

Kenaf Hidrolizatının Gazlaştırılması ve Cevap Yüzey Yöntemi ile Optimizasyonu

Arif HASANOĞLU¹, Bahar MERYEMOĞLU²

ÖZET: Bu çalışmada, kenaf hidrolizatının kesintisiz olarak atmosferik basınçta katalitik olarak buhar faz reformlama (AVPR) tekniği ile hidrojen zengin gaz üretim prosesinde sıcaklığın, hidrolizat akış hızının ve biyokütle konsantrasyonunun etkisi incelenmiştir. Deneysel parametrelerin gaz ürünlerin kompozisyonuna etkisi RSM (Response Surface Methodology: Cevap Yüzey Metodu) metodu kullanılarak araştırılmıştır. Bu metodun en büyük avantajlarından biri az sayıda deneysel çalışma yaparak, birden fazla deneysel parametrenin gazlaştırma verimine etkisinin incelemesini mümkün kılmasıdır. Deneysel sonuçlar sonucunda hidrojen verimi üzerine biyokütle konsantrasyonun, akış hızının ve bunların çeşitli kombinasyonlarının ikincil önemli parametreler olduğunu gösterirken sıcaklığın ana faktör olduğunu göstermiştir. Yapılan optimizasyon çalışmaları sonucu yüksek oranda hidrojen eldesi için sıcaklığın 295°C'nin üzerinde, biyokütle hidrolizat akış hızının 0.30 mL/dk akış hızında olması gerektiği gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Cevap yüzey metodu, gazlaştırma, hidrojen, kenaf, optimizasyon

Gasification of Kenaf Hydrolysate and Optimization by Response Surface Methodology

ABSTRACT: In this study, the effect of temperature, feed flow rate and biomass feed concentration parameters on gasification performance of kenaf biomass hydrolysate using continuous atmospheric catalytic vapour phase (AVPR) reforming system was examined. The effect of experimental parameters on the composition of gas products were investigated using the RSM (Response Surface Methodology) method. One of the greatest advantages of this method that makes it possible to study the effect of gasification efficiency on several experimental parameters by carrying out a few experimental studies. The results showed that temperature was main factor on hydrogen-rich gas production while other parameters (biomass feed concentration, feed flow rate) were secondary. As a result of the optimization, it was observed that the temperature should be above 295 °C, and the flow rate of 0.30 mL / min for high yield hydrogen.

Keywords: Response surface methodology, gasification, hydrogen, kenaf, optimization

¹ Arif HASANOĞLU (0000-0002-1713-6946), Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Adana, Türkiye

² Bahar MERYEMOĞLU (0000-0002-4785-5917), Çukurova Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Adana, Türkiye
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Bahar MERYEMOĞLU, bmeriyemoglu@cu.edu.tr

GİRİŞ

Ülkemizde enerji arzı ve tüketimi arasındaki fark her yıl artmaktadır. Türkiye'nin gelişmesini sürdürebilmesi için ihtiyacı olan enerjiyi zamanında, yeterli miktarda, ekonomik koşullarda ve çevreye zarar vermeden sağlayıp, kullanması gerekmektedir.

Biyokütle ana yenilenebilir enerji kaynağıdır ve daha az sülfür ve kül içerdiğinden çevreci yakıtlardan biridir. Ayrıca, kömürden daha fazla uçucu maddeye sahiptir. Böylece sera gaz emisyonlarının azaltılması için biyokütle olası muhtemel temiz bir yakıttır. Biyokütle enerji kaynaklarına örnek olarak kenaf, buğday samanı, sorgum, fil çimeni ve dallı darı verilebilir.

Biyokütleden gaz ürünleri elde etmek için yanma, piroliz ve gazlaştırma gibi farklı prosesler kullanılabilir. Termokimyasal dönüşüm teknolojilerinden biri olan gazlaştırma, farklı kabon bazlı hammaddeleri doğal gaz, kömür, petrol, kok, biyokütle ve atıkları sınırlı bir hava arzında hidrojen ve karbon monoksit, karbon dioksit, su gibi gazlı ürünlere dönüştüren temiz bir teknolojidir. Ayrıca, char, kül ve tar, yağlar gibi yoğunlaştırılabilen katı ürünler üretir. Elde edilen bu gaz ürünleri, elektrik, hidrojen, kimyasallar ve sıvı nakil yakıtları üretmek için kullanılabilir. Gazlaştırma teknikleri arasında subkritik su ve süperkritik su (Williams and Onwudili, 2005) sulu faz reformlama (Huber et al., 2006), buhar faz reformlama (Rioche et al., 2005) bulunmaktadır. Buna tekniklere ek olarak sulu faz reformlama prosesinden elde edilenden çok daha yüksek verimle hidrojen üretimi konusunda teknik geliştirilmiştir (Hasanoğlu et al., 2016). Bu proseste, içerisinde organik madde çözünmüş olan sulu çözelti veya hidrolizat bir pompa yardımıyla boru şeklindeki paslanmaz çelikten veya kuvars tüpten yapılmış reaktörün içerisine gönderilmektedir. Bu koşullarda çözücü (su) buharlaşmakta ve lignoselülozik türevli organik maddeler kolon içerisindeki heterojen katalizörle etkileşmektedir. Organik maddelerin parçalanması ve gaz ürünlere dönüşümü katı katalizör yüzeyinde gerçekleşmektedir.

