

Kömür Yakıtlı Termik Santrallere Alternatif Petkok Yakıtlı Termik Santraller

Özlem ÖZÇELİK¹, Kurtuluş BORAN*²

¹Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

²Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği

(Geliş / Received : 26.02.2016 ; Kabul / Accepted : 08.04.2016)

ÖZ

Petkok, artık sadece petrol rafinerisi yan ürünü değil, yapısındaki yüksek karbon içeriği ve düşük kül oranıyla sebebiyle enerji üretimi için de alternatif yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizin ve hatta dünyanın artan enerji talebini karşılamak için fosil kaynakların ömürlerinin azaldığını görmekteyiz. Yapılan çalışmada, kömür ve petkok yakıtlı termik santraller, yatırım maliyetleri, işletme maliyetleri ve yıllık bakım maliyetleri göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: petkok, kömür, enerji

Coal-Fired Power Plants Alternative Petcoke Fired Power Plants

ABSTRACT

Petroleum coke is not by-product of refinery, have been started using alternative fuel for energy production because of high carbon content and low ash rate. Growing energy demand in our country and even the World leads to the depletion of fossil resources life time. In this study, coal and petroleum coke fired thermal power plants are compared considering capital costs, operating costs and annual maintenance costs.

Keywords: petcoke, coal, energy

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Modern toplumların ekonomilerinin ve büyümelerinin temelini oluşturan sanayileşmenin sağladığı yararların yanı sıra çözüm bekleyen birçok problemi beraberinde getirmiştir. Bunlardan en önemlisi enerji talebindeki artıştır. Enerji kullanmadan üretim yapmak mümkün değildir. İstatistiklere göre gelişmiş ülkeler aynı zamanda en çok enerji tüketen ülkelerdir. Gelecek senaryolara baktığımızda önümüzdeki beş yıl içerisinde elektrik talebi %5 ile %10 arasında bir artışa sahip olacaktır [1]. Ortadoğu'da elektrik üretiminin %30'u petrole bağımlıdır [2]. Bu rakam Dünya ile karşılaştırıldığında dört kat daha fazladır. Ülkemizde ise kömür, elektrik üretiminde kullanılan önemli yakıt türlerinden birisidir. Fosil yakıtların hızla tükenmesi ve dolayısıyla maliyetlerin artması, sektörü ve araştırmacıları alternatif yakıt arayışına yönlendirmiştir.

Dünya Ekonomik Görünüm Raporu (WEO 2013) senaryolarına göre elektrik üretiminin, 2011'de 22 113 TWh'den ortalama %2,5'lik artışlarla 2020'de 28 789 TWh'ye, 2030'da 36 224 TWh'ye ve 2035'de de 39 853 TWh'ye artması öngörülmektedir. Bu rakamlar göz önüne alındığında 2011 ve 2035 yılları arasında % 80,2 oranında artış beklenmektedir. Aynı şekilde, ABD Enerji

Bilgi İdaresi olan EIA tarafından 2013 yılında hazırlanan Referans çalışma baz alındığında (IEO 2013) 2010'da 20 200 TWh olan elektrik üretiminin 2020'de 26 600 TWh'ye yükselmesi öngörülmektedir. 2010-2035 döneminde ise yıllık % 2 oranında yükselmelerle toplam % 79,2 oranında artış ile 2035 yılında elektrik üretiminin 36 200 TWh değerine ulaşacağı hesaplanmaktadır. 2035 yılına kadar kömüre dayalı elektrik üretiminin yıllık ortalama % 2,4 oranında ve doğalgaza dayalı elektrik üretiminin ise % 2,7 oranında yükselmesi beklenmektedir [3].

Türkiye'nin büyüme oranlarına ve dolayısıyla artan enerji arzına bakıldığında, elektrik ve doğalgaz talebinde artış olmuştur [3]. Kömürün elektrik üretimindeki payı, 2015 yılsonu itibarıyla %30,2, doğalgazın ise % 47,9 olmuştur [4]. Doğalgaz ve kömüre bağımlılık yüksek oranda olduğundan dolayı biyokütle, petkok gibi alternatif yakıtlara yönelme olmaktadır.

