları. (Chemicals and their brands used in experiments)

Kullanılan Kimyasal ve Tüpler	Markası
KF	Merck-104994
HF	Merck -101513
Sodyum Hidroksit	Merck -106462
Sodyum borhidrür	Merck -806373
Cobalt Klorür	Merck -102539
Sodyum Hidrojen Fosfat	Merck-106580

SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

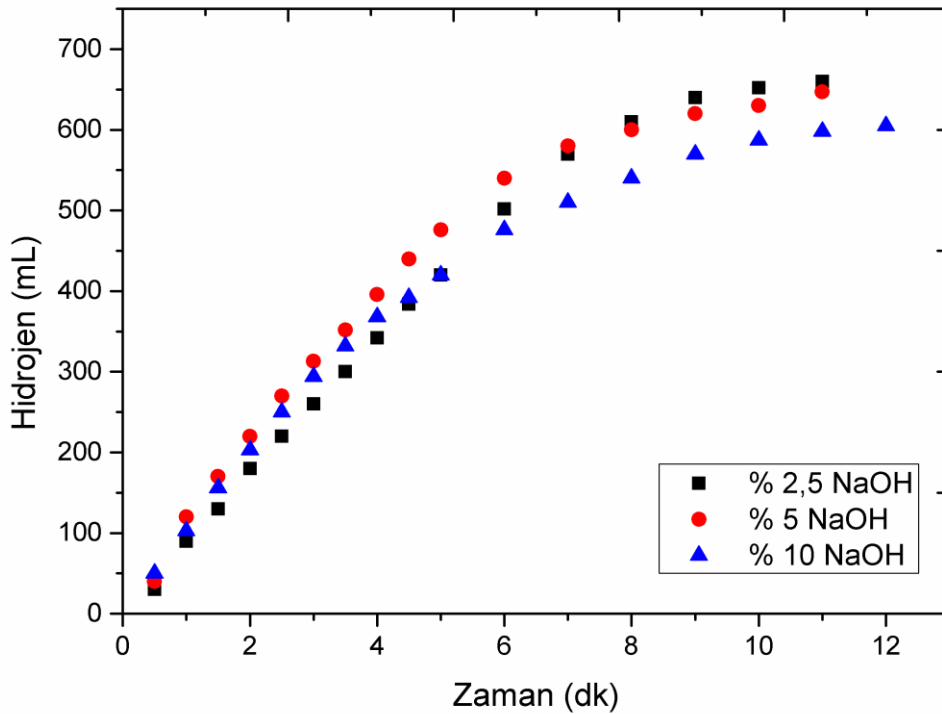
Deneysel çalışmalarda kullanılan sistemin açık şeması Şekil 1’de verilmiştir. Sistem, kapaklı bir erlen, bir gaz büreti ve bir adet termostatl çalkalayıcıdan oluşmaktadır. Kapaklı erlene konulan belirli miktara ve konsantrasyona sahip sodyum borhidrür çözeltisine, daha önceden hazırlanmış olan katalizörler eklenerek hidroliz olayı gerçekleştirilmiştir. Bu katalizörün miktarına, NaOH konsantrasyonu ve farklı sıcaklıklarda NaBH_4 ’ün hidroliziyle elde edilen hidrojen gazı, su tuzağı kullanılarak gaz büretinde toplandı. Elde edilen hidrojen gazının hacim değerleri, belirli zaman aralıklarında okunarak grafiksel olarak katalizörün etkinliği tespit edilmiştir.



Şekil 1: Üretim Sisteminin şematik gösterimi (Schematic representation of the production system)

