

Kömür Gazlaştırma Sisteminin Ekserji Analizinde Bypass Oranının Önemi

Abdülkadir KOÇER¹ Sancar GÜNGÖR² Murat GÖKÇEK³ İsmet Faruk YAKA⁴ Afşin GÜNGÖR⁴

¹Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Dumlupınar Bulvarı 07058 Kampüs, Antalya, akocer@akdeniz.edu.tr

²Gazi Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı,
Teknikokullar Ankara, sgungor@gazi.edu.tr

³Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü,
Merkez Yerleşke, Bor Yolu Üzeri, 51240, Niğde, mgokcek@nigde.edu.tr

⁴Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
Dumlupınar Bulvarı 07058 Kampüs, Antalya, ismetfarukyaka@hotmail.com, afsingungor@hotmail.com

Özet

Bir gazlaştırma sisteminin ekserji analizi kömürün yüksek bir verimle gazlaştırılması ve ürün gazlarının istenilen kompozisyonlarda ve miktarlarda elde edilebilmesi açısından oldukça önemlidir. Kömür gazlaştırma sistemi; bir adet gazlaştırma reaktörü ve bunu takip eden iki adet su gazı reaktöründen meydana gelmektedir. Gazlaştırma sistemi için geliştirilen sayısal modelde, sistemde kullanılacak kömürün içerisindeki karbonun tamamının gazlaştırıldığı kabul edilmiştir. Bu çalışmada, sayısal modellemesi önceden hazırlanmış olan bir kömür gazlaştırma sisteminin her bir aşaması için ekserji analizi yapılarak sistem çıkışında hidrojen gazı miktarının karbon monoksit gazı miktarının iki katı olması durumuna göre sistem parametreleri belirlenmiştir. Çeşitli bypass oranlarında (%10,%30 ve %50) sistem verimi incelenmiştir. Gazlaştırma ünitesi çıkışında hedeflenen değerin elde edilmesinde en az enerji gereksinimi, bypass oranının en büyük tutulduğu %50 oranında sağlanmıştır. Bypass oranı basit bir vana ile ayarlanabildiğinden gazlaştırma sistemi enerji gereksinimi de beklenenden düşük olmuştur.

Anahtar kelimeler: Enerji, Gazlaştırma, Ekserji, Bypass oranı

Importance Of The Bypass Rate In The Exergy Analysis Of Coal Gasification System

Abstract

The exergy analysis has been carried out for all phases of a previously designed numerical modeling of a coal gasifier. The mentioned coal gasifier is made up of a gasification reactor and two consequent vapor water gas shift reactors. The numerical model developed for the gasification system assumes that all carbon in the coal is gasified and defines the optimum working condition as the amount of hydrogen as the double of the amount of carbon monoxide at the gasification system exit. In order to achieve the optimum parameters, the gases of the gasifier and the gases of water gas shift reactors are combined with the aid of a bypass line. Through the exergy analysis carried out in this study, the most efficient and high-yield method for the operation conditions is emphasized and highlighted, which were suggested in the previous numerical modeling study, a crucial fact for minimizing operating and investment costs.

Key words : Energy, Gasification, Exergy, Bypass rate

Bu makaleye atıf yapmak için

Koçer A., Güngör S., Gökçek M., Yaka İ.F., Güngör A. *, "Kömür Gazlaştırma Sisteminin Ekserji Analizinde Bypass Oranının Önemi" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2015 12(3) 15-25

How to cite this article

Koçer A., Güngör S., Gökçek M., Yaka İ.F., Güngör A., "Importance Of The Bypass Rate In The Exergy Analysis Of Coal Gasification System" Electronic Journal of Machine Technologies, 2015 12(3) 15-25

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte enerjiye olan talep artmaktadır. Enerji üretiminde mevcut kaynakların kullanılması açısından kömür önemli bir yer tutmaktadır. Kömürün enerjiye dönüştürülmesinde kullanılan teknolojilerden birisi de gazlaştırma teknolojisidir. Temiz kömür teknolojilerinden biri olan gazlaştırma; sınırlı miktarda oksijen, hava, hava-su buharı karışımı veya zenginleştirilmiş oksijen içerikli hava verilerek, sentez gazı olarak adlandırılan, yanabilen gaz bileşenlerin (CO , H_2 , CH_4 vb.) oluşumunu sağlayan bir işlemdir.

Literatürde kömür gazlaştırma sistemlerinin enerji ve ekserji analizi ile ilgili pek çok bilimsel çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar dikkate alındığında; bir kömür gazlaştırma sistemine eklenen katı oksit yakıt pili ile enerji üretimi yapan bir tesis için detaylı bir enerji ve ekserji analizi yapılmıştır [1]. Bir diğer çalışmada ise CO_2 tutma ve depolama ünitesinin yer aldığı bir kömür gazlaştırma sisteminde hidrojen üretiminin maksimum seviyede tutulması durumu için sistemin çalışma şartlarını belirleyebilmek amacıyla sistemin enerji ve ekserji analizini yapmıştır [2]. Hidrojen üretimi amaçlı tasarlanan ve aynı zamanda CO_2 tutma ve yakalama ünitesine sahip bir kömür gazlaştırma sistemi için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır[3]. Başka bir çalışmada ise farklı tip kömürlerin gazlaştırılması işleminin sürdürülebilir yaklaşımla irdelenmesini yapmak amacıyla enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır[4]. Literatür incelendiğinde, özellikle termodinamiğin ikinci kanununun kömür gazlaştırma sistemlerinde kullanımının henüz başlangıç aşamasında olduğu görülmektedir. Buradan hareketle bu çalışmada sayısal modellemesi önceden hazırlanmış olan bir kömür gazlaştırma sistemi [5-7] için termodinamiğin ikinci kanunu esas alınarak detaylı bir ekserji analizi yapılmıştır.

2. GAZLAŞTIRICI MODELİ

Değişik kömür özelliklerinin ve süreç parametrelerinin değerlerinin geniş bir aralığa sahip olması enerji üretimi için en uygun sentez gazı bileşiminin elde edilmesini oldukça zor kılmaktadır. Sentez gazı bileşimini etkileyen çok sayıda parametre olması problemi daha da karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle, geliştirilen bir model ile en uygun sentez gazı bileşiminin elde edilmesi mümkün olacaktır [5-7].