Petkok, bıraktığı kül miktarı düşük ve ısı değeri yüksek olan, katı bir yakıttır. Koyu gri veya siyah renklidir. Eritilemez 1500 °C plastik faza geçer. Başlıca bileşeni karbondur, yapısında kükürt, oksijen, azot ve hidrojen de bulundurulur. Bünyesinde karbon oranı yüksek olmasına rağmen emisyon oranları yerli kömüre göre düşük gözükmektedir. Yakıtların kuru bazda elementer ve endüstriyel analizleri aşağıda Çizelge-1'de verilmiştir.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: kboran@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.4 531-535

Çizelge-1. Yakıtların elementer ve endüstriyel analizleri (Fuels' proximate and ultimate analysis)

Parametreler	Petkok	Yerli kömür
Elementer Analiz (kuru bazda)		
Element	%	%
C	81,80	45,20
S	5,50	2,36
N	0,90	1,22
H	3,80	3,46
O	0,59	28,15
Endüstriyel Analiz		
Nem	7,00	24,00
Uçucu Madde	11,00	26,00
Karbon Oranı	81,00	44,39
Kül Oranı	1,00	19,61

Demir-çelik, çimento fabrikaları, depolama, kireçleştirme ve enerji üretiminde etkin olarak kullanılmaktadır. Yapısındaki yüksek karbon oranı nedeniyle enerji üretimi için üstünlüğü bulunmaktadır. Yapısındaki uçucu madde miktarının az olması ve kükürt oranının yüksek olması kendisi gibi katı yakıt olan kömürle kıyaslandığında başlıca farklılıklardır. Yapısındaki uçucu miktarının az olması kömüre oranla yanma için tutuşturma sıcaklığının yüksek olması gerektiği anlamını taşır.

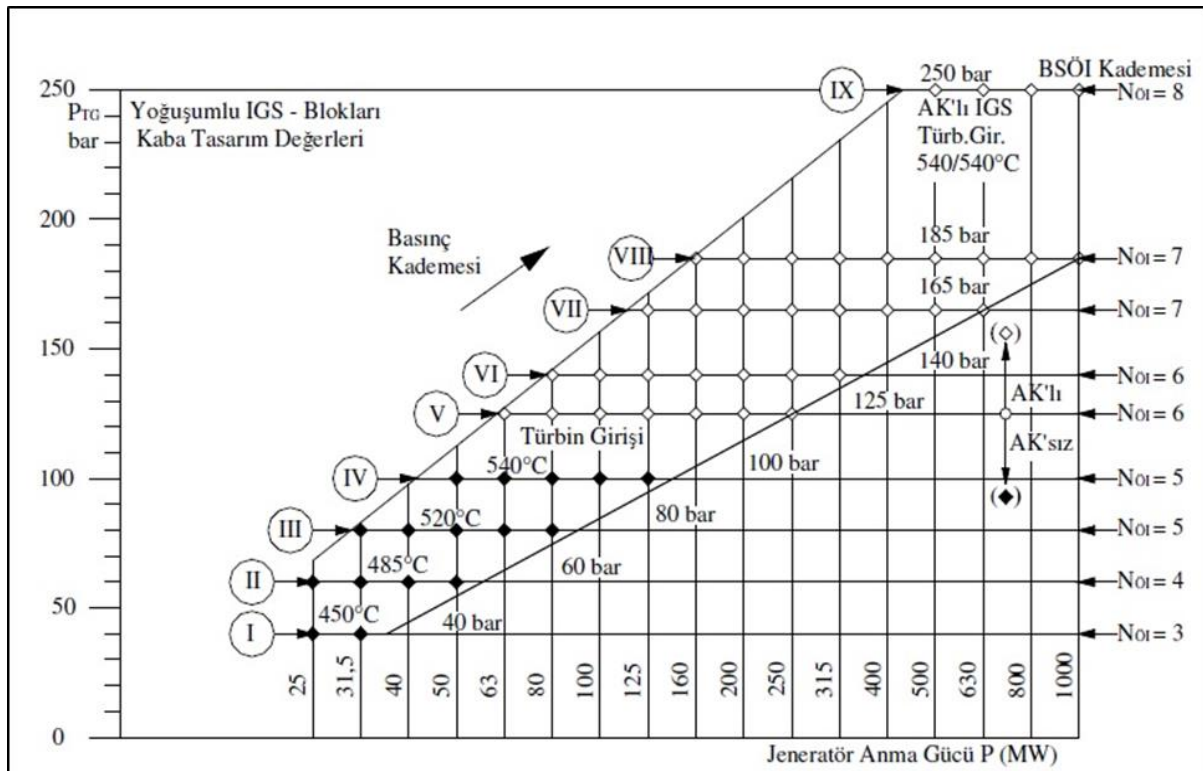
Bu çalışmada, yerli kömür ile petkok yakıtlı termik santrallerin ekonomik yönden karşılaştırılması yapılmıştır.