Sodyum Hidroksit Derişiminin Etkisi

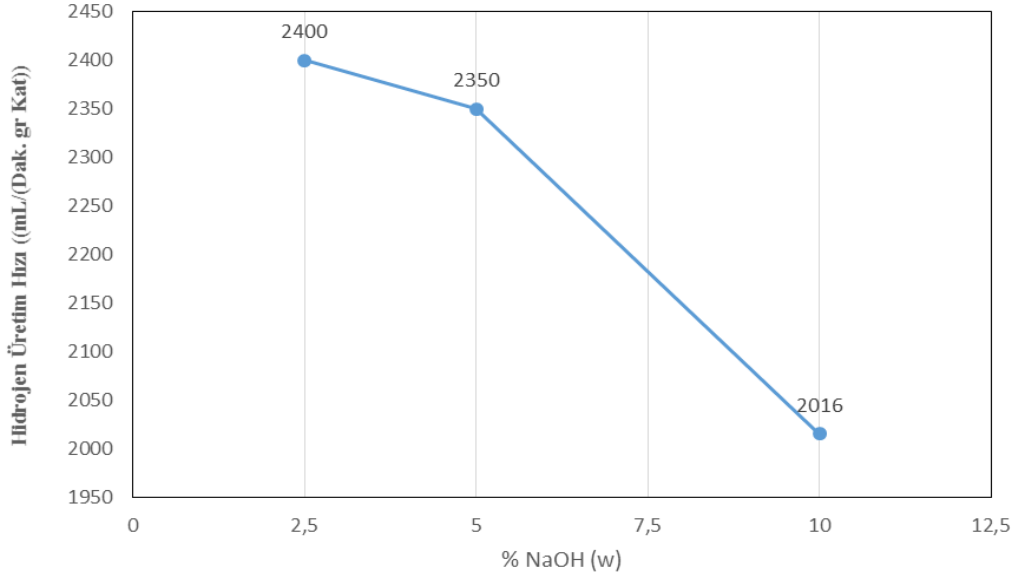
Bu çalışmada üretimi yapılan Co-B-F ve Co-B-P katalizörlerinin farklı konsantrasyonlardaki NaOH 'in NaBH_4 hidrolizine etkisi incelenmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi Co-B-F katalizörünün, sodyum bor hidrür hidrolizi üzerinde en etkin NaOH konsantrasyonu %2,5 olarak belirlenmiştir. Bunun muhtemel sebebi ise, Çözeltide sodyum hidroksitin varlığı ile birbiri ile yarışan iki mekanizma olmaktadır. Birincisi, artan NaOH konsantrasyonu aktif faz olan Co-B-F katalizörünün oluşumunu artırmaktadır. Bu da aktiviteye olumlu etki yapmaktadır. Diğer taraftan, artan NaOH derişimi ile çözeltinin pH' sı arttığından hidroliz tepkimesinde OH^- iyonlarının inhibitör rolü oynaması ve proton derişiminin azalmasına neden olmaktadır. NaBH_4 'ün bu şekilde yavaş iyonlaşması katalizörün katalitik aktifliğini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle NaBH_4 'ün Co-B-F katalizörü varlığındaki hidrolizinde optimum NaOH konsantrasyonlarının belirlenmesi önem arz etmektedir. Şekilden 2'den görüleceği gibi hidrojen verimi %10 NaOH varlığında düşük bir şekilde gerçekleşirken %2,5 NaOH varlığında ise maksimum dönüşüm elde edilmektedir.



Şekil 2. Co-B-F katalizörünün farklı NaOH konsantrasyonlardaki NaBH_4 hidrolizine Etkisi. (30°C , %2,5 NaBH_4 , 10 ml çözelti, 25 mg Katalizör). (Effect of Co-B-F catalyst in different NaOH concentrations to NaBH_4 hydrolysis) (30°C . %2.5 NaBH_4 , 10ml solution, 25mg catalyst)

