KARBONLAŞTIRILMIŞ MISIR KOÇANININ AKIŞKAN YATAK GAZLAŞTIRICIDA ASPEN PLUS YAZILIMI KULLANILARAK İNCELENMESİ

Mehmet Aydemir[1] ve Uğur Özveren[2]

[1]*Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği*
Marmara Üniversitesi
cascade34@hotmail.com

[2] *Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği*
Marmara Üniversitesi
ugur.ozveren@marmara.edu.tr

Özet

Endüstriyel gelişmelere ve nüfus artışına bağlı olarak tüm dünyada enerji talebi hızla artmaktadır. Fosil kaynakların kullanımına olan bağımlılığı azaltmak için; karbon içeriğine sahip tek yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütlenin gazlaştırılmasına yönelik araştırmacıların ilgisi son yıllarda artmaktadır. Gazlaştırma; yüksek enerji verimliliği ve salınan gazların çevreye zararlı etkisinin daha az olmasından dolayı diğer termokimyasal yöntemlere göre avantajlıdır. Termokimyasal süreçlerin modellenmesinde Aspen Plus oldukça tercih edilen bir benzeşim programıdır.

Bu çalışmada, Aspen Plus yazılımı kullanılarak dolaşımlı akışkan yatak gazlaştırıcı modeli oluşturuldu. Gazlaştırıcı sıcaklığı, basınç ve buhar/yakıt oranının karbonaştırılmış mısır koçanının gazlaştırılması sonucu elde edilen sentez gazı kompozisyonuna etkisi hassasiyet analizi yapılarak elde edildi. Sıcaklık, basınç ve buhar-yakıt oranının sentez gazındaki H_2, CO, CH_4 ve CO_2 gazların bileşimini önemli ölçüde etkilediği görüldü.

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun enerji gereksiniminin artışına bağlı olarak fosil enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan "Biyokütle" sahip olduğu karbonlu yapıdan dolayı büyük bir potansiyele sahiptir.

Biyokütlenin karbonlaştırılması ile hidrofobikliği, öğütülebilirliği, akışkanlığı ve biyokütlenin yanma özellikleri geliştirilebilmektedir. Bu nedenle son yıllarda biyokütlenin karbonlaştırılmasına yönelik çalışmalar önemli ölçüde artmaktadır [1].

Karbonlaştırılmış biyokütlenin fizikokimyasal avantajlarından dolayı, araştırmacılar son yıllarda karbonlaştırılmış biyokütleden elde edilen biyokömürün gazlaştırılmasına yönelik çalışmalarını arttırmıştır. Gazlaştırma, karbon temelli katı yakıtın termokimyasal işlemler ile bileşiminde yoğunlukla H2, CO, CH4, CO2 bulunan sentez gazına dönüştürmeyi amaçlayan çevreci bir yoldur [2]. Üretilen sentez gazı doğrudan veya dolaylı olarak ısı ve elektrik üretiminde ya da katma değerli kimyasalların üretiminde kullanılabilmektedir [3]. Termokimyasal dönüşüm yöntemleri arasında gazlaştırma; düşük kirletici emisyonları, daha yüksek güç ve ısı üretim verimliliğinden dolayı tercih edilmektedir [4].

Gazlaştırma reaksiyonlarının gerçekleştiği gazlaştırıcı reaktörler tasarımlarına ve çalışma şekillerine göre sabit yatak, akışkan yatak ve sürüklemeli akışkan yatak olarak üç ana kategoriye ayrılmaktadır. Akışkan yatak çeşitlerinden biri olan dolaşımlı akışkan yatak gazlaştırıcılar, biyokütle gazlaştırması için çeşitli avantajlara sahiptir [5]. Bu gazlaştırıcılar; iyi ısı ve kütle transferi, yüksek karbon dönüşüm oranları ve yüksek kapasitelerde çalışabilme özellikle ile düşük kaliteli yakıtların bile yüksek verimle dönüşümünü sağlarlar [6].

