

SENTEZ GAZI ÜRETİMİNE YÖNELİK KÖMÜR GAZLAŞTIRMA PARAMETRELERİNİN TAYİNİ

A. Bıyıkoğlu*, C. Kasnakoğlu^a, M.Özbayoğlu^b, A. Güngör^c, D. Ö. Özgür^d, B.Z. Uysal^d

^aTOBB Enerji ve Teknoloji Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

^bTOBB Enerji ve Teknoloji Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

^cNiğde Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye

^dGazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

*Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

ÖZET— Bu çalışmada, dört farklı reaksiyon içeren kimyasal denge denklemleri seti dikkate alınarak kömür gazlaşması modeli oluşturulmuştur. Parametrik çalışma ile reaktör sıcaklığı ve basıncının sentez gazı bileşenleri ve gazlaşma performansı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Çeşitli durumlar için gazlaşma prosesinin soğuk gaz verimi ve üretilen sentez gazının üst ısıl değeri hesaplanmıştır. Sentez gazı bileşiminin ve soğuk gaz veriminin sıcaklık ve basınca göre değişimi bilgileri ışığında gazlaşma prosesinin en uygun işletim basıncı ve sıcaklığı tayin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kömür Gazlaşması, Sentez Gazı Üretimi, Parametrik Çalışma

GİRİŞ

Enerji gereksinimindeki artış ve fosil enerji kaynaklarının tükenmeye başlaması, hem enerji fiyatlarında bir tırmanışa hem de enerji güvenliği konusundaki kaygıların artmasına sebep olmuştur. Enerji tablosunun dünya genelindeki bu görünümü, araştırmacıları enerjiyi daha verimli elde etmenin yollarını araştırmaya sevk etmiştir. Çevre kirliliği ve küresel ısınma tehditleri altında, çalışmalar, mevcut yakıtların yerini tutabilecek yapay yakıtların geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Günümüzde, farklı amaçlara yönelik ticarileşen gazlaştırma prosesleri mevcuttur. Gazlaştırmanın uygulama alanları bölgesel proses ısıtmasından gaz türbin kombine çevrimlerinde güç üretimine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Bununla birlikte, gazlaşma prosesinin güç üretiminde kullanımı gelişmekte olan sektörlerden biridir.

Bu açıdan değerlendirildiğinde, kömürün gazlaştırılması ile elde edilen sentez gazının zenginleştirilmesi ve güç üretiminde kullanılması en uygun alternatiflerden biri olarak görülmektedir. Bu çalışmanın amacı ise kömür gazlaştırmasına etki eden faktörlerin tayin edilmesi ve güç üretimine yönelik sentez gazının üretimini gerçekleştirecek bir gazlaştırma modeli geliştirmektir.

MODELLEME ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada ele alınan problem, sentez gazı üretimine yönelik kömürün gazlaştırma modelinin oluşturulmasıdır. Kömür tipine, çevre şartlarına ve işletim parametrelerine bağlı olarak sentez gazının bileşimi tayin edilecektir. Bu parametrelerin farklı kombinasyonları için çözümler elde

edilmesi planlanmıştır. Ancak, istenen sentez gazı bileşimini verecek parametreler seti, her kömür tipi için ayrı parametrik çalışma yapılmasını gerektirmektedir.

Kömür gazlaşması, proste 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 [2].

Tablo 1. Gazlaşma Modelinde Kullanılan Denge Sabitleri [2]

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}

Gazlaşma modeli, özellikleri Tablo 2’de sunulan Tunçbilek linyiti kullanılarak test edilmiştir.

Tablo 2. Modelde Kullanılan Tunçbilek Linyitinin Özellikleri

Kömür İçeriği	Değerler
C (%)	41,81
H (%)	4,28
O (%)	8,09
N (%)	2,16
S (%)	1,47
Kül (%)	13,72
Nem (%)	13,51
LHV (kcal/kg)	5424,00
HHV (kcal/kg)	5728,00

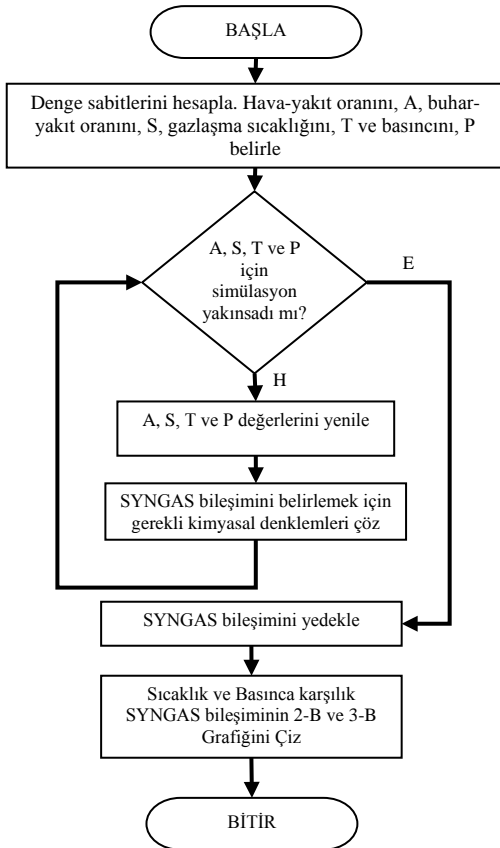
Sentez gazı üretimine yönelik gazlaşma prosesinin soğuk gaz verimi, η_c aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\eta_c = \frac{\dot{V}_{syngas} HHV_{syngas}}{\dot{m}_{fuel} HHV_{fuel}} \quad (5)$$

Burada geçen, \dot{V}_{syngas} , üretilen sentez gazının hacimsel debisini [m^3/s], \dot{m}_{fuel} ise kullanılan yakıtın kütleli debisini temsil etmektedir. Kömürün üst ısıl değeri, HHV_{fuel} [kJ/kg] sembolü ile gösterilmiştir. Sentez gazının üst ısıl değeri, HHV_{syngas} [kJ/m^3], literatürden alınan yanıcı bileşenlerin (H_2 , CO , CO_2 ve CH_4) ısıl değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu gazların ısıl değerleri belirli sıcaklık aralıkları için 2 nolu referanstan alınmıştır. CH_4 miktarı diğer bileşenlere nazaran ihmal edilebilecek mertebede olduğu için bu bileşenin etkisi ısıl değer hesabına katılmamıştır.

ÇÖZÜM METODU

Gazlaşma prosesinin modeli, Şekil 1'deki akış-diyagramına göre oluşturulmuş ve sentez gazı bileşimi aşağıda verilen parametre aralıkları için bulunmuştur; Hava-yakıt oranı, $A \left(\frac{kg_{kuru\ hava}}{kg_{kuru\ yakit}} \right)$, 1 ile 5 aralığında; buhar-yakıt oranı, $S \left(\frac{kg_{buhar}}{kg_{kuru\ yakit}} \right)$, 0.1 ile 0.5 aralığında; gazlaşma sıcaklığı, 400 ile 2000 K aralığında, gazlaşma basıncı, 1 ile 40 atm aralığında değiştirilmiştir.



Şekil 1. Gazlaşma modeli akış-diyagramı

$$\begin{bmatrix} B_1 & C_1 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ A_2 & B_2 & C_2 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & A_3 & B_3 & C_3 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & A_1 & B_1 & C_1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & A_{MT-2} & B_{MT-2} & C_{MT-2} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & A_{MT-1} & B_{MT-1} & C_{MT-1} \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & A_{MT} & B_{MT} & \dots \end{bmatrix}$$

Şekil 2. Üçlü Bant Jakobiyen Matrisi

Model sonuçlarının elde edilmesinde Newton-Raphson Metodu kullanılmıştır. Bu metotta; F fonksiyon vektörü ve X değişkenler vektörü için iterasyon kuralı;

$$X^{B+1} = X^B - \left(\frac{\partial F}{\partial X} \right)^{-1} F^B \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (6)'da geçen $\partial F / \partial X$ ifadesi, F fonksiyon vektörünün X değişkenlerine göre türevlerinden oluşan Jakobiyen matrisidir. Bu Jakobiyen matris, MT ile gösterilen *kompartment sayısı* boyutunda oluşturulan bir kare matris olup Şekil 2'de görüldüğü üzere Üçlü Bant Jakobiyen Matris formunda yazılabilir. Üçlü Bant Jakobiyen Matris elemanları (A_i , B_i ve C_i), sırasıyla F_i denklemler vektörünün $i-1$, i ve $i+1$ 'nci kompartmanlarına ait X_{i-1} , X_i ve X_{i+1} değişkenler vektörüne göre türevlerine eşittir ve

$$A_i = \frac{\partial F_i}{\partial X_{i-1}} \quad ; B_i = \frac{\partial F_i}{\partial X_i} \quad ; C_i = \frac{\partial F_i}{\partial X_{i+1}} \quad (7)$$

ifadelerinden bulunur. Çözümün elde edilmesinde F90 FORTRAN Programlama dili ve MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Model çözümünde hata aralığı ∓ 0.000001 alınmıştır. Geliştirilen gazlaştırmacı modelinde gazlaştırmacı sıcaklığı, gazlaştırmacı basıncı, su buharı/yakıt oranı ve hava/yakıt oranı model giriş parametreleri olarak dikkate alınmaktadır. Geliştirilen model, bir kömür gazlaştırmacı reaktöründe, 1 Nm^3 sentez gazı elde edebilmek için gerekli kuru yakıt miktarını, $f \left(\frac{\text{kg}_{\text{yakıt}}}{\text{Nm}^3_{\text{gaz}}} \right)$ ve elde edilen sentez gazı içerisindeki CO, CO₂, H₂, CH₄, H₂O ve N₂ gazlarının hacimsel yüzdelelerini hesaplamaktadır.

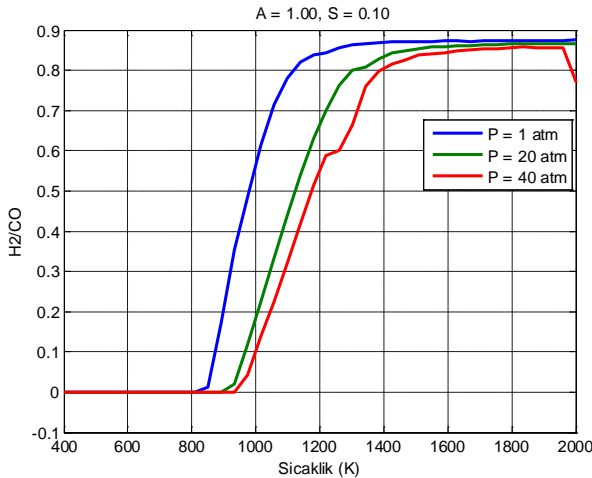
SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Tablo 2'de özellikleri verilen Tunçbilek linyiti kullanılarak ve hava-yakıt oranı, 1, buhar yakıt oranı, 0.1, işletim basıncı 1 atmosfer ve işletim sıcaklığı 1150 K seçilerek modelin çalıştırılması ile elde edilen sentez gazının bileşimi Tablo 3'de sunulmuştur. Güç üretiminde kullanılacak sentez gazının eldesinde dikkat edilmesi gereken nokta, gaz bileşimindeki H₂/CO oranı, CH₄ miktarı, gazın verimi ve ısı değeri olmalıdır. Bu açıdan Tablo 3 incelenecek olursa, H₂/CO oranının ve CH₄ miktarının işletim şartlarının elverdiği ölçüde yüksek tutulması gerektiği anlaşılır. Bu amaç doğrultusunda, işletim basıncı ve sıcaklığındaki değişimlerin H₂/CO oranına, H₂ miktarına ve CH₄ miktarına etkilerini belirlemek için Şekil 3, 4 ve 5 oluşturulmuştur.

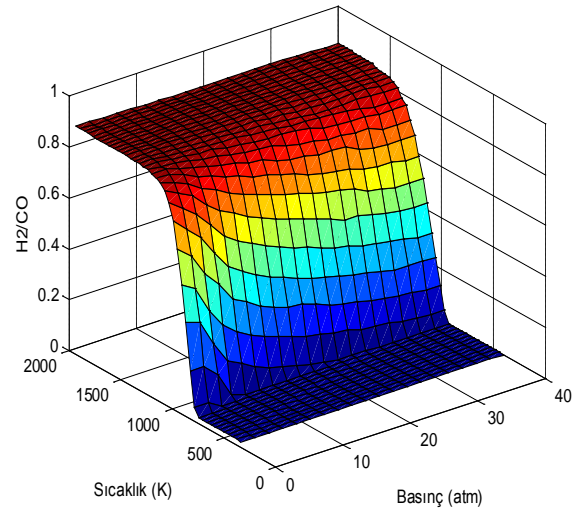
Şekil 3'de, H₂/CO oranının sıcaklık ve basınca göre değişimi, 2-boyutlu ve 3-boyutlu grafikler halinde sunulmuştur. Şekil 3a'da, üç farklı basınç değeri (1, 20 ve 40 atm) için sıcaklığa karşı H₂/CO oranının değişimi sunulmuştur. Şekil 3a'dan görüldüğü üzere, 1 atm işletim basıncında, reaksiyonların 800 K sıcaklığında tepkimeye başladığı, basıncın 20 atm'e artırılması ile reaksiyonların başlama sıcaklığının 900 K'e yükseldiği ve 40 atm basınçta ise bu sıcaklık değerinin yaklaşık 925 K'e yükseldiği gözlenmektedir. Şekil 3a, Şekil 4a ve 5a ışığında incelendiğinde, üretilen gaz miktarlarında değişim gözlenmediği için, reaksiyonların yaklaşık 1600 K sıcaklığında basınçtan bağımsız olarak sona ermeye başladığı söylenebilir. İşletim basıncının 1 atm'den 20 atm'e artırılması ile reaksiyonların başlama noktasında yaklaşık 100 K sıcaklık mertebesinde bir gecikme olduğu görülmektedir.

Basıncın 1 atm'den 40 atm'e artırılması ile bu gecikmenin 125 K sıcaklık farkı ile oluştuğu gözlemlenebilir. Dolayısıyla basıncın artırılması ile reaksiyonların başlama sürelerindeki gecikme azalarak arttığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Reaksiyonların ilerlemesi ile 800 K ile 1600 K arasında, basıncın etkisiyle oluşan reaksiyon gecikmelerinden kaynaklanan H₂/CO gradyen dağılımı gözlemlenmektedir. Bu gradyenlerin eğimleri karşılaştırıldığında, basınç artırımının reaksiyon hızları üzerinde gözle görülebilir bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Atmosferik basınçta, 800 K ile 1100 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının sabit olduğu ve 1100 K ile 1700 K arasında reaksiyon hızının azalan bir artış ile eksponansiyel olarak maksimum değerine ulaştığı H₂/CO eğrisinin eğiminden anlaşılmaktadır. 20 atm basınçta, 900 K ile 1300 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının sabit olduğu ve 1300 K ile 1700 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının azalan bir artış ile eksponansiyel olarak maksimum değerine ulaştığı H₂/CO eğrisinin eğiminden anlaşılmaktadır. 40 atm basınçta, 925 K ile 1400 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının sabit olduğu ve 1400 K ile 1700 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının azalan bir artış ile eksponansiyel olarak maksimum değerine ulaştığı H₂/CO eğrisinin eğiminden anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra, gazlaşma prosesi sonucunda, ulaşılan maksimum H₂/CO değeri 1700 K sıcaklığında basınçtan bağımsız olarak maksimum 0.85 değerine ulaşmaktadır. Şekil 3b'de, 1 - 40 atm basınç aralığında, sıcaklığın 400 K ile 2000 K arasında değişimi ile H₂/CO oranındaki değişimi sürekli olarak izlemek mümkün olmaktadır.

Tablo 3. Üretilen Sentez Gazı Bileşimi (A = 1, S = 0.1, P = 1 Atm., T = 1150 K)	
Sentez Gazı Bileşimi	Kütle (%)
H ₂	28,55
CO	33,71
CO ₂	0,37
N ₂	32,28
H ₂ O	0,40
CH ₄	4,69
H ₂ / CO	0,846879
Soğuk gaz verimi, η_c	0.820283
Sıcak gaz verimi, η_h	0.92282
Üst ısıl değeri, HHV (MJ)	19,66



(a)

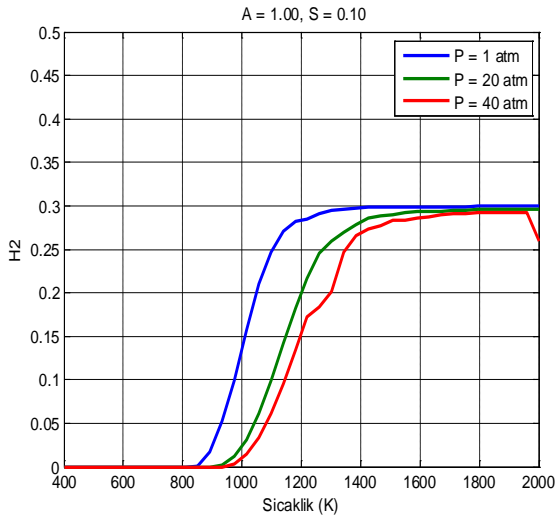


(b)

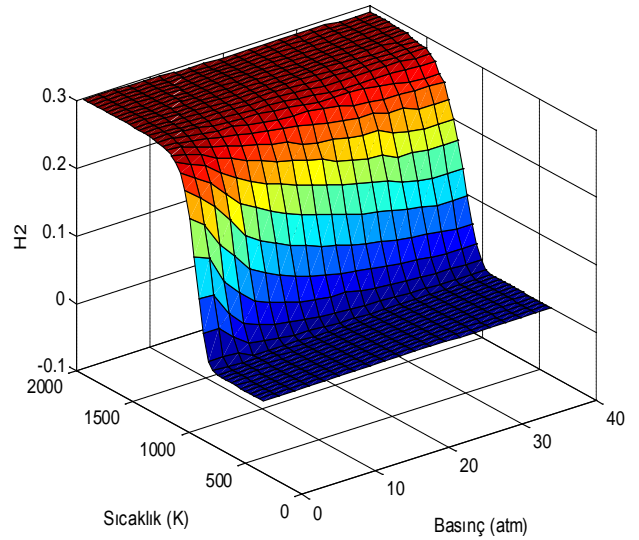
Şekil 3: Basınç-sıcaklık-H₂/CO değişimi (a) 2-B ve (b) 3-B grafikleri (A/F = 1, S/F = 0.1)

Şekil 4'de, sentez gazı içerisindeki H₂ miktarının yüzde değerinin sıcaklık ve basınca göre değişimi, 2-boyutlu ve 3-boyutlu grafikler halinde sunulmuştur. Şekil 4a'da, üç farklı basınç değeri (1, 20 ve 40 atm) için sıcaklığa karşı H₂ yüzdesinin değişimi sunulmuştur. Şekil 4a'dan görüldüğü üzere, 1

atm işletim basıncında, 1 ve 3 numaralı reaksiyonların yaklaşık 825 K sıcaklığında tepkimeye başladığı, basıncın 20 atm'e artırılması ile reaksiyonların başlama sıcaklığının 925 K'e yükseldiği ve 40 atm basınçta ise bu sıcaklık değerinin yaklaşık 950 K'e ulaştığı gözlenmektedir. Şekil 4a, incelendiğinde, üretilen H₂ miktarlarında değişim gözlenmediği için, 1 ve 3 numaralı reaksiyonların yaklaşık 1600 K sıcaklığında basınçtan bağımsız olarak sona ermeye başladığı söylenebilir. İşletim basıncının 1 atm'den 20 atm'e artırılması ile bu reaksiyonların başlama noktasında yaklaşık 100 K sıcaklık mertebesinde bir gecikme olduğu görülmektedir. Basıncın 1 atm'den 40 atm'e artırılması ile bu gecikmenin 125 K sıcaklık farkı ile oluştuğu gözlenebilir. Dolayısıyla basıncın artırılması ile reaksiyonların başlama sürelerindeki gecikme azalarak arttığı sonucu desteklenmiştir. Reaksiyonların ilerlemesi ile 825 K ile 1700 K arasında, basıncın etkisiyle oluşan reaksiyon gecikmelerinden kaynaklanan H₂ gradyen dağılımı gözlenebilmektedir. Bu gradyenlerin eğimleri karşılaştırıldığında, basınç artırımının reaksiyon hızlarına gözle görülebilir bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Atmosferik basınçta, 825 K ile 1100 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının sabit olduğu ve 1100 K ile 1700 K arasında reaksiyon hızının azalan bir artış ile eksponansiyel olarak maksimum değerine ulaştığı H₂ eğrisinin eğiminden anlaşılmaktadır. 20 atm basınçta, 925 K ile 1250 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının sabit olduğu ve 1250 K ile 1700 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının azalan bir artış ile eksponansiyel olarak maksimum değerine ulaştığı H₂ eğrisinin eğiminden anlaşılmaktadır. 40 atm basınçta, 950 K ile 1350 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının sabit olduğu ve 1350 K ile 1700 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının azalan bir artış ile eksponansiyel olarak maksimum değerine ulaştığı H₂ eğrisinin eğiminden anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra, gazlaşma prosesi sonucunda, ulaşılan maksimum H₂ değeri 1700 K sıcaklığında basınçtan bağımsız olarak maksimum 0.3 değeri civarında seyretmektedir. Şekil 4b'de, 1 - 40 atm basınç aralığında, sıcaklığın 400 K ile 2000 K arasında değişimi ile H₂ yüzdesindeki değişimi sürekli olarak izlemek mümkün olmaktadır.



(a)

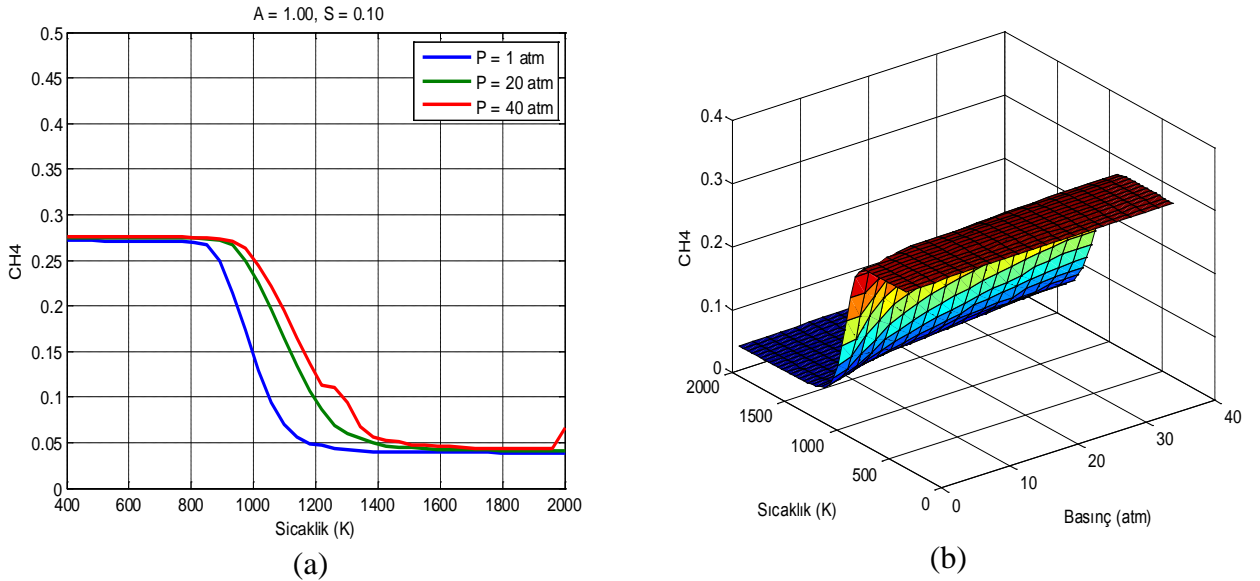


(b)

Şekil 4: Basıncı-sıcaklık-H₂ değişimi (a) 2-B ve (b) 3-B grafikleri (A = 1, S = 0.1)

Şekil 5'te, sentez gazı içerisindeki CH₄ miktarının yüzde değerinin sıcaklık ve basınca göre değişimi, 2-boyutlu ve 3-boyutlu grafikler halinde sunulmuştur. Şekil 5a'da, üç farklı basınç değeri (1, 20 ve 40 atm) için sıcaklığa karşı CH₄ yüzdesinin değişimi sunulmuştur. Şekil 5a'dan görüldüğü üzere, 1 atm işletim basıncında, 4 numaralı reaksiyonun yaklaşık 850 K sıcaklığında tepkimeye

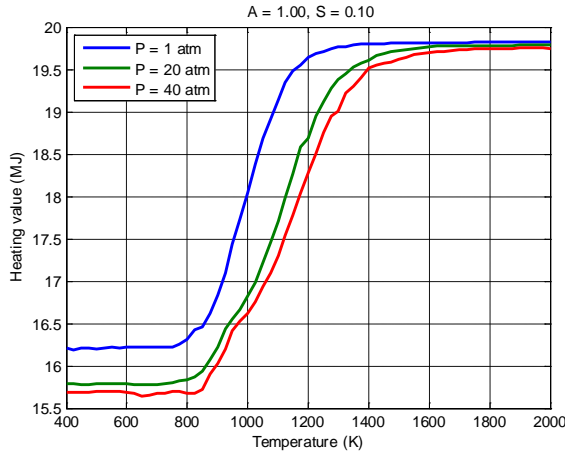
başladığı, basıncın 20 atm'e artırılması ile reaksiyonların başlama sıcaklığının yaklaşık 925 K'e yükseldiği ve 40 atm basınçta ise bu sıcaklık değerinin değişmeyerek 925 K'de kaldığı gözlenmektedir. Şekil 5a, incelendiğinde, CH₄ miktarlarında değişim gözlenmediği için, 4 numaralı reaksiyonun yaklaşık 1500 K sıcaklığında basınçtan bağımsız olarak sona ermeye başladığı söylenebilir. İşletim basıncının 1 atm'den 20 atm'e artırılması ile bu reaksiyonların başlama noktasında yaklaşık 75 K sıcaklık farkı mertebesinde bir gecikme olduğu görülmektedir. Basıncın 1 atm'den 40 atm'e artırılması ile bu gecikmenin değişmeyerek 75 K sıcaklık farkı ile oluştuğu gözlenebilir. Dolayısıyla basıncın artırılması ile 4 numaralı reaksiyonun başlama süresindeki gecikme 20 atm basıncın üzerinde gözlenmemektedir. Reaksiyonların ilerlemesi ile 825 K ile 1500 K arasında, basıncın etkisiyle oluşan reaksiyon gecikmelerinden kaynaklanan CH₄ gradyen dağılımı gözlenebilmektedir. Bu gradyenlerin eğimleri karşılaştırıldığında, basınç artırımının reaksiyon hızlarına gözle görülebilir bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Atmosferik basınçta, 825 K ile 1100 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının sabit olduğu ve 1100 K ile 1500 K arasında reaksiyon hızının azalan bir azalış ile eksponansiyel olarak minimum değerine ulaştığı CH₄ eğrisinin eğiminden anlaşılmaktadır. 20 atm basınçta, 925 K ile 1250 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının sabit olduğu ve 1250 K ile 1500 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının azalan bir azalış ile eksponansiyel olarak minimum değerine ulaştığı CH₄ eğrisinin eğiminden anlaşılmaktadır. 40 atm basınçta, 925 K ile 1200 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının sabit olduğu ve 1200 K ile 1500 K sıcaklıkları arasında reaksiyon hızının azalan bir azalış ile eksponansiyel olarak minimum değerine ulaştığı CH₄ eğrisinin eğiminden anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra, gazlaşma prosesi sonucunda, ulaşılan minimum CH₄ değeri 1500 K sıcaklığında basınçtan bağımsız olarak minimum 0.05 değeri civarında seyretmektedir. Şekil 5b'de, 1 - 40 atm basınç aralığında, sıcaklığın 400 K ile 2000 K arasında değişimi ile CH₄ yüzdesindeki değişimi sürekli olarak izlemek mümkün olmaktadır.



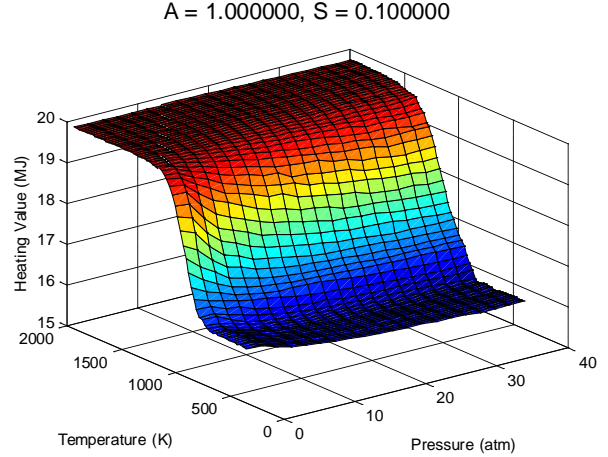
Şekil 5: Basınç-sıcaklık-CH₄ değişimi (a) 2-B ve (b) 3-B grafikleri (A = 1, S = 0.1)

Bu çalışmada, kömürün gazlaştırılarak güç üretimine yönelik sentez gazı eldesinde sıcaklık ve basınç parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, atmosferik basınçtan yüksek basınçlarda çalışmanın reaksiyonların oluşumlarını geciktirmekten başka bir etkisinin olmadığı ispatlanmıştır. Güç üretimine yönelik sentez gazı eldesi için gazlaşma sıcaklığının tayininde kullanılacak bir yöntem, sentez gazının ısıl değerini veya soğuk gaz verimini maksimize edecek sıcaklığın belirlenmesidir.

Bu amaca yönelik olarak, Şekil 6 ve 7 oluşturulmuştur. Şekil 6a'da sentez gazı üst ısıl veriminin sıcaklık ve basınçla değişimi 2-boyutlu grafik olarak sunulmuştur. Şekil 6a incelendiğinde, atmosferik basınçta üst ısıl değeri maksimum yapacak gazlaştırıcı sıcaklığını 1400 K seçmenin yeterli olacağı görülmektedir. 20 atm ve 40 basınca çıkıldığında ise bu sıcaklık değeri 1600 K'e yükseldiği gözlenmektedir. Şekil 6b'de, sentez gazı üst ısıl veriminin sıcaklık ve basınçla değişimi 3-boyutlu grafik olarak sunulmuştur. Şekil 6b'de, 1 – 40 atm basınç aralığında, sıcaklığın 400 K ile 2000 K arasında değişimi ile sentez gazı üst ısıl değerinin değişimi sürekli olarak izlenebilmekte ve değeri grafik üzerinden okunabilmektedir.



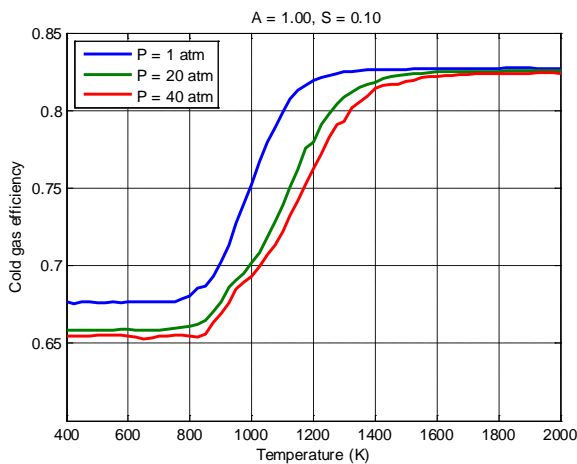
(a)



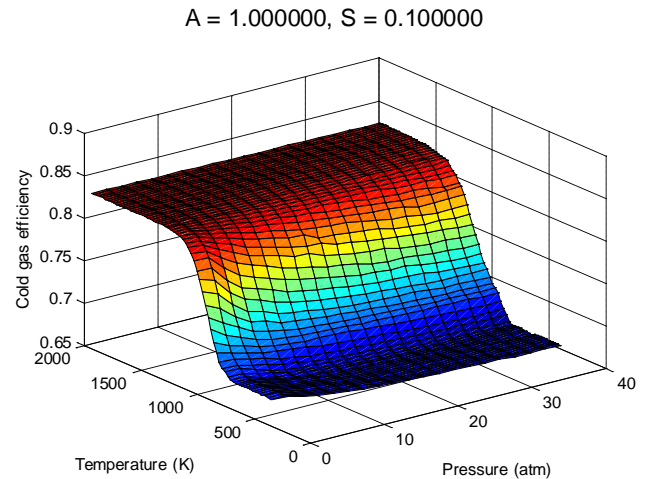
(b)

Şekil 6. Basınç-sıcaklık-HHV değişimi (a) 2-B ve (b) 3-B grafikleri ($A = 1$, $S = 0.1$)

Şekil 7a'da gazlaşma prosesi soğuk gaz veriminin sıcaklık ve basınçla değişimi 2-boyutlu grafik olarak sunulmuştur. Şekil 7a incelendiğinde, atmosferik basınçta soğuk gaz verimini maksimum yapacak gazlaştırıcı sıcaklığını 1400 K seçmenin yeterli olacağı görülmektedir. 20 atm ve 40 basınca çıkıldığında ise bu sıcaklık değerinin 1600 K'e yükseldiği gözlenmektedir. Şekil 7b'de, 1 – 40 atm basınç aralığında, sıcaklığın 400 K ile 2000 K arasında değişimi ile sentez gazı üst ısıl değerinin değişimi sürekli olarak izlenebilmekte ve değeri grafik üzerinden okunabilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 7. Basınç-sıcaklık-soğuk gaz verimi, η_c değişimi (a) 2-B ve (b) 3-B grafikleri ($A = 1$, $S = 0.1$)

ÖNERİLER

Bu çalışmada, hava yakıt oranı 1 ve buhar yakıt oranı 0.1 alınarak istenen sentez gazı bileşimi için en uygun işletim sıcaklık ve basıncı tayin edilmeye çalışılmıştır. İleriye yönelik olarak, belirlenen bu sıcaklık ve basınç değerleri kullanılarak, gazlaşma prosesi için diğer parametrelerin en uygun değerlerinin benzer bir parametrik çalışma ile tayini gerçekleştirilebilir. Ayrıca, gazlaştırıcı çıkışında su-gazı yer değiştirme reaksiyonu kullanılarak sentez gazı bileşiminin istenen amaca yönelik olarak iyileştirilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

1. K. H. Casleton, R. W. Breault ve G. A. Richards, “System Issues and Tradeoffs Associated with Syngas Production and Combustion”, *Combust. Sci. and Tech*, Cilt 180, 1013–1052, 2008.
2. P. Basu, **Combustion and Gasification in Fluidized Beds**, CRC Press, 2006.