Gazlaştırma prosesini etkileyebilecek birçok proses parametresi vardır. Bu çalışmada sıcaklık, akış hızı ve biyokütle konsantrasyonu gibi parametrelerin hidrojen zengin gaz üretimi için gazlaştırma yöntemlerinden biri olan atmosferik

basınçta katalitik buhar faz reformlama prosesine etkisi Cevap Yüzey Metodu ile araştırılmıştır. Cevap Yüzey Metodu (RSM), optimizasyonu da içeren istatistiksel bir tekniktir. Basit modellerin üretildiği bu yöntem teknolojinin her alanında kullanılabilen bir optimizasyon tekniğidir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar arasında bir grup araştırmacı, sorgum hidrolizatının kesintisiz sulu faz reformlama yöntemi ile hidrojen zengin gaz üretiminde sıcaklık, hidrolizat akış hızı ve biyokütle konsantrasyonunun etkilerini RSM metodu ile incelemişler ve sıcaklığın hidrojen zengin gaz karışımı eldesinde ana faktör olduğunu gözlemlemişlerdir (Meryemoğlu et al., 2014). Başka bir grup ise yaptıkları bir çalışmada atık yüksek yoğunluklu polietilenlerin katalitik piroliz ile sıvı yakıtlara dönüştürülmesi prosesini optimize etmek için RSM kullanmışlardır. Reaksiyon sıcaklığı, katalizörlerin asitliliği ve kütle oranı (katalizör ve polietilen) bağımsız değişken olarak seçmişlerdir. Optimum koşullar olarak reaksiyon sıcaklığı 450°C, katalizör asitliliği 0,341 ve katalizör/atık HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) oranı 1:4 olarak bulunmuştur. Bu şartlar sağlandığında %78,7 verimle yakıt elde edilmiştir (Kumar et al., 2013). Bir çalışmada nohut samanının sabit yataklı tübüler bir reaktörde hızlı pirolizi gerçekleştirilmiştir. Piroliz sıcaklığı, azot akış hızı ve ısıtma hızı gibi proses parametrelerinin etkisi cevap yüzey metodu ile incelenmiş ve optimizasyonu yapılarak maksimum sıvı ürün veriminin elde edildiği koşullar belirlenmiştir (Degirmen ve ark., 2012).

Bu çalışmada da kenaf biyokütlesi suda çözüldürülmüş, yüksek verimlilikle hidrojen eldesi için en uygun akış hızı, sıcaklık ve biyokütle konsantrasyonu belirlenmiştir. Bunun için Cevap Yüzey Metodu (RSM) "Box-Behnken Design" (BBD) istatistik programı kullanılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışmada biyokütle kaynağı olarak kullanılan Kenaf, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nden temin edilmiştir. Katalizör, %5 Ru Karbon (Sigma) ise 0.62 cm dış ve 0.40 cm iç çapındaki paslanmaz çelikten yapılmış ve uzunluğu 40 cm olan kolonun içerisine konarak kullanılmıştır.

