Matlab Yazılımı Kullanılarak Katı Oksit Yakıt Hücresi Performansının İncelenmesi

Furkan Kartal, Uğur Özveren

Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 34722, Kadıköy/İstanbul

furkankartal@marun.edu.tr, ugur.ozveren@marmara.edu.tr

ÖZET

Yakıt hücreleri, sahip oldukları yüksek elektrik verimi, düşük emisyon ve yakıt oksidasyon sıcaklığı sayesinde son yıllarda araştırmacılar tarafından sürekli artan bir ilgi görmektedir. Katı oksit yakıt hücreleri, yüksek sıcaklıklarda ve farklı yakıt bileşimleri ile çalışabilmeleri nedeniyle büyük kapasitelerde kullanılabilmektedir.

Katı oksit yakıt hücresinin performansını tahmin etmek ve iyileştirmek için gelişmiş bir modelleme yazılımına ihtiyaç duyulmaktadır. MATLAB/Simulink sahip olduğu gelişmiş blok diyagramlardan dolayı modelleme uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, Aspen Plus ile tasarlanan aşağı akışlı gazlaştırıcı modelinden alınan yakıt MATLAB/Simulink'te katı oksit yakıt hücresi modeline beslenmiştir. Yakıt hücresinin sıcaklığına bağlı olarak çıkış gerilimi ve verimi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: MATLAB, Simulink, Aspen Plus, Katı Oksit Yakıt Hücresi, Yenilenebilir Enerji, Modelleme

1. GİRİŞ

Çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar, sebep olduğu sosyo-politik tartışmalar ve yarattığı dış ülkelere olan enerji bağlılığı uzun vadede fosil yakıtların sürdürülebilir bir enerji kaynağı olmadığını göstermektedir [1]. Fosil yakıtların enerji yoğunluğunun yüksek olmasına rağmen hızla artan dünya nüfusu ve enerji ihtiyacı, dünyayı daha temiz, sürdürülebilir ve yenilenebilir bir enerji kaynağı arayışına sürüklemektedir [2, 3].

Biyokütle, kömür ve petrolden sonra en çok kullanılan enerji kaynağıdır [4]. Düşük enerji yoğunluğuna sahip olmasına [5] rağmen doğada bol miktarda ve farklı formlarda bulunabilme, karbondioksit-nötr yapısı ve çeşitli proseslerle farklı kimyasallara dönüştürülebilmesi [6] biyokütleyi yenilenebilir enerji kaynakları arasında ön plana çıkarmaktadır. Biyokütle sadece ısı ve elektrik enerjisi üretiminde değil aynı zamanda biyoyakıt, biyogaz ve sentez gazı gibi çeşitli kimyasallara da farklı çevrimler aracılığıyla dönüştürülebilmektedir [7].

Gazlaştırma, karbon bazlı katı yakıtların bir gazlaştırma ajanıyla H_2, CO, CO_2, CH_4, H_2O, ağır hidrokarbonlar ve katrana dönüştüğü termokimyasal dönüşüm sürecidir [8]. Biyokütlenin gazlaştırılarak sentez gazına dönüştürülmesi sürdürülebilir enerji üretimi açısından oldukça umut verici bir yöntem olarak görülmektedir [9]. Sabit yataklı gazlaştırıcılar biyokütleden sentez gazı üretiminde en çok kullanılan gazlaştırıcılardır. Aşağı akışlı gazlaştırıcılar küçük ölçeklerdeki (10 kW–1 MW) enerji üretimi için uygun bir sabit yataklı gazlaştırıcı türüdür [10].

Yakıt hücreleri, hidrojen ve oksijenin kimyasal reaksiyonlarını elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır [11]. Sahip oldukları teknolojik ve ticari özellikleri sayesinde yenilenebilir enerji kaynakları arasında hem hareketli hem de sabit uygulamalar için avantajlı bir konumda bulunmaktadır [12, 13]. Ayrıca; yakıt hücreleri, sahip oldukları yüksek elektrik verimi, düşük yakıt oksidasyon sıcaklığı ve düşük emisyonu sayesinde son yıllarda araştırmacılar tarafından sürekli artan bir ilgiye sahiptir [13-15].