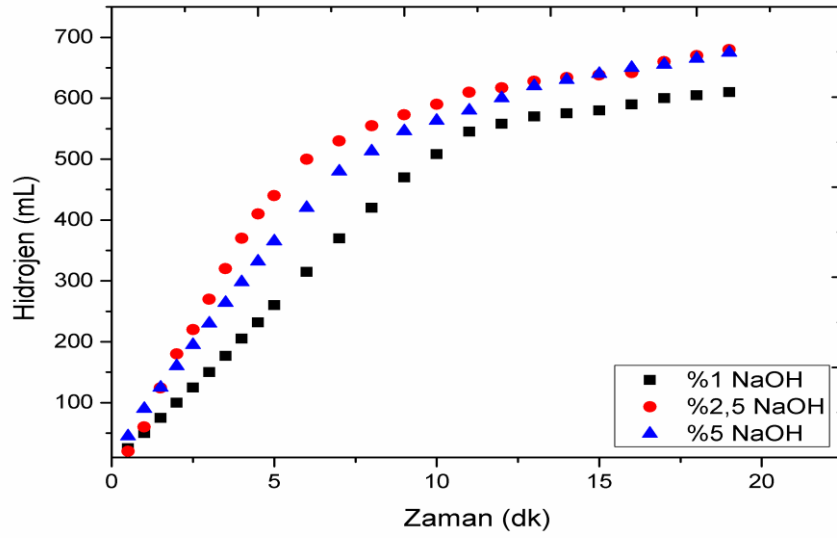
Şekilde 3'ten görüleceği üzere % 0 NaOH değeri verilmemiştir. Bunun nedeni NaBH_4 çözeltisi ortamında NaOH olmadığı durumlarda çözeltinin kendi kendine bozunarak hidroliz olmasından dolayı denemeye gerek görülmemiştir. Yani çözelti ortamına NaOH koymamızın temel nedeni NaBH_4 kendiliğinden bozunmasını engelleyerek çözeltinin hararlılığını arttırmaktır. Şekil 3'te %2,5 NaOH varlığında hidrojen üretim hızı 2400 (ml/dak.kat) iken %10 NaOH varlığında ise 2016 (ml/dak.gr.kat) kadar düşmüştür. Reaksiyon hızının hesaplanmasında %2,5 ve %5 NaOH konsantrasyonları için 11. Dakika % için ise 12.dakikada üretilen hidrojen hacimleri baz alınarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar ile

elde ettiğimiz yaklaşımla Co-B-F katalizörünün NaBH_4 hidrolizi amaçlanıyorsa çözeltinin stabilitesi için ortamda %2,5 NaOH bulunması yeterlidir.



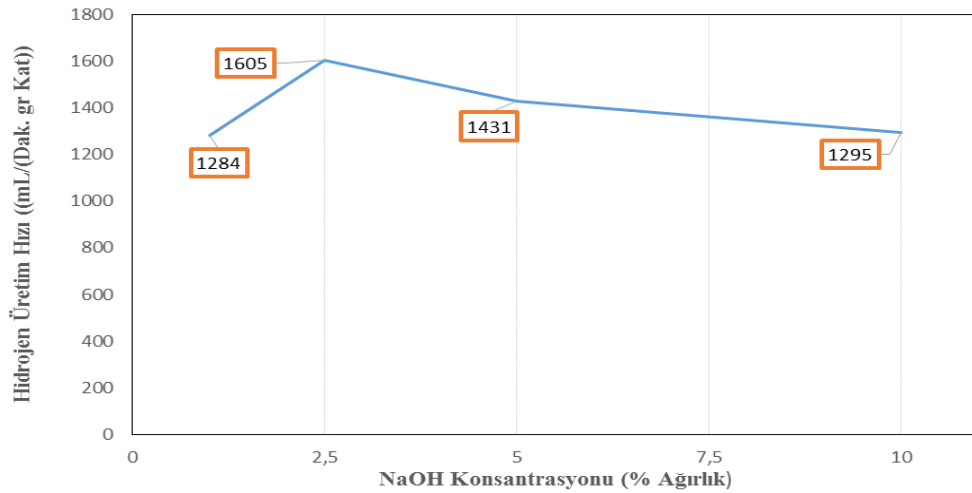
Şekil 3. Co-B-F katalizörünün hidrojen üretim hızlarının farklı NaOH konsantrasyonlarıyla değişimi. (30°C, %2,5 NaBH_4 , 10 ml çözelti 25 mg katalizör) (30°C. %2.5 NaBH_4 , 10ml solution, 25mg catalyst, , Effect of Co-B-F catalyst in different NaOH concentrations to NaBH_4 hydrolysis and hydrogen production rates)

Aynı şekilde Co-B-P katalizörünü kullanarak NaBH_4 hidrolizinde optimum NaOH konsantrasyonunu belirlemek için farklı NaOH konsantrasyonu varlığında elde edilen hidrojen hacimlerinin zamanla değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te görüleceği gibi Co-B-P katalizörünün NaBH_4 hidrolizinde iki farklı NaOH varlığının etkisi Co-B-F'e göre daha belirgindir ve etkin olduğu görülmektedir. %2,5 NaOH varlığında %100'e yakın dönüşüm sağlanırken %1 NaOH konsantrasyonu varlığında ise %85 civarında NaBH_4 'ün hidroliz dönüşümü sağlanmıştır. Bu nedenle Şekil 4'e göre NaBH_4 hidrolizinde Co-B-P kullanılacaksa çözelti ortamında %2,5 NaOH bulunması yeterli olacaktır. Şekil 4'te her ne kadar %2,5 NaOH varlığı ile %1 NaOH varlığında NaBH_4 hidrolizi %100 yakın olduğu gözükse de %1 NaOH varlığında reaksiyon daha yavaş gerçekleşmektedir.