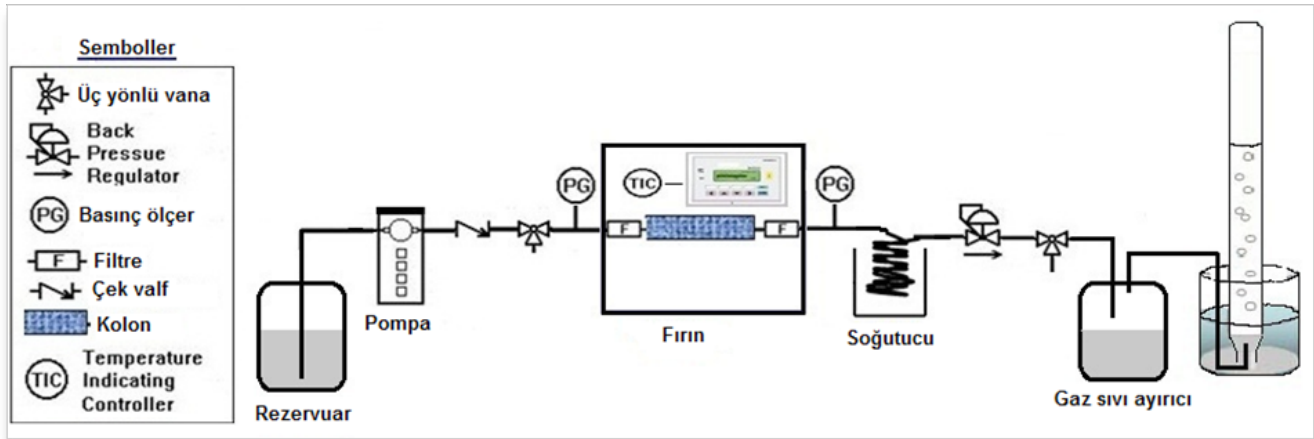
Biyokütle Materyalinin Hidrolizi

Kenaf biyokütlesi sub-kritik su koşullarında çözündürülmüştür. Yönteme ait detaylar Meryemoğlu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada verilmiştir (Meryemoğlu et al., 2010). Kenaf materyali karbondioksit basıncı altına alınmış sub-kritik su ($100^{\circ}\text{C} < T < 374.2^{\circ}\text{C}$ ve P : Suyu sıvı fazda tutacak kadar yüksek, $217.76 \text{ atm} < P$) ortamında hidroliz edilerek suda çözülmüş ürünlere dönüştürülmüştür. Kenaf biyokütlesi küçük parçalar halinde parçalayıcıda (blendarda) öğütüldükten sonra 500 mL'lik reaktör (Parr 4575 Model HP/HT) içinde hidroliz edilmiştir. Öğütülmüş kenaf biyokütlesi ve 350 ml su reaktöre konmuş ve kapağı kapatılan reaktörün içindeki hava CO_2 gazı

ile sürüklenerek uzaklaştırılmıştır. Karışım $4.7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızıyla istenilen sıcaklığa (250°C) kadar ısıtılmış ve ISCO 260D pompa (Isco Inc., Lincoln, Nebraska) ile CO_2 basılarak 4060 psi basınca getirilmiştir. Bu koşullarda 1000 rpm ile 120 dakika karıştırılarak biyokütle materyalinin çözünmesi sağlanmıştır. Bu süre sonunda reaktör su-buz karışımına daldırılarak soğutulmuştur. Reaktörün suya daldırılması ile tepkimenin sona erdiği kabul edilmiştir.

Biyokütle Hidrolizatlarının Gazlaştırılması

Hidrolizatların atmosferik basınçta katalitik buhar faz reformlama prosesi Şekil 1'de gösterilen sistemde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Atmosferik basınçta katalitik buhar faz reformlama düzeneği

Hidrolizat çözeltileri katalizörün bulunduğu kolona pompa yardımı ile $0.5 \text{ ml}/\text{dk}$ hızla gönderildi ($\%5 \text{ Ru Karbon}$). 0.62 cm dış ve 0.40 cm iç çapındaki paslanmaz çelikten yapılmış ve uzunluğu 40 cm olan kolonun içerisine konarak hazırlandı. Katalizörün bulunduğu kolon tüp fırın içerisine yerleştirildikten sonra oda sıcaklığından başlayarak 10 dk içerisinde istenen sıcaklığa ($250\text{-}300^{\circ}\text{C}$) kadar ısıtıldı. Bu sırada kolon içerisinden saf geçirildi. İstenilen sıcaklığa ulaştıktan sonra hidrolizat örnekleri katalizörün bulunduğu kolona gönderilerek reformlama deneyleri başlatılmış oldu. Katalizörün bulunduğu kolonun giriş ve çıkış kısmında 900°C sıcaklığa kadar dayanıklı quartz yün kullanıldı.

Gaz Analizleri

Gazlaştırma deneyleri sonucunda oluşan gaz hacimleri gaz büreti ile ölçülmüştür. Gaz karışımlarının kompozisyonları, birinden argon diğerinden helyum taşıyıcı gazların geçtiği iki kanallı ve iki termal iletkenlik dedektörlü Varian-450 Gaz kromatograf ile belirlenmiştir. Hidrojen dışındaki gazların (C1-C5) saptandığı kanalda Varian Restek Shincarbon 100/120 mesh $2\text{m}\times 1/16''\times 1\text{mm}$ kolon; hidrojen kanalında ise Varian Restek MolSieve 5A $1\text{m}\times 1/8''$ Ultimet kolon kullanılmıştır. Kolon fırın sıcaklık programı, 40°C 'de 3 dk bekleyip $8^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ile 230°C 'ye yükselme ve bu sıcaklıkta 5 dk bekleme şeklinde toplam 31.75 dk süreden oluşmaktadır. Dedektör sıcaklığı 230°C , filament