Katı oksit yakıt hücreleri (SOFC) yüksek sıcaklıkta çalışabilme (yaklaşık 700 °C – 1000 °C), farklı yoğunlukta ve türde yakıtların beslenebilmesi sayesinde diğer yakıt hücrelerine göre daha avantajlıdır [16-18]. Katı oksit yakıt hücrelerinin karakterizasyonlarının yapılmasında matematiksel modeller ve benzeşim programları tasarım mühendisleri ve araştırmacılar tarafından sıkça kullanılmaktadır [19]. Ne yazık ki katı oksit yakıt hücrelerinin bir çevrim ile birlikte gazlaştırıcıdan elde edilen sentez gazı ile birlikte çalıştığı sistemlerin modelllenmesinin ve karakterizasyonun yapıldığı çok az çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Aspen Plus termodinamik benzeşim programında yeni bir aşağı akışlı gazlaştırıcı modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modele literatürden seçilen kayısı çekirdeğinin fiziko-kimyasal bilgileri kullanılarak gazlaştırma performansı incelenmiştir. Gazlaşma sonucunda elde edilen sentez gazı MATLAB/Simulink'te katı oksit yakıt hücresi modeline beslenmiştir. Yakıt hücresinin sıcaklığına bağlı olarak çıkış gerilimi ve verimi incelenmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Yakıt Karakterizasyonu

Bu çalışmada katı oksit yakıt hücresinde kullanılacak sentez gazının üretilmesi için aşağı akışlı gazlaştırıcıya kayısı çekirdeği beslenildi. Razvigorova, M., ve arkadaşlarının [20] yaptıkları çalışmadan alınan kayısı çekirdeğinin kısa ve elemental analizi Çizelge 1'de verilmiştir.

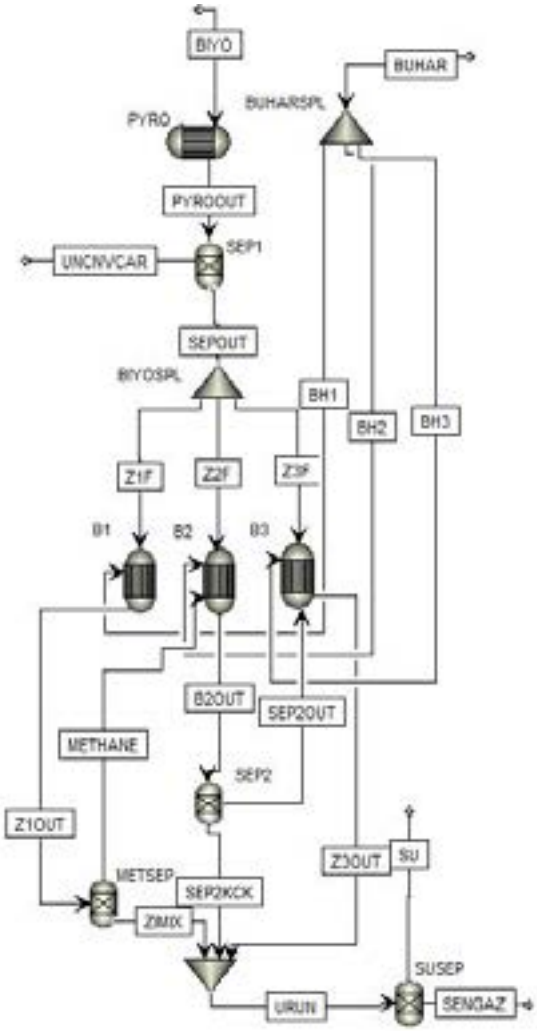
Çizelge 1. Kayısı çekirdeğinin kısa ve elemental analiz değerleri

Kısa Analiz (% ağ. kuru baz)	
Nem	6.4
Uçucu Madde	80.4
Kül	0.2
Sabit Karbon	19.4
Elemental Analiz (% ağ. kuru-külsüz baz)	
C	51.4
H	6.29
N	0.2
S	0.1
O	41.81