Şekil 4. Co-B-P katalizörünün farklı NaOH konsantrasyonlarındaki NaBH_4 hidrolizine Etkisi. (30°C , %2,5 NaBH_4 , 10 ml çözelti, 25 mg Katalizör). (Effect of Co-B-P catalyst in different NaOH concentrations to NaBH_4 hydrolysis)

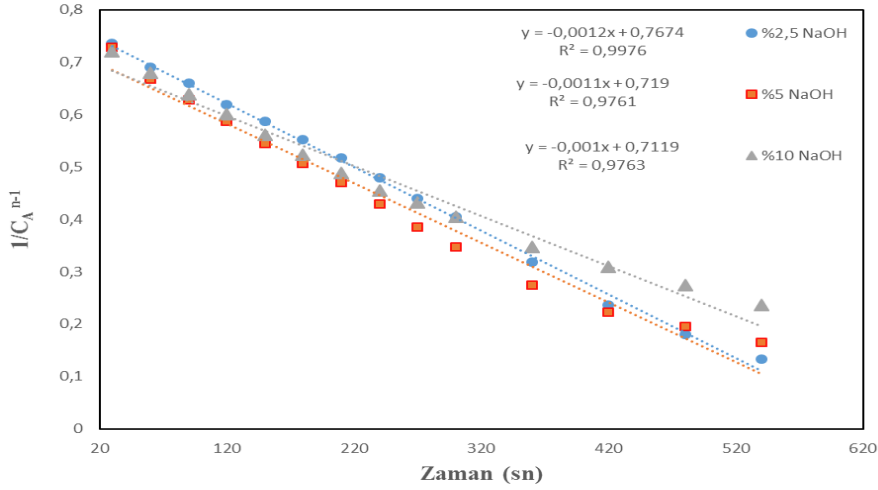
Şekil 4'te üzerindeki değerleri yardımıyla hidrojen üretim hızlarının NaOH konsantrasyonu ile değişimi Şekil 5'te verilmiştir. %1 NaOH varlığında hidrojen üretim hızı %2,5 NaOH varlığında 1605 (ml/dak.gr.kat) iken %10 varlığında ise 1295 (ml/dak.gr.kat) değerine düşmektedir. Yani bu sonuçlara göre optimum hidrojen üretim hızı %2,5 NaOH varlığında elde edilmektedir.



Şekil 5. Co-B-P katalizörünün hidrojen üretim hızlarının farklı NaOH konsantrasyonlarıyla değişimi. (30°C , %2,5 NaBH_4 , 10 ml çözelti 25 mg katalizör). (30°C , %2,5 NaBH_4 , 10ml solution, 25mg catalyst, Effect of Co-B-P catalyst in different NaOH concentrations to NaBH_4 hydrolysis and hydrogen production rates)

NaBH_4 hidrolizi Co-B-F ve Co-B-P katalizörleri varlığında farklı NaOH konsantrasyonları için elde edilen hidrojen hacimlerinin zamanla değişiminin kinetiksel davranışında n. dereceden bir reaksiyon göz önüne alınarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. n. dereceden bir reaksiyon için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır. Bu eşitlikler çıkarılırken reaksiyona giren suyun

ortamda oldukça fazla olduğu dolayısıyla sodyum borhidrür konsantrasyonunun fazla etkilenmediği kabul edilmiştir.