Aspen Plus; fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler için kullanılan süreç tasarım programıdır [7][8]. Aspen Plus programının katı yakıtları tanımlamada gösterdiği başarıdan dolayı son yıllarda gazlaştırma işleminin modellenmesine yönelik Aspen Plus benzeşim programında yapılan çalışmalar artmıştır [9, 10].

Bu çalışmada karbonlaştırılmış mısır samanınından elde edilen biyokömürün Aspen Plus yazılımı kullanılarak buhar atmosferi altında gazlaştırılması modellendi. Gazlaştırıcı sıcaklığı, basınç ve buhar/yakıt oranının sentez gazı

bileşimine etkisi parametrik çalışma yapılarak incelendi.

2. YÖNTEM

2.1. Biyokütle

Biyokütlenin içeriğindeki sabit karbon, nem miktarı, kül ve uçucu madde bileşimi gazlaştırma verimini ve elde edilen sentez gazının kalitesini etkileyen önemli faktörlerdir. Sıcak iklim tahılları arasında mısır, Türkiye'de en çok ekim alanına sahip tahıllardan biridir. 2008 ile 2018 arasında toplam mısır üretimi % 52.3 oranında artmıştır[11]. Mısır koçanı özellikle mısır ekiminin gerçekleştiği bölgelerde yüksek miktarda oluşan tarımsal bir atıktır. Çizelge 1' de, çalışmada kullanılan karbonlaştırılmış mısır koçanının kısa ve elementel analiz değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 1. Karbonlaştırılmış mısır koçanına ait kısa ve elementel analiz sonuçları (280°C, 60 dakika karbonlaştırılımş)[12]

Kısa Analiz (%ağ)	Uçucu Madde	49.40
	Sabit Karbon	40.00
	Kül	10.60
Elementel Analiz (%ağ)	Karbon	62.30
	Oksijen	20.90
	Hidrojen	4.60
	Kükürt	0.10
	Azot	1.50

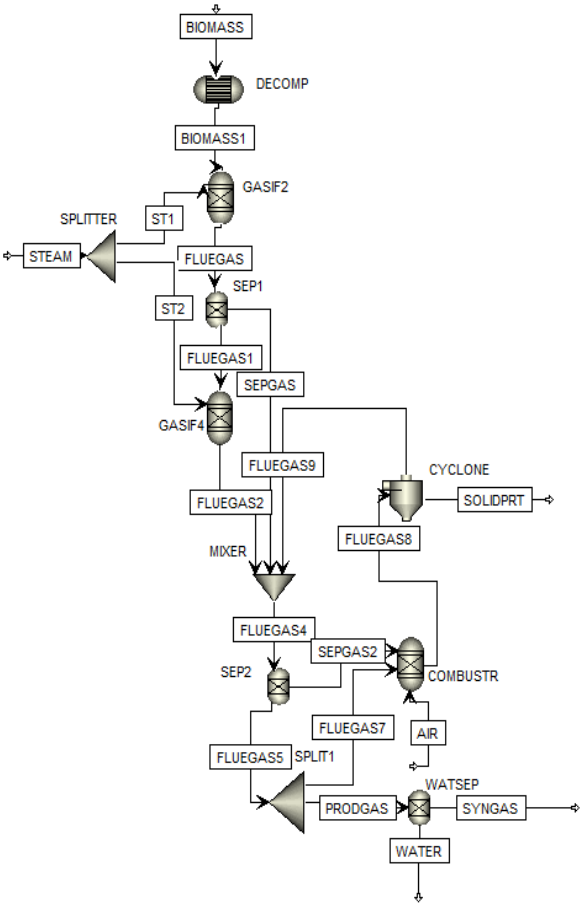
2.2. Aspen Plus Gazlaştırıcı Modeli

Dolaşımlı akışkan yatak gazlaştırıcı modeli Aspen Plus yazılımı kullanılarak tasarlandı. Tasarlanan gazlaştırıcı modeli Gibbs serbest enerjisini minimize edecek şekilde reaksiyonların dengeye geldiğini kabul ederek geliştirilmiştir. Şekil 1'de geliştirilen gazlaştırıcı modelinin akış diyagramı görülmektedir. Kabarcıklı akışkan yatak modelinin piroliz, gazlaştırma ve yakma adımlarını içerecek şekilde benzeşimi yapıldı.