sıcaklığı ise 300 °C olarak çalışılmıştır. Standart gaz karışımı olarak Elite Gaz Teknolojileri İnş. Tur. San. Tic. Ltd. Şti.'den (İstanbul, Türkiye) sağlanan içerisinde % mol olarak sırasıyla 1.8±0.04 asetilen, 4.0±0.1 etilen, 3.9±0.1 etan, 4.9±0.1 metan, 16.0±0.3 karbonmonoksit, 22.0±0.4 karbondioksit ve balans sağlayacak miktarda hidrojen (47.4±0.5) bulunan gaz karışımı kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Box-Behnken tasarımı kullanılarak (Design Expert 7.0.0) oluşturulan deneysel parametreler (15 farklı deney seti) hidrojen gazı için elde edilen cevaplar Çizelge 1'de verilmiştir. Oluşturulan bu

modellerin deneysel verileri ne ölçüde karşıladığı varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir. Bu yöntemle her bir faktörün kuadratik etkilerinin yanıtlar üzerindeki istatistiksel önemlilikleri % 95 güvenlik seviyesinde Fischer (F-testi) testi uygulanarak belirlenmiştir. Önerilen modelin sistemin gerçek yanıtına uygun bir yaklaşım olup olmadığına, “lack of fit”den kaynaklanan hatanın önemsiz ve regresyondan kaynaklanan varyasyonun % 95 güvenlik seviyesinde önemli olması koşuluyla karar verilmiştir. Ayrıca, modelin uygunluğu regresyon katsayısı (R^2), düzeltilmiş regresyon katsayısı ($Adj-R^2$), tahmin edilmiş kalıntı hata kareler toplamı (PRESS) ve tahmin edilmiş çoklu belirleme katsayısı ($Pre-R^2$) kullanılarak test edilmiştir.

Çizelge 1. Deneysel tasarımda kullanılan değişkenlerin kodları

Değişkenler	Semboller	Değişkenlerin kodları		
		-1	0	1
Sıcaklık (°C)	A	250	275	300
Akış hızı (mL/dk)	B	0.3	0.65	1.00
Biyokütle konsantrasyonu (mg/L)	C	1000	2500	4000

Deneysel tasarım ışığında 15 deney gerçekleştirilmiştir. Elde edilen cevapların, faktörlerin fonksiyonu olarak tanımlanıp, model denkleminin oluşturulması için ikinci dereceden ya da daha yüksek dereceli polinom modelleri kullanılmaktadır. Bu polinomlar, elde edilen

sistem cevabının parametre değerlerinin aynı anda değiştirilmesinden nasıl etkilendiğini göstermektedir.

İkinci dereceden cevap yüzey modeli, polinomal olarak aşağıdaki şekilde kullanılmıştır:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^N \beta_i \times X_i + \sum_{i=1}^N \beta_{ii} \times X_i^2 + \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \beta_{ij} \times X_{ij}$$

Burada Y sistemin cevabı, değişken sayısı, bağımsız değişken β_0 , β_i , β_{ii} , ve β_{ij} ve her bir faktörün katsayısıdır. BBD (Box–Behnken design) ve veri

analizleri için “Design Expert statistical software” (Design Expert 7.0.0) kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneysel tasarıma uygun yapılan deneylere göre sistemin hidrojen cevapları

Sıcaklık (°C)	Akış hızı (mL/dk)	Biyokütle konsantrasyonu (ppm, C)	H ₂ (mL/g katalizör) gözlenen	H ₂ (mL/g katalizör) beklenen
250	0.65	4000	38.30	36.44
275	0.65	2500	22.00	22.74
300	0.65	4000	62.48	71.64
275	1.00	1000	18.65	14.01
300	0.65	1000	40.67	42.53
250	1.00	2500	23.00	36.79
250	0.30	2500	59.20	56.42
300	1.00	2500	41.65	44.43
250	0.65	1000	25.00	15.84
275	0.65	2500	23.23	22.74
275	1.00	4000	36.60	24.66
275	0.30	1000	30.80	42.74
300	0.30	2500	124.46	110.67
275	0.65	2500	23.00	22.74
275	0.30	4000	77.17	81.81

Hidrojen İçin Model Denklemi

Deneysel tasarımlara uygun olarak yapılan deneylerde elde edilen hidrojen değerleri regresyon

analizine tabi tutularak aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$\text{Hidrojen verimi} = +22.74 + 15.47A - 21.47B + 12.43C - 11.65AB + 2.13AC - 7.10BC + 20.07A^2 + 19.26B^2 - 1.20C^2 \quad (1)$$