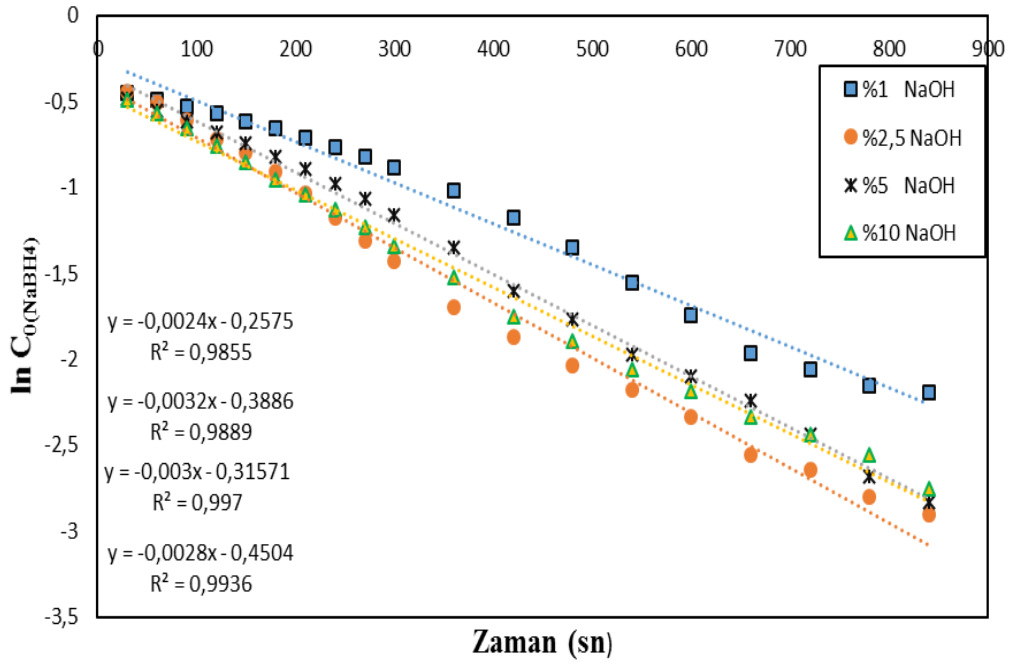
Şekil 6. Farklı NaOH konsantrasyonlardaki Co-B-F katalizörünün kinetiksel değerlendirilmesi. (30°C, %2,5 NaBH₄, 10 ml çözelti 25 mg katalizör). (Effect of Co-B-F catalyst in different NaOH concentrations to NaBH₄ hydrolysis kinetic evaluation). (%2.5 NaBH₄, 10 ml solution 25 mg catalyst).

Eşitlik 4. kullanılarak elde edilen, Şekil 6'da görüldüğü gibi en uygun regresyon katsayısını veren reaksiyon hız mertebesinin 0,75 olduğu belirlenmiş olup farklı NaOH konsantrasyonları varlığında elde edilen kinetiksel parametreler çizelge 3.te verilmiştir.

Çizelge 3. n. Derecedeki Co-B-F katalizörünün farklı sodyum hidroksit konsantrasyonlarına ait kinetiksel çizelge. (Degree of n.th-order of catalyst of Co- B-F in kinetics table relation to different concentrations of sodium hydroxide).

% NaOH	n	k	R ²
%2,5	0,75	0,0048	0,9976
%5	0,75	0,0044	0,9761
%10	0,75	0,0040	0,9763

Çizelge 3' te elde edilen sonuçlarda reaksiyon hız sabiti olan k'nun en yüksek olduğu değer %2,5 NaOH varlığında gerçekleştiği görülebilir.



Şekil 7. Farklı NaOH konsantrasyonlardaki Co-B-P katalizörünün kinetiksel değerlendirilmesi. (30°C, %2,5 NaBH_4 , 10 ml çözelti 25 mg katalizör). (Effect of Co-B-P catalyst in different NaOH concentrations to NaBH_4 hydrolysis kinetic evaluation), (%2.5 NaBH_4 , 10 ml solution 25 mg catalyst).

Aynı şekilde NaBH_4 hidrolizi Co-B-P katalizörü varlığında farklı NaOH konsantrasyonlarında da NaBH_4 konsantrasyonlarının zamanla değişim değerleri kullanılarak 1. Dereceden bir hız eşitliği uygulandığında Şekil 7 deki doğrular elde edilmiştir. Bu doğruların eğim değerlerinden yararlanarak farklı NaOH varlığında reaksiyon hız sabitleri bulunmuş olup Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelge 4'te görüleceği gibi reaksiyon hız sabiti k 'nın en yüksek olduğu NaOH konsantrasyonu daha önceden optimum şart olarak belirlenen %2,5 NaOH varlığında elde edilmektedir.