Dolaşımlı akışkan yatak gazlaştırıcının benzeşimi gerçekleştirilirken; modelin yatışkın halde olduğunu, bütün gazların ideal davrandığını, izotermal bir süreç gerçekleştiği, külün inert olduğu reaksiyonlara katılmadığı ve similasyon sürecinde herhangi bir basınç düşümünün olmadığı kabul edilmiştir.

Dolaşımlı akışkan yatakta meydana gelen reaksiyonlar aşağıda belirtilmiştir.

- $C+2H_2 = CH_4$ (hidrogazlaştırma) (1)
- $C+1/2O_2 = CO$ (kısmi oksidasyon) (2)
- $CO+H_2O = CO_2+H_2$ (su-gaz değişim) (3)
- $C+CO_2 = 2CO$ (Boudouard) (4)
- $H_2+S \rightarrow H_2S$ (5)
- $C+H_2O = CO+H_2$ (su-gaz) (6)
- $CH_4+H_2O=CO+3H_2$(buhar metan reformasyonu) (7)
- $C+ O_2 = CO_2$ (tam yanma) (8)



Şekil 1. Dolaşımlı akışkan yatak gazlaştırıcının Aspen Plus benzeşim programında tasarlanmış akış diyagramı.

Gazlaştırıcı modelinde, gazlaştırma ajanı olarak buhar kullanıldı. DECOMP reaktörü karbonlaştırılmış mısır koçanının kısa ve elementel analizlerine göre konvansiyonel akımlara dönüştürülmesini sağlamaktadır. Karbonlaştırılmış mısır koçanının sentez gazına dönüştürülmesi yüksek sıcaklıktaki piroliz aşamasıyla başlamaktadır. GASIF1 ve GASIF2 reaktörleri gazlaştırma reaksiyonlarını gerçekleştirmek üzere kullanılmaktadır. COMBUSTR reaktöründe yanma reaksiyonları benzeştirilmiştir. SPLITTER

bloğu sisteme verilen buharın GASIF1 ve GASIF2 bloklarına belirlenen oranlarda paylaştırılımasını sağlar. PRODGAS akımı WATSEP bloğunda geçirilerek gaz içerisindeki H_2O ayrıldı ve sentez gazı susuz olarak elde edildi.

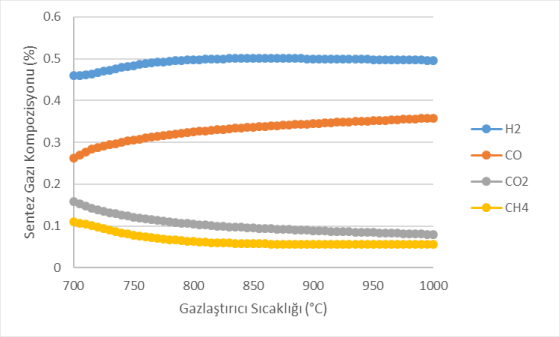
Gazlaştırıcı modelinin sıcaklığı 700-1000 °C, buhar debisi 15-45 kg/saat ve basınç 1-30 bar aralığında değiştirilerek sentez gazı kompozisyonu incelendi.

3. SONUÇLAR

Gazlaştırıcı sıcaklığı, buhar besleme debisi ve gazlaştırıcı basıncının sentez gazı kompozisyonuna etkileri incelendi ve elde edilen sonuçlar değerlendirildi.