2.2. Aşağı Akışlı Gazlaştırıcı Modelinin Geliştirilmesi

Bu çalışmada geliştirilen aşağı akışlı gazlaştırıcı modeli komplike kimyasal prosesler için evrensel bir benzeşim, tasarım ve optimizasyon yazılımı olan Aspen Plus programında yapıldı. Aşağı akışlı gazlaştırıcı modelinin proses akış diyagramı Şekil 1'de görülmektedir. Gazlaştırma prosesinin temeli Gibbs serbest enerjisinin minimize edilmesine dayanmaktadır. Gibbs serbest enerjisinin en düşük değeri elde edildiğinde; sistem termodinamik açıdan dengeye gelmiş kabul edilmektedir. Gazlaştırma prosesi için alınan bazı kabuller vardır ve aşağıdaki gibidir:

- Proses izotermal ve yatışkın halde çalışmaktadır.
- Bütün reaksiyonlar hızlı gerçekleşmektedir ve kimyasal dengeye gelmektedir.
- Gazlaştırma prosesi sonunda elde edilen ürün gazı çoğunlukla H_2, CO, CO_2, CH_4, H_2O ve N_2 gazlarını içermektedir.
- Katı yakıt içerisindeki kül bileşeni reaksiyonlarda yer almamaktadır.



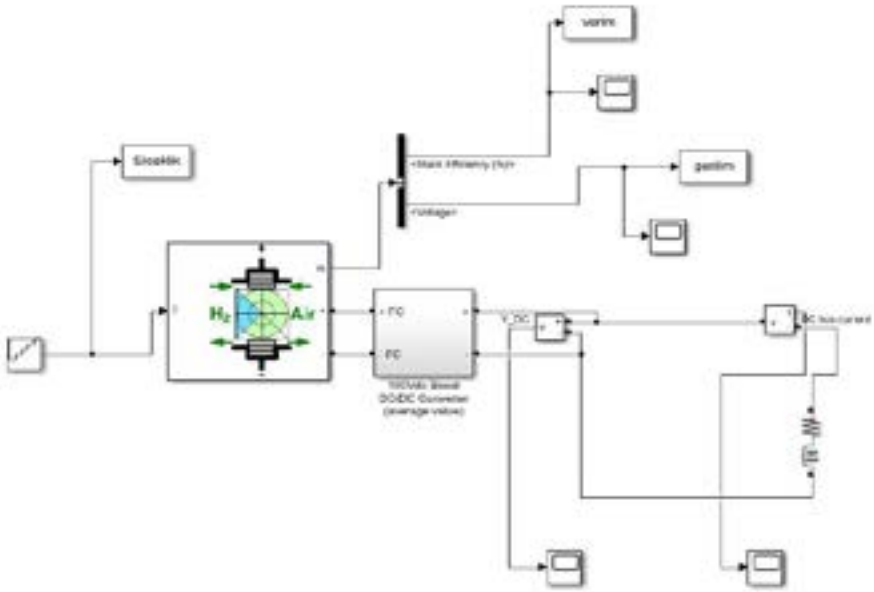
Şekil 1. Aşağı akışlı gazlaştırıcı proses akış diyagramı

"BIYO" akımı "konvansiyonel olmayan" biyokütle beslemesini tanımlamaktadır ve girdi olarak yakıtların kısa ve elemental analiz bilgileri bulunmaktadır. Besleme "PYRO" adındaki "RYield" reaktöre girmekte; burada "konvansiyonel olmayan" akım belirli bir verim hesabı kullanılarak "konvansiyonel" bir besleme akımına dönüştürülmektedir. Yakıt, "BUHARSPL" isimli akım ayrıştırıcıdan gelen gazlaştırma ajanıyla "B1", "B2" ve "B3" isimli "RGibbs" reaktörlerinde reaksiyona girmektedir. "SEP2" ve "METSEP" isimli seperatörlerde, "B1" ve "B2" reaktörlerinden çıkan komponentler belli bir oranda ayrıştırılarak ürün gazına dönüşmeleri önlenmektedir. "SUSEP" seperatöründe ise ürün gazından ayrılması istenen komponentler ayrıştırılarak sentez gazı elde edilmektedir.

2.3. Katı Oksit Yakıt Hücresinin İncelenmesi

Katı oksit yakıt hücresinin incelenmesi Matlab/Simulink yazılımı üzerinde yapılmışıtır. Şekil 2'de katı oksit yakıt hücresinin blok diyagramı verilmiştir.

Yakıt hücresinin nominal gerilim değeri 630 Vdc ve nominal güç değeri 25.2 kW'tır. Hücre sayısı 715 ve nominal hücre verimi % 60 olarak belirlenmiştir. "Repeating Sequence Stair" blok diyagramı kullanılarak yakıt hücresinin çalışma sıcaklığı ayarlanmaktadır. "DC/DC Converter" ile alınan DC akım ve gerilimler "Scope" yardımıyla okunabilmektedir. Yakıt hücresinden alınan gerilim ve verim değerleri ise diyagramların üst tarafında duran "Scope" yardımıyla okunabilmektedir.



Şekil 2. Katı oksit yakıt hücresi Matlab/Simulink diyagramı

3. SONUÇLAR

3.1. Aşağı Akışlı Gazlaştırıcı Modelinin Doğrulanması

Modelin doğruluğunu sınamak için çeşitli deneysel çalışmalardan sentez gazı kompozisyonları, girdi değişkenleri ve operasyon koşulları gibi bilgiler alınmıştır. Çizelge 2 ve Çizelge 4'te aşağı akışlı gazlaştırıcı için yapılmış olan deneysel çalışmalardaki operasyon koşulları, Çizelge 3 ve Çizelge 5'te sentez gazı çıkış kompozisyonları verilmiştir.

Çizelge 2. Literatürden alınan deneysel olarak aşağı akışlı gazlaştırıcıda gerçekleştirilmiş çalışmanın operasyon koşulları [21]

Gazlaştırıcı Parametreleri	Literatür	Model
Yakıt	Kauçuk Ahşap	Kauçuk Ahşap
Gazlaştırıcı Sıcaklığı (°C)	850	850
Gazlaştırıcı Basıncı (bar)	1.013	1.013
Yakıt Debisi (kg/saat)	7	7
Gazlaştırıcı Ajanı	Hava	Hava
Hava Debisi (N m^3/h)	51.9	51.9

Çizelge 3. Aşağı akışlı gazlaştırıcı için sentez gazı molar kompozisyonunun literatürle karşılaştırılması

Gaz kompozisyonu mol % kuru	Literatür[21]	Model
H_2	15.5	18.3
CO	19.1	19.2
CO_2	11.4	11.4
CH_4	1.1	3.5

Çizelge 4. Literatürden alınan deneysel olarak aşağı akışlı gazlaştırıcıda gerçekleştirilmiş çalışmanın operasyon koşulları [22]

Gazlaştırıcı Parametreleri	Literatür	Model
Yakıt	Sekoya Peletleri	Sekoya Peletleri
Gazlaştırıcı Sıcaklığı (°C)	850	850
Gazlaştırıcı Basıncı (bar)	0.85-1	1
Yakıt Debisi (kg/saat)	8.8	8.8
Gazlaştırıcı Ajanı	Hava	Hava
Hava Debisi (N m^3/h)	33.6	33.6

Çizelge 5. Aşağı akışlı gazlaştırıcı için sentez gazı molar kompozisyonunun literatürle karşılaştırılması

Gaz kompozisyonu mol % kuru	Literatatür[22]	Model
H_2	13	14.4
CO	19	19.8
CO_2	10	11.7
CH_4	2	0

Çizelge 3 ve Çizelge 5'te görüldüğü gibi geliştirilen yeni model sonuçları deneysel çalışmalarla aynı operasyon koşulları altında ve aynı girdi değişkenleriyle birlikte çalıştırıldığında başarılı bir şekilde benzerlik göstermektedir. Benzeşim programında kullanılan Gibbs reaktörleri reaksiyonların hızla gerçekleştiğini ve kimyasal dengeye ulaştığını kabul etmektedir; oysa ki deneysel çalışmalarda kalma süresine bağlı olarak reaksiyonların dönüşüm oranları değişiklik göstermektedir. Benzeşim programında gerçekleşen gazlaştırma işleminde girdi değişkeni olarak sisteme tanımlanan çalışma koşulları altında birçok ağır hidrokarbon ve katran parçalanarak kimyasal dengeye ulaşmakta ve CH_4, H_2, CO ve CO_2 gibi kimyasallara dönüşmektedir. Ayrıca kullanılacak yakıt türüne göre reaktörün tasarım parametreleri değişmektedir fakat geliştirilen yeni model farklı türdeki biyokütleler için de kullanılabilmektedir; bu da modelin farklı yakıtların gazlaştırma işlemi esnasında kabul edilebilir düzeyde farklı sonuçlar elde etmesine sebep olmaktadır.