Geliştirilen sayısal model; verilen işletme sıcaklığını, basıncı, su buharı-yakıt ve hava-yakıt oranlarını giriş değeri olarak almakta ve gazlaşma işlemi sonucunda elde edilecek hidrojen, karbon monoksit, azot, metan, su buharı, karbondioksit ve 1 Nm^3 gaz elde edebilmek için gerekli yakıt miktarını hesaplayabilmektedir. Bunun yanında; karbon dönüşüm verimini, soğuk gaz verimini (elde edilen gazların çevre sıcaklığına soğutulması durumu için) hesap edebilmektedir. Geliştirilen model; işletme sıcaklığı, işletme basıncı, su buharı-yakıt ve hava-yakıt oranları gibi işletme parametrelerinin gazlaştırıcı verimi ve elde edilen gaz kompozisyonları üzerindeki etkilerini incelemeye de olanak sağlamaktadır. Geliştirilen model; gazlaştırıcı reaktör çıkışında elde edilmek istenen H_2/CO değeri için optimum baypas oranı, 1. ve 2. SGY reaktörleri için optimum su buharı oranı ve optimum reaktör sıcaklığı değerini elde edecek şekilde geliştirilmiştir [5-7].

Kömür gazlaşması, proseste gerçekleşen reaksiyonlar seti kullanılarak modellenmiştir. Kömür kokunun yanması sonucu açığa çıkan ısı veya gazlaştırıcı dışındaki bir kaynaktan sağlanan enerji ile bu reaksiyonların ilerlemesi sağlanır. Gazlaşma sonucunda, H_2 , CO , CO_2 ve CH_4 benzeri yanıcı gazlar açığa çıkar. Bu çalışmada, kömür gazlaşma prosesinin matematiksel modeli aşağıdaki reaksiyonlar dikkate alınarak kurulmuştur.

Su-gazı reaksiyonu,



Boudouard reaksiyonu,



Su-gazı yer değiştirme reaksiyonu,



ve metan oluşum reaksiyonu,



Bu reaksiyonların kimyasal dengede olduğu kabul edilmiş ve denge sabitleri belli sıcaklık aralıkları için Tablo 1’de sunulmuştur [8].

3. MODEL ÇÖZÜMÜ

Model sonuçlarının elde edilmesinde Newton-Raphson Metodu kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında, daha önceden hazırlanmış olan gazlaştırma sistemi modeli Visual Studio VB.Net Programlama dili kullanılarak tekrar çözülmüştür.

Tablo 1. Gazlaşma Modelinde Kullanılan Denge Sabitleri

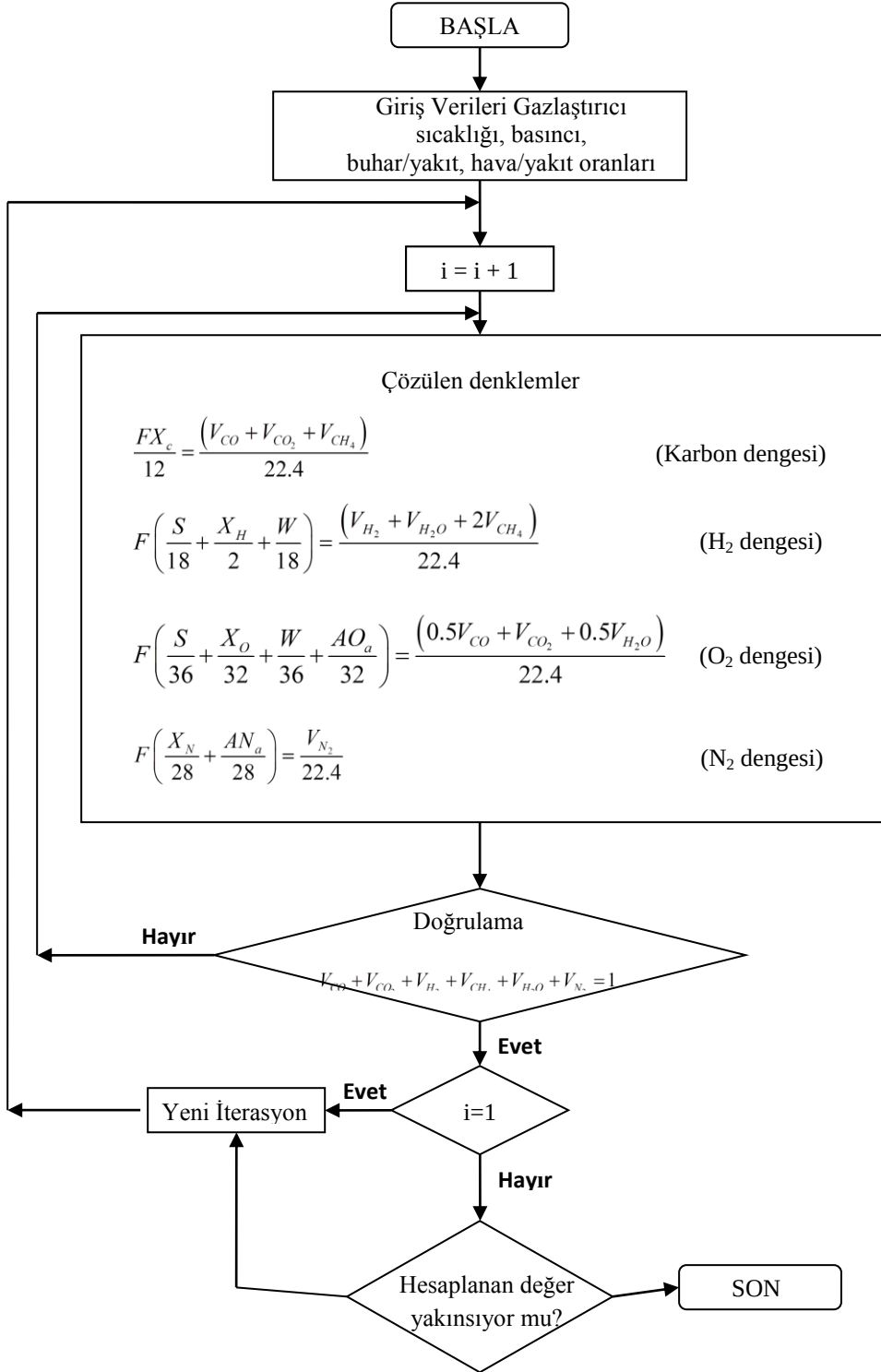
Sıcaklık (K)	$K_{p,w}$ Denk. (1)	$K_{p,b}$ Denk. (2)	$K_{p,s}$ Denk. (3)	$K_{p,m}$ Denk. (4)
400	7.7×10^{-11}	5.2×10^{-14}	4.05×10^3	2.99×10^5
600	5.1×10^{-5}	1.9×10^{-6}	2.70×10^1	9.24×10^1
800	4.4×10^{-2}	1.1×10^{-2}	4.04×10^0	1.34×10^0
1000	2.62×10^0	1.90×10^0	1.38×10^0	9.6×10^{-2}
1500	6.08×10^2	1.62×10^3	3.7×10^{-1}	2.5×10^{-3}

Geliştirilen model, bir kömür gazlaştırıcı reaktör için 1 Nm³ sentez gazı elde edebilmek için gerekli kuru yakıt miktarını ve elde edilen sentez gazı içerisindeki CO, CO₂, H₂, CH₄, H₂O ve N₂ gazlarının hacimsel yüzdelerini hesaplamaktadır. Geliştirilen modelde seri SGY reaktörlerinin çözümünde kullanılan sayısal model akış diyagramı Şekil 2’de verilmiştir. Geliştirilen modelde dikkate alınan gazlaştırma sistemi Şekil 3’de verilmiş olup gazlaştırıcıdan gelen sentez gazının rafine edilmesi işlemi için bu çalışmada önerilen iki aşamalı SGY reaktörü ve bu seri iki reaktörün çıkışında elde edilen son sentez gazının kompozisyonunun kontrolü için tasarlanan baypas hattı da gösterilmektedir.

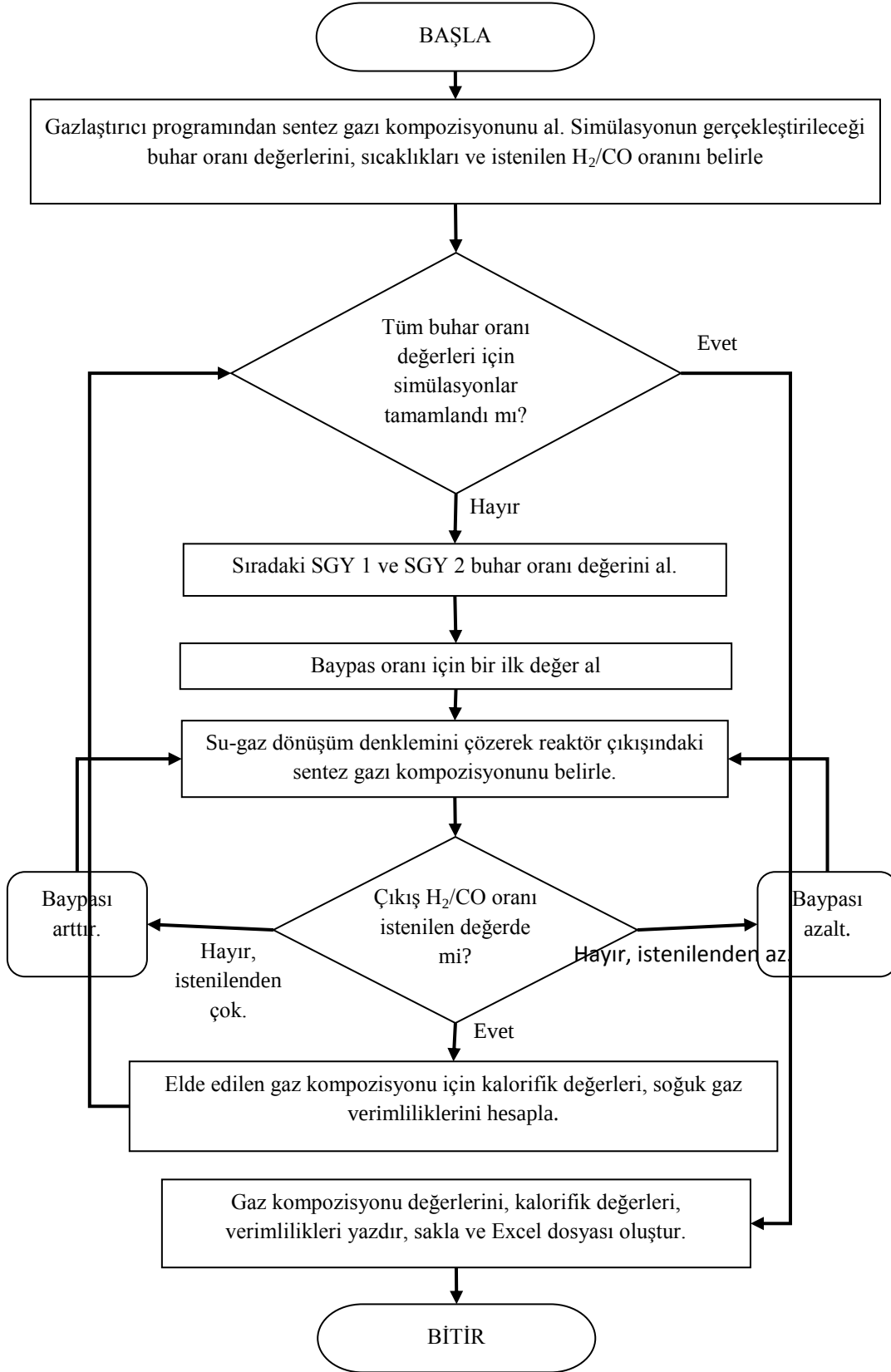
Sayısal model akış diyagramı Şekil 1’de verilmiştir. Model çözümünde hata aralığı 0.000001 alınmıştır. Geliştirilen gazlaştırıcı modelinde gazlaştırıcı sıcaklığı, gazlaştırıcı basıncı, su buharı/yakıt oranı ve hava/yakıt oranı model giriş parametreleri olarak dikkate alınmaktadır. Modelde karbon dönüşüm verimi %100 kabul edilmiştir.

Geliştirilen model, bir kömür gazlaştırıcı reaktör için 1 Nm³ sentez gazı elde edebilmek için gerekli kuru yakıt miktarını ve elde edilen sentez gazı içerisindeki CO, CO₂, H₂, CH₄, H₂O ve N₂ gazlarının hacimsel

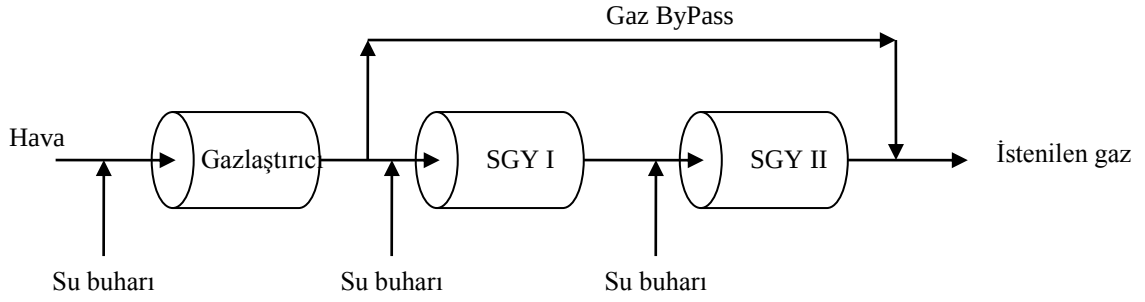
yüzdelelerini hesaplamaktadır. Geliştirilen modelde seri SGY reaktörlerinin çözümünde kullanılan sayısal model akış diyagramı Şekil 2’de verilmiştir. Geliştirilen modelde dikkate alınan gazlaştırma sistemi Şekil 3’de verilmiş olup gazlaştırıcıdan gelen sentez gazının rafine edilmesi işlemi için bu çalışmada önerilen iki aşamalı SGY reaktörü ve bu seri iki reaktörün çıkışında elde edilen son sentez gazının kompozisyonunun kontrolü için tasarlanan baypas hattı da gösterilmektedir[5-7].



Şekil 1. Sayısal model akış diyagramı [5-7].



Şekil 2. Seri SGY reaktör sayısal modeli akış diyagramı [5-7].



Şekil 3. Gazlaştırıcı şematik gösterimi

4. EKSERJİ ANALİZİ

Bir enerji tesisinin enerji analizi esas olarak sisteme giren ve çıkan enerjiler hesaplanarak yapılır. Sistemlerin karşılaştırılması için genellikle sistemdeki giren ve çıkan enerji oranlarından bulunan verim parametresi kullanılmaktadır. Ancak, enerji verimleri sistem performansının ideale ne kadar yaklaştığına dair bir ölçüt sağlamamaktadır. Ayrıca, performansın idealden sapmasına yol açan termodinamik sistem kayıpları da enerji analizinde değerlendirilmemektedir. Bu yüzden enerji analizi sonuçları teknolojik verimi gerçeğinden farklı olarak yansıtabilmektedir.

Ekserji ile ilgili çeşitli tanım ve isimlendirilmeler yapılmıştır. Kullanılabilirlik, essergi, kullanılabilir enerji, iş yeteneği, ekserji vb. gibi tanımlar arasından en çok ekserji kelimesi benimsenmiş ve kullanılmaktadır. Kuramsal olarak, bir sistemden en çok işin elde edilebilmesi, iki koşulun yerine getirilmesi ile mümkündür. Bu koşullar; işin bir sistemin başlangıç halinden son haline tersinir bir hal değişimi ile getirilerek elde edilmesi ve sistemin son halinin çevre ile dengede olmasıdır [9].

Ekserji analizleri, bir sistemde, sisteme giren ve çıkan ekserjilerin belirlenmesi, sistemde ortaya çıkan tersinmezliklerin ve sistem verimlerinin hesaplanması ile yapılmaktadır. Ekserji çevre şartlarına bağlı bir büyüklük olduğundan hesaplanabilmesi için çevre şartlarının bilinmesi gereklidir.

Fiziksel Ekserji

Saf maddelerin fiziksel ekserjisi genel olarak,

$$e^{PH} = (u - u_0) - P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) \quad (\text{kJ/kg}) \quad (5)$$

Şeklinde verilir. Burada u_0 ve s_0 sırasıyla, bir madde akımının ısı kaynağı olarak kabuledilen T_0 sıcaklığı ve P_0 basıncındaki özgül iç enerji ve entropi değerleridir.

Fiziksel ekserji kısaca:

$$e^{PH} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (\text{kJ/kg}) \quad (6)$$

Şeklinde yazılabilir.

Toplam fiziksel ekserji akısı ise:

$$\dot{E}^{PH} = \dot{m} \cdot e^{PH} \quad (7)$$

Kimyasal Ekserji

Kimyasal ekserjiyi değerlendirirken (kimyasal kompozisyonu çevresinden farklı olarak ayrılan ekserji komponenti), sistemden ayrılan maddeler çevredeki stabil durumda var olan eş maddeleri ile karıştırılmamalıdır.

Kimyasal ekserjiyi değerlendirirken çeşitli alternatif teoriler ortaya atılmıştır. Çevre ortamını termodinamik düşünceden farklılaştırmak üzere ekserji referans çevresi ve termodinamik çevre tanımları kullanılır. Bu yüzden kolaylık açısından standart kimyasal ekserji tanımları standart bir çevre kabulü üzerine kurulur. Standart kimyasal ekserjiler, sıcaklığı T_0 ve basıncı P_0 olan ($298\text{K} = 25^\circ\text{C}$ ve 1 bar) standart bir çevreye dayandırılır.

Saf maddeler için standart kimyasal ekserji değerleri ilgili çizelgelerden okunarak hesaplamalarda kullanılabilir. Gaz karışımları için ise aşağıdaki eşitlikten yararlanılır [10].

$$e^{-\text{CH}} = \sum x_k e_k^{-\text{CH}} + \bar{R}T_0 \sum x_k \ln x_k \quad (\text{kJ/kg}) \quad (8)$$

Bu çalışmada gazlaştırıcıya giren kömür katı halde olup, gazlaştırıcı çıkışında gazlaştırıcı sayısal modellemesinde karbon dönüşümü %100 alındığından, karbonun tamamı gaza dönmektedir. Diğer komponentler gaz halinde olup, her bir gazlaşma ünitesindeki mol miktarları ve sıcaklıkları sayısal model sonuçlarından elde edilmektedir.

Bu çalışmada, ekserji hesabı yapılırken kömürün içerisindeki katı karbon, metan ve hidrojen gazlarının ekserji değerleri dikkate alınmıştır. Katı haldeki karbonun özgül ısı değeri Abbott ve Van Ness tarafından aşağıda verilen eşitlikten hesap edilmiştir[11];

$$c_C = 17.166 + 4.271 \frac{T}{1000} - \frac{8.79 \times 10^5}{T^2} \quad (9)$$

Katı karbon için entropi değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$(s_T)_C = (s_{T_0}^0)_C + \int_{T_0}^T c_C \left(\frac{dT}{T} \right) \quad (10)$$

Burada $s_{T_0}^0$ özgül molar entropi olup, katı karbon için 5.74 kJ/kmol K olarak alınabilir [12].

Bu çalışmada gazlar için entropi değeri, aşağıdaki eşitlikten hesap edilmiştir [12];

$$(s_T)_i = (s_{T_0}^0)_i + \int_{T_0}^T c_{p,i} \left(\frac{dT}{T} \right) - R \ln \left(\frac{p_i}{p_0} \right) \quad (11)$$

burada $(s_{T_0}^0)_i$ her bir gaz komponent için özgül molar entropi değeri olup, her bir gazın aldığı değerler Tablo 3'de verilmekte, her bir gaz için özgül ısı değeri Balmer tarafından verilen eşitliklerdeki gibi alınmış olup Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Özgül ısı değerlerinin sabit basınçta sıcaklıkla değişimi [12].

Gas $c_p = \frac{\text{kJ}}{\text{kmolK}}, \theta = \frac{T(\text{Kelvin})}{100}$
$N_2 \quad c_p = 39.060 - 512.79\theta^{-1.5} + 1072.7\theta^{-2} - 820.40\theta^{-3}$
$O_2 \quad c_p = 37.432 + 0.020102\theta^{1.5} - 178.57\theta^{-1.5} + 236.88\theta^{-2}$
$H_2 \quad c_p = 56.505 - 702.74\theta^{-0.75} + 1165.0\theta^{-1} - 560.70\theta^{-1.5}$
$CO \quad c_p = 69.145 - 0.70463\theta^{0.75} - 200.77\theta^{-0.5} + 176.76\theta^{-0.75}$

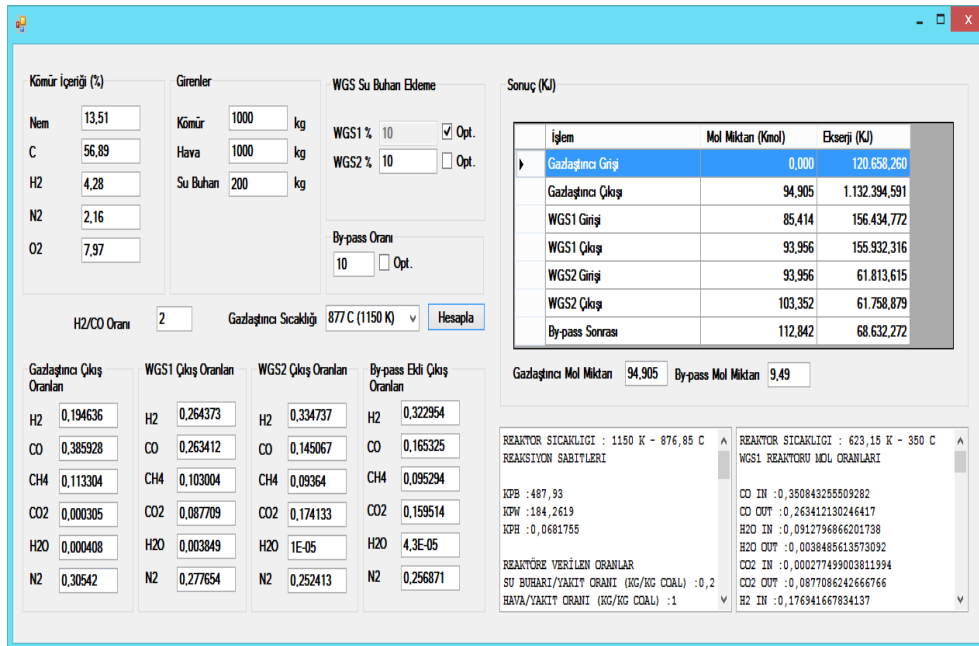
$H_2O \ c_p = 143.05 - 183.54\theta^{0.25} + 82,751\theta^{0.5} - 3.6989\theta$
$CO_2 \ c_p = -3.7357 + 30.529\theta^{0.5} - 4.1034\theta + 0.024198\theta^2$
$CH_4 \ c_p = -672.87 + 439.74\theta^{0.25} - 24.875\theta^{0.75} + 323.88\theta^{-0.5}$

Tablo 3. Özgül molar entropi değerleri [12]

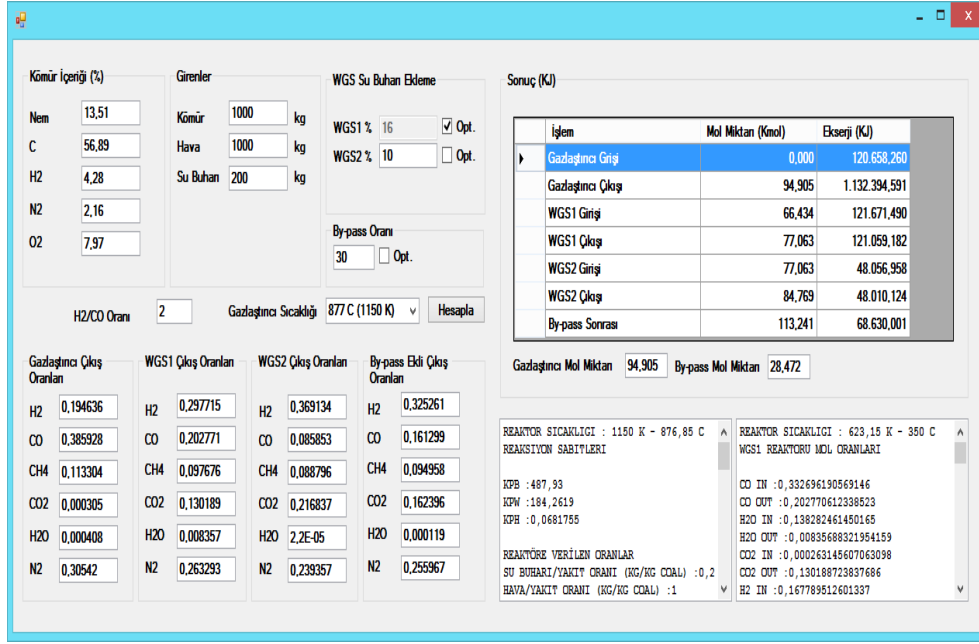
Substance	$S_{T_0}^0$ (kJ/(kmol K))
CO	197.653
CO ₂	213.795
CH ₄	186.256
C(s)	5.740
H ₂	130.684
N ₂	191.610
O ₂	205.138
H ₂ O(g)	188.833

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, aynı kömür tipi kullanıldığında, SGY II reaktörü su buharı miktarının reaktöre giren sentez gazına oranı %10 olduğunda, üç farklı baypas oranı kullanılarak aynı sonucun elde edilmesinde SGY I reaktörü için optimum su buharı oranının tahmin edilmesinde, gazlaştırma sisteminin her bir ünitesi giriş çıkışındaki ekserji değerleri hesap edilmiştir. Yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ve sistem bilgileri, Visual Studio VB.Net programı kullanılarak geliştirilen bir arayüz yardımıyla elde edilmiştir. Çalışma sonuçları Şekil 4,5 ve 6'da verilmiştir. Bu inceleme yapılırken, gazlaştırıcı çıkışından sonra baypas oranları sırasıyla %10, %30 ve %50 olarak alınmıştır. Şekillerden de açıkça görüleceği gibi gazlaştırıcı girişinde sadece kömürün ekserji değeri dikkate alınmıştır. Baypas oranı arttıkça SGY I reaktörü için gerekli su buharı miktarının da arttığı görülmektedir. Bunun nedeni, gazlaştırıcı sistemi çıkışında istenilen H₂/CO oranının 2'yi bulmasıdır.

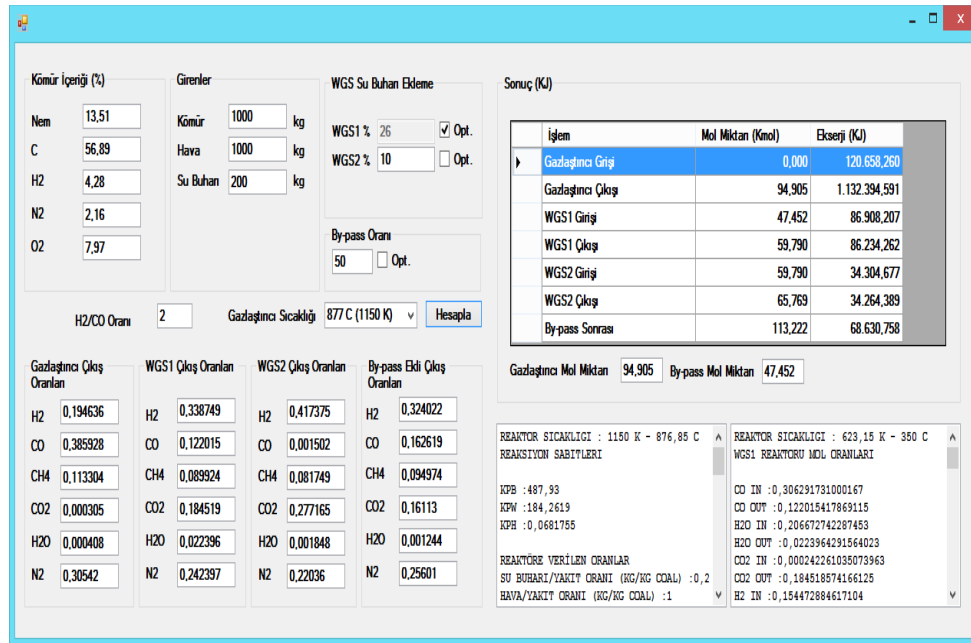


Şekil 4. Bypass oranı %10 olması durumunda model sonuçları

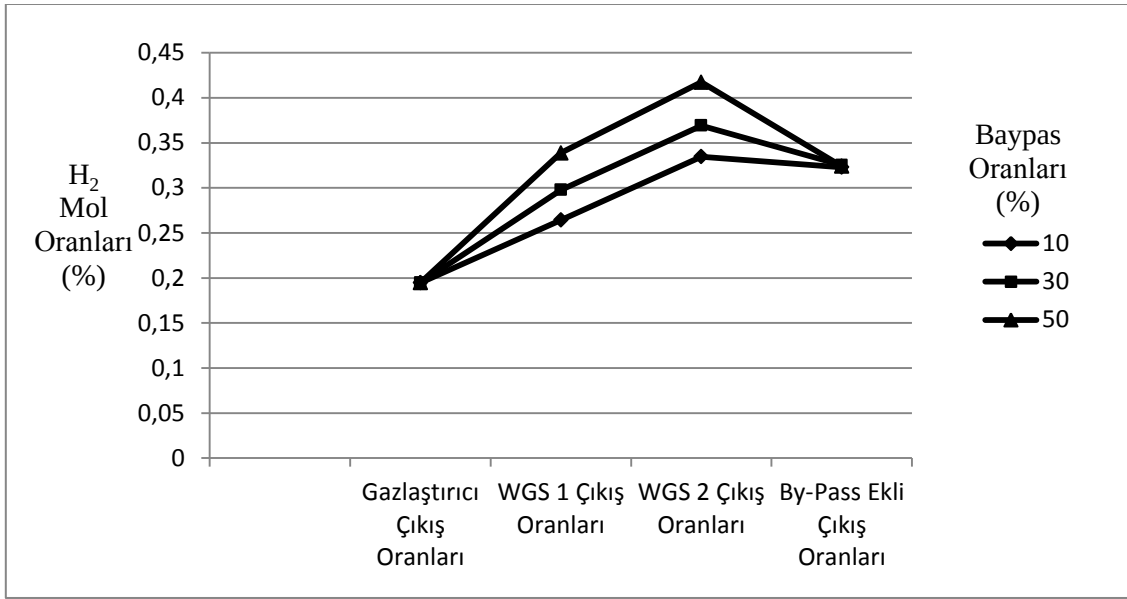
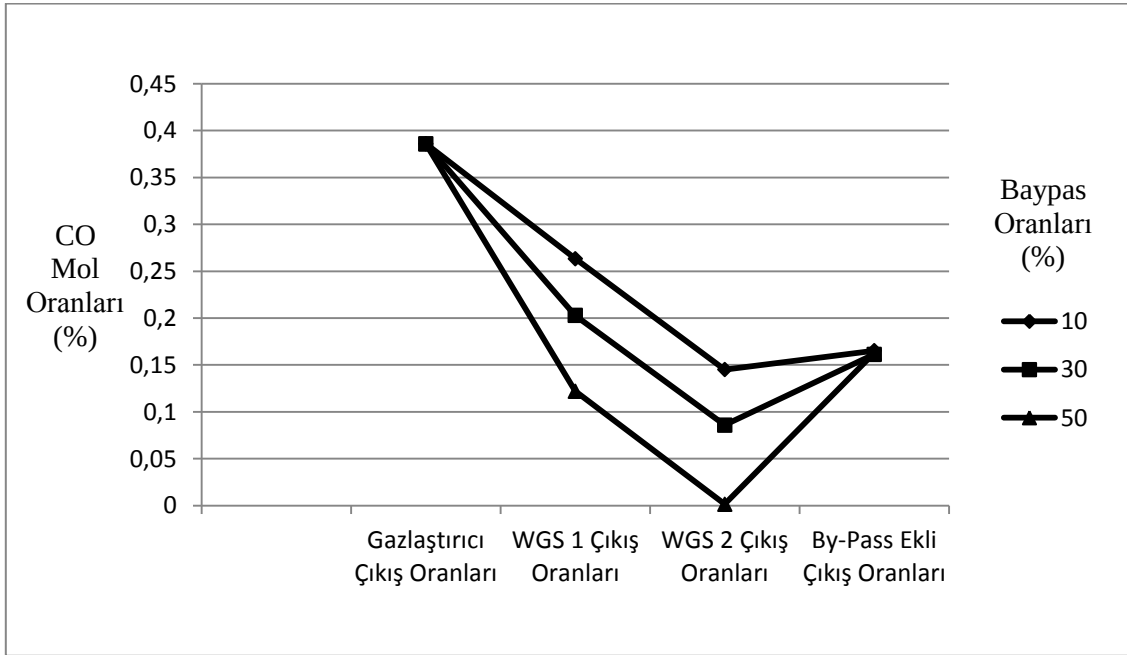


Şekil 5. Bypass oranı %30 olması durumunda model sonuçları

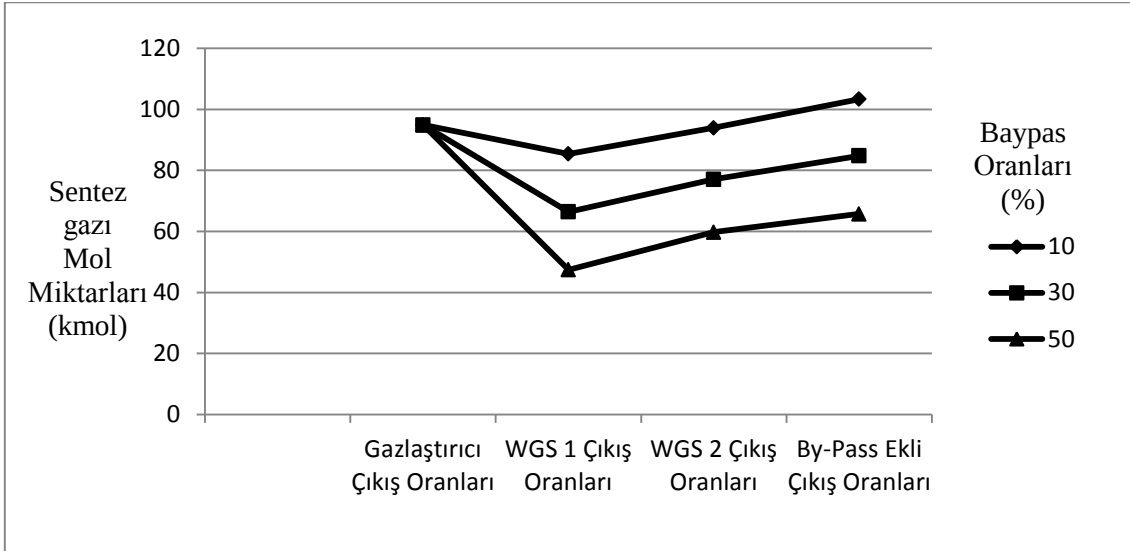
Bu çalışmanın en önemli sonuçlarından birisi de bypass oranı arttıkça SGY I reaktörü için gerekli su buharı oranı artmasına rağmen, yapılan ekserji analizi neticesinde aynı sonuca ulaşabilmek için en az enerji gereksinimi olan işletme koşullarının en yüksek baypas oranı olduğu zaman elde edilmesinin tespit edilmesidir. Su buharını elde etmek için enerji harcamak gerekse bile su buharı oranı arttıkça gazlaştırma sisteminde ekserji değerlerinin gazlaştırıcı reaktörden sonra düşüş göstermesi, artan baypas oranı ile SGY reaktörlerine giren sentez gazı miktarının azalması ile açıklanabilir. İstenilen sentez gazı kompozisyonunu elde edebilmek için en verimli yol, beklenenin aksine baypas oranının değiştirilmesi ile elde edilmektedir.



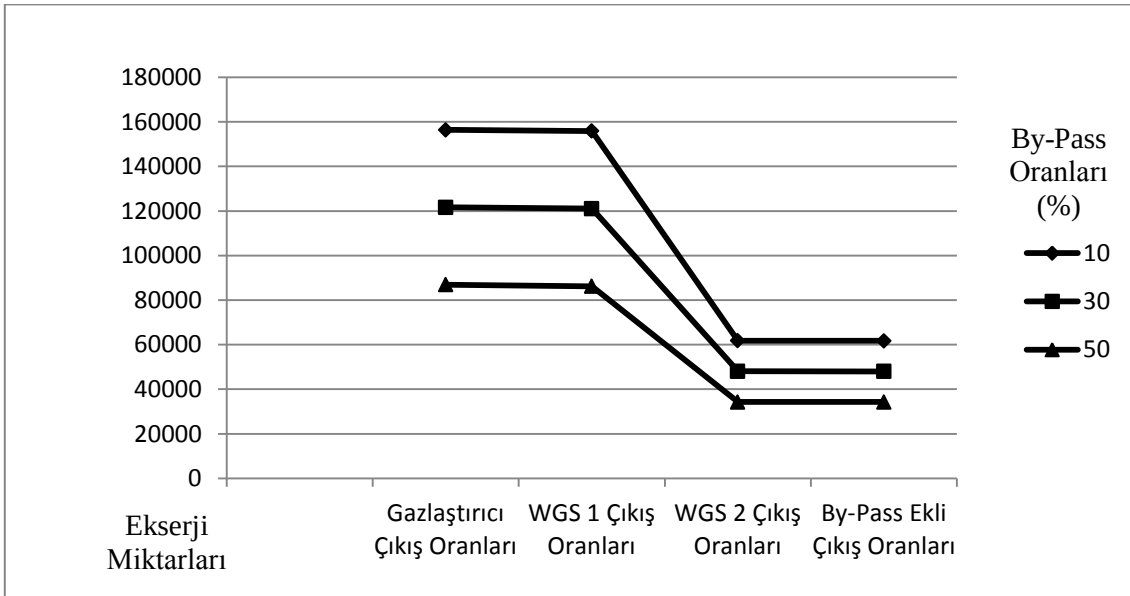
Şekil 6. Bypass oranı %50 olması durumunda model sonuçları.

Şekil 7. By-pass oranlarına göre H₂ mol oranları[13]

Şekil 8. By-pass oranlarına göre CO mol oranları[13]



Şekil 9. By-pass oranlarına göre sentez gazı mol miktarları[13]



Şekil 10. By-pass oranlarına göre ekserji miktarları[13]

Gazlaştırma ünitesi çıkışında hedeflenen $H_2/CO = 2$ değerinin elde edilmesinde en az enerji gereksinimi, baypas oranının en büyük tutulduğu %50 oranında sağlanmıştır. Baypas oranı basit bir vana ile ayarlanabildiğinden gazlaştırma sistemi enerji gereksinimi de beklenenden düşük olacaktır. SGY I reaktörü için gereken su buharı miktarı, baypas oranı arttıkça artış göstermekle beraber, termodinamik açıdan bakıldığında en düşük ekserji miktarları bu durum için elde edilmiştir. Böyle bir çalışmanın yapılmaması durumunda, istenilen çıkış değerini elde edebilmek için en uygun işletme şartlarının seçiminde, SGY I reaktörü için en düşük buhar oranına sahip işletme şartlarının seçilme olasılığı oldukça yüksek olacaktır.

6. SONUÇ

Bu çalışmada temel olarak kullanılan gazlaştırıcı modeli çalışmasında, istenilen çıkış şartlarına göre farklı baypas oranları kullanılarak optimum işletme şartlarının tespit edilmesini sağlamakla beraber, hangi işletme şartlarının en az enerji gereksinimi ile gerçekleştirilebileceği belirli değildir. SIMOD tarafından yapılmış olan modelleme çalışması başarılı olmakla beraber, bu tip bir gazlaştırıcının en ucuz maliyetle

ve çevreye zarar vermeden çalıştırılabilmesi için en uygun işletme parametrelerinin tespitinde termodinamik kanunlarının önemi bir kez daha ispatlanmış olmaktadır. Özellikle, pratikte halen yaygın olarak kullanılmayan termodinamiğin ikinci kanunun, böyle kritik öneme sahip kararlar almada ne denli yardımcı olduğu ve sonucu hızlı bir şekilde net olarak ortaya koyduğu, yapılan bu çalışma ile ispat edilmiştir. Özetle bu çalışma göstermiştir ki, enerji üretim sistemlerinin sayısal modellemeleri yapıp, uygun deneylerle bu modellerin geçerliliği sağlandıktan sonra, bir üst aşama olan gerçek sistem tasarımına geçmeden önce, detaylı bir termodinamik analizin yapılması, gerçekleştirilecek tasarımın daha çevreci ve daha verimli olmasını sağlayacaktır.

7. KAYNAKLAR

1. El-Emam, R. S., Dincer, I., & Naterer, G. F. ,2012, “Energy and exergy analyses of an integrated SOFC and coal gasification system”, *International Journal Of Hydrogen Energy*, 37(2), 1689-1697.
2. Gnanapragasam, N. V., Reddy, B. V., & Rosen, M. A., 2010, “Hydrogen production from coal gasification for effective downstream CO₂ capture”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(10), 4933-4943.
3. Liszka, M., Malik, T., & Manfrida, G. ,2012, “Energy and exergy analysis of hydrogen-oriented coal gasification with CO₂ capture”, *Energy*, 45(1), 142-150.
4. Öztürk, M., Özek, N., Yüksel, Y. E., 2012, “Gasification of various types of tertiary coals: a sustainability approach”, *Energy Conversion and Management*, 56, 157-165.
5. Güngör A., Ozbayoglu M., Kasnakoglu C., Biyikoglu A., Uysal B.Z., 2012, “A Parametric Study On Coal Gasification For The Production Of Syngas”, *Chemical Papers*, vol.66, pp.677-683
6. Güngör A., Ozbayoglu M., Kasnakoglu C., Biyikoglu A., Uysal B.Z., 2011, “Determination Of Air/Fuel And Steam/Fuel Ratio For Coal Gasification Process To Produce Synthesis Gas”, *Journal of Environmental Science and Engineering*, vol.5, pp.799-804
7. Özbayoğlu M., Kasnakoğlu C., Güngör A., Biyikoğlu A., Uysal B.Z., 2013, “A Two-Stage Water-Gas Shift Reactor Model To Obtain Desired Synthesis Gas Characteristics With Adjustable Reactor Parameters”, *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, vol.28, pp.339-351
8. Basu P,2006, “Combustion and Gasification in Fluidized Beds”, *CRC Press*.
9. Eryener, D., 2003, “Cebri Konveksiyonla Isı Geçişi Sağlayan Isıl Sistemlerin Ekserji Ekonomik Analizi”, *Doktora Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
10. Bejan, A.,1996, “Entropy Generation Minimization”, *CRC Press: Boca Raton*.
11. Abbott, M., Van Ness, H.,1972, “Thermodynamics”, *McGraw-Hill book company*, Singapore.
12. Balmer, R.T., 1990, “Thermodynamics”, In: Paul ST., editor., *New York, Los Angeles, San Francisco: West Publishing Company*.
13. Güngör, S., 2015, “Bir Kömür Gazlaştırıcısının Enerji ve Ekserji Analizi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde