

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERMİK SANTRALLERDE KULLANILAN KÖMÜRÜN KURUTULMASI VE
SANTRAL PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

MUSTAFA TAHİR AKKOYUNLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. HASAN HÜSEYİN ERDEM**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERMİK SANTRALLERDE KULLANILAN KÖMÜRÜN KURUTULMASI VE
SANTRAL PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

MUSTAFA TAHİR AKKOYUNLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. HASAN HÜSEYİN ERDEM**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMİK SANTRALLERDE KULLANILAN KÖMÜRÜN KURUTULMASI VE
SANTRAL PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mustafa Tahir AKKOYUNLU tarafından hazırlanan tez çalışması __.__.__ tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Hidromekanik ve Hidrolik Makinalar Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç.Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Y.Doç.Dr. Süleyman Hakan SEVİLGEN

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Kömür her zaman olduğu gibi günümüzde de güncelliğini koruyan temel enerji kaynaklarından biridir. Ülkemiz kömür rezervlerinin çoğu düşük kalitedeki kömürden oluşmaktadır. Düşük kalitedeki kömürün yanı sıra santral dizayn şartlarına uyul(m)amaması ve kötü yanma koşulları gibi nedenlerden dolayı yanma veriminde azalma ve ciddi hava kirliliği gibi problemler görülmektedir. Türk kömürleri genelde yüksek nem ve kül içeriklerine sahiptirler. Kömürlerimizin bu özellikleri yanma verimi ve emisyonlar üzerinde etkili temel faktörlerden biridir.

Bu çalışmada, kömür nem içeriğinin termik santral performansı üzerine etkisi analiz edilmiştir. Kömürün ihtiva ettiği nemin kurutulması (alınması) halinde kazan verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca, bu etkinin ortadan kaldırılması halinde santral üzerinde görülecek iyileşmeler ortaya çıkarılmıştır. Bu analizler, kömürü yakıt olarak kullanan tüm santrallerimiz için yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu iyileşmelerin getireceği kazançlar, ekonomik yönden hesaplanarak yapılması muhtemel kurutma sistemi tasarımları hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Böylece yerli kaynaklarımızdan olan kömürden, en üst düzeyde yararlanılması ve bu işlem sırasında ortaya çıkan problemlerin en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM'e ve en zor koşullarda bile benden desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Haziran, 2011

Mustafa Tahir AKKOYUNLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	7
1.3 Hipotez.....	7
BÖLÜM 2	
KÖMÜRÜN TANIMI, ÖZELLİKLERİ VE OLUŞUMU	8
2.1 Kömürleşme (Coalification) Olayı	9
2.2 Kömürün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	10
2.2.1 Kömürün Nem İçeriği	10
2.2.2 Uçucu Madde Miktarı.....	14
2.2.3 Kükürt	14
2.2.4 Kül.....	14
2.2.5 Kömürde Porozite.....	15
2.3 Ülkemizdeki Mevcut Durum	17
2.3.1 Ülkemiz Kömür Rezervleri	19
2.3.2 Türkiye’de Kömür Üretimi ve Tüketimi	19
BÖLÜM 3	
KÖMÜR KURUTMA	23
3.1 Kömür Kurutma Metotları ve Tipik Kurutucular	26
3.1.1 Konveksiyonel Buharlaşma ile Kurutma.....	26
3.1.2 Buharlaşma Olmaksızın Susuzlaştırma ve Kurutma	27
3.1.3 Öğütme ve Kurutma	28

3.1.4 Sıcak Sulu Kurutma (HWD)	28
3.1.5 Nontermal Biyokütle Kurutucular	29
3.2 Gelişmekte Olan Kurutma Metodları.....	29
3.2.1 Kömürün Kızgın Buhar ile Kurutulması.....	29
3.2.2 Titreşimli (Darbeli) Yanma ile Kömürün Kurutulması.....	30
3.2.3 Pülverizeli Kurutma Sistemleri	30
BÖLÜM 4	
KÖMÜR KURUTMANIN GETİRDİĞİ FAYDALAR.....	32
4.1 Yakıt Giderlerinin (Harcamaların) Azalması.....	32
4.2 Baca Gazı Miktarındaki Azalmalar	34
4.3 Fanlara Bağlı Enerji Tasarrufu	35
4.4 Atık Kül Miktarındaki Azalma	36
4.5 Kazan Verimindeki Artış.....	37
4.5.1 Değişen Kömür Nemine Bağlı Kazan Verimi.....	39
4.6 Değirmen Harcamalarındaki Azalma	40
4.7 Tasarlanacak Kurutma Sistemi için Maliyet Hesabı	42
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	53

SİMGE LİSTESİ

C	Karbon
H	Hidrojen
O	Oksijen
N	Azot
S	Kükürt
W	Nem
Kül	Kül
H_o	Alt ısı değer
H_u	Üst ısı değer
b_e	Özgül yakıt tüketimi
ζ_{ter}	Termik verim
α	Hava fazlalık katsayısı
H-Y	Hava yakıt oranı
CO_2	Karbondiyoksit
SO_2	Kükürtdiyoksit
H_2O	Su
O_2	Oksijen
N_2	Azot
ΔH	Hava debisi
ΔF	Yakıt miktarı
$\Delta kül$	Atılan kül miktarı
Q	Yakıtla giren enerji miktarı
Q_0	Baca gazlarının toplam enerjisi
ΔP	Kömür fiyatı
ΔM_y	Yakıttan elde edilen kazanç
ΔN_D	Değirmen gücü
ΔN_{DT}	Değirmenin yıllık harcadığı enerji miktarı
ΔM_e	Elektriğin fiyatı
ΔM_D	Değirmenden elde edilen kazanç
ΔN_{FT}	Fanların yıllık harcadığı enerji miktarı
ΔM_F	Fanlardan elde edilen kazanç miktarı
ΔM	Toplam kazanç
ΔM_{20}	Toplam kazançların şimdiki değere çekilmesi

KISALTMA LİSTESİ

EES	Engineering Equation Solver
CCT	Clean Coal Technology
CCS	Carbon Capture and Storage
HTD	Hydrothermal Dewatering
TOC	Total Organic Carbon
IGCC	Integrated Gasification Combined Cycle
KFX	K-Fuel Technology
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
KDS	Kinetic Disintegration System
HWD	Hot Water Drying
EERC	Energy and Environmental Research Center
CWFs	Coal- Water Fuels
PAD	Pulverizing Air Dryer
WTA	Wirbelshicht-Trocknenymit İnterner Abwarmenutzung
PC	Pulse Combustion
ÇATES	Çatalağzı Termik Santrali
KF	Kullanım Faktörü
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri
MTA	Maden Tetkik ve Arama
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
TTK	Türkiye Taşkömürü Kurumu

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Kömürün nem içeriği..... 12
Şekil 2. 2	Isıl işlem öncesi ve sonrası kömür bünyesindeki mevcut nemin davranımı 13
Şekil 2. 3	Kömürün poroz yapısındaki çatlaklar, açık ve kapalı porların görünüşü. 16
Şekil 2. 4	2009 yılı Türkiye birincil enerji arzı 17
Şekil 2. 5	2009 yılı Türkiye birincil enerji üretimleri 18
Şekil 2. 6	2009 yılı Türkiye ithal enerji kaynakları 18
Şekil 2. 7	Yıllara göre Türkiye taşkömürü üretim miktarları (ton)..... 20
Şekil 2. 8	Yıllara göre Türkiye linyit üretim miktarları (bin ton) 20
Şekil 2. 9	Türkiye elektrik üretiminde kaynak payları 21
Şekil 3. 1	Hava ısıtıcılı kömür kurutucusu (model 1) 25
Şekil 3. 2	Hava ısıtıcılı kömür kurutucusu (model 2) 25
Şekil 4. 1	Aylara göre kazan verimindeki değişim39
Şekil 4. 2	Kömür nemindeki azalmaya bağlı verim artışı 40

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Türk linyitlerinin nem içerikleri	11
Çizelge 2. 2 Türk linyitlerinin kükürt içerikleri.....	14
Çizelge 2. 3 Türk linyitlerinin kül içerikleri	15
Çizelge 2. 4 2009 yılı itibariyle Türkiye linyit rezervleri.....	19
Çizelge 4. 1 Nem azaltımının yakıt tüketimine etkisi	34
Çizelge 4. 2 Nem azaltımının baca gazı miktarına etkisi	35
Çizelge 4. 3 Nem azaltımının giren hava miktarına etkisi	36
Çizelge 4. 4 Nem azaltımının atık kül miktarına etkisi.....	37
Çizelge 4. 5 Nem azaltımının kazan verimine etkisi	38
Çizelge 4. 6 Kömür kurutmanın getirdiği yıllık kazanç miktarı	44
Çizelge 4. 7 Elde edilecek tasarrufların şimdiki değeri.....	45

**TERMİK SANTRALLERDE KULLANILAN KÖMÜRÜN KURUTULMASI VE
SANTRAL PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Mustafa Tahir AKKOYUNLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

Kömürün yapısında bulunan nem, kömürü fiziksel, kimyasal ve ekonomik açıdan etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Kömürleşme derecesi düştükçe kömür içerisinde bulunan nem miktarı artmakta ve bazı genç kömürlerin yapısı ağırlıklı olarak nemden oluşmaktadır. Ülkemizdeki mevcut kömür kaynaklarının büyük bir kısmı genç kömürlerden meydana gelmektedir. Bundan dolayı kömür neminin yanma üzerine etkisi önemli bir çalışma sahası olmuş, birçok araştırmacı tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de bu konu hakkında çalışmıştır.

Bu çalışmada, kömürdeki nem miktarının yanma üzerine etkisi teorik olarak analiz edilmiştir. Santrallerimizde kullanılan kömürlerin elementel analizinden yola çıkılarak, kömür bünyesinde bulunan nemin azaltılması sonucu elde edilecek kazanımlar incelenmiştir. Bu işlem elementel analizi bilinen bir kömür için yanma denklemleri kullanılarak 'Engineering Equation Solver' (EES – Mühendislik Denklem Çözücüsü) programında modellenmiştir. Modelin oluşturulmasından sonra, ülkemizde kamuya ait kömür yakıtlı Soma, Yatağan-Kemerköy-Yeniköy, Seyitömer, Çan, Çatalağzı, Kangal, Afşin-Elbistan ve Tunçbilek santrallerinde kullanılan kömürlerin elementel analizleri tasarım şartlarına bakılarak tesbit edilmiş ve bu santraller modellenmiştir. Kömürün kurutulmasının santral performansı üzerine etkisi böylece teorik olarak analiz edilmiştir.

Teorik hesaplamalarda kömür neminin azaltılmasına bağlı olarak kömürün alt ısı değeri artmıştır. Kömürün alt ısı değerinin artmasına bağlı olarak kazan verimi artmış yani daha az yakıt kullanılarak istenilen kazan sıcaklıklarına ulaşılması söz konusu olmuştur. Giren yakıt miktarındaki azalmaya bağlı olarak değirmenlerin ve fanların harcamış olduğu enerji miktarı azalmış ve bacadan çıkan emisyon miktarında da kayda değer düşüşler meydana gelmiştir.

Bu tez çalışması ile geliştirilen model çalışmaya alınan tüm santraller için uygulanmış ve santrallerin ilk durumlarına göre oluşan iyileşmeler ortaya konmuştur. Bu iyileşmeler, maliyet açısından hesaplanarak öngörülen mali kazanımlar belirlenmiştir. Böylece yapılacak olan kurutma sistemi için bir ön bilgi ve yatırım maliyeti analizi yapabilmek imkânı kazanılmıştır. Bu çalışma, yerli kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamak ve yapılacak olan enerji yatırımları hakkında ön bilgi edinmek açısından, enerji ve enerji verimliliği konusunda önemli bir yere sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Kömür, nem, kömürün kurutulması, yanma, santral performansı, enerji verimliliği, kurutma sistem tasarımı.

**DRIYING COAL USED IN POWER PLANTS AND ANALYZING THE EFFECTS
TO POWER PLANT PERFORMANCE**

Mustafa Tahir AKKOYUNLU

Mechanical Engineering Anabilim Dalı
MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

The moisture content of the coal is the most important parameter which affects its physical, chemical and economical quality. As the coalification rank of the coal decrease, the moisture content increases and some of the young coals contain high rates of moisture. In Turkey, most of the coal sources are composed of young coals. Therefore, the effect of the coal moisture to combustion became an important area to study in Turkey as well as in the world.

In this study, the effect of moisture content to combustion is analysed theoretically. The benefits of decreasing moisture content are investigated, based on the elemental analysis of the coal used in power plants in Turkey. These workouts are done by the help of 'Engineering Equation Solver' (EES) programme. By using the data obtained from the power plants (Soma, Yatağan-Kemerköy-Yeniköy, Seyitömer, Çan, Çatalağzı, Kangal, Afşin-Elbistan and Tunçbilek), modelling of the all power plants are done by this programme also. Thus, the effect of coal drying to the power plant performance is carried out.

In theoretical calculations, lower heat value (LHV) of coal is increased while humidity is decreasing. Therefore, the combustion efficiency increased so that, the desired boiler temperature is provided by consuming less fuel. Moreover, as the fuel consumption decreased, energy consumed from grinders and fans decreased too. This led to considerable decreases in stack emissions.

In this study, the model generated is used for all power plants in Turkey and the improvements are exhibited. The costs of these improvements are calculated and anticipated financial gains are determined. In this way, this helps to make a prediction about investment costs for the drying system. This study is also important for the utilization of local sources efficiently and prediction of energy investments.

Key words: Coal, moisture, drying of coal, combustion, power plant performance, energy efficiency, drying system design.

1.1 Literatür Özeti

Chen ve Yang [1] yapmış oldukları çalışmada, temiz kömür teknolojisine (CCT) katkısı amacıyla farklı kurutma teknolojileri ve hava yoğun akışkan yataklı kurutma sistemleri için kömür kurutma karakteristiklerini incelemişlerdir. Çin dünyadaki en büyük kömür üreticisi ve aynı zamanda da en büyük kömür tüketicisidir. Bu durum Çin'in enerji ihtiyacı göz önüne alındığında artarak devam edecektir. Kömürün % 80'inden fazlası doğrudan yanmakta ve emisyon oluşumunun en büyük sebeplerinden biri olmaktadır.

Çin'deki kömürün sadece % 33'ü temizlenmektedir. Özellikle temizleme işleminin yapılamaması önemli enerji kaybına ve ciddi çevresel problemlere yol açmaktadır. Temizleme işleminin yapılamamasının en büyük sebebi bölgesel su kıtlığıdır. Temizleme işleminin yanı sıra genç kömürlerin yüksek nem içeriğine sahip olması, bu kömürlerin çok uzun mesafelere taşınması, soğuk günlerde (aylarda) hava-nem ilişkisine bağlı olarak kömürün donması da işletme kayıplarının, çevresel problemlerin ve verimsizliklerin başlıca nedenlerindedir.

Bu çalışmada Chen ve Yang (2003) hava yoğun akışkan yatakların kullanım karakteristiklerini ve kullanım sonucu elde edilecek faydalara değinmiştir. Var olan kömürün boyutuna bağlı olarak tasarlanması gereken uygun akışkan yatak teknolojisine de değinmişlerdir [1].

Kanda ve Makino (2010) Endonezya, Warra Bölgesi'ndeki subbitümlü kömürün sıvılaştırılmış dimetil eter ile kurutulması üzerine çalışmışlardır. Bu proses için ısı gereksinimine ihtiyaç yoktur. Bu işlem laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Uygulama yapılmadan önce ve sonra kömürün özellikleri incelenmiştir ve bu işlem için gerekli enerji gereksinimi hesaplanmıştır. İşlem sonucunda maksimum nem alma miktarı % 98,3 bulunmuş ve işlem sonrası kömürün özelliklerinde bir değişme görülmemiştir. İşlem için gereksinim duyulan enerji 2069 kJ/kg olarak elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda sıvılaştırılmış dimetil eter ile kurutma uygulamalarının etkinliği ve enerji verimliliği açısından önemi ortaya konmuştur.

CO₂ salınımının engellenmesi (yakalanması) ve depolanması (CCS) günümüzde oldukça önemli bir çalışma sahasıdır. Özellikle yeni kurulan santrallerde karbon emisyon salınım miktarı oldukça azaltılmıştır. Fakat bu olgu santralin kurulum maliyetine ek bir bütçe getirmiştir. Bunun en büyük nedeni yanma sonrası oluşan karbonun yakalanması, sıkıştırılarak depolanması ve transportundan kaynaklanmaktadır. Karbon tutma işlemleri sonucu santral çıkış gücü de azalmaktadır. Bu nedenlerden ötürü düşük sıcaklıklı ısı kaynakları kullanılarak, santrale giren kömürün ön kurutma işleminden geçirilmesi analiz edilmiştir. Böylece santral veriminde artış, daha az karbon yoğunluğuna bağlı enerji kazanımı ve elektrik üretim maliyetinde de azalmalar gözlemlenmiştir [2].

Harkin vd. [3] bu çalışmadaki analizlerini 200 MW_e güç üreten, kahverengi-kömür yakıtlı ve CCS (Karbon yakalama ve depolama) sistemine sahip bir santral için yapmışlardır. Çalışma sonucunda bu santral için enerji cezası ödemeleri, santral en etkin halde çalışırken % 39 dan % 24 e düşmüştür. Böylece yapılacak olan bir ön kurutma işleminin santral üzerine olan olumlu etkileri ortaya konmuştur. Ancak bu sistemin kurulması için gerekli ekipmanların bir maliyet yükü getirmesi göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle, maliyet analizleri yapılarak bu sistemlerin uygulanabilir hale gelebileceği sonucu elde edilmiştir.

Bongers vd. (2000) çalışmalarında, yüksek basınçlı buhar ile kurutma boyunca kahverengi kömürün büzülmesini (uçucu maddeden dolayı) ve kömürün porozik

yapısından kaynaklanan fiziksel yapısındaki değişiklikleri incelemişlerdir. Bu inceleme CO₂ yüzey alanı ve kömürün poroz yapısındaki değişimlerin elektron mikroskobuna (TEM) aktarılmasıyla elde edilmiştir. Kömür porozitesi kurutma buharının sıcaklık-zaman profilinin kontrolüne göre özetlenmiştir. Kurutma, ılımlı şartlar altında gerçekleştiğinde çok yüksek porozik özelliklere sahip numuneler elde edilmiştir. Bu porozik yapı CO₂ emilim ölçümlerinden yola çıkılarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda 254°C'un üstünde olan kurutma işlemlerinde, bu porozik etkinin çok az olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulguların açıklanması amacıyla basit bir model oluşturulmuştur [4].

Cronauer vd. (1982) Belle Ayr subbitümlü kömürünün azot, hava ve azot-hava karışımlı gazlarla kurutulmasını inceleyerek sonraki kömür sıvılaştırma deneyleri için kömür hazırlama karakteristiklerini elde etme amacı gütmüşlerdir. Kömür kurutma işlemi 200°C'luk bir ortamda laboratuvar şartlarında gerçekleştirilmiştir. Net nem içeriği ve serbest oksijen miktarının artan sıcaklıkla zamana bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. İşlem sırasında salınan oksijen ve karbondioksit dışındaki tüm içerikler, kömürün özelliklerinin değişimine ve oksidasyon kinetiklerinin karakteristiklerine göre incelenmiştir. Kurutma esnasında oksijen tüketimi için iki farklı rejim elde edilmiştir. Bunlar yüksek hıza sahip ilk rejim ve devamında gelen daha yavaş olan ikinci rejimdir. Çalışma sonucunda maksimum net nem ve serbest oksijen miktarı belirlenmiştir. Ayrıca bu iki rejim bölgesindeki uçucu madde miktarları (CO₂ hariç) analiz edilmiştir [5].

Geoffrey vd. (1998) bu çalışmalarında La Trobe vadi kömürü ve Güney Avustralya Bowmann kömürünün 1-2,5 MPa basınç ve 180-260 °C sıcaklıktaki basınlaştırılmış buhar kullanılarak kurutulması üzerine laboratuvar şartlarında çalışmışlardır. Alınan nem miktarının, sıcaklık ve verilen ısı miktarının bir fonksiyonu olup olmadığını incelemişlerdir. Kömür nem içeriğine bağlı olarak basit bir ısı dengesi kurulmuştur. Kurutma şartlarına bağlı olarak kurutulan kömür-buhar özellikleri ve salınan organik madde miktarları tahmin edilmiştir. Organik maddenin büyük bir kısmının su ile birlikte ortamdaki atıldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca metilen krolid içinden atılan organik maddelerin tamamen fenol ve metoksifenollerden oluştuğu gözlemlenmiştir [6].

Chen vd. (2000) yaptıkları bu çalışmada tek bir kömür parçacığının kızgın buharla kurutulmasını modellemiştir. Yapılan hesaplamalar literatürdeki seramik ve su damlacıklarının buharla kurutulması deneyleriyle kıyaslanmıştır. Oluşturulan model üzerinde, kömür kurutma sistem davranış etkilerinin ve parametrelerinin belirlenmesi amacıyla çalışılmıştır. Bu modelle nemli iklim şartlarında yapılacak olan kurutma çalışmalarında araştırılmıştır. Hesaplamalar, termo fiziksel özelliklerin ve inversiyon sıcaklık (çoklu hava katmanı oluşma sıcaklığı) noktasının en önemli etki parametreleri olduğunu göstermiştir. Çalışma sonucunda yüksek buhar akış oranının ve buhar sıcaklığının kurutma işlemini arttırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca parça boyutu, parçanın ilk sıcaklığı ve parça yoğunluğunun kurutma üzerinde oldukça etkili olduğu belirtilmiştir [7].

Chen vd. (2001) bu çalışmada bir önceki çalışmalarına ek olarak bir kömür parçacığının akışkan yatakta kızgın buhar ile kurutulmasını iki fazlı hidrodinamik bir model oluşturarak incelemişlerdir. Bu model; parça sıcaklık değişimine, nem içeriğine bağlı yatak içinde kalma süresine, yatak içine kömür beslemesi yapılarak ısınma periyodu süresince olan yoğunluk etkilerine, kızgın buhar akış etkilerine (ıslak kömürün nem alımından kaynaklanan) ve değişik işletme şartlarına göre oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda belirli bir reaktör boyutu için sistem performansının, ıslak kömürün başlangıç nemi ve buhar boru demetlerine duyarlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kömür kurutma performansının besleme şartlarına ve kömürün özelliklerine bağlı olduğu analiz edilmiştir. Yapılan bu model kömür kurutma sistemlerinin belirlenen işletme şartları altında uygun sıcaklıklar için tasarlanması gerekliliğini göstermiştir [8].

Ross vd. (2005) bu çalışmalarında, oluşturdukları model için artan basınç değerlerinde kazanlara beslenecek kömürün, uygulanacak proseslerle kurutulması üzerine araştırmalar yapmışlardır. Dizel ve hava ile uygun yanma ortamı sağlanmış, 800°C'ta ve 10 atm'de baca gazı elde edilmiştir. Bu elde edilen akışkan kullanılarak Yallaurn linyiti, belirli parça boyutu ve besleme miktarı göz önüne alınarak kurutulmuştur. Çalışma sonucunda kömür nem içeriğinin %67'lerden %30-40 seviyelerine kadar indirilebileceği belirtilmiştir. Fakat bu işlem sırasındaki en önemli parametrenin giren kömürün boyutu ve besleme miktarı olduğu da çalışma sonucunda ortaya konmuştur [9].

Favas ve Jackson (2003) Avustralya, Endonezya ve ABD kaynaklı düşük kaliteli kömürleri 320°C'ta minimum 30 dakika kurutmuşlardır. Böylece hidrotermal kurutma (HTD) ürünlerinin analizleri (organik ve inorganik bileşenler), uçucu madde tayini, nem tutma kapasitesi, kalorifik değer ve porozitesi gibi karakteristikler elde edinilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada kömürler, daha düşük dereceli Avustralya kömürü ve yüksek dereceli Endonezya ve ABD kömürü olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Çalışma sonucunda toplam organik karbon (TOC) ve atılan sudaki inorganik madde miktarı belirlenilmeye çalışılmıştır. Kömür derecesinin, HTD üzerinde önemli bir faktör olduğu bu çalışmada gözlemlenmiştir. Sonuç olarak düşük dereceli Avustralya kömürünün TOC değerinin diğerlerinden oldukça yüksek olduğuda belirtilmiştir [10].

Karl vd. (1992) linyiti kuru nitrojenden ortalama 20-80 derece sıcaklık elde ederek iki farklı modda kurutmuşlardır. Aynı şartlar altında ilk modda linyitin nem kaybı %80-85 iken ikinci modda bu oran %15-25 seviyelerindedir. Çalışma sonucunda bu iki mod arasındaki nem farkının bu kadar büyük olmasının sebebi moleküler yapı ile açıklanmıştır. İlk mod için aktivasyon enerjisi suyun buharlaşma ısısına oldukça yakındır. Ayrıca bu nem farkının bir diğer nedeni de gaz akış oranı ve örnek numunenin kalınlığı olarak açıklanmıştır [11].

Karthikeyan vd. (2009) yapmış oldukları bu çalışmada düşük dereceli kömürlerdeki kurutma işlemi gereksinimine değinmişlerdir. Dünya üzerinde bu kaynaklar oldukça sık buldukları halde yüksek taşıma maliyetleri, ulaşım ve depolama sırasında meydana gelebilecek tehlikeli patlamalar ve yanma sırasındaki düşük verimleri nedeniyle istenilmemektedir. Bu tip kömürlerin içerisindeki yüksek nem içeriği daha fazla kendinden yanma eğilimini, ayrışma derecesi yüksekliğini ve toz alma karakteristiğini kısıtladığı için yaygın şekilde kullanılmamaktadırlar. Bu tip olumsuz etkiler sonucu genç kömürlerin fiyatı bu özellikler dâhilinde belirlenmekte ve fiyatları verecekleri ısı miktarına göre değişmektedir. Bu çalışmada kömür kurutma işlemi gereksiniminin neden doğduğu açıklanmıştır. Ayrıca efektif bir kömür kurutma için uygun ve kullanışlı prosesler ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Günümüzde kullanılan sistemler ve yakın gelecekte kullanılması beklenen teknolojiler incelenmiştir. Ayrıca kurutma

teknolojileri üzerine yapılmış uygulamalar ve bu uygulamaların getirdiği fayda analizleri verilmiştir [12].

Levy ve Sarunac bu çalışmalarında, santral üzerindeki atık ısıların kullanılarak santrale yakıt olarak giren kömürün neminin azaltılması üzerine çalışmışlardır. Nem azaltma işleminin santral üzerine getireceği faydalar analiz edilmiştir. Bu analizler için Kuzey Dakota bölgesinde bulunan 1100 MW güce sahip iki üniteden oluşan bir santral seçilmiştir.

Deneysel çalışmalar başlamadan önce santrale giren linyitin özellikleri belirlenmiştir. Uygun şartlar sağlandıktan sonra kömür kurutulmuş ve bu işlemin santral performansı üzerine getirmiş olduğu faydalar analiz edilmiştir.

Çalışma sonucunda kömürün nemi %37,5 -%31,4 düşürülmüştür. Kömür nemindeki %6,1'lik azalma kazan veriminde yaklaşık %2,6'lık bir artışa sebep olmuştur. Ayrıca test detayları kömür nemindeki azalmaya bağlı olarak giren yakıt miktarında da azalma olduğunu göstermiştir. Bunun sonucu olarak da baca gazı miktarı azalmıştır.

Kömür nemindeki azalma yakıtın öğütülebilirliğinin artmasına sebep olmuş ve değirmenlerin harcadığı güç azalmıştır. Giren yakıt miktarının azalmasına bağlı olarak giren hava oranı da azalmış ve fanların harcadığı enerji de düşmüştür. Kömür neminin azaltılması santral yedek güç gereksinimini azaltmış ve emre amadelik oranını da arttırmıştır.

Bu çalışma iki farklı kömür kurutma sistemi için yapılmış ve maliyet yönüyle hangi sistemin daha uygun olduğu analiz edilmiştir. Bu analizlerin ekonomik yönden geri dönüş süreleri hesaplanmıştır. Uygun kurutma sistemi dizaynı, santral üzerine fazladan ekipmanların girmesine sebep olacağından, kurutma sonucu elde edilecek faydaların getireceği mali kazanımların bu sistemin kurulum giderlerinden fazla olması gerekmektedir. Çalışma sonucunda her iki sistem için gerekli analizler yapılmış ve uygun sistemin dizayn şartları ve geri dönüş maliyetleri hesaplanmıştır [13].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmayla hedeflenen, temel yük santrallerimiz arasında bulunan kömür yakıtlı santrallerimizde kullanılan kömürün özelliklerinin iyileştirilmesi ve buna bağlı olarak santralde görülecek iyileşmelerin analiz edilmesidir. Bu durum, santral verimi üzerinde olumlu etkiler sağlamanın yanısıra yerli kaynakların daha etkin ve kullanışlı bir hale gelmesini de sağlamaktadır.

Bu çalışmada, santrale giren kömürün uygun sistemlerde neminin belli oranlarda azaltılması sonucu görülebilecek değişimler ele alınmıştır. Literatürdeki bilgiler dâhilinde santral üzerinde beklenen iyileşmeler analiz edilmiştir. Kömürdeki nem azalım miktarına bağlı kazanımlar hesaplanmıştır. Bu kazanımlardan yola çıkılarak maliyet analizleri yapılmış ve uygun kurutma sistemi tasarımları değerlendirilmiştir. Çalışma, bu yönüyle yerli kaynakların daha efektif kullanılmasının yanı sıra bu sektörde faaliyet gösteren firmaların yapacağı yatırımlar hakkında da kendilerine bir ön bilgi sağlayacaktır.

1.3 Hipotez

Ülkemizdeki kömür kaynakları genç kömür sınıfında yer almakta ve nem içerikleri de oldukça yüksek seviyelerde görülmektedir. Nem ve kül içeriğinin fazla olması istenmeyen bir durum olmakla beraber, bu kaynakların en iyi şekilde değerlendirilmesi de gerekmektedir. Bu çalışma uygun kömür kurutma sistemlerinin tasarımı için gerekli ekonomik limitleri göstermesi açısından önemlidir.

Bu çalışmaya başlamadan önce ülkemizdeki kömür yakıtlı termik santrallerin kullandıkları kömürlerin elementel analizleri, literatür dahilindeki bilgiler çerçevesinde bulunmaya çalışılmıştır. Uygun analizler termodinamiğin birinci kanunu çerçevesinde Engineering Equation Solver (EES) programında oluşturulan model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kömürün kurutma öncesi ve sonrası özellikleri belirlenmiş ve değişen özelliklerin santral performansı ve verimi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

KÖMÜRÜN TANIMI, ÖZELLİKLERİ VE OLUŞUMU

Kömür; bitkisel kökenli organik maddeler ve inorganik bileşenlerden oluşan, yanabilen, sedimanter özellikte, organik bir kayadır. Kömür başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin bileşiminden oluşup, bataklıklarda bitki ve ağaç kalıntılarının üst üste yığılarak çökmesi ve milyonlarca yıllık uzunca bir süreç içerisinde bu kalıntıların ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkiler sonucunda değişime uğramasıyla meydana gelmiştir.

İnsanlar tarafından bozulmadığı hallerde bile çok büyük miktarlarda bitki artığı yığınları doğal döngü içerisinde parçalanır. Mikrobiyolojik aktiviteler karşısında en dayanıklı bitki artıkları bile bozunur. Böylece doğal döngü içerisinde, meydana gelecek bir sonraki bitki örtüsü için gerekli kimyasal maddeler sağlanmış olur. Fakat bu doğal döngü her zaman için sistematüğinde devam etmeyebilir ve bazen bu bozunmalar gerçekleşmeyebilir. Bozunmaların sistematüğinde devam etmemesi sonucu, bozunmanın herhangi bir kademesindeki maddelerin farklı değişimlere uğraması söz konusu olabilir. Kara parçalarının alçalıp yükselmesi ve yerel su kaynaklarındaki değişim nedeniyle bitki artık ve kalıntıları su altında kalarak zamanla çok ince su-çamur tabakası ile örtülür. Meydana gelen bu yarı-sıvı bitki artık ve kalıntıları, kalınlığı gittikçe artan katmanlar altında kalarak, oluşan basıncın etkisiyle kimyasal değişime uğrar. Bu olayların gerçekleştiği noktada kömür oluşumu görülür.

Kömürün yeryüzünde oldukça geniş bir alana sahip olması ve çok farklı katmanlar arasında bulunması, bitki atık ve kalıntılarının su altında kalarak toprakla örtülüp, oluşan yüksek basınç altında zamanla çürüdüğünün bir göstergesidir. Böylece bu jeolojik döngünün dünyanın oluşumundan bugüne dek sürdüğü de anlaşılmaktadır. Herhangi bir devirde bitkilerin gelişmesi ve karasal bitkilerin bollasıyla orantılı

olarak büyük ölçekli kömür yatakları da oluşmaya başlamıştır. Ancak, bitki çeşitliliğinin farklı olması ve farklı katman seviyelerinde (farklı koşullarda) bitki yığınlarının oluşup çürümesi, meydana gelen kömürün özelliklerini de önemli oranda farklı kılmıştır.

Kömürleri Meydana Getiren Bataklıkların Geliştiği Ortamlar;

- Deltalar (en kalın kömür damarlarının oluştuğu ortamlardır.)
- Göller (Göl kıyıları, kalın kömür damarlarının meydana geldiği uygun bataklık ortamlardır.)
- Lagünler (Deniz etkisinin olduğu ince kömür damarcıklarını meydana getirirler.)
- Akarsu taşma ovaları (İnce kömür damarcıklarını oluştururlar.) [14].

2.1 Kömürleşme (Coalification) Olayı

Çoğunlukla bitkisel maddeler yâda bitki parçaları uygun bataklık ortamlarda birikip, çökelir ve jeolojik işlevlerle birlikte yer altına gömülürler. Yerin altında, bu organik kütleler, gömüldükten sonra, önceleri gömülmenin oluşturduğu basınç şartları, daha sonra da ortamın ısıl şartlarından etkilenirler. Bu etkilenme sonucu bu organik maddenin bünyesinde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir. Önceleri turba olarak adlandırılan ve kömürlerin atası olarak bilinen bu organik maddeler zamanla daha koyu renklere ve daha sert yapıya sahip olurlar [15]. Sıcaklık ve basınç şartlarının bu kütlelere etkimesi sonucu, bu ortamdan, sırasıyla önceleri (turbadan taşkömürüne aşamasına kadar) su ve su buharı, karbon dioksit, oksijen ve en ileri aşamalarda hidrojen (antrasit aşamasında) uzaklaşır. Tabii ki bu süreçte ideal şartlar ve ortamın ısıl şartlarının uzun bir dönem içerisinde (binlerce yıl) baskın olması ve artması gerekmektedir. Yer ısı her 30 metrede 10° C artmaktadır. Şüphesiz sıcaklık artışı ideal ve normal şartlar için geçerlidir. Bu şartların dışında (volkanik faaliyet, fay hareketleri, radyoaktif elementlerin bulunduğu ortamlarda) yerin ısı olağan üstü bir şekilde ve normalden çok fazla bir şekilde artmaktadır. Yerin ısı arttıkça önceleri turba olarak adlandırılan ama kömür sayılmayan bu organik madde, önce linyit daha sonra alt bitümlü kömür, sonra taşkömürü, antrasit ve en sonunda şartlar uygun olursa grafit dönüşür. Bu ilerleyen olgunlaşma sürecine Kömürleşme (coalification) denmekte, her seviyeye de kömürleşme derecesi (rank) denmektedir.

Kömürler şüphesiz içlerinde kil, silt, kum ve değişik oranlarda inorganik (mineral) madde bulundurlar. Kömürlerin içerisinde bulunan bu inorganik maddeler kömürün kalitesini direkt olarak negatif yönde etkilerler. Bir kömürün kalitesi, kullanıldığı alana göre farklı anlamlar içerebilir. Örneğin; kok eldesinde en kaliteli kömür, şişebilen, gözenekli hale gelebilen ve dayanıklı olabilen, okside olmamış kömürler en iyi kömürlerdir. Yakıt hammaddesi olarak kömürün koklaşması bir anlam ifade etmez, en aranan özellik fazla ısıl niteliğe sahip olmasıdır. Kömürü sıvılaştırma işlemine tabii tuttuğumuzda ise aranan en önemli özelliği uçucu madde içeriğinin fazla olmasıdır. Ama tümünde inorganik madde istenen bir bileşen değildir.

2.2 Kömürün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kömür hakkında yapılan çalışmalara başlamadan önce kömüre etki eden parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kömürün çeşitli alanlarda kullanımını belirleyen fiziksel ve kimyasal özelliklerinin saptanması gerekmektedir. Bunun sonucu olarak, kömür teknolojisinin gelişmesinin yanı sıra bu yakıtın ortaya çıkarmış olduğu problemlerin çözümü hakkında da kolaylıklar elde edileceği düşünülmektedir.

Kömürün özellikleri; bileşimine, kömürleşme derecesine ve oluşum şartlarına bağlı olarak değişmektedir [16]. Bu kapsamda kömür analiz sonuçlarının değerlendirilmesi sırasında analiz numunesinin seçiliş ve hazırlanış şartlarıyla beraber, kömürün havayla olan temas süreside göz önünde bulundurulmalıdır.

Kömürün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında (yansıtma, yoğunluk, gözeneklilik, vb.) kömür üzerinde etkisi olan nem, uçucu madde, kül ve sabit karbon içerikleri gibi özellikler de analizler sonucu belirlenmeli ve kömür üzerine olan çalışmalarda hesaba katılmalıdır.

2.2.1 Kömürün Nem İçeriği

Kömürler, kömürleşme derecelerine göre farklı oranlarda nem içermektedirler. Ocak çıkışında taş kömürü %1-3, sert linyitler %20-30, yumuşak linyitler %40-60, turbalar ise %60' ın üzerinde nem içerirler. Buradan kömürleşme derecesinin kömür nemi içeriğindeki önemi anlaşılmaktadır. Kömürleşme derecesi arttıkça kömürdeki rutubet

miktarı azalmaktadır. Çizelge 2.1' de linyit rezervlerimizin nem içeriklerine göre sınıflandırılması verilmiştir.

Çizelge 2. 1 Türk linyitlerinin nem içerikleri

Nem Aralığı (%)	Rezervdeki Pay (%)
Nem içeriği 0-10 arasında olanlar	0.89
Nem içeriği 10-20 arasında olanlar	14.25
Nem içeriği 20-30 arasında olanlar	14.21
Nem içeriği 30-40 arasında olanlar	13.21
Nem içeriği 40 ' dan fazla olanlar	57.44

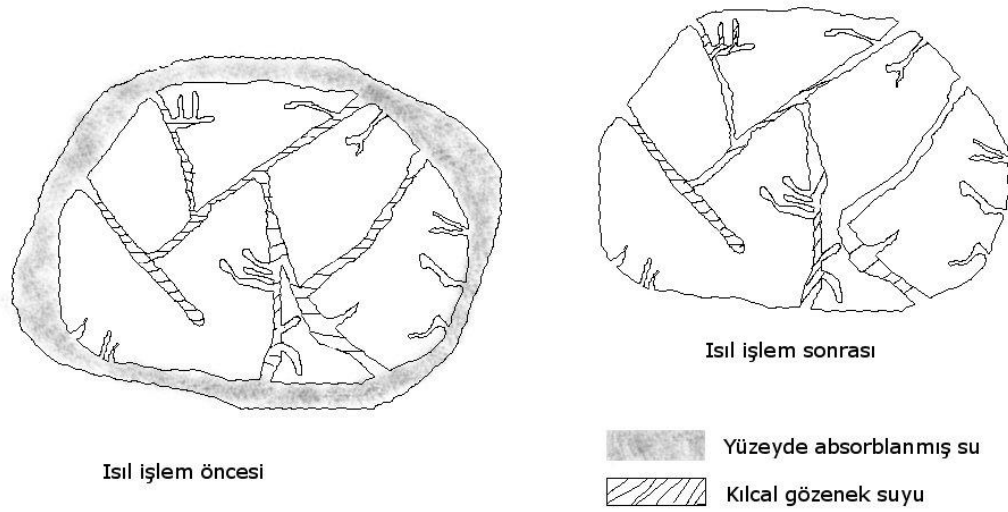
Kömürün yapısında bulunan nem miktarı kömürü fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bundan dolayı rutubet miktarının yapılan analizlerde belirlenmesi önemlidir. Özellikle kömürün nem oranının bünye neminin altına düşürüldüğü durumlarda, artan öğütülebilme ve pülverize edilebilme özelliğine bağlı olarak kömürün kalitesinin de önemli ölçüde artacağı belirlenmiştir [17].

Kömür bünyesinde bulunan nemin değişik şekillerde bulunması ve bu nem içeriklerinin tesbiti sırasındaki zorluklar nedeniyle net bir değerlendirme yapılması oldukça zordur. Kömürde bulunan nem kimyasal olarak bağlı nem, absorbe edilen nem ve mekanik kuvvetler sonucu tutulan nem olmak üzere üç grupta incelenebilir [18]. Kimyasal olarak bağlı nem, kömürün temel bileşenleri arasında olup kimyasal reaksiyonlara bağlı olarak oluşmakta ve daha güçlü bağlara sahip oldukları tahmin edilmektedir. Kömür içeriğindeki miktarı da oldukça düşüktür. Absorbe edilen nem yani fiziksel nem, su molekülleri ile kömür gözenek yüzeyleri arasındaki etkileşim sonucu oluşmuştur ve bu yüzeyler arasında ince bir tabaka halinde bulunmaktadır. Bu tabaka, yüzeyin durumuna göre şekil almakta ve kömür içerisindeki nemin en büyük kısmını oluşturmaktadır. Mekanik kuvvetler sonucu kömürde tutulan nem büyük boyutlu çatlaklar, kılcallık ve yüzey gerilim kuvvetleri etkisiyle kömür içeriğinde tutulan sıvıdan oluşmaktadır ve diğer nem içeriklerine göre daha serbesttir.

Brown' a göre kömür içindeki su üç kaynaktan dolayıdır. Bunlardan ilki kömürün su ile temasından kaynaklanan yüzey nemi olup serbesitesi oldukça fazladır. İkincisi kömürün

Yukarıda sınıflandırmada ifade edilen nem türleri ve kömürün oluşumuna bağlı derecelendirilmesi birlikte değerlendirildiğinde nemin bünye içerisindeki dağılımının ve yanma sürecindeki davranımının değişiklikler gösterebileceği anlaşılmaktadır. Linyit ve genç kömürlerde su yüzeyde çok gevşek bir şekilde bağlanırken, büyük ve mikro gözeneklerde hidrojen bağları vasıtasıyla kuvvetli bir şekilde bağlandığına işaret edilmektedir [20].

Isıl işlem sonrası, nem veya nemin uzaklaştırılma durumunun genç kömürlerde şematik olarak ifadesi şekildeki gibidir [21].



Şekil 2. 2 Isıl işlem öncesi ve sonrası kömür bünyesindeki mevcut nemin davranımı

Şekilden de anlaşıldığı gibi ısıl işlem sırasındaki karmaşık etkileşimler ve kömür üzerine etkiyen farklı etmenlerden dolayı, kömürden nem alımı süreci ve süresi değişiklikler göstermektedir. Yapılan birçok çalışmada kömür bünyesindeki nem buharlaşmasının kinematiği incelenmiştir. Vorres vd. [11], buharlaşmanın iki aşamada kademeli olarak gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. İlk kademede kömür neminin %80-85' i belli bir hızla buharlaşırken, ikinci kademede buharlaşma sürecinin oldukça yavaş olduğunu belirtmişlerdir.

2.2.2 Uçucu Madde Miktarı

Kömürün uçucu madde ve reaktivitesi arasındaki bağlantı, kömürün işlem gördüğü sıcaklığa bağlıdır. Bu arada kömürdeki uçucu maddelerin uçması sırasında, kömürle gaz arasındaki teması azalttıklarını ve bu yüzden reaktiviteye olumsuz etki yaptıkları bilinmektedir.

2.2.3 Kükürt

Bütün kömürler az miktarda da olsa, kükürt içerirler. Kömürlerde bulunan kükürt üç formda olabilir: Organik, inorganik ve sülfat kükürtü. Bunlara ek olarak bazı kömürlerde elementer kükürtle karşılaşmıştır. Organik kükürt, kömürün organik materyalinin bir parçasıdır. Bu nedenle, kömürden fiziksel yöntemlerle uzaklaştırılması mümkün değildir. Sülfat kükürtü, kömürde toplam kükürtün çok az bir kısmını oluşturur. Jips (CaSO_4) halinde bulunduğu gibi, kömürün hava ile uzun süre teması sonucu FeSO_4 olarak da bulunabilir. Piritik kükürt ise, pirit ve markasit minerallerine bağlı olarak bulunur. Kömür içerisinde bantlar, damarlar, merccekler, küresel veya disemine tanecikler halinde türlü şekil ve biçimlerde dağılırlar. İster gözle görülebilir (makroskobik), ister mikroskobik olsun piritik kükürt, kömürden serbestleştiği takdirde flotasyon veya diğer zenginleştirme yöntemleriyle kömürden temizlenebilir. Çizelge 2.2' de linyit rezervlerimiz için kükürt içerikleri verilmiştir.

Çizelge 2. 2 Türk linyitlerinin kükürt içerikleri

Toplam Kükürt Aralığı (%)	Rezervdeki Pay (%)
Toplam kükürt içeriği 0-1 arasındakiler	3.7
Toplam kükürt içeriği 1-2 arasındakiler	68.29
Toplam kükürt içeriği 2-3 arasındakiler	14.11
Toplam kükürt içeriği 3-4 arasındakiler	5.86
Toplam kükürt içeriği 4 'den fazla olanlar	8.04

2.2.4 Kül

Bütün kömürler organik olmayan maddeler içerirler. Kömürün yanmasından sonra, yanmayan maddelerden oluşan artığa kül denir. Külün büyük bir kısmı kimyasal bileşim olarak silisyum, alüminyum ve demir oksitlerinden ibarettir.

Kömürlerde iki türlü kül bulunur: Bünye külü ve harici kül (istihsal külü – üretim külü). Bünye külü, kömürü oluşturan bitkilerden gelen inorganik maddelerdir ve kömürdeki toplam külün % 2-3' ünü oluştururlar. Harici kül ise, kömürü oluşturan bitkilerin dışında kömüre karışan yabancı maddelerdir. Bu maddeler, kömüre, kömürleşme esnasında karışabileceği gibi, kömürleşmeden sonra da kömür damarları içindeki çatlak ve kırıklar boyunca girebilir. Bu yabancı maddeler kil, şist, kumtaşı, kireçtaşı ve benzerleri olabilir. Bunlar, kömür içinde mikroskopik parçalar halinde bulunabileceği gibi, damarlar ve/veya tabakalar halinde de bulunabilir. Yabancı maddeler, tüvenan kömüre, üretim esnasında tavan ve taban yantaşlarından da karışabilir. Bunların hepsi harici külü oluştururlar. Bünye külü, kömürden, yıkama yöntemleriyle uzaklaştırılmazken, harici kül, kömür yıkama yöntemleriyle belli bir oranda azaltılabilir. Çizelge 2.3' de linyit rezervlerimiz için kül içerikleri verilmiştir.

Çizelge 2. 3 Türk linyitlerinin kül içerikleri

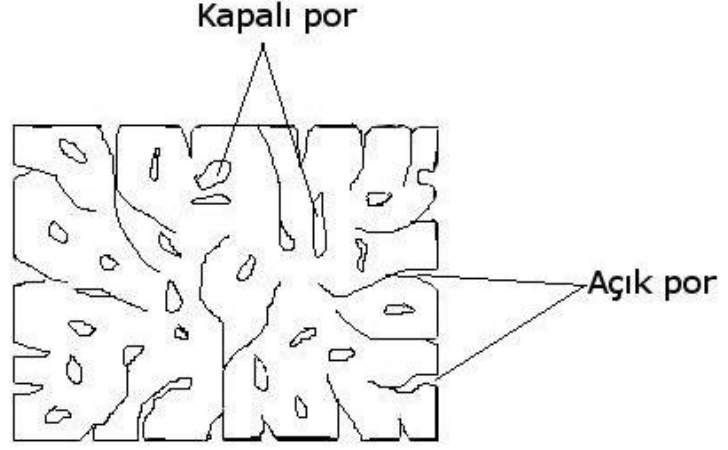
Kül Aralığı (%)	Rezervdeki Pay (%)
Kül içeriği % 10-15 arasında olanlar	1.54
Kül içeriği % 15-20 arasında olanlar	2.19
Kül içeriği % 20-25 arasında olanlar	52.37
Kül içeriği % 25-30 arasında olanlar	19.03
Kül içeriği % 30 'dan fazla olanlar	24.87

2.2.5 Kömürde Porozite

Kömür içerisindeki mevcut porlu yapı nemin tutulmasını sağlayan etmenlerin başında gelir. Bu porozitenin yapısı, boyutu ve şekli, mevcut yapı içerisindeki miktarı kömürün gözenek nemiyle belirlenir. Ancak por boyut dağılımını, yapısını ve mevcut içerisindeki miktarını belirlemek o kadar kolay değildir. Bu amaçla kullanılan birçok metod olmasına rağmen kömürün porozitesini tam olarak açıklayabilen veya tanımlayabilen mevcut bir metod bulunmamaktadır. Porozite < 1nm den > 10.000 nm çap değerleri arasında birkaç grupta tanımlanabilir [22].

Kömür yapısındaki porlu yapı birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve değişik sınıflandırmalara tabii tutulmuşlardır. Şekilden de anlaşılacağı üzere açık boşluklar veya katı yüzeyi ile bağlantılı kanallar ve kapalı boşluklar veya katı yüzeyi ile bağlantısı

olmayan kanallardır. Gözenekler ve kömür partikülleri ile kayaların bağlandığı yapılar; çatlaklar, açık ve kapalı porlar ve aynı zamanda düzensiz yönlendirilmiş kısmi aromatik tabakalar arasındaki boşlukları içermektedir [23].

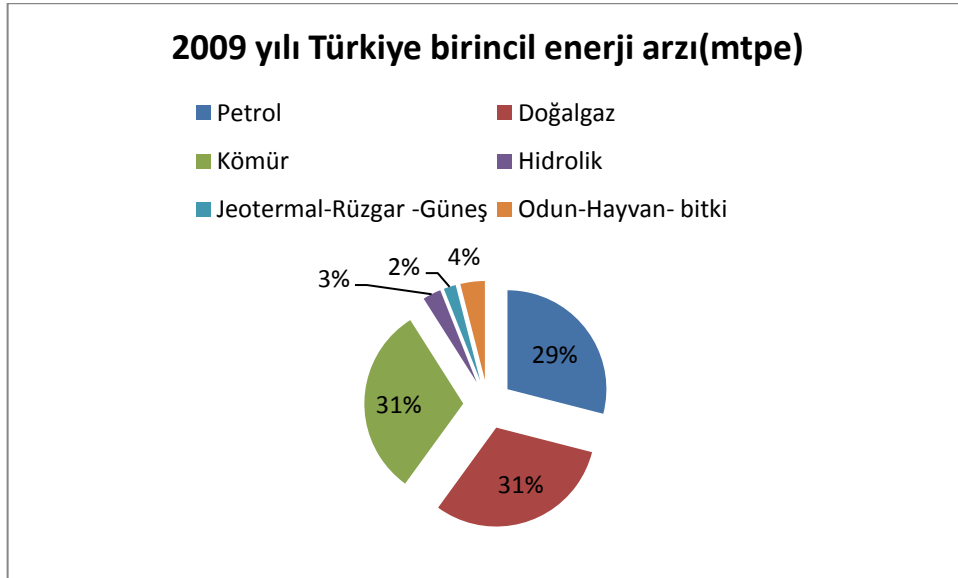


Şekil 2. 3 Kömürün poroz yapısındaki çatlaklar, açık ve kapalı porların görünüşü.

Mevcut por hacimleri ve poroz yapı üzerine yapılan bir başka çalışmada ise, kömürleşme derecesinin artmasıyla beraber toplam por hacminde azalma olduğu ve bunun sonucu olarakta kömür bünyesindeki mevcut nem seviyesinin azaldığı gözlemlenmiştir [24].

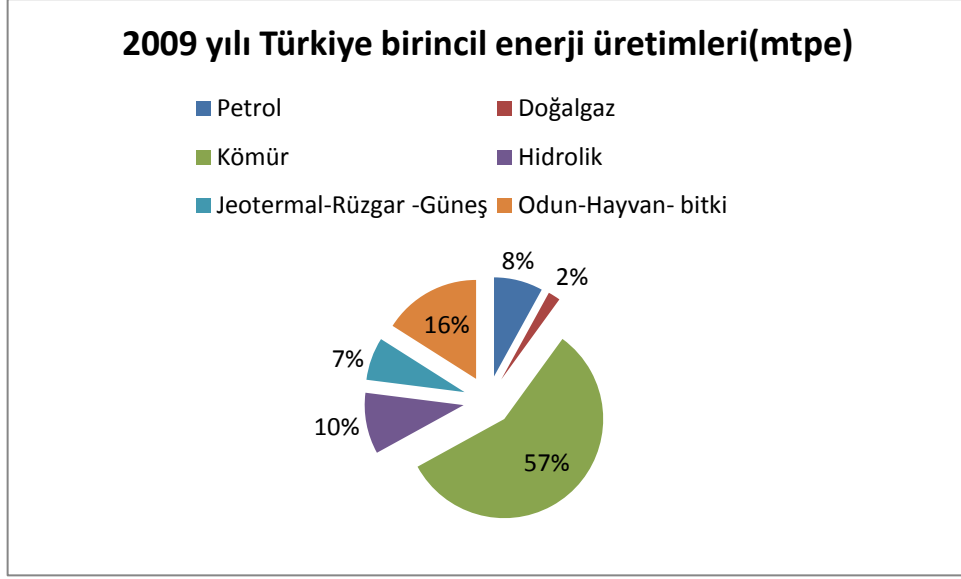
2.3 Ülkemizdeki Mevcut Durum

Türkiye’de toplam birincil enerji arzı 2009 yılı rakamlarıyla 106,1 milyon ton petrol eşdeğerdir. Söz konusu rakamın enerji türlerine göre dağılımı şu şekildedir: 32,9 mtpe kömür, 32,8 mtpe doğalgaz, 30,6 mtpe petrol, 4,6 mtpe odun-hayvan ve bitki artıkları, 3,1 mtpe hidrolik, 2,1 mtpe jeotermal, rüzgar ve güneş.



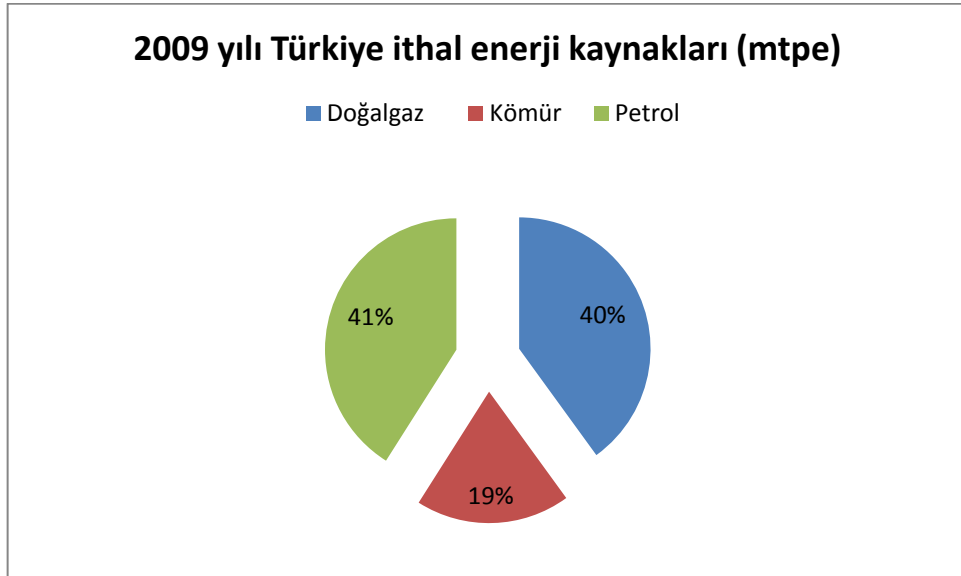
Şekil 2. 4 2009 yılı Türkiye birincil enerji arzı

106,1 mtpe enerji arzınının 30,3 mtpe’si Türkiye’de üretilmiştir. Söz konusu yerli üretimin kaynaklara dağılımında ise şu şekildedir: 17,4 mtpe kömür, 4,7 mtpe odun-hayvan ve bitki artıkları, 3,1 mtpe hidrolik, 2,3 mtpe petrol, 2,2 mtpe jeotermal-rüzgar ve güneş enerjisi ve 0,6 mtpe doğalgaz.



Şekil 2. 5 2009 yılı Türkiye birincil enerji üretimleri

Toplam enerji üretiminin %73 gibi büyük bir kısmı ithal kaynaklardan sağlanırken, geri kalan %27'lik kısmı yerli enerji kaynaklarından elde edilmektedir. İthal kaynakların 33,9 mtpe'lik kısmı petrol, 32,8 mtpe'lik kısmı doğalgaz ve 15,4 mtpe'lik kısmı ise kömürden oluşmaktadır [41].



Şekil 2. 6 2009 yılı Türkiye ithal enerji kaynakları

2.3.1 Ülkemiz Kömür Rezervleri

Ülkemizdeki doğalgaz ve petrol rezervleri oldukça sınırlı olmasına karşın, 535 milyon tonu görünür olmak üzere, yaklaşık 1,3 milyar ton taşkömürü ve 9,8 milyar tonu görünür rezerv niteliğinde 11,5 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Bu kömür rezervi Dünya linyit rezervlerinin %5,9'unu oluşturmaktadır. Ülkemizdeki taşkömürü rezervleri TTK tarafından, linyit rezervleri ise Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) ve özel sektör tarafından işletilmektedir. Taşkömürlerinin tamamı, linyitlerin ise %86'sı kamuya ait bulunmaktadır.

Çizelge 2. 4 2009 yılı itibariyle Türkiye linyit rezervleri

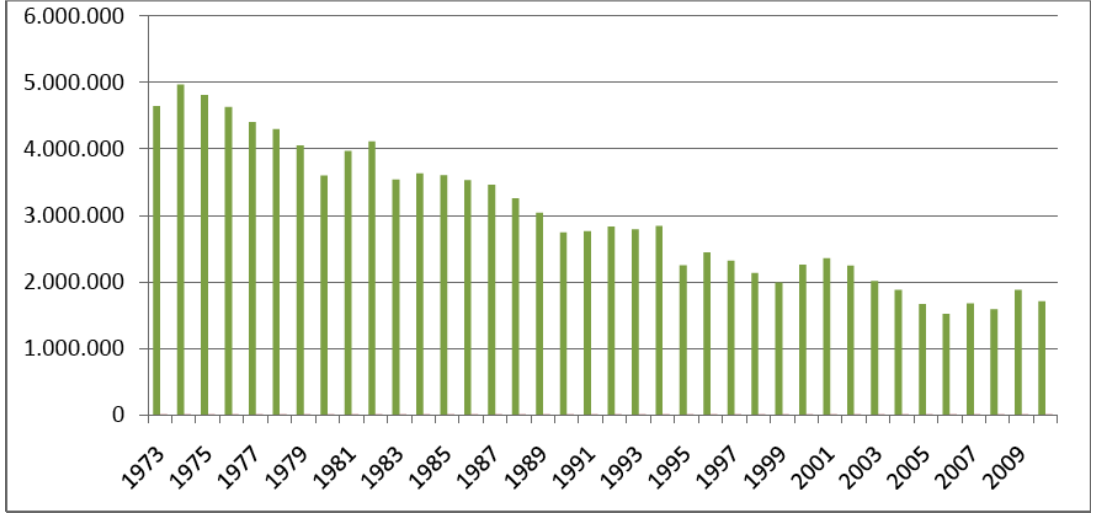
Rezervler (milyon ton)				
Kurumlar	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
EÜAŞ	4.718	104		4.822
TKİ	2.239	218	1	2.458
MTA	1.803	685	123	2.611
Özel Sektör	1.077	337	138	1.554
Toplam	9.837	1.344	262	11.445

2005-2008 yılları arasında yapılan çalışmalar ile ülkemizdeki linyit rezervleri önemli ölçüde artış göstermiştir. Ağırlıklı olarak Afşin-Elbistan Linyit Havzası'nda gerçekleştirilen bu çalışmalar EÜAŞ'ın destekleriyle Maden Tetkik Arama (MTA) tarafından gerçekleştirilmiştir. Linyit rezervleri hemen bütün coğrafi bölgelerde ve kırktan fazla ilde yer almaktadır. Bu rezervlerin %42'si EÜAŞ, %23'ü MTA, %21,5'i TKİ ve geri kalan %13,5'i ise özel sektör kontrolündedir [41].

2.3.2 Türkiye'de Kömür Üretimi ve Tüketimi

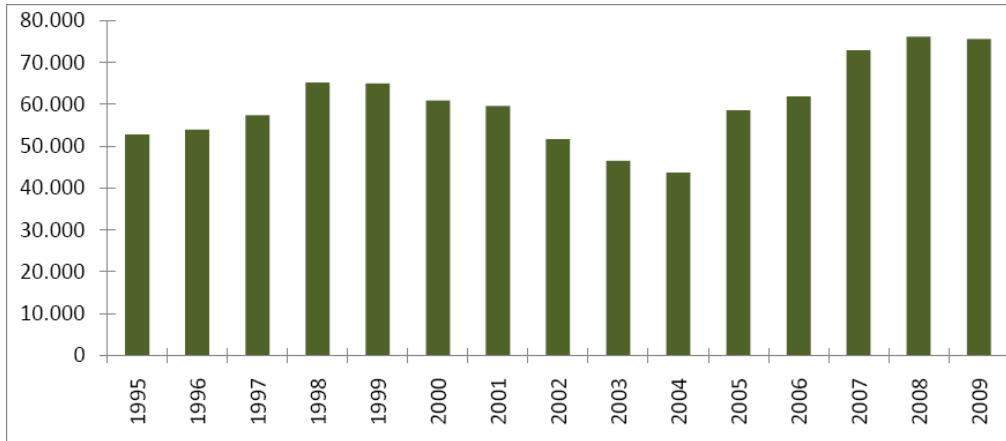
2009 yılı itibariyle ülkemizdeki toplam kömür üretimi toplam 69,6 milyon ton olup bunun 66,7 milyon tonu linyit ve 2,9 milyon tonu taşkömürüdür.

1980'li yılların başından itibaren sürekli olarak azalan taşkömürü üretimi 2004 yılında 1,9 milyon tona kadar gerilemiştir. Bu tarihten sonra üretim miktarı tekrar artmaya başlamış ve 2009 yılında 2,9 milyon tona yükselmiştir.



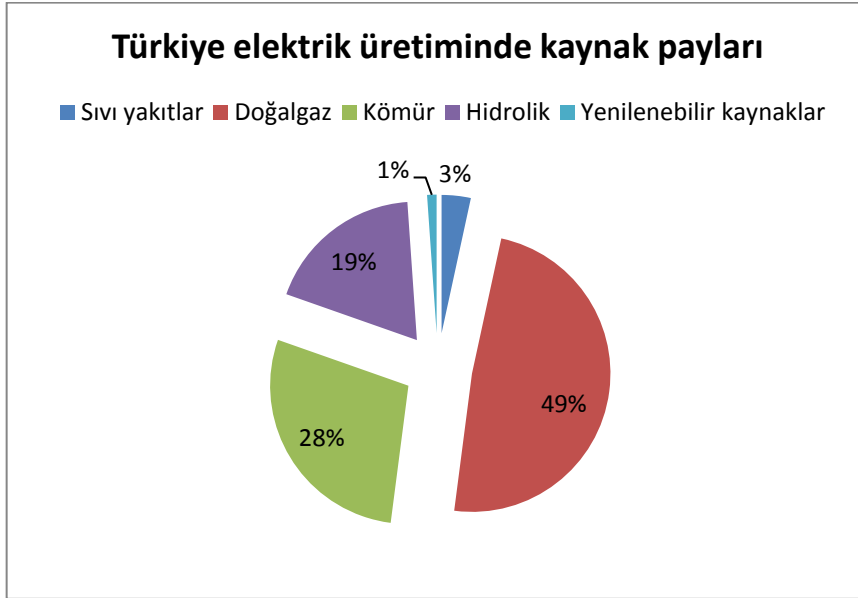
Şekil 2. 7 Yıllara göre Türkiye taşkömürü üretim miktarları (ton) [41]

Söz konusu eğilim büyük ölçüde linyit üretimi için de geçerlidir. Linyit üretimleri, özellikle 1970'li yılların başlarından itibaren elektrik üretiminde kullanılmak üzere linyit işletmelerinin yaptıkları yatırımlar sayesinde hızlanmıştır. Bu artış 70'li yıllarda yaşanan petrol krizinin de etkili olduğu söylenebilir. 1970 yılında yaklaşık 5,8 milyon ton olan linyit üretimi, 1998 yılında 65 milyon tona ulaşmıştır. Ancak, bu tarihten itibaren, enerji yönetimlerinin gerçekleştirdikleri doğalgaz alım anlaşmaları nedeniyle, linyit üretimi sürekli bir iniş yaşamış, örneğin 2004 yılında 43,7 milyon ton ile en düşük üretim seviyesini görmüş, bu tarihten sonra ise tekrar yükselmeye başlamış ve 2009 yılı üretimi 75,6 milyon ton olarak gerçekleşmiştir [41].



Şekil 2. 8 Yıllara göre Türkiye linyit üretim miktarları (bin ton) [41]

Türkiye’de 2009 yılında gerçekleştirilen 193 TWh brüt elektrik üretiminin kaynaklara dağılımı şu şekildedir: %48,6 doğalgaz, %28,3 kömür, %18,5 hidrolik, %3,4 sıvı yakıtlar ve %1,1 yenilenebilir enerji kaynakları.



Şekil 2. 9 Türkiye elektrik üretiminde kaynak payları

Türkiye’nin 2010 yılı toplam kurulu gücü 47.662 MW olup linyite dayalı mevcut santral kapasitesi ise 8.109 MW’tır. Linyite dayalı kurulu gücün toplam içindeki payı %17’e karşılık gelmektedir.

TKİ Kurumu, EÜAŞ ve bağlı ortaklıklarına ait toplam 10 adet termik santrali beslemektedir. Söz konusu santrallerin toplam kurulu gücü 4.209 MW’dır. Bu büyüklük, 2010 yılı sonu itibariyle Türkiye’nin linyite dayalı kurulu gücünün %52’sine ve toplam kurulu gücün ise %8,8’ine karşılık gelmektedir [41].

Türkiye’ nin 2010 yılı toplam gücü ve linyite dayalı kurulu gücün toplam içerisindeki payı dikkate alındığında, kömür iyileştirme çalışmalarının önemi anlaşılmaktadır. Çünkü kömürün yakılması sırasında ortaya çıkan birçok sorun kömürün sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özelliklerle doğrudan ilişkilidir. Ülkemizin sahip olduğu kömür kaynakları dikkate alındığında, bu kaynaklardan elde edilen kömürün nem içeriğinin oldukça fazla olduğu görülmektedir. Nem içeriğinin fazla olması kötü yanma koşulları ve yanma

veriminde azalmalara sebep olmaktadır. Yanma veriminin düşmesi sonucu, elde edilecek aynı brüt güç için daha fazla yakıt harcanacak ve yakıta ayrılan bütçe normalden daha fazla olacaktır. Daha fazla yakıt girdisi ise emisyon miktarının artmasına, fan ve değirmenlerin normalden daha fazla çalışmasına yani üretilen elektriğin birim fiyatında artışa sebep olacaktır. Tüm bu nedenler göz önüne alındığında, yerli kaynaklardan en verimli şekilde faydalanılması ve elektrik üretimi sonucu ortaya çıkan olumsuz etkilerin minimize edilmesi amacıyla kömür iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır.

KÖMÜR KURUTMA

Kömür, birçok kimyasal olay için hammadde olmasının yanı sıra düşük maliyetleri nedeniyle termik santrallerde kullanılan en önemli yakıtlardan biridir. Ancak linyit gibi bazı kömürler, yüksek derecede nem ve kül içerirler. Dünyadaki kömür kaynaklarının %45'i linyitlerden oluşmaktadır. Linyitler ucuzdur, düşük sülfür içeriklerine sahiptirler fakat yüksek nem içerikleri nedeniyle diğer kömürlere göre daha düşük enerji eldesi sözkonusudur [12],[25]. Diğer taraftan kömürler değişik kimyasal ve fiziksel özelliklerden geçirilerek kullanılırlar. Bu olguda kömür içeriğine fazladan nem eklenmesi anlamına gelmektedir.

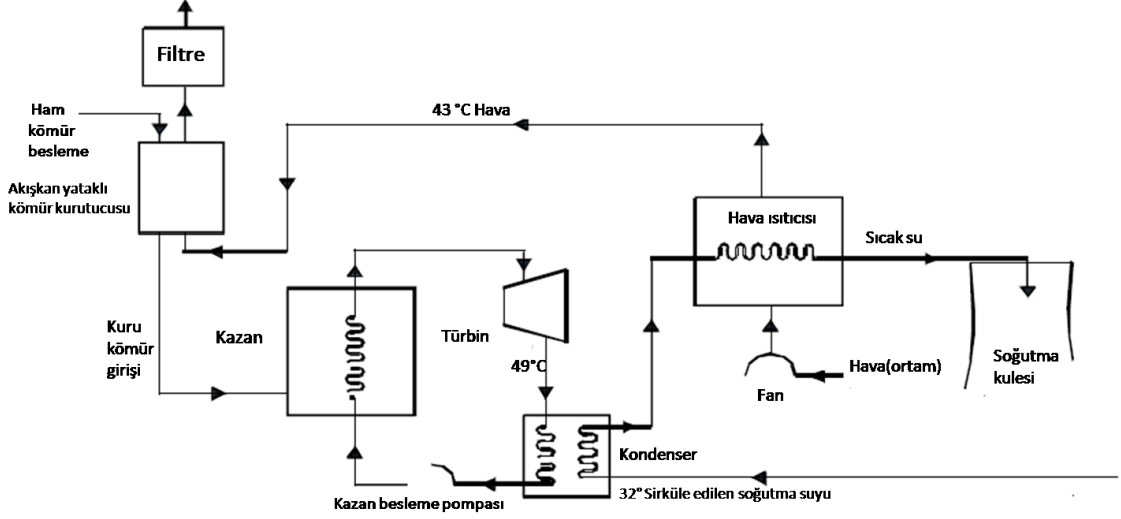
Yanma işlemi esnasında kömürdeki nemin buharlaştırılması için fazladan %7-10 civarında bir yakıt girdisi sözkonusudur. Daha fazla yakıt girdisi, düşük verimin yanı sıra daha fazla baca gazı oluşumu, daha fazla güç tüketimi ve yüksek bakım maliyetlerine sebep olmaktadır. Ayrıca ıslak kömürün, demir yolu ile bir yerden bir yere taşınması özellikle soğuk iklim bölgelerinde oldukça zahmetlidir. Yine kömür nem içeriği kömürün öğütülebilirliğini de azaltan önemli bir faktördür. Bunun sonucunda değirmenlerin yapmış olduğu iş yükünün artmasının yanı sıra, kömürün ayrıştırılması ve sınıflandırılması gibi işlemler de oldukça zorlaşır. Tüm bunlara ek olarak yüksek nem içeriği kendiliğinden yanma eğilimini, ayrışma derecesini ve toz alma karakteristiklerinin de kısıtlanmasına sebep olur.

Kömürün fiyatı belirlenirken dikkate alınan en önemli parametre kömürün ısı değeridir. Kömürdeki nemin azaltılması sonucu termik santrallerin verimi artacak, taşıma (ulaşım) maliyetleri düşecek, kül yok etme maliyetleri azalacak ve daha az emisyon salınımı yapılacaktır. Bu faydalar kömür kurutma işleminin ne kadar önemli

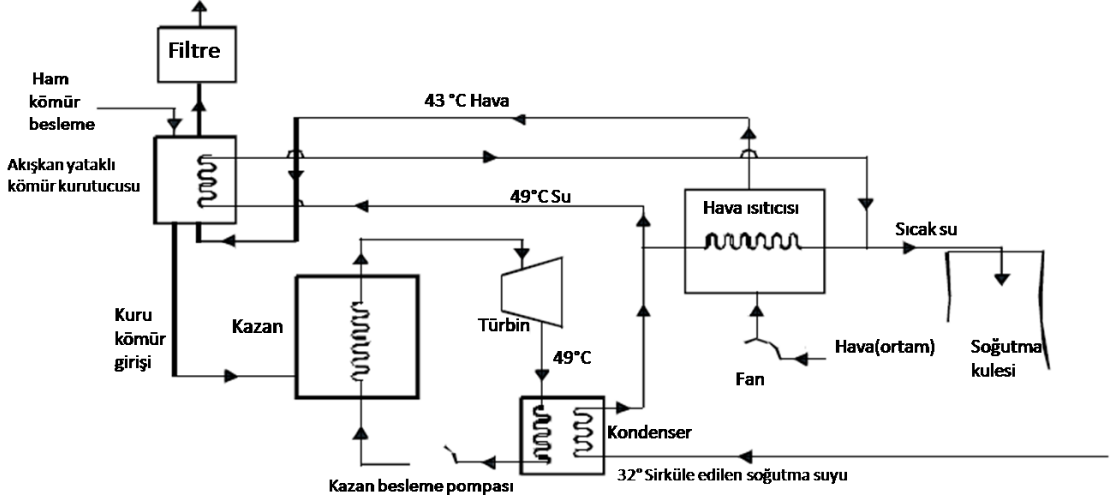
olduğunun bir göstergesidir. Ayrıca artan enerji krizi düşük dereceli kömürlerde kurutma işlemini zorunlu kılacaktır [12].

Islak kömürler briketleme, koklaştırma, gazlaştırma, düşük sıcaklıklarda kömürleştirme, sıvı yakıt sentezi gibi birçok yöntemle kurutulabilirler. Ayrıca kurutulmuş linyitler ve daha yüksek nemli kömürler düşük sıcaklıklı emisyonlarla da kurutulabilirler. Örneğin 550 MW güce sahip bir santral ünitesi için Kuzey Dakota da stok halindeki linyitler santral atık ısıyla kurutulmuştur. Bu işlem sonucunda kazan verimi ve ünite performansı arttırılmıştır. Test datalarına göre yakıt nem içeriği %6 düşürüldüğünde kazan verimi %2,6-2,8 oranında artmıştır. Kömür nemindeki bu azalış yedek güç gereksinimini de azaltmıştır. Yakıt nemi %6 düşürüldüğünde sistem için kapasite faktörü 0,8 alınmış ve yıllık tasarruf 1,3 milyon \$ olarak elde edilmiştir. Eğer bu sistem ABD'deki tüm santrallere uygulanırsa yıllık tasarruf 19 milyon \$ civarında beklenmektedir.

Bu işlem için Levy ve arkadaşları iki ayrı kurutma sistemi üzerinde teorik ve deneysel olarak çalışmışlardır. Şekil 3.1 ve şekil 3.2 bu çalışmanın yapıldığı kurutma sistemlerini göstermektedir. Şekil 3.1'de kurutma işlemi, türbinden çıkarak soğutma kulesine giden akışkanımızı bir ısı değiştiricisinden geçirerek, kurutma işlemi için kullanılacak havanın ısıtılmasıyla kömürden nem alınması gerektiğini göstermektedir. Şekil 3.2'de ise soğutma kulesine giden akışkanın bir kısmı hava ısıtıcısından geçirilirken bir kısımda doğrudan akışkan yataklı kömür kurutucusuna yollanılarak kömürden nem alımı gerçekleşmektedir [13].



Şekil 3. 1 Hava ısıtıcılı kömür kurutucusu (model 1) [13]



Şekil 3. 2 Hava ısıtıcılı kömür kurutucusu (model 2) [13]

Ayrıca Avustralya'daki Monash üniversitesinde yapılan bir deneysel çalışmada Avustralya kahverengi kömürünün veya linyitinin nemi azaltıldığında, sera gazı emisyonlarının bir santral için %30 civarında azalacağı gözlemlenmiştir. Bu sonuç küresel ısınma olgusu açısından oldukça önemlidir [12].

Tüm bu nedenler düşük dereceli kömürün kurutulmasının önemini belirtmesine rağmen yüksek miktardaki nem alma işlemi için ihtiyaç duyulan enerji gereksinimide

oldukça fazladır [26]. Geleneksel linyit yakıtlı santrallerde linyit, sıcak baca gazları ile 900-1000 °C sıcaklığında buhar üretilen fırınlarda kurutulmaktadır [12].

3.1 Kömür Kurutma Metotları ve Tipik Kurutucular

1920 yılından bu yana kömürün neminin azaltılması, yüksek kalorifik değere sahip kömür üretimi yapılarak düşük taşınım harcamaları eldesi amacıyla, birçok değişik kurutma ve derece yükseltme çalışması geliştirilmiştir [27],[28]. Bunlar arasında Fleissner [12] tarafından patenti alınan kızgın kurutma prosesi Doğu Avrupa'da ticari olarak uygulanmıştır. Bu proses kömür kurutma işlemi boyunca hiçbir risk olmaksızın yüksek kurutma sıcaklıklarına (>270 °C) erişim imkanı sağlamıştır. Aslında bu patent, hava kullanan geleneksel kurutucular arasında gösterilebilir.

Kluttz vd. [12] WTA prosesini (atık ısıların kullanımıyla akışkan yatakta kurutma) geliştirmiştir. Bu proses birkaç ısı değiştiricisiyle birleştirilmiş sabit akışkan yatakta üretilen hafif kızgın buharla, kömürün kurutulmasına dayanmaktadır.

Günümüzde ise Eagle [29] yeni bir teknoloji olan karbon yakalama ve depolama (CCS) ile birleştirilmiş, gazlaştırma kombine çevrimini (IGCC) geliştirmiştir. Bu işlemle daha düşük sülfür değerine sahip kömür eldesi mümkündür.

Yine günümüzde K-Fuel teknolojisi (KFX) [30] geliştirilmiştir. Bu proses, ısı ve basıncı kullanarak daha yüksek ısı değere sahip kömür eldesi imkanı sunmaktadır. Ayrıca bu işlem sırasında kömür içerisindeki safsızlıklardan (civa yoğunluğundan, sülfür dioksit ve nitrojenoksit emisyonlarından) kaynaklanan etkiler ortadan kaldırılmaktadır.

3.1.1 Konveksiyonel Buharlaştırma ile Kurutma

Birbirine kıyasla değişik yönleri ileri seviyede olan birçok buharla kurutma teknolojisi mevcuttur [31],[32]. Bu kurutma proseslerinde sıcak hava, yanma gazları veya kızgın buhar kullanımı sözkonusudur. Bu kurutucular direkt (doğrudan) ve endirekt (dolaylı) kurutucular, dönel fırınlar ve akışkan yataklı sistemler olmak üzere iki kategoride sınıflandırılır [12]. Kurutucu seçimindeki en önemli nokta sıcak havaya maruz kömür tozları ve ateşin bir araya gelerek oluşturacağı tehlikeli operasyon şartlarının güvenliğidir.

Direkt kurutucular (akışkan yataklar, şaftlı kurutucular, titreşimli akışkan yataklar) sıcak havayı veya yüksek sıcaklıklı yanma gazlarını kullanırlar. Bu gazlar kurutma öncesi 700-900 °C iken, kurutma sonrası 60-120 °C sıcaklığındadırlar. Bu işlem sırasında en önemli nokta yüksek oksijen içeriğine ihtiyaç duyulmamasıdır. Böylece tehlikeli patlamalar ve ani yanmaların önüne geçilebilir. Bu direkt sistemler için can alıcı bir noktadır. Çünkü düşük dereceli kömürler oldukça reaktiftirler. Bundan dolayı bu kömürler kendinden yanma olgusu nedeniyle ani patlama ve ateşlemelere oldukça yatkındırlar.

Endirekt kurutucuların ise farklı avantajları sözkonusudur. Endirekt ısıtım dönel kurutucular sert kömürlerde kullanılmaktadırlar. Bu sistemler, yüksek enerji verimliliği sağlarken 3100 kJ/kg seviyelerinde su buharı tüketirler. Titreşimli kurutucular sert ve kahverengi kömürler için kullanılmaktadır ve tükettiği enerji 3100-4000 kJ/kg seviyelerindedir.

Potter vd. ıslak Victorian kahverengi kömürünü kızgın buharlı bir akışkan yatak kurutucu sistemi ile kurutmuşlardır [33]. Faber vd. [12] uygun bir buhar kurutucusu kurulumu yaparak kömür nemini %8 civarında azaltmışlardır. Bu sistemde buhar giriş sıcaklığı 300 °C, çıkış sıcaklığı ise 150°C civarındadır.

3.1.2 Buharlaştırma Olmaksızın Susuzlaştırma ve Kurutma

Faz değişikliği olmaksızın dehidrasyon işleminin oldukça verimli olduğu aşikârdır. Çünkü buharlaştırma için ihtiyaç duyulan ısıya gerek yoktur, kullanılan ekipmanlar daha basit ve ucuzdur. Fakat bu teknolojinin kullanımında, nem içeriği ve parça boyutuna bağlı olarak çok özel malzemelerden yararlanılmaktadır. Kömür için parça boyutuna bağlı kullanılan materyaller değişmektedir. Disk ve dönel vakum filtreler ABD’de yaygın şekilde kullanılır [34]. Basınçlandırılmış filtreler, vakum filtrelere göre daha etkilidir ancak pahalı ve işletme maliyetleri yüksektir.

Son yıllarda kömür kurutma endüstrisinde gelişmekte olan bir kurutma teknolojisinde elektro-susuzlaştırmadır [12]. Bu sistemde sulu- çamur, pozitif iyon katyonunu temsil eder ve sürekli elektrik akımı altındadır. Viskoz etkiler sonucu çamur içerisindeki su molekülleri katoda taşınır ve böylece su çamurdan ayrılmış olur. Su kaybından kaynaklanan hacim kaybı elektroda mekanik güç verilerek sağlanır. Belirli basınçlar

altında, anot ve katod arasındaki mesafe ayarlanır. Bu işlem sonucunda %25-50 seviyelerinde kuruluk elde edilmiştir. Avustralya'daki CSIRO laboratuvarında da yoğun bir şekilde, kömür maden atıklarının elektro-osmotik susuzlaştırılması üzerine çalışılmaktadır. Elektro-osmos daha iyi susuzlaştırma sağlamak için basınçlı filtreleme ile desteklenmiştir [35].

Uygulanan diğer bir proseste vakum disk filtreler içinde seramik filtrelerin kullanılarak susuzlaştırılma işleminin yapılmasıdır. Bu filtrelerin gözenekleri çok incedir. Böylece yüksek vakum seviyelerinde bile çalışabilirler. Bazı santraller hiperbarik basınçlı filtreler kullanarak nem alma işlemi yapmaya başlamıştır [35].

3.1.3 Öğütme ve Kurutma

Kömür kullanılmadan önce öğütülme veya parçalanma işlemine tabi tutulmaktadır. Öğütülme işlemi sırasındaki ısı üretimi kullanılarak parça boyutu küçülürken aynı zamanda önemli ölçülerde nem azaltımı da yapılabilir. Bu teknoloji için verilebilecek en iyi örneklerden biri Kinetic Disintegration System (KDS) Micronex öğütücü ve kurutucularıdır [12]. KDS aslında bir değirmen odasıdır ve bu odada öğütme ve kurutma işlemi aynı anda yapılmaktadır. Kurutma mekanizması tamamen termaldir ve oda içindeki hava sıcaklığı 70 ile 90 derece arasındadır.

3.1.4 Sıcak Sulu Kurutma (HWD)

Bu proses (HWD) Kuzey Dakota üniversitesindeki Energy and Environmental Research Center (EERC)'de geliştirilmiştir. Kurutma işlemi yarı sıvı yakıtlar için üretilmiştir. Bu teknoloji için yüksek sıcaklık ve basınç gereksinimi sözkonusudur. Bu teknoloji sulu kömürlerin kullanımı amacıyla ortaya çıkmıştır (CWFs). Yüksek oranlarda nem düşüşü gözlenmiştir [12].

HWD prosesi ıslak kömürün 240 °C ve altındaki sıcaklıklarda, uygun doymuş buhar basıncı elde edilerek, nem alımını ifade eder. Bu işlem en az 10 dakika sürmelidir. Nem gözenekler içindeki karbondioksitin ayrışmasından (dekarboksilasyon) ve genişlemesinden kaynaklanarak azalmaktadır.

3.1.5 Nontermal Biyokütle Kurutucular

Gulftex Environmental Services of Texas [36] çalışma grubu pülverizeli hava kurutucularını (PAD) geliştirmişlerdir. Bu kurutucular ısı kullanmazlar fakat nem içeriğini biyokütleyle bağlı olarak %80'lerden %10'a kadar azaltabilmektedir. PAD yüksek hızlı hava akımı kullanarak nem alımını gerçekleştirmektedir.

Buharlaştırma olmaksızın kurutma işlemi yapan diğer bir teknolojiye Fleissner prosesidir [12]. Bu prosesin temeli geçmişe dayanmakla beraber, bu procese de nem alımı buharlaşmadan kaçınılarak doymuş buhar çevresinde gerçekleştirilmektedir. Bu proses yüksek basınçlar altında gerçekleştirilir. Böylece faz değişimi yüksek basınç sayesinde önlenmiş olur. Böylece enerji verimliliği bu proses için arttırılmış olmaktadır. Bu teknolojinin yatırım maliyeti hala tam olarak bilinmemektedir. Avustralya'da bu konu hakkındaki çalışmalar devam etmektedir [37]. Fakat ilginçtirki bu proses diğer biyokütle teknolojilerine göre laboratuvar şartlarında oldukça başarılı sonuçlar vermiştir.

3.2 Gelişmekte Olan Kurutma Metodları

3.2.1 Kömürün Kızgın Buhar ile Kurutulması

Kızgın buhar, geleneksel sıcak hava ile kurutma proseslerine oldukça iyi bir alternatiftir. Çünkü bu proses yangın tehlikesini ortadan kaldırmaktadır [12]. Bu prosesin kömür kurutma üzerine getirdiği bazı avantajlar mevcuttur. Bunlar; yangın ve patlama riskinin azalması (oksijen yokluğu nedeniyle), emisyon oranındaki azalma (toz kaynaklı), daha yüksek kurutma oranları ve termal verimliliğidir. Bu sistemlerde elde edilen yüksek kuruluk dereceleri daha fazla öğütülebilirlik kabiliyeti anlamına gelmektedir [12]. Bir diğer avantajda 300-500 °C buhar sıcaklıklarında %40-50 arasında sülfür içeriğinin azalmasıdır. Diğer bir avantajda 270-320 °C buhar sıcaklıklarında kömür içerisindeki sodyum miktarının %50-90 oranında azalmış olduğunun görülmesidir.

Tüm bu avantajları nedeniyle günümüzde kızgın buharlı kurutma teknolojileri tüm ilgiyi üzerine çekmiştir. Bu çalışmalara bir örnek Rheinbraun AG tarafından kahverengi kömürün kurutulması amacıyla incelenen bir akışkan yatak teknolojisidir. Aslında bu teknoloji ile ilgili ilk çalışmalar Avustralya Monash üniversitesinde Prof. O.E. Potter tarafından yapılmıştır. Rheinbraun bu çalışmanın devamı niteliğindeki incelemelerde

bulunmuş ve akışkan yatak teknolojisiyle iç ısı değiştiricilerini birleştirerek yeni bir dizayn elde etmiştir. Bu teknoloji WTA (Wirbelshicht-Trocknenymit Interner Abwarmenutzung) kızgın buharlı kurutma prosesi olarak adlandırılmıştır. Bu proses aslında buharın uygun sistemlerde yeniden basınçlandırılma işlemine dayanmaktadır [26]. Bu proseste kömür nem içeriği %55-60 seviyelerinden %12 'lere kadar düşürölmüştür.

Bu teknoloji (WTA), dönel buhar-tüplü kurutuculara göre %80 daha az enerji tüketir ve %80 daha az toz salınımı yapar. Ayrıca WTA prosesinin yatırım maliyeti diğer sisteme kıyasla oldukça düşüktür.

3.2.2 Titreşimli (Darbeli) Yanma ile Kömürün Kurutulması

Darbeli yanma (PC), kurutma potansiyeli olduğu düşünölen katı, sıvı veya gaz yakıtların yanma proseslerinin periyotlandırılması anlamına gelmektedir. Darbe yanmalı kurutma teknolojisi çoklu veya tek bir darbe yakıcılarını kullanarak, yüksek sıcaklık ve yüksek hızlı darbeli jet oluşumu sağlar. Kısa kurutma süresi, yüksek enerji verimliliği, kurutma sonrası elde edilen ürünün kalitesindeki gelişim ve çevre açısından yan etkilerinin oldukça az olması bu teknolojinin avantajları arasındadır.

Ellmann vd. (1966) bu teknolojiyi linyitin kurutulmasında deneysel amaçla kullanmışlardır. Çalışma sonucunda linyitin nemi kurutma sonrasında %10 civarında azaltılmıştır. Bu teknolojinin birçok avantajı olmasına rağmen çözölmeye gereken problemleride mevcuttur. Bunlar, yüksek güröltü ve prosese başlamadan önce çözömlenmesi gereken ölçek (skala) hatalarıdır [38].

3.2.3 Pölvözizeli Kurutma Sistemleri

Pölvözizeli kurutma sistemleri; öğütöcülerin, karıştırıcıların, nem alıcıların ve homojenleştirici materyallerin bir arada kullanıldığı bir prosestir [32]. Bu proses çok yönlü, maliyet yönünden daha efektif, verimli, dayanıklı ve değişik pazarlarda kullanım uygulamalarının olması yönüyle oldukça avantajlıdır.

Pölvözizeli kurutma sistemleri hassas döküm türbinleri, hava arındırma sistemleri, yüksek hızlı miller ve güç ünitelerinden oluşur. Hassas döküm türbinleri bu sistemin

kalbidir. Bu türbinler oldukça yüksek hızlarda çalıştığından, yüksek kalitedeki paslanmaz çeliklerden imal edilirler [32].

Pülverizeli kurutma sistemlerinde yapılan bir çalışmada, bu sistemin bitümlü kömürün nemini %15'ten %2'lere kadar düşürdüğü gözlemlenmiştir. Ancak bu proses sırasında yüksek hızlarda çalışıldığından enerji tüketimi de oldukça yüksektir. Ayrıca bu sistemin bir diğer dezavantajı da yüksek nem alma prosesleri sırasında sülfür değerinde meydana gelen artıştır.

KÖMÜR KURUTMANIN GETİRDİĞİ FAYDALAR

Kömür kurutma işlemi sonucu sistem üzerinde gerçekleşecek faydalar şu şekilde sıralanabilir;

- Yakıt harcamalarında azalma
- Kül yok etme maliyetlerinde azalma
- Emisyon miktarında azalma
- Santral yedek gücünde azalma
- Su tasarrufu
- Değirmen harcamalarındaki azalma
- Fan harcamalarındaki azalma
- Kazan veriminde artış
- Bakım maliyetlerinde azalma
- Daha fazla emre amadelik

4.1 Yakıt Giderlerinin (Harcamaların) Azalması

Kömürün pülverize edilmeden önce termik santralin atık ısıyla kurutulması santralin ekipmanları üzerindeki net ısı akış oranının artmasıyla sonuçlanır. Bunun sonucunda, ısı oranındaki iyileşmeye bağlı olarak üretilen brüt güç artar. Net ısı akışı oranı giren yakıt miktarıyla doğrudan bağlantılıdır [13].

Değirmenlere girmeden önce kömürün kurutulması kömürün alt ısı değerinin artmasına sebep olmaktadır. Böylece kazan içinde kömür neminin giderilmesi için

verilecek enerji geri kazanılmış olmaktadır. Bunun sonucunda üretilen net ısı miktarı artacak, yani ekipmanlar üzerindeki kayıplar azaltılmış olacaktır. Üretilen net ısı miktarının artmasına bağlı olarak santrale giren yakıt miktarı da (aynı güç için) azalır. Santrale giren yakıt miktarının hesaplanması için öncelikle kömürün elementel analizine bağlı alt ve üst ısı değerleri hesaplanmalıdır. Kömürün elementel analizi karbon (C), hidrojen (H) , oksijen (O) ,azot (N), kükürt (S), nem (W) ve kül 'den oluşmaktadır. Burada alt ve üst ısı değerler (4.1) denklemi kullanılarak hesaplanabilir.

$$H_0 = 327796.C + 141886 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 9303.S \quad (kg/kj)$$

$$H_u = H_0 - 2440 (W + 9.H) \quad (kg/kj) \quad (4.1)$$

Bulunan bu değerler kullanılarak santrale giren yakıt miktarı hesaplanabilir. Yapılan hesaplamalar tek ünitelerden oluşan, 150 MW net güç üreten ve termik verimi %33 olan bir model santral üzerinden gerçekleştirilmiştir. Özgül yakıt tüketimi ve santralde bir saatte kullanılan yakıt miktarı (4.2)' de verilen eşitliklerle hesaplanabilir.

$$b_e = \frac{3600}{H_u \cdot 2_{ter}} \quad (kg/kW.h)$$

$$\Delta F = E \times b_e \quad (kg) \quad (4.2)$$

Bu hesaplamalar, kömürün kurutulma öncesi ve sonrası elementel analiz sonuçlarına göre, belirlenen santrallerin bir üniteleri göz önüne alınarak, EES programında yapıldı. Oluşturulan model üzerinde nem azalmasına bağlı olarak yakıt miktarı değişimi analiz edildi.

Oluşturulan bu model Türkiye'deki kömür yakıtlı santraller için uygulandı ve nem içeriğindeki değişime bağlı olarak değişen yakıt miktarı aşağıdaki tabloda kıyaslandı.

Çizelge 4. 1 Nem azaltımının yakıt tüketimine etkisi

<i>Santral Adı</i>	<i>Nem Azaltma Oranı (%)</i>	<i>Yıllık Yakıt Tüketimindeki Azalma (ton)</i>	<i>Yıllık Yakıt Tüketimindeki Azalma Oranı (%)</i>
Afşin	10	1.267.898	23.8
Çan	10	247.603	17.3
Çates	10	178.434	13.1
Kangal	10	475.950	22.8
Seyitömer	10	330.457	17.9
Soma	10	183.217	14.7
Tunçbilek	10	303.566	15.6
Yatağan	10	324.978	17.2

4.2 Baca Gazı Miktarındaki Azalmalar

Kömürün pülverize edilmeden önce kurutulmasına bağlı olarak kömürün alt ısıl değeri artmaktadır. Bu da net ısı üretimini artırmakta ve aynı brüt güç için santrale giren yakıt miktarının azalmasına sebep olmaktadır. Santrale daha az yakıt girmesi bacadan çıkacak olan atık gaz miktarını da azaltacaktır. Çünkü SO₂ ve CO₂ gibi emisyonların miktarları yanan yakıtla doğrudan ilişkilidir. Yine ısı akış oranındaki azalmaya bağlı olarak Hg (civa) emisyon oranı ve atık küçük partikül miktarı da azalmaktadır. Böylece santralin net gücünde herhangi bir düşüş olmaksızın daha az emisyon salınımı gerçekleşmektedir.

Oluşturulan model için hava fazlalık katsayısı ($\alpha=1,2$) alındı ve gerekli hesaplamalar yapıldı. Modelde ilk olarak bir kilogram yakıt miktarı için gerekli oksijen miktarı bulundu ve hava- yakıt oranı hesaplandı.

1 kg 'lık yakıt için gerekli oksijen miktarı (4.3) formülü kullanılarak hesaplanabilir.

$$\Delta O_2 = \alpha. [C. 2,664 + H. 7,936 + N. 2,285 + S. 0,998 - O] \quad (4.3)$$

Buradan hava yakıt oranı ve toplam baca gazı miktarı:

$$H - Y = \frac{\text{Gerekli hava miktarı}}{\text{Gerekli oksijen miktarı}}$$

Toplam baca gazı mik. =

$$\text{Gerekli oksijen mik.} + \text{Gerekli yakıt mik.} - \text{Kül mik.} \left(\text{kg baca} \frac{\text{gazi}}{\text{kg}} \text{yakıt} \right) \quad (4.4)$$

formülleri ile hesaplanır.

Buradan;

$$CO_2 ; C \times 3,664 = \text{Çıkan } CO_2 \text{ miktarı (kg } CO_2 / \text{kg yakıt)}$$

$$H_2O ; H \times 8,936 + W = \text{Çıkan } H_2O \text{ miktarı (kg } H_2O / \text{kg yakıt)}$$

$$SO_2 ; S \times 1,998 = \text{Çıkan } SO_2 \text{ miktarı (kg } SO_2 / \text{kg yakıt)}$$

$$O_2 ; \Delta O_2 - \frac{\Delta O_2}{\alpha} = \text{Çıkan } O_2 \text{ miktarı (kg } O_2 / \text{kg yakıt)}$$

$$N_2 ; (1 - 0,233) \times H - Y \quad (4.5)$$

(4.5) eşitliğinden faydalanılarak çıkan baca gazlarının miktarları belirlendi. Oluşturulan bu model üzerindeki hesaplamalar kömür yakıtlı santrallerimiz için uygulandı ve sonuçlar aşağıdaki tabloda gösterildi.

Çizelge 4. 2 Nem azaltımının baca gazı miktarına etkisi

Santral Adı	Nem Azaltma Oranı (%)	Yıllık Baca Gazı Miktarındaki Azalma (ton)	Yıllık Baca Gazı Miktarındaki Azalma Oranı (%)
Afşin	10	4.342.809	15.8
Çan	10	1.341.331	11.6
Çates	10	1.025.517	8.83
Kangal	10	2.110.139	13.6
Seyitömer	10	1.265.953	10.1
Soma	10	888.927	9.80
Tunçbilek	10	972.182	8.27
Yatağan	10	1.760.497	11.55

4.3 Fanlara Bağlı Enerji Tasarrufu

Santrallerde kullanılmadan önce kömür neminin alınması sonucu net ısı akış oranı artmakta ve santrale giren yakıt miktarı azalmaktadır. Santrale giren yakıt miktarının

azalması birçok olumlu sonucu da beraberinde getirmektedir. Bunlardan biri de giren yakıt miktarının azalmasına bağlı olarak giren hava miktarının da azalmasıdır. Böylece giren hava debisi azalır ve bu hava debisini sağlamak amacıyla çalışan fanlar daha az enerji harcar. Fanların daha az çalışmasına bağlı olarak enerji tasarrufu gerçekleşir ve santralin ürettiği net güçte bir artış görülür.

Bu analizler oluşturulan model üzerinde yapıldı ve giren hava debileri (4.6) eşitliğiyle hesaplandı.

$$\Delta H_1 = \Delta F_1 x H - Y \quad (4.6)$$

Çizelge 4. 3 Nem azaltımının giren hava miktarına etkisi

<i>Santral Adı</i>	<i>Nem Azaltma Oranı (%)</i>	<i>Giren Hava Miktarındaki Azalma (ton)</i>	<i>Giren Hava Miktarındaki Azalma Oranı (%)</i>
Afşin	10	801.264	6.1
Çan	10	270.670	4.0
Çates	10	219.056	3.0
Kangal	10	538.004	7.0
Seyitömer	10	315.070	5.2
Soma	10	159.782	3.0
Tunçbilek	10	243.024	4.5
Yatağan	10	355.253	4.1

4.4 Atık Kül Miktarındaki Azalma

Kömürün pülverizerlere girmeden önce uygun kurutma sistemleri aracılığıyla kurutulması sonucu santral ekipmanları üzerindeki ısı akış miktarı azalırken (kayıplar nedeniyle), ısı oranındaki iyileşme sonucu üretilen brüt güç artmaktadır. Brüt gücün artışı da yakıt kullanımıyla doğrudan ilişkilidir. Kömürün kurutulması sonucu aynı brüt güç için daha az yakıt kullanımı gerçekleşmektedir. Santrale daha az yakıt girdisi, daha az yanmayla aynı gücün eldesi anlamına gelmektedir. Böylece yakıta bağlı olumsuz etkilerin hepsi yakıt oranındaki azalmaya bağlı olarak düşüş göstermektedir [13]. Bunların en önemlilerinden biride kül miktarındaki azalmadır. Kül miktarındaki azalma teorik olarak (4.7) denklemi kullanılarak hesaplanabilir.

$$\Delta k\ddot{u}l = K\ddot{u}l \times \Delta F_s \quad (4.7)$$

Burada:

Kül; Kömür içeriğindeki külün elementel analiz yüzdesi

ΔF_s ; Giren yakıt miktarındaki azalmayı temsil etmektedir.

$\Delta k\ddot{u}l$; Atılacak olan kül miktarı (ton)

Yapılan hesaplar sonucu santrallerde bir yılda atılacak olan kül miktarındaki azalmalar tespit edildi. Bu sonuç, santraller için önemli parametrelerden biri olan kül yok etme maliyetlerinin azalması ve temiz çevre politikalarına uyumun daha kolay sağlanması anlamına gelmektedir.

Çizelge 4. 4 Nem azaltımının atık kül miktarına etkisi

<i>Santral Adı</i>	<i>Nem Azaltma Oranı (%)</i>	<i>Atık Kül Miktarındaki Azalma (ton)</i>	<i>Atık Kül Miktarındaki Azalma Oranı (%)</i>
Afşin	10	252.182	20.8
Çan	10	65.364	13.3
Çates	10	82.611	9.8
Kangal	10	95.192	16.6
Seyitömer	10	132.181	13.0
Soma	10	75.121	10.8
Tunçbilek	10	166.956	11.3
Yatağan	10	85.797	13.3

4.5 Kazan Verimindeki Artış

Kömürün yanma işlemine tabi tutulmadan önce kurutulmasının aynı brüt güçler için giren yakıt miktarında azalmaya sebep olacağı belirtilmişti. Kömürün pülverizelerde kurutulması, yanma sırasında kömür neminin buharlaştırılması için verilmesi gereken olan ısının tasarrufu anlamına gelmektedir. Bu olgu yakıt girdisinin azalmasına ve kazan veriminde gözle görülür bir artışa sebep olmaktadır.

Oluşturulan model üzerinde kazan verimindeki artış, kurutma öncesi kazan verimi ve kurutma sonrası kazan veriminin hesaplanarak farklarının alınmasıyla bulunabilir. Burada kazan verimi (4.8) eşitliği kullanılarak bulunabilir.

$$\text{Verim} = \frac{Q - (\Delta F - Q_0)}{Q} \quad (4.8)$$

Burada

Q; Yakıtla giren enerji miktarını

ΔF ; giren yakıt miktarını

Q_0 ; Baca gazlarının toplam enerjisini ifade etmektedir.

Baca gazlarının entalpi değerleri EES programının özellikleri dâhilinde belirlendi. Öncelikle, her bir baca gazının mol miktarı ve kısmi basınçları bulundu. Sonra ise, baca gaz sıcaklıkları 160° C alınarak, baca gazlarının entalpileri bulundu.

Kazan verimindeki artış ise kurutma öncesi ve sonrası verim değerlerinin farkı alınarak yani (4.9) eşitliği ile bulundu.

$$\Delta \text{Verim} = \text{Verim}_1 - \text{Verim}_2 \quad (4.9)$$

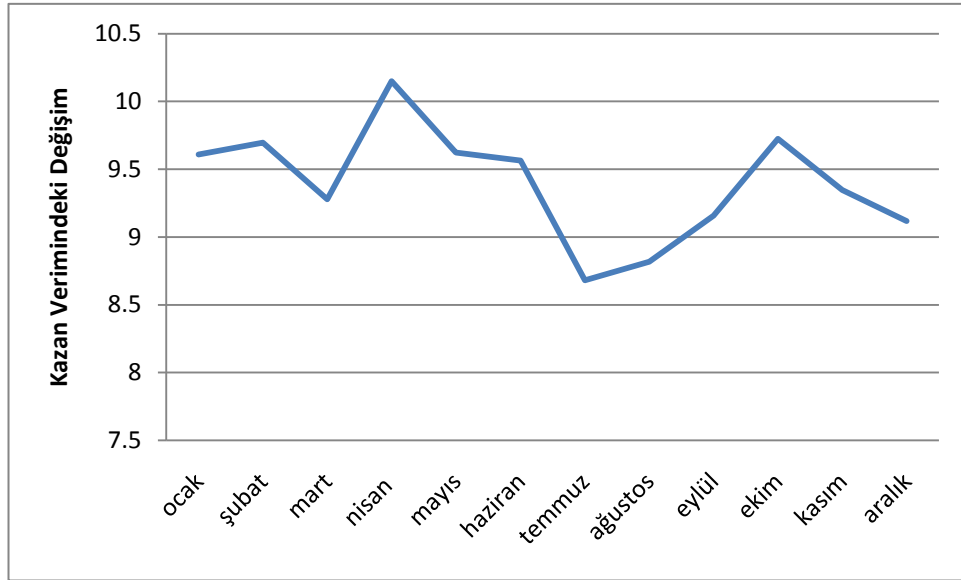
Çizelge 4. 5 Nem azaltımının kazan verimine etkisi

<i>Santral Adı</i>	<i>Nem Azaltma Oranı (%)</i>	<i>Kazan Verimindeki Artış (%)</i>
Afşin	10	12.58
Çan	10	5.495
Çates	10	3.997
Kangal	10	10.7
Seyitömer	10	7.372
Soma	10	3.888
Tunçbilek	10	6.047
Yatağan	10	5.495

4.5.1 Değişen Kömür Nemine Bağlı Kazan Verimi

Kömür neminin alınması sonucu kazan veriminde belli bir miktar iyileşme olacağı model üzerinde yapılan analizler sonucunda belirlenmişti. Ayrıca kömür nem miktarının azaltılmasına bağlı olarak kazan verim artış miktarı çizelge 4.5’de her santral için ayrı ayrı verilmişti. Ancak bu analizler yapılırken kömürün nemi yıl boyunca sabit alınmış ve istenilen oranda kurutma işlemi yapılarak elde edilecek kazanımlar analiz edilmiştir. Santrallerdeki kömür nem içeriği sabit kalmamakla beraber ortam sıcaklığı, bağıl nem ve kömürün çıkarıldığı ocağın bulunduğu çevre koşullarına bağlı olarak farklılık göstermektedir [21]. Tüm bu nedenler göz önüne alındığında daha doğru analizler yapılması ve daha doğru sonuçlar elde edilmesi amacıyla kömür neminin aylara göre değişimini göz önüne alarak oluşturulan model üzerine uygulanması hedeflendi.

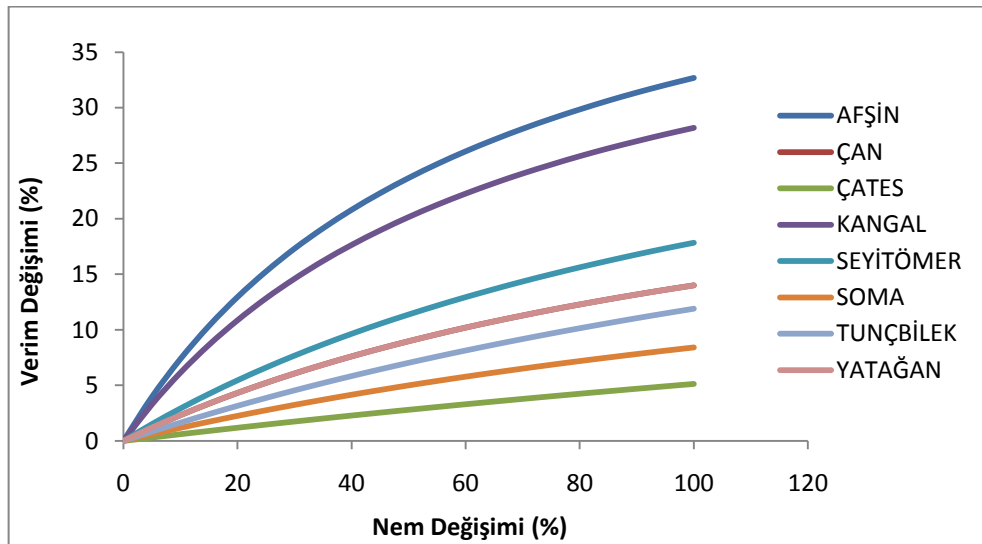
Gerekli literatür araştırmaları sonucunda kömür nem içeriğinin aylık olarak yıl içindeki değişimi bulunmuştur. Kömür nem içerisindeki değişim çerçevesinde analizler yapılmış ve kurutma performansının kazan verimi üzerine getireceği iyileşmeler analiz edilmiştir. Aşağıdaki grafik aylara göre değişen kömür nem içeriğine bağlı olarak, kazan verimindeki değişimi göstermektedir.



Şekil 4. 1 Aylara göre kazan verimindeki değişim

Şekil 4.1'deki grafikten kömür neminin sabit kalmadığı ve iklim koşullarından etkilendiği anlaşılmaktadır. Ayrıca kurutma sistem performansının kömürün nemi ile doğrudan ilişkili olduğunun bir kanıtıdır. Grafikten yaz aylarında kazan verimindeki artışın azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni, yaz aylarında kömür bünyesindeki nem içeriğinin diğer aylara göre düşük olmasıdır. Mart, nisan, eylül ve ekim aylarında ise yağışa bağlı olarak kömür nem içeriğinin arttığı ve bunun doğrultusunda da kazan verimindeki değişim miktarının daha fazla olduğu görülmektedir.

Kömür nem içeriğinin sabit kalmadığı ve kömür neminin çevre koşullarından etkilendiği oluşturulan model üzerinde analiz edildi. Model üzerinde yapılan bu analizler Türkiye'de kömürü yakıt olarak kullanan santrallere uygulandı ve bu santraller için kömür nem azalımı oranına bağlı, kazan verimindeki artış miktarı Şekil 4.2'de gösterildi.



Şekil 4. 2 Kömür nemindeki azalmaya bağlı verim artışı

4.6 Değirmen Harcamalarındaki Azalma

Rutubetin kömür öğütmeye olan etkisine iki açıdan bakılmalıdır; birincisi, rutubetin kömür tanelerinin bir öğütme ortamındaki hareketlerini etkileyebileceği, ikincisi de azalan rutubet miktarına bağlı olarak kömürün fiziksel özelliklerinin değişebileceğidir. Bu iki açıdan bakıldığında, öğütülebilirlik indeksindeki değişimler şöyle açıklanabilmektedir [39].

Yüksek rutubette kömür taneleri birbirlerine tutunma eğilimi gösterdiğinden hareketleri kısıtlanmakta ve bu nedenle de öğütme elemanlarının (bilyaların) arasından kurtulamayıp daha fazla öğütme işlemine maruz kalmaktadırlar. Bunun neticesinde öğütülebilirlik indeksi yükselmektedir. Rutubet azaldıkça taneler daha serbest hareket edebildiklerinden bilyaların öğütme işlemlerinden daha kolay sakınabilmektedirler. Rutubet miktarı, orta-rutubet düzeyinin altına düşürüldüğünde öğütülebilirlik indeksi tekrar artmaktadır ki bu gözlemin açıklaması da kömürün azalan rutubet ile birlikte dayanımının azalmasına ve özellikle yüzeyinin daha kırılğan duruma dönüşmesi nedeni ile kolayca ufalanmasına dayandırılabilir. Ancak, çok düşük rutubet miktarlarında (% 10'un altında) gözlenen öğütülebilirlik indeksi azalmasını, diğer bir deyişle öğünmeye karşı direncin artmasını, yukarıdaki fikirlerin ışığında açıklamak mümkün değildir [40].

Oluşturulan model üzerinde yapılan hesaplamalar, santrale giren kömürün uygun sistemler aracılığıyla kurutulması sonucu üretilen brüt gücün arttığını ya da kömür alt ısı değerindeki artışa bağlı olarak, daha az yakıtla ihtiyaç duyulan güç değerlerinin elde edildiğini göstermişti. Santrale daha az yakıt girmesi sonucu değirmenlere giren yakıt miktarıda azalmaktadır. Bu azalma sonucu değirmenlerin kömürü öğütmek amacıyla harcadıkları güçde azalacaktır.

Yapılan analizler santrale giren yakıt miktarındaki azalmaya bağlı olarak bir değirmenin devre dışı kalacağını göstermektedir. Bunun sonucunda bu değirmenin yaptığı iş artık yapılmayacaktır.

Şu ana kadar kömürün kurutulmasına bağlı iyileşmeler, oluşturulan model dâhilinde incelenmiş olmasına rağmen kazanımlar bunlarla sınırlı olmamaktadır. Santral yedek gücünde düşme, bakım-onarım maliyetlerinde azalma, su tasarrufu ve daha fazla emreamadelikte kömürün kurutulmasına bağlı olarak olumlu yönde beklenen iyileşmelerdendir.

Daha az hava debisine ve emisyon miktarına bağlı olarak fanların daha az çalışması, giren yakıt miktarındaki azalmaya bağlı olarak değirmenlerin daha az iş yapması gibi kazanımlar sonucu santralin harcadığı güç miktarı düşmektedir. Bu iyileşmeler santralin yedek güç ihtiyacının azalmasına ve üretilen net gücün artmasına sebep olmaktadır.

Kömürün kurutulmasıyla santrale giren yakıt miktarının azalacağı açıklanmıştı. Giren yakıt miktarındaki bu azalmayla her bir üniteye ısı kayıpları azalmaktadır. Isı

kayıplarındaki bu azalma soğutma kulesine su tasarrufu olarak yansımaktadır. Böylece özellikle su sıkıntısı yaşanan bölgelerde santral kurulumu sorun olmaktan çıkacaktır. Levy ve Sarunac Kuzey Dakota da yapmış oldukları çalışmada 550 MW bir santralin atık ısılarını kullanarak kömürün nemini % 6 oranında azaltmıştır. Kömürün kurutulması sonucu soğutma kulelerinin kullandığı suyun azaldığı ve yaklaşık olarak günde 1.900.000 lt daha az suyun soğutma kulesine girdiği gözlemlenmiştir [13].

Fan ve değirmen gibi yardımcı ekipmanların yaptığı işin azalması, bu ekipmanların daha az kullanılmasına sebep olmaktadır. Özellikle değirmenlere giren yakıt miktarındaki düşüş, bu ekipman üzerindeki aşınmaları azaltmaktadır. Bunun sonucunda düzenli yapılan bakım işlemi sayısı düşecektir. Ayrıca daha az aşınma ve sürtünme sonucu bu elemanların çalışma süreleri ve kullanım ömürleri artmaktadır. Bu da santralin daha fazla emreamade olmasına sebep olmaktadır.

4.7 Tasarlanacak Kurutma Sistemi için Maliyet Hesabı

Bu çalışmanın amaçlarından biri de uygun kömür kurutma sistemleri tasarımı için ekonomik limitlerin belirlenmesidir. Oluşturulan model üzerinde kömür kurutma işleminin belirli nem oranlarında yapıldığı varsayılmış ve elde edilen kazanımlar belirtilmiştir. Bu kazanımlardan elde edilecek ekonomik faydalar maliyet analizleri yapılarak hesaplanmış ve tasarlanacak kurutma sistemi için ayrılacak bütçeler hakkında bilgi sahibi olmak mümkün hale gelmiştir.

Kömür neminin alınması sonucu elde edilen faydalar ayrıntılı şekilde açıklanmıştır. Bu kazanımların başında yakıt alt ısı değerinin artmasına bağlı olarak, santrale giren yakıt miktarındaki azalmadır. Oluşturulan model üzerinde gerekli analizler yapılmış ve kurutma işlemi sonucu santrale giren yakıt miktarındaki azalma miktarı (4.10) eşitliği ile bulunmuştur.

$$\Delta F_s = F_{ilk} - F_{son} \quad (\text{ton}) \quad (4.10)$$

Santralin kullandığı kömürün birim ton fiyatı (ΔP) 70 TL kabul edilerek, bu işlemde elde edilecek ekonomik kazanım miktarı da hesaplanabilir.

$$\Delta M_Y = \Delta F_S \times \Delta P \quad (TL) \quad (4.11)$$

Kömür nem alımına bağlı olarak santralnin kullandığı yakıt miktarında bir azalma görüleceği oluşturulan model üzerinde görülmüştü. Giren yakıt miktarındaki azalmaya bağlı olarak görülen birçok iyileşme sözkonusudur. Bunlardan biri de yakıt miktarıyla orantılı olarak değirmenlerin yaptığı işte azalma olmasıdır. Hatta model üzerindeki hesaplamalar sonucunda bazı değirmenlerin devre dışı kaldığı, yapılan hesaplamalar sonucu anlaşılmıştır.

Bu bakış açısıyla bir değirmenin devre dışı kaldığı düşünülerek elde edilecek ekonomik kazanımlar hesaplanabilir. Burada ΔN_D değirmenin gücü ve KF kullanım faktörü olarak alınır, değirmenin yıl boyunca harcadığı güç (ΔN_{DT}), (4.12) eşitliğinden faydalanılarak hesaplanır.

$$\Delta N_{DT} = \Delta N_D \times KF \times 8760 \quad (KW_e \cdot h) \quad (4.12)$$

Hesaplanan bu değer santralde tüketilmeyecek işi ifade etmekle beraber sağlanan ekonomik tasarrufu temsil etmektedir. Bu mali kazanım elektrik birim fiyatının (ΔM_e) bilinmesiyle hesaplanabilir.

$$\Delta M_D = \Delta N_{DT} \times \Delta M_e \quad (TL) \quad (4.13)$$

Giren yakıt miktarındaki azalmaya bağlı görülen bir diğer iyileşmede yakıtla birlikte girecek olan hava miktarındaki azalmadır. Giren hava miktarındaki azalma sonucu fanlar daha az iş yapacak yani harcadıkları güç azalacaktır. Oluşturulan model dâhilinde kömür neminin azaltılmasına bağlı olarak giren hava miktarındaki azalma miktarı tablo halinde verilmişti. Bu hesaplamalar dâhilinde fan karakteristik eğrileri de elde edilmiştir. Böylece giren hava miktarındaki azalma miktarı (ton/yıl) kullanılarak, fan üzerine düşen yük azalması hesaplanmıştır. Aslında fan tarafından yapılmayan bu iş santral için ekonomik kazanımdır.

Bu hesaplamalara başlamadan önce kömürün kurutulması sonucu elde edilecek hava miktarındaki azalma (ΔH_s) belirlenmelidir. Bu işlem, kömür kurutulmadan önce giren

hava miktarı (ΔH_{ilk}) ve kömür kurutulduktan sonra girecek olan hava miktarı (ΔH_{son}) hesaplanarak aşağıdaki şekilde yapılır.

$$\Delta H_s = \Delta H_{ilk} - \Delta H_{son} \quad (\text{ton} \setminus \text{yıl}) \quad (4.14)$$

Yapılan bu işlemin sonucunda fan karakteristik eğrileri kullanılarak bu debiyi karşılamak için gerekli fan gücü (ΔN_F) hesaplanmıştır. Değirmen hesabına benzer şekilde fan için de KF kullanım faktörü olarak alınırsa fanın yıl boyunca harcadığı toplam güç (ΔN_{FT}) (4.15) eşitliği ile hesaplanır.

$$\Delta N_{FT} = \Delta N_F \times KF \times 8760 \quad (\text{KW}_e\text{h}) \quad (4.15)$$

Hesaplanan toplam fan gücünden yola çıkılarak ekonomik olarak elde edeceğimiz kazanımlar, yani tasarruflar belirlenebilir. Bu mali kazanım da elektrik birim fiyatının (ΔM_e) bilinmesiyle hesaplanabilir.

$$\Delta M_F = \Delta N_{FT} \times \Delta M_e \quad (\text{TL}) \quad (4.16)$$

Toplam elde edilecek tasarruf miktarı (ΔM), yakıttan elde edilecek parasal kazanım (ΔM_Y), değirmenlerden elde edilecek parasal kazanım (ΔM_D) ve fanlardan elde edilecek parasal kazanımlar (ΔM_F) toplanarak bulunabilir.

$$\Delta M = \Delta M_Y + \Delta M_D + \Delta M_F \quad (4.17)$$

Çizelge 4. 6 Kömür kurutmanın getirdiği yıllık kazanç miktarı

Kazanç Şekli	Kazanç miktarı(TL)
Yakıttan, ΔM_Y	11.659.384
Değirmenlerden, ΔM_D	796.021
Fanlardan, ΔM_F	650.196
Toplam, ΔM	13.105.602

Burada santralin çalışma ömrü 20 yıl, yıllık faiz oranı %12, yakıt ve birim elektrik fiyatı için yıllık artış miktarı (eskalasyon) %5 olarak kabul edilerek, yapılacak olan kurutma sistemi dizaynı için ekonomik bir sınır noktası belirlenebilir. Bu işlem 20 yıllık santral ömrü için elde edilecek tasarrufların %12 lik faiz oranında şimdiki değerlerinin (TL) olarak bulunmasıyla aşağıdaki şekilde hesaplandı. Burada, ΔM_{20} tasarrufların (20 yıl için) şimdiki değerini, i yıllık faiz oranını, k ise yakıt ve elektriğin birim fiyatı için yıllık eskalasyon miktarını belirtmektedir.

$$\Delta M_{20} = [\Delta M \setminus (i-k)] \times [1-(1+k)^n \times (1+i)^{-n}] \quad (4.18)$$

Çizelge 4. 7 Elde edilecek tasarrufların şimdiki değeri

<i>Toplam kazanç miktarı, ΔM (TL)</i>	<i>Elde Edilecek Tasarrufların Şimdiki Değere Çekilmesi, ΔM_{20} (TL)</i>
13.105.602	135.725.587

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kömürün tasarlanacak uygun sistemlerle neminin azaltılması sonucu, santral üzerinde birçok olumlu gelişmenin görüleceği oluşturulan model üzerinde analiz edildi. Bu analizler belirlenen santrallerin tek bir üniteleri için yapıldı ve sonuçlar değerlendirildi. Elde edilen sonuçlar arasında en fazla göze çarpan yakıt alt ısı değerindeki değişime bağlı olarak yakıt harcamalarının oldukça azaltılmış olmasıdır. Çizelge 4.1’de nem azalım oranına bağlı yakıt tasarrufu verilmiştir. Görüldüğü üzere kömürdeki nem azalımı sonucu, giren yakıt miktarında yaklaşık olarak 166.10^3 - 528.10^3 ton arasında azalma olduğu tesbit edilmiştir. Burada santraller arasında görülen yakıt azalma miktarındaki bu farkın ana sebebi, santrale giren kömürün özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Oluşturulan model üzerinde analizleri yapılan bu santrallerin tümü, yakın çevrelerinde bulunan kömürü yakıt olarak kullanmaktadır. Kullanılan kömürün içeriklerindeki farklılar sebebiyle nem azaltma oranı her santral için aynı alınsa bile, yakıt azalımında farklılıklar sözkonusu olmuştur. Bu analizler sonucu, yakıt tasarrufunun çok yüksek olduğu santrallerde kömür nem içeriğinin oldukça fazla olduğu anlaşılmıştır. Çünkü kömür kurutma işlemi sonucu, kömürün alt ısı değerinde yüksek miktarlarda artış olduğu analizler sonucu belirlenmiştir.

Kurutma işleminin getirmiş olduğu en önemli iyileşmelerden birinin giren yakıt miktarındaki azalma olduğu belirtilmişti. Giren yakıt miktarındaki bu azalma birçok kazanımında temel sebebidir. Bunlardan en önemlisi azalan yakıt miktarına bağlı olarak, baca gazı salınımının olması gerekenden daha düşük seviyelerde olacağıdır. Bu iyileşmeler model üzerinde analiz edildi ve Çizelge 4.2’de ayrıntılı olarak gösterildi. Giren yakıt miktarındaki azalmaya bağlı olarak salınacak emisyon miktarları da farklılık

göstermektedir. Emisyon miktarındaki bu azalma, enerji ihtiyacı karşılanırken temiz çevre politikalarına da uyumu beraberinde getirecektir. Ayrıca bu azalma bazı santraller için büyük sorunlar teşkil eden baca gazı yok etme maliyetlerini de düşürecektir. Daha az baca gazı çıkışına bağlı olarak filtrelerde görülen sorunlarında azalacağı öngörülmektedir. Böylece bu ekipmanlar için bakım, onarım ve yenileme işlemi süreleri uzayacak ve emreamadelik artmış olacaktır.

Giren yakıt miktarındaki azalmanın getirdiği bir diğer avantajda, uygun yanma ortamının sağlanması için yakıtla beraber girecek olan gerekli hava miktarının azalmış olmasıdır. Bu azalma miktarları Çizelge 4.3'de verilmiştir. Hava miktarındaki bu azalma, hava gereksinimini karşılayacak fanların daha az çalışması anlamına gelmektedir. Böylece santralin ürettiği net güç miktarı da artmış olacaktır.

Giren yakıt miktarındaki azalmaya bağlı olarak beklenen bir iyileşmede atılacak kül miktarındaki azalmadır. Çizelge 4.4'de kömür nem azaltma işlemi sonucu atılacak kül miktarındaki azalma miktarları verilmiştir. Kül azalma miktarı da giren yakıt miktarındaki değişimler sonucu çeşitlilik göstermektedir. Ancak enerji ihtiyacı karşılanırken ortaya çıkacak çevresel sorunların en aza indirilmesi gerekliliği düşünülürse, model üzerinde elde edilen sonuçların önemi daha da artmaktadır.

Kömür kurutma işleminin getirdiği en önemli avantajlardan biri de kazan veriminde artış olmasıdır. Çizelge 4.5'de nem azalımının kazan verimi üzerine etkisi değişik santraller için incelenmiştir. Burada kömür kurutma işleminin kazan verimi üzerine olumlu yönde etkisi olduğu ve değişik santraller için kazan verimlerini yaklaşık olarak % 3 - 12 oranında artırdığı belirlenmiştir. Kazan verim artışlarındaki bu çeşitlilik, giren kömürün özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Verim artışının yüksek olduğu bölgelerde kömür içeriğindeki nem miktarının oldukça fazla olduğu söylenebilir. Şekil 4.2'de ise model üzerinde analizleri yapılan tüm santraller için kömür kurutma işleminin getirmiş olduğu kazan verim artışı daha iyi anlaşılması için gösterildi.

Kömür nem içeriğinin yıl içinde sürekli olarak sabit kalmadığı, iklimsel değişikliklerden kolayca etkilendiği bilinmektedir. Bu nedenle kömür nem içeriğinin aylara göre değişim miktarına bağlı olarak kazan verimindeki iyileşme miktarları Şekil 4.1'de gösterildi. Bu şekilden, yaz aylarında kurutma performansının düştüğü, daha yağışlı geçen aylarda

(mart, nisan gibi) ise kurutma performansının arttığı belirtilmiştir. Bunun nedeni yaz aylarında kömür nem içeriğinin diğer aylara göre düşüş göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Giren yakıt miktarındaki azalmanın santral performansı üzerine getireceği bir diğer iyileşmede değirmenlerin harcadıkları güç miktarındaki azalmadır. Çünkü kömür, santrallerde kullanılmadan önce değirmenlerde öğütülür. Kömür kurutma işlemi sonucu santrale giren yakıt miktarı azalacaktır. Böylece değirmenlere öğütülmesi amacıyla gönderilen kömür miktarında azalacak yani değirmenler daha az çalışacaktır. Bunun sonucu olarak ise değirmenlerin harcadığı güç azalacak, santralin ürettiği net güç miktarı artacaktır. Ayrıca kömürün kurutulduktan sonra değirmenlere girmesi nedeni ile, kömürün öğütülebilirliğide artacak yani kömür daha kolay ve kısa sürede pülverize hale getirilecektir.

Tüm bu iyileşmelere ek olarak kömür kurutma işlemi santral yedek gücünde azalma, bakım – onarım maliyetlerinde düşüş ve daha fazla emreamadelikte sağlamaktadır. Fan ve değirmenler üzerine düşen iş miktarının düşmesi ve bunun sonucu olarak harcadıkları güç miktarındaki azalmalar bu iyileşmelerin temel nedenidir.

Bu çalışmanın amaçlarından biri de uygun kömür kurutma sistemi tasarımları için ekonomik sınırların belirlenmesidir. Böylece bu sektör üzerine yapılacak yatırımlar hakkında ön bilgi sahibi olunması hedeflenmiştir. Model üzerinde yapılan analizler sonucu, kömür kurutma işleminin santral performansı üzerine getireceği tasarruflar analiz edildi. Bu tasarrufların ekonomik değeri hesaplandı ve Çizelge 4. 8' da kömür kurutmanın getirdiği kazanç miktarı gösterildi. Bu değer yıllık yaklaşık olarak 13.10^6 TL olarak bulundu. Santralin çalışma ömrü 20 yıl, faiz oranı %12, yakıt ve birim elektrik fiyatı için artış miktarı (eskalasyon) %5 olarak kabul edildi ve santralin çalışma ömrü boyunca elde edeceği kazanım değerleri hesaplandı. Bu değerler uygun faiz oranıyla şimdiye çekilerek elde edilen kazanımlar belirlendi. Çizelge 4.7'de bu işlem gösterilmiş ve elde edilen kazanımlar yaklaşık olarak 135.10^6 TL olarak hesaplandı.

Hesaplanan bu değer, yapılacak olan kurutma sistem tasarımı için ekonomik sınırı göstermesi açısından oldukça önemlidir. Çünkü yapılacak olan kurutma işlemi santral üzerine fazladan ekipman ve yardımcı elemanlar alınmasına sebep olacaktır. Bu

ekipmanların seçimi ve sisteme dahil edilmesi için uygun ekonomik sınırların belirlenmesi gereklidir. Elde edilen bu değer (135. 10⁶ TL) uygun kurutma sistemi tasarımı için limit noktasını belirtmektedir. Eğer bu nokta aşılsa kurutma sistemi ekonomik olarak cazip olmayacaktır.

Kömür kurutma işleminin santral üzerine getirdiği faydaların belirlenmesi ve bu iyileşmelerin getirdiği ekonomik kazanımın incelendiği bu çalışma, uygun kurutma sistemi tasarımı ve herhangi bir santral üzerine bu sistemin kurulması için gerekli ekipmanların belirlenmesi ile desteklenebilir.

- [1] Chen, Q., (2003). "Development of Dry Beneficiation of Coal in China", *International Journal of Coal Preparation and utilization*, 23:3-12
- [2] Kanda, H. ve Makino, H., (2010). "Energy-Efficient Coal Dewatering Using Liquefied Dimethyl Ether", *Fuel*, 89:2104-2109
- [3] Harkin, T., Hoadley, A. ve Hooper, B., (2009). "Process Integration Analysis of a Brown Coal-Fired Power Station with CO₂ Capture and Storage and Lignite Drying", *Energy Procedia*, 1:3817-3825
- [4] Bongers, G. D., Jackson, W. R. ve Woskoboenko, F., (2000). "Pressurised Steam Drying of Australian Low-Rank Coals: Part 2. Shrinkage and Physical Properties of Steam Dried Coals, Preparation of Dried Coals with very high Porosity", *Fuel Processing Technology*, 64:13-23
- [5] Cronauer, D. C. , Ruberto, R. G. , Silver, R. S. , Jenkins, R. G. , İsmail, İ. M. K. ve Schlyer, D. , (1983). "Liquefaction of Partially Dried and Oxidized Coals: 1. Coal Drying and oxidation", *Fuel*, 62:1116-1123
- [6] Bongers, G. D., Jackson, W. R. ve Woskoboenko, F., (1998). "Pressurised Steam Drying of Australian Low-Rank Coals: Part 1: Equilibrium Moisture Contents", *Fuel Processing Technology*, 57:41-54
- [7] Chen, Z. , Wu, W. ve Agarwall, P. K. , (2000). "Steam-Drying of Coal. Part 1. Modeling the Behavior of a Single Particle", *Fuel*, 79:961-974
- [8] Chen, Z. , Agarwall, P. K. ve Agnew, J. B. , (2001). "Steam Drying of Coal. Part 2. Modeling the Operation of a Fluidized Bed Drying Unit", *Fuel*, 80:209-223
- [9] Ross, D. , Doguparthy, S. , Huynh, D. ve McIntosh, M. , (2005). "Pressurized Flash Drying of Yallourn Lignite", *Fuel*, 84:47-52
- [10] Favas, G. ve Jackson, W. R. , (2003). "Hydrothermal Dewatering of Lower Rank Coals. 2. Effects of Coal Characteristics for a Range of Australian and International Coals", *Fuel*, 82:59-69
- [11] Vorres, K. S. , Wertz, D. L. , Melhotra, V. , Dang, Y. , Joseph, J. T. ve Fisher, R. , (1992). "Drying of Beulah-Zap Lignite", *Fuel*, 71:1047-1053
- [12] Karthikeyan, M. , Zhonghua, W. ve Mujumdar, A. S. , (2009). "Low-Rank Coal Drying Technologies-Current Status and New Developments", *Drying Technology*, 27:403-415
- [13] Information Bridge, (2004), *Use of Coal Drying to Reduce Water Consumed in Pulverized Coal Power Plants*, Yayın No:827154, Lehigh University, USA.

- [14] Karaman, Y. , (2006). Türkiye'nin Enerji Sektörü Ekonomisinde Kömürün Yeri-Kömür Aramalarında Uygulanan Yeni Yöntemler, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [15] White Hurst, D. D. ve Mitchell, T. O. , (1976). "Short Contact Time Coal Liquefaction. 1. Techniques and Product Distributions A. C. S.", Division of Fuel Chemistry, 21:127-153
- [16] Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ), Kömür ve Kömür Petrografisi, <http://www.tki.gov.tr>, 10 Mayıs 2011
- [17] Atakül, A. , Doğan, E. , Okutan, H. ve Ekinci, E. ,(1996). "Kömür Neminin Yanma ve Emisyona Etkisi", 2. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 9-13 Eylül 1996, İstanbul.
- [18] Evseev, V. S. ve Voroshilov, S. P. , (1986). "Modeling the Process of Self-Ignition Taking Into Account the Influence of Moisture on Oxidative Processes in Coal", Soviet Mining Sci, 22:140-146
- [19] Brown, G. M. , (1953). "The Determination of Moisture in Coals, Nat. Gas. Bul. NAGBA Australia, 17:14-21
- [20] Sondreal, E. A. , Mann, M. D. , Weber, G. W. ve Young, B. C. , (1995). " Matching Lignites with Clean Coal Technologies", Coal Technology and Utilization Workshop, 14-18 August 1995, Beypazarı, Türkiye.
- [21] Akyüz, Ş. B. (2005). Kömürdeki Nemin Yanmaya Etkisinin Teorik İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] Unsworth, J. F. , Barratt, D. J. ve Roberts, P. T. (1991). "Coal Quality and Combustion Performance", Coal Science and Technology 19, An International Perspective, 13-93
- [23] Harpalani, P. D. ve Schraufnagel, R. A. , (1990). "Shrinkage of Coal Matrix with Release of Gas and Its Impact on Permeability of Coal", Fuel, 69:551-556
- [24] Walker, P. L. JR. ve Verma, S. K. , (1988). "Density, Porosities and Surface Areas of Coal Macerals as Measured by Their Interaction with Gases, Vapours and Liquids", Fuel, 67:1615-1623
- [25] Willson, W. G. , Walsh, D. ve Irwin, W. , (1997). "Overview of Low Rank Coal Drying", Coal Preparation, 18:1-15
- [26] RWE Plants, The WTA technology-An Advanced Method of Processing and Drying Lignite, <http://www.rwe.com/generator.aspx/rwe-power-icw/property>, 15 Ağustos 2008
- [27] Karthikeyan, M. ,Kuma, J. V. M. , Chew, S. H. ve David Low N. Y. ,(2007). "Factors Affecting Quality of Dewatered Low Rank Coals", Drying Technology, 25:1601-1611
- [28] Lee, D. J. , Lai, J. Y. ve Mujumdar, A. S. , (2006). "Moisture Distribution and Dewatering Efficiency for Wet Materials", Drying Technology, 24:1201-1208

- [29] Eagle, G. I. , (2006). "Unlocking the Energy Value of Victorian Brown Coal. The Monashe Energy Project", Proceedings of Australian Institute of Energy National Conference, 27-29 November 2006, Melbourne.
- [30] KFX 2008: K-Fuel Technology, <http://www.evgenergy.com/about.shtml> , 27 Ağustos 2008
- [31] Karthikeyan, M. , (2008). "Minimization of Moisture Reabsorption in Dried Coal Samples", Drying Technology, 26:948-955
- [32] Pulsedryer System, <http://www.pulverdryerusa.com>, 20 Mayıs 2011
- [33] Potter, O. E. , Guang, L. X. , Georgakopoulos, S. ve Ming, M. Q. , (1998). "Some Design Aspects of Steam-Fluidized Heated Dryers", Proceedings of IDS'88. Versailles, September 1988, Versailles.
- [34] Veal, C. , (1997). "Coal Dewatering, A Review of Current Technology and New Developments", The Australian Coal Review, 3:28-33
- [35] Holdich, R. G. , Cumming, I. W. ve İsmail, B. , (1996). "Cross Flow Microfiltration for Mineral Suspension Thickening and Washing", Minerals Engineering, 9:243-257
- [36] Gulftex Environmental Services: Bio-Energy Update-New Non-Thermal Biomass Dryer, <http://www.bioenergyupdate.com>, 20 Aralık 2004
- [37] Clayton, S. A. , Scholes, O. N. , Headly, A. F. A. , Wheeler, R. A. , McIntosh, M. J. ve Huyah, D. Q. , (2006). "Dewatering of Biomaterials by Mechanical Thermal Expression", Drying Technology, 24:819-834
- [38] Ellman, R. C. , Belter, J. W. ve Dockter, L. , (1966). "Adopting a Pulse-Jet Combustion System to Entrained Drying of Lignite", Fifth International Coal Preparation Congress, 3-7 October 1966, Pittsburgh.
- [39] Albayrak, S. , (2008). Amasra B Sahası Taşkömürlerinin Karakterizasyonu ve Öğütülebilirliği, Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [40] Doğan, Z. M. , Hoşten, Ç. ve Başol, A. U. , (2003). Kömür Tüketimi-Termik Santraller, <http://www.maden.org.tr> , 10 Mayıs 2011
- [41] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu ,Linyit Sektör Raporu 2010, <http://enerji.gov.tr> , 12 Mayıs 2011

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Mustafa Tahir AKKOYUNLU
Doğum Tarihi ve Yeri :10.11.1986 ERMENEK
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :takkoyun@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lisans	Makine Mühendisliği	Niğde Üniversitesi	2009
Lise	Sayısal Bölüm	Bayburt Anadolu Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2010	Bartın Üniversitesi	Araştırma Görevlisi