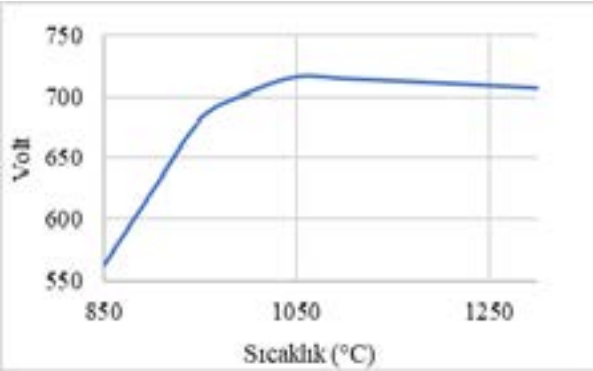
3.2. Katı Oksit Yakıt Hücresi Üzerinde Parametrik Çalışma

Aşağı akışlı gazlaştırıdan elde edilen sentez gazı katı oksit yakıt hücresinde besleme akımı olarak kullanıldı. Çizelge 6'da aşağı akışlı gazlaştırıdan elde edilen sentez gazının bileşimi verilmiştir.

Çizelge 6. Kayısı çekirdeğinin aşağı akışlı gazlaştırıcıda üretilen sentez gazı molar kompozisyonu

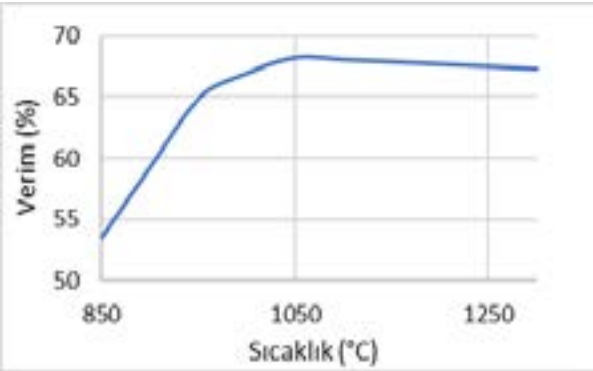
Gaz kompozisyonu mol % kuru	
H_2	53.6
CO	26.4
CO_2	15.3
CH_4	4.5

Katı oksit yakıt hücresi çalışma sıcaklığının yakıt hücresi çıkış gerilimi ve verimi üzerindeki etkisi Matlab/Simulink üzerinde yakıt hücresinin sıcaklığı 850 °C – 1300 °C arasında değiştirilerek incelendi. Her bir sıcaklık değerine karşılık okunan gerilim ve verim değerleri Şekil 3 ve Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 3. Katı oksit yakıt hücresi sıcaklığının çıkış gerilimine etkisi

Katı oksit yakıt hücresinin çalışma sıcaklığı arttıkça çıkış geriliminin ilk önce arttığı ancak belirli bir sıcaklıktan sonra gerilimin azalmaya başladığı görülmektedir. Gerilim yaklaşık 1050 °C civarında maksimum değerine ulaşmaktadır ve düşük sıcaklıklarda yakıt hücresi ısınırken gerilimin daha hızlı bir artış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4. Katı oksit yakıt hücresi sıcaklığının verime etkisi

Katı oksit yakıt hücresi veriminin sıcaklıkla değişimi çıkış geriliminin değişimiyle paralellik göstermektedir. Yakıt hücresi düşük sıcaklıktan ısınmaya başlarken verimde hızlı bir artış görülmüş; daha sonra bu artış yavaşlamış ve en son belirli bir sıcaklıktan (yaklaşık 1050 °C) sonra verimde düşüş görülmeye başlanmıştır.

4. YORUMLAR

Aspen Plus yazılımı kullanılarak geliştirilen aşağı akışlı gazlaştırıcıdan elde edilen sentez gazının bileşimi literatür ile karşılaştırıldığında kabul edilebilir bir hata payıyla benzerlik gösterdiği görüldü ve elde edilen bileşim MATLAB yazılımı kullanılarak modellenen katı oksit yakıt hücresinde kullanıldı. Katı oksit yakıt hücresinin Matlab/Simulink üzerinde çalışma lar yapılarak performansının incelenebileceği ve yakıt hücresi tasarımına göre operasyon koşullarının tespit edilebileceği bulundu. Ayrıca elde edilen sentez gazının katı oksit yakıt

hücresinde kullanımı ile yüksek verimde elektrik enerjisi elde edilebileceği gösterildi.