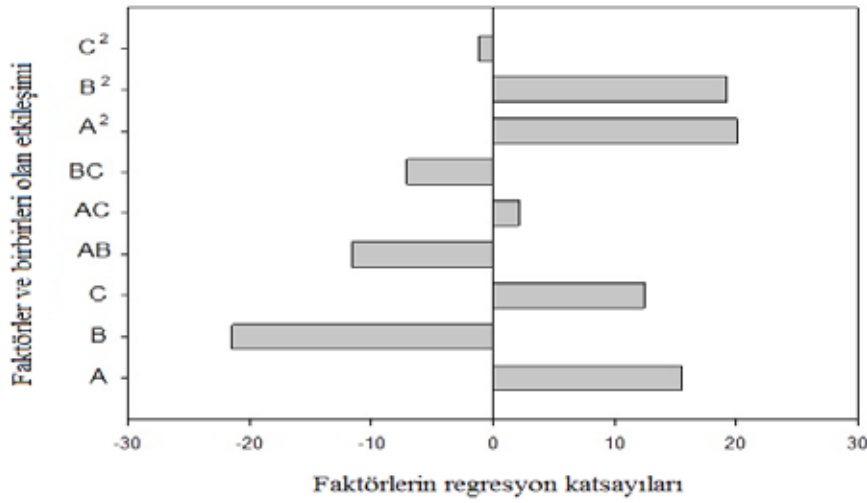
Hidrojen verimi ile ilgili yukarıdaki Eşitlik 1 incelendiğinde “A” katsayısının (15.47) pozitif değere sahip olması sıcaklığın 250°C’den 300°C’ye artırılmasıyla hidrojen hacminin artmasına en fazla etki eden faktör olduğunu göstermektedir. Akış hızı ile ilgili olan “B” katsayısının (-21.47) negatif değer alması hidrolizat akış hızının artırılmasıyla hidrojen hacminin azalacağını, biyokütle hidrolizatı konsantrasyonunu

gösteren “C” değerinin (12.43) pozitif olması biyokütle hidrolizatı derişiminin artırılmasıyla hidrojen veriminin arttığını göstermektedir. Modelin uyumluluğu R² ile test edilebilir. Varyans analizi sonucu bulunan R² ve Radj değerleri sırasıyla 0.9198 ve 0.7754’tür. Bu değerler önerilen eşitliğin bağımsız değişkenler ile hidrojen verimi arasındaki ilişkinin aydınlatılması için uygun bir yaklaşım sağlamaktadır. Kenaf hidrolizatının AVPR

yöntemi ile gazlaştırılmasına ait hidrojen için faktörleri ve birbirleri ile olan etkileşimini gösteren pareto kartı Şekil 2’de verilmiştir.

Şekil 3’te hidrojen için beklenen ve gözlenen değerler arasındaki ilişki verilmiştir. Görüldüğü üzere beklenen ve gözlenen hidrojen değerleri arasında çok fazla farklılık gözlenmemektedir. Hidrojen verimine deneysel parametrelerin etkisi yüzey yanıt grafiği

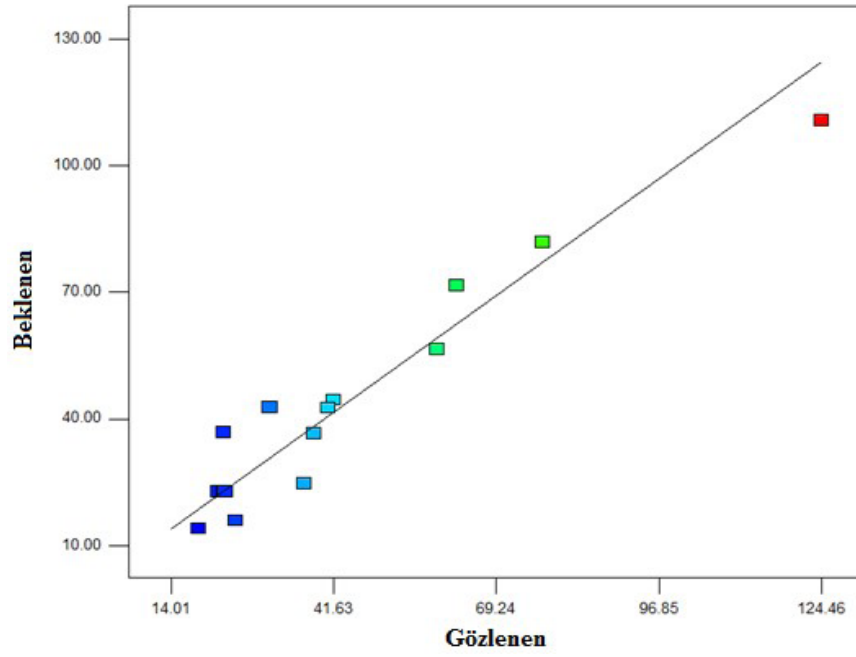
çizilerek gösterilmiştir (Şekil 4). Şekil 4a ve Şekil 4c incelendiğinde hidrolizat akış hızının azaltılmasıyla birlikte hidrojen veriminin arttığı görülmüştür. Dolayısıyla hidrolizat akış hızının artırılması hidrojen verimini olumsuz olarak etkilemektedir. Sonuçlar ayrıca sabit biyokütle konsantrasyonunda AVPR reformlama sıcaklığının 250°C’den 300°C’ye çıkarılmasıyla da hidrojen veriminde önemli bir artış olduğunu göstermiştir (Şekil 4a).