Çizelge 4. 1. Derecedeki Co-B-P katalizörünün farklı sodyum hidroksit konsantrasyonlarına ait kinetiksel çizelge. (Degree of n.th-order of catalyst of Co- B-F in kinetics table relation to different concentrations of sodium hydroxide).

% NaOH	n	k	R ²
%1	1	0,0024	0,9855
%2,5	1	0,0032	0,9976
%5	1	0,0030	0,9761
%10	1	0,0028	0,9763

Genel sonuç olarak NaBH_4 hidrolizinde kullanılan katalizör kadar bu katalizör ile uyum içerisinde çalışmasını sağlayan NaOH konsantrasyonunun da önemli olduğunu bu çalışmada elde ettiğimiz sonuçlarla desteklenmiş olduğu görülmüştür.

SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada sodyum borhidrürden hidrojen üretiminde stabiliteyi sağlamak amacıyla kullanılan sodyum hidroksit konsantrasyonu yapılan deneylerde hidrojen verimi üzerinde ne kadar önemli olduğu görülür. Çünkü NaOH derişimi fazla olduğunda çözeltinin pH' sı arttığından hidroliz tepkimesinde OH⁻ iyonlarının inhibitör rolü oynaması ve proton derişiminin azalmasına neden olmasıyla hidrojen veriminin düştüğü yani katalitik aktiviteyi yavaşlattığı görüldü. Bu yüzden bu tür çalışmalar yapıldığında başlangıçta optimum sodyum hidroksit konsantrasyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Burada optimum NaOH konsantrasyonu Co-B-F katalizörü ve Co-B-P için % 2,5 olarak belirlenmiştir.

KATKI BELİRLEME (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma, BEBAP 2014.17 no'lu Proje, Bitlis Eren Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeler Birimi tarafından desteklenmiştir. Finansal katkılarından dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Amendola S.C., Onnerud P., Kelly M.T., Petillo P.J., Sharp-Goldman S.L., Binder M. J. 2000. An ultrasafe hydrogen generator: aqueous, alkaline borohydride solutions and Ru catalyst. *Power Source* 85 -186.
- Fernandes R, Patel N, Miotello A. 2009. Hydrogen generation by hydrolysis of alkaline NaBH₄ solution with Cr-promoted Co-B amorphous catalyst. *Appl Catal B Environ.* 92:68-74.
- Ingersoll, J. C., Mani, N., Thenmozhiyal, J. C. and Muthaiah A., 2007, Catalytic hydrolysis of sodium borohydride by a novel nickel-cobalt-boride catalyst, *Journal of Power Sources.* 173, 450-457.
- İzgi M.S., Şahin Ö. Saka C. 2015. Hydrogen production from NaBH₄ using Co-Cu-B catalysts prepared in methanol: Effect of plasma treatment. *Int. J. of Hydrogen Energy.* doi:10.1016/j.ijhydene.2015.11.004
- Patel N, Fernandes R, Miotello A. 2010. Promoting effect of transition metal-doped Co-B alloy catalysts for hydrogen production by hydrolysis of alkaline NaBH₄ solution. *J Catal* 271:315-24.
- Sahin O, Kaya M, Izgi M. S, Saka C. 2015. The effect of microwave irradiation on a Co-b-based catalyst for hydrogen generation by hydrolysis of NaBH₄ solution. *Energy Sources Part A* 37:462-7.
- Schlesinger H.I., Herbert C.B., Finholt A.E., Gilbreath J.R., Hoekstra H.R., Hyde E.K., 1953. Sodium borohydride, its hydrolysis and its use as a reducing agent and in the generation of hydrogen, *Journal of the American Chemical Society,* 75 (19, pp 215- 219)
- Suda X. S, Y.- Sun M. Liu B.-H, Zhou, Y, Morimitsu, S. Arai, K. Tsukamoto, N. Uchida, M. Candra, Li Y. Z.-P. 2001 Catalytic generation of hydrogen by applying fluorinated-metal hydrides as catalysts *Appl. Phys. A* 72, 209-212.