5. KAYNAKÇA

1. Ediger, V.Ş., et al., Fossil fuel sustainability index: An application of resource management. Energy policy, 2007. 35(5): p. 2969-2977.
2. Guo, M., W. Song, and J. Buhain, Bioenergy and biofuels: history, status, and perspective. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015. 42: p. 712-725.
3. Swain, P.K., L. Das, and S. Naik, Biomass to liquid: a prospective challenge to research and development in 21st century. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011. 15(9): p. 4917-4933.
4. Cherubini, F., et al., CO2 emissions from biomass combustion for bioenergy: atmospheric decay and contribution to global warming. Gcb Bioenergy, 2011. 3(5): p. 413-426.
5. Nunes, L., J. Matias, and J. Catalão, A review on torrefied biomass pellets as a sustainable alternative to coal in power generation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. 40: p. 153-160.
6. Ma, L., et al., A review of thermal–chemical conversion of lignocellulosic biomass in China. Biotechnology advances, 2012. 30(4): p. 859-873.
7. Benedetti, V., et al., Investigating the feasibility of valorizing residual char from biomass gasification as catalyst support in Fischer-Tropsch synthesis. Renewable Energy, 2019.
8. Karatas, H., H. Olgun, and F. Akgun, Experimental results of gasification of cotton stalk and hazelnut shell in a bubbling fluidized bed gasifier under air and steam atmospheres. Fuel, 2013. 112: p. 494-501.
9. Neubauer, Y., Strategies for tar reduction in fuel-gases and synthesis-gases from biomass gasification. Journal of Sustainable Energy & Environment Special Issue, 2011. 67: p. 71.
10. La Villetta, M., et al., Performance analysis of a biomass powered micro-cogeneration system based on gasification and syngas conversion in a reciprocating engine. Energy conversion and management, 2018. 175: p. 33-48.
11. Hossain, F.M., et al., Impact of renewable energy on rural electrification in Malaysia: a review. Clean Technologies and Environmental Policy, 2015. 17(4): p. 859-871.
12. Wilberforce, T., et al., Developments of electric cars and fuel cell hydrogen electric cars. International Journal of Hydrogen Energy, 2017. 42(40): p. 25695-25734.
13. El-Hay, E.A., M.A. El-Hameed, and A.A. El-Fergany, Performance enhancement of autonomous system comprising proton exchange membrane fuel cells and switched reluctance motor. Energy, 2018. 163: p. 699-711.
14. Ramadhani, F., et al., Optimization strategies for Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) application: A literature survey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. 76: p. 460-484.
15. Chowdhury, S., S. Chowdhury, and P. Crossley, Microgrids and Active Distribution Networks. 2009. URL http://www. farzadrazavi. com/files/Courses/microgrid/902/bookiee. pdf.
16. Ang, S.M.C., et al., Fuel cell systems optimisation–Methods and strategies. International Journal of Hydrogen Energy, 2011. 36(22): p. 14678-14703.
17. Bossel, U.G. *Solid oxide fuel cells for transportation*. in *Third European Solid Oxide Fuel Cell Forum. Proc. Oral Presentations*. 1998.
18. Moosavian, S.M., et al., Imperialistic competition algorithm: Novel advanced approach to optimal sizing of hybrid power system. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 2013. 5(5): p. 053141.
19. Lan, W., et al., Biomass gasification-gas turbine combustion for power generation system model based on ASPEN PLUS. Science of the Total Environment, 2018. 628: p. 1278-1286.
20. Razvigorova, M., et al., On the composition of volatiles evolved during the production of carbon adsorbents from vegetable wastes. Fuel, 1994. 73(11): p. 1718-1722.
21. Jayah, T., et al., Computer simulation of a downdraft wood gasifier for tea drying. Biomass and bioenergy, 2003. 25(4): p. 459-469.
22. Maneerung, T., et al., Integrated downdraft gasification with power generation system and gasification bottom ash reutilization for clean waste-to-energy and resource recovery system. Journal of cleaner production, 2018. 188: p. 69-79.