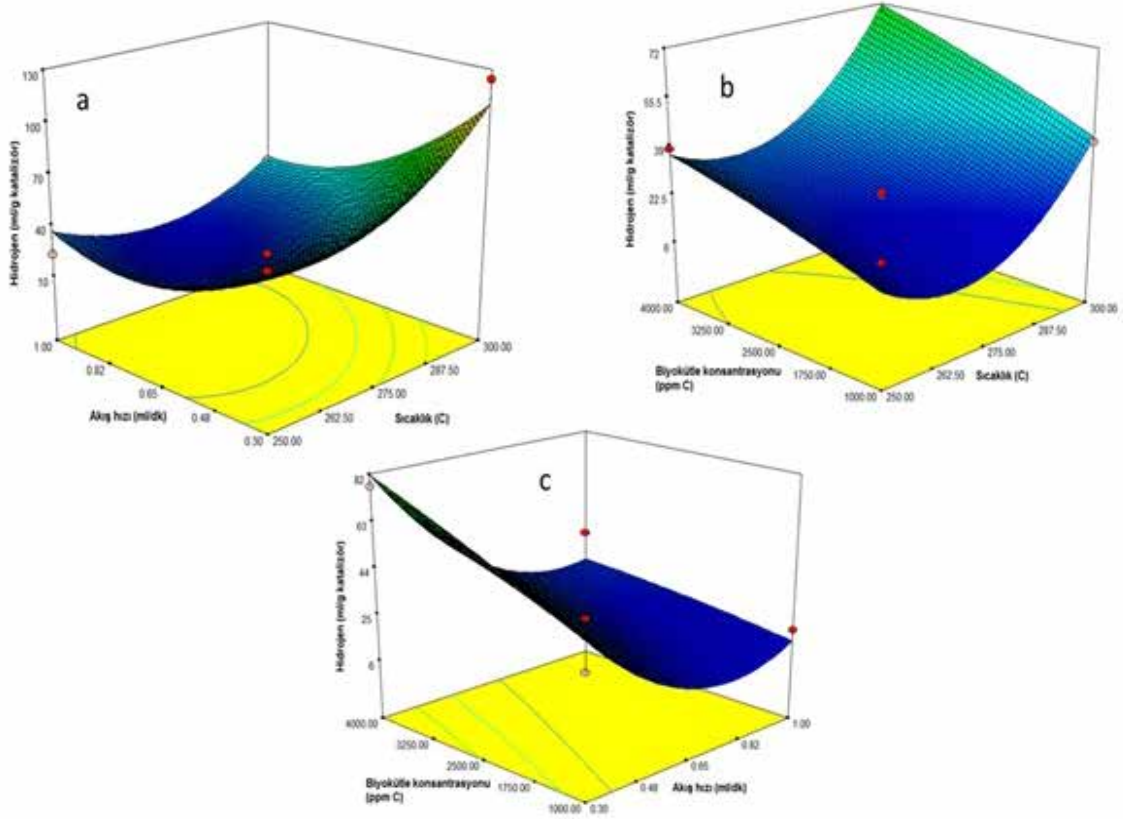
Şekil 2. Kenaf hidrolizatının AVPR yöntemi ile gazlaştırılmasına ait hidrojen için faktörleri ve birbirleri ile olan etkileşimini gösteren pareto kartı (%95 güven seviyesi)