3.1. Sıcaklığın Sentez Gazı Kompozisyonuna Etkisi

Gazlaştırıcı sıcaklığının sentez gazı kompozisyonuna etkisi Şekil 2'de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar sıcaklığın sentez gazı bileşimini değiştirdiği gözlemlendi.

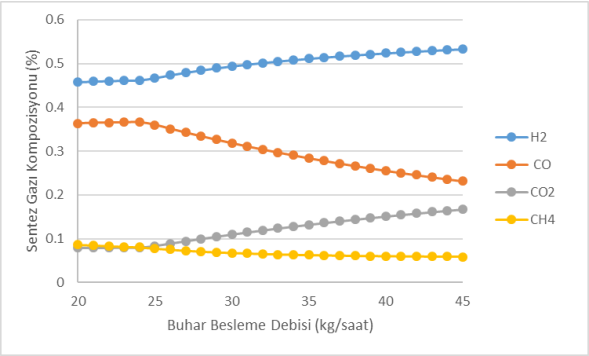


Şekil 2. Sıcaklığın sentez gazı kompozisyonuna etkisi

Gerçekleşen endotermik ve ekzotermik reaksiyonlara bağlı olarak sıcaklık artışıyla sentez gazındaki H_2 ve CO konsantrasyonunun 700-850 °C arasında yükseldiği ve 850°C'de H_2 konsantrasyonunun maksimuma ulaştığı görüldü. Yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen Boudard ve buhar metan reformasyonu reaksiyonlarının sıcaklık artışıyla birlikte ürünler yönüne kaydığı görüldü. Böylece sıcaklık artışıyla sentez gazındaki H_2 ve CO konsantrasyonları artarken CH_4 ve CO_2 miktarı azalmıştır.

3.2. Buhar/Yakıt Oranının Sentez Gazı Kompozisyonuna Etkisi

Buhar besleme debisinin 20-45 kg/saat aralığında arttırılmasıyla sentez gazı kompozisyonunda meydana gelen değişim Şekil 3'te verilmektedir.

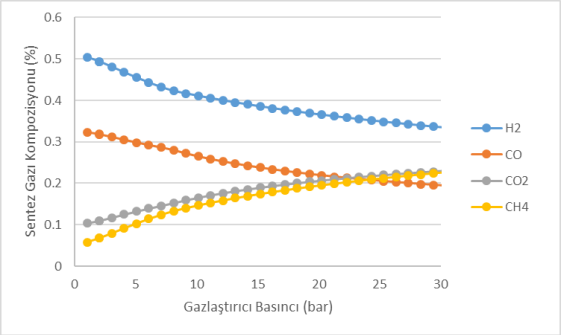


Şekil 3. Buhar besleme debisinin sentez gazı kompozisyonuna etkisi

Buhar besleme debisinin artırılmasıyla buhar/yakıt oranı artarken sentez gazındaki H_2 ve CO_2 kompozisyonlarının arttığı ve CH_4 ve CO kompozisyonlarının azaldığı görülmektedir. Buhar miktarının arttırılması özellikle tam yanma reaksiyonlarının Le Cheatelier prensibine bağlı olarak ürünler yönüne kaymasına ve CO konsantrasyonu azalırken CO_2 konsantrasyonunun artmasına sebep olmuştur. Su-gaz değişim ve buhar metan reformasyonu reaksiyonları da buhar miktarının artmasıyua ürünler yönüne kaymıştır. Böylece sentez gazındaki CH_4 konsantrasyonu azalırken H_2 konsantrasyonu artmıştır.

3.3. Gazlaştırıcı Basıncının Sentez Gazı Kompozisyonuna Etkisi

Gazlaştırma ortamının basıncı gaz kompozisyonunu etkileyen önemli parametrelerden biridir. Gazlaştırıcı basıncının 1-30 bar aralığında değişimiyle sentez gazındaki değim Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Basıncın sentez gazı kompozisyonuna etkisi

Gazlaştırma sırasında meydana gelen reaksiyonlar kimyasal denge prensibine göre hareket etmektedir. Gazlaştırıcı basıncının arttırılması reaksiyonların yönünü değiştirmekte ve sentez gazı kompozisyonunun değişmesine sebep olmaktadır.