2. METOT (METHOD)

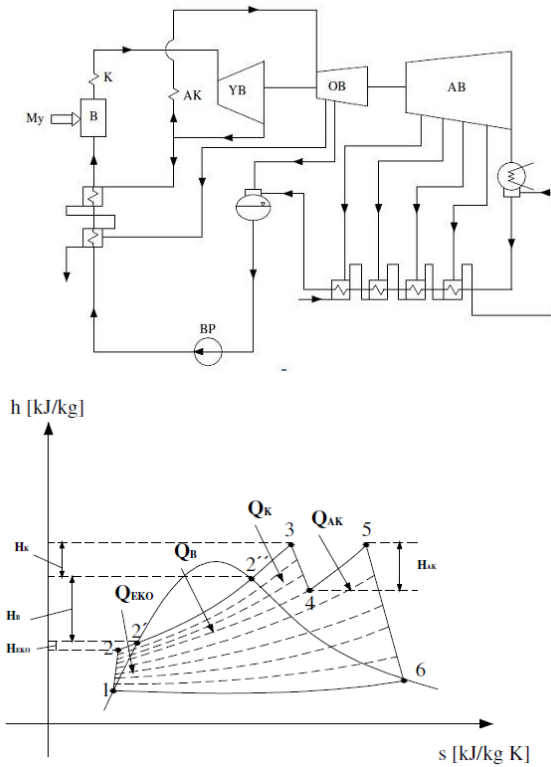
Petkok, karbonlu rafineri koklaştırıcı ünitelerinden veya diğer kırma süreçlerinden elde edilir. Bitümlü kömür veya linyit gibi fosil yakıt olarak kabul edilmesine rağmen, petkokun kimyasal içeriğine bakıldığında çoğunlukla karbondan ibarettir. Bu yakıtın en etkileyici özelliği yüksek ısıl değeri ve çok az oranda kül miktarıdır. Yüksek kükürt içeriğinden dolayı petkok, dolaşımli akışkan yatak (DAY), projelerde şu ana kadar yapılmış olan çok popüler ve rekabetçi bir yakıt haline gelmiştir [5].

Hesabı yapılacak olan termik santralin yapısını belirlerken bütün termodinamik verilere ulaşmamızı sağlayacak Şekil 1’de verilen tasarım abağında faydalanılacaktır. Bu abak üzerinde, kurulması istenen santralin kurulu gücünün, santral yük durumu ile keşitirilmesiyle, santralin basınç kademesi belirlenecek ve istenilen değerler elde edilebilecektir [6].

Yapılan çalışmada örnek olarak 315 MW kurulu güçte bir santral tasarlanacağı için abağın sekizinci basınç kademesindeki değerden faydalanılarak besleme suyu sıcaklığı; kazan çıkış ve ara kızdırıcı çıkış sıcaklıkları; türbin giriş basıncı; türbin, ara kızdırıcı ve yoğunlaştırucudan geçen buhar-su debileri değerleri Şekil 2’de verilen santral akış diyagramı ve Rankine çevrimi h-s diyagramından elde edilmiştir [6].



Şekil-1. Türbin giriş basıncı ve jeneratör anma gücü diyagramı [6]. (Turbine inlet pressure and generator nominal power)