Yüksek sıcaklıklarda, organik materyallerin C-H, C-C, O-H bağlarının kırılması düşük sıcaklıklara göre daha fazla gerçekleşir ki bu da daha fazla hidrojen ve diğer gaz ürünlerin oluşumuna etki eder. Gursahani ve arkadaşları, C-C bağlarının katalizör yüzeyine adsorbe olduğunu ve bu bağların kırılmasının bir sonucu olarak katalizör yüzeyinde ara ve son ürünler oluştuğunu söylemişlerdir (Gursahani et al., 2001). Bu ara ürünlerden CO (ya da diğer gaz ürünleri) ve H₂ oluşmaktadır. CO su-gaz değişim reaksiyonu ile birlikte H₂ ve CO₂’ye dönüşmektedir. Yüksek sıcaklıklarda organik maddelerin dehidrojenasyonun ve su-gaz değişim reaksiyonunun daha etkin gerçekleşmesi nedeniyle hidrojen veriminin arttığı düşünülmektedir. (Şekil 4a ve Şekil 4b). Dehidrojenasyon ve su-gaz değişim reaksiyonları endotermik reaksiyonlardır (CO + H₂O → CO₂ + H₂; ΔH° = 41.0 kJ/mol) ve yüksek sıcaklıklarda daha etkilidirler. Tüm AVPR

çalışmalarımızda CO miktarının ölçülebilir düzeyde olmaması daha önce bahsedildiği gibi su-gaz değişim reaksiyonunun daha etkin gerçekleşmesi ile ilgilidir. Buna ek olarak, akış hızının artması daha düşük hidrojen verimi göstermiştir. Yüksek akış hızlarında biyokütle hidrolizatı katalizör ile daha az etkileşim gösterdiğinden daha düşük hidrojen verimi göstermektedir. Hidrolizat derişimi hidrojen verimini etkileyen bir diğer parametredir. Çalışmamızda artan hidrolizat konsantrasyonu ile birlikte hidrojen veriminin arttığı gözlenmiştir (Şekil 4c). Şekil 4c’de sabit sıcaklıkta (275°C) hidrojen verimi üzerine hidrolizat konsantrasyonu ve akış hızının etkisi gösterilmiştir. Artan biyokütle konsantrasyonu ile birlikte hidrojen verimi artmış ancak artan akış hızı ile birlikte hidrojen verimi azalmıştır. Daha düşük akış hızlarında hidrolizat ve katalizör etkileşim süresi daha fazladır.



Şekil 3. Hidrojen için beklenen ve gözlenen değerler arasındaki ilişki



- a) Sabit biyokütle konsantrasyonunda (2500 ppm, C); sıcaklık (°C) ve akış hızı (mL/dk)
b) Sabit akış hızında (0.65 mL/dk); sıcaklık (°C) ve biyokütle konsantrasyonu (ppm, C)
c) Sabit sıcaklıkta (275°C); akış hızı (mL/dk) ve biyokütle konsantrasyonu (ppm, C)

Şekil 4. Hidrojene ait yüzey grafiği

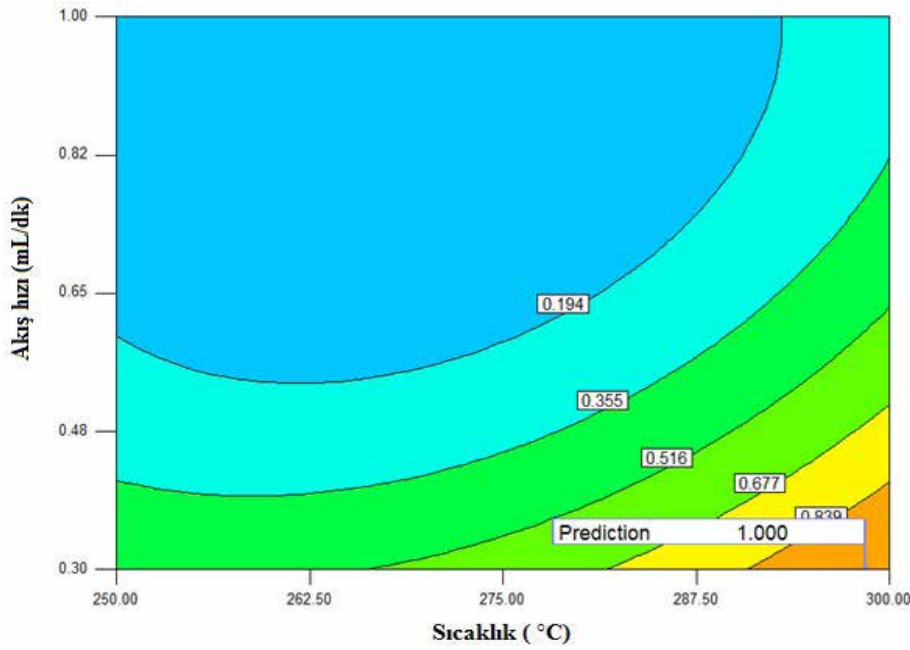
Özetle, deneysel çalışmalar ve Eşitlik 1 hidrojen verimi üzerine biyokütle konsantrasyonunun, hidrolizat akış hızı ve bunların çeşitli kombinasyonlarının ikincil önemli parametreler olduğunu gösterirken sıcaklığın ana faktör olduğunu göstermiştir.