Gazlaştırıcı basıncı arttıkça CH_4 ve CO_2 kompozisyonu artarken H_2 ve CO kompozisyonu azaldı.

4. YORUMLAR

- Aspen Plus simulasyonu kullanılarak yeni bir dolaşımlı akışkan yatak gazlaştırıcı modeli geliştirildi.
- Geliştirilen gazlaştırıcı modeliyle tarımsal bir atık olan mısır koçanından sentez gazı elde edilmesini sağlamıştır.
- Elde edilen sentez gazı bileşiminin gazlaştırıcı sıcaklığı, buhar/yakıt oranı ve gazlaştırıcı basıncından önemli ölçüde etkilendiği görüldü.
- Sıcaklığın artmasıyla sentez gazındaki H_2 ve CO miktarı artarken CH_4 ve CO_2 miktarı azaldı. H_2 konsantrasyonu 850°C'de maksimuma ulaştı.
- Buhar yakıt oranının 20 kg/s'ten 45 kg/s'e arttırılmasıyla sentez gazındaki H_2 miktarını %45'ten %53'e yükseldi.
- Gazlaştırıcı basıncının artışı H_2 ve CO miktarını azaltırken CH_4 ve CO_2 miktarını arttırdı.

5. KAYNAKLAR

1. Nhuchhen, D.R., *Prediction of carbon, hydrogen, and oxygen compositions of raw and torrefied biomass using proximate analysis.* Fuel, 2016. **180**: p. 348-356.
2. De Kam, M.J., R.V. Morey, and D.G. Tiffany. *Biomass integrated gasification combined cycle for heat and power at ethanol plants*. in *2008 Providence, Rhode Island, June 29–July 2, 2008*. 2008. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
3. Kaushal, P. and R. Tyagi, *Advanced simulation of biomass gasification in a fluidized bed reactor using ASPEN PLUS.* Renewable energy, 2017. **101**: p. 629-636.
4. Hosseini, S.E., M.A. Wahid, and A. Ganjehkaviri, *An overview of renewable hydrogen production from thermochemical process of oil palm solid waste in Malaysia.* Energy Conversion and Management, 2015. **94**: p. 415-429.
5. Karmakar, M. and A. Datta, *Generation of hydrogen rich gas through fluidized bed gasification of biomass.* Bioresource technology, 2011. **102**(2): p. 1907-1913.
6. Meng, F., et al., *Effect of gasifying agents on sawdust gasification in a novel pilot scale bubbling fluidized bed system.* Fuel, 2019. **249**: p. 112-118.
7. Begum, S., M. Rasul, and D. Akbar, *A numerical investigation of municipal solid waste gasification using aspen plus.* Procedia engineering, 2014. **90**: p. 710-717.
8. Adeyemi, I. and I. Janajreh, *Modeling of the entrained flow gasification: Kinetics-based ASPEN Plus model.* Renewable Energy, 2015. **82**: p. 77-84.
9. Puig-Arnavat, M., J.C. Bruno, and A. Coronas, *Review and analysis of biomass gasification models.* Renewable and sustainable energy reviews, 2010. **14**(9): p. 2841-2851.
10. Doherty, W., A. Reynolds, and D. Kennedy, *The effect of air preheating in a biomass CFB gasifier using ASPEN Plus simulation.* Biomass and bioenergy, 2009. **33**(9): p. 1158-1167.
11. Ozdingis, A.G.B. and G. Kocar, *Current and future aspects of bioethanol production and utilization in Turkey.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. **81**: p. 2196-2203.
12. Soponpongpipat, N., D. Sittikul, and U. Sae-Ueng, *Higher heating value prediction of torrefaction char produced from non-woody biomass.* Frontiers in Energy, 2015. **9**(4): p. 461-471.