Şekil-2. Rankine çevrimi h-s diyagramı (Rankine cycle h-s diagram)

$$\begin{aligned}
 P_{TB} &= 185 \text{ [bar]} & T_{BS} &= 255 \text{ [}^\circ\text{C]} \\
 P_{KÇ} &= 194 \text{ [bar]} & T_{TB} &= 540 \text{ [}^\circ\text{C]} \\
 P_{AKG} &= 45,3 \text{ [bar]} & T_{AK} &= 540 \text{ [}^\circ\text{C]} \\
 P_{AKÇ} &= 40,8 \text{ [bar]} \\
 \dot{m}_{buh} &= 255,465 \text{ [kg/s]} & d_{TB^*} &= 0,811 \text{ [(kg/s)/MW]} \\
 \dot{m}_{kız} &= 255,465 \text{ [kg/s]} & d_{AK^*} &= 0,744 \text{ [(kg/s)/MW]} \\
 \dot{m}_{AK} &= 234,36 \text{ [kg/s]} & d_{Y^*} &= 0,499 \text{ [(kg/s)/MW]} \\
 \dot{m}_{eko} &= 255,465 \text{ [kg/s]}
 \end{aligned}$$

2 noktası için; $h_2 = C_p \cdot T_2 = 1065,9 \text{ kJ/kg}$

2' noktası için; $h_{2'} = C_p \cdot T_{2'} = 1463 \text{ kJ/kg}$

2'' noktası için; $h_{2''} = 2600 \text{ kJ/kg}$

3 noktası için; $h_3 = 3383 \text{ kJ/kg}$

4 noktası için; $h_4 = 3106 \text{ kJ/kg}$

5 noktası için; $h_5 = 536 \text{ kJ/kg}$

$$Q_1 = Q_B, Q_2 = Q_K, Q_3 = Q_{AK}, Q_4 = Q_{EKO}, Q_5 = Q_{HOI}$$

Elde ettiğimiz sonuçlar kullanılarak kazan ısı yükü aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$Q_{buh} = \dot{m}_{buh} \text{ [kg/s]} \cdot (h_{2''} - h_{2'}) \text{ [kJ/kg]} = 290463,705 \text{ kW}$$

$$Q_{kız} = \dot{m}_{kız} \text{ [kg/s]} \cdot (h_3 - h_{2''}) \text{ [kJ/kg]} = 200029,095 \text{ kW}$$

$$Q_{AK} = \dot{m}_{AK} \text{ [kg/s]} \cdot (h_5 - h_4) \text{ [kJ/kg]} = 100774,8 \text{ kW}$$

$$Q_{EKO} = \dot{m}_{eko} \text{ [kg/s]} \cdot (h_2 - h_2) \text{ [kJ/kg]} = 101445,152 \text{ kW}$$

$$Q_{kazan} = Q_{buh} + Q_{kız} + Q_{AK} + Q_{EKO} = 692712,752 \text{ kW}$$

$$= 595625107.50752 \text{ kcal/h}$$

Yakıt Isıl Değerinin Hesaplanması

Bu çalışmada dikkate alınan yakıtın elementer analizi bilindiği için, alt ve üst ısı değerler Dulong formülü ile hesaplanabilir [7].

$$H_{ü} = 8080C + 34500 (H-O/8) + 2240S$$

$$H_a = H_o - 587(W+9H)$$

Dulong formülü kömüre uygulandığında,

$$H_{ü} = 3743 \text{ kcal/kg}$$

$$H_a = 3419 \text{ kcal/kg}$$

Dulong formülü petkoka uygulandığında,

$$H_{ü} = 8018 \text{ kcal/kg}$$

$$H_a = 7776 \text{ kcal/kg}$$

Kazan Yakıt Tüketimi Hesabı

Kazan yakıt tüketiminin hesaplanabilmesi için enerji santralinin çalışma oranının bilinmesi gerekmektedir [7]. Bu çalışmada santrallerin yılda 8000 saat çalıştığı öngörülmüştür.

Literatürdeki verilen santral verimlerinin ortalaması olarak santral verimi % 89,98 kabul edilmiştir.

$$M_y = [Q_{kazan} / (H_a \cdot \eta_k)]$$

Kömür için;

$$M_{y\text{kömür}} = 193,6 \text{ t/h}$$

Petkok için;

$$M_{y\text{petkok}} = 85,1 \text{ t/h}$$

Kömür için yıllık yakıt tüketimi (YYT_{kömür});

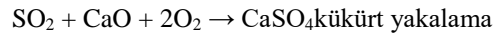
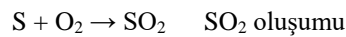
$$(YYT_{\text{kömür}}) = M_{y\text{kömür}} \cdot 8000 = 1548800 \text{ ton}$$

Petkok için yıllık yakıt tüketimi (YYT_{petkok});

$$(YYT_{\text{petkok}}) = M_{y\text{petkok}} \cdot 8000 = 680800 \text{ ton}$$

Finansal analiz için yıllık kireçtaşı miktarı hesaplanmıştır.

Hesaplamalar aşağıdaki formüllerden yapılmıştır.



Kömür için;

$$\text{Kireçtaşı miktarı} = 14,3 \text{ t/h}$$

Petkok için;

$$\text{Kireçtaşı miktarı} = 14,6 \text{ t/h}$$

Buradan yola çıkarak;

1 kg petkok için 165 gr SO₂ oluşur ve bunun sonucunda 170 gr kireçtaşı,

1 kg kömür için 71 gr SO₂ oluşur ve bunun sonucunda 73,89 gr kireçtaşı gerekmektedir.

Bu çalışmada, 315 MW kurulu gücündeki yerli kömür yakıtlı elektrik santrali ile 315 MW kurulu gücündeki petkok yakıtlı termik santraller karşılaştırılmaktadır.

Çizelge-3. Petkok ve kömür yakıtlı santrallerin işletme maliyetlerinin karşılaştırılması (Comparison of petcoke and coal fired power plants operation costs)

	Birim fiyat	Petkok		Kömür			
		Tüketim		Maliyet	Tüketim		Maliyet
	\$	Saatlik	Yıllık (t)	\$	Saatlik	Yıllık (t)	\$
Petkok	70	85,1	678.247	47477290			
Kömür	77				193,6	1.542.992	118810384
Doğalgaz(Nm ³ /sa)	0,285	7500	225.000	64.125	7500	225.000	64.125
Kireçtaşı	30	14,6	116.800	3.504.000	14,3	114.400	3.432.000
Kül atma	0,2	0,851	6808	1361,6	37,965	303719,68	60743,936
Diğer				260.000			260.000
TOPLAM				51.306.777			122.627.253

Ekonomik değerlendirmeye bakılırken yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyetleri ile aşağıda verilen değişken maliyetler karşılaştırılmıştır.

- Kazan Bölümü
- Güç Birimi
- Atık Gaz Arıtma
- Deniz Suyu Sistemi
- Depolama ve Taşıma
- Petkok/kömür depolama
- Petkok/kömür taşıma sistemi (konveyör hattı)
- Kireç / Kireçtaşı / alçıtaşı depolama ve taşıma sistemi
- Uçucu kül ve yatak külü depolama ve taşıma sistemi
- Yardımcı Ekipmanlar
- Soğutma suyu sistemi
- Doğalgaz sistemi
- Ham su ve demi su sistemi
- Yangın önleme ve engelleme sistemleri
- Hava sıkıştırma sistemi
- Atık su arıtma sistemi

Çizelge –2’de Yatırımcı bir şirketin petkok ve kömür yakıtlı santrallerin yatırım maliyetleri karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge – 2. Petkok ve kömür yakıtlı santrallerin yatırım maliyetleri karşılaştırılması (Comparison of petcoke and coal fired power plants investment cost)

Yakıtlar		315 MW DAYpetkok	315 MW DAY yerli kömür
Kazan + Atık gaz arıtma	\$	210 000 000	255 000 000
Güç birimi	\$	90 000 000	90 000 000
Deniz suyu sistemi + yardımcı ekipmanlar	\$	85 000 000	85 000 000
Katı madde depolama ve taşıma sistemi	\$	18 000 000	20 000 000
Saha Hazırlama	\$	64 000 000	64 000 000
Yatırımcı maliyeti	\$	25 000 000	25 000 000
TOPLAM	\$	492 000 000	539 000 000

İşletme maliyetleri olarak adlandırdığımız yıllık yakıt, kireçtaşı, doğalgaz, kül atma vb. gibi maliyetlerin karşılaştırılması Çizelge-3’te verilmiştir.

*Çizelge’de verilen doğalgaz miktarı yardımcı yakıt olarak kullanıldığı için yazılmıştır. Yılda 30 saat doğalgaz kullanımı öngörülmüştür.

Yatırım maliyetini hesaplarken göz önünde bulundurduğumuz ekipmanların yıllık bakım masraflarının karşılaştırılması Çizelge-4’te verilmiştir.