Yüksek sıcaklıklarda metanizasyon tepkimeleri baskılanmakta ve çözülmüş organik substratların parçalanma ve su-gaz değişim reaksiyonlarının sonucu olarak yüksek miktarlarda H₂ üretilebilmektedir.

Yüksek oranda hidrojen verimi sıcaklık artırılarak ya da akış hızı düşürülerek sağlanabilir.

Optimizasyon

Hidrojenin maksimum olması için Box-Behnken tasarımı için cevap yüzeyi yönteminin çözümün grafiksel gösterimi Şekil 5'te verilmiştir. Önerilen modele göre yüksek oranda hidrojen eldesi için sıcaklığın 295°C'nin üzerinde, hidrolizat akış hızının 0.30 mL/dk akış hızında olması gerekir. En uygun deney koşullarının belirlenmesinden sonra belirlenen koşullar için doğrulama deneyi yapılmış ve elde edilen deneysel sonuçlarla ve modelce öngörülen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çizelge 3'te görüldüğü gibi öngörülen sonuçlar ile deneysel sonuçlar birbiri ile uyum içindedir.



Şekil 5. Box-Behnken tasarımı için cevap yüzeyi yönteminin hidrojenin maksimum olduğu çözümün grafiksel gösterimi

Çizelge 3. Öngörülen ve deneysel olarak belirlenen koşullar ve hidrojen verimi

Sonuç	Sıcaklık (°C)	Akış Hızı mL/dk)	Biyokütle Konsantrasyonu (ppm, C)	Hidrojen (mL/g katalizör)
Öngörülen	298.5	0.3	3956.5	125.7
Deneysel	300	0.3	4000.0	133.3

SONUÇ

Kenaf hidrolizatının atmosferik basınçta katalitik olarak buhar faz reformlama (AVPR) tekniği ile hidrojen zengin gaz üretiminde sıcaklığın, hidrolizat akış hızının ve biyokütle konsantrasyonunun etkisi

incelenmiştir. Bağımsız değişken olarak incelenen üç parametreden hidrojen verimine en yüksek katkı sağlayan parametrenin sıcaklık olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar yüksek oranda hidrojen eldesi için sıcaklığın 295°C'nin üzerinde, hidrolizat akış hızının 0.30 ml/dk akış hızında olması gerektiğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesindeki desteklerinden dolayı Ç.Ü. BAP (FEF-2013-BAP28 nolu proje) birimine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Değirmen G, Pütün AE, Kılıç M, Pütün E, 2012. Nohut samanı hızlı pirolizinin deney tasarımı ile modellenmesi. Onuncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül 2012, İstanbul.
- Gursahani KI, Alcalá R, Cortright RD, Dumesic JA, 2001. Reaction kinetics measurements and analysis of reaction pathways for conversions of acetic acid, ethanol and ethyl acetate over silica-supported Pt. *Applied Catalysis A: General*, 222: 369-392.
- Hasanoğlu A, Meryemoglu B, Kurtulus M, Irmak S, Erbatur O, 2016. A new approach for high-yield hydrogen production: Atmospheric pressure vapour-phase catalytic reforming of biomass hydrolysate. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41: 12880-12887.
- Huber GW, Shabaker JW, Evans ST, Dumesic JA, 2006. Aqueous-phase reforming of ethylene glycol over supported Pt and Pd bimetallic catalysts. *Applied Catalysis B*, 62: 226-235.
- Kumar S, Singh RK, 2013. Optimization of process parameters by response surface methodology (RSM) for catalytic pyrolysis of waste high-density polyethylene to liquid fuel. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2: 115-122.
- Meryemoglu B, Hasanoğlu A, Kaya B, Irmak S, Erbatur O, 2014. Hydrogen production from aqueous-phase reforming of sorghum biomass: An application of the response surface methodology. *Renewable Energy*, 62: 535-541.
- Meryemoglu B, Hesenov A, Irmak S, Atanur OM, Erbatur O, 2010. Aqueous phase reforming of biomass using various types of supported precious metal and raney nickel catalysts for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35: 12580-12587.
- Rioche C, Kulkarni S, Meunier FC, Breen JP, Burch R, 2005. Steam reforming of model compounds and fast pyrolysis bio-oil on supported noble metal catalysts. *Applied Catalysis B*, 61: 130-139.
- Williams PT, Onwudili J, 2005. Composition of products from the supercritical water gasification of glucose: a model biomass compound. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 44(23): 8739-49.