

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YER ALTI KÖMÜR GAZLAŞTIRMA PROSESİNİN TÜRK KÖMÜR
YATAKLARINA UYGULANABİLİRLİĞİ VE MALİYET ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Rahşan EKİM**

Anabilim Dalı : Kimya Mühendisliği

Programı : Kimya Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YER ALTI KÖMÜR GAZLAŞTIRMA PROSESİNİN TÜRK KÖMÜR
YATAKLARINA UYGULANABİLİRLİĞİ ve MALİYET ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Rahşan EKİM
(506091054)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Haziran 2011

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hasancan OKUTAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Birgül TANTEKİN (İTÜ)
Prof. Dr. Abdurrahman SATMAN (İTÜ)**

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, yer altı kömür gazlaştırma teknolojisinin Türkiye’de, seçilen bölgelerdeki, düşük ısı değere sahip, klasik madencilikle ekonomik olarak değerlendirilemeyen kömür rezervleri için uygulanabilirliği araştırılmış, bu bağlamda seçilen bölgelerde kurulacak yer altı kömür gazlaştırma tesislerinde üretilen sentetik gazların içerikleri ve ısı değerleri hesaplanmıştır. Bu veriler temel alınarak kurulacak bir tesisin maliyet analizi yapılmıştır.

Bu tez çalışması sırasında bana yol gösteren ve yardımcı olan, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hasancan OKUTAN’a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca; tüm hayatım boyunca, bütün varlıkları ile yanımda olan aileme, sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2011

Rahşan EKİM
(Kimya Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2.YER ALTI KÖMÜR GAZLAŞTIRMA PROSESİ.....	3
2.1 Yer Altı Kömür Gazlaştırma Prosesinin Tarihsel Gelişimi ve Bugünkü Durumunun Analizi.....	3
2.2 Yer Altı Kömür Gazlaştırma Prosesi İle İlgili Temel İlkeler.....	6
2.3 Su Girişi.....	8
2.4 Kömür Yatağının Ön Hazırlık İşlemi.....	8
2.5 Geri Yakma.....	8
2.6 İleri Yakma.....	9
2.7 Bağlantılı Düşey Kuyular Prosesi (ELW).....	9
2.8 Kontrollü Olarak Hareket Ettirilen Ateşleme Noktası Prosesi (CRIP).....	9
2.9 Proses Değişkenleri.....	10
2.10 Yer Altı Kömür Gazlaştırma Prosesinin Üstünlükleri ve Sakıncaları.....	11
3. TÜRKİYE'DEKİ YER ALTI KÖMÜR GAZLAŞTIRMA PROSESİNE UYGUN KÖMÜR YATAKLARININ SEÇİLMESİ	13
3.1 Yer Altı Kömür Gazlaştırma İçin Yer Seçimi ve Değerlendirilmesi.....	13
3.1.1 Kömür sınıfı	13
3.1.2 Kömürün fiziksel özellikleri	13
3.1.3 Kömürün dayanım özellikleri	14
3.1.4 Kömür yatağı özellikleri	14
3.1.5 Bölge özellikleri.....	14
3.2 Yer Altı Kömür Gazlaştırma İçin Kömür Yatakları Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	15
4. YER ALTI KÖMÜR GAZLAŞTIRMA PROSESİ SONUCUNDA ÜRETİLECEK SENTETİK GAZLARIN BİLEŞİMLERİNİN VE ISIL DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI.....	19
4.1 Kütle ve Enerji Denklikleri	19
5. SEÇİLEN BÖLGELERDE KURULACAK YER ALTI KÖMÜR GAZLAŞTIRMA TESİSİ MALİYETLERİNİN ANALİZİ.....	27
5.1 Prosele Yıllık Enjekte Edilen Oksijen Gazı Miktarının Belirlenmesi	28
5.2 Prosesten Yıllık Elde Edilen Ürün Gazın Miktarının Belirlenmesi	28
5.3 Temel Veriler.....	28
5.3.1 Sondaj Sayısı.....	28
5.3.2 Gazlaştırma oyuğunun kesit alanı.....	29

5.4 Temel Maliyet Verileri.....	30
5.5 Üretim Maliyetleri.....	30
6. SONUÇ VE TARTIŞMALAR	35
6.1 Seçilen Bölgeler için Yer Altı Kömür Gazlaştırma Proseslerine Enjekte Edilecek Su ve Oksijen Oranlarının Belirlenmesi	35
6.2 Seçilen Bölgeler İçin Yer Altı Kömür Gazlaştırma Proseslerine Enjekte Edilecek Minimum Oksijen Miktarlarının Belirlenmesi.....	36
6.3 Seçilen Bölgeler İçin Yer Altı Kömür Gazlaştırma Tesislerinin Maliyet Analizleri.....	37
7. VARGILAR	39
KAYNAKLAR.....	41
EKLER.....	45
ÖZGEÇMİŞ	75

KISALTMALAR

MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
LLNL	: Lawrence Livermore National Laboratory
CRIP	: Controlled Retracting Injection Point
ELW	: Extended Linked Well
DTI	: Department of Trade and Industry
HUGE	: Hydrogen Oriented Underground Coal Gasification for Europe
UCG	: Underground Coal Gasification
ONGC	: Oil and Natural Gas Corporation Limited
CSIRO	: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
RM1	: Rocky Mountain 1
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Bazı bölgelerdeki maden yataklarımızın özellikleri	17
Çizelge 4.1 : Gaz ürünündeki bileşenlerin hacimsel yüzdeleri	22
Çizelge 5.1 : Kömür yatağının ve yer altı kömür gazlaştırma prosesi sonucu elde edilen sentetik gazın özellikleri	27
Çizelge 5.2 : Isıl değere karşılık üretim gelir değerleri	31
Çizelge 5.3 : Seçilen bölgeler için yıllık gazlaştırılan kömür miktarlarına karşılık toplam üretilebilecek ısı gücü	32
Çizelge 5.4 : Seçilen bölgelerde kurulacak yer altı kömür gazlaştırma tesisi için gider ve karlılık değerleri	32
Çizelge 5.5 : Seçilen bölgelerde kurulacak yer altı kömür gazlaştırma tesisi için gelir ve karlılık değerleri	33
Çizelge A.1 : Kütahya-Seyitömer kömürüne ait özellikler	46
Çizelge A.2 : Kütahya-Tunçbilek kömürüne ait özellikler	46
Çizelge A.3 : Manisa-Soma-Eynez kömürüne ait özellikler	46
Çizelge A.4 : Muğla-Yatağan-Eskihisar kömürüne ait özellikler	46
Çizelge A.5 : Bolu Göynük kömürüne ait özellikler	47
Çizelge A.6 : Manisa-Soma-Işıklar kömürüne ait özellikler	47
Çizelge A.7 : Bursa-Keles-Harmanalan kömürüne ait özellikler	47
Çizelge B.1 : Kütahya-Seyitömer Sahası'nda üretilcek sentetik gaza ait özellikler.....	48
Çizelge B.2 : Kütahya-Tunçbilek Sahası'nda üretilcek sentetik gaza ait özellikler.....	48
Çizelge B.3 : Manisa-Soma-Eynez Sahası'nda üretilcek sentetik gaza ait özellikler.....	49
Çizelge B.4 : Muğla-Yatağan-Eskihisar Sahası'nda üretilcek sentetik gaza ait özellikler	49
Çizelge B.5 : Bolu-Göynük Sahası'nda üretilcek sentetik gaza ait özellikler.....	50
Çizelge B.6 : Manisa-Soma-Işıklar Sahası'nda üretilcek sentetik gaza ait özellikler.....	50
Çizelge B.7 : Bursa-Keles-Harmanalan Sahası'nda üretilcek sentetik gaza ait özellikler	51
Çizelge E.1 : Kütahya-Seyitömer Sahası yer altı kömür gazlaştırma prosesine yalnız O ₂ enjeksiyonu yapıldığı durumda ürün gaza ait özellikler	66
Çizelge E.2 : Kütahya-Tunçbilek Sahası yer altı kömür gazlaştırma prosesine yalnız O ₂ enjeksiyonu yapıldığı durumda ürün gaza ait özellikler	66
Çizelge E.3 : Manisa-Soma-Eynez Sahası yer altı kömür gazlaştırma prosesine yalnız O ₂ enjeksiyonu yapıldığı durumda ürün gaza ait özellikler	67

Çizelge E.4 : Muğla-Yatağan-Eskihisar Sahası yer altı kömür gazlaştırma prosesine yalnız O ₂ enjeksiyonu yapıldığı durumda ürün gaza ait özellikler	67
Çizelge E.5 : Bolu Göynük yer altı kömür gazlaştırma prosesine yalnız O ₂ enjeksiyonu yapıldığı durumda ürün gaza ait özellikler.....	68
Çizelge E.6 : Manisa-Soma-Işıklar yer altı kömür gazlaştırma prosesine yalnız O ₂ enjeksiyonu yapıldığı durumda ürün gaza ait özellikler.....	68
Çizelge E.7 : Bursa-Keles-Harmanalan yer altı kömür gazlaştırma prosesine yalnız O ₂ enjeksiyonu yapıldığı durumda ürün gaza ait özellikler.....	69

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Yer altı kömür gazlaştırma	7
Şekil 2.2 : ELW ve CRIP prosesleri için sondajların düzeni	10
Şekil 2.3 : Çökme Olayı (Subsidence)	12
Şekil 4.1 : Gazlaştırma prosesine giren hammaddeler, prosesten çıkan ürünlerin ve atıkların şema üzerinde gösterilmesi	21
Şekil 5.1 : ELW ve CRIP prosesleri için sondajların düzeni	29
Şekil C.1 : Kütahya-Seyitömer Sahası için su ve oksijen enjeksiyonu oranının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.....	52
Şekil C.2 : Kütayha-Tunçbilek Sahası için su ve oksijen enjeksiyonu oranının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri	53
Şekil C.3 : Manisa-Soma-Eynez Sahası için su ve oksijen enjeksiyonu oranının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri	54
Şekil C.4 : Muğla-Yatağan-Eskihisar Sahası için su ve oksijen enjeksiyonu oranının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri	55
Şekil C.5 : Bolu-Göynük Sahası için su ve oksijen enjeksiyonu oranının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.....	56
Şekil C.6 : Manisa-Soma-Işıklar Sahası için su ve oksijen enjeksiyonu oranının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.....	57
Şekil C.7 : Bursa-Keles- Harmanalan Sahası için su ve oksijen enjeksiyonu oranının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri	58
Şekil D.1 : Kütahya-Seyitömer Sahası için oksijen enjeksiyonu miktarının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.....	59
Şekil D.2 : Kütayha-Tunçbilek Sahası için oksijen enjeksiyonu miktarının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.....	60
Şekil D.3 : Manisa-Soma-Eynez Sahası için oksijen enjeksiyonu miktarının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.....	61
Şekil D.4 : Muğla-Yatağan-Eskihisar Sahası için oksijen enjeksiyonu miktarının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri	62
Şekil D.5 : Bolu-Göynük Sahası için oksijen enjeksiyonu miktarının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.....	63
Şekil D.6 : Manisa-Soma-Işıklar Sahası için oksijen enjeksiyonu miktarının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.....	64
Şekil D.7 : Bursa-Keles- Harmanalan Sahası için oksijen enjeksiyonu miktarının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri	65

YER ALTI KÖMÜR GAZLAŞTIRMA PROSESİNİN TÜRK KÖMÜR YATAKLARINA UYGULANABİLİRLİĞİ ve MALİYET ANALİZİ

ÖZET

Enerji ve değerli kimyasalların üretimi için kullanılabilen kömür dünyanın pek çok bölgesinde çok miktarda bulunmaktadır. Türkiye geniş kömür yataklarına sahiptir ancak bu kömür yataklarının büyük bir kısmı düşük ısıl değerlidir ve klasik madencilik yöntemleri ile ekonomik olarak değerlendirilememektedir. Yer altı kömür gazlaştırma teknolojisi düşük ısıl değerli kömürlerin değerlendirilmesi için uygun bir yöntemdir.

Bu araştırma için MTA Türkiye Linyit Envanteri ve MTA raporları incelenerek; Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Kahramanmaraş-Afşin-Elbistan, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Erzurum-Aşkale, Manisa-Soma-Işıklar, Bursa-Keles-Harmanalan Bölgeleri seçilmiştir ve bu bölgelerde bulunan kömür rezervlerimizin yer altı kömür gazlaştırma yöntemi ile değerlendirilmesinin mümkün olup olmadığı araştırılmıştır. Bu bölgelerin her biri için, o bölgede kurulacak bir tesisin üreteceği sentetik gazın bileşimi ve ısıl değeri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar için kütle ve enerji denklikleri kullanılmıştır. Bu denklikleri içeren bir algoritma MATLAB yazılımı kullanılarak bir bilgisayar programı haline getirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; prosese enjeksiyonu yapılan su buharı ve oksijen miktarlarının minimum değerleri belirlenerek üretilen sentetik gaz içeriğinin yanıcı bileşikler açısından zenginleştirilmesi ve buna bağlı olarak ısıl değerinin artırılması amaçlanmıştır.

Yer altı kömür gazlaştırma prosesi değişkenleri için uygun değerler belirlendikten sonra; oksijen ve su buharı enjeksiyonları, tesis kapasitesi, yapılması gereken sondaj işlemleri, tesis ve diğer işletme maliyetleri ve tesiste üretilecek sentetik gazın geliri gibi etkenler göz önünde bulundurularak yer altı kömür gazlaştırma prosesinin karlılığı analiz edilmiştir.

FEASIBILITY OF UNDERGROUND COAL GASIFICATION PROCESS FOR TURKISH COAL BEDS AND ANALYSIS OF COST

SUMMARY

Coal can be used to produce energy and chemicals. Many regions of the world have considerable amount of coal reserves. Turkey has considerable of coal reserves but most of these consist of low heating value coals and they can't be utilized economically by conventional mining methods.

Kutahya-Seyitomer, Kutahya-Tuncbilek, Kahramanmaras-Afsin-Elbistan, Manisa-Soma-Eynez, Mugla-Yatagan-Eskihisar, Erzurum-Askale, Bolu-Goynuk, Manisa-Soma-Isiklar, Bursa-Keles-Harmanalan regions are selected for this research by examining MTA Turkiye Lignite Inventory and MTA reports. The selected regions are studied if coal reserves in these regions can be utilized by the underground coal gasification technology. For each of these regions, the gas compositions and heating values of syngas produced by the plants established in these regions are calculated by using the mass and energy equations. An algorithm that includes the mass and energy equations is prepared and this algorithm is became a computer program by using MATLAB software. To increase the combustible compounds in syngas and its heating value; the minimum amounts of the injection of steam and oxygen are determined.

After the minimum values for the variables of underground coal gasification are defined, profitability of the processes are analysed by taking into account injections of steam and oxygen, the capacity of the plant, drilling, cost of operating and income of the produced syngas.

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Yirminci yüzyıl başlarına kadar enerji üretiminde kömür başlıca hammadde iken, 1960'lı yıllardan itibaren dünya enerji tüketiminin büyük bölümü petrole dayalı hale gelmiştir. 1973 ve 1979 yıllarında yaşanan dünya petrol krizleri, yeterli petrol rezervine sahip olmayan ülkelerin petrole olan bağımlılıklarını azaltmak amacıyla bir seri önlemler almalarına neden olmuştur. Bu çerçevede bir yandan rezerv açısından yeterli ve yaygın olan kömürün üretimi artırılırken, diğer yandan hidroelektrik, nükleer, güneş, hidrojen, jeotermal, rüzgar, dalga gibi yeni enerji kaynaklarının araştırılıp geliştirilmesine büyük önem verilmiştir. Düşük ısıl değere sahip, klasik madencilikle ekonomik olarak değerlendirilemeyen kömür rezervleri için gazlaştırma teknolojisi çok uygun bir değerlendirme yöntemidir. Bu bağlamda gazlaştırma teknolojisi günümüzde kömürün temiz kullanımında umut verici bir seçenek olarak düşünülmektedir.

Dünyanın pek çok bölgesinde bolca bulunan kömür, enerji ve kimyasalların üretimi için kullanılabilen bir kaynaktır. 2009 yılı itibariyle Türkiye taşkömürü rezervi 1.3 milyar ton ve linyit rezervi 12.3 milyar tondur [1]. Bu yatakların büyük bir kısmı düşük ısıl değere sahip olduğu için klasik yöntemlerle ekonomik olarak değerlendirilememektedir.

Bu tez çalışmasında; düşük ısıl değere sahip, klasik madencilikle ekonomik olarak değerlendirilemeyen kömür rezervlerimizin yer altı kömür gazlaştırma yöntemi ile değerlendirilmesinin mümkün olup olmadığı araştırılmıştır. Bu araştırma için Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Kahramanmaraş-Afşin-Elbistan, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Erzurum-Aşkale, Manisa-Soma-Işıklar, Bursa-Keles-Harmanalan Bölgeleri seçilmiştir. Yer altı kömür gazlaştırma yöntemine uygun bulunan bölgelerdeki kömür yataklarımızda, her bir bölge için ayrı ayrı, o bölgede kurulacak bir tesisin üreteceği sentetik gazın bileşimi ve ısıl değeri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar için kütle ve enerji denklikleri kullanılmıştır. Bu denklikler bir algoritma haline getirilmiştir ve MATLAB yazılımı kullanılarak bir bilgisayar programı oluşturulmuştur. Tesislerin en kazançlı hale

getirilebilmesi için prosese enjekte edilen su buharı ve oksijen oranı değiştirilerek üretilen sentetik gaz içeriğinin yanıcı bileşikler açısından zenginleştirilmesi ve buna bağlı olarak sentetik gazın ısı değeri artırılması amaçlanmıştır. Bu hesaplamalar sonucu tesislere yapılması gereken minimum su buharı ve oksijen enjeksiyonu miktarları belirlenmiştir. Tesislerin kapasiteleri belirlenirken, tesislerin üreteceği sentetik gazın 100 MW'lık bir elektrik üretim santralinde kullanılacağı temel alınmıştır. Yer altı kömür gazlaştırma prosesi için gerekli olan oksijen ve su buharı enjeksiyonları, tesis kapasitesi, yapılması gereken sondaj işlemleri, tesis ve diğer işletme maliyetleri ve tesiste üretilen sentetik gazın geliri gibi etkenler göz önünde bulundurularak yer altı kömür gazlaştırma prosesinin karlılığı analiz edilmiştir.

2. YER ALTI KÖMÜR GAZLAŞTIRMA PROSESİ

2.1 Yer Altı Kömür Gazlaştırma Prosesinin Tarihsel Gelişimi ve Bugünkü Durumunun Analizi

Kömürün yer altında gazlaştırılması düşüncesi ilk olarak İngiltere’de, 1868 yılında Siemens tarafından ortaya atılmıştır. Siemens’in fikrinden habersiz olarak Rus bilim adamı Mendeleev tarafından yer altı kömür gazlaştırma prosesi için detaylı bir tasarım geliştirilmiş ve yapılan çalışmalar 1880’li ve 1890’lı yıllar boyunca yayınlanmıştır. 1909 yılında Amerikalı bilim adamı Betts, yer altı kömür gazlaştırma prosesi için sunduğu modele patent almıştır. İlk defa 1912 yılında, İngiltere’de Ramsey tarafından saha testleri gerçekleştirilmiştir [2]. Proses üzerine yoğun çalışmalar 1930 yılında Sovyetler Birliği’nde başlatılmıştır. Çalışmalar bir devlet kuruluşu olan Potzengas tarafından yürütülmüş ve nihayet 1950 yılında ticari üretime geçilmiştir. Sovyetler Birliği’nde, 40 yıllık yer altı kömür gazlaştırma testleri süresince içinde yüksek rutubetli linyit, yüksek uçucu madde içeren bitümlü ve yarı antrasit olmak üzere çok miktarda kömür çeşidi gazlaştırılmıştır [3, 4]. 1960’lı yıllarda 5 adet yer altı kömür gazlaştırma tesisi işletilmiş, prosesin araştırma ve geliştirmesinde 3000 insan görev almıştır. Yuzhno Abinsk’de bir yer altı kömür gazlaştırma tesisi ile 1955’ten 1996’ya kadar Kiselevsk kentinde bulunan 14 adet buhar tesisi için sentetik gaz üretimi yapılmıştır. Sovyetler Birliği’nin dağılmasından sonra geriye kalan tek ticari, yer altı kömür gazlaştırma tesisi Özbekistan’da yer alan Angren’dir. Sibiry’a da çok geniş doğalgaz kaynaklarının keşfedilmesi, Rusya’da yer altı kömür gazlaştırma prosesinin gerilemesinin sebebi olarak düşünülmektedir. Özbekistan’daki tesisin hala işletilmesi sayesinde Rusya ve Ukrayna’da yer altı kömür gazlaştırma prosesine yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir [5].

1940 ve 1960 yılları arasında İngiltere, ABD, Japonya, Polonya, Çekoslovakya, Belçika, Monoko ve İtalya’da da çeşitli çalışmalar yapılmış ancak bu çalışmalar genellikle başarısız olmuştur [6-10]. ABD’nin yer altı kömür gazlaştırma teknolojisinin kullanımı ve geliştirilmesindeki başarısızlığı Rus teknolojisi hakkında yeterli bilgiye sahip olmaması, saha uygulaması hakkındaki prensiplerin ve

fizikokimyasal proseslerin tam bilinmemesinden kaynaklanmıştır [11]. Ancak Rus literatürü ile ilgili tercümelerden önemli bilgiler elde edilmiştir [12-24]. ABD Enerji Bakanlığı'nın Wyoming Eyaleti'nde gerçekleştirdiği başarılı saha testleri çalışmaların yoğunlaşmasını ve ticari atılımların yapılmasını sağlamıştır [25, 26]. 1972 ve 1989 yılları arasında ülkenin Wyoming, Teksas, Washington, Virginia gibi çeşitli bölgelerinde çeşitli madenlerde ve jeolojik koşullarda 30'dan fazla deneme yapılmıştır. ABD'deki yer altı kömür gazlaştırma prosesi çalışmalarının önemli bir sonucu, LLNL araştırmacıları tarafından CRIP prosesinin geliştirilmesidir. Bu teknik Rocky Mountain 1 denemesinde kullanılmıştır. 1987 Kasım'ı ile 1988 Şubat'ı arasında Wyoming'de yapılan bu deneme ABD'nin en başarılı denemesidir. CRIP yöntemiyle beraber, başka bir bağlantı teknolojisi olan ELW tekniği de test edilmiştir. Buna ek olarak analitik ve numerik modeller de geliştirilmiştir. 1980'lerin başlarında petrol ve gaz fiyatlarının düşmesi nedeniyle ABD'de büyük ölçekli yer altı kömür gazlaştırma prosesleri sürdürülmemiştir. Geçtiğimiz yıllarda enerji ihtiyacının artması yer altı kömür gazlaştırma teknolojisine olan ilgiyi canlandırmıştır.

İngiltere'de, yer altı kömür gazlaştırma teknolojisi, DTI tarafından geleceğin potansiyel teknolojilerinden biri olarak belirlenmiştir ve 2000 yılının Haziran ayında ön fizibilite çalışmasının ardından yer altı kömür gazlaştırma denemesi için saha seçimi çalışmaları başlatılmıştır.

Polonya ve diğer pek çok Avrupa Birliği üyesi ülkelerde Avrupa Birliği için HUGE projesi yürütülmektedir.

Çin'in yer altı kömür gazlaştırma alanında çok sayıda patente sahip olması, ülkenin bu alanda devam eden en büyük programa sahip olduğunu göstermektedir. 1980'li yılların sonlarından itibaren pek çok deneme yapılmıştır ve halen yapılmaktadır. Wunuushan kömür madeninde sürdürülen deneylerin sonuçları yer altı kömür gazlaştırma prosesi ile büyük ölçekli hidrojen üretiminin uygun olduğunu göstermektedir [5].

Günümüzde Cougar Energy, Linc Energy ve Carbon Energy Ltd. gibi Avustralyalı şirketler tarafından ticari projeler geliştirilmektedir.

Son günlerde Kanadalı bir şirket olan Ergo Exergy'nin uzmanları tarafından Avustralya'da bir deneme tamamlanmıştır ve Güney Afrika'da da bir yer altı kömür gazlaştırma tesisi üzerine çalışmalar sürdürülmektedir [5, 27, 28].

1996 yılında Cougar Energy ve Ergo Exergy'nin iş birliği ile Güneydoğu Queensland'de Chinchilla yer altı kömür gazlaştırma denemesi başlatılmıştır [5]. Cougar Energy tarafından Queensland'de Kingaroy bölgesinde kaynak belirlemesi tamamlanmış, 400 MW'lık kombine çevrim güç santrali projesi için bölge karakterizasyonu başlatılmıştır.

2006 yılının Aralık ayında Linc Energy, Moskova'daki Skochinsky Maden Enstitüsü ve Bilimsel-Teknik Maden Ortaklığı arasında bir anlaşma imzalamıştır. Linc Energy'nin planı Rusya ve Özbekistan'ın uzmanlığından faydalanarak yer altı kömür gazlaştırma prosesinin Avustralya'da yaygınlaştırmaktır [5, 29].

Carbon Energy tarafından Queensland, Surat Basın'de Bloodwood Creek'de büyük ölçekli bir deneme planlanmaktadır [5, 30]. Ticari geliştirmelerin yanı sıra CSIRO, Queensland ve Yeni Güney Galler Üniversiteleri'nde yer altı kömür gazlaştırma prosesinin modellenmesine yönelik pek çok araştırma projesi yürütülmektedir.

Güney Afrika'da Eskom tarafından 2001 yılından beri Majuba güç santralinde yer altı kömür gazlaştırma prosesi araştırması yapılmaktadır. Hindistan'da ONGC, Skochinsky Maden Enstitüsü uzmanlarının tavsiyelerinden faydalanarak bir pilot proje yapımı planlamaktadır [5]. Japonya'da ise Tokyo Üniversitesi ve kömür firmaları tarafından küçük ölçekli bir yer altı kömür gazlaştırma tesisine yönelik teknik ve ekonomik çalışmalar yürütülmektedir ve yakın zamanda bir deneme planlanmaktadır. Bu planla ilgili fizibilite çalışması yapılmıştır [31].

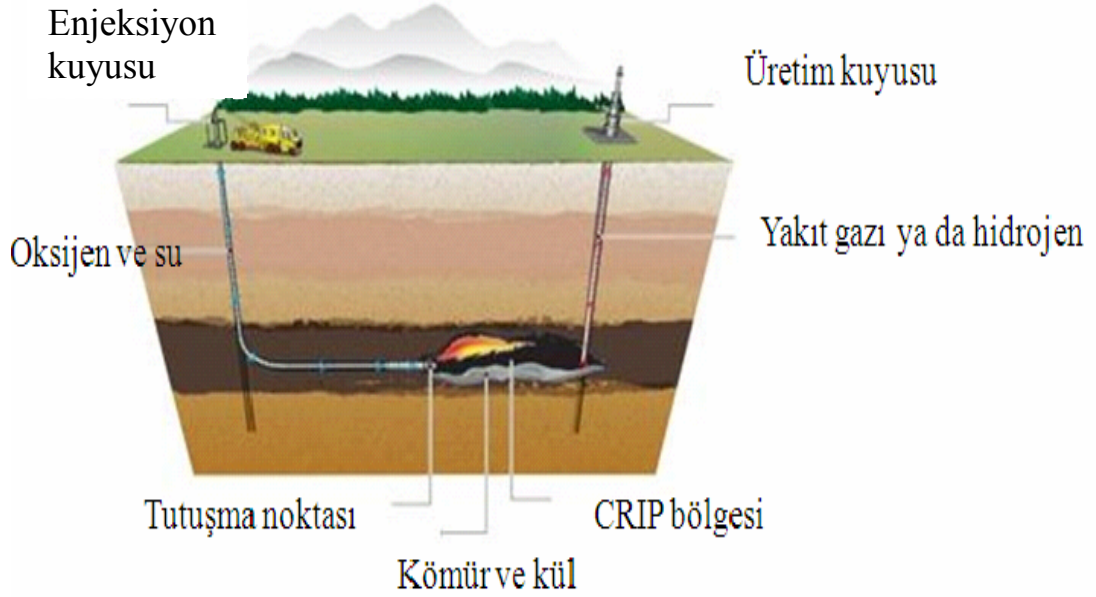
Türkiye'de de yerli kaynakları devreye almak ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla yer altı kömür gazlaştırma teknolojisi ile ilgili araştırmalar başlatılmıştır. Yer Altı Kömür Gazlaştırma Projesi için TKİ ve LLNL arasında Şubat 2011'de sözleşme imzalanmıştır. Sözleşme Türkiye linyit rezervlerinin yer altı kömür gazlaştırması için uygunluğunun araştırılması ve pilot sahaların seçimini kapsamaktadır. Bunun için TKİ'ye ait bazı sahaların bilgileri LLNL'ye gönderilmiştir. ABD 'den gelecek sonuçlara göre projenin genişletilmesi planlanmaktadır [32].

2.2 Yer Altı Kömür Gazlaştırma Prosesi İle İlgili Temel İlkeler

Yer altı kömür gazlaştırması, klasik madencilik yöntemleriyle ekonomik olarak değerlendirilemeyen bitümlü, subbitümlü veya linyit tipindeki kömür ve bitümlü şist rezervleri için alternatif enerji kazanma prosesidir. Prosesin amacı kömürün sahip olduğu enerjiyi klasik madencilik tekniklerini kullanmadan, aynı zamanda sağlık, emniyet ve çevre problemlerini ortadan kaldırarak yanabilir bir gaz ürüne çevirmektir. Gazlaştırma esnasında kömür yatağının kendisi reaktör görevi görmekte ve burada önce kömürün uçucu maddesi giderilmekte, daha sonra yakılarak gazlaştırılmaktadır [11].

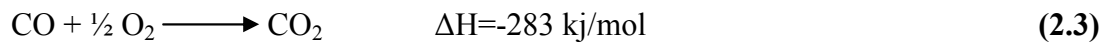
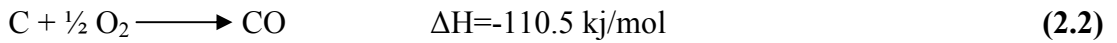
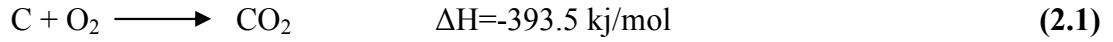
Kömür gazlaştırma prosesi ile karbon monoksit (CO), hidrojen (H₂), karbondioksit (CO₂), su buharı, metan (CH₄), etan (C₂H₆), daha yüksek moleküllü hidrokarbon karışımlar, az miktarda hidrojen sülfür (H₂S) ve diğer bileşenlerden oluşan; yanabilir bir gaz olan sentetik gaz üretilir. Bu gaz elektrik, sıvı hidrokarbon yakıtlar, doğal gaz ikameleri ve değerli kimyasalların üretiminde kullanılabilir.

Kömür gazlaştırma prosesi iki ana grupta sınıflandırılır. Ticari olarak uygulanan birinci teknolojiye gaz ürün kömürden yüzey gazlaştırıcılar kullanılarak üretilir. Bu proseste kömür klasik madencilikle bulunduğu rezervden çıkartılır, ön işlemlerden geçirilir ve gazlaştırma tesislerinde gazlaştırılır. Bu teknoloji genellikle gazlaştırıcılar ve büyük ölçekte kömür depolama imkanı veren depoların bulunduğu özel tesislerin yapılmasını gerektirir. Bu sebeple bu teknolojinin yatırım tutarı çok yüksektir. İkinci yöntem ise kömürün bulunduğu yerde, yeryüzüne taşımadan gazlaştırıldığı tekniktir ve yer altı gazlaştırması (In situ veya Underground Coal Gasification) olarak adlandırılır. Bu yöntemde kömür madeni yüzeyinden enjeksiyon ve üretim kuyuları açılır, bu kuyular birbirlerine bağlanır. Hava veya oksijen enjeksiyonu yapılarak kömür, propan tipi veya başka tür yakıcılarla kontrollü olarak ateşlenir. Oluşan sıcak gazlar, kömür tabakası içinde üretim kuyusuna doğru ilerlemeye zorlanır. Gazlaştırma prosesinde kömür madeninde yakma sonucu oluşan oyuğa akan yer altı suyundan faydalanılır. Üretilen sentetik gaz üretim kuyuları yoluyla yeryüzüne çıkartılır. Ön temizlik kademesinden geçirilen gaz, maksadına göre işleme tabi tutulur[5, 33]. Şekil 2.1’de yer altı kömür gazlaştırma prosesi gösterilmektedir.

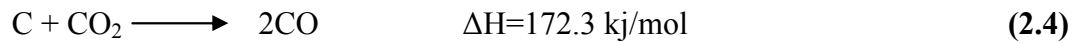


Şekil 2.1 : Yer altı kömür gazlaştırma [5, 33].

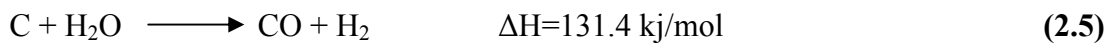
Kömür gazlaştırma prosesini oluşturan 2 temel tepkime, yükseltgenme ve indirgenme tepkimeleridir. Enjekte edilen oksijenin kömürle teması sonucu hemen hemen tüm oksijen tükenir. Yükseltgenme tepkimeleri mümkün olduğunca kısa tutulmalı ve tepkimelerin olduğu bölge enjeksiyon noktasından yanal olarak ayrılmalıdır.



Oluşan bu yükseltgenme tepkimeleri ekzotermik tepkimelerdir. Bu tepkimeler sonucu oluşan sıcak gaz yükseltgenme bölgesinden ayrılır ve indirgeme bölgesine ulaşır.



Eğer reaksiyona su buharı enjeksiyonu yapılırsa; H_2 gazı da oluşur.



Bu tepkimeler endotermik, ısı alan tepkimelerdir. Bu sebeple yer altı suyu ve su buharı enjeksiyonu, yer altı kömür gazlaştırma prosesi için önemli parametrelerdir [34].

2.3 Su Girişİ

Sovyetler Birliği'nin büyük ölçekli yer altı kömür gazlaştırma prosesleri aşırı su miktarının proses için büyük bir sorun olduğunu göstermektedir. Sovyetler Birliği yer altı kömür gazlaştırma prosesinden üretilen gazın ısıl değerine olumsuz etki eden, yer altı suyunun uzaklaştırılması için kuyular açmıştır.

Yer altı kömür gazlaştırma prosesi süresince oluşan tepkimeler için su gerekli bir parametredir. Ancak kömür yatağına enjekte edilen su miktarı ile oksijen miktarları oranı optimum bir değerde olmalıdır. Prosese enjekte edilen su ve oksijenin düşük oranlarında CO ve H₂ üretimini destekleyecek bir etki bulunmamaktadır. Su ve oksijen oranının yüksek değerlerinde ise suyun buharlaşması sonucu; endotermik, gazlaştırma reaksiyonlarından ısı çalması sebebiyle, üretilen sentetik gazın ısıl değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bu nedenle su enjeksiyonunun proses üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri değerlendirilmelidir [33,35]. Isıl değeri yüksek, yanıcı bileşenler açısından zengin bir gaz üretmek için oksijen ve su enjeksiyonları mümkün olduğunca az olmalıdır.

2.4 Kömür Yatağının Ön Hazırlık İşlemi

Kömür yatağının doğal geçirgenliği hava veya oksijen enjeksiyonlarının ve gaz ürünlerin geçişini sağlayacak yeterlilikte değildir. Bu sebeple gazlaştırma işleminde en önemli ve en kritik adım, enjeksiyon ve üretim kuyuları arasındaki kömür yatağının doğal geçirgenliğini arttırmaktır. Ayrıca, kömürün gazlaştırılması esnasında çıkan su buharı ve yüksek moleküllü tarlar soğuk bölgeye doğru ilerlediğinden burada yoğunlaşmaya başlarlar ve yatağın geçirgenliğini daha da düşürürler. Bu nedenle gazlaştırma prosesine başlamadan önce, iki kuyu arasında oluşturulan poröz bir kanalla bağlantı kurularak yatağın geçirgenliği artırılır. Yatay sondaj, geri yakma, suyla parçalama, elektriksel bağlantı ve patlatıcılarla suni yarıklar oluşturmak kömür yatağı geçirgenliğini arttırmak için kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemlerin birbirlerine göre üstün ve sakıncalı yönleri vardır [33].

2.5 Geri Yakma

Geri yakma prosesinde yakma cephesi havanın akışına ters yönde ilerler. Yakma cephesi hızı ileri yakma prosesine göre daha yüksektir. Geri yakma, sadece bir

karbonizasyon işlemidir ve bu yöntemle kömür gazlaştırılmaz. Proses sıcaklığı 600-650 °C civarındadır. Bu sıcaklık ileri yakma prosesinin sıcaklığı ile kıyaslandığında çok düşüktür. Bu teknik yer altı kömür gazlaştırma prosesinin ilk adımı olarak uygulanır, çünkü maden yatağının geçirgenliğini arttırmaktadır.

2.6 İleri Yakma

Enjeksiyon ve üretim kuyuları arasındaki bağlantı kurulduktan sonra gazlaştırma işleminin gerçekleştirilmesi ileri yakma tekniği ile yapılmaktadır. Geri yakma prosesine karşılık ileri yakma prosesinde yakma cephesi havanın akış yönüyle aynı yöndedir. İleri yakma tam bir gazlaştırma işlemidir ve kömür yatağının bir kısmında tamamen yanma sağlanmaktadır. Ulaşılan maksimum sıcaklık 1100-1200 °C aralığındadır.

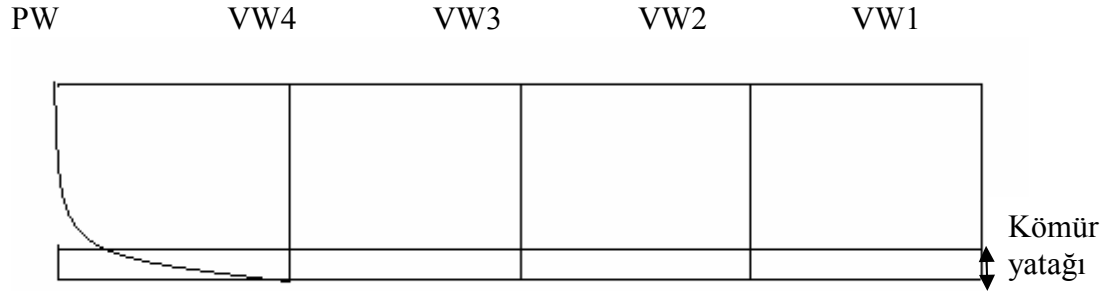
2.7 Bağlantılı Düşey Kuyular Prosesi (ELW)

İki kuyu arasında bağlantıyı sağlamak üzere üretim kuyusundan hava veya oksijen enjeksiyonu yapılarak kömür tutuşturulur. Daha sonra prosese enjekte edilmiş olan hava veya oksijen akımının yönü değiştirilerek, bu akımın kömür yatağına ulaşması sağlanır. Kömür yatağının tamamı yanmayacak şekilde düşük sıcaklıkta karbonizasyon işlemi gerçekleşir. Yaklaşık 1 m çapında bir veya birkaç dar bağlantı yolu meydana gelir ve yakma cephesi enjeksiyon kuyusuna ulaşmış olur. Bu geri bağlantının sağlanması demektir. Kuyular arasındaki kömür yatağının bu teknikle geçirgenliği arttırıldıktan sonra; enjeksiyon kuyusundan aşırı miktarda hava veya oksijen verilerek, yakma cephesinin yön değiştirmesi sağlanır. Bunun sonucunda ileri yakma tekniği ile kömür yatağı yakılarak, yakma cephesi kömür yatağı kalınlığınca ilerler. Üretim kuyusuna ulaştığında gazlaştırma prosesi sonlanmış olur. Bu teknik Sovyetler Birliği'nde ticari ölçekte uygulanmıştır [33].

2.8 Kontrollü Olarak Hareket Ettirilen Ateşleme Noktası Prosesi (CRIP)

Modern CRIP tekniği; proses kuyularını açmak için geleneksel ve yatay sondaj tekniklerini kullanır. Proses kuyuları, kömür yatağına ulaşılan kadar düşey bir sondaj ve kömür yatağı boyunca üretim kuyusunu kesen yatay bir sondajdan oluşur. Bu teknikle ateşleme noktası kömür yatağı boyunca hareket ettirilir ve proses süresince kömürün yanmayan kısımları tepkimeye sokularak üretilen sentetik gazın

kalitesinin arttırılması amaçlanır [36]. Şekil 2.2’de ELW ve CRIP proseslerinin sondaj düzenleri gösterilmektedir.



ELW: PW-VW1-VW2-VW3-VW4

CRIP: PW-VW1

Şekil 2.2 : ELW ve CRIP prosesleri için sondajların düzeni [31].

2.9 Proses Değişkenleri

Yer altı kömür gazlaştırma prosesinden elde edilecek gaz ürünün bileşimi, dolayısıyla ısı değeri ve üretim miktarı;

- Kömür cinsi, tabaka kalınlığı, kömür yatağı derinliği, geçirgenliği, kömür içindeki yabancı maddeler ve yarıklar
- Enjeksiyon gazı bileşimi (Hava, saf oksijen veya buhar-oksijen karışımı)
- Enjeksiyon debisi
- Basınç
- Su girişi

Kuyu aralığı gibi değişkenlere bağlıdır [33].

Sovyetler Birliği’nde yapılan yer altı kömür gazlaştırma prosesine yönelik araştırmalara göre hava enjeksiyonuna dayalı yer altı kömür gazlaştırma prosesinde üretilen gazın ısı değeri $4.6-5.0 \text{ MJ/m}^3$ ile sınırlıdır. Ancak üretilen gazın ısı değerinin yükseltilmesi oksijenle zenginleştirilmiş hava enjeksiyonu yapılarak mümkündür. Bu durum Ukrayna’da, Lisichansk’daki yer altı kömür gazlaştırma tesisinde kanıtlanmıştır. Su buharı ve oksijen enjeksiyonunun kullanımı yakıt gazın ısı değerini $10-12 \text{ MJ/m}^3$ ’e yükseltebilir. Oksijen kullanımı maliyeti yükseltmesine rağmen, teknik ve ekonomik olarak uygundur.

Yakıt gazın ısıl değerine etki eden bir diğer faktör ise kömür yatağı kalınlığıdır. Kömür yatağı kalınlığı azaldıkça çevreye olan ısı kayıplarının artması sebebiyle üretilen gazın ısıl değeri de düşebilir [5].

2.10 Yer Altı Kömür Gazlaştırma Prosesinin Üstünlükleri ve Sakıncaları

Çok derinde bulunan kömür rezervleri, özellikle düşük ısıl değerli olmaları ve ince damarlardan oluşmaları durumunda ekonomik olmayan yataklar olarak değerlendirilirler ve klasik madencilik yöntemleri ile değerlendirilemezler. Ayrıca yüksek kül, kükürt ve nem içerikleri bu kömürlerin enerji kaynağı olarak kullanılmalarına engeldir. Yer altı kömür gazlaştırma prosesi, ekonomik olmayan bu tür kömür yataklarına uygulanabilir. Bu proses sonucunda üretilen gazdan kükürdün uzaklaştırılması daha kolaydır, çünkü yüzeye çıkan gaz ürün içindeki kükürdün pek çoğu SO_2 'den ziyade H_2S yapısındadır. H_2S gazının, gaz ürün yakılmadan önce uzaklaştırılması daha ucuz ve kolaydır. Bu sebeple bu yöntem kömürün doğrudan yakılması ile kıyaslandığında hava kirliliğine yapacağı olumsuz etki çok daha azdır [33]. Yer altı kömür gazlaştırma prosesinin yüzey kömür gazlaştırma prosesine göre de pek çok üstün tarafı vardır. Yer altı kömür gazlaştırma prosesinde gazlaştırıcıların kullanılmaması sebebiyle yatırım maliyeti daha düşüktür. Bu süreçte kömür ön işlemlere maruz kalmaz ve külün yer altında kalmasından dolayı katı atık yönetimini gerektirmez. Yer altı kömür madenciliği için yatırıma ve insan gücüne ihtiyaç duyulmamaktadır. Çevreye olumsuz etkileri minimumdur. Kömürün taşınmasıyla ilgili giderler yoktur. Yer altında hammadde ve suyun direkt kullanımı mümkündür ve bu sebeple bu süreçteki su tüketimi yüzey gazlaştırma yöntemine göre çok daha azdır. Bunlara ek olarak proses sırasında oluşan oyuk karbon dioksitin (CO_2) tecridi için kullanılabilir [5, 29]. Ancak en önemli üstünlüğü yer altı kömür gazlaştırma tekniği uygulandığında ısıl verimlilik, %75-90 arasında değişirken; yüzey gazlaştırma tekniğinde bu değer %70 civarındadır.

Ayrıca bu yöntemle üretilen senetetik gaz düşük ısıl değerli olduğundan; bu gazın uzun mesafelere taşınması ekonomik olmayabilir. Bu sebeple gazın üretildiği sahaya yakın bölgelerde tüketilmesi daha ekonomiktir [4, 37].

Yer altı şartları ve orada olup bitenler tam olarak saptanmış olsa bile yine de bir belirsizlik ortaya çıkabilir. Proses yer altında gerçekleşeceği ve tüm atıklar orada kalacağı için yer altı suyunun kirlenmesi söz konusu olabilir.

Kömürün yer altında gazlaştırılması sonucunda yüzeyde çöküntülerin meydana gelme olasılığı bulunmaktadır. Çökme, yer altında bir kütlenin uzaklaştırılması sonucu yeryüzü tarafından yapılan yeni düzenleme olarak tanımlanabilir. Kömür yatağının gazlaştırılması ile yer altında oluşan boşluk nedeniyle çökme meydana gelebilir. Böyle bir çöküntü hem çevreye hemde yer altı kömür gazlaştırma prosesinin başarısına zarar verir. Bu nedenle yer altı kömür gazlaştırma prosesi için önemli bir problemdir. Çökme olayının çevre üzerindeki olumsuz etkileri, yüzeye gaz sızması ve sızan gazların komşu aküferleri kirletmesidir. Ayrıca yüzeyde kullanılan ekipmanlar ile enjeksiyon ve ürün kuyularını tahrip ederek, sızan gazlar nedeniyle komşu kömür yataklarının tutuşturarak, sisteme su girişini arttırarak veya azaltarak yer altı kömür gazlaştırma prosesinin işleyişinin bozulmasına neden olabilir [33]. Şekil 2.3’de çökme olayı gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : Çökme olayı (subsidence).

3. TÜRKİYE’DEKİ YER ALTI KÖMÜR GAZLAŞTIRMA PROSESİNE UYGUN KÖMÜR YATAKLARININ SEÇİLMESİ

Türkiye’de bulunan yaklaşık 14 milyar ton kömür rezervinin büyük bir kısmı düşük ısı değere sahip olduğu için klasik yöntemlerle ekonomik olarak değerlendirilememektedir [1]. Düşük ısı değere sahip, klasik madencilikle ekonomik olarak değerlendirilemeyen kömür rezervlerini değerlendirebilmek için gazlaştırma teknolojisi uygun bir seçenektir. Bu tez çalışmasının bu bölümünde, Türkiye’de yer altı kömür gazlaştırma teknolojisine uygun olan kömür yatakları belirlenecektir.

3.1 Yer Altı Kömür Gazlaştırma İçin Yer Seçimi ve Değerlendirilmesi

Yer altı kömür gazlaştırma prosesi için saha seçimiyle ilgili kriterler jeolojik ve jeolojik olmayan etkenler olarak iki bölümde toplanır. Jeolojik etkenler, kömürün özellikleri ve kömür yatağının jeolojisini kapsar. Jeolojik olmayan etkenler ise kömür rezervinin miktarı, pazar durumu, yer kullanımı ve diğer faktörleri içermektedir.

3.1.1 Kömür sınıfı

Yer altı kömür gazlaştırma prosesi antrasitten linyite hemen hemen bütün kömür çeşitlerine uygulanabilir. Ancak koklaşmayan kömür çeşidi en çok tercih edilen kömür çeşididir [31].

3.1.2 Kömürün fiziksel özellikleri

Kömürün rutubet, sabit karbon, kül, uçucu madde, hidrojen, oksijen, karbon, kükürt, azot gibi element içerikleri, kömürün ısı değeri ve kömür içeriğindeki eser elementler gazlaştırma tepkimesi için önemli etkenlerdir. Kömürün içindeki eser elementler katalizör etkisi gösterdikleri için önem kazanmaktadırlar.

Düşük ısı değerli kömürler yüksek uçucu madde içermektedirler. Geçirgenlikleri fazla olan bu kömürler yer altı kömür gazlaştırma için daha uygundur. Ayrıca düşük

ısı değerli kömür yatakları, düşük sıcaklıklarda daha yüksek gazlaştırma hızına sahiptirler. Düşük sıcaklıkta gazlaştırma ise ısı kayıplarını azaltır.

3.1.3 Kömürün dayanım özellikleri

Kömürün dayanım özellikleri çekme ve şişme davranımı içerir. Çekme özelliği gösteren kömürler piroliz esnasında geçirgenlikleri artacağı için yer altı kömür gazlaştırma işleminde tercih edilir.

3.1.4 Kömür yatağı özellikleri

Yer altı kömür gazlaştırma yönteminin uygulanacağı kömür yatağının; yatak derinliği, 50-1500 m arasında; örtü kalınlığı, en fazla 900 m; kömür yatağı kalınlığı en az 2 m olmalıdır. Kömür yatağı eğimiyle ilgili bir kısıtlama bulunmamaktadır. Yatak eğimine bağlı olarak çeşitli gazlaştırma yöntemleri arasından uygun olan gazlaştırma yöntemi seçilebilir. Gazlaştırma bloklarının alanı yatak derinliğine ve gazlaştırma yöntemine bağlıdır. Bu alan 1 km x 1 km'lik bir alandan daha büyük olmalıdır. Bunlara ek olarak; kömür tabakası içinde şist veya benzeri yabancı bantlar istenmeyen bir durumdur [31, 33].

3.1.5 Bölge özellikleri

Bölgedeki kayalar gazlaştırma sırasında su buharını sızdırmayan bir tabaka olarak davranmalıdır. Bu kayalar küçük mağaralı bir karakterde olmalıdır.

Malzemelerin bölgeye taşınması için yolu bulunan, düzlükte yer alan çalışma alanları tercih edilir. Ayrıca çalışılan saha yakınında üretilen gazı tüketecek bir yerleşim biriminin de olması istenebilir.

Kömür yatağındaki veya kömür yatağının çevresindeki yer altı suyu hem gazlaştırma tepkimesi hem de çevre kirliliğine etkileri bakımından büyük öneme sahiptir. Bu sebeple yer altı kömür gazlaştırma prosesi için yer altı suyu bakımından zengin olmayan bölgeler tercih edilir [31].

3.2 Yer Altı Kömür Gazlaştırma İçin Kömür Yatağı Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Bir bölgenin yer altı kömür gazlaştırma prosesine uygunluğunu değerlendirmek için göz önüne alınması gereken en önemli parametreler; kömür yatağının derinliği, kömür yatağının kalınlığı, kömür sınıfı ve bölgeye ulaşımıdır. Ayrıca proses sonucu üretilen sentetik gazın ısı değeri düşük olması sebebiyle, taşıma işlemi olmadan bölgede değerlendirilebilmesinin mümkün olması gerekmektedir.

MTA Türkiye Linyit Envanteri ve MTA raporları incelenerek; ön değerlendirmelerin yapıldığı Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Kahramanmaraş-Afşin-Elbistan, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Erzurum-Aşkale, Manisa-Soma-Işıklar ve Bursa-Keles-Harmanalan Bölgeleri'nde yer alan; önemli kömür rezervlerine sahip maden yataklarının çeşitli kaynaklardan edinilmiş özelliklerine Çizelge 3.1'de yer verilmektedir [38-47]. Yer altı kömür gazlaştırma prosesi için gerekli özellikler; kömür yatağı derinliklerinin; 50 ile 1500 m arasında olması, örtü kalınlıklarının; 900 m'yi aşmaması, kömür yatağı kalınlıklarının; 2 m'den az olmamasıdır. Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Manisa-Soma-Işıklar ve Bursa-Keles-Harmanalan bölgeleri bu şartlar bakımından değerlendirildiğinde yer altı kömür gazlaştırma prosesi için uygun bulunmuşlardır. Yer altı kömür gazlaştırma prosesi hemen hemen tüm kömür çeşitlerine uygulanabildiği için seçilen bu bölgelerimizde bulunan taş kömürü ve linyit yatakları da bu proses için uygundur. Ayrıca seçilen bölgeler coğrafi özellikleri, test alanı bulma kolaylıkları ve ulaşımı bakımından da değerlendirilmiştir. Bu şartlar bakımından da yer altı kömür gazlaştırma prosesine uygun bulunmuşlardır.

Erzurum-Aşkale Sahası kömür yatağı kalınlığının 2m'den az olması sebebiyle tercih edilmemiştir. Çünkü kömür yatağı kalınlığı yakıt gazın ısı değerine etki eden önemli bir diğer faktördür. Kömür yatağı kalınlığı azaldıkça çevreye olan ısı kayıpları sebebiyle üretilen gazın ısı değeri de düşebilir [5].

Kahramanmaraş-Afşin-Elbistan Sahası'ndaki kömür rezervlerinin ısı değeri çok düşüktür. Yer altı kömür gazlaştırma prosesi özellikle düşük ısı değerli kömürlere uygulanmasına rağmen; bu denli düşük ısı değerli bir kömür, ekonomik fayda sağlamaya yetecek ölçüde ısı değere sahip sentetik gaz üretimine müsait olmadığı için bu kömür yatakları prosese uygun bulunmamıştır.

Sonuç olarak; n değerlendirmelerin yapıldığı kömür rezervlerimize ait, MTA Türkiye Linyit Envanteri ve MTA raporlarından elde edilen veriler, yer altı kömür gazlaştırma prosesi için gerekli olan özellikler göz önünde bulundurularak değerlendirildiğinde; Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Manisa-Soma-Işıklar ve Bursa-Keles-Harmanalan bölgeleri proses için uygun bulunmuştur. Erzurum-Aşkale ve Kahramanmaraş-Afşin-Elbistan bölgeleri ise proses için uygun bulunmamıştır.

Çizelge 3.1 : Bazı bölgelerdeki maden yataklarımızın özellikleri.

Bölge	Kütahya- Seyitömer	Kütahya- Tunçbilek	Afşin- Elbistan	Manisa- Eynez	Muğla- Eskihisar	Bolu- Göynük	Erzurum- Aşkale	Manisa- Işıklar	Bursa- Keles
Kömür Sınıfı	Linyit	Taşkömür	Linyit	Taşkömür	Linyit	Linyit	Taşkömür	Taşkömür	Taşkömür[38]
Görünür Rezerv (milyon ton)	205	280	2526	120	119	19	0.9	105	43
Tahmini Rezerv (milyon ton)	24	47	12	126	99	20	0.4	71	34 [39]
Rutubet %	35.2	15.1	48.8	13.3	40.7	27.5	3.77	14.0	40.9
Kül %	10.7	19.7	23.2	11.8	10.2	33.1	36.8	14.3	9.1
Kükürt %	1.5	2.1	1.7	0.7	2.6	1.4	3.28	0.6	2.7
Sabit Karbon %	26.7	35.6	8.14	39.9	21.5	17.6	31.7	35.0	26.2
Uçucu Madde %	27.4	29.6	19.9	35.0	27.6	21.8	27.7	36.8	23.7
Kül Erime Sıcaklığı (°C)	1170	1287	1155	1150	1280	1205	1290	1305	1170
Koklaştırma Özelliği	Siyah toz halinde	Siyah toz halinde	Siyah toz halinde	Siyah toz halinde	Siyah toz halinde	Siyah toz halinde	Siyah toz halinde	Siyah toz halinde	Siyah toz halinde
Alt Isıl Değeri (kcal/kg)	1666	2818	1091	2515	1309	979	4465	2517	2986
Üst Isıl Değeri (kcal/kg)	3226	4580	1454	4511	2727	2216	4674	4428	3385 [38]
Yatak Derinlik (m)									
Min.	Mostra	25.5	10.0	21.8	3.0	Mostra	Mostra	22.9	Mostra
Genel	-	295.0	50.0	50.0	42.0	100.0	300.0	167.7	50.0
Max.	150.0	568.1	150.0	498.9	109.0	209.0	374.0	460.0	160.0
Yatak Kalınlık (m)									
Min.	1.5	0.9	4.0	0.5	1.2	-	0.5	1.9	8.0
Genel	15.0	6.5	39.6	7.2	10.2	5.1	1.2	10.2	20.0
Max.	36.8	13.8	58.0	15.7	18.2	10.5	1.6	26.6	39.0
Kömür Yayılım Alanı (km ²)	35.0	14.0	120.0	16.0	9.0	8.0	1.4	50.0	3.0 [39]
Coğrafi Özellik									
Rakım (m)	1300 [40]	860 [41]	1150 [42]	175 [43]	950 [44]	720 [45]	1650 [46]	175 [43]	1050 [47]
Bölgeye Ulaşım	Asfalt yol	Asfalt yol	Asfalt yol	Asfalt yol	Asfalt yol	Asfalt yol	Asfalt yol	Asfalt yol	Asfalt yol

4. YER ALTI KÖMÜR GAZLAŞTIRMA PROSESİ SONUCUNDA ÜRETİLECEK SENTETİK GAZLARIN BİLEŞİMLERİNİN ve ISIL DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

Yer altı kömür gazlaştırma yönteminin uygulanabilir olduğu Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Manisa-Soma-Işıklar ve Bursa-Keles-Harmanalan Bölgeleri'ndeki kömür yataklarımızda, o bölgelerde kurulacak tesislerin üreteceği sentetik gazın bileşimleri ve ısı değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar için kütle ve enerji denklileri kullanılmıştır. Bu denkliler bir algoritma haline getirilmiştir ve MATLAB yazılımı kullanılarak bir bilgisayar programı oluşturulmuştur. Bu algoritma Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Üretilen sentetik gazın, tesisi en kazançlı hale getirebilmesi için içeriğinin yanıcı bileşimler açısından zenginleştirilmesi ve buna bağlı olarak ısı değerinin artırılması amaçlanmıştır. Bu sebeple su buharı ve oksijen enjeksiyonlarının minimum akış hızları, yapılan analizler sonucu belirlenmiştir.

4.1 Kütle ve Enerji Denklileri

Yer altı kömür gazlaştırma prosesi tasarımı yapılırken Rocky Mountain 1 denemesinde elde edilen sonuçlar temel alınmıştır. RM1 için; kömür yatağı kalınlığı 10 m, kömür yatağı derinliği 100 m, gazlaştırma hızı 100 ton/gün, oksijen gazı enjeksiyonunun akış hızı 21.5 Nm³/dak. ve su buharı enjeksiyonunun akış hızı 43 Nm³/dak.'dır [31].

Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Manisa-Soma-Işıklar ve Bursa-Keles-Harmanalan Bölgeleri'nin her biri için gazlaştırma hızı 70 ton/gün olarak belirlenmiştir. Gazlaştırma hızı belirlenirken, RM1 denemesinin yapıldığı kömür sahası ile bizim kömür sahalarımızın kömür yatağı kalınlıkları, kömür rezervleri karşılaştırılmıştır. Su buharı ve oksijen enjeksiyonlarının minimum akış hızları, yapılan hesaplamalar analiz edilerek belirlenmiştir. 70 ton/gün kömür gazlaştırma kapasitesinde birim değişiklikleri yapıldığında;

$$\frac{70 \text{ ton}}{\text{gün}} \times \frac{1 \text{ gün}}{24 \text{ saat}} \times \frac{1 \text{ saat}}{60 \text{ dak.}} \times \frac{1 \text{ dak.}}{60 \text{ san.}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 0.81 \frac{\text{kg}}{\text{san.}} \quad (4.1)$$

sonucu elde edilir.

Oksijen ve su buharının ideal gaz kanununa uydukları varsayılarak;

$$PxV = nxRiT \quad (4.2)$$

(4.2)'ye göre molar akış hızları hesaplanmıştır. Bu denklemde P , gazın basıncını; V , gazın hacimsel akış hızını; n , gazın molar akış hızını; T , gazın sıcaklığını ve R , gaz sabitini ifade eder.

$$R = 82.057 \times 10^{-3} \frac{\text{atm} \times \text{m}^3}{\text{kgmol} \times \text{K}}$$

Oksijenin molar kütesinin 32 kg/kmol ve su buharının molar kütesinin 18 kg/kmol olduğu temeline dayanılarak oksijen ve su buharı enjeksiyonlarının kütleli akış hızları hesaplanmıştır

c, h, o, b, a, s, n harfleri sırasıyla gazlaştırılacak kömürün içeriğindeki karbon, hidrojen, oksijen, su buharı, kül, kükürt ve azot bileşenlerini ifade etmektedir.

$$c = \frac{\text{kg karbon}}{\text{kg kömür}} \quad (4.3)$$

$$h = \frac{\text{kg hidrojen}}{\text{kg kömür}} \quad (4.4)$$

$$o = \frac{\text{kg oksijen}}{\text{kg kömür}} \quad (4.5)$$

$$b = \frac{\text{kg su buharı}}{\text{kg kömür}} \quad (4.6)$$

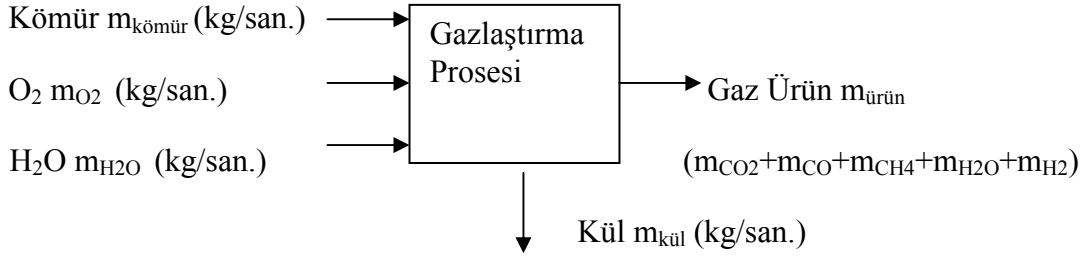
$$a = \frac{\text{kg kül}}{\text{kg kömür}} \quad (4.7)$$

$$s = \frac{\text{kg kükürt}}{\text{kg kömür}} \quad (4.8)$$

$$n = \frac{\text{kg azot}}{\text{kg kömür}} \quad (4.9)$$

Yer altı kömür gazlaştırma prosesi için yatışkın hal kabulü yapılmaktadır. Kükürt ve azot değerleri toplamı %1-4'ü geçmediğinden hesaplamalarda ihmal edilmiştir. Proseste gazlaştırma verimi maksimum olduğu durumda; prosesten çıkan kül miktarı

kömürün içeriğinde bulunan kül miktarı kadardır. Proseste gazlaştırma veriminin maksimum olduğu varsayılmaktadır.



Şekil 4.1 : Gazlaştırma prosesine giren hammaddeler, prosesten çıkan ürünler ve atıklar.

Şekil 4.1’de gösterilen gazlaştırma prosesinde; kütlenin korunumu yasasına göre; prosese giren toplam madde miktarı, prosesten çıkan toplam madde miktarına eşittir.

Şekil 4.1’de de görüldüğü gibi prosese giren hammaddeler; kömür, su ve oksijen enjeksiyonlarıdır. Proses sonucunda ise ürün gaz ve atık olarak kül açığa çıkmaktadır.

$$m_{yakıt} + m_{O_2} + m_{H_2O} = m_{kül} + m_{ürün} \quad (4.10)$$

$$m_{ürün} = m_{CO_2} + m_{CO} + m_{H_2} + m_{CH_4} + m_{H_2O} \quad (4.11)$$

Bu denklemlerde $m_{yakıt}$, prosese giren kömürün kütleli akış hızını; m_{O_2} , prosese enjekte edilen oksijenin kütleli akış hızını; m_{H_2O} , prosese enjekte edilen su buharının kütleli akış hızını; $m_{kül}$, gazlaştırma sırasında birim zamanda ortamda kalan kül miktarını; $m_{ürün}$, proses sonucu elde edilen ürün gazın kütleli akış hızını göstermektedir. m_{CO_2} , m_{CO} , m_{H_2} , m_{CH_4} , m_{H_2O} terimleri ise sırasıyla ürün gazı oluşturan karbondioksit, karbonmonoksit, hidrojen, metan ve su buharı gazlarının kütleli akış hızlarını ifade etmektedirler.

$$y_{CO_2} = \frac{\text{kgmol } CO_2}{\text{kgmol gaz ürün}} \quad (4.12)$$

$$y_{CO} = \frac{\text{kgmol } CO}{\text{kgmol gaz ürün}} \quad (4.13)$$

$$y_{H_2} = \frac{\text{kgmol } H_2}{\text{kgmol gaz ürün}} \quad (4.14)$$

$$y_{CH_4} = \frac{\text{kgmol } CH_4}{\text{kgmol gaz ürün}} \quad (4.15)$$

$$y_{H_2O} = \frac{\text{kgmol } H_2O}{\text{kgmol gaz ürün}} \quad (4.16)$$

$$y_{CO_2} + y_{CO} + y_{H_2} + y_{CH_4} + y_{H_2O} = 1 \quad (4.17)$$

Yukarıdaki denklemlerde y_{CO_2} , y_{CO} , y_{H_2} , y_{CH_4} , y_{H_2O} terimleri sırasıyla ürün gazın içerdiği karbondioksit, karbonmonoksit, hidrojen, metan ve su buharı gazlarının mol fraksiyonlarını ifade etmektedirler. Bileşenlerin kütleleri, mol sayıları ile molekül ağırlıklarının çarpımına eşittir.

$$\frac{m_{ürün}}{n_{ürün}} = \frac{44x n_{CO_2} + 28x n_{CO} + 2x n_{H_2} + 16x n_{CH_4} + 18x n_{H_2O}}{n_{ürün}} \quad (4.18)$$

Ürün gazın içerdiği karbondioksit, karbonmonoksit, hidrojen, metan ve su buharı gazlarının mol sayıları sırasıyla n_{CO_2} , n_{CO} , n_{H_2} , n_{CH_4} , n_{H_2O} terimleri ile gösterilmektedir. Her bir bileşenin mol sayısı, toplam gazın mol sayısına bölündüğünde; bileşenlerin mol fraksiyonları elde edilir. (4.19)'da da görüldüğü gibi; $n_{ürün}$ ile gösterilen proses sonucu üretilen sentetik gazın molar akış hızı, gazın kütsel akış hızına ve bileşenlerinin mol fraksiyonlarına bağlıdır.

$$n_{ürün} = \frac{m_{ürün}}{44x y_{CO_2} + 28x y_{CO} + 2x y_{H_2} + 16x y_{CH_4} + 18x y_{H_2O}} \quad (4.19)$$

Çizelge 4.1 : Gaz ürünlerdeki bileşenlerin hacimsel yüzdeleri [48].

Bileşen	Hacim %
H ₂	40
CO ₂	40
CH ₄	10
CO	10

Oksijenin gazlaştırıcı ajan olarak kullanıldığı sub-bitümlü yer altı kömür gazlaştırma proseslerinde son ürünün içeriği genellikle Çizelge 4.1'de gösterildiği gibidir [48].

Bu değerler temel alınarak, her bir bölge için deneme-yanılma yöntemi ile üretilen gazın bileşimi hesaplanmıştır.

$$V_{H_2} = 0.4x V_{ürün} \quad (4.20)$$

$$V_{CO2}=0.4 \times V_{ürün} \quad (4.21)$$

$$V_{CO}=0.1 \times V_{ürün} \quad (4.22)$$

$$V_{CH4}=0.1 \times V_{ürün} \quad (4.23)$$

$$V_{H2O}=0 \times V_{ürün} \quad (4.24)$$

Bu denklemlerde V_{H2} , hidrojen gazının hacimsel akış hızı ($Nm^3/san.$); V_{CO2} , karbondioksit gazının hacimsel akış hızı ($Nm^3/san.$); V_{CO} , karbonmonoksit gazının hacimsel akış hızı ($Nm^3/san.$); V_{CH4} , metan gazının hacimsel akış hızı ($Nm^3/san.$); V_{H2O} , su buharının hacimsel akış hızı ($Nm^3/san.$); ve $V_{ürün}$, ürün gazın hacimsel akış hızını ($Nm^3/san.$) ifade etmektedir.

İdeal gaz kanununa göre sabit basınç ve sıcaklıktaki bir gazın hacmi ile mol sayısı doğru orantılıdır.

$$y_{H2} = \frac{V_{H2}}{V_{ürün}} = \frac{0.4 \times V_{ürün}}{V_{ürün}} = 0.4 \quad (4.25)$$

$$y_{CO2} = \frac{V_{CO2}}{V_{ürün}} = \frac{0.4 \times V_{ürün}}{V_{ürün}} = 0.4 \quad (4.26)$$

$$y_{CO} = \frac{V_{CO}}{V_{ürün}} = \frac{0.1 \times V_{ürün}}{V_{ürün}} = 0.1 \quad (4.27)$$

$$y_{CH4} = \frac{V_{CH4}}{V_{ürün}} = \frac{0.1 \times V_{ürün}}{V_{ürün}} = 0.1 \quad (4.28)$$

$$y_{H2O} = \frac{V_{H2O}}{V_{ürün}} = \frac{0 \times V_{ürün}}{V_{ürün}} = 0 \quad (4.29)$$

$$PxV = n_{H2} \times R \times T \quad (4.30)$$

$$1 \text{ atm} \times 0.4 \times V_{ürün} = n_{H2} \times 82.057 \times 10^{-3} \frac{\text{atm} \times \text{m}^3}{\text{kgmol} \times \text{K}} \times 273.15 \text{ K} \quad (4.31)$$

$$n_{H2} = 0.018 \times V_{ürün} \quad (4.32)$$

$$1 \text{ atm} \times 0.4 \times V_{ürün} = n_{CO2} \times 82.057 \times 10^{-3} \frac{\text{atm} \times \text{m}^3}{\text{kgmol} \times \text{K}} \times 273.15 \text{ K} \quad (4.33)$$

$$n_{CO2} = 0.018 \times V_{ürün} \quad (4.34)$$

$$1 \text{ atm} \times 0.1 \times V_{ürün} = n_{CH4} \times 82.057 \times 10^{-3} \frac{\text{atm} \times \text{m}^3}{\text{kgmol} \times \text{K}} \times 273.15 \text{ K} \quad (4.35)$$

$$n_{CH4} = 0.045 \times V_{ürün} \quad (4.36)$$

$$1 \text{ atm} \times 0.1 \times V_{\text{ürün}} = n_{CO} \times 82.057 \times 10^{-3} \frac{\text{atm} \times \text{m}^3}{\text{kgmol} \times \text{K}} \times 273.15 \text{K} \quad (4.37)$$

$$n_{CO} = 0.045 \times V_{\text{ürün}} \quad (4.38)$$

$$n_{\text{ürün}} = n_{CO_2} + n_{CO} + n_{H_2} + n_{CH_4} + n_{H_2O} \quad (4.39)$$

$$n_{\text{ürün}} = 0.045 \times V_{\text{ürün}} \quad (4.40)$$

(4.19)'da bilinen değerler yerine konulduğunda $n_{\text{ürün}}$ değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan $n_{\text{ürün}}$ değeri (4.40)'da yerine konulduğunda $V_{\text{ürün}}$ hesaplanır.

Gazlaştırma bölgesindeki gazların miktarı ve bileşimi, kütleli karbon, hidrojen, oksijen kütle denklilikleri ve $K = \frac{y_{CO} \times y_{H_2} \times O}{y_{H_2} \times y_{CO_2}}$ oranının deneysel olarak elde edilen sonuçlarına göre hesaplanır. Bu oranın gazlaştırma bölgesinden çıkıştaki oranı 2'dir [49].

$$2 = \frac{y_{CO} \times y_{H_2} \times O}{y_{H_2} \times y_{CO_2}} \quad (4.41)$$

Hesaplanan değerlerin doğrulanması için EK A.1 bölümünde gösterilen, seçilen bölgelerimizdeki kömür rezervlerine ait MTA raporlarından elde edilen, elementer analiz sonuçları temel alınarak; element temelinde mol denkliği ve (4.44) uygulanmıştır.

Karbon mol denkliği :

$$m_{\text{yakıt}} \times \frac{C}{12} = n_{\text{ürün}} (y_{CO_2} + y_{CO} + y_{CH_4}) \quad (4.42)$$

Hidrojen için mol denkliği :

$$m_{\text{yakıt}} \times \left(h + \frac{b}{9} \right) + (2 \times n_{H_2O}) = n_{\text{ürün}} (2y_{H_2} + 4y_{CH_4} + 2y_{H_2O}) \quad (4.43)$$

Oksijen için mol denkliği :

$$m_{\text{yakıt}} \times \left(\frac{a}{16} + \frac{b}{18} \right) + (2 \times n_{O_2}) + n_{H_2O} = n_{\text{ürün}} (y_{CO} + 2y_{CO_2}) \quad (4.44)$$

MATLAB programı yardımı ile bileşenlerin mol fraksiyonları elde edildikten sonra (4.19)'da bileşenlerin mol fraksiyonları değerleri yerine konularak; $n_{\text{ürün}}$ değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan $n_{\text{ürün}}$ değeri (4.40)'da yerine konulduğunda $V_{\text{ürün}}$ hesaplanır. Ürün gazı oluşturan bileşenlerin mol fraksiyonlarının belirli değerlerde oldukları kabul edilerek hesaplanan $n_{\text{ürün}}$ ve $V_{\text{ürün}}$ değerleri ile elementler temelinde

kütle denklilikleri kurularak elde edilen $n_{ürün}$ ve $V_{ürün}$ değerleri karşılaştırılır. Bu değerler birbirlerine oldukça yakın olduklarında hesaplama son verilir.

Ürün gazı oluşturan bileşenlerin mol fraksiyonları hesaplandıktan sonra; ürün gazın ısı değeri yanabilir ürünler üzerinden hesaplanmaktadır. Bu ürünler CO, H₂ ve CH₄'dir.

$$H_{ürün} = y_{CO} \times H_{CO} + y_{H_2} \times H_{H_2} + y_{CH_4} \times H_{CH_4} \quad (4.45)$$

$$H_{ürün} = y_{CO} + \frac{(y_{H_2} \times H_{H_2}) + (y_{CH_4} \times H_{CH_4})}{H_{CO}} \quad (4.46)$$

$$H_{CO} = 283.1 \frac{Mj}{kgmol}$$

$$H_{H_2} = 285.7 \frac{Mj}{kgmol}$$

$$H_{CH_4} = 891.7 \frac{Mj}{kgmol} [50]$$

(4.45)'de bilinen ifadeler yerlerine konulduğunda denklem (4.46) elde edilir ve ürün gazı oluşturan bileşenlerin doğrulanmış değerleri bu denklemde yerlerine konularak ürün gazın ısı değeri hesaplanır. Gerekli birimsel değişiklikler yapılarak ürün gazın ısı değeri istenilen birimde elde edilir.

$$H_{ürün} = H_{CO}(y_{CO} + 1.01xy_{H_2} + 3.15xy_{CH_4}) \quad (4.47)$$

$$H_{ürün} \frac{Mj}{kgmol} \times \frac{1 kgmol}{22.74 kg} \times \frac{10^6 J}{1 Mj} \times \frac{1 kcal}{4184 J} = \frac{kcal}{kg} \quad (4.48)$$

Bu algoritma MATLAB yazılımı kullanılarak bir bilgisayar programı haline getirilmiştir ve bu program EK F.1 bölümünde gösterilmektedir. Her bir bölge için EK A.1 bölümünde gösterilen, kömür özellikleri girilerek; ürün gazı oluşturan bileşenlerin mol fraksiyonları, ürün gazın hacimsel ve molar akış hızları, ürün gazın ısı değeri hesaplanmıştır. Bu sonuçlar EK B.1 bölümünde, Çizelgeler B.1, B.2, B.3, B.4, B.5, B.6 ve B.7'de gösterilmiştir.

Tesislerin en kazançlı hale getirilebilmesi için prosese enjekte edilen su buharı ve oksijen oranı değiştirilerek üretilen sentetik gaz içeriğinin yanıcı bileşikler açısından zenginleştirilmesi ve buna bağlı olarak sentetik gazın ısı değerinin artırılması amaçlanmıştır. Farklı su buharı ve oksijen oranı değerlerine karşılık üretilen sentetik

gazın ısıl değerindeki ve içeriğindeki değişiklikler EK C.1 bölümünde, su buharı enjeksiyonu yapılmaması durumunda; farklı oksijen enjeksiyonlarına karşılık üretilen gazın ısıl değeri ve içeriğindeki değişiklikler ise EK D.1 bölümünde gösterilmektedir.

5. SEÇİLEN BÖLGELERDE KURULACAK YER ALTI KÖMÜR GAZLAŞTIRMA TESİSİ MALİYETLERİNİN ANALİZİ

Yer altı kömür gazlaştırma yönteminin uygulanabilir olduğu Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Manisa-Soma-Işıklar ve Bursa-Keles-Harmanalan bölgelerindeki kömür yataklarımızda, o bölgelerde kurulacak tesislerin maliyetleri ve karlılıkları MATLAB yazılımı kullanılarak oluşturulan bir bilgisayar programı yardımı ile hesaplanmıştır. Bu program EK G.1 bölümünde gösterilmektedir. Hesaplamalar günde 70 ton kömürün gazlaştırılması temel alınarak yapılmıştır. EK C.1'deki grafikler incelendiğinde prosese su buharı enjeksiyonu yapılmamasına karar verilmiştir. EK D.1 bölümünde Şekil D.1, D.2, D.3, D.4, D.5, D.6 ve D.7 incelenerek prosese enjekte edilecek oksijen gazı miktarına karar verilmiş ve bu değerler için ürün gaze ait özellikler Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Kömür yatağının ve yer altı kömür gazlaştırma prosesi sonucu elde edilen sentetik gazın özellikleri [38,39].

Bölge	O ₂ Enjeksiyonu (Nm ³ /dak)	Sentetik Gazın Isıl Değeri (kcal/kg)	Sentetik Gazın Hacimsel Akış Hızı (Nm ³ /dak)	Sentetik Gazın Kütleli Akış Hızı (kg/san)	Kömür Rezervi (x10 ⁶ ton)	Kömür Özgül Ağırlığı
Kütahya-Seyitömer	5.0	3456.0	50.7	0.81	280	1.32
Kütahya-Tunçbilek	10.0	4302.5	54.2	0.90	205	1.40
Manisa-Eynez	7.5	4355.9	50.6	0.84	120	1.45
Muğla-Eskihisar	5.0	2899.3	51.0	0.85	119	1.33
Bolu-Göynük	5.0	4140.9	35.6	0.66	19	1.52
Manisa-Işıklar	7.5	3554.2	52.0	0.87	105	1.42
Bursa - Harmanalan	5.0	3286.6	51.8	0.86	43	1.32

$$\text{Yer altı kömür gazlaştırma prosesinin verimi} = \frac{\text{gazlaştırılmış kömür miktarı}}{\text{sahadaki kömür rezervi}} \quad (5.1)$$

Gerçek yer altı kömür gazlaştırma prosesinin verimi CRIP (Controlled Retracting Injection Point) ve ELW (extended linked well) yöntemleri ile %20 ile %30 arasındadır.

Seçilen bölgelerde yapılacak olan yer altı kömür gazlaştırma prosesinin verimi %25 olarak kabul edilmiştir. Bu kabule göre yıllık gazlaştırılan kömür miktarı belirlenmiştir.

5.1 Prosele Yıllık Enjekte Edilen Oksijen Miktarının Belirlenmesi

70 ton/gün kömür gazlaştırma hızı için; yıllık gazlaştırılacak kömür miktarı belirlenir. Bu değer kullanılarak ve gerekli birim değişiklikleri yapılarak prosele 1 yılda enjekte edilmesi gereken oksijen gazı miktarı belirlenir.

$$\text{Yıllık gazlaştırılacak kömür miktarı} = \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \times \frac{\text{O}_2 \text{ Nm}^3}{\text{dak}} \times \frac{1}{70 \frac{\text{ton}}{\text{gün}}} \times \frac{60 \text{ dak.}}{1 \text{ saat}} \times \frac{24 \text{ saat}}{1 \text{ gün}} \quad (5.2)$$

5.2 Prosesten Yıllık Elde Edilen Ürün Gazın Miktarının Belirlenmesi

70 ton/gün kömür gazlaştırma hızı için proseste 1 yılda üretilen gazın miktarı (5.3)'te hesaplanmaktadır.

$$\text{Yıllık gazlaştırılacak kömür miktarı} = \frac{\text{ton}}{\text{yıl}} \times \frac{\text{Vürün Nm}^3}{\text{dak}} \times \frac{1}{70 \frac{\text{ton}}{\text{gün}}} \times \frac{60 \text{ dak.}}{1 \text{ saat}} \times \frac{24 \text{ saat}}{1 \text{ gün}} \quad (5.3)$$

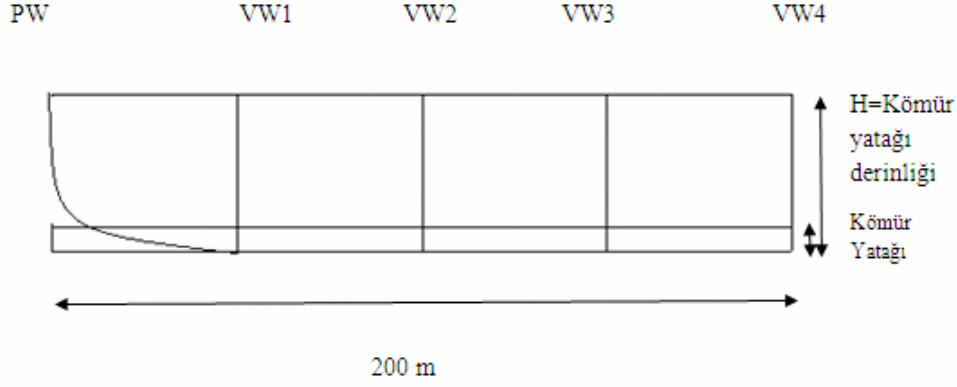
5.3 Temel Veriler

5.3.1 Sondaj sayısı

ELW ve CRIP yöntemlerinin bir birimi için gerekli sondaj sayıları aşağıda özetlenmiştir.

ELW: 1 yatay sondaj + 4 dikey sondaj

CRIP: 1 yatay sondaj + 1 dikey sondaj



ELW: PW-VW1-VW2-VW3-VW4

CRIP: PW-VW1

Şekil 5.1 : ELW ve CRIP prosesleri için sondajların düzeni.

5.3.2 Gazlaştırma oyuğunun kesit alanı

Gazlaştırma oyuğunun şekli yukarıdan aşağıya doğru daralan bir üçgendir. İki farklı kesit alanı ve bölgenin kömür yatağı kalınlığı düşünülerek hesap yapılabilir. Gerçek gazlaştırma değerinin bu iki değer arasında olduğu kabul edilebilir.

Kabul 1 : Gazlaştırma oyuğunun kesit alanı 20 m^2 dir.

Kabul 2 : Gazlaştırma oyuğunun kesit alanı 10 m^2 dir [2].

Kabul 1 : Gazlaştırma kesit alanı: 20 m^2

$$1 \text{ birimde gazlaştırılacak kömür miktarı} = 20 \text{ m}^2 \times \rho \times 200 \text{ m} = 4000 \times \rho \text{ ton} \quad (5.4)$$

ρ , kömürün özgül ağırlığını temsil etmektedir.

$$\text{Birim sayısı} = \frac{\text{Yıllık gazlaştırılacak kömür miktarı}}{4000 \times \rho} \quad (5.5)$$

$$5 \text{ birim} = 1 \text{ seri} \quad (5.6)$$

$$\text{Gazlaştırma hızı} = 70 \frac{\text{ton}}{\text{gün}} / \text{seri}$$

$$\frac{\text{yıllık gazlaştırılacak kömür miktarı}}{20000 \times \rho} \text{ serinin paralel işletilmesi}$$

Kabul 1 : Gazlaştırma kesit alanı: 10 m^2

$$\text{Bir birimde gazlaştırılacak kömür miktarı} = 10 \text{ m}^2 \times \rho \times 200 \text{ m} = 2000 \times \rho \text{ ton} \quad (5.7)$$

$$\text{Birim sayısı} = \frac{\text{yıllık gazlaştırılacak kömür miktarı}}{2000 \times \rho} \quad (5.8)$$

$$10 \text{ birim}=1 \text{ seri} \quad (5.9)$$

$$\frac{\text{y\u0131ll\u0131k gazla\u015ft\u0131r\u0131lacak k\u00f6m\u00fcr miktar\u0131}}{20000 \times \rho} = \text{seri} \quad (5.10)$$

Gazla\u015ft\u0131rma h\u0131z\u0131=70(ton/g\u00fcn)/seri

$$\frac{\text{y\u0131ll\u0131k gazla\u015ft\u0131r\u0131lacak k\u00f6m\u00fcr miktar\u0131}}{20000 \times \rho} \text{ serinin paralel i\u015letilmesi}$$

5.4 Temel Maliyet Verileri

Yer alt\u0131 k\u00f6m\u00fcr gazla\u015ft\u0131rma prosesi i\u00e7in i\u015letme ve kullanılan gazların maliyetleri belirlenmi\u015ftir.

Sondaj maliyeti:

Dikey sondaj: 600 \$/m sondaj

Yatay sondaj: 2500\$/m sondaj

Sondaj maliyetleri, yer alt\u0131 k\u00f6m\u00fcr gazla\u015ft\u0131rma prosesi i\u00e7in se\u00e7ilen b\u00f6lgelerin ortalama k\u00f6m\u00fcr yata\u\u011f\u0131 derinlikleri temel alınarak hesaplanm\u0131\u015ftir. Yatay sondaj uzunlu\u011fu ise her bir birim i\u00e7in 200 m olarak kabul edilmi\u015ftir.

$$\text{ELW maliyet} : 4x(\text{dikey sondaj derinli\u011fi} \times 600\$/\text{m sondaj}) + (\text{yatay sondaj uzunlu\u011fu} \times 2500\$/\text{m sondaj}) = \text{sondaj maliyeti } \$/\text{birim} \quad (5.11)$$

$$\text{CRIP maliyet} : (\text{dikey sondaj derinli\u011fi} \times 600\$/\text{m sondaj}) + (\text{yatay sondaj uzunlu\u011fu} \times 2500\$/\text{m sondaj}) = \text{sondaj maliyeti } \$/\text{birim} \quad (5.12)$$

O₂ enjeksiyonu maliyeti: 1\$/Nm³

Yer alt\u0131 K\u00f6m\u00fcr Gazla\u015ft\u0131rma Tesisi: 200 milyon \$ = 20 milyon \$ /y\u0131l

10 y\u0131lda 10 milyon ton k\u00f6m\u00fcr gazla\u015ft\u0131r\u0131laca\u\u011f\u0131 varsayılm\u0131\u015ftir. Kapasite artt\u0131k\u00e7a tesis maliyeti de artmaktadır.

Di\u011fer i\u015letme maliyetleri: 3 milyon \$/y\u0131l.

5.5 \u00dcrretim Maliyetleri

Bu \u00e7alı\u015mada \u00fcretilen gazın fiyatındaki art\u0131\u015f ile indirimin aynı oranlarda oldu\u011fu varsayılm\u0131\u015ftir. Ayrıca yatırım maliyetinin 10 y\u0131l boyunca e\u015fit miktarda geri d\u00f6nd\u00fc\u011fu varsayılm\u0131\u015ftir.

Sondaj + O₂ + Su Buharı + di\u011fer masraflar

$$\text{ELW kabul 1: } (\text{birim sayısı} \times \text{sondaj maliyeti } \$/\text{birim}) + (O_2=1\$/\text{Nm}^3) + 23 \text{ milyon } \$ \quad (5.13)$$

$$\text{ELW kabul 2: } (\text{birim sayısı} \times \text{sondaj maliyeti } \$/\text{birim}) + (O_2=1\$/\text{Nm}^3) + 23 \text{ milyon } \$ \quad (5.14)$$

$$\text{CRIP kabul 1: } (\text{birim sayısı} \times \text{sondaj maliyeti } \$/\text{birim}) + (O_2=1\$/\text{Nm}^3) + 23 \text{ milyon } \$ \quad (5.15)$$

$$\text{CRIP kabul 2: } (\text{birim sayısı} \times \text{sondaj maliyeti } \$/\text{birim}) + (O_2=1\$/\text{Nm}^3) + 23 \text{ milyon } \$ \quad (5.16)$$

Yer altı kömür gazlaştırma prosesi için temel maliyetler sondaj ve oksijen maliyetleridir. Üretilen Gazın Kütlesel Değeri:

$$\text{Ürün gazın kütlesi } \frac{\text{kg}}{\text{yıl}} = \text{yıllık gazlaştırılacak kömür miktarı} \times m_{\text{ürün}} \frac{\text{kg}}{\text{san.}} \times \frac{1}{70} \frac{\text{ton}}{\text{gün}} \times \frac{60 \text{ dak.}}{1 \text{ saat}} \times \frac{24 \text{ saat}}{1 \text{ gün}} \quad (5.17)$$

$$\text{Toplam Isı Üretimi} = \text{Isıl Değer} \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \text{ürün gazın kütlesi} \quad (5.18)$$

Isıl gazın satış fiyatları Çizelge 5.2’de gösterilmektedir [31].

Çizelge 5.2 : Isıl değere karşılık üretim gelir değerleri.

Bölge	Kabul 1	Kabul 2
ELW	0.14\$/Mcal	0.19\$/Mcal
CRIP	0.12\$/Mcal	0.15\$/Mcal

Bu algoritma ve Çizelge 5.2’de gösterilen değerler kullanılarak, MATLAB yazılımı yardımı ile bir bilgisayar programı oluşturulmuştur. Her bir bölge için Çizelge 5.1’de gösterilen kömür özellikleri ve üretilen sentetik gaz özellikleri girilerek, bu bölgelerde kurulacak olan yer altı kömür gazlaştırma prosesinin maliyeti ve karlılığı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3, 5.4 ve 5.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 : Seçilen bölgeler için yıllık gazlaştırılan kömür miktarlarına karşılık üretilebilecek toplam sentetik gaz ve bu gazın toplam ısı gücü.

Bölge	Sondaj Derinliği (m)	Yıllık Gazlaştırılan Kömür Miktarı (milyon ton)	Sentetik Gazın Hacimsel Akış Hızı $\times 10^{-6}$ Nm ³ /yıl	Üretilen Toplam Isı Gücü (MW)
Kütahya-Seyitömer	75.0	0.25	260.7	114.6
Kütahya-Tunçbilek	296.8	0.25	278.7	158.5
Manisa-Soma-Eynez	260.4	0.25	260.2	149.8
Muğla-Yatağan-Eskihisar	56.0	0.25	262.3	109.0
Bolu-Göynük	104.5	0.25	183.0	111.9
Manisa-Soma-Işıklar	241.4	0.25	267.4	126.6
Bursa-Keles-Harmanalan	80.0	0.25	266.4	115.7

Çizelge 5.4 : Seçilen bölgelerde kurulacak yer altı kömür gazlaştırma tesisi için gider değerleri.

Bölge	ELW 1 Maliyet (milyon \$)	ELW 2 Maliyet (milyon \$)	CRIP 1 Maliyet (milyon \$)	CRIP 2 Maliyet (milyon \$)
Kütahya-Seyitömer	81	113	75	100
Kütahya-Tunçbilek	129	184	105	135
Manisa-Soma-Eynez	111	159	90	119
Muğla-Yatağan-Eskihisar	79	108	74	99
Bolu-Göynük	80	111	72	95
Manisa-Soma-Işıklar	110	158	91	119
Bursa-Keles-Harmanalan	82	114	75	101

Çizelge 5.5 : Seçilen bölgelerde kurulacak yer altı kömür gazlaştırma tesisi için gelir ve karlılık değerleri.

Bölge	ELW 1 Gelir (milyon \$)	ELW 2 Gelir (milyon \$)	CRIP 1 Gelir (milyon \$)	CRIP 2 Gelir (milyon \$)	ELW Yıllık kar %	CRIP Yıllık kar %
Kütahya- Seyitömer	121	164	104	130	45-48	30-39
Kütahya- Tunçbilek	167	227	143	179	24-30	32-37
Manisa- Eynez	158	215	136	169	35-42	43-50
Muğla- Eskihisar	106	145	91	114	33-35	15-24
Bolu- Göynük	118	160	101	127	44-47	33-40
Manisa- Işıklar	134	181	115	143	15-21	20-26
Bursa- Harmanalan	122	166	105	131	37-45	30-39

6. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Gazlaştırıcı ajan olarak oksijen gazının kullanıldığı proseslerde üretilen sentetik gazın ısıl değerinin çok daha yüksek olması sebebiyle, bu tez çalışmasında hava yerine saf oksijen kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Su buharı enjeksiyonu, sentetik gazın yanıcı bileşenler açısından fakirleşmesine ve dolayısıyla ısıl değerinin düşmesine neden olmaktadır. Diğer bir taraftan da prosesteki reaksiyonlar için gereklidir. Bu tez çalışmasında; Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Manisa-Soma-Işıklar ve Bursa-Keles-Harmanalan bölgeleri için, su buharı ve oksijen enjeksiyonları için gerekli olan minimum değerin belirlenmesi amacıyla bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir.

6.1 Seçilen Bölgeler İçin Yer Altı Kömür Gazlaştırma Prosesine Enjekte Edilecek Su ve Oksijen Oranlarının Belirlenmesi

Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Manisa-Soma-Işıklar ve Bursa-Keles- Harmanalan Sahaları'nda, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün kömürler üzerinde yaptığı çalışma sonucunda elde edilen kısa analiz, elementer analiz sonuçları ve alt ısıl değerler temel alınarak; yer altı kömür gazlaştırma prosesi sonucu, farklı su-oksijen enjeksiyonları oranları ile üretilen sentetik gazların bileşimleri, ısıl değerleri, kütsel, hacimsel ve molar akış hızı değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken gazlaştırma hızı 70 ton/gün olarak kabul edilmiştir. MTA raporlarından alınan kömüre ait değerler, EK A.1 bölümünde; Çizelge A.1, A.2, A.3, A.4, A.5, A.6 ve A.7'de, hesaplamalar sonucu elde edilen sentetik gaza ait değerler ise EK B.1 bölümünde; Çizelge B.1, B.2, B.3, B.4, B.5, B.6 ve B.7'de gösterilmektedir.

Seçilen tüm bölgeler için, yer altı kömür gazlaştırma prosesine enjekte edilecek su ve oksijen gazı oranının, üretilen sentetik gazın ısıl değeri, yanıcı ve yanıcı olmayan bileşenleri üzerine etkileri EK C.1 bölümünde, Şekil C.1, C.2, C.3, C.4, C.5, C.6 ve C.7'de gösterilmiştir.

Şekil C.1, C.2, C.3, C.4, C.5, C.6 ve C.7 incelenerek, hesaplamaların sonuçları değerlendirildiğinde; literatürde yer alan çalışmalara paralel sonuçlar elde edilmiştir [34]. Seçilen tüm bölgeler için su ve oksijen enjeksiyonları oranlarının yüksek değerlerinde, üretilen sentetik gazların içeriğinde CO ve H₂ gazlarının azaldığı, sentetik gazların yanıcı bileşenler açısından fakirleştiği ve dolayısı ile ısı değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi suyun buharlaşarak; endotermik, gazlaştırma reaksiyonlarından ısı çalmasıdır. Üretilen sentetik gazların içeriklerinde CH₄ gazı miktarının, CO ve H₂ gazları miktarlarına göre çok daha az olması nedeniyle bu yanıcı gazdaki artma ısı değerlere önemli bir etki yapamamıştır. Su ve oksijen enjeksiyonları oranlarının artması, üretilen sentetik gazın yanıcı olmayan H₂O ve CO₂ gazları açısından zenginleşmesine neden olmuştur.

Çalıştığımız sahalardaki kömürlerin nemli olmaları ve su buharının prosese olan olumsuz etkilerinden dolayı; prosese su buharı enjeksiyonu yapılmamasına karar verilmiştir.

6.2 Seçilen Bölgeler İçin Yer Altı Kömür Gazlaştırma Prosesine Enjekte Edilecek Minimum Oksijen Miktarının Belirlenmesi

Yer altı kömür gazlaştırma prosesine su enjeksiyonu yapılmaması durumunda; prosese enjekte edilecek minimum oksijen miktarını belirleyebilmek için; oksijen enjeksiyonu miktarlarının, üretilen sentetik gazların ısı değerleri, yanıcı ve yanıcı olmayan bileşenleri üzerine etkileri incelenmiştir. Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Manisa-Soma-Işıklar ve Bursa-Keles- Harmanalan Sahaları'nda, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün kömürler üzerinde yaptığı çalışma sonucunda elde edilen kısa analiz, elementer analiz sonuçları ve alt ısı değerler temel alınarak; yer altı kömür gazlaştırma prosesi sonucu, farklı oksijen enjeksiyonları miktarları ile üretilen sentetik gazların bileşimleri, ısı değerleri, kütleli, hacimsel ve molar akış hızları değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken gazlaştırma hızı 70 ton/gün olarak kabul edilmiştir. Sonuçlar EK D.1 bölümünde, Şekil D.1, D.2, D.3, D.4, D.5, D.6 ve D.7'de gösterilmektedir.

Şekil D.1, D.2, D.3, D.4, D.5, D.6 ve D.7'de görüldüğü gibi; enjekte edilen oksijen gazı miktarlarının artması; CH₄ ve CO gazları miktarlarının azalmasına, H₂ gazı miktarlarının ise artmasına neden olmaktadır. Üretilen gazların ısı değerlerindeki

azalma, yanıcı gazlar olan CH_4 ve CO gazlarının miktarlarındaki düşüşten kaynaklanmaktadır. Öyle ki; Kütahya-Seyitömer Bölgesi'nde; oksijen gazı enjeksiyonu $20 \text{ Nm}^3/\text{dak.}$ 'ya çıktığında sentetik gazın içeriğindeki CH_4 gazı miktarı hemen hemen sıfıra yaklaşmaktadır. Oksijen gazı enjeksiyonları miktarları arttıkça, üretilen sentetik gazlar; yanıcı olmayan bileşenler olan H_2O ve CO_2 açısından zenginleşmektedir. Ayrıca yer altı kömür gazlaştırma prosesi H_2 gazı üretimi için kullanılmak istenirse, prosese mümkün olduğu kadar fazla miktarda oksijen gazı enjeksiyonu yapılmalıdır.

Şekil D.1, D.2, D.3, D.4, D.5, D.6 ve D.7'de görüldüğü gibi oksijen enjeksiyonları değiştiğinde; üretilen sentetik gazların bileşimleri ve ısı değerleri de değişmektedir. Bu değişiklikler maliyet analizlerine temel olmaları amacıyla EK E.1 bölümünde; Çizelge E.1, E.2, E.3, E.4, E.5, E.6 ve E.7'de gösterilmektedir.

Şekil D.1, D.2, D.3, D.4, D.5, D.6 ve D.7 incelenerek prosese enjekte edilecek oksijen gazı miktarına karar verilmiş ve bu değerler için ürün gaza ait özellikler Çizelge 5.1'de gösterilmiştir. Sovyetler Birliği'nde yapılan araştırmalar su buharı ve oksijen enjeksiyonu kullanımının yakıt gazın ısı değerini $10\text{-}12 \text{ MJ/m}^3$ 'e yükseltebildiğini göstermektedir. Bu değer ile hesaplamalar sonucu elde edilen değerler birbirlerine uyumludur [31]. Bu çalışmada ürün gazın ısı değerini arttırmak için gerekli analizler yapılmış, yanıcı bileşenler açısından zengin ve ısı değeri yüksek bir gaz elde edilmiştir.

6.3 Seçilen Bölgelerde Kurulacak Yer Altı Kömür Gazlaştırma Tesislerinin Maliyet Analizleri

Yer altı kömür gazlaştırma yönteminin uygulanabilir olduğu Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Manisa-Soma-Işıklar ve Bursa-Keles-Harmanalan bölgelerindeki kömür yataklarımızda, o bölgelerde kurulacak tesislerin maliyetleri ve karlılıkları MATLAB yazılımı kullanılarak oluşturulan bir program yardımı ile hesaplanmıştır.

Tesislerin kapasiteleri belirlenirken, ticari projeler temel alınmış, tesislerin üreteceği sentetik gazın 100 MW lık bir elektrik üretim santralinde kullanılacağı varsayılmıştır.

Çizelge 5.3'de görüldüğü gibi yıllık gazlaştırılan kömür miktarları 250,000 tondur ve her bir bölgede üretilen ısı miktarları 100 MW civarındadırlar. Bu ısıyı üretecek sentetik gazın hacimsel akış hızı da çizelgede gösterilmektedir. Proses sonucunda

Üretilen sentetik gaz ekonomik olarak elektrik üretiminde veya çeşitli kimyasalların hammaddesi olarak kullanılabilir. Ayrıca rezerv açısından oldukça zengin Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar ve Manisa-Soma-Işıklar Sahaları çok daha büyük kapasiteli yer altı kömür gazlaştırma tesisleri için müsaittirler, dolayısı ile bu bölgelerde kurulacak elektrik üretim santrali de daha büyük kapasiteli olabilir.

Çizelge 5.4’de; seçilen bölgelerde kurulacak yer altı kömür gazlaştırma tesislerinin gider değerleri görülmektedir. Örneğin; Kütahya-Seyitömer bölgesi için ELW prosesinin maliyeti, 81 milyon \$ ile 113 milyon \$ arasındadır. CRIP prosesinin maliyeti ise 75 milyon \$ ile 100 milyon \$ arasındadır. Çizelge 5.5’de grldu gibi Kütahya Seyitömer bölgesi için ELW prosesinin geliri 121 milyon \$ ile 164 milyon \$ arasında, bu prosesin karı ise %45 ile %48 arasındadır. Kütahya Seyitömer bölgesi için CRIP prosesinin geliri ise 104 milyon \$ ile 130 milyon \$ arasında, bu prosesin karı ise %30 ile %39 arasındadır. Diğer bölgeler için bu mali değerler izelge 5.4 ve 5.5’de gösterilmiştir. Çizelge 5.5’de de grldu gibi tüm bölgeler için; ELW veya CRIP yöntemlerinin kullanıldığı, yer altı kömür gazlaştırma prosesinden sentetik gaz elde eden tesisler karlıdır. Tüm bölgeler için; karlılık oranları ortalama olarak; ELW yöntemi kullanıldığında, %15 ile %48 arasında; CRIP yöntemi kullanıldığında ise %20 ile %50 arasındadır. Çizelgede de grldu gibi ELW yönteminde, karlılık biraz daha düşüktür. Bu durumun sebebi ELW yönteminde sondaj maliyetinin daha fazla olmasıdır.

7. VARGILAR

Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Manisa-Soma-Işıklar ve Bursa-Keles-Harmanalan Sahaları yer altı kömür gazlaştırma prosesinin gereklilikleri açısından değerlendirilmiş ve prosese uygun bulunmuşlardır.

Kahramanmaraş-Afşin-Elbistan ve Erzurum-Aşkale Sahaları ekonomik açıdan verimli bir yer altı kömür gazlaştırma tesisi için uygun bulunmamışlardır.

Yer altı kömür gazlaştırma prosesine uygun bulunan bu bölgelerimizde, su buharının prosese olan olumsuz etkilerinden ve bu kömür sahalarımızda bulunan kömürlerin nemliliklerinin fazla olmasından dolayı prosese su buharı enjeksiyonu yapılmamasına karar verilmiştir.

Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Manisa-Soma-Işıklar ve Bursa-Keles-Harmanalan Sahaları için gerekli olan minimum oksijen gazı enjeksiyonları sırasıyla 5.0, 10.0, 7.5, 5.0, 7.5, 5.0 Nm³/dak. olarak belirlenmiştir.

Kütahya-Seyitömer, Kütahya-Tunçbilek, Manisa-Soma-Eynez, Muğla-Yatağan-Eskihisar, Bolu-Göynük, Manisa-Soma-Işıklar ve Bursa-Keles-Harmanalan Sahaları'nda kurulacak yer altı kömür gazlaştırma tesisinin karlılık oranları ortalama olarak; ELW yöntemi kullanıldığında, %15 ile %48 arasında; CRIP yöntemi kullanıldığında ise %20 ile %50 arasındadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Sektor_Raporu_TKI.pdf>, alındığı tarih 28.04.2011.
- [2] **Olness, D. and Gregg, D.W.**, 1977, The Historical Development of Underground Coal Gasification, Lawrence Livermore Laboratory, Univ. of California, Livermore, UCRL-52283.
- [3] **Dossey, J.L.**, 1976, Underground Coal Gasification Technology in the USSR, Sandia Laboratories, Albuquerque, SAND 76-0380.
- [4] **Booz, A.**, 1977, Underground Coal Gasification Program, ERDA 77-51/4 (Overview), Dist. Category UC-90C.
- [5] **Shafirovich, E. and Varma, A.**, 2009, Underground Coal Gasification: A Brief Review of Current Status- School of Chemical Engineering, Purdue University, 480 Satdium Mall Drive, West Lafayette, Indiana 47907.
- [6] **Dziunikowski, K.**, 1953, Oxidation With Water Vapor In Underground Gasification of Coal, Przegląd Gorniczy, No.3, pp 107-111 (English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-TRANS-11125).
- [7] **Koranda, J.**, 1973, Research In Underground Gasification of Coal in Czechoslovakia (English Tranlation: Department of the Secretary of State Translaton, Bureau, Canada, No. 434654.
- [8] **Economic Commission For Europe Coal Committee**, 1976, Report of The Symposium on Gasification and Liquefaction of Coal, Düsseldorf.
- [9] **Lowry, H.H.**, 1945: Chemistry of Coal Utilization, John Wiley and Sons, Inc, Newyork.
- [10] **Ishikura, T. and Ebuchi, F.**, 1965, Forward Burning Process and Backward Burning Process in A Model Experiment on Underground Gasification of Coal, Kyushu Daigaku Seisankogaku Kenkyusho Hokoku, Vol.39 , pp. 8-19 (English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL_TRANS-11140).
- [11] **Gregg, D.W. and Edgar, T.F.**, 1978, Underground Coal Gasification, AIChE Journal, Vol.24, No.5, 753-781.
- [12] **Grindler, B.F.**, 1935, Underground Gasification of Coal: What Really Happened at Leninsk, Ugol' Vostoka, Vol.5, No.1(73), pp 14-15 (English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-TRANS-11148).

- [13] **Charnyi, I.A.** , 1947, Gas Filtration in A Coal Bed (Concerning Leaks of Gas and Blast in the Underground Gasification of Coal Beds , Izvestiya, An SSSR, Otdeleniye Tekhnicheskikh Nauk, No.2, pp 131-141 (English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL_TRANS-11153).
- [14] **Predvoditelev, A.S.**, 1947, Gas Formation During The Combustion of Coal in the Bed, Izvestiya An SSSR, Otdeleniye Tekhnicheskikh. Namk, No.10, pp. 1329-1340- (English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-TRANS-11154).
- [15] **Katsnel'son, N.N.**, 1957, Surveying Method for Determining the Position of the Fire Face and the Extent of Gasification of A Coal Seam in the Moscow Coal Basm, Podzemnaya Gazifikatsiya. Uglei, No., pp. 52-56 (English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-TRANS-11159).
- [16] **Puzyrev, P.F.**, 1957, Possibility of Using Ultrasonic Preventive Logging Under Conditions of Underground Gasification of Coal, Podzemnaya. Gazifikatsiya Uglei, No.4, pp. 55-58 (English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-TRANS-11157).
- [17] **Skafa, P.V.**, 1958, Zonal Characteristics of The Process of Gasification of A Coal Seam in A Channel, Podzemnaya Gazifikatsiya. Uglei, No.1, pp. 3-10 (English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-TRANS-10865).
- [18] **Shvnakova, E.K.**, 1958, Cost Benefits of Underground Gasification of Brown Coal with Thermal Preparation of the Coal Bed, Podzemnaya Gazifikatsiya. Uglei, No.4, pp. 70-71 (English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-TRANS-1132).
- [19] **Silin, A.I., Bogoroditskii, K.F. and Kongnov, V.I.**, 1960, Role of Ground Water and Other Natural Factors in the Underground Gasification of Coal-with the Lisichansk Facility and the One Outside Moscow as Examples Trudy Laboratory Hidrogeologicheskikh Problem Im. F.P. Savarenskogo, Vol.23, pp. 17-62 (English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-TRANS-10894).
- [20] **Klimentov, P.P.**, 1963, Influence of Ground Water on the Process of Underground Gasification of Coal Deposits, Izv. Vyssh. Ucheb. Zavedenii-Geologiya irazvedka, Lab., (English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-Translation -10869).
- [21] **Kalashnikov, P.I.**, 1963, Effect of Moisture on the Gas-Forming Process Under the Conditions of the Angren Podzemgaz. Station, Podzemn. Gazifikatsii Uglei, No. 11, pp. 22-34 (English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-TRANS-10899).
- [22] **Krein, E.V. and Farberov, I.L.**, 1964, Experimental Studies of the Gas Permeability of Virgin Coal Beds in the Kiselevsk-Prokop'yevsk Region of The Kuznetsk Basin, Gazifikatsiya I Piroliz Toplivo, pp. 184-187 (English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-TRANS-1133).

- [23] **Krein, G.F. and Miringof, N.S.**, 1965, Combined Method of Linking Bareholes at the Shatskii Podzemgaz Station, Gazov, Trudy., No. 1, pp. 125-132 (English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-TRANS-11139).
- [24] **Kalashnikov, P.I. and Khvoinskaya, R.S.**, 1967, Water Balances of Underground Gasifier, Gazou, Trudy, No.2 pp.97-110, English Translation: Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-TRANS-11145).
- [25] **Hurburt, M.A.**, 1981, Permitting of UCG Operations in Wyoming, Proc. 7th Underground Coal Conversion Symp., Fallen Leaf Lake, 527-534.
- [26] **Burwell, E.L.**, 1984, Potential of Underground Coal Gasification, CEP, 35-38.
- [27] **Url-2** <<http://ergoexergy.com>>, alındığı tarih, 28.04.2011.
- [28] **Url-3** <<http://laurusenergy.com>>, alındığı tarih, 28.04.2011.
- [29] **Url-3** <<http://lincenergy.com>>, alındığı tarih, 28.04.2011.
- [30] **Url-4** <<http://carbonenergy.com>>, alındığı tarih, 28.04.2011.
- [31] **Shimada, S., Ohga, K., Tamari, A. And Ishi, E.**, 1996, Cost Estimation of Underground Coal Gasification in Japan, Mineral Resources Engineering.
- [32] TKİ ile kişisel görüşme, 2011.
- [33] **Okutan, F. F.**, 1985, Yer Altı Kömür Gazlaştırma Prosesinin Numerik ve Laboratuvar Simulasyonu Geri ve İleri Yanma Teknikleri, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [34] **Yıldırım, A. and Doğan, S.**, 2010, Underground Coal Gasification and Applicability to Thrace Basin Lignite in Turkey, *27th Annual International Pittsburgh Coal Conference*.
- [35] **Krantz, W.B. and Gunn, R.D.**, 1983, Modeling The Underground Coal Gasification Process: Part II-Water Influx, AICHE Symposium Series, No. 226, Vol. 79.
- [36] **Url-6** <http://www.cleancoalucg.com/index.php?option=com_content&view=article&id=87&Itemid=124>, alındığı tarih, 28.04.2011.
- [37] **U.S. Dept. Of Energy**, 1979, Underground Coal Conversion Program, Volume III Resources, DOE/ET-008/3, UC-90C, Washington, D.C.
- [38] **Saraçoğulları, M., Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü**, 1993, T.K.İ Kurumu Tarafından Üretilen Kömürlerin Detay Analizler İle Parça Kömürlerin Soba ve Kalorifer Kazanında Yanma Özelliklerinin İncelenmesi, Ankara.
- [39] **Sancar, S.M., Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü**, 1986, Türkiye Linyit Envanteri, Ankara.
- [40] **Url-7** < <http://www.belgeler.com/blg/9g4/seytomer-linyitleri-isletmesi-muesse> si #>, alındığı tarih, 30.04.2011.
- [41] **Url-8** <http://www.tr.wikipedia.org/wiki/Tavşanlı,_Kütahya >, alındığı tarih, 30.04.2011.

- [42] **Url-9** <<http://tr.wikipedia.org/wiki/Elbistan>>, alındığı tarih, 03.05.2011.
- [43] **Url-10** <http://tr.wikipedia.org/wiki/Soma,_Manisa>, alındığı tarih, 30.04.2011.
- [44] **Url-11** <http://tr.wikipedia.org/wiki/Yatağan_Serinhisar>, alındığı tarih, 30.04.2011.
- [45] **Url-12** <[http://tr.wikipedia.org/wiki/Bolu_\(merkez\)](http://tr.wikipedia.org/wiki/Bolu_(merkez))>, alındığı tarih, 30.04.2011.
- [46] **Url-13** <<http://tr.wikipedia.org/wiki/Aşkale>>, alındığı tarih, 03.05.2011.
- [47] **Url-14** <<http://tr.wikipedia.org/wiki/Keles>>, alındığı tarih, 30.04.2011.
- [48] **Jennings, W. J., Evers, J., F.,** 1974, The Underground Gasification of Sub-Bituminous Coals, SPE-AIME, Paper number SPE 4927, U. of Wyoming.
- [49] **Günsburg, D. B.,** 1972, *Düşük Değerli Yakıtların Gazlaştırılması*, (Çeviren: Recepoğlu, A., O.), İTÜ Matbaası, 138-140.
- [50] **Atagündüz, G.,** 2006, Underground Gasification In Western Black Sea Area and Thermodynamic Analysis, Izmir Institute of Technology, XXIII. International Mineral Processing Congress, 1214-1220.

EKLER

EK A.1 : Seçilen Bölgelerdeki Kömürlere Ait Özellikler

EK B.1 : Seçilen Bölgelerde Üretilecek Sentetik Gaza Ait Özellikler

EK C.1 : Seçilen Bölgeler İçin Su ve Oksijen Enjeksiyonları Oranlarının
Üretilen Sentetik Gazın Isıl Değerleri ve Bileşenleri Üzerine Etkilerini
Gösteren Şekiller

EK D.1 : Seçilen Bölgeler İçin Oksijen Enjeksiyonları Miktarlarının Üretilen
Sentetik Gazın Isıl Değerleri ve Bileşenleri Üzerine Etkilerini
Gösteren Şekiller

EK E.1 : Seçilen Bölgeler İçin Yer Altı Kömür Gazlaştırma Prosesine Yalnız
Oksijen Enjeksiyonu Yapıldığı Durumda ürün Gaza Ait Özellikler

EK F.1 : Kütle ve Enerji Denklikleri MATLAB Kodu

EK G.1 : Yer Altı Kömür Gazlaştırma Tesisleri Maliyet Hesaplamaları
MATLAB Kodu

EK A.1

Çizelge A.1 : Kütahya-Seyitömer kömürüne ait özellikler [38].

Bölge	Kütahya-Seyitömer	
Kömür İçeriği	Nem	0.352
	Kül	0.107
	C	0.379
	H	0.029
	O	0.113
	S	0.015
	N	0.012

Çizelge A.2 : Kütahya-Tunçbilek kömürüne ait özellikler [38].

Bölge	Kütahya-Tunçbilek	
Kömür İçeriği	Nem	0.151
	Kül	0.197
	C	0.500
	H	0.036
	O	0.080
	S	0.021
	N	0.016

Çizelge A.3 : Manisa-Soma-Eynez kömürüne ait özellikler [38].

Bölge	Manisa-Soma-Eynez	
Kömür İçeriği	Nem	0.145
	Kül	0.178
	C	0.480
	H	0.037
	O	0.144
	S	0.007
	N	0.001

Çizelge A.4 : Muğla-Yatağan-Eskihisar kömürüne ait özellikler [38].

Bölge	Muğla-Yatağan-Eskihisar	
Kömür İçeriği	Nem	0.407
	Kül	0.102
	C	0.327
	H	0.028
	O	0.113
	S	0.026
	N	0.008

Çizelge A.5 : Bolu-Göynük kömürüne ait özellikler [38].

Bölge	Bolu-Göynük	
Kömür İçeriği	Nem	0.275
	Kül	0.331
	C	0.361
	H	0.028
	O	0.083
	S	0.027
	N	0.007

Çizelge A.6 : Manisa-Soma-Işıklar kömürüne ait özellikler [38].

Bölge	Manisa-Soma-Işıklar	
Kömür İçeriği	Nem	0.156
	Kül	0.149
	C	0.489
	H	0.037
	O	0.153
	S	0.007
	N	0.009

Çizelge A.7 : Bursa-Keles-Harmanalan kömürüne ait özellikler [38].

Bölge	Bursa-Keles-Harmanalan	
Kömü İçeriği	Nem	0.409
	Kül	0.091
	C	0.361
	H	0.028
	O	0.083
	S	0.027
	N	0.007

EK B.1**Çizelge B.1 : Kütahya-Seyitömer Sahası'nda üretilcek sentetik gazın özellikleri.**

Bölge		Kütahya-Seyitömer			
Ürün	Su-Oksijen Enjeksiyonu Oranı	0	0.33	0.67	1.00
	Molar Akış Hızı (kgmol/san.)	0.048	0.051	0.054	0.057
	Kütleli Akış Hızı (kg/san.)	1.08	1.15	1.21	1.28
	Hacimsel Akış Hızı (Nm ³ /dak.)	64.70	68.64	72.59	76.54
	Isıl Değeri (kcal/kg)	2042	1903	1780	1666
	Kömür (Alt) Isıl Değeri (kcal/kg)	3226	3226	3226	3226 [37]
	Gazın Bileşimi yH ₂	0.200	0.187	0.173	0.159
	yH ₂ O	0.260	0.304	0.346	0.385
	yCH ₄	0.061	0.065	0.069	0.071
	yCO ₂	0.190	0.198	0.206	0.210
	yCO	0.291	0.245	0.206	0.174

Çizelge B.2 : Kütahya-Tunçbilek Sahası'nda üretilcek sentetik gazın özellikleri.

Bölge		Kütahya-Tunçbilek					
Ürün	Su – Oksijen Enjeksiyonu Oranı	0	0.67	1.00	1.33	1.67	
	Molar Akış Hızı (kgmol/san.)	0.045	0.051	0.054	0.057	0.060	
	Kütleli Akış Hızı (kg/san.)	1.00	1.14	1.21	1.27	1.34	
	Hacimsel Akış Hızı (Nm ³ /dak.)	61.20	69.09	73.03	76.98	80.92	
	Isıl Değeri (kcal/kg)	3445	3002	2818	2652	2503	
	Kömür (Alt) Isıl Değeri (kcal/kg)	4580	4580	4580	4580	4580 [37]	
	Gazın Bileşimi	yH ₂	0.192	0.198	0.194	0.187	0.178
	yH ₂ O	0.044	0.127	0.169	0.209	0.248	
	yCH ₄	0.123	0.125	0.125	0.126	0.126	
	yCO ₂	0.066	0.133	0.155	0.172	0.183	
	yCO	0.574	0.415	0.356	0.306	0.264	

Çizelge B.3 : Manisa-Soma-Eynez Sahası'nda üretilecek sentetik gazın özellikleri.

Bölge		Manisa-Soma-Eynez				
Ürün Gazın Bileşimi	Su–Oksijen Enjeksiyonu Oranı	0	0.67	1.00	1.33	1.67
	Molar Akış Hızı (kgmol/san.)	0.045	0.051	0.054	0.057	0.060
	Kütlele Akış Hızı (kg/san.)	1.02	1.16	1.22	1.29	1.36
	Hacimsel Akış Hızı (Nm ³ /dak.)	61.11	69.00	72.94	76.89	80.84
	Isıl Değeri (kcal/kg)	3080	2685	2515	2372	2238
	Kömür (Alt) Isıl Değeri (kcal/kg)	4511	4511	4511	4511	4511 [37]
	yH ₂	0.198	0.195	0.190	0.180	0.170
	yH ₂ O	0.080	0.166	0.205	0.247	0.285
	yCH ₄	0.101	0.105	0.104	0.108	0.109
	yCO ₂	0.104	0.159	0.175	0.189	0.198
	yCO	0.517	0.375	0.324	0.276	0.237

Çizelge B.4 : Muğla-Yatağan-Eskihisar Sahası'nda üretilecek sentetik gazın özellikleri.

Bölge		Muğla-Yatağan-Eskihisar				
Ürün Gazın Bileşimi	Su–Oksijen Enjeksiyonu Oranı	0	0.33	1.00	1.33	
	Molar Akış Hızı (kgmol/san.)	0.048	0.051	0.054	0.057	
	Kütlele Akış Hızı (kg/san.)	1.08	1.15	1.22	1.28	
	Hacimsel Akış Hızı (Nm ³ /dak)	65.08	69.03	72.98	76.92	
	Isıl Değeri (kcal/kg)	1612	1499	1398	1309	
	Kömür (Alt) Isıl Değeri (kcal/kg)	2727	2727	2727	2727	2727 [37]
	yH ₂	0.186	0.168	0.152	0.134	
	yH ₂ O	0.350	0.394	0.435	0.475	
	yCH ₄	0.044	0.049	0.054	0.060	
	yCO ₂	0.204	0.209	0.212	0.212	
	yCO	0.216	0.179	0.147	0.120	

Çizelge B.5 : Bolu-Göynük Sahası'nda üretilecek sentetik gazın özellikleri.

Bölge	Bolu-Göynük			
Su-Oksijen	0	0.67	1.00	1.33
Enjeksiyonu Oranı				
Molar Akış Hızı (kgmol/san.)	0.037	0.043	0.045	0.048
Kütleli Akış Hızı (kg/san.)	0.90	1.03	1.10	1.17
Hacimsel Akış Hızı (Nm ³ /dak.)	49.54	57.40	61.34	65.28
Isıl Değeri (kcal/kg)	2260	1923	1785	1663
Kömür (Alt) Isıl Değeri (kcal/kg)	2216	2216	2216	2216
Ürün Gazın Bileşimi	yH ₂	0.139	0.117	0.104
	yH ₂ O	0.242	0.345	0.391
	yCH ₄	0.110	0.113	0.114
	yCO ₂	0.236	0.253	0.255
	yCO	0.272	0.172	0.136

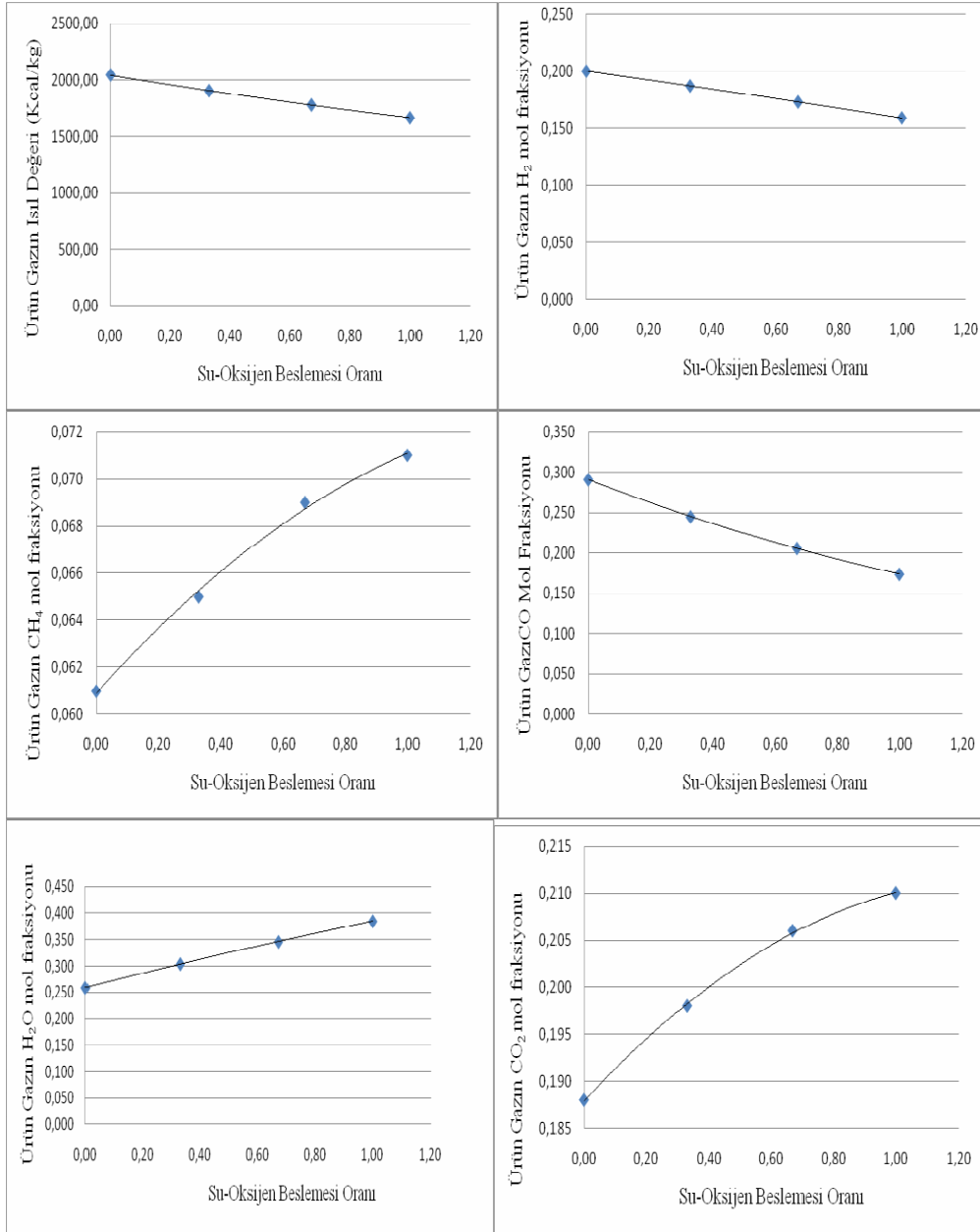
Çizelge B.6 : Manisa-Soma-Işıklar Sahası'nda üretilecek sentetik gazın özellikleri.

Bölge	Manisa-Soma-Işıklar			
Su – Oksijen	0	1.00	1.33	1.67
Enjeksiyonu Oranı				
Ürün Molar Akış Hızı (kgmol/san.)	0.046	0.055	0.058	0.061
Kütleli Akış Hızı (kg/san.)	1.04	1.25	1.31	1.38
Hacimsel Akış Hızı (Nm ³ /dak)	62.49	74.26	78.28	82.23
Isıl Değeri (kcal/kg)	3058	2517	2367	2236
Kömür (Alt) Isıl Değeri (kcal/kg)	4428	4428	4428	4428
Ürün Gazın Bileşimi	yH ₂	0.199	0.189	0.181
	yH ₂ O	0.082	0.206	0.246
	yCH ₄	0.100	0.105	0.106
	yCO ₂	0.106	0.176	0.189
	yCO	0.514	0.323	0.278

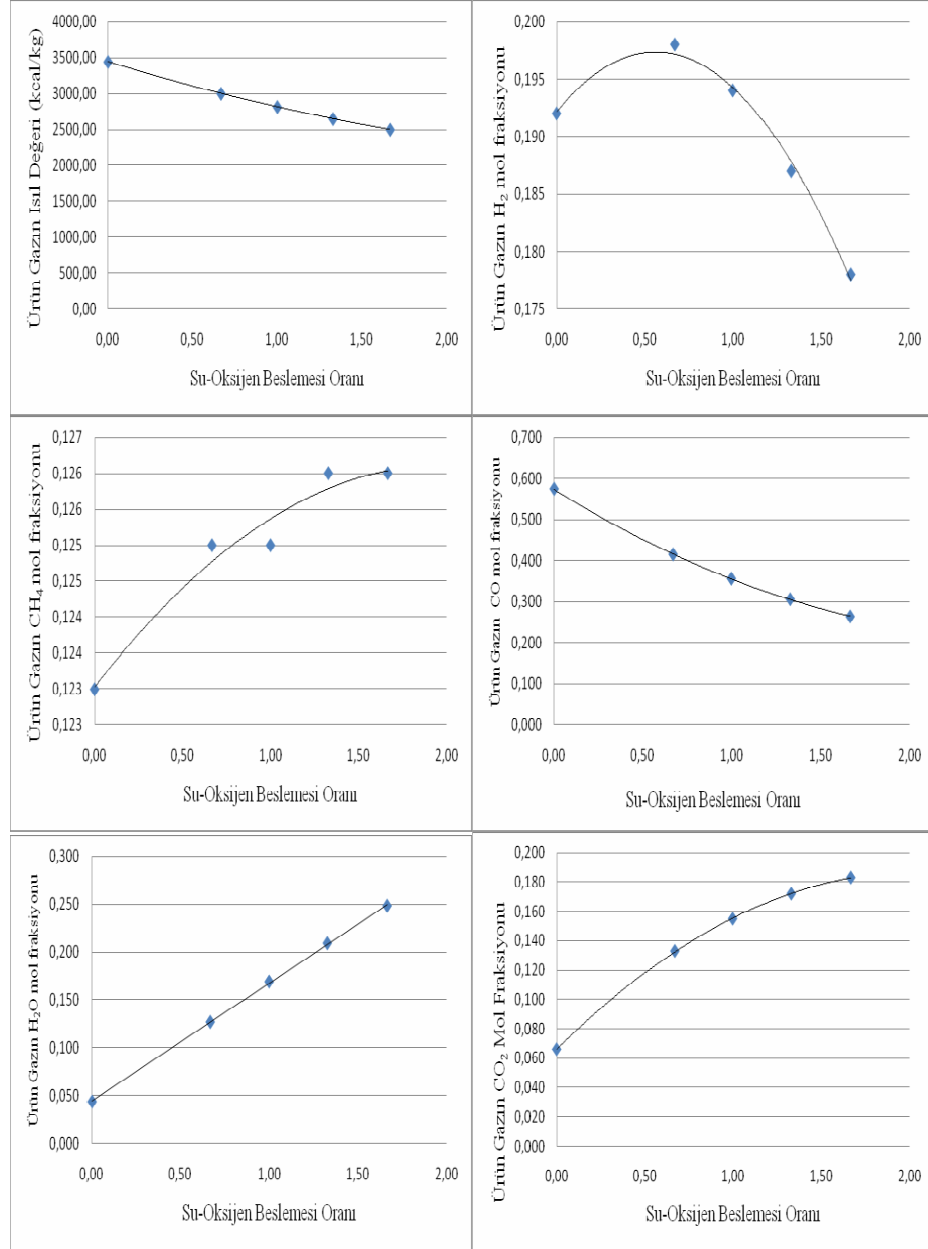
Çizelge B.7 : Bursa-Keles-Harmanalan Sahası’da üretilecek sentetik gazın özellikleri.

Bölge		Bursa-Keles-Harmanalan			
Ürün Gazın Bileşimi	Su–Oksijen Enjeksiyonu Oranı	0	0.33	0.67	1.00
	Molar Akış Hızı (kgmol/san.)	0.049	0.052	0.055	0.058
	Kütleli Akış Hızı (kg/san.)	1.09	1.16	1.23	1.29
	Hacimsel Akış Hızı (Nm ³ /dak)	65.86	69.80	73.75	77.63
	Isıl Değeri (kcal/kg)	1926	1795	1679	1577
	Kömür (Alt) Isıl Değeri (kcal/kg)	2986	2986	2986	2986 [37]
	yH ₂	0.193	0.177	0.162	0.145
	yH ₂ O	0.299	0.343	0.385	0.425
	yCH ₄	0.064	0.068	0.072	0.076
	yCO ₂	0.194	0.202	0.207	0.210
	yCO	0.250	0.209	0.174	0.143

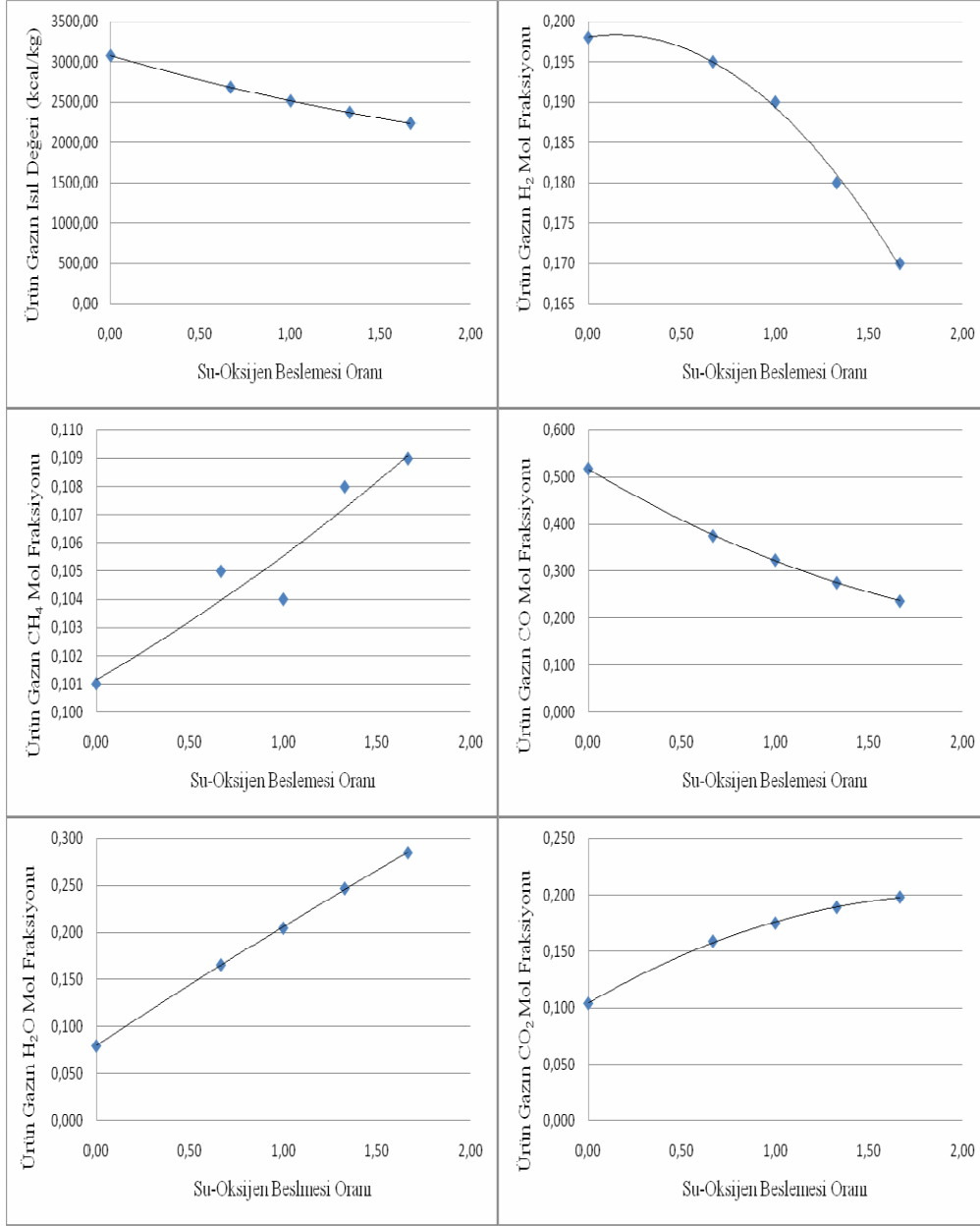
EK C.1



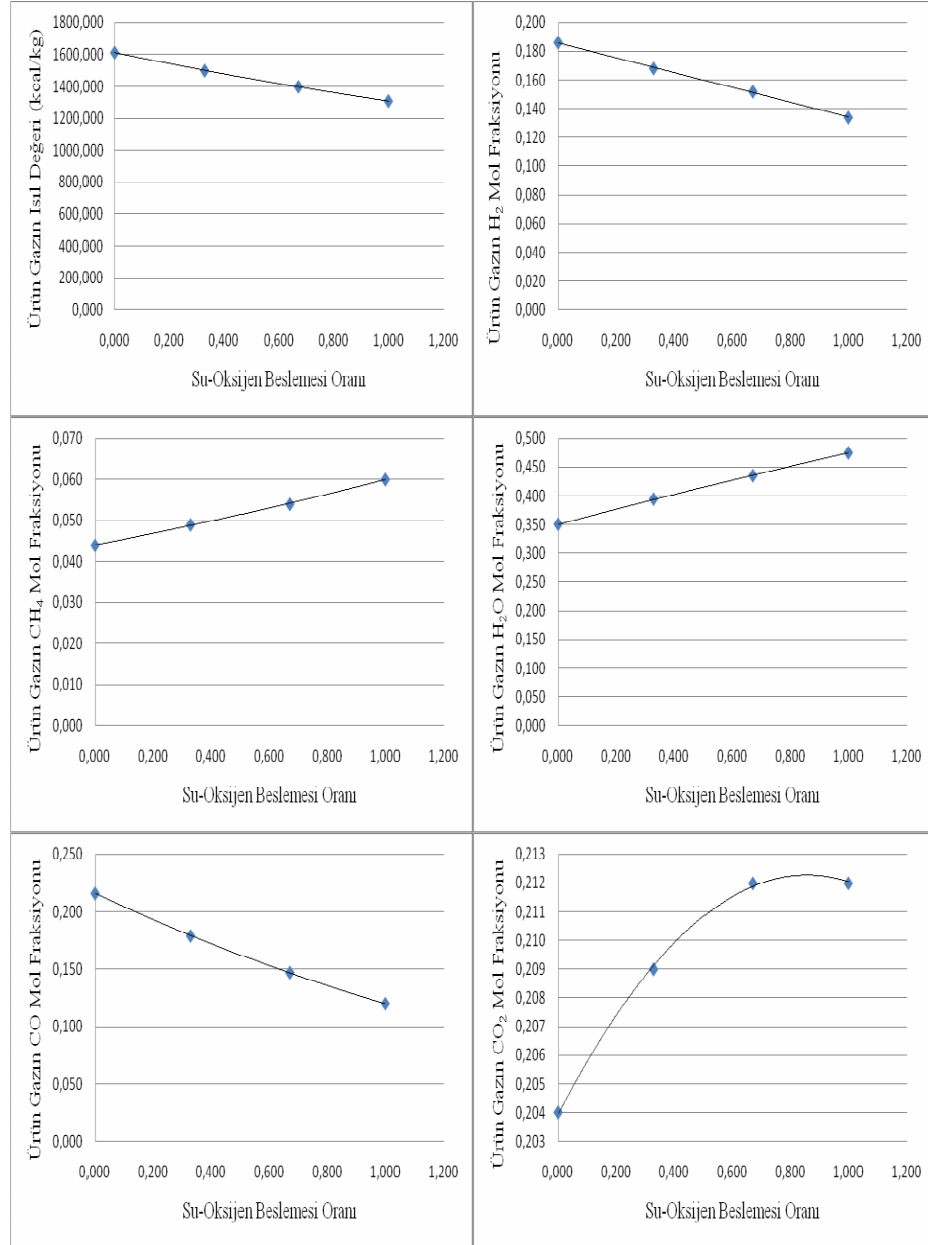
Şekil C.1 : Kütahya-Seyitömer Sahası için su ve oksijen enjeksiyonu oranının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.



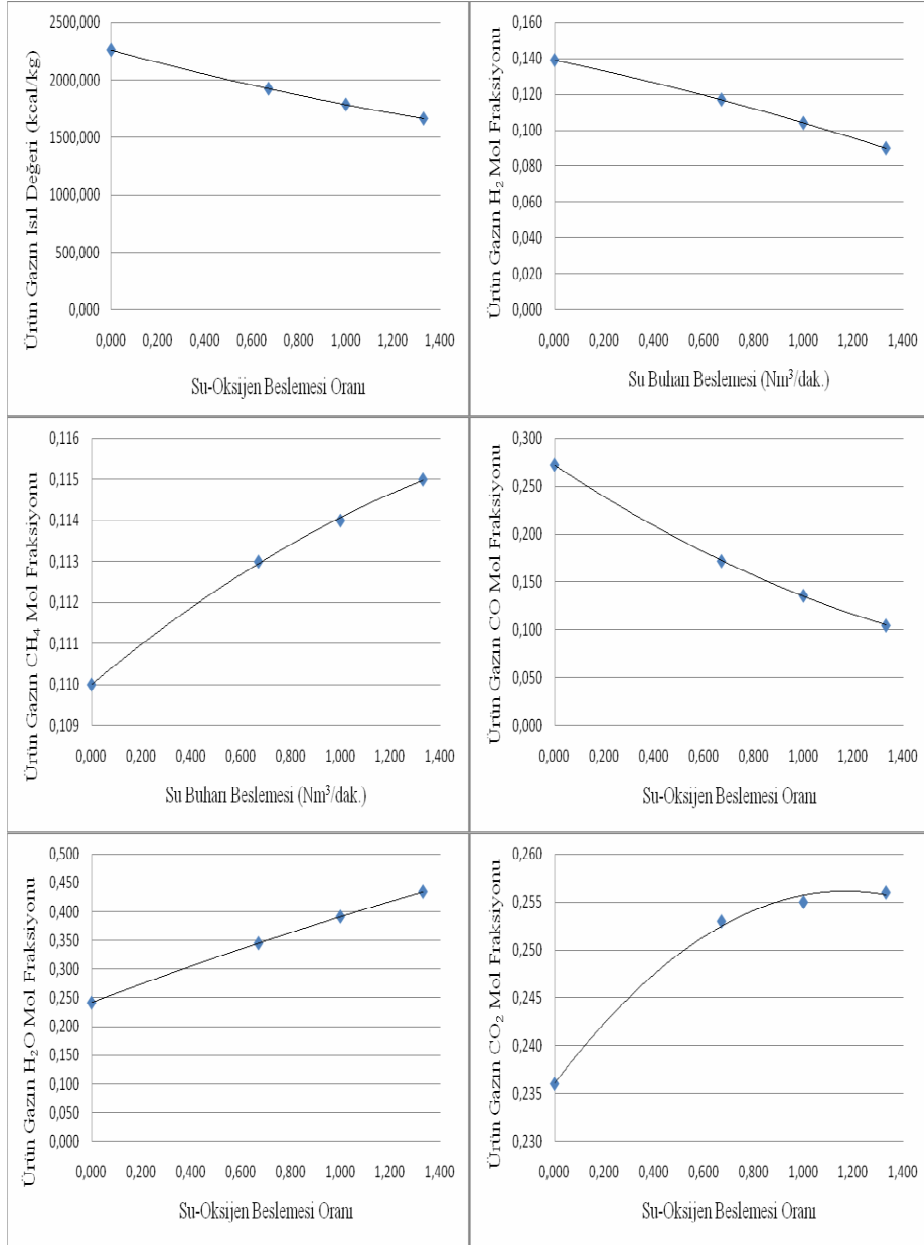
Şekil C.2 : Kütahya-Tunçbilek Sahası için su ve oksijen enjeksiyonu oranının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.



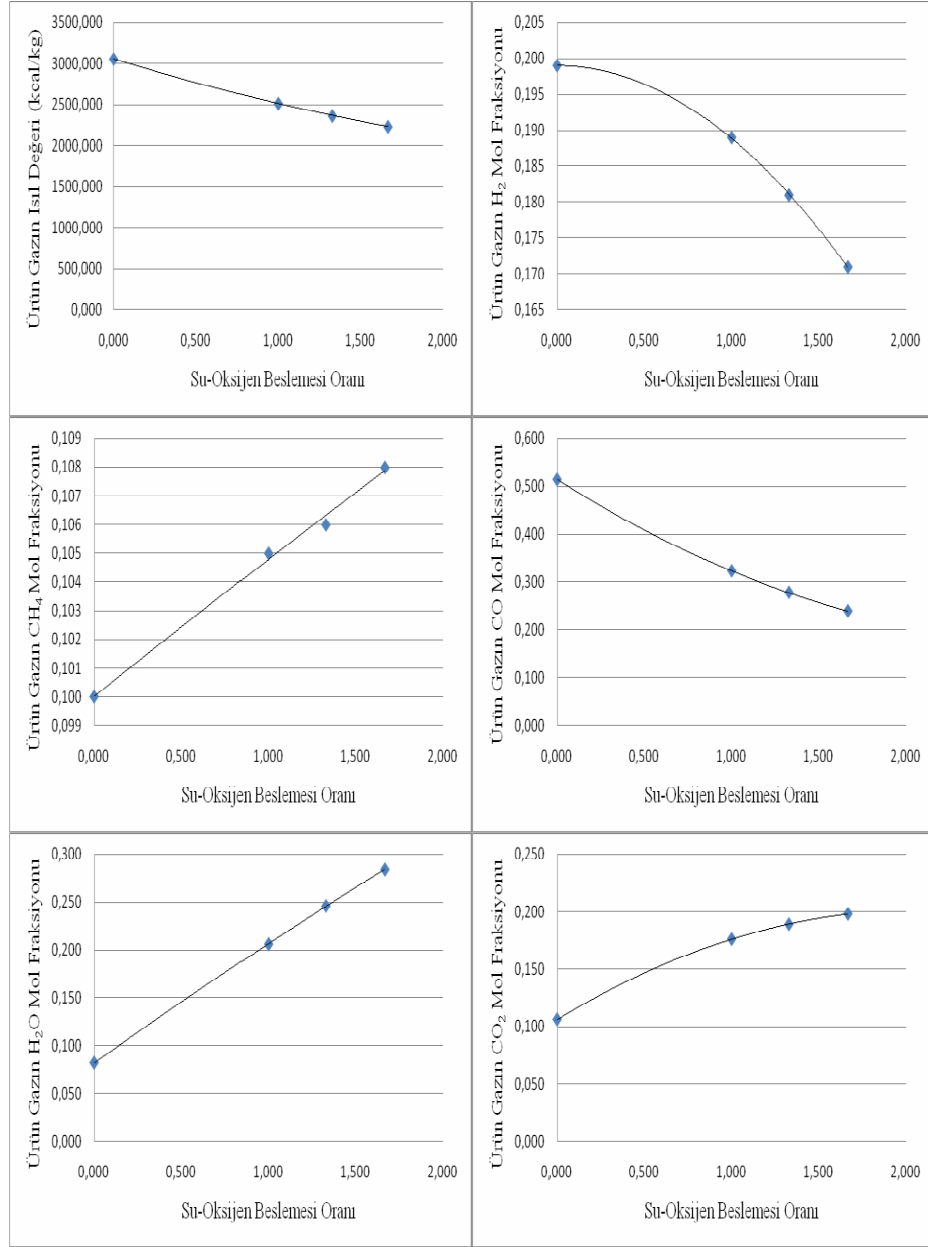
Şekil C.3 : Manisa-Soma-Eynez Sahası için su ve oksijen enjeksiyonu oranının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.



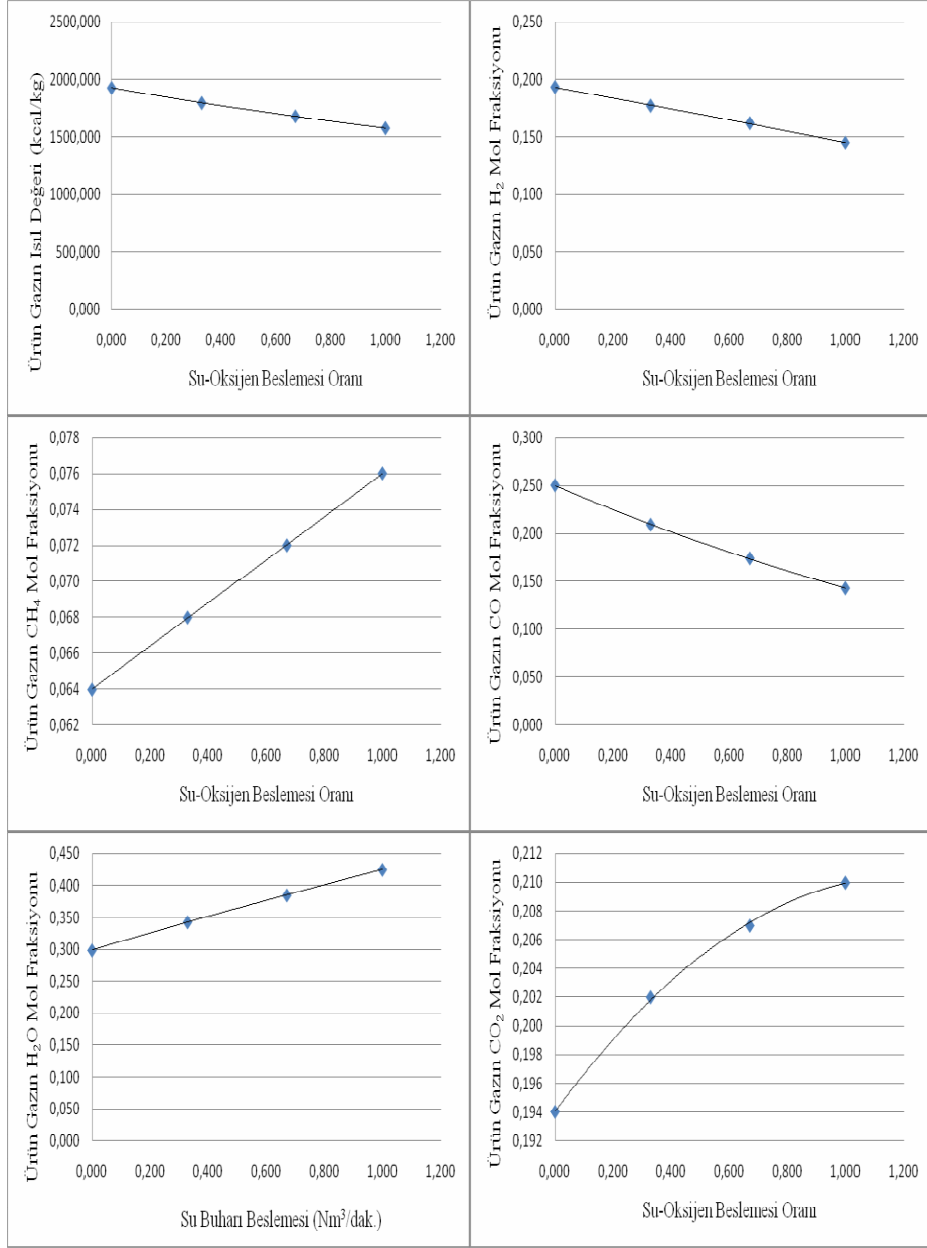
Şekil C.4 : Muğla-Yatağan-Eskihisar Sahası için su ve oksijen enjeksiyonu oranının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.



Şekil C.5 : Bolu-Göynük Sahası için su ve oksijen enjeksiyonu oranının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.

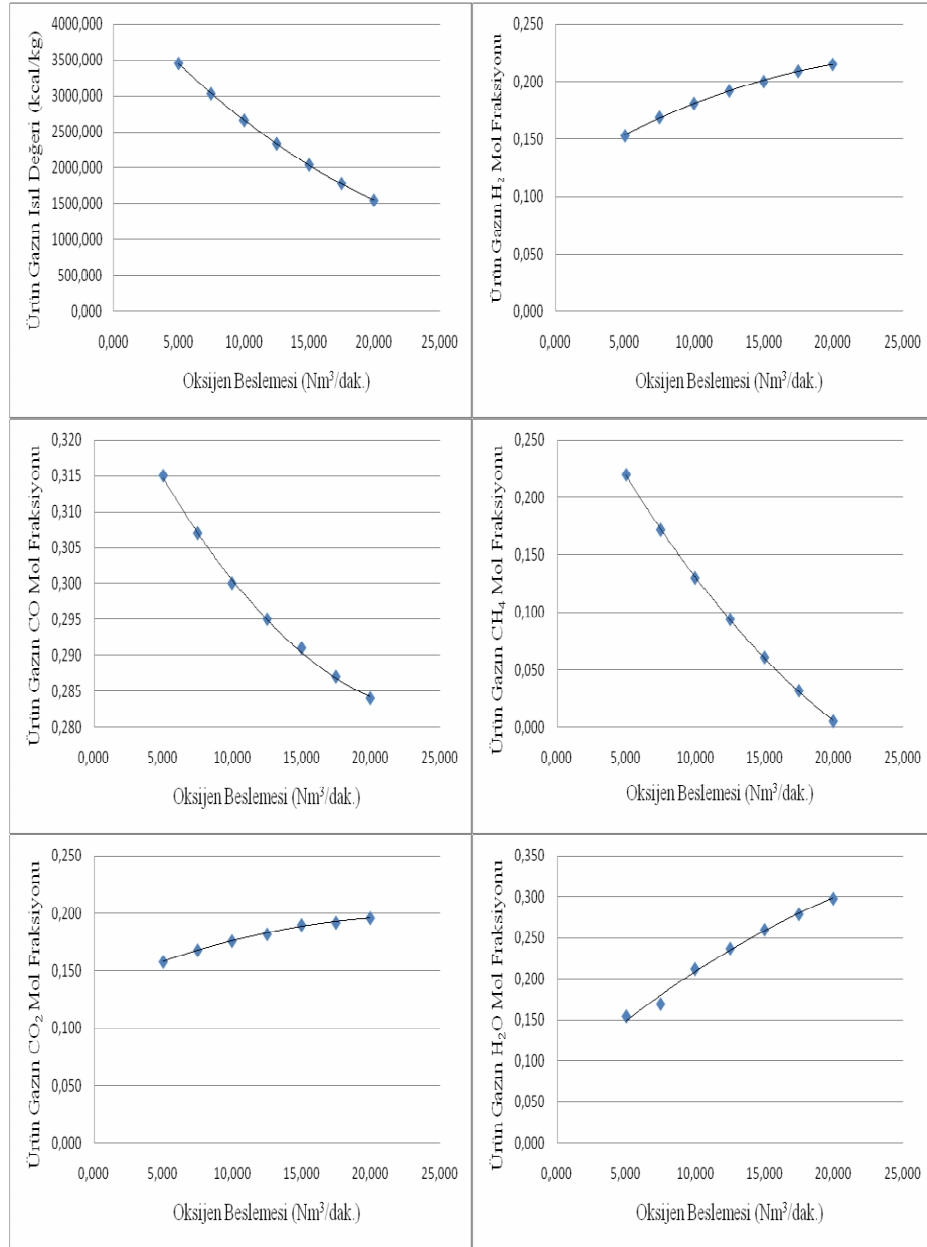


Şekil C.6 : Manisa-Soma-Işıklar Sahası için su ve oksijen enjeksiyonu oranının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.

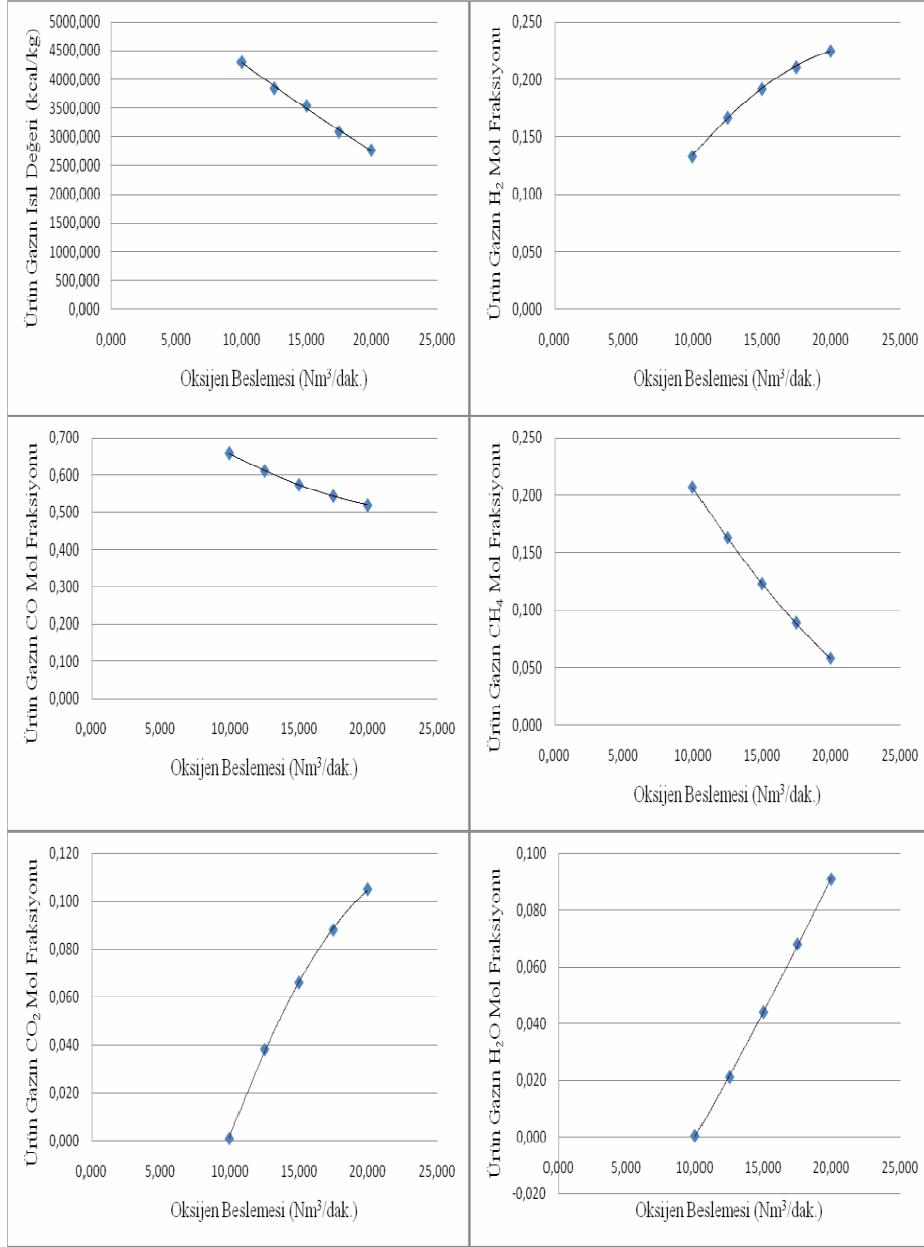


Şekil C.7 : Bursa-Keles-Harmanalan Sahası için su ve oksijen enjeksiyonu oranının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.

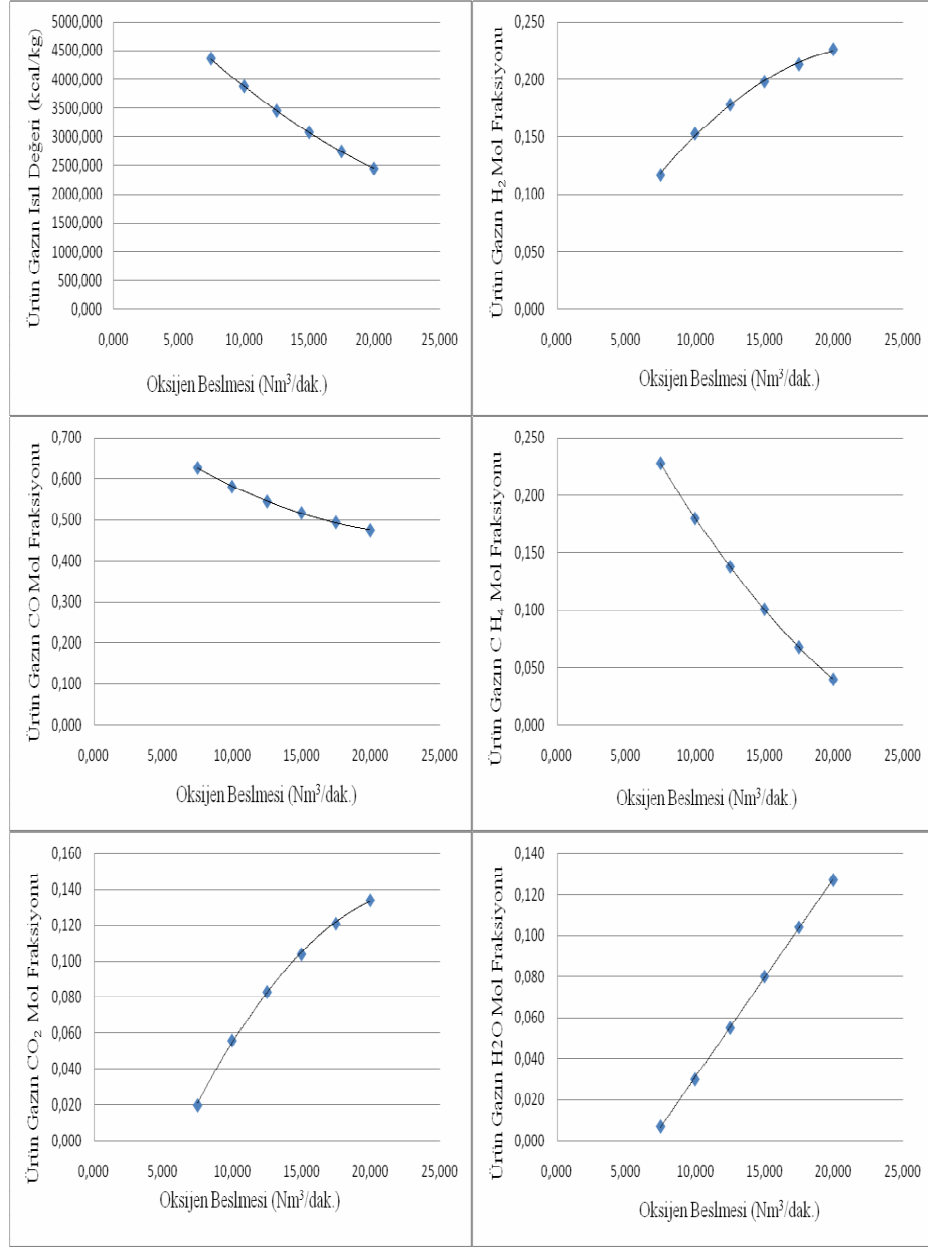
EK D.1



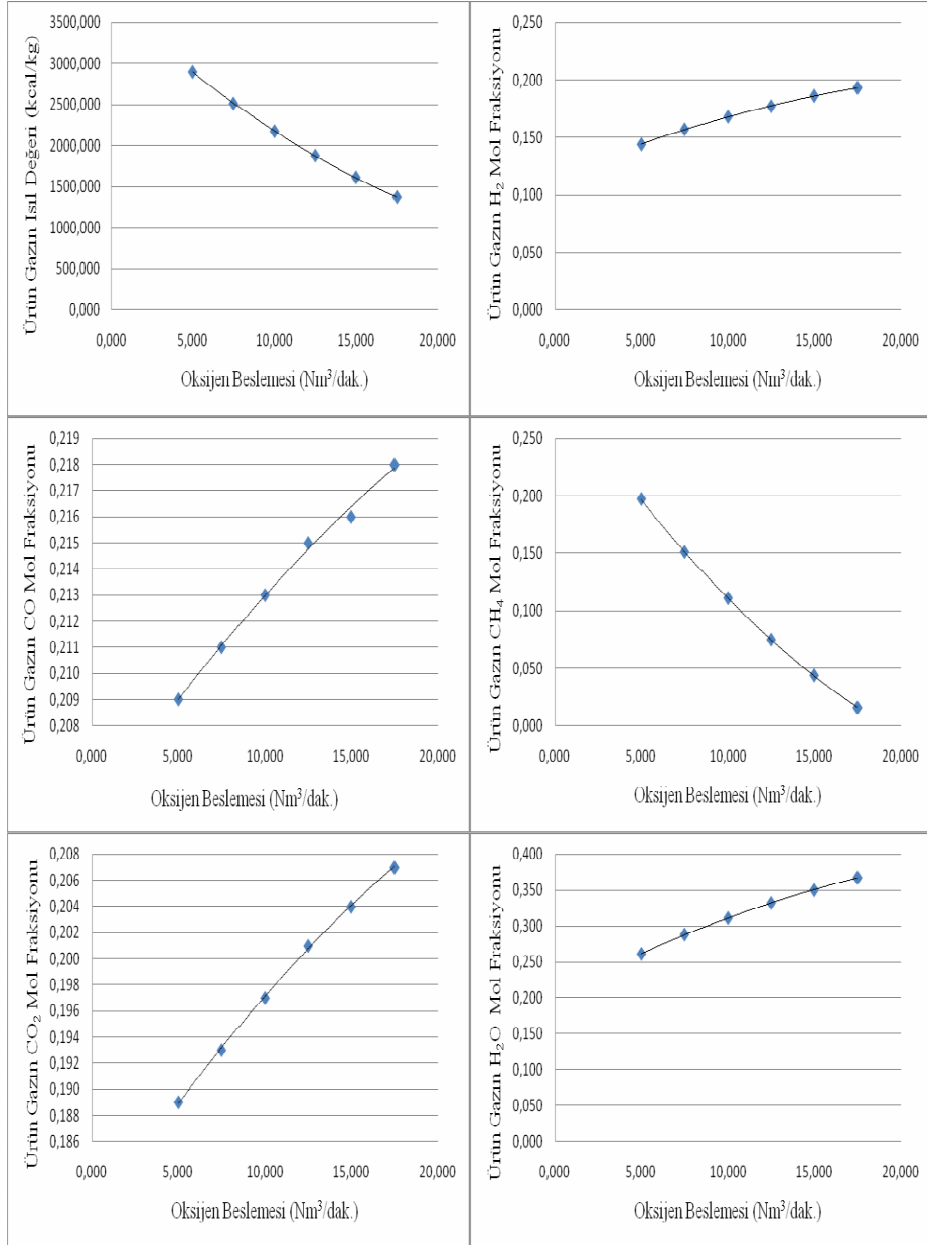
Şekil D.1 : Kütahya-Seyitömer Sahası için oksijen enjeksiyonu miktarının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.



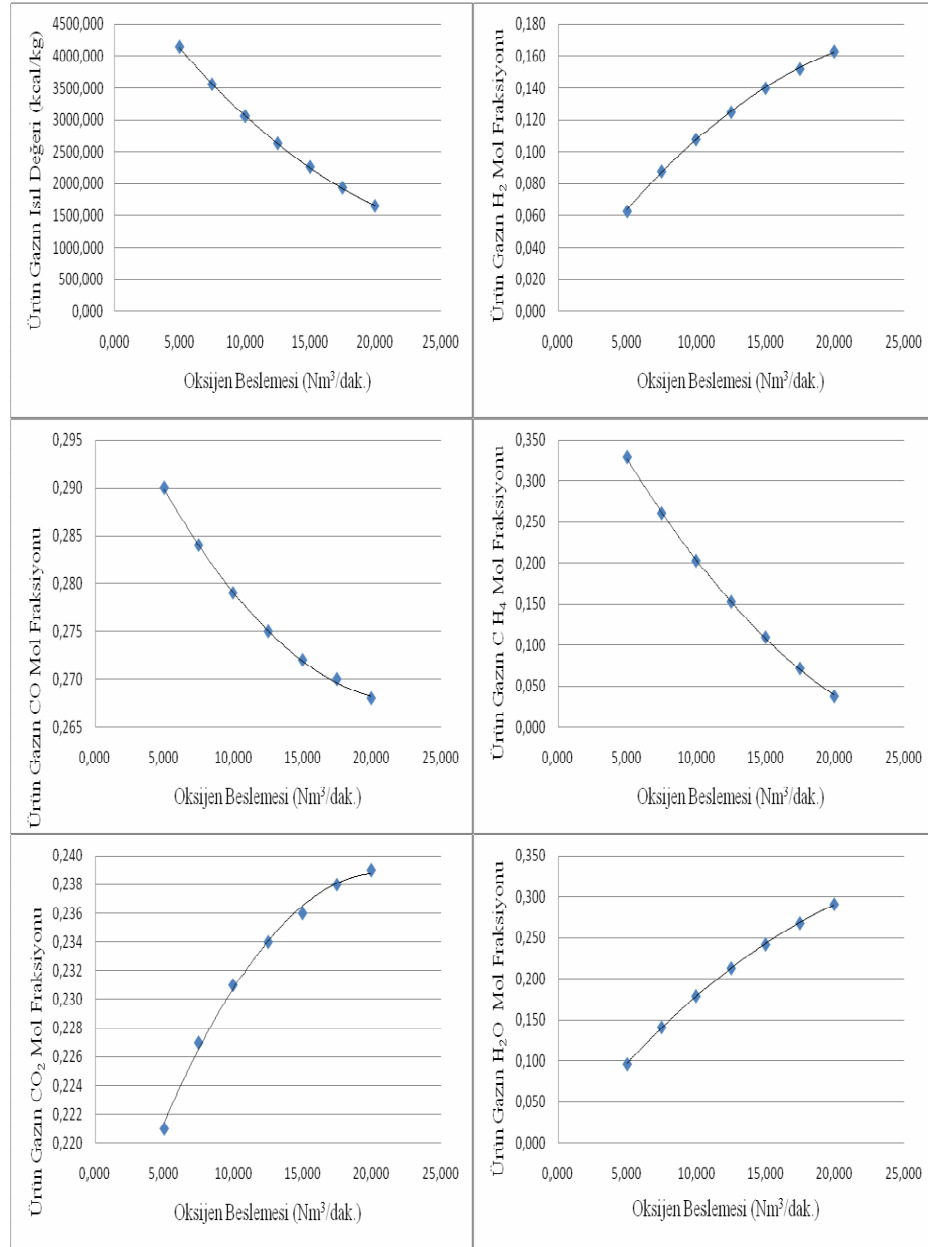
Şekil D.2 : Kütahya-Tunçbilek Sahası için oksijen enjeksiyonu miktarının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.



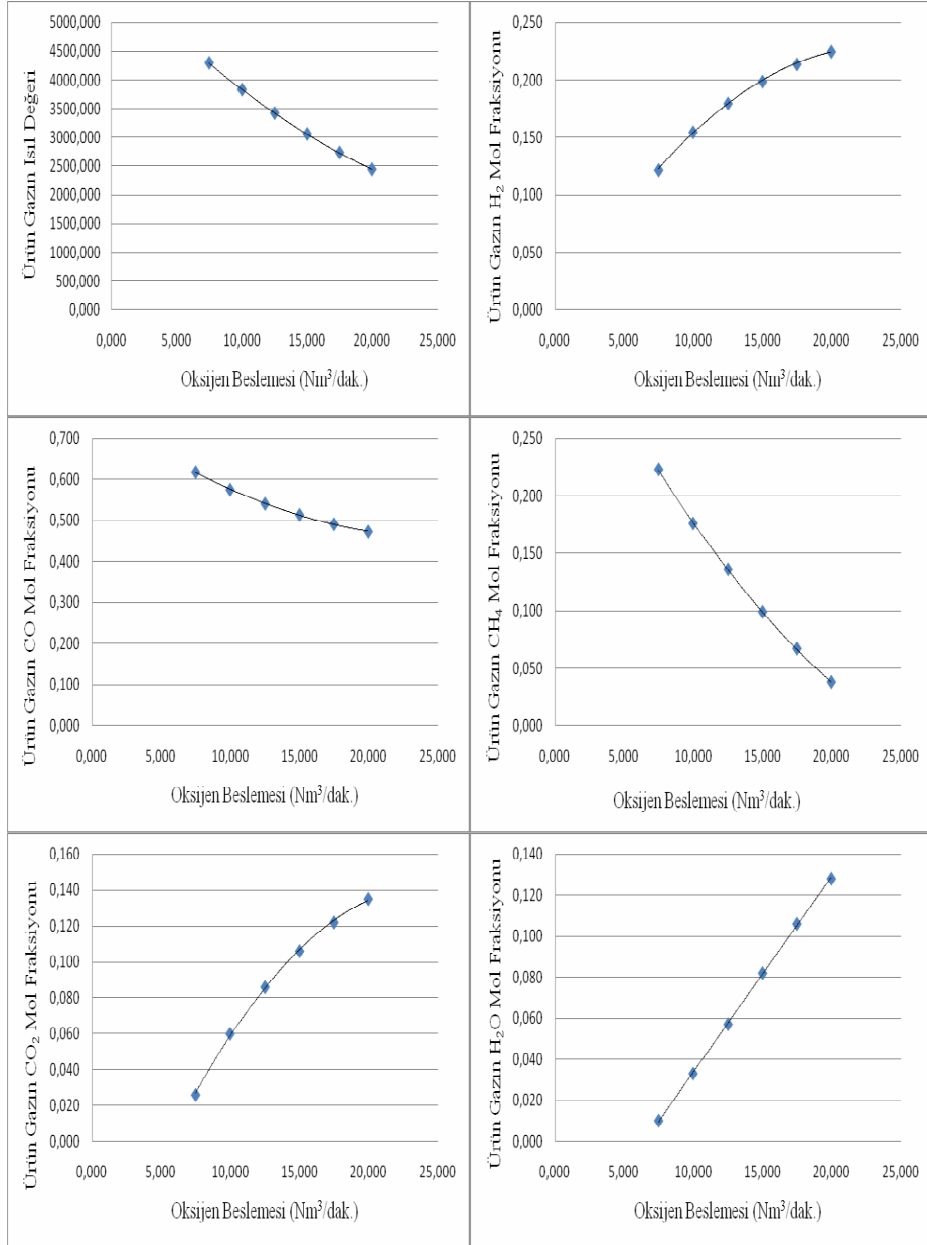
Şekil D.3 : Manisa-Soma-Eynez Sahası için oksijen enjeksiyonu miktarının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.



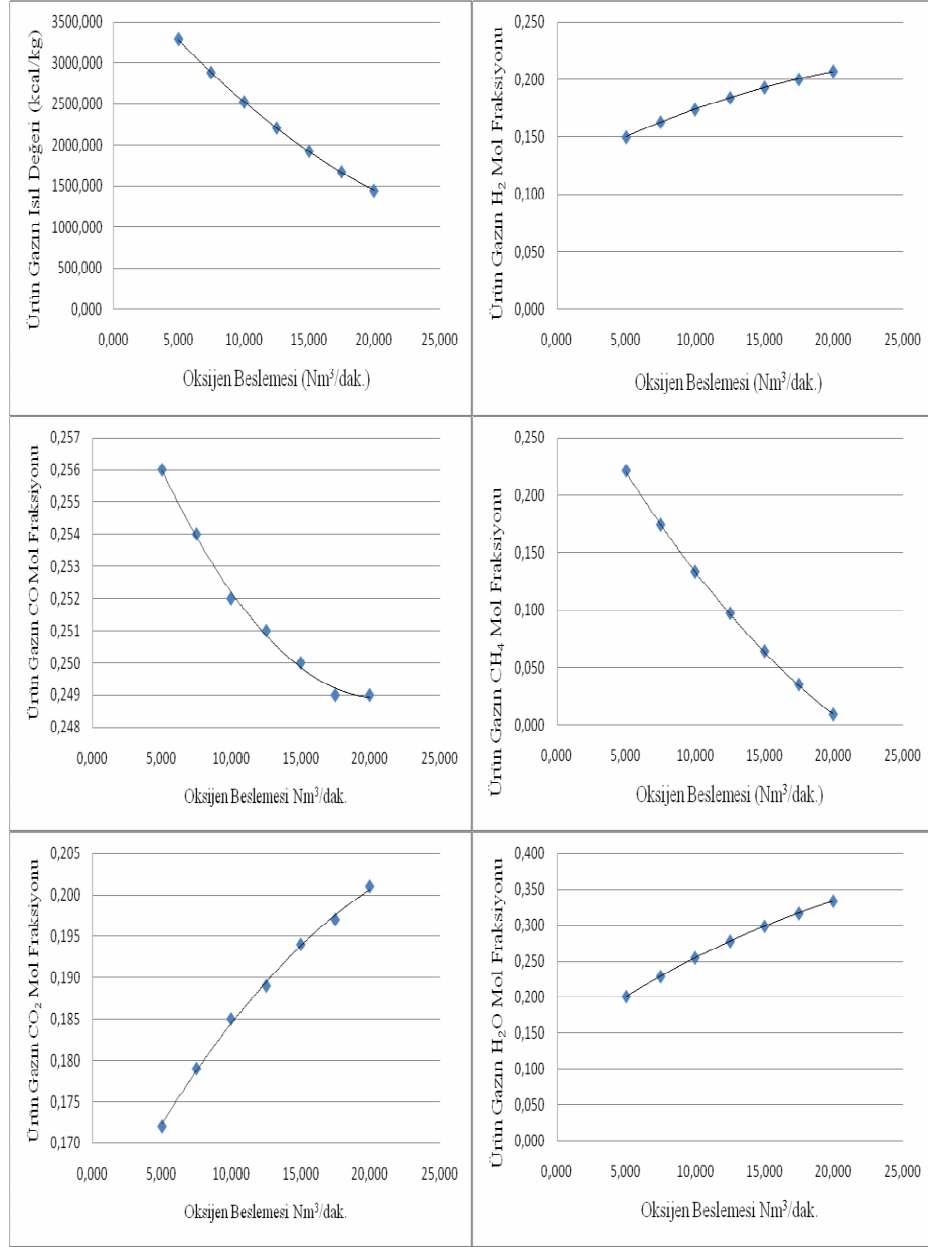
Şekil D.4 : Muğla-Yatağan-Eskihisar Sahası için oksijen enjeksiyonu miktarının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.



Şekil D.5 : Bolu-Göynük Sahası için oksijen enjeksiyonu miktarının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.



Şekil D.6 : Manisa-Soma-Işıklar Sahası için oksijen enjeksiyonu miktarının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.



Şekil D.7 : Bursa-Keles-Harmanalan Sahası için oksijen enjeksiyonu miktarının yer altı kömür gazlaştırma prosesine etkileri.

EK E.1**Çizelge E.1 : Kütahya-Seyitömer Sahası yer altı kömür gazlaştırma prosesine yalnız oksijen enjeksiyonu yapıldığı durumda ürün gaza ait özellikler.**

Bölge	Kütahya-Seyitömer						
O ₂ Enjeksiyonu (Nm ³ /dak.)	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
Isıl Değer (kcal/kg)	3456	3033	2662	2334	2042	1781	1545
Ürün Gazın Bileşimi	yH ₂	0.153	0.169	0.181	0.192	0.200	0.209
	yH ₂ O	0.154	0.169	0.212	0.237	0.260	0.279
	yCH ₄	0.220	0.172	0.130	0.094	0.061	0.032
	yCO ₂	0.158	0.168	0.176	0.182	0.190	0.192
	yCO	0.315	0.307	0.300	0.295	0.291	0.287

Çizelge E.2 : Kütahya-Tunçbilek Sahası yer altı kömür gazlaştırma prosesine yalnız oksijen enjeksiyonu yapıldığı durumda ürün gaza ait özellikler.

Bölge	Kütahya-Tunçbilek				
O ₂ Enjeksiyonu (Nm ³ /dak.)	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
Isıl Değer (kcal/kg)	4303	3847	3544	3088	2767
Ürün Gazın Bileşimi	yH ₂	0.133	0.167	0.192	0.211
	yH ₂ O	0.000	0.021	0.044	0.068
	yCH ₄	0.207	0.163	0.123	0.089
	yCO ₂	0.001	0.038	0.066	0.088
	yCO	0.658	0.611	0.574	0.544

Çizelge E.3 : Manisa-soma-Eynez yer altı kömür gazlaştırma prosesine yalnız oksijen enjeksiyonu yapıldığı durumda ürün gaza ait özellikler.

Bölge	Manisa-Soma-Eynez					
O ₂ Enjeksiyonu (Nm ³ /dak.)	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
Isıl Değer (kcal/kg)	4356	3875	3453	3078	2748	2450
Ürün Gazın Bileşimi	yH ₂	0.117	0.153	0.178	0.198	0.226
	yH ₂ O	0.007	0.030	0.055	0.080	0.127
	yCH ₄	0.228	0.180	0.138	0.101	0.068
	yCO ₂	0.020	0.056	0.083	0.104	0.121
	yCO	0.627	0.581	0.545	0.517	0.494

Çizelge E.4 : Muğla-Yatağan-Eskihisar Sahası yer altı kömür gazlaştırma prosesine yalnız oksijen enjeksiyonu yapıldığı durumda ürün gaza ait özellikler.

Bölge	Muğla-Yatağan-Eskihisar					
O ₂ Enjeksiyonu (Nm ³ /dak.)	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5
Isıl Değer (kcal/kg)	2899	2514	2177	1878	1612	1374
Ürün Gazın Bileşimi	yH ₂	0.144	0.157	0.168	0.177	0.186
	yH ₂ O	0.261	0.288	0.311	0.332	0.350
	yCH ₄	0.197	0.151	0.111	0.075	0.044
	yCO ₂	0.189	0.193	0.197	0.201	0.204
	yCO	0.209	0.211	0.213	0.215	0.216

Çizelge E.5 : Bolu-Göynük Sahası yer altı kömür gazlaştırma prosesine yalnız oksijen enjeksiyonu yapıldığı durumda ürün gaza ait özellikler.

Bölge	Bolu-Göynük						
O ₂ Enjeksiyonu (Nm ³ /dak.)	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
Isıl Değer (kcal/kg)	4141	3554	3057	2630	2260	1936	1649
Ürün Gazın Bileşimi	yH ₂	0.063	0.088	0.108	0.125	0.140	0.163
	yH ₂ O	0.096	0.141	0.179	0.213	0.242	0.291
	yCH ₄	0.329	0.261	0.203	0,153	0.110	0.072
	yCO ₂	0.221	0.227	0.231	0.234	0.236	0.238
	yCO	0.290	0.284	0.279	0.275	0.272	0.270

Çizelge E.6 : Manisa-Soma-Işıklar Sahası, yer altı kömür gazlaştırma prosesine yalnız oksijen enjeksiyonu yapıldığı durumda ürün gaza ait özellikler.

Bölge	Manisa-Soma-Işıklar					
O ₂ Enjeksiyonu (Nm ³ /dak.)	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
Isıl Değer (kcal/kg)	3554	3057	2630	2260	1936	1649
Ürün Gazın Bileşimi	yH ₂	0.088	0.108	0.125	0.140	0.152
	yH ₂ O	0.141	0.179	0.213	0.242	0.268
	yCH ₄	0.261	0.203	0,153	0.110	0.072
	yCO ₂	0.22	0.231	0.234	0.236	0.238
	yCO	0.618	0.575	0.541	0.514	0.491

Çizelge E.7: Bursa-Keles-Harmanalan Sahası, yer altı kömür gazlaştırma prosesine yalnız oksijen enjeksiyonu yapıldığı durumda ürün gaza ait özellikler.

Bölge	Bursa-Keles-Harmanalan						
O ₂	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
Enjeksiyonu (Nm ³ /dak.)							
Isıl Değer (Kcal/kg)	3287	2880	2523	2207	1926	1674	1496
Ürün Gazın Bileşimi	yH ₂	0.150	0.163	0.174	0.184	0.193	0.200
	yH ₂ O	0.201	0.229	0.255	0.278	0.299	0.317
	yCH ₄	0.221	0.174	0.133	0.097	0.064	0.035
	yCO ₂	0.172	0.179	0.185	0.189	0.194	0.197
	yCO	0.256	0.254	0.252	0.251	0.250	0.249

EK F.1

```
disp('KÜTLE DENKLİĞİ'); GH=input('Gazlaştırma Hızını Giriniz (ton/gün) =');
VO2=input('Oksijen Enjeksiyonunun Akış Hızını Giriniz (Nm3/dak.)=');
VH2O=input('Su Buharı Enjeksiyonunun Akış Hızını Giriniz (Nm3/dak.)=');
Myakit=(GH/(24*60*60))*1000; R=82.057*0.001; T=273.15; P=1;
nO2=(P*VO2)/(R*T*60);      nH2O=(P*VH2O)/(R*T*60);      MO2=nO2*32;
MH2O=nH2O*18;

a=input('Gazlaştırılacak kömürün kül içeriğini giriniz='); c=input('Gazlaştırılacak
kömürün karbon içeriğini giriniz='); w=input('Gazlaştırılacak kömürün nem içeriğini
giriniz='); o=input('Gazlaştırılacak kömürün oksijen içeriğini giriniz=');
h=input('Gazlaştırılacak kömürün hidrojen içeriğini giriniz=');
s=input('Gazlaştırılacak kömürün kükürt içeriğini giriniz=');
n=input('Gazlaştırılacak kömürün azot içeriğini giriniz=');

disp('=====');
if s<0.04; disp('Kömürdeki kükürt içeriği ihmal edilebilir miktardadır'); end
if n<0.04; disp('Kömürdeki azot miktarı ihmal edilebilir miktardadır'); end
disp('=====');
Murun=Myakit+MH2O+MO2-(Myakit*a); fprintf('Yakıtın Kütlesel Akış Hızı
(kg/san.)=%f\n',Myakit); fprintf('Oksijen Enjeksiyonunun Kütlesel Akış Hızı
(kg/san.)=%f\n',MO2); fprintf('Su Buharı Enjeksiyonunun Kütlesel Akış Hızı
(kg/san.)=%f\n',MH2O);

disp('=====');
fprintf('Oksijen Enjeksiyonunun Molar Akış Hızı (kgmol/san.)=%f\n',nO2);
fprintf('Su Buharı Enjeksiyonunun Molar Akış Hızı (kgmol/san.)=%f\n',nH2O);
fprintf('Ürün Gazın Kütlesel Akış Hızı (kg/san.)=%f\n',Murun);
disp('=====');
disp('Kabul: Gaz Üründeki Bileşenlerin Hacimsel Yüzdeleri');
disp('yH2=0.40, yCO2=0.40, yCH4=0.1, yCO=0.1');
disp('=====');
disp('Bu Değerlerin Belirlenen Bölgede Üretilcek Gazın İçeriği İle Örtüşüp
Örtüşmediğinin İncelenmesi'); disp('Kullanılan Metod:Deneme&Yanılma Metodu');
disp('=====');
yH21=0.40; yCO21=0.40; yCH41=0.1; yCO1=0.1; yH2O1=0;
nurun=Murun/(((44*yCO21)+(28*yCO1)+(2*yH21)+(16*yCH41)+(18*yH2O1));
A=(Myakit*c)/(12*nurun); C=1-A; D=((Myakit*(h+(w/9)))+(2*nH2O))/nurun;
yCH4=(D-(2*C))/4; E=((Myakit*((o/16)+(w/18)))+(2*nO2)+nH2O)/nurun;
B=A-yCH4; a=1; b=-E-(2*C); c=(-2*C*B)+(2*C*E); delta=(b*b)-(4*a*c);
```

```

x1=(-b+(delta^0.5))/(2*a); x2=(-b-(delta^0.5))/(2*a); if x1<1&& x1>0; yH2O=x1;
end; if x2<1&& x2>0; yH2O=x2; end; yH2=C-yH2O; yCO2=E-B-yH2O;
yCO=(2*B)-E+yH2O; fprintf('Gaz Ürünün H2 bileşimi=%f\n',yH2); fprintf('Gaz
Ürünün CO2 bileşimi=%f\n',yCO2); fprintf('Gaz Ürünün CH4
bileşimi=%f\n',yCH4); fprintf('Gaz Ürünün CO bileşimi=%f\n',yCO); fprintf('Gaz
Ürünün H2O bileşimi=%f\n',yH2O);

nurun1=Murun/((44*yCO2)+(28*yCO)+(2*yH2)+(16*yCH4)+(18*yH2O));

disp('=====');
fprintf('Ürün Gazın Kabul Edilen Molar Akış Hızı (kgmol/san.)=%f\n',nurun);

fprintf('Ürün Gazın Hesaplanan Molar Akış Hızı (kgmol/san.)=%f\n',nurun1);
del=nurun1-nurun; fprintf('Ürün Gazın Kabul edilen Molar Akış Hızı ile Hesaplanan
Molar Akış Hızı Arasındaki Fark=%f\n',del); if del<0.002; disp('Ürün Gazın Kabul
edilen Molar Akış Hızı ile Hesaplanan Molar Akış Hızı Birbirlerine Çok Yakındır.');
```

disp('====='); end;

```

F=(P*yH2)/(R*T); G=(P*yH2O)/(R*T); H=(P*yCH4)/(R*T); L=(P*yCO)/(R*T);
K=(P*yCO2)/(R*T); Vurun=(nurun1*60)/(F+G+H+L+K);

fprintf('Ürün Gazın Hacimsel Akış Hızı (Nm3/dak.)=%f\n',Vurun);

disp('ENERJİ DENKLİĞİ'); HH2=285.7; HCH4=891.7; HCO=283.1;

Hurun=((yCO*HCO)+(yCH4*HCH4)+(yH2*HH2))*((10^6)/(22.74*4184));

fprintf('Ürün Gazın Isıl Değeri (kcal/kg)=%f\n',Hurun);

```

EK G.1

```
GH=input('Gazlaştırma Hızını Giriniz (ton/gün) =');
VO2=input('Oksijen Enjeksiyonunun Akış Hızını Giriniz(Nm3/dak.)=');
VH2O=input('Su Buharı Enjeksiyonunun Akış Hızını Giriniz (Nm3/dak.)=');
disp('YER ALTI KÖMÜR GAZLAŞTIRMA PROSESİ MALİYET ANALİZİ');
SR=input('Gazlaştırmanın Yapılacağı Sahadaki Kömür Rezervini Giriniz (ton) =');
disp('Gazlaştırma Prosesi %25 Verimle Yapılırsa;'); GK=SR*0.25;
fprintf('10 Yılda Gazlaştırılacak Kömür Miktarı (ton)=%f\n',GK); GKy=GK/10;
fprintf('1 Yılda Gazlaştırılacak Kömür Miktarı (ton)=%f\n',GKy);
GKg=GKy/365; fprintf('1 Günde Gazlaştırılacak Kömür Miktarı (ton)=%f\n',GKg);
disp('=====');
O2=((GKg*VO2)/GH)*60*24*365;
if VO2==VH2O; H2O=O2; else; H2O=((GKg*VH2O)/GH)*60*24*365; end;
fprintf('1 Yılda Gazlaştırılacak Kömür Miktarı İçin O2 Enjeksiyonu (Nm3/yıl)=%f\n',O2);
fprintf('1 Yılda Gazlaştırılacak Kömür Miktarı İçin H2O Enjeksiyonu (Nm3/yıl)=%f\n',H2O);
disp('=====');
Vurun=input('Ürün Gazın Hacimsel Akış Hızı (Nm3/dak.)=');
Murun=input('Ürün Gazın Kütlesel Akış Hızı (kg/san.)=');
Muruny=((GKg*Murun)/GH)*60*60*24*365;
Vuruny=((GKg*Vurun)/GH)*60*24*365;
fprintf('Prosesten 1 Yılda Elde Edilecek Ürün Gazın Hacimsel Hızı (Nm3/yıl)=%f\n',Vuruny);
fprintf('Prosesten 1 Yılda Elde Edilecek Ürün Gazın Kütlesel Hızı (kg/yıl)=%f\n',Muruny);
disp('=====');
YSD=input('Ortalama yatay sondaj derinliği='); YSU=input('Yatay sondaj uzunluğu='); DSD=input('ortalama dikey sondaj derinliği=');
disp('=====');
disp('GAZLAŞTIRMA OYUĞUNUN KESİT ALANI İÇİN KABÜLLER');
alan1=input('Gazlaştırma Oyuğunun Kesit Alanını Giriniz (Kabul 1) (m2)=');
alan2=input('Gazlaştırma Oyuğunun Kesit Alanını Giriniz (Kabul 2) (m2)=');
SA=input('Kömürün Spesifik Ağırlığını Giriniz=');
disp('=====');
BGK=alan1*SA*YSU; fprintf('Bir Birimde Gazlaştırılacak Kömür Miktarı (ton)=%f\n',BGK); BS=GKy/BGK; BS1=ceil(BS);
```

```

fprintf('1 Yılda Gazlaştırılacak Kömür Miktarı İçin Gerekli Birim Sayısı=%f\n',BS1);
disp('=====');
disp('5 birim = 1 seri'); Seri=BS/5; Seri1=ceil(Seri);
fprintf('1 Yılda Gazlaştırılacak Kömür Miktarı İçin Gerekli Seri Sayısı=%f\n',Seri1);
disp('=====');
BGK1=alan2*SA*YSU;
fprintf('1 Birimde Gazlaştırılacak Kömür Miktarı (ton)=%f\n',BGK);
disp('=====');
BS2=GKy/BGK1; BS3=ceil(BS2);
fprintf('1 Yılda Gazlaştırılacak Kömür Miktarı İçin Gerekli Birim Sayısı=%f\n',BS3);
disp('=====');
disp('5 birim = 1 seri'); Seri2=BS2/5; Seri3=ceil(Seri2);
fprintf('1 Yılda Gazlaştırılacak Kömür Miktarı İçin Gerekli Seri Sayısı=%f\n',Seri3);
disp('TEMEL MALİYET VERİLERİ'); DS=600*DSD; YS=2500*YSU;
ELW=(4*DS)+YS; CRIP=DS+YS; fprintf('ELW Prosesinin 1 Biriminin
Maliyeti=%f\n',ELW); fprintf('CRIP Prosesinin 1 Biriminin Maliyeti=%f\n',CRIP);
disp('====='); a=1;
b=0.05; MO2=O2*a; MH2O=H2O*b; Tesis=20*SR;
Tesisy=(Tesis/10); Diger=3000000; disp('ÜRETİM MALİYETLERİ');
ELW1=(BS1*ELW)+MO2+MH2O+Tesisy+Diger;
ELW2=(BS3*ELW)+MO2+MH2O+Tesisy+Diger;
CRIP1=(BS1*CRIP)+MO2+MH2O+Tesisy+Diger;
CRIP2=(BS3*CRIP)+MO2+MH2O+Tesisy+Diger;
fprintf('Kabul 1 İçin ELW Prosesinin Toplam Maliyeti=%f\n',ELW1); fprintf('Kabul
2 İçin ELW Prosesinin Toplam Maliyeti=%f\n',ELW2); fprintf('Kabul 1 İçin CRIP
Prosesinin Toplam Maliyeti=%f\n',CRIP1); fprintf('Kabul 2 İçin CRIP Prosesinin
Toplam Maliyeti=%f\n',CRIP2);
disp('ÜRETİM GELİRİ');
KD=input('Ürün Gazın Kalorifik Değerini Giriniz (kcal/kg)=');
TISI=(KD*Muruny*4.184)/(365*24*3600*1000);
fprintf('Prosesten Elde Edilen Toplam Isı Miktarı (MW)=%f\n',TISI);
disp('=====');
G1=0.14*0.001*KD*Muruny; G2=0.19*0.001*KD*Muruny;
G3=0.12*0.001*KD*Muruny; G4=0.15*0.001*KD*Muruny;
disp('ELW Prosesinden Elde Edilecek Gelir'); fprintf('%f',G1); disp('$ ile');
fprintf('%f',G2); disp('$ Arasında Olacaktır.')
disp('CRIP Prosesinden Elde Edilecek Gelir'); fprintf('%f',G3); disp('$ ile');
fprintf('%f',G4); disp('$ Arasında Olacaktır.') if G1>ELW1&&G2>ELW2;
disp('ELW Prosesi Karlıdır.');
```

```

ELWkar2=((G2-ELW2)/ELW2)*100; fprintf('Kabul 1 için ELW prosesinin karlılığı
%f\n',ELWkar1); fprintf('Kabul 2 için ELW prosesinin karlılığı %f\n',ELWkar2);
if G3>CRIP1&&G4>CRIP2; disp('CRIP Prosesi Karlıdır.');
```

end

```

CRIPkar1=((G3-CRIP1)/CRIP1)*100; CRIPkar2=((G4-CRIP2)/CRIP2)*100;
fprintf('Kabul 1 için CRIP prosesinin karlılığı %f\n',CRIPkar1);
fprintf('Kabul 2 için CRIP prosesinin karlılığı %f\n',CRIPkar2);
```

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Rahşan EKİM

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul/20.06.1985

Adres: Başakşehir Mah. Onurkent Nurettin Topçu Cad. Erdem Beyazıt Sok.
Üniversiteliler Sitesi No: 18/B-11 Başakşehir/İstanbul

Lisans Üniversite: Hacettepe Üniversitesi