Çizelge-4. Petkok ve kömür yakıtlı santrallerin yıllık bakım maliyetleri karşılaştırılması (Comparison of petcoke and coal fired power plants annual maintenance costs)

Yıllık Bakım Maliyetleri	315 MW DAYpetkok	315 MW DAY yerli kömür
Kazan	\$ 8 000 000,00	\$ 11 000 000,00
Güç birimi	\$ 2 200 000,00	\$ 2 200 000,00
FGD	\$ 250 000,00	\$ 250 000,00
Yardımcı santral sistemleri (BOP)	\$ 1 400 000,00	\$ 1 400 000,00
Katı taşıma sistemleri	\$ 700 000,00	\$ 700 000,00
TOPLAM	\$ 12 550 000,00	\$ 15 550 000,00

3. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, yerli kömürden elektrik üreten santral ile petkok kullanılarak elektrik üreten santral maliyetleri göz önüne alınarak ekonomik anlamda karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sırasında iki yakıtında elementer analizi kullanılarak ısıl değerleri hesaplanmış ve yıllık yakıt tüketim miktarları bulunmuştur. Tahmini yatırım maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Petkok yüksek karbon ve dolayısıyla enerji içeriği sebebiyle DAY teknolojisi için ideal bir yakıttır. İçeriğindeki hidrojen ve diğer kimyasalların az olması

yanma reaksiyon hızının aniden artması anlamını taşır. Tanecik yapısının aktif karbon gibi dağılık ve gözenekli olması da ayrıca bir avantajdır. Petkokun organik karakterinde kükürt oranı yüksektir. Yanma reaksiyonu sonucu tüm kükürt içeriği neredeyse tamamen SO₂' ye dönüşür. Yanma sonucunda inorganik kimyasallar ve mineral ihtivasi düşük olduğundan zararlı bileşen oranı düşüktür [2].

Ülkemizin ve dünyanın artan elektrik enerjisi talebi göz önüne alındığında yerli kaynaklarımızın kullanımını azaltmak ve aslında rafineri yan ürünü olan petkoku değerlendirilmenin ülke ekonomisine katkısının olacağı görülmüştür.

Kapsamlı araştırmaların az olmasından kaynaklı yapılabilecek yorumlar sınırlıdır. Ancak petkokun kömüre göre çok daha verimli olduğu ve gelişen teknoloji ile alternatif olacağı öngörülebilir.

4. SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

\dot{m}_{AK}	Ara kızdırıcı buhar debisi
\dot{m}_{buh}	Buharlaştırıcı is akışkanı debisi
\dot{m}_{eko}	Ekonomizer su debisi
$\dot{m}_{kız}$	Kızdırıcı buhar debisi
\dot{m}_B	Buhar debisi
M_y	Yakıt miktarı
Q	Isıl kapasite
AK	Ara kızdırıcı
B	Buharlaştırıcı
EKO	Ekonomizer
HÖİ	Hava ön ısıtıcı

K	Kızdırıcı
YO	Yanma odası
YYT	Yıllık yakıt tüketimi
H _ü	Üst Isıl Değer
H _a	Alt Isıl Değer
DAY	Dolaşım Akışkan Yatak
WEO	Dünya Ekonomik Görünüm Raporu
EIA	ABD Enerji Bilgi İdaresi

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Giglio, R. Petcoketopower-A stratejicenergyoptionfortheMiddle East, *Energetica International*, Ekim 2013.
2. Giglio, R. Petcoke:an alternative fuel, *PEI (power engineering international)*, (05/2013)
3. EÜAŞ (Elektrik Üretim Anonim Şirketi), 2013. Elektrik Üretim Sektör Raporu
4. Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, ETKB, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ocak 2015.
5. Damian Góral, Anna Wylenzek "The efficient coal alternative. Petroleumcoke-fired CFB boilers in Europe" Presented at Coal Gen Europe, Warsaw, Poland.
6. Çürüksulu M., "150 MWe Kurulu Güçteki Düşük Kaliteli Linyitle Çalışan Bir Termik Santral İçin Buhar Kazanı Tasarımı" Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2006).
7. Kıyıkım, C., "Öğütülmüş Linyit ile Çalışan Bir Termik Santral Kazanı Tasarımı ile İlgili Bilgisayar Programı